实用天然产物手册

# 矿物与岩石

吴良士　白　鸽　袁忠信　编

化学工业出版社

实用天然产物手册

ISBN 7-5025-6214-1

9 787502 562144 >

销售分类建议：矿业工程

ISBN 7-5025-6214-1/TB·92

定价：48.00元

实用天然产物手册

# 矿物与岩石

吴良士　白　鸽　袁忠信　编

化学工业出版社
·北京·

（京）新登字 039 号

**图书在版编目(CIP)数据**

矿物与岩石/吴良士，白鸽，袁忠信编. —北京：化学工业出版社，2004.10
（实用天然产物手册）
ISBN 7-5025-6214-1

Ⅰ.矿… Ⅱ.①吴…②白…③袁… Ⅲ.①矿物-手册②岩石-手册 Ⅳ.P5-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 108871 号

---

实用天然产物手册

# 矿物与岩石

吴良士 白 鸽 袁忠信 编
责任编辑：夏叶清
文字编辑：颜克俭
责任校对：王素芹
封面设计：蒋艳君

*

化学工业出版社出版发行
（北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029）
发行电话：（010）64982530
http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销
北京永鑫印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订
开本 787mm×1092mm 1/16 印张 20¾ 字数 579 千字
2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-6214-1/TB·92
定 价：48.00 元

---

**版权所有 违者必究**
该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

# 序　言

天然产物是指天然存在的物质，包括人、动物、植物、矿物、昆虫、海洋生物以及微生物等。也有学者将动物、植物、昆虫、海洋生物和微生物体内的组成成分或其代谢产物以及人和动物体内许许多多内源性的化学成分统称作天然产物，其中主要包括蛋白质、多肽、氨基酸、核酸、各种酶类、单糖、寡糖、多糖、糖蛋白、树脂、胶体物、木质素、维生素、脂肪、油脂、蜡、生物碱、挥发油、黄酮、糖苷类、萜类、苯丙素类、有机酸、酚类、醌类、内酯、甾体化合物、鞣酸类、抗生素类等天然存在的化学成分。

人类在其进化过程中，首先接触的和赖以生存的都是这些天然物质，给我们提供了食物、衣物、防病治病的药物和日常使用的东西。早期人类就是利用大自然为我们提供的这些天然物质生存、繁衍。随着人类社会的发展，逐渐对大自然加深认识，懂得了如何利用这些天然物质，改造加工这些天然物质，使它们更好地为人类服务。特别是近代科学技术的迅猛发展，人们逐渐地对组成这些天然物质的化学成分或其代谢产物进行深入的研究，从分子水平上认识这些天然物质，并进一步研究它们的利用价值，从而发现人类生存需要的蛋白质、维生素、脂肪、碳水化合物以及用以防病治病的药物、防治病虫害的农药、人们日常生活中的香料、甜味料、色素、保健饮料以及化学工业用的各种化学原料等。人类进入21世纪以来，世界上掀起了回归大自然的热潮，天然产物与人们生活的关系也到了一个新的阶段，天然产物似乎成了人们最为依赖和信任的朋友。

我们国家地大物博，自然资源非常丰富。在我国数千年发展的历史长河中，人们为了生存，很早就对大自然有了较为深入的认识，并掌握了如何利用大自然的资源，为我们生产更好更多的产品，为人类的生活生产服务。我国古代在同各种疾病的斗争中积累了丰富的经验，创造了人类独一无二的中医中药，是我们国家民族文化的瑰宝，对我国的繁荣昌盛发挥了巨大作用，也是我国人民对人类做出的巨大贡献。但是由于历史上的各种原因，我国在天然物质的开发利用方面相对滞后。为了充分合理地利用我国的自然资源，发展我国天然物质的现代研究，提高我们的研究水平，同时也为更好地利用这些天然产物，发展我们的化学工业、制药工业、香料工业、保健食品工业、化妆品工业等。我们将国内外报道的具有生物学活性和实用价值天然产物汇编成册，以供同行在开发利用我国的自然资源的实践中参考。

本套手册第一批共十二个分册：生物碱；黄酮类；皂苷类；萜类；苯丙素；其他天然产物；海洋天然产物；抗生素与微生物产生的生物活性物质；动物药物；生化药物；岩石与矿物；天然色素。

本套手册内容丰富详实，特色突出，不仅是正在学习的研究生的必备参考书，也是研究人员案头的得力工具，既是从事天然产物开发的重要数据库，也是各大企业技术人员对产品质量控制、工艺研究、开发新产品的重要参考资料。成书后，会更进一步推动天然物质的研究，提高研究水平。同时也会起到更加合理地利用我国自然资源、发扬光大我国传统医学的作用，使之达到永续利用。使我国的天然产物产品走上国际市场。

# 前　言

矿物与岩石是地壳演化及其地质作用的产物，是自然界天然产物的重要组成部分。

人类在生产劳动中发现了自然界中的矿物与岩石，并将它作为生产劳动工具，推动了社会进步。早在原始社会人们就利用坚硬的石头（岩石）为工具狩猎谋生，形成了人类社会的石器时代。随后铜矿和铁矿等矿产的发现和利用，使社会生产力得到进一步发展，构成了男耕女织的铜器时代与铁器时代。18 世纪以来在工业革命影响下，寻找与开发矿产资源，广泛利用矿物与岩石成为社会发展的基础，从而将人类引进了蒸汽机时代、电器时代与原子能时代。矿物与岩石的开发利用（通称工业矿物与岩石）和社会发展以及人民生活水平的提高有着十分密切的关系。我国是矿产资源比较丰富的国家，同时又是发展中国家，自然对于经济发展更显现出迫切感，特别是改革开放以来，在引进国外先进技术、发展国民经济中都离不开最重要的工业原料——矿物与岩石。因此在这一过程中充分了解工业矿物与岩石、合理使用工业矿物与岩石、依法管理工业矿物与岩石、认真保护工业矿物与岩石，是推进我国科技发展、绿色革命以及国民经济持续发展的重要因素。因此，我们在有关部门的关怀下编写了《实用天然产物手册》中《矿物与岩石》分册，以便更全面、系统地向广大工程技术人员、科技开发人员、科技管理人员及企业经贸人员简明地介绍各种工业矿物与岩石的基本特征、性能与用途，为在今后科技管理、经贸往来、技术开发中更全面认识、使用、管理和保护我国的工业矿物与岩石，使它发挥更大的作用。

依据《实用天然产物手册》总体编写要求，本分册结合工业矿物与岩石生成的特殊性，力求在编写内容上做到“完整性、系统性、先进性和功能性”。我们在编写中以自然形成的矿物和岩石为主要阐述对象，而对人工合成或培育的矿物与岩石原则上不予介绍。在所阐述的天然矿物与岩石中以中国产出、并能为工业利用的为主，其中包括过去曾被工业利用而现已被淘汰的工业矿物与岩石。至于目前科学技术还不能充分利用而将来可能被利用的矿物与岩石、中国当前还没发现而仅在国外产出的矿物与岩石也作酌情选取与介绍。

在编写内容上我们对每一种矿物与岩石以写实为主，不用综合性描述，强调其共生，而因各地域地质条件不同所出现的差异性仅在特殊情况下作简要说明。至于有关矿物与岩石的成因、分类等有学术争论的问题均不作探讨。一些现象也不作推断。在文字描述中地质专业名词术语尽量减少，力求简明扼要、通俗易懂，使非地质专业的广大读者容易接受。

本分册按当前工业分工和利用情况共分为 10 章，每章中依据性质与用途不同又分为若干节。各节中对每种矿物或岩石的阐述一般安排 6 个方面的内容。首先是矿物或岩石的名称。我们采用中文与英文名称的双名制。中文名称为学名，英文名称为国际上通用名称，同时也注上地方性俗称，以便更多读者了解。矿物或岩石的组成与结构、物化性质、功能与用途等 3 个内容是重点，我们将综合前人资料、采纳最新成果给予阐述。鉴别特征是以最常用的肉眼鉴别为主。最后产状与产地仅阐述最主要、最有代表性矿产地 3～5 个。由于同一工业矿物或岩石在不同工业部门中往往有不同的用途，表现出多功能性质。因而，同一矿物或岩石可能在本册的不同章节中同时出现。为了保持各章节内容的完整性与系统性，以及查找的方便，我们在尽可能避免重复的前提下，做有侧重的阐述。

本分册是在化学工业出版社直接指导下进行的。采取集体讨论，分工编写，其中A、C和J由袁忠信编写；B、D和I由白鸽编写；E、F、G、H及前言由吴良士编写。全书最后由吴良士统稿。编者在编写中得到矿产资源研究所大力支持和王立本研究员、唐绍华副研究员倾心帮助，在此表示衷心的感谢。由于知识水平与工作经历所限，错误在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2004年9月

# 内 容 提 要

本书是《实用天然产物手册》中的一个分册。

本分册共编写了与黑色金属、有色金属、稀有金属、稀土金属、贵金属、能源、冶金辅助材料、化工原料、建筑材料、医药、宝石玉雕和特种用途等有关的矿物与岩石近700种。每种矿物或岩石除标明了中、英文名称，肉眼鉴别特征及主要矿产地外，主要阐述了其组成与结构、物化性质、功能与用途等三方面内容，其中包括组成的化学成分、矿物成分、结构与构造等；颜色、硬度、光泽、断口特征以及相对密度、化学稳定性、强度变化和耐酸、碱程度等基本情况与数据；主要功能、工业指标、产品用途和价值等。同时还对同类的或同一性质及用途的矿物与岩石其形成地质条件、空间分布情况、资源保证程度及其在经济上的意义，按章、节作了不同程度的分析与综述，以便读者对资源形势有宏观的了解。书中所阐述的内容系近20多年来矿物与岩石开发研究新成果和编者们数十年工作亲身体会，并以词条化与通俗化形式编写出来，以供工程与科技人员、科技管理人员、经贸人员、科技开发人员、特别是非地质专业读者阅读、参考与查找，也可作为大中专教学参考资料。

# 目　　录

## A　与黑色金属有关的矿物


Aa　铁 …… 1
Aa001　磁铁矿 …… 1
Aa002　赤铁矿 …… 2
Aa003　菱铁矿 …… 3
Aa004　针铁矿 …… 3
Ab　锰 …… 4
Ab001　软锰矿 …… 4
Ab002　硬锰矿 …… 5
Ab003　菱锰矿 …… 5
Ab004　黑锰矿 …… 6
Ab005　褐锰矿 …… 6
Ab006　水锰矿 …… 7
Ab007　锰铅矿 …… 7
Ab008　锰钡矿 …… 7
Ab009　锰钾矿 …… 8
Ab010　硫锰矿 …… 8
Ac　铬 …… 8
Ac001　铬铁矿 …… 9
Ac002　镁铬铁矿 …… 9
Ac003　铁镁铬铁矿和镁铁铬铁矿 …… 10
Ac004　铝铬铁矿 …… 10
Ac005　镁铬尖晶石 …… 10
Ad　钛 …… 11
Ad001　钛铁矿 …… 11
Ad002　金红石 …… 12
Ad003　钛磁铁矿 …… 13
Ad004　白钛石 …… 13
Ae　钒 …… 14
Ae001　钒钾铀矿 …… 14
Ae002　钒铅矿 …… 14
Ae003　钒云母 …… 15
Ae004　绿硫钒矿 …… 15


## B　与有色金属有关的矿物与岩石


Ba　铜 …… 16
Ba001　自然铜 …… 17
Ba002　黄铜矿 …… 17
Ba003　斑铜矿 …… 17
Ba004　辉铜矿 …… 18
Ba005　铜蓝 …… 18
Ba006　方黄铜矿 …… 18
Ba007　黝铜矿 …… 19
Ba008　砷黝铜矿 …… 19
Ba009　硫砷铜矿 …… 19
Ba010　赤铜矿 …… 20
Ba011　黑铜矿 …… 20
Ba012　蓝铜矿 …… 20
Ba013　孔雀石 …… 21
Ba014　硅孔雀石 …… 21
Ba015　氯铜矿 …… 21
Ba016　水胆矾 …… 22
Bb　铅与锌 …… 22
Bb001　自然铅 …… 23
Bb002　方铅矿 …… 23
Bb003　硫锑铅矿 …… 24
Bb004　脆硫锑铅矿 …… 24
Bb005　车轮矿 …… 24
Bb006　白铅矿 …… 25
Bb007　铅矾 …… 25
Bb008　铬铅矿 …… 26
Bb009　钼铅矿 …… 26
Bb010　自然锌 …… 26
Bb011　闪锌矿 …… 27
Bb012　纤锌矿 …… 27

Bb013 菱锌矿 …… 27
Bb014 水锌矿 …… 28
Bb015 硅锌矿 …… 28
Bb016 异极矿 …… 28
Bc 铝 …… 29
Bc001 自然铝 …… 30
Bc002 一水硬铝石 …… 31
Bc003 一水软铝石 …… 31
Bc004 三水铝石 …… 31
Bc005 莫来石 …… 32
Bc006 霞石 …… 32
Bc007 水铝英石 …… 32
Bc008 磷铝锶石 …… 33
Bd 镁 …… 33
Bd001 菱镁矿 …… 33
Bd002 白云石 …… 35
Bd003 方镁石 …… 36
Bd004 水镁石 …… 36
Bd005 光卤石 …… 37
Be 镍 …… 37
Be001 自然镍 …… 38
Be002 针镍矿 …… 38
Be003 方硫镍矿 …… 39
Be004 镍黄铁矿 …… 39
Be005 紫硫镍矿 …… 39
Be006 硫镍矿 …… 40
Be007 砷镍矿 …… 40
Be008 红砷镍矿 …… 40
Be009 辉砷镍矿 …… 41
Be010 绿镍矿 …… 41
Be011 镍磁铁矿 …… 41
Be012 镍华 …… 41
Be013 镍矾 …… 41
Be014 碧矾 …… 42
Be015 翠镍矿 …… 42
Be016 镍蛇纹石 …… 42
Be017 镍滑石 …… 42
Be018 富镍绿泥石 …… 43
Be019 含镍磁黄铁矿 …… 43
Be020 含镍褐铁矿与含镍高岭石 …… 43
Bf 钴 …… 43
Bf001 砷钴矿 …… 44
Bf002 硫钴矿 …… 44
Bf003 硫铜钴矿 …… 44
Bf004 方硫钴矿 …… 45
Bf005 辉砷钴矿 …… 45
Bf006 钴镍黄铁矿 …… 45
Bf007 含钴黄铁矿 …… 45
Bf008 钴华 …… 45
Bf009 水钴矿族 …… 46
Bf010 水钴矾 …… 46
Bf011 方硒钴矿 …… 46
Bf012 硬硒钴矿和白硒钴矿 …… 46
Bf013 硫锑钴矿 …… 46
Bg 钨 …… 47
Bg001 黑钨矿 …… 48
Bg002 白钨矿 …… 48
Bg003 钨铅矿 …… 49
Bg004 钨锌矿 …… 49
Bg005 钨铋矿 …… 49
Bg006 钨华 …… 49
Bg007 水钨华 …… 50
Bg008 高铁钨华 …… 50
Bg009 水钨铝矿 …… 50
Bg010 铈钨矿 …… 50
Bg011 钇钨华 …… 50
Bg012 辉钨矿 …… 50
Bh 锡 …… 51
Bh001 自然锡 …… 52
Bh002 锡石 …… 52
Bh003 黑锡矿 …… 52
Bh004 羟锡石 …… 52
Bh005 钽锡矿 …… 53
Bh006 硼钙锡石 …… 53
Bh007 马来亚石 …… 53
Bh008 硫锡矿 …… 53
Bh009 黝锡矿 …… 53
Bh010 圆柱锡矿 …… 54
Bh011 硫锡铅矿 …… 54
Bh012 辉锑锡铅矿 …… 54
Bi 铋 …… 54
Bi001 辉铋矿 …… 55
Bi002 硒铋矿 …… 56
Bi003 铋华 …… 56
Bi004 铋钙矿 …… 56
Bi005 水铋铁矿 …… 57
Bi006 铋铜矿 …… 57
Bi007 铋铅矿 …… 57

Bi008 水铋矿 …… 57
Bi009 铋铁矿 …… 57
Bi010 铋铜矿 …… 57
Bi011 紫铋铀矿 …… 57
Bi012 蓝铋矿 …… 58
Bj 铋 …… 58
Bj001 自然铋 …… 59
Bj002 辉铋矿 …… 59
Bj003 铋华和软铋华 …… 59
Bj004 泡铋华 …… 60
Bj005 赣南矿 …… 60
Bj006 硫碲铋矿 …… 60
Bj007 赫碲铋矿 …… 61
Bj008 碲铋矿 …… 61
Bj009 脆硫铋矿 …… 61
Bj010 硫硒铋矿 …… 61
Bk 汞 …… 61
Bk001 自然汞 …… 62
Bk002 银汞矿 …… 62
Bk003 辰砂和黑辰砂 …… 63
Bk004 硒汞矿 …… 63
Bk005 碲汞矿 …… 63
Bk006 橙红石 …… 64
Bk007 汞膏 …… 64
Bk008 汞矾 …… 64
Bk009 氯氮汞矿 …… 64
Bk010 滦河矿 …… 64
Bk011 围山矿 …… 64
Bl 锑 …… 65
Bl001 自然锑 …… 66
Bl002 辉锑矿 …… 66
Bl003 硫汞锑矿 …… 67
Bl004 副砷锑矿 …… 67
Bl005 脆硫锑铅矿 …… 67
Bl006 锑黝铜矿 …… 67
Bl007 方锑矿 …… 68
Bl008 锑华 …… 68
Bl009 锑赭石 …… 68
Bl010 黄锑华 …… 68
Bl011 黄锑矿 …… 68
Bl012 硫氧锑钙石 …… 69

## C 与稀有金属、稀土金属及贵金属有关的矿物与岩石

Ca 贵金属(金、银及铂族金属) …… 70
Ca001 自然金 …… 70
Ca002 针碲金银矿 …… 71
Ca003 碲金矿 …… 71
Ca004 金汞齐 …… 71
Ca005 自然银 …… 72
Ca006 辉银矿 …… 72
Ca007 碲银矿 …… 72
Ca008 淡红银矿与浓红银矿 …… 73
Ca009 氯角银矿 …… 73
Ca010 硫铜银矿 …… 73
Ca011 自然铂 …… 74
Ca012 自然钯 …… 75
Ca013 锑钯矿 …… 75
Ca014 砷铂矿 …… 75
Ca015 安多矿 …… 75
Ca016 等轴铁铂矿 …… 76
Ca017 硫砷锇矿 …… 76
Ca018 硫砷铱矿 …… 76
Ca019 铋碲铂矿 …… 77
Ca020 锇铱矿和铱锇矿 …… 77
Cb 稀有金属(锂、铷、铯、铍、锶、锆、铪、铌、钽) …… 78
Cb001 锂辉石 …… 78
Cb002 锂云母 …… 78
Cb003 磷锂铝石 …… 79
Cb004 透锂长石 …… 79
Cb005 铁锂云母 …… 79
Cb006 天河石 …… 80
Cb007 铯沸石(原称铯榴石) …… 80
Cb008 铯锰星叶石 …… 81
Cb009 铯硼锂矿 …… 81
Cb010 绿柱石 …… 82
Cb011 羟硅铍石 …… 82
Cb012 硅铍石 …… 82
Cb013 金绿宝石 …… 83
Cb014 日光榴石 …… 83
Cb015 铍榴石 …… 83
Cb016 锌日光榴石 …… 84

Cb017 天青石 …… 84
Cb018 菱锶矿 …… 84
Cb019 锆石 …… 85
Cb020 斜锆石 …… 86
Cb021 异性石 …… 86
Cb022 铪锆石 …… 86
Cb023 铌铁矿 …… 87
Cb024 褐钇铌矿 …… 88
Cb025 烧绿石 …… 88
Cb026 铌钇矿 …… 89
Cb027 铌钙矿 …… 89
Cb028 铌金红石 …… 89
Cb029 钽铁矿 …… 90
Cb030 重钽铁矿 …… 90
Cb031 黄钇钽矿 …… 91
Cb032 细晶石 …… 91
Cb033 钽金红石 …… 92
Cc 稀土金属 …… 92
Cc001 独居石 …… 93
Cc002 氟碳铈矿 …… 93
Cc003 氟菱钙铈矿 …… 93
Cc004 铈铌钙钛矿 …… 94
Cc005 硅钛铈矿 …… 94
Cc006 易解石 …… 94
Cc007 绿层硅铈钛矿 …… 95
Cc008 磷钇矿 …… 95
Cc009 褐帘石 …… 96
Cc010 黑稀金矿-复稀金矿 …… 96
Cc011 硅铍钇矿 …… 97
Cc012 钪钇石 …… 97
Cd 分散元素(镓、铟、锗、铊、镉、铼、硒、碲) …… 98
Cd001 镓矿物 …… 98
Cd002 铟矿物 …… 99
Cd003 锗矿物 …… 99
Cd004 铊矿物 …… 100
Cd005 镉矿物 …… 101
Cd006 硒矿物 …… 102
Cd007 碲矿物 …… 103

## D 能源矿产

Da 煤 …… 106
Da001 褐煤 …… 110
Da002 长焰煤 …… 110
Da003 不黏煤 …… 110
Da004 气煤 …… 110
Da005 肥煤 …… 110
Da006 焦煤 …… 111
Da007 瘦煤 …… 111
Da008 贫煤 …… 111
Da009 无烟煤 …… 111
Db 泥炭、石煤和油页岩 …… 111
Db001 泥炭 …… 111
Db002 油页岩 …… 112
Db003 石煤 …… 113
Dc 石油、天然气及石油天然气资源 …… 114
Dc001 石油 …… 114
Dc002 天然气 …… 116
Dc003 煤成气 …… 119
Dc004 天然气水合物 …… 121
Dc005 非烃天然气 …… 122
Dd 核能矿产 …… 123
Dd001 晶质铀矿 …… 124
Dd002 铀石 …… 124
Dd003 钛铀矿 …… 125
Dd004 斜方钛铀矿 …… 125
Dd005 硅钙铀矿 …… 125
Dd006 钙铀云母 …… 126
Dd007 铜铀云母 …… 126
Dd008 钒钾铀矿 …… 126
Dd009 钒钙铀矿 …… 127
Dd010 独居石 …… 127
Dd011 方钍石 …… 128
Dd012 钍石 …… 128
Dd013 单斜钍石 …… 128
De 温泉与地热 …… 128
参考文献 …… 135

## E　与冶金辅助材料有关的矿物与岩石


Ea　菱镁矿 …… 137
Ea001　晶质菱镁矿 …… 138
Ea002　非晶质菱镁矿 …… 138
Eb　蓝晶石类矿物 …… 138
Eb001　蓝晶石 …… 139
Eb002　矽线石 …… 139
Eb003　红柱石 …… 139
Eb004　黄玉 …… 140
Ec　耐火黏土 …… 140
Ec001　硬水铝石 …… 141
Ec002　软水铝石 …… 141
Ec003　三水铝石 …… 141
Ec004　高岭石 …… 142
Ec005　埃洛石 …… 142
Ec006　伊利石 …… 142
Ec007　蒙脱石 …… 142
Ec008　高铝黏土 …… 143
Ec009　硬质黏土 …… 143
Ec010　半软质黏土 …… 143
Ec011　软质黏土 …… 143
Ed　铬尖晶石类矿物 …… 144
Ed001　铬铁矿 …… 144
Ee　硅石 …… 144
Ee001　石英砂岩 …… 144
Ee002　石英岩 …… 145
Ee003　脉石英 …… 145
Ef　白云岩 …… 145
Ef001　结晶白云岩 …… 146
Ef002　碎屑白云岩 …… 146
Ef003　藻白云岩 …… 146
Ef004　泥晶白云岩 …… 147
Eg　熔剂灰岩 …… 147
Eg001　泥晶灰岩 …… 147
Eg002　鲕状灰岩 …… 148
Eg003　竹叶状灰岩 …… 148
Eg004　叠层石灰岩 …… 148
Eg005　白云石化灰岩 …… 149
Eh　萤石 …… 149
Eh001　萤石 …… 149
Ei　硼砂 …… 149
Ei001　硼砂 …… 150
Ej　铁矾土 …… 150
Ej001　铁矾土 …… 150
Ek　铸型用砂 …… 150
Ek001　石英砂 …… 150
Ek002　石英长石砂 …… 151
Ek003　黏土砂 …… 151
Ek004　镁橄榄石砂 …… 151
Ek005　锆石砂 …… 152
El　铸型用黏土 …… 152
El001　钠质膨润土 …… 152
El002　坡缕石黏土 …… 153
El003　凹凸棒石黏土 …… 153
El004　普通黏土 …… 154
Em　石墨 …… 154
Em001　晶质鳞片状石墨 …… 154
Em002　石墨片麻岩 …… 155
Em003　石墨片岩 …… 155
Em004　石墨大理岩 …… 155
Em005　隐晶质石墨 …… 156
参考文献 …… 156


## F　与化工原料有关的矿物与岩石


Fa　钠盐 …… 157
Fa001　湖盐 …… 157
Fa002　岩盐 …… 157
Fa003　卤水 …… 157
Fb　钾盐 …… 158
Fb001　钾石盐 …… 158
Fb002　光卤石 …… 158
Fb003　钾盐镁矾 …… 158
Fb004　无水钾镁矾 …… 159
Fb005　杂卤石 …… 159
Fb006　钾镁矾 …… 159
Fb007　软钾镁矾 …… 159
Fb008　钾芒硝 …… 160
Fb009　钾石膏 …… 160

Fc 芒硝 …… 160
Fc001 芒硝 …… 160
Fc002 无水芒硝 …… 161
Fc003 钙芒硝 …… 161
Fc004 白钠镁矾 …… 161
Fd 天然碱 …… 161
Fd001 苏打 …… 162
Fd002 水碱 …… 162
Fd003 碳酸钠石 …… 162
Fd004 重碳钠盐 …… 162
Fd005 碳钠钙石 …… 163
Fd006 钙水碱 …… 163
Fd007 单斜钠钙石 …… 163
Fd008 氯碳钠镁石 …… 163
Fe 硝石 …… 164
Fe001 钠硝石 …… 164
Fe002 钾硝石 …… 164
Ff 镁盐 …… 164
Ff001 泻利盐 …… 165
Ff002 六水泻盐 …… 165
Ff003 水镁矾 …… 165
Ff004 水氯镁石 …… 165
Ff005 白钠镁矾 …… 166
Ff006 光卤石 …… 166
Ff007 钾盐镁矾 …… 166
Fg 硼 …… 166
Fg001 硼砂 …… 166
Fg002 钠硼解石 …… 166
Fg003 柱硼镁石 …… 167
Fg004 硬硼钙石 …… 167
Fg005 贫水硼砂 …… 167
Fg006 硼镁石 …… 168
Fg007 硼镁铁矿 …… 168
Fg008 遂安石 …… 168
Fg009 天然硼酸 …… 168
Fh 磷 …… 169
Fh001 磷灰石 …… 169
Fh002 鸟粪石 …… 169
Fh003 非晶质磷块岩 …… 169
Fh004 晶质磷块岩 …… 170
Fi 硫 …… 170
Fi001 自然硫 …… 170
Fi002 黄铁矿 …… 170
Fi003 磁黄铁矿 …… 171
Fi004 白铁矿 …… 171
Fi005 回收硫 …… 171
Fj 砷 …… 172
Fj001 自然砷 …… 172
Fj002 雌黄 …… 172
Fj003 雄黄 …… 172
Fj004 毒砂 …… 172
Fj005 砷华 …… 173
Fj006 斜方砷铁矿 …… 173
Fk 钡 …… 173
Fk001 重晶石 …… 173
Fk002 毒重石 …… 174
Fk003 硅钡石 …… 174
Fl 明矾石 …… 174
Fl001 明矾石 …… 174
Fm 滑石 …… 175
Fm001 块滑石 …… 175
Fm002 滑石岩 …… 175
Fm003 滑石片岩 …… 176
Fm004 绿泥石岩 …… 176
Fn 地蜡 …… 176
Fn001 地蜡 …… 176
Fo 硅质材料 …… 176
Fo001 石英砂 …… 177
Fo002 石英砂岩 …… 177
Fo003 石英岩 …… 177
Fo004 脉石英 …… 178
Fp 富钾岩石 …… 178
Fp001 富钾砂页岩 …… 178
Fp002 富钾火成岩 …… 178
Fq 浮岩与火山灰 …… 179
Fq001 中-酸性浮岩 …… 179
Fq002 基性浮岩 …… 179
Fq003 火山灰(渣) …… 179
Fr 橄榄岩 …… 180
Fs 蛇纹岩 …… 180
Ft 碘与溴 …… 180
Ft001 碘钙石 …… 180
Ft002 碘铬钙石 …… 181

# G　与建筑材料有关的矿物与岩石


Ga　水泥原料 …… 182
Ga001　生物碎屑灰岩 …… 183
Ga002　结晶灰岩 …… 183
Ga003　泥晶灰岩 …… 184
Ga004　泥灰岩 …… 184
Ga005　白垩 …… 184
Ga006　硬石膏 …… 185
Ga007　纤维石膏 …… 185
Ga008　普通石膏 …… 185
Ga009　雪花石膏 …… 186
Ga010　泥质石膏 …… 186
Ga011　黄土 …… 186
Ga012　黏土 …… 186
Ga013　黏土岩 …… 187
Ga014　黑色页岩 …… 187
Ga015　砂岩 …… 187
Ga016　沸石 …… 188
Ga017　煤矸石 …… 188
Ga018　火山灰与浮石 …… 188
Ga019　铁矿粉 …… 188
Ga020　废渣 …… 189
Gb　建筑用砖瓦黏土与砂、石料 …… 189
Gb001　黄土 …… 190
Gb002　黄壤土 …… 190
Gb003　红土 …… 190
Gb004　煤矸石 …… 191
Gb005　河砂 …… 191
Gb006　卵(砾)石 …… 191
Gb007　花岗岩 …… 192
Gb008　碳酸盐岩 …… 192
Gb009　砂岩与石英岩 …… 192
Gb010　板岩 …… 193
Gc　建筑用特种需要材料 …… 193
Gc001　珍珠岩 …… 193
Gc002　松脂岩 …… 194
Gc003　黑耀岩 …… 194
Gc004　蛇纹石石棉 …… 194
Gc005　蓝石棉 …… 195
Gc006　水镁石石棉 …… 195
Gc007　蛭石 …… 195
Gc008　硅藻土 …… 196
Gc009　天然沥青 …… 196
Gd　岩棉、陶粒和铸石原料 …… 196
Gd001　岩棉 …… 197
Gd002　陶粒 …… 197
Gd003　铸石 …… 197
Ge　陶瓷原料 …… 198
Ge001　高岭土 …… 198
Ge002　伊利石黏土 …… 199
Ge003　陶土 …… 199
Ge004　绢英岩 …… 199
Ge005　木节土 …… 200
Ge006　其他 …… 200
Ge007　钾长石 …… 200
Ge008　钠长石 …… 200
Ge009　长石砂岩 …… 201
Ge010　正长岩 …… 201
Ge011　文象花岗岩 …… 201
Ge012　白岗岩 …… 201
Ge013　浅粒岩 …… 202
Ge014　透辉石 …… 202
Ge015　透闪石 …… 202
Ge016　硅灰石 …… 203
Ge017　叶蜡石 …… 203
Ge018　滑石 …… 203
Gf　涂料原料 …… 204
Gf001　白垩 …… 204
Gf002　累托石黏土 …… 204
Gf003　锂皂土 …… 204
Gf004　伊利石黏土 …… 204
Gf005　膨润土 …… 205
Gf006　硅灰石 …… 205
Gf007　硅石 …… 205
Gf008　硅藻土 …… 205
Gf009　云母 …… 205
Gf010　滑石 …… 206
Gf011　石墨 …… 206
Gf012　叶蜡石 …… 206
Gf013　染料矿物 …… 206
Gg　饰面石材 …… 207
Gg001　大理石 …… 207
Gg002　花岗石 …… 209
Gg003　板石 …… 210
参考文献 …… 210

# H　与医药有关的矿物与岩石


Ha　单质矿物类药用矿物 …… 212
Ha001　金箔 …… 212
Ha002　银箔 …… 212
Ha003　锡 …… 213
Ha004　水银 …… 213
Ha005　硫黄 …… 213
Hb　氧化物与氢氧化物类药用矿物 … 213
Hb001　无名异 …… 214
Hb002　禹余粮 …… 214
Hb003　代赭石 …… 214
Hb004　磁石 …… 214
Hb005　锡矿 …… 215
Hc　硫化物类药用矿物 …… 215
Hc001　朱砂 …… 215
Hc002　雄黄 …… 216
Hc003　雌黄 …… 216
Hc004　蛇含石 …… 216
Hc005　礞石 …… 216
Hc006　自然铜 …… 217
Hd　卤化物类药用矿物 …… 217
Hd001　大青盐 …… 217
Hd002　光明盐 …… 218
Hd003　卤碱 …… 218
Hd004　锅巴盐 …… 218
Hd005　紫脑砂 …… 218
Hd006　白脑砂 …… 219
Hd007　绿盐 …… 219
Hd008　紫石英 …… 219
He　碳酸盐类药用矿物 …… 220
He001　方解石 …… 220
He002　钟乳石 …… 220
He003　鹅管石 …… 220
He004　姜石 …… 221
He005　炉甘石 …… 221
He006　铜绿 …… 221
He007　扁青 …… 222
He008　曾青 …… 222
He009　绿青 …… 222
Hf　硅酸盐类药用矿物 …… 223
Hf001　白石英 …… 223
Hf002　玛瑙 …… 223
Hf003　菩萨石 …… 223
Hf004　云母 …… 224
Hf005　金精石 …… 224
Hf006　滑石 …… 224
Hf007　白石脂 …… 225
Hf008　赤石脂 …… 225
Hf009　黄石脂 …… 225
Hf010　玉 …… 225
Hf011　阳起石 …… 226
Hf012　不灰木 …… 226
Hf013　白垩 …… 226
Hg　硫酸盐类、硝酸盐类和硼酸盐类药用矿物 …… 227
Hg001　长石 …… 227
Hg002　石膏 …… 227
Hg003　理石 …… 227
Hg004　玄精石 …… 228
Hg005　朴消 …… 228
Hg006　白矾 …… 228
Hg007　绿矾 …… 229
Hg008　胆矾 …… 229
Hg009　消石 …… 229
Hg010　硼砂 …… 229
Hh　有机物为主的药用矿物 …… 230
Hh001　琥珀 …… 230
Hh002　石炭 …… 230
Hi　药用的古生物化石 …… 230
Hi001　龙齿 …… 231
Hi002　龙骨 …… 231
Hi003　石燕 …… 231
Hi004　石蟹 …… 232
Hi005　珊瑚 …… 232
Hj　药用岩石 …… 232
Hj001　花蕊石 …… 232
Hj002　青礞石 …… 233
Hj003　金礞石 …… 233
Hj004　海浮石 …… 233
Hj005　麦饭石 …… 234
Hj006　阴起石 …… 234
Hj007　矿泥 …… 234
Hj008　黄土 …… 235

Hk　加工的药用矿物 …… 235
Hk001　秋石 …… 235
Hk002　白灰 …… 235
Hk003　伏龙肝 …… 236
Hk004　铅丹 …… 236
Hk005　铅粉 …… 236
Hk006　密陀僧 …… 236
Hk007　银朱 …… 237
Hk008　白降丹 …… 237
Hk009　红粉 …… 237
Hk010　轻粉 …… 238
Hk011　小灵丹 …… 238
Hk012　砒石 …… 238
Hk013　铁落 …… 239
Hk014　针砂 …… 239
Hk015　赤铜 …… 239
参考文献 …… 239

# I　宝玉石和观赏石

Ia　宝石 …… 240
Ia001　钻石 …… 243
Ia002　红宝石和蓝宝石 …… 247
Ia003　绿柱石 …… 250
Ia004　猫眼石和亚历山大石 …… 253
Ia005　电气石 …… 253
Ia006　尖晶石 …… 254
Ia007　石榴石 …… 255
Ia008　橄榄石 …… 256
Ia009　锆石 …… 256
Ia010　黄玉 …… 257
Ia011　水晶 …… 258
Ia012　欧泊 …… 258
Ia013　长石 …… 259
Ia014　透辉石 …… 261
Ia015　符山石 …… 261
Ia016　堇青石 …… 261
Ia017　坦桑石 …… 261
Ia018　绿帘石 …… 262
Ia019　方钠石 …… 262
Ia020　方柱石 …… 262
Ia021　磷灰石 …… 263
Ia022　锂辉石 …… 263
Ia023　铯沸石 …… 263
Ia024　钽锰矿 …… 263
Ia025　锡石 …… 263
Ia026　白钨矿 …… 264
Ia027　金红石 …… 264
Ia028　榍石 …… 264
Ia029　珍珠 …… 265
Ia030　珊瑚 …… 265
Ia031　琥珀 …… 266
Ia032　煤玉 …… 267
Ia033　牙类及龟甲 …… 267
Ib　玉石和印章石 …… 268
Ib001　翡翠 …… 269
Ib002　软玉类玉石 …… 272
Ib003　蛇纹岩类玉石 …… 273
Ib004　长石岩类玉石 …… 274
Ib005　绿松石 …… 275
Ib006　孔雀石 …… 276
Ib007　硅孔雀石 …… 276
Ib008　青金石 …… 277
Ib009　方钠石 …… 277
Ib010　蓝纹石 …… 278
Ib011　水晶和芙蓉石 …… 278
Ib012　石英岩质玉石 …… 278
Ib013　隐晶质二氧化硅类玉石 …… 279
Ib014　硅化木玉石 …… 280
Ib015　蛋白石 …… 280
Ib016　天然玻璃 …… 280
Ib017　碳酸盐类玉石 …… 281
Ib018　安山岩类玉石 …… 282
Ib019　矽卡岩类玉石 …… 283
Ib020　查罗石玉 …… 284
Ib021　丁香紫玉(锂云母岩) …… 284
Ib022　萤石 …… 284
Ib023　桃花石 …… 285
Ib024　葡萄石玉 …… 285
Ib025　菱锰矿 …… 285
Ib026　赤铁矿 …… 286
Ib027　寿山石 …… 286
Ib028　青田石 …… 287
Ib029　昌化石和昌化鸡血石 …… 287

Ib030 巴林石和巴林鸡血石 …… 288
Ib031 长白石 …… 288
Ib032 广绿玉 …… 288
Ib033 莱州玉 …… 289
Ic 砚石类 …… 289
Ic001 端砚 …… 289
Ic002 歙砚 …… 290
Ic003 洮砚 …… 290
Ic004 澄泥砚 …… 291
Ic005 松花石砚 …… 291
Ic006 红丝砚 …… 291
Ic007 贺兰山砚 …… 291
Id 观赏石 …… 291
Id001 太湖石 …… 293
Id002 灵璧石 …… 293
Id003 岩溶洞穴石 …… 293
Id004 菊花石 …… 294
Id005 雨花石 …… 294
Id006 红河石 …… 294
Id007 风棱石 …… 294
Id008 矿物晶体 …… 294
Id009 古生物化石 …… 295
Id010 火山喷溢沉积观赏石 …… 295
参考文献 …… 296

## J 与特种用途有关的矿物与岩石

Ja 与特种用途有关的矿物 …… 298
Ja001 白云母 …… 298
Ja002 金云母 …… 298
Ja003 工业水晶 …… 299
Ja004 电气石 …… 300
Ja005 冰洲石 …… 301
Ja006 光学萤石 …… 301
Ja007 海泡石 …… 301
Ja008 凹凸棒石 …… 302
Ja009 沸石 …… 303
Ja010 蛭石 …… 304
Ja011 磨料石榴石 …… 305
Ja012 颜料矿物 …… 306
Jb 与特种用途有关的岩石 …… 306
Jb001 硅藻土 …… 306
Jb002 浮石 …… 307
Jb003 珍珠岩 …… 308
Jb004 膨润土 …… 309
Jb005 天然油石 …… 310
Jb006 铸石 …… 310
Jb007 耐酸石材 …… 311
Jb008 耐碱石材 …… 312
Jb009 天然沥青 …… 312

# A　与黑色金属有关的矿物

## Aa　铁

铁为银灰色金属，熔点 1535℃，沸点 3000℃，密度 7.86g/cm$^3$。单质铁是具有光泽的白色金属。铁易溶于稀的无机酸和浓的盐酸溶液，金属铁会被浓碱溶液侵蚀。

铁是钢铁工业的基本原料，广泛用于国民经济各部门和人民生活的各个方面。铁矿石可冶炼成生铁、熟铁、铁合金、碳素钢、合金钢、特种钢等。通常所谓的高炉炼铁、平炉炼钢，前者要求矿石中全铁（TFe）≥50%，S≤0.3%，P≤0.25%，Cu≤0.1%～0.2%，Pb≤0.1%，Zn≤0.05%～0.1%，Sn≤0.08%。后者要求矿石中 TFe≥56%，$SiO_2$ 8%～13%，S<0.1%～0.15%，P≤0.1%，Cu≤0.2%，Pb、Zn、As、Sn 均不大于 0.04%。视矿石采、选难易程度以及含有的可综合利用的伴生组分，全铁含量可适度提高或降低。另外，矿石中含有的 Cu、Pb、Zn、Sn 等有害杂质，可通过选矿将其分离出来，成为可以综合利用的有益物质。

铁矿石又是世界上进行大宗贸易的商品。由于市场竞争，要求商品矿石的品位不断提高。1994 年开始澳大利亚将出口日本的粗矿品位由 54%提高到 56%～58%，块矿品位由 64.7%提高到 65%以上。一些国家通过人工富矿提高商品矿石品位。利用贫铁矿，除通过选矿外，还将精矿粉加工成烧结矿和球团矿出售。美国将原矿石品位（磁铁矿含量）为 20%～40%的矿石提高为 63%的商品矿石。前苏联将原矿品位 33.4%的矿石提高到 60.3%。我国每年从国外进口大量商品矿石。

铁主要呈单质铁、正二价、正三价，个别正六价化合物产出，其中以三价铁化合物最稳定。铁具亲硫性和亲氧性，常与硫和氧结合形成铁的硫化物和氧化物。有工业意义的矿物主要是氧化物，如磁铁矿、赤铁矿、菱铁矿、针铁矿、褐铁矿等。褐铁矿是以针铁矿为主的多种含水氢氧化物矿物混合物的总称。

### Aa001　磁铁矿　magnetite

【组成与结构】 $Fe_3O_4$。矿物理论成分 FeO 31.03%，$Fe_2O_3$ 68.97%。其中类质同象代替 $Fe^{3+}$ 的元素有 $Al^{3+}$、$Ti^{4+}$、$Cr^{3+}$、$V^{3+}$ 等，代替 $Fe^{2+}$ 的有 $Mg^{2+}$、$Mn^{2+}$、$Zn^{2+}$、$Ni^{2+}$、$Co^{2+}$、$Cu^{2+}$、$Ge^{2+}$ 等。当 $Ti^{4+}$ 代替 $Fe^{3+}$，当代替的量较低时称含钛磁铁矿，较高时称钛磁铁矿。含 V、Ti 较多时称钒钛磁铁矿，含 Cr 较多时称铬磁铁矿。磁铁矿属等轴晶系。

【物化性质】 磁铁矿晶体常为八面体和菱形十二面体，在菱形晶面上常有平行于该面长对角线的条纹。集合体通常呈粒状或块状。颜色黑色，条痕黑色。半金属光泽至金属光泽。不透明。无解理，有时可见平行于{111}的裂开。性脆。硬度 5.5～6。相对密度 4.9～5.2。具强磁性。居里点 578℃（居里点是磁性矿物的一种热磁效应，为磁性或反磁性物质加热转变为顺磁性物质的临界温度值）。

【功能与用途】 磁铁矿是钢铁工业最重要的矿物原料。钛磁铁矿、钒钛磁铁矿同时也可作为提取钒、钛的原料。纯磁铁矿可作为合成氨的催化剂。磁铁矿可用于制药。磁铁矿的药名叫磁石，又叫玄石、慈石、灵磁石、吸铁石、吸针石，具潜阳安神、聪耳明目、纳气平喘的功效。由磁铁矿制成的药剂叫耳聋左慈丸、磁朱丸。

【鉴别特征】 磁铁矿具八面体晶形、黑色、条痕黑色、无解理、具强磁性，可与相似矿物铬铁矿、

黑钨矿等区别。

【产状与产地】 磁铁矿在各种岩浆岩中呈副矿物广泛分布。在基性岩中形成有巨大经济价值的钒钛磁铁矿矿床。四川攀枝花钒钛磁铁矿矿床产于基性超基性岩中，以辉石岩相带下部最为富集，矿体呈脉状、透镜状和似层状产出，共生矿物有钛铁矿、赤铁矿、金红石、辉石、斜长石等。在一些拉斑玄武岩和偏碱性基性岩浆演化过程中，形成磁铁矿-磷灰石矿床，矿体呈脉状、板状和似层状，见于河北西北部矾山、阳原等地，铁和磷均具有经济价值。与碱性碳酸岩岩浆演化有关的铁矿床见于内蒙古白云鄂博，矿体呈层状、似层状产出。该矿床除铁外，产有大量稀土和铌。稀土金属储量占世界首位。在花岗岩、正长岩与碳酸盐岩石的接触带上常形成铁富集的矽卡岩型铁矿床，矿体呈脉状或不规则形状产出，共生矿物有透辉石、钙铁榴石、方柱石、金云母、透闪石、阳起石、硅镁石等。矽卡岩型铁矿见于湖北大冶尖山、狮子山以及福建马坑等地。一种大型铁矿是沉积变质型磁铁矿矿床，矿体呈层状，主要由带状含铁石英岩组成，共生矿物有石英、鳞绿泥石、白云母、赤铁矿。产地有辽宁鞍山弓长岭。

## Aa002 赤铁矿 hematite

【组成与结构】 化学成分 $Fe_2O_3$。已知自然界 $Fe_2O_3$ 有 $\alpha$-$Fe_2O_3$ 与 $\gamma$-$Fe_2O_3$ 两种类质同象变体。前者属三方晶系，在自然界稳定，称赤铁矿。后者属等轴晶系，呈亚稳定产出，称磁赤铁矿。赤铁矿矿物常含金红石、钛铁矿的微细包裹体以及类质同象杂质 Ti、Al、Mn、Ca、Mg、$Fe^{2+}$ 及少量 Ca 和 Co。在隐晶质致密赤铁矿块体中有时有机械混入物 $SiO_2$、$Al_2O_3$。纤维状或土状赤铁矿常含水。根据成分，赤铁矿的变种有钛赤铁矿、铝赤铁矿、镁赤铁矿、水赤铁矿等。

【物化性质】 矿物属复三方偏三角面体晶类，但完好晶体少见，常具板状、鳞片状、粒状和隐晶质致密块状、鲕状、豆状、肾状、粉末状等集合体形态。在{0001}晶面上有三组平行于{0001}和$\{10\bar{1}1\}$交棱方向的条纹、三角形凹坑或生长锥等晶面花纹。片状、鳞片状具金属光泽的赤铁矿称为镜铁矿。细小鳞片状或贝壳状的镜铁矿集合体被称为云母赤铁矿。依（0001）连生的镜铁矿集合体被称为铁玫瑰。红色粉末状赤铁矿称为铁赭石或赭色赤铁矿。表明光滑明亮的红色钟乳状赤铁矿集合体称为红色玻璃尖。由浑圆的球形或椭球形粒状赤铁矿胶结成的致密赤铁矿集合体称为鲕状赤铁矿，鲕粒内部常具有同心层状构造。呈半球状并彼此黏结的致密赤铁矿集合体称为肾状赤铁矿。

赤铁矿的晶形与形成条件有关。一般由热液作用形成的赤铁矿常具扁平的菱面体状、板状或片状。接触交代作用形成的赤铁矿多为粒状。沉积成因的赤铁矿多为隐晶质鲕状、肾状、豆状、粉末状集合体。

赤铁矿为钢灰色至铁黑色，常带淡蓝青色。隐晶质或粉末状赤铁矿呈暗红至鲜红色，条痕樱桃红色或红棕色。金属光泽至半金属光泽，有的光泽暗淡。无解理。因双晶具有{0001}和$\{10\bar{1}1\}$裂开。断口贝壳状至不平坦状。性脆。硬度 5～6。相对密度 5.0～5.3。熔点 1594℃。导电体。室温下具反铁磁性，－15℃条件下具铁磁性。

【功能与用途】 赤铁矿是钢铁工业的重要矿物原料。氧化铁可作天然矿物颜料。药用赤铁矿称为赭石，又叫代赭石、代赭、铁朱、钉头赭石、红石头、赤赭石。功效平肝潜阳、重镇降逆、凉血止血。成药制剂叫脑立清丸、月阳生发液、晕可平糖浆。

【鉴别特征】 赤铁矿具樱桃红色或红棕色条痕是其重要的鉴别特征，无磁性和具多种形态可与相似的磁铁矿或钛铁矿区别。

【产状与产地】 赤铁矿形成于氧化条件下，广泛产于各种类型的矿床和岩石中。规模巨大的赤铁矿矿床多与热液作用和沉积作用有关。热液矿床中的赤铁矿常与磁铁矿、石英、绿泥石、重晶石、菱铁矿、方解石等矿物共生。沉积矿床中的赤铁矿，矿石常呈鲕状、豆状、肾状等胶体形态。鲕粒成分除赤铁矿、水赤铁矿外，还有菱铁矿、鲕绿泥石、石英、黄铁矿等。产地有河北宣化宣龙式铁

矿、湖南宁乡宁乡式铁矿等。辽宁、江西等地沉积变质型铁矿床中，赤铁矿与磁铁矿、假象赤铁矿、石英、绿泥石等矿物共生。赤铁矿矿石也见于矽卡岩中，共生矿物有磁铁矿、石榴石、透辉石、金云母、阳起石以及金属硫化物等。产地有湖北大冶。

## Aa003 菱铁矿 siderite

【组成与结构】 $FeCO_3$。矿物理论成分 FeO 62.01%，$CO_2$ 37.99%。矿物中的 Fe 常被 Mg 和 Mn 类质同象代替，形成镁菱铁矿和锰菱铁矿。矿物中的 Fe 有时也被 Ca 代替。此外，有时含有 Ti、Si、Al、Ga、Zr、Co、Ba、Bi、Cd、Cu、U、P、S 等杂质。菱铁矿有显晶质及隐晶质两类。显晶质菱铁矿属三方晶系。

【物化性质】 晶体呈菱面体状、短柱状或偏三角面体状。常呈粒状、土状、致密块状集合体产出。沉积地层中的结核状菱铁矿呈球形、半球形的隐晶质偏胶体，称球菱铁矿。菱铁矿矿物新鲜面具浅灰白色或浅黄白色，有时微带浅褐色。风化后显示褐色、棕红色、黑色。玻璃光泽，隐晶质菱铁矿无光泽。透明至半透明。解理$\{10\bar{1}1\}$完全。硬度 4，相对密度 3.7～4.0，随 Mg 和 Mn 含量增高而降低。有的菱铁矿在阴极射线下显橘红色。

【功能与用途】 大量聚集时可作为铁矿石。一般工业要求，对炼铁用矿石 TFe≥50%，S≤0.3%，P≤0.25%，Zn≤0.05%～0.1%，Sn≤0.08%。需选矿石的边界品位 TFe 25%，工业品位 TFe 30%。

【鉴别特征】 显晶质菱铁矿以其受氧化后表面呈褐色，相对密度较大，折射率较高，与其他具有菱面体解理的碳酸盐矿物相区别。隐晶质菱铁矿在冷盐酸中作用缓慢，加热作用加剧，长时间作用变成黄绿色。吹管焰灼烧不熔，裂开，颜色从褐色转变成黑色，并显磁性。

【产状与产地】 菱铁矿具有沉积和热液两种成因类型。前者常产于黏土层或页岩层、煤岩层中。矿体呈层状、似层状以及扁豆体状、透镜状，产状与围岩一致。菱铁矿多具胶状、鲕状、结核状形态，与鲕状赤铁矿、鲕状绿泥石和针铁矿等矿物共生。产地有辽宁大栗子富铁矿床、河北宣化及湖南宁乡等地。热液型菱铁矿可呈单独的菱铁矿脉产出，也可与铁白云石、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、磁黄铁矿等硫化物共生。矿体呈脉状，也可交代石灰岩形成不规则的交代矿层。热液型菱铁矿见于贵州西部铁矿山、观音山、罐子窑以及西藏唐古拉山当曲卡等地，后者又被认为属火山沉积型矿床。菱铁矿在氧化带不稳定，易水解成水赤铁矿，形成“铁帽”。

## Aa004 针铁矿 goethite

【组成与结构】 $FeO \cdot OH$。矿物理论成分 $Fe_2O_3$ 89.86%，$H_2O$ 10.14%，有时混有 Mn、Al 等杂质。含有不定量吸附水的称为水针铁矿（$FeOOH \cdot nH_2O$）。针铁矿、水针铁矿和纤铁矿、水纤铁矿、更富水的氢氧化铁胶凝体、铝的氢氧化物以及含水的氧化硅、泥质等常共同产出，肉眼很难区分，统称为褐铁矿（limonite）。针铁矿属斜方晶系。

【物化性质】 针铁矿晶体沿 $c$ 轴呈针状、柱状并具纵纹或平行$\{010\}$成薄板状或鳞片状。通常呈豆状、肾状或钟乳状，切面具平行或放射状、纤维状构造。有时呈致密块状或土状，也有的呈鲕状、结核状。针铁矿颜色红褐色、暗褐色至黑色。风化后形成的粉末状、赭石状褐铁矿呈黄褐色。针铁矿条痕红褐色，褐铁矿条痕淡褐或黄褐色。金属光泽或半金属光泽。解理$\{010\}$完全，$\{100\}$中等。断口参差状。硬度 5～5.5。褐铁矿硬度 1～4。针铁矿相对密度 4～4.3，褐铁矿相对密度 3.3～4.0。针铁矿性脆。矿物溶于盐酸。

【功能与用途】 大量富集的针铁矿和褐铁矿均可作为铁矿石用于钢铁工业。药用褐铁矿结核名蛇含石，别名蛇黄，具有安神镇惊、止血定痛功效。成药制剂叫作瓜子锭。

【鉴别特征】 颜色、细小针状结晶习性、相对密度较小等可与赤铁矿区别。与水针铁矿、纤铁矿、

水纤铁矿可由 X 射线粉晶分析鉴别。

【产状与产地】 针铁矿主要形成于外生条件下，是组成褐铁矿的主要矿物成分，由含铁矿物经氧化和分解形成盐类，再经水解作用而形成，常与赤铁矿、锰的氧化物、方解石、黏土矿物等共见于“铁帽”中。内生成因的针铁矿见于热液矿床，系晚期低温热液矿物，与石英、菱铁矿等共生。区域变质过程中铁的水化物经脱水作用也可形成针铁矿。针铁矿和褐铁矿的产地有山东朱崖、安徽铜官山等地。

# Ab 锰

锰是银白色脆性金属，熔点 1244℃，沸点 2097℃，密度 7.20g/cm³。纯锰在常温下不会遭受到氧、氮、氢的侵蚀。锰不能单独构成结构材料使用。锰矿石产量的 95%用于钢铁和有色冶金工业。在钢铁工业中，锰具有脱氧、脱硫及调节作用，能阻止钢的粒缘碳化物的形成，能增加钢材的强度、硬度、耐磨性、韧性、可淬性，被用以制造高锰钢（含 Mn 7.5%～19%），如高碳高锰耐磨钢、低碳高锰不锈钢、中碳高锰无磁钢、高锰耐热钢等。在钢铁生产中尚无锰的廉价代用品，而锰却能部分或全部取代镍来生产具有特殊用途的奥氏体钢，以达到降低成本和缓解镍资源不足的矛盾。锰可与铜、镍、铝、镁等结合制造合金，能增强金属的硬度、刚性和抗腐蚀性。锰铜合金用于制造防腐器材和船舶器材。锰镍铜合金用于制造电阻丝。锰铝合金用在航天工业上。在其他工业方面锰的用途也很广泛。非冶金用锰矿石产量的近 3/4 用于生产干电池，在干电池中作消极剂，1/5 用于生产电解锰金属。在有色金属湿法冶金、氢醌（对苯二酸）生产以及铀的提炼上用做氧化剂。在陶瓷和搪瓷工业中作氧化剂和釉色。在玻璃工业中用于消除杂色和制作装饰玻璃。化学工业上生产的硫酸锰、高锰酸钾、碳酸锰、氯化锰、硝酸锰、一氧化锰等是化学试剂、医药、焊接、油漆、合成工业的重要原料。锰还是生产农肥、杀虫剂、涂料、磁性材料的原料。$MnO_2$ 可用于环保事业，用做汽车废气的净化剂以吸收废气中的 $SO_2$ 和 $H_2S$。还可用于净化工业用水和饮用水，特别适宜除去地下水中的杂质铁。锰的硅酸盐矿物——蔷薇辉石（粉翠）是一种工艺品原料。

目前，可利用的锰矿石主要是氧化锰矿石和碳酸锰矿石，冶金工业上对它们不同级别的矿石的质量有不同的要求。对于氧化锰矿石分出富锰矿石、贫锰矿石、锰铁矿石三类，其中富锰矿石和铁锰矿石又再分为三级。富锰矿石的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级矿石的边界品位分别为 Mn 35%、30%、18%，单工程平均品位分别为 Mn 40%、35%、30%，Mn/Fe≥6、4、3，$SiO_2$ 含量≤15%、25%、35%，每 1%锰允许含磷量≤0.004%、0.005%、0.006%。铁锰矿石的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ级矿石的边界品位 Mn 20%、15%、10%，单工程平均品位 Mn 25%、20%、15%，Mn+Fe≥50%、40%、30%，$SiO_2$ 含量≤25%、25%、35%，三级矿石每 1%锰允许的含磷量均≤0.2%。对贫锰矿石的边界品位要求 Mn 10%～15%，单工程平均品位 Mn 18%。对于碳酸锰矿石，其中富锰矿石要求边界品位 Mn 15%，单工程平均品位 Mn 25%，Mn/Fe≥3，$SiO_2$ 含量 25%，每 1%锰允许的含磷量≤0.005%。铁锰矿石的边界品位 10%，单工程平均品位 15%，Mn+Fe≥25%，$SiO_2$≤35%，每 1%锰允许含磷≤0.2%。贫锰矿石的边界品位 Mn 10%，单工程平均品位 Mn 15%。

自然界已知锰矿物和含锰矿物约 150 种，主要是锰的氧化物、氢氧化物和含氧酸盐的矿物。具工业意义的锰矿物有软锰矿、硬锰矿、菱锰矿、黑锰矿、褐锰矿、水锰矿、锰铅矿、锰钾矿、锰钡矿、硫锰矿等，其中最重要的是前三种矿物。

## Ab001 软锰矿 pyrolusite

晶体较大且晶形发育完好者又称黝锰矿（polianite）。

【组成与结构】 $MnO_2$，矿物理论成分 Mn 63.19%，O 36.81%。常含少量吸附水。碱金属、碱土

金属、$Fe_2O_3$、$SiO_2$ 等可能作为机械混入物存在。矿物通常 $MnO_2$ 含量约 90%～98%。软锰矿属四方晶系，结构属金红石型。$MnO_2$ 有三种变体——$\alpha$-$MnO_2$、$\beta$-$MnO_2$、$\gamma$-$MnO_2$。$\alpha$-$MnO_2$ 变体只有当引入大半径的附加阳离子 K、Na、Ba、Pb 等的情况下结构才稳定，此时形成四方晶系的锰钾矿、锰钠矿和单斜晶系的锰铅矿、锰钡矿。$\beta$-$MnO_2$ 变体构成软锰矿。$\gamma$-$MnO_2$ 变体构成斜方晶系的兰姆斯德矿（斜方软锰矿）。

【物化性质】 晶体平行 $c$ 轴成柱状或近等轴状，但少见。有时呈针状、棒状、放射状集合体，也有的呈土状或烟灰状。颜色钢灰色至黑色，表面常带浅蓝的金属青色。条痕蓝黑至黑色，其他锰的氧化物常具褐色至褐黑色条痕。半金属光泽。不透明。解理{110}完全。断口不平坦。硬度随形态和结晶程度不同而异，显晶质软锰矿硬度 6～6.5，隐晶质软锰或块状集合体硬度可降到 1～2。能污手。相对密度 4.7～5.0。性脆。矿物缓慢地溶于盐酸，放出氯气，溶液显淡绿色。加 $H_2O_2$ 剧烈起泡。有锰的珠球反应。

【鉴别特征】 软锰矿以其晶形、解理、条痕和硬度可与其他黑色锰矿物相区别。硬锰矿和锰土粉末在 1∶1 硫酸溶液中煮沸时，溶液呈现玫瑰色至紫红色，软锰矿不显这种颜色。

【产状与产地】 软锰矿作为高价锰的氧化物在热液矿床中比较少见，主要见于滨海相的沉积锰矿床和风化矿床中。在沉积锰矿床中，在近海岸的浅水带，氧化电位高，形成高价锰矿物，主要是软锰矿和硬锰矿。距海岸较远，除高价锰矿物外还出现水锰矿。再往深处，随着环境氧化电位降低开始形成二价锰的碳酸盐，如菱锰矿、锰方解石等。沉积锰矿矿体通常呈层状、似层状产出。在矿床氧化带和岩石风化壳，可形成风化成因的“锰帽”，主要矿物有软锰矿、硬锰矿、褐铁矿等。低价锰矿物在氧化带可变为氧化条件下最稳定的软锰矿。软锰矿产地有广西桂平木圭，该矿床为典型的风化锰矿床。云南蒙自鸡街、云南建水白显等地锰矿床中产出的软锰矿可能兼有沉积及风化两种成因。

## Ab002 硬锰矿 psilomelane

狭义的硬锰为一个矿物种，有其独特的成分、结构和物理性质，在自然界分布并不广泛。通常所谓的硬锰矿指的是广义硬锰矿，是一种细分散的多矿物集合体，主要为含多种元素的锰的氧化物和氢氧化物，化学式一般以 $mMnO \cdot MnO_2 \cdot 2H_2O$ 表示，在形态上往往具有由胶体形成的葡萄状、钟乳状、肾状等特点。下面只描述狭义硬锰矿。

【组成与结构】 $BaMn^{2+}Mn_8^{4+}O_{20} \cdot 3H_2O$。化学组成中 $Mn^{4+}$ 可被 $Mn^{2+}$ 代替，$Mn^{4+}$ ∶ $Mn^{2+}$ 达 9∶1。$Mn^{4+}$ 也可被 $W^{6+}$、$Fe^{3+}$、$Al^{3+}$、$V^{5+}$ 所代替，$Mn^{2+}$ 可被 $Mg^{2+}$、$Co^{2+}$、Cu 代替。Ba 可被 Ca、U、Sr、Na 代替。被代替的 Ba 有时可高达 70%。硬锰矿含 $MnO_2$ 60%～85%，MnO 0～7.46%。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 晶体少见，通常呈葡萄状、肾状、皮壳状、钟乳状或土状，有时呈致密块状和树枝状。颜色黑色至暗钢灰色。条痕褐色至黑色。半金属光泽，土状矿物呈土状光泽或无光泽。不透明。硬度 4.6。相对密度 4.7。矿物溶于盐酸并放出氯。闭管中析出水和氧。

【鉴别特征】 胶体形态、黑色、硬度大，加 $H_2O_2$ 剧烈起泡放出大量氧气可与类似的黑色矿物相区别。珠球试验氧化焰中呈紫色。

【产状与产地】 硬锰矿为典型的表生矿物，常由锰的碳酸盐或硅酸盐经风化作用形成。矿体形态多种多样，有似层状、透镜状、囊状及不规则状等。广西桂平木圭锰矿床中硬锰矿与软锰矿、褐铁矿、黏土、燧石等共生。硬锰矿也见于海相、湖相沉积层中。

## Ab003 菱锰矿 rhodochrosite

【组成与结构】 $MnCO_3$。矿物理论成分 MnO 61.71%，$CO_2$ 38.29%。$MnCO_3$ 与 $FeCO_3$、$CaCO_3$、$ZnCO_3$ 可构成完全类质同象系列。天然菱锰矿常含 Fe（达 26.18%）、Ca（达 8%）、Zn（达

14.88%)、Mg（达 12.98%），分别称为铁菱锰矿、钙菱锰矿、锌菱锰矿。此外，矿物中有时含有少量 Cd、Co 等。菱锰矿属三方晶系。

【物化性质】 晶体呈菱面体状、厚板状，晶面弯曲，多出现于热液脉空隙中，但不常见。主要单形有菱面体 $\{10\bar{1}1\}$、$\{01\bar{1}2\}$，有时出现六方柱$\{11\bar{2}0\}$、平行双面$\{0001\}$。热液成因的菱锰矿多呈显晶质，粒状或柱状集合体。沉积成因菱锰矿多呈隐晶质，结核状、鲕状、肾状、土状等集合体。矿物颜色淡玫瑰色或淡紫红色，随 Ca 含量增高颜色变浅。当 Fe 代替 Mn 时变为黄色或褐色。菱锰矿的致密块体呈白色、黄色、灰白色、褐黄色。氧化菱锰矿表面显褐黑色。玻璃光泽。解理$\{10\bar{1}1\}$完全。硬度 3.5～4.5。相对密度 3.6～3.7。性脆。冷盐酸作用缓慢，加热作用加剧。

【鉴别特征】 玫瑰红色，较低的硬度，氧化后矿物表面显褐黑色与其他玫瑰色矿物区别。致密块状矿物往往要通过化学反应、差热分析、X 射线分析及光性等来鉴别。

【产状与产地】 菱锰矿在热液、沉积及变质条件下均能形成，但以外生沉积作用形成的为主。辽宁朝阳瓦房子海相沉积型铁锰矿床，矿体呈矿饼群产出，单个矿饼一般呈透镜状，有的呈马铃薯状。铁菱锰矿是碳酸盐矿石相的主要矿物，与菱锰矿、水锰矿、赤铁矿、绿泥石、石英、黄铁矿等共生。贵州遵义锰矿床，矿体呈似层状、透镜状沿层产出。锰矿物及含锰矿物见有菱锰矿、钙菱锰矿、硫锰矿、水锰矿、锰方解石、锰白云石，伴生矿物有水云母、高岭石等黏土矿物以及黄铁矿、菱铁矿、石英、白云石等。赣南一些内生钨铍矿床中，菱面体发育的菱锰矿晶体与萤石、方解石等共见于矿脉的晶洞中。

## Ab004　黑锰矿　hausmanite

【组成与结构】 $Mn^{2+}Mn_2^{3+}O_4$。化学组成中 $Mn^{2+}$ 和 $Mn^{3+}$ 呈有限类质同象代替。$Zn^{2+}$ 可替代 $Mn^{2+}$ 达 8.6%，称为锌黑锰矿。$Fe^{3+}$ 可代替 $Mn^{3+}$ 达 4.3%，称为铁黑锰矿。一个黑锰矿的化学分析资料：MnO 92.10%，O 6.93%，BaO 0.11%，$H_2O$ 0.73%，不溶物 0.15%，总计 100.02%。黑锰矿属四方晶系。

【物化性质】 晶体呈四方双锥形，有的为柱面发育的四方双锥，但晶体少见，经常呈粒状集合体产出。颜色棕黑色。条痕棕色。半金属光泽。极薄片透明。解理$\{001\}$完全，$\{112\}$、$\{011\}$不完全。硬度 6。相对密度 4.8。性脆 。不具磁性。吹管焰下不熔。溶于盐酸并析出氯。

【产状与产地】 黑锰矿为典型的高温热液和接触交代作用矿物，与磁铁矿相似，是在较为还原条件下形成的，与锰橄榄石、锰石榴石、方锰矿、菱锰矿等共生。脉石矿物主要为重晶石。黑锰矿也产于区域变质的沉积锰矿床中，与褐锰矿、软锰矿、磁铁矿及其他铁、锰无水氧化物共生。辽宁朝阳瓦房子锰矿矿体见于安山斑岩及角闪玢岩侵入体附近，呈透镜状产出，黑锰矿与硬锰矿、褐锰矿等共生。湖北应山熊家口、黄陂团山沟一带赋存黑锰矿的锰矿床属沉积变质锰矿类型。矿体见于白云质大理岩、大理岩中，呈似层状、透镜状产出。黑锰矿与菱锰矿、软锰矿、硬锰矿、磁铁矿、方解石等共生。

## Ab005　褐锰矿　braunite

【组成与结构】 $Mn^{2+}Mn_6^{3+}SiO_2$。组成中 $Mn^{2+}$ 可为 $Ca^{2+}$ 和 $Fe^{2+}$ 代替，代替量分别可达 4.3% 和 3.8%，前者称为钙褐锰矿，后者称为 $Fe^{2+}$ 褐锰矿。$Mn^{3+}$ 为 $Fe^{3+}$ 代替，代替量可达 17.9%，称为 $Fe^{3+}$ 褐锰矿。此外，矿物有时含有 Ba 和 Mg 等。褐锰矿属四方晶系。

【物化性质】 晶体为四方偏三角面体，但晶体少见，经常呈粒状集合体产出。颜色及条痕为棕黑色至钢灰色。半金属光泽。解理$\{112\}$完全。断口不平坦至半贝壳状。硬度 6～6.5。相对密度 4.72～4.83。弱磁性。吹管焰下不熔。溶于盐酸并析出氯。

【产状与产地】 褐锰矿在区域变质的沉积锰矿中分布甚广。新疆维吾尔自治区和静县莫托沙拉锰铁

矿床赋存于石炭系含锰铁砂岩中，锰矿层呈层状、似层状。褐锰矿呈微粒集合体细脉穿切含锰砂岩，与菱锰矿、黑锰矿、硬锰矿、赤铁矿、石英、重晶石、方解石等共生或伴生。辽宁朝阳瓦房子矿床中的褐锰矿，由矿床经接触变质作用形成，与铁锰石榴石、热臭石、黑镁铁锰矿等共同产出。此外，湖北黄陂团山沟锰矿床中的褐锰矿与硬锰矿、软锰矿、菱锰矿、磷灰石等共同产出。

## Ab006 水锰矿 mangenite

【组成与结构】 $MnO \cdot OH$。矿物理论成分 MnO 40.4%，$MnO_2$ 49.4%，$H_2O$ 10.2%。混入物有 $SiO_2$、$Fe_2O_3$、$Al_2O_3$、CaO 等。水锰矿属单斜晶系。

【物化性质】 晶体常呈沿 $c$ 轴延长的柱状，柱面具纵纹。内蒙古产水锰矿呈纤维毛发状。常见单形有平行双面{001}、{101}、斜方柱{110}。热液矿床晶洞中可见到柱状晶簇。双晶面依{011}呈接触双晶或穿插双晶，并常成聚片双晶。沉积矿床中水锰矿多呈隐晶质集合体，有的呈鲕状、钟乳状。颜色暗钢灰至铁黑色。条痕红棕色。半金属光泽。近于不透明。解理{010}完全，{110}及{001}中等。断口不平坦状。硬度 3.5～4。相对密度 4.2～4.33。性脆。矿物溶于盐酸并放出氯气。

【鉴别特征】 水锰矿常与软锰矿、硬锰矿、黑锰矿、褐锰矿等共同产出，以其条痕红棕色，在试管中灼烧生水可以区别。准确鉴别需借助光性及差热分析。

【产状与产地】 水锰矿以外生为主，形成于氧不足的条件下，呈鲕状或致密块体大量出现于沉积锰矿床中。水锰矿见于云南斗南锰矿床。该矿床为一氧化锰-碳酸锰海相沉积矿床，矿体呈层状，水锰矿与褐锰矿、钙菱锰矿、硬锰矿、锰方解石等共同产出。热液成因的水锰矿常呈柱状晶簇见于热液锰矿床中，与重晶石、方解石等共生。水锰矿在氧化带不稳定，易于氧化变成软锰矿。

## Ab007 锰铅矿 coronadite

【别名】 铅硬锰矿。

【组成与结构】 $PbMn^{2+}Mn_7^{4+}O_{16}$。矿物理论成分 PbO 24.73%、MnO 7.86%、$MnO_2$ 67.41%。成分中 B 可以代替 Pb，Mn 可被 Fe、Al 等代替。此外，还有少量 Zn、Cu、Mo 等混入，氧部分被 OH 代替。江西产出的锰铅矿含 $MnO_2$ 52.38%，MnO 0.18%，PbO 26.64%，ZnO 1.57%，CuO 1.08%，$Al_2O_3$ 2.71%，$Fe_2O_3$ 5.86%，$H_2O$ 4.27%，$SiO_2$ 5.95%。锰铅矿属四方晶系。

【物化性质】 锰铅矿为四方双锥状晶体，但通常呈块状、纤维状、葡萄状或肾状集合体产出。颜色暗灰色至黑色。条痕褐黑色。不透明。半金属光泽或光泽暗淡。硬度 4.5～5。相对密度 4.87～5.44。性脆。具电磁性。

【鉴别特征】 锰铅矿肉眼不易识别，只是其相对密度较其他锰矿物略大，需借助成分分析区别。

【产状与产地】 锰铅矿多见于氧化带矿石中。湖南道县后江桥铁锰矿床，矿体呈似层状、透镜状、脉状产出。锰铅矿见于矿床氧化带，与硬锰矿、软锰矿、赤铁矿、褐铁矿、方铅矿、白云石、方解石等共同产出。

## Ab008 锰钡矿 hollandite

【别名】 钡硬锰矿。

【组成与结构】 $BaMn^{2+}Mn_7^{4+}O_{16}$。矿物理论成分 BaO 18.42%，MnO 8.51%，$MnO_2$ 73.07%。成分中 Ba 可被 Pb、K 和 Na 代替，Mn 可被 Fe、Al 等代替。印度石英脉中产出的锰钡矿含 BaO 17.59%，MnO 5.12%，$MnO_2$ 65.63%，$Fe_2O_3$ 10.56%，$Al_2O_3$ 0.94%。锰钡矿属四方晶系。锰钡矿的单斜变体称为斜锰钡矿。

【物化性质】 锰钡矿为四方双锥状晶体。单体呈短柱状，顶端具有扁平的锥面。较常见单形有四方柱{110}、{100}及四方双锥等。集合体呈块状、纤维状、粒状或放射状等。颜色亮灰色、灰黑色至

黑色。条痕黑色。半金属光泽至金属光泽。解理{110}，晶体较大时还可见{001}解理。磨光时{110}面容易破碎，磨光性较其他面差。断口参差状。硬度 6。相对密度 4.95。性脆。

【鉴别特征】 放射状晶体易与黑锰矿和褐锰矿相混，外观与水锰矿相似，需借助 X 射线粉晶分析鉴别。

【产状与产地】 锰钡矿见于印度切割锰矿体的石英脉中。

### Ab009 锰钾矿 cryptomelane

【别名】 隐钾锰矿。

【组成与结构】 $K_2Mn^{2+}Mn_7^{4+}O_{16}$。矿物理论成分 $K_2O$ 12.17%，MnO 9.17%，$MnO_2$ 78.66%。矿物中 K 能被 Na 和 Ba 等代替，被 Na 代替的称为锰钠矿。$Mn^{4+}$ 可被 $Mn^{2+}$、Fe、Co、Cu、Zn 等代替。锰钾矿中的 K 原子数常不足 2，甚至只到 1。O 能被 OH 代替。在晶体结构的孔道中还能进入水分子。美国蒙大拿州细粒状锰钾矿含 $K_2O$ 3.10%，MnO 2.49%，$MnO_2$ 87.09%，$Na_2O$ 0.48%，ZnO 1.69%，Co 0.08%，MgO 0.07%，$H_2O$ 4.18%，$Al_2O_3$ 0.39%，$Fe_2O_3$ 0.19%，$SiO_2$ 0.18%。锰钾矿属四方晶系。锰钾矿的单斜变体称斜锰钾矿。

【物化性质】 锰钾矿为四方双锥状晶体，单体呈柱状，但少见，通常为块状、葡萄状、钟乳状或放射状、纤维状集合体。新鲜面钢灰至蓝灰色，风化后呈暗黑色。条痕褐黑色。硬度 6～7，块状或纤维状集合体硬度很低，甚至低到 1。相对密度 4.17～4.78。

【产状与产地】 锰钾矿多由原生锰矿层或含锰岩石经风化淋滤形成。含锰钾矿的锰矿体呈似层状、扁豆体状、囊状、细脉状及不规则形状见于风化岩石中，有的也见于残积层或裂隙溶洞中。矿体的主要锰矿物有软锰矿、硬锰矿以及褐铁矿等。锰钾矿国内产地有广西宜山、钦州大直等。

### Ab010 硫锰矿 alabandite

【组成与结构】 MnS。矿物理论成分 Mn 63.14%，S 36.86%。成分中常混入有 Fe、Mg 等类质同象杂质。湖南宁乡硫锰矿含 Mn 55.69%，S 37.56%，Fe 2.95%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 硫锰矿属六八面体晶类。晶体常见单形有立方体{100}、八面体{111}、菱形十二面体{110}等。依（111）成双晶，有时呈复合双晶。集合体为粒状或块状。颜色钢灰色至铁黑色，风化面为褐色。条痕暗绿色。半金属光泽。解理{100}完全。断口不平坦。硬度 3.5～4。相对密度 3.9～4.1。性脆。

【产状与产地】 硫锰矿多产富锰热液矿床中，常与闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、菱锰矿、蔷薇辉石、方解石等共生。湖南宁乡掌甘山菱锰矿-硫锰矿矿床，矿体呈矿饼状、透镜状产出，硫锰矿与菱锰矿、锰石榴石、锰闪石、方铅矿、闪锌矿等以及白云石、石英等共同产出。掌甘山矿床位于花岗岩基附近，被认为具海相沉积-岩浆热液-接触变质成因。

## Ac 铬

铬是银白色金属，具延展性，熔点 1890℃，沸点 2482℃，密度 7.20g/cm³。铬金属具有硬质耐磨、耐热和耐腐蚀能特性。铬矿石被广泛用于冶金、耐火材料和化学工业中。

在冶金工业中，铬矿石主要用于冶炼铬铁合金和金属铬。铬铁合金按含碳量可分为高碳铬铁、中碳铬铁、低碳铬铁和微碳铬铁，可作为钢的添加料生产各种合金钢，如高强度结构钢、耐酸钢、不锈钢、耐热钢、工具钢等。铬合金钢广泛用于机械、航空、汽车、造船和国防部门，如在军事工业中不仅用于制造潜水艇、航空母舰等舰艇的船体和甲板，而且是火箭、导弹和枪炮不可缺少的材料。金属铬能与镍、铜、钨、铝、钛等一起冶炼超级合金，用于飞机、宇航、原子能以及石油化工和冶金工业中。用碳还原氧化铬制得的碳化铬可用于制备耐化学腐蚀及耐热的金属陶瓷合金，也可制备切割及镶焊用的硬质合金。

在耐火材料工业中，用铬铁矿制造的铬镁砖、铬砖、高级耐火材料及其他特殊耐火材料，广泛用于各种熔炉的炉衬。铬矿石在辉绿岩铸石制造中可作为结晶剂。铸石制品具有高度的耐磨性和耐腐蚀性能，在许多工业部门可代替钢材、合金材料以及橡胶等。在化学工业中用铬铁矿生产的铬合物和重铬酸盐，主要用于电镀、颜料、染料、制革、木材防腐、催化剂等。铬的放射性同位素已在医学上得到利用。

不同工业部门对铬矿石有不同的品位或质量要求。大体上，冶金工业对原生矿富矿的要求为边界品位 $Cr_2O_3$≥25%，工业品位 $Cr_2O_3$≥32%，有害杂质元素允许含量 $SiO_2$≤10%，P≤0.07%，S≤0.05%。对原生贫矿要求边界品位 $Cr_2O_3$≥5%～8%，工业品位 $Cr_2O_3$ 8%～10%。对于砂矿边界品位要求为 $Cr_2O_3$≥1.5%，工业品位 $Cr_2O_3$ 3%。对铬铁合金用富矿要求为 $Cr_2O_3$≥32%～50%，$Cr_2O_3/FeO$ 2.5～3，P<0.03%～0.07%，S<0.05%，$SiO_2$<1.2%～8%。耐火材料工业对铬铁矿矿石质量的要求为Ⅰ级矿石 $Cr_2O_3$≥35%，$SiO_2$≤8%，CaO≤2%，Ⅱ级矿石 $Cr_2O_3$≥32%，$SiO_2$≤11%，CaO≤3%。化学工业对制铬盐用的铬铁矿矿石的质量要求为 $Cr_2O_3$≥30%，$Cr_2O_3/FeO$≥2～2.5，$SiO_2$ 少量。辉绿岩铸石对铬铁矿矿石的质量要求为 $Cr_2O_3$>10%～20%，$SiO_2$<10%。

自然界铬具亲氧性和亲铁性，属亲石元素。目前已发现的铬矿物和含铬矿物近 30 种，可分为铬的氧化物、氢氧化物、硫化物、铬酸盐及硅酸盐几类。其中氧化物类的铬铁矿族矿物是铬的主要工业矿物，其次有同属于尖晶石大类的铬尖晶石。尖晶石类矿物结构上均属等轴晶系，它们的化学通式为 $nRO \cdot mR_2O_3$，其中二价金属元素有镁、铁、锰、镍、钴、锌，三价元素是铝、铬、铁、锰等。各组元素彼此间存在广泛的类质同象代替，而且一组元素间的类质同象代替常伴同另一组元素的类质同象代替。因而该类矿物的化学组成变化很大。在铬铁矿族矿物中，由于铁、镁、铝、铬等的相互代替，又可进一步分出铁铬铁矿、镁铬铁矿、铁镁铬铁矿、镁铁铬铁矿和铝铬铁矿。对于铬尖晶石又可分出镁铬尖晶石及铁铬尖晶石等。

## Ac001 铬铁矿 chromite

【别名】 铁铬铁矿 ferrochromite。

【组成与结构】 尖晶石类矿物中铁铬铁矿（$FeCr_2O_4$）、镁铬铁矿（$MgCr_2O_4$）及铁尖晶石（$FeAl_2O_4$）间可形成完全类质同象系列，因此地壳内通常产出被习惯称呼的铬铁矿实际上为上述类质同象系列的中间成分，化学式可表示为 $(Fe^{2+}, Mg^{2+})(Cr^{3+}, Al^{3+}, Fe^{3+})_2O_4$。有时人们也统称铬铁矿族矿物为铬铁矿。

铁铬铁矿的化学式为 $FeCr_2O_4$，矿物理论成分 FeO 32.09%，$Cr_2O_3$ 67.91%。江苏超基性岩中产出的铁铬铁矿含 $Cr_2O_3$ 48.20%、$Fe_2O_3$ 17.31%、FeO 20.14%、$Al_2O_3$ 8.49%、MgO 4.15%、MnO 0.55%、CaO 0.01%、$TiO_2$ 1.15%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 铁铬铁矿晶体呈八面体晶形，但少见，多呈粒状或致密块状集合体。颜色暗棕色至铁黑色。条痕棕色或褐色。半金属光泽。不透明。无解理。硬度 5.5。相对密度 5.09。具弱磁性。

【鉴别特征】 铁铬铁矿或铬铁矿易与磁铁矿相混，前者以具暗棕色至黑色颜色，条痕褐色弱磁性及产状等区别。磁铁矿具黑色条痕，强磁性。

【产状与产地】 铁铬铁矿主要产于基性超基性岩中，与橄榄石、斜方辉石、铬石榴石、尖晶石、钛磁铁矿、铂族矿物等共生。铁铬铁矿除产于国内的纯橄榄岩及斜方辉橄榄岩中的外，还见于铁陨石中。

## Ac002 镁铬铁矿 magnesiochromite

【组成与结构】 $MgCr_2O_4$。矿物理论成分 MgO 20.96%、$Cr_2O_3$ 79.04%。镁铬铁矿的化学组成中 $Fe^{2+}$ 代替 $Mg^{2+}$ 的数量不超过 1/4。镁铬铁矿可通过熔融镁和铬的氧化物人工合成，并证明 $MgCr_2O_4$ 和 $MgAl_2O_4$ 在温度 510℃时呈完全固溶体。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 八面体晶形，通常呈粒状集合体。颜色黑色，薄片棕色到棕黑色。相对密度 4.43。具极弱磁性。

【产状与产地】 镁铬铁矿产富镁贫铁的超基性岩中，较少见。

## Ac003 铁镁铬铁矿和镁铁铬铁矿 magnesioferrochromite and ferromagnesiochromite

【组成与结构】 铁镁铬铁矿和镁铁铬铁矿的矿物化学式表示为 $(Mg,Fe)Cr_2O_4$ 和 $(Fe、Mg)Cr_2O_4$，它们是上述铬铁矿化学式。$(Fe^{2+}，Mg^{2+})(Cr^{3+}，Al^{3+}，Fe^{3+})_2O_4$ 中 $Al^{3+}$、$Fe^{3+}$ 含量相对不足，$Fe^{2+}$、$Mg^{2+}$ 含量互有消长的两个矿物亚种。陕西楼房沟一矿群超基性岩中浸染状铁镁铬铁矿的化学成分为：$Cr_2O_3$ 61.28%、$Al_2O_3$ 8.42%、$Fe_2O_3$ 2.61%、FeO 15.18%、MnO 0.41%、NiO 0.05%、CoO 0.06%、MgO 11.51%、CaO 0.13%、$SiO_2$ 0.08%、$TiO_2$ 0.06%、$H_2O^+$ 0.04%。江苏超基性岩中产出的镁铁铬铁矿的化学成分为：$Cr_2O_3$ 47.27%、$Al_2O_3$ 7.21%、$Fe_2O_3$ 17.16%、FeO 20.58%、MnO 0.48%、MgO 4.88%、CaO 0.63%、$TiO_2$ 1.79%。矿物均属等轴晶系。

【物化性质】 有时具八面体外形，但多呈粒状集合体产出。颜色黑色，薄片棕红至棕黑色。半透明，随 $Fe^{3+}$ 和 $Fe^{2+}$ 代替量增高渐变为不透明。半金属光泽至金属光泽。具极弱磁性。硬度≥5.5。上述江苏镁铁铬铁矿的实测相对密度 4.685。

【产状与产地】 两种矿物主要产基性超基性岩中，在纯橄榄岩、橄榄岩、斜方辉橄榄岩中呈副矿物或矿石矿物，是铬铁矿族的主要矿石矿物。矿体呈豆荚状、似层状、透镜状。共生和伴生矿物有橄榄石、斜方辉石、单斜辉石、铬石榴石、铬绿泥石、尖晶石以及磁黄铁矿、镍黄铁矿、钛铁矿等。矿物产地有西藏罗布莎、陕西松树沟、河北高寺台等地。

## Ac004 铝铬铁矿 aluminochromite

【组成与结构】 铝铬铁矿的化学式可用通常铬铁矿的化学式来表示：$(MgFe)(CrAl)_2O_4$，惟矿物富铝，三价阳离子中 $Al^{3+}$ 大量代替 $Cr^{3+}$，但不能超过 1/2，如大于 1/2 将为镁铬尖晶石。俄罗斯肯皮尔赛岩体产出的铝铬铁矿含 $Cr_2O_3$ 45.62%、$Al_2O_3$ 21.84%、$Fe_2O_3$ 3.96%、FeO 12.23%、MnO 0.17%、NiO 0.11%、MgO 15.30%、$SiO_2$ 0.37%、$TiO_2$ 0.43%、$Na_2O$ 0.08%、$K_2O$ 0.08%、$V_2O_5$ 0.17%、$P_2O_5$ 0.03%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 八面体晶形，通常呈粒状集合体。颜色黑色，薄片半透明、棕红至棕黑色。半金属光泽。硬度>5.5。相对密度 4.19～4.45。

【产状与产地】 铝铬铁矿产富铝的超基性岩中，如斜方辉橄榄岩、二辉橄榄岩，呈副矿物或矿石矿物产出。内蒙古索伦山矿床低辉、方辉橄榄岩中的铝铬铁矿与橄榄石、斜方辉石、透辉石等共生。

## Ac005 镁铬尖晶石 magnesiopicotite

【别名】 硬铬尖晶石 crompicotite

【组成与结构】 化学式 $(MgFe)(AlCr)_2O_4$，为尖晶石 $(MgAl_2O_4)$ 中 $Mg^{2+}$ 被 $Fe^{2+}$ 代替，$Al^{3+}$ 被 $Cr^{3+}$ 代替的一个尖晶石类矿物亚种。此时 Cr 代替 Al 的数量（原子数）应大于 1/3。俄罗斯肯皮尔赛橄榄岩中的镁铬尖晶石含 $Cr_2O_3$ 32.67%、$Al_2O_3$ 32.82%、$Fe_2O_3$ 4.20%、FeO 11.60%、MnO 0.13%、MgO 16.62%、NiO 0.08%、CaO 0.10%、$Na_2O$ 0.17%、$K_2O$ 0.05%、$SiO_2$ 1.47%、$TiO_2$ 0.52%、$V_2O_5$ 0.07%、$P_2O_5$ 0.04%，总计 100.54%。

【物化性质】 镁铬尖晶石常呈八面体晶形，有时为八面体与菱形十二面体和立方体的聚形。常依(111)为双晶面和接合面构成双晶。颜色多呈铁黑色，边缘透棕褐色光。条痕黑褐色。玻璃光泽。贝状断口。性脆。硬度 5.5～7.5。相对密度 4.2～4.8。

【产状与产地】 镁铬尖晶石产橄榄岩、斜方辉橄榄岩等超基性岩中，呈副矿物产出，当其富集时也

构成有经济价值的铬矿体。最常见的共生矿物是橄榄石、斜方辉石以及铬铁矿族矿物。镁铬尖晶石在金伯利岩及煌斑岩中也有产出。我国云南煌斑岩中产出的镁铬尖晶石与镁铝榴石共生。西藏罗布莎、内蒙古索伦山等地超基性岩中也有镁铬尖晶石产出。

# Ad 钛

钛是银白色金属，熔点 1675℃，沸点 3260℃，密度 4.5g/cm³。

钛矿原料最主要的用途是制造钛白颜料，占世界钛矿物年产量的 90%以上。钛白即 $TiO_2$，是现代工业广泛使用的白色颜料。它在涂料、造纸和塑料中作浅色颜料及高级填料，约占钛总消费量的 85%以上。此外，钛白还用做化学纤维的消光剂，白色或浅色橡胶制品的填料，石油化工的催化剂，以及用于油墨、陶瓷、玻璃、电焊条、冶金、电工、人造宝石和新兴材料等工业部门。

钛矿物原料的另一种主要用途是制造海绵钛，约占世界钛矿物年产量的 5%。海绵钛是生产钛金属的中间产品。钛及钛合金具有密度低、强度高、耐低温、耐腐蚀、无毒等优良性能，并具有吸收气体、超导等特殊功能。钛和钛合金是制造现代超音速飞机、火箭、导弹和航天飞机不可缺少的材料。

钛在钢铁工业中用做炼钢的脱氧剂和脱氮剂，冶炼含钛合金钢、钛铁合金和硬质合金。在航天工业中用于制造喷气发动机、卫星飞机构架和宇宙飞船。在火箭导弹中用于制造燃料、氧化剂储箱和高压容器。在军事工业中用于制枪炮的座板和发射管等。20 世纪 60 年代以后新发展的用途主要包括制造医疗器械（如人造骨节、体外内脏等）、超导材料（如钛、铌各占 50%的超导体合金材料）、深海潜艇、快艇、扫雷艇的重要部件。在石油化学工业中制造耐腐蚀容器等。在电器工业中用于制造弧光灯，如钛盐用于探照灯，在真空电器中用做吸气剂等。

钛在地壳中的丰度高，具强烈亲氧性，属亲石元素，其含量与岩石的基性程度有关，越是基性岩石，钛含量越高。目前，自然界已发现的 $TiO_2$ 含量在 1%以上的钛矿物有 100 多种。工业上得到利用的矿物有钛铁矿、金红石、钛磁铁矿或钒钛磁铁矿、含铌钽的钛酸盐矿物以及白钛石等。其中最为重要的是钛铁矿、金红石和钛磁铁矿。含铌钽的钛酸盐矿物的特征在有关铌、钽章节中描述。

大体上，工业上对原生金红石矿的质量要求为：边界品位 $TiO_2$ 1%，工业品位 1.5%。对砂矿的要求为：金红石边界品位≥1 kg/m³，工业品位≥2 km/m³；钛铁矿的边界品位≥10 kg/m³，工业品位≥15 kg/m³。

## Ad001 钛铁矿 ilmenite

【组成与结构】 $FeTiO_3$，矿物理论成分 FeO 47.36%、$TiO_2$ 52.64%。矿物中 $Fe^{2+}$ 与 $Mg^{2+}$、$Mn^{2+}$ 间可完全类质同象代替，形成 $FeTiO_3$-$MgTiO_3$ 或 $FeTiO_3$-$MnTiO_3$ 系列。系列中以 FeO 为主的称钛铁矿，以 MgO 为主的称镁钛矿，以 MnO 为主的称红钛锰矿。除 Mg、Mn 外，Nb、Ta 有时也类质同象进入钛铁矿中。

在 960℃以上的高温条件下，$FeTiO_3$-$Fe_2O_3$ 可形成完全固溶体。随温度下降，在约 600℃左右，$FeTiO_3$-$Fe_2O_3$ 固溶体分解，在钛铁矿中析出定向排列的片状赤铁矿晶体。

钛铁矿的化学成分与形成条件有关。产于超基性岩、基性岩中的钛铁矿，MgO 含量较高，基本不含 Nb Ta。碱性岩及有关的岩脉中的钛铁矿 MnO 含量较高并含 Nb Ta。酸性岩及关岩脉中的钛铁矿 FeO、MnO 含量均高，Nb Ta 含量也高。四川太和辉长岩中产出的钛铁矿含 $TiO_2$ 49.29%、$Fe_2O_3$ 6.98%、FeO 40.27%、MnO 0.60%、MgO 1.87%、CaO 0.44%、NiO 0.03%、CoO 0.003%、$P_2O_5$ 0.028%、$H_2O$ 0.20%，总计 99.71%。

“阿波罗-11”登月舱采回的月球岩石中的钛铁矿含 $TiO_2$ 52.90%、$Al_2O_3$ 0.14%、FeO

45.80%、MnO 0.37%、MgO 0.93%，总计 100.14%。钛铁矿属三方晶系。

【物化性质】 钛铁矿晶体为菱面体，但完整晶形极少见，常呈不规则粒状、鳞片状、厚板状。主要单形有平行双面 {0001}、菱面 $\{10\bar{1}1\}$、$\{02\bar{2}1\}$、$\{4\bar{2}\bar{2}3\}$、六方柱 $\{10\bar{1}0\}$。多呈自形至它形晶粒散布于其他矿物颗粒间，或呈定向片晶存在于钛磁铁矿、钛赤铁矿、钛普通辉石、钛角闪石等矿物中，为固溶体分离产物。偶尔见到依（$10\bar{1}1$）和（0001）形成的双晶，与榍石、磁铁矿、刚玉连生的现象较常见。颜色铁黑色至钢灰色。条痕钢灰色或黑色，含赤铁矿包裹体时呈褐色或褐红色。半金属光泽至金属光泽。不透明。无解理。有时出现 $\{10\bar{1}1\}$ 或 {0001} 裂开。贝状至亚贝状断口。性脆。硬度 5～6.5。相对密度 4.79。具弱磁性。

【功能与用途】 钛铁矿是取得钛的主要来源。

【鉴别特征】 根据晶形、条痕、弱磁性可与磁铁矿或赤铁矿区别。将钛铁矿粉末溶于磷酸后，冷却稀释，加入 $Na_2O_2$ 或 $H_2O_2$，溶液呈黄褐色或橙红色，示 Ti 的反应。

【产状与产地】 钛铁矿在自然界分布很广，尤其常见于基性岩、酸性岩以及砂矿中。四川攀枝花、红格等地辉长岩、辉石岩中产出的钛铁矿呈粒状或片状赋存于钛磁铁矿等矿物的颗粒间，与钛磁铁矿、橄榄石、钛普通辉石、斜长石，以及磁黄铁矿等硫化物共生。广西贺县产于花岗岩中的钛铁矿，与榍石、角闪石、黑云母、褐帘石等共生。我国东南沿海，尤其广东、海南海岸带常产出钛铁矿滨海砂矿。钛铁矿具有极好的浑圆度，呈铁饼状，与锆石、金红石、白钛石、板钛矿、赤铁矿等伴生。

## Ad002 金红石 rutile

$TiO_2$ 具有三种同质多象变体，即金红石、板钛矿（brookite）和锐钛矿（anatase）。三种变体在自然界的稳定性递减。金红石分布最广，锐钛矿较少见。

【组成与结构】 矿物化学式 $TiO_2$，理论成分 $TiO_2$ 100%或 Ti 60%，O 40%。常含 $Fe^{2+}$、$Fe^{3+}$、$Sn^{4+}$、$Nb^{5+}$、$Ta^{5+}$ 等类质同象混入物，有时含 $Cr^{3+}$ 或 $V^{3+}$。富 Fe 的黑色亚种称为铁金红石。富含 Nb Ta 的金红石，其中 Nb＞Ta 者称铌金红石，Ta＞Nb 者称钽金红石。辽宁产于正长伟晶岩中的金红石含 $TiO_2$ 93.92%、$SiO_2$ 0.57%、$Al_2O_3$ 2.80%，$Re_2O_3$ 0.19%、$Fe_2O_3$ 1.03%、CaO 0.47%、MgO 0.10%、$Nb_2O_5$ 0.036%、$Ta_2O_5$ 0.017%、$H_2O$ 0.39%，总计 99.523%。内蒙古大青山花岗伟晶岩中产出的铌金红石含 $TiO_2$ 63.04%，$Fe_2O_3$ 13.23%、$Nb_2O_5$ 23.67%、$Ta_2O_5$ 0.13%、MnO 0.19%，总计 100.26%。金红石和锐钛矿属四方晶系，但两者结构略有不同。前者结构中 $[TiO_6]$ 八面体共二棱，后者共四棱。板钛矿属斜方晶系。

【物化性质】 常具完好的四方柱状或针状晶形。常见单形有四方柱 {110}、{100} 和四方双锥 {111}、{101}。柱面上常有平行 $c$ 轴的柱面条纹。常以（011）为双晶面成膝状双晶、三连晶或环状双晶。针状双晶连生体成网状者称为网金红石。针状、纤维状晶体有时作为包裹体见于透明水晶中。金红石有时呈致密块状集合体。金红石的晶形与形成条件有关，伟晶岩中的常呈双锥状、短柱状，产于石英脉中的因快速结晶常具长柱状、针状晶形。颜色暗红色、褐红色、黄色，偶尔呈橘黄色，富铁金红石为黑色。条痕浅黄色至浅褐色。金刚光泽，铁金红石具半金属光泽。解理平行 {110} 完全，平行 {100} 中等。裂开平行 {092} 和 {011}。性脆。硬度 6～6.5。相对密度 4.2～4.3。富铁或铌、钽的金红石相对密度可增高到 5.5 以上。

【功能与用途】 金红石是提取钛的原料。以金红石制取的纯 $TiO_2$ 粉呈白色，称钛白粉，广泛用于颜料工业。

金红石单晶具有特殊的透光性能，在波长 1～5μm 范围内的折射率为 2.3～2.5，在作为元件窗口或前置透镜时可使反射损失显著减小。2mm 厚的单晶薄片在 0.43～6.2μm 波长范围内是透明的。300nm 厚的金红石单晶薄膜能将可见光反射掉 42%，透过 57%，可作无损而又耐久的分束器。金红石具高介电系数，可以耐 $10^{12}$ Hz 级的超高频。含 $TiO_2$ 的陶瓷是一种优良的高频介电材料。金

红石还是一种重要的高温隔热涂层材料。

美观的金红石单晶可作宝石。

【鉴别特征】 金红石以具四方柱晶形、膝状双晶、带红的褐色、完全的柱面解理，易于识别。矿物溶于热磷酸，冷却稀释后加入 $Na_2O_2$ 可使溶液变成黄褐色，呈 Ti 的反应。与相似矿物锡石和锆石的区别是前者具有大的相对密度（7），后者具有较大的硬度（7～8）。

【产状与产地】 金红石通常形成于高温条件下，常产于金红石-石英脉和伟晶岩中。在区域变质岩及砂矿中有大量产出。在长石石英脉中与白云母、钛铁矿、磁铁矿等共生。花岗伟晶岩中可形成巨晶金红石。山东伟晶岩中产出的金红石晶体长达数十厘米。在区域变质过程中金红石可由钛矿物，如钛铁矿转变而成，常见于角闪岩、榴辉岩、片岩和片麻岩中。在阿尔卑斯型低温脉中金红石呈针状晶体，常被包裹在水晶晶体中。金红石性质稳定，在河水中能长距离搬运而不分解，并富集形成金红石砂矿。砂矿中常见的伴生矿物有钛铁矿、板钛矿、磷灰石、十字石等。金红石原生矿产地有湖北枣阳，赋矿岩石为角闪岩及榴辉岩。砂矿产地有安徽古井。澳大利亚是世界上著名的金红石、钛铁矿滨海砂矿产地。

## Ad003 钛磁铁矿 titanomagnetite

钛既可呈类质同象混入物存在于磁铁矿中，也可赋存于磁铁矿内的固溶体分离物尖晶石、钛铁晶石和钛铁矿中，含有尖晶石、钛铁晶石、钛铁矿固溶体分离物的磁铁矿称为钛磁铁矿，含钒较多时称钒钛磁铁矿。

【组成与结构】 四川渡口攀枝花矿区钛磁铁矿中尖晶石含量约 2.25%～4.07%，钛铁晶石含量约 22%～45%，钛铁矿含量约 0～30%。红格矿区钛磁铁矿的化学组成为 $TiO_2$ 10.18%，$Fe_2O_3$ 53.77%，FeO 29.13%，MnO 0.26%，MgO 1.55%，CaO 0.11%，$Al_2O_3$ 3.23%，$Cr_2O_3$ 0.26%，$SiO_2$ 0.60%，$V_2O_5$ 0.73%，$P_2O_5$ 0.007%，总计 99.83%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 钛磁铁矿晶形与磁铁矿相同为八面体和菱形十二面体，但多呈粒状、片状或粒状集合体产出。其中包含的固溶体分离物也多呈微片晶状、片状、粒状以及乳浊状沿矿物（111）和（100）面定向分布。钛磁铁矿颜色黑色、灰黑色。半金属光泽至金属光泽。无解理。不透明。具中等磁性。

【功能与用途】 钛磁铁矿为铁和钛的矿石矿物。钒钛磁铁矿可综合回收铁、钛、钒。

【产状与产地】 四川红格、攀枝花等地层状辉长岩-辉石岩中产出的钛磁铁矿矿体呈层状、似层状、豆荚状等产出。矿层与下部围岩多为突变接触，与上部围岩多为渐变过渡。钛磁铁矿在矿层中呈浸染状或致密块状。共生矿物有钛磁铁矿、钛铁矿、赤铁矿、金红石、磁黄铁矿、黄铁矿以及中基性斜长石、钛普通辉石、磷灰石、橄榄石等。

## Ad004 白钛石 leucoxene

【组成与结构】 白钛石的主要化学成分是 $TiO_2$，含 $H_2O$ 和少量 $Fe_2O_3$ 和 $SiO_2$。白钛石不是一种独立矿物，是钛矿物分解后形成的含钛铁矿或金红石、板钛矿、锐钛矿等的次生矿物集合体，在砂矿中呈单体产出。

【物化性质】 白钛石为微粒至隐晶质的致密集合体，呈浑圆粒状产出。有时呈花瓣状，表面光滑像涂了釉的瓷器，有时表面粗糙成毛玻璃状。间或呈钛铁矿等原生矿物的假象。颜色白色、砖黄色、浅棕色、灰色、褐色。条痕白色或浅褐色。油脂光泽，有时为毛玻璃光泽。断口贝壳状。硬度 1～2。相对密度 3.5～4.5。无磁性。导电性中等。

白钛石不溶于酸。矿物与碳酸钠和硝酸钾熔合后溶于盐酸＋硝酸，加 $H_2O_2$ 呈 Ti 的反应。

【功能与用途】 大量富集时可作钛矿石开发利用。

【鉴别特征】 白钛石呈瓷器状颗粒。有时与水锆石、胶状斜锆石、胶磷矿等相似，最简单的区别是

上述矿物无 Ti 的反应。有时白钛石像泡铋矿，区别是它不溶于酸，无 Bi 的反应。

【产状与产地】 有开发价值的白钛石主要见于砂矿中，伴生矿物有磁铁矿、钛铁矿、锆尖晶石、金红石、榍石、阳起石、绿帘石等。白钛石常在钛铁矿等钛矿物表面以薄膜覆盖形式出现。

# Ae 钒

钒是银白色金属，熔点 1890℃±10℃，沸点 3000℃，密度 5.96g/cm$^3$。钒是电的不良导体，具有增强合金强度、降低热膨胀系数，耐盐酸、稀硫酸、碱溶液及海水的侵蚀等特性。

钒的最主要用途是作为炼钢的添加剂，能大大提高钢的硬度、延展性和韧性，也可生产高强度低合金钢、高速钢、工具钢、不锈钢和永久磁体等。大体上世界钒产量的 85%用于钢铁工业，其中大约 35%用于生产高强度低合金钢和结构钢。钒广泛用于运输、机械、建筑等工业部门。其中高强度低合金钢主要用做输油和输气管道、建筑材料、汽车部件、铁路钢轨、桥梁、压力储存罐、输电塔和车厢架等。在钛工业中，钒用于耐热的高强度钛基合金，其中应用最多的是 Ti-6Al-4V 合金。这种合金广泛用于航空、火箭和宇航工业。

钒具有较好的核物理性能，可用做钠冷却快中子反应堆包套材料。目前，用钒及钒合金作核反应堆结构材料尚处于早期阶段。钒的另一重要用途是在化学工业中以化合物形式作为生产硫酸、合成橡胶和控制污染的催化剂。钒化合物还可用做陶瓷和玻璃的着色剂，在墨水和油漆中作干燥剂。有些钒化合物是超导材料。

对独立钒矿床的工业要求通常为：边界品位 $V_2O_5$≥0.5%，工业品位 $V_2O_5$≥0.7%。作为伴生组分的钒矿，要求 $V_2O_5$≥0.1%～0.5%。四川攀枝花和红格层状辉长岩-辉石岩中产出的钒钛磁铁矿矿床，其中钒可作为综合利用对象，对矿石钒的含量要求为：攀枝花矿床，富矿、中矿、贫矿的 $V_2O_5$ 含量要求分别为 0.42%、0.38%、0.20%。红格，富矿、中矿、贫矿的 $V_2O_5$ 含量要求分别为 0.42%、0.35%、0.21%。

钒属亲石元素，与氧的亲和力强。目前已知有 60 多种复杂的钒酸盐矿物，其中大多数为次生氧化矿物，工业意义不大。自然界，钒多呈分散状态存在，被视为其他矿物原料开发时的综合利用对象。工业上较重要的钒矿物有钒钛磁铁矿、钒钾铀矿、钒铅矿、钒云母以及绿硫钒矿。其中钒钛磁铁矿就是 $V_2O_5$ 含量大于 0.5%的钛磁铁矿，矿物化学式为 $Fe^{2+}(Fe^{3+}, V^{3+}, Ti^{3+})_2O_4$。钛磁铁矿的矿物特征见 Ad 部分。

## Ae001 钒钾铀矿 carnotite

【组成与结构】 $K_2[UO_2]_2[V_2O_8]\cdot 3H_2O$。矿物理论成分 $K_2O$ 10.44%、$UO_3$ 63.42%，$V_2O_5$ 20.16%，$H_2O$ 5.98%。成分中常有 Na、Ca、Mg 等混入物。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 晶体呈菱形板状，沿 $b$ 轴延长和平行 {001} 扁平状。但片状单晶极少见。集合体呈致密块状、被膜状、粉末状和皮壳状。颜色柠檬黄色、金黄色，有的也呈浅黄绿色。条痕淡黄色。晶体具珍珠光泽，块状矿物为土状光泽。解理平行 {001} 完全。硬度 2～2.5。相对密度 4.7。不发荧光，具放射性。

【功能与用途】 矿物中的钒是铀矿开采时重要的综合利用回收对象。

【鉴别特征】 以具放射性、柠檬黄色，在盐酸作用下变成鲜红色（V 的反应）与相似矿物区别。

【产状与产地】 钒钾铀矿是次生矿物，常出现于富含有机质沉积岩及铀矿床的风化带。美国科罗拉多州三叠系或侏罗系砂岩中产出的钒钾铀矿，呈浸染状或被膜状，与钒钙铀矿、变钒钙铀矿共生。

## Ae002 钒铅矿 vanadinite

【组成与结构】 $Pb_5[VO_4]_3Cl$、矿物理论成分 PbO 78.80%，$V_2O_5$ 19.26%，Cl 2.50%，$-O=Cl_2$

0.56%。成分中常有 Ca、As、P 等混入物。矿物属六方晶系。

【物化性质】 晶体呈六方柱状、针状或毛发状。主要单形有六方柱 $\{10\bar{1}0\}$、平行双面 $\{0001\}$ 和六方双锥 $\{20\bar{2}1\}$ 等。有时呈骸晶状或多孔状。集合体呈晶簇状、球状。颜色鲜红色、橙红色、浅褐红色、鲜褐色以及浅黄色、浅褐黄色，偶尔见有白色或无色。条痕白色或浅黄色。透明至近于不透明。金刚光泽，断口松脂光泽。贝壳状断口。性脆。硬度 2.5～3。相对密度 6.929。

【功能与用途】 矿物中的钒可作为开采铅矿时的综合回收对象。

【产状与产地】 钒铅矿为次生矿物，主要产在铅矿床的氧化带。甘肃白银厂多金属矿床氧化带中的钒铅矿与钼铅矿、铬铅矿、白铅矿、针铁矿等伴生。

## Ae003 钒云母 roscoelite

【组成与结构】 $KV_2[AlSi_3O_{10}](OH \cdot F)_2$。类质同象混入物有 Mg、Cr、$Fe^{2+}$、$Fe^{3+}$ 等。湖北产出的钒云母含 $SiO_2$ 48.05%，$TiO_2$ 0.38%，$Al_2O_3$ 15.00%，$V_2O_3$ 14.62%，$Cr_2O_3$ 1.56%，$Fe_2O_3$ 0.56%，MgO 4.32%，CaO 0.34%，BaO 1.28%，$K_2O$ 6.19%，$Na_2O$ 0.13%，$P_2O_5$ 0.13%，F 0.05%，$H_2O^+$ 5.44%，$H_2O$ 0.28%，总计 98.33%。钒云母属单斜晶系。

【物化性质】 大多数钒云母晶体呈亮绿色细纤维状，少数呈片状。前者具丝绢光泽，质地柔软，似石棉。解理平行 $\{001\}$ 极完全。硬度 2.5。相对密度 2.88。钒云母的绿色是由 $V^{3+}$ 存在所引起，随矿物 $V_2O_3$ 含量增大，颜色从浅绿向深绿色转变。若矿物含铬，带蓝色。

【鉴别特征】 钒云母以其呈亮绿色区别于其他云母矿物。准确鉴别可借助于化学分析和差热曲线分析。

【产状与产地】 湖北产出的钒云母赋存于一套含有机质较高的炭质板岩中，岩石中存在大量煤岩组分，与铬钒水云母、铬钒白云母等共生。

## Ae004 绿硫钒矿 patronite

【组成与结构】 $V(S_2)_2$，矿物理论成分 V 28.43%，S 71.57%。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 呈很细小的短柱状、似针状，通常呈块状或细粒状。颜色浅绿黑色至黑色，断口铅灰色，很快有晕色覆盖。条痕黑色。金属光泽。断口不平坦到贝壳状。硬度 2。相对密度 2.98。

【产状与产地】 产于似石墨状的团块中，与方硫铁镍矿、黄铁矿、黄铜矿、白铁矿等共生。

# B　与有色金属有关的矿物与岩石

## Ba　铜

铜是人类最早发现和使用的金属之一，纯金属铜紫红色，相对密度 8.89，熔点 1083.4℃。铜及其合金由于电导率和热导率好，抗腐蚀能力强，易加工，抗拉强度和抗疲劳强度好而被广泛应用，在金属材料消费中仅次于钢铁和铝，成为国计民生和国防工程乃至高新技术领域中不可缺少的基础材料和战略物质。在电气工业、机械工业、化学工业、国防工业等部门具有广泛用途。

我国是世界使用铜较早的国家之一。在远古时代就开始利用自然铜——红铜，进入石铜混用时代。在甘肃武威、河北唐山等古文化遗址中就出土有红铜器物。青铜器物在夏、商、周时期就广泛地应用了。历史上有禹铸九鼎之说（公元前 2200 多年）。湖北大冶铜汞山的古采坑，经科学考证研究，确定始于 3000 多年前的商代晚期，延续到西汉，共 1000 多年。湿法炼铜起源于我国。北宋张潜写的《浸铜要略》一书是湿法炼铜的最早著述。可见我国古代在找铜、采铜、炼铜方面已达很高的水平。

含金属铜品位适当时，当地可探价值的岩石称铜矿石。美国从 1900 年到 1975 年，开采铜矿石平均品位由 4%降到 0.55%。我国铜矿开采品位，20 世纪 50 年代一般在 3%以上，60～70 年代为 1%，80 年代以来不少人选矿石品位已降到 0.5%左右。国外个别大型露采矿山的边界品位已降到 0.25%，从而使铜的储量大大提高。我国提出的铜矿石工业要求如下：

| 项　　目 | 硫化矿石 | | 氧化矿石 |
|---|---|---|---|
| | 坑　　采 | 露　　采 | |
| 边界品位(Cu)/% | 0.2～0.3 | 0.2 | 0.5 |
| 工业品位(Cu)/% | 0.4～0.5 | 0.4 | 0.7 |
| 可采厚度/m | ≥1～2 | ≥2～4 | ≥1 |
| 夹石剔除厚度/m | ≥2～4 | ≥4～8 | ≥2 |

铜矿床伴生有益组分评价要求为 Pb（0.2%），Zn（0.4%），Mo（0.01%），$WO_3$（0.05%），Sn（0.05%），Ni（0.1%），Bi（0.05%），Cd、Se、Te、Ga、Ge、Re、In 和 Tl（>0.001%），Au（0.1g/t）、Ag（1g/t）。

对于铜品位低于 5%的矿石要用选矿方法富集成铜精矿。1997 年国家颁布的有色金属行业标准（YS/T 318—1997）将铜精矿产品分为四个品级。

一级品 Cu 含量不小于 30%，杂质含量（不大于）：As 0.05%，Pb＋Zn 2%，MgO 1%，Bi 0.05%。

二级品 Cu 含量不小于 25%，杂质含量（不大于）：As 0.2%，Pb＋Zn 5%，MgO 3%，Bi 0.2%。

三级品 Cu 含量不小于 20%，杂质含量（不大于）：As 0.3%，Pb＋Zn 8%，MgO 4%，Bi 0.3%。

四级品 Cu 含量不小于 13%，杂质含量（不大于）：As 0.4%，Pb＋Zn 12%，MgO 5%，

Bi 0.5%。

按选冶技术条件，将铜矿石以氧化铜和硫化铜的比例划出三个自然类型。即硫化矿石（含氧化铜小于10%）；氧化矿石（含氧化铜大于30%）；混合矿石（含氧化铜10%～30%）。

目前，在地壳上已发现天然铜矿物和含铜矿物约计250多种。主要是硫化物及其类似的化合物、铜的氧化物、自然铜以及铜的硫酸盐、碳酸盐、硅酸盐类等矿物。能够适合目前选冶条件可作为工业原料的有以下矿物。

## Ba001 自然铜 copper

【组成与结构】 自然铜理论上含金属铜应100%，但原生自然铜往往含有少量或微量Fe、Ag、Au、Hg、Bi、Sb、V、Ge的混入，铁小于2.5%，金可达2%～3%。次生自然铜成分较纯。晶体结构属等轴晶系，多呈立方体、六八面体、四六面体晶形。集合体常呈不规则树枝状、片状或扭曲的铜丝状、纤维状等。次生自然铜有时呈粉末状、碎屑状、致密块状。

【物化性质】 铜红色，表面常因氧化成棕褐色被膜。条痕铜红色。金属光泽，不透明。无解理。断口参差状、具延展性、硬度低（2.5～3），相对密度8.4～8.95，导电性和导热性好。溶于稀硝酸，加氨水溶液呈天蓝色。自然铜在氧化条件下不稳定，经常转变为铜的氧化物及碳酸盐矿物。

【功能与用途】 是工业铜矿物之一，可用于炼冶铜。红铜器时代就是使用的自然铜（早于青铜器）。

【鉴别特征】 铜红色，金属光泽，富延展性，具有孔雀石的绿色薄膜，溶于硝酸呈绿色反应。

【产地】 湖北大冶、江西德兴、安徽铜陵、云南东川、四川会理等铜矿床氧化带有自然铜。美国有著名的上湖（Lake Superior）区的自然铜矿床，我国湖南麻阳县九曲湾铜矿床也以自然铜为主要铜矿物。

## Ba002 黄铜矿 chalcopyrite

【组成与结构】 黄铜矿化学式为$CuFeS_2$，含Cu 34.6%，通常含有混入物Ag、Au、Pt、Ni、Ti、Se、Te等。四方晶系，晶体少见，多呈四面体、八面体或四方双锥状。常呈粒状或致密块状。

【物化性质】 黄铜黄色，绿黄色，常带有杂斑状锖色。条痕绿黑色。金属光泽。不透明。解理不完全。断口不平坦状至贝壳状。硬度3～4，性脆。相对密度4.1～4.3。导电性良好。溶于硝酸，并析出硫。不溶于盐酸。

【功能与用途】 黄铜矿是分布最广的工业铜矿物，在各种类型铜矿床中都广泛产出，主要用于冶炼金属铜及各种铜合金。

【鉴别特征】 黄铜色、不透明。绿黑色条痕，表面带孔雀石薄膜及铜的化学反应等。

【产地】 我国长江中下游地区的大冶、九江、德兴、铜陵等地，甘肃省白银市和金川市，云南省东川、易门等地。

## Ba003 斑铜矿 bornite

【组成与结构】 化学组成$Cu_5FeS_4$，Cu 63.44%。矿物中常有黄铜矿、辉铜矿、铜蓝等显微包体及Bi、In、Ga、Pb、Sb、As、Ge、Co等微量含量。四方晶系，也有三方和等轴晶系的。晶体可见等轴状的立方体、八面体和菱形十二面体等假象外形。通常呈致密块状或不规则粒状。

【物化性质】 新鲜面呈暗铜红色，在不新鲜表面常被蓝紫斑状锖色所覆盖。灰黑色条痕。金属光泽。不透明，不完全解理。细贝壳状断口。性脆。硬度3，相对密度4.9～5.3。具导电性。溶于硝酸，并析出硫。新鲜面上加硝酸起泡，立即变绿，呈黄色斑点。是稳定性较差的次生铜的硫化物。

【功能与用途】 是重要的铜矿石矿物，其含铜量比黄铜矿高，是铜矿床的次生富集带的重要铜矿物，其铜矿石铜品位多高于原生带矿石。

【鉴别特征】 暗铜红色，杂斑状锖色，硬度低。其表面斑状晕彩易与黄铜矿混淆，但其条痕为深灰黑色，而黄铜矿为淡绿黑色。斑铜矿相对密度比黄铜矿大。

【产地】 斑铜矿是我国各铜矿区的普遍产出的铜矿物之一，但在云南东川铜矿区是以斑铜矿的含量居各种铜矿物首位。

## Ba004 辉铜矿 chalcocine

【组成与结构】 化学组成 $Cu_2S$，含 Cu 79.8%，多含银，有时含 Fe、Co、Ni、As、Au 等。高温变种属六方晶系，低温变种属斜方晶系。晶体的六方形厚板状、短柱状或具六方形态。通常为致密块状或细粒集合体。

【物化性质】 颜色为铅灰色，铁黑色，常带晕彩。条痕铅灰色，暗灰色。金属光泽，氧化后暗淡无光。不透明，解理不完全。贝状断口。硬度 2～3。相对密度 5.5～5.8。无电磁性，良导电体。辉铜矿溶于硝酸，使溶液呈绿色，将小刀置入溶液中即可渡上金属铜。

【功能与用途】 辉铜矿常产于铜硫化物矿床的次生富集带，有指导找富矿体的作用。辉铜矿是含铜最富的铜的硫化物，为很重要的冶炼铜矿物。常含银，形成铜银共生矿床。

【鉴别特征】 暗淡的铅灰色，金属光泽。表面常带晕彩或变成孔雀石。溶于硝酸起泡，溶液呈绿色。

【产地】 我国一些主要铜矿区都有少量辉铜矿产出。云南东川铜矿中辉铜矿成次要铜矿物。而在砂岩铜矿床中的主矿体则以含银较高的辉铜矿为主要铜矿物。形成铜银共生矿床，如云南大姚县六苴牟定县郝家河铜银矿床；四川会理县鹿厂铜银矿床。

## Ba005 铜蓝 covellite

【组成与结构】 化学式为 CuS。含 Cu 66.5%，在硫化铜矿物中含铜量仅次于辉铜矿。混入物有 Fe，少量 Se、Ag 和 Pb。六方晶系，呈细薄六方板状或片状，通常呈致密块状、被膜状或粉末状集合体。

【物化性质】 颜色为靛蓝色或靛青蓝色、淡蓝黑色、间或有紫色晕色。条痕铅灰色、灰黑色或黑色。金属光泽、半金属光泽到油脂光泽。片状解理完全。薄片能弯曲。有滑腻感。硬度 1.5～2。相对密度 4.59～4.68。溶于硝酸或王水，溶液变黄绿色。再加入黄血盐粉末，产生褐红色铜的沉淀。

【功能与用途】 是铜矿床次生富集带中较常见的铜矿物，一般不形成独立的铜矿床。它与辉铜矿一起形成最富的铜矿石。

【鉴别特征】 靛蓝色，条痕灰黑色，光泽暗淡至树脂光泽。薄片能弯曲、有滑腻感。

【产地】 在湖北大冶、江西德兴、福建上杭、四川白玉等县铜矿床中都有产出。

## Ba006 方黄铜矿 cubanite

【组成与结构】 矿物化学式为 $CuFe_2S_3$，含 Cu 23.4%，有时混入有镍和锌。斜方晶系。粒状或叶片状、板状。

【物化性质】 青铜黄色、黑色条痕。金属光泽。不透明。贝壳状断口。硬度 3～4，弱可塑性。相对密度 4.03～4.17。用硝酸浸蚀产生浅棕褐色薄膜。用碱熔合有铜和铁的反应。

【功能与用途】 多产于高温铜矿床或与基性超基性岩浆岩有关的铜矿床中，有指示矿床特征的作用。

【鉴别特征】 青铜黄色。弱可塑性。化学性较稳定。与黄铜矿和磁黄铁矿易混淆，在反光镜下可因反射色及非均性的差异区别。

【产地】 主要产于与基性和超基性岩有关的铜镍矿床中，如甘肃金川、新疆哈密东黄山、吉林通化县赤柏松、青海玛沁县德尔尼矿区等。此外在新疆哈巴河县阿舍勒矿区和安徽铜陵市冬瓜山矿区也偶见。

## Ba007 黝铜矿 tetrahedrite

【组成与结构】 黝铜矿的化学式为 $Cu_{12}Sb_4S_{13}$，指狭义的锑黝铜矿。含 Cu 45.77%。其中 Sb 与 As 常呈互换，砷锑黝铜矿中含 As 可达 7%。此外还有许多变种黝铜矿存在，如银锑黝铜矿（含银可达 18%）、汞锑黝铜矿（含汞量可达 17%）、锌锑黝铜矿（含锌可达 9%）及铁、镍、锡、碲等锑黝铜矿，可含百分之几的铁、镍、锡、碲。等轴晶系晶体多呈四面体形，通常呈粒状或致密块状。

【物化性质】 钢灰色到暗灰色，条痕铁黑色，有时带褐色。金属至半金属光泽。不透明。无解理，断口不规则。硬度 3～4.5。相对密度 4.6～5.4。弱导电性。溶于浓硝酸，析出粉末状硫和锑，加入氢氧化氨溶液呈蓝色。在风化条件下易变化。

【功能与用途】 是高、中温铜矿床中较常见的铜矿物，与其他铜矿物组合成铜矿石。可作为提取铜的原料，并综合回收锑、银等成分。

【鉴别特征】 四面体晶形，断口呈黝黑色，脆性。微化试验有无锑和铜。必要时进行光谱半定量分析及 X 射线粉晶分析确定。

【产地】 黝铜矿是铜矿床中较常见的一种铜矿物，也见于铅、锌、银、金、锡矿床中。如四川白玉县呷村铜银锌矿床，江西九江城门山铜锌铅矿床和云南东川铜矿等。

## Ba008 砷黝铜矿 tennantite

【组成与结构】 砷黝铜矿是黝铜矿族的富砷单元，化学式为 $Cu_{12}As_4S_{12}$，矿物含 Cu 51.75%，As 20.26%。还有含银（可达 13.65%）、含锌（可达 6.28%）、含铁（可达 10.90%）、含铋（可达 13.07%）的砷黝铜矿变种。及含微量的 Au、Se、Te、Ge 等。等轴晶系，晶形为四面体，主要为细粒结构的连生体及致密块状。

【物化性质】 砷黝铜矿颜色呈暗灰色和暗褐灰色。有时在颗粒表面覆有绿色和褐色薄膜。粉末为黑色、暗灰色。断口处为金属光泽。无解理。断口不规则。硬度 3～4。性脆。相对密度 4.6～5.4。不透明。易磨光。溶于浓硝酸。析出粉末状 S 和 As 的氧化物。

【功能与用途】 是分布较普遍的铜矿物，与其他重要铜矿物一起可构成铜矿石，也产出于金、银、铅、锌、锡矿床中。有综合回收价值。

【鉴别特征】 四面体形粒状，钢灰色到暗灰色。矿物置于硝酸溶液中加入氢氧化氨溶液呈蓝色。

【产地】 砷黝铜矿在我国主要产于甘肃白银厂、新疆哈巴河阿舍勒，四川白玉县呷村，江西德兴县铜厂和福建上杭县紫金山等铜矿区。

## Ba009 硫砷铜矿 enargite

【组成与结构】 硫砷铜矿化学式为 $Cu_3AsS_4$，含 Cu 48.4%，常有少量 Sb、Zn、Fe 及微量 Ge、Ga、V、Sn、Te、Pt 等。斜方晶系，晶形呈板状或柱状，其他为粒状。

【物化性质】 钢灰色、带灰或黄的黑色。条痕灰黑色。金属光泽至暗淡光泽。不透明。解理完全到不完全。不平坦断口。硬度 3.5。性脆。相对密度 4.3～4.5。溶于王水。在光片上，王水作用染为褐色，氰化钾作用后变黑；硫化氨作用形成浅褐色的青色。硝酸、浓盐酸、三氯化铁、氢氧化钾均不起作用。

【功能与用途】 是含铜量较高的铜矿物之一，大量堆积或与其他铜矿物共存时，可以作为提取铜和

砷的原料。

【鉴别特征】 钢灰色，解理完全到不完全、硬度较低。但与之相似矿物较多。详细鉴别要通过光片观察，供粉晶分析及电子探针分析。

【产地】 福建上杭县紫金山金铜矿区有硫砷铜矿，此外在辽宁省和安徽省铜矿床中，也有硫砷铜矿的报道。

## Ba010 赤铜矿 cuprite

【组成与结构】 赤铜矿化学式为 $Cu_2O$，含 Cu 88.8%，仅次于自然铜。常有 Fe、Mg、Ca、Zn、Pb、Al、Si 元素混入。等轴晶系，粒状八面体、立方体等晶形。

【物化性质】 红色至近于黑色，表面有时为铅灰色。条痕为深浅不同的棕红色。金刚光泽至半金属光泽。解理不完全。断口贝壳状至不平坦。硬度 3.5～4.5。性脆，相对密度 5.85～6.15。在吹管焰下赤铜矿开始变黑，随后熔化，还原为金属小球。

【功能与用途】 赤铜矿多是硫化铜矿物的次生产物，多产于铜矿床的氧化带；与自然铜、褐铁矿、孔雀石等共生。若有大量堆积时，是理想的铜矿石。

【鉴别特征】 矿物颜色和条痕都为红色，金刚光泽。性脆。硝酸浸蚀起泡，并出现红色金属铜的沉淀。以盐酸浸蚀形成 $CuCl_2$ 白色沉淀。

【产地】 湖北大冶铜汞山、云南大姚县、四川会理县鹿厂矿区产出有赤铜矿。美国的比斯贝矿床形成了以赤铜矿为主的铜矿石。

## Ba011 黑铜矿 tenorite

【组成与结构】 化学组成为 CuO，含 Cu 79.80%。成分较纯。单斜晶系，斜方柱晶类。晶体呈细小板状或叶片状，有时弯曲，在部分晶面上具有横纹。细鳞片状集合体。土状块体称土黑铜矿。

【物化性质】 钢灰色、铁黑色、黑色。条痕黑色。金属光泽。细鳞片透光呈棕色。解理中等。贝壳状断口至不平坦状断口。性脆。细鳞片有弹性和挠性。硬度 3.5～4。相对密度 5.8～6.4。熔点 1026℃或 1148℃。易溶于盐酸、硝酸中。吹管焰中不熔。还原焰作用形成金属铜小球。

【功能与用途】 产于铜矿床氧化带和熔岩里。氧化带产出的黑铜矿是辉铜矿、斑铜矿等的风化产物。熔岩里产出的黑铜矿是升华作用的产物。黑铜矿大量富集时可供提取铜并指示矿石属氧化矿石类。

【鉴别特征】 黑色。粉末为绿色。细鳞片透光呈棕色。强非均质性。相对密度较大及铜的反应来判断可能为黑铜矿。要借助粉晶谱线与赤铜矿区别。

【产地】 我国大冶铜铁矿床氧化带产出有黑铜矿，与黄铜矿、斑铜矿、赤铜矿、自然铜、孔雀石等共生产出。意大利维苏威火山喷气孔里发现有黑铜矿及其由氯化氢化作用后形成的副氯铜矿。

## Ba012 蓝铜矿 azurite

【别名】 石青

【组成与结构】 化学组成为 $Cu_3[CO_3]_2(OH)_2$，含 Cu 55.3%，单斜晶系，晶体呈短柱状或厚板状，致密块状、钟乳状及放射状集合体。有时呈土状、皮壳状、薄膜状。

【物化性质】 蓝色，深蓝色，土状块体呈深蓝色。条痕浅蓝色到深蓝色。玻璃光泽，晶面有时为似金刚光泽。土状块体呈土状光泽。小颗粒透明。断口贝壳状。解理完全至中等。硬度 3.5～4。性脆。相对密度 3.7～3.9。无磁性。蓝铜矿化学成分较纯，一般不含杂质，易溶于酸。

【功能与用途】 与孔雀石等组成铜矿石，可用于提取铜。因颜色美丽，晶形好的单体或晶簇，可作观赏标本或石材。

【鉴别特征】 蓝颜色，玻璃光泽，易溶于酸，析出 $CO_2$ 起泡。矿物醮以盐酸在酒精灯上火焰呈天蓝色。与黄血盐作用生成褐红色沉淀，矿物表面出现褐红色薄膜。

【产地】 为铜矿体表生氧化带产物，见于湖北大冶、新疆阿舍勒，四川白玉县呷村，云南东川和广东阳春县石录铜矿床。

## Ba013 孔雀石 malachite

【组成与结构】 化学组成，$Cu_2CO_3(OH)_2$，含 Cu 57.5%。Ni 和 Zn 可以类质同象形式替代铜，含量可达 12%左右。由吸附作用或机械混入的杂质有 Ca、Fe、Si、Ti、Na、Pb、Ba、Mn、V 等。单斜晶系，常呈柱状、针状或纤维状。晶簇状、肾状、葡萄状、皮壳状、块状和粉末状、土状集合体等。在肾状集合体内部具有同心层状或放射纤维状的特征，由深浅不同的绿色至白色层组成环状。土状孔雀石称为铜绿。

【物化性质】 一般为绿色，但色调变化较大，从暗绿、鲜绿到白色。浅绿色条痕。玻璃至金刚光泽。纤维状者呈丝绢光泽。解理完全，但肉眼不易见。硬度 3.5～4。相对密度 4～4.5。孔雀石是硫化铜矿床氧化带产物，它常按蓝铜矿、自然铜、氯铜矿、黄铜矿等形成假象，有时也按针铁矿和方解石形成假象。孔雀石可溶于盐酸产生 $CO_2$。

【功能与用途】 是铜矿床氧化带广泛分布的铜矿物。大量堆积时可作铜矿石。也是工艺美术制品和颜料的原料。

【鉴别特征】 鲜绿色，呈肾状、葡萄状、放射状集合体，及溶于盐酸起泡并呈铜的化学反应等鉴别。

【产地】 我国许多铜矿床的氧化带都产出有孔雀石。特别是广东省阳春县石录铜矿区，孔雀石为该矿床的主要铜矿物。有的矿石中含量高达 90%。构成极富的铜矿石和工艺美术制品原料。

## Ba014 硅孔雀石 chrysocolla

【组成与结构】 矿物化学式为 $CuSiO_2 \cdot 2H_2O$，含 Cu 36.2%，有时含微量 Fe。斜方晶系。常呈隐晶质或胶状集合体，钟乳状，皮壳状，土状等。

【物化性质】 绿色、浅蓝绿色。含杂质时可变成褐色、黑色。玻璃光泽，具蜡状光泽，土状者呈土状光泽。硬度 2，相对密度 2.4。加热失水。一般酸不溶，溶于氢氟酸。

【功能与用途】 产于铜矿床氧化带，与铜矿床其他次生矿物共生。有明显的铜绿色。具指示标致性矿物作用或具观赏矿物意义。大量堆积时与其他铜矿物一起可提取铜。

【鉴别特征】 绿色、浅绿色。常呈隐晶质或胶状集合体，硬度低。相对密度小。一般酸不溶。

【产地】 广东石录、江西东乡、云南东川大姚等地。

## Ba015 氯铜矿 atacamite

【组成与结构】 矿物化学式为 $Cu_2(OH)_3Cl$。含 Cu 59.5%。含微量 Co、Ca。斜方晶系，斜方双锥晶类。集合体为粗粒状、纤维状、致密块状及皮壳状等。

【物化性质】 亮绿至浅黑绿色。透明至半透明。玻璃至金刚光泽。条痕苹果绿色。解理完全至中等。断口贝壳状。性脆。硬度 3～3.5。相对密度 3.76。

【功能与用途】 主要在干燥气候条件下的铜矿床氧化带中呈次生矿物产出。具有指示气候环境的功能。通常与孔雀石、赤铜矿、硅孔雀石和石膏等共生。大量堆积时，可共同构成铜矿石。

【鉴别特征】 亮绿到黑绿色。透明至半透明，而条痕呈苹果绿色。化学性不稳定。

【产地】 氯铜矿最早发现于智利，后来在美国、秘鲁、英国和前苏联都有发现。

### Ba016 水胆矾 brochantite

【组成与结构】 化学组成为 $Cu_4(SO_4)(OH)_6$，含 Cu 57.5%。单斜晶系。晶体为短柱状，针状，亦可呈板状块状。

【物化性质】 翠绿至浅黑绿色，灰绿色。透明至半透明。玻璃光泽，解理呈珍珠光泽。条痕灰绿色。解理完全。断口贝壳状到参差状。硬度 3.5～4。相对密度 3.97。性脆。化学性质较稳定。见于铜矿床氧化带。

【产地】 我国黑龙江宾县方棚子铜矿区和江西德兴县铜厂矿区氧化带产出有水胆矾。

## Bb 铅 与 锌

铅是人类从铅锌矿石中提炼出来的较早的金属之一。商代（公元前 16 世纪～前 11 世纪）中期在青铜器铸造中已用铅，西周（公元前 11 世纪～前 771 年）的铅戈含铅达 99.75%。由于铅矿中多含有银，古代为了提取白银，因此大量开采并冶炼铅。中国是最早发明炼锌的国家。古代称锌为“倭铅”。贵州赫章志上即有该县妈姑地区在五代后汉高祖天福年间（公元 917 年）开始炼锌的记载。明、清时锌主要用于配制黄铜，供铸钱及制造各种器皿用。约在 17 世纪开始向欧洲出口锌锭，其中锌含量达 98.99%，可见当时中国冶炼锌的水平是相当高的。

铅是最软的重金属，也是密度大的金属之一，具蓝灰色，硬度 1.5，相对密度 11.34，熔点 327.4℃，沸点 1750℃，展性良好，易与其他金属（如锌、锡、锑、砷等）制成合金。锌金属具蓝白色，硬度 2.0，熔点 419.5℃，沸点 911℃，加热至 100～150℃时，具有良好压性，压延后相对密度 7.19。锌能与多种有色金属制成合金。

铅锌用途广泛，用于电气工业、机械工业、军事工业、冶金工业、化学工业、轻工业和医药业等领域。此外，铅金属在核工业、石油工业等部门也有较多的用途。

为适应我国铅锌矿地质勘探和矿山生产的需要，1983 年地质矿产部和冶金工业部联合制定并颁布了铅锌矿一般工业指标如下。

**铅锌矿一般工业指标**

| 矿石类型 \ 项目 | Pb/% | | Zn/% | | 可采厚度/m | 夹石剔除厚度/m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 边界品位 | 工业品位 | 边界品位 | 工业品位 | | |
| 硫化矿 | 0.3～0.5 | 0.7～1.0 | 0.5～1.0 | 1.0～2.0 | ≥1.0～2.0 | ≥2.0～4.0 |
| 混合矿 | 0.5～0.7 | 1.0～1.5 | 0.8～1.5 | 2.0～3.0 | ≥1.0～2.0 | ≥2.0～4.0 |
| 氧化矿 | 0.5～1.0 | 1.5～2.0 | 1.5～2.0 | 3.0～6.0 | ≥1.0～2.0 | ≥2.0～4.0 |

铅锌矿床中，常伴生有许多可综合利用的组成，他们的参考指标是：Cu 0.06%，$WO_3$ 0.06%，Sn 0.08%，Mo 0.02%，Bi 0.02%，S 4%，Sb 0.4%，$CaF_2$ 5%，As 0.2%，Au>0.1g/t，Ag>2g/t，Cd 0.01%，In 0.001%，Ga 0.001%，Ge 0.001%，Se 0.001%，Te 0.001%，Tl 0.001%；Hg 0.005%，U 0.02%。

矿石工业类型，以矿石自然类型为基础，按矿石氧化程度可分为硫化矿石（铅或锌氧化率<10%）、氧化矿石（铅或锌氧化率>30%）、混合矿石（铅或锌氧化率 10%～30%），按矿石中主要有用组分可分为：铅矿石、锌矿石、铅锌矿石。我国铅锌矿床以混合矿石为主，其综合评价指标为：硫化矿 Pb+Zn 4%～5%，混合矿 Pb+Zn 6%～8%，氧化矿 Pb+Zn 8%～10%。这个数据供作对矿床经济评价和考虑矿区是否转入详细勘探的参考。

铅、锌矿床或铅锌共生矿床的原始矿石的锌、铅品位，一般都达不到直接冶炼的要求，须经过

选矿富集成精矿。精矿质量标准如下。

**铅精矿质量标准**（YB 113—81）

| 品级 | 铅不小于/% | 杂质不大于/% | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cu | Zn | As | MgO | $Al_2O_3$ |
| 一 | 70 | 1.5 | 5 | 0.3 | 2 | 4 |
| 二 | 65 | 1.5 | 5 | 0.35 | 2 | 4 |
| 三 | 60 | 1.5 | 5 | 0.4 | 2 | 4 |
| 四 | 55 | 2.0 | 6 | 0.5 | 2 | 4 |
| 五 | 50 | 2.0 | 7 | 协议 | 2 | 4 |
| 六 | 45 | 2.5 | 8 | 协议 | 2 | 4 |
| 七 | 40 | 3.0 | 9 | 协议 | 2 | 4 |

**锌精矿质量标准**（YB 114—81）

| 品级 | 锌不小于/% | 杂质不大于/% | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Cu | Pb | Fe | As | $SiO_2$ | F |
| 一 | 59 | 0.8 | 1.0 | 6 | 0.2 | 3.0 | 0.2 |
| 二 | 57 | 0.8 | 1.0 | 6 | 0.2 | 3.5 | 0.2 |
| 三 | 55 | 0.8 | 1.0 | 6 | 0.2 | 4.0 | 0.2 |
| 四 | 53 | 0.8 | 1.0 | 7 | 0.3 | 4.5 | 0.2 |
| 五 | 50 | 1.0 | 1.5 | 8 | 0.4 | 5.0 | 0.2 |
| 六 | 48 | 1.0 | 1.5 | 13 | 0.5 | 5.5 | 0.2 |
| 七 | 45 | 1.5 | 2.0 | 14 | 协议 | 6.0 | 0.2 |
| 八 | 43 | 1.5 | 2.5 | 15 | 协议 | 6.5 | 0.2 |
| 九 | 40 | 2.0 | 3.0 | 16 | 协议 | 7.0 | 0.2 |

## Bb001 自然铅 lead

【组成与结构】 金属 Pb，含 Pb 可达 99.7%，往往有少量银和锑。等轴晶系，晶形为八面体，菱形十二面体，立方体。完好晶形少见。一般呈细小圆粒状、薄板状、纤维状、树枝状及不规则集合体。

【物化性质】 颜色铅灰色，具淡黑的晕色。新鲜断口呈金属光泽。条痕为亮铅灰色。硬度 1.5，相对密度 11.4～13.3。富展性，有时具延性。不溶于盐酸和硫酸，易溶于弱硝酸，加 KI 后呈铅的反应。

【功能与用途】 属于稀少矿物。见于多金属矿床氧化带。与白铅矿、铅矾、菱锌矿、异极矿、孔雀石等共生。大量聚集时，可构成氧化铅锌矿石。

【鉴别特征】 铅灰色，金属光泽，硬度小，相对密度大及与不同酸的反应特征与其他自然金属矿物相区别。

【产地】 我国南岭地区少数铅锌矿床氧化带有自然铅产出，如湖南郴县柿竹园矿床、江西冷水坑矿床。

## Bb002 方铅矿 galena

【组成与结构】 化学组成为 PbS。含铅 86.6%，银混入最常见，其次为 Cu、Zn，微量 Fe、As、Sb、Bi、Cd、Tl、In、Se 等。当结晶温度大于 350℃时，PbS 与 $AgBiS_2$ 晶体结构相同，两者呈固溶体存在。在小于 210℃时，$AgBiS_2$ 从方铅矿中出溶，在方铅矿中以包体形式存在。等轴晶系。晶体常呈立方体或六八面体、菱形十二面体等。常以集合体形式出现，具平行双晶和贯穿双晶。多呈

粒状集合体。

【物化性质】 颜色为铅灰色、钢灰色到暗灰色。条痕灰黑色。金属光泽。不透明。硬度 2～3。解理极完全。相对密度 7.4～7.6。无电磁性。具弱导电性。方铅矿溶于 1∶7 硝酸，加一点 KI 便会出现柠檬黄色的六边形晶片的 $PbI_2$ 沉淀。溶于硝酸，生成白色 $PbSO_4$。

【功能与用途】 是含铅极高而又分布最广的工业铅矿物。含银多时可从中提取银。

【鉴别特征】 铅灰色，立方体形，解理好，断口呈阶梯状。相对密度大。粉末与盐酸研磨时分解出 $H_2S$ 气体。当加入碘化钾晶粒后再研磨出现黄色碘化铅六边形晶体。

【产地】 方铅矿是铅锌矿床中分布最广的主要工业硫化铅矿物。我国广东凡口、湖南黄沙坪、辽宁关门山、云南会泽等矿区皆有产出。

### Bb003 硫锑铅矿 boulangerite

【组成与结构】 化学式为 $Pb_5Sb_4S_{11}$。含 Pb 55.42%，混入物有 Cu、Fe、Zn、Sn、Hg 与 Ag。单斜晶系，斜方柱状晶体，有发育的垂直条纹。集合体呈放射状、纤维状。亦呈细粒状或致密块状等。

【物化性质】 铅灰色至铁黑色。条痕黑褐色带浅褐色调。金刚光泽，不透明。解理中等。硬度 2.5～3.5。性脆，但极细小晶体有挠性。相对密度 5.6～6.5。溶于硝酸和热盐酸并析出硫化氢。在矿床氧化带中，硫锑铅矿易于风化并形成白铅矿和锑的氧化物。

【功能与用途】 在矿床中硫锑铅矿多形成于中低温矿床中，晶出一般晚于方铅矿。当大量聚集时，可作为铅和锑矿石。

【鉴别特征】 细纤维状集合体和带浅褐色调条痕是判断可能是硫锑铅矿的重要特征。当没有详细的化学分析及 X 射线的研究，很难与其他许多硫锑化物和锑硫盐矿物相区别。

【产地】 硫锑铅矿见于我国湖南桂阳县黄沙坪矿区，广西南丹县大厂矿区，云南文山市白牛厂矿床和四川白玉县呷村矿区。

### Bb004 脆硫锑铅矿 jamesonite

【异名】 羽毛矿

【组成与结构】 化学组成 $Pb_4FeSb_6S_{14}$。含铅 40.16%，Sb 35.39%，混入物有 Bi、Cu、Zn、Ag 等。单斜晶系，形态呈斜方柱晶类。柱面上有时发育平行条纹。集合体常呈放射状、羽毛状、纤维状、梳状、柱状和粒状。

【物化性质】 铅灰色，有时有蓝红杂色的青色。条痕暗灰色或灰黑色。金属光泽。不透明。解理中等。不平坦断口。硬度 2～3.5。性脆。相对密度 5.5～6。具检波性。以硝酸易分解，并析出 $Sb_2O_3$ 和 $PbSO_4$。溶于热盐酸，当冷却时沉淀出 $PbCl_2$。

【功能与用途】 为中低温铅锌矿床和多金属矿床中较常见的矿物。大量聚集时和其他铅锌矿物可共同组成铅锌矿石。

【鉴别特征】 铅灰色、放射状、羽毛状集合体为特色。相似矿物较多，正确定名要作详细化学成分分析及 X 射线结构研究。

【产地】 脆硫锑铅矿是分布很广的一个锑硫盐矿物，湖南桂阳县黄沙坪、郴县柿竹园、花垣县渔圹铅锌矿区、广东仁化凡口、广西南丹大厂、云南个旧、辽宁开原县关门山等铅锌矿区产出。

### Bb005 车轮矿 bournonite

【组成与结构】 化学组成 $CuPbSbS_3$，Pb 42.54%，Cu 13.04%，Sb 24.67%。类质同象代替有：As 代替 Sb（可达 3.18%）；少量 Mn、Zn、Ag、Fe 可代替 Cu；有时还有 Ni、Bi。斜方晶系，晶体呈短柱状及厚板状，并发育十字形双晶或车轮状双晶，故名“车轮矿”。常见集合体为不规则粒状、

致密块状。

【物化性质】 矿物颜色呈钢灰色到暗铅灰色，常有黄褐色的锖色。条痕为暗灰色、黑色。金属光泽，不透明。解理中等。断口为贝壳状到不平坦状。性脆。硬度 2.5～3，相对密度 5.7～5.9。不导电。在木炭吹管焰下易熔成黑色小球。矿物粉末溶于硝酸呈淡蓝色溶液，析出含硫和含有锑及氧化铅的铅白色粉末的沉淀物。

【功能与用途】 多形成于铅锌矿床成矿阶段晚期硅化阶段。常与方铅矿、黝铜矿、硫锑铅矿等共生，在矿床中有足够量时，可作为铅和铜的矿石。

【鉴别特征】 根据短柱状晶体，车轮状双晶和不完全解理。微化反应显 Cu、Pb、Sb、S 性质。外形似黝铜矿，但光泽更强些。反光镜下矿物具弱非均性。

【产地】 车轮矿是一个分布较普遍的硫代矿物。广泛见于铅锌矿床和铜铅锌矿床中，如江西德兴银山、安徽铜陵、湖南郴县、广西南丹大厂等。

## Bb006 白铅矿 cerussite

【组成与结构】 化学组成 Pb $[CO_3]$。含 Pb 77.6%，经常有方铅矿和辉银矿的机械混入物，含有 Fe、Mg、Mn、Sr、Ca、Zn、Cu、Sn、Ti、K、Sb、In、Ga、Co、Be 等杂质。斜方晶系。斜方双锥晶类，板状晶体柱面上常发育有纵纹。集合体呈致密块状、粒状、钟乳状或土状、晶簇状等。

【物化性质】 通常为白色或灰色，含方铅矿、辉银矿混入物者为黑色，含铁者呈褐色。光泽随方位有些变化，由玻璃到金刚光泽。平坦状或贝壳状断口，断口呈油脂光泽。解理中等。硬度 3～3.75，性脆，相对密度 6.4～6.6。易溶于稀硝酸起泡并吱吱作响，如在含少量 KI 的溶液中便会产生黄色 $PbI_2$ 沉淀。在盐酸中不如其他碳酸盐矿物溶解激烈。

【功能与用途】 白铅矿产于铅锌矿床氧化带，是方铅矿风化的第二阶段产物。即方铅矿首先氧化生成铅矾（$PbSO_4$），再由铅矾经碳酸水溶液作用生成白铅矿。由于它溶解度极低，起着阻止方铅矿进一步受分解流失的作用，在氧化带常与角铅矿、水白铅矿、磷氯铅矿等组成铅的氧化矿石。

【鉴别特征】 与其他碳酸盐矿物比较，白铅矿具有较强的光泽及大的相对密度。一般呈白色。硬度较小。微溶于盐酸，易溶于硝酸并起泡作响，呈铅的化学反应等。

【产地】 白铅矿在我国主要铅锌矿床及多金属矿床氧化带都有产出，如湖南郴县、桂阳，江西城门山，江苏棲霞山，浙江黄岩，云南个旧、文山，新疆哈巴河阿舍勒等矿区。

## Bb007 铅矾 anglesite

【组成与结构】 化学组成为 $PbSO_4$，含 Pb 68.3%，偶混入 Ba。斜方晶系，晶常呈板状、短柱状或锥状。集合体呈粒状、致密块体、结核状、钟乳状等。亦有呈同心带状包围在方铅矿表面。

【物化性质】 无色至白色，常被外来杂质染成灰、浅黄、浅褐色、浅绿色等。若含有未分解的方铅矿显微包体时呈暗灰至黑色。条痕白色。透明至不透明。金刚光泽。解理中等到不完全中等。断口贝壳状。性脆。硬度 2.5～3。相对密度 6.1～6.4。紫外线下显荧光。矿物成分较纯，能慢慢地溶于热硝酸中，溶液呈硫和铅的反应。铅矾能与 5% KI 水溶液作用，形成金黄色 $PbI_2$ 的薄膜。

【功能与用途】 铅矾主要产于硫化矿床氧化带中，常由方铅矿被氧化形成。铅矾受碳酸溶液的作用易变成白铅矿。伴生矿物有褐铁矿、白铅矿、孔雀石、异极矿、钼铅矿等。是找深部原生硫化物矿体的指示性矿物。单体或晶簇若形态美好，色彩鲜艳时可作观赏标本。在氧化带有大量富集时，与其他铅矿物一起可构成铅的氧化矿石。有开采价值。

【鉴别特征】 颜色浅或蓝绿色，光泽较强，相对密度大，具铅的微化反应特征，加酸不起泡。

【产地】 见于安徽铜陵，辽宁开原关门山，江西九江城门山，浙江黄岩五部，湖南花垣鱼塘，新疆哈巴河阿舍勒、青海海西地区锡铁山铅锌矿氧化带的次生富集带中的矿石空穴中，铅矾呈完美的单晶产出。

## Bb008 铬铅矿 crocoite

【别名】 铬酸铅矿；红铅矿

【组成与结构】 化学组成为 $PbCrO_4$，含 Pb 64.1%，通常成分较纯，有时有微量的 Mn、Sb、Cu、Ag、Ni、Co 等。成分中一定量的 $[CrO_4]$ 可被 $[SO_4]$ 代替。

单斜晶系，斜方柱晶类。晶形呈柱状、锥状或板状。集合体呈晶簇状、块状或薄膜状。

【物化性质】 鲜艳的橘红色。条痕橘黄色。金刚光泽。半透明。解理中等。硬度 2.5～3。性脆。相对密度 6。有的达 6.08。矿物溶于热的浓盐酸，致使表面覆盖一层松软的乳块状 $PbCl_2$ 被膜。与 KOH 作用呈褐色。在吹管火焰下易熔化，形成铅珠。矿粉的磷酸盐珠球呈翠绿色。

【功能与用途】 铬铅矿为表生矿物。见于矿床的氧化带。铬酸常由围岩中因含铬硅酸盐矿物的分解带入，铬铅矿的发现，指示矿体附近可能有超基性岩存在。因其产出较少、实用意义不大，但具矿物学意义。

【鉴别特征】 鲜艳的橘红色。橘黄色条痕。硬度小，相对密度较大。具溶于热的浓盐酸等化学反应。

【产地】 法国报道过铬铅矿，我国西北地区甘肃白银厂黄铁矿型铜矿及黄铁矿型多金属矿床氧化带，有少量铬铅矿产出。

## Bb009 钼铅矿 wulfenite

【别名】 彩钼铅矿

【组成与结构】 化学组成为 $PbMoO_4$，含 Pb 56.4%，Mo 26.1%。钼铅矿中的 Pb 可被 Ca（≤6.9%）和 REE（<2.2%）代替，Mo 可被 W、V（≤1.3%）和 U（≤11.6%）代替。其中 Mo：W 比例可达 1：1，Ca：Pb 可达 1：1.7。有时还含有少量 As、Fe、Ga，微量 Bi、Al、Mg、Si、Ni、Co、In、Ge、Cu、Mn、Ti 等。

四方晶系，四方双锥晶类。一般呈板状、薄板状、锥状。集合体呈粒状。

【物化性质】 颜色杂，有黄色、蜡黄色、橘黄色、橘红色、灰色、褐色等。条痕白色到浅黄色。金刚光泽，断口油脂光泽。透明至半透明。解理好到中等。硬度 2.5～3。相对密度 6.5～7。无磁性。矿物在盐酸和浓硫酸共同加热分解后，加 KI 呈 Pb 的反应，加黄原酸钾呈 Mo 的反应。

【功能与用途】 主要产于铅锌矿床氧化带，常与铁锰氢氧化物，硫酸盐矿物如硬锰矿、针铁矿、黄钾铁矾、钒铅矿、白铅矿等共生。大量聚集时，可作为铅和钼的矿石。

【鉴别特征】 四方单锥或双锥板状晶形或不规则粒状。颜色杂，但以黄色调为主。树脂光泽或金刚光泽。溶于酸中，呈铅和钼的化学反应。

【产地】 在我国安徽铜陵、湖南郴县柿竹园、江西九江城门山、甘肃白银厂等矿区产出。

## Bb010 自然锌 zinc

【组成与结构】 化学组成就是金属 Zn，理论上含 Zn 100%，Cd 可呈类质同象混入达 1%。六方晶系，复六方双锥晶类。晶形呈六方薄板状，状似薄烧饼。

【物化性质】 颜色和条痕均为白色而略带灰色。金属光泽。不透明。电价＋2，熔点 419.4℃，沸点 907℃。锌在室温干燥空气中不起变化，在潮湿含有 $CO_2$ 的空气中，其表面生成致密的碱性碳酸锌薄膜，可以保护锌内部不再被氧化，锌易溶于稀硫酸和盐酸中，同时也溶于碱性溶液中。

【功能与用途】 锌原子具有铜型离子结构的特点，有强烈的亲硫性，在自然界锌主要形成硫化矿

物。也显示出一定的亲氧性。锌主要形成闪锌矿、纤锌矿等硫化矿物，是锌矿石的主要锌矿物。可冶炼锌。

【鉴别特征】 颜色和条痕均为稍带浅灰的白色，性脆，硬度小，相对密度≈7。金属光泽。不透明。燃烧时生蓝色火焰，并析出 ZnO。

【产地】 原生产地见于火山作用物质中，我国在浙江新昌县后岸陆相火山岩型矿床中有少量发现。此外在含金砂矿中也查到，但成因不明。

## Bb011 闪锌矿 sphalerite

【组成与结构】 化学组成为 ZnS，含 Zn 67.1%，成分中常有 Fe、Mn、Cd、Ga、In、Ge、Hg 等类质同象混入物及含 Cu、Sn、Sb、Bi 等矿物的机械混入物。铁闪锌矿变种含 Fe 达 26.2%。等轴晶系，六四面体晶类。晶面上有时有三角形晶纹。晶形呈粒状、钟乳状、放射状。偶见肾状集合体。

【物化性质】 颜色变化大，由无色、浅黄、棕褐至黑色，视其成分中含铁量增多而变深，也有呈绿、红、黄等色。条痕由白色至褐色。金属光泽至半金属光泽。透明至半透明。解理完全。硬度 3～4.5。相对密度 3.9～4.2。不导电。溶于浓硝酸及盐酸，放出有臭味的 $H_2S$。浅色闪锌矿可用硝酸钴试验出现林曼绿色。

【功能与用途】 是铅锌矿床中分布最广的硫化锌矿物。也是硫化锌矿石和铅锌混合硫化矿石炼锌的主要矿物。地表闪锌矿易氧化形成易溶于水的 $ZnSO_4$ 而流失，仅形成较少的水锌矿、菱锌矿、异极矿、硅锌矿、水砷锌矿等。

【鉴别特征】 强的油脂光泽到半金属光泽，解理完全。均质体。有锌的化学反应。颜色多变及随混入杂质性质而异。

【产地】 我国已找到了一千多个铅锌矿床中都含大量的闪锌矿，其中矿量最大，含闪锌矿最多的是云南兰坪县金顶矿床、甘肃成县厂坝矿床、广东仁化县凡口矿床、湖南桂阳黄沙坪矿床、江苏南京栖霞山矿床等。

## Bb012 纤锌矿 wurtzite

【组成与结构】 化学组成 ZnS。含 Zn 67.10%，为闪锌矿的同质多象变体。成分中 Zn 可被 Fe、Mn 和 Cd 类质同象代替，纤锌矿常含较多的 Cd，西南非洲楚梅布（Tsumeb）出产的纤锌矿含 Cd 49.34%。六方晶系。复六方单锥晶类。晶体呈单锥体，短柱状或板状。晶面上有水平方向的聚形纹。常见形态为纤维状、柱状、皮壳状集合体。

【物化性质】 浅色至棕色和浅褐黑色。条痕白色至褐色。松脂光泽。性脆。解理完全。硬度 3.5～4。相对密度 4.0～4.1。化学性质同闪锌矿。

【功能与用途】 纤锌矿在自然中分布和发现不如闪锌矿。通常在低温条件下从酸性溶液中结晶。偶尔见于某些低温热液矿床中，与闪锌矿、白铁矿和其他硫化物一起产出。有大量富集时与其他锌矿物可构成锌矿石。

【鉴别特征】 致密块状纤锌矿的外表特征及化学成分与闪锌矿一致。惟在显微镜下以其非均性可与闪锌矿区别。或作粉晶 X 射线结构分析以定之。

【产地】 国外在匈牙利、罗马尼亚和西南非洲鉴别出了纤锌矿。

## Bb013 菱锌矿 smithsonite

【组成与结构】 化学组成 $ZnCO_3$。含 Zn 52.1%。化学组成中经常含有 Fe、Mn、Mg、Ca 混入物，有时可含少量 Cd、Co、Cu、Pb、Tl 等。湖南黄沙坪菱锌矿中还含有微量 Al、Ag、As、V、Ti、

W、Ni、Si、Sn、Ga、In、Sb 等。变种有铁、铜、钙、镁、银、钴和镉菱锌矿。三方晶系。常呈胶体矿物，多呈肾状、葡萄状、钟乳状等，有时具同心环带。

【物化性质】 纯者为白色，常被染成浅灰、浅黄、浅绿、浅褐、肉红等各种色调。玻璃光泽，透明至半透明。具菱面体解理。硬度 4.25～5。相对密度 4.0～4.5。溶解于酸并放出 $CO_2$。菱锌矿在吹管火焰上灼烧不熔，生成白色 ZnO 被膜。

【功能与用途】 菱锌矿属外生矿物，分布于石灰岩中的铅锌硫化物矿床的氧化带内。是闪锌矿分解所产生的硫酸锌与围岩反应置换而成。菱锌矿性质不很稳定，易风化流失。在西北干旱地区铅锌矿床氧化带中，虽然围岩也是石灰岩，但菱锌矿很不发达，甚至缺失。其原因主要与干旱地区硫化矿床中的矿化硫酸高，pH 值低有关，因为矿水中的游离硫酸及 $Fe_2(SO_4)_3$ 的浓度大，会使已形成的 $ZnCO_3$ 转变为 $ZnSO_4$。在条件合适的环境有大量聚时，可作为锌矿石的原料。

【鉴别特征】 粉末在稀盐酸中微起泡，并嗞嗞作响。加硝酸钴溶液，置于氧化焰中呈绿色（Zn 的反应）。

【产地】 我国菱锌矿主要见于云南兰坪县金顶矿区、湖南桂阳黄沙坪矿区。

### Bb014 水锌矿 hydrozincite

【组成与结构】 化学组成为 $Zn_6[CO_3]_2 \cdot [OH]_6$。含 Zn 59.6%。成分相当稳定。单斜晶系。晶形呈薄片状，有时呈纤维状。部分呈钟乳状，隐晶质集合体。

【物化性质】 通常为白色、灰色，有时呈浅黄色、浅棕色、玫瑰红色或淡紫色。晶体呈珍珠光泽，丝绢光泽，集合体呈暗淡光泽至土状光泽。条痕呈暗淡或浅白色。解理完全。硬度 4～4.5（晶体），2～2.5（集合体）。性脆。相对密度 3.5～4.0。紫外光下发蓝白色或淡紫色荧光。易溶于酸。室温下溶于 1∶7 硝酸并有气泡逸出。在闭管中加热析出水。

【功能与用途】 水锌矿是铅锌矿床氧化带中分布较广的矿物之一。由闪锌矿变化而形成。与菱锌矿、绿铜锌矿、白铅矿、方解石、褐铁矿等共生。大量聚集时，可与其他铅锌矿物组成铅锌矿石。

【鉴别特征】 与菱锌矿的区别是单斜晶系，二轴晶（—），而菱锌矿是一轴（—）。水锌矿在紫外线下发蓝白色淡紫色荧光。在闭管中加热析出水。

### Bb015 硅锌矿 willemite

【组成与结构】 化学组成，$Zn_2SiO_4$。含 Zn 58.6%，成分中常有 Mn（≤0.8%）和 Fe 代替 Zn。三方晶系，菱面体晶类。晶形有六方柱和菱面。但完好晶形一般少见。多呈块状、粒状或放射状集合体，亦有呈钟乳状者。

【物化性质】 颜色为无色或带绿的黄色，有时呈带黄的褐色，当含锰时呈浅红色。玻璃光泽及油脂光泽。解理中等。贝壳状断口。硬度 5～6，相对密度 3.89～4.18。吹管焰下难熔，还原焰下在木炭上长时间灼烧，产生 ZnO 薄膜，炽热时为黄色，冷却后呈白色。矿物粉末溶于盐酸，析出硅质凝胶体。

【功能与用途】 主要产于铅锌矿床氧化带。系锌的次生矿物。常与白铅矿、异极矿、针铁矿、蓝铜矿等共生，有时呈异极矿假象。大量富集时可作锌矿石。

【产地】 见于我国云南个旧多金属锡石硫化物矿床。也见于云南省铅锌矿床中。

### Bb016 异极矿 hemimorphite

【组成与结构】 化学组成为 $Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$。含 Zn 54.3%。化学组成稳定，有时有少量 $Fe_2O_3$ 的混入。斜方晶系，斜方单锥晶类。通常呈板粒状集合体，具放射状构造。亦呈皮壳状、肾

状、钟乳状以及土状等。

【物化性质】 无色，集合体呈白色、灰色并带黄、褐、绿、蓝等色调。透明、玻璃光泽。解理完全～不完全。解理面具珍珠光泽。硬度 4～5。相对密度 3.40～3.50。异极矿在热盐酸中能平静分解，并无泡沸现象。矿物分解后产生絮状的硅胶（$SiO_2 \cdot H_2O$），异极矿在吹管火焰上灼烧不熔，生成白色 ZnO 被膜，若在被膜上加硝酸钴溶液，再用氧化焰灼烧，变成草绿色。

【功能与用途】 产于铅锌硫化物矿床氧化带。异极矿可按菱锌矿、方解石、白云石、萤石、磷氯铅矿和方铅矿等成假象。硅锌矿、孔雀石和石英等有时可按异极矿成假象。异极矿在铅锌矿床氧化带有大量堆集时可作为锌矿石开采。

【鉴别特征】 异极矿与菱锌矿相似，区别是遇酸不产生 $CO_2$，在酸内溶解析出胶状 $SiO_2$。

【产地】 云南个旧锡石-硫化物多金属矿床氧化带，广西和湖南锡石-硫化物矿床，青海锡铁山铅锌矿床氧化带等矿区有产出。

## Bc 铝

铝元素是在 1825 年被发现的，到 19 世纪末才得到从矿石中生产氧化铝的方法。而现在铝金属是世界上仅次于钢铁的第二重要金属。铝是银白色金属，在 20℃ 条件下相对密度 2.7，熔点 660.37℃，沸点 2467℃，并具有良好的传热性、延展性、导电性和反光性。

铝及其合金质量轻，易氧化而形成坚实的薄膜，坚韧性强，主要应用于电器工业、飞机、导弹、建筑、机械制造及民用器具等。铝及其合金的粉末能迅速燃烧，放出强光和热能而被用做燃烧弹、信号火箭等。由于铝对氧的亲和力大，所以铝可以用做炼钢的脱氧剂和一些高熔点金属氧化物的还原剂。

制取氧化铝、铝金属和制铝合金的主要矿石是铝土矿。90%的铝矿石用于上述目的，还有约 10%的铝矿石用于制取高级磨料、高铝水泥、耐火材料、水泥、陶瓷材料、化工和医药等方面。

铝是地壳中含量仅次于氧和硅，居第三位。在自然界中铝矿物和含铝矿物约有 250 多种，主要铝矿物为：自然铝（Al）、一水硬铝石（$\alpha$-$Al_2O_3 \cdot H_2O$）、一水软铝石（$\gamma$-$Al_2O_3 \cdot H_2O$）、三水铝石（$\gamma$-$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$）、莫来石[$Al(Al_xSi_{2-x}O_{5.5-0.5x})$]、水铝英石（$mSiO_2 \cdot nAl_2O_3 \cdot pH_2O$）、霞石[$(Na,K)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$]、高岭石（$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$）、红柱石、蓝晶石、矽线石（$Al_2O_3 \cdot SiO_2$）、刚玉（$Al_2O_3$）、黄玉[$Al_2SiO_4(F,OH)_2$]和明矾石[$KAl_2(SO_4)_2(OH)_6$]。后 7 种矿物在其他章节中将有专门叙述，在此从略，磷铝锶矿只作简要介绍；前 7 种矿物将在下面另行描述。提取铝金属的矿石是铝土矿，组成铝土矿的主要矿物是一水硬铝石、一水软铝石或三水铝石。铝土矿的化学成分主要有 $Al_2O_3$、$SiO_2$、$Fe_2O_3$、$TiO_2$ 和 $H_2O$，五者总量占成分的 95%以上，一般大于 98%。次要成分有 S、CaO、MgO、$K_2O$、$Na_2O$、$CO_2$、$MnO_2$、有机质、碳质等。微量成分有 Ga、Ge、Nb、Ta、REE、Co、Zr、V、P、Cr、Ni 等。按形成方式的不同，铝土矿可分为红土型和沉积型两类。红土型铝土矿一般是在温度高、潮湿条件下由富含铝的碱性岩或玄武岩风化而形成的风化壳次生富集带。矿石颜色有红色、棕色、黄色、浅灰和白色，结构疏松，主要铝矿物是三水铝石，少数一水软铝石及少量针铁矿、赤铁矿、高岭土、埃洛石、水铝英石、石英等。矿石结构为豆状、鲕状、海绵状等。红土型铝土矿是国外主要铝矿石类型，我国只在海南和福建有小量这类铝矿石。另一类是沉积型铝矿石，主要见于我国上古生带和中生带地层中，铝土矿层与煤矿层和铁矿层伴生产出。富铝矿物以一水硬铝石为主，伴生矿物有少量针铁矿，水针铁矿、鳞绿泥石。矿石具鲕状和豆状结构，致密块状和层状构造。主要分布在晋、豫、黔、桂等省，是我国主要的铝矿石。1994 年中国有色金属工业总公司发布的铝土矿石化学成分的行业标准如下。

铝土矿石化学成分要求（YS/T 78—94）

| 矿床（矿石）类型 | 牌号 | 化学成分/% | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $Al_2O_3/SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | S | CaO+MgO | $TiO_2$ |
| | | 不小于 | | 不大于 | | | |
| 沉积型（一水硬铝石） | LK12-70 | 12 | 70 | 3 | 0.3 | 1.5 | — |
| | LK8-65 | 8 | 65 | 5 | 0.5 | 1.5 | — |
| | LK5-60 | 5 | 60 | 6 | 0.5 | 1.5 | — |
| | LK3-53 | 3 | 53 | 9 | 0.7 | — | — |
| 堆积型（一水硬铝石） | LK15-60 | 15 | 60 | 20 | 0.1 | 1.5 | — |
| | LK11-55 | 11 | 55 | 25 | 0.1 | 1.5 | — |
| | LK8-50 | 8 | 50 | 28 | 0.1 | 1.5 | — |
| 红土型（三水铝石） | LK7-50 | 7 | 50 | 18 | — | — | 2 |
| | LK3-40 | 3 | 40 | 25 | — | — | 3 |

用做研磨材料的铝土矿，要求含 $Al_2O_3$ 高，铁和钛低，一般要求 $Al_2O_3 \geqslant 70\%$，$Fe_2O_3 \leqslant 5\%$，$TiO_2 \leqslant 4.5\%$，$CaO+MgO \leqslant 1.0\%$，$Al_2O_3/SiO_2 \geqslant 12$。

作高铝水泥原料的铝土矿必须：$Fe_2O_3 < 2.5\%$，$Ti < 3.5\%$，$R_2O$（一价金属氧化物）$< 1.0\%$，$MgO < 1.0\%$。

作耐火材料用铝土矿的技术要求，在此不予讨论，请参阅本书耐火黏土部分。我国铝土矿一般勘查工业指标如下。

我国铝土矿一般勘查工业指标

| 项目 \ 矿床类型 | 矿石类型 | 一水硬铝石型 | | | 三水铝石型 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 沉积型矿床 | | 堆积型矿床 | 红土型矿床 |
| | | 露采 | 坑采 | | |
| 边界 | $Al_2O_3/SiO_2$ | ≥1.8～2.6 | ≥1.8～2.6 | ≥2.6 | ≥2.1 |
| 品位 | $Al_2O_3$/% | ≥40 | ≥40 | ≥40 | ≥28 |
| 矿块最低工业平均品位 | $Al_2O_3/SiO_2$ | ≥3.5 | ≥3.8 | ≥3.8 | ≥6 |
| | $Al_2O_3$/% | ≥55 | ≥55 | ≥55 | ≥48 |
| 最低可采厚度/m | | 0.5～0.8 | 0.8～1.0 | 0.5 | 0.5 |
| 夹石剔除厚度/m | | 0.5～0.8 | 0.8～1.0 | 0.5 | |
| 剥采比/($m^3/m^3$) | | 10～15 | | | |
| 矿段平均含矿率/(kg/$m^3$) | | | | 300 | |
| 边界含矿率/(kg/$m^3$) | | | | 200 | |
| 矿床实例 | | | | 广西平果那豆矿区 | 海南蓬莱矿区 |

**Bc001　　自然铝　aluminium**

【组成、结构与物理性质】　自然铝金属，含 Al≈100%，含少量 Pb。等轴晶系。板状晶粒。大小在 0.2～1cm。暗灰色。金属光泽。硬度很小（显微硬度 17～19kg/$mm^2$）。相对密度 2.7。具延展性。无磁性。

【产状与产地】　自然铝首先发现于俄罗斯西伯利亚暗色岩中。在南乌拉尔含金碳酸盐石英脉中，与自然铜、自然铅等共生。我国江西万年县虎家共石英脉型银矿石中自然铝与自然锑、自然砷、自然铅、自然铜等共生产出。自然铝在自然界尚未发现有大量富集成矿的实例。但它是铝矿物中含铝量最高的成员。

## Bc002 一水硬铝石

【别名】 一水硬铝石 diaspore。

【组成与结构】 化学组成 AlOOH，含 $Al_2O_3$ 85.1%，有时含 $Fe_2O_3$、$Mn_2O_3$、$Cr_2O_3$、$Ga_2O_3$ 以及 $SiO_2$、$TiO_2$、CaO、MgO 等。斜方晶系，斜方双锥晶类。通常呈片状、鳞片状或隐晶质及胶态豆状、鲕状集合体。晶体细微。

【物化性质】 颜色为白、灰白、黄褐、灰绿、浅红或无色。条痕白色。玻璃光泽。解理完全～不完全。贝壳状断口。性脆。硬度 6.5～7。相对密度 3.2～3.5。硬水铝石在 450℃开始发生脱水，在 545℃出现一个吸热谷。其后，直至 1200℃以上不再发生任何变化，说明脱水后产物是稳定的 $\alpha$-$Al_2O_3$（刚玉）。硬水铝石可缓慢溶于氢氟酸，不溶于其他酸和氢氧化钾。强热后可溶于硫酸。

【功能与用途】 硬水铝石是由富铝硅酸盐岩石经表生风化作用形成并被埋藏后石化。当地层中出现铝土矿层时，说明该地层是陆相表生风化作用产物。有指示古地貌、古气候的作用。硬水铝石大量聚集时则构成可以冶炼铝金属的铝土矿。

【鉴别特征】 硬水铝石以较大的硬度可与一水软铝石、三水铝石和云母等区别。但它们往往颗粒微小，物性、光性等难以区别。必须作差热分析及 X 射线粉晶分析确定。

【产地】 我国硬水铝石为主的铝土矿床分布较广。主要有山西孝义、阳泉、平陆，河南巩县、三门峡，贵州修文、织金，广西平果、隆安，山东淄博、新泰等地。

## Bc003 一水软铝石 boehmite

【别名】 水铝矿；薄水铝矿；一水软铝矿；勃姆石

【组成与结构】 化学组成为 AlO(OH)。含 $Al_2O_3$ 84.98%。成分中可能有少量 $Fe^{3+}$ 代替铝。是一水硬铝石的同质二象体。斜方晶系。斜方双锥晶类。晶体呈细小片状或扁豆状。通常成隐晶质块状或胶态分布于铝土矿中。

【物化性质】 无色或微黄的白色。玻璃光泽。解理完全。硬度 3.5，相对密度 3.01～3.46。矿物缓慢溶于氢氟酸。在空气中热至 450℃以上即转变为 $\gamma$-$Al_2O_3$（等轴晶系），继续加热至 900℃以上则转变成 $\alpha$-$Al_2O_3$（刚玉）。

【功能与用途】 是铝硅酸盐岩风化沉积产物之一，系一种高铝矿物。为一些铝土矿床的重要矿物成分，可与其他含铝氧化物或氢氧化物一起作为铝矿开采。

【鉴别特征】 因矿物颗粒多细小，一般物理方法与光性方法难以鉴别。较可靠的方法是 X 射线粉晶鉴别。

【产地】 我国山西、河南、贵州等地铝土矿床中都有少量一水软铝石存在，与一水硬铝石共同构成铝土矿石。

## Bc004 三水铝石 gibbsite

【组成与结构】 化学组成 $Al(OH)_3$，含 $Al_2O_3$ 65.4%，常有类质同象混入物 Fe 和 Ga，其中 $Fe_2O_3$ 可达 2%；$Ga_2O_3$ 可达 0.006%；此外，还有杂质 CaO、MgO、$SiO_2$ 等。单斜晶系。斜方柱晶类，晶体呈假六方板状。集合体常呈放射纤维状、鳞片状、皮壳状、钟乳状或豆状、球粒状结核，主要呈胶态非晶质或细结晶质。或呈细粒土状块体。

【物化性质】 质纯的三水铝石呈土白色或近白色；常呈灰色、浅绿色、浅红白色或浅红黄色，这与所含杂质有关。条痕白色。玻璃光泽。解理面呈珍珠光泽。透明至半透明。解理极完全。性脆，硬度 2.5～3.5。相对密度 2.30～2.43。具泥土臭味。天然三水铝石加热到 170℃左右就开始脱水，到 350℃时大约析出 $2H_2O$，先是形成一水软铝石；在 560℃左右，一水软铝石分解，逐渐失去残余水分变成无水 $\gamma$-$Al_2O_3$；再继续加热则出现无水氧化铝相之间的转变（$\gamma$-$Al_2O_3$→$\alpha$-$Al_2O_3$）。三水铝石溶于热浓硫酸及碱中。闭管中加热，析出水并形成白色不透明土状体。

【功能与用途】 三水铝石是红土型铝土矿的主要高含铝矿物，也可形成热液型铝矿石。是制取铝金属的主要原料。世界上的铝土矿资源以三水铝石红土型矿石为主。三水铝石在一定的温压条件下可以变成一水硬铝石。

【鉴别特征】 极完全的解理，较低的硬度和相对密度。

【产地】 巴西、印度等国大量产出，我国见于海南蓬莱和福建漳浦矿区。

同属三水铝石族的铝矿物还有另外三个同质异象体，他们是三羟铝石（bayerite）单斜晶系；三斜三水铝石（triclinogibbsite）三斜晶系；β三羟铝石（nordstrandite）三斜晶系。他们的化学组成都是 $Al(OH)_3$，但其结构存在差异。分布较少，在此从略。

## Bc005 莫来石 mullite

【别名】 富铝红柱石。

【组成与结构】 化学组成 $Al[Al_xSi_{2-x}O_{5.5-0.5x}]$。含 $Al_2O_3$ 71.79%，$SiO_2$ 28.21%。常含有 $Fe^{3+}$、Ti 类质同象混入物。有时含少量碱。按照 $TiO_2+Fe_2O_3$ 的含量，可将莫来石划分为 α-莫来石（纯 $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$），β莫来石（含过量的 $Al_2O_3$），γ-莫来石（含 $TiO_2+Fe_2O_3$）。斜方晶系、斜方双锥晶类。晶形为长柱状、针状，放射状或纤维状集合体。

【物化性质】 无色或浅红色，解理完全。硬度 6～7。相对密度 3.155～3.158。莫来石加热时，在 1810℃发生热分解变为刚玉和液相。如成分中含碱，这个分解温度下降。

【功能与用途】 莫来石是在高温条件下的稳定矿物，主要用于制作保温材料。该矿物在 1810℃发生热分解转变为刚玉和液相。而含铝高的红柱石（1300℃）、蓝晶石（1545℃）、矽线石和黄玉（1500℃）加热到 1300～1545℃时可转变成莫来石。

【鉴别特征】 莫来石与矽线石很相似，一般矽线石的折射率比莫来石高，莫来石具有较强的双折射色散。另借红外吸收光谱及 X 射线分析区别。

【产地】 见于苏格兰和北爱尔兰。产于高温热变质岩或火成岩的富铝捕虏体中。

## Bc006 霞石 nepheline

【别名】 脂光石 elaeolite

【组成与结构】 化学组成 $KNa_3[AlSiO_4]_4$。成分中含 $Al_2O_3$ 32.3%～36.0%，矿物成分中一般含 $K[AlSiO_4]$ 分子不超过 1/4。大多数天然霞石中仅含少量的 Ca、Mg、Mn、Ti、Be。在化学分析中通常都含有较多的 Si，而 Al 不足。六方晶系、六方单锥晶类。晶体常呈简单的六方柱状、短柱状或厚板。多呈双晶连生体。在岩石中成分散粒状、相嵌粒状或致密块状。

【物化性质】 霞石常呈无色、白色、灰色，或呈浅黄、浅绿、浅褐、浅红等色调。透明至几乎不透明。呈浅色不透明的晶体或致密状者称为“脂光石”。玻璃光泽，断口呈油脂光泽。条痕白色。解理不完全。次贝壳状断口。硬度 5.5～6。相对密度 2.55～2.665。性脆。在 1254℃时，霞石缓慢地转变为三斜霞石。易受风化分解和被溶蚀。

【功能与用途】 霞石产于富钠贫 $SiO_2$ 的碱性岩中，是一种标准的岩浆矿物。主要产于与正长岩有关的侵入岩、火山岩及伟晶岩中，共生矿物为碱性长石、碱性辉石和碱性角闪石以及黑云母和磷灰石。前苏联曾试验从富含霞石的岩石中提取铝。

【鉴别特征】 色浅，玻璃光泽到油脂光泽，六方柱状晶形。透射光下霞石的折射率和重折率都低，是一轴晶负光性等可与长石区别。

【产地】 俄罗斯、非洲、巴西、加拿大等国碱性岩分布广，霞石产出亦多。我国霞石正长岩类岩石见于云南个旧白云山。四川南江县坪河、山西临县紫金山和辽宁凤城县赛马等地。

## Bc007 水铝英石 allophane

【组成与结构】 化学组成为 $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$，含 $Al_2O_3$ 为 30%～35%。非晶质，呈结壳状和

钟乳状。

【物化性质】 浅天蓝、绿至深绿、褐、黄或无色。玻璃至次松脂光泽，硬度 3。相对密度 1.85～1.89。盐酸中胶化。折射率低，加热后略增高。

【产状与用途】 产于铜矿床、褐铁矿床中，呈皮壳状分布于裂隙及空洞中，亦产于煤层及硅铝质岩石风化层中。无工业价值。

### Bc008 磷铝锶石 goyazite

【组成、用途和产地】 化学组成为 $SrAl_3[PO_4]_2(OH)_5H_2O$。含 $Al_2O_3$ 33.12%，$P_2O_5$ 30.77%，SrO 22.45%。产于四川什邡的大型沉积磷铝锶矿床，可综合回收上述有用组分。该矿物及矿石详细资料见磷矿石部分。

## Bd 镁

镁是银白色的金属。它的熔点 650℃，沸点 1090℃，其化学稳定性高，抗腐蚀强度大，韧性好，无磁性和易加工等，镁与铝、锌、锰、镉的合金具有特殊的力学性能。用于制造飞机、火箭、宇航以及航海等部门。镁在空气中易与氧化合并燃烧发强光，镁粉在国防用于制造照明弹、燃烧弹。此外还可用做冶炼钛、锆、铀和铍的还原剂。

镁的主要矿物，在耐火材料工业上，可以制作镁砖、铬镁砖；在胶凝材料工业上，用以制造合镁水泥、绝热和隔音材料；在化学工业上，可用以制造硫酸镁和含镁药剂；在橡胶生产上，可作为硫化促进剂等。

自然界镁矿物及含镁矿物很多，含 MgO＞40%的就有方镁石（MgO）、氯镁石（$MgCl_2$）、水镁石[$Mg(OH)_2$]、菱镁矿（$MgCO_3$）、氟镁石（$MgF_2$）、水菱镁矿[$Mg_5(H_2O)_4(CO_3)_4(OH)_2$]、硼镁石[$Mg_2[B_2O_4(OH)](OH)$]、羟磷镁石[$Mg_2(PO_4)(OH,F,O)$]、镁橄榄石（$Mg_2SiO_4$）、蛇纹石（$Mg_6Si_4O_{10}\cdot OH$）、粒硅镁石（$Mg_5Si_2O_8F_2$），这十一种矿物中含镁都高，但只有菱镁矿是主要工业矿物，因它分布广，易选冶。镁橄榄石、蛇纹石和粒硅镁石分布也广，但冶炼加工困难。方镁石和水镁石若有大量聚集时也可用于提取镁。其他富镁矿物分布很稀少，不具工业意义。还有两种含镁矿物虽本身含镁并不高，但分布广，易加工，也是很重要的工业用镁矿物，如白云石，含 MgO 只 21.7%。而光卤石则可综合利用钾和镁[$KMg(H_2O)_6Cl_2$]。

自然界含镁高的岩石有纯橄榄岩、方辉橄榄岩、蛇纹岩和菱镁矿岩。也只有后者最有工业意义。

### Bd001 菱镁矿 magnesite

【组成与结构】 化学组成为 $MgCO_3$，含 MgO 47.81%，常有铁和锰的类质同象代替达 8%，有时具有 Ni、Ca、Si 等混入物。三方晶系，复三方偏三角面体晶类。晶形为菱面体。经常呈现晶粒状或隐晶质的致密块状、陶瓷状。集合体有层状、脉状、囊状等形态。

【物化性质】 白色或浅黄白色，灰白色，有时带淡红色调。陶瓷状菱镁矿大都呈雪白色。有些变种具黏舌性。玻璃光泽。解理完全。瓷状变种具有贝壳状断口。硬度 4～4.5。性脆。相对密度 2.9～3.1。某些菱镁矿在阴极射线与紫外线下发天蓝色、白色或红色光。菱镁矿溶于盐酸，在冷盐酸中溶解慢，加热后迅速溶解。

【功能与用途】 菱镁矿加热至 640℃以上时，开始分解成氧化镁和二氧化碳。在 700～1000℃煅烧时，$CO_2$ 没有完全逸出，成为一种粉末状物质，称为轻烧镁（也称苛性镁、α-镁…），其化学活性很强，具有高的胶黏性，易与水作用生成氢氧化镁。在 1400～1800℃煅烧时，$CO_2$ 完全逸出，氧化镁形成方镁石致密块体，称重烧镁（又称硬烧镁、β-镁…），这种重烧镁具有很高的耐火度。在

2500～3000℃将重烧镁熔融，经冷却凝固发育成完好的方镁石晶体，称为电熔氧化镁或熔融氧化镁。高温煅烧的氧化镁不易与水和碳酸结合，具有硬度大、抗化学腐蚀性强、电阻率高等特性。

由于菱镁矿的这些煅烧产品具有不同的化学性质和特性，因此用途也不一样。轻烧镁主要制造凝胶材料。如含镁水泥、绝热和隔音的建筑材料，也可作为陶瓷原料。将轻烧镁进行化学处理后，可以制成多种镁盐，用做医药、橡胶、人造纤维、造纸等方面的原料。重烧镁，绝大部分作冶金用的耐火材料，用于制造镁砖、铬镁砖、镁砂、冶金粉。电熔氧化镁主要用做冶炼特殊合金钢、有色金属和贵金属的中高频感应电炉炉衬、镁坩埚，它还可作高温电气绝缘材料。

用电解法、还原法等菱镁矿中可提取金属镁。镁具有质量轻（质量仅为铝的 2/3）、化学性能活泼、导电传热性能好等特点，与其他金属熔合可形成相对密度小、强度高、力学性能好的多种合金，广泛用于军事工业和国防尖端工业。由于镁在空气中易与氧化合并燃烧发强光，因此镁粉可用于制造照明弹、燃烧弹、镁还可用做冶炼钛、锆、铀和铍的还原剂，在钢铁工业中作球墨铸铁和球化剂和钢的脱硫剂。对菱镁矿及菱镁矿制品的质量要求如下。

**菱镁矿质量标准**（YB 321—81）

| 矿石品级 | 化学成分/% | | | 块度/mm | 说　　明 |
|---|---|---|---|---|---|
| | MgO | CaO | $SiO_2$ | | |
| 特级品 | ≥47 | ≤0.6 | ≤0.6 | 25～100 | 制高纯镁砂；作特殊耐火材料用 |
| 一级品 | ≥46 | ≤0.8 | ≤1.2 | 25～100 | 制各种镁砖 |
| 二级品 | ≥45 | ≤1.5 | ≤1.5 | 25～100 | 制各种镁砖 |
| 三级品 | ≥43 | ≤1.5 | ≤3.5 | 25～100 | 供制镁硅砂用时，SiO 不得大于 4%；供热选生产用时，SiO 不得大于 5% |
| 四级品 | ≥41 | ≤6 | ≤2 | 25～100 | 制冶金镁砂 |
| 菱镁石粉 | ≥33 | ≤6 | ≤4 | 0～40 | 供烧结用，块度大于 40mm 的不得超过 10%，最大者不能大于 60mm |
| 炼镁用 | 42～46 | ≤1.8 | ≤1.8 | $R_2O_5$≤2 | 轻烧镁（MgO）86～88 提炼金属镁用 |

有关对轻烧镁和重烧镁产品质量的要求如下。

| 重烧镁质量标准 | | | | | 轻烧镁质量标准 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 品级 | MgO/% | $SiO_2$/% | CaO/% | 粒度/mm | MgO/% | $SiO_2$/% | 粒　度 |
| 一级 | 97 | ≤1.3 | ≤1.5 | 0～30 | ≥92 | ≤2 | 0～40mm |
| 二级 | 95 | ≤3 | ≤2.5 | 0～40 | ≥91 | ≤3 | 2～5mm |
| 三级 | 91 | ≤4 | ≤2.5 | 0～90，0～20，0～10 | ≥90 | ≤5 | 80 目 |
| 四级 | 90 | ≤5 | ≤3 | 0～90，0～20，0～10 | ≥87 | ≤6 | 150 目 |
| 五级 | 87 | ≤5.5 | ≤5 | 0～90，0～20，0～10 | | | |

在地质勘查过程中，对菱镁矿矿石和矿体的质量要求。

**作金属镁、耐火材料的菱镁矿矿石**

| 项　目 | MgO/% | CaO/% | $SiO_2$/% | $Al_2O_3+Fe_2O_3$/% | 用　途 | 矿石可采厚度 | 夹石剔除厚度 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 制金属镁 | ≥45 | ≤1.5 | ≤1.5 | ≤1.5 | 炼制金属镁 | 2m | 2m |
| 耐 | ≥47 | ≤0.6 | ≤0.6 | ≤0.6 | 高纯镁砂 | | |
| 火 | ≥45 | ≤1.5 | ≤1.5 | — | 制砖镁砂 | 2m | 1～2m |
| 材 | ≥43 | ≤1.5 | ≤5 | — | 镁硅砂 | | |
| 料 | ≥41 | ≤6 | ≤2 | — | 冶金镁砂 | | |

注：表中“—”表示对 $Fe_2O_3+Al_2O_3$ 不作要求。

【鉴别特征】 菱面体晶形或致密块体，密度小。与方解石区别是滴盐酸不起泡。准确鉴别要作化学分析和 X 射线粉晶分析。

【产地】 我国是世界上菱镁矿资源和矿石生产第一大国。菱镁矿主要产地是辽宁省大石桥市、海城市及岫岩县，占全国总储量的 85%，其次是山东莱州市，占全国总储量的 9.54%，再次为西藏类乌齐县、新疆和静县和甘肃肃北县。

## Bd002 白云石 dolomite

【别名】 白云岩 dolomitite

【组成与结构】 白云石的化学组成为 $CaMgC_2O_6$，CaO 30.41%，MgO 21.86%，常见的类质同象代替为 Fe、Mn、Co、Zn、Pb、Na 等。三方晶系，菱面体晶类，有聚片双晶。集合体呈粒状、致密块状，有时呈多孔状肾状体。

白云岩是主要由白云石组成的岩石，有时杂有少量的方解石、石英、云母和泥质矿物及铁、锰矿物。含白云石达 90%～100%，$CaO/MgO=1.5\sim1.4$。细粒～粗粒结构，层状或块构造。有时夹有硅质条带或古生物化石碎屑。

【物化性质】 矿物呈白色、灰色，含铁多的呈褐色。玻璃光泽。解理完全。断口呈阶梯状，有时平坦状。性脆。硬度 3.5～4。相对密度 2.87。含铁白云石可达 2.9。某些白云石在紫外线下发白色、天蓝色、黄色、浅红色光。在阴极射线下发橙色与橙红色光。溶于热盐酸并放出气泡，在冷盐酸中缓慢溶解。

白云岩新鲜面多为白色、灰白色。风化面多为黄褐色并呈砂糖状。滴盐酸不起泡。

【功能与用途】 白云石煅烧至 700～900℃时，成为氧化钙和氧化镁的混合物，称苛性白云石；煅烧至 1500℃时，氧化镁成为方镁石，氧化钙转为结晶的 $\alpha$-CaO，结构致密，耐火度可达 2300℃，抗渣性较强。

白云岩广泛用于冶金、化学、建筑及其他工业。冶金工业主要用做耐火材料，部分用做熔剂。用白云石制成的耐火砖有稳定性白云石和抗水性白云石砖两种，均为碱性砖。广泛用于砌筑转炉、电炉、化铁炉炉衬。炼铁和炼钢时，白云岩作为熔剂，起中和酸性炉渣、降低渣中 FeO 的活度、减轻炉渣对炉衬的侵蚀作用。

白云岩还可制含镁水泥和作建筑石材；化学工业用以制硫酸镁和含水碳酸镁。橡胶、制药业用以作填料，还可作钙镁磷肥和粒状化肥。改造酸性土壤；玻璃、陶瓷业利用白云岩作配料，能提高玻璃的化学稳定性和坚固性。增加陶瓷光泽等。白云岩亦可作炼金属镁的原料。

【鉴别特征】 白云石具有菱面体的习性，弯曲的晶面。在冷盐酸中作用缓慢，在热盐酸中作用加剧。白云岩表面多呈砂糖状外貌。详细鉴别则要用差热分析，化学全分析及 X 射线粉晶分析等。

【产地】 白云石和白云岩是分布很广的造岩矿物和岩石，白云岩既是很主要的碳酸盐类沉积岩，也是一种超基性碱性岩浆岩。在我国各地广泛分布。如内蒙古固阳县。包头市白云鄂博区。江苏南京幕府山。贵州省水城市堰塘矿区等。

【一般工业要求】

1. 化学成分

① 陶瓷用白云岩

$CaCO_3+MgCO_3>79\%$，$Fe_2O_3<0.3\%$。表面无锈化现象。

② 辉绿岩铸石用白云岩

$MgO>18\%$，$CaO>30\%$。

③ 提炼金属镁用白云岩

$MgO>20\%$，$SiO_2<3\%$，$K_2O+Na_2O<0.3\%$。

④ 耐火材料用白云岩

$MgO \geqslant 20\%$，$SiO_2+Fe_2O_3+Al_2O_3+Mn_3O_4 \leqslant 3.0\%$，其中 $SiO_2 \leqslant 1.5\%$。

⑤ 熔剂用白云岩

$MgO \geqslant 16\%$，$Fe_2O_3+Al_2O_3+Mn_3O_4 < 1.0\%$，$SiO_2 \leqslant 4\%$。

⑥制含镁水泥用白云岩

$MgO > 18\%$，$Fe_2O_3+MnO_2 \leqslant 0.5\%$，$R_2O_3 \leqslant 4.0\%$。

⑦ 制钙镁磷肥用白云岩

$MgO > 20\%$，$CaO > 30\%$，$SiO_2$、$Fe_2O_3$、$Al_2O_3$ 少量。

⑧ 玻璃原料用白云岩

$MgO \geqslant 19\%$，$CaO > 26\%$，$Fe_2O_3 \leqslant 0.2\%$，$Al_2O_3 \leqslant 1.0\%$。

2. 开采技术条件

最低可采厚度：2m

最小夹石剔除厚度：2m

剥采比：1∶(1～3)

## Bd003 方镁石 periclase

【组成与结构】 化学组成为 MgO。含镁金属 60.32%。天然方镁石里镁常被铁（达 6%），锰（达 9%），锌（达 2.5%）所代替。构成变种，在 MgO-FeO 及 MgO-MnO 系列里，加热到 1050℃后，能生成完全固溶体。等轴晶系，六八面体晶类。完好晶形少见，常呈不规则粒状或浑圆粒状。

【物化性质】 纯者无色，通常为灰白色、黄色、棕黄色、绿色，甚至黑色。白色条痕。玻璃光泽。透明至半透明到不透明。解理完全。硬度 5.5～6。相对密度 3.5～3.9。不导电。在 α 粒子作用下产生波动传导性。熔点 2800～2940℃，约在 1100℃时发生塑性变形。易溶于稀盐酸、稀硝酸。含镁方解石灼烧后变黑。矿粉用水浸湿，呈碱性反应。加硝酸钴溶液烧之呈肉红色（镁的反应）。

【功能与用途】 产于变质的富镁碳酸盐岩石中。方镁石易变为纤维状或鳞片状的水镁石、水菱镁矿和蛇纹石，这些矿物可依方镁石形成假象，或在水镁石中成残余核心。大量富集可作制镁原料。人造方镁石是一种耐火材料。

【鉴别特征】 颜色多为浅色，透明半透明。解理完全，硬度大。均质性。易溶于盐酸及硝酸，耐高温。呈镁的微化反应。

【产地】 国外文献中见于瑞典和意大利有锰方镁石和铁方镁石。我国内蒙古包头市白云鄂博矿区鉴别出有方镁石。

## Bd004 水镁石 brucite

【组成与结构】 水镁石化学组成为氢氧化镁 $Mg(OH)_2$。含 MgO 69.12%，$Fe^{2+}$、$Mn^{2+}$、$Zn^{2+}$ 能以类质同象混入物代替 $Mg^{2+}$；其中 MnO 可达 18%，FeO 可达 10%，ZnO 可达 4%。还含少量 Ca、Al、Si 杂质。三方晶系，复三方偏三角面体晶类。晶体呈板状或叶片状，细鳞片状或浑圆状，不规则粒状、纤维状集合体。纤维长度可达 50cm，这种纤维状水镁石称为纤水镁石或水镁石石棉。

【物化性质】 白色、灰白色、有时呈绿色、黄色或褐红色。条痕为白色。在新鳞面上断口呈玻璃光泽。解理面上显珍珠光泽，纤水镁石呈丝绢光泽透明，解理完全。硬度 2.5。细片具挠性及柔性。相对密度 2.3～2.6（水镁石的颜色、相对密度和折射率随铁、锰含量增加颜色变深，比重和折射率增高）。具热电性。易溶于盐酸，不起泡。灼烧时闪闪发光，灼烧后呈弱的碱性反应。灼烧后加硝酸钴溶液，再灼烧呈淡红色。

【功能与用途】 水镁石为可溶性含镁化合物在强碱性溶液中水解而成。因此常呈方镁石假象产出。水镁石加热到500℃时，开始放出水，转变为方镁石。若大量聚集时，一般水镁石可作为提取镁的原料之一。当水镁石量多，质佳（纤维细长）时，可作水镁石石棉矿开采。

【鉴别特征】 水镁石与滑石、叶脂石、三水铝石相似。但水镁石易溶于盐酸，不起泡。灼烧时发光。解理好。薄片具挠性。

【产地】 水镁石在美国、加拿大、俄罗斯和朝鲜都有产出。我国有陕西陕南水镁石石棉矿，四川石棉矿中有部分水镁石石棉。辽宁凤城硼矿床中也有水镁石。

### Bd005 光卤石 carnallite

【组成与结构】 化学组成 $KMg(H_2O)_6Cl_3$。含钾14.1%，镁8.7%，常含有少量的溴及微量的铷、铯等同质同象混入物，偶尔含有锂和钛。机械混入物有NaCl、KCl、$CaSO_3$、$Fe_2O_3$及黏土等。斜方晶系，斜方双锥晶类。晶体呈假六方双锥状，但少见。通常呈粒状，致密块状或纤维状集合体。

【物化性质】 纯净者无色或白色；常因含有细粉末的氧化铁包裹物而被染成玫瑰色或红色；若混入物为氢氧化铁，则呈褐色或黄色。新鲜断口显玻璃光泽。透明至半透明。在空气中很快变暗而呈油脂光泽。无解理。性脆。硬度2～3。相对密度1.60。具强吸水性。在空气中易潮解。味辛辣苦及咸。发强荧光。溶于水时发特殊的碎裂声，这是因为它常含有处在高压下的气泡爆破所致。

【功能与用途】 产于盐矿中与钾盐、石盐、杂卤石、水镁矾等共生。大量聚集时，可供提取钾和镁。

【鉴别特征】 白色、无解理，油脂光泽，硬度和相对密度小，易潮解，多味，发强荧光。

【产地】 世界主要产钾国家俄罗斯、加拿大、美国、德国、泰国等都产出光卤石，我国云南省江城县勐野井钾盐矿床，青海察尔汗钾镁盐湖矿床、海西大柴旦马海盐湖矿床和新疆罗布泊盐湖矿床中都产有光卤石。

# Be 镍

镍是银白色金属，1751年由瑞典矿物学家克朗斯塔特（A·F·Cronstedt）分离出来的。在各类岩石中，超基性岩含镍最高，基性岩次之，属亲铁元素。相对密度8.8～8.9、莫氏硬度为5，熔点1452℃，沸点3075℃。具有良好的机械强度和延展性，难熔、在空气中不氧化等特性。盐酸、硫酸、有机酸和碱性溶液对镍的侵蚀极慢。只有稀硝酸是镍的强侵蚀剂。强硝酸能使镍表面钝化而具有抗蚀性。

镍是一种十分重要的有色金属原料。其主要用途是制造不锈钢、高镍合金钢和合金结构钢，被广泛用于飞机、雷达、导弹、坦克、舰艇、宇宙飞船、原子反应堆等各种军工制造业。在民用工业中，镍常制成结构钢、耐酸钢、耐热钢等大量用于各种机械制造业。镍还可作陶瓷颜料和防腐镀层。镍钴合金是一种永磁材料，广泛用于电子遥控、原子能工业和超声工艺等领域。在化学工业中，镍常用做氢化催化剂。近年来，在彩色电视机、磁带录音机和其他通讯器材等方面镍的用量也正在迅速增长。

镍属于亲铁元素，已知含镍矿物有50多种，主要有用镍矿物有20多种，其中硫化物，如镍黄铁矿、紫硫镍铁矿等呈游离硫化镍形式存在，有相当一部分镍以类质同象赋存于磁黄铁矿中。而氧化镍矿中，镍红土矿含镍高，含硅镁低，含镍为1%～2%；硅酸镍所含镍低，含硅镁高。目前，氧化镍矿的开采利用是以镍红土矿为主，它是由超基性岩风化发展而成的，镍主要以镍褐铁矿形式存在。

我国镍矿床的一般工业要求如下。

镍矿床一般工业要求

| 项　　目 | 硫化镍矿床 | | | 氧化镍-硅酸镍矿 |
|---|---|---|---|---|
| | 原生矿石 | | 氧化矿石 | |
| | 坑采 | 露采 | | |
| 边界品位(Ni)/% | 0.2～0.3 | 0.2～0.3 | 0.7 | 0.5 |
| 最低工业品位(Ni)/% | 0.3～0.5 | 0.3～0.5 | 1 | 1(单工程单矿体计) |
| 最低可采厚度/m | ≥1 | ≥2 | 同原生矿石 | 1 |
| 夹石剔除厚度/m | ≥2 | ≥3 | 同原生矿石 | 1～2 |

由于镍矿床含有伴生组分比较多，因此矿床的工业要求，要根据不同矿床的具体情况确定。硫化镍矿床的矿石按硫化率，即呈硫化物状态的镍（SNi）与全镍（TNi）之比将矿石分为以下几类。

原生矿石：SNi/TNi>70%

混合矿石：SNi/TNi 45%～70%

氧化矿石：SNi/TNi<45%

硅酸盐矿石按氧化镁含量分为以下几类。

铁质矿石：MgO<10%

铁镁质矿石：MgO 10%～20%

镁质矿石：MgO>20%

镍矿石的主要有害杂质有铜（在硅酸镍矿中）、铅、锌、砷、氟、锰、锑、铋、铬等。硫化镍矿石按镍含量可分为三个品级：特富矿石（可直接入炉冶炼）Ni>3%；富矿石 Ni 1%～3%；贫矿石 Ni0.3%～1%，后两种矿石需经选矿。

硫化镍矿床普遍含铜，常称含铜硫化镍矿床。在镍矿体中铜无需单独制定指标和圈定矿体。当镍品位达不到指标，而铜可单独形成矿体时，则按铜指标执行。除铜外，还伴生有许多有用元素，他们的含量要求为：Pt、Pd 为 0.03g/t，Os、Ru、Rh、Ir 为 0.02g/t；Au 为 0.05～0.1g/t，Ag 为 1g/t，Co 为 0.01%，Se 为 0.0005%，Te 为 0.0002%。

在蛇纹岩、滑石等矿床中含有较高的镍，常有回收价值，在评价该类矿床时对镍要注意综合评价。如我国江西弋阳樟树墩蛇纹岩矿床含 Ni 0.21%。在制钙镁磷肥时可得含镍 4%～6%的磷镍铁，回收率在 70%左右，并可回收钴和铬。

我国镍资源居世界第 9 位，分布于全国 18 个省、自治区。镍矿资源较多的是甘肃，其次为新疆、云南、吉林、湖北和四川。

### Be001　自然镍　nickel

【组成与结构】 自然镍 Ni，理论上应含镍 100%，自然界产出的自然镍中常类质同象含有大量的铁（Fe≤40%）和少量的 Co、Cu（≤1%）和 Pt。自然镍富铁变种称铁镍矿（awaruite）含 Ni 67%，其组成相当于 $Ni_2Fe$。镍纹石（taenite）和铁纹石（kamacite）是陨石中的 Fe-Ni 系的两个相。镍纹石含大量镍（可达 48%）。等轴晶系，具铜型结构。镍纹石和铁纹石在陨石中多组成格子构造。

【物化性质】 灰白色，不透明。金属光泽。硬度 4.5，相对密度 8.91。具延展性。难熔。化学性稳定，在空气中不氧化。

【产地】 新喀里多尼亚发现过自然镍，美国俄勒岗州曾发现过铁镍矿。

### Be002　针镍矿　millerite

【组成与结构】 化学组成 NiS，含 Ni 64.67%，常有 Co、Fe 及 Cu 的混入物。三方晶系，复三方单锥晶类。晶体常为针状和毛发状，并带有粗的纵纹。部分晶体绕长轴有螺旋状扭转。集合体为放射

状、毛发状和毯状，有时可见粒状集合体。

【物化性质】 针镍矿呈浅黄铜黄色，有时呈青色。条痕为绿黑色。强金属光泽。不透明。解理完全。硬度 3～3.5。性脆。相对密度 5.2～5.6。电的良导体。溶于硝酸和王水，使溶液呈绿色和析出部分硫。矿物的硝酸溶液与二甲基乙二醛肟作用，呈镍的粉红色特有反应。（鉴别特征从略）

【功能与用途】 针镍矿是典型的热液产物，是由镍黄铁矿等蚀变形成。在氧化带和次生富集带中也有产出，大量聚集时与其他镍矿物共同组成镍矿石。

【产地】 我国甘肃、四川、辽宁镍矿区有针镍矿。

## Be003 方硫镍矿 vaesite

【组成与结构】 化学组成 $NiS_2$，含 Ni 47.79%。常含 Co（≤11%）、Se（可达 20%）和 Fe（≤16%）。富铁变种称铁-方硫镍矿。等轴晶系，黄铁矿型结构，晶体呈八面体或立方体。粒状集合体。

【物化性质】 矿物呈灰色，钢灰色。金属光泽。不透明。解理完全。硬度 3.5～6，相对密度 4.31～4.62。

【产地与用途】 铁-方硫镍矿见于我国四川。方硫镍矿多产于热液型和岩浆型铜镍硫化物矿床中，在铜镍矿床中交代镍黄铁矿。大量富集时可与镍黄铁矿、针镍矿等共同构成镍矿石。

## Be004 镍黄铁矿 pentlandite

【组成与结构】 镍黄铁矿化学组成 $(FeNi)_9S_8$，含 Ni 22%～42%，常有类质同象混入物钴，一般是 0.4%～3%，有些矿床里钴在镍黄铁矿中高达 31%，称为含钴镍黄铁矿（我国四川产）。有时镍黄铁矿中含铂族元素 Os 0.064～0.552g/t，Ru 0.048～0.757g/t（我国甘肃产），Os 0.1g/t，Ir 0.06g/t，Pd 4.0～14.9g/t，Pt 2.5～10.0g/t（前苏联诺利斯克产），还混入有 Cu、Ti、V、Mn、Ag、Cd、Sn、Se、Te 等元素。等轴晶系。六八面体晶类。多呈粒状或不规则粒状集合体；经常呈叶片状或火焰状规则连生于磁黄铁矿中。

【物化性质】 镍黄铁矿呈古铜黄色。绿黑色或亮青铜褐黄条痕。金属光泽。不透明。解理完全。不平坦状断口。硬度 3～4；随着成分中钴含量的降低略为降低。相对密度 4.5～5。无磁性。电的良导体。溶于硝酸，染溶液成绿色，往溶液内加氢氧化铵产生氢氧化铁褐色沉淀，加二甲基乙二醛肟呈桃红色（镍的反应）。除溶于硝酸外，其他标准试剂无作用。

【功能与用途】 是铜镍硫化物矿床中的主要含镍矿物，与磁黄铁矿、黄铁矿紧密共生。常转变为紫硫镍矿和辉铁镍矿。在氧化带，分解形成易溶于水的含镍硫酸盐如碧矾或镍矾等共组成镍矿石。

【鉴别特征】 由于镍黄铁矿常呈极细的析出体连生在磁黄铁矿中，肉眼鉴别很困难，要借助于反光显微镜及化学试验等方法确定。粗大颗粒者，可根据其较磁黄铁矿稍黄的色调和具〈111〉解理与磁黄铁矿区别。

【产地】 我国主要产于甘肃省金川市，新疆维吾尔自治区的哈密市黄山，阿勒太富蕴县，吉林省通化县赤柏松和四川省会理县力马河，云南省金平县和陕西省略阳县。

## Be005 紫硫镍矿 violarite

【组成与结构】 化学组成 $FeNi_2S_4$，含 Ni 38.94%，经常含有混入物 Co、Cu。等轴晶系，六八面体晶类。晶体呈八面体或立方体外形；完整晶体少见；一般呈半自形晶或粒状集合体。有时按镍黄铁矿形成假象。

【物化性质】 紫硫镍矿呈棕褐色或玫瑰紫色，色似磁黄铁矿，在空气中受氧化产生铜红青色，久之

变暗为棕褐色。新鲜断口为金属光泽。置空气中很快转变为暗淡光泽。不透明，碎片在空气中易自行崩裂，久之成粉末状。解理完全。硬度 4.5～5.5。相对密度 4.5～4.8。中等磁性。具导电性。溶于硝酸，析出硫。在标本上滴硝酸（1∶1）浸蚀时缓慢起泡，使其变暗；其他试剂无作用。用二甲基乙二醛肟为试剂呈红色镍的反应。

【功能与用途】 紫硫镍矿多数与超基性岩和基性岩有关，部分见于热液型矿床中。在表生氧化条件下，转变为铁的氢氧化物，此时镍进溶液呈硫酸盐，使矿物局部退色或出现翠矾的钟乳体。大量聚集时，与其他镍矿物组成镍矿石。

【鉴别特征】 八面体或立方体外形，棕褐色或铜红青色。颜色光泽随时间而变化并裂解。溶于硝酸。有镍的微化特征。反光镜下呈淡紫色。

【产地】 在我国山东省、辽宁省、陕西省和甘肃省金川市超基性岩铜镍矿床中产出。

## Be006 硫镍矿 polydymite

【别名】 辉镍矿；辉（铁）镍矿。

【组成与结构】 化学组成为 $Ni_3S_4$，含 Ni 理论上为 57.9%，一般为 42%～54%，常类质同象混入有 Co、Fe、Zn、Se（最高可达 10%）。等轴晶系，六八面体晶类。八面体晶形少见，多数为致密粒状集合体，少数呈致密块状。

【物化性质】 浅灰至钢灰色，常具有暗锖色。金属光泽。不透明。解理不完全。具不平坦状或贝壳状断口。硬度 4.5～5.0。弱延展性。相对密度 4.5～5。在氧化带潮湿条件下，硫镍矿转变为镍的硫酸盐矿物，如翠矾等。

【功能与用途】 硫镍矿（$NiNi_2S_4$）与硫钴矿（$CoCo_2S_4$）中 Ni 和 Co 是完全类质同象，依二等分法分为两个亚种，其中间亚种，即当 Ni∶Co＝1∶1 者，称为硫镍钴矿（siege-nite）。一般产出很少，当大量聚集时，与其他镍矿物可共同构成镍矿石。

【产地】 国外俄罗斯和德国有产出。我国江苏、四川、新疆哈密黄山和吉林通化赤柏松镍矿床有产出。

## Be007 砷镍矿 maucherite

【组成与结构】 化学组成为 $Ni_{12-x}As_8$。当 $x=0$ 时，成分式为 $Ni_3As_2$，含 Ni 54.02%，As 45.98%。当 $x=1$ 时，成分式为 $Ni_{11}As_8$，Ni 51.85%，As 48.15%。成分中常混入有 Co、Cu、Fe、Pb、Bi 等元素。四方晶系、复四方双锥晶类。常呈不规则粒状、板状、针状。集合体呈放射状，变胶体常呈同心圆构造。

【物化性质】 新鲜断口呈带浅红色调的银灰色，很快就变成铜红色。条痕浅黑灰色。金属光泽。不透明，无解理。参差状断口。性脆。硬度 5。相对密度 7.95。溶于硝酸，呈绿色。具镍的微化反应。

【产地与用途】 产出很少，难形成工业意义矿石。

## Be008 红砷镍矿 nccolite

【组成与结构】 化学组成 NiAs，Ni 43.92%，As 56.08%。混入物有 Cu、Fe、Co、Bi、Sb、S 等，Sb 可达 6%。六方晶系。复六方双锥晶类。完好晶体少见，常呈致密块状集合体，粒状集合体，具有梳状、放射状结构的肾状体。有时呈网状和树枝状。

【物化性质】 淡铜红色，条痕褐黑色。金属光泽，不透明。解理不完全，断口不平坦。性脆。硬度 5～5.5。相对密度 7.6～7.8。具良导电性。易溶于硝酸和王水。

【功能与用途】 红砷镍矿溶点 968℃。当加热高于 850℃，具如下反应：$3NiAs \longrightarrow Ni_3As_2 + As$。在温度 400～450℃之砷蒸气下则转变为二砷化镍：$NiAs + As \longrightarrow NiAs_2$。由于红砷镍矿颗粒外部

形成 $NiAs_2$ 致密外壳，反应迅速停止。红砷镍矿高温时与红锑镍矿成固熔体。

富集时与共生镍矿物可共同构成镍矿石。

【鉴别特征】 淡红铜色、褐黑色条纹。木炭上吹管烧之，生光亮脆性小球，及白色 $As_2O_3$ 被膜，发砷的强蒜臭气。硝酸溶液呈苹果绿色，加氨水变成天蓝色，与二甲基乙二醛肟作用产生玫瑰色沉淀。

【产地】 瑞士；德意志；中国云南。

## Be009 辉砷镍矿 gersdorffite

【组成与结构】 化学组成 NiAsS。含 Ni 35.41%，As 45.26%。钴、铁代替镍，钴可达 8.8%，铁可达 15%。锑代替砷达 1.4%。等轴晶系，晶形为八面体或立方体。晶面上通常有类似黄铁矿的晶面条纹。集合体呈块状、粒状或叶片状。

【物化性质】 锡白-钢灰色，常变为灰或浅灰黑色。条痕浅灰黑色。金属光泽。不透明。解理完全。断口参差状。性脆。硬度 5.5。相对密度 5.9。

## Be010 绿镍矿 bunsenite

【组成与结构】 化学组成 NiO。含 Ni 78.58%。等轴晶系。六八面体晶类。晶体呈八面体状。多呈细粒状或粉末状集合体。

【物化性质】 暗浊绿色、黄绿色至褐黑色。条痕棕黑色。玻璃光泽至金刚光泽。透明至半透明。硬度 5.5～6。相对密度 6.4～6.9。无导电性。缓溶于酸，溶于硫酸氢钾溶液中。硼砂珠球反应：热时呈紫色，冷却转变为褐色。

【功能、用途与产地】 在常温下属氯化钠型结构，在 197℃ 以下变为菱面体结构型，$\alpha>60°$。见于德国镍、铀矿脉氧化带，与自然铋及镍和铅的砷酸盐伴生。

## Be011 镍磁铁矿 trevorite

【组成与结构】 化学组成为 $NiFe_2O_4$。含 Ni≈25%，在镍磁铁矿中 $Fe^{2+}$ 代替 Ni 可达 12.99%，此外亦有少量 Co、Mg 的代替。等轴晶系。六八面体晶类。晶体少见。呈致密块状集合体。

【物化性质】 矿物颜色黑色。条痕黑色至暗棕色。金属光泽。不透明。硬度 5～6.5。相对密度 5.21～5.33。具强磁性。

【产状与产地】 产于南非的斯科契亚滑石矿床中，在绿色滑石片岩中成夹层产出，与针硫镍矿和含镍硅酸盐矿物共生，构成镍矿石。

## Be012 镍华 annabergite

【组成与结构】 化学组成为 $Ni_3(H_2O)_8[AsO_4]_2$，含 NiO 37.46%，$As_2O_5$ 38.44%。混入物有 Co 和 Mg。单斜晶系，柱状晶体。集合体常呈皮壳状、土状或粉末状。

【物化性质】 白色、灰色。浅绿至深黄绿色。条痕色比颜色稍浅。透明至半透明。弱金刚光泽，解理面上珍珠光泽。解理完全至不完全。硬度 1.5～2.5，薄片具挠性。相对密度 3.07～3.23。溶于盐酸。

【产状与产地】 为含镍矿床氧化带的次生矿物，常为钴和镍的砷化物氧化而成，与钴华、砷铁矿、碧矾、镍矾、孔雀石、水砷锌矿、臭葱石等共生。大量富集时，构成镍、钴矿石。

## Be013 镍矾 retgersite

【组成与结构】 矿物化学组成为 $Ni(H_2O)_6[SO_4]$。含 NiO 28.42%。其中镍可被铁和镁代替。还可

混入 Co、Zn、Cu、Al 等金属。四方晶系。晶体呈厚板状、柱状，亦呈被膜状和皮壳状。

【物化性质】 矿物呈带蓝色的翠绿色。玻璃光泽。条痕浅绿白色。解理完全到不完全。断口参差状。硬度 2.5。性脆。相对密度 2.07。易溶于水。味苦。

【产状与产地】 产于镍矿床氧化带的次生矿物，多为红砷镍矿的变化产物。见于俄罗斯科拉半岛镍矿床氧化带。

### Be014 碧矾 morenosite

【组成与结构】 矿物化学组成为 $Ni(H_2O)_7[SO_4]$。含镍 26.6%。其中镍可被镁代替 7.65%。斜方晶系。晶体为短柱状。常呈钟乳状和皮壳状。

【物化性质】 矿物呈浅绿白色至绿色。透明至半透明。玻璃光泽。条痕暗浅绿白色。解理中等。断口贝壳状。硬度 2～2.5。相对密度 1.976。易溶于水。味涩。

【产状与产地】 为含镍硫化物矿床氧化带产物。见于美国加利福尼亚州和加拿大等地镍矿床中。

### Be015 翠镍矿 zaratite

【组成与结构】 矿物化学组成为 $Ni_3[CO_3](OH)_4 \cdot 4H_2O$。含 NiO 为 59.6%。等轴晶系。成致密块状，乳房状被壳产出。

【物化性质】 矿物呈翡翠绿色。透明至半透明。玻璃光泽至油脂光泽。贝壳状断口。硬度 3.5。性脆。相对密度 2.57～2.69。

【产状与产地】 在蛇纹岩和基性火成岩里呈次生矿物出现，与铬铁矿伴生。

### Be016 镍蛇纹石

【别名】 蛇纹石类有三个变种：叶蛇纹石、纤蛇纹石和利蛇纹石，他们都有含镍高的变种。镍纤蛇纹石（garnierite）也称为暗镍蛇纹石、硅镁镍矿、滑硅镍矿，是纤蛇纹石变种。镍利蛇纹石(nepouite)是利蛇纹石变种。

【组成与结构】 镍纤蛇纹石$(Mg \cdot Ni)_6(Si_4O_{10})(OH)_8$。含 NiO 2.0%～47%，混入金属有 Mn、Fe、Cr、Al 等。斜方晶系。二轴晶（±）。隐晶质胶体为均质体，偏胶体者具非均质性。集合体呈致密状，钟乳状，有时为胶状，土状、溶渣状等。镍利蛇纹石组成为 $Ni_6(Si_4O_{10})(OH)_8$，含 NiO 47%。单斜晶系。晶体呈板状，片状。

【物化性质】 镍纤蛇纹石：暗绿色并带各种色调，大多数具有贝状断口。硬度 2～3.5。相对密度 2.27～2.93。溶于盐酸和硫酸。

镍利蛇纹石：浅绿色至深绿色，或天蓝色至鲜绿色。解理面珍珠光泽。解理极完全。硬度 2.5～3。相对密度 3.2。同样溶于盐酸和硫酸。

【产状与产地】 在含镍、铬蛇纹岩中与铬铁矿、滑石共生亦产于含镍蛇纹岩风化壳及镍矿床中。大量富集时构成镍矿石。见于俄罗斯乌拉尔和法属新喀里多尼亚岛。

### Be017 镍滑石 willemseite

【组成与结构】 镍滑石的化学组成为 $Ni_3[Si_4O_{10}](OH)_2$，含 NiO 46%。单斜晶系。块状，细粒集合体。

【物化性质】 矿物呈浅绿色。解理极完全。硬度 1。相对密度 3.31。二轴晶（－）。化学性稳定，耐酸性强。

【产状与产地】 发现于南非特兰斯瓦尔（Transvaal）滑石矿中，在石英岩和镁铁岩石间接触带的富镍岩石中成细板状。与镍磁铁矿、富镍绿泥石、针镍矿共生。若大量聚集时，与其他镍矿物可共

同构成镍矿石。

### Be018　富镍绿泥石　nimite

【组成与结构】 矿物组成为$(Ni,Al)_3Si_2O_6(OH)_4$，含 NiO 20%～40.2%，并杂有 Mg、Fe、Mn、Co、Ca 等元素。单斜晶系。块状，微细脉状。

【物化性质】 富镍绿泥石为黄绿色。解理中等。硬度 3。相对密度 3.19。不溶于盐酸，溶于热硫酸。

【产状与产地】 发现于南非特兰斯瓦尔滑石矿床的富镍岩石中。与镍磁铁矿、紫硫镍矿、针镍矿共生但成局部富镍矿石。

### Be019　含镍磁黄铁矿　(Ni)-pyrrhotite

【组成与结构】 磁黄铁矿化学组成为 $Fe_{1-x}S$，（$x=0\sim0.2$），含镍磁黄铁矿含 Ni=0.25%～14.22%，有的还含少量 Cu、Co、Se。结构上有六方晶系和斜方晶系及单斜晶系。形态为复六方双锥晶类，晶体呈板状、双锥状、桶状。最常见的是粒状集合体及致密块状体。属磁黄铁矿族结构，而化学组成上有异的一为六方硒镍矿（sederholmile），另一为单斜硒镍矿（wilkmanite），化学组成为 $Ni^{2+}_{1-x}Ni^{3+}_{2/3x}Se$。六方硒镍矿成分接近于 NiSe，单斜硒镍矿成分接近于 $Ni_3Se_4$，含镍近于 33.7%～42.7%。

【物化性质】 古铜色，带晕彩，氧化后呈褐色。条痕黑色。金属光泽～暗淡光泽。解理不完全。断口不平坦，压时易碎。硬度 3.5～4.5。相对密度 4.58～7.06。强磁性、良导电体。矿物在硝酸和盐酸中缓慢溶解。放出 $H_2S$ 和析出粉末状 S。加入 $NH_4CNS$ 溶液显褐色到红色。

【功能与用途】 常产于与基性、超基性岩有关的钒钛磁铁矿矿床，铜镍硫化物矿床中。可作为制取硫酸和硫黄的矿物原料。大量富镍磁黄铁矿与镍矿物共生富集时，可构成镍矿石。

【鉴别特征】 古铜色，带晕彩、强磁性。无铜的微化反应。

【产地】 我国甘肃、新疆、四川等地都有产出。六方硒镍矿和单斜硒镍矿见于芬兰库萨谋产。

### Be020　含镍褐铁矿与含镍高岭石

褐铁矿是个混合物，主要由针铁矿及非晶质氧化铁物质等组成。详见铁矿物及铁矿石部分。含镍褐铁矿是红土型风化壳镍矿床中的主要含镍矿物。矿物中镍含量变化大。一般为 1%～2%。

含镍高岭石俗称绿高岭石，含 NiO=1.1%～1.8%。有关高岭石矿物资料，见高岭石部分。

## Bf　钴

钴是具有钢灰色和金属光泽的硬质金属，它的主要物理、化学参数与铁镍接近，属铁族元素。钴、镍、铁合金是很好的磁性材料，钴的熔点 1495℃，沸点 2930℃，相对密度 8.9（20℃时）。

钴和铬、镍一样用来制作各种合金如精密合金、热强合金、硬质合金、焊接合金等以及各种合金钢。钴钢比钨钢、钼钢都硬，所以用来制造车床、矿山凿岩机械、燃气轮机的叶轮、喷气发动机及导弹火箭的发动机部件和喷嘴等。含钴的永久磁铁在电子、电气工业中有着重要作用。钴制成的耐酸、膨胀合金是重要的高压电阻材料和电镀材料。

有机和无机的钴盐用在油漆、搪瓷、陶瓷、染料、催化剂等。

放射性同位素钴 60 用来治疗癌并在冶金部门用以检查金属铸件的裂缝。

自然界中钴存在形式有三种：①独立钴矿物，②呈类质同象或包裹体存在于某一矿物中，③呈吸附形式存在于某些矿物表面。其中以第二种存在形式最为普遍。以类质同象或显微包裹体存在于辉石、橄榄石、磁铁矿和铬铁矿中的钴不能利用，而赋存于黄铁矿、磁黄铁矿等硫化矿物中者则可

以利用。呈吸附形式存在的钴，目前暂不能为工业所利用。单独钴矿床一般分为砷化钴矿床、硫化钴矿床和钴土矿矿床三类，其工业评价要求如下。

**单独钴矿床工业评价要求**

| 项目 | 硫(砷)化钴 | 钴土矿 |
|---|---|---|
| 边界品位(Co)/% | ≥0.02 | ≥0.3 |
| 工业品位(Co)/% | ≥0.03～0.06 | ≥0.5 |
| (边界含矿率/工业含矿率)/(kg/m³) | | ≥1/(3～5) |
| 可采厚度/m | ≥1 | ≥0.3～1 |
| 夹石剔除厚度/m | 1 | |
| 剥离比 | | <1 |

钴除单独矿床外，大量分散在矽卡岩型铁矿、钒钛磁铁矿、热液多金属矿、各种类型铜矿、沉积钴锰矿、硫化铜镍矿、硅酸镍矿等矿床中。其品位虽低，但规模往往较大，是提取钴的主要来源。一般选冶性能好的矿石，含钴品位大于0.01%，钴精矿的品位0.2%便有价值。钴精矿分下列六个等级。

**钴硫精矿精矿等级分类标准/%**

| 等级 | Co(≥) | S(≥) | Cu(≤) | Pb(≤) | Zn(≤) | Mn(≤) | As(≤) | SiO(≤) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.45 | 25.0 | 0.5 | 0.2 | 0.2 | 0.04 | 0.06 | 7.0 |
| 2 | 0.40 | 25.0 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | 0.06 | 0.08 | 10.0 |
| 3 | 0.35 | 25.0 | 0.7 | 0.2 | 0.2 | 0.08 | 0.10 | 13.0 |
| 4 | 0.30 | 25.0 | 1.0 | 0.2 | 0.2 | 0.10 | 0.10 | 16.0 |
| 5 | 0.25 | 25.0 | 1.2 | 0.2 | 0.2 | 0.10 | 0.10 | 18.0 |
| 6 | 0.20 | 25.0 | 1.2 | 0.2 | 0.2 | 0.10 | 0.10 | 20.0 |

注：粒度要求全部通过水筛80目。

我国已探明的钴资源中单的钴矿床为钴土矿，其储量只占全国总储量的2%左右。绝大多数是伴生矿，品位较低，钴的平均品位仅0.02%。因而生产过程中工艺复杂，金属回收率低，生产成本高。伴生矿中钴的一半储量属铜镍型硫化物矿床。其他类型铜、铁矿床伴生有48%左右的钴资料。

我国已探明的钴资源为47.16万吨，其中A+B+C级储量7.45万吨。由于受资源条件的制约。我国钴产量只能满足国内一半的市场需求。

### Bf001　砷钴矿　modderite

【组成、结构与物理性质】 砷钴矿的化学组成为CoAs，含Co 44%。斜方晶系。呈似链状。白色。与红砷镍矿、方铅矿和铂族矿物共生。

### Bf002　硫钴矿　linnaeite

【组成与结构】 矿物化学组成为$Co_3S_4$，含Co 57.96%，一般40%～53%，常含有Ni、Cu、Fe金属。硫钴矿和硫镍矿的化学组成中，Co-Ni间为完全类质同象，依二等分法分为两个亚种——硫钴矿和硫镍矿，其中间亚种（即Co∶Ni=1∶1）称为硫镍钴矿（siegenite），含Co 29%。等轴晶系。六八面体晶类。常呈粒状集合体及致密块状。

【物化性质】 矿物呈浅灰至钢灰色，通常具铜红至紫灰的青色。金属光泽，不透明。解理不完全。具不平坦状断口。硬度4.5～5.5。相对密度4.8～5.0

【用途与产地】 大量聚集时与其他含钴矿物构成钴矿石或伴生钴矿石。产于美国和瑞典。

### Bf003　硫铜钴矿　carrolite

【组成与结构】 化学组成为$CuCo_2S_4$，Co 38%，Cu 20.52%，及少量Ni和Fe。等轴晶系。六八面

体晶类。晶形呈粒状体。

【物化性质】 矿物呈钢灰色，金属光泽。不透明。解理不完全。硬度 4.5～5.5。相对密度 4.758。矿物当加热到 550～620℃时，产生分解，生成 CuO、CoO、$CoSO_4$，并放出 $SO_2$ 气体。

【用途与产地】 当硫铜钴矿与其他钴矿物及铜镍矿物大量共生富集时，可构成独立钴矿石或伴生钴矿石。产于瑞典、德国、美国、扎伊尔等地。

## Bf004 方硫钴矿 cattierite

【组成与结构】 化学组成为 $CoS_2$，含 Co 47.89%，Ni、Fe 可代替 Co 达 3.5%。等轴晶系。黄铁矿型结构，晶体多呈粒状或块状产出。

【物化性质】 矿物呈粉红色。金属光泽。不透明。解理不完全。硬度约 6。相对密度 4.80。溶于热硝酸和王水。

## Bf005 辉砷钴矿 cobaltite

【组成与结构】 矿物化学组成为 CoAsS。含 Co 35.41%，As 45.28%。常有部分 Co 被压、Ni 取代，分别可达 22.5%和 12.35%。等轴晶系，黄铁矿型结构。辉砷钴矿在 850℃以上为等轴晶系。在 850℃以下为斜方晶系。五角三四面体晶类。晶体常呈立方体与五角十二面体的聚形。晶面条纹与黄铁矿相似，可见到三组互相垂直的聚形条纹。集合体呈粒状或致密块状。

【物化性质】 辉砷钴矿颜色为锡白色，微带玫瑰色调。在空气中置放一些时间后，玫瑰色更为明显。当含镍高时，呈钢灰色带紫色色调。富铁者灰黑。条痕灰黑。金属光泽。不透明。解理完全。断口不平坦到贝壳状。性脆。硬度 5.5。相对密度 6.0～6.5。良导电体。在 840℃左右矿物分解为 $Co_3As_2O_8+CoO+As_2O_3\uparrow$。珠球呈钴的蓝色反应。矿物溶于硝酸，再加入硫氰酸汞钾溶液，生成淡蓝色细小长方柱状或晶簇状的硫氰酸汞钴，形成玫瑰色溶液并析出硫和砷。

【功能与用途】 标准的高温热液矿物，主要产于接触代交及热液脉中，常与铁、钴的硫砷化物、黄铜矿、闪锌矿、辉铋矿等共生。在氧化带常形成被膜状桃红色的钴华和黑色的水钴矿。为提取钴的重要矿石矿物。

【鉴别特征】 颜色锡白色，带玫瑰色调，似黄铁矿的晶形及晶面纹。呈钴的微化反应。

【产地】 广泛产于各国钴矿床中。在我国新疆、甘肃、云南、海南等省都有产出。

## Bf006 钴镍黄铁矿 cobaltpentlandite

【组成、结构与物理性质】 化学组成为 $Co_9S_8$，含 Co 67.4%，常含有 Ni、Fe、Cu，有时 Ni 达 9.1%，Fe 达 10.3%。等轴晶系，六八面体晶类。呈细小片状色裹体产出。反射光下呈白色，均质体。硬度相当于 4.5。

【产地】 见于芬兰和加拿大。

## Bf007 含钴黄铁矿 (Co)-Pyrite

【组成与结构】 黄铁矿组成为 $FeS_2$。钴和镍可类质同象代替铁，钴可达≤14%。黄铁矿 d（511）值随着组成中含钴量的增加而增大。有关黄铁矿详细资料见黄铁矿部分。在此从略。

## Bf008 钴华 erythrite

【组成与结构】 钴华的化学组成为 $3Co_2O_3 \cdot As_2O_5 \cdot 8H_2O$，含 CoO 37.54% $As_2O_5$ 38.39%。单斜晶系。晶体少见，呈针状或厚板状，多呈土状集合体。

【物化性质】 颜色不一，呈紫红、桃红、深红色。条痕浅玫瑰色。透明至半透明。弱金刚光泽，解理面上有的呈珍珠光泽。土状集合体暗淡无光泽。解理完全至不完全。硬度 1.5～2.5。薄片具挠性。相对密度 3.18。迅速溶于酸。溶液呈玫瑰色。矿物的硝酸溶液中加钼酸铵，溶液呈黄色。加热后变为无色或天蓝色。

【功能与用途】 钴华多产在含钴矿床氧化带中，常由辉砷钴矿、砷钴矿、硫钴矿等氧化而成。大量聚集并与其他钴矿一起可组成钴矿石。

## Bf009 水钴矿族

【名称】 水钴矿有两个变种，一个称水钴矿-3R（heterogenite）；另一个称水钴矿-2H（heterogenite-2H）。

【组成与结构】 化学组成 CoO（OH），含 CoO 81.50%，成分相当不固定，Co 可被 $Cu^{2+}$、$Fe^{3+}$、$Ni^{2+}$或 Al 代替。三方晶系。复三方偏三角面体晶类。水钴矿-2H 为六方晶系。矿物多呈粒状集合体，常见为非晶质的球状或肾状团块。

【物化性质】 黑色或浅黑至浅红褐色。条痕褐色、黑褐色。玻璃光泽。（水钴矿-2H 为金属光泽）。断口贝壳状。硬度 3～5。相对密度 3.44～4.72。加热在 200～450℃时失水转变为 $(Co, Ni)_3O_4$，900～975℃时相转变成 $CoO_2$。

【产状与产地】 见于含钴矿床的氧化带。为扎伊尔铜钴矿床，美国内华达州一些经风化的含钴矿床呈团块状产出，量较多，构成钴矿石。

## Bf010 水钴矾 aplowite

【组成与结构】 化学组成 $Co(H_2O)_4[SO_4]$，含 Co 26.7%。单斜晶系。细粒状。

【物化性质】 粉红色。玻璃光泽。条痕白色。硬度 3。相对密度 2.33。

【产地与产状】 发现于加拿大。与水镍钴矿共生，产于钴矿床氧化带。

## Bf011 方硒钴矿 bornhardtite

【组成与结构】 化学组成 $Co_3Se_4$。含 Co 35.89%。Se 64.11%。等轴晶系。六八面体晶类，与共晶石同型。块状，呈细带分布于硬硒钴矿的周围。

【物化性质】 硬度 4～4.5。相对密度 6.6。反射光下呈玫瑰色。

【产状】 见于白云石脉中，与其他钴的硒化物。硒铅矿和赤铁矿伴生。

## Bf012 硬硒钴矿和白硒钴矿

【名称】 硬硒钴矿 trogtalite；白硒钴矿 hastite。

【组成与结构】 硬硒钴矿和白硒钴矿的化学组成相同，都是 $CoSe_2$，含 Co 27.18%，Se 72.82%。铜混入达 9%。钯达 4.7%。硬硒钴矿属等轴晶系，晶体呈块状产出。白硒钴矿属斜方晶系，晶体呈自形板状或放射状集合体。

【物化性质】 两矿物颜色皆呈红色～紫色，白硒钴矿颜色略浅，为亮浅褐红～暗浅红紫色。硬度 5.75。相对密度 7.12～7.22。两矿物的区别可用矿相显微镜相区别，前者为均质性。白硒钴矿为非均质性。或 X 射线结构分析。

【产状】 硬硒钴矿、白硒钴矿、方硒钴矿、六方硒钴矿一起产于硒铅矿中。

## Bf013 硫锑钴矿 costibite

【别名】 副硫锑钴矿 paracostibite

【组成与结构】 硫锑钴矿和副硫锑钴矿为同质异象变体，其化学组成皆为 CoSbs。前者为斜方晶系，晶形呈叶片状或块状。副硫锑钴矿也为斜方晶系，但晶轴长短及 $z$ 值不同。后者呈不规则、半自形、自形粒状晶体。矿物含 Co 25.10%～28.18%，含 Sb 56.00%～57.60%，含 Ni 0.53%～2.28%，Fe 0.5%～0.6%。

【物化性质】 金属光泽。不透明，显微硬度 781kg/mm²，相对密度 6.89。副硫锑钴矿显微硬度 1009～1028kg/mm²。相对密度 7.1。

【产地、产状与用途】 见于加拿大和中国广东铜钴镍矿床中。大量聚集时可形成伴生钴矿石。

# Bg 钨

钨呈银白色，是熔点最高的金属，在 2000～2500℃高温下蒸气压仍很低。钨的硬度大，高温强度好，其熔点 3410℃±20℃，沸点 5927℃，密度 $19.3\times10^3kg/m^3$。拉伸强度高，在高温下的抗张强度超过任何金属，其导电性和导热性良好，散热系数低。

钨具有很高的化学稳定性，耐腐蚀。常温下钨在空气中是稳定的，400℃开始失去光泽，表面形成蓝黑色致密的三氧化钨（$WO_3$），呈保护膜；在 740℃时，三氧化钨由三斜晶系转变为四方晶系，保护膜被破坏；在高于 600℃的水蒸气中，钨氧化为二氧化钨。常温下钨不易被酸碱溶液和王水侵蚀，但可溶于硝酸和氢氟酸的混合酸中。氧化性熔盐，如硝酸钠等能迅速腐蚀钨。高温下钨与氯、溴、碘、一氧化碳、二氧化碳和硫等起反应，但不与氢起反应。

钨精矿用于生产金属钨、碳化钨、钨合金及化合物。

金属钨是电器工业及电子工业的重要材料。碳化钨基硬质合金，一般用于制造高速钻头、高速切削工具等。钨与铬、铁、钴组成耐热、耐磨合金用于制造切削工具，金属表面硬化材料，燃气汽轮机叶片和燃烧管等。

钨与铌、钽、钼等组成难熔合金。高密度的钨、镍、铜合金用做防辐射的防护屏。钨铜和钨银合金用做电接触点材料，钨粉可烧结成各种孔隙度的过滤器。钨的一些化合物应用于颜料、油漆、橡胶、纺织、石油、化工等工业。钨的用途还在不断扩大，特别是在尖端工业中，例如：宇航工业用做火箭喷嘴、喷管、离子火箭发动机的热离解器，核子工作用做盛液态金属的容器等。

钨在地壳中的平均含量为 $1.3\times10^{-6}$，钨在自然界主要呈六价阳离子，又由于离子半径小，电价高，钨主要以络阴离子形式 $[WO_4]^{2-}$，与溶液中的 $Fe^{2+}$、$Mn^{2+}$、$Ca^{2+}$ 等阳离子结合形成黑钨矿或白钨矿。其形成温度在 200～320℃。目前地壳中仅发现 20 余种钨矿物，其中分布最普遍、最具经济价值的是黑钨矿和白钨矿。矿石工业要求如下。

**钨矿一般工业要求**

| 工业指标 / 矿床类型 / 项目 | 石英大脉型 | 石英细脉型 | 石英细脉浸染型 | 层控型 | 矽卡岩型 |
|---|---|---|---|---|---|
| 边界品位($WO_3$)/%<br>边界米百分值 | 0.08～0.1<br>0.064～0.08 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.08～0.1 |
| 工业品位($WO_3$)/%<br>米百分值 | 0.12～0.15<br>0.096～0.12 | 0.15～0.2 | 0.15～0.20 | 0.15～0.20 | 0.15～0.20 |
| 运用米百分值厚度/m | <0.8 | | | | |
| 可采厚度/m | | 1～2 | 1～2 | 0.8～2 | 1～2 |
| 夹石剔除厚度/m | | 3 | 2～5 | 2～3 | 3 |

钨矿床中含有许多伴生组分，其综合评价要求为：Cu 0.05%，Zn 0.5%，Pb 0.2%～0.3%，Co 0.01%，Sn 0.03%，Mo 0.01%，Bi 0.03%，$Ta_2O_5$ 0.01%，$Nb_2O_5$ 0.08%，BeO 0.03%，Sb

0.5%，$Li_2O$ 0.3%，$RE_2O_3$ 0.03%，S 2%。

钨矿石含钨量低，必须经过选矿富集成精矿才能作为冶炼的原料。按矿石类型钨选矿分为黑钨矿选矿和白钨矿选矿两大类型。钨矿的主要选矿方法有手选、重介质选、重选、浮选、磁选和电选等方法。黑钨矿以重选为主，白钨矿以浮选为主。我国黑钨矿矿石品位高，易选。以往和当今生产的钨精矿以黑钨矿为主。白钨矿矿石组成复杂，品位较低，尚待研究。我国对钨精矿，国家已制定了行业标准，即为 GB 2825—81，分三级二十类。特级品 $WO_3$＞68%～72%，一、二级品 $WO_3$＞65%。S、P、As、Mo、Ca、Mn、Cu、Sn、Fe、Sb、Bi、Pb、Zn、$SiO_2$ 为有害杂质。二十小类精矿中，依冶炼用途不同，对上列杂质分别制定了不同的限定含量。作为钨的冶炼用矿物原料钨精矿，经火法冶炼成钨铁合金（含 W＞70%或＞65%）；经水法冶炼成正钨酸钠，仲钨酸铵或钨酸钙等。最后进一步处理成三氧化钨（含 $WO_3$≥99.9%），再用还原剂（通常用氢）还原成钨粉（含 W≥99.9%）等。主要钨矿物如下。

## Bg001　黑钨矿　huebnerite-ferberite

【组成与结构】 化学组成为（Mn Fe）$WO_4$。在黑钨矿的化学组成中，Mn-Fe 间呈完全类质同象，其三个端元成分是：钨锰矿（huebnerite）、钨锰铁矿（wolframite）和钨铁矿（ferberite）。端元成分的理论化学组成为：$MnWO_4$ 的 MnO 23.42%，$WO_3$ 76.58%；$FeWO_4$ 的 FeO 23.65%，$WO_3$ 76.35%。黑钨矿的混入物有 Mg、Ca、Nb、Ta、Sc、Y 和 Sn 等。其中 $Nb_2O_5$ 高达 0.732%，$Ta_2O_5$ 高达 0.222%。我国赣南地区所产出的主要是钨锰铁矿。主要成分铁、锰的含量，常因形成条件不同而不同。一般说来高温形成的钨锰铁矿中铁的含量偏高，随着形成温度的下降，铁的含量降低，而锰的含量增高。同样，在钨锰铁矿同一晶体内也呈现这种分带性。内部带比外部带含更多的铁。单斜晶系，斜方柱晶类。晶体常呈厚板状或短柱状，有时呈针状，毛发状等。我国江西南部产出的钨锰铁矿，最大的晶体长轴可达 1m 以上。

【物化性质】 黑钨矿的颜色和条痕均随铁、锰含量而变化，含铁越多颜色越深；钨锰矿是浅红、浅紫、褐黑色；钨锰铁矿为褐黑至黑色；钨铁矿为黑色。条痕均较颜色为浅。金刚光泽至半金属光泽。解理完全。性脆。硬度 4～5.5。相对密度：钨铁矿 7.079～7.60；钨锰矿 6.7～7.3；亦随铁的含量增高而加大。富含铁者具弱磁性。黑钨矿仅溶于磷酸。化学性质稳定。

【功能与用途】 黑钨矿是冶炼钨金属及化合物的主要工业矿物。主要产在高温热液脉及云英岩中，其次产于黑钨矿硫化物矿床内，少量产于蚀变花岗岩，花岗伟晶岩和矽卡岩中。由于黑钨矿相对密度大，物理化学性质稳定，常形成重砂矿物。是找原生钨矿床的指示矿物，大量聚集时也可构成钨砂矿床。

【鉴别特征】 黑钨矿颜色深。新鲜断口呈特有的红色内反射。金属光泽到金刚光泽。板状和柱状晶体，解理完全。物理性质和光学性质与黑钨矿易混淆的是铌钽铁矿。用微化试验可以区别：将矿粉以磷酸及固体硝酸铵一起加热溶解，当沸腾时由于 $Mn^{2+}$ 被氧化为高锰酸使溶液呈紫色（示有 $Mn^{4+}$）。往溶液中加几粒金属锡继续加热，锰被还原，溶液变为无色，而后出现蓝色，示有钨。冷却后色越深。

【产地】 黑钨矿普遍产于我国赣南石英脉型矿床中，主要有大余县西华山、荡坪、漂塘，全南县大吉山，定南县岿美山，于都县盘古山；湖南茶陵县邓阜；广东连平县锯板坑；广西钟山县珊瑚；甘肃省肃北县红尖山。钨铁矿见于我国湖南和江西东乡县枫林矿区，外国见于瑞典。钨锰矿见于美国科罗拉多，我国江西也有产出。

## Bg002　白钨矿　scheelite

【别名】 钨酸钙矿

【组成与结构】 化学组成 $Ca[WO_4]$，含 $WO_3$ 80.6%。白钨矿中 W 与 Mo 可呈类质同象代替，Mo：W 比例可达 1：1.4（约相当含 $MoO_3$ 24%）。部分 Ca 可被 Cu、REE 代替，含铜较多者称为

铜白钨矿。此外还发现有 Mn 代替 Ca，$Fe^{3+}$ 代替 W。四方晶系，四方双锥晶类，晶形常呈近于八面体的四方双锥。也有呈板状和不规则粒状集合体，有时呈块状。

【物化性质】 无色、白色少见，多为灰色、浅黄色、浅紫色或浅褐色，有时带绿色、橘黄色或红色。一般含钼少或不含钼的白钨矿呈白色或近于白色。我国安徽省产的含铜白钨矿为深橄榄绿色，条痕黄绿色。油脂光泽或金刚光泽。透明至半透明。解理中等。断口参差状。硬度 4.5～5。性脆。相对密度 5.8～6.2（相对密度随钼含量的增加而降低）。具发光性，在紫外光照射下发浅蓝色至黄色的荧光。在盐酸中煮之呈黄色（$H_2WO_4$），加入锡粒即呈蓝色。

【功能与用途】 国外是主要用白钨矿冶炼钨。我国也是仅次于黑钨矿的主要工业钨矿物。

【鉴别特征】 乳白色或淡黄色，油脂光泽或丝绢光泽，相对密度大，解理中等。具发光性和钨的微化反应与其他浅色矿物相区别。

【产状与产地】 智利、玻利维亚、德国和地中海沿岸国家都有大量白钨矿分布。我国主要产地是湖南、河南、江西、广东、福建、甘肃等省区。主要类型和产状有与花岗岩接触交代矽卡岩型、层控矽卡岩型、斑岩型、云英岩-矽卡岩复合型、石英脉型和砂矿型。

### Bg003 钨铅矿 stolzite

【组成与结构】 化学组成为 $Pb[WO_4]$，含 $WO_3 \approx 50\%$。成分中钨可被钼代替（≤1.7%），铅可被钙代替（≤1%），此外还混入有镁、铁、铝等。四方晶系，晶体常呈双锥状或厚板状，柱状罕见，柱面有水平条纹，锥面也常有条纹。

【物化性质】 矿物颜色呈暗浅黄、浅黄灰、黄褐、浅红褐色、红色、绿色等。透明至半透明，条痕无色。半金属光泽或松脂光泽。解理不完全。断口贝壳状至不平坦状。硬度 2.5～3。相对密度 7.9～8.34。性脆。溶于盐酸，形成白色氯化铅薄膜。

【功能与用途】 产于钨矿床氧化带中呈次生产物，大量富集时可作为回收铅、钨矿石。

【鉴别特征】 颜色浅，硬度低，相对密度大，与之最相似的矿物是其同质异构的斜钨铅矿（$PbWO_4$，raspite）。后者为单斜晶系，光性是二轴晶（－）。此外解理完全，钨铅矿解理不完全。

【产地】 发现于美国、巴西、澳大利亚等地。

### Bg004 钨锌矿 sanmartinite

【组成与结构】 化学组成 $ZnWO_4$，含 $WO_3$ 74.02%，ZnO 25.98%，混入物有铁、锰、钙等。单斜晶系，斜方柱晶类。晶类呈细粒状，部分呈小板状晶体。

【物化性质】 黑褐至褐黑色，松脂光泽。解理完全。相对密度 6.7。

【产地与产状】 见于阿根廷的洛斯柴里洛斯-石英脉中，与硅锌矿伴生。可能为次生变化产物。

### Bg005 钨铋矿 russelite

【组成与结构】 化学组成 $Bi_2WO_6$，含 $Bi_2O_3$ 63%～75%，$WO_3$ 7.72%～18.68%，通常约为 2∶1，钨可被钼代替（≤10.6%）。此外还常含有镁、钙、铝、铁等混入物。四方晶系，细粒致密块状，隐晶质集合体。

【物化性质】 浅白，黄，绿黄，黄灰色。几乎不透明。硬度 3～3.5。性脆。相对密度 6.8～7.5。溶于盐酸和硝酸中，氢氧化钠和氢氧化钾对它不起作用。

【产状】 见于钨矿床氧化带，是自然铋、辉铋矿的氧化产物。能与液铋矿、氯铋矿、方解石、硅孔雀石等形成细混合物，还呈辉铋矿假象见于黑钨矿石英脉里。

### Bg006 钨华 tungstite

【组成与结构】 化学组成 $WO_2(OH)_2$，含 $WO_3$ 86.20%，还含有 $Fe^{3+}$、$Fe^{2+}$、Ca 等。斜方晶系。

针状晶体呈放射状集合体。风化后呈粉末状到土状。

【物化性质】 亮黄、姜黄、金黄、绿黄至深橙黄色。松脂光泽，解理面为珍珠光泽。透明。解理完全至不完全。硬度 2.5～3。相对密度 5.5。不溶于酸但易溶于热的氢氧化钠中。磷酸珠球反应呈蓝色（含钨）。闭管中加热放水，色变白。

【产地与产状】 见于江西和湖南柿竹园。为黑钨矿、白钨矿等的变化产物。

### Bg007 水钨华 hydrotungstite

【组成与结构】 化学组成 $WO(OH)_4$，含 $WO_3$ 80.31%，$SiO_2$ 6.65% 和 $H_2O$ 12.52%，总计 99.48%。单斜晶系。斜方柱晶类。板状晶体。

【物化性质】 浅黄绿色到深绿色。玻璃光泽，风化后为土状光泽。解理不完全。硬度 2～2.5。相对密度为 4.64。不溶于酸，可溶于氢氧化铵。

为黑钨矿与白钨矿等原生钨矿的变化产物。

### Bg008 高铁钨华 ferritungstite

【组成与结构】 化学组成 $Ca_2Fe_2^{2+}Fe_2^{3+}(H_2O)_9(WO_4)_7$，含 $WO_3$ 73.75%。还含有微量的铅、锶、镁、钠、钾、铜、锰、钛、铀等元素。四方晶系。晶形呈四方双锥，或呈柱状、纤维状。集合体呈粉末状。

【物化性质】 浅黄色至浅褐色、赭色。半透明。相对密度 5.2。在闭管中加热有水放出。能在酸中分解出黄色的钨的氧化物。

【产地、产状与用途】 高铁钨华在我国江西赣州地区一些钨铍矿床氧化带中普遍分布，但产量不多。系黑钨矿的氧化产物，常赋存于原生钨矿物的表面或裂隙中。与黑钨矿等可共同构成钨矿石。

### Bg009 水钨铝矿 anthoinite

【组成与结构】 化学组成 $Al[WO_4](OH)\cdot H_2O$，含 $WO_3$ 74.83%，$Al_2O_3$ 16.45%。杂质有铁、硅等。三斜晶系，板状晶体或成白垩状团块。

【物化性质】 白色。硬度 1。相对密度 4.6。

【产地与产状】 发现于扎依尔，在砂矿和石英脉中与黑钨矿一起产出。

### Bg010 铈钨矿 cerotungstite

【组成与结构】 化学组成 $Ce[WO_4]OH\cdot H_2O$。也曾写为 $CeW_2O_6(OH)_3$。含 $WO_3$ 63.51%，Ce 21%。单斜晶系。晶体叶片状。集合体呈放射状团状。

【物化性质】 橙黄色。解理完全。硬度约为 1。相对密度 5.3。

【产地与产状】 发现于乌干达，与钨铁矿一起产出。

### Bg011 钇钨华 yttrotungstite

【组成与结构】 化学组成 $YW_2O_6(OH)_3$。含 $WO_3$ 68.87%，Y 14.73%。斜方晶系。在不规则块体中呈细小板条状晶体。

【物化性质】 浅黄色。一组解理完全，一组次之。相对密度 5.82。

【产状与产地】 为黑钨矿或白钨矿的变化产物，发现于马来亚残积锡石矿床中。

### Bg012 辉钨矿 tangstenite

【组成与结构】 化学组成 $WS_2$，含 W 74.16%，S 25.84%。六方晶系。复六方双锥晶类，辉钼矿

型结构。常呈鳞片状集合体。

【物化性质】 铅灰色，条痕黑灰色。不透明，解理完全。硬度近于 2.5。具可切性。相对密度 7.18～7.4。溶于王水，在盐酸中不溶。在硝酸中加热溶解并析出黄色钨酸盐沉淀。

【产地与产状】 很少见，产于铅银矽卡岩矿床。呈白钨矿不完全假象。

## Bh 锡

锡是人类最早发现和使用的金属之一，早在商代，我们的祖先就能用 Sn、Cu、Pb 生产青铜器皿。云南个旧锡矿早在公元前就已被开采了。

锡在常温下呈银白色。随温度变化有三种同素异形体。在 13.2℃以下为 α 锡（灰锡），在 13.2～161℃为 β 锡（白锡），161℃以上为 γ 锡（脆锡）。相对密度 α 锡为 5.75（13.2℃），β 锡为 7.31（20℃）。熔点 231.968℃，沸点 2270℃。莫氏硬度 3.75。锡具有展性强、防锈、耐腐蚀等特性。

锡的化学性质稳定，各种锡盐无毒。纯锡与弱有机酸作用缓慢，用于制造镀锡薄板，可作食品包装材料，也可用做某些机械零件的镀层。锡易于加工成管、箔、丝、条等，也可制成细粉，用于粉末冶金。锡能与许多金属形成合金，如巴比特合金、焊锡、锡青铜、铅锡轴承合金、活字合金等。还有许多含锡特种合金为锆基合金，在原子能工业中作核燃料包装材料；钛基合金用于航空、造船、原子能、化学、医疗器械等工业；铌锡可作超导材料；锡银汞合金用做牙科材料；锡的化合物分别用于陶瓷的瓷釉材料；印染丝织品的媒染剂，塑料热稳定剂，也可用做杀菌剂和杀虫剂。随着现代科学技术的发展，锡的用途越来越广泛。

在自然界中锡主要以自然元素、金属互化物、氧化物、氢氧化物、硫化物、硫盐、硅酸盐、硼酸盐、铌钽酸盐等形式存在。目前已发现锡矿物五十多种，主要有经济意义的锡矿物为自然锡、锡石、黄锡矿、钽锡矿、硫锡矿、水锡石、硼钙锡石、马来亚石、圆柱锡矿、硫锡铅矿、辉锑锡铅矿等。矿物特征见后面各论。

我国锡矿床主要以锡石和有色金属 Cu、Pb、Zn 等组成的硫化矿物共生产出为主，如云南个旧、广西大厂等超大型矿床。另一种是产于花岗岩中锡石与铌钽矿物共生的矿床，如广西栗木、湖南香花岭、广东博罗。再一种是产于石英脉和云英岩中的锡矿床。第四种是砂锡矿。上述类型都有生产矿山。还有一种是锡矿物以极微细包裹体存在于磁性铁矿物中，目前选冶技术尚不能利用的矿石，如广东连平县大顶矿床和内蒙古克什克腾旗黄岗铁锡矿床。

矿床一般工业评价指标为：原生锡矿的边界品位 Sn 0.1%～0.2%，工业品位 Sn 0.2%～0.4%，可采厚度 0.8～1m，夹石剔除厚度为 2m。坑采矿体厚度小于可采厚度时，应考虑以米百分值计算。上述指标适用于以锡石为主的矿床。当矿石中胶态锡、硫化锡等所占比例大于 10%时，要提高指标。

**砂锡矿的一般评价指标**

| 项　　目 | 用化学分析法（锡石中锡） | 用重砂淘洗法（锡石中含 Sn＞60%） |
|---|---|---|
| 边界品位 | Sn 0.02% | 锡石　100～150g/m³ |
| 工业品位 | Sn 0.04% | 锡石 200～300g/m³ |
| 可采厚度 | ≥0.5m | ≥0.5m |
| 夹石剔除厚度 | ≥2m | ＞2m |

原生锡矿中常伴生 W、Pb、Zn、Cu、Sb、Nb、Ta、Be、Bi 等。有时还有 S、As 和 Fe。砂锡矿中通常共生、伴生有自然金、黑钨矿、白钨矿、独居石、金红石、褐钇铌矿、白铅矿、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿等有

用重砂矿物。

锡精矿质量标准(YB 736—82)分一类和二类两种,一类是直接入炉锡精矿产品;二类是冶炼前需加工处理的锡精矿产品,每一类中又分八级,一级品 Sn 65%,八级品 Sn 30%,每一级的间距差为 Sn 5%。S、As、Bi、Zn、Sb、Fe 为有害杂质,每一级都有限制品位。Pb、W、Ta 为有价值元素,应报出分析数据。从锡精矿中提取钽矿物和从炼锡过程中提取钽化物是国际上钽资源的一个重要来源。

## Bh001 自然锡 tin

【别名】 通常指 βSn,又名白锡

【组成与结构】 化学组成 Sn。四方晶系,复四方双锥晶类。晶体少见,多成微细的镶嵌粒状或片状,砂矿中产出时呈小圆粒状。

【物化性质】 自然锡为灰色到锡白色或银白色。条痕为光亮的银白色。金属光泽。不透明。无解理。断口锯齿状。硬度 1.5～2。相对密度 7.31。具延展性。在空气及水中均无变化。易熔。溶于浓盐酸,并释放出氢气;溶于硫酸,则放出 $SO_2$ 气体;不溶于硝酸。

【产状与产地】 见于澳大利亚新南威尔士的奥斑、加拿大某铀矿中、俄罗斯北岛拉尔含铜的砂矿中也曾发现于火山气成物中。

## Bh002 锡石 cassiterite

【组成与结构】 化学组成为 $SnO_2$,含 Sn 78.8%,常含混入物 Fe、Nb、Ta。此外尚可含 Mn、Sc、Ti、Zr、W 及分散元素铱、镓等。其中一般 Ta＞Nb。四方晶系。复四方双锥晶类。晶体常呈双锥状、锥柱状,有时呈针状。锡石柱面有纵纹。双晶很普遍,常见曲膝双晶。集合体常呈不规则粒状。由胶状溶液形成的纤维状锡石(木锡矿 wood-tin),呈同心带状、葡萄状、肾状及钟乳状产出,具放射状结构。

【物化性质】 锡石完全无色者非常少见。一般因含混入物而呈现褐色至黑色。含铌、钽高者可呈沥青黑色。条痕白色至浅褐色。金刚光泽。某些晶面如复四方双锥晶面和底面有时光泽暗淡。木锡矿颜色为淡灰绿色、黄红色、褐色和棕色等。锡石解理不完全,断口不平坦至次贝壳状。硬度 6～7。性脆。相对密度 6.8～7.0。一般无磁性,部分富铁的锡石具电磁性。锡石不溶于酸。

【功能与用途】 锡石是提取锡的最主要原料。锡的化学性质稳定,耐蚀性良好,可镀于其他金属表面以防锈蚀,如用以镀铁皮、镀铜器。锡还用于制锡箔及各种合金、染料、釉料等。

【鉴别特征】 锡石的晶形、双晶、颜色、硬度与金红石相似,但锡石的相对密度较大,解理较差。锡石颗粒置锌板上,加一滴盐酸,过 2～3min,便可见锡石颗粒表面盖上一层锡白色的金属锡薄膜。这是一种很简便有效的鉴别锡石的方法。

【产地】 世界上主要产锡国家是中国、泰国、马来西亚、巴西、玻利维亚、俄国等。我国锡生产地区主要是云南、广西、湖南、广东等省。

## Bh003 黑锡矿 romarchite

【组成与结构和物理性质】 化学组成 SnO,光谱分析仅见 Sn 和微量铁。四方晶系。细小晶体构成薄皮壳状。黑色。

【产地与产状】 发现于加拿大温尼伯河水底的锡器表面。

## Bh004 羟锡石 hydroromarchite

【别名】 水锡石

【组成与结构和物理性质】 化学组成 $3SnO \cdot H_2O$。含 Sn 85.36%。四方晶系。最初曾被确定为三方晶系。薄皮壳状产出。白色。

【产状与产地】 发现于加拿大安大略温尼伯河水面 15 英尺下水底锡器表面，同黑锡矿一起交代锡器皿。也见于马来亚锡矿床中。

### Bh005 钽锡矿 thoreaulite

【组成与结构】 化学组成 $Sn(Ta,Nb)_2O_7$。$SnO_2$ 25.13%，$Ta_2O_5$ 75.87%。$Fe^{2+}$ 和 Al 可类质同象代替 Sn，Nb 可以代替 Ta。同时还可见到 Ca、Mg、Si、Sb 的混入。单斜晶系。斜方柱晶类，晶体常成柱状、块状。

【物化性质】 褐色，风化后变成红色。条痕黄色（带绿色）。树脂光泽至金刚光泽。解理完全和不完全。硬度 5.5～6，相对密度 6.8～7.9，一般不溶于酸。

【产地与产状和用途】 产于钠长石化锂辉石锂云母型伟晶岩中，与锂辉石、铯榴石、磷锂铝石、钽铁矿、细晶石、锡石共生。见于刚果、哈萨克斯坦、我国新疆和福建等地。另一为产于钠锂型花岗岩顶部云英岩化、强钠长石化带中，与细晶石、钽铁矿、锂云母、黄玉等共生。见于我国江西、湖南等地。锡与钽结合形成矿物还有四方钽锡石（$Fe_{0.5}Sn_{4.5}TaO_{12}$），等轴钽锡石（$Ta_2Sn_2O_7$），锡钽铁矿［$(Fe,Sn)TaO_4$］，锡锰钽矿（$MnSnTa_2O_8$）等。他们共同构成锡钽矿石。

### Bh006 硼钙锡石 nordenskioldine

【组成与结构】 化学组成 $CaSn[BO_3]_2$。含 Sn 43%。三方晶系。菱面体晶类。晶体呈扁平的薄板状至厚板状，常与锡石、方解石和菱铁矿成平行连晶。

【物化性质】 无色至暗黄色。透明，玻璃光泽。解理面上珍珠光泽。解理完全至不完全。断口贝壳状。相对密度 4.40。硬度 5.5～6。性脆。溶于盐酸。

【功能与用途】 产于碱性伟晶岩中，与长石、密黄长石、锆石一起产出。也见与黝锡矿及其他硫化物、电气石、方解石、菱铁矿和锡石共生产出。大量富集时，可构成锡矿石。

【产地】 见于挪威南部及西南非洲。

### Bh007 马来亚石 malayaite

【组成与结构】 化学组成 $CaSn[SiO_4]O$。含 Sn 43%，单斜晶系，致密块状和粒状。

【物化性质】 浅黄至无色。透明至半透明。硬度 6。相对密度 4.6。在室外光照射下有带黄绿色荧光。一般酸不溶。

【产状与产地】 发现于马来亚。在锡石晶体的外部和水锡石伴生，我国广西恭城县栗木矿区含钽锡花岗岩矿床中的马来亚石与锡石、钽铁矿等共生。

### Bh008 硫锡矿 herzenbergite

【组成与结构】 化学组成 SnS。含 Sn 78.8%。斜方晶系。常呈不规则细粒状、块状。

【物化性质】 硫锡矿为黑色。条痕黑色。金属光泽。不透明。解理完全。硬度 2.5～3.5。相对密度 5.2。

【产状与产地】 见于南美洲玻利维亚的锡石-硫化物矿床中与石英、黄铁矿、闪锌矿、黝锡矿、毒砂等共生构成锡矿石。

### Bh009 黝锡矿 stannine

【别名】 黄锡矿

【组成与结构】 化学组成 $Cu_2FeSnS_4$。含 Sn 27.62%。由于矿物中经常含有闪锌矿、黄铜矿等细微色体，致使成分中常有 Zn、Cd、Pb、Ag、Sb、In 等；其中 Zn 可达 11%，其他元素含量小于 3%。

四方晶系。四方偏三角面体晶类。呈假四面体、假八面体、板状等形态。晶面上有显著的花纹。常出现双晶体。通常呈粒状、块状体或在其他矿物中呈细小色体出现。

【物化性质】 微带橄榄绿色调的钢灰色；含较多黄铜矿色体时，呈黄灰色；有时呈铁黑色及带蓝的锖色。黑色条痕。金属光泽。不透明。解理不完全。性脆，不平坦状断口。硬度 3～4。相对密度 4.3～4.52。溶于 $HCl+KClO_3$。溶于硝酸，溶液呈蓝色并析出硫。

【功能与用途】 常与高、中温矿床矿物共生，如黑钨矿、锡石、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿等伴生产出。在氧化带易于分解而产生表生锡石、含锡的氢氧化物、白铁矿、铜蓝等。大量聚集时，构成铜、锡矿石。

【鉴别特征】 依带橄榄绿色调的钢灰色及黑色条痕。金属光泽等与相似的黝铜矿作初步区别，进一步鉴别要通过光性测定及微化试验区别。

【产地】 我国湖南、广西、云南等地锡石硫化物矿床中都有产出。

### Bh010 圆柱锡矿 cylindrite

【组成与结构】 化学组成 $Pb_3Sb_2Sn_4S_{14}$。含 Sn 26.5%。斜方晶系。成圆筒状或块状和球形的集合体。

【物化性质】 浅黑铅灰色。条痕黑色。金属光泽。不透明。解理平行延长方向完全。硬度 2.5。相对密度 5.46，微具延展性。

【产地与产状】 产于广西大厂、云南白牛厂等矿区，圆柱锡矿与辉锑锡铅矿、内锌矿和黄铁矿一起产于锡矿脉中。

### Bh011 硫锡铅矿 teallite

【组成与结构】 化学组成 $PbSnS_2$ 含 Sn 30.51%，Pb 53.05%，Fe 0.20%，S 16.29%。斜方晶系。晶体呈板状，外形近于四方形。通常为块状集合体。

【物化性质】 铅灰至铁黑色。条痕黑色。金属光泽。不透明。解理完全。硬度 1.5～2。相对密度 6.36。易弯曲。无弹性。微具延展性。

【产状与产地】 与锡石和方铅矿、闪锌矿一起产于锡矿矿脉中。

### Bh012 辉锑锡铅矿 franckeite

【组成与结构】 化学组成 $Pb_5Sb_2Sn_3S_{14}$，其中 Sn 17.09%，Pb 49.71%，Sb 11.69%，成分中尚有 Fe、Zn、Ag 等的混入。单斜晶系。晶体薄板状，常弯曲；双晶复杂。集合体为块状、放射状或球状。

【物化性质】 浅灰黑色。条痕浅灰黑色。金属光泽。不透明。解理完全。硬度 1～2。相对密度 5.88～5.92。具挠性，无弹性。并略具延展性。

【产状与产地】 与辉锑铅矿和黝锡矿一起产于与灰岩接触的岩石中，亦见于锡矿矿脉中。

## Bi 铋

铋是发现得比较晚的一种金属元素，1792 年才由瑞典化学家从辉铋矿中提炼出来。铋是一种银白色金属，熔点 2617℃，沸点 4612℃，相对密度 10.22（20℃）。其物理化学性质与钨相似，在高温下的蒸气压很低，蒸发速度小。铋的特殊性能是导电性能和导热性能强，膨胀系数小，约为铜膨胀系数的 30%，硬度和强度极限比钨低，加工性能稳定，受压较易加工，在没有氧化剂条件下，铋对无机酸具有突出的耐腐蚀性能，但在稀硝酸、沸腾的盐酸和热的王水、200～250℃的浓硫酸以及氢氧酸和硝酸的混合物中，能迅速地被溶解，在空气中温度大于 600℃时，铋极易氧化。

钼主要应用于冶金工业，用做生产各种合金钢的添加剂，并能与 W、Ni、Co、Zr、Ti、V、Re 等组成高级合金，可提高其高温强度、耐磨性和抗腐性。钼和镍、铬的合金用于制造飞机的金属构件，机车、汽车上的耐蚀零件。钼和钨、铬、钒的合金钢适用于制造高速切削的刃具、军舰的甲板、坦克、枪炮、火箭、卫星等的合金构件和零部件。

金属钼大量用做高湿电炉的发热材料和结构材料，真空管的大型电极和栅极，半导体及电光源材料，因钼的热中子俘获截面小及具高持久强度，还可用做核反应堆的结构材料。

在化学工业中，钼主要用于润滑剂、催化剂和颜料。二硫化钼由于其纹层状晶体结构及其表面化学性质，在高温高压下具良好的润滑性能，广泛用做油及油脂的添加剂。钼是氢制法脱硫作用及其他石油精炼过程中的催化组分，用于制造乙醇、甲醛及油基化学品的氧化还原反应中。钼桔色是重要的颜料色素。钼的化学制品被广泛地用于染料、墨水、彩色沉淀染料及防腐底漆中。

钼的化合物在农业肥料中也有广泛的用途。

自然界中已发现的 30 余种钼矿物中分布最广，并具有现实工业价值的钼矿物是辉钼矿、铁钼华、钼华、钼钙矿、钼铅矿、胶硫钼矿、蓝钼矿等。

钼矿石比较单一，主要是硫化矿石，其工业要求随开采方式的不同而略有改变，钼矿床评价的一般工业要求如下：矿床中有用伴生组分及要求为 $WO_3$ 0.06%，Cu 0.1%，Pb 0.2%，Zn 0.4%，Fe 10%，S 1%，Bi 0.03%，Re 10g/t。钼矿石都要经过选矿获取可供冶炼的钼精矿。我国钼精矿质量标准（GB 3200－82）如下。

| 项　　目 | 露采 | 坑采 |
|---|---|---|
| 边界品位(Mo)/% | 0.03 | 0.03～0.05 |
| 工业品位(Mo)/% | 0.06 | 0.06～0.08 |
| 可采厚度/m | ≥2～4 | ≥1～2 |
| 夹石剔除厚度/m | ≥4～8 | ≥2～3 |

**我国钼精矿质量标准（GB 3200－82）**

| 品级 | 种类 | 钼不小于/% | 杂质不大于/% | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $SiO_2$ | As | Sn | P | Cu | Pb | CaO |
| 特级品 | 一类 | 51 | 7.0 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.2 | 0.30 | 2.8 |
| | 二类 | 51 | 8.5 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.2 | 0.15 | 1.4 |
| | 三类 | 51 | 5.0 | 0.10 | 0.10 | 0.05 | 0.5 | 0.60 | 1.5 |
| 一级品 | 一类 | 47 | 9.0 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.3 | 0.40 | 3.0 |
| | 二类 | 47 | 11.0 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.3 | 0.20 | 2.0 |
| | 三类 | 47 | 6.0 | 0.20 | 0.15 | 0.10 | 1.0 | 1.50 | 1.5 |
| 二级品 | 一类 | 45 | 12.0 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.3 | 0.50 | 3.3 |
| | 二类 | 45 | 13.0 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.3 | 0.30 | 2.0 |
| | 三类 | 45 | 6.0 | 0.25 | 0.15 | 0.15 | 1.5 | 1.50 | 2.0 |

## Bi001　辉钼矿　molybdenite

【组成与结构】 化学组成为 $MoS_2$，含 Mo 59.94%。自然界辉钼矿的成分，几乎都近于理论值，有微量类质同象混入物 Re，已知含量可达 2%。此外尚可含微量 Os、Pt、Pd 等铂族元素，亦可达到综合利用的要求。Se、Te 在辉钼矿中分别可达 0.0011%和 0.00043%。六方晶系，（辉钼矿-2H）；三方晶系，（辉钼矿-3R），另外亦见到 2H＋3R 多型。天然产出的辉钼主要是 2H 多型，少数为 2H＋3R多型，极少数为 3R 多型。辉钼矿-2H 主要产于高温的伟晶岩和矽卡岩内，而 3R 多型含 Re 较高可达 1.88%，因此 3R 多型可能成为铼富集的标志。夏六方双锥晶类，晶体呈六方板状、片状、琵琶桶形的短柱状。顶面上常可见到彼此以 60°相交的晶面条纹。集合体通常呈片状或鳞片

状，有时呈细小颗粒状。

【物化性质】 铅灰色。条痕在素瓷板上为亮灰色，在涂釉瓷板上为黄绿色。金属光泽。不透明。硬度 1～1.5，能在纸上划出条痕。解理极完全。薄片有挠性。具油腻感。相对密度 4.7～5.0。电传导性沿晶面的传导性比垂直晶面大 $10^3$ 倍，当温度增高时增大。具光电效应。强磁非均质性。完全溶于王水。热硫酸中分解。

【功能与用途】 辉钼矿随温度的变化其晶体结构随之由 2H 型→2H＋3R 型→3R 型变化。非均一的电传导性和强磁非均质性也随温度变化。辉钼矿本身是很好的润滑物质。辉钼矿是提取 Mo 和 Re 的主要工业矿物。

【鉴别特征】 辉钼矿呈铅灰色，六方片状、板状晶形、硬度低。强非均质性。具有钼的化学反应。辉钼矿在热硫酸中分解，蒸发辉钼矿硫酸溶液，逸出 $SO_3$ 蒸气，形成蓝色斑点“钼蓝”。矿物与 $Na_2CO_3+KNO_3$ 的熔合物溶解于盐酸，加黄原酸钾，溶液变成红色。辉钼矿与石墨易混淆，但辉钼矿比重大于石墨，用三溴甲烷可区分，且辉钼矿为近似于非导电体的半导体，石墨为良导体等相区别。

【产地与产状】 我国与美国和智利都是产钼大国。我国主要产钼矿区有解放前发现开发的辽宁葫芦岛市杨家杖子钼矿，解放后最早发现勘探的斑岩型大型陕西省华县金堆城钼矿，河南省栾川县上房沟、三道庄、南泥湖等矿区，吉林省永吉县大黑山钼矿区等。

辉钼矿的非晶质变体，称胶硫钼矿（jordisite）。又音译成焦迪斯矿，化学组分 $MoS_2$，非晶质。呈凝胶状、球状产出，可重结晶成辉钼矿或风化成蓝钼矿。辉钼矿中含铼皆多，Re 0.0002%～1.88%，我国斑岩型钼矿床中辉钼矿含 Re 量为 $(4.2\sim21)\times10^{-6}$，黄龙铺碳酸岩脉型为$(71\sim360)\times10^{-6}$，斑岩-矽卡岩型钨钼矿床为 $(9\sim51)\times10^{-6}$，斑岩型铜钼矿床为 $(116\sim1800)\times10^{-6}$。

## Bi002 硒钼矿 drysdallite

【组成与结构和物理性质】 化学组成为 $MoSe_2$。含 Mo 37.39%，Se 62.21%。六方晶系，与辉钼矿相似。灰黑色带褐色。条痕褐黑色。解理极完全。很软。

【产地】 发现于赞比亚西北省铀矿床氧化带，与晶质铀矿、硅硫磷灰石、水铀铅矿等共生。

## Bi003 钼华 molybdite

【组成与结构】 化学组成为 $MoO_3$。含 Mo 66.66%。斜方晶系。斜方双锥晶类。晶体细小呈页片状，针状或板状及土状集合体。

【物化性质】 蜜黄色，淡绿黄色到无色。条痕草黄色。金刚光泽，在解理面上为珍珠光泽。透明。解理极完全和完全。硬度 1～2。相对密度 4.7。具挠性。熔点为 795℃±2℃。在木炭上熔化和升华时，在近样处呈浅黄色的 $MoO_3$ 晶体，较远处变为白色的晶体。

【产状和产地】 钼华为辉钼矿的热液作用或表层作用的变化产物。

## Bi004 钼钙矿 powellite

【别名】 钼钨钙矿

【组成与结构】 化学组成为 $CaMoO_4$，含钼 48%，成分中 Mo 可被 W 代替，Mo∶W 比例可达 9∶1，约相当于 $WO_3$ 10.3%。还可含少量 Cu。四方晶系，与白钨矿等结构。晶体常呈锥状，较少呈薄板状，锥面有时有条纹。集合体呈块状、叶片状、皮壳状等。

【物化性质】 稻草黄、浅绿黄、褐、浅灰至灰色，浅蓝绿色至蓝色，浅蓝黑色等。透明。半金刚光泽或油脂光泽，叶片状者珍珠光泽。解理不完全。硬度 3.5～4。相对密度 4.23。

【产状与产地】 发现于美国、土耳其、前苏联和摩洛哥等地，在矿床氧化带中呈次生矿物产出。我国广西有产出。

### Bi005 水钼铁矿 ferrimolybdite

【别名】 铁钼矿

【组成与结构】 化学组成为 $Fe_2(H_2O)_8[MoO_4]_3$，斜方晶系，显微晶体，呈细纤维的束状、皮壳状和放射状集合体，也呈土状、被膜末和粉末状。

【物化性质】 黄色，金刚光泽，纤维状者呈丝绢光泽。皮壳状者呈土状光泽。条痕淡黄色。硬度1～2。相对密度 4.46。

【产状与产地】 为钼的硫化物的氧化产物。发现于澳大利亚、意大利、加拿大等地。

### Bi006 钼铜矿 lindgrenite

【组成与结构】 化学组成 $Cu_3[MoO_4]_2(OH)_2$，含 $MoO_3$ 53.71%，CuO 42.97%。单斜晶系。晶体通常呈板状，少数为针状，集合体呈块状。

【物化性质】 绿色。薄板状者浅黄绿色。透明至半透明。油脂光泽。解理完全到极不完全。硬度4.5。相对密度 4.26。

【产地与产状】 见于美国和智利铜矿床中，钼铜矿与石英、褐铁矿、赤铁矿一起产出。

### Bi007 钼铅矿

【名称】 钼铅矿 wulfenite；名彩钼铅矿 $Pb[MoO_4]$，含 Pb 60.79%，Mo 39.21%，特征详见铅锌矿物及矿石部分的钼铅矿。

### Bi008 水钼矿 sidwillite

【组成与结构】 化学组成 $MoO_3 \cdot 2H_2O$，含 $MoO_3$ 80%。单斜晶系。晶形呈板状体。

【物化性质】 亮黄色，树脂光泽，硬度小，相对密度 3.12。解理完全。

【产状、产地与用途】 产于美国科罗拉多州莫湖石英脉中，与黄铁矿共生，为原生钼矿物的氧化水化产物。大量富集时，与其他钼矿物可共同组成钼矿石。

### Bi009 钼铁矿 kamiokaite

【组成与结构】 化学组成 $Fe_2Mo_3O_8$，含 $MoO_3$ 72.72%，FeO 27.28%。六方晶系，晶形为六边形薄板状，粒状。

【物化性质】 铁黑色，不透明，金属到半金属光泽。硬度 4.5。相对密度 5.96～6.02。解理完全。缓慢溶于 1∶1 硝酸，不溶于 1∶1 盐酸。

【产状、产地及用途】 产于日本上冈银铅锌矿床的辉钼矿石英脉中，与萤石、白钨矿等共生，交代辉钼矿产出。与辉钼矿共同构成钼矿石。

### Bi010 钼铜矿 lindgrenite

【组成与结构】 化学组成 $Cu_2[MoO_4]_2(OH)_2$，含 $MoO_3$ 53.71%，CuO 42.97%。单斜晶系。晶体通常呈板状，少数为针状，集合体呈块状。

【物化性质】 绿色，薄板状者浅黄绿色。透明至半透明。油脂光泽。解理完全和不完全。硬度4.5。相对密度 4.26～4.29。

【产状与产地】 见于美国斑岩型铜矿床中，也见于南美智利。钼铜矿与块铜矾、石英、褐铁矿和赤铁矿一起产出。与其他铜、钼矿物共组成铜钼矿石。

### Bi011 紫钼铀矿 mourite

【组成与结构】 化学组成为 $UO_2 \cdot 5MoO_3 \cdot 5H_2O$，含 $MoO_3$ 63.67%，($UO_2+UO_3$) 21.78%。晶

体具长方外形的微细鳞片状。集合体呈扇状、放射纤维状、卵圆形团块或钟乳状皮壳。

【物化性质】 紫色，半透明，硬度约为3，相对密度＞4.2。溶于热浓硝酸或20% $NaHCO_3$ 溶液，不溶于盐酸、硫酸和氢氧化钾。加热至200℃析出 $H_2O$ 3.5%，至250℃时又析出4%。220～310℃处有不明显的吸热效应。加热到710℃分解，吸热效应显著。

【产状、产地与用途】 发现于前苏联，呈结核状、皮壳状，与沥青铀矿、辉钼矿、黄铁矿和其他硫化物一起产于蚀变酸性喷出岩的铀-钼矿床的表生蚀变带中。大量聚集时与其他铀、钼矿物共构成铀、钼矿石。

### Bi012　蓝钼矿　ilsemannite

【组成、结构与物化性质】 化学组成为 $Mo_3O_8 \cdot nH_2O$。非晶质体。呈隐晶质粉末，薄膜或皮壳状。颜色为蓝色，淡深蓝色。条痕天蓝色。硬度、相对密度和光学数据不详，氧化钼含量亦多变化。与水绿矾共生，见于美国一个萤石矿床中。

## Bj　铋

铋是灰白带粉红色的金属，熔点较低并且易挥发，熔点271℃，沸点1580℃。铋在凝固时体积增大，膨胀率为3.3%。此外铋性脆，室温下铋在湿空气中轻微氧化，加热到熔点则燃烧生成三氧化二铋（$Bi_2O_3$）。铋同盐酸作用缓慢，同硫酸反应放出 $SO_2$，同硝酸反应生成硝酸盐。

铋在航空工业上用做制造飞机上的薄质软管及雷达设备的零件，铋和锡、锑、铜的合金是一种低熔合金，制造轴的衬里，在消防和电气安全装置上有特殊的重要性。由于铋具有凝固时体积膨胀的特性，所以制作的合金铅字冷凝后可以充满铸模。铋还用来制造热电耦。

铋在医药上可制收敛剂及消炎药等。铋的化合物还用来制作有色玻璃。

铋矿物在自然界中产出种类不少，到1979年为止，地质出版社出版的三卷本系统矿物学上共收集铋矿物和含铋矿物105个（包括亚种）。尔后郭宗山和叶庆同收集的1981～1988年世界新矿物共708个（包括已定名和未定名的矿物），其中铋矿物和含铋矿物有60个，占新发现矿物总和的8.5%。这些铋矿物中铋含量大于78%的矿物有8个，铋含量在60%～78%的矿物有30个。

铋的单独矿床很少，多与Pb、Zn、W、Mo、Cu、Sn等矿伴生。铋在单独开采时的最低工业品位为Bi 0.5%。我国广东英德长冈岭石英脉型铋矿床是由辉铋矿与黄铁矿的石英大脉型矿床。边界品位Bi 0.2%，块段最低平均品位Bi 0.4%。最低可采厚度0.8m；夹石剔除厚度0.5m。广东棉土窝钨矿床中，铋为伴生组分，其最低平均品位的要求为：Bi 0.08%。湖南郴县天鹅塘铅锌铋金属矿床对共生铋的最低工业平均品位的要求为：Bi 0.1%。

**对铋精矿质量标准**（YB 498－82）

| 品　级 | 铋不少于/% | 杂质不大于/% | | |
|---|---|---|---|---|
| | | As | $SiO_2$ | $WO_3$ |
| 一 | 60 | 0.5(1.0)① | 2 | 3 |
| 二 | 50 | 1.0 | 3 | 3 |
| 三 | 40 | 1.0 | 4 | 3 |
| 四 | 35 | 1.5 | 4 | 3 |
| 五 | 30 | 1.5 | 5 | 3 |
| 六 | 25 | 2.0 | 8 | 3 |
| 七 | 20 | 3.0 | 9 | 4 |
| 八 | 15 | 不限 | 10 | 4 |

① 系指氧化铋中As的含量。

在精矿中供方还应报出 S、Fe 分析数据，但不作考核依据，报出 Ag、Pb、Te 分析数据，以便综合回收利用。

## Bj001 自然铋 bismuth

【组成与结构】 化学组成 Bi。往往很纯净。有时含微量 Fe、S、Te、As、Sb 等以及 V、Ni、Pb 等杂质。三方晶系。复三方偏三角面体晶类，晶体极少见。通常粒状，有时呈片状或致密块状体。也有的成羽毛状。

【物化性质】 新鲜断口呈银白色，微带浅黄，但在空气中很快变成特有的浅红锖色。条痕灰色。强金属光泽。不透明，解理完全。硬度 2～2.5。性脆。但热后则稍带延展性。相对密度 9.7～9.83。具逆磁性。铋能溶解于硝酸内。加水稀释则生白色沉淀。吹管焰极易熔化，继续吹烧则挥发，在木炭上形成氧化铋（$Bi_2O_3$）的被膜。

【功能与用途】 自然铋主要产于热液矿床，在 W、Sn、Pb、Zn 矿床中常可形成伴生资源综合回收。

【鉴别特征】 自然铋易熔化，再加温则氧化成 $Bi_2O_3$ 被膜。此被膜热时呈橘黄色，冷后呈柠檬黄色。加熔剂（KI+S）置木炭上吹烧，则形成特有的被膜，带鲜红色碘化铋（$BiI_3$）的镶边。

【产地】 常见于我国江西、湖南、广东、广西等省钨锡矿脉中，与毒砂、辉铋矿、黑钨矿、辉钼矿、锡石、黄玉、绿柱石、电气石等伴生。

## Bj002 辉铋矿 bismuthinite

【组成与结构】 化学组成为 $Bi_2S_3$。含 Bi 81.30%。类质同象混入物有 Pb、Cu、Fe、Sb、Se。当铅为 6.19%～10.12%时，称铅辉铋矿。硒含量可达 9%，称硒-辉铋矿；锑含量可达 8.12%，称锑-辉铋矿。此外还有 Te、As、Au、Ag 等混入物。

斜方晶系。斜方双锥晶类，晶体常呈柱状，有时为板状和针状或毛发状。晶面大多数具纵纹。集合体呈毛发状、放射状、粒状和致密块状等。

【物化性质】 锡白色带铅灰色。表面常有黄色和蓝色的锖色。条痕灰黑或铅灰色。较强的金属光泽。不透明。解理完全到不完全。具不平坦断口。硬度 2～2.5；3～3.75。微具挠性。具可切性。相对密度 6.4～6.8。沿长轴方向导电率比垂直于长轴方向的电导率几乎小 3 倍。易溶于硝酸和热盐酸中。极难溶于碱和碱的硫化物中。

【功能与用途】 辉铋矿是铋的主要矿石矿物，常产于高温热液钨锡脉矿床中及接触交代型矿床中，也见于高温含金石英脉中。与黑钨矿、锡石、辉钼矿、毒砂、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、电气石、黄玉、钾长石、绿柱石等共生。辉铋矿在氧化带中易氧化形成泡铋矿、铋华、氯铋矿、钼铋矿等。

【鉴别特征】 辉铋矿与辉锑矿的区别，在肉眼时①在（010）解理面上无横的聚片双晶纹；②与氢氧化钾溶液不起反应；③颜色较浅，光泽较强和比重较大。辉铋矿极难与 Cu-Bi 和 Pb-Bi 的复杂硫化物相区别。要用 X 射线和化学全分析确定。

【产地】 见于江西、湖南、广东、广西自治区等省。

## Bj003 铋华和软铋华

【名称】 铋华 bismite

【异名】 软铋华 sillenite

【组成与结构】 化学组成，铋华族矿物属 $A_2X_3$ 型化合物。人工合成的 $Bi_2O_3$ 有四个变种，即 $\alpha$、$\beta$、$\gamma$、$\delta$。自然界中只有 $\alpha$-$Bi_2O_3$（铋华，单斜单系，在常温下稳定）和 $\gamma$-$Bi_2O_3$（软铋矿，等轴晶系）。

铋华含 Bi 89.68%，常含有 Fe、As、Sb 及 $CO_2$ 等混入物。矿物形态属斜方柱晶等，晶体少

见。通常呈块状、粉末状、土状或叶片状集合体。还常以薄层状包于其他铋矿物表面，或依辉铋矿成假象。

软铋华为等轴晶系，五角三四面体晶类。细粒状或土状集合体。

【物化性质】 铋华呈浅黄～黄色，浅绿～橄榄绿或黄绿～绿黄色。条痕同颜色。半金刚光泽、暗淡光泽或土状光泽。细薄碎片透明。不平坦状、贝壳状或土状断口。硬度 4.5。相对密度 9.41。土状集合体的硬度和比重都降低（硬度 1～2，相对密度 4.36）。熔点 820℃。

软铋华呈暗橄榄绿至黄绿色、黄色、绿色或浅黄色条痕。蜡状光泽至暗淡光泽。碎片透光。质软。相对密度 9.01。

易溶于硝酸不起泡。吹管焰下熔化；易被还原出金属铋。

【产地、产状和用途】 铋华见于我国云南、赣南钨铋矿床氧化带，主要是辉铋矿、自然铋及少量针硫铋铅矿次生变化的产物。与泡铋矿、氯铋矿、钒铋矿等紧密共生。软铋矿发现于墨西哥杜兰哥矿床氧化带，与泡铋矿紧密共生。可综合回收铋。

### Bj004　泡铋华　Bismutite

【组成与结构】 化学组成 $Bi_2[CO_3]O_2$，含 $Bi_2O_3$ 91.37%。常含有吸附水，有时含 CaO、PbO、$Fe_2O_3$ 等杂质。四方晶系。晶体呈叶片状、短纤维状。集合体呈粉末状、土状。江西安远产的泡铋矿，呈绿黄色粉末状于辉铋矿表面，或呈辉铋矿假象，还有呈薄膜状于石英等矿物的表面或裂隙中。

【物化性质】 颜色多种多样，有白、绿、黄、灰和褐色等。土状光泽。解理中等。硬度 3～4。相对密度 7.0～8.3。溶于冷盐酸、硝酸并起泡。与 KI+S 混合，在木炭上加热形成碘化铋薄膜。

【产地、产状和用途】 在我国赣南钨铋矿床、广东湖南等地一些有色金属矿床和稀有金属矿化花岗岩氧化带里均有产出。可作选矿附产品回收利用铋。

### Bj005　赣南矿　gananite

【组成与结构】 化学组成 $\alpha$-$BiF_3$，含 Bi 78%。等轴晶系，矿物呈不规则粒状，粒径 0.07～0.15mm。

【物化性质】 棕至黑色，半透明，树脂到半金属光泽。维氏硬度 135～153kg/mm³；条痕呈暗灰。相对密度 8.928。不发荧光，无磁性。易溶于 HCl、$HNO_3$，缓慢溶于 $H_2SO_4$。

【产状、产地与用途】 产于我国江西赣县赖坑钨矿区含钨石英脉中，与黑钨矿、黄铁矿、毒砂、辉钼矿、自然铋、辉铋矿等共生。可分选出铋精矿。

### Bj006　硫碲铋矿　joseite

【组成与结构】 化学组成为 $Bi_4Te_{2-x}S_{1+x}$，根据硫碲铋矿化学组成中的 Te 小于或大于硫，即 $x \geqslant 0.5$ 而分成两个亚种，硫碲铋矿 A（$Bi_4TeS_2$）和硫碲铋矿 B（$BiTe_2S$），其铋含量分别为 81.34%和 74.4%，碲含量分别为 12.42%和 22.7%。此外还有富硫的硫碲铋矿，其化学式中 Te∶S 为 1∶3，曾被命名为硫碲铋矿 C（Bi 83.75%，Te 8.85%），还有富碲的硫铋碲矿（碲-硫碲铋矿，含 Bi 73.75%，Te 19.70%。曾命名为赣江矿）。三方晶系、硫碲铋矿呈不规则叶片块状，细粒状。碲-硫碲铋矿为柱状。矿物粒度一般在 5mm 左右。

【物化性质】 硫碲铋矿颜色为钢灰至铁黑色，金属光泽。不透明。一组解理完全。硬度 2。相对密度 8.1～8.3。

硫-硫碲铋矿 A 为银白色。金属光泽。硬度 1。

碲-硫碲铋矿 A 为铅灰色。强金属光泽。解理完全。硬度 2.4～2.6。相对密度 8.037～8.26。

矿物薄片能弯曲，稍有塑性。矿物对氰化钾、氢氧化钾无反应。二氯化汞有时出现蓝褐色彩色薄膜，三氯化铁立即出现灰黑色薄膜，加盐酸微出现褐色薄膜，加硝酸起泡，迅速变暗并现晕环。

【产状、产地与用途】 硫碲铋矿见于加拿大、美国、巴西和我国江西钨铋矿床及金矿床中。硫-硫碲铋矿 A 产于俄罗斯后贝加尔某矿床，与一些铋的硫碲化物共生。碲-硫碲铋矿产于我国江西黑铋矿床的黑钨矿、辉铋矿石英脉中。共生矿物还有辉碲铋矿、辉铅铋矿等，共同组成钨铋矿石。

### Bj007 赫碲铋矿 hedleyite

【组成与结构】 化学组成为 $Bi_7Te_3$。含 Bi 79.26%～80.60%。三方晶系，矿物呈块状，叶片状。

【物化性质】 锡白色，在空气中变为铁黑色。金属光泽。不透明、解理完全。薄片具弹性。硬度 2。相对密度 8.91。

【产地、产状与用途】 产于加拿大矽卡岩中的石英脉内，与自然铋、金、毒砂、硫碲铋矿、辉铜矿和磁黄铁矿等组成 Au-Cu-Bi 矿床。

### Bj008 碲铋矿 tellurobismuthite 和 pilsenite

【组成与结构】 在地质出版社 1982 年出版的系统矿物学中刊出的碲铋矿（tellurabismuthite）为 $Bi_2Te_3$，三方晶系。1981～1988 年新矿物资料中刊出的碲铋矿（pilsenite）为 $Bi_4Te_3$，三方晶系。指出是重新校定的矿物。按 $Bi_2Te_3$ 资料，Te 为 45.33%，Bi 为 52.90%。按 $Bi_4Te_3$ 式计算，则 Te 为 30%，Bi≈70%。晶体呈叶片块状或不规则板状。

【物化性质】 矿物呈暗淡的铅灰色，条痕与颜色相同。金属光泽。不透明。解理完全。叶片具挠性。无弹性。硬度 1.5～2。相对密度 7.81～8.05。

【产状、产地与用途】 见于含金石英脉中及砂金矿床中，与其他含碲矿物共生。大量富集时可回收利用。

### Bj009 脆硫铋矿 ikunolite

【组成与结构】 化学组成 $Bi_4S_3$。成分中有部分 Pb 代替 Bi（可达 5.5%），Se 代替 S（可达 2.2%）。三方晶系。脆硫铋矿常呈块状。

【物化性质】 铅灰色。条痕暗灰色。金属光泽。不透明。解理极完全。硬度 2。性脆。相对密度 7.8。

【产状、产地与用途】 脆硫铋矿与辉铋矿、自然铋一起产于含锡石黑钨矿石英脉中。有综合回收 W、Sn、Bi 价值。

### Bj010 硫硒铋矿 laitakarite

【组成与结构】 化学组成 $Bi_4Se_2S$。三方晶系。晶体似叶片状或纸片状。

【物化性质】 硫硒铋矿呈铅灰色。金属光泽。不透明。解理完全。硬度 2。相对密度 8.12。

【产状、产地与用途】 硫硒铋矿与黄铜矿、自然铋、闪锌矿、辉钼矿、黄铁矿和方铅矿一起在细脉中产出。

## Bk 汞

汞又称水银是常温下惟一呈液态的金属。汞的主要矿物辰砂，在中国古代称丹砂、朱砂或硃砂。宋代以后，因主要产销市场在湖南辰州（现名为沅陵），故得名为辰砂。中国是世界上发现和利用汞矿最早的国家，据考古资料，在仰韶文化层和龙山文化层里，均发现“涂朱”（砂）遗物，

因此中国利用汞的历史，可以追溯至5000年前。从殷开始，丹砂被用做颜料；春秋战国以后，又在炼丹术和医药方面得到了应用，并开始用以提炼汞。由此可见，中国对汞的开采利用，比国外利用汞矿最早的希腊人和罗马人还要早1000多年。

汞呈银白色，相对密度13.546。熔点－38.87℃时凝成固体，沸点357℃。内聚力很强。汞能与许多金属形成合金，称为汞齐。汞蒸气剧毒。

汞的蒸气压变化幅度显著，蒸气导电并产生绿色及紫外线光谱。汞在电气和仪器工业上主要用来制造紫外射灯、水银灯、水银真空泵、反光镜、交通信号灯的自动控制器，汞盐、干电池、蓄电池、水银整流计、汞槽、温度计、气压计及其他的测量控制仪器。

汞的化合物在化学工业上可制皮革和植物的防霉剂、木材防腐剂、防腐油漆，在基本化学工业中，当由乙炔制造乙醛时使用硫酸汞作催化剂。电解食盐制造苛性钠时，用汞作阳极。还广泛用做船舶水下部分用的颜料等。汞的硝酸盐曾长期用于生产雷管及引火帽等爆炸物。农业上用汞的化合物作种子的媒染剂。医学上用汞作升汞、甘汞、各种药膏医牙汞膏等的组成部分，并可用于各种医学仪器。此外还用于精密铸件的铸模、钚原子反应堆的冷却剂、镉基轴承合金等。

辰砂为色泽鲜艳的重矿物。是高档颜料、其中粒度大者称珠宝砂，用于激光技术等方面。与叶蜡石共生者称鸡血石，可作珍贵印章等工艺品料石。

汞在自然界呈自然元素或$Hg^{2+}$的离子化合物及金属互化物存在。具有强烈的亲硫性和亲银和亲卤元素性。截止1988年统计，已发现的汞矿物和含汞矿物共48个，其中硫化物及硫氧化物占33%，自然汞及汞齐类矿物占19%，汞卤化物也占23%，其次是碲化物占10%，氮化物占6%，共占91%，其他为个别的是As、Se、氧化物等矿物。在汞合金矿物中的一半是汞银合金矿物。汞矿物及含汞矿物中的汞含量的质量百分比普遍较大。含Hg≥60%的占52%，其中≥80%的又高达27%。常见汞矿物见下面汞矿物各论。其中，作为工业矿物原料具有开采价值的主要是辰砂、黑辰砂。辰砂富矿石可直接入炉冶炼。但大多数汞矿床含汞量较低，矿石要用选矿方法富集成精矿才能冶炼。

根据矿石的工业技术要求，汞矿按有用矿物组分划分的矿石工业类型，主要有单汞、汞铀、汞锑、汞硒、汞金及汞多金属等类型。供工业利用者，目前主要是单汞型矿石。汞矿石一般工业要求：边界品位0.04%，工业品位0.08%～0.1%（块段平均品位），矿床的平均品位应达0.12%～0.15%，可采厚度≥0.8～1.2m，夹石剔除厚度为≥2～4m。

### Bk001　自然汞　mercury

【组成、结构与物化性质】 在－38.87℃下形成的固态汞，称自然汞。三方晶系，复三方偏三角面体晶类，菱面体晶形，也有的呈薄膜状或细小粒状。颜色为银白色，锡白色。金属光泽。相对密度14.26。

液态水银为银白色，金属光泽，相对密度13.55。内聚力很强，常呈水珠状或水滴状。在－38.89℃以下时凝成固体，高于360℃时气化，蒸气有剧毒。固态自然汞和液态水银均可溶于盐酸或硝酸中。

【产状与产地】 自然汞一般为表生矿物，由辰砂遭受淋滤破坏而成。它常保存着辰砂晶体形状的淋滤空洞。亦有内生成因，往往在火山地区或与温泉有关的辰砂在一起伴生。前苏联曾摄制过一部“水银湖上的魔影”科幻片。

### Bk002　银汞矿　moschellandsbergite

【组成与结构】 化学组成为$Ag_2Hg_3$。化学成分很稳定。含Hg≈73%。等轴晶系。晶体呈菱形十二面体，常与立方体或四角三八面体组成聚形。集合体为块状、皮壳状及散粒状。

【物化性质】 银白色。不透明。强金属光泽。条痕银白色。硬度3.75。性脆。断口贝壳状或参差

状。相对密度 13.71。

【产地、产状和用途】 完整晶体见于德国巴伐利亚州莫契斯堡矿区。产于矿脉中，常与汞、银矿物伴生。大量聚集时，有开采回收价值。

## Bk003 辰砂和黑辰砂

【名称】 辰砂 cinnabar；黑辰砂 meta-cinnabare

【组成与结构】 辰砂与黑辰砂是同质多象变体：化学组成皆为 HgS，含 Hg 86.21%。辰砂为三方晶系，三方偏方面体晶类。晶体常见，有菱面体形板状晶、柱状晶和矛头状穿插双晶。集合体呈不规则粒状、致密块状以及粉末状和皮壳状等。常含有少量硒和碲。成分固定。黑辰砂为等轴晶系，六四面体晶类。晶体呈四面体，表面粗糙。常为不规则块状。黑辰砂成分中的汞可被 Zn、Fe 类质同象代替，S 可被 Se 代替，形成 HgS（黑辰砂）-HgSe（灰硒汞矿）类质同象系列。

【物化性质】 辰砂呈暗红色到鲜红色或浅红色，有时带铅灰色的锖色。条痕为鲜红色。金刚光泽。暗色者显金属半金属光泽。晶体薄片半透明。解理完全。断口为不明显贝壳状、不平坦状。性脆。硬度 2～3。相对密度 8.0～8.2。电的不良导体。介电常数 6.2。当加热时最初变为浅棕色。当温度增高 250℃时变为黑色。在 44℃和一个大气压时可逆地转变为黑辰砂。溶于王水。

黑辰砂呈灰黑色，条痕黑色。金属光泽。不透明。性脆。断口呈贝壳状到参差状。硬度 3。相对密度 7.65。黑辰砂加热至 400～500℃时转变为稳定状态的辰砂。

【功能与用途】 辰砂为电的不良导体。介电常数 6.2。受一定波长的光波作用的晶体，当接通电路时，由于导电性增加到百万倍，就失去了绝缘的性质。当提高温度范围时，光电效应向较长波的方向移动。当 α-粒子辐射时，引起脉冲导电性（传导性）。辰砂具逆磁性。辰砂是自然界分布最广的汞矿物。是汞矿石的主要工业汞矿物。辰砂在化工和医药方面有广泛用途。由于辰砂色泽艳红、美丽，是很好的自然颜料。粒度大者称珠宝砂。因此含辰砂的叶蜡石俗称“鸡血石”，是制作印章的珍贵料石。

【鉴别特征】 鲜红的颜色和条痕，大的相对密度和较低的硬度可与其他矿物区别。向含辰砂的王水溶液中加入 $Co[NO_3]_2 \cdot 6H_2O + NH_4CNS$ 的混合物，形成钴和汞的重硫氰酸盐的柱状晶体。在矿物光片上加王水起泡，并产生容易擦掉的薄膜，其他标准试剂不起作用。

【产地与产状】 我国贵州、四州、湖南接壤地带是辰砂的主要产地。其次是陕西、甘肃和青海等地昆仑秦岭成矿带。辰砂是分布最广的汞矿物，也是典型的低温热液矿物。经常与辉锑矿、白铁矿、黄铁矿、石髓、方解石等共生。

## Bk004 硒汞矿 tiemannite

【别名】 灰硒汞矿

【组成与结构】 化学组成 HgSe。含 Hg 71.7%。等轴晶系，粒状或块状集合体。与闪锌矿等结构。

【物化性质】 硒汞矿新鲜面呈铅灰色带有蓝紫色光彩，风化面呈红棕色到黑色。无解理，具不平坦及半贝壳状断口。相对密度 8.24～8.27。

【产状与产地】 发现于德国某地，在方解石脉中呈星点状分布。

## Bk005 碲汞矿 coloradoite

【组成与结构】 化学组成 HgTe。含 Hg 61.14%。等轴晶系。致密块状，粒状。晶体结构属闪锌矿型。

【物化性质】 铁黑色。金属光泽。不透明。无解理。断口次贝壳状到参差状。硬度 2.5～3。相对密度 8.07～8.63。性脆。

【产　状】 在含金石英脉中与金和银的碲化物、电气石、磁铁矿一起产出。

### Bk006 橙红石 montroydite

【组成与结构】 化学组成 HgO。含 Hg 92.61%。斜方晶系，斜方双锥晶类或斜方单锥晶类。晶形有粒状和柱状、针状两种。长柱状有时一端发育完好，另一端变细。晶体头部晶面具花纹。晶体常弯曲或扭搓。常由细小柱状晶体组成蠕虫状、柱状或球状集合体。有时成致密块状或粉末状。

【物化性质】 暗红、橙红、褐红至褐色。条痕橙红至黄褐色。玻璃至金刚光泽。解理完全。硬度2.5。可弯曲并具弹性。晶体易遭受滑动变形。相对密度 11.23。易溶于盐酸、硝酸。在闭管中升华，析出金属汞。

【产状与产地】 产于美国得克萨斯州。是比较少见的汞矿氧化带的矿物。与次生汞矿物氯汞矿、自然汞、汞膏等伴生产出。

### Bk007 汞膏 calomel

【异名】 甘汞

【组成与结构】 化学组成 $Hg_2Cl_2$，含 Hg 84.98%。四方晶系，晶形复杂，通常呈柱状至板状、锥状。集合体呈皮壳状、土状和被膜状。

【物化性质】 无色、白色至浅黄灰色、灰色和褐色。透明至半透明。金刚光泽。解理中等至不完全。断口贝壳状。硬度 1.5。相对密度 7.16。具延展性。紫外光下发暗红色的荧光。

【产状与产地】 见于美国加利福尼亚州与自然汞、辰砂和褐氯汞矿一起产出。也见于墨西哥、法国、西班牙和德国。

### Bk008 汞矾 schuetteite

【组成与结构】 化学组成 $Hg_3[SO_4]O_2$；含 Hg 82%。六方晶系。晶体呈细小板状，亦呈薄膜或皮壳状。

【物化性质】 美黄色，浅绿黄色，橙黄色。硬度 3。相对密度 8.18。

【产状与产地】 产于美国西部干旱地区许多汞矿床的废石场及废坑道中；在受过阳光作用的辰砂表面呈薄膜状。与蛋白石或明矾石伴生。在煅烧过的汞矿的砖窑的孔隙中呈皮壳状产出。

### Bk009 氯氮汞矿 kleinite

【组成与结构】 $[Hg_2N]Cl \cdot nH_2O$。通常写作$[Hg_2N](Cl,SO_4)$。含 Hg≈73%。室温下成亚稳定状态。六方晶系，晶体呈短柱状。

【物化性质】 浅黄色至橙黄色。透明至半透明。金刚光泽至脂肪光泽。条痕黄色。解理完全至不完全。硬度 3.5～4。性脆。相对密度 8。260℃时升华。溶于盐酸。当冷至 130℃以下时，转变为二轴晶(－)，可能为三斜晶系。

【产状与产地】 见于美国得克萨斯州特尔林古阿白垩系石灰岩内的汞矿床，与黄氯汞矿、汞膏、辰砂、褐氯汞矿、自然汞和橙红石共生。

### Bk010 滦河矿 luanheite

【组成与结构】 化学成分 $Ag_3Hg$。六方晶系。呈微细圆粒和板柱状晶和集合体。

【物化性质】 亮白色。不透明。强金属光泽。硬度≈2。条痕灰黑。相对密度 12.5。

【产状与产地】 产于我国河北北部滦河流域砂金矿区，与金红石、锆石、磁铁矿、自然金、自然银、自然铅等共生。

### Bk011 围山矿 weishanite

【组成与结构】 化学组成 $(Au,Ag)_3Hg_2$，六方晶系。呈细粒晶（21～30μm）和集合体（0.1～

0.4mm)。

【物化性质】 围山矿为浅黄白色，不透明，强金属光泽。硬度 2.4。相对密度 18.17。具延展性。

【产状与产地】 产于我国河南省桐柏县围山城金银矿床中，与黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉银矿、自然金、自然银、辉钼矿、白钨矿等共生。

# Bi 锑

锑是一种银灰色的金属，在常温下是一种耐酸物质，其相对密度 6.68，熔点 630.5℃。性脆，无延展性。是电和热的不良导体，在常温下不易氧化，有抗腐蚀性能。锑在合金中的主要作用是增加硬度，常被称为金属或合金的硬化剂。锑及锑化合物首先使用于耐磨合金、印刷铅字合金、军事工业上制造枪弹、炮弹的弹头；蓄电池极板、海底电缆包皮。随着科学技术的发展，现在已被广泛用于生产各种阻燃剂、搪瓷、玻璃、橡胶、涂料、陶瓷、塑料、半导体元件、烟花、医药及化工等部门产品。

锑属亲铜元素，但也有一定的亲氧性。具有两性元素特性。其离子主要为 $Sb^{3+}$，也有 $Sb^{5+}$。在自然界中已发现 120 多种锑矿物及含锑矿物，主要以 4 种形式存在，即①自然金属与金属互化物，如自然锑、砷锑矿；②硫化物及硫盐类，如辉锑矿、硫铜锑矿、黝铜矿、车轮矿、脆硫锑铅矿、硫氧锑矿、硫汞锑矿等；③卤化物或含卤化物，如氯氧锑铅矿等；④氧化物，如锑华、黄锑华、方锑矿、锑赭石等。在这四类中，产出最多的是硫化物及硫盐类锑化物。其次是锑的氧化物。

世界上约在公元前 18 世纪匈牙利地区就发现了小锑块。中国出土的秦代箭头就含有锑，西汉末王莽铸作钱币均用铜，掺以连锡（连锡就是辉锑矿的古名，故我国最早发现的特大锑矿区至今还沿称锡矿山）。该矿物到 1890 年经化验才知是锑化物。我国是世界上锑矿资源最丰富的国家之一，现已探明有储量的矿区 111 处，分布于 18 个省区。以湖南、广西和贵州为主，其次是广东和云南。陕西、甘肃、青海也有分布。

锑矿床一般工业要求：边界品位，含 Sb 0.7%；工业品位，含 Sb 1.5%；可采厚度≥1m；夹石剔除厚度≥2m。该指标仅供地质评价阶段参考。当锑矿床的伴生组分达到下列含量时，应注意综合评价：Au 0.1g/t，Ag 2g/t，$WO_3$ 0.05%，Hg 0.005%，Pb 0.2%，Zn 0.4%，As 0.2%，S 2%，Cu 0.1%，Sn 0.08%，Bi 0.02%，Se 0.001%，Co 0.1%，Ni 0.1%，$CaF_2$ 5%，$BaSO_4$ 5%。

锑矿石自然类型分三类，按锑氧化率划分：氧化矿石＞50%，混合矿石 30%～50%，原生矿石＜30%。锑矿石的工业类型是依矿石物质组成特点分成单一锑矿石及锑金、锑汞、锑钨、锑金钨、锑多金属矿石等。

锑矿石经选矿得到的商品锑精矿，应符合《锑精矿质量标准 YB 2419—82》。

| 类别 | | 品级 | 锑不小于/% | 杂质不大于/% | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | As | Pb |
| 硫化锑精矿 $\frac{(S)Sb}{(T)Sb}>85\%$ | 粉精矿 | 一级 | 55 | 0.6 | 0.15 |
| | | 二级 | 50 | 0.6 | 0.15 |
| | | 三级 | 35 | 0.4 | 0.15 |
| | | 四级 | 30 | 0.4 | 0.15 |
| | 块精矿 | 一级 | 60 | 0.6 | 0.15 |
| | | 二级 | 50 | 0.6 | 0.15 |
| | | 三级 | 40 | 0.4 | 0.15 |
| | | 四级 | 30 | 0.4 | 0.15 |
| | | 五级 | 20 | 0.2 | 0.10 |
| | | 六级 | 10 | 0.2 | 0.10 |

续表

| 类别 | | 品级 | 锑不小于/% | 杂质不大于/% | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | As | Pb |
| 混合锑精矿 $\frac{(S)Sb}{(T)Sb}$=15%～35% | 粉精矿 | 一级 | 55 | 0.6 | 0.15 |
| | | 二级 | 45 | 0.6 | 0.15 |
| | | 三级 | 35 | 0.4 | 0.15 |
| | | 四级 | 30 | 0.4 | 0.15 |
| | 块精矿 | 一级 | 60 | 0.6 | 0.15 |
| | | 二级 | 50 | 0.6 | 0.15 |
| | | 三级 | 40 | 0.4 | 0.15 |
| | | 四级 | 30 | 0.4 | 0.15 |
| | | 五级 | 20 | 0.2 | 0.10 |
| | | 六级 | 10 | 0.2 | 0.10 |
| 氧化锑精矿 $\frac{(S)Sb}{(T)Sb}$<15% | 块精矿 | 一级 | 60 | 0.6 | 0.2 |
| | | 二级 | 50 | 0.6 | 0.2 |
| | | 三级 | 40 | 0.4 | 0.15 |

注：(S)Sb 指硫化锑中的含锑量。(T)Sb 指精矿中总含锑量。

## BI001 自然锑 antimony

【组成与结构】 化学组成 Sb。有时含有少量的 As、Ag 和 Fe 等杂质。三方晶系。复三方偏三角面体晶类。结晶呈假立方体或菱面体，但晶形很少见，通常成粒状、放射状、葡萄状及薄片状等。偶见双晶和四连晶。

【物化性质】 锡白色或钢灰色，有时变黄色。条痕锡白色。不透明。金属光泽。解理有完全、中等和不完全三种。断口参差状。硬度 3～3.5。性脆而稍柔软。相对密度 6.55～6.72。置木炭上用吹管焰灼烧，极易熔融，染火焰现淡绿色，并发出浓烟，在木炭上凝集成稠密的白色被膜($Sb_2O_3$)。此被膜以还原焰灼烧时，则染成蓝绿色。

【产地、产状与用途】 见于中国、德国、捷克及秘鲁等国。呈浸染状在石英砂岩中，亦可充填在岩石裂隙内呈不规则的脉状，常与金、Ag、汞及锑矿物相伴生。大量富集时可构成锑矿石。

## BI002 辉锑矿 stibnite

【组成与结构】 化学组成 $Sb_2S_3$。含 Sb 71.38%，组分较固定。含量的 As、Pb、Bi、Fe、Cu，有时也含 Au 和 Ag；其中绝大部分与机械包体(如金、银、毒砂等)有关。汞达到 $16.6\times10^{-6}$。

斜方晶系，斜方双锥晶类。晶体为长柱状，针状或矢状。柱状晶体常有不同的端顶——从钝顶到矛状。单形有斜方柱及斜方双锥等。柱面上具有深的纵纹，晶体常弯曲或绕长轴扭转。我国著名的辉锑矿产地——湖南新化锡矿山的辉锑矿晶体，最大者长达 60cm。在矿囊中亦成巨大的晶簇。晶面光滑。通常呈柱状和针状集合体，有时见扇形连生体，也有呈毯状或乱纤维状、似毡状的集合体和粒状集合体。

【物化性质】 铅灰色或钢灰色，表面常有蓝色的锖色。条痕灰黑色。金属光泽，在晶面和新鲜断口上很强。不透明，但是很薄的碎片在太阳光下呈现暗红色或淡黄红色。解理完全到不完全，解理面上常有横纹。断口为细小的贝壳状。硬度 2～2.5。细小薄片具挠性。相对密度 4.51～4.66。比导电率在各种波长光的照射下有很大增加；当加热时电阻增大，完全溶于热盐酸中，并产生硫化氢；在硝酸中分解，并分泌出 $Sb_2O_5$；与氢氧化钾作用立刻呈现黄色，随后变为褐红色。在吹管火焰下极易熔化，火焰染成绿蓝色。

【功能与用途】 产于低中温热液矿床为主，也出现在温泉的沉积物和火山的升华物中。辉锑矿在热液蚀变中有时为辰砂所交代。在氧化带中易于分解，形成黄色或褐色的各种锑的氧化物。辉锑矿是

最主要的工业锑矿物。

【鉴别特征】 宏观上以辉锑矿颜色、形态、解理和解理面上的横纹为特征，以及与氢氧化钾的反应和与相似的辉铋矿、辉铁锑矿和车轮矿相区别。

【产地】 我国湖南、广西和贵州省是辉锑矿的主要产区。

### BI003 硫汞锑矿 livingstonite

【组成与结构】 化学组成 $HgSb_4Sg$。含 Sb 59%，成分变化不大。单斜晶系。晶体成针状，亦成柱状到纤维状或团块状集合体。

【物化性质】 浅黑灰色。条痕红色。金属光泽至金刚光泽。近于不透明。解理完全到不完全。硬度 2。相对密度 5。具挠性。

【产地与产状】 硫汞锑矿与辉锑矿、长砂、自然硫和锑华一起产在方解石和石膏标本中，亦发现与石膏和自然一起产出。

### BI004 副砷锑矿 paradocrasite

【组成与结构】 化学组成 $Sb_2(Sb, As)_2$，含 Sb 82.4%。单斜晶系，短柱状，有些柱晶有平行长轴的条纹，细粒状集合体，亦有呈六方板状晶形，聚片双晶常见。

【物化性质】 副砷锑矿呈银白色，性脆，解理完全。硬度 2.5～3.5。相对密度 6.52。

【产地与产状】 副砷锑矿与锑银矿共生，可交代方解石。

### BI005 脆硫锑铅矿 jamesonite

【别名】 羽毛矿

【组成与结构】 化学组成 $Pb_4FeSb_6S_{14}$。含 Sb 35.5%。铋可为类质同象混入物达 1%，铁含量有时达 10%，其他混入物有 Cu、Zn、Ag 等。单斜晶系。斜方柱晶类，晶体多呈长柱状，亦有短柱状以及针状和毛发状。柱面上有时发育平行条纹。集合体常呈放射状、羽毛状、纤维状、梳状、柱状和粒状等。

【物化性质】 铅灰色，有时有蓝红杂色的锖色。条痕暗灰色或灰黑色。金属光泽。不透明。解理中等。不平坦断口。硬度 2～3.5。性脆。相对密度 5.5～6.0。以硝酸易分解，并析出 $Sb_2O_3$ 和 $PbSO_4$。溶于热盐酸。当冷却时沉淀出 $PbCl_2$。

【产地、产状及用途】 广泛分布于我国湖南、广西、吉林、辽宁、甘肃、江西各省中低温铅锌矿床及锡石硫化物矿床中。有大量富集时，可构成铅和锑矿石。

### BI006 锑黝铜矿 tetrahedrite

【组成与结构】 化学组成 $Cu_{12}Sb_4S_{13}$，含 Cu 45.77%，Sb 29.22%。有广泛的类质同象，除 As 代替 Sb 外，有限代替铜的有银、锌、铁和汞等，代替锑的还有砷、铋；代替硫的有硒和碲。等轴晶系。六四面体晶类。晶体多半呈四面体外形，常见单晶有立方体、四面体、菱形十二面体等。通常呈致密块状，半自形，它形粒状或细脉状。双晶常见。

【物化性质】 钢灰色至铁黑色。条痕钢灰至铁黑色，有时带褐色。金属至半金属光泽。不透明。无解理。硬度 3～4.5。相对密度 4.6～5.4。弱导电性。溶于硝酸，并析出硫和氧化锑。完全溶于王水中。

【功能与用途】 黝铜矿是各种热液型矿床中常见的矿物。也出现在矽卡岩型多金属矿床及铜铁矿床中。而锑黝铜矿又是黝铜矿族中分布最广的一个单元矿物变种。黝铜矿的风化产物是多种多样的，可氧化分解成赤铜矿、孔雀石、铜蓝、蓝铜矿、褐铁矿及黄锑矿和锑华等。大量富集时，可作为取

得铜和锑的矿石矿物。

【鉴别特征】 四面体晶形，断口呈黝黑色，性脆。溶于硝酸并析出硫和氧化锑。

【产地】 我国湖北、四川、云南、广西、湖南、江西、安徽、江苏、辽宁等省的多金属矿床，铅锌矿床都有产出。

## BI007 方锑矿 senarmontite

【组成与结构】 化学组成 $Sb_2O_3$，含 Sb 83.54%，等轴晶系。六八面体晶类。可形成较大而完好的八面体，常见单形为八面体和菱形十二面体。在晶面上可见平行八面体晶棱的三个方向的条纹。有时晶面上常有凹陷。成骸晶。集合体呈粒状或致密块体，有时形成皮壳状。

【物化性质】 无色至灰白色。条痕白色。金刚光泽至玻璃光泽。解理不完全。断口不平坦至贝壳状。性脆。硬度 2～2.5。相对密度 5.22～5.78。不导电。溶于盐酸。

【功能与用途】 低于 570℃时为稳定的变体，温度再高为斜方的变体——锑华稳定。加热至 460℃时具重折射的方锑矿变为均质的，冷却后均质性仍保存。656℃时熔融成黄灰色液体，温度再高时升华，大量富集时可构成锑矿石。

【鉴别特征】 硬度较低而比重较大为特征，以此与其他白色矿物相区别。吹管焰下，在木炭上生白色的被膜。用还原焰烧之，火焰现绿色。

【产状与产地】 较少见的次生矿物，为辉锑矿或自然锑氧化产物。与锑华、硫氧锑矿、锑赭石和其他表生锑矿物共生。

## BI008 锑华 valentinite

【组成与结构】 化学组成 $Sb_2O_3$。含 Sb 83.54%。斜方晶系。与方锑矿为同质异象体。斜方双锥晶类。一般呈柱状或板状。平行柱面有纵纹。集合体呈柱状、片状、羽毛状、粒状、土状块体或皮壳。

【物化性质】 无色、白色、有时带淡灰、淡黄、黄褐或红色色调。条痕白色。金刚光泽，解理面现珍珠光泽。解理完全到不完全。硬度 2.5～3。性脆。相对密度 5.70～5.76。不导电。溶于 10%的酒石酸和盐酸。在盐酸中加水产生白色沉淀。在硫化氨溶液中染成棕色并慢慢溶解。硝酸难溶。

【产状、产地与用途】 见于我国湖南新化锡矿山、玻利维亚塔塔西。系由辉锑矿等经风化作用形成。常与方锑矿、锑赭石、黄锑华等混合产出。与其他氧化锑矿物可共同组成锑的氧化矿石或混合矿石。

## BI009 锑赭石

【组成与结构】 化学组成 $Sb_2O_3 \cdot Sb_2O_4 \cdot H_2O$。含 Sb 74%～79%。可能是锑华、黄锑华等的混合物，不是一个独立矿物。但是在一些锑矿床氧化带较常见的产物。

## BI010 黄锑华 stibiconite

【组成与结构】 化学组成 $Sb_3O_6(OH)$。含 Sb 74.5%。成分中 $Sb^{3+}$ 常可被 $Ca^{2+}$ 代替达 9%，被 $As^{3+}$ 代替达 15%。等轴晶系，晶体少见，常呈粉末状、皮壳状等胶状集合体。

【物化性质】 浅黄或黄白色。硬度 4～5.5。相对密度 5.58。

【产状与产地】 见于我国湖南辉锑矿床氧化带，多与其他锑的次生氧化物构成锑赭石产出。

## BI011 黄锑矿 cervantite

【组成与结构】 化学组成 $Sb_2O_4$。含 Sb 79.19%。斜方晶系。斜方单锥晶类，晶体少见，常呈粉末

状、鳞片状集合体，或呈致密块体。

【物化性质】 黄色到红色，有时无色。硬度 4～5。相对密度近于 6.5。解理完全到中等。吹管焰下不熔，在盐酸中亦不溶。

【产状与产地】 锑矿床氧化带产物，常依辉锑矿形成假象。

## BI012 硫氧锑钙石 sarabauite

【组成与结构】 化学组成 $CaSb_{10}O_{10}S_6$。含 Sb 74.89%。单斜晶系。晶体呈板柱状。

【物化性质】 雄黄红色。橙色条痕。油脂光泽。未见解理。相对密度 4.8。无脆性，具可切性。

【产状与产地】 在热液矿床蚀变灰岩中呈细脉状矿物集合体，与石英、方解石、硅灰石、辉锑矿、方锑矿成共生组合产出。见于马来西亚萨拉鲍（Saraban）矿山。

# C　与稀有金属、稀土金属及贵金属有关的矿物与岩石

## Ca　贵　金　属

（金、银及铂族金属）

### 一、金

金是黄色具强金属光泽的金属，相对密度 19.3，熔点 1063℃，沸点 2966℃，莫氏硬度 2.5。金是很不活泼的金属，自然界主要呈自然金和金属互化物出现，从室温到高温一般均不氧化。金不溶于一般的酸和碱，但可溶于王水，也可溶于碱金属氰化物中。酸性的硫脲溶液，溴的溶液，沸腾着的氯化铁溶液，有氧存在钾、钠、钙、镁的硫代硫酸盐溶液等，能很容易溶解金。碱金属硫化物能腐蚀金，生成可溶性硫化金。

金的延展性很好，可压成厚度只有 0.01μm 的金箔，可拉成只有 0.5mg/m 的金丝。金的电导率仅次于银和铜，热导率为银的 74%。

金是一种贵重金属，很早就用于制造货币、装饰品或作为硬通货的储备。目前，黄金仍作为国际货币结算手段和货币信用的基础。金广泛用于珠宝业以及陶瓷、镶牙、金笔等方面。随着科学技术的发展，特别是尖端技术的发展，黄金及其合金在电子、电气、宇航和国防尖端工业中具有特殊的用途。

目前，已知的金矿物约有 30 多种，它们多呈自然金和金属互化物产出，其中最常见而且大量被人们利用有自然金、碲金矿、针碲金银矿、银金矿以及金汞互化物等。

#### Ca001　自然金　gold

【组成与结构】 Au。纯金极少有，经常含有 Ag，矿物中 Au 和 Ag 属完全类质同象系列，可以相互替换。通常 Au 含量在 80%以上者称为自然金，含 Ag 20%～50%的称为银金矿（electrum），此外还常含有 Cu、Fe、Pd、Bi、Pt 以及 Se、Te、Ir 等。吉林夹皮沟产出的自然金含 Au 84.96%，Ag 15.10%，黑龙江多宝山自然金含 Au 84.50%，Ag 16.03%，河北金厂峪自然金含 Au 92.41%，Ag 6.40%。辽宁红石垃子产出的银金矿含 Au 58.15%，Ag 41.64%，吉林二道沟银金矿含 Au 76.82%，Ag 21.61%。自然金属等轴晶系。

【物化性质】 自然金完好晶形少见，一般多呈不规则粒状或滚圆状，也常呈团块状、薄片状、鳞片状、树枝状、纤维状、海绵状集合体等产出。此外，有的自然金呈细小矿物包裹体被包在黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等矿物中。矿物无解理，硬度 2～3，相对密度 15.6～18.3。导电性和导热性高，仅次于银和铜。具延展性，常可压成薄箔。颜色和条痕为金黄色，富含 Ag 者为淡黄～乳黄色。金属光泽。自然金的粒度十分细小，除狗头金外，通常把肉眼能见到的称为可见金，显微镜下可见的称为显微金，显微镜下不能分辨的称为次显微金。这种划分有助于选矿工艺或工-商业应用。自然金在空气中不氧化，不溶于酸，但溶于王水，在吹管焰中熔化。

【鉴别特征】 自然金以其金黄色、相对密度大很易认识。在市场上通常用金的成色说明金的质量或纯金的含量，这要通过成分分析确定。

【产状与产地】 自然金在自然界广泛产出，常见于变质岩、混合岩、火山岩、碱性侵入岩、石灰岩及矽卡岩内的热液金矿床中，尤其是这些岩石内的含金石英脉中，与黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、磁黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿等共生。此外，冲积砂矿及海滨砂矿也是自然界赋存的重要矿床。自然金产地遍布我国南北各省。

### Ca002 针碲金银矿 sylvanite

【组成与结构】 $AgAuTe_4$，美国科罗拉多州 Cripple Creek 产出的针碲金银矿含 Au 25.45%，Ag 13.04%，Te 60.61%。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 晶体通常呈板状、短柱状或粒状，常见穿插双晶或简单接触双晶。解理（010）完全，断口参差状，性脆，硬度 1.5～2，相对密度 8.17。颜色银白色，有时浅黄色，条痕银白色，强金属光泽，不透明。

【产状与产地】 针碲金银矿产石英热液脉中，与石英，其他碲化物、硫化物、硫酸盐以及自然金等共生。

### Ca003 碲金矿 calaverite

【组成与结构】 $AuTe_2$，常有少量 Ag 代替矿物中的 Au。澳大利亚 Kalgoorlie 产碲金矿的化学成分为 Au 42.15%，Te 57.00%，Ag 0.60%。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 晶体呈柱状，沿 $b$ 轴延长的针状及粒状集合体，晶面条纹发育，依（100）成双晶。无解理，断口次贝壳状至不平坦，性脆，硬度 2.5～3，相对密度 9.31，熔点 464℃。颜色草黄色～银白色，条痕黄～灰绿色，金属光泽，不透明。矿物溶于 $HNO_3$。

【鉴别特征】 矿物溶于 $HNO_3$ 后产生铁锈色的金沉淀。木炭上吹管火焰灼烧产生小金球。

【产状与产地】 碲金矿产中低温热液矿脉中，与自然金、银金矿、针碲金银矿共生，并与黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黝铜矿、钼酸盐等矿物组合在一起。

### Ca004 金汞齐

【名称】 金汞齐 goldmalgam

【异名】 围山矿 weishanite；两者均属金汞互化物。

【组成与结构】 金汞齐 $Au_2Hg$，围山矿 $(AuAg)_3Hg_2$。我国河南桐柏产围山矿含 Au 56.91%，Ag 3.17%，Hg 39.92%。矿物均属六方晶系。

【物化性质】 晶体呈极细小粒状或细粒集合体。断口贝状。金汞齐相对密度 16.7，围山矿硬度 2.4，计算密度 18.17g/cm³。颜色白色～浅黄色，金属至强金属光泽，具延展性，不透明。

【产状与产地】 围山矿产于我国河南桐柏围山城金银矿床中。含矿围岩主要是炭质绢云母石英片岩和黑云母变粒岩，共生矿物有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、自然金、自然银等。国内有的金汞互化物产河流冲积砂矿中。

## 二、银

银是贵金属之一，银白色，熔点 960.8℃，沸点 2212℃，硬度 2.7。在古代、银即被用于制造货币、首饰、器皿、宗教信物，并作为保值品加以储存。在近代，由于银具很强的导电性、延展性、传热性及氧化性，被广泛用于制造照相材料、电子工业和发电设备的零件。银易溶于 $HNO_3$ 或热的浓 $H_2SO_4$，硝酸银是无色晶体，由于它的稳定性和在水中的易溶性及对有机组织有破坏作用等，在医药上被用做消毒剂和腐蚀剂。银的卤化物是重要的感光材料。银的络合物主要用于渡银工业。

目前已知的银矿物约 80 种，其中工商业利用上较为重要的有自然银、银金矿、辉银矿、碲银矿、

硫铜银矿、淡红银矿和浓红银矿、溴角银矿和氯角银矿等。其中银金矿特征已在上述金矿物中提到。

## Ca005 自然银 silver

【组成与结构】 Ag，矿物中 Ag 与 Au 可完全类质同象代替，此外常含有 Hg，Hg 代替 Ag 含量可达 50%，称为汞银矿（kongsbergite)。矿物中常见的其他元素还有 As、Sb、Bi、Pt、Cu 等。我国内蒙孟恩陶勒盖自然银含 Ag 97.0%，Pb 2.0%，江西冷水坑自然银含 Ag 99.57%，湖北银洞沟自然银含 Ag 96.66%，Au 3.34%。自然银属等轴晶系。

【物化性质】 完好晶形少见，通常呈细长网状、树枝状、毛发状、皮壳状、粒状、块状产出。矿物无解理，断口锯齿状、刺状。硬度 2.5～3，相对密度 10.497，不透明。具良好的导电性、导热性和延展性。颜色和条痕银白色，表面氧化变为棕红色，进一步氧化发展形成灰黑色薄膜。金属光泽。矿物溶于 $HNO_3$，在溶液中加入 HCl 后生成乳白色 AgCl 沉淀。在吹管焰中易熔。

【鉴别特征】 自然银以其颜色、形态及大的相对密度易于认识。

【产状与产地】 自然银主要产于中低温热液矿床中，常与方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辉铜矿、黄铁矿以及其他金银矿物共生，此外常伴生有各种砷化物、锑化物。硫化矿床氧化带下部有时也产出自然银，是含银硫化物氧化分解的产物。自然银产地遍布全国各省区，上述内蒙、江西、湖北等地都是我国有名的银矿产地。

## Ca006 辉银矿 argentite

【组成与结构】 矿物组成为 $Ag_2S$。$Ag_2S$ 有两种变体：①α-$Ag_2S$，是在 179℃以下形成的单斜晶系低温变体，称为螺状硫银矿（acanthite)；②β-$Ag_2S$，是在 179℃以上形成的等轴晶系高温变体，称为辉银矿。辉银矿常含 Cu、Pb、Se、Te 等杂质元素。江西冷水坑产出的辉银矿含 Ag 87.20%，S 12.80%，内蒙古额仁陶勒盖辉银矿含 Ag 87.69%，S 11.11%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 晶形有立方体、八面体、菱形十二面体及四角三八面体，但完整晶形少见，通常呈浸染状、细脉状、薄膜状、树枝状、毛发状及块状。有的辉银矿在黄铁矿、方铅矿中呈包裹体产出。解理沿（110）和（100）不完全，断口贝壳状，硬度 2.5，相对密度 7.04，颜色银灰色～铁黑色，条痕亮铅灰色，新鲜断口为金属光泽，不新鲜的表面无光泽，具弱延展性，为电的良导体。180℃时辉银矿的电阻比 80℃时的螺状硫银矿小 1000 倍。矿物溶于 $HNO_3$ 并析出 S，加 HCl 产生 AgCl 沉淀。用标准试剂作用，除 KOH 外都起反应。

【鉴别特征】 辉银矿可以低的硬度、弱的延展性及磨光性差鉴别。树枝状、毛发状辉银矿与自然银相似，但后者为银白色，具较大的相对密度和较好的延展性。

【产状与产地】 辉银矿主要产含银硫化物的中低温热液矿床以及铅锌矿石、含金石英脉、石英方解石脉中。产于内蒙含金黄铁矿石英脉中的辉银矿与银金矿、碲金矿、自然金、黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、石英、方解石等共生。

## Ca007 碲银矿 hessite

矿物成分 $Ag_2Te$，$Ag_2Te$ 有两种变体：①155℃以下形成单斜晶系碲银矿变体；②155℃以下形成等轴晶系变体称为β碲银矿（βhessite)。

【组成与结构】 $Ag_2Te$。湖南大坊产出的碲银矿含 Ag 64.90%，Te 35.10%；浙江冶岭头产出的矿物含 Ag 57.44%，Te 42.65%。单斜晶系。

【物化性质】 晶体呈假等轴状或短圆柱状，常呈块状集合体。解理（100）不完全，断口参差状，硬度 2～3，相对密度 8.24～8.45，铅灰色至钢灰色，金属光泽，不透明。矿物溶于 $HNO_3$，溶液很快变成褐色。在 $H_2SO_4$ 中溶解，溶液变白色。

【产状与产地】 碲银矿产中低温铅锌矿和黄铁矿矿床中，与自然金、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿及其他金银碲化物共生。产地有湖南大坊、新疆喀拉通克等。

### Ca008 淡红银矿与浓红银矿 proustite and pyrargyrite

【组成与结构】 淡红银矿 $Ag_3AsS_3$，浓红银矿 $Ag_3SbS_3$。这两个矿物中 As 和 Sb 在 300℃以上可以完全类质同象代替，温度下降，固溶体分离，分别形成两个矿物。内蒙古额仁陶勒盖产出的淡红银矿含 Ag 65.96%，As 17.70%，S 18.19%。湖南宝山产出的淡红银矿含 Ag 64.80%，As 14.30%，S 19.20%。江西冷水坑产出的浓红银矿含 Ag 58.97%，Sb 23.11%，S 18.21%。内蒙古蒙恩陶勒盖产出的浓红银矿含 Ag 63.08%，Sb 20.83%，S 17.14%。两种矿物均属三方晶系。

【物化性质】 两种矿物晶体呈各种形态的短柱状，集合体为致密块状或粒状。解理沿（$10\bar{1}1$）完全，断口贝壳状到参差状。硬度 2～2.5，淡红银矿相对密度 5.57～5.64，浓红银矿相对密度 5.77～5.86。淡红银矿颜色深红色到朱红色，类似辰砂，条痕鲜红色，浓红银矿颜色深红色、黑红色或暗灰色，条痕暗红色。两种矿物均具金刚光泽，半透明。

【鉴别特征】 淡红银矿与浓红银矿两者很难区别，惟前者颜色及条痕色稍淡，相对密度较小，吹管试验有 As 的反应。

【产状与产地】 淡红银矿和浓红银矿见于中低温铅锌银矿床中，为晚期形成矿物，也可以在次生富集中形成。在这些矿床中常与方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、自然银以及砷和锑的硫盐矿物共生。我国内蒙古、江西、辽宁、青海、广东等省均有这些矿物产出。

### Ca009 氯角银矿 chlorargyrite

【异名】 溴角银矿 bromargyrite

【组成与结构】 氯角银矿和溴角银矿同属角银矿族，矿物分子式 Ag(Br，Cl)。Br 和 Cl 可完全类质同象替换，矿物中 Cl＞Br 的称为氯角银矿或被简称为角银矿，Cl＜Br 的称为溴角银矿。矿物常含 I、Hg 等元素。内蒙古额仁陶勒盖产出的氯角银矿含 Ag 73.33%，Cl 26.16%。同地产出的溴角银矿含 Ag 63.33%，Br 36.54%。两个矿物同属等轴晶系。

【物化性质】 立方体晶形，但通常呈皮壳状、薄膜状或纤维状，溴角银矿有时呈致密块体产出。氯角银矿硬度 1.0～2，相对密度 5.55，新鲜面无色或浅黄色、浅褐色、浅蓝色，风化后颜色变暗，直至黑色。溴角银矿硬度 2.5，相对密度 6.5，断口不平坦到次贝壳状。颜色黄色、绿褐色、灰色。两种矿物均无解理，具延展性，金刚光泽、透明到半透明。

【产状与产地】 氯角银矿和溴角银矿产于银铅锌矿床氧化带，为次生矿物，与自然银、碘银矿、褐铁矿等共生。产地有内蒙古额仁陶勒盖、河北相广、吉林山门等地。

### Ca010 硫铜银矿 stromeyerite

【组成与结构】 AgCuS，常含 Fe、As、Sb 等元素。四川呷村产出的硫铜银矿含 Ag 53.41%，Cu 31.10%，S 13.22%。湖北银洞沟产出的矿物含 Ag 52.42%，Cu 34.99%，S 13.19%。矿物属斜方晶系。

【物化性质】 晶体依（110）的双晶成假六方柱状，集合体呈块状，无解理，断口贝壳状，硬度 2.5～3，相对密度 6.26，性脆，颜色深钢灰色，易变为深蓝色，条痕钢灰色，金属光泽，不透明。

【产状与产地】 硫铜银矿产中低温铅锌银热液矿床中，与方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、浓红银矿、辉银矿等共生。产地有内蒙古额仁陶勒盖，四川呷村等地。

## 三、铂族金属

铂族金属包括铂（Pt）、钯（Pd）、铑（Rh）、铱（Ir）、钌（Ru）、锇（Os），通常一起出现于

自然界中。

铂族金属的特点是：除锇为蓝灰色金属外，其他均为银白色，熔点高、耐腐蚀性、稳定的热电性、抗电火花的蚀耗性好、优良的高温抗氧化性能和良好的催化作用等，所以在工业上有广泛用途，其中尤以铂和钯是该类金属中最重要的。铂族金属虽有很多共同性，但它们也有独自的特性，因而用途也不尽相同。

铂具有良好的催化作用和耐腐蚀性，电阻及电阻系数很稳定。铂的最大用户是汽车工业，通过一个含铂、钯的催化转化器可将汽车中的碳氢化合物、一氧化碳和氮的氧化物转变为无害的化合物，从而防止汽车排气污染环境。铂在石油化工及化学工业上作催化剂；在化学及电化学工业上作设备的防腐材料、燃料电池的电极、阴极保护防腐装置、电解、电镀探照灯及医疗器械；电子和电工的测温材料（热电偶、电阻温度计）、触点材料、电阻材料、发动机火花塞电极、永磁材料；在玻璃工业上用做铂坩埚，熔化和处理熔融的光学仪器和特殊用途的玻璃。其他还用于航行器、原子能、装饰等方面。

钯主要用于电工、仪表工业作低电流摩擦接触器和化工人造纤维的催化剂；钯合金可制造提高制氢气纯度的扩散设备，钎焊的钯焊料。钯也是牙科、制药、首饰工业的原料。

铑对可见光有高的反射率，可制造工业镜子及反射镜的镀层；在电工仪表工业用于制造仪表零件、电阻丝和导线等；化学工业作催化剂和生产玻璃纤维的加热器；铑可作为铂、钯的添加剂以提高它们的强度；铑也用于制作首饰及装饰镀层。

铱作铂、钯的添加剂，可提高其硬度、耐腐蚀性和熔点；化工上作催化剂和颜料；仪器仪表工业用于制造电位计、热电偶等；铱可用于制造铱金笔以及用于制造心脏起搏器的电极；也可用于航空及机器制造工业。

钌也可作为铂、钯的添加剂；在有机化学工业用做催化剂；也用于无线电、仪表和制药工业。锇主要作为铂、钯的添加剂和化工产品的催化剂，也用于照相、电影技术、仪表和制药工业。四氧化锇可用以治疗关节炎。

据 1994 年美国《矿产品概要》统计，美国铂族金属的消费构成为：汽车工业 38%，电气和电子工业 29%，镶牙和医疗业 9%，化学工业 4%，石油精炼 5%，其他 15%。

目前已知铂族金属矿物和含铂族元素矿物已超过 80 种，加上变种和未定名的矿物已达 200 种。在自然界，铂族元素矿物主要呈自然元素、元素互化物、砷化物、锑化物、硫化物和铋碲化物的单矿物存在，部分以类质同象形式赋存于硫化物（黄铜矿、镍黄铁矿、紫硫镍矿等）中。铂族金属矿物主要见于与基性超基性岩有关的铬铁矿矿床、铜镍硫化物矿床及其氧化带以及相邻的残坡积、冲积砂矿中，少数见于含金石英脉中。

自然界常见的铂族金属矿物有自然铂、自然钯、铋钯矿、锑钯矿、砷铂矿、安多矿、铁铂矿、硫砷锇矿、硫砷钌矿、硫砷铱矿、硫砷铑矿、铋碲铂矿、铋碲钯矿、锇铱矿和铱锇矿等。铂族金属矿物大多细小，肉眼难以辨识，许多铂族元素矿物在以前都是通过电子探针、X 射线粉晶分析和高显微镜等高科技手段认识和察明的。这三种方法是鉴别和确定铂族金属矿物最常用的有效方法。

## Ca011　自然铂　platinum

【组成与结构】 Pt。自然界中纯的自然铂是极少见的，成分中经常含 Ir、Pd、Fe、Cu、Rh、Ni 等。当这些杂质元素含量较高时可分别称为铱自然铂、钯自然铂、铁自然铂、铜自然铂、铑自然铂、镍自然铂等。其中铁自然铂又称为粗铂矿。甘肃金昌白家嘴子自然铂含 Pt 89.6%～97.2%。西藏东巧钯自然铂含 Pt 65.07%，Pd 13.69%，Rh 6.31%，Ru 2.42%，Fe 9.61%，Ir 1.68%，Ni 1.02%。自然铂属等轴晶系。

【物化性质】 晶形呈六八面体、立方体，但晶形少见，多呈粒状或葡萄状，有的呈板状、弯钩

状、花瓣状以及海绵状。无解理，硬度 4，相对密度 21.5。颜色锡白色，表面一般带浅黄色，条痕烟灰色～银白色，具延展性，金属光泽。自然铂不溶于 HCl、$H_2SO_4$ 和 $HNO_3$，但溶于王水。将王水溶液蒸发近干，干渣用 1 滴 1∶5 HCl 处理，加入几颗 KCl 生成深黄色六八面体或八面体的氯铂酸钾。

【产状与产地】 自然铂产于与基性、超基性岩有关的铂矿床及砂矿中，也产于含黄铁矿矽卡岩矿床及含铂石英脉中。陕西商南松树沟与超镁铁质岩有关的铬铁矿矿床中，与铬铁矿、砷铂矿、硫砷铱矿、锑钯矿、镍黄铁矿、磁黄铁矿、尖晶石、镁橄榄石等共生。

## Ca012 自然钯 palladium

【组成与结构】 Pd，常含 Pt、Rh、Os、Ir、Ru 以及 Au、Ag、Cu 等。甘肃金川产出的金自然钯含 Pd 43.65%，Pt 19.9%，Au 32.4%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 晶形呈六八面体，通常呈粒状产出，有时呈放射纤维状、钟乳状、板状。偶见八面体晶形。无解理，硬度 4.5～5，相对密度 10.84～11.97，具延展性。颜色银白色，带白的钢灰色，条痕灰色，金属光泽，不透明。

【产状与产地】 自然钯产于与超基性岩有关的铂矿床及其砂矿中，也产于铜镍硫化物矿床的氧化带中，与自然铂、锑钯矿、铂的硫化物、铜铁镍的硫化物及铬尖晶石等共同产出。

## Ca013 锑钯矿 stibiopalladinite

【组成与结构】 $Pd_3Sb$，含少量 $Fe_2O_3$ 及微量 Rh、Ir、Pt、Au 及 Ag。黑龙江五星铂矿床产出的两个锑铂矿的电子探针分析分别含 Pd 70.1%、72.2%和 Sb 23.7%、29.7%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 晶形呈圆粒状，不规则片状及板状，无解理，有时见一组极完全解理，硬度 4.5～4.8，相对密度 9.5，颜色银白色、灰白色至钢灰色，有时带浅黄和粉红色调，金属光泽，不透明，无磁性。不与 $HNO_3$ 和 $H_2SO_4$ 起作用，但溶于热的王水。

【产状及产地】 主要产于与基性、超基性岩有关的铜镍硫化物矿床中，与磁黄铁矿、黄铜矿、黄铁矿、镍黄铁矿、紫硫镍矿共生或伴生。共同产出的尚有砷铂矿、自然铂、自然金和铂钯的硫化物等。产地有黑龙江五星、云南弥渡金宝山等地。

## Ca014 砷铂矿 sperrylite

【组成与结构】 $PtAs_2$，杂质元素有 Sb、Rh、Cu、Fe，有时有 Sn。中国黑龙江伊利干河产出的砷铂矿含 Pt 56.40%，As 40.9%，不溶物 1.62%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 常呈细小等轴晶粒产出，晶形属偏方复十二面体晶类，晶粒大者 1～2mm，有的可达 2cm。解理（100）不完全，性脆，硬度 6～7，相对密度 10.59。颜色锡白色，条痕灰色，金属光泽。用王水慢泡染为淡棕色。

【鉴别特征】 与自然铂相似，惟自然铂晶形少见，砷铂矿常呈自形晶产出。在木炭上吹管火焰灼烧析出 Pt 和 $As_2O_3$。

【产状与产地】 主要产于与基性超基性岩有关的铜镍硫化物矿床中，与磁黄铁矿、镍黄铁矿、方黄铜矿、黄铜矿，以及铂、钯、镍、银、铅的锑化物、铋化物和碲化物共生或伴生。砷铂矿也见于河流冲积砂矿中。产地有黑龙江伊利干河、甘肃金川等地。

## Ca015 安多矿 anduoite

【组成与结构】 $RuAs_2$。成分及结构类似的有砷钌矿（ruthenarsenite）RuAs。安多矿化学组成中

Os 常代替 Ru，此外常含少量的 Ir 和微量 Cu、Sb、S 等。西藏安多产出的安多矿电子探针分析含 Ru 35.5%，Os 5.5%，Ir 2.0%，As 56.9%。安多矿属斜方晶系。

【物化性质】 晶形呈不规则粒状或块状，有时呈多晶集合体产出，金属光泽、性脆，显微硬度 1131～1268kg/mm$^2$，颜色暗浅灰色或铅灰色，条痕灰黑色，不透明。

【产状与产地】 安多矿产于西藏安多与紫红色斜辉辉橄岩和纯橄榄岩有关的铬矿床中，与铬尖晶石、蛇纹石、绿泥石、黄铁矿、磁黄铁矿、白铁矿、磁铁矿、黄铜矿、辉钼矿、方铅矿、针镍矿和紫硫镍矿等共生或伴生。共生的其他铂族元素矿物有铱锇矿、锇铱矿、自然锇、砷铂矿、钌铱锇矿、硫钌矿、硫砷铱矿等。在与上述超基性岩有关的冲积、洪积砂矿中也产出安多矿，主要分布在冲、洪积层近底部的砂砾层中。

## Ca016 等轴铁铂矿 isoferroplatinum

【别名】 铁三铂矿

【组成与结构】 $Pt_3Fe$，常含 Cu、Ni、Sb 以及 Ir、Os、Ru、Rh 等铂族元素。甘肃祁连山铂-金砂矿中产出的等轴铁铂矿含 Pt 90.88%，Fe 9.10%。西藏东巧产出的矿物含 Pt 82.50%，Fe 9.59%，Ph 7.91%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 晶形呈浑圆粒状或不规则粒状，有的呈板状及八面体产出。显微硬度 442～520kg/mm$^2$，相对密度 11.1～11.6，颜色银白色，有的颗粒表面带黄色薄膜，强金属光泽，具磁性及延展性。

【产状与产地】 等轴铁铂矿产于与含铬超基性岩有关的冲积、洪积层砂矿中，与自然金、铬铁矿、铬尖晶石、黄铁矿、磁黄铁矿以及多种铂族元素矿物共同产出。产地有西藏东巧等地。

## Ca017 硫砷锇矿 osarsite

【别名】 硫砷钌矿 ruarsite

【组成与结构】 OsAsS 与 RuAsS。矿物组成中 Os 与 Ru 能相互类质同象置换，Os 含量大于 Ru 含量的称为硫砷锇矿，Os 含量小于 Ru 含量的称为硫砷钌矿。美国加利福尼亚州砂矿中产出的硫砷锇矿含 Os 35.6%，Ru 18.1%，Ir 2.0%，Ni 0.9%，Pd 0.6%，Rh 0.2%，S 11.5%，As 30.6%。我国西藏含铬岩体中产出的硫砷钌矿 8 个样品的平均值为 Ru 42.45%，Os 5.94%，Ir 1.67%，Pt 0.08%，As 36.2%，S 14.08%。两个矿物均属单斜晶系。

【物化性质】 硫砷锇矿的相对密度为 8.44。

硫砷钌矿呈不规则粒状及粒状集合体产出，在砂矿中呈碎块状，粒径 100～150μm，无磁性，金属光泽，性脆，显微硬度 982.1～1030.2kg/mm$^2$（Os 含量少的样品）和 804kg/mm$^2$（含 Os 14%的 4 个样品平均）。颜色铅灰色～暗灰色，条痕灰黑色，未见解理及双晶。在 1∶1 HCl 中不溶。

【产状与产地】 硫砷钌矿见于我国西藏阿尔卑斯褶皱带以斜辉辉橄岩为主的超基性岩及其附近的砂矿中。岩体及有关的铬铁矿矿体遭受强烈的蛇纹石化及绿泥石化热液蚀变。矿石的主要组成矿物为铬尖晶石，脉石矿物为蛇纹石与绿泥石，此外有少量 Fe、Cu、Mo、Pb、Ni 的硫化物。硫砷钌矿与硫钌矿关系密切，前者交代后者，并与铱锇矿、钌铱锇矿等共生。

## Ca018 硫砷铱矿 irarsite

【别名】 硫砷铑矿 Hollingworthite

【组成与结构】 硫砷铱矿 IrAsS，硫砷铑矿 RhAsS。前者成分中 Ir＞Rh，后者 Ir＜Rh。硫砷铱矿成分分析含 Ir 44.8%～58.7%，As 21.7%～24.7%，S 12.7%～14.0%。硫砷铑矿成分分析含 Rh 41.3%，As 33.3%，S 16.4%。两个矿物含有的杂质元素有 Pt、Os、Pd、Ru 以及 Ni、Co、Fe

等。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 硫砷铱矿呈块状产出，硬度＞6，钢针刻划无刻痕，相对密度 11.92。颜色铁黑色、铅灰色，金属光泽，性脆，不透明。硫砷铑矿呈细粒状，硬度＞6，颜色灰色，金属光泽，不透明。

【产状与产地】 硫砷铱矿产于与纯铁镁橄榄岩有关的铬铁矿矿石中，与自然铂共生，也产于铜镍硫化物矿床中，与自然铂、砷铱铂矿、辉砷镍钴矿等共生。硫砷铑矿产铜镍硫化物矿床中，与富铑的砷铂矿、锑铂矿共生。

## Ca019 铋碲铂矿 biteplatinite

【别名】 铋碲钯矿；merenskyite

【组成与结构】 铋碲铂矿和铋碲钯矿的矿物分子式可统写为(Pt Pd)(Te Bi)$_2$，其中 Pt 和 Pd 之间为一完全类质同象系列，可相互替换。Te 和 Bi 之间的类质同象代替是有限的。在富铂端员，Bi 代替 Te 的范围较小，约 10%～17%（原子数）。在富钯端员，Bi 代替 Te 的范围较大，约 6%～41%，最高可达 65.5%。此外，组成中经常有 Ni 和 Fe 的类质同象代替。根据矿物组成中 Pt∶Pd 比的不同，可划分出 4 个矿物亚种：铋碲铂矿（Pt∶Pd＞4∶1）、铋碲钯铂矿（Pt∶Pd 为 4∶1～1∶1）、铋碲铂钯矿（Pt∶Pd 为 1∶1～1∶4）、铋碲钯矿（Pt∶Pd＜1∶4）。

铋碲铂矿的矿物分子式 Pt（Te Bi）$_2$。国内一个样品的电子探针分析值为 Pt 33.3%，Te 34.5%，Bi 20.3%，Fe 1.1%。铋碲钯矿的矿物成分式 Pd（Te Bi）$_2$，国内一个样品的电子探针分析值为 Pt 5.5%，Pd 21.7%，Te 60.1%，Bi 11.3%，Ni 1.3%。矿物属三方晶系。

【物化性质】 铋碲铂矿呈不规则粒状或扁平粒状，硬度 2.5～3.5，相对密度 9.25，白色，强金属光泽。铋碲钯矿一般呈不规则粒状或扁平粒状，个别颗粒呈板状，横断面为六边形。硬度 2.1～4，颜色白色、黄白色，强金属光泽。

【产状与产地】 铋碲铂矿和铋碲钯矿产与基性超基性岩有关的铜镍硫化物矿床中，与黄铜矿、黄铁矿、镍黄铁矿、紫硫镍矿、磁铁矿以及砷铂矿、碲铅矿、锑钯矿等共同产出。产地有甘肃金昌、云南弥渡金宝山等地。

## Ca020 锇铱矿和铱锇矿

【名称】 锇铱矿 nevyanskite；铱锇矿 syssertskite

【组成与结构】 锇铱矿，IrOs（Ir＞Os）、铱锇矿 OsIr（Os＞Ir）。锇铱矿又包括铑锇铱矿（Rhodium Nevyanskite）IrOsRh 及钌锇铱矿（Ruthenic Nevyanskite）IrOsRu。铱锇矿又包括铑铱锇矿（Rhodium syssertskite）OsIrRh 及钌铱锇矿（Ruthenic Nevyanskite）OsIrRu。锇铱矿样品电子探针分析平均值为 Ir 46.8%～77.2%，Os 18.0%～49.3%，此外尚含 Ru、Rh、Pt、Pd、Fe、Cu 等。铱锇矿样品电子探针分析平均值为 Os 41.8%～86.5%，Ir 12.3%～48.9%，此外含有 Ru、Rh、Pt、Fe、Cu 等。锇铱矿和铱锇矿属六方晶系。

【物化性质】 锇铱矿和铱锇矿晶形呈板状、厚板状或六方板状以及粒状，个别呈六方双锥及不规则碎屑状。解理（0001）完全，断口阶梯状或参差状，性脆，锇铱矿硬度 6.9～7.1，相对密度 17.1～21.1，铱锇矿硬度变化较大为 5.8～7.6，相对密度 20～22.5。矿物颜色从锇铱矿锡白色或灰、黑色到铱锇矿钢灰色或银白色，条痕均为灰色，金属光泽，性脆。磁性取决于成分，含 Ir 和 Ru 高的磁性较强，含 Os 高的磁性较弱。锇铱矿及铱锇矿在酸及王水中均不溶。

【产状与产地】 锇铱矿和铱锇矿主要产于与超基性岩有关的铬铁矿型铂矿床及其砂矿中。在原生矿中常与铬尖晶石及自然铂共生，常在自然铂中成细小的板状和叶片状包体，形成相对较早。在砂矿中常与自然铂、含铱自然锇、含锇自然铱、硫钌矿、砷铑铂矿等共产出。锇铱矿也见于含金石英脉内，与黄铁矿、自然金等共生。

# Cb 稀有金属

（锂、铷、铯、铍、锶、锆、铪、铌、钽）

## 一、锂

锂是最轻的银白色金属，相对密度 0.514，熔点 179℃，由于具有很强的化学活性和其他一些特殊性能，被大量用于玻璃陶瓷业、炼铝业、制造润滑剂和锂电池。此外，锂还用于生产合成橡胶、漂白剂、清洁剂、空气净化剂、烟火、炸药以及国防工业。

玻璃陶瓷业是锂的消费大户。由于硅酸盐熔体中添加氧化锂不仅能降低熔融温度和熔体的黏度便于加工，而且还赋予产品许多特殊性能，如膨胀率低、耐高温、抗冲击等，在生产优质陶瓷和玻璃、玻璃纤维、玻璃容器、黑白及彩色电视机零件等方面得到大量应用。

在冶金工业方面，锂用以制造轻合金、耐磨合金，生产稀有金属的还原剂和精炼金属的净化剂。含锂 2%～3%的锂铝合金由于具有密度低、抗腐蚀能力强、弹性模量大、耐疲劳等特点，成为航空和航天工业的重要结构材料。氧化锂能降低硅酸盐熔融温度及黏度这一特性可能推广应用到冶金工业中作为“熔渣黏度调节剂”，以提高金属产品的质量和回收率。

锂电池具有质量轻、能量大、储存寿命长、在较大温度范围内能保持正常工作等优点，被广泛用做手表、微型电子计算机和摄像机的电源，用做小型仪表、电子游戏机和玩具的电源。锂电池还有多种军事用途。锂电池可分出用锂作阳极的高能电池，用锂制品作电解质的非充电式原电池，用锂制作的各种二次电池或充电电池以及熔融碳酸锂燃料电池等。

在原子能工业方面，锂的同位素$^{6}Li$是制造氢弹不可缺少的原料，在核反应堆中锂作控制棒冷却剂和传热介质，在液体燃料反应堆中可作铀、钍的熔剂。在大力发展核电站的时代，锂在这方面的需求不可低估。

锂及其化合物做成的高能燃料，具有燃烧温度高、速度快等优点，常用做飞机、火箭、潜艇的燃料。锂在高空飞机、载人飞船、潜艇密封舱中用做 $CO_2$ 的吸附剂。

目前已知锂矿物和含锂矿物有 150 多种，工业上重要的有锂辉石、锂云母、铁锂云母、磷锂铝石、透锂长石。除工业矿物外，盐湖卤水及盐湖盆地地下卤水富含锂是工业上用锂的一个重要来源。

### Cb001　锂辉石　spodumene

【组成与结构】 $LiAl(Si_2O_6)$、常含 Mn、Fe、Na、Ca、K、Cr 等杂质元素。含 Mn 高的，带紫色，称为紫锂辉石。含 Cr 高的带翠绿色，称为翠绿锂辉石。四川康定花岗伟晶岩中产出的锂辉石化学成分：$Li_2O$ 7.12%，$SiO_2$ 62.55%，$Al_2O_3$ 25.31%，$Na_2O$ 1.25%，MgO 1.19%。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 晶体呈柱状，柱面上有纵纹，常沿（100）呈扁平状，依（100）成双晶。（110）解理完全，断口不平坦至次贝壳状，硬度 6.5～7，相对密度 3.03～3.22。颜色有白色、灰色、浅绿色、浅紫色、玫瑰色，条痕无色，玻璃光泽，解理面有时为珍珠光泽，不良的导电体。矿物不溶于酸，矿物粉末与 $CaF_2+KHSO_4$ 共熔，因含 Li，火焰显鲜红色。在阴极射线下发光亮的浅玫瑰黄色光，在紫外线下发玫瑰色至紫色光。

【鉴别特征】 锂辉石以其形态、产状、矿物共生易于识别，详细鉴别需借助光性及化学成分分析。

【产状与产地】 锂辉石是富锂花岗伟晶岩的特征矿物，在伟晶岩中与石英、钠长石、微斜长石、白云母、绿柱石、磷锂铝石等共生。锂辉石偶尔也产于富锂花岗岩中，共生矿物与花岗伟晶岩中的类似。锂辉石产地有新疆阿尔泰、四川康定。

### Cb002　锂云母　lepidolite

【组成与结构】 $K(LiAl)_3[AlSi_4O_{10}](OHF)_2$，常含 Na 及 Rb、Cs 等稀碱金属元素。辽宁阜新花岗

伟晶岩中产出的锂云母含 $Li_2O$ 4.51%，$SiO_2$ 50.40%，$Al_2O_3$ 23.22%，$K_2O$ 10.33%，$Rb_2O$ 1.57%，$Cs_2O$ 0.08%，MnO 2.17%，F 7.51%。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 晶体沿（001）呈板状，具假六方形轮廓，常为鳞片状或叶片状集合体。解理（001）极完全，薄片具弹性，硬度 2～3，相对密度 2.8～2.9，玫瑰色、浅紫色、白色，有时无色，玻璃光泽，解理面显珍珠光泽。矿物溶于 $H_3PO_4$，在 HCl、$HNO_3$、$H_2SO_4$ 中溶解不完全。因含 Li，吹管焰染火呈红色。

【鉴别特征】 锂云母以其颜色、片状晶形和矿物共生易于识别。浅色锂云母与白云母相似，借助焰色反应可准确鉴别。

【产状与产地】 锂云母主要产花岗伟晶岩中，与石英、长石、白云母、锂辉石、绿柱石、电气石等共生。锂云母也产于富 Li、Rb、Cs、Nb、Ta 的花岗岩中，与石英、钠长石、黄玉、黑钨矿、铌钽铁矿等共生。锂云母细粒集合体——锂云母岩，称丁香紫玉，是 20 世纪 70 年代在我国发现的玉石新品种。含锂云母的花岗伟晶岩产地有新疆阿尔泰、河南官坡，含锂云母花岗岩产地有江西宜春。

## Cb003 磷锂铝石 amblygonite

【组成与结构】 $LiAl(PO_4)(OHF)$，常含 Na、K、Rb、Cs、Si、Ca 等元素。福建南平花岗伟晶岩中产出的磷锂铝石含 $Li_2O$ 9.29%，$Al_2O_3$ 34.44%，$P_2O_5$ 47.41%，$H_2O$ 6.79%，F 0.73%，$Rb_2O$ 0.01%，$Cs_2O$ 0.084%。矿物属三斜晶系。

【物化性质】 晶体呈沿 $b$ 轴延伸的短柱状，沿（111）成双晶，多为聚片双晶。常呈致密块状集合体产出。次生磷锂铝石呈不规则细粒状。解理（100）完全，（110）中等。硬度 5～6，相对密度 2.92～3.15。颜色呈微带黄的灰白色，白色以及粉红色，玻璃光泽或油脂光泽。

【产状与产地】 磷锂铝石主要产于花岗伟晶岩中，与锂辉石、微斜长石或条纹长石、石英、白云母、绿柱石、电气石等共生。磷锂铝石也产于云英岩及石英脉中，与石英、黄玉、云母、锡石等共生。磷锂铝石常被晚期矿物交代，生成许多次生磷酸盐矿物。

矿物产地有新疆阿尔泰，福建南平等地。

## Cb004 透锂长石 petalite

【组成与结构】 $Li[AlSi_4O_{10}]$，常含 K、Na、Ca、Fe 等杂质元素。湖北花岗伟晶岩中的透锂长石含 $Li_2O$ 4.51%，$Al_2O_3$ 15.42%，$SiO_2$ 76.90%，$Na_2O$ 0.44%，$Cs_2O$ 0.15%，CaO 0.13%。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 晶体沿（100）呈柱状，通常呈块状、板状或针状产出。依（001）呈聚片双晶、解理（001）完全，（201）中等，两组解理交角 114°，断口次贝壳状，性脆，硬度 6～6.5，相对密度 2.3～2.5。白色、无色、灰色或黄色、偶见粉红色或绿色，条痕无色，透明至半透明，玻璃光泽，解理面上为珍珠光泽。矿物缓慢加热发生蓝色磷光。差热曲线上在 1150℃有明显的吸热谷，在 1200℃有明显的放热峰。

【鉴别特征】 透锂长石与正长石相似，但两者光性明显不同，借助化学分析与差热分析可以鉴别。

【产状与产地】 透锂长石产花岗伟晶岩中，与石英、叶钠长石、锂云母、锂辉石、电气石、铯榴石等共生。透锂长石除可作为锂原料外，含铁低的透锂长石是陶瓷和特种玻璃的矿物原料。产地有新疆阿尔泰。

## Cb005 铁锂云母 zinnwaldite

【组成与结构】 $K(LiFeAl)[AlSi_3O_{10}](OHF)_2$，常含 Na、Rb、Sr、Ba、Ca、Mn 等元素。江西赣南黑钨矿石英脉中产出的铁锂云母含 $Li_2O$ 3.26%，$SiO_2$ 39.59%，$Al_2O_3$ 24.25%，$K_2O$ 9.49%，

FeO 10.99%，$Fe_2O_3$ 4.89%，MnO 1.99%，$Na_2O$ 0.85%，F 5.27%，$H_2O$ 1.78%。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 晶体呈假六方板状，常呈鳞片状集合体产出。解理（001）极完全，薄片具弹性，硬度 2～3，相对密度 2.9～3.2，灰褐色、黄褐色，有时为浅绿色或暗绿色。玻璃光泽，解理面呈珍珠光泽，半透明至不透明。

【鉴别特征】 铁锂云母以其颜色有别于白云母、黑云母和锂云母。确切鉴别需借助化学分析。

【产状与产地】 铁锂云母产于含黑钨矿、锡石、黄玉的花岗伟晶岩、花岗岩及石英脉中，与上述矿物共生。产地有湖南临武，江西万源及江西海螺岭等。

## 二、铷

铷是银白色轻金属，质软，熔点很低（39℃），沸点 688℃，相对密度 1.53。铷在空气中能自燃，遇水激烈燃烧甚至爆炸。具有较高的正电性和最大的光电效应。

铷用以制造电子器件（光电倍增管光电管）、分光光度计、自动控制、光谱测定、彩色电影及电视、雷达、激光器，以及玻璃、陶瓷、电子钟等的重要原料。在空间技术方面，离子推进器和热离子能转换器需要大量的铷。铷的氢化物和硼化物可作高能固体燃料。利用铷的放射性可测定矿物或岩石的地质年龄。此外，铷的化合物应用于制药、造纸业。

铷无独立的工业矿物，常分散在铁锂云母、锂云母、铯沸石和盐矿层中。天河石矿物中分散赋存有较高含量的铷，除可用于提取铷和铯外，由于色泽美丽可作为装饰品及细工石材。天河石和盐矿层是铷的主要原料来源。

### Cb006　天河石　amazonite

通常被看作是微斜长石的绿色亚种。

【组成与结构】 微斜长石的矿物分子式就是天河石的矿物分子式 $K[AlSi_3O_8]$，其中 $Rb_2O$ 含量一般 1.4%～3.3%、$Cs_2O$ 可达 0.2%～0.6%。矿物属三斜晶系。

【物化性质】 晶体形态与微斜长石相同，呈板状、短柱状、片状、粒状或致密块状，具双晶构造，解理（001）和（010）完全，硬度 6～6.5，相对密度 2.56，颜色为不均匀的绿色，玻璃光泽，解理面上为珍珠光泽，透明至半透明。

【鉴别特征】 天河石以特有的绿色及含 Rb 区别于微斜长石。

【产状与产地】 天河石产花岗伟晶岩、钾长花岗岩中与石英、白云母等共生。新疆星星峡产出少见而且美丽的天河石花岗岩。

## 三、铯

铯是银白色轻金属，其特性与铷相似。铯的熔点 28.5℃，沸点 690℃，相对密度 1.88，具延伸性。铯的用途除与铷相同外，铯的氯化物可作高能固体燃料。铯可制造人工铯离子云、铯离子加速器以及反作用系统材料与烟火制造材料。用铯的化合物制成的红外辐射灯可发现夜间不易发现的讯号，铯还用于跟踪、阻截和摧毁飞行敌机的“瞄准”弹。放射性铯用于辐射化学、医学、食品和药品的照射等。铯还是化工催化剂、特种玻璃原料。

自然界，铯有 3 个独立矿物，即铯沸石、铯锰星叶石、铯硼锂矿。氟硼钾石有时含 $Cs_2O$ 也较高。此外，天河石、透锂长石、铁锂云母、锂云母以及光卤石等矿物中也常含有铯。

近年来，在西藏昂仁等地地热田硅华中确定一种硅华水合铯矿床，是一个 Cs 呈离子状态存在于硅华中的新类型铯矿床。

### Cb007　铯沸石（原称铯榴石）　pollucite

【组成与结构】 $Cs[AlSi_2O_6]\cdot nH_2O$，通常含一定量的 $Na_2O$，常含微量 Rb、K 和 Li。河南花岗伟

晶岩中的铯沸石含 $Cs_2O$ 32.17%，$Al_2O_3$ 15.84%，$SiO_2$ 46.22%，$Na_2O$ 2.20%，$H_2O$ 2.36%，$Rb_2O$ 0.45%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 晶体呈立方体、三角三八面体聚形，通常呈细粒状或块状产出，无解理，断口贝壳状，性脆，硬度 6.5～7，相对密度 2.7～2.9，无色、白色或灰色，有时微带浅红、浅蓝或浅紫色，玻璃光泽，断口呈油脂光泽，透明。铯沸石的脱水温度与矿物粒度有关，小于 0.07mm 的，脱水温度约 200～400℃；介于 0.15～0.25mm 的，脱水温度约 300～500℃；更粗的颗粒脱水往往不完全。矿物易溶于浓 $H_2SO_4$，在 $HNO_3$ 及 HCl 中缓慢溶解并析出 $SiO_2$，在 $H_3PO_3$ 中能快速溶解，但无 $SiO_2$ 析出。

【鉴别特征】 铯沸石很像石英，但铯沸石容易风化，矿物表面或裂隙中常有类似高岭土的风化产物。

【产状与产地】 铯沸石主要产于钠锂型花岗伟晶岩中，与叶钠长石、锂云母、锂辉石、磷锂铝石以及彩色电气石和绿柱石共生。产地有新疆阿尔泰可可托海。

### Cb008 铯锰星叶石 cesiumkupletskite

【组成与结构】 $(CsKNa)_3(MnFe)_7(TiNb)_2[Si_4O_{12}]_2(OOHF)_7$。实际矿物化学分析资料：$Cs_2O$ 11.60%，$Li_2O$ 0.46%，$Rb_2O$ 0.18%，$K_2O$ 1.15%，$Na_2O$ 2.46%，$SiO_2$ 33.00%，$TiO_2$ 8.28%，$Al_2O_3$ 0.52%，FeO 10.00%，$Fe_2O_3$ 3.05%，CaO 0.35%，MnO 19.66%，$ZrO_2$ 1.01%，$Nb_2O_5$ 4.95%，$Ta_2O_5$ 0.06%，F 1.26%，$H_2O^+$ 1.47%。矿物属三斜晶系。

【物化性质】 晶体呈弯曲板状，集合体呈玫瑰花状，解理（100）完全，硬度 4，相对密度 3.62，颜色金黄色褐色。

【产状与产地】 锰星叶石产于碱性伟晶岩中，与霓石、微斜长石、石英、烧绿石、菱硼硅铈矿、钍石等共生。

### Cb009 铯硼锂矿 rhodizite

【组成与结构】 $CsAl_4(LiBe_3B_{12})O_{28}$，化学成分变化很大，矿物 $Cs_2O$ 含量 5%～7.5%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 晶体呈菱形十二面体、四面体或两种单形的聚形。解理（111）和（$\bar{1}11$）不完全，断口贝壳状，硬度 8～8.5，相对密度 3.478，无色、白色、浅黄色、黄色，有时灰色，玻璃光泽至弱金刚光泽。半透明至透明。矿物在冷酸中几乎不溶，溶于 250℃的 $H_2SO_4$ 和 HF 的混合酸中。

【产状与产地】 铯硼锂矿产于含锂的花岗伟晶岩中，与石英、微斜长石、钠长石、锂辉石、锂云母、彩色电气石、铌钽矿物等共生。铯硼锂矿见于马达加斯加花岗伟晶岩中。

## 四、铍

铍是最轻的稀有金属之一，浅灰色，相对密度 1.85，熔点 1284℃，具有密度低、熔点高、比热容高、良好的导热性、热稳定性及抗腐蚀能力，铍金属的热中子吸收截面小，散射截面大，辐射透过性高以及对中子慢化与反射和对红外反射的性能优良，在冶金工业、电子工业、航空航天工业、军事工业以及核工业等高科技领域有着广泛而且重要的用途。

在冶金工业方面，铍可作为合金钢的添加剂，制作铍铜、铍镍、铍铝等合金。铍铜合金广泛用于电器设备、电子装置及控制仪表等制造行业。用于制造空间飞行器中的高性能弹簧、连接件、膜合、绕性部件及开关触头，用于制作易燃易爆场合的火花工具、电阻焊机的电极及夹具，无磁部件和无磁工具等。铍铜合金的一个大量用途是制作钟表的齿轮及弹簧。铍铝合金的重要用途是制造计算机磁盘驱动器，能大大提高磁盘的运转速度、储存能力和可靠性。铍金属因其质轻、韧性高、稳定性好而用做人造卫星和航天飞行器的构架、惯性制导系统和空间光学元件系统的零部件，如导弹

导航控制仓外壳、隔离筒、头罩、重返器、火箭喷嘴等。铍还是飞机、坦克以及坦克发射控制装置中跟踪系统部件、宇宙飞船吸热蒸板、卫星天线和太阳能电池板等的重要材料。

在核工业领域中，铍用做反应堆的反射层、减速器及核弹头部件的材料，核燃料元件的包壳材料等。

氧化铍熔点高，化学性能稳定。氧化铍陶瓷制品具有极好的导热性和电绝缘性，有较高的机械强度和硬度，加之电容率低等特点，被广泛用于电器和电子工业中，制造集成电路元件散热底板、微波管、雷达管、大功率晶体管以及气体激光器的空腔或等离子体壳层等。

目前，铍主要以铍铜合金形式消费，其次是铍金属和氧化物。

铍及其化合物的粉尘、烟雾具毒性，能伤害人体器官，导致急性或慢性中毒、污染环境，这是铍工业发展中应注意的重大问题。目前已知铍矿物和含铍矿物有 60 多种，工业上重要的有绿柱石、羟硅铍石、硅铍石、金绿宝石、日光榴石、铍榴石及锌日光榴石。其中绿柱石和金绿宝石，既是工业上铍的重要来源，也是家喻户晓的贵重宝石。

## Cb010　绿柱石　beryl

【组成与结构】 $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$，常含 Li、Na、K、Rb、Cs 等碱金属元素，有时含 Fe 及 Mg 等，可分出无碱绿柱石、钠绿柱石、锂铯绿柱石、钠锂铯绿柱石等亚种。福建南平伟晶岩中产出的绿柱石含 BeO 12.12%，$SiO_2$ 65.41%，$Al_2O_3$ 18.94%，$Li_2O$ 0.52%，$Rb_2O$ 0.02%，$Cs_2O$ 0.28%，$Na_2O$ 0.98%。矿物属六方晶系。

【物化性质】 晶体呈六方柱状，富碱元素的晶体呈短柱状，个别沿（0001）呈板状。柱面上常有平行 $c$ 轴的条纹，不含碱矿物较含碱矿物柱面条纹更明显。解理平（0001）不完全，断口贝壳状或不平坦，硬度 7.5～8，相对密度 2.6～2.9，随着矿物含碱量增大，相对密度也相应增大，透明至半透明，玻璃光泽。矿物有多种颜色，常见为绿色、黄绿色、深绿色，其次有白色、蓝色，不含碱的纯绿柱石为透明无色，含 Cs 绿柱石常作粉红色，含高价 Fe 的绿柱石呈金黄色。矿物在紫外线下发弱的蓝紫色光，含 Cr 绿柱石显翠绿色，在阴极射线下发天蓝色光。

绿柱石除可作为重要的铍原料外，美丽透明的绿柱石是珍贵的宝石矿物。

【鉴别特征】 绿柱石以其颜色、晶形、矿物共生等特征易于识别。

【产状和产地】 绿柱石产花岗伟晶岩、蚀变花岗岩、云英岩及长石石英脉中。无碱绿柱石的共生矿物有石英、钾长石、白云母等，含碱绿柱石的共生矿物有石英、钠长石、锂云母、锂辉石、彩色电气石等。绿柱石产地有新疆阿尔泰、广东揭阳、饶平以及江西兴国，新疆阿斯喀尔特等。

## Cb011　羟硅铍石　bertrandite

【组成与结构】 $Be_4[Si_2O_7](OH)_2$，含有 Al、Fe、Ca、Mn、Na、K 等元素。外贝加尔锡矿床中产出的羟硅铍石含 BeO 35.07%，$SiO_2$ 55.37%，$H_2O$ 7.14%，CaO 1.34%，$Al_2O_3$ 0.86%。矿物属斜方晶系。

【物化性质】 晶体呈沿（001）的细小板状，有时呈柱状，依（021）和（011）成双晶，解理（110）完全，（100）和（010）中等，有（001）裂开。硬度 6～6.5，相对密度 2.60，无色，黄灰色，灰白色，玻璃光泽，透明。

【产状与产地】 羟硅铍石产于花岗伟晶岩、蚀变花岗岩及云英岩中。花岗伟晶岩中的与石英、绿柱石、电气石等共生或伴生。云英岩中的与石英、黑鳞云母、铍榴石等共生。产地有福建南平、江西大吉山、广东万峰山等。

## Cb012　硅铍石　phenakite

【组成与结构】 $Be_2[SiO_4]$，常含 Mg、Ca、Al、Na 等元素，硅铍石的理论化学成分为 BeO

45.5%，$SiO_2$ 54.5%。矿物属三方晶系。

【物化性质】 晶体呈菱面体或菱面体与柱面聚合而成的短柱状，双晶常见，常呈细粒集合体产出。解理（$11\bar{2}0$）中等，（$10\bar{1}1$）不完全，断口贝壳状，硬度 7.5～8，相对密度 2.97～3.0，性脆。颜色无色或酒黄色，有时为淡玫瑰色或褐色，玻璃光泽，透明。

【鉴别特征】 矿物准确定名需借助光性和粉晶分析，甚至化学分析。

【产状与产地】 硅铍石产于花岗伟晶岩、矽卡岩、酸性凝灰岩中。花岗伟晶岩中的与石英、长石、绿柱石、羟硅铍石共生或伴生。酸性凝灰岩中的与石英、萤石、绢云母共生或伴生。矿物产地有福建南平、云南中甸、浙江淳安等。

## Cb013 金绿宝石 chrysoberyl

【组成与结构】 金绿宝石矿物理论成分为：BeO 19.8%，$Al_2O_3$ 80.2%，实际矿物的化学分析值为 BeO 19.15%，$Al_2O_3$ 76.74%，FeO 3.60%，$TiO_2$ 0.55%。常含 Fe、Cr、Ti 等杂质元素。含 Cr 金绿宝石呈翠绿色被称为翠绿宝石。矿物属斜方晶系。

【物化性质】 晶体呈板状、短柱状，（010）晶面有平行 $a$ 轴的条纹。常见晶体依（103）形成假六方的三连晶。金绿宝石晶面常显现出猫眼状闪光，被称为猫眼石。解理（101）中等，（010）、（001）不完全，性脆，硬度 8～8.5，相对密度 3.63～3.84，黄色、黄绿色、绿白色，条痕无色，玻璃光泽，半透明至透明。矿物在酸碱中几乎不溶，在 $H_2SO_4$ 中部分溶解。矿物粉末与 KOH 或 $KHSO_4$ 熔融后加 $CoNO_3$ 溶液湿润显蓝色。

【产状与产地】 金绿宝石产于花岗伟晶岩、细晶岩、矽卡岩等岩石中。花岗伟晶岩与细晶岩中的共生矿物有石英、白云母、绿柱石、电气石、独居石等。矽卡岩中产出的金绿宝石共生矿物有萤石、铍镁晶石、尖晶石、磁铁矿等。矿物产地有新疆阿尔泰、云南龙陵、湖南临武香花岭等。

## Cb014 日光榴石 helvine

【组成与结构】 $Mn_4[BeSiO_4]_3S$，分子式中的 Mn 常被 Fe、Zn 元素代替。广东饶平万峰山产日光榴石的化学成分为：BeO 12.93%，$SiO_2$ 31.04%，MnO 27.17%，FeO 21.32%，ZnO 4.28%，S 5.46%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 晶体呈四面体，或呈球状块体产出，双晶依（111），解理（111）不完全，断口贝壳状，硬度 6～6.5，相对密度 3.20～3.44，黄色，黄褐色，少数为绿色，玻璃光泽或松脂光泽。因含 S，矿物粉末用 HCl 或 $H_3PO_3$ 加热溶解放出 $H_2S$ 气体。将矿物颗粒置试管中加少许 $As_2O_3$ 及 $H_2SO_4$，加热至放出 $H_2SO_4$ 白烟，冷却后矿物表面出现亮黄色 $As_2S_3$ 薄膜。

【鉴别特征】 日光榴石易误认为一般石榴子石。日光榴石含 S，利用微化分析很易区别。

【产状与产地】 日光榴石产于花岗伟晶岩、云英岩、矽卡岩及高温石英脉中。广东饶平云英岩中的日光榴石与黄玉、石英、黑鳞云母、绿柱石、锡石等共生。此外，江西大余、江西安远、甘肃肃北等地也有日光榴石产出。

## Cb015 铍榴石 danalite

【组成与结构】 $Fe_4[BeSiO_4]_3$，分子式中 Fe 常被 Mn 及 Zn 元素代替。西伯利亚伟晶岩中产出的铍榴石含 BeO 16.32%，$SiO_2$ 34.08%，FeO 30.66%，MnO 13.28%，ZnO 2.97%，S 5.61%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 晶体呈八面体、菱形十二面体，常呈不规则粒状或团块状产出。解理（111）不完全，硬度 6，相对密度 3.28～3.44，颜色无色、黄色、玫瑰红色或红褐色。

【产状与产地】 铍榴石产于花岗伟晶岩、云英岩及矽卡岩中，与石英、钠长石、绿柱石、黑钨矿等

共生。浙江淳安铜山矽卡岩中产出的铍榴石，共生矿物有石榴子石、符山石、透辉石、硅铍石等。

### Cb016 锌日光榴石 genthelvine

【组成与结构】 $Zn_4[BeSiO_4]_3S$。矿物分子式中的 Zn 常被 Fe 及 Mn 代替。实际矿物化学分析结果：BeO 11.91%，$SiO_2$ 28.71%，ZnO 51.79%，S 1.79%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 晶体呈四面体，或发育正负四面体呈八面体状。解理（111）不完全，断口不平坦或贝壳状，硬度 5.5～6.5，相对密度 3.44～3.79，颜色无色、暗紫色、玫瑰红色，玻璃光泽，透明至半透明。

【产状与产地】 锌日光榴石产花岗伟晶岩、钠长石花岗岩以及矽卡岩中。花岗伟晶岩中产出的锌日光榴石与石英、钾长石、黄玉、硅铍石、锆石等共生，矽卡岩中产出的与普通石榴子石共生。

## 五、锶

锶是一种银白色金属，性质活泼，熔点 769℃，沸点 1384℃。锶有 4 个同位素，即$^{84}Sr$、$^{86}Sr$、$^{87}Sr$ 和$^{88}Sr$，其中$^{87}Sr$ 是$^{87}Rb$ 的天然衰变产物，人们利用自然 Rb-Sr 的衰变测定岩石或矿物的地质年龄。

金属锶在工业上用途较少，一直没有大量生产。锶可做耐久的原子电池。在炼钢工业中作脱硫、脱磷剂。在硅铁生产中能提高钢材质量，还可作难熔金属的还原剂及冶炼特种合金。氢氧化锶广泛用于精制甜菜糖，硝酸锶用于制造焰火、信号弹。碳酸锶用于生产电视显像管的荧光屏玻璃。此外，少量锶化物用于润滑脂、陶瓷工业及制药等。

自然界已知含锶矿物有 10 多种，工业上用于提取锶原料的主要是天青石和菱锶矿。

### Cb017 天青石 celestine

【组成与结构】 $SrSO_4$，矿物中 Sr 与 Ba 具完全类质同象关系，Sr＞Ba 的叫天青石，Ba＞Sr 的叫重晶石，常含 Pb、Ca 等元素，有时含有 Fe 和 Si。突尼斯产出天气石的化学成分为：SrO 56.20%，$SO_3$ 43.40%，CaO 0.40%。矿物属斜方晶系。

【物化性质】 晶体沿（001）呈板状，有时呈柱状，常呈板状、粒状及纤维状集合体产出，少数呈钟乳状、结核状产出。解理（001）完全，（210）中等，（010）不完全，硬度 3～3.5，相对密度 3.87，性脆，纯净晶体为无色透明，一般呈白色、浅黄色、浅蓝色、条痕白色，玻璃光泽，解理面呈珍珠光泽，透明至半透明。矿物在紫外线照射下有时显荧光。

【产状与产地】 天青石多呈透镜体产于沉积层或沉积矿床中，与方解石、白云石、石膏以及黏土矿物等共生。此外，矿物也见于热液脉及基性喷出岩中，在后一类岩石内呈洞穴充填物产出。

天青石产地有江苏溧水、云南金顶以及湘西等地。

### Cb018 菱锶矿 strontianite

【组成与结构】 $SrCO_3$，常含 Ca、Ba 等元素，可分出钙菱锶矿、钡菱锶矿等亚种。英格兰斯创体安（Strontian）菱锶矿的化学成分为：SrO 65.01%，CaO 4.05%，$CO_2$ 30.84%。菱锶矿（strontianite）一词即由该地名得名。矿物属斜方晶系。

【物化性质】 晶体呈柱状或针状，双晶依（110）形成，晶体具有假六方形外形，但晶体少见，通常呈致密粒状、柱状或针状集合体产出，有时也呈放射状集合体。解理（110）中等，（021）和（010）不完全，断口不平坦至贝壳状，硬度 3.5～4，相对密度 3.73～3.76。颜色白色，其他元素的加入呈灰色、黄白色、绿色或褐色，条痕白色，玻璃光泽，断口呈油脂光泽。矿物易溶于稀 HCl。矿物在阴极射线下出现弱的浅蓝色，有的矿物加热发磷光。在吹管焰下灼烧染火焰为鲜红色，显示 Sr 的反应。

【鉴别特征】 菱锶矿易与文石、毒重石等相混，可借差热曲线区别。

【产状与产地】 菱锶矿产于石灰岩或泥灰岩的低温热液脉中，与重晶石、毒重石、方解石、天青石等共生。在沉积地层中有时与石膏、天青石或磷灰石一起形成结核。产地有四川南部、湖南西部、湖北西部等地。

## 六、锆

锆是重要的稀有金属，具有耐高温、抗腐蚀，可塑性强，机械加工性能好等优良性质。锆的化合物及天然矿物具有高的熔点及低的热膨胀系数。锆金属的热中子捕获截面小，耐辐射。锆在高温下吸气性良好，具有较强的除氧能力。

工业上目前使用量最大的是锆矿物——锆石和斜锆石。少量使用锆的化合物和金属。锆矿砂和矿物粉主要用于耐火材料、铸造、磨料、陶瓷及电子工业等。用于耐火材料主要是生产锆质耐火砖，应用于玻璃窑炉及钢铁冶炼。用于铸造主要是作铸钢件的型砂。用于陶瓷主要是作釉面材料。锆的化合物，主要使用的是二氧化锆，用于耐火材料、研磨材料、电子材料、玻璃添加剂、宝石原料、敏感器材料和精密陶瓷材料等。在耐火材料方面使用量最大。在轻化工业中锆的其他化合物还可用于颜料、油添的添加剂、金属的催化剂以及皮革鞣剂等方面。锆金属按用途可分为两个级别——原子能级和工业级。原子能级锆指金属中铪含量<0.01%的锆，又称“无铪锆”或“反应堆级锆”，主要在核反应堆中用做核燃料包套材料及其堆芯结构材料。化工、冶金等工业用锆无需分离锆铪，一般将含铪 2.5%左右的锆列为工业级锆。达到一定纯度的锆、某些锆的合金和喷镀锆可以加工制成耐蚀的化工设备的构件及医疗器械。锆在电子管工业及真空技术中被用做除气剂，用以制造电容器及整流器。金属锆粉用于制造烟火中的发光混合物。在军事工业上锆用于制造子弹、炮弹的信管。锆金属的另一重要用途是制造性能优异的合金，如铝锆合金、铜锆合金、铁锆合金、镍锆合金、锆锡合金、铌锆合金等。

工业上利用的锆矿物有锆石和斜锆石，近年来国外有报道将异性石作为重要的锆原料。

### Cb019 锆石 zircon

【组成与结构】 $ZrSiO_4$，理论成分：$ZrO_2$ 67.1%，$SiO_2$ 32.9%。常含 REE、Hf、U、Th、Al、P、Ca、Fe、$H_2O$ 等杂质，随杂质不同有许多锆石亚种：水锆石（含 $H_2O$）、曲晶石（含 U、Hf、REE、$H_2O$）、山口石（含 U、Th、REE、P）、大山石（含 REE、P）、苗木石（含 Y、Nb、U、Th）、波方石（含 Nb、Ta、REE）以及铪锆石等。

锆石属四方晶系，复四方双锥面体。

【物化性质】 锆石常见晶形有双锥柱状、柱状、等粒状、锥状。解理沿（110）不明显，贝状断口，不平坦断口。性脆。硬度 7～8，相对密度 4.0～4.7。颜色无色、乳白色、淡黄色、淡紫色，有时玫瑰色。条痕无色。透明至半透明，金刚光泽。锆石不溶于酸。将矿物与 $Na_2CO_3$-硼砂共熔，珠球溶于 1∶1HCl 中，加几粒过氧化钠，再加一粒磷酸盐，出现白色絮状磷酸锆沉淀。在紫外线下，矿物发黄色、橙黄色光。在阴极射线下发黄色和天蓝色光。

【鉴别特征】 锆石以其双锥柱状晶形，浅的颜色，硬度和比重大等易与其他矿物区别。黄色、深玫瑰色的浑圆状锆石或碎屑状锆石易与金红石、锡石混淆。锡石的特点是具有不均匀的颜色，锆石在紫外线下发黄色光。与金红石的区别是锆石光泽强。锆石与钍石晶形相似，但锆石硬度大，不溶于盐酸。

【产状与产地】 锆石广泛产于各类火成岩、沉积岩及变质岩内。供工业利用的锆石常取自残坡积砂矿、冲积砂矿、海滨砂矿。在海滨砂矿中共同产出的矿物有金红石、钛铁矿、板钛矿、磁铁矿、赤铁矿、独居石、尖晶石、石榴子石等。

锆石产地有海南文昌、山东荣成、广东南山海、广东湛江以及新疆拜城、内蒙古巴尔哲等。后二产地锆石为原生矿，产碱性花岗岩中。

### Cb020 斜锆石 baddeleyite

【组成与结构】 ZrO，矿物 Zr 含量 74.1%。可分出隐晶质斜锆石及晶质斜锆石两种，前者含不等量的 $SiO_2$、$Fe_2O_3$、$TiO_2$ 和 $H_2O$，后者有时含 Hf、Fe、REE、Sc 和 U。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 常见晶形为沿（100）板状，沿（001）微长形，外形像板钛矿晶体。在砂矿中呈板状、粒状，致密隐晶质集合体和结核状。沿（001）解理完全，沿（110）和（100）解理很差。性脆。断口不平坦到细贝状。硬度 6～7，相对密度 4.5～5.5。棕色、褐色、黄色、浅黄色、琥珀黄色，少数为绿褐色。条痕白色、暗色斜锆石条痕线黄色。晶体不同程度透明，隐晶质集合体不透明。晶体为金刚光泽，隐晶质矿物为油脂光泽。一般无电磁性，不发荧光。斜锆石与盐酸和硝酸不起作用，长时间加热溶于硫酸，溶于 $KHSO_4$。

【鉴别特征】 晶体碎块可能被当作板钛矿；不规则颗粒像褐石；隐晶质集合体像白钛石，有时胶状锡石，需按光性及微化反应区别。

【产状与产地】 斜锆石主要见于碱性基性岩、碳酸岩以及相应成分的脉岩中，与霞石、霓石、磷灰石、萤石、钙钛矿、锆石烧绿石等共生。在霓霞岩脉中见到的隐晶质锆石，为后期蚀变产物，与沸石、黏土矿物共生。矿物产地有南非帕拉波罗，俄罗斯科夫多尔。

### Cb021 异性石 eudialyte

【组成与结构】 $(NaCa)_6Zr[Si_3O_9]_2(OH \cdot Cl)_2$。组成很复杂，常含 K、[Y]、Fe、Mn、Ti、Nb 等杂质。辽宁凤城霞石正长岩中产出的异性石含 $SiO_2$ 47.99%，$ZrO_2$ 12.21%。异性石中光性为负并含 Fe、Mn、Nb 的称负异性石。矿物属三方晶系。单斜晶系的异性石亚种称为变异性石（barsanovite）。

【物化性质】 异性石为复三方偏三角面体。晶体常呈板状或柱状以及不规则黏状。解理（001）中等。断口不平坦。性脆。硬度 5～5.5，相对密度 2.7～3.0。黄褐色、砖红色，条痕无色。玻璃光泽至半油脂光泽。具弱磁性，不发光。易溶于酸中。

【鉴别特征】 砖红色异性石以其颜色可与其他铌钽稀土矿物区别。矿物可借锆的微化反应及光性鉴别。

【产状与产地】 异性石产霞石正长岩、霓霞正长岩及其伟晶岩中，与霞石、霓石、闪叶石、铈铌钙钛矿、褐硅钠钛矿、榍石等共生。异性石在岩石中大量产出，有时被视为造岩矿物，锆含量虽不大但矿物量大，是一有远景的锆矿资源。

产地有辽宁凤城、辽宁赛马等。

## 七、铪

铪具可塑性、易加工、耐高温、抗腐蚀性能，是核工业的重要原料。铪的热中子捕获截面大，是较理想的中子吸收体，可作核反应堆的控制棒和保护装置。铪粉可作火箭推进器。在电器工业上可制造 X 射线管的阴极，电灯丝和电子管内的吸气剂。铪与 Ta、Nb、Mo、W 等构成耐高温合金，用于火箭喷嘴和太空飞行器的前缘保护层。铪铌合金可用于切削工具。

通常锆石精矿含 $HfO_2$ 在 0.5%～2%以上的即可作为单独铪矿开采。含量较低，铪可作为开发锆石时的副产品回收。

### Cb022 铪锆石 hf-zircon

【别名】 铪石，hafnon

【组成与结构】 铪锆石 $HfZr[SiO_4]$，铪石 $Hf[SiO_4]$。理论上锆石中 Zr 与 Hf 属完全类质同象系列，Zr 可以全部被 Hf 代替，但在自然界 Hf 多见于锆石及斜锆石中，以铪锆石形式产出。一个铪石晶体的电子探针分析，其中 $SiO_2$ 27.20%，$HfO_2$ 72.52%，$ZrO_2$ 1.21%。通常，铪锆石的 $HfO_2$

含量约 21%～31%。与锆石相同，铪石或铪锆石属四方晶系。

【物化性质】 铪石性质与锆石相似，惟铪石晶体具带状构造，外带 $HfO_2$ 含量高于内带，铪石的相对密度也高于锆石。铪锆石为锆石的一个亚种，物理化学性质可参照锆石。

【鉴别特征】 参照锆石。

【产状与产地】 铪锆石产花岗伟晶岩及风化壳砂矿中。福建南平、广东横山及新疆阿尔泰花岗伟晶岩产出的铪锆石，与石英、细晶钠长石、细鳞白云母以及锆石等共生。经济价值较大的铪锆石见于砂矿中。广西北流及山东荣成砂矿中即有铪锆石产出。铪石见于非洲莫桑鼻铪花岗伟晶岩中。

## 八、铌

铌金属呈银白色，熔点 2468℃，沸点 5127℃，铌的相对密度 8.66。铌是一种难熔的稀有金属，具有耐腐蚀，抗疲劳，抗变形，热电传导性能好，在高温下具有极好的电子发射性能、热中子俘获截面较小、超导性能极佳等特点，在冶金工业、原子能工业、航空航天工业、军事工业、电子工业、化学工业、超导材料以及医疗仪器等方面得到广泛应用。

冶金工业是铌的最大消费市场，主要以铌铁形式用来生产高强度低合金钢及碳素钢等。铌具有细化晶粒，降低钢过热敏感性，提高钢的强度和韧性，改善焊接性能等作用，在一些输油、输气管道中，铌是不可代替的合金元素。铸铁中添加铌能加强石墨化和减少裂纹，提高寿命。应用铌合金钢经济效益好，其强度比普通碳钢高 1～2 倍，可节约钢材 30%以上。

航空、航天工业和军事工业是铌的重要用户。铌及铌合金的耐高温和耐腐蚀性适于高效率发动机的要求，特别是军用飞机和新型作战坦克的发动机以及火箭发动机。由于它具有良好的抗热冲击性能，因而也用于宇宙飞行器的热防护材料和结构材料上。

在原子能工业中，铌和铌基合金适宜作反应堆的结构材料和核燃料包套材料。此外，铌合金具有良好的抗蠕变强度，良好的抗液态金属腐蚀能力以及与核燃料的良好相容性等特点，因而可用于宇宙能源系统中。

随着超导材料工业的迅速发展，超导合金的应用逐渐普及。目前在工业上利用的超导材料 90%以上使用的 NbTi 合金超导体。

铌还用于电子元件、化工仪器、医疗仪器、永磁合金、切削工具、光学玻璃等方面。

目前铌在高强度低合金钢中的消费量约占总消费量的 75%，在耐热和不锈钢中的消费量约占 12%，在耐热合金中的消费量占 10%，在 NbTi 超导合金等领域的消费量仅占 3%。由此可以看出，铌的终端消费的多少与世界钢铁工业的兴衰密切相关。

在自然界，铌和钽常共同产出，大多数铌矿物都含有钽。目前已知的铌钽矿物和含铌钽矿物有 130 多种，其中工业利用上重要的铌矿物有铌铁矿、褐钇铌矿、烧绿石、铌钇矿、铌钙矿和铌金红石。

### Cb023 铌铁矿 columbite

【组成与结构】 $(FeMn)Nb_2O_6$。矿物中 Fe 与 Mn，Nb 与 Ta 具完全类质同象关系，能相互替代。铌铁矿亚种有铌锰矿（manganocolumbite），由于 Mn 的地壳丰度显著小于 Fe，自然界最常见的矿物是铌铁矿，铌锰矿较少见。广东产出的铌铁矿含 $Nb_2O_5$ 73.90%，$Ta_2O_5$ 6.35%，FeO 17.83%，新疆产出的铌锰矿含 $Nb_2O_5$ 53.70%，$Ta_2O_5$ 24.93%，MnO 16.75%，FeO 3.65%。矿物除含 Nb、Ta、Fe、Mn 外，常有 Ti、Sn、W、Zr、Al、U、REE 等的混入。

铌铁矿属斜方晶系。

【物化性质】 铌铁矿晶体呈沿（100）发育的薄板状、厚板状、柱状，也有的呈针状。晶面一般光滑，有时可见纵纹，也有的晶体表面粗糙。晶形不好时呈枣核状或不规则粒状、块状，集合体呈晶簇状或块状。柱状晶体有时构成平行的连生体。解理（010）清楚，（100）不完全，断口参差状，有的次贝壳状，性脆，硬度 4.2～5.2，相对密度 5.2～6.3。矿物具中等电磁性。矿物颜色为黑色

至黑褐色，条痕暗红至黑色，铌锰矿的颜色较浅，呈黑红色。铌铁矿呈金属光泽至半金属光泽，不透明。经风化作用的铌铁矿表面覆有棕褐色和黄色的氧化膜。铌铁矿不溶于 HCl 和 $HNO_3$，矿物粉末在沸腾的浓 $H_2SO_4$ 中溶解，并溶于 HF 和 $H_3PO_4$。将矿物粉末与 $KHSO_4$ 按 1∶10 混合熔融后溶入 5% $H_2SO_4$ 中，加 3%丹宁溶液，溶液变为橙黄色或橙红色示有铌存在。

【鉴别特征】 铌铁矿有时与黑钨矿易混，以后者有更好的解理相区别。与褐帘石的区别是褐帘石相对密度较小（3.5～4.2），且具浅色条痕。铌铁矿与钽铁矿间可借相对密度及 X 射线粉晶分析区别。

【产状与产地】 铌铁矿产于碱性正长岩、碳酸岩以及花岗伟晶岩中，与方解石、白云石碱性角闪石及辉石、钾长石、烧绿石等共生。铌铁矿产于内蒙古白云鄂博碱性岩-碳酸岩，内蒙古巴尔哲碱性花岗岩以及江西莒源及广东增城砂矿中。铌锰矿见于新疆阿尔泰花岗伟晶岩中。

## Cb024　褐钇铌矿　fergusonite

【组成与结构】 [Y]$NbO_4$，广西姑婆山花岗岩中产出的褐钇铌矿含[Y]$_2O_3$ 34.78%，[Ce]$_2O_3$ 2.73%，$Nb_2O_5$ 43.00%。矿物常含[Ce]、Ca、Ta、Ti、U、Th、$H_2O$ 等。褐钇铌矿亚种有 β-褐钇铌矿、钛褐钇铌矿、铈褐钇铌矿、β-铈褐钇铌矿等。褐钇铌矿、钛褐钇铌矿、铈褐钇铌矿 3 种矿物属四方晶系，β-褐钇铌矿、β-铈褐钇铌矿属单斜晶系。

【物化性质】 晶体呈四方柱状，四方双锥状、板状、长柱状、纺锤形、矛状和不规则状。有沿(111)一组解理，贝状断口，性脆。矿物具中等电磁性。褐钇铌矿硬度 5.5～6.5，相对密度 4.89～5.82，钛褐钇铌矿相对密度 4.18。褐钇铌矿颜色浅黄色、褐色、棕褐色、黑色、灰色。铈褐钇铌矿及 β-铈褐钇铌矿为红色及红褐色，钛褐钇铌矿为暗棕到黄褐色。条痕黄褐色、淡黄色、黄灰色、浅褐色。玻璃光泽、树脂光泽，似晶体产出者土状光泽。不透明，矿物边缘透光。矿物溶于 HCl、$HNO_3$ 和浓 $H_2SO_4$，析出白色沉淀。

【鉴别特征】 褐钇铌矿族矿物具特殊晶形，表面常有一层土状薄膜，有时为似晶体等易与其他矿物区别。碎屑状及不规则粒状矿物与易解石、黑稀金矿难区别，不同的是褐钇铌矿条痕色较浅，灼烧时颜色发生变化，钛的反应很弱。钛褐钇铌矿与黑稀金矿有时只能借助化学分析和 X 射线粉晶分析鉴别。

【产状与产地】 褐钇铌矿族矿物产于花岗岩及花岗伟晶岩中，与锆石、独居石、磷钇矿、钍石、钛铁矿、榍石、褐帘石等共生。在碱性正长岩、碱性伟晶岩及钠长岩中与钠铁闪石、锆石、黑稀金矿、铌铁矿、烧绿石等共生。褐钇铌矿常见于残坡积砂矿及冲积砂矿中，与钛铁矿、独居石、钍石、锆石等共同产出。

产地有广西姑婆山、江西西华山、四川茨达、四川路枯、内蒙古白云鄂博等。

## Cb025　烧绿石　pyrochlore

【组成与结构】 (Na，Ca)$_2Nb_2O_6$(O，OH，F)，常含 U、[Ce]、[Y]、Th、Pb、Sb、Bi 等杂质，矿物亚种有铈烧绿石、钇烧绿石、水烧绿石、铀烧绿石、铈铀烧绿石、铀钽烧绿石、钇铀钽烧绿石、铀铅烧绿石、钡锶烧绿石以及铅烧绿石等。内蒙古产烧绿石含 $Nb_2O_5$ 62.82%，$Ta_2O_5$ 0.61%，CaO 14.52%，$Na_2O$ 7.28%，$H_2O$ 0.58%，F 4.24%。烧绿石矿物属等轴晶系。

【物化性质】 晶体通常为八面体，其次为八面体与菱形十二面体的聚形，晶面一般不平顺，有的烧绿石呈歪晶或不规则粒状。通常无解理，间或见（111）的不完全解理，断口贝状或不平坦，硬度 5～6，相对密度 4.1～5.4，颜色暗棕色、浅红棕色、黄绿色，条痕浅黄到浅棕色，沥青光泽或油脂光泽，有的晶面为金刚光泽，细小颗粒边缘为透明或半透明，无电磁性，具放射性，似晶体化矿物颜色变深，相对密度减小。矿物不溶于 HCl 和 $HNO_3$，溶于浓 $H_2SO_4$。含铀烧绿石的硼砂球和 NaF 珠球在荧光灯下发绿色和黄绿色光。

【鉴别特征】 烧绿石以其晶形、相对密度易于鉴别。粒状烧绿石易与钙铁石榴石、锆石、独居石相

混。烧绿石无电磁性可与钙铁石榴石区别。与锆石、独居石要借助光性区别，烧绿石为光性均质体。

【产状与产地】 烧绿石产于碱性花岗岩、碱性正长岩、霞石正长岩及相关的碱性伟晶岩、钠长岩中，与钠长石、霓石、钠铁闪石、锆石、褐帘石、榍石等共生。烧绿石常见于碳酸岩中，与白云石、方解石、钠辉石、金云母、重晶石、磷灰石、锆石、钙钛矿等共生。烧绿石产地有内蒙古白云鄂博、辽宁赛马、内蒙古巴尔哲以及新疆拜城等地。

## Cb026 铌钇矿 samarskite

【组成与结构】 $(Y,U,Fe)_2(Nb,Ta)_2O_6$，矿物成分极其复杂，常含 Ti、Th、Ce、Ca、Al、Mg、Mn、Pb 等杂质。矿物亚种有钙铌钇矿、钛铁铌钇矿、铁铌钇矿、铁铀铌钇矿、铅铌钇矿等。内蒙古大青山产铌钇矿含 $Nb_2O_5$ 51.35%，$Ta_2O_5$ 3.27%，$Y_2O_3$ 14.98%，$Fe_2O_3$ 8.68%，$UO_2+UO_3$ 9.05%。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 晶体常平行(001)呈柱状，平行(100)或(010)呈板状，部分晶体呈斜方双锥状，也常呈不规则块状，铌钇矿常沿(100)与铌铁矿连生。无解理，断口贝壳状或次贝状，硬度 5～6，相对密度 4.50～5.76，天鹅绒黑色、褐黑色，有时浅褐色，条痕灰黑色至红褐色，半金属光泽，断口呈沥青光泽，不透明至半透明，矿物表面常附有一层黄褐色薄膜。具强放射性。常温下矿物不溶于 HCl、$H_2SO_4$ 和 $HNO_3$，部分溶于沸腾的浓 HCl 和 $H_2SO_4$，溶于热浓 $H_3PO_4$ 中溶液呈绿色，稍冷却后加入过氧化钠摇匀，溶液变为黄色，示有铌的反应。

【鉴别特征】 铌钇矿与易解石、黑稀金矿、褐钇铌矿相似，以微化分析没有 Ti 的反应以及条痕颜色较深可与后三种矿物区别，铌钇矿与铌铁矿也易相混，前者因具放射性常呈似晶体产出可与后者区别。

【产状与产地】 铌钇矿主要产花岗伟晶岩中，与铌铁矿、褐钇铌矿、磷钇矿、石英、云母、长石等共生，见于新疆阿尔泰、四川米易、内蒙古大青山等地花岗伟晶岩中。铌钇矿也见于冲积砂矿中。

## Cb027 铌钙矿 fersmite

【组成与结构】 $CaNb_2O_6$，常含 Ce、Y、Ti、Th、Fe、Si、Al 等杂质。内蒙古白云鄂博矿床产出的铌钙矿含 CaO 15.85%，$Nb_2O_5$ 75.04%，$Fe_2O_3$ 2.08%，$TiO_2$ 1.12%，$SiO_2$ 1.52%。矿物属斜方晶系。

【物化性质】 晶体 $c$ 轴成短柱状，常呈板状或不规则粒状产出。由交代烧绿石形成的铌钙矿具烧绿石假象。无解理，断口贝壳状，性脆，硬度 4.5，相对密度 4.7～4.8，颜色黑色、暗褐色、条痕浅灰褐色及浅褐色，树脂光泽或半金属光泽，半透明，有的矿物具放射性，存在似晶体化现象。

【鉴别特征】 铌钙矿晶形与铌铁矿、钽铁矿、黑稀金矿相似，以较高含量的 CaO 与铌钽铁矿区别，以 CaO 和 $Nb_2O_5$ 含量较高与黑稀金矿区别。

【产状与产地】 铌钙矿产于正长岩、霞石正长岩、碳酸岩、碱性伟晶岩以及花岗伟晶岩中，与方解石、萤石、磷灰石、硅镁石、金云母、碱性长石等共生。铌钙矿常与烧绿石、铌铁矿共同产出，通常是烧绿石被铌钙矿交代，铌钙矿又被铌铁矿交代。内蒙古白云鄂博矿床的铌钙矿产硅镁石-金云母矽卡岩及碳酸岩中。

## Cb028 铌金红石 niobium rutile

【别名】 ilmenorutile

【组成与结构】 铌金红石是金红石的富铌亚种，矿物分子式 $(TiNbFe)O_2$，矿物化学分析值 $TiO_2$ 63.04%，$Nb_2O_5$ 23.67%，$Fe_2O_3$ 13.23%。矿物含 Mn、Sn、W，有时 Cr、V 等杂质。矿物属四方晶系。

【物化性质】 晶体外形像普通金红石，呈柱状，无锥面或锥面不发育，有纵纹，偶尔有沿柱面的解理，断口不平坦、硬度 6～6.5，相对密度 4.35～5.60，颜色黑色、黑褐色及棕褐色，条痕褐色、

浅棕色、浅绿褐色，透明程度不一，富铁的铌金红石仅边缘透光，沥青光泽或金刚光泽。矿物不溶于酸，矿物粉末部分溶于沸腾的浓 $H_2SO_4$ 中。矿物与 $KHSO_4$ 的熔体溶解后加 $H_2O_2$ 显示 Ti、Fe 反应，加丹宁显示 Nb 的反应。

【鉴别特征】 铌金红石晶屑像铁金红石，但两者条痕色不同，铁金红石条痕为灰色。与普通金红石需借简易化学分析区别。

【产状与产地】 铌金红石产花岗伟晶岩、正长伟晶岩和碳酸岩中，与普通金红石、钛铁矿、锆石、独居石、褐帘石、榍石等共生。矿物产于福建南平花岗伟晶岩中。江西菖源花岗岩接触带上产出与铌铁矿共生的铌金红石。

## 九、钽

钽金属呈深灰色，熔点 2996℃，沸点 5427℃，钽的相对密度 17.10。钽具有延性好、蒸汽压低、热导率大、耐高温、抗腐蚀、冷加工和焊接性能好等特性。钽能形成稳定的阳极氧化膜，因此具有优良的整流和介电性能。钽在电子、机械、化工、宇航四大领域得到广泛应用。

钽电容器一直是钽的最重要用途，在各终端用途中所占比例一直保持在 40%以上。在美国的钽消费量中，它占 60%以上。在日本，它约占 70%。在电子工业中，钽的其他用途包括：整流器、扩大器、振荡器、传感器、信号装置、警报系统以及定时装置等。

冶金工业中用钽生产抗氧化热合金、难熔合金和超硬合金。钽与钨、铬、铝、钴、钛、镍的合金是现代航空工业中不可缺少的原材料。碳化钽具高熔点，有接近金刚石的硬度和韧度，可作切削工具和各种合金的拉丝模。

化学工业中用钽作为生产强酸、溴、氨时的防腐蚀材料。钽酸盐可用于压电、光电材料。

此外，钽易加工成型，在高温真空炉中作支撑部件、热屏蔽、加热器、散热器等。钽在医学上作骨科材料，钽片、钽条可用以代替骨骼，钽丝可作医用缝合线。钽的铍化物在航天工业中用于制造 1500℃条件下的工作部件。钽的硼化物、硅化物、氮化物用于原子能的释热元件和液态金属的包套材料。氧化钽用于制造高级光学玻璃和催化剂。

工业利用上重要的钽矿物有钽铁矿、重钽铁矿、黄钇钽矿、细晶石及钽锰矿等。

### Cb029　钽铁矿　tantalite

【组成与结构】 $(FeMn)Ta_2O_6$。矿物亚种有钽锰矿（manganotantalite）。钽铁矿的化学分析值：$Ta_2O_5$ 77.20%，$Nb_2O_5$ 7.23%，FeO 14.00%，MnO 0.81%。新疆产出的钽锰矿含 $Ta_2O_5$ 55.71%，$Nb_2O_5$ 26.16%，MnO 13.03%，FeO 4.54%。矿物除含 Fe、Mn、Nb、Ta 外，常有 Ti、Sn、W 等元素的混入。钽铁矿及钽锰矿均属斜方晶系。

【物化性质】 钽铁矿晶形沿（010）成板状、厚板状，沿（001）成短柱状，有时沿（131）发育成柱状双锥，（010）晶面及柱面可见纵纹。解理一般不明显，断口不规则，性脆，硬度 6.5，相对密度 6.25～7.90，矿物具中等电磁性。矿物颜色为黑色至褐黑色，条痕暗红色、黑色至褐色，钽锰矿颜色较浅，可见黄棕色，金属光泽至半金属光泽，不透明。钽铁矿不溶于 HCl 和 $HNO_3$，矿物粉末长时间在沸腾的浓 $H_2SO_4$ 中部分溶解，溶于 HF 和 $H_3PO_4$。将矿物粉末与 $KHSO_4$ 按 1∶10 混合熔融后溶于 5% $H_2SO_4$ 中，加 3%丹宁溶液，溶液显黄色。

【鉴别特征】 钽铁矿有时与黑钨矿、深色锡石、褐帘石等相混。钽铁矿解理不明显可与黑钨矿区别，条痕色较深可与褐帘石区别。锡石通常不具电磁性和条痕色较浅。钽铁矿一般相对密度较大，可用以区别疑似矿物。

【产状与产地】 钽铁矿主要产于花岗伟晶岩、钠长石化云英岩化花岗岩中，与石英、钠长石、白云母、锂云母、黄玉、绿柱石等共生。钽铁矿产新疆阿尔泰及福建南平花岗伟晶岩中。

### Cb030　重钽铁矿　tapiolite

【组成与结构】 $FeTa_2O_6$，常含 Nb、Ti、Sn、Mn、Ca 等杂质。由于杂质成分不同有铌重钽铁矿、

锰重钽铁矿、钛重钽铁矿等亚种。江西花岗伟晶岩中产出的重钽铁矿含 $Ta_2O_5$ 82.55%，$Nb_2O_5$ 1.37%，FeO 10.69%，CaO 1.96%，MnO 1.49%，$SnO_2$ 0.34%。重钽铁矿与钽铁矿为同质异象体，钽铁矿属斜方晶系，重钽铁矿属四方晶系。

【物化性质】 晶形常呈复四方双锥状及平行于（001）的短柱状或粒状，具普通双晶及聚片双晶，双晶面（013），无解理，断口不平坦至半贝壳状，性脆，硬度 6～6.5，相对密度 7.3～7.85，颜色黑色、褐黑色，条痕棕褐色，强金刚光泽至金属光泽，不透明，碎片边缘半透明，具弱电磁性，无放射性。重钽铁矿溶于 HF，在其他酸中均不溶。

【鉴别特征】 重钽铁矿易与钽铁矿混淆，可借 X 射线粉晶谱线区别。重钽铁矿在 900～1000℃下氧化焙烧，表面出现靛青色或蓝色薄膜，铌钽铁矿无此反应。

【产状与产地】 重钽铁矿产花岗伟晶岩及其附近的砂矿中，与钽铁矿、锡石、锂辉石、绿柱石、磷铁锰矿、锂蓝铁矿、电气石、白云母、钠长石等共生。重钽铁矿见于福建南平及江西幕阜山花岗伟晶岩中。

## Cb031 黄钇钽矿 formanite

【组成与结构】 $[Y]TaO_4$，为褐钇铌矿族矿物的特殊富钽亚种，常含 Nb、[Ce]、Ti、U、Th、Ca 等元素。江西赣县长洛钠长石化花岗岩中黄钇钽矿的化学成分为：$[Y]_2O_3$ 28.46%，$[Ce]_2O_3$ 4.52%，$Ta_2O_5$ 49.38%，$Nb_2O_5$ 9.15%，$UO_2+UO_3$ 2.51%，$Fe_2O_3$ 1.50%，$ThO_2$ 1.67%，CaO 1.39%。矿物属四方晶系。

【物化性质】 黄钇钽矿晶形呈四方长柱状、板柱状或板状，常呈纺锤形和不规则状产出，具两组完全解理，断口呈贝状，硬度 5.5～6.5，相对密度 6.24～7.03。颜色黄褐色、黄棕色，新鲜断口黑色，条痕浅黄色，局部表面有灰白色薄膜，玻璃光泽或树脂光泽，具弱电磁性及弱放射性，有时呈似晶体产出。

【鉴别特征】 黄钇钽矿与褐钇铌矿相似，可以其相对密度、钽含量高等特点与后者区别。与钽铁矿和重钽铁矿的区别是后者稀土含量很低。

【产状与产地】 黄钇钽矿见于花岗伟晶岩与白云母化钠长石化花岗岩中，与长石、锂云母连生。共生矿物有磷钇矿、氟菱钙钇矿、褐钇铌矿、铌钽铁矿以及锡石、黑钨矿等。产地有江西寻乌、江西大余等。

## Cb032 细晶石 microlite

【组成与结构】 $(CaNa)_2(TaNb)_2O_6(OOHF)$。常含 U、Bi、Sb、Pb、Ba、Y 等杂质，相应的矿物亚种有铀细晶石、铋细晶石、锑细晶石、铅细晶石和钡细晶石。矿物中 Ta 和 Nb 具类质同象关系，但 $Nb_2O_5$ 含量不超过 10%。细晶石的化学分析值为：$Ta_2O_5$ 68.43%，$Nb_2O_5$ 7.74%，CaO 11.80%，$Na_2O$ 2.86%，$UO_3$ 1.59%，$ZrO_2$ 1.05%，$Ce_2O_3$ 0.17%，$Y_2O_3$ 0.23%，F 2.85%，此外尚含 $K_2O$、MgO、$Fe_2O_3$ 等。细晶石属等轴晶系。

【物化性质】 晶形八面体，有时可见菱形十二面体或四角三八面体，常呈不规则粒状集合体。断口贝壳状或不规则锯齿状，性脆，硬度 5～6，相对密度 4.2～6.4，相对密度变化较大，这与矿物钽的含量及次生变化有关，颜色浅黄色、黄褐色，少数呈橄榄绿色，条痕浅黄色或淡褐色，玻璃光泽或树脂光泽。细晶石难溶于 HCl 和 $HNO_3$，与 $KHSO_4$ 熔合后溶于浓 $H_2SO_4$。由于含铀，有的矿物具放射性并呈似晶体产出，无电磁性。

【鉴别特征】 褐色细晶石易与烧绿石相混，可借相对密度和微化分析有 Ta 的反应区别。差热分析是有效的鉴别方法，对于似晶体矿物在 500～600℃附近有显著的放热效应，在 200℃附近有一个不十分明显的吸热效应。结晶态细晶石具有一条平直的差热曲线。

【产状与产地】 细晶石主要产于花岗伟晶岩及钠长石化云英岩化花岗岩中，与石英、钠长石、锂云

母、黄玉、铌钽铁矿、绿柱石、富铪锆石、锡石等共生。

产地有新疆阿尔泰、福建南平、江西宜春、广西栗木等。

### Cb033 钽金红石 tantalum rutile 或 struverite

【组成与结构】 钽金红石是金红石的富钽亚种，矿物分子式 $(TiTaNbFe)O_2$，矿物化学分析值 $TiO_2$ 33.66%，$Ta_2O_5$ 38.20%，$Nb_2O_5$ 13.41%，$Fe_2O_3$ 12.12%，$SnO_2$ 0.71%。矿物属四方晶系。

【物化性质】 晶体常呈四方柱与四方双锥聚形，有平行（101）双晶，多呈细小粒状产出，解理平行（110）清楚，断口贝状或不平坦，硬度 6～6.5，相对密度 4.2～6.3，颜色黑色，条痕灰黑色，半金属光泽或金刚光泽，通常不透明，碎片边缘透红褐色光。钽金红石不溶于 HCl 和 $H_2SO_4$，溶于 $H_2SO_4+(NH_4)_2SO_4$ 中。

【鉴别特征】 钽金红石与普通金红石易混淆，但二者产状完全不同，钽金红石与铌金红石间主要借助 Nb、Ta 含量来区别。

【产状与产地】 钽金红石主要见于花岗伟晶岩与钠长石化云英岩化花岗岩中，与钽锰矿、细晶石、锡石、绿柱石、黄玉等共生。矿物产地有江西宜春。

# Cc 稀 土 金 属

## 一、稀土金属

在矿产资源利用上，稀土指的是包括镧（La）、铈（Ce）、镨（Pr）、钕（Nd）、钐（Sm）、铕（Eu）、钆（Gd）、铽（Tb）、镝（Dy）、钬（Ho）、铒（Er）、铥（Tm）、镱（Yb）、镥（Lu）及钇（Y）等在内的 15 个金属元素。这 15 个元素通常可分为两组：铈组稀土元素或轻稀土元素和钇组稀土元素或重稀土元素。它们的氧化物分别表示为 $[Ce]_2O_3$ 和 $[Y]_2O_3$。前一组元素包括钷及钷以前的元素，以后的元素属于后一组。在自然界，由于稀土元素性质相近，铈组元素矿物常含有钇组元素。相反，钇组元素矿物中常赋存铈组元素。

目前，稀土元素主要应用于两大方面：传统方面与高科技方面。在传统应用方面，由于稀土金属的高活泼性，能净化其他金属，被大量用于冶金工业。在冶炼钢铁中加入稀土氧化物可以去掉钢铁中的杂质（如砷、锑、铋等）。用稀土氧化物炼成的高强度低合金钢，可制造汽车部件，并可压成钢板、钢管，用于制造输油管及输气管。稀土具有优越的催化活性，在石油工业中被用做石油裂解的催化裂化剂以提高轻质油的产率。稀土还用做汽车尾气的催化净化剂、油漆催干剂、塑料热稳定剂，制造合成橡胶、人造羊毛、尼龙等化工产品。利用稀土元素的化学活性及其离子带色功能，在玻璃、陶瓷工业上用做玻璃澄清、抛光、染色、脱色和陶瓷颜料。我国首次将稀土用于农业，作为多元复合肥的微量元素，促进农业增产。

传统应用方面大多是利用铈组稀土元素，消费量约占稀土总消费量的 90%。

在高科技应用方面，由于稀土具特殊的电子结构，其各种能级电子跃迁产生特殊光谱。钇、铽、铕的氧化物被广泛用于彩色电视，各类显示系统的红色荧光体以及制造三基色荧光灯荧光粉。利用稀土特殊的磁性能制造各超级永磁铁，如钐钴永磁铁、钕铁硼永磁铁，在各类电机、核磁共振成像装置、磁悬浮列车以及其他光电子等高技术领域有着广泛的应用前景。镧玻璃被广泛用做各种透镜、镜头材料和光纤材料。铈玻璃被用做防辐射材料。钕玻璃及钇铝石榴石稀土化合物晶体是重要的极光材料。在电子工业上，添加氧化钕、氧化镧、氧化钇的各类陶瓷被用做各类电容器材料。稀土金属用于制造镍氢充电电池。在原子能工业上，氧化钇被用于制造核反应堆的控制棒。铈组稀土元素与铝、镁制成的轻量耐热合金被用于航空航天工业，以制造飞机、宇宙飞船、导弹、火箭等的零部件。稀土也用于超导材料和磁致伸缩材料，但这方面仍处于研究开发阶段。

目前，世界上已知的稀土矿物及其亚种约 150 种，含稀土元素而不构成独立矿物的，当远不止

此数。工业利用上较重要的铈组稀土矿物有独居石、氟碳铈矿、氟菱钙铈矿、铈铌钙钛矿、硅钛铈矿、绿层硅钛铈矿、易解石，钇组稀土矿物有磷钇矿、黑稀金矿、复稀金矿、钇易解石、淡红硅钇矿、硅铍钇矿。

## Cc001 独居石 monazite

【组成与结构】 [Ce]$PO_4$，理论化学成分[Ce]$_2O_3$ 69.73%，$P_2O_5$ 30.27%。我国广西姑婆山花岗岩中产出的独居石含[Ce]$_2O_3$ 56.62%，[Y]$_2O_3$ 3.52%，$P_2O_5$ 26.19%。矿物常含 Tn、U、[Y]、Zr、Ca 等杂质。富钍独居石是最重要的一个独居石亚种，是工业上提取钍的一种重要矿产资源。广东产出的一种富钍独居石($ThO_2$ 含量 41.40%)，被命名为网顶石。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 独居石常沿(001)发育成板状晶体，有时沿(010)呈针状晶体，少数呈柱状或锥状。解理沿(001)完全，沿(100)清楚，沿(010)不完全。贝状或不平坦状断口，硬度 5，相对密度 4.83～5.42。颜色褐色、黄绿色、棕黄色、棕红色、淡黄色、深黄色、橙黄色。条痕白色或浅黄红色。玻璃光泽，有时油脂光泽。透明至半透明。独居石难溶于 HCl 和 $HNO_3$，溶于 $H_2PO_4$ 和 $HClO_4$。矿物与硼砂和 NaF 烧珠球发荧光。矿物与 $Na_2CO_3$-硼砂混合熔成珠球，再溶于 HCl 中加 $Na_2O_2$ 产生铈的黄色沉淀。

【鉴别特征】 独居石颇似榍石。榍石多呈楔形，形态相近时两者可借光性区别。在晶形不完整时独居石易与磷钇矿混淆。磷钇矿难溶于 $HClO_4$，独居石十分钟可完全溶解。独居石晶体略带绿色色调，光泽较强，磷钇矿光泽较弱和，一般无绿色色调。两者易借光性区别。

【产状与产地】 独居石广泛产于碱性岩及有关的碳酸岩，酸性岩及有关的伟晶岩，云英岩，石英长石脉以及片岩、混合岩、片麻岩等片麻岩中。独居石性稳定，常沿河流被搬运至海滨形成海滨砂矿，与锆石、钛铁矿、金红石等共同产出。

产地有内蒙古白云鄂博、广西姑婆山、广东南山海、台湾西海岸。

## Cc002 氟碳铈矿 bastnaesite

【组成与结构】 $CeCO_3F$，常含 Th、Ca、[Y]、$H_2O$ 等杂质。随矿物中杂质含量增高出现钍氟碳铈矿、钇氟碳铈矿、羟氟碳铈矿等亚种。产于内蒙古白云鄂博矿石中的氟碳铈矿含[Ce]$_2O_3$ 74.89%；$CO_2$ 17.31%；F 7.01%。氟碳铈矿属三方晶系。

【物化性质】 氟碳铈矿通常呈柱状，沿(001)板状晶体产出。沿(001)解理清楚，断口参错状，性脆。硬度 4.3～4.5，相对密度 4.3～4.7。颜色有红褐色、浅褐色、棕色、黄色、浅绿色等。条痕无色。油脂光泽或玻璃光泽。矿物溶于 HCl，产生气泡。

【鉴别特征】 氟碳铈矿易与方解石、独居石混淆，依其颜色和相对密度可与方解石区别，依其光泽较弱和无放射性可与独居石区别。氟碳铈矿与独居石的光性明显不同可资区别。

【产状与产地】 氟碳铈矿最富集的岩石是正长岩、碳酸岩、碱性花岗岩、碱性伟晶岩及有关的碳酸盐脉、石英长石脉。在这些岩石中常与方解石、萤石、重晶石、碱性角闪石、碱性辉石等共生。

产地有内蒙古白云鄂博，四川冕宁牦牛坪。

## Cc003 氟菱钙铈矿 parisite

【别名】 氟碳钙铈矿。

【组成与结构】 [Ce]$_2Ca(CO_3)_3F_2$，常含 [Y]、Th。亚种有钇氟菱钙铈矿。我国内蒙古白云鄂博产氟菱钙铈矿含 [Ce]$_2O_3$ 63.37%，CaO 10.10%，$CO_2$ 21.11%，F 5.74%。矿物属三方晶系。

【物化性质】 氟菱钙铈矿晶体呈柱状、板状、桶状，有时呈矛状，常呈粒状或不规则状产出。解理沿 (001) 完全，断口贝状。硬度 4.2～4.6，相对密度 4.2～4.5。颜色黄褐色、红褐色、棕色，条

痕黄白色至白色。玻璃光泽到油脂光泽。透明到半透明。弱磁性，具放射性。矿物易溶于 HCl、$H_2SO_4$、$HNO_3$ 等无机酸中。

【鉴别特征】 氟菱钙铈矿易与氟碳铈矿混淆，可借氟菱钙铈矿的桶状、矛状晶形与氟碳铈矿分开。利用光性折射率两者可准确区别。

【产状与产地】 氟菱钙铈矿主要产碱性正长岩中，霞石正长岩及钠长石化花岗岩中也有产出。我国白云鄂博矿床铁矿体和霓石岩中的氟菱钙铈矿与萤石、重晶石、石英、易解石、霓石等共生。

产地有内蒙古白云鄂博，四川冕宁牦牛坪。

## Cc004 铈铌钙钛矿 loparite

【组成与结构】 $(Na,Ce,Ca)(TiNb)O_3$。辽宁凤城异性霞石正长岩的矿物含 $[Ce]_2O_3$ 28.71%；$Nb_2O_5$ 9.49%；$TiO_2$ 38.63%；CaO 6.12%；$Na_2O$ 5.86%。矿物常含 Th、$H_2O$ 等杂质，亚种有钍铈铌钙钛矿、富铌铈铌钙钛矿、变铈铌钙钛矿等。铈铌钙钛矿族矿物属等轴晶系。

【物化性质】 矿物晶体呈立方体、八面体、菱形十二面体。依（111）星状双晶或穿插双晶普遍。晶面常有晶纹。常呈粒状产出。解理沿（100）不完善，通常无解理。断口不平坦及贝状，性脆。硬度 5.8～6.3，相对密度 4.58～4.89。颜色黑色、灰褐色、棕褐色，条痕黑褐色、棕褐色。半金属光泽至金属光泽，断口呈沥青光泽。矿物不溶于 HCl、$HNO_3$ 和 $H_2SO_4$，在 HF 中分解。吹管下矿物不熔，与硫酸氢钾混合后易熔。

【鉴别特征】 具星状双晶的铈铌钙钛矿容易与其他矿物区别。按晶形、颜色和光泽与方钍石相似，但铈铌钙钛矿放射性较弱。与铌钙钛矿和烧绿石的区别除星状双晶外，矿物条痕色较暗。

【产状与产地】 铈铌钙钛矿族矿物产碱性正长岩、霞石正长岩等碱性岩及其伟晶岩中，与霓石、霞石、长石、闪叶石、异性石等共生。有时与钙钛矿和斜锆石共生。

产地有辽宁凤城、辽宁赛马。

## Cc005 硅钛铈矿 chevkinite

【组成与结构】 $[Ce]_4(Fe^{2+}Mg)_2(Fe^{3+}Ti)_3[Si_2O_7]_2O_8$。内蒙古白云鄂博产出的矿物含 $[Ce]_2O_3$ 45.82%；$TiO_2$ 17.62%；FeO 8.27%；$Fe_2O_3$ 3.82%；MgO 0.28%；$SiO_2$ 18.16%。矿物常含 Ca、Sr、Th、Nb 等杂质。矿物亚种有钍硅钛铈矿、铌硅钛铈矿、富钛硅钛铈矿、锶硅钛铈矿以及赛马矿等。赛马矿以发现于我国辽宁赛马而得名，矿物富含 Sr、Zr、Nb。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 硅钛铈矿常呈板状、短柱状、粒状，有时呈不规则块状。无解理，断口贝状，性脆。具电磁性及放射性，常呈似晶体产出。硬度 5.5～6，相对密度 4.3～4.67。颜色黑色、黑褐色，条痕褐色。树脂光泽到沥青光泽。不透明到半透明。硅钛铈矿溶于 HCl、$HNO_3$ 及 $H_2SO_4$。

【鉴别特征】 硅钛铈矿易与褐帘石混淆，两者可借相对密度及折射率区别。

【产状与产地】 硅钛铈矿族矿物广泛见于碱性花岗岩、正长岩及其伟晶岩中，也常见于与上述岩石有关的碳酸盐脉和石英脉中，与霓石、褐帘石、榍石、锆石、钍石以及方解石、石英、硅镁石等共生。

产地有内蒙古白云鄂博，四川米易，四川略枯等。

## Cc006 易解石 aeschynite

【组成与结构】 Ce、Y、Th$(Ti, Nb)_2O_6$，常含 Ca、Mg、Fe、Al、U、Ta、$H_2O$ 等杂质。易解石族矿物包括易解石（又名铈易解石）、钇易解石、铌易解石、钽易解石、钛易解石、钍易解石、铝易解石。其中除富钇钽稀土元素的钇易解石外，其他各亚种矿物均富铈钽稀土元素。内蒙古产铈易解石，又称震旦矿，含 $Ce_2O_3$ 18.94%，$Y_2O_3$ 5.11%，$ThO_2$ 8.20%，$UO_3$ 7.22%，$TiO_2$

24.89%，$Nb_2O_5$ 24.68%。江西产钇易解石含 $Y_2O_3$ 29.91%，$Ce_2O_3$ 2.50%，$TiO_2$ 45.25%，$Nb_2O_5$ 5.57%，$Ta_2O_5$ 2.25%，$ThO_2$ 0.99%。易解石族矿物属斜方晶系。

【物化性质】 易解石晶形一般为柱状、长柱状、薄板状以及针状，集合体呈放射状或块状。晶体横切面为呈 52°及 128°的菱形。在（110）晶面上有纵纹，表面粗糙不平。解理沿（010），断口不平坦至细贝状，性脆，具弱电磁性。硬度 4.5～6.5，相对密度 5.0～5.4。颜色黑色、黑褐色、黄色、浅棕色、红褐色、紫红色。条痕黑褐色、黄色、红褐色。金刚光泽或油脂光泽。呈似晶体产出的易解石具半金属光泽，有的甚至无光泽。矿物不透明到半透明，不溶于 HCl 和 $HNO_3$，细粉末部分溶于沸腾的浓硫酸中。矿物与 $KHSO_4$ 共熔，共熔体的硫酸溶液加 $H_2O_2$ 出现黄色或橙黄色的 Ti 反应，加 Th 试剂出现樱红色 Th 反应，加丹宁出现红褐色沉淀，显示 Nb 反应。

【鉴别特征】 易解石与铌钇矿、褐钇铌矿、褐帘石、铌铁矿等不易区别。与铌钇矿的区别是易解石粉末颜色较浅，有明显的 Ti 反应。与褐钇铌矿的区别是晶形、颜色不同，大部分褐钇铌矿不具 Ti 的反应。与褐帘石和铌铁矿可用光性区别，必要时可采用 X 射线粉晶分析加以区别。

【产地与产状】 易解石族矿物广泛产于花岗岩、花岗伟晶岩、霞石正长岩、云霞正长岩以及碳酸岩等岩石及有关的热液脉中。在花岗岩及花岗伟晶岩中常与锆石、钍石、磷钇矿、褐帘石、磷灰石、电气石、萤石、黄玉等共生。内蒙古白云鄂博铁矿石及霓石岩等岩石中产出铈易解石、钕易解石及铌易解石，与氟碳铈矿、独居石、钠闪石、霓石、磁铁矿、白云石、萤石等共生。

产地有内蒙古白云鄂博、广西姑婆山、江西寻乌、内蒙古巴尔哲及四川冕宁牦牛坪等。

## Cc007 绿层硅铈钛矿 rinkolite

【组成与结构】 $CeNa_2Ca_4Ti[Si_2O_7]OF_3$，常含 Nb、Th、Fe、Al、$H_2O$ 等杂质，亚种有层硅铈钛矿、水绿层硅铈钛矿、水层硅铈钛矿、钙层硅铈钛矿以及似晶体化绿层硅铈钛矿等。辽宁赛马产绿层硅铈钛矿及层硅铈钛矿，前者含 $[Ce]_2O_3$ 16.68%，后者含 $[Ce]_2O_3$ 18.04%。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 矿物晶形呈沿 *c* 轴延长的长棱柱状，有时呈平行（100）的扁平板状，亦呈块状，柱面上有条纹。聚片双晶、双晶沿（100）。平行（100）解理清楚，贝状断口，性脆。硬度 4～5，相对密度 3.2～3.4。含水亚种的相对密度小。半透明。颜色黄绿色、褐色、红棕色。玻璃光泽或油脂光泽。常产生似晶体化及水化，光泽减弱甚至无光泽。

【鉴别特征】 以其晶形、颜色以及光性等与锆针钠钙石等类似矿物区别。

【产状与产地】 绿层硅铈钛矿族矿物广泛产于霞石正长岩、霓霞正长岩及其伟晶岩中，与微斜长石、霓石、霞石、异性石等共生。辽宁赛马霓霞正长岩中产出的绿层硅铈钛矿，作为一种造岩矿物，含量很大，被考虑作为开发铀时可附带回收的铈组稀土工业矿物。

产地有辽宁赛马、河北阳原。

## Cc008 磷钇矿 xenotime

【组成与结构】 $YPO_4$，理论化学成分 $Y_2O_3$ 61.40%，$P_2O_5$ 38.60%。常含 Ce、U、Th、Zr、Ca、Si、Al、Fe 等杂质。实际矿物化学分析中常见 $[Y]_2O_3$ 含量大于理论成分的情况，如江西西华山花岗岩中产出的磷钇矿含 $Y_2O_3$ 62.72%，$P_2O_5$ 33.01%，内蒙古花岗伟晶岩中的矿物含 $Y_2O_3$ 63.06%，$P_2O_5$ 34.32%。矿物属四方晶系。

【物化性质】 磷钇矿晶体呈四方双锥，四方柱与四方双锥的聚形，有时呈粒状。晶形与锆石相似且常与锆石呈连晶。解理平行（110）清楚，断口不平坦，有时为贝状。性脆。具放射性及弱电磁性。硬度 4～5，相对密度 4.4～4.8。颜色浅褐色、棕黄色、白色、红色，少数呈黄绿色及绿色。条痕一般无色或浅黄色。玻璃光泽或油脂光泽。矿物溶于浓的热 $H_2SO_4$ 及 $H_3PO_4$。与碳酸钠-硼砂混熔，再用 1∶1 的 $HNO_3$ 溶解珠球，加入少量钼酸铵，生成浅黄色不规则放射状的磷钼酸铵结晶。此方法同样适用于独居石。

【鉴别特征】 磷钇矿易与锆石混淆。区别在于锆石常呈长柱状，磷钇矿多呈双锥状。磷钇矿的硬度较小，光泽较弱，具电磁性可与锆石区别。粒状磷钇矿同独居石相似，以不发荧光，光泽较弱，没有铈的反应相区别。

【产状与产地】 磷钇矿主要产于花岗岩、花岗伟晶岩、碱性花岗岩及碱性花岗伟晶岩中，与锆石、独居石、褐钇铌矿、硅铍钇矿、黑稀金矿、铌铁矿等共生。在片麻岩、云母石英片岩、千枚岩以及钨锡铅锌矿脉中也有产出。磷钇矿也见于砂矿内，与钛铁矿、独居石、磁铁矿、金红石等共同产出。

我国磷钇矿的原生矿产地有广西姑婆山、江西西华山以及内蒙古等地。产磷钇矿的砂矿有广东南山海及广东台山等地。

## Cc009 褐帘石 orthite

【别名】 allanite

【组成与结构】 $(Ca,Ce)_2(AlFe)_3[SiO_4][Si_2O_7]O(OH)$。矿物化学成分变化很大，常含 Ce、Y、Th、Sc、Be、Mg、Mn、P、$H_2O$ 等。矿物中 $Ce_2O_3+Y_2O_3$ 最大含量达 29%，通常为 20%～30%。依杂质元素含量不同见有铈褐帘石、钇褐帘石、钍褐帘石、锰褐帘石、镁褐帘石、铍褐帘石、磷褐帘石及水褐帘石等亚种。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 褐帘石常呈板状，短棱柱状，晶面不平坦，常沿（010）晶面呈阶梯状并有粗的晶纹。有时呈不规则粒状。常与绿帘石互嵌呈连晶。聚片双晶常见。通常无解理，偶尔有沿（001）的解理，贝状断口。性脆。硬度 5.5～6，相对密度 3.5～4.2。颜色褐色、黑褐色、红褐色，条痕灰绿色或浅红褐色。有的褐帘石外部为浅棕色或浅黄褐色，内部为黑褐色，显示不同颜色的带。晶体表面光泽暗淡，断口呈强沥青光泽。矿物具放射性，呈似晶体产出时具均质性。褐帘石溶于 $H_3PO_4$ 及浓 HCl 并析出凝胶状 $SiO_2$。与 NaF 烧珠球发荧光。在阴极射线下有时发中等强度的浅蓝色光。

【鉴别特征】 矿物周围有绿帘石边是褐帘石的重要鉴别特征。另外，褐帘石易与褐色角闪石混淆，角闪石解理发育，加压呈针状可资区别。褐帘石与硅铍钇矿可借光性区别。与大多数铌钽矿物的区别是褐帘石相对密度小，光泽较弱，粉末颜色浅，没有 Nb、Ta 反应。

【产状与产地】 褐帘石分布很广，花岗岩、花岗闪长岩、正长岩、闪长岩以及辉长岩中均有产出。富集的褐帘石见于正长伟晶岩、花岗伟晶岩及矽卡岩中，与磷钇矿、黑稀金矿、锆石、独居石、沥青铀矿、磁铁矿等共生。

产地有内蒙古白云鄂博、新疆哈图、四川米易、四川太和等地。

## Cc010 黑稀金矿-复稀金矿 euxenite-polycrase

【组成与结构】 黑稀金矿-复稀金矿 $Y(Nb,Ta,Ti)_2O_6$-$Y(Ti,Nb,Ta)_2O_6$，当矿物成分中(Nb+Ta)>Ti 时称为黑稀金矿，当 (Nb+Ta)<Ti 时称为复稀金矿。黑稀金矿主要化学成分为：$Y_2O_3$ 18.38%；$Nb_2O_5$ 33.70%；$UO_2$ 16.40%；$TiO_2$ 19.10%，少量元素有 Fe、Ca、Al、Th、$H_2O$ 等。复稀金矿主要化学成分为：$Y_2O_3$ 28.76%；$TiO_2$ 32.91%；$Nb_2O_5$ 17.99%；$ThO_2$ 7.69%，少量元素有 Ca、Mg、Mn、Fe、Pb、U、Sn、$H_2O$ 等。富钽的矿物亚种称为钽黑稀金矿和钽复稀金矿。矿物属斜方晶系。

【物化性质】 黑稀金矿-复稀金矿晶体呈柱状、短柱状或扁平柱状，有时沿（010）呈板状，常呈不规则粒状，集合体呈致密块状。依（101）、（201）和（013）形成双晶。无解理，断口不平坦状至贝状，半透明至不透明，性脆，具弱电磁性。硬度 5.5～6.5，相对密度 4.30～5.87。矿物颜色褐色、暗褐色、黑绿色，条痕灰黄色、灰褐色。沥青光泽，有时金刚光泽。矿物不溶于 HCl、$HNO_3$，溶于 $H_2SO_4$，易溶于 HF。用 NaF 烧珠球在紫外线下发黄绿色荧光。矿物具放射性，常呈似晶体产出，有时在一个矿物颗粒上部分为结晶质，部分为似晶体化的均质体。

【鉴别特征】 不规则粒状的黑稀金矿和复稀金矿与铌铁矿、铌钇矿和钛铀矿相似。与铌铁矿的区别是常呈似晶体产出。与铌钇矿的区别是具明显的 Ti 反应。与钛铀矿的区别是放射性较弱，有铌的反应。黑稀金矿-复稀金矿与易解石相似，鉴别比较困难，需采用 X 射线粉晶分析，化学分析等特殊方法鉴别。

【产状与产地】 黑稀金矿和复稀金矿常产于花岗岩及花岗伟晶岩中，与锆石、独居石、褐帘石、钍石、铌钇矿、铌铁矿、褐钇铌矿等共生。矿物大量见于碱性正长岩及其有关的伟晶岩和钠长岩中，与碱性角闪石、钠长石、星叶石、锆石、钛铁矿、磷钇矿等共生。产地有内蒙古白云鄂博、甘肃桃花拉山、内蒙古巴尔哲等。

### Cc011 硅铍钇矿 gadolinite

【组成与结构】 $Y_2FeBe_2[SiO_4]_2O_2$。内蒙古花岗伟晶岩中产出的硅铍钇矿含 $Y_2O_3$ 38.46%，$[Ce]_2O_3$ 13.05%，BeO 9.81%，FeO 7.68%，$Fe_2O_3$ 3.18%，$SiO_2$ 23.41%。矿物常含 Al、Mn、Ca、Th、Ti 等杂质，矿物亚种有兴安石、铈硅铍钇矿和钙硅铍钇矿等。兴安石见于内蒙古哲里木盟碱性花岗岩内，由于位处大兴安岭命名兴安石，矿物不含 Fe，矿物分子式 $Y_2Be_2[SiO_4](OH)_2$。矿物属单斜晶系。

【物化性质】 晶体呈短柱状，有时为扁平板状，多呈粒状及不规则块状集合体产出。无解理。贝状断口，间或刺状断口。半透明至透明。硬度 6.5～7，相对密度 4.0～4.65。颜色黑色、黑绿色、褐绿色，少数浅绿色，条痕浅灰绿色。玻璃光泽，有时油脂光泽。具弱电磁性及放射性。矿物溶于 HCl，析出硅胶。

【鉴别特征】 不规则形状硅铍钇矿易与褐帘石相混，但后者光泽较强，无 Be 的反应。浅色硅铍钇矿常与绿柱石共同产出，可借光性区别。硅铍钇矿与辉石相似，但辉石解理发育，相对密度较小。

【产状与产地】 硅铍钇矿主要见于花岗岩、花岗伟晶岩、碱性花岗岩及碱性花岗伟晶岩中，与褐帘石、褐钇铌矿、磷钇矿、黑稀金矿以及绿柱石等共生。

产地有内蒙古哲盟，江西西华山，福建行洛坑等。

## 二、钪

钪具有相对密度小（几乎和铝相等），熔点高的性质。氮化钪（ScN）的熔点为 2900℃，并具有高电导率，在电子工业和无线电工业中得到广泛应用。钪是热核反应堆的材料之一。钪可以激发乙烷的磷光，加强氧化镁的蓝光。钪钠灯与高压汞灯相比具有光效高，光色正等优点，适用于拍摄电影和广场照明。在冶金工业中钪可作镍铬合金的附加剂，用以生产高耐热合金。钪是潜水艇探测板的重要原料。钪的燃烧热高达 5000℃，这一特性可用于航天技术。$Sc^{46}$ 可用于各种目的的放射性追踪。医药上有时也用钪。

钪主要来源于钪钇石矿物。在挪威、马达加斯加、莫桑鼻给等国家和地区都曾把钪钇石作为钪原料开发。美国人曾从磷铝石矿中回收过钪。钪钇石是自然界少见矿物，资源量有限，国内主要是从黑钨矿、钨锰矿、钨铁矿以及锡石精矿中回收钪。黑钨矿和锡石含 $Sc_2O_3$ 最高可达 0.4% 和 0.2%。对含黑钨矿的石英脉及云英岩矿床，工业上要求黑钨矿钪含量 0.02%～0.09%。对于含锡石硫化物矿床，工业上要求锡石含钪量为 0.02%～0.04%。

### Cc012 钪钇石 thortveitite

【组成与结构】 $(Sc、Y)_2Si_2O_7$。矿物理论成分 $Sc_2O_3$ 53.5%，$SiO_2$ 46.5%。经矿物实测得出其中 $Y_2O_3$ 17.7%。Y 在矿物中类质同象置换 Sc。单斜晶系。

【物化性质】 晶体沿（110）呈长板柱状，常呈柱状及锥状，偶见到聚片双晶，双晶面平行（110），解理沿（110）清楚，断口不平坦或细贝状，性脆易碎，硬度 6～7，相对密度 3.6，半透明到透明，

颜色灰绿色，条痕浅灰绿色，在强烈灼烧时颜色从灰绿色变至红色，玻璃光泽。除存在放射性矿物包裹体外，钪钇石多新鲜，无变化或风化产物。

【鉴别特征】 钪钇石经 HF 浸蚀，在（110）面上显露不对称三角形，可资鉴别。

【产状与产地】 钪钇石产于花岗伟晶岩中，多分布在石英长石块体带边缘，与铌金红石、独居石、绿柱石、黑稀金矿、褐钇铌矿、黑云母、白云母等共生。钪钇石也见于细晶岩中。含钪的黑钨矿和锡石多见于黑钨矿石英脉及云英岩、锡石云英岩及硫化物矿床中。产地在我国有江西漂塘，江西于都盘古山，浙江千亩田等。

# Cd 分散元素（镓、铟、锗、铊、镉、铼、硒、碲）

## 一、镓

镓是银白色软金属，是熔点低（29.78℃）、沸点高（2403℃）、液态范围最大的金属。镓在常温空气中表面覆盖一层氧化膜而保持稳定。镓的主要用途是制备新型半导体材料。在微波器件方面，砷化镓用以制造光电器，是最有希望的半导体材料。镓砷磷和镓铝砷可作固体激光器材料，用于光导纤维通讯系统，也可用做太阳能电池的材料及制作大规模高速集成电路。钇镓石榴石用于磁泡存储器。钒镓化合物（$V_3Ga$）可用做超导材料。镓具有很高的反射能力，可把它挤压在两块加热的玻璃板间制成镜子。镓制造低熔点合金可用于防火信号和熔断器。镓能提高某些合金的硬度和强度，并能提高镁合金的耐腐蚀能力。镓化合物可用于分析化学、医药和有机合成中的催化剂。镓在荧光材料、核反应堆的热交换介质、特殊温度计、催化剂、焊料、镶牙及补牙等方面也有广泛用途。据最近报载有一种新型的镓化物——氮化镓，它用于制造发光二极管，能把给它的所有能量转化为光。氮化镓灯泡比传统灯泡寿命至少长 100 倍，能耗仅为传统灯泡的 10%。

工业上没有直接使用镓矿物。镓是从锌矿石和铝矿石冶炼过程中及煤化烟尘中作为副产品回收。闪锌矿中镓的含量可达 0.5%，其中是否有呈固溶体分解物存在的灰镓矿，目前尚不清楚。主要的镓矿物有灰镓矿和水镓石。

### Cd001 镓矿物

【别名】 灰镓矿 gallite；水镓石 sohngeite

【组成与结构】 灰镓矿 $CuGaS_2$，Ga 含量 35.4%，四方晶系。水镓石 $Ga(OH)_3$，$Ga_2O_3$ 含量 66.8%，斜方晶系。

【物化性质】 灰镓矿呈单个的细颗粒或细粒集合体产出。灰色，条痕灰黑色，金属光泽。见到沿（112）和（111）的叶片状双晶。硬度 3～3.5，相对密度 4.2。水镓石的硬度 4～4.5，相对密度 3.84。

【鉴别特征】 灰镓矿可根据共生组合，在闪锌矿中呈片状或薄板状以资鉴别。准确鉴别需借助化学分析。

【产状与产地】 灰镓矿产于 Pb、Zn 硫化物矿床中与闪锌矿、锗石、黄铜矿等共生。水镓石为灰镓矿的氧化产物。灰镓矿和水镓石见于西南非洲的楚梅布（Tsumeb）。国内镓的产地有青海锡铁山，辽宁郭家岭，广东凡口。

## 二、铟

铟是银白色金属，可塑性强，有延展性，可压成极薄的铟片。铟的熔点 156.61℃，沸点 2080℃。铟是制造半导体、焊料、整流器、热电偶的重要材料，广泛用于无线电工业。纯度为 99.97%的铟是制作高速航空发动机银铅铟轴承的材料。低熔点合金如伍德合金中每加 1%的铟可

降低熔点 1.45℃，当加到 19.1%时熔点可降到 47℃。铟与锡的合金（各 50%）可作真空密封之用，能使玻璃与玻璃或玻璃与金属粘接。金、钯、银、铜与铟的合金常用来制作假牙和装饰品。锑化铟可用做红外线检波器的材料。磷化铟可用在制作微波振荡器上。

目前工业上大多未直接从铟矿物中提取铟，铟主要是从赤铁矿，铅锌矿及钨锡矿冶炼过程中作为副产品回收的，主要来源于闪锌矿。重要的铟矿物有硫铟铜矿、硫铟铁矿、硫铟铜锌矿、水铟矿。

## Cd002 铟矿物

【别名】 硫铟铜矿 roquesite；硫铟铁矿 indite；硫铟铜锌矿 sakuraiite；水铟矿 dzhalindite

【组成与结构】 硫铟铜矿 $CuInS_2$，矿物理论成分 Cu 26.2%，In 47.4%，S 2.64%，四方晶系；硫铟铁矿 $FeIn_2S_4$，矿物光谱定量分析，Fe 8.84%，In 59.30%，S 31.85%，等轴晶系；硫铟铜锌矿 $(Cu,Zn,Fe)_3(In\ Sn)S_4$，矿物电子探针分析 Cu 23%±2%，Zn 10.1%±1%，Fe 9%±1%，Ag 4%±0.5%，In 17%±2%，Sn 9%±1%，四方晶系；水铟矿 $In(OH)_3$，矿物电子探针分析 In 61.59%，Sn 7.36%，Fe 1.74%，Zn 1.65%，等轴晶系。

【物化性质】 硫铟铜矿的显微硬度 241kg/mm²。见于光片中，在斑铜矿里显片状的不规则包体。在浓硝酸浸蚀下，呈现清楚的与黄铜矿相类似的聚片双晶；硫铟铁矿，粒状、细粒状。硬度 5，显微硬度 309kg/mm²，相对密度 4.67。铁黑色，金属光泽，不透明。小于 0.1mm 的颗粒在浓 $H_2SO_4$ 中几分钟完全溶解，HCl 无浸蚀能力；硫铟铜锌矿，块状，无解理，硬度 4，相对密度 4.45。浅绿钢灰色，条痕为带橄榄绿色调的铅灰色，金属光泽；水铟矿，粒状和碎片状，粒径通常 0.01～0.001mm。硬度 4.5～5，相对密度 4.34。白色微带黄色，透明至半透明。溶于 HCl、$H_2SO_4$ 和 $HNO_3$。

【鉴别特征】 主要依据化学分析、电子探针分析以及 X 射线粉晶分析鉴别。

【产状与产地】 硫铟铜矿见于锡石硫化物矿床内，多为表生氧化产物，与氧化铁伴生。硫铟铁矿见于含铟锡石石英脉中，与石英、锡石，有时与毒砂、黄铁矿共生，在表生条件下常转变为水铟矿，与褐铁矿伴生。硫铟铜锌矿产石英方解石脉中，与闪锌矿、黝锡矿、黄铜矿、锡石等共生。水铟矿产锡石硫化物矿床内，常为硫铟铁矿的水化产物。铟矿物的产地在国内有湖南黄沙坪，甘肃厂坝。

# 三、锗

锗是银灰色性脆的金属，熔点 937.4℃，沸点 2830℃，相对密度 5.32。锗主要用于电子工业中，用来生产低功率半导体二极管三极管。锗在红外器件，γ 辐射探测器方面有着新的用途，金属锗能让 2～15μm 的红外线通过，和玻璃一样容易抛光，能有效地抵制大气的腐蚀，可用以制造红外窗口、三棱镜和红外光学透镜材料。锗还与铌形成化合物，用做超导材料。二氧化锗是聚合反应的催化剂。用氧化锗制造的玻璃有较高的折射率和色散性能，可用于广角照相镜头和显微镜镜头。在空间技术上可用于保护超灵敏的红外探测器。锗还可用于制造医药。

锗除以矿物形式存在于自然界外，也以元素类质同象形式分散于闪锌矿、硫砷铜矿等矿物中。煤也常含有元素锗。目前工业利用的主要是元素锗。工业上回收锗的矿石主要是铅锌矿石、赤铁矿矿石及煤等。独立的锗矿物主要有锗石、灰锗矿、硫铜锗矿、硫银锗矿等。锗石可用于提取锗。

## Cd003 锗矿物

【别名】 锗石 germanite；灰锗矿 briartite；硫铜锗矿 renierite；硫银锗矿 argyrodite

【组成与结构】 锗石 $Cu_3FeGeS_4$，通常混入有 Zn、Ga、As 等杂质。已测定矿物中 Ge 的最高含量为 10.19%，矿物属等轴晶系；灰锗矿 $Cu_2FeZnGeS_4$，已测定矿物中 Ge 的最高含量为 16.9%，四方晶系；硫铜锗矿 $Cu_6Fe_2GeS_8$，常混有 Zn、Ga、Pb、As、Sn 等杂质，矿物中 Ge 的最高含量为

7.75%，四方晶系；硫银锗矿 $Ag_8GeS_6$，矿物中测得 Ge 的含量为 6.93%，斜方晶系。

【物化性质】 锗石呈致密块状或粒状集合体产出，无解理，性脆，硬度 4，相对密度 4.46～4.59。暗蔷薇灰色，条痕暗灰色至黑色，金属光泽，不透明。无磁性或具弱磁性。不发光。受 $HNO_3+FeCl_3$ 浸蚀染成棕色。在王水中缓慢染成浅褐色。矿物难熔，在玻璃管中烧红形成升华物；灰锗矿，粒状，硬度 4.5，相对密度 4.4；硫铜锗矿呈浑圆粒状或叶片状包裹在闪锌矿等硫化物中，也常呈细粒集合体产出。无解理，性脆。硬度 4.5，相对密度 4.3～4.5。古铜色，稍带黄色，金属光泽，不透明。强磁性并具有极性；硫银锗矿具有等轴晶系晶体的外形，呈八面体，菱形十二面体或两者的聚形。集合体呈块状或皮壳状，双晶（111）常见，断口贝状到不平坦。性脆。硬度 2.5～3，相对密度 6.1～6.3。新鲜面为带浅红色调的钢灰色，在空气中迅速变为带紫或浅蓝色的黑色，条痕浅灰色。金属光泽，不透明。

【鉴别特征】 锗矿物多呈细粒矿物或矿物包裹体产出，肉眼鉴别较难，需借助 X 射线粉晶分析及光性鉴别。

【产状与产地】 锗矿物多产于铜、铅、锌、砷、银等的硫化物矿床内。共生矿物有闪锌矿、方铅矿、砷黝铜矿、黄铜矿、斑铜矿、硫砷铜矿、毒砂及辉银矿等。产地有青海锡铁山，安徽铜陵。

## 四、铊

铊金属呈蓝白色到银白色，具延展性，熔点 303℃，沸点 1457℃。铊盐具有毒性。在许多金属中加入适量的铊能大大改善金属性能。铊可以改进不锈钢的力学性能，增加铅的硬度。铅铊合金有很好的抗腐蚀性，很高的导电、热导率。铊与铝、锌或铅、锡的合金可以增加轴承的耐磨性。这些特性适于在航天技术上使用。炼铝材料中加入铊可以延长炉子的寿命。铊与铟、汞、金一起用于陶瓷及做半导体的焊料。在电子工业中，铊用于制造光电管及爆破表，感知红外射线。闪光光谱仪的主要部件中用上铊。在阴极管中使用硒铊合金可以改进整流管的性能。铊也用于电阻和超导体，钨丝 X 射线荧光放射线以及生产照明磷光物质。水银蒸气灯中加入铊，可以增加使用寿命及亮度。含铊 8.5%的汞铊合金，其冰点为－60℃，比汞的冰点低 20℃，可用于低温仪表。铊还用于炸药、医药、农药等方面。由于铊盐的巨毒性，影响了它的使用。工业上铊主要从冶炼有色金属硫化矿的烟尘中作为副产品回收。主要的铊矿物如下。

### Cd004　铊矿物

【别名】 红铊矿 lorandite；硒铊银铜矿 crookesite；硫砷锑铊矿 vrbaite；锑铊铜矿 cuprostibite；皮罗矿 pierrotite；硫铁铊矿 raguinite；硫铊铜矿 chalcothallite；皮科保尔矿 picotpaulite；褐铊矿 avicennite

【组成与结构】 红铊矿 $TlA_2S_2$，理论成分为 Tl 59.46%，As 21.87%，S 18.67%，单斜晶系；硒铊银铜矿 $(CuTlAg)_2Se$，化学分析结果为 Cu 46.11%，Ag 1.44%，Tl 18.55%，Se 33.27%，Fe 0.63%，四方晶系；硫砷锑铊矿 $Tl(AsSb)_3S_5$，理论成分为 Tl 32.15%，Sb 18.94%，As 23.64%，S 25.27%，斜方晶系；锑铊铜矿 $Cu_2(Sb\ Tl)$，电子探针分析结果 Cu 53.3%，Sb 42.0%，Tl 3.5%，Ag 0.1%，S 0.27%，四方晶系；皮罗矿 $Tl_2(Sb,As)_{10}S_{17}$，电子探针分析结果为 Tl 19.9%，Sb 44.9%，As 8.8%，S 26.4%，斜方晶系；硫铁铊矿 $TlFeS_2$，理论成分为 Tl 63.01%，Fe 17.22%，S 19.77%，斜方晶系；硫铊铜矿 $Cu_2TlS_2$，化学分析结果为 Tl 38.07%，Cu 40.58%，Ag 0.19%，Fe 3.79%，Sb 3.93%，S 12.06%，Pb 0.13%；皮科保尔矿 $(Tl,Pb)Fe_2S_3$，电子探针分析结果为 Tl 46.8%，Pb 2.8%，Fe 28.6%，S 24.1%，斜方晶系；褐铊矿 $Tl_2O_3$，微量化学分析结果含 Tl 79.52%，等轴晶系。

【物化性质】 红铊矿，可考虑作为铊矿石开发的矿物。晶体呈短柱状、板状，解理（100）完全，（001）中等，具挠性，受微压分裂成解理片和纤维。硬度 2～2.5，相对密度 5.53。洋红色，表面常为暗铅灰色，条痕暗桃红色。半金属光泽至金属光泽，透明至半透明。矿物溶于 $HNO_3$ 并析出

硫。吹管焰下易熔，火焰染成祖母绿色，易挥发；硒铊银铜矿，呈致密块状或浑圆粒状产出，硬度2～3，相对密度6.9，铅灰色，金属光泽，性脆，不透明。$HNO_3$作用不起泡，变成褐色。吹管焰下易熔，显绿黑色，染火焰呈绿色；硫砷锑铊矿，晶体呈薄板状或锥状，集合体呈簇状。解理(010)完全，断口贝状到不平坦，性脆，硬度3.5，相对密度5.3，带浅蓝色调的暗灰黑色，薄碎片呈暗红色，半透明，半金属光泽到金属光泽；锑铊铜矿，块状或粒状集合体，具一组解理，断口参差状，相对密度8.42，钢灰色，金属光泽；皮罗矿，集合体块状产出，硬度3.5，相对密度4.97，浅灰黑色，金属光泽；硫铁铊矿，呈假六方板状或纤维束状产出，相对密度6.4，古铜色；硫铊铜矿，呈薄片状集合体产出，硬度2～2.5，相对密度6.6，灰色到黑色，条痕黑色，金属光泽；皮科保尔矿，假六方晶体，常见依(120)穿插双晶，硬度1～2，相对密度5.2；褐铊矿，晶体细小，一般0.1～0.01mm，呈立方体外形，有时具八面体晶面。解理不明显，断口不平坦，性脆，硬度3～5，相对密度10.2，颜色为带褐灰的黑色，条痕棕黑色，强金属光泽，不透明。溶于$HNO_3$和HCl，在矿物表面覆盖一层浅黄褐色薄膜。

【鉴别特征】 铊矿物多细小，肉眼鉴别较难，易行的鉴别方法是光学方法及微化反应。

【产状与产地】 铊矿物多见于低温热液矿床中与雄黄、雌黄、辉锑矿、黄铁矿等共生或伴生。褐铊矿见于赤铁矿-方解石脉中，与褐铁矿、黏土矿物共生。铊元素常以类质同象置换K的方式赋存在花岗伟晶岩或气成热液脉的钾长石或云母中。铊元素也以分散形式赋存在金属硫化物矿床内。工业上铊主要从冶炼金属硫化物时作为副产品顺便回收。

## 五、镉

金属镉呈银白色，性柔软，熔点321℃，沸点765℃，相对密度8.65。镉可以制造轴承合金、特殊易熔合金、耐磨合金、焊锡，镉对盐水和碱液有良好的抗蚀性能，可用做钢构件的电镀防腐层。因镉的毒性，此项用途有缩减的趋势。镉用以制作镍-镉和银-镉电池，具有容量大、体积小的优点。镉是制造钎焊合金和低熔点合金的主要成分之一。镉具有较大的热中子俘获截面，含银80%，铟15%和镉5%的合金可用做原子反应堆的控制棒。在铜中加入0.05%～1.3%的镉可改进力学性能，尤其是冷加工性能，而电导率下降很少。镉的化合物曾经广泛用于制造颜料、塑料稳定剂、荧光粉。硫化镉、硒化镉、碲化镉具有较强的光电效应，用于制造光电池。

镉以元素状态赋存在铜铅锌矿石中，尤其是在浅色闪锌矿中含量较高，一般0.1%～0.5%，高达5%。工业上镉主要从铜、铅、锌矿石浮选、焙烧或冶炼过程中的灰渣和烟尘中提取。从矿石中回收的镉可能以独立矿物和类质同象形式同时存在。主要的镉矿物如下。

### Cd005 镉矿物

【别名】 硫镉矿 greenockite；菱镉矿 otavite；方镉矿 monteponite；硒镉矿 cadmoselite。

【组成与结构】 硫镉矿 CdS，理论化学成分含Cd 77.81%，六方晶系；菱镉矿 $CdCO_3$，含CdO 75.20%，三方晶系；方镉矿 CdO，含Cd 87.54%，等轴晶系；硒镉矿 CdSe，含Cd 58.74%，六方晶系

【物化性质】 硫镉矿，矿物通常呈粉末状或土状产出，极个别呈尖锥状细小晶体出现。解理沿(11$\bar{2}$0)完全，(0001)不完全，断口贝状，性脆，硬度3.35，相对密度4.85，黄色、橙色、暗橙黄色，条痕淡黄色、橙黄色或砖红色，松脂光泽。矿物在温度780°时熔化，在氮气中980℃时升华；菱镉矿 呈由浅红色细粒晶体组成的皮壳状产出，相对密度4.96；方镉矿 呈八面体或八面体与立方体的聚形，晶体少见，常呈晶簇状及粉末状集合体。硬度3，相对密度8.2，黑色或蓝黑色，玻璃光泽至半金属光泽，透明至半透明。溶于稀酸中，吹管焰下不熔；硒镉矿 晶体呈单锥状、短柱状或板状，通常细小，解理沿柱面完全，性脆，硬度4，相对密度5.47，黑色，条痕黑色，松脂光泽或金刚光泽。

【鉴别特征】 硫镉矿可借特殊的颜色、形态及产状鉴别。其他几种镉矿物，由于晶体细小，常呈粉

末状产出，需借助微化分析、X 射线粉晶分析鉴别。

【产状与产地】 硫镉矿产于硫化矿床氧化带，为表生矿物，与含镉闪锌矿、纤锌矿共生。我国辽宁铅锌矿床中见到的硫镉矿呈细脉状斑点状集合体含在菱锌矿矿石中；菱镉矿发现于西南非洲的奥塔维（Otavi）而得名；方镉矿见于意大利撒丁岛火山岩中，呈粉末状或细晶质覆于异极矿表面；硒镉矿产于砂岩中与硒铅矿、黄铁矿、硒铁矿等共生。

## 六、铼

铼是银白色难熔金属，熔点 3180℃，沸点 5627℃。铼主要在石油工业上用做催化剂。作为催化剂，其活性高，选择性大，抗毒能力强，可用于脱氧，脱氯等方面。铼的一个重要用途是制造高温合金，尤其是钨-铼、钼-铼合金。这种合金被广泛用于宇航技术以及导弹、火箭上作高温涂层用。宇宙飞船用的仪器和高温部件，如热屏蔽、电弧放电、电接触器等也用上铼。铼具有高的电子放射性能，被广泛用于无线电、电视和真空技术。

自然界铼主要以分散形式赋存在钼矿物，特别是辉钼矿中。辉铜矿及斑铜矿也含少量铼。工业上，铼是从生产钼、铜金属的副产品中顺便回收的。目前已知独立的铼矿物有辉铜铼矿（jeskasganite，$CuReS_4$）。矿物硬度 4，电子探针分析 Re 40%～50%，Cu 15%～20%。因工作不够，该矿物还需进一步确定。

重要的赋存铼的矿床是砂卡岩型辉钼矿及钨-钼矿，石英脉型辉钼矿、斑岩铜矿、斑岩钼矿以及砂岩铜矿中。我国铼资源的产地有陕西金堆城、辽宁杨家仗子、河南栾川南泥湖等。

## 七、硒

硒属于半金属或非金属元素，其金属性比硫强，熔点 220℃，沸点 688℃。硒的一个显著特性是在光照下的导电性比在黑暗中成千倍地增大，是典型的半导体。工业纯硒用于玻璃的着色和脱色颜料及冶金工业。加入硒的平板玻璃用做太阳能的热传输板和激光器窗口红外过滤器。硒可以改善碳素钢、不锈钢和铜的切削加工性能。硒以高纯形式（99.99%）与其他金属结合作成合金，用以制造低压整流器、光电池、热电材料以及各种复印复写的光接受器。硒以化合物形式用做有机合成的氧化剂、催化剂、动物饲料微量添加剂。硒加入橡胶中可增加耐磨性质。硒及硒化物加入润滑脂中用于超高压润滑。在土壤中加入硒可以提高农作物产量及增加饲料的作用。此外，硒为人体需要的一种滋养品，硒不足病在好些国家都有发现。

自然界，硒以两种形式存在。分散形式的硒赋存在黄铜矿、黄铁矿及方铅矿等硫化物中。工业利用上，硒主要是从硫化矿物中取得，赋存在电解铜矿的阳极矿泥中。硒也以集中形式赋存在硒铜矿、硒铅矿等矿物中，当这些矿物大量产出时，也可作为开发对象。此外，洋底锰结核可能是很重要的硒矿潜在资源。

已知硒矿物有 60 多种，其中重要的如下。

### Cd006　硒矿物

【别名】 硒铜矿　berzelianite；硒银矿　naumannite；红硒铜矿　umangite；硒铜银矿　eucairite；硒铋矿　guanajuatite。

【组成与结构】 硒铜矿　$Cu_2Se$，化学分析值为 Cu 57.21%，Se 39.22%，Ag 3.51%，等轴晶系；红硒铜矿　$Cu_3Se_2$，化学分析值为 Cu 56.7%，Se 43.3%，四方晶系；硒银矿　$Ag_2Se$，化学分析值为 Ag 75.98%，Se 22.92%，S 1.10%，等轴晶系；硒铜银矿　AgCuSe，理论化学成分为 Ag 43.04%，Cu 25.36%，Se 31.60%，四方晶系；硒铋矿　$Bi_2Se_3$，化学分析值为 Bi 71.28%，Se 22.02%，S 6.62%，斜方晶系。

【物化性质】 硒铜矿，呈不规则粒状，致密块状、浸染状、树枝状、粉末状产出，无解理，硬度 2.7，相对密度 6.65～7.7，新鲜断口银白色，很快变暗转为黑色，条痕亮灰色。新鲜断口金属光

泽，不透明。易溶于 $HNO_3$，王水作用产生棕色斑点，HCl、KOH 不起作用。吹管焰下形成灰色小球和硒的蒸气及烟。

红硒铜矿呈细粒状集合体或块状产出，有时出现叶片状双晶。有解理，断口不平坦，硬度 2.7～3.1，相对密度 6.4～6.5。新鲜断口上为暗樱桃红色，易转变为暗紫蓝色，条痕黑色，金属光泽，不透明。溶于 $HNO_3$，能被 KCN 浸蚀，KOH 不起作用。

硒银矿通常呈粒状或不规则粒状产出，偶见立方体晶体，解理（001）完全，硬度 2.5，相对密度 7～8，黄黑色，条痕黑色，强金属光泽，不透明。被 $HNO_3$ 浸蚀后起泡变暗，呈现棕色斑点，$FeCl_3$ 作用显浅棕色及能擦掉的虹彩斑点，KOH 作用缓慢，产生棕色斑点。

硒铜银矿，粒状或块状，无解理，断口次贝状到不平坦，性脆，硬度 2.5，相对密度 7.6～7.8，银白色至铅灰色，金属光泽，不透明；硒铋矿，粒状或块状，解理（010）完全，（001）清楚，硬度 2.5～3.5，相对密度 6.25～7.98。

【鉴别特征】 鉴别硒矿物需采用微化反应、光学方法以及 X 射线粉晶分析的综合方法。

【产状与产地】 硒铜矿、红硒铜矿及硒银矿共见于四川砂岩铜矿床砂岩的胶结物内，与辉铜矿、辉铜银矿、硒铜银矿等共生。硒矿物大多产于低温热液脉状矿床中，共生矿物有黄铁矿、辉铜矿、辉铋矿、黄铜矿等。我国富硒的铜矿山有安徽铜官山、江西德兴等。

## 八、碲

碲呈两种形态存在，一为结晶形态，具银白色金属光泽，另一无定形，为黑色粉末。碲的熔点 449.8℃，沸点 1390℃。碲在空气或氧中燃烧生成二氧化碲，并发出蓝色火焰。同卤族元素发生强烈反应，生成碲的卤化物。和硒相反，在高温下碲几乎不同氢发生作用。S、Se、Te 的离子半径分别为 1.84Å、1.98Å、2.21Å。硒与硫的离子半径相近，在硫化矿物中硒以类质同象形式置换硫。碲的离子半径太大，不能置换，常形成独立的碲酸盐矿物。

碲与硒的用途相似，加入少量碲可以改善低碳钢和铜的切削加工性能。在白口铸铁中用做碳化物稳定剂，使表面坚固耐磨。在铅中添加碲可提高材料的抗腐蚀性能，用做海底电缆的护套，也能增加铅的硬度，用来制作电极板和印刷用铅字。碲可用做石油裂解催化剂的添加剂以及制取乙二醇的催化剂。氧化碲用做玻璃的着色剂。高纯碲被用做温差电材料的合金组分。碲化铋为最好的制冷材料。半导体化合物 $As_{32}Te_{48}Si_{20}$ 是制作电子计算机存储器的材料。超纯碲单晶是一种新型的红外材料。

碲以前被确定为分散元素，分散在硫化物矿床及含金石英脉矿床的黄铜矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿等矿物中。工业上，碲主要从电解精炼铜和铅的阳极矿泥中取得。20 世纪 90 年代，我国在四川石棉大水沟找到并确定一个以辉碲铋矿为主的独立碲矿床，大大扩大了碲的利用前景。碲矿物已知近 90 种，其中主要的如下。

### Cd007 碲矿物

【别名】 碲铅矿 altaite；辉碲铋矿 tetradymite；碲铋矿 tellurobismuthite；碲金矿 calaverite；碲银矿 hessite；针碲金银矿 sylvanite；碲铜矿 rickardite

【组成与结构】 碲铅矿 Pb Te，理论化学成分 Pb 61.91%，Te 38.09%，等轴晶系；辉碲铋矿 $Bi_2Te_2S$，化学分析值 Bi 51.99%，Te 47.89%，S 0.12%，三方晶系；碲铋矿 $Bi_2Te_3$，理论化学成分 Bi 59.27%，Te 36.18%，S 4.55%，三方晶系；碲金矿 $AuTe_2$，理论化学成分 Au 43.59%，Te 56.41%，单斜晶系；碲银矿 $Ag_2Te$，理论化学成分 Ag 62.86%，Te 37.14%，等轴晶系；针碲金银矿 $AgAuTe_4$，化学分析值 Au 25.45%，Ag 13.04%，Te 60.61%，单斜晶系；碲铜矿 $Cu_7Te_5$，化学分析值 Cu 40.74%，Te 59.21%，四方晶系。

【物化性质】 碲铅矿，晶体少见，常呈粒状集合体及致密块状，解理（100）完全，硬度 3，相对密度 8.19，带黄色调的锡白色，常现古铜锖色，条痕黑色，金属光泽，不透明。溶于热 $HNO_3$，在

热 $H_2SO_4$ 溶液中呈现深红色，冷却后色消失。

辉碲铋矿，晶体少见，常呈叶片状或粒状集合体产出，叶片具挠性，解理（0001）完全，硬度1.5～2.2，相对密度7.2～7.3，淡钢灰色，条痕色相同，金属光泽，不透明。矿物溶于 $HNO_3$ 并析出S，热浓 $H_2SO_4$ 溶液中呈深红色。

碲铋矿，晶体呈叶片状或不规则板状，叶片具挠性，解理（0001）完全，硬度1.5～2，相对密度7.81，铅灰色，条痕与颜色相同，金属光泽，不透明。

碲金矿，晶体呈柱状，针状，晶面条纹发育，常呈粒状集合体产出，无解理，断口次贝壳状至不平坦，性脆，硬度2.5～3.0，相对密度9.1～9.4，草黄色至银白色，条痕黄色至绿灰色，金属光泽，不透明。矿物溶于 $HNO_3$，产生铁锈色的金沉淀，木炭上吹管火焰下产生金小球。

碲银矿，晶体呈短圆柱状，常呈块状集合体，解理（100）不完全，断口参差状，硬度2～3，相对密度8.24～8.45，铅灰色到钢灰色，金属光泽，不透明。矿物溶于 $HNO_3$，溶液成褐色，溶于 $H_2SO_4$ 中溶液变白色。

针碲金银矿，晶体常呈厚板状，短柱状及粒状，依（100）双晶常见，解理（010）完全，断口参差状，性脆，硬度1.5～2.0，相对密度8.17，银白色，有时浅黄色，条痕银白色，强金属光泽，不透明。

碲铜矿，呈粒状或块状产出，解理沿（001）中等，断口参差状，性脆，硬度3.5，相对密度7.54，紫红色，条痕浅红色，金属光泽，不透明。

【鉴别特征】 碲矿物主要借助微化分析及X射线粉晶分析鉴别。

【产状与产地】 碲矿物主要产热液脉中，分布最广的碲矿物是辉碲铋矿。四川石棉碲矿床中产出的辉碲铋矿赋存在辉碲铋矿-白云石矿脉中，组成矿物主要有白云石、辉碲铋矿、磁黄铁矿、黄铁矿、石英、磁铁矿、金红石等。江西铋矿床中产出的辉碲铋矿赋存在石英脉壁，与辉铋矿、辉钼矿、锡石等共生。在国外，针碲金银矿分布较广。

# D 能源矿产

我国列入能源矿产并进行了找矿勘探和开发利用的矿产资源有煤炭、石油、天然气、油页岩、泥炭、石煤、铀、钍和地热资源9种，此外我国还对水能、太阳能、风能、人工沼气能等进行了研究和开发利用，成绩显著，对我国以往的经济建设及人民生活起到了保证和促进作用。有关我国能源矿产的基本情况见本章后面各节，在此重点讨论有关我国能源的总体状况及结构性问题和对策。

国际上和我国占能源结构比重最大的矿产是煤炭、石油、天然气和水电核电资源。我国目前煤炭保有储量居世界第3位（次于美国和俄罗斯），石油剩余可采储量居世界第11位，天然气居21位，铀储量居第10位。石油、天然气和煤炭的可采储量分别为世界平均水平的11.1%、4.3%和55.4%，是一个能源相对贫乏的国家。且结构性差异更突出。2003年国际能源消费比例是石油31%，煤炭24%，天然气21%，可再生能源13%，核能6%。我国能源结构的比例如下。

| 年代 | 煤炭 | 石油 | 天然气 | 核、水电能 |
|---|---|---|---|---|
| 1996 | 75% | 17.5% | 1.6% | 5.9% |
| 2000 | 67% | 23% | 2.5% | 6.9% |

随着我国经济建设的进一步发展，人民生活水平的提高，环境保护的日益重视，煤炭的直接消费比将逐步减少，而石油、天然气和电能的需求则将与日俱增。我国原油生产2003年为16931.9万吨，同比增长1.5%，进口原油9112.63万吨，同比增长31.29%，预计2004年进口原油为1.2亿吨。

我国在解放前就有外国地质学者说中国是个贫油国家，解放后，我国地质学家提出了陆相生油理论，60年代在我国东部找到了大庆等油田，广大石油工人，发扬铁人精神，很快使我国石油生产达到自给，一度并有石油出口，为国家换回不少外汇。改革开放以后，经济快速发展，能源需求急增，特别是汽车消费猛增，更助长了汽油消费的上升。而我国保有可采石油储量的增长跟不上石油消费的增长，造成石油需求的大缺口，成为我国当前国民经济发展中的最突出结构性问题之一。为解决这一矛盾，有关专家学者提出了多种方案，归纳如下。

## 一、节约挖潜

据统计，我国单位产品能耗比发达国家高出25%～90%，我国目前前33种主要产品的单位能耗比国际水平高出46%，比美国高出1倍。因此国家提出了“节能优先，结构多元，环境友好”的持续发展战略。把节约资源提升到基本国策高度，把节约能约视为与煤炭、天然气和电力同等重要的“第五能源”地位。

## 二、重视水电和核电建设

水电是可再生的清洁能源，中国水能资源总量为6.76亿千瓦时，居世界第一位，理论水能蕴藏量59200亿千瓦时，技术可开发水能资源为3.78亿千瓦时，技术可开发量为19200亿千瓦时。但人均量只占世界人均量的69%。长江及西南各河流水能蕴藏量占全国各河流总量的78%，在建三峡水电站库容量为393亿立方米，总装机1820万千瓦，水电站由26台70万千瓦时的轮机组构成，年发电量846.8亿千瓦时，世界最大的水电站。长江上游还可再建4个梯级水电工程，其总装机容量达3850万千瓦时，相当于三峡电站的2倍。

但对建大坝的争议，是当今世界有关可持续发展主题中辩论最为激烈的全球性论题之一，包括生态、渔业、航运、水质、移民、地灾、债务等多项内容。世界水坝委员会组织专家经过近3年的调查研究，在有关《水坝与发展报告》中指出，多数水坝在经济上达不到预期效益。生态效果普遍

欠佳，挪威已宣布停建水坝，美国目前每年拆除的水坝比新建的多。社会效益问题不少。我国水坝建设，要以人为本，慎之又慎！

核电是可靠的清洁能源，世界许多国家都建有不少核电站，我国也已建成秦山和大亚湾两处核电站，共7个机组，总装机容量为900万千瓦时。我国规划还要建多台核电台估计到2015年的铀储量已有保证。主要问题是生产安全和核废料的处理，以保证万无一失。

### 三、加强煤层气和煤制油工程的开发

我们煤层气估算资源量与常规天然气资源量接近，它多分布在老煤区，有利于开发建设。我国与外国公司合作，立项在山西、安徽、贵州、四川几个有利地区，预计总资源量达9000亿立方米的九层气体为优先开发。我国鄂尔多斯盆地神木和东胜地区，煤质好，储量大，适于液化成汽油，现神木集团已经立项，第一期投资600亿元，建设年产成品油1000万吨的项目，分三期，最后建成年产3000万吨成品油的规模。有专家估算，我国可制油的煤炭，有相当于提供300亿吨石油的资源。

### 四、利用国际市场资源互补的作用

我国已逐步融入市场经济，应利用国际市场资源互补的作用，可以多方位的选购原油或成品油，也可走出去到有利地区合作勘查开发油气资源，拿回应得股份的油气，以补国内油气生产之不足。

### 五、开发新能源

积极开发可再生、清洁的地热、太阳能、风能、沼气能等，作为常规主要能源的补充。地热资源已在逐步推广利用，它不仅有提供热能的作用，还有发展旅游、保健等多种功能。早为人们所重视。有人提出21世纪是太阳能的世纪，太阳能将是继能源、交通之后的又一支柱产业，它覆盖诸多领域。目前我国太阳能热水器的年产量是欧洲的2倍，北美的4倍。西藏太阳能开发利用居全国之首，已建成10～100千瓦规模太阳能光电站7个，已解决了20多万人的用电问题，还推广了热水器的使用，西藏每年利用太阳能所节省的能量折算可达13.5万吨标准煤，价值上亿元人民币。若全国推广其效益是巨大的。

农村沼气综合利用的推广，可在取暖、照明、作饮、牲畜饲料、农肥等方面发挥作用，既清洁又方便，还可增产创收，减少环境污染等多种效益，应进一步大力推广普及，以代替过去农村烧薪炭秸秆的习惯。

### 六、研究开发新能源技术

天然气水合物，在极地和海洋地域有极大的蕴藏量，我国南海水域已发现存在该资源的物化探显示区，应进一步研究探明其存在状况及开发技术。

核聚变可让一升水变成300升汽油及开发燃料电池，它的基本原理是利用氢气和氧气发生化学反应产生电能，这一反应的惟一产物是水蒸气。因此具有能效高、洁净、无污染、低噪声等特点，而且在使用上既可集中供电，也可分散供电。主要的研究课题是氢气的产生、储存和运输问题以及投资和价格问题。是当今许多国家研究的课题，难题是会逐步被攻克的。

总之，能源是经济建设的粮食，人类要生存和发展，就要解决能源问题，中国要继续发展，首先要解决这一制约发展的瓶颈问题。要认真贯彻节能优先、结构多元、环境友好的可持续发展战略。

## Da 煤

### 一、组成

煤炭是最普通又极复杂的一种可燃矿产，最普通是因人们对其开发最早，利用最广，识别容易，价格便宜。极复杂是其形成过程复杂，煤是由植物遗体经过生物化学作用，又经受物理化学作

用为主的地质作用转变而成的沉积矿产。它的组分复杂，既有有机组分又有无机组分，加之煤种甚多，应用极广，浑身是宝。

1. 煤的有机组分

煤的有机组分可分为 4 类，即凝胶化组分、丝炭化组分、稳定组分和藻类。

① 凝胶化组分：它是腐植煤中最主要的显微组分，是由植物茎、叶的木质纤维组织在气流闭塞、积水较深的沼泽环境下经过凝胶化作用形成的各种凝胶体。透射显微镜下，凝胶化组分透明，橙红色。多数煤田煤的有机成分都以凝胶化组分为主，一般占 50%～80%，少数达 90%。

② 丝炭化组分：它也是煤的有机组分中比较常见的显微组分，是植物的木质纤维组织在泥炭化阶段经强烈炭化而形成的。在透射光下呈黑色，不透明，多数煤田中丝炭化组分含量在 10%～20%。

③ 稳定组分：是成煤植物体中化学稳定性强的组成部分，如孢子体、花粉体、树脂体、角质体、木栓体和不定形体等。它们在透射光下透明到半透明，呈黄色到橙红色，轮廓清楚，外形特殊。稳定组分在煤中分布不均一，一般较少，但特殊条件下也较富集。如江西乐平煤中木栓体高度富集。抚顺煤中树脂体特别丰富。稳定组分具有挥发分高、氢含量高的特点。

④ 藻类体：藻类体及其分解产物是腐泥煤的主要组分，有的腐植煤中也有少量藻类。藻类体有绿藻、蓝绿藻等，单个藻体直径仅几微米，集合体达 300～400μm。藻类群体轮廓不规则，边缘不平整，表面呈放射状、蜂窝状或海绵状结构等，透射光下，颜色从柠檬黄色到棕褐色，有时受污染变化较大。

2. 煤的无机组分

有机组分是煤的主要组成部分，从植物的生长到煤化的全部过程，都有无机组分参加作用，也是煤的重要组成部分。按其成分和性质，可分为下列几类。

① 黏土类：高岭石、水云母、蒙脱石等。

② 硫化物类：黄铁矿、白铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、辉钼矿等。

③ 碳酸盐类：方解石、文石、白云石、菱铁矿、菱镁矿等。

④ 硫酸盐类：石膏、重晶石等。

⑤ 氧化物类：石英、玉髓、蛋白石、长石、云母、褐铁矿、赤铁矿、磁铁矿等。也有极微量的锆石、钛铁矿、金红石等。

## 二、质量鉴别

煤的成分杂，品种多，用途广，必须通过多种测试手段来鉴别其质量和品种，其中包括元素分析、工业分析和煤的工艺性质的查定等，以提高煤的综合利用价值。

1. 元素分析

元素分析包括有机组分元素碳、氢、氧、氮、硫五种，有时还包括磷和砷。有机组分元素组成可以用来计算煤的发热量，估算煤的炼焦化学产品，低温干馏产物和褐煤蜡的产率。煤中的磷、砷、硫、氯、汞、硒、铍、氟、铀等元素是有害成分，若含量较高且可回收时，就有部分综合回收利用价值；煤中有时还含有锗、镓、钒、镍、钼等并达工业品位，也应考虑综合评价和综合利用。

2. 工业分析

煤的工业分析包括对水分、灰分、挥发分的测定、固定碳的计算和焦渣的外观定性评价。水分和灰分多对煤质评价不利。挥发分是对煤进行分类的第一指标，气肥煤类挥发分高。

3. 煤的工艺性质测定

煤的工艺性质测定包括黏结性和结焦性、发热量、化学反应性、热稳定性、透光性、机械强度和可选性等，上述测定数据的获得，有利于提高煤的综合利用价值。

## 三、工业分类

煤的许多性质彼此间差异很大，用途甚广，为了界定各类间的区别及其合理用途，1958 年国

家就颁布了以炼焦用煤为主的方案，采用可燃基挥发分和胶质层最大厚度两项指标分别反映煤的变质程度和黏结性，依次将煤划分成 10 大类和 24 小类。1986 年，国家重新颁布了从褐煤到无烟煤的全面技术分类标准，将煤划分为 14 大类 29 小类，并增加了五种评定指标。方案如下。

**中国煤炭分类国家标准（GB 5751—86）**

| 类别 | | 符号 | 数码 | 分类指标 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $V^{r}$ /% | $G$ | $Y$ /mm | $b$ /% | $P_M$ /% | $H^{r}$ /% | $Q_{GW}^{=A,GN}$ /(MJ/kg) |
| 无烟煤 | 一号 | WY | 01 | ≤3.5 | | | | | ≤2.0 | |
| | 二号 | WY | 02 | >3.5～6.5 | | | | | ≤2.0～3.0 | |
| | 三号 | WY | 03 | >6.5～1.0 | | | | | >3.0 | |
| 贫煤 | | PM | 11 | >10.0～20.0 | ≤5 | | | | | |
| 贫瘦煤 | | PS | 12 | >10.0～20.0 | >5～20 | | | | | |
| 瘦煤 | | SM | 13 | >10.0～20.0 | >20～50 | | | | | |
| | | | 14 | >10.0～20.0 | >50～65 | | | | | |
| 焦煤 | | JM | 15 | >10.0～20.0 | >65 | | | | | |
| | | | 24 | >20.0～28.0 | >50～65 | ≤25 | (≤150) | | | |
| | | | 25 | >20.0～28.0 | >65 | ≤25 | (≤150) | | | |
| 1/3 焦煤 | | 1/3JM | 35 | >28.0～37.0 | >65 | ≤25 | (≤220) | | | |
| 肥煤 | | FM | 16 | >10.0～20.0 | (>85) | >25 | (>150) | | | |
| | | | 26 | >20.0～28.0 | (>85) | >25 | (>150) | | | |
| | | | 36 | >28.0～37.0 | (>85) | >25 | (>220) | | | |
| 气肥煤 | | QF | 46 | >37.0 | (>85) | >25 | (>220) | | | |
| 气煤 | | QM | 34 | >28.0～37.0 | >50～65 | | | | | |
| | | | 43 | >37.0 | >35～50 | | | | | |
| | | | 44 | >37.0 | >50～65 | | | | | |
| | | | 45 | >37.0 | >65 | ≤25 | (≤220) | | | |
| 1/2 中黏煤 | | 1/2ZN | 22 | >20.0～28.0 | >30～50 | | | | | |
| | | | 33 | >28.0～37.0 | >30～50 | | | | | |
| 弱黏煤 | | RN | 22 | >20.0～28.0 | >5～30 | | | | | |
| | | | 32 | >28.0～37.0 | >5～30 | | | | | |
| 不黏煤 | | BN | 21 | >20.0～28.0 | ≤5 | | | | | |
| | | | 31 | >28.0～37.0 | ≤5 | | | | | |
| 长焰煤 | | CY | 41 | >37.0 | ≤5 | | | | | |
| | | | 42 | >37.0 | >5～35 | | | >50 | | |
| 褐煤 | 一号 | $HM_1$ | 51 | >37.0 | | | | ≤30 | | ≤24 |
| | 二号 | $HM_2$ | 52 | >37.0 | | | | >30～50 | | |

① 分类指标及其符号　$V^{r}$ 为干燥无灰基挥发分(%)；$H^{r}$ 为干燥无灰基氢含量(%)；$G_{R.I}$(简记 $G$)为烟煤的黏结指数；$Y$ 为烟煤的胶质层最大厚度；$P_M$ 为煤样的透光率(%)；$b$ 为烟煤的奥亚膨胀度(%)；$Q_{GW}^{=A,GN}$ 为煤的恒湿无灰基高位发热量(MJ/kg)。

② 煤类的编码　各类煤用两位阿拉伯数码表示。十位表示煤的挥发分，个位数在无烟煤及褐煤表示煤化程度，在烟煤表示黏结性。

## 四、地质评价指标

在地质调查过程中，发现煤炭后，就要查定它有无经济开发价值，搞清楚煤层数量、厚度变化、展

现特征、分布范围、煤质及品号和水文工程地质情况等。分成一般地区和缺煤地区，分别提出了煤炭地质评价的两个一般工业要求如下。

**一般地区的地质评价要求**

| 煤层项别 | 储量类别 | 煤的种类 / 倾角 | 炼焦用煤 | | 非炼焦用煤 | | 褐煤 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ |
| 最低可采厚度/m | 矿井开采 | <25° | 0.7 | 0.6 | 0.8 | 0.7 | 1.0 | 0.8 |
| | | 25°～45° | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 0.6 | 0.9 | 0.7 |
| | | >45° | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.8 | 0.6 |
| | 露天开采 | | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 0.5 |
| 最高可采灰分 $A^g$/% | | | 40 | 50 | 40 | — | 40 | — |

注：Ⅰ—能利用储量；Ⅱ—暂不能利用储量。"—"—不作具体规定。

**缺煤地区的地质评价要求**

| 煤层项目 | 储量类别 | 煤的种类 / 倾角 | 炼焦用煤 | | 非炼焦用煤 | | 褐煤 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ | Ⅰ | Ⅱ |
| 最低可采厚度/m | 矿井开采 | <25° | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 0.6 | 0.8 | 0.7 |
| | | 25°～45° | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 0.6 |
| | | >45° | 0.4 | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.5 |
| 最高可采灰分 $A^g$/% | | | 40 | 50 | | | | |
| 最低发热量 $Q^g_{DW}$ | | | | | 3000cal/kg | 2500cal/kg | 2500cal/kg | |

注：1cal=4.1816J。Ⅰ、Ⅱ同上表"一般地区的地质评价要求"。

## 五、我国煤炭总量及其分布特点

我国垂深1800m以浅的煤炭资源总量为4.4万亿吨，次于原苏联，居世界第二位，其累计探明储量为10273亿吨，探明可采储量2299亿吨，居世界第3位，仅次于美国和前苏联（据1996年统计）。

我国各省、市、自治区，除上海和香港、澳门特别行政区外，都有煤炭产出，但分布不均，特点是西多东少，北富南贫，相对集中。煤炭资源总量中，分布在大兴安岭-太行山-雪峰山一线以西的12个省（市、自治区）占有总资源的89%，保有储量的87%，而该线以东的20个省（市、自治区），仅占总资源量的11%，总保有储量的13%。按各省（市、自治区）统计，资源量最多的前十名依次是新疆（16210亿吨）、内蒙古（12053亿吨）、山西（6830亿吨）、陕西（2922亿吨）、宁夏（1991亿吨）、甘肃（1905亿吨）、贵州（1866亿吨）。共计47108亿吨，占总资源量的93.11%。依保有探明储量排序，前十名依次为山西（2578亿吨）、内蒙古（2247亿吨）、陕西（1619亿吨）、新疆（952亿吨）、贵州（524亿吨）、宁夏（309亿吨）、安徽（245亿吨）、云南（242亿吨）、河南（227亿吨）和山东（227亿吨）。共计9558亿吨，占保有储量的95.34%。

我国煤的种类齐全，从褐煤到无烟煤，各个煤化阶段的煤都有赋存，能为各工业部门提供冶金、化工、气化和动力等各种用途的煤源。其中炼焦用煤占25.4%，无烟煤和贫煤占17.2%，褐煤占13%。低变质的烟煤（长焰煤、不黏煤、弱黏煤等）占42.5%，低变质烟煤不仅数量大，且煤质好，是煤炭资源中的一大优势煤类。其中大同的弱黏煤、神府和东胜的不黏煤，灰分、硫分很

小，被誉为天然精煤。

### Da001 褐煤 lignite

【物化性质】 褐煤是煤化程度最低的煤类，其特点是碳含量较低，一般为 60%～70%，水分高，一般为 8%～30%，相对密度较小，一般小于 1.23。颜色为褐色、黑褐色，光泽暗淡。凝胶化组分高，含有不同数量的腐殖酸。

【功能与用途】 挥发分高，不黏结，化学反应性强，热稳定性差，发热量低。多被用做燃料、气化或低温干馏的原料，也可用来提取褐煤蜡、腐殖酸，制造磺化煤或活性炭。一号褐煤还可以作农田、果园的有机肥料。

【产地】 我国褐煤产地以内蒙古最多，其次是云南，黑龙江居第三，褐煤的保有储量占全国煤炭保有储量的 13%，主要矿区有内蒙古胜利、霍林河、伊敏；云南省小龙潭、昭通等地。

### Da002 长焰煤 long flame coal

【物化性质】 长焰煤是变质程度最低的烟煤，易燃烧，燃烧时有很长的火焰，故得名长焰煤，它的挥发分含量很高，没有或只有很小的黏结性。黑色，条痕深褐色，具沥青光泽，韧性较大。

【功能与用途】 其结焦性很差，可作为气化和低温干馏的原料，也可作民用和动力燃料。

【产地】 我国煤炭保有储量中长焰煤居第一位，占保有储量的 16.1%，主要产地有内蒙古准格尔，山西河保偏，新疆河东以及辽宁抚顺、陕西神府等地。

### Da003 不黏煤 non baking coal

【物化性质】 一种低-中变质程度的烟煤，它的丝炭化组分普遍含量高，水分大，氧含量较高，氮、氢、碳含量则比一般相同变质程度的煤低。

【功能与用途】 无黏结性，焦渣呈粉状、发热量比其他烟煤低。含有一定的次生腐殖酸。主要用做制造煤气和民用及动力燃料。

【产地】 不黏煤的保有储量居第 2 位，占 15%，主要产地是陕西神府和内蒙古东胜煤田。

### Da004 气煤 gas coal

【物化性质】 一种低变质烟煤，黑色，条痕为黑褐色。具弱玻璃光泽，脆性比长焰煤稍大。挥发分高，胶质层较厚，热稳定性差。

【功能与用途】 能单独结焦，但炼出的焦炭细长易碎，收缩率大，纵裂纹多，抗碎和耐磨性较差，故只能用做配煤炼焦，还可用来炼油、制造煤气、生产氮肥或作动力燃料。

【产地】 气煤保有储量居第 5 位，占 10.3%，主要产地有山西平朔、大同，河北开滦，贵州水城和新疆河东等矿田。

### Da005 肥煤 fat coal

【物化性质】 肥煤是中等变质程度烟煤，深黑色，脆性大。具有很好的黏结性和中高等挥发分，加热时能产生大量的胶质体，形成大于 25mm 的胶质层。

【功能与用途】 结焦性最强，用这种煤来炼焦，可以炼出熔融性和耐磨性都很好的焦炭，但这种焦炭裂纹多，且焦根部位常成蜂焦，易碎成小块。炼焦时产生的膨胀力较大。由于黏结性强，因此它是配煤炼焦中的主要成分，与瘦煤或弱黏结煤配合，可炼出合格焦炭。当然也可做民用和动力燃烧原料。

【产地】 肥煤在保有储量中仅占 4.6%，居倒数第 3 位。河北开滦，江西萍乡，贵州水城矿田中有

部分肥煤产出。

### Da006 焦煤 coking coal

【物化性质】 又称主焦煤，一种中等变质程度烟煤。黑色，强玻璃光泽，内生裂隙发育，脆性大。具有中低等挥发分和中高等黏结性，加热时可形成稳定性很好的胶质体。

【功能与用途】 结焦性好，单独用来炼焦能形成结构致密，块度大，强度高，耐磨性好，裂纹少，不易破碎的焦炭。但因其膨胀力大，易造成推焦困难，损坏炉体，故一般都作炼焦配煤使用，是炼焦配煤的主要成分。

【产地】 焦煤储量较少，仅占保有储量的6%，居第6位。河北开滦，贵州水城，江西萍乡，黑龙江鸡西矿区有焦煤产出。

### Da007 瘦煤 lean coal

【物化性质】 一种高变质烟煤，黑色，强玻璃光泽，较脆。具有较低挥发分和中等黏结性。

【功能与用途】 单独炼焦时，能形成块度大、裂纹少，抗碎强度较好，但耐磨性较差的焦炭。因此，用它加入配煤炼焦，可以增加焦炭的块度和强度，也可作民用和动力燃料。

【产地】 瘦煤保有储量最少，仅占4%。贵州水城和江西萍乡等煤田部分地段有瘦煤产出。

### Da008 贫煤 meagre coal

【物化性质】 贫煤呈黑色，有时带灰，金刚光泽，硬度较大，相对密度约1.3～1.4。贫煤是变质程度最高的烟煤，具有一定的挥发分，加热时不产生胶质体。燃烧火焰短，耐烧。

【功能与用途】 没有黏结性或只有微弱的黏结性，炼焦时不结焦。主要用于动力和民用燃料。在缺乏瘦料的地区，也可充当配煤炼焦的瘦化剂。

【产地】 贫煤储量占总储量的5.7%，居倒数第4位。在贵州水城，江西萍乡，湖南白沙，河南焦作等矿田部分地段产有贫煤。

### Da009 无烟煤 anthracite coal

【物化性质】 它是变质程度和煤化程度最高的煤，呈灰黑色，常带有古铜色或钢灰色色彩，似金属光泽。相对密度大（1.4～1.8），硬度高，挥发分低，燃烧时烟少，火苗短，火力强。

【功能与用途】 通常是作民用和动力燃料。一些反应性能好，热稳定性高的无烟煤可作气化原料。有些质量特别好的无烟煤（低硫、低磷、低灰分）可作高炉喷吹和烧结铁矿石的燃料以及制造电石、电极和碳素材料等。

【产地】 无烟煤的保有储量占总保有储量的11.5%，居第4位。在绝大多数省区都有分布。其中山西所占比例最多，达42%，其他依次为贵州（30%），河南（7.3%），四川（5.5%），云南（3.5%），河北（2.3%），北京（2.0%），湖南（1.8%），宁夏（0.8%），福建（1.0%）。

## Db 泥炭、石煤和油页岩

### Db001 泥炭 peat

【别名】 草炭；泥煤

【组成与结构】 泥炭是植物遗体在沼泽中经过生物化学变化和物理化学变化而形成的堆积物，是一种极松散的未压实的物质，其中除有经受不同程度分解的植物残体外，还在残存的植物组织中保留着许多粒间孔隙和细胞腔。自然状态下富含水分，经自然干燥后的泥炭含水分一般为35%～45%，

有机质30%～90%（腐殖酸10%～60%），灰分10%～70%，氮、磷、钾、硫含量较多，一般含氮1%～3%，氧化钾0.1%～2%，有时含油率达2%～10%，沥青质2%～12%。具纤维状或颗粒状结构，含纤维量30%～90%。

【物化性质】 泥炭常呈黑色、褐色、棕色、疏松多孔，比重1.3左右，能被切割。发热量1200～4000cal/kg（1cal=4.184J）。干燥泥炭的最高热值可达5000cal/kg。能溶于有机溶剂抽提有机质及分离出沥青、腐殖酸、易水解化合物（如糖类、半纤维素、果胶等）、纤维素和木质素等。也可用酸碱处理而分析矿物质元素。

【功能与用途】 在农业上利用含有腐殖酸的泥炭可生产腐殖酸类肥料、营养土和用做土壤改良剂或从泥炭中提取腐殖酸制作植物生长刺激素，以及制作牲畜饲料添加剂等。在工业上，可从泥炭中提取化工原料，如泥炭蜡、酚、甲醇、丙酮等，并可制作污水净化剂、石油吸附剂、钻孔泥浆调整剂、水泥减水剂等，还可压制成隔热隔音的泥炭纤维板，代替木材作为建筑材料。

泥炭尚可作为低热值燃料，现正在研究泥炭气化成工业燃料或有机化工原料，此外，从泥炭中提取腐殖酸在医药上的应用已开展试验研究并取得一定效果。

【泥炭分类和工业要求】 目前对泥炭尚没有统一的分类方案。全国矿产储量委员会办公室20世纪80年代仅提出了一个暂用分类方案，主要依据灰分含量分三级：低灰分（<25%）、中灰分（25%～50%）、高灰分（>50%）；又依分解度和纤维含量分成三组：高分解度（>40%，其中纤维含量<40%），中分解度（20%～40%，其中纤维含量40%～60%），低分解度（<20%，其中纤维含量>60%）。共分成9个小类。

目前尚无统一的工业要求，据有关部门的意见，一般要求泥炭有机质>30%～35%，最低单层可采厚度≥0.3m，可采厚层≥0.5m，露采剥离系数≤2.5。此外根据不同的应用途径，尚有附加要求，如：优质腐殖酸类肥料，要求灰分小于40%，腐殖酸40%～70%；普通泥炭肥类要求灰分等于40%～70%，腐殖酸15%～40%；优质建材用要求灰分10%～25%，纤维含量>60%；普通建材要求灰分25%～40%，纤维含量40%～60%；优质燃料要求灰分25%～35%，发热量>2500cal/kg；普通燃料要求灰分>35%，发热量>2000～2500cal/kg。

【产地】 泥炭产地分布较广，以东北吉林最著名，有柳河、敦化、四平等地。黑龙江有红旗林场、辽宁有新宾县。华北地区有河北围场、山东历城、河南辉南。西南著名产地是四川若尔盖及云南晋城。华南地区以广东高要和遂溪两县为好。此外海南省的崖县和文昌县也有泥炭沼泽。多是第四纪地形和气候下的产物。

## Db002 油页岩 oil shale

【组成与结构】 油页岩是一种高灰分（40%～80%）的可以燃烧的有机岩石（或称腐泥煤）。主要形成于湖泊或较静滞的海湾和泻湖中。原始有机质料主要是藻类，其次是由流水搬运来的高等植物残体，如孢子、花粉和木质纤维组织的碎片、水生动物遗体及其排泄物等经生物化学转化而成的有机物质沥青、腐殖质等。无机质有石英、硅酸铝、氢氧化铁、方解石、石膏、黄铁矿等。有机化学成分主要为碳、氢、氧、氮、硫等元素。油页岩具层状构造、条带状和微粒状结构。

【物化性质】 油页岩呈褐色到褐黑色，致密坚硬，富含有机质，具有微细层理，易成薄片剥落，有时含有星点黄铁矿或黄铁矿结核。含矿层厚度各地不一，1m到190m。含油率为3.5%～15%。

【用途及一般工业要求】 油页岩主要是用来提炼页岩油，作为石油的代用品，加氢裂解精制后，可获得汽油、煤油、柴油、石蜡、石油焦等产品。油页岩可以直接燃烧，属低热值燃料（发热量相当于煤的1/5～1/2），可用于产气发电（直接沸腾炉燃烧和悬浮燃烧）。油页岩综合利用可回收化工产品（如酚、吡啶、合成氨等），氧化铝、灰渣可制造水泥、烧成陶粒、陶纤等轻质骨料或保温材料等300多种副产品。

对油页岩的工业要求目前尚无统一指标，《矿产工业要求参考手册》上按几个矿区的实际情况

提出下列一般参考性工业指标。

油页岩参考性工业指标

| | |
|---|---|
| 炼油用，最低含油率（相当边界品位）<br>露天 4%，坑采 5%<br>平均含油率（相当最低工业品位）：<br>露天>5%，坑采>6% | 燃烧用，最低发热量：露天 1700cal/kg<br>最低可采厚度 1m<br>夹石剔除厚度 露天 0.7m，坑采 0.5m<br>剥离比<5m |

注：1. 国际上是把含油率≥0.25 桶页岩油/吨（相当于含油率 3.5%）称为油页岩。

2. 我国目前开采技术及干馏工艺技术设备较陈旧。国内页岩油价格又偏低，加上未考虑页岩油加氢精制以及综合回收化工产品和建筑材料等副产品的收益，因此一般含油率的工业要求多超过 5%的规定。

【资源分布与矿山】 地质部 1980 年公布截至 1979 年底含油率大于 5%的表内油页岩储量 311.7 亿吨。吉林（174.5 亿吨），广东（75.7 亿吨），辽宁（37.36 亿吨），陕西（6.42 亿吨），山东（5.48 亿吨），新疆（4.59 亿吨），甘肃（3.29 亿吨），内蒙古（2.41 亿吨），还有河南、河北、青海、广西、云南、山西储量都小于 1 亿吨，由 0.91～0.03 亿吨。

预测储量：抚顺石油研究所 1962 年统计结果为 4520.475 亿吨，前十名依次为内蒙古 2085.4 亿吨，山东 1127 亿吨，山西 429.89 亿吨，吉林 324.76 亿吨，黑龙江 204.58 亿吨，陕西 89.5 亿吨，辽宁 71.38 亿吨，广东 56.55 亿吨，新疆 57.9 亿吨，河北 35.11 亿吨，河南 15.87 亿吨，还有 10 个省资源量在 8.27 亿吨到 0.005 亿吨之间。1990 年抚顺石油化工研究院统计结果，表内储量为 320 亿吨，预测资源量为 7276.68 亿吨。居世界第 4 位。

我国油页岩的形成时代与煤炭的形成时代基本相同，由石炭纪到第三纪皆有。

开采矿山主要有广东茂名、辽宁抚顺和建昌碱厂等。

## Db003 石煤 stone coal

【别名】 石炭

【组成与结构】 在下古生代南方部分浅海、滨海及滞流海湾地区，低等海生植物菌藻类死亡后沉积形成的腐泥煤质岩石——石煤，其外貌与炭质页岩相似，比煤炭的相对密度大，硬度高；矿体呈层状或透体状。灰分比煤高，发热量一般比煤低。煤岩镜下特征有由藻类形成的腐胶质构成的似海绵絮状物质。

【物化性质】 石炭一般黑灰色，致密块体，较坚硬，燃烧易炸，有臭味，烧后仍为原块状，仅宜做一般民用燃料。容重 1.8～2.61，陕西安康地区石煤容重平均 2.17，灰分 39.42%～91.08%，平均 55.66%；挥发分平均 3.76%，全硫平均 1.45%，磷 0.17%，发热量平均 3142cal/g。该区与石炭产于同一层位，因受后期改造程度和性质的不同，而形成三类石煤变种，一称砂炭：呈灰黑、黑色，块体多为角砾镶嵌或细粒胶结而成，易碎，烧后化灰或半化灰，煤质比石炭略好。灰分平均 43.16%，挥发分 6.11%，全硫 1.17%，磷 0.13%，发热量平均 4082cal/g，容重 2.04，多分布在构造活动较强地带，除可做燃料外，尚可做地方工业之铸造、水泥、发电等用煤。二为无烟煤：分布很少，是石煤深变质产物。黑至灰黑色，致密块状或片状，染手，灰分 10%～40%，发热量 4000～7000cal/g，容重 1.88，烧后化灰。还有一种产于火成岩石裂隙内的产物，呈黑色或银灰色，常具金属光泽，类似石墨化或天然焦，一般为低灰、高发热量（5000～7000cal/g），土称银炭。它是石煤受火成岩高温变质作用，炭质受热而成熔融体与矿物质分异贯入火成岩裂隙内形成的，银炭适于作打铁炭用。

【用途及评价要求】 总的看石煤，发热量在 2000～3000cal/g 左右，在缺煤地区，它常常作为民用以及一部分工业上的燃料。有的质量好的石煤还试验生产煤气。许多地区的石煤中存在着许多伴生元素，如钒、磷、铀、镍、钼、银等，可以设法提取，综合利用。特别是钒，含量高，分布广。石煤中的钒资源量近两亿吨，约占我国钒资源量的 80%。

对石煤的工业要求及评价指标，国家无统一标准。陕西安康地区把石煤的可采厚度定为 1m，砂炭定为 0.6m。要求发热量达 2000cal/g 的为可采块段，小于 2000cal/g 计算表外储量。

【分布及资源量】 我国石煤资源多分布在南方缺煤、少煤地区，如湘、鄂、川、黔、桂、粤、赣、皖、浙、渝、陕、甘、新等省，其中以湖北和湖南较多，据不完全统计，石煤资源量共达 363 亿吨，总保有储量 42.56 亿吨。

# Dc 石油、天然气及石油天然气资源

## Dc001 石油 petroleum

石油是一种液态的、可燃的碳氢化合物的混合物。在地下形成并储集于各种孔隙、缝隙岩石中的称之为天然石油，也叫原油；从煤或油页岩中提炼出来的可燃液体，称之为人造石油。

【组成与结构】 石油的成分很复杂，化学成分以碳、氢为主，一般含碳（C）占 80%～88%，氢（H）占 10%～14%，原子比介于 5.7～8.5 之间。其他元素如氧、氮、硫元素占 1%左右，很少达到 2%～3%，还有磷、钒等微量元素和矿物质。这些元素组成非常复杂的碳氢化合物，其中以链状烷烃（$C_nH_{2n+2}$）、环状烷烃（$C_nH_{2n}$）及芳香烃（$C_nH_{2n}$）含量最多，大体上分别占 53%、31%和 16%。烷属烃又可按其分子结构的特点而分为饱和烃和不饱和烃两大类。在室温下，甲烷、乙烷、丙烷、丁烷呈气态；戊烷至十五烷呈液态；十六烷以上则呈固态。石油的相对分子质量较大（75～275），结构也较复杂，H/C 原子比为（1.4～2.2），碳同位素的分馏作用弱。

【物化性质】 石油的物理性质随其化学组成而有明显的变化。不同性质的石油，对开发、集输、储存、加工影响较大，因此其经济评价亦不同。

① 石油颜色 与原油中含有的胶质、沥青质数量的多少有密切关系，深色原油密度大，黏度高。液性明显的原油多呈淡色，甚至无色；黏性感强的原油，大多色暗，从深棕、墨绿到黑色。凝析气田所产凝析油从浅黄色到无色。

② 石油的臭味 是由于原油中所含的不同挥发组分而引起。芳香属组分含量高的原油具有一种醚臭味。含硫化物较高的原油则散发着强烈刺鼻的臭味。

③ 石油的密度 密度大小与石油的化学组成、所含杂质数量有关。胶质、沥青质含量高，容量大，颜色深；低分子量烃含量高，密度小。原油按其密度可分 4 类：轻质原油（密度＜0.87 g/cm³），中质原油（≥0.87～0.92g/cm³），重质原油（≥0.92～1.0g/cm³），超重质原油（≥1.0 g/cm³）。我国生产的原油密度变化也较大，以轻质和中质原油为主，也产部分重质原油。

④ 石油的黏度 黏度大小决定着石油的流动性能。一般与原油的化学组成、温度和压力的变化有密切关系。通常原油中含烷烃多、颜色浅、温度高，气溶量大时，黏度变小。而压力增大黏度也随之变大。地下原油黏度比地面的原油黏度小。根据黏度大小，将原油划分为常规油（＜100mPa·s），稠油（≥100～＜10000mPa·s），特稠油（≥10000～5000mPa·s）和超特稠油或称沥青（＞50000mPa·s）四类。

⑤ 石油的荧光反应 石油在紫外光照射下受激发发光，照射停止发光现象立即消失。一般油质呈天蓝色，胶质呈黄绿色、沥青质呈棕褐色。可指示找矿。

⑥ 石油的溶解性 石油不溶于水，但可溶于有机溶剂，如苯、香精、醚、三氯甲烷、硫化碳、四氯化碳等，也能局部溶解于酒精之中。原油又能溶解气体烃和固体烃化物以及脂膏、树脂、硫和碘等。

⑦ 石油的凝固点与含蜡量 凝固点系指原油从流动的液态变为不能流动的固态时的温度。石油可分为高凝油（≥40℃）、常规油（－10～40℃）、低凝油（＜－10℃）三类。我国多数油田所产原油的凝固点在 15～30℃之间。石油含蜡量系指原油中含石蜡的百分数。石蜡在其熔点温度(37～76℃）时溶于石油中，一旦低于熔点温度，原油中就出现石蜡结晶。含蜡量高的原油凝固点也高。

我国主要油田所产原油的含蜡量较高，在20%～30%之间。

⑧ 石油的燃烧特性　石油和成品油可燃程度随温度而异，表现在闪点、燃点和自燃点的差异。“闪点”指石油在容器内受热，容器口遇火则发生闪火但随之又熄灭时的温度。“燃点”指受热继续升高，遇火不但出现闪火而且引起了燃烧的温度。“自燃点”指原油在受热已达到相当高的温度，即便不接触火种也出现自燃现象的温度。石油是由具不同沸点的烃化合物组成的混合物，与水不同，没有固定的沸点。其闪点随具不同沸点化合物的含量比例不同而各有差异。沸点越高，闪点也高。石油作为一种混合物，其闪点在－20～100℃之间，而自燃点则为380～530℃之间。

⑨ 石油的馏分组成　由于石油是由不同沸点的烃化合物混合而成，因此通过控制不同的温度而可分别获得不同的石油产品。随着温度的增高，首先是轻组分馏出，继而为较重的烃馏分，最后剩余胶质、沥青质残渣。通过实践测定，我国原油的初沸点在70～100℃之间。在一次加工中，产品的馏出顺序大致为：95℃以下首先是石油醚，40～180℃之间为航空汽油，205℃左右为汽车汽油，120～240℃为重汽油，200～315℃为煤油，270～300℃为润滑油，190～350℃为柴油，350℃以上则为残余物（渣油）。

⑩ 石油的热值　热值系指单位质量燃料燃烧时所产生的热量，单位以MJ/kg表示。平均低位发热量石油为41.87MJ/kg，折算标准燃料系数为1.4286。

【功能与用途】 石油是不同烃化合物的混合物，通过一次加工，主要采用常压、减压蒸馏的简单物理方法，将原油切割为沸点范围不同、密度大小不同的多种石油馏分。原油二次加工是主要用化学方法或化学-物理方法（催化裂化、催化重整、焦化、减黏、加氢裂化、溶剂脱沥青等）以提高某种产品收率，增加产品品种，提高产品质量。通过化学过程的第三次加工生产很多化工产品。经过加工石油而获得的各类石油产品在不同的领域内有着广泛的、不同的用途。

各类石油产品中用量最多的动力燃料类各种牌号的汽油、柴油、煤油和燃料油，广泛用于各种类型汽车、拖拉机、轮船、军舰、坦克、飞机、火箭、锅炉、火车、推土机、钻机等动力机械，它们消耗的石油产品量最大，因此石油被誉为工业的血液。

石油产品中润滑油、润滑脂使各类滑动、转动、滚动机械、仪器减少磨损、保证速率，起到润滑、散热、密封、绝缘等作用。

石油产品中的石蜡是生产蜡烛、蜡笔、蜡纸、蜡封及防潮，制作模具，用做合成橡胶、洗涤剂等的原料。

溶剂汽油是橡胶、油漆、皮革、油布等工业所需的溶剂并可用于洗涤机器和零件。

沥青具有良好的黏结性，抗水性和防腐性，广泛用于铺筑路面，作防腐防水涂料及制造油毛毡和碳素材料等。

石油作为化工原料生产的石油化工产品，包括合成纤维（锦纶、涤纶、维尼纶和丙纶等年产量近300万吨）、合成橡胶（年产50万吨左右）、塑料制品（年产400万吨多）、化肥（硝酸铵、硫酸铵、尿素等，年产合成氨2500万吨）、农药、炸药、化妆品及合成洗涤剂等广泛用于工业、农业、军需、民用各个部门，因此人们称20世纪是石油世纪。

【石油勘察的一般工业要求及评价指标】

① 对石油地质勘探的一般要求　查清油（气）层构造形态，含油（气）面积和油（气）藏类型。油（气）层结构、矿物成分和岩性特点。油（气）层有效厚度。储油（气）层的物理性质及其变化规律。油（气）层压力系统及油（气）层深度。油（气）水的分布状况及相互关系。油（气）水的物理化学性质。探井在试油、试采期间的油（气）产量、油层压力等资料。油（气）藏的驱动类型及特征。

② 石油井、油田的一般最低工业要求　一般含油圈闭构造有三口以上探井发现工业油流后，才能叫油田。对不同油井的最低工业油流的标准如下。

最低工业油流标准

| 产量 吨/日 \ 井深/m | | <500 | 500～1000 | 1000～2000 | 2000～3000 | >3000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 原　油 | 陆地 | 0.3 | 0.5 | 1.0 | 3.0 | 5.0 |
| | 海上 | | 10 | 20 | 30 | 50 |

③ 对油井、油田的产能、规模等级标准

| A. 产能等级 | 高等 | 中产 | 低产 | 特低产 |
|---|---|---|---|---|
| 千米井深稳定日产量 /[t/(km·d)] | >15 | >5～15 | 1～5 | <1 |
| B. 储量丰度等级 | 高丰度 | 中丰度 | 低丰度 | 特低丰度 |
| 单位面积储量 /(×10⁴t/km²) | >300 | >100～300 | 50～100 | <50 |
| C. 油田储量等级 | 特大型 | 大型 | 中型 | 小型 |
| 储量/×10⁸t | >10 | >1～10 | 0.1～1 | <0.1 |
| D. 埋藏深度等级 | 浅层油藏 | 中深层 | 深层 | 超深层 |
| 埋藏深度/m | <2000 | 2000～3200 | >3200～4000 | >4000 |

【石油成藏条件、分布和产地】

① 石油成藏条件　石油成因有陆相成因和海相成因两类，世界众多国家以海相成因为主，我国以陆相生油为主。两种成因类型的成藏条件是基本一致的，要有油源丰富的生油层，良好的储油层和有利的存储盖组合，独立的圈闭构造和良好的运移、保存条件，才能将生来就分散的油气聚集形成油气藏。

石油资源按地质工作程度共分五级：探明储量、控制储量、预测储量、潜在资源量、推测资源量。探明储量是在油田评价钻探阶段完成或基本完成所计算的储量，在现代技术和经济条件下，可提供开采并能获得效益的可靠储量，推测资源量是根据一定地质物化资料基础上通过综合研究所推测的圈闭，利用类比法估算的资源量。

② 世界主要国家的石油储量和产量　据统计全世界约有 964 个沉积盆地（包括深海盆地），迄今人们已对 470 多个盆地进行了油气勘探，有 256 个盆地（包括海上 95 个）发现油气田 4 万多个，已投入生产的盆地近 200 个。据美国《油气杂志》1996 年年终号资料，世界石油估算探明剩余储量 1390 亿吨，前十名国家占世界总储量的排序为沙特阿拉伯（25.4%）、伊拉克（11.0%）、科威特（9.2%）、伊朗（9.1%）、阿布扎比（9.1%）、委内瑞拉（6.3%）、独联体（5.6%）、墨西哥（4.7%）、利比亚（2.9%），中国（2.2%）居第 10 位，据第 15 届世界石油大会公布的中国剩余探明储量为 22.41 亿吨，居世界第 11 位。

对全国 145 个盆地石油资源评价，总资源量为 930.32 亿吨（未包括南海南部的油气资源），其中探明储量占总资源量的 19.5%，控制储量和预测储量占 5.9%，潜在资源量占 12.1%，推测资源量占 62.5%。1996 年底，我国已探明的石油可采储量为 52.6 亿吨，保有储量不到半数。

在我国众多的油气盆地中，已有油气田 A 类 24 个盆地中，其总资源量前 13 名排序表，这 13 个盆地的油气探明储量及总资源量占全国油气探明储量及总资源量的 80%以上，而且它们的面积都大于 10 万 km²。

## Dc002　天然气　natural gas

天然气从广义说，系指在大气圈和地壳内形成的各种天然的气体，包括氮气、二氧化碳、硫化氢气、碳氢化合物气及氦气等。碳氢化合物气又称烃类气体，在天然气中占绝大比例，因此人们又惯用“天然气”的称谓以表述烃类天然气。

【组成与结构】 天然气的基本成分是烃类。以甲烷为主，一般组成比（体积）为70%～90%，其次是重烃类（即乙烷、丙烷和丁烷的总称），组成比为3%～27%；非烃类成分主要是二氧化碳、氮、硫化氢、氢和惰性气体，通常组分比很少，但个别情况也构成小规模的高组分比的特殊天然气藏。

地壳中，天然气就其产状分析，有游离态、溶解态（溶于原油和水中）、吸附态和固态气水合物（又称可燃冰）四种类型。依分布特点又可分为聚集型和分散型两类。气藏气、气顶气、凝析气、油溶气属聚集型，也称为常规型天然气；水溶气、煤层气、固态气水合物则属分散型。从与油藏关系的密切性质又分伴生气和非伴生气。烃类气体中，甲烷含量大于95%的定为干气，重烃（$C_2$以上）含量高于或等于5%的定为湿气。湿气多与原油共存，也常被称为伴生气。含有一定程度硫化物的天然气，称为“酸性气”。天然气按成因类型又分三类。

① 生物气（living gas） 指沉积物中的有机质在还原环境中经微生物降解作用所形成的富甲烷气体。甲烷组分占85%～98%以上，重烃极少，含微量不饱和烃；主要埋藏在小于1000～1500m的沉积地层中，据统计，生物气储量占世界探明天然气储量的1/5以上。

② 热解气（pyrolysis gas） 沉积岩在深成阶段（深度为1000～6000m）和变质作用阶段（深度＞6000m），其中有机质经热解作用（包括热降解和热裂解）所产生的天然气统称为热解气。热解气是形成大多数气藏的主要气源，在有机质演化各阶段生成的气态烃中，热解气占总成气量的90%以上。一般热降气的重烃（$C_2$以上）含量比生物气偏高，甲烷碳同位素较生物气重。包括油成气和煤成气。

③ 无机成因气——深源气（deep seated gas） 深源气是指来自地壳深部和上地幔的无机成因天然气，或称非生物成因天然气。深源气中二氧化碳，氮气含量较高，一般地幔气：$^3He/^4He$高，一般$\geqslant 10^{-5}$；$He/^{40}Ar$低，一般$\leqslant 1$；$^{40}Ar/^{36}Ar$高达8000～16000，大气的上述比值低。到目前为止，对深源气研究程度尚低，对其形成、聚集和分布规律了解尚少，对其储量远景也不易评价，所以这一资源的开发利用，尚在探索阶段。但深源气的确定，打破了只有生物成因烷类天然气的传统观念，扩大了找气理论和领域。

【物化性质】 烃类天然气是无色、无味的气体。当天然气中混有硫化氢气时，就会出现强烈的刺鼻臭味。其重要物理性质还包括如下几点。

① 密度 天然气密度是指单位气体的质量，以$kg/m^3$表示。天然气是多组分的混合物，各组分的密度也不相同。在地面标准状态下，天然气混合物的密度一般为0.7～0.75$kg/m^3$，随重烃含量增多密度增大。某些油田伴生气，其密度可达1.5$kg/m^3$。密度随压力增高而增大，随温度增高而变小。

天然气的相对密度是指相同温度、压力（如15.6℃、101325Pa或20℃、101325Pa）条件下，天然气密度与空气密度的比值。天然气混合物一般在0.56～1.0之间。

② 天然气的黏度 黏度是指气分子内部质点运移的摩擦阻力，是研究气体的运移、评价开采、集输条件的重要参数，常用动力黏度（绝对黏度）表示，单位采用mPa·s。也可用运动黏度，即动力黏度与密度的比值，单位以$mm^2/s$表示。黏度大小与化学组成及其所处环境有关。在标准状况下，分子量增加，黏度变小，温度升高黏度增大。在压力较高的条件下，压力增高黏度增大。

③ 天然气压缩性和溶解性 天然气是可压缩的。同体积的天然气，在地面与地下密度不同，质量也不同。天然气具有溶于水和石油这两类不同液体的能力，但易于与石油互溶而与水则不易互溶。如甲烷，在原油中的溶解系数为0.3，而在水中的溶解系数仅0.033，两者可相差达一个数量级。影响天然气溶解性的主要因素是压力，而温度对天然气的溶解力的影响则比较复杂。

④ 天然气的热值 天然气热值为38.97MJ/kg，每立方米约9000cal。

【功能与用途】 天然气是一种气态的矿物能源资源，可以作为民用和工业用的动力燃料，也可压制

分离出液化天然气（LNG）作为液体动力燃料（天然汽油）。天然气与其他矿物能源比较，具有干净清洁、使用方便、燃烧效率高、当量热的价格低等优点，已广泛用于民用燃气具、锅炉、汽车和发电，与用煤发电和核能发电比，其投资费用和建设周期要节省 1/3，过程用水减少 50%，$CO_2$ 排放减少 50%，几乎不排放 $SO_2$，无粉尘。故美国天然气发电量占总发电量的 14%，日本居其火力发电首位。我国天然气发电所占比例尚很少，汽车用天然气在四川、河北和北京已局部使用。居民生活用气在大城市已较普遍，随着西气东输工程的完工，将大大促进天然气燃料的利用。

天然气还是重要的有机化工原料，以天然气为原料可以生产合成氨、乙炔、甲醇、氢氰酸、甲烷氯化物、二硫化碳、炭黑等产品。天然气凝析油是生产裂解乙烯的优质原料（收率高、成本低、投资少）。

由于天然气资源丰富，使用经济效益好，其产量在一次能源中的比例正不断增长。

我国利用天然气的历史已有 3000 多年，在古书《易经》中记述有“泽中有火”、“上火下泽”的天然气在水面上的燃烧现象。据《四川盐政史》记载，2000 年前，战国时期的秦国，在四川已利用天然气煮卤盐。

【天然气勘察的一般工业要求及评价指标】 对天然井进行地质勘探时的一般地质工作要求与对石油勘探的要求基本相同，不重述。其最低工业气流标准如下。

**天然气流最低工业标准**

| 井深/m<br>产量/($m^3$/d) | | <500 | 500～1000 | 1000～2000 | 2000～3000 | >3000 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 天然气 | 陆地 | 500 | 1000 | 3000 | 5000 | 10000 |
| | 海上 | | 10000 | 30000 | 50000 | 100000 |

对天然气井、气田产能和规模等级标准如下。

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| A. 产能等级<br>千米井深稳定日产量<br>/($\times10^4 m^3$/km·d) | 高产<br>>10 | 中产<br>3～10 | 低产<br><3 | |
| B. 储量丰度等级<br>—平方公里储量丰度<br>/($\times10^8 m^3/km^2$) | 高丰度<br>>10 | 中丰度<br>2～10 | 低丰度<br><2 | |
| C. 气田总储量等级<br>气田总储量<br>/$\times10^8 m^3$ | 大气田<br>>300 | 中气田<br>50～300 | 小气田<br><50 | |
| D. 埋藏深度等级<br>气藏埋深<br>/m | 浅层气藏(田)<br><1500 | 中深层<br>1500～3200 | 深层<br>3200～4000 | 超深层<br>>4000 |

【我国油型天然气的分布和资源】 我国大陆范围查明和预测的油型天然气资源量为 33.53 万亿立方千米，探明储量 1.48 万亿立方千米。天然气资源大于万亿立方千米的盆地有 9 个，它们是塔里木盆地、鄂木尔斯盆地、四川盆地、珠江口盆地、东海盆地、渤海湾盆地、莺歌海盆地、琼东南盆地、淮噶尔盆地，其中四个盆地为近海陆架盆地；塔里木盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地三个盆地资源量占总油型气的 52.1%。这十三个盆地的油型气探明储量及总资源量占全国油型气探明储量及总资源量的 80%以上，而且它们的面积都大于 10 万立方千米。

我国油型天然气藏的埋藏深度与石油基本相同，埋深多在 2000～3500m 之间。

我国油型气资源主要埋藏地层时代为第三纪、石炭纪、奥陶纪、三叠纪、二叠纪、侏罗纪和白垩纪，在志留系、寒武系和前寒武纪地层中也有少量气藏分布。

**Dc003　煤成气　coal gas**

【别名】 煤层气；coal-formed gas；coal bed gas；coal bed methane

【组成与结构】 煤成气应该是成煤环境下形成的沉积物（含煤建造及亚含煤建造）所生成的天然气。包括如下。

① 含煤地层中煤、炭质页岩、油页岩、含有机质的泥岩产生的气。

② 含煤地层中的腐殖型有机质及腐殖-腐泥型、腐泥型有机质产生的气。

③ 既有煤变质产生的气，也含有含煤地层中生成的液态烃（原油、凝析油）变质形成的气。

所以煤成气的生气母质是多元的，而煤成气的成烃作用也是多元的（史训知 1987）。

由生气母岩（煤层、碳质泥岩、泥岩……）中扩散，运移出来的部分煤成气，聚集并储存于其他储层（如砂岩、砾岩、灰岩）中，它们可能是煤系地层中的一部分，也可能是煤系地层之外的岩层，其聚集和储存条件良好时都可形成工业性气藏。对这一类煤成气藏的找矿、勘探和评价方法，基本与普通天然气的找矿、勘探和评价方法相同，故也把普通天然气称油型气，把煤成气称煤型气。煤成气在成分上与油型气不同，它的甲烷含量很高，一般在 95%以上，煤成气中普遍含氮（7%～16%），$CO_2$（≈5%），含汞量高（0.18～400μg/m³），含 $H_2S$ 极微，而碳同位素偏重（地质辞典. 1986. 128～129）。

近 30 多年来，世界上陆续发现了一些大型、特大型煤成气田，价值很大。

【储量】 我国煤成气的研究和找矿工作，始于 20 世纪 70 年代，国内不少专家和研究单位从不同角度出发，对我国煤成气远景资源量做过预测。关士聪等（1981）预测为 5.4 万亿立方米，胡朝元（1983）预测为 8～10 万亿立方米，戚厚发等（1987）对我国 40 个面积大于 1 万平方公里的含煤盆地作了预测，其中 11 个主要盆地的煤成气资源量将超过 11.3 万亿立方米，加上其他盆地和煤系的可能资源量，全国煤成气远景资源量将超过 15 万亿立方米。在 40 个主要煤成气区块综合评价基础上，筛选出了 11 个重点区带作为煤成气勘探开发的重点地区，它们是：

1. 鄂尔多斯盆地

① 天环坳陷北段；

② 伊盟陡坡南部；

2. 华北盆地

③ 东濮坳陷中央隆起带及文东区；

④ 冀中坳陷文安斜坡及武清凹陷；

⑤ 济阳坳陷内东营凹陷；

⑥ 周口坳陷内鹿邑-倪丘集凹陷；

3. 四川盆地

⑦ 川中-川西北地区；

4. 准噶尔盆地

⑧ 玛纳斯-乌鲁木齐地区；

5. 塔里木盆地

⑨ 库车坳陷；

6. 楚雄盆地

⑩ 双柏坳陷；

7. 琼东南盆地

⑪ 崖南断陷。

煤层气是煤成气的一部分，是一种以吸附状态为主储存在“煤层”的微孔隙和裂隙中的，基本上未运移出生气母岩的天然气，属典型的自生自储式的非常规天然气藏。由于煤层一般致密，透气性差，吸附性强，大多不易解析出气体，有时也有部分气体呈游离状态聚集在煤层中，采煤时形成

瓦斯突出造成灾害。(中国大百科全书. 地质学. 388～389)

我国煤炭资源丰富，据对全国大中型2271个矿井统计，约一半矿井有瓦斯突出，每年因采煤和燃烧煤而排放的煤层气达125～194亿立方米，可见，我国煤层气资源有着良好的开发前景。1996年，华北石油地质局发表的“我国煤层气资源前景论评”中预测煤层埋深2000m以浅的资源为32.6366万亿立方米。

近年来，吸收国外从地面直接开发煤层气的成功经验，煤层气开发已被列为煤炭工业的“九五”期间4项战略起步工程之一。1996年3月，经国务院批准由煤炭工业部、地质矿产部和中国石油天然气总公司联合成立了“中联煤层气有限责任公司”，负责全国煤层气资源勘探、开发、生产的专营权。现正在若干选区进行试验研究。从山西省河东煤田、晋城矿区和陕西省韩城矿区的试气结果来看，单井日产气在1000m³以上，多的达到7000m³以上，情况较好。1993～1998年，已施工煤层气参数井和生产试验井共计25口，并在铁法、韩城、寿阳等矿区成功地获得了工业性煤层气气流，积累了宝贵的勘探开发经验。1995年中国煤田地质总局启动了“全国煤层气资源评价”研究项目，于1998年出版了“中国煤层气资源”专著，揭示了我国煤层气资源的自然分布状况。获得甲烷含量4m³/t以上，埋藏2000m以浅的全国煤层气资源总量14.34万亿立方米。其中含气量大于8m³/t的富甲烷煤层气资源量12.44万亿立方米，含气量介于4～8m³/t之间的含甲烷资源量1.90万亿立方米；埋藏深度小于1500m的浅层煤层气资源量9.26万亿立方米，深度为1500～2000m的较深层煤层气资源量5.08万亿立方米。建立起我国5大聚气区、30个聚气带、115个目标区的煤层气聚气区带的区划体系，指出我国煤层气资源总量的90%以上赋存在华北聚气区和华南聚气区，展示出我国富气目标区带的分布规律。

**中国煤层气聚气带前景类别**

| 聚气带类型 | | 聚气带前景级别 | | |
|---|---|---|---|---|
| 型别 | 带别 | 极为有利 | 有利 | 较为有利 |
| 大型 | 富气带 | | 滇东-黔西，鄂尔多斯东缘 | |
| | 含气带 | 沁水 | | 渭北，豫西，鄂尔多斯西部 |
| 中型 | 富气带 | | 徐淮，太行山东 | |
| | 含气带 | | | 三江-穆棱河，冀中平原 |
| 小型 | 富气带 | | | 京唐、淮南 |
| | 含气带 | | | 松辽-辽西，浑江-红阳 |

注：引自《中国煤层气资源》。

极为有利聚气带：仅一个，沁水大型含气带，包括晋城、潞安、和顺-左权、阳泉-寿阳、霍东、太原西山6个目标区。评价面积为22395km²，煤层气资源为32798.38亿立方米，占全国煤层气总资源的22.88%，在我国29个聚气带中居于首位。

有利聚气带：包括两个大型富气带和两个中型富气带，其共同特点是煤层气资源条件极好，开采地质条件也较为有利。四个聚气带的煤层气资源量达58830.28亿立方米，占全国煤层气总资源量的41%。如滇东-黔西大型富气带，包括云南东部的曲靖、富源、宣威、师宗和贵州的六枝、盘县、水城、织纳等地，总面积约$2.5\times10^4km^2$，是我国高瓦斯煤矿分布区之一，煤层厚，含气富，总资源量达26196.80亿立方米。鄂尔多斯东缘大型富气带包括河东煤田和府谷-吴堡地区，含煤面积近3万平方公里，含煤20余层，煤成气资源量达23025.87亿立方米。

【用途】 最近，中联煤层气有限责任公司正筹划在煤层气前景有利地带开层煤层气开发利用。中国矿业2003，N5上报道了中美合作开发山西和安徽四个地块，预计总资源量达9000亿立方米的合同。

煤层气的开发利用，较之开发普通油型天然气和煤成气在经济技术上更为有利：①可提升煤矿

总产值；②可充分发挥已有交通、生活设施及维修设备潜力；③可就地解决技术力量及劳动力；④可消减煤矿瓦斯灾害。

## Dc004 天然气水合物 gas hydrate

天然气水合物是由天然气与水所组成，呈固体状态，其外貌极像冰雪或固体酒精，点火即可燃烧，故也称其为“可燃冰”或甲烷水合物。

【组成与结构】 天然气水合物的理论化学式可用通式 $M \cdot nH_2O$ 来表示，其中 M 代表构成水合物的气成分子，$n$ 代表水分子的数目。在标准状态下，水合物中气体体积与水分子体积之比为 164∶1，即 $1m^3$ 的固体水合物可包容 $180m^3$ 的甲烷气体。一旦冰融，气体便全部释出。这意味着天然气水合物的能量密度是煤和黑色页岩的 10 倍，是常规天然气的 2～5 倍。天然气水合物的结晶格架主要是由水分子构成，水分子常是五角十二面体，十四面体，十六面体，形状像鸡笼，故有“笼形结构”之称。在这种笼形结构或格架的中间普遍存在一个空腔或孔穴，构成水合物的气体便充填其中，也即气体被包合或储存在结晶的笼子中。更有意思的是，若无气体分子的充填，水合物的结晶格架将不能稳定存在，真可谓水气相互依存，相伴而生，缺一不可。

【形成条件】 天然气水合物形成的最佳温度是 0～10℃，压力大于 100 大气压（1 大气压＝101325Pa）。在寒极地区，因其温度低于 0℃，水合物形成的压力无需太高，其成藏深度一般小于 150m；在海洋中，因为水层的存在使压力相应增加，导致水合物可形成于更高的温度条件下，通常是在水深 500～4000m 处（压力为 50～400 大气压），相应温度 2.5～25℃，甚或更高，故成藏上限为海底面，下限位于海底下 650m，更深可达 1000m。海底天然气水合物主要产于新生代地层中，矿层厚度数十厘米至上百米，分布面积可达数万平方公里；水合物储集层为粉砂质泥岩、泥质粉砂岩、砂岩及砂砾岩。储集层中的水合物含量可达 95%。

【天然气水合物的分布及资源量】 天然气水合物最早是 1965 年发现于苏联西西伯利亚克拉斯诺亚尔斯克边区的麦索亚哈地区，以后又相继在美国阿拉斯加北部的普鲁德霍湾和库帕勒克河地区、加拿大马更些三角洲和北极岛、前苏联堪察加半岛等地。1979 年在中美洲海槽区深海钻探被确证了海底水合物第一个产地，水合物分布于水深 1000～2000m 的大陆坡及海槽区早第三纪始新世至第四纪的沉积物中，此后在东、西太平洋海域、大西洋海域、内陆海域的黑海、里海、极地海域的许多大陆坡岛坡及海底高原，具有这类条件的海域约占海洋总面积的 1/10，相当于 4000 万平方公里。在世界各地已发现天然气水合物矿点 80 多处，据计算，海底水合物中的甲烷总量相当于全世界已知煤、石油和天然气等化石燃料总资源量的 2 倍。

【中国近海天然气水合物的找矿远景】 我国近海通常包括渤海、黄海、东海、台湾以东海区和南海，共五个海域，但前两者水深不够大，只有后三者可能具备水合物形成环境。南海东海是西太平洋的两个大型边缘海，也是我国“海洋国土”的主要组成部分。南海、东海都存在着有利于水合物形成富含有机质的沉积物，特别是在其周缘常规油气藏分布广泛，说明烃类气体物源充足；其次，南海、东海都具备形成水合物矿藏的构造地貌环境，如不同类型的大陆坡、海岭、深水阶地、海台、海槽、海谷、热水沉积盆地以及泥底辟等。毫无疑问，南海、东海基本上具备了天然气水合物矿藏形成所需的各项必要条件。台湾东北海域也可能具备水合物形成的条件。

南海海域内不仅具备了天然气水合物矿藏形成所需的地质地理条件，而且已查明了一些天然气水合物存在的异常标志：如发现多处可指示水合物存在的地震地球物理标志，即拟海底反射层（BSR）和阻抗空白化带（BZ），速度振幅异常和波形极性反转；海面温度增高异常区。也发现多种地球化学异常标志：如浅表层沉积物的甲烷正异常，沉积物孔隙水中氯离子含量降低等，证明找矿前景诱人。黄永祥等预测南海北部地区天然气水合物的资源量相当于 153 亿吨油当量。

【海底天然气水合物的开发及环境效应】 天然气水合物具有两个最重要的特性：一是规模巨大，分布广泛；二是相态易变，随着周围环境的变化，可以“翻手为气，覆手为冰”。正是这些特点决定

着天然气水合物可成为一种巨大的潜在能源，又可对人类赖以生存的环境及气候变化产生举足轻重的影响。近年来，一些科学已把在百慕大黑三角海域所发生的众多海难和空难事件，归罪于该区海底天然气水合物所产生的甲烷气。因此，以广义上看，对天然气水合物开发利用的研究，还应包括水合物对环境和气候影响的深入了解，而不能仅仅局限于能源一个领域。

人类能否成功地开发利用海底水合物资源，关键在于能否克服开发过程中的两大环境障碍：一是保证甲烷气不泄漏，以免海水被毒化，大气温室效应增强；二是保证海底的稳定，不因溶矿采气造成井底的滑塌、滑坡。为此，必须采取积极的技术措施，如向井中注入 $CO_2$ 气体，使之形成二氧化碳水合物，用以代替甲烷水合物，使井底不至于垮塌。美国、俄罗斯、加拿大、日本等国正在多方努力研究中，如美国已计划每年投资 2000 万美元，预定于 2015 年实现天然气水合物的开发。中国在近海合适海域也加强了天然气水合物的资源调查及有关开采技术的研究。深信，在科学技术高度发展的今天，通过各国的合作与努力，一定会取得较好的成就。

## Dc005　非烃天然气

天然气中除可燃的烃类天然气外，还有非烃气体。以氮（$N_2$）、二氧化碳（$CO_2$）、硫化氢（$H_2S$）气较为常见。另外天然气中还含有一氧化碳（CO）、二氧化硫（$SO_2$）、氢（$H_2$）、汞（Hg）以及氦（He）、氖（Ne）、氩（Ar）、氙（Xe）及氡（Rn）等痕量至微量惰性气体。

在我国石油天然气的找矿勘探过程中，也发现了少量非烃天然气井，主要是二氧化碳和硫化氢气井。

1. 二氧化碳气（$CO_2$）

二氧化碳气体，俗名碳酸气，又称碳酸酐和碳酐。

【物化性质】 无色无臭气体，有酸味。密度 1.977。相对密度 1.53。溶于水，部分生成碳酸。科学家的共同努力，技术上的障碍最终是能解决的，这一新能源的开发利用是指日可待的。化学性质很稳定。植物能利用二氧化碳和水在光和叶绿素的作用下合成淀粉等有机物。能被液化成液体二氧化碳，相对密度 1.01（−37℃），沸点为−78.5℃（升华）。液体二氧化碳蒸发时吸收大量的热而凝成固体二氧化碳，俗称干冰。相对密度 1.56（−79℃），熔点−56.6℃（0.52MPa）。

【用途】 气体二氧化碳用于制碱工业、制糖工业，并用于钢铸体的淬火和铅白的制造等。广泛用于制作碳酸盐饮料、制冷剂、灭火剂等，“干冰”主要用以保藏食物。用高效催化二氧化碳制备可降解塑料。

二氧化碳气藏：在石油天然气钻井过程中，常可发现含少量二氧化碳的井孔，首次发现大量二氧化碳喷出井是在广东三水盆地，1980 年发现后就开采利用，当时压缩成液态后运销香港。尔后在松辽、华北等地也相继探有并开发利用，简况如下。

**$CO_2$ 气田矿产地及生产企业一览**

| 矿产地 | 所在盆地 | 气田名称 | 产　层 | 生产企业 |
|---|---|---|---|---|
| 吉林省<br>农安县 | 松辽 | 万金塔 | 中白垩系砂岩深 700～1100m，含 $CO_2$ 99.8% | 中国新星石油公司<br>东北石油局 |
| 江苏省<br>泰州市 | 苏北 | 费桥 | 新生代<br>砂岩 | 中国新星石油公司<br>华东石油局 |
| | | 天深四井 | 下古生代灰岩，$CO_2$ 99% | 中国新星石油公司 |
| 广东省<br>三水市 | 三水 | 沙头圩 | 新生代灰岩，深 1434m，初日喷 500 万立方米，含 $CO_2$ 占 99.5% | 广州公司 |
| 山东省<br>滨县 | 渤海湾盆地<br>济阳拗陷 | 滨四区 | 第四系沙四段砂岩；气顶 $CO_2$ 含量 60%～75%，古井 2310～2307m<br>奥陶系灰岩，$CO_2$ 含量 97% | 胜利石油<br>管理局 |

注：引自《中国矿情》。

2. 硫化氢（$H_2S$）

【物化性质】 硫化氢气体具腐蛋异臭的气味，有毒性。密度 1.539。相对密度 1.1906。熔点 −82.9℃。沸点−61.8℃。溶于水、乙醇、甘油。溶于水后成氢硫酸。化学性质不稳定，在空气中容易燃烧。能使银、铜等制品表面发黑。

【用途】 在分析化学上用做沉淀剂，也可用以分离和鉴别金属离子。溶于水得氢硫酸，在空气中能逐渐被氧化而析出硫黄。

硫化氢（$H_2S$）气藏：在一般天然气组分中都含微量硫化氢（$H_2S$），形成单一气藏者并不多见，我国在华北油田发现有 $H_2S$ 含量高达 92%的赵兰庄 $H_2S$ 气藏；在其他地区还发现了两个含 $H_2S$ 较高的气藏。

① 赵兰庄 $H_2S$ 气藏　位于河北省晋县（渤海湾盆地冀中坳陷晋县凹陷），产层为下第三系白云岩，在赵二井于孔店组上白云岩段 2603～2618 井段测试，25mm 孔段日产气 45000$m^3$，$H_2S$ 含量达 92%。含 $H_2S$ 气层累计厚度 547.7m。储集岩主要为白云岩，泥质白云岩，其次为砂岩及泥膏岩。储集空间主要为裂隙和孔洞 。初步计算 $H_2S$ 气分布范围有 60$km^2$。

② 大王庄气藏　位于山东沾化县（济阳坳陷）大 91 井天然气中含 $H_2S$ 达 10.13%未利用。

③ 卧龙河气田　位于重庆市长寿田，在卧 33 井下三叠统嘉五段储气层中。天然气中的 $H_2S$ 含量占 4.7%～32%。已利用它制造硫黄。

# Dd 核能矿产

【铀矿石及铀矿物概述】 铀是一种银白色金属，具放射性和核裂变现象，相对密度 19.7，熔点 1130℃±2℃，铀为亲石元素，主要赋存在酸性火成岩中，它比砷、钨、钼、锑、汞、银、铋和金等元素在地壳中的平均含量都高，但其分布极为分散。

天然铀是由三种同位素组成：$^{238}U$（99.823%），$^{235}U$（0.71%）和 $^{234}U$（0.0054%）。$^{235}U$ 能够为热中子所裂变，是现今原子能的能源。$^{238}U$ 和 $^{234}U$ 只能为快中子所裂变，因此它们可应用于快中子反应堆。

铀同位素具有放射性和受中子轰击分裂的特性，因此在用途方面具双重性，既可用于和平事业，又可用于军事战争。

核能发电是当今原子能应用最广的领域，至今生产出的铀大部分都用于核电站。核电站的燃料费低于煤电站。一座 100 万千瓦的煤电站，年耗原煤约 300 万吨，而同规模的核电站，一年只需消耗约 150t 天然铀。当今的有效措施已能保证核能成为安全而清洁的能源。除电站外还有核能推动的舰船及宇航装置。在核反应中产生的中子数量比用其他方法要多得多，而且代价低廉，所以反应堆是开展基础与应用研究工作的重要工具。反应堆作为中子源的重要用途之一是可生产上百种的放射性同位素。这些同位素可用在钢铁工业、机械制造、地质勘察、仪器制造、农业、医学和食品保鲜等方面都得到广泛的应用。铀的氧化物在搪瓷工业、玻璃工业中可作颜料。

浓缩到 90%的 $^{235}U$，在具有一定量并不加控制的条件下，瞬时间能释放出大量的裂变能，即原子武器的核爆炸。原子弹、钚弹、氢弹都有巨大的爆炸杀伤力，应严加控制和禁止使用。

铀元素的化学性质十分活泼，在自然界形成了大量的铀矿物，已发现的铀矿物超过 180 多种，铀矿物基本上分为两大类：四价铀矿物和六价铀矿物。四价铀矿物多形成于高中温还原环境，$U^{4+}$ 常被 $Th^{4+}$、$Zr^{4+}$、$Hf^{4+}$、$REE^{3+}$、$Ca^{2+}$ 等元素类质同象置换而使矿物成分复杂；$U^{6+}$ 是以特殊的络阳离子 $(UO_2)^{2+}$ 形式出现、离子团半径大，不能与其他阳离子类质同象替代，易为黏土矿物吸附，六价铀矿物形成于氧化条件下，多为次生矿物。

在我国境内，共鉴别出 59 种铀矿物，其中斜方钛铀矿［orthobrannerite，$(U^{4+},U^{6+})Ti_2O_6(OH)$］；芙蓉铀矿［Urongite，$Al_{13}(UO_2)_7(PO_4)_{13}(OH)_{14}\cdot 58H_2O$］；盈江铀矿［Yingjiangite，

$(K_{1-x}Ca_x)(UO_2)_2(PO_4)_2(OH)_{1+x}\cdot 4H_2O$，$x=0.35$]；湘江铀矿［Xiangjiangite，$(Fe,Al)(UO_2)_4(PO_4)_2(SO_4)_2(OH)\cdot 22H_2O$］和腾冲铀矿［Tengchongite，$CaO\cdot 6UO_3\cdot 2MoO_3\cdot 12H_2O$］为我国首次发现的新铀矿物。而主要有经济价值的铀矿物为晶质铀矿、沥青铀矿、钛铀矿、铀石、硅钙铀矿、钙铀云母、铜铀云母、钒钾铀矿、钒钙铀矿等。

岩石中含工业铀矿物较多，金属铀含量达到工业开采品位的岩石则属铀矿石。西方国家将铀资源的金属回收成本分为：＜$40/kg U、$40～80/kg U、$80～130/kg U 三级。小于 $40/kg U 的资源最具有市场价值；$40～80/kg U 的资源在近中期有一定的经济性。我国在普查找矿过程中对铀矿床的一般工业要求如下。

| | | | |
|---|---|---|---|
| 边界品位(U)0.03% | | 最低可采厚度 | 0.7m |
| 最低工业品位(U)0.05% | | 夹石剔除厚度 | 0.7m |

小于可采厚度的薄矿体，可采用米百分值。铀矿石品级分为三级：富矿石（U≥0.3%），普通矿石（0.1%≤U<0.3%），贫矿石（0.05%≤U<0.1%）。铀矿石中常有其他伴生可用金属，其品位要求如下。

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 金 | 1g/t | 锌 | 1% | 钴、钽、铌、钼 | 0.01% | 镉 | 0.002% |
| 银 | 10g/t | 磷 | 8% | 铋 | 0.001% | 铟 | 0.0002% |
| 铁 | 15%～20% | 汞 | 0.03% | 锗、硒、碲 | 0.001% | 镍 | 0.00002%～0.001% |
| 铜 | 0.1% | 镍 | 0.02% | 镓 | 0.001% | 钨 | 0.08%～0.1% |
| 铅 | 0.3% | 钒 | 0.08% | 铊 | 0.003% | | |

## Dd001　晶质铀矿　uraninite

【组成与结构】 化学组成 $U_2UO_7$，其中铀主要为 $U^{4+}$，部分氧化为 $U^{6+}$。晶质铀矿都不同程度的含有钍、稀土和铅等，因此一般化学式为 $(U^{4+},U^{6+},Th,REE,Pb)O_{2+x}$，其中 PbO 介于 7%～12%，$(Y)_2O_3=0.17\sim6.87\%$，$(Ce,La)_2O_3=1.57\%\sim11.22\%$，$ThO_2=0.16\%\sim7.57\%$；富钇的晶质铀矿变种又称钇铀矿，富钍的变种又称钍铀矿。

晶质铀矿属等轴晶系，晶形有立方体、八面体、菱形十二面体和其他聚形。多呈粒状或钟乳状集合体。呈肾状、钟乳状的隐晶质或非晶质体叫作沥青铀矿。与晶质铀质比较，它一般不含钍或含量很低（<1%），稀土元素的含量一般不超过 1%。松散隐晶质或非晶质的无光泽粉末状或土状块体，叫铀黑。在铀黑组分中，更多的 $U^{6+}$ 替代 $U^{4+}$，使氧化系数 $O:(U^{4+}+U^{6+})$ 可达到 2.90。

【物化性质】 晶质铀矿为黑色、灰黑色、褐黑色或绿黑色，氧化后呈褐色、棕色。新鲜断口呈树脂光泽和沥青光泽，风化表面呈褐色和橙色。条痕黑褐色、灰色或绿色。不透明，解理少见。硬度 6～7，因氧化可降低至 4～4.5。相对密度 6.5～10.5。具强放射性和弱电磁性。溶于盐酸和硝酸。

【功能与用途】 是各类铀矿床中的主要工业矿物，易选冶，主要用于提取铀和镭，在现代国防、医药和能源工作方面得到重要运用。

【鉴别特征】 黑色，沥青光泽，不透明。相对密度，具强放射性。溶于酸。

【产地】 晶质铀矿是主要的工业铀矿物，见于世界上许多巨型铀矿床中，如加拿大、澳大利亚、南非、美国、纳米比亚、尼日尔、巴西、俄罗斯和哈萨克斯坦等国。在我国南岭地区、秦岭地区、天山地区、燕辽地区、滇西地区一些大、中型铀矿床中皆有产出。

## Dd002　铀石　coffinite

【别名】 水硅铀矿

【组成与结构】 铀石化学式为 $U(SiO_4)_{1-x}(OH)_{4x}$。可含 Al（≤10%）、$Fe^{3+}$（≤4.5%）、As（≤4.5%）、V（≤18%）、P（≤2.7%）等；其铀和水的含量变化也大。

四方晶系，多呈四方柱状、针状或粒状。一般粒度很小。铀石多不同程度变生，强烈变生的呈

非晶质体。

【物化性质】 铀石为黑色，玻璃光泽到半金属光泽。断口呈土状，不规则至次贝壳状。硬度 4.2～6.5，相对密度 5.1。性脆，无荧光，具放射性。

【产状与产地】 见于美国钒铀矿床，也见于我国砂岩型铀矿床、花岗岩、酸性火山岩中的热液型铀矿床中，与晶质铀矿共生构成铀矿石，见于新疆伊犁、粤北和赣中等地铀矿床中。

## Dd003 钛铀矿 brannerite

【组成与结构】 钛铀矿化学式为 $UTi_2O_6$。成分上 $U^{4+}$ 在一定程度上被 $U^{6+}$ 所代替。主要元素含量为：$TiO_2$ 31.60%～43.8%，$ThO_2$ 0.3%～8.41%，$UO_2$ 11.4%～42.36%，$UO_3$ 为痕迹约 29.9%，CaO 1.1%～3.45%，$Fe_2O_3$ 0.58%～4.30%，$REE_2O_3$ 0～7.35%，$H_2O$ 0.35%～10.40%。光谱分析还析出钒、铌、钽、锑、铋、锌、锰，含量在 0.1%～1%之间。单斜晶系，晶体呈柱状或致密块状。

【物化性质】 颜色呈黑色到黄褐色，条痕为绿棕色、浅棕色。贝壳状断口，金刚光泽，非晶质化则呈油脂光泽。硬度 4.5～6.5，性脆，相对密度 4.56～5.43。矿物具弱磁性。溶于热硝酸及浓硫酸，不溶于王水，与硫酸氢钾混合后可熔。放射性强。

【功能与用途】 钛铀矿产在与酸性岩浆有关的岩浆期后矿床中，如伟晶岩脉、钨-铍-铀矿脉，及沉积砂岩中。与沥青铀矿、铀黑等共生构成铀工业矿石提取铀金属。

【鉴别特征】 黑色，金刚光泽到油脂光泽，常呈均质体，透射镜下呈黄绿色，强放射性，钛铀矿周围常形成一圈铀黑和放射性晕圈。

【产地】 见于我国陕西秦岭地区、新疆伊犁地区、华南粤北和赣中地区。在国外加拿大和南非的含金砂岩和含金砾岩中，成为规模很大的铀矿床中的工业矿物。

## Dd004 斜方钛铀矿 orthobrannerite

【组成与结构】 斜方钛铀矿是我国于 1975 年在云南一个黑云母辉石正长岩中首先发现，其化学式为 $(U^{6+},U^{4+})$-$Ti_2O_6(OH)$，$UO_3$ 31.08%，$UO_2$ 28.75%，$TiO_2$ 35.35%，$ThO_2$ 1.03%和正、负水 1.82%及微量 Ca、REE、Pb、Fe、Nb、Ta 等元素。斜方晶系，柱状晶体，在平行 $c$ 轴的柱面上有纵纹。矿物呈变生状态，在自然条件下为非晶质，加热至 1000℃时，矿物完全恢复到结晶状态。

【物化性质】 新鲜矿物为黑色，风化后表皮呈黄褐色。金刚光泽，条痕黑色或褐黑色，透明度差。断口贝壳状。硬度 4.4～4.5，相对密度 5.46。无荧光，具强放射性。斜方钛铀矿与冷酸及硫酸不起作用，溶解于热硫酸及热磷酸中。

【鉴别特征】 斜方钛铀矿与钛铀矿的一般物理和化学特征很相近，难以区别。但在化学成分上钛铀矿是以四价铀为主，而斜方钛铀矿是以六价铀为主，并含有 $H_2O$。非晶态的钛铀矿加热至 700℃和 1200℃时，呈单斜晶系的钛铀矿结构，而斜方钛铀矿加热到 700～1000℃时呈斜方晶系结构。

【产状与产地】 见于我国云南黑云母辉石正长体风化产物中和四川碱性煌斑岩中，斜方钛铀矿在岩石中含量少，只具学术意义。

## Dd005 硅钙铀矿 uranophane

【组成与结构】 硅钙铀矿化学式为 $Ca(UO_2)_2Si_2O_7 \cdot 5\sim6H_2O$，含 $(U^{4+},U^{6+})O_2$ 61%～66%，CaO 6.16%～6.55%，$SiO_2$ 13.6%～14.14%，$H_2O$ 12.62%～13.60%。还含微量 Na、Pb、Ba、Fe、Al 等元素。单斜晶系，晶体呈针状、柱状、放射状、纤维状及肾状集合体。或按其他铀矿物呈假象产出。

【物化性质】 硅钙铀矿呈黄色、浅黄色或草黄色。玻璃光泽、丝绢光泽或暗淡的土状光泽。透明、

解理完全。硬度 2～3。相对密度 3.81～3.96。在紫外线下发微弱的浊黄绿色光。溶于酸并析出硅胶。放射性强。

【产状、产地和用途】 硅钙铀矿多见于不同成因的铀矿床里，是广泛分布的表生矿物，常与沥青铀矿、硅铅铀矿、铜铀云母、钙铀云母等共生，在我国广东、江西、新疆、陕西等地铀矿床中有少量产出。在广西一淋积型铀矿床中分布多，是主要工业矿物。可提取金属铀。

## Dd006 钙铀云母 autunite

【组成与结构】 钙铀云母矿物的化学式为 $Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 10\sim12H_2O$，含 CaO 6.10%，$P_2O_5$ 15.50%，$UO_3$ 62.70%，$H_2O$ 15.7%及少量 Mg、Pb、Fe、Al、Re 等。该矿物在干燥气候条件下可自行脱水，形成变钙铀云母。四方晶系，四方双锥晶类，晶体常是板状、片状或鳞片状，集合体有时呈球状、被膜状、粉末状。

【物化性质】 绿黄色、浅黄色、浅绿色。透明度较好，金刚光泽。解理面上呈珍珠光泽。解理完全到中等。硬度 2～2.5。性脆。相对密度 3.05～3.19。具强放射性，在紫外线照射下具有明显的黄绿色荧光。溶于酸。吹管灼烧后膨胀并发亮。NaF 珠球在紫外线下发绿色荧光。

【功能和用途】 钙铀云母是原生铀矿物经地表风化的次生产物。因其颜色鲜艳夺目，易被发现，而指示人们可能有铀矿化。钙铀云母较多时，也可与沥青铀矿共同构成铀矿石而成工业铀矿物。

【鉴别特征】 外形像珍珠云母、淡斜绿泥石等，但这两种矿物无放射性，在紫外线照射下也不发荧光，可与钙铀云母相区别。

【产状与产地】 钙铀云母见于许多热液型铀矿及伟晶岩型铀矿床氧化带，也产出于泥煤中。在我国广东、广西、辽宁、云南等省铀矿区有产出。

## Dd007 铜铀云母 torbernite

【组成与结构】 $Cu[UO_2(PO_4)]_2 \cdot nH_2O$（$n$ 一般可达 12）。CuO 7.9%，$UO_3$ 57%，$P_2O_5$ 14%，$H_2O$ 21.1%。还含少量 Ca、Mg、Pb、Fe、As、Al、Si 等元素。四方晶系，复四方双锥晶类，晶体常呈板状或成短柱状。横断面呈八边形或四边形。

【物化性质】 姜黄色、祖母绿，有时显苹果绿色。条痕较颜色浅。玻璃光泽。解理完全到中等。硬度 2～2.5。性脆。相对密度 3.22～3.60。具强放射性，紫外线下发黄绿色荧光。偏光显微镜下呈绿色，多色性明显。矿物溶于硝酸，溶液加几滴 $NH_4(OH)$ 呈蓝色。以吹管灼烧膨胀易熔成黑色珠球。

【功能与用途】 铜铀云母也是广泛产于各种铀矿床及含铀含铜地层和岩体的指示性矿物。常与其他次生铀矿物共生，和沥青铀矿等共同构成铀砂石时有开采价值。

【鉴别特征】 与钙铀云母比较，颜色更深，绿色和黄色，多色性明显。有铜的微化反应。

【产状和产地】 见于与花岗岩和火山岩有关的热液铀矿床和沉积铀矿床的氧化带，是绿色铀云母带的主要成分。我国广东、江西、广西、甘肃等省铀矿床中都有产出。

## Dd008 钒钾铀矿 carnotite

【组成与结构】 钒钾铀矿化学式为 $K_2\{(UO_2)_2[V_2O_8]\} \cdot 3H_2O$，$K_2O$ 10.44%，$UO_3$ 63.42%，$V_2O_5$ 20.16%，$H_2O$ 5.98%，还含少量 Na、Ca、Mg、Cu、Fe、S 等元素。单斜晶系，层状结构。晶体呈菱形板状，集合体致密块状、被膜状、粉末状和皮壳状。

【物化性质】 鲜黄色至金黄色，也呈浅黄绿色。晶体珍珠光泽，块状者为土状光泽。解理完全，硬度 2～2.5。相对密度 4.7～4.95。具强放射性，不发荧光。

【产状、产地和用途】 钒钾铀矿见于美国科罗拉多州三叠系或侏罗系砂岩铀矿床中，也见于澳大利

亚含钒和有机质的含铀石灰岩中，呈浸染状，被膜状与钒钙铀矿、铀黑等构成铀矿石。我国西北和西南地区，富含钒的古生代、中生代地层中沉积型、沉积-淋积型铀矿层氧化带中有工业富集。

## Dd009 钒钙铀矿 tyuyamunite

【组成与结构】 化学式为 $Ca\{(UO_2)_2[V_2O_8]\}\cdot nH_2O$，含 CaO 5.01%～5.9%，$UO_3$ 57.7%～58.34%，$V_2O_5$ 18.72～19.50%，$H_2O$ 16%～18%；还含有微量 Na、K、Mg、Cu。成分中钾可代替钙，水的含量随空气的湿度而变。斜方晶系，与铜铀云母的层状结构类似，板状晶体。常呈鳞片状集合体，也呈细小晶簇及粉末状，薄膜状集合体。

【物化性质】 钒钙铀矿呈柠檬黄色、橘黄色及棕绿色，在阳光下晶体表面转变为黄绿色。油脂光泽至玻璃光泽。解理完全到不完全。具不平坦断口，硬度低，1～2。相对密度 3.41～3.67。无荧光反应，具强放射性。易溶于各种酸（醋酸除外）。

【产状、产地和用途】 钒钙铀矿多产于含钒和铀的砂岩和石灰岩中，见于俄罗斯、美国和澳大利亚等国，中国西北、西南及中南地区钻质硅岩、硅质灰岩的裂隙中有大量富集，与钒钾铀矿等其他次生铀矿物组成完全氧化带的重要工业铀矿体。

【钍矿石和钍矿物概述】 钍是银白色金属，性柔，有延性，具放射性，在自然界中钍很少呈元素状态，一般与其他元素化合成氧化物、硅酸盐、磷酸盐和氟化物，通常集中于岩石圈上部，属于亲石元素。钍金属熔点高达 1700℃。

钍的用途包括能源用途和非能源用途，目前主要是用于非能源方面，制造白炽灯罩。在冶工业上用以炼制各种优质合金，镁钍合金在温度超过 200℃时仍有很高的机械强度，用于飞机和火箭。钍铝合金除可增大延展性外，还能耐海水的侵蚀。在铁、钴、铜、银、铂、金、钨等金属中加入钍，可能合金获得良好的结构和耐热性。氧化钍用来作耐火材料及研磨物质的组成部分。新钍能发现钢铁中的裂隙，同时它具有高度极化性，可用来消除积聚在机械上的静电。钍具有的强烈的 α 射线可用于医学和能源等，$^{232}Th$ 在反应堆中可制取 $^{233}U$，作为核燃料，现在尚处于研究试验阶段，它是潜在的核能物质。

钍的化合物以 4 价为主，离子半径 1.02Å，与 $U^{4+}$（0.97Å）、$Ca^{2+}$（0.099nm）、$REE^{3+}$（0.103～0.085nm）、$Z^{4+}$（0.079nm）相近，碱性较 $U^{4+}$ 明显，几乎不具两性。水溶液中易水解成 Th(OH) 沉淀，能在 pH 值较低的条件下沉淀，迁移能力较弱。已知含钍矿物近 120 种，钍的独立矿物有 40 多种，其中大部分含铀、稀土元素和钙、锆等元素的矿物。主要钍矿物是方钍石、钍石和独居石。

作为钍资源开采过的矿床类型一是独居石类型砂矿床，在印度、巴西、澳大利亚、美国资源量巨大，我国也不少，但品位略低。其一般工业要求是独居石中含 $ThO_2$ 4%，砂矿体中独居石品位 300g/m³，其次是含方钍石或钍石的脉状砂床，要求矿石含 $ThO_2$ 0.1%以上。

## Dd010 独居石 monazite

【功能与用途】 独居石的物理和化学性质在 C 稀土矿物中作为主要稀土矿物已有详细介绍，这里侧重就独居石中的钍含量作进一步的讨论。

外国含独居石砂矿的独居石精矿的 $ThO_2$ 在 5.5%～8%，我国广东南山海稀土砂矿独居石精砂含 $ThO_2$ 8%～10%。除砂矿外，我国最大的原生稀土矿床，白云鄂博矿床，含独居石的资源量也很巨大，但这种碳酸岩浆喷溢沉积或侵入就位的稀土矿床中的独居石含钍都较低，白云鄂博矿区的独居石含 $ThO_2$ 约 0.34%，湖北庙垭的 0.26%，内蒙古阿拉善右旗桃花拉山约 0.27%。而我国一般花岗岩中独居石含 $ThO_2$ 约 3.61%～12%，花岗伟晶岩中的独居石含 $ThO_2$ 约为 4%～18%，个别为富钍独居石，含 $ThO_2$ 36%左右。但砂石中独居石含量并不高，无单独开采价值。

我国含独居石砂矿主要分布在广东阳江至吴川之间，海南岛万宁到崖县一带，还有我国湖南洞

庭湖沿岸和江西、云南的冲积型砂矿。

### Dd011 方钍石 thorianite

【组成与结构】 化学式为 $ThO_2$，理论值 Th 87.88%，O 13.12%类质同象混入物有铀、铅、铈、镧、钪、钇、铁、铝等元素，故有铀-方钍石、钍铅铀矿等变种，含 ThO 仅 36%～70%，而 $U_3O_8$ 高达 26%～60%。等轴晶系，六八面体晶类，立方体晶形，有时具穿插双晶晶形。多呈浑圆粒状。

【物化性质】 矿物颜色有暗棕色、褐色、暗褐色至黑褐色。矿物表面覆盖浅红色薄膜。不透明，碎片透红褐色光。解理不完全，金刚至半金属光泽。不平坦状或亚贝壳状断口。硬度 6.5～7.5。性脆。相对密度 9.1～9.5。强放射性，不发光。不溶于盐酸，在浓硫酸和硝酸中加热分解。

【用途和产状】 大量富集时可提取钍。但自然界中较少见，呈副矿物见于碱性岩及与碱性岩有关的热液脉及伟晶岩中，也见于花岗岩及花岗伟晶岩中，与锆石、晶质铀矿、易解石、褐钇钽矿、烧绿石等共生产出。但很少形成工业富集。

### Dd012 钍石 thorite

【组成与结构】 钍石化学式为 $Th[SiO_4]$。$ThO_2$ 81.5%、$SiO_2$ 18.5%，但自然界钍石成分变化很大。钍可以被许多元素所代替，最常见的有铀、铁、稀土、锆、铅，其中还含有微量的铝、铌、钽、镁、锰、钾、钠、铍等元素。$[SiO_4]$ 四面体常被 $[PO_4]^{3-}$、$[AsO_4]^{3-}$、$[VO_4]^{3-}$、$[CO_3]^{2-}$ 所代替。因此常形成许多变种钍石，如铀钍石、钙钍石、铁钍石、磷钍石、砷钍石、磷铀钍石、磷硅钍石、磷钙铁钍石等，其中 $ThO_2$ 含量变化于 81.5%～44.83%之间。钍石属四方晶系，晶形为复四方双锥晶类，晶体形态与锆石相似，呈四方双锥状、柱状、粒状或致密块状。

【物化性质】 普通钍石多呈棕色或浅色，呈橙黄色者称橙黄石（orangite）。铀钍石呈绿色、绿黑色；铁钍石呈褐色、黑褐色、黑色，矿物表面有一层深褐色壳。条痕从黄色到褐色。光泽由玻璃、油脂到沥青光泽。透明至半透明。无解理、贝壳状断口。硬度 4～5，相对密度 4～5.5。具强放射性。铀钍石和铁钍石具电磁性。在盐酸和硝酸中加热分解，并析出 $SiO_2$ 凝胶。加入钍试剂呈樱红色的 Th 反应。

【功能与用途】 钍石大量富集，$ThO_2$ 品位达 0.1%的原生矿石有工业意义，但现时国内外都未对它作勘探开发。

【鉴别特征】 不规则粒状的钍石与锆石和榍石相似，但钍石的硬度和折射率较低，相对密度较大。具放射性和有钍反应。

【产状与产地】 呈副矿物见于我国赛马碱性岩矿田、白云鄂博矿区、内蒙古、阿尔泰和粤西、秦岭地区伟晶岩及许多铀矿区，含量较少。未构成工业意义。

### Dd013 单斜钍石 huttonite

【别名】 硅钍石

【组成与结构及物理性质】 化学式与四方晶系钍石相同，也是 $Th[SiO_4]$。但属单斜晶系，晶体结构与独居石相同。无色至乳白色，金刚光泽。解理中等。硬度 6.5，相对密度 7.2，见于砂矿中，极少见。

## De 温泉与地热

【别名】 geotherm；hot spring

【概述】 中国是世界上利用地热资源较早的国家之一，据历史记载已有数千年的历史。陕西西安华清池温泉，西周时期已开始利用，秦代和唐朝更成为皇室贵人沐浴、住宿和游玩的场所。温泉仅是地热资源的天然地表露头而已。“地热”是地热资源的简称，常指能够经济地为人类所利用的地球

内部的热资源。地球内部蕴藏有由放射性物质衰变作用等原因所产生巨大的热，有人称之为“大热库”，时时刻刻通过地球表面散发到大气中。据估计每年散发的热量达 $1.089\times10^{21}$J，大大超过火山和地震活动所释放出的总热量。此量虽大，但因分散，难以利用。只有在地球内热相对富集地区如近代火山活动、构造活动强烈地区并达到为人类能够开发利用程度的这种地热，才构成可利用的地热资源。广义的地热资源包括①天然的蒸汽、热水和热卤水等；②由人工引入地热储的水、气或其他流体所产生的二次蒸气、热水和热卤水等；③由上述产物带出的副产品（指价值比较高的矿物质）。地热资源又分水热型和干热型，水热型是目前国内外地热开发的重点。我国地热资源的勘察与开发分三个阶段：20 世纪 70 年代以前是地热天然露头的无意发现到系统调查，编制出了《全国矿泉分布图》，查明地热天然露头点全国近 3200 处。70 年代开始了对隐伏地热资源的勘察与开发，在北京、天津、广东、福建和湖南局部地区进行了地热资源的深部勘察和开发利用，包括试验性地热电站的建设。进入 80 年代后，随着改革开放政策的深入推进，地热资源的勘察和开发利用进入了一个新阶段。形式上有中外合作开发和国家及民营并举，建成生产型西藏羊八井地热电站。开办了一些温泉旅游度假村及不同形式的地热综合利用中心，使中国在地热资源的勘察与开发利用上进入了一个全新的发展阶段。

【地热资源用途】 地热资源有着广泛的用途，它和矿物燃料的区别在于不用燃烧，因其输送性能比较低，输送高温地热水的极限距离约 100km，天然蒸汽的输送距离大约只有 10km，故一般是使地热能就地转换为电能或直接利用。地热资源的用途很广，由于地热资源的温度不同或矿物质含量差异而形成不同的用途。

1. 发电

限于温度在 150℃以上的高温地热田，利用地下热水的热能，采用降压扩容法或中间介质法发电，较火力发电有许多优越性，不用燃料，不要锅炉车间及其相应的设备，同时很少造成空气污染。我国在河北后郝窑、广东邓屋、湖南灰汤等地热田建有试验电站、在西藏羊八井已建成我国目前最大的地热电站，向 92km 之外的拉萨市供电。

2. 工业利用

限于 60～150℃的中、低温地热水，主要用于食品生产、酒类和饮料加工过程干燥、脱水、蒸馏；纺织和制革工业的洗涤；圆木和建筑材料的烘干；金属部件的酸洗去锈和清洗等，用量大，门类多。

3. 供暖

用于供暖的地热水温度一般在 60℃以上，也有采用 50～60℃的，50℃以下的则很少采用。分直接供暖和间接供暖两种方式，直接供暖是将地热水直接送入供热系统，其对地热水的水质要求高，不得对供暖管道系统产生腐蚀和结垢，一般为矿化度比较低的地热水；间接供暖是使地热水通过热交换器将热转换给供热系统进行供暖。开采具有腐蚀性和易产生结垢的地热水供暖，一般采用间接供暖方式。地热水供暖的利用率取决于地热水的温度及其供暖后排放水温度，地热水温度越高，供暖后的排水温度越低，则其供暖的利用率越高。地下热水供暖，在北京、天津、华北油田、福州等地为居民住宅区供暖，已取得了良好效果，以北京某招待所为例，利用井深 1567m，水温 64℃，出水量 $70m^3/h$ 的热水井采暖，采暖面积达 $3.7\times10^4m^2$，与用锅炉采暖比较，全年可节煤 1200t，节电 1.9 万度，节省人力 18 人，并减少了环境污染。

**地热水供暖利用率**

| 温度/℃ | 90 | 80 | 70 | 60 | 50 | 40 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 可利用($t_g-t_{25}$)/℃ | 65 | 55 | 45 | 35 | 25 | 15 |
| 实际用($t_g-t_n$)/℃ | 50 | 40 | 30 | 20 | 10 | 0 |
| 利用率/% | 77 | 73 | 67 | 57 | 40 | 0 |

注：$t_g$：地热水供暖温度（℃）；$t_n$：地热水供暖实际排水温度，一般取 40℃；$t_{25}$：地热水供暖最低排水温度，取 25℃。

4. 用于农副业生产

温度在30～45℃，符合TJ 35渔业水质标准低矿化的地热水，可用于水产养殖，我国目前较多的用于养殖鳗鱼、罗非鱼、对虾、河蟹、甲鱼等。利用地热，建立温室，进行人工孵化，保温育苗，种植名贵花卉、蔬菜等作物，利用地热水温度在30～75℃之间。用于农田灌溉或给土壤加温的地热水温度一般在40℃以下，水质应满足农田灌溉用水标准。

5. 用于医疗洗浴

温泉洗浴疗养，自古有之，我国最著名的温泉疗养地当数西安市临潼华清池、广州市从化温泉和安徽黄山温泉。最适于洗浴的地热水温度是40～60℃，在整个的洗浴过程中，借助矿泉水所具有的温度、浮力、压力以及矿泉水中所含的大量化学物质的综合作用，从而对洗浴者起到治病强身的效果。2003年10月14日的《参考消息》转载《香港医联网》资料，介绍了以下几类矿泉的疗效。

① 淡泉 bottle spring　淡泉是世界上最常见的一种矿泉水，依温度不同可分三种。a. 微温浴：可引起中枢神经系统的抑制，有镇静作用，对兴奋型神经官能症及由脑出血后遗症所引起的瘫痪，都有显著的疗效。b. 温浴：可以促进肌体的血液循环和淋巴循环，缓解血管痉挛，消除皮肤紧张，并有镇痛和促进新陈代谢的作用。c. 高温浴：能扩张血管，增进血液循环，加速新陈代谢，有助于组织机能的恢复。

② 碳酸泉 carbonaleol spring　对肌肤湿疹、神经性皮炎等多种皮肤疾病，均有良好的治疗效果。

③ 硫化氢泉 hydrogen sulfide spring　在洗浴过程中，溶于水中的硫化氢对洗浴者的皮肤有直接刺激作用，能够明显地改善皮肤的微循环，并有灭菌消毒的作用。

④ 氡泉 radon spring　氡泉中的氡可以治疗各种慢性免疫功能低下的疾病、糖尿病、痛风、类风湿性关节炎、风湿性关节炎、神经炎、妇科疾病以及多种皮肤疾病等。

⑤ 氯化钠泉 sodium chloride spring　用含有氯化钠的泉水进行浴疗，可以刺激皮肤中的毛细血管，改善肌体血液循环、促进炎症渗出物的吸收，并加速组织的新生。

⑥硫酸钙泉 calcium sulfate spring　可以促进洗浴者肌体的代谢和尿酸的排出，故对泌尿系统炎症、结石症都有很好的疗效，而且还可以治疗湿疹、牛皮癣、痛风、胃肠功能障碍等病症。我国目前采用的医疗矿泉水水质标准如下。中国部分医疗热矿水水质特征如下。

医疗矿泉水水质标准　（mg/L）

| 成　分 | 有医疗价值浓度 | 矿水浓度 | 命名矿水浓度 | 矿水名称 |
|---|---|---|---|---|
| 二氧化碳 | 250 | 250 | 1000 | 碳酸水 |
| 总硫化氢 | 1 | 1 | 2 | 硫化氢水 |
| 氟 | 1 | 2 | 2 | 氟水 |
| 碘 | 1 | 1 | 5 | 碘水 |
| 溴 | 5 | 5 | 25 | 溴水 |
| 锶 | 10 | 10 | 10 | 锶水 |
| 铁 | 10 | 10 | 10 | 铁水 |
| 锂 | 1 | 1 | 5 | 锂水 |
| 钡 | 5 | 5 | 5 | 钡水 |
| 锰 | 1 | 1 | | |
| 偏硼酸 | 1.2 | 5 | 25 | 硼水 |
| 偏硅酸 | 25 | 25 | 50 | 硅水 |
| 偏砷酸 | 1 | 1 | 1 | 砷水 |
| 偏磷酸 | 5 | 5 | | |
| 镭 | 10～11 | 10～11 | 10～11 | 镭水 |
| 氡（Bq/L） | 37.00 | 47.14 | 129.50 | 氡水 |
| 温度 | ＞34.0 | 矿化度 | ＜1000 | 淡温泉 |

注：引自《中国矿情》第一卷表2.5.5，P561。

中国部分医疗热矿水水质特征

| 序号 | 地　点 | pH 值 | 水温/℃ | 矿化度/(g/L) | 水化学类型 | 特征组分/(mg/L) | 矿水名称 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 北京小汤山 | 7.2 | 48.0 | 0.424 | $HCO_3 \cdot SO_4$—Na·Ca | F 6.5 | 氟水 |
| 2 | 内蒙古赤峰 | 8.6 | 83.0 | 0.860 | Cl·$HCO_3$—Na | Rn 119.331;$SiO_2$ 83;F 7.0 | 硅、氟、氡水 |
| 3 | 河北平山 | 7.5 | 66.8 | 1.800 | Cl·$SO_4$—Na | $H_2SiO_3$ 70 | 硅水 |
| 4 | 山西忻州 | 8.4 | 55.0 | 0.926 | Cl·$SO_4$—Na | $H_2SiO_3$ 70;Rn 309.3 | 硅、氡水 |
| 5 | 辽宁汤岗子 | 8.9 | 72.0 | 0.490 | $SO_4 \cdot HCO_3 \cdot$Cl—Na | Rn 101;F 16.0 | 氟、氡水 |
| 6 | 辽宁五龙背 | 8.6 | 67.9 | 0.485 | $SO_4 \cdot HCO_3 \cdot$Cl—Na | Rn 70.3;F 12.6 $H_2SiO_3$ 107.5 | 硅、氟、氡水 |
| 7 | 辽宁兴城 | 7.3 | 63.8 | 4.294 | Cl—Na·Ca | Rn 96.1;$H_2SiO_3$ 97.5 | 硅、氡水 |
| 8 | 吉林抚松 | 7.82 | 62.0 | 1.475 | Cl·$HCO_3 \cdot SO_4$—Na·Ca | Rn 194.1;F 9.5;$H_2SiO_3$ 70.0 | 氟、硅、氡水 |
| 9 | 江苏汤山 | 7.3 | 60.0 | 1.710 | $SO_4 \cdot HCO_3$—Ca·Mg | Rn 20.72 | |
| 10 | 安徽半汤 | | 60.0 | 1.7～2.5 | $SO_4$—Ca·Mg | Rn 259～440;$H_2SiO_3$ 50.0 | 硅、氡水 |
| 11 | 江西庐山 | 8.4 | 69.0 | 0.340 | $HCO_3$—Na | Rn 188.7;F 15.0 | 氟、氡水 |
| 12 | 福建福州 | 8.05 | 74.0 | 0.340 | $SO_4$·Cl—Na | $H_2SiO_3$ 53.0 | 硅水 |
| 13 | 湖北咸宁 | 7.4 | 42.5 | 1.990 | $SO_4 \cdot HCO_3$—Ca·Mg | Rn 158.7 | 氡水 |
| 14 | 湖北应城 | 7.7 | 65.0 | 1.25 | $SO_4 \cdot HCO_3$—Ca·Na·Mg | Rn 71.0;$SiO_2$ 64.0 | 硅(氡水) |
| 15 | 湖南灰汤 | 8.5 | 89.5 | 0.364 | $HCO_3$·Cl—Na | $H_2SiO_3$ 143.0;F 8.2 | 氟、硅水 |
| 16 | 广东从化 | 7.3 | 60.0 | 0.41 | $HCO_3$—Na·Ca | Rn 169.0 | 氡水 |
| 17 | 广西陆川 | 7.5 | 53.0 | 0.48 | $SO_4 \cdot HCO_3$—Na·Ca | $H_2SiO_3$ 85.0 | 硅水 |
| 18 | 贵州息峰 | 7.37 | 54.0 | 0.41 | $HCO_3 \cdot SO_4$—Ca·Mg | Rn 149.85 | 氡水 |
| 19 | 重庆南温泉 | 6.9 | 42.5 | 2.50 | $SO_4$—Ca·Mg | $H_2SiO_3$ 26.0 | |
| 20 | 西安华清池 | 7.0 | 43.0 | 0.834 | $SO_4$·Cl—Na | F 5.8;Rn 30.86 | 氟水 |
| 21 | 甘肃武威 | 8.7 | 45.0 | 0.34 | $HCO_3$—Na | Rn 351.5;F 16.3 | 氟、氡水 |

注：资料来源，引自《中国矿情》第一卷表 2.5.33，P616。

6. 提取有用组分

含有用组分浓度较高的温泉或热水井的温度一般较高，才能溶解较多矿物质。如湖北某地钻孔中，于 3000m 深处，以 70 多个大气压的压力喷出 97℃的热水，含盐浓度 300g/L，同时含有碘、锂、铯、铷、钾等元素；云南腾冲温泉温度较高，年产硫磺达 5000t。对有用元素是否有开采价值的评价因素包括热田大小，开采深度，水的日产量等，其中一个重要指标是可以提取有用元素的最低含量。其参考数值如下。

| | | | |
|---|---|---|---|
| 碘(I) | 20～30mg/L | 溴(Br) | 20～200mg/L |
| 铯(Cs) | ＞80mg/L | 锂(Li) | ＞25mg/L |
| 铷(Rb) | ＞200mg/L | 锗(Ge) | ＞5mg/L |

7. 饮用矿泉水

不少低温地热水，因其来源于地下深部，未受人为污染，并含有一些有益于人体健康的微量元素，可作为饮用天然矿泉水开发利用，我国近年来开发的一些饮用天然矿泉水中，就有相当一部分是低温地热水。当地热水的污染物指标、微生物指标及锂、锶、锌、铜、铬、钡等组分的限量指标符合要求的条件下，水中有一项(或一项以上)指标符合规定，可作为饮用天然矿泉水开发。我国生产饮用天然矿泉水的代表性地热水水质特征如下。

**饮用天然矿泉水界限指标**

| 项　　目 | 指　　标/(mg/L) |
|---|---|
| 锂 | ≥0.2 |
| 锶 | ≥0.2(含量在 0.2～0.4mg/L 范围时，水温必须在 25℃以上) |
| 锌 | ≥0.2 |
| 溴化物 | ≥1 |
| 碘化物 | ≥0.2 |
| 偏硅酸 | ≥25.0(含量在 25～30mg/L 范围时，水温必须在 25℃以上) |
| 硒 | ≥0.01 |
| 游离二氧化碳 | ≥250 |
| 溶解性总固体 | ≥1000 |

注：引自《中国矿情》第一卷，表 2.5.6。

**生产饮用天然矿泉水的代表性地热水水质特征**

| 地点 | 水化学类型 | 水温/℃ | 矿化度(g/L) | 特殊成分/(mg/L) | | | 矿泉水名称 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 偏硅酸 | 锶 | 其他 | |
| 北京永外 | $HCO_3 \cdot SO_4$—Na·Ca | 62.0 | 0.452 | 44.2～49.4 | 0.88～0.96 | 氟 5.3 | 偏硅酸锶型 |
| 天津大港 | $HCO_3 \cdot Cl$—Na | 74.0 | 0.151 | 46.8～49.4 | | | 偏硅酸型 |
| 河北沧州 | Cl—Na | 35.0 | 1.465 | | 0.31～0.35 | 碘 0.26～0.34 | 锶、碘型 |
| 山西侯马 | $HCO_3 \cdot SO_4$—Ca·Na | 40.0 | 1.095 | 26.9～30.0 | 1.7～2.4 | | 偏硅酸锶型 |
| 内蒙古水音涧 | $HCO_3 \cdot SO_4$—Ca·Mg | 95.0 | 0.72 | | 0.755 | | 锶型 |
| 安徽东至 | $HCO_3$—Ca·Mg | 42.0 | 0.48 | 57.0 | 0.53～0.86 | | 偏硅酸锶型 |
| 河南汝州 | | 67.0 | 1.7～2.12 | 143～156 | 0.49～0.9 | 锂 1.15～1.47 | 偏硅酸锶锂型 |
| 湖北钟祥 | | 37～38 | 0.55 | 31.2～39.8 | 0.32～0.40 | | 偏硅酸锶型 |
| 湖南郴州 | $HCO_3 \cdot SO_4$—Ca·Mg | 42.0 | | 52.65 | 1.54～1.63 | | 偏硅酸锶型 |
| 广西龙胜 | $HCO_3$—Ca·Mg | 57.0 | 0.115 | 39.0～54.6 | | | 偏硅酸型 |

注：引自《中国矿情》第一卷，表 2.5.36。

【中国地热资源概况】 中国地热资源是比较丰富的，据粗略计算，主要沉积盆地小于 2000m 的深度中储存的地热资源总量约 $4.0184\times10^{19}$kJ，相当于 $1.3711\times10^{12}$t 标准煤的发热量，以其 1%作为可开采量计算，可开采地热资源总量为 $4.0184\times10^{17}$kJ，约相当于 $1.3711\times10^{10}$t 标准煤的发热量。中国山地多，全国平均单位面积热储存量将小于沉积盆地单位面积平均热储存量，全国 960 万平方公里地热资源总量若以沉积盆地单位面积平均热储量的 50%估算，估计全国地热资源总量约 $2.11920000\times10^{20}$kJ，或相当于约 $7.2310\times10^{12}$t 标准煤的发热量。可开采热量仍以热储存量的 1%计算，则全国地热资源可开采量约相当于 $7.23\times10^{10}$t 标准煤（相当于 723 亿吨标准煤的地热可采资源量）。

据 1996 年统计，全国已勘察的地热点（田）有 738 处，其中进行过勘探的 43 处；详查的 83 处；普查及区域调查的 612 处。探明各级可开采地热水总量为 $2.47016\times10^{6}m^3/d$，可利用热能约 4318.96MW，每年所提供的热量约相当于 $4.644\times10^{6}$t 标准煤。各省（自治区、直辖市）现已探明地热资源前十名排序为：①西藏（1732.20MW），②云南（420.90MW），③广东（377.70MW），④河北（350.00MW），⑤天津（276.30），⑥台湾（172.10MW），⑦福建（123.30），⑧陕西（103.07），⑨辽宁（96.05），⑩湖北（93.05）。据 1996 年统计，各省（自治区、直辖市）地热资源开发利用热能情况前十名排序为：①西藏（910.00MW），②云南（197.95MW），③天津（95.70MW），④河北（93.10MW），⑤北京（71.30MW），⑥湖南（51.70MW），⑦辽宁

(44.16MW)，⑧山西（35.65MW)，⑨广东（34.25MW)，⑩江西（30.10MW)。全国已勘察资源的利用率近于 42%，其中北京利用率最高，近百分之百，其次是重庆（96%)，再次是四川(88%)；利用率较低的省区是广西和广东，利用率在 10%以下，福建和甘肃也不足 15%。尚需重视开发利用。

【中国地热资源的特点】

1. 中国地热资源类型

中国地热资源类型可以大致分为三类：①与火山活动有关的地热资源：我国仅分布在台湾地热带，温度达 150～300℃，地热田规模一般大于 10km$^2$，以发电利用为主。②构造隆起区带热对流型：多分布在中国西南部的藏南、滇西、川西地区，水热活动强烈，出露有沸泉、沸温泉，间歇喷泉和水热爆炸等高温显示现象。其次在东南沿海闽、粤、琼诸省及北京、陕西临潼等地也有分布，以中低温水热为主，西藏羊八井地热资源已成功发电。其他地区多直接综合利用。③沉积盆地区的地热资源：大型、特大型沉积盆地的沉积层厚度大，其中既有由粗碎屑物质或灰岩组成的高孔隙、高渗透性的储集层，又有由细粒物质组成的隔热、隔水层，起着积热保温的作用。大型沉积盆地又是区域水的汇集区，具有利于热水集存的水动力环境，使进入盆地的地下水流可完全吸收岩层的热量而增温汇集。华北、松辽等大型沉积盆地的中部，均具备这样的条件。以西安地热田为例，埋深 500m 以上，温度变化区间值为 31.3～38.7℃，500～1000m 间，温度变化区间值为44.1～62.7℃，1001～2000m 间，温度变化区间值为 52.7～106.4℃，平均 81.2℃；2001～2500m 间，温度变化区间为 85.0～121.3℃，平均为 109.2℃，平均地温梯度为 3.79～4.38℃。

2. 地热田的分布、规模和温度

据已勘察地热田的分布表明，全国除上海、宁夏两市（区）外，都有可供开发利用的地热资源分布。在已勘察的 738 处地热田中，大、中型地热田仅 55 处，占 7.5%，但可利用的热能达 3310.91MW，占勘察地热田可利用热能的 76.7%。小型地热田 683 处，占总数的 92.5%，其可利用热能仅 1008.05MW，占总量的 23.3%，每个地热田平均可采热能仅 1.48MW（注：大型地热田热能值＞5 万千瓦时，中型：1～5 万千瓦时，小型为＜1 万千瓦时)。据现有 738 处地热田勘察资料统计，中国内地高温地热田仅 2 处（西藏羊八井和羊易地热田)，余下均为中、低温地热田，其中温度在 90～150°的中温地热田 26 处，占地热田勘察总数的 3.8%；90℃以下的低温地热田（点）708 处，占地热田勘察总数的 96%。全国已勘察地热田的平均温度约为 55.5℃，各省（区、市）地热田的平均温度以西藏最高，达 88.6℃；湖南省最低，为 37.7℃。

3. 开发利用特点

中国地热田地热水的水质以低矿化度为主，适合多种用途。在有水质分析资料的 493 处地热田中，水矿化度小于 1.0g/L 的有 327 处，占总数的 66.3%，大于 3.0g/L 的仅 42 处，只占总数的 8.5%。我国当前开发利用中较经济的是构造隆起区已出露的中、小型地热田，它们热储埋藏浅，勘察深度小，一般仅 300～500m，勘探难度不大，投资较少。地热水有一定补给，水质好，适宜多种用途。特别是分布在北方大、中城市区域的地热田，较之产在南方省区的中、低温地热资源，使地热资源更可得到较充分的综合利用。中国东部的华北盆地、松辽盆地，具有很大的地热资源开发利用潜力，但其开发利用条件受到热储层埋藏深度、岩性、地热水的补给条件的限制。开采利用 40℃以上的地热水，开采深度一般都需要 1000m 左右，利用 70～90℃的地热水，单井造价可达 100～300 万元，开发利用成本较大。

【地热资源的勘察开发展望】 我国地热资源较丰富，估算在距地表深度 2000m 以浅的范围内有近 800 亿吨标准煤的发热量，若可开采地热资源占估算资源量的 1%，也有 8 亿吨标准煤的地热资源量。据 1996 年统计，全国已勘察的地热点（田）有 738 处，其中有 43 处进行了勘探，探明各级可采地热水总量为 $2.4702\times10^6 m^3/d$，每年所提供的热能约相当于 464.4 万吨标准煤。现已开发利用的地热能约相当于 192.74 万吨标准煤，占目前能耗总量的 0.1%。在地质勘察工作成果基础上，

地热资源正在获得广泛的开发利用。据1996年统计，全国738处地热田中目前已综合开发利用和部分利用的有434处，占58.8%，其中用于发电的有6处，不足1%；用于供暖和工业的有39处，约占5.3%；用于医疗的有126处，约占17.1%；用于洗浴的有266处，约占36.1%；用于水产养殖的47处，约占6.4%；用于生产矿泉水的40处，约占5.3%；用于农业温室和灌溉的117处，约占15.9%。为了节约利用地热资源与保护环境，我国地热资源开发利用已逐步由粗放型向集约型转变。在一些开发利用早的地区，实行集中供热、梯级开发、降低地热水排放温度、地热水回灌、自动监控系统等技术，大大地提高了资源利用率与经济社会效益。现探明储量可满足2010年生产需要。已探明储量仅占估算可采资源量的0.6%，中国地热资源还有相当大的潜力。

世界各国对地热资源的研究都很重视，特别是以高温地热资源的利用为主。据1990年统计，全世界1990年地热发电总功率为582.8×10⁴kW，前十名国家的排序及装机功率（×10⁴kW）为：①美国（277.00×10⁴kW），②菲律宾（89.10×10⁴kW），③墨西哥（70.00×10⁴kW），④意大利（54.50×10⁴kW），⑤新西兰（28.32×10⁴kW），⑥日本（21.46×10⁴kW），⑦印度尼西亚（14.25×10⁴kW），⑧萨尔瓦多（9.50×10⁴kW），⑨肯尼亚（4.46×10⁴kW），⑩冰岛（4.46×10⁴kW）。中国地热电站1990年装机容量是2.08×10⁴kW，位居世界第12位（引自Hutter，1990）。

世界各国1990年直接利用地热功率达1138.5×10⁴kW，前十名国家的排序及利用热功率为：①日本（332.1×10⁴kW），②中国（214.3×10⁴kW），③匈牙利（127.6×10⁴kW），④前苏联（113.3×10⁴kW），⑤冰岛（77.4×10⁴kW），⑥美国（46.3×10⁴kW），⑦法国（33.7×10⁴kW），⑧意大利（32.9×10⁴kW），⑨保加利亚（29.3×10⁴kW），⑩新西兰（25.8×10⁴kW）（引自Freeston 1990）。中国在上列两种排序中的站位，正好反映了我国地热资源以中、低温为主，高温地热资源少的特点。日本和美国利用地热能最多，分别为353.56×10⁴kW和323.3×10⁴kW。冰岛利用地热能的总量虽只有81.86×10⁴kW，但冰岛面积只103106km²，人口25.8万（世界地图集1995年版），若按面积或人口比例分配，则冰岛地热资源的利用率最多。

上述统计资料，主要是依据常规地热资源的统计。国际上个别国家已在开展地压地热资源和干热岩地热资源的研究。地压地热资源（geopressured-geothermal resources）是一种赋存在含油气沉积盆地深处（3000～6000m）的新型资源。其能量由三部构成：①热流体异常高压（压力梯度为正常静水压力梯度的1.2～2.0倍）所造成的机械能；②异常高地温梯度所形成的高温（135～260℃）热能；③高温高压条件下溶解在热水中的甲烷气。由上述三部分构成的地压地热资源的总能量十分巨大，据美国地质调查所1979年作《全美地压地热资源评价》报告（Muffter等，1979），仅墨西哥湾盆地所蕴藏地压地热资源的总热当量为$71\times10^{21}$J，相当于1979年全美能耗量的880倍，可见这是一项巨大的潜在能源财富。20世纪80年代以来，美国能源部及工业界已在考虑地压地热资源的商业开发利用问题：用于小型地热发电站，回收溶于热水中的高压天然气，利用高压地热能提高石油回采率，净化油田区通常出现的大量污染物质，保护环境及热水综合利用。

出现地压地热资源的关键是异常高压带的存在，它要求在盆地形成时具有快速沉积的地质构造条件。在此情况下，快速沉积的上覆重荷部分或相当大部分被下伏深部沉积物孔隙系统中的流体所承载，从而表现出异常高的流体压力，并形成异常高压带。据研究，我国东部的渤海湾盆地和南海西北部的莺歌海盆地有异常高压带存在，并有地压地热资源赋存的希望。有待进一步研究查证。

干热岩（hot dry rock）是20世纪70年代初由美国加州大学洛斯阿拉莫斯科学实验室研究人员提出的一个新的概念。其基本思路是在高温但无水或低渗透率的热岩体中，通过水力压裂等方法制造出一个人工热储，将地面冷水注入地下深处以获取能量，然后将热水导出地面进行发电。1975年在新墨西哥州里奥格兰德裂谷北端Valles破火山口附近的Fenton Hill钻了两口井，第一口井深2929m，孔底温度为197℃；第二口井深3604m，孔底温度为205℃，两井经过水力压裂并联通后，冷水由第一口井压入，经过20h后，水温达到130℃，然后将热水由第二口井导出进入热交换器，

可供中小型地热电站之用。当井深达 4390m 时，井底岩温为 327℃，经过 30 天的初始闭路环流试验，热水温度可达 192℃，并可用以支持 10000kW 的地热电站。干热岩体的热能蕴藏量十分巨大，比较保守的估计认为，在钻探可及深度（6km）内，全美干热岩体中至少有 50 万夸脱的能量可资利用，即相当于全美年能耗量的 6000 倍。日本、德国、法国、英国也在进行干热岩热能研究开发试验。

干热岩研究是一项雄心勃勃但又是耗资巨大的工程，一口深井钻探费用近亿元，根据我国现在经济实力及国情，尚难独立进行研究试验，可与大陆深钻计划及国际合作计划结合开发研究。

## 参 考 文 献


（概论及煤炭部分）

1 韩德馨，杨起. 中国煤田地质学（下册）. 北京：煤炭工业出版社，1980

2 黄毅诚. 能源百科全书. 北京：中国大百科全书出版社，1997

3 梁继刚，尚冠雄. 煤. 见：中国矿情第一卷，201～328. 北京：科学出版社，1999

4 陆春元. 煤田地质. 北京：煤炭工业出版社，1987

5 全国矿产储量委员会办公室. 煤、泥炭. 见：矿产工业要求参考手册. 293～311. 北京：地质出版社，1987

6 武汉地质学院煤田教研室. 煤田地质学（上册）. 北京：地质出版社，1979

7 武汉地质学院煤田教研室. 煤田地质学（下册）. 北京：地质出版社，1981

8 杨起，韩德馨. 中国煤田地质学（上下册）. 北京：煤炭工业出版社，1979

9 杨起. 中国煤变质作用. 北京：煤炭工业出版社，1996

10 中国煤炭工业百科全书编委会. 中国煤炭工业百科全书（地质测量卷）. 北京：煤炭工业出版社，1996

11 屈金垦. 薪火未尽能源梦——中国能源现状与发展. 国土资源，2003，N5：10～18

12 青华，刘肖. 太阳能产业期待“正规军”. 科学时报. 2003 年 4 月 14 日，$B_2$

13 熊金超，张先国. 长江上游将再建“两个三峡”工程. 人民日报. 2003 年 6 月 2 日海外版第 2 版

（石油天然气部分）

14 史训知. 煤成气的研究与发展. 载《煤成气地质研究》1～8. 北京：石油工业出版社，1987

15 戚厚发，张志伟，傅金华. 我国主要含煤盆地煤成气资源预测及勘探方向选择. 载《煤成气地质研究》229～237. 北京：石油工业出版社，1987

16 关士聪，阎秀刚等. 对我国石油天然气资源前景的分析. 石油与天然气地质，1981，2（1）

17 胡朝元. 对我国天然气类型及资源潜力的初步分析. 石油勘探与开发，1983（2）

18 地质矿产部《地质辞典》办公室. 煤成气与煤层气.《地质辞典》（四）1986，128～129

19 中国大百科全书地质学. 北京，上海：中国大百科全书出版社，1993. 388～389

20 中国煤田地质总局. 中国煤层气资源. 徐州：中国矿业大学出版社，1998. 39～55；199～202

21 孙万禄，应文敏，王树华，樊明珠. 石油与天然气地质，1997，18（3）：189～194

22 韩新民，谢秋元，武守诚. 石油与天然气资源. 中国矿情第一卷（朱训主编）. 北京：科学出版社，1999. 335～479

（可燃冰部分）

23 金庆焕. 天然气水合——未来的新能源. 载《海底矿产》. 北京：清华大学出版社. 广州：暨南大学出版社，2001. 74～101

24 祝有海，吴必豪，卢振权. 中国近海天然气水合物找矿前景. 矿床地质，2001，20（2）：174～180

25 黄永祥，张光学，金庆焕，梁金强，赵祖斌. 南海北部陆坡天然气水物地质地球物理特征及其前景初探. 载《中国地质学会 80 周年学术文集》，北京：地质出版社，2002，421～431

（非烃气体部分）

26 米训，尹惠宇，项仁杰，韩新民，崔越昭. 中国矿情，1999，1：455～456

27 化工辞典. 北京：燃料化学工业出版社，1969. 14：486

28 二氧化碳开发塑料变废为宝. 科学时报. 2003 年 10 月 8 日. 第 2 版

（核能部分）

29 张献，赵凤民. 铀矿资源. 中国矿情第一卷（朱训主编）. 北京：科学出版社，1999. 482～549

30 张静宜等. 中国铀矿物. 北京：原子能出版社，1996

31 全国矿产储量委员会办公室，放射性矿产. 中国矿情第一卷（朱训主编）. 北京：地质出版社，1987

32 黄绍显等. 中国铀矿床. 见：中国矿床中册. 北京：地质出版社，1994

（地热部分）

33 陈墨香. 新编中国温泉图及其说明. 地质科学，1992 年增刊：322～332

34 陈墨香，汪集旸，邓孝. 中国地热资源——形成特点和潜力评估. 北京：科学出版社，1994

35 巩杰生，王红星. 论中国地热资源的勘察与开发. 载《中国地质学会 80 周年学术文集》. 北京：地质出版社，2002. 475～479

36 黄尚瑶，胡素敏，马兰. 火山温泉地热能. 北京：地质出版社，1986

37 王立民，安可士. 中国矿泉. 天津：天津科学技术出版社，1993

38 任湘，谢长芳，白铁珊等. 中国的地热资源（初滨主编）. 地热农业利用手册. 北京：机械工业出版社，1990. 14～24

39 全国矿产储量委员会办公室. 地下热水. 矿产工业要求参考手册. 北京：地质出版社，1987. 631～638

40 宾德智. 地热资源. 中国矿情第一卷（朱训主编）. 北京：科学出版社，1999. 557～630

41 Duchane DV ed. LASL hot dry rock geothermal energy development program. Annual Report. Fiscal year 1990, Los Alamos National Laboratory, University of California, 1991. 66

42 Mufler L T P, ed. Assessment of geothermal resourees of the United States——1979, U. S. G. S. Circular, 1979. 790

# E　与冶金辅助材料有关的矿物与岩石

冶金工业是国民经济基础工业之一。它在生产过程中除必备的矿石与燃料外，还需要与生产各环节相配套的矿物原料，使金属高效地从矿石中熔离出来。这种矿物原料俗称冶金辅助原料。目前冶金工业仍以火法冶金为主，湿法冶金还没有全面推广。在这种情况下冶金辅助原料中最主要有耐火材料、冶金熔剂和铸型用料等三大类。由于冶金所用的矿石类型繁多，其性质各异，从而导致所采用的冶金工艺流程及其合金种类又各不相同，因此在冶金炉体构筑中所采用的耐火材料制品；在冶金过程中所配备熔剂种类；最后浇铸成型过程中所选择的铸型材料等往往依具体情况去选择，而没有刻板的规定，其最终目的是获得上佳的冶金效果与经济效益。所以冶金辅助原料的品种、类型、规格、配方等具有多样化特点。

冶金辅助原料所使用的工业矿石与岩石，其种类较多，主要为铝硅酸盐、碳酸盐、氧化物、卤化物及单质矿物。但它使用范围有一定趋向性，用于耐火材料大多是铝硅酸盐类矿物与岩石；用于熔剂的主要是碳酸盐类矿物与岩石；用于铸型材料的往往以硅酸盐与氧化物类矿物（岩石）为主。这些矿物与岩石不但具有冶金工业所需求的化学组分，而且还存在特殊的物理性质，为冶金工艺流程实施创造有利条件，如石墨化学性质稳定，并具润滑性，用做铸型模子涂料将使铸件表面光滑。此外这些矿物与岩石往往具有多种性能，在冶金工业上可用于多方面，如白云岩既可作碱性耐火材料，又可作为冶金熔剂，中和酸性炉渣。冶金辅助原料所使的工业矿物与岩石其用量都比较大，并且更换周期不十分长，如筑建一个炉体所需的耐火材料是上百吨，而炉体寿命也仅几年，因此冶金辅助材料是属于大宗的矿产品。

与冶金辅助材料有关的矿物与岩石大部分是沉积成的，如白云岩、石灰岩、耐火黏土、铸型用砂、铸型用黏土、硅石材料等。其次是变质成的，如菱镁矿、蓝晶石类矿物、石墨等。个别与岩浆活动有关，如部分萤石、尖晶石类矿物等。前两者共形成的地质特征比较清楚，往往具有一定层位，如耐火黏土多产于石炭二叠纪地层中；菱镁矿多产于前寒武纪地层中。矿体形态规则，产状明显，具一定延伸，开发条件简单。这些特点无疑为其大规模开采、满足冶金工业长期需要提供了有利的条件。

与冶金辅助材料有关的矿物与岩石其工业指标通常都包括化学成分与其物理性能两方面，如耐火黏土既规定了其化学成分含量，又规定了耐火度。铸型用黏土不但要求有害组分不能超标，而且还要求其耐火度、胶质价以及成型后在干的和湿的状态干抗压强度（$g/cm^2$）必须达到一定标准。显然其工业指标是属于综合性指标，二者不可缺一。这些矿物与岩石通常在其工业要求范围内又依据冶金工业需要将其划分了许多品级，如萤石往往划分了特级、Ⅰ级、Ⅱ级等三种以适应冶金过程复杂性的需要。

我国与冶金辅助材料有关的矿物与岩石分布较广，储存量也较丰富，基本上能满足国内需要，部分尚可出口，如菱镁矿、萤石、石墨、耐火黏土每年都有一定数量出口到西欧、日本。这些矿产品在地域分布上还比较合理，可满足重要冶金工业基地需要，仅个别有些不均衡，如蓝晶石类矿物、石墨等分布有些局限，主要在华北与东北地区，给供需带来一定不便。值得注意的是，随着技术进步和冶金技术的发展，现今所需的与冶金辅助材料有关的工业矿物与岩石可能被淘汰，取而代之的是新的工业矿物与岩石。

## Ea　菱　镁　矿

在自然界菱镁矿有晶质与非晶质两种状态。形成了两类工业矿石：晶质菱镁矿与非晶质菱镁矿。

菱镁矿在工业上由于用途不同而对其质量要求以及处理方法亦有所差别。目前菱镁矿主要用于制作耐火材料与建筑材料和提取金属镁等三方面。用于耐火材料的菱镁矿主要为晶质菱镁矿，要求 MgO 含量大于 40%，杂质少，特别是 CaO 与 $SiO_2$ 含量要低于 3%与 5%。在处理上要经过 1400～1700℃的高温煅烧成硬烧菱镁矿（方镁石），才能用于生产耐火度在 2000℃以上的冶金镁砂、冶金粉、镁砖、镁铬砖、镁铝砖及硅镁砖等耐火制品，若再经过电炉深加工则将生产高级耐火材料，用于制造镁坩埚和耐火炉。用于建筑材料的菱镁矿质量要求不十分严格，并且晶质菱铁矿与非晶质菱镁矿均可，通常是经过 700～1000℃煅烧成轻质菱镁矿（苛性菱镁矿）；用于制造各种水泥及其他建筑材料。用于提取金属镁的菱镁矿多为晶质菱镁矿，要求 MgO 含量大于 45%，杂质低。其制品用于冶金、化工与轻工等部门。菱镁矿是我国目前大宗出口创汇的矿产品，在国际上享有较高的声誉。

### Ea001　晶质菱镁矿　clystalline Magnesite

【组成与结构】 主要成分为 $MgCO_3$，其中含 MgO 45%，$CO_2$ 50%，$SiO_2$、CaO、$Fe_2O_3$ 小于 1%，此外还含微量 Mn、Cu、K、Na、S、P 等元素。晶质菱铁矿为三方晶系，晶形为菱面体，常呈粒状集合体。当岩石中晶质菱镁矿含量达 90%以上，即为晶质菱镁岩（矿石），其常伴有滑石、白云石、石英、磷灰石、磁铁矿等，为粒状、放射状结构、块状、条带状与菊花状构造。

【物化性质】 白色、灰色、粉红色，风化表面呈灰黑色和褐色。硬度 3.5～5.0。密度 2.6～3.0g/cm³。粒度大小不一，最大可达 8.0～15.0cm，一般为 1～2mm，性脆，易碎成砂粒状。滴稀酸不起泡，不发声音。经 640℃以上煅烧则分解为 MgO 和 $CO_2$，并且体积明显收缩。煅烧至 1400～1700℃时完全分解，不含 $CO_2$，形成方镁石。

【功能与用途】 晶质菱镁矿常伴有滑石、白云石、石英等矿物，组成最常见的白云石-菱镁矿、滑石-菱镁矿和滑石-白云石-菱镁矿等三种类型矿石，其主要用于生产耐火材料，此外还可用于制造耐磨、隔音、绝热的各种建筑材料，也用于提取金属镁及镁合金，用于机械、化工、航天等部门。

【鉴别特征】 白色；晶质；相对密度大；点酸不起泡。

【产地】 辽宁海城；山东掖县；河北邢台。

### Ea002　非晶质菱镁矿　Non-clystalline magnesite

【组成与结构】 主要成分为 MgO，含量为 45%，其次 CaO 1%～2%，其他为 $SiO_2$、$Al_2O_3$、$Fe_2O_3$ 均小于 1%。$CO_2$ 约 50%左右，常含微量 Mn、Cu、K、Na、S、P 等组合。非晶质，呈胶状结构、致密块状构造。

【物化性质】 白色、乳白色、淡黄色、褐色，不透明，条痕为白色。硬度 4～6。密度 2.9～3.0g/cm³。贝壳状至不平滑土状断口。外观似未上釉的瓷坯，暗淡无光。滴稀酸不起泡。煅烧后将分解为 MgO 与 $CO_2$，并随其煅烧温度不同将具不同性能。

【功能与用途】 非晶质菱镁矿常伴有蛋白石、玉髓、蛇纹石、滑石、橄榄石等，组成蛋白石-石英-菱镁矿和滑石-蛋白石-菱镁矿等两种类型矿石，其主要用于生产耐火材料，此外还可用于制造含镁水泥以及提取金属镁及镁化合物，用于建筑、化工、机械等部门。

【鉴别特征】 土状或壳状断口；相对密度大；非晶质，表面似未上釉的瓷坯。

【产地】 内蒙古乌兰察布盟索伦山。

## Eb　蓝晶石类矿物

蓝晶石类矿物包括蓝晶石、红柱石、矽线石等，其为同质异形的无水铝硅酸盐矿物，俗称高铝矿物原料。蓝晶石类矿物具有高温下膨胀，冷却后不收缩以及在 1100～1650℃可转变成莫来石的特点，因而成为十分重要的高级耐火材料。它多用制作高炉、热风炉和浇铸设备关键部位的耐火砖

以及不定形耐火材料，以提高炼炉受冷、热冲击能力，延长其使用寿命。此外蓝晶石类矿物也用做制造高铝轻质硅铝合金，用于飞机、汽车与火车等关键部件的工业制造。

蓝晶石类矿物其化学成分均为 $Al_2O_3$ 和 $SiO_2$，但由于其中不同矿物各自形成温度、压力、结构和化学含量（$Al_2O_3$）不同，其热膨胀率以及高温下转变为莫来石的温度范围亦有所不同，并显示出不同的性能。

决定蓝晶石类矿石能否被工业利用主要有二个因素：一是矿石中含蓝晶石类矿物多少，即含矿率，一般最低要在 15%以上；二是蓝晶石类矿物的化学成分与物理性质，特别是 $Al_2O_3$ 含量与高温下状态。

黄玉不属于高铝硅酸盐矿物，但在高温下氟（F）易挥发，仍为高铝材料，也用于制造高级耐火材料，故在此一并叙述。

### Eb001 蓝晶石 kyanite

【组成与结构】 成分为 $Al_2O_3$、$SiO_2$ 或 $Al_2O(SiO_4)$，其中含 $Al_2O_3$ 61.52%，$SiO_2$ 38.48%，属三斜晶系。晶体常呈板状和叶片状，有时可呈次纤维状。

【物化性质】 蓝色、蓝灰色，有时呈白色。玻璃光泽，解理面为珍珠光泽。条痕为白色。断口不平。硬度有方向性特点，平行延长方向硬度为 4.5，而垂直延长方向则为 6.5～7.0，差异明显。密度在上述三种矿物中最大，可达 3.58～3.68g/cm³。加热过程中将转化为莫来石（$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$）和 $SiO_2$ 混合物，其转化温度为 1350～1450℃，体积膨胀率为 16%～18%，当温度降低对体积变化很少。在热力学反应上稳定于低温高压区，并且不溶于酸。

【功能与用途】 蓝晶石由于有较大的膨胀率以及膨胀后的稳定性，所以不但可制成各种耐火砖、坩埚、喷涂材料与耐火胶泥等，而且在其他品种耐火材料灼烧过程中作为收缩补偿剂。此外蓝晶石还用于冶炼高强度的轻质合金，是飞机制造业中重要材料。关于蓝晶石工业指标目前尚未统一。通常要求 $Al_2O_3 \geqslant 60\%$，$Fe_2O_3 \leqslant 1.5\%$，$TiO_2 \leqslant 2.5\%$，温度 1545℃，膨胀系数为 15。

【鉴别特征】 颜色较深，以蓝色色调为主；硬度有方向性；不溶于酸。

【产地】 安徽霍邱；江苏沭阳；河南隐山；四川汶川等。

### Eb002 矽线石 sillimanite

【组成与结构】 成分为 $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ 或 $Al_2SiO_5$，其中含 $Al_2O_3$ 63.11%，$SiO_2$ 36.89%，属斜方晶系。晶体呈板柱状、针柱状，通常为放射状与纤维状集合体。

【物化性质】 白色、灰白色、灰绿色，有时呈褐色。玻璃光泽。条痕为白色。断口不平。硬度较大 6～7。密度 3.23～3.25g/cm³。加热过程中能转化为莫来石和二氧化硅混合物，其转化温度较高，为 1550～1750℃，体积膨胀为 6%～7.2%，温度降低时体积变化很小。其在热力学反应上稳定于高温区。一般不溶于酸，甚至在氢氟酸中也不起反应。

【功能与用途】 由于具有较高膨胀率以及膨胀体积稳定性等特点，它主要用于制作耐火定型材料，如耐火砖、坩埚、电火花塞、高温计套管等，同时也用于制作耐火不定型材料，如喷涂料、可塑料、捣打料、耐火胶泥等以及高铝绝缘体、铸造精密部件。它还可直接制成矽线石不烧砖，用于砌炉煨、钢包渣线部位和桶底。在冶金方面其工业要求一般是 $Al_2O_3$ 57%，$SiO_2$ 37%，$Fe_2O_3 \leqslant 2\%$，温度 1545℃，膨胀系数 2。

【鉴别特征】 颜色较浅；呈柱状、针柱状晶形和纤维状集合体；硬度大。

【产地】 黑龙江鸡西三道沟；河北平山县南洞。

### Eb003 红柱石 andalusite

【异名】 菊花石；空晶石

【组成与结构】 主要成分为 $Al_2O_3 \cdot SiO_2$ 或 $Al_2SiO_5$，其中含 $Al_2O_3$ 61.47%、$SiO_2$ 38.57%。斜方晶系，晶形呈柱状，常为放射状集合体，似盛开的菊花故俗称菊花石。有时红柱石晶体内含碳质包体，并呈对角线排列呈一个暗色十字，故又称空晶石。

【物化性质】 褐色、红色、深肉红色，有时为白色。玻璃光泽。断口次贝壳状。条痕为白色。硬度较大 6.5～7.5。密度是蓝晶石类矿物中最小为 3.1～3.2g/cm³。加热过程中能转化为莫来石和二氧化硅混合物，其转化温度为 1350～1530℃。膨胀系数为 4%～5.4%。在热力学反应中稳定在低温低压区。一般在酸中不溶解。

【功能与用途】 由于具有较好的体积稳定性，可直接制成红柱石不烧砖，用于鱼雷式铁水罐车内衬和热风炉钢包内衬。也还可制作不定型耐火材料，如耐火胶泥、喷射料等。此外还可冶炼高强度合金、高温铝硅酸盐绝缘体等。在冶金工业上一般要求其 $Al_2O_3$ 59%，$Fe_2O_3 \leqslant 3\%$，$TiO \leqslant 0.5\%$，温度 1350℃，膨胀系数 2。

【鉴别特征】 柱状晶形；横切面近正方形；有时呈菊花状集合体。

【产地】 河南西峡县羊奶沟；山东五莲县小庄；辽宁凤城老虎砬子。

### Eb004 黄玉 topaz

【组成与结构】 主要成分为 $Al_2(SiO_4)(F \cdot OH)$，其中含 $SiO_2$ 33.4%，$Al_2O_3$ 56.6%，$H_2O$ 10%，F 可取代 OH。斜方晶系，晶形为柱状，柱面常有纵纹。常呈不规则粒状和块状集合体。

【物化性质】 无色，微带蓝绿色、黄色、乳白色、红黄色。透明，玻璃光泽。硬度较大达 8，密度 3.50～3.57g/cm³。

【功能与用途】 黄玉在 850～900℃高温中氟（F）则散失，并引起 $SiO_2$ 挥发，此时 $Al_2O_3$ 含量可达 72%，属于高铝成分，可以用于制作高铝质耐火材料。通常用于制作耐火材料的黄玉多为粒度细小，晶形不佳者。若晶形完好，色泽艳丽者则作宝石，用于装饰。若粒度大、晶体粗大，由于它硬度大，则可作为研磨材料与精密仪表的轴承。

【鉴别特征】 硬度大；颜色鲜艳，柱状晶形。

【产地】 江西漂塘；内蒙古察右前旗。

## Ec 耐火黏土

耐火黏土是指耐火度大于 1580℃的黏土，是制作黏土质和高铝质耐火材料的重要原料。

耐火黏土的矿物成分很多，但主要是铝氧化物和铝硅酸盐，常含微量铁质矿物、碳酸盐、硫化物以及有机质。并且往往由于组成矿物成分不同，使其具有不同的物化性能与工业用途。目前按其性能与用途大体可分为软质黏土、硬质黏土、半软质黏土和高铝黏土等四大类型。

耐火黏土在自然界分布比较广，我国许多省份都有产出。耐火黏土的矿石质量要求比较严和细，不同类型耐火黏土有所不同，但主要决定两方面：一是矿石中各种组分含量，其中 $Al_2O_3$ 含量是衡量耐火黏土重要因素之一，$Al_2O_3$ 含量越高，耐火度也越高，最低不能低于 22%。铁质矿物是耐火黏土有害杂质，它将会降低其耐火度，一般要求 $Fe_2O_3$ 不超过 3.5%。钙镁碳酸盐和硫酸盐类矿物含量多时将增加烧成收缩率，使材料发生裂纹，通常要求 CaO 小于 0.8%。有机质也是耐火黏土中有害组分，含量过多时将增加其烧失量，通常要求烧失量不超过 18%。至于二氧化硅，它在耐火黏土中可呈不同状态出现。若以独立的石英出现，将会减弱黏土的可塑性与黏结力，应作一定处理，将其除去。耐火黏土的矿石质量另一方面还决定于其物理技术性能。其中最主要是耐火度，即在高温煅烧下不变形时的最高温度。它是衡量耐火黏土质量的主要标准之一。耐火黏土的耐火度高低与其矿物成分和化学成分密切相关。通常 $Al_2O_3$ 含量越高，耐火度也越高。工业要求耐火度要大于 1580℃。另外可塑性是决定耐火黏土类型和使用方法的依据，而耐风化度是决定煅烧工艺流

程的设计基础之一。

耐火黏土主要用于冶金工业上。生产各种定型与不定型的耐火材料，建造各种炉体、炉具和炉衬，其用量约占全部耐火材料的 70%。其次也用于机械、轻工、化工、建材、国防等部门，生产各种耐高温、热导率小、耐酸碱、吸音和轻质材料。

现将耐火黏土中主要矿物与主要类型叙述如下。

## Ec001 硬水铝石 diapore

【别名】 一水硬铝石；硬铝石

【组成与结构】 主要成分为 $\alpha$-$Al_2O_3 \cdot H_2O$，或 $\alpha$-AlOOH，其中含 $Al_2O_3$ 84.98%，$H_2O$ 15.02%，有时含 $Fe_2O_3$、$Cr_2O_3$、$TiO_2$ 等。斜方晶系、晶体呈薄板状、针状，晶面具纵纹，常为鳞片状、结核状和豆状集合体。

【物化性质】 白色、灰白色、黄褐色、灰绿色，有时因含铁质而呈红褐色。条痕为白色。玻璃光泽，具贝壳状断口。硬质 6.5～7.0，性脆。密度 3.3～3.5g/cm$^3$。通常为微晶质，粒度细小。

【功能与用途】 常与软水铝石或刚玉、白云母等矿物相伴是铝土矿和耐火黏土的重要矿物组分，当其含量大于 50%时可用于冶炼金属铝，制成耐火材料、富铝水泥与人工磨料。

【鉴别特征】 硬度大；置试管中灼烧可爆裂成白色碎片。

【产地】 山西阳泉；贵州修文。

## Ec002 软水铝石 boehmite

【别名】 勃姆铝矿；薄水铝矿；一水软铝石

【组成与结构】 主要成分为 $\gamma$-$Al_2O_3 \cdot H_2O$ 或 $\gamma$-AlOOH，其中含 $Al_2O_3$ 84.98%，$H_2O$ 15.02%，含微量 Fe、Mn、Ti、Ga 等。斜方晶系，呈极细小的薄板状，片状晶形，隐晶质块状或胶状集合体。

【物化性质】 无色、微黄的白色。玻璃光泽。硬度 3.5。密度 3.01～3.06g/cm$^3$。晶体微小，一般小于 2$\mu$m。

【功能与用途】 常与三水铝石、硬水铝石共生，是铝土矿和耐火黏土的主要矿物成分。用于冶炼铝，制成耐火材料，并可回收镓（Ga）。

【鉴别特征】 硬度小；晶体细小。

【产地】 山西阳泉；贵州修文。

## Ec003 三水铝石 gibbsite

【别名】 水铝氧石；三水铝矿

【组成与结构】 成分为 $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ 或 $Al(OH)_3$，其中含 $Al_2O_3$ 65.35%，$H_2O$ 34.65%，常见类质同象替代的 Fe 和 Ga。单斜晶系，晶形呈假六方形极细片状。集合体为纤维状、皮壳状，但经常为结核状和豆状集合体。

【物化性质】 白色，或因杂质而呈浅灰、浅红色。玻璃光泽，解理面为珍珠光泽。硬度 2.5～3.5。密度为 2.30～2.43g/cm$^3$。具泥土臭味。脱水可变为硬水铝石或软水铝石。

【功能与用途】 是铝土矿和耐火黏土主要组成的矿物成分。用于冶炼铝。制作耐火材料，并可回收镓（Ga）。

【鉴别特征】 硬度小；具泥土臭味。

【产地】 山西阳泉；贵州修文。

### Ec004 高岭石 kaolinite

【组成与结构】 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ 或 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$，其中含 $Al_2O_3$ 39.50%，$SiO_2$ 46.54%，$H_2O$ 13.96%。三斜晶系或单斜晶系，在电子显微镜下可见到细小假六方片状晶形，常呈疏松鳞片状、土状或块状集合体。属于铝硅酸盐。

【物化性质】 纯净者为白色，常因各种杂质混入而染成其他颜色，如黄色、褐色等，如含有机质时则呈黑色。光泽暗淡。硬度 1～3。密度 2.61～2.68g/cm³。干燥时具吸水性；湿态时具可塑性。加水不膨胀，具一定耐碱能力和较强的化学稳定性。

【功能与用途】 高岭石是耐火黏土重要的矿物组分，因其具有耐火性、烧结性、可塑性与结合性，因而它除用于制作耐火材料外，还广泛用于陶瓷、电瓷工业以及造纸、橡胶等工业中的充填剂。

【鉴别特征】 土状；极易捏碎成粉末；加水具可塑性；粘舌；硬度小。

【产地】 山东淄博；江苏高岭；山西大同。

### Ec005 埃洛石 halloysite

【别名】 多水高岭石；叙永石

【组成与结构】 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8 \cdot 4H_2O$ 成 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$，其中含 $Al_2O_3$ 34.70%，$SiO_2$ 40.80%，$H_2O$ 24.50%。单斜晶系。在电子显微镜下晶形呈细长的空心管状，常呈土状集合体或胶凝状。

【物化性质】 纯净者为白色，常因含杂质而带各种色调。光泽暗淡。硬度 1～2。密度 2.0～2.2 g/cm³。断口平坦。疏松土状的具滑感。失水后不再重新吸水。可塑性差。

【功能与用途】 埃洛石是耐水黏土的重要矿物组分，因其耐火度大于 1580℃以上，$Al_2O_3$ 大于 30%，所以广泛用于制作各种耐火材料。此外亦广泛用于造纸、橡胶、陶瓷、电瓷等工业部门。

【鉴别特征】 与高岭石共生，且外表特征很相似，鉴别主要靠差热分析。

【产地】 山东潍坊；陕西铜川；吉林舒兰。

### Ec006 伊利石 illite

【别名】 水云母

【组成与结构】 $K_{<1}[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ 或 $K_{1\sim1.5}Al_4[Si_{6.5\sim7.0}Al_{1\sim1.5}O_{20}]$，其中含 $Al_2O_3$ 30.15%，含水量变化很大。单斜晶系，常为鳞片状，呈团块状集合体。

【物化性质】 白色。珍珠光泽。硬度 1～2。密度 2.6～2.9g/cm³。有滑腻感。不具膨胀性与可塑性。为微晶质，粒度小于 4μm。

【功能与用途】 是耐火黏土的主要组成矿物，主要用于粗质陶瓷原料和耐火材料，也用于造纸、塑料等部门。

【鉴别特征】 据分析仪器鉴别。

【产地】 甘肃天水；内蒙古准格尔；吉林舒兰。

### Ec007 蒙脱石 montmorillonite

【别名】 微晶高岭石；胶岭石

【组成与结构】 $(Al,Mg)_2[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$，含 $Al_2O_3$ 22.96%，水含量变化较大。单斜晶系，颗粒极细，晶体少见，多为胶状微粒，在电子显微镜下呈毛状或毛毡状。通常为土状、块状集合体。

【物化性质】 白色，有时为浅黄色、粉红色、浅绿色。无光泽。硬度 1～2。密度 2.0～2.7g/cm³。吸水性强，并能增大体积几倍至几十倍。具较强吸附能力和阳离子交换能力。

【功能与用途】 蒙脱石是黏土的主要矿物组分，可用于制作各种耐火材料，同时由于它具有特殊性能而广泛应用于石油、纺织、化工、陶瓷等工业，作为胶黏剂、悬浮剂、调和剂、吸附剂、净化剂、稳定剂、催化剂和充填剂等。

【鉴别特征】 白色；有滑感；加水后体积数倍膨胀。

【产地】 河北张家口；江苏容句。

## Ec008 高铝黏土 high-alumina clay

【组成与结构】 主要成分为硬水铝石 $\alpha$-$Al_2O_3 \cdot H_2O$，其次为软水铝石 $\gamma$-$Al_2O_3 \cdot H_2O$、三水铝石 $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ 及高岭石 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$。隐晶或微晶质结构，豆状、鲕状、角环状、致密块状构造。

【物化性质】 灰白色、灰黄色、黄褐色，坚硬，粗糙，无塑性。密度 2.45～3.00g/cm³。经煅烧后成为熟料，其 $Al_2O_3$ 含量一般大于 50%，最高可达 85%以上，$Fe_2O_3$ 小于 2.5%，CaO 小于 0.8%，耐火度为 1770～1790℃。

【功能与用途】 主要用于制成高铝质耐火材料。因其耐火度高、抗酸、碱熔渣侵蚀能力强、高温机械强度大，故所制成的耐火材料多用于砌筑高炉、热风炉、电炉炉顶、鱼雷罐回转窑内衬以及浇铸系统用的塞头水口砖等。由于高铝黏土可塑差，制作时需加其他配料。

【鉴别特征】 豆状、鲕状构造；坚硬；色浅；不可塑。

【产地】 山西阳泉；河南新安；贵州修文。

## Ec009 硬质黏土 hard-metal clay

【组成与结构】 主要成分为高岭石 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$，其次为硬水铝石 $\alpha$-$Al_2O_3 \cdot H_2O$，三水铝石 $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$，伊利石 $K_{<1}[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ 和叶蜡石 $Al_4[Si_8O_{20}][OH]_4$ 等。微晶质或隐晶质结构，鲕状、块状构造，有时为土状构造。

【物化性质】 浅灰色、灰黄色。坚硬，表面有滑感。无可塑性。密度为 2.25～2.45g/cm³。经煅烧后的熟料，其 $Al_2O_3$ 大于 30%，$Fe_2O_3$ 小于 3.5%，耐火度为 1630～1750℃。

【功能与用途】 主要用于制造黏土质耐火材料。它是目前使用量最大的一种弱酸性普通耐火黏土，占全国耐火材料约 60%。主要用于高炉、热风炉、混铁炉、焦炉以及流钢、浇钢等设备上。

【鉴别特征】 坚硬；表面有滑感，无可塑性。

【产地】 山西阳泉；山东淄博。

## Ec010 半软质黏土 semisoft-metal clay

【组成与结构】 主要成分为高岭石 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$，其次为伊利石 $K_{<1}[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2$、硬水铝石 $\alpha$-$Al_2O_3 \cdot H_2O$ 微晶质结构、块状、片状构造。

【物化性质】 灰白色、黄褐色、灰黑色、褐黄色等。可塑性为 1%～2.5%，为弱可塑性黏土。结合性也比较弱。生料 $Al_2O_3$ 大于 25%，$Fe_2O_3$ 小于 3.5%，耐火度 1630～1690℃，烧失量小于 16%。

【功能与用途】 因具有一定可塑性与结合性，并且 $Al_2O_3$ 含量高，耐火度在 1600℃以上，所以主要用做耐火材料的结合剂，以便成型各种耐火材料制品，是耐火材料生产中的重要配料。

【鉴别特征】 有一定可塑性与结合性，颜色比较杂。

【产地】 内蒙古大青山；山西太原。

## Ec011 软质黏土 soft-metal clay

【组成与结构】 以高岭石 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$、伊利石 $K_{<1}[(Si,Al)_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$、蒙脱石

$(Al,Mg)_2[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$ 为主，微晶质或隐晶质结构，片状与土状构造。

【物化性质】 灰白色、灰褐色、灰黑色。松软，可塑性较好，大于 2.5%。生料中 $Al_2O_3$ 22%～30%，$Fe_2O_3$ 2.0%～3.5%，耐火度 1580～1670℃，烧失量大于 18%，结合性较强。

【功能与用途】 是耐火黏土制作中重要配料。主要用做结合剂，以便制成各种型号的耐火材料制品，供冶金工业使用。

【鉴别特征】 可塑性强；结合性较强；松软。

【产地】 山东潍坊；吉林舒兰；山西阳泉。

# Ed 铬尖晶石类矿物

铬尖晶石类矿物包括铬铁矿 $(Mg,Fe)Cr_2O_4$、镁铬铁矿 $MgCr_2O_4$、富铬尖晶石 $Fe(Cr,Al)_2O_4$ 和硬铬尖晶石 $(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4$ 等四种。由于它们之间在外部特征以及成因上都非常相似，所以在工业上将其统称为铬铁矿。铬铁矿是提取铬及其合金的重要矿物原料，并且有规定的工业指标。特别是 $Cr_2O_3$ 含量与铬铁比。若使达不到要求，如铬铁比较低，则只能另作他用。目前这种达不到冶金要求的铬铁矿广泛用做耐火材料的原料、生产高级的铬质耐火材料制品。

## Ed001 铬铁矿 chromite

【组成与结构】 主要成分为 $(Mg,Fe)Cr_2O_4$，其中含 FeO 32.09%，$Cr_2O_3$ 67.91%。等轴晶系，晶体呈细小八面体，通常为粒状与块状集合体。

【物化性质】 黑色。半金属光泽。条痕为黑色。硬度 5.5，密度 4.2～4.8g/cm³。具弱磁性。

【功能与用途】 作为耐火材料的铬尖晶石类矿物，其工业指标为 $Cr_2O_3 \geqslant 32\%$，$SiO_2 \leqslant 11\%$，$CaO \leqslant 3\%$。因其制成的铬砖与铬镁砖具有很高抗热冲击能力，现已用于大型水泥回转窑、平板玻璃蓄热室、大功率电弧炼钢炉及其他热工设备。

【鉴别特征】 等轴晶系；黑色条痕；弱磁性。

【产地】 内蒙古锡林郭勒盟贺根山 3756 矿；甘肃大道尔吉。

# Ee 硅 石

硅石是指二氧化硅及杂质含量均符合工业要求的石英砂岩、石英岩和脉石英的总称。石英砂岩、石英岩和脉石英在化学成分上十分相似，均以 $SiO_2$ 为主，其次含少量 $Fe_2O_3$、$Al_2O_3$、CaO、$P_2O_5$ 等杂质，但他们之间在地质成因、空间分布以及岩石特征等有明显差别，因而在工业利用及其处理方法上亦有所不同。

硅石在自然界分布较广，其工业利用也十分广泛。除冶金工业外还大量用于化工、建材、玻璃、陶瓷、轻工等部门。在冶金工业上硅石既可制作耐火砖，也可作熔剂与铸砂用。这种耐火砖属于酸性耐火砖，俗称硅砖。它具有良好的抗酸性渣侵蚀的能力，对氧化钙渣、氧化铁渣的侵蚀也有一定抵抗能力，并且荷重软化起始温度高，一般在 1620℃以上，因而它在冶金工业上得到了广泛利用。

硅石在冶金工业中不同用途有不同工业要求。其中最主要是 $SiO_2$ 含量，一般要求大于 96%，其次是 $Fe_2O_3$、$Al_2O_3$、CaO 和 $P_2O_5$（耐火材料还附加耐火度与吸水率），其具体标准视其利用范围，通常均在 0.5%～1.0%，要求比较严格，因为硅石中 $Al_2O_3$、CaO、$Fe_2O_3$ 在生产硅铁时能消耗 $SiO_2$；在制作耐火材料时将降低硅砖的耐火度；在炼钢时 $P_2O_5$ 将影响钢的质量。

## Ee001 石英砂岩 quartz sandstone

【组成与结构】 主要成分是石英，含量超过 95%，其次为少量云母、长石、黏土等矿物。胶结构

多为硅质，少数为钙质、铁质等。硅质胶结构多为胶状的蛋白石、玉髓等。石英砂岩呈半自形粒状结构、块状构造，常可见波纹、交错层理。

【物化性质】 灰白色、灰黄色，色调较浅，颗粒磨圆度与分选较好，粒度比较均匀，多在0.5mm左右。密度2.55～2.65g/cm³。通常含$SiO_2$ 98%，$Al_2O_3$与$Fe_2O_3$均小于1%。岩石结实，坚硬，刚性大，裂隙发育。

【功能与用途】 石英砂岩质纯，易破碎，除作玻璃原料外亦可制作硅质耐火材料和冶金熔剂，当其化学成分与石英砂粒度符合要求时还可作铸砂用，目前大量是用做硅砖，用于焦炉、玻璃窑炉和酸性炼钢炉上。作为耐火材料的石英砂岩工业要求$SiO_2 \geqslant 98\%$，$Al_2O_3 \leqslant 1.3\%$，$CaO \leqslant 1.0\%$，$Fe_2O_3 \leqslant 1.5\%$，耐火度1710～1750℃，吸水率≤4%。

【鉴别特征】 半自形粒状结构；色浅、坚硬、刚性大。

【产地】 河北蓟县；云南昆明。

### Ee002 石英岩 quartzite

【组成与结构】 主要成分为石英，含量大于85%，还含有微量长石、绢云母、绿泥石、黑云母、角闪石、磁铁矿等，并且往往由于其原岩不同，其所含微量矿物成分与数量也有所不同。石英岩多为粒状变质结构，致密块状或条带状构造。

【物化性质】 灰白色、灰褐色。油脂光泽。密度为2.55～2.65g/cm³。具贝壳状断口。硬度7，致密，坚硬。抗腐蚀能力强。通常含$SiO_2$ 98%，$Al_2O_3$与$Fe_2O_3$小于1%。次生裂隙发育。

【功能与用途】 石英岩破碎后除作为玻璃原料外，还可用于制作硅质耐火材料、冶金熔剂和铸造型砂。供制作耐火黏土的石英岩其工业要求同石英砂岩，但对微量矿物成分应进行筛选处理后方可使用。

【鉴别特征】 质纯；色浅；坚硬；油脂光泽。

【产地】 辽宁庄河；安徽凤阳。

### Ee003 脉石英 vein quartz

【组成与结构】 主要成分为石英，含量大于99%，多为白色无晶形石英。常含微量黄铁矿、长石、云母及围岩碎块。不等粒变晶结构，块状构造。

【物化性质】 白色、灰白色，色调均匀。油脂光泽。硬度7，致密，坚硬。密度2.65～2.66g/cm³。质纯，通常含$SiO_2$ 99%，$Fe_2O_3$与$Al_2O_3$均小于0.5%。不溶于水和酸中。

【功能与用途】 脉石英通常质纯，含$SiO_2$高，除用于玻璃工业外，在冶金工业上亦可作硅质耐火材料与冶金熔剂的原料。由于其坚硬、破碎困难、粒度难于保证，所以一般不用做铸砂原料。但它却是提炼结晶硅以及进而炼取单晶硅的理想材料。制作硅质耐火黏土的工业要求同石英砂岩。

【鉴别特征】 白色；质纯、坚硬；油脂光泽。

【产地】 新疆哈密；湖北蕲春。

## Ef 白 云 岩

白云岩是指以白云石为主要组分的碳酸盐类岩石，其在成分上除白云石$CaMg(CO_3)_2$、方解石$CaCO_3$外，还含少量$Fe_2O_3$、$SiO_2$以及黏土等。白云岩煅烧后可分解为MgO与CaO，并且随着温度上升而发生变化。当煅烧至700～900℃时，成为MgO与CaO混合物，俗称苛性白云石；若煅烧至1500℃时氧化镁成为方镁石，氧化钙转为结晶的α-CaO，其结构致密，耐火度可过2300℃，抗渣性较强。因而它在工业上得到广泛利用。

在冶金工业中白云岩既是制作耐火材料的原料，又是冶金熔剂。用白云岩制成的耐火材料制品

属于碱性耐火材料。它具有抗碱性渣性能好，高温强度较高，抗水化性能较佳的特点，它所制作的耐火砖通常可分为稳定性白云石砖和抗水性白云石砖两种，广泛用于炉体砌筑上。用白云岩作为冶金熔剂将起中和酸性炉渣，降低渣中 FeO 的活度，减轻炉渣对炉衬的侵蚀作用，是十分理想的冶金熔剂。白云岩除用于冶金工业外还广泛用于建材、化工、玻璃、陶瓷化肥等部门，也用做提炼金属镁的原料。

白云岩在我国产出分布很广，主要在河北、辽宁、贵州等地。对于它的形成及其分类至今仍有较大分歧，但在工业上最常用的是结晶白云岩、碎屑白云岩、藻白云岩和微晶白云岩等四种。在冶金工业的耐火材料与熔剂用的白云岩，其工业要求最主要是 MgO 与酸不溶物含量，前者一般要求大于 20%，后者通常包括 $SiO_2+Fe_2O_3+Al_2O_3+Mn_3O_4$，其含量一般不能超过 1%～2%，特别是 $SiO_2$ 含量。

### Ef001　结晶白云岩　crystalline clolomite

【组成与结构】 主要成分为白云石，含量一般在 90%以上，其次为少量方解石、石膏、硬石膏、石英、含水针铁矿，偶尔见重晶石、天青石和黏土矿物。其中方解石含量多在 5%以下。结晶白云岩常为晶质粒状结构、中-细粒等粒结构，层状、条带状或块状构造。

【物化性质】 白色、黄白色、灰白色，其中白云石晶形明显，呈菱面体。玻璃光泽。断口粗糙，贝壳状。条痕白色。硬度 3.5～4.0。密度 2.8～2.9g/cm³。白云石颗粒均匀，呈糖粒状，故其比较松散。不溶于水，在冷酸中溶解缓慢。通常含 MgO 25%，CaO 30%，SiO、$Al_2O_3$、$Fe_2O_3$ 含量一般为 1%～5%不等，烧失量最高可达 45%以上。

【功能与用途】 结晶白云岩一般质纯，含杂质不高，难于烧结，故多用于制作炼炉的炉衬。此外它还用于玻璃与陶瓷工业和提取金属镁的原料。

【鉴别特征】 色浅；硬度小；质纯；具白云石菱面体晶形。有时具糖粒状结构，质地松散。

【产地】 江苏南京幕府山；辽宁营口。

### Ef002　碎屑白云岩　clast clolomite

【组成与结构】 主要为白云岩碎屑（块），大小不一，大者可达数平方米。碎屑（块）成分可占 60%以上，多呈角砾状、竹叶状、砂粒状等。胶结构主要为碳酸盐类矿物，多数为白云石，少数为方解石及黏土矿物。碎屑白云岩为晶质至微晶质结构，砾状构造。

【物化性质】 灰白色、灰色、灰黄色。岩石孔隙、空洞与裂隙发育，其中常有白云石、方解石与玉髓晶簇。胶结程度较高，岩石比较坚硬，但黏土矿物与方解石含量略高，一般在 10%左右，并往往影响了白云岩的质量。

【功能与用途】 在冶金工业上主要用于制作耐火材料，要求其 $SiO_2$ 不超过 7%，此外亦可作为冶金熔剂，要求 S 与 $P_2O_5$ 含量小于 0.1%。

【鉴别特征】 碎屑为白云岩；具砾状，角砾状与竹叶状构造；岩石空洞中常有晶簇。

【产地】 河北遵化；内蒙古固阳；湖北乌龙泉。

### Ef003　藻白云岩　algal clolomite

【组成与结构】 藻白云岩是由生物遗体组成的白云岩。藻类形态多样，常见有叠层状、波纹状、松柏枝状和球粒状。有时亦可见到珊瑚和其他软体动物的遗体与碎屑。藻白云岩主体成分仍为白云石，常为生物碎屑结构，块状、条带状构造。

【物化性质】 灰白色、黄黑色与灰色，表面有许多各种溶蚀沟，呈现出藻类与其他生物的遗迹。硬度 3.5～4.0，坚韧性大，不易破碎。密度 2.70g/cm³。加冷酸缓慢起泡。化学成分变化大，当生物

碎屑较多时将使藻白云岩中 $Al_2O_3+Fe_2O_3+SiO_2+Mn_3O_4$ 等杂质含量增加，从而影响了藻白云岩的质量。

【功能与用途】 主要用于冶金工业中制成耐火材料，部分用于作冶金熔剂。藻白云岩当藻类花纹完整时可作建筑饰面材料。当 CaO＞30%，MgO＞20%亦可用于制作钙、镁、冷复合肥。

【鉴别特征】 风化面上有明显的藻类及其他生物遗迹；色浅；加冷酸缓慢起泡。

【产地】 河北蓟县。

### Ef004 泥晶白云岩 micritic clolomite

【组成与结构】 以白云石为主，可占总量 80%左右，其次为黏土矿物、方解石、石膏、硬石膏、重晶石等。矿物以泥晶出现，粒度小于 0.01mm，在显微镜下呈模糊不清的阴暗微粒状集合体。泥晶白云岩为微晶质结构，块状和条带状构造。

【物化性质】 灰黑色、灰黄色。致密、坚硬，硬度 3.5～4.0。密度 2.80g/cm³。化学成分比较稳定，通常含 MgO 在 20%以上，但 CaO 与 $SiO_2$ 变化较大，往往因此影响了矿石质量。

【功能与用途】 主要用于冶金工业中耐火材料，制作炉衬，部分用于冶金熔剂。此外还用于玻璃与陶瓷工业上。

【鉴别特征】 颜色较深；微晶或隐晶质；加酸缓慢起泡。

【产地】 贵州水城；河北遵化。

## Eg 熔剂灰岩

石灰岩是以碳酸钙为主的碳酸盐类岩石，其中碳酸钙常以方解石表现出来，同时它常混入黏土矿物、砂粒等。目前工农业广泛利用的石灰岩均为 CaO 含量较高、杂质含量较低的沉积形成的石灰岩，尤其是海相沉积形成的。石灰岩加热至 1000～1200℃时将分解成 $CO_2$ 和 CaO，$CO_2$ 是制碱的主要原料之一，而 CaO 即俗称的生石灰，它具有加水发热以及去渣、脱硫、磷的能力，因此石灰岩在工农业上有广泛的用途，其中用量最大有三个部门：冶金工业上作熔剂；化学工业上制碱、电石以及化肥；建筑业中制造水泥与石料、石灰。此外在制糖、石油、玻璃、造纸等部门都有一定用量。

在冶金工业上石灰岩主要用做熔剂，因此通称熔剂灰岩。它可使矿石中各种杂质和燃料中灰分变成炉渣，并有脱硫、砷的能力。石灰岩还可烧制成活性石灰用于炼钢，特别是氧气封炉炼钢，将起到缩短吹氧时间，提高脱硫率，延长炉龄和增加钢水的作用。

我国石灰岩分布十分广，主要于华北地区与西南地区，资源比较丰富。石灰岩在不同工业生产中将有不同的质量要求，其中最主要是 CaO 含量与 MgO、$SiO_2$、S、P 的含量，通常前者要求在 50%左右，后者一般为 1%～3%，此外对于不同用途的石灰岩还有附加条件。对于熔剂灰岩而言除化学成分要求外，还要求石灰岩矿石抗压强度大于 400kg/cm²，以免压成粉块，影响炼炉的透气性与炉料均衡性。目前最常用的熔剂灰岩有泥晶灰岩、鲕状灰岩、竹叶状灰岩、叠层石灰岩和白云母化灰岩。

### Eg001 泥晶灰岩 micritic limestone

【组成与结构】 主要由泥晶方解石（$CaCO_3$）组成，颗粒小于 0.01mm，含量在 80%以上，有时含石英、泥质、燧石以及生物碎屑残片。泥晶灰岩为泥晶结构，致密块状构造。

【物化性质】 颜色较杂，多为灰～深灰色、灰褐色等。孔隙度小，密度一般为 2.7g/cm³。质量较纯，含 CaO 在 50%以上，最高可达 55%，MgO 含量较低，不超过 1.5%，其他组分均在 1%以下。岩石坚硬，能溶于酸。抗压强度均在 150MPa 以上。加酸起泡。

【功能与用途】 泥晶灰岩质量主要决定于杂质含量。它大量用于制造优质水泥、冶金熔剂和玻璃、制糖、陶瓷、电石等化工、轻工部门。

【鉴别特征】 硬度小，小刀刻划有白色条痕；加酸起泡。

【产地】 河北丰润；北京昌平；湖南辰溪。

### Eg002 鲕状灰岩 oölitic lemestone

【组成与结构】 主要成分为鲕粒状方解石，含量可占75%以上，其次为白云母，含量变化大，最高达20%，此外还有微量砂屑与生物残片等。鲕粒呈圆形、卵圆形，直径0.1～2.0mm，鲕粒胶结物以亮晶方解石为主。鲕状灰岩多为鲕粒结构，块状构造。

【物化性质】 灰色、深灰色、黑灰色，密度为2.5g/cm³，并且随鲕粒大小，分布与胶结情况其坚韧性将有变化，通常易破碎。鲕状灰岩含CaO于45%～50%之间，MgO略高，通常为2.5%，有时超过5%，抗压强度略高在100MPa左右。加酸起泡。

【功能与用途】 鲕状灰岩因含MgO没有超过5%，对降低炉渣的熔点与黏度、增大其流动性有利，所以是优质熔剂灰岩，也是良好水泥灰岩原料。此外也用于造纸、塑料、玻璃等工业部门。

【鉴别特征】 表面风化面上有明显鲕粒状结构；岩石比较易碎。

【产地】 北京昌平；河北怀来；辽宁辽阳；广西临桂。

### Eg003 竹叶状灰岩 wormkalk

在学名上属碎屑及岩类。

【组成与结构】 主要由灰岩砾屑组成。砾屑呈扁平状，似竹叶，平行或微平行排列，宽数厘米至数十厘米不等，其中（泥晶）方解石（$CaCO_3$）占90%以上，含少量白云石与杂质。砾屑分选不很好，但有一定磨圆度，边缘常有棕红色或黄红色的氧化铁圈晕。胶结物主要为微晶方解石和细晶方解石。竹叶状灰岩呈泥-亮晶砾屑结构，层状构造。

【物化性质】 浅灰色、灰褐色、灰黄色。密度2.4～2.8g/cm³，孔隙度为0.8%～5.4%。岩石物理性质受砾屑大小、形状及其排列等因素影响，其抗压强度变化大，在90～190MPa之间。竹叶状灰岩含CaO较高，一般在50%～52%，MgO 1%～2%，而$SiO_2$、$Al_2O_3$和$Fe_2O_3$含量偏高，分别为2.5%～3.0%，0.8%和1.5%。加酸起泡。

【功能与用途】 因受其化学成分限制，竹叶状灰岩主要用于作冶金熔剂以及烧石灰，供建筑用。当其MgO与$SiO_2$含量较低时，亦可作水泥原料。

【鉴别特征】 具竹叶状构造。

【产地】 内蒙古清水河；河北丰润。

### Eg004 叠层石灰岩 stromatolithic limestone

【组成与结构】 主要成分为方解石（$CaCO_3$），约占80%以上，其次为少量白云石、玉髓、海绿石。碳酸盐成分是受蓝绿藻丝状体所分泌出的胶状黏液控制，使其所捕获的各种漂移的灰泥球粒在表面上呈叠层状、球状、掌状等富屑纹层，因而使石灰岩具粒屑结构、残余生物结构以及叠层构造、块状构造和隐藻类构造等。

【物化性质】 浅灰色、浅黄色。表面凹凸不平，具各式纹层。质地坚硬。密度2.7g/cm³。抗压强度100～150MPa。叠层石灰岩CaO含量较高，通常为48%～50%，但$SiO_2$含量也较高，于2.4%～8.6%之间，加酸起泡。

【功能与用途】 由于含CaO较高，MgO适量，多在2%左右，因此是较好的熔剂灰岩和水泥原料。此外由于表面有特殊的叠层石纹层，因而常用于建筑装饰面料。

【鉴别特征】 表面有凹凸不平各种形状的叠层石。
【产地】 河北蓟县；内蒙古武川。

### Eg005 白云石化灰岩 clolomitization limestone

【别名】 豹皮灰岩；花斑灰岩。
【组成与结构】 主要成分为方解石，含量约 80%以上，其次为白云石，含量变化大，4%～20%，有时还含泥质与铁质。白云石化灰岩基质为微晶质或隐晶质，斑纹含较多白云石，呈不规则分布，似如花斑或豹皮。主要呈泥晶结构，不等粒镶嵌结构、花斑状构造、块状构造。
【物化性质】 灰色、深灰色、黄白色，表面色调不均匀。质地坚硬，密度 2.6～2.7g/cm³。抗压强度约 170MPa。加酸起泡。其 CaO 含量为 46%～52%，但含 MgO 较高，一般在 5%左右。$Al_2O_3$ 与 $Fe_2O_3$ 都比较低，在 1%以下。
【功能与用途】 主要用于冶金工业上，作为熔剂灰岩，部分作为水泥原料。
【鉴别特征】 岩石坚硬，表面具花斑状，似豹皮状。
【产地】 北京昌平。

## Eh 萤　　石

萤石属于氟化物，其熔点低（1270～1350℃），并且具有特殊光学性质，因此在工业上应用很广。据初步估算每年萤石产量 1/2 以上用于冶金熔剂；将近一半用于生产氢氟酸以及氟化物制品；少数用做光学仪器材料。

在冶金过程中萤石加用将使矿石熔炼温度降低，并与炉渣形成流动性与活动性较高的共熔性混合物，同时很好地与炉料中有害杂质硫、磷等起反应，将其排除，进入炉渣，起到脱硫、脱磷作用，从而提高冶金质量与效率。

萤石常与其他矿物共生，因此在利用时往往需要经过手选或机选方能保证其纯度，否则难于满足工业要求。冶金工业中作为熔剂的萤石其工业要求主要有两方面：一是 $CaF_2$ 及 S、P 杂质含量，通常要求 $CaF_2 \geqslant 50\%$，S、P 等杂质$\leqslant 1\%$。二是萤石块度，一般以 10～15mm 为宜，小于 3mm 者应少于 3%。

萤石在我国分布较广，其中以浙江、内蒙古、湖南较集中，是我国出口创汇的矿产品之一。

### Eh001 萤石 fluorite

【组成与结构】 成分为 $CaF_2$，其中含 F 48.67%，Ca 51.33%，通常 Ca 被 Ce、Y 以及 Fe、Al 以类质同象替代。常含汞铁矿、铅、锌等杂质，有时还含气相、液相和黄铁矿等固相包裹体。等轴晶系，晶体为立方体，其次为八面体、五角十二面体等。大多呈粒状、块状集合体。
【物化性质】 紫色、绿色、淡黄色、浅玫瑰色、浅蓝色，色调浅淡。透明至半透明。玻璃光泽。硬度 4，性脆。密度 3.1～3.2g/cm³。在阴极射线和紫外线下发紫光。大多数萤石（约 60%）具不同程度的放射性。与盐酸、硝酸反应微弱，遇浓硫酸会分解产生氟化氢。熔点较低，1270～1350℃。
【功能与用途】 萤石在冶金工业上主要用做熔剂，起到助熔，降低熔炼温度，增加炉渣流动性，排除有害杂质 S、P，提高产品纯度的作用。此外大量用于制取氢氟酸及其衍生物，用于合成冰晶石（$Na_2AlF_2$），制造杀虫剂、防腐剂、清洁剂、润滑剂等以及在涂料、塑料、陶瓷、玻璃等部门使用。
【鉴别特征】 立方体晶形；鲜艳多彩的颜色；发紫色荧光；加浓酸分解。
【产地】 浙江义乌；内蒙古四子王旗。

## Ei 硼　　砂

在冶金工业中硼砂具有熔融金属氧化物的能力，因而在冶炼硼钢以及作为冶金熔剂上均有重要

作用。有时硬硼钙石可代替萤石用在碱性氧化转炉炼钢。

### Ei001 硼砂 Borax

【组成与结构】 成分为 $Na_2[B_4O_5(OH)_4]\cdot 8H_2O$，其中含 $Na_2O$ 16.26%，$B_2O_3$ 36.51%。单斜晶系，晶体呈短柱状、厚板状，集合体多为块状、粒状或皮壳状。

【物化性质】 无色或白色。玻璃光泽。硬度 2.0～2.5。密度 1.69～1.72g/cm³。易溶于水，味略甜。蒸发结晶后仍生硼砂。

【功能与用途】 在冶金工业上是精炼有色金属的良好熔剂。在合金中加入适量硼砂可增加钢的强度，使其具抗腐蚀、耐高温的性能而广泛用于制造喷气发动机的部件中。

【鉴别特征】 硬度低；短柱状晶形；可溶于水中。

【产地】 西藏佳里湖、班戈湖。

## Ej 铁 矾 土

铁矾土是工业矿物原料的术语，它是指含铁量高的铝土矿与耐火黏土，也就是说铝土矿和耐火黏土因含铁量高而达不到该矿种工业要求者均称铁矾土。因此它与铝工矿、耐火黏土产出分布特征上没有多大差别，而仅在化学成分 $Al_2O_3$ 与 $Fe_2O_3$ 上，并由此产生不同的用途。

### Ej001 铁矾土 ferruginous bauxite

【组成与结构】 主要成分为一水硬铝石、三水铝、一水软铝石、高岭石、蛋白石、赤铁矿等，其中以前三者为主，可占矿物总量 60%～75%，但它们之间比例变化较大。铁矾土为微晶质结构、块状、豆状、鲕状构造。

【物化性质】 灰色、灰黑色、黄绿色，有时呈红色。致密坚硬，硬度 3～6。密度 3.3～3.5g/cm³。无可塑性。通常含 $Al_2O_3$ 40%～75%，$Fe_2O_3>3.5\%$。

【功能与用途】 主要用做炼钢熔剂，利于在炉中造渣和清除炉壁上的结瘤。其工业要求 $Al_2O_3+TiO_2\geqslant 45\%$，$SiO_2\leqslant 20\%$，$Fe_2O_3\leqslant 15\%$，矿石块度不允许超过 30mm，限定在 5～30mm 之间。

【鉴别特征】 与铝土矿、耐火黏土相同；成分据化学分析结果。

【产地】 河北唐山；辽宁本溪；陕西铜川。

## Ek 铸 型 用 砂

铸型砂又称型砂、铸造砂。是指铸造业中制造砂型和砂芯等的原砂。它主要由粒度比较均匀的石英颗粒以及锆石颗粒、橄榄石颗粒等组成。通常原砂与一定配料（如黏土）依据部件要求，制成各种形式的砂型与砂芯，用以浇铸成不同的有色金属铸件、铸钢件和铸铁件等。

铸型砂的来源有两种，一是天然形成的，如海砂、风成砂等；二是岩石经过机械加工、粉碎、分选后而成的，如石英岩、石英砂岩以及橄榄岩等。

铸型砂工业要求有两大方面：化学成分与颗粒度。原砂种类与其等级不同者有不同要求。目前在铸造业中比较常用的有石英砂、石英长石砂和黏土砂等三类，此外还有锆石砂和橄榄石砂。不同原砂类型用于不同铸件上。

### Ek001 石英砂 quartz sand

【组成与结构】 用于铸型用的石英砂大多是海砂，其次为河砂与风成砂。其成分以石英为主，含量

可达80%以上，其次有少量长石（约占10%）、石屑（占2%～3%）以及微量云母、钛铁矿等。砂粒粒度为0.05～2mm，均匀，尤其海砂与风成砂，呈次圆状或次棱角状，松散。

【物化性质】 黄色、黄白色。石英砂粒硬度7。密度1.75～2.0g/cm³。化学性质稳定，耐高温、耐酸，但往往各种成因石英砂中含杂质不同，变化较大，将极大地影响其稳定性。石英砂含SiO 80%～99%，$Al_2O_2$ 0.24%～6.0%，$Fe_2O_3$ 0.07%～1.0%，CaO 0.09%～2.55%。

【功能与用途】 作为铸型用砂的石英砂主要用于配制铸钢用的各种砂型与砂芯，以便浇铸各种钢质铸件，供机械工业需要。其工业要求：$SiO_2$＞90%，含泥量＜2%，$Fe_2O_3$＜1.5%，$K_2O+Na_2O+CaO+MgO$＜2%，粒度要求范围较大，粗粒砂～细粒砂（12/200）。

【鉴别特征】 黄色、黄白色砂粒；松散；以石英为主。

【产地】 广东新会；福建东山。

### Ek002 石英长石砂 quartz-feldspathic sand

【组成与结构】 主要成分为石英，含量一般在50%左右，其次为斜长石与钾长石，含量大于25%，有时还含少量云母、磁铁矿、绿泥石等。粒度在0.05～3.0mm，多为次棱角状、未胶结，松散状。

【物化性质】 黄白色、黄褐色。砂粒滚圆度较好，分选比较彻底。砂粒硬度6～7。密度2g/cm³。其$SiO_2$含量较高85%～90%，具耐高温和耐酸性能，但不及石英砂。

【功能与用途】 作为铸型用砂的石英长石砂主要用于配制铸铁件及有色金铸件用的各种砂型与砂芯，以供浇铸各种铁质与有色金属的铸件。其工业要求$SiO_2$不少于80%，含泥量不大于2%，粒度一般在中粒砂范围（40/200）。

【鉴别特征】 砂粒色调与透明度不均匀；多为次棱角状；松散状。

【产地】 河南滠池；内蒙古通辽；吉林双辽。

### Ek003 黏土砂 clay sand

【组成与结构】 主要成分为石英，含量变化大，40%～60%。其次为黏土，约占10%～50%以高岭石类黏土矿物为主。石英砂磨圆度差，粒度0.05～3mm。黏土呈分散状分布，但不均匀，局部集中。砂粒呈半胶结状。

【物化性质】 黄白色、黄褐色、黄黑色。砂粒分选中等，硬度7。密度2g/cm³。当黏土含量较多时，黏土砂具半塑性。通常含$SiO_2$60%左右，铁、铝质含量较高。

【功能与用途】 作为铸型用砂的黏土砂主要用于作铸铁件及有色金属铸件用的砂型与砂芯的附加件，以增强造型用砂的强度。其工业要求主要是含泥量不大于50%。

【鉴别特征】 具半塑性；会粘手。

【产地】 江西瑞昌；河南滠池；内蒙古通辽。

### Ek004 镁橄榄石砂 forsterite sand

【组成与结构】 成分为$Mg_2SiO_4$，理论上含$SiO_2$ 42.7%，MgO 57.3%，但常有Mn、Ca、Al、Ti等类质同象替代。斜方晶系、晶形呈柱状或厚板状，完好晶体少见，一般为粒状集合体。属镁硅酸盐矿物。

【物化性质】 白色、淡黄色、淡绿色。玻璃光泽。透明至半透明。硬度6.5～7.0。密度3.27～4.37g/cm³。贝壳状断口。在500～2500℃范围内其热稳定性最好，膨胀系数在$10^{-6}$数量级。熔点1760℃。微溶于水，使水呈碱性，也能溶于酸。

【功能与用途】 镁橄榄石砂大多是经过橄榄岩加工、粉碎与饰选后获得，少数由其风化物直接获得。镁橄榄石砂主要用做型砂材料，其性能优于石英砂，并且因无游离$SiO_2$，所以砂尘危害小，

广泛用于铝、铜、镁等有色金属以及锰钢、碳钢铸造上，并且它能制成大型铸造模具，供重型机械制造需要。此外，镁橄榄石砂亦可用于制成镁质耐火材料。它在炼钢中可起助熔和调节炉渣作用。用于铸型砂的镁橄榄石工业要求 $MgO>40\%$。

【鉴别特征】 橄榄绿色；粒状；硬度大。

【产地】 河北万全；陕西商南。

### Ek005 锆石砂 zircon sand

【别名】 锆石英；风信子石

【组成与结构】 成分为 $Zr(SiO_4)$，其中含 $ZrO$ 67.1%，$SiO_2$ 32.9%，常含微量 $HfO_2$、$U_3O_8$ 以及 $TR_2O_3$ 等。有时因含铀、钍等使其性质变化，并引起非晶质化。形成许多变种如山口石、大山石等，但其晶体均属于四方晶系，晶形为四方双锥或四方柱，集合体呈粒状。

【物化性质】 无色、淡黄色、紫红色、烟灰色等。金刚光泽。断口为油脂光泽。透明至半透明。硬度 7.5～8.0。密度 4.4～4.8g/cm³。紫外线下发明亮橙黄色光。熔点 2750℃，耐酸腐蚀。在 200～1000℃热膨胀系数在 $10^{-6}$ 数量级。耐热震动，稳定性良好。在高温下不与 $CaO$、$SiO_2$、$Al_2O$ 和 C 等反应。

【功能与用途】 锆石除作为提取锆、铪主要矿物原料外，因其具有耐高温、抗腐蚀、高强度以及具有吸收中子能力，所以还用于制作耐火材料与型砂材料制品。用做铸型用砂的锆石砂大部分来自天然砂矿中，它易于成型，只需少量胶黏剂即可达到高强度胶结，并且表面光滑，常用于有色金属以及精密部件铸造上。它制成的耐火材料属于锆质耐火材料，因高温下性能优异，已广泛用于有色金属冶炼的坩埚、炉衬以及原子反应堆的反辐射材料上。锆石砂细粉还可作型模表面涂料与填料。锆石砂工业要求 4～6kg/m³，其中 $ZrO_2$ 含量为 0.16%～0.24%。

【鉴别特征】 硬度大；四方柱状；金刚光泽；透明至半透明；颜色变化大。

【产地】 海南万宁；广东海丰。

## El 铸型用黏土

铸型用黏土又称铸型黏土，主要用做铸型用砂的黏结剂，使它形成工业生产需要的砂型和砂芯，因此铸型用黏土必须具备黏结性能和热化学稳定性能，以便使铸型砂能制成具有一定强度的造型，并在湿态、干态以及高温熔融金属浇铸时不发生形态与化学上的变化。

铸型用黏土主要由颗粒细小的含水铝硅酸盐类矿物组成。按矿物成分不同大体可分两大类：膨润土类与普通黏土类。膨润土主要由蒙脱石组成，它吸水后以结晶格子膨胀为特点，所以其湿压强度比普通黏土高。普通黏土主要由高岭石类矿物组成。吸水后其结晶格子不膨胀。

黏土在我国分布很广，但要作为铸型用黏土有其特殊工业要求，其中除化学成分，特别是有害杂质硫化物中硫、$CaO$、$MgO$、$Fe_2O_3$、$K_2O$、$Na_2O$ 等含量外，还有耐火度、胶质价、湿态抗压强度与干态抗压强度等指标，不同用料级别有不同要求。通常要求 $SiO_2>65\%$、$Al_2O_3$ 20%、S 含量小于 0.3%、$Fe_2O_3$ 小于 3%，耐火度大于 1350℃，胶质价 40～90。在混合样中（石英砂 95%，膨润土 5%，水 4%）湿态抗压强度 0.64kg/cm²，干态抗压强度 4.85kg/cm²。

### El001 钠质膨润土 sodic bentanite

【组成与结构】 通常以蒙脱石为主，其含量在 40%～90%，呈二八面体，其次有少量石英、高岭石、长石、云母、沸石、伊利石等。在膨润土中可交换的离子是 $Ca^{2+}$、$Na^+$ 和 $Mg^{2+}$。当可交换的 $Na^+$ 占阳离子总数大于 50%时则称之为钠质膨润土；若小于 50%，并以 $Ca^{2+}$ 为主则为钙质膨润土。膨润土中蒙脱石矿物极细小，在电子显微镜下呈毛状或毛毡状。通常膨润土为块状或土状集合体。

【物化性质】 白色、黄色、棕色。蜡状光泽。贝壳状或锯齿状断口。风化后松散如土，如“爆玉米

花”状。硬度 1～2。密度 2～3g/cm³。吸湿性强，持续时间长，最大吸水量为其体积的 8～15 倍。吸水后体积膨胀倍数最大可达 20 倍。在水中可形成一种永久性乳浊液，具有黏滞性与润滑性。可塑性强，有较好的黏结性，易于成型。具有较好的热稳定性，加热至 100℃阳离子交换量增加；390～490℃时丧失膨胀性能，不再变形。通常膨润土中富含硅、铝，但变化较大。$SiO_2$ 变化于 50%～74%；$Al_2O$ 变化于 15%～25%。

【功能与用途】 在冶金工业上由于具良好的黏结性能，常作铸型用砂的黏结剂，增强抗压、抗拉强度，防止砂型与砂芯坍塌、变形，提高铸件成品率。对其工业要求蒙脱石含量大于或等于 50%，样品湿压强度值 0.3～0.5kg/cm²。样品热湿拉强度 15～20kg/cm²。此外在冶金工业中钠质膨润土可用于黏结铁矿球团，使它燃烧均匀，降低焦耗，提高炼铁质量。其要求钠质膨润土爆裂温度为 600℃，生球抗压强度 1kg/个，热球 200kg/个。

【鉴别特征】 土状集合体；蜡状光泽；加水体积膨胀，最大可达 30 倍。

【产地】 浙江临安；辽宁黑山；河南信阳；河北张家口。

## EI002 坡缕石黏土 palygorskite clay

【组成与结构】 以坡缕石为主，并伴有蒙脱石、石英、白云石、方解石，有时含少量高岭石与斜发沸石。坡缕石 $Mg_5Si_8O_{20}(OH)_2(OH_2)_4 \cdot 4H_2O$ 属镁硅酸盐类矿物。其极为细小，在电子显微镜下呈石棉状或木质纤维状；晶体长而粗，表面纵向条纹清楚。常呈纤维状集合体。

【物化性质】 白色、浅灰色，微带玫瑰色。具丝绢光泽。硬度 2.0～2.5。密度 2.26g/cm³。性韧，不易折断，可撕成薄纸片状。具弹性，耐酸碱，吸水性强，吸水后体积不膨胀。在水中难分散，久浸后可搓成糊状。柔软，难破碎，风化后呈树皮状、马粪纸状。阳离子交换容量一般在 20～50meq/100g，比蒙脱石低。吸附量 24g/100g。通常含 $SiO_2$ 54.5%、$Fe_2O_3$ 2.8%、$Al_2O_3$ 5.9%、MgO 8.9%。

【功能与用途】 在冶金工业上它可取代膨润土作为铸型用砂的黏结剂和铁矿球团的黏结剂。此外由于它比表面积大、吸附性强，亦应用于钻井泥浆原料、油脂稠化剂与油漆稳定剂、高分子化合物的脱色剂等。

【鉴别特征】 吸水不膨胀；吸水性强，在水中难分散；风化后呈树皮状、马粪纸状。

【产地】 江苏盱眙；安徽全椒。

## EI003 凹凸棒石黏土 ottapulgite clay

【组成与结构】 主要成分为凹凸棒石，含量约 70%～80%，其次有少量蒙脱石、高岭石、海泡石、石英、蛋白石、方解石等。凹凸棒石 $Mg_5Si_8O_{20}(OH)_2(OH_2)_4 \cdot 4H_2O$，成分与结构和坡缕石相似，但它纤维状晶形较细短，常聚集成束。单个晶体微小，在电子显微镜下长 1μm 左右，宽 0.01～0.025μm。常呈土状集合体。

【物化性质】 白色、灰白色、青灰色、灰绿色。土状光泽或丝绢光泽。土质细腻，有油脂滑感。硬度 1.5～2.0，性脆，质轻。密度 2g/cm³。断口贝壳状或参差状。吸水性强，粘舌，湿时具黏性与可塑性，干后收缩少，不显裂纹。浸泡水中会崩碎成碎粒而悬浮，并有咝咝作响声。在水中形成的悬浮液对电介质不敏感，不絮凝沉淀。具抗盐、碱能力。在化学成分上以镁、铝组分为特征。通常含 $SiO_2$ 50%～55%，$Al_2O_3$ 8.76%，MgO 9.05%，$Fe_2O_3$ 3.36%，CaO 2%，其他均小于 1%。

【功能与用途】 凹凸棒石黏土常因组分不同还可分出硅质的、水云母的、蒙脱石的和白云母的凹凸棒石黏土。由于凹凸棒石黏土具有独特的分散、耐温、耐盐、碱等性质和较高的吸附脱色能力以及其可塑性与黏结性，广泛应用于石油、化工、建筑、国防等部门。在冶金工业上主要用做铁矿团球的胶黏剂，其效果优于膨润土，同时亦用于作铸型用砂的胶黏剂，制成各种砂型与砂芯，以供熔融金属浇铸。但总的讲凹凸棒石黏土在冶金工业上用量不占多数。

【鉴别特征】 吸水性强；粘舌；加水能嗞嗞作响并形成悬浮液。
【产地】 江苏盱眙；安徽嘉山。

### EI004 普通黏土 clay

【别名】 杂黏土
【组成与结构】 主要成分为高岭石，一般占50%～70%，其次为石英、云母、伊利石、蒙脱石等。矿物粒径小于0.0039mm。土状集合体，微晶质结构。
【物化性质】 黄色、黄褐色、红褐色。疏松、吸水性良好，与水搅拌后具黏性和较弱的可塑性。干燥后能保持塑造形态。焙烧后具有岩石般的坚硬。具有一定膨胀性和较好的吸附性。能粘手，在水中很快地分散，形成浆状。
【功能与用途】 在冶金工业上普通黏土也可做铸型用黏土，黏结铸型砂，造成各式砂型与砂芯，但它很少作大型构件而多用于民用日常用品与小器件铸造上。普通黏土也可用于铁矿团球的胶黏剂。其工业要求耐火度大于1350℃，硫化物中硫以及$K_2O+Na_2O+CaO+MgO$和$Fe_2O_3$均要小于3%，与铸型用砂混合后湿压强度0.035MPa，干压强度0.33MPa。
【鉴别特征】 黄褐色；疏松；粘手；吸水性好；弱的可塑性；在水中很快分散成浆状。
【产地】 江西乐平；湖南湘潭。

## Em 石 墨

石墨是元素碳（C）的结晶矿物之一。在自然界中石墨大多是由碳质岩石、煤层或含碳质岩石经变质作用而形成的。由于形成地质与物理化学条件不同，所形成的石墨在结晶形态、组成结构与成分组合等方面均有所差别，通常可将其分为晶质石墨与隐晶质石墨两大类。晶质石墨多成鳞片状，片度大于1μm，质量尚佳；隐晶质石墨多成无定形、土状、片度小于1μm，质量不及晶质石墨，并且可选性较差。

石墨具有润滑性、耐高温、抗腐蚀、可塑性、导电、导热性、化学性质稳定等独特性质，是一种特殊的非金属材料，因而在工业上其应用领域很广，除冶金工业外，在纺织、电气、建筑、机械、化工、轻工以及原子能与国防工业等部门也都广泛利用。在冶金工业上石墨主要用于制成中性的碳质耐火材料和铸型用料。上述两方面石墨用量约占石墨总用量的70%。

我国石墨矿主要分布于黑龙江、内蒙古、河南、江西、湖北等地，其中以晶质石墨为主，产量较大，每年都有一定数量出口创汇。目前利用的工业矿物与岩石主要有：晶质鳞片石黑、石墨片麻岩、石墨片岩、石墨大理岩以及少量的石墨透辉岩等。石墨质量要求主要是固定碳含量，其中晶质（鳞片状）石墨要求在3.5%左右；隐晶质（土状）石墨要求固定碳大于65%，并且依据各自固定碳的含量将矿石分为不同级次。石墨中硫、铁含量高时将降低其耐火度与化学稳定性，因而不同品级矿石有不同要求。由于矿石硬度直接影响生产流程和产品经济价值，通常都将矿石划分为风化矿与原生矿，以不同标准给予评价。石墨片度是晶质石墨的另一个重要工业指标，它直接关联到石墨工业与经济的价值。通常根据正目（+100目）石墨含量为准。一般正目石墨含量要求在40%～60%。鳞片状石墨按片径一般分三级：大鳞片（片径1.0～2.0mm）、中鳞片（片径0.5～1.0mm）、小鳞片（片径小于0.5mm）。

### Em001 晶质鳞片状石墨 crystalline graphite

【组成与结构】 主要成分为碳（C），常含少量（10%～20%）杂质，如黏土、水、沥青以及$Fe_2O_3$、$SiO_2$等。六方晶系，完好晶体少见，片度大多在0.05～1.5mm，常呈鳞片状或块状集合体。

【物化性质】 铁黑色、钢灰色。条痕为亮黑色。金属光泽。硬度 1～2，性软。密度 2.09～2.23g/cm³。有滑腻感，易污染手指。薄片具挠性。导电性好，能耐高温，熔点 3850℃。膨胀系数小（$1.2\times10^{-6}$/℃），在高温下能经受剧烈变化，其体积变化不大，热稳定性良好。能耐酸、碱侵蚀。摩擦系数小，在润滑介质中小于 0.1，润滑性好。

【功能与用途】 因石墨抗热震性能突出，并有润滑性、涂敷性与可塑性，因而在冶金工业上用于制作坩埚和铸件模子的涂料，此外在化工上作催化剂，在原子反应堆中作中子减速剂，在航天工业中作抗腐剂等。

【鉴别特征】 钢黑色；粘手染黑；硬度小；可塑性。

【产地】 内蒙古兴和；黑龙江鸡西。

## Em002 石墨片麻岩 graphitie gneiss

【组成与结构】 主要成分为石英、斜长石、石墨、黑云母辉石、角闪石等，其中以斜长石、石英、石墨三者含量比较稳定，一般可占 50%～60%。石墨片麻岩为细粒鳞片变晶结构、部分为纤维状花岗变晶结构，片麻状构造。

【物化性质】 灰色、青灰色、黑灰色。石墨呈晶质鳞片状，部分为片状，略具定向排列，粒度一般为 0.1～0.5mm，最大可达 4mm。大小分布不均，易碎。沾手染黑。品位一般为 6%～7%。

【功能与用途】 石墨片麻岩是获得石墨的主要工业岩石，其易破碎，可选性好，有的片度较大。它主要用于制造石墨坩埚和铸件模子表面的涂料，也用于炼钢炉的炉衬和冶炼保护渣。由于其片度较大，常用于电气工业上作电极、电刷等材料。

【鉴别特征】 片麻状构造；石墨呈晶质鳞片；手摸将沾手染黑。

【产地】 山东南墅；内蒙古兴和。

## Em003 石墨片岩 graphitie schist

【组成与结构】 主要成分为石英、黑云母、白云云，石墨透辉石。中细粒花岗变晶结构，片状构造。石墨沿片理方向分布，片度较小，一般在 0.1～0.2mm，最大可达 1.5mm，呈晶质鳞片。

【物化性质】 黑色、黑灰色、灰黑色等，岩石硬度中等，易破碎，分选性能尚佳。手摸将沾手染黑。石墨片岩品位较高，一般含固定碳在 6%～10%，其他组分含量较低，但往往含五氧化二钒（$V_2O_5$），含量变化于 0.05%～0.7%。

【功能与用途】 除用于制作石墨砖、坩埚和铸件模子表面涂料及炼钢炉衬外，还可用于制造耐酸、碱制品和化肥催化剂，其工业要求粒度 80 目，固定碳 95%，属高碳石墨产品。在用做高温、高压密封件时，要求粒度 50 目，固定碳 99%，属高纯石墨产品。

【鉴别特征】 片状构造；易破碎；沾手染黑。

【产地】 黑龙江柳毛，江西金溪。

## Em004 石墨大理岩 graphitie marble

【组成与结构】 主要成分为方解石、石墨、白云石等。呈不等粒变晶结构，块状构造。石墨为鳞片状、晶质、沿方解石或白云石颗粒之间分布，呈稀状或稠密状浸染。有时亦沿层面分布。石墨鳞片片度较小，一般在 0.1～0.5mm，个别较大。

【物化性质】 灰白色、灰色、灰黑色。矿石性较脆，易破碎，可选性尚佳。滴酸起泡，沾手将染黑。石墨分布十分不均匀，因而品位变化较大。但总体讲品位较高，一般约在 2.5%～4.5%左右。石墨质比较纯，含硫、铁等杂质较低。

【功能与用途】 主要用于制成耐火材料与铸件模子上的涂料以及油漆、铅笔芯、颜料的润滑剂等。一般要求粒度＋200 目，含固定碳 90%，为中碳石墨产品。

【鉴别特征】 具有大理岩特征；石墨为晶质鳞片，呈浸染状分布；矿石沾手将染黑。
【产地】 河南灵宝；山东南墅。

### Em005 隐晶质石墨 cryptocrystalline graphite

【组成与结构】 主要成分为碳（C），常含有杂质，如红柱石、水云母、绢云母及少量黄铁矿、方解石等。有时还含有微量微晶质石墨。隐晶质石墨多呈无定形花瓣状、叠层状，粒度小，为0.2μm，通常呈隐晶质鳞片集合体，具土状、层状、块状与页片状构造。
【物化性质】 灰黑色、钢灰色。光泽暗淡。不透明，条痕为黑色。硬度1～2，性软。有滑腻感，易污染手指。密度2.1～2.3g/cm$^3$。具导电、耐高温性质。石墨品位比较高，通常为60%左右，含硫量亦高，一般在0.26%～1.16%，但因片度较小其各方面性能也随之降低，并且进一步精选比较困难，所以隐晶质石墨质量不及晶质鳞片状石墨优。
【功能与用途】 主要用于铸件模子的涂料，电池碳棒、电极、焊接碳以及制作固体润滑剂等，其工业要求固定碳含量要大于65%。
【鉴别特征】 隐晶质；土状；光泽暗淡。
【产地】 湖南鲁塘；吉林盘石。

## 参 考 文 献

1 马鸿文主编. 工业矿物与岩石. 北京：地质出版社，2002
2 郑延力，樊素兰. 非金属矿产开发应用指南. 西安：陕西科学技术出版社，1992
3 全国矿产储量委员会办公室主编. 矿产工业要求参考手册. 北京：地质出版社，1987
4 地质部地质辞典办公室编辑. 地质辞典（二）矿物、岩石、地球化学分册. 北京：地质出版社，1978
5 张培元主编. 中国工业矿物与岩石下册. 北京：地质出版社，1987
6 《非金属矿工业手册》编辑委员会. 非金属矿工业手册上册. 北京：冶金工业出版社，1992

# F　与化工原料有关的矿物与岩石

与化学工业有关的产业很多，除制酸、制碱、制盐工业外，还有化肥、农药、造纸、制革、纺织、陶瓷、医药、橡胶、洗涤、玻璃、染料等部门。它们所使用的生产原料极其广泛，天然矿物与岩石是其重要部分。现将上述各产业部门目前正在使用和今后可能使用的天然矿物与岩石叙述如下。

## Fa　钠　　盐

钠盐主要是指氯化钠，其分布较分散，既产于地表湖泊中，也可产于地下岩层里；既有产于近代，也有产于中生代，甚至古生代。目前工业广泛利用的主要为石盐。

### Fa001　　湖盐　halite

【组成与结构】 成分为 NaCl，其中含 Na 39.4%，Cl 60.6%，常含泥质、有机质与卤水等。等轴晶系，晶形呈立方体，有的晶面可见漏斗状阶梯凹陷。集合体常为粒状或块状。

【物化特征】 无色或白色，有时由于钾放射性引起而呈蓝色。透明，玻璃光泽，风化潮湿后表面为油脂光泽。硬度 2.0～2.5，性脆。密度 2.1～2.2g/cm$^3$。易溶于水，味咸。具导热性与顺磁性。

【功能与用途】 为产于现代盐湖或干涸盐湖中沉积的固体盐，常与芒硝、钾盐共生。当 NaCl 含量大于 50%时即可供工业开发利用。湖盐主要用于食用，同时还可用于提取金属钠以及伴生的碘（I）、溴（Br）和锂（Li）等。

【鉴别特征】 白色，立方体，易溶于水中，味咸。

【产地】 青海茶卡；内蒙古兰泰；新疆七角井。

### Fa002　　岩盐　rock salt

【组成与结构】 主要成分为 NaCl，其中含 Na 39.4%，Cl 60.6%，常混入泥质、有机质。等轴晶系，立方体晶体，通常呈粒状与块状集合体。

【物化性质】 颜色通常为白色，但变化较大，含泥质较多常为灰色，含有机质则多为黑色，含氢氧化铁呈红色。玻璃光泽。风化面多油脂光泽。硬度 2.0～2.5，性脆。密度 2.168g/cm$^3$。易溶于水，味咸。

【功能与用途】 原产于古代盐湖或海湾中经长期地质作用而赋存在岩层中的固体盐，故纯度较低，通常当含 NaCl 大于 30%，而有害物质铅、砷、氟、钡等小于（1～10）$\times 10^{-6}$时方可利用。加工后主要为食用，部分作化工原料。

【鉴别特征】 产于岩层中，杂质较多，立方体晶体，溶于水，味咸。

【产地】 湖北应城；湖南衡阳；四川长宁。

### Fa003　　卤水　bitter

【别名】 井盐

【组成与结构】 成分比较复杂，主要含 NaCl，其次为 $CaCl_2$、$MgCl_2$ 和 KCl，以液态溶液出现。

【物化性质】 液态。半透明。苦咸带涩味。密度 2g/cm$^3$。相对密度视溶质成分与浓度而变化，通

常变化较大。

【功能与用途】 天然卤水可分盐湖卤水与地下卤水，当其中 NaCl 含量大于 10%，即可供工业利用。地下卤水加工后即为井盐。主要用于食用，部分供化学工业使用以及提取碘、溴等元素。

【鉴别特征】 半透明液体，具苦咸味。

【产地】 四川自贡；青海茶卡；新疆罗布泊。

# Fb 钾　　盐

钾盐是指含钾的盐类矿物，目前工业利用最多的是氯化物与硫酸盐，其他基本未利用。钾盐主要工业矿物有钾石盐、光卤石、无水钾镁矾、钾盐镁矾和杂卤石，其次为钾芒硝、钾镁矾和软钾镁矾。它既可赋存在砂泥质层中，亦可产于卤水中，并以不同组合形式出现。当其中 KCl（固体）含量大于 6%，或 KCl（卤水）含量大于 2%即可供工业利用。主要用以制钾肥，部分用于化工原料，在加工中可综合回收碘、溴、硼、锂、铷、铯以及其他盐类矿物。

## Fb001　　钾石盐　sylvite

【组成与结构】 组分为 KCl，其理论上含 K 52.5%，Cl 47.5%，实际上含 $K_2O$ 为 63.1%，常伴碘、溴、铷、铯等。等轴晶系。晶形呈立方体或八面体，常为粒状与块状集合体。

【物化性质】 无色、白色，有时因混入氢氧化铁而呈红色，有时因放射性 $K^{40}$ 存在而呈蓝色。透明，玻璃光泽或油脂光泽。硬度 2.0～2.2，性脆。密度 1.97～1.99g/cm³。易溶于水，在 20℃溶解度为 340g/L；60℃为 455g/L。溶液常有苦咸味，并带点涩。摩擦发芳香味，燃烧发紫色火焰。

【功能与用途】 钾石盐既赋存在卤水中，亦可产在岩层中，是最常见的钾盐矿物，其含钾高，易加工，主要用于生产钾肥，部分用于化工、医药、农药和染料工业，同时也是提取铷、铯、溴的主要来源。

【鉴别特征】 白色粒状；易溶于水，溶液具苦咸带涩味，并且由于放射性 $^{40}K$ 存在常呈蓝色。

【产地】 青海察尔汉（卤水）；云南红城县勐野井（固体）。

## Fb002　　光卤石　carnallite

【组成与结构】 成分为 $KCl \cdot MgCl \cdot 6H_2O$，其中理论上含 KCl 26.7%、MgCl 34.5%、$H_2O$ 38.8%，实际含 $K_2O$ 17.0%，常混有黏土、卤水以及溴、铷、铯等。斜方晶系，晶体呈锥状，双晶发育，常呈纤维状或块状集合体，为含钾的氯化物矿物。

【物化性质】 白色、黄色或红色。半透明，新鲜面为玻璃光泽，但在空气中很快变暗，呈油脂光泽。断口贝壳状。硬度 2.0～3.0，性脆。密度 1.6g/cm³。易溶于水，并发出爆裂声和逸出气体，溶解度为 1190g/L。易潮解并变成粉末，味苦辣咸。

【功能与用途】 常与石盐、硬石膏共生。因光卤石含 $MgCl_2$ 不能直接用做肥料，同时含钾量低，加工复杂，以往不太利用，近年由于水采方法的推广，光卤石应用的可能性可进一步扩大。

【鉴别特征】 具锥形双晶。易潮解而松散，味苦辣咸。

【产地】 青海察尔汉盐湖南部达布逊湖。

## Fb003　　钾盐镁矾　kainite

【组成与结构】 成分为 $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 3H_2O$，其中含 $K_2O$ 16.00%、MgO 16.48%、$SO_3$ 32.75%、Cl 14.50%、$H_2O$ 20.27%。单斜晶系，晶形为板状，常为块状和粒状集合体。属氯化物-硫酸盐矿物。

【物化性质】 浅黄色、灰白色、有时带点红色。透明，玻璃光泽。断口平坦或参差状。硬度2.5～3.0，性脆。密度 2.15g/cm³。加水中速溶解，味咸稍苦，不潮解。

【功能与用途】 钾盐镁矾常与钾石盐、光卤石共生，是硫酸盐钾矿石主要成分，但由于溶解度低，成分复杂，需经繁杂的分离工艺后方可用做化肥与化工原料。

【鉴别特征】 溶解速度较慢；溶液味咸。

【产地】 俄罗斯乌拉尔。

## Fb004 无水钾镁矾 langbeinite

【组成与结构】 成分为 $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$，含 $K_2O$ 22.7%、MgO 19.43%、$SO_3$ 57.87%。等轴晶系，晶体呈四面体和五角十二面体，常为粒状与块状集合体。属于硫酸盐类矿物。

【物化性质】 无色、浅红色、灰黄色、浅绿色。透明，玻璃光泽。硬度 3.5～4.0，性脆。密度 2.83g/cm³。溶解度低，在冷水中难溶，在 61℃以上水中才溶解。无味感。在空气中生白色皮壳（软钾镁矾），加热发绿色亮光。

【功能与用途】 常与杂卤石、钾芒硝共生，多为矿石中次要组合。无水钾镁矾含 $K_2O$ 较高，但溶解度低，加工复杂，不能得到广泛利用，仅部分作为复合肥使用。

【鉴别特征】 四面体或五角十二面体晶形，溶解度低，无味感。

【产地】 美国墨西哥州；湖北潜江；四川南充。

## Fb005 杂卤石 polyhalite

【组成与结构】 组分为 $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 2H_2O$，其中含 $K_2O$ 15.6%、CaO 18.6%、MgO 6.7%、$SO_3$ 53.1%、$H_2O$ 6.0%。三斜晶系，晶体呈细小板状，常具叶片状双晶，粒状或纤维状集合体。属于含钾硫酸盐类矿物。

【物化性质】 白色或灰白色，常因含铁的氧化物而染成红色或棕色。透明，玻璃光泽，块状集合体常为油脂光泽或丝绢光泽。硬度 2.5～3.5。密度 2.78g/cm³。部分溶于水，并生石膏沉积物，无味感。

【功能与用途】 常与石盐、石膏共生，形成杂卤石-石盐型矿石，广泛出现在近代盐湖中。矿石质纯，主要用于生产钾肥。

【鉴别特征】 常见叶片状双晶；无味；部分溶于水并生石膏沉淀物。

【产地】 四川渠县农乐。

## Fb006 钾镁矾 leonite

【组成与结构】 成分为 $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$，其中含 $K_2O$ 25.69%、MgO 10.99%、$SO_3$ 43.67%、$H_2O$ 19.65%。单斜晶系，晶形呈板状，常为粒状与块状集合体，属于含钾硫酸盐类矿物，多为次生的。

【物化性质】 浅黄色、浅红色。玻璃光泽。贝壳状断口。硬度 2.5～3.0。密度 2.20g/cm³。溶于水，味稍苦。在空气中呈白色薄膜。

【功能与用途】 常与钾盐镁矾，杂卤石伴生，为次生矿物，数量有限，未能单独开发利用。有时用于生产复合肥。

【鉴别特征】 溶于水；味稍苦；在空气中表面呈白色薄膜。

【产地】 湖北潜江盆地。

## Fb007 软钾镁矾

【组成与结构】 成分为 $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$，其中含 $K_2O$ 23.39%，MgO 10.01%。单斜晶系，偶见完全短柱状晶体，常为皮壳状、土状或块状集合体。属于含钾硫酸盐类矿物。

【物化性质】 无色、白色，有时为红黄色。玻璃光泽。硬度 2.5。密度 2.03g/cm³。溶于水，味苦辣。加压或加热均可失水，变为无水钾镁矾。

【功能与用途】 常与钾盐镁矾、钾芒硝等共生，多为次生的，在矿石中属次要组分，数量有限，加工工艺复杂，故未能单独利用，有时用造复合肥。

【鉴别特征】 多呈土状，皮壳状集合体，易溶于水中，温度增高可脱水。

【产地】 湖北潜江；四川渠县农乐。

### Fb008 钾芒硝 glaserite

【组成与结构】 成分为 $Na_2SO_4 \cdot 3K_2SO_4$，含 $K_2O$ 42.51%、$Na_2O$ 9.32%，$SO_3$ 48.17%。三方晶系，晶体呈菱面体，常为块状和葡萄状集合体。属含钾硫酸盐类矿物。

【物化性质】 白色、浅红色。透明，玻璃光泽至丝绢光泽。断口不平坦，呈贝壳状。硬度 2.5～3.5。密度 2.65g/cm³。溶解度低，当 20℃时为 145g/L，味略苦咸。

【功能与用途】 常与无水钾镁矾、白钠镁矾、软钾镁矾等共生，大多为次生矿物，在矿石中为次要组分，并且加工工艺问题，未能大量利用，仅部分用于生产复合肥。

【鉴别特征】 葡萄状集合体；菱面体晶形；溶解度低。

【产地】 湖北潜江；蚌湖。

### Fb009 钾石膏 syngerite

【组成与结构】 成分为 $K_2SO_4 \cdot CaSO_4 \cdot 2H_2O$，含 $K_2O$ 28.68%、CaO 17.08%、$SO_3$ 48.75%、$H_2O$ 5.49%。单斜晶系，晶体呈板状、粒状，常为皮壳状或叶片状集合体，为含钾硫酸盐类矿物。

【物化性质】 无色、浅黄色、灰白色。玻璃光泽。硬度 2.5。密度 2.58g/cm³。加水溶解缓慢，并沉积出石膏。几乎无味感。

【功能与用途】 常与钙芒硝、石膏、杂卤石等于泥质岩层中，为矿石中次要组分，未独立利用。

【鉴别特征】 板状晶形；溶解度低；并出现沉淀物。

【产地】 青海大柴旦。

## Fc 芒 硝

芒硝是综合性工业矿物与岩石的名词，是指一组含硫酸钠的盐类。目前在工业上广泛应用的有芒硝、无水芒硝、白钠镁矾与钙芒硝等 4 种矿物，构成工业硫酸钠矿石的主要组分。其主要用于纸浆、玻璃、洗涤剂工业，也是印染、油漆、橡胶、人造纤维、医药等方面的重要原料。

### Fc001 芒硝 mirabilite

【别名】 格鲁勃盐 glaubers

【组成与结构】 主要成分为 $Na_2SO_4 \cdot 2H_2O$，其中含 $Na_2O$ 19.3%、$SO_3$ 24.8%、$H_2O$ 55.9%。单斜晶系。晶体呈板状，常为致密块状、纤维状集合体，有时为皮壳状或薄膜状集合体。属硫酸盐类原生矿物。

【物化性质】 无色、透明，有时浑浊面微带黄或绿色。玻璃光泽。断口为贝壳状。硬度 1.5～2.0。性脆。密度 1.490g/cm³。易溶于水，味微苦，稍咸带凉感。在干燥空气中易失水，变为粉末状无水芒硝。

【功能与用途】 常与石盐、石膏、钾芒硝、钙芒硝等共生。当固体矿 $Na_2SO_4$ 含量达 60%（卤水含 $Na_2SO_4$ 达 50g/L）即可供工业利用，为制取硫酸钠（商品称元明粉）的主要原料，用于纸浆、洗涤和玻璃等三大轻工生产上。

【鉴别特征】 无色、透明；易溶于水，味咸带凉；在空气中变成粉末。
【产地】 山西运城、内蒙古查干里门诺尔、新疆哈密七角井。

### Fc002 无水芒硝 thenardite

【别名】 元明粉
【组成与结构】 主要成分为 $Na_2SO_4$，其中含 $Na_2O$ 43.68%，$SO_3$ 56.32%。斜方晶系，晶形呈双锥体，常为块状或晶簇状集合体。
【物化性质】 无色、白色，常因含泥质和氧化铁而变成灰色和褐色。透明，玻璃光泽至油脂光泽。硬度 2.5～3.0。密度 2.68～2.69g/cm³。易溶于水中，当 40℃时溶解度为 388g/L，味苦咸、带热感。具潮解性，在室温和潮湿空气中易水化成粉末状芒硝而失去光泽与透明。
【功能与用途】 常与石盐、芒硝和天然碱共生，当其含 $Na_2SO_4$＞30%时即可供工业利用，主要用于制碱工业，广泛用于造纸、洗涤和玻璃工业上，此外在人造纤维、橡胶和印染上也是重要原料。
【鉴别特征】 颜色变化大；硬度与相对密度大于芒硝。
【产地】 新疆艾丁湖、七角井。

### Fc003 钙芒硝 glauberite

【组成与结构】 主要成分为 $Na_2SO_4 \cdot CaSO_4$，或 $Na_2Ca(SO_4)_2$，其中含 $Na_2O$ 22.29%、CaO 20.16%、$SO_3$ 57.55%。单斜晶系，晶体呈菱板状，常为致密块状或肾状集合体。
【物化性质】 灰色、黄色，有时含铁质呈粉红色。条痕白色。贝壳状断口。玻璃光泽。硬度 2.5～3.0，性脆。密度 2.70～2.85g/cm³。在水中缓慢溶解，沉淀出石膏，味微具咸。
【功能与用途】 产于近代盐湖中，常与石盐、石膏、芒硝共生，当其 $Na_2SO_4$ 含量大于 15%时即可供工业利用，主要用于制碱工业上，是造纸、玻璃、洗涤以及人造纤维、医药、油漆等部门重要的生产原料。
【鉴别特征】 菱板状晶形；在水中缓慢溶解并析出石膏；味微具咸。
【产地】 山西运城；云南安宁；四川新津。

### Fc004 白钠镁矾 bloedite

【组成与结构】 主要成分为 $Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$ 或 $Na_2Mg(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$，其中含 $Na_2O$ 18.53%、MgO 12.06%、$SO_3$ 47.87%、$H_2O$ 21.54%。单斜晶系，完好晶体呈短柱状，但少见，多为致密块状、粒状与纤维状集合体。
【物化性质】 无色，含杂质往往呈蓝绿色或浅红色。玻璃光泽。硬度 2.5～3.0。密度 2.2～2.3g/cm³。易溶于水，味苦咸。受热爆裂，生白色薄膜。在空气中不易风化。
【功能与用途】 常与钙芒硝共生，组成块状白钠镁矾矿石，当其 $Na_2SO_4$ 大于 15%即可工业开采，主要用做制碱及其他轻工业、化学工业生产原料。
【鉴别特征】 短柱状晶形；受热爆裂；缓慢地溶于水中。
【产地】 山西运城；新疆哈密。

## Fd 天 然 碱

天然碱也是综合性工业矿物与岩石的术语。是指提取碳酸钠组分的钠的碳酸盐、重碳酸盐和含水碳酸盐类矿物的总称，其中在工业上最广泛使用的有苏打、水碱、碳酸钠石和重碳钠石等四种；既有固体矿，又有卤水矿。矿石当 $Na_2CO_3 + NaHCO_3$ 在固体矿中大于 25%；在卤水矿中大于

3.5%则达工业品位。它是制碱工业重要原料之一，在人造纤维、石油精炼、纺织、无机化学制品、橡胶、塑料与造纸等工业部门亦广泛应用。

### Fd001 苏打 suda

【别名】 泡碱；碱；碳酸钠

【组成与结构】 主要成分为 $Na_2CO_3 \cdot H_2O$，含 $Na_2CO_3$ 37.00%（其中 $Na_2O$ 21.6%、$CO_2$ 15.4%），$H_2O$ 63.00%。单斜晶系，晶形呈板状，通常为粒状、皮壳状、禾束状和致密块状集合体。属碳酸盐类矿物。

【物化性质】 白色、灰色或浅黄色。透明，玻璃光泽。硬度 1.0～1.5。密度 1.42～1.47g/cm$^3$。易溶于水，在 30℃时 100g$H_2O$ 可溶 40g $Na_2CO_3$。遇盐酸强烈起泡。在空气中很快失水变成白色粉末。稍加热即熔融，失水变成水咸。

【功能与用途】 常与芒硝共生，组成芒硝-苏打矿石。苏打是制碱工业主要原料，用以生产纯碱（$Na_2CO_3$）、烧碱（NaOH）和小苏打（$NaHCO_3$）等。广泛应用于化学工业上以及水净化中用做软化剂。

【鉴别特征】 白色透明；花状集合体；在空气中失水变成白色粉末。

【产地】 内蒙古查干里门诺尔。

### Fd002 水碱 thermonatrite

【组成与结构】 成分为 $Na_2CO_3 \cdot H_2O$，含 $Na_2O$ 50.03%、$CO_2$ 35.45%、$H_2O$ 14.52%。斜方晶系，晶形比较少见，通常为皮壳状或粉末状集合体。属碳酸盐类矿物。

【物化性质】 无色、白色、灰色或黄色。玻璃光泽。硬度 1.0～1.5。密度 2.25～2.26g/cm$^3$。易溶于水，在 31.8℃时，100g $H_2O$ 可溶 50.3g $Na_2CO_3 \cdot H_2O$。

【功能与用途】 常与天然碱、苏打共生，是制碱工业的重要原料之一，用于生产纯碱、烧碱和小苏打，广泛用于玻璃、造纸、皮革、塑料以及冶金等工业部门。

【鉴别特征】 肉眼不易鉴别，一般通过化学分析。

【产地】 内蒙古额济纳旗古尔乃。

### Fd003 碳酸钠石 trona

【别名】 天然碱

【组成与结构】 成分为 $Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$，含 $Na_2CO_3 + NaHCO_3$ 80.08%（其中 $Na_2O$ 41.14%、$CO_2$ 38.94%），$H_2O$ 19.92%。单斜晶系，晶体呈板状或厚板状，常为晶簇状、纤维状、马牙状或土状集合体。碳酸盐类矿物。

【物化性质】 无色、灰色或浅土黄色。透明，玻璃光泽。硬度 2.5～3.0。密度 2.147g/cm$^3$。遇盐酸强烈起泡。溶于水中时沸腾，并有酸味与碱味。在空气中稳定，生成白色外壳。在紫外线下发荧光。

【功能与用途】 在现代盐湖中常与苏打、水碱共生。在古代岩层中常与重碳钠盐、碳氢钠石共生，是制碱工业的重要原料之一，广泛应用于造纸、皮革、塑料、洗涤等工业部门。

【鉴别特征】 颜色浅，在水中沸腾、发酸、碱味。

【产地】 河南桐柏、吴城。

### Fd004 重碳钠盐 nahcolite

【组成与结构】 成分为 $NaHCO_3$，含 $Na_2O$ 36.90%、$CO_2$ 52.38%、$H_2O$ 10.72%。单斜晶系。晶形呈柱状，偶为玫瑰状粗晶，常为松散状、多孔块状集合体。属碳酸盐类矿物。

【物化性质】 无色、白色，有时为灰色或牛皮纸色。透明，玻璃光泽。贝壳状断口。硬度 2.5。密度 2.21～2.24g/cm$^3$。易溶于水。遇盐酸起泡。加热变为 $Na_2CO_3$。

【功能与用途】 重碳钠盐常与石盐共生，组成重碳钠盐型矿石，是制碱工业重要原料之一，广泛应用于轻工业与化学工业上。

【鉴别特征】 具有牛皮纸色；松散块状集合体；遇盐酸起泡。

【产地】 河南桐柏安棚；西藏杜佳里湖；美国绿河盆地。

## Fd005 碳钠钙石 shortite

【组成与结构】 成分为 $Na_2CO_3 \cdot 2CaCO_3$，其中含 $Na_2O$ 19.9%、CaO 36.34%、$CO_2$ 42.90%及若干其他不溶物。斜方晶系，晶体呈柱状、板状，常为粒状集合体。

【物化性质】 无色、浅黄至黄色。玻璃光泽。断口不平坦，多呈贝壳状。硬度 3.5。密度 2.629g/cm$^3$。溶于水中并生 $CaCO_3$ 残留物沉淀。在稀酸中生 $CO_2$ 气体。具较强热电效应，在紫外线下发荧光。

【功能与用途】 常与碳酸钠石、石盐、氯碳钠镁石和单斜钠钙石共生，为矿石中次要组分，很少作为独立开采对象。主要用于提取苏打与水碱。

【鉴别特征】 晶体中常包有黄铁矿；溶于水中有 $CaCO_3$ 沉淀；在紫外线下发荧光。

【产地】 河南安阳吴城；河南桐柏安棚；美国科罗拉多的叶皮塞。

## Fd006 钙水碱 pirssonite

【组成与结构】 成分为 $Na_2CO_3 \cdot CaCO_3 \cdot 2H_2O$，其中含 $Na_2O$ 25.45%、CaO 22.75%、$CO_2$ 35.38%、$H_2O$ 14.70%以及若干其他不溶物。斜方晶系，晶体少见，多为粒状与块状集合体。属碳酸盐类矿物。大多为次生矿物。

【物化性质】 无色、淡黄色。透明，玻璃光泽。半贝壳状断口。硬度 3.0～3.5。密度 2.382g/cm$^3$。易溶于酸中，生 $CO_2$ 并强烈起泡。加热失水。溶于水中有 $CaCO_3$ 残留物沉淀。

【功能与用途】 常与单斜钠钙石、碳钠钙石、碳酸钠石共生，为矿石中次要的次生组分，分布局限，要经化学处理后可提取苏打与水碱。用于化学工业与轻工业上。

【鉴别特征】 淡黄色，分布分散，加酸起泡。

【产地】 内蒙古查干里门诺尔。

## Fd007 单斜钠钙石 gaylussite

【组成与结构】 成分为 $Na_2CO_3 \cdot CaCO_3 \cdot 5H_2O$，其中含 $Na_2O$ 20.80%、CaO 19.20%、$CO_2$ 29.39%、$H_2O$ 29.97%以及若干其他不溶物，常含有淤泥和有机质。单斜晶系，晶体呈楔状，常呈块状或分散状集合体。

【物化性质】 无色、淡黄色。透明至半透明，玻璃光泽。断口呈贝壳状。硬度 2.5～3.0。密度 2.037g/cm$^3$。易溶于酸中并生 $CO_2$ 气泡。溶于水中产生 $CaCO_3$ 残留物沉淀。加热失水并发声，熔融为钙水碱。

【功能与用途】 常与碳氢钠镁石、钙水碱和碳酸钠石共生，一般为矿石中次要组分，部分为次生矿物。经化学处理后可提取苏打与水碱，用于化学工业与轻工业上。

【鉴别特征】 淡黄色，多散布于淤泥中，溶水发声。

【产地】 内蒙古查干里门诺尔。

## Fd008 氯碳钠镁石 northupite

【组成与结构】 成分为 $Na_2CO_3 \cdot MgCO_3 \cdot NaCl$，其中含 $Na_2O$ 为 36.38%、MgO 16.21%、$CO_2$

35.38%、Cl 14.25%及若干其他不溶物。等轴晶系，晶形呈八面体，常为细粒球状集合体。属碳酸盐类矿物。

【物化性质】 无色，淡黄色。半透明，玻璃光泽。断口不平坦，呈贝壳状。硬度 3.5～4.0。密度为 2.407g/cm$^3$，易溶于酸，放出 $CO_2$。能溶于水中并生成 $MgCO_3$ 固体残留物沉淀。加热熔融并发出声。在紫外线下发荧光。

【功能与用途】 常与石盐、碳酸钠石共生，为矿石中次要组分，并分散在淤泥中，不能单独开采使用。需经处理后可提取苏打与水碱，用于轻工业与化学工业上。

【鉴别特征】 硬度较大，加热发声，紫外线下发荧光。

【产地】 河南桐柏吴城；西藏杜佳里湖。

## Fe 硝　　石

硝石为硝酸盐类矿物，与化学工业有关的主要有钠硝石与钾硝石，均以固态矿石为主。

### Fe001　　钠硝石　nitronatrite

【别名】 智利硝石

【组成与结构】 成分为 $NaNO_3$，其中含 $Na_2O$ 36.5%、$N_2O_5$ 63.5%，常含 NaCl、$Na_2SO_4$ 及 $Ca[IO_3]_2$ 等混入物。三方晶系，晶体呈菱形，常为块状、皮壳状和盐华状集合体。

【物化性质】 白色、淡黄色或褐色。白色条痕。玻璃光泽。贝壳状断口。硬度 1.5～2.0。密度 2.24～2.29g/cm$^3$。极易溶于水，味咸且凉。潮解性强烈，在空气中吸收水分变成白色粉末。

【功能与用途】 产于极其干旱荒漠地带，常与石膏、芒硝、石盐共生。当矿石中含 $NaNO_3$ 达 5% 即可工业利用，主要用于生产氮肥、硝酸、炸药以及玻璃工业上净化剂，同时亦可回收伴生的碘（I）。

【鉴别特征】 菱形晶形；硬度低；极易溶于水，味咸且凉；潮解性强烈。

【产地】 智利阿塔卡马；新疆鄯善；青海西宁。

### Fe002　　钾硝石　nitrokalite

【别名】 硝石；火硝；印度硝石

【组成与结构】 成分为 $KNO_3$，其中含 $K_2O$ 46.5%、$N_2O_5$ 53.5%。斜方晶系，晶体细长，比较少见，常呈针状、毛发状和束状集合体。也有呈皮壳状和盐华状。

【物化性质】 白色、无色或浅灰色，常因含有混入物而染成杂色。玻璃光泽或丝绢光泽。硬度 2.0，性脆。密度 1.99g/cm$^3$。快速溶于水，味苦，蒸发后乃生成 $KNO_3$。在空气中不潮解。火焰为紫色。

【功能与用途】 产于干燥地区土壤、岩石的表面及洞穴、墙壁或其他干而遮蔽的地方，主要用于制造钾肥与氮肥。

【鉴别特征】 是针状集合体；性脆；玻璃光泽；易溶于水；火焰为紫色。

【产地】 印度。

## Ff 镁　　盐

镁盐是含镁的各种盐类矿物总称，其中与化学工业原料有关的工业矿物与岩石最重要是镁的硫酸盐和镁的氧化物，如泻利盐、水镁矾、水氯镁石以及光卤石、钾盐镁矾等。其主要用于制取各种镁的化合物。用于医药、水泥、玻璃、纺织、造纸以及肥料工业部门上。大多数产于近代盐

湖中。

### Ff001 泻利盐 epsomite

【组成与结构】 主要成分为 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$，其中含 MgO 16.3%、$SO_3$ 32.5%、$H_2O$ 51.2%。斜方晶系，晶体呈针状或假四方柱状，常为纤维状、块状或钟乳状、土状集合体。属于硫酸盐类矿物。

【物化性质】 白色，有时带浅绿或浅红色。透明至半透明，玻璃光泽。白色条痕。纤维状集合体为丝绢光泽，暗淡色调。硬度 2.5～2.0，性脆。密度 1.68～1.75g/cm³。易溶于水，在 20℃时溶解度为 262g/L；50℃时为 335g/L，味极苦且稍咸，有刺激味感。在空气中易失水成粉末状六水泻利盐。

【功能与用途】 常与钾盐共生，或于卤水中，主要用于制取镁及其化合物，在医药以及造纸、纺织上有广泛用途。

【鉴别特征】 纤维状集合体；易溶于水中，味极苦。在空气中失水成粉末。

【产地】 青海大柴旦。

### Ff002 六水泻盐 hexahydrite

【组成与结构】 成分为 $MgSO_4 \cdot 6H_2O$，其中含 MgO 17.64%、$SO_3$ 35.04%、$H_2O$ 47.32%。单斜晶系，晶体呈厚板状与矛状，常为纤维状集合体。属含镁硫酸盐类矿物。

【物化性质】 无色、白色、淡绿色。一般半透明。珍珠光泽。硬度 2.5～3.0。密度 1.75g/cm³。溶于水，在 20℃时溶解度为 30.3%，味咸苦。贝壳状断口。潮湿空气中可转变成泻利盐。

【功能与用途】 常与石盐、光卤石共生，也有从泻利盐脱水变成的。是提取镁及其化合物的原料，用于医药、造纸、纺织以及木材消毒与防腐上。

【鉴别特征】 纤维状集合体；珍珠光泽。

【产地】 青海大柴旦。

### Ff003 水镁矾 kieserite

【组成与结构】 成分为 $MgSO_4 \cdot H_2O$，其中含 MgO 29.13%、$SO_3$ 57.85%、$H_2O$ 13.02%。单斜晶系，晶体呈双锥状，常为块状、粒状集合体。属含镁硫酸盐类矿物。

【物化性质】 无色、灰色或浅黄色。玻璃光泽，透明。硬度 3.0～3.5，性脆。密度 2.571g/cm³。能溶于水，在 80℃时溶解度为 386g/L。味感无，在空气中易吸水变为泻利盐。

【功能与用途】 常与钾石盐、石盐、泻利盐等共生，是提取镁及其化合物的原料，用于医药、造纸与纺织等部门。

【鉴别特征】 白色；易溶于水，无味感。

【产地】 青海大柴旦。

### Ff004 水氯镁石 bischofite

【组成与结构】 成分为 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$，其中含 Mg 11.96%、Cl 34.87%、$N_2O$ 53.17%。单斜晶系，晶体呈短柱状、针状，常为纤维状、粒状、叶片状集合体。属氯化物类矿物。

【物化性质】 无色、白色。透明至半透明，玻璃光泽，有时为土状阴暗光泽。硬度 1～2。密度为 1.59～1.60g/cm³。易溶于水，在 20℃时溶解度为 2635g/L，味辣而苦。具较大可塑性，易变形。

【功能与用途】 常与石盐、光卤石、硫镁矾等共生，为矿石中次要组分，未能独立开采，常以综合利用回收镁与镁化合物。

【鉴别特征】 纤维状集合；可塑性强，易变形；易溶于水中，味辣而苦。
【产地】 青海大柴旦。

**Ff005 白钠镁矾 bloedite**

【组成与结构】 成分为 $Na_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 4H_2O$，其中含 $Na_2O$ 18.53%、MgO 12.06%、$SO_3$ 47.87%、$H_2O$ 21.54%。单斜晶系，晶形呈柱状，常为块状、粒状或纤维状集合体。属含镁硫酸盐类矿物。
【物化性质】 无色，由于含杂质常呈灰色、绿色或红色。透明。玻璃光泽。贝壳状断口。硬度2.5～3.0，性脆。密度 2.25g/cm³。易溶于水，味微苦咸。
【功能与用途】 常与石盐、杂卤石、钾盐镁矾共生。为矿石中次生组分，多与其他组分综合开发、回收镁化合物，用于化学工业上。
【鉴别特征】 颜色比较杂；易溶于水中，味微苦咸；硬度 2.5～3.0，比其他盐类矿物大。
【产地】 青海大柴旦；湖北潜江。

**Ff006 光卤石** 见 Fb 部分。

**Ff007 钾盐镁矾** 见 Fb 部分。

## Fg 硼

自然界中硼只呈化合物形式存在，但有工业价值的硼矿物不多，其中工业价值较大是硼酸盐，其次为硼硅酸盐。它们产出分布广泛，既可在岩层中，又可在海水、地下水、卤水、油田水、温泉水，甚至火山喷气中；既可产生于古生代，又可于现代。硼矿是一种用途广泛的工业矿物，目前工业品位为：固体矿在岩层中 $B_2O_3$ 要大于 5%；在现代盐湖中要大于 2%。卤水矿中 $B_2O_3$ 要达到 1000mg/L。工业硼矿物不但用于医药、橡胶、玻璃、陶瓷等部门，而且在航天、冶金、国防等工业部门也是重要生产原料。我国硼资源蕴存量占世界第二位，但不是世界硼及其化合物生产大国。

**Fg001 硼砂 borax**

【组成与结构】 成分为 $Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O$，其中含 $Na_2O$ 16.26%、$B_2O_3$ 36.51%、$H_2O$ 47.23%。单斜晶系，晶体呈短柱状、厚板状。集合体多为块状、粒状、皮壳状或泉华状、钟乳状，为硼酸盐类矿物。
【物化性质】 无色或白色，有时带有浅灰、淡黄、浅蓝或浅绿色调。玻璃光泽。贝壳状断口。硬度2.0～2.5。密度 1.69～1.72g/cm³。易溶于水，味略甜。加热膨胀，易熔成玻璃状球体。在干燥空气中易失水变成白色粉末状的三方硼砂 $Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 3H_2O$。
【功能与用途】 产于干涸盐湖中，常与石盐、芒硝、天然碱等共生，是提取硼及其化合物的重要原料，广泛用于医药、玻璃、洗涤、橡胶、涂料等部门，同时也是航天上高能喷气燃料和新兴的玻璃纤维以及冶金熔剂、冶炼硼钢的重要原料。
【鉴别特征】 短柱状晶形；硬度小；溶于水带甜味；火烧时膨胀。
【产地】 西藏杜佳里湖、班戈湖；美国克拉默。

**Fg002 钠硼解石 ulexite**

【别名】 硼钠方解石

【组成与结构】 成分为 $NaCa[B_5O_6(OH)_6]\cdot 5H_2O$，其中含 $B_2O_3$ 42.95%、$Na_2O$ 7.68%、CaO 13.85%、$H_2O$ 35.55%。三斜晶系，晶体呈针状，常为纤维状或结核状集合体。属硼酸盐类矿物。

【物化性质】 白色、浅黄色。透明，玻璃光泽或丝绢光泽。硬度 2.5，性脆。密度 1.95g/cm³。不溶于冷水，在热水中略溶。加稀硫酸除生成硼酸外，还生成石膏与芒硝沉淀。

【功能与用途】 产出于盐湖或盐沼地带，常与石盐、芒硝、石膏等共生；亦可产在油田水中，与地腊、沥青共生。它往往是大型硼矿床的主要矿石成分，也是提取硼及其化合物的主要矿物原料，广泛用于医药、制革、玻璃、洗涤以及航天、国防等部门。

【鉴别特征】 白色；溶于热水中；在冷水中长时间可溶解，并呈糨糊状。

【产地】 青海雅砂图红居土、大柴旦；土耳其比加迪哥；柴达木油田（油田水）。

## Fg003 柱硼镁石 pinnoite

【组成与结构】 成分为 $Mg[B_2O(OH)_6]$，其中含 MgO 24.58%、$B_2O_3$ 42.46%、$H_2O$ 32.96%。四方晶系，晶体呈四方柱状，常为块状、结核状和放射状集合体，属硼酸盐类矿物。

【物化性质】 白色、灰白色或黄色，有黏土或有机质混入则染成黑灰色。透明，玻璃光泽。断口参差状。硬度 3.5。密度 2.27g/cm³。冷水中不溶解，沸水中可溶解，生雪片状沉淀。在稀盐酸中可溶解，并生天然硼砂结晶。

【功能与用途】 常产于现代盐湖或湖沼地带，前者多为原生矿，后者多为次生矿。其常与钠解硼石、库水硼镁石、多水硼镁石共生，是矿石中主要组分，为提取硼与硼化合物的重要原料，用于洗涤剂、漂白剂、医药及化妆品、玻璃、陶瓷等部门。

【鉴别特征】 颜色浅；放射状集合体；不溶于冷水；在稀盐酸中可溶，并生天然硼砂结晶。

【产地】 青海大柴旦。

## Fg004 硬硼钙石 colemanite

【组成与结构】 成分为 $Ca[B_3O_4(OH)_3]\cdot H_2O$，其中含 CaO 27.28%、$B_2O_3$ 50.81%、$H_2O$ 21.91%。单斜晶系，晶体呈短柱状或等轴状，常为粒状、块状或放射状集合体。属硼酸盐类矿物。

【物化性质】 无色、白色或黄色。透明至半透明，玻璃光泽。条痕为白色。硬度 2.5。密度 2.42g/cm³。断口参差状。不溶于水，而溶于热盐酸中。

【功能与用途】 产于干燥地区干涸盐湖中，为世界大型硼矿床的主要矿石成分，是提取硼与硼化物的重要原料，广泛应用于轻工业与化学工业上，此外硬硼钙石还可代萤石，在冶金工业的碱性氧化封炉中炼钢。

【鉴别特征】 不溶于水，而溶于热盐酸中。

【产地】 土耳其比加迪哥、埃梅特；美国加利福尼亚、内华达；哈萨克斯坦英迭尔。

## Fg005 贫水硼砂 kernite

【别名】 斜方硼砂

【组成与结构】 成分为 $Na_2[B_4O_6(OH)_2]\cdot 3H_2O$，其中含 $Na_2O$ 22.66%、$B_2O_3$ 51.02%、$H_2O$ 26.32%。单斜晶系，晶体呈柱状，常为纤维状或致密块状集合体。属硼酸盐类矿物。

【物化性质】 无色。透明，玻璃光泽。硬度 2.5。密度 1.95g/cm³。在冷水中极缓慢溶解，在热水中及酸中易溶解。长期置于空气中可变为硼砂。

【功能与用途】 产于现代盐湖中，常与硼砂以及钠硼解石，斜硼钠钙石共生，是矿石中主要成分之一，用于提取硼与硼化合物。

【鉴别特征】 多依据化学分析，肉眼不易鉴别。

【产地】 西藏杜佳里；美国克拉默。

### Fg006 硼镁石 szaibelyite

【组成与结构】 成分为 $Mg_2[B_2O_4(OH)](OH)$，其中含 MgO 47.92%、$B_2O_3$ 41.38%、$H_2O$ 10.70%，有时 Mg 被 Mn 或 Fe 所替代。单斜晶系，晶体呈纤维状、柱状与板状，横切面为菱形，常为块状、松散状与纤维状集合体。一般按形态可分纤维状硼镁石、板状硼镁石和柱状硼镁石，属硼酸盐类矿物。

【物化性质】 白色、灰白色、浅黄色。玻璃光泽至丝绢光泽。条痕为白色。硬度 3～4。密度 2.62～2.75g/cm³。不溶于水，易溶于酸中，但加酸不起泡。加热易熔融。

【功能与用途】 主要产于古老地层中，与区域构造-岩浆作用有关，是内生硼矿石主要成分之一，由于易于冶炼，也是我国当前重要硼来源之一，用于提取硼与硼化合物，除消耗在轻工与化工部门上，还广泛应用于航天火箭燃料，超高温、超硬质材料以及原子反应堆中控制棒调节器和防护屏等材料的制造。

【鉴别特征】 颜色较浅，呈粒状、纤维状与板状；不溶于水，易溶于酸中；加热易熔融。

【产地】 辽宁凤城翁泉沟；宽甸砖庙沟；哈萨克斯坦英迭尔。

### Fg007 硼镁铁矿 ludwigite

【组成与结构】 成分为 $(Mg,Fe)_2Fe(BO_3)O_2$，其中含 MgO 41.29%、$Fe_2O_3$ 40.88%、$B_2O_3$ 17.83%。斜方晶系，晶体呈针状，常为放射状、块状和柱状集合体，属硼酸盐类矿物。

【物化性质】 炭黑色或绿黑色（随铁含量增加颜色变深），条痕为黑色至黑绿色。丝绢光泽，有些暗淡。不透明。硬度 5.5～6.0。密度 3.6～4.7g/cm³（随含铁量增加而增大）。不溶于水，溶于浓硫酸。在空气中燃烧将变红色，难熔，并具磁性。

【功能与用途】 常与硼镁石以及其他金属矿物如磁铁矿、黄铁矿、黄铜矿等共生，是内生硼镁石型矿石中主要组分。由于选矿技术问题，目前尚未大量利用。

【鉴别特征】 颜色深；条痕黑色至黑绿色；硬度大；燃烧后变红色，具磁性。

【产地】 辽宁凤城翁泉沟；湖南常宁。

### Fg008 遂安石 suanite

【组成与结构】 成分为 $Mg_2B_2O_5$，其中含 $B_2O_3$ 46.34%、MgO 53.66%。单斜晶系，晶体呈柱状、板状、针状和楔状，常为束状、纤维状和放射状集合体，属于硼酸盐类矿物。

【物化性质】 白色，含杂质时淡褐色或淡粉红色。玻璃光泽至油脂光泽。硬度 5.9。密度 2.91～2.93g/cm³。不溶于水，在常温下在酸和碱中均难溶，但在 100℃盐酸中能全溶。

【功能与用途】 常与硼镁石共生，构成矿石中主要成分之一，可在选矿中加以利用，作为提取硼与硼化合物的原料，用于化学工业与轻工业等部门。

【鉴别特征】 白色；硬度大；不溶于水，仅在 100℃盐酸中全溶。

【产地】 辽宁凤城翁泉沟。

### Fg009 天然硼酸 sassolite

【组成与结构】 成分为 $H_3(BO_3)$，其中含 $B_2O_3$ 56.4%、$H_2O$ 43.6%。三斜晶系，晶体成假六方板状，偶见针状，常呈鳞片状、钟乳状集合体，属硼酸盐类矿物。

【物化性质】 无色、白色，常含杂质而变为黄色或褐色。条痕白色。透明，玻璃光泽至珍珠光泽。硬度 1。密度 1.46～1.52g/cm³。易溶于水，味酸略带苦、咸。具滑腻感。

【功能与用途】 产于火山热泉与火山喷口附近的地表上，含 $B_2O_3$ 较高，质纯，选取方便，但分布局限，可直接提取硼与硼化物。

【鉴别特征】 白色、钟乳状；硬度小；于火山热泉附近或泉水与水蒸气中。

【产地】 意大利托斯卡纳；德国威斯巴登；美国加利福尼亚。

# Fh 磷

在自然界中含磷的矿物与岩石很多，但作为工业矿物与岩石的主要为磷酸钙及其有关的矿物与岩石，目前在工业上广泛利用的有 4 种：磷灰石、鸟粪石、非晶质磷块岩和晶质磷块岩。其分布较广，主要用于制造磷肥，部分作为化工原料。

## Fh001 磷灰石 apatite

【组成与结构】 主要成分为 $Ca_5(PO_4)_3(OH \cdot F)$，其中含 CaO 54.58%、$P_2O_5$ 41.38%、F 1.23%、Cl 2.27%、$H_2O$ 0.56%。稀土含量若干。由于其中氟（F）常被氯（Cl）或氢氧（OH）替代，因而出现不同亚种：氟磷灰石 [$Ca_5(PO_4)_3F$]、氯磷灰石 [$Ca_5(PO_4)_3Cl$]、羟磷灰石 [$Ca_5(PO_4)_3(OH)$]、碳磷灰石 [$Ca_{10}(PO_4)_6(CO_3)$] 等，其中以氟磷灰石最常见。六方晶系，晶形呈六方柱状，常为块状、粒状与结核状集合体。属于磷酸盐类矿物。

【物化性质】 常呈浅绿、黄绿或深灰色。玻璃光泽，断口为油脂光泽。硬度 5，性脆。断口不平。密度 3.18～3.21g/cm$^3$。不溶于水。

【功能与用途】 为提取磷的重要矿物原料，用于制造农业上磷肥。此外磷灰石晶体可做激光材料；颜色鲜艳的磷灰石晶体可作装饰宝石；提取的赤磷用于制造火柴等。

【鉴别特征】 六方柱晶体；硬度大；加钼酸铵表面呈黄色沉淀。

【产地】 河北涿鹿；山东莱芜。

## Fh002 鸟粪石 struvite

【组成与结构】 成分主要为 $Mg(NH_4)(PO_4) \cdot 6H_2O$，是由动物有机粪便、骨骼堆积形成，其中 $P_2O_5$ 含量变化较大。斜方晶系，一般无明显的晶体呈现，有时可见板状、楔状或短柱状晶形。集合体系为团块状。

【物化性质】 无色，有时为白色、淡黄色或棕色。玻璃光泽。硬度 2，性脆。密度 1.65～1.70g/cm$^3$。易溶于水。

【功能与用途】 为优质氮磷肥料，可直接或稍加处理即可使用，易被农作物吸收，方便、经济、效果较好。

【鉴别特征】 无明显晶形，具生物粪便特征。

【产地】 海南西沙群岛；摩洛哥国。

## Fh003 非晶质磷块岩 phosphorite

【别名】 磷质岩；胶磷块岩

【组成与结构】 主要组成分为碳氟磷灰石 [$Ca_{10}(P \cdot C)_6(O \cdot F)_{26}$]，最高含量达 80%，其次为白云石、方解石、石英、黏土矿物与黄铁矿等。碳氟磷灰石大多呈胶状，非晶质，俗称胶磷矿，少数具放射状、微粒状。非晶质磷块岩多呈胶状结构、泥状结构和砂状结构，致密块状构造。当其 $P_2O_5$ 含量为 12%～15%时即达工业品位。

【物化性质】 非晶质磷块岩可赋存在碳酸盐岩中，亦可在炭质和泥质岩石中，因此物理性质变化较

大。赋存在炭质和泥质岩层中磷块岩多呈灰黑色，松散，易破碎，密度 3.11～3.13g/cm³，有时呈坚硬的结核状。赋存在碳酸盐岩中其颜色相对较浅，为浅灰色，坚硬，不易破碎，密度 1.13～1.17g/cm³。非晶质磷块岩易溶于水和稀酸中，溶解度较高。

【功能与用途】 主要用于制造磷肥，当磷块岩含 $P_2O_5$ 大于 20%时可直接作为肥料使用。用时其中常含碘（I）、氟（F）以及稀土元素，可综合回收。

【鉴别特征】 用钼酸铵作试剂，依其表面是否有黄色沉淀，判断是否有磷矿存在及其含量。

【产地】 云南昆阳；贵州遵义；开阳。

### Fh004 晶质磷块岩 apatitolite

【别名】 磷灰石岩

【组成与结构】 主要成分为氟磷灰石 [$Ca_5(PO_4)_3F$]，含量一般在 20%～40%，最高可达 70%，其次为白云石、方解石、磁铁矿、透辉石与黑云母等。晶质磷块岩常为粒状自形晶结构，致密块状、条带状和片状构造。

【物化性质】 深灰色、灰白色或黑灰色。磷灰石分布不均匀，有的还具有定向排列，通常晶体完整，粒度一般大于 1mm。晶质磷块岩质块较硬，密度 3.17～3.20g/cm³。不溶于水。可选性好。相对而言，致密块状晶质磷块岩杂质少，磷灰石分布较集中，性脆，含 $P_2O_5$ 也较高。片状和条带状晶质磷块岩杂质较多，磷灰石分布不均，松散，易破碎，但含 $P_2O_5$ 不高。

【功能与用途】 晶质磷块岩工业品位为 $P_2O_5$ 10%～11%，主要用做磷酸质肥料的原料，此外还可制成各种磷的化合物，广泛用于农药、医药、火柴、清洁剂、染料、玻璃等轻工部门。在国防上用于制造照明弹、曳光弹、信号弹、烟幕弹等。

【鉴别特征】 磷灰石晶体及其排列方式；用钼酸铵试剂判定磷灰石存在与含量。

【产地】 江苏海州；河北马营；黑龙江鸡西。

## Fi 硫

硫在自然界分布很广，但作为工业原料的主要为硫铁矿与自然硫两类，前者包括有黄铁矿、白铁矿和磁黄铁矿三种。硫矿石工业品位为 12%。主要用于制造硫酸与硫磺，在化学工业、轻工业以及冶金工业上有广泛的用途。

### Fi001 自然硫 native sulphur

【组成与结构】 主要组分为 S，常含微量 As、Te、Ti 以及有机质。它有三种同质多象：α-S、β-S 和 γ-S，其中 α-S 最稳定，其他两者易变为 α-S。斜方晶系，晶形常呈板状或斜方双锥，通常为柱状、块状或粉末状集合体，也有呈土状与钟乳状集合体。属单质矿物。

【物化性质】 黄色、浅黄色，常因含杂质而呈红或黑色调。金刚光泽。断口呈贝壳状，并具油脂光泽。硬度 1～2。密度 2.05～2.08g/cm³。弱导电、导热性。不溶于水、盐酸和硫酸中，可溶于苛性碱中。熔点 112.8℃，易燃（270℃）。

【功能与用途】 自然硫多产于火山喷发区，或盐类矿床上部，其成分简单，含硫高，杂质少，经浮选可得高质量硫磺，用以制造硫酸、医药用品和化学肥料。

【鉴别特征】 黄色；有硫磺味；硬度小；易燃。

【产地】 台湾宜兰；山东泰安汶口；青海甘沟。

### Fi002 黄铁矿 pyrite

【组成与结构】 成分为 $FeS_2$，其中含 S 53.45%、Fe 46.55%，常有 CO、Ni 取代 Fe，形成 $FeS_2$-

$CoS_2$ 或 $FeS_2$-$NiS_2$，有时还含有 Ag、Au、Cu、As、Se、Sb 等混入物。等轴晶系，晶体呈立方体或五角十二面体，少数为八面体。多数呈块状集合体，少数呈煤烟状或胶状集合体。属硫化物类矿物。

【物化性质】 浅黄铜色，表面常有黄褐色锖色。金属光泽，不透明。条痕为深黑色或褐黑色。断口参差状。硬度 6.0～6.5，性脆。密度 4.9～5.2g/cm³。具弱导电性，在热作用下能形成定向的电子流，产生热电动势。在氧化条件下易分解成为氢氧化铁。

【功能与用途】 黄铁矿既可独立成矿，又可与其他金属硫化物共伴生。目前工业利用的硫铁矿有一半来自后者。它主要用于生产硫酸，制造化肥、合成洗涤剂、合成树脂、人造纤维、炸药、纸浆以及用于水处理。

【鉴别特征】 黄铜色；立方体晶体；性脆，硬度大；条痕深黑色。

【产地】 广东大降坪；安徽向山；江苏云台山；甘肃白银厂。

### Fi003 磁黄铁矿 pyrrhotite

【组成与结构】 成分为 $Fe_{1-x}S$，式中 $x$ 表示 Fe 原子的亏损数，一般为 0.1～0.2。其含硫为 38.4%～40.0%，常含微量 Co 和 Ni。六方晶系或单斜晶系，晶形呈板状，但少见，大多呈致密块状或浸染状集合体。属硫化物类矿物。

【物化性质】 暗铜黄色，表面常具褐色锖色。不透明，金属光泽。条痕为灰黑色。硬度 4，性脆。密度 4.6～4.7g/cm³。具弱磁性，导电性良好，加热具强磁性。在地表风化条件下易分解为铁氢氧化物。

【功能与用途】 常与黄铁矿、黄铜矿等共生。可用于生产硫酸与硫磺，生产制造化肥、农药、漂白剂。当含 Co 和 Ni 时，可综合回收利用。磁黄铁矿还可用于含重金属废水的净化处理。

【鉴别特征】 暗铜黄色；具弱磁性，加热后磁性增强。

【产地】 甘肃白银厂；湖南上堡；广东云浮大降坪。

### Fi004 白铁矿 marcasite

【组成与结构】 成分为 $FeS_2$，为黄铁矿的同质多象，含 S 53.45%、Fe 46.55%。斜方晶系，晶形为板状，常呈鸡冠状复杂双晶，通常为结核状、肾状、皮壳状集合体。属硫化物类矿物。

【物化性质】 淡黄铜色，微带灰色，新鲜面为锡白色。不透明，金属光泽。条痕为灰绿色。断口参差不齐。硬度 5.0～6.0，性脆。密度 4.6～4.9g/cm³。具弱导电性。

【功能与用途】 分布不广，常与黄铁矿共生，赋存在煤层中，用于提取硫磺，制造硫酸，在轻工、化学工业上利用。

【鉴别特征】 颜色浅，新鲜面为锡白色。常为鸡冠状双晶。硬度大，性脆。

【产地】 山西阳泉；四川大树；湖北仙居。

### Fi005 回收硫

主要从下列生产过程中回收。

1. 从含硫化氢的酸性天然气和石油中提取元素硫。
2. 从金属硫化物选冶时回收硫。
3. 从燃煤废气和煤的气化过程中回收硫。
4. 沥青砂、油页岩提取石油时回收硫。
5. 煤矿选洗过程中回收硫铁矿。

上述回收硫的工艺简单，生产成本低，环保效果好，并且产品级别高，是近几十年来国际硫源

的重要组成部分。

# Fj 砷

砷在自然界中可以氧化物、硫化物和砷化物等存在，但在工业上利用最多的是砷的硫化物，主要有雄黄、雌黄、毒砂等，大多用于化学工业上，此外在冶金工业上可熔炼砷合金。

## Fj001 自然砷 natural arsenic

【组成与结构】 成分主要为 As，含量为 98%，及少量 Sb（0.01%～0.07%）和微量 Ag、Fe、Ni 等混入物。三方晶系，呈粒状与束状晶形，多为不规则状集合体。属单质矿物。

【物化性质】 灰黑色。不透明，玻璃光泽。条痕为锡白色，但在空气中很快变成暗灰色。硬度 3.0～4.0，性脆。密度 5.63～5.79g/cm$^3$。易氧化。

【功能与用途】 常用金、锑、雄黄、黄铁矿共生，但往往由于含量低而无法独立开发利用。

【鉴别特征】 灰黑色；不规则集合体；条痕在空气中很快变为暗灰色。

【产地】 贵州铜仁、四川东北寨。

## Fj002 雌黄 orpiment

【组成与结构】 成分为 $As_2S_3$，其中含 As 60.91%、S 39.09%，有时含微量 V、Ga、Hg 等以及 $FeS_2$、$SiO_2$、$Sb_2S_3$ 等混入物。单斜晶系，晶形呈短柱状、板状或片状，常为梳状、块状及粉末状集合体。属硫化物类矿物。

【物化性质】 柠檬黄色，有时微带浅褐色。金刚光泽至油脂光泽。在空气中易变为暗淡。条痕鲜黄色。硬度 1～2。密度 3.4～3.5g/cm$^3$。熔点低，约 320℃，烧灼时发出蒜臭味。

【功能与用途】 常与雄黄、辰砂、辉锑矿共生，是砷的主要矿石矿物。其工业品位 As 为 10%，是提取砷的重要矿物原料，用于制造杀虫剂、除草剂、防腐剂以及医药、颜料、焰火等，同时也是生产半导体砷化镓的材料。

【鉴别特征】 柠檬黄色；硬度小；条痕鲜黄色；烧灼发臭蒜味。

【产地】 湖南石门界牌、浏阳，云南南华，陕西宁陕。

## Fj003 雄黄 realger

【别名】 鸡冠石

【组成与结构】 成分为 AsS，其中含 As 70.1%、S 29.9%，杂质较少。单斜晶系，晶形呈短柱状，晶面具纵纹。集合体为粒状或块状，有时为土状或粉末状。属硫化物类矿物。

【物化性质】 橘红色，当暴露于光与空气中，碎裂或橙黄色粉末。条痕为浅橘红色。晶面为金刚光泽，断面为树脂光泽，透明至半透明。硬度 1.5～2.0。密度 3.56g/cm$^3$。熔点低（310℃），烧灼时发臭蒜味。

【功能与用途】 常与雌黄、辉锑矿共生。矿石工业品位为 As 10%，是提取砷的重要矿物原料，其工业用途制人工雄黄。

【鉴别特征】 橘红色；条痕浅橘红色；硬度小；烧灼具臭蒜味。

【产地】 湖南石门、浏阳，云南南华；陕西宁陕。

## Fj004 毒砂 arsenopyrite

【别名】 砷黄铁矿

【组成与结构】 成分为 FeAsS，其中含 As 46.1%、Fe 34.30%、S 19.69%；Fe 可被 Co 取代形成钴毒砂（含 Co 12%），此外还机械混入 Au、Ag、Sb、Pb 等。单斜或三方晶系，晶形呈粒状，多为星状三连晶，通常为粒状或致密块状集合体。属于砷化物类矿物。

【物化性质】 锡白色，表面具浅黄色的锖色。条痕为灰黑色。金属光泽，不透明。硬度 5.5～6.0，性脆。密度 5.9～6.3g/cm³。敲击时发出臭蒜味。

【功能与用途】 毒砂是制取各种砷化物的矿物原料，其工业品位 As 为 6%，主要用于生产农药、玻璃、洗涤剂等，同时毒砂常有 Co 的类质同象以及 Au 的混入，在利用时可综合回收 Co 和 Au。

【鉴别特征】 新鲜面为锡白色，敲击发臭蒜味，烧后残渣有磁性。

【产地】 广西宾阳大马山；广东曲江一六。

### Fj005 砷华 arsenolite

【别名】 砒霜

【组成与结构】 成分为 $As_2O_3$，其中含 As 75.74%、O 24.26%。等轴晶系，晶体呈细小八面体。通常为雪花状、土状或皮壳状集合体、为次生的砷氧化物类矿物。

【物化性质】 无色、白色，有时带淡黄色或淡红色。玻璃光泽至金刚光泽。条痕为白色或淡黄色。硬度 1.5，性脆。密度 3.72～3.88g/cm³。烧灼发臭蒜味。溶解度大。在自然界上不易保存，稳定性差。

【功能与用途】 产出分布局限，工业品位 As 为 10%。主要用于制造农药、杀虫剂、除草剂和其他农药。

【鉴别特征】 集合体呈雪花状；硬度小；溶解度大，在自然界中易挥发，散发臭蒜味。

【产地】 广东曲江一六。

### Fj006 斜方砷铁矿 lollingite

【组成与结构】 成分为 $FeAs_2$，其中含 As 72.82%、Fe 27.18%，Fe 常被 Co 或 Ni 所替代。斜方晶系，晶形呈柱状，柱面有直立条纹，通常为粒状集合体或块状集合体，属于砷化物类矿物。

【物化性质】 银白色至钢灰色。金属光泽。条痕为炭黑色。不透明，硬度 5.0～5.5。密度 7.0～7.4g/cm³。断口不平。溶于硝酸。熔融温度 980～1040℃。

【功能与用途】 产出分布局限。工业品位 As 为 10%，用于提取 As，以生产农药及杀虫剂、除草剂等。

【鉴别特征】 粒状集合体；晶面有直立条纹，性脆；加热发臭蒜味。

【产地】 美国科罗拉多、富兰克林。

## Fk 钡

在自然界中钡的化合物较多，但在工业利用上主要为重晶石和毒重石，其次为硅钡石。用于生产钡化合物、重晶石粉和锌钡白，广泛应用于石油工业以及染料、油漆、橡胶和电视与真空管制作上，并且随着高科技发展，其应用范围也越来越空。

### Fk001 重晶石 barite

【组成与结构】 成分为 $BaSO_4$，其中含 BaO 65.7%、$SO_3$ 34.3%，常含 Sr、Ca、Pb、Fe 和有机质混入物。斜方晶系，晶形呈板状、粒状，通常粒状、纤维状集合体，少数为块状、钟乳状和结核状集合体。属硫酸盐类矿物。

【物化性质】 无色，常因混入而呈灰色、红色、黑色和黄褐色。透明，玻璃光泽。条痕为白色。断口平坦。硬度 3.0～3.5，性脆。密度 4.3～4.5g/cm³。不溶于水和有机溶剂中。无磁性，对 X 射线与 γ 射线有高度的吸收性。

【功能与用途】 除由单一重晶石（含量 90%）组成矿石外，还常与石英、方解石、萤石和金属硫化物构成不同类型矿石，其 $BaSO_4$ 含量变化于 20%～70%。矿石工业品位为 $BaSO_4$ 50%。重晶石绝大部分用做石油钻井的泥浆加重剂，其次用于提取钡化合物与生产锌钡石，广泛应用于高级橡胶、纸张与塑料制品、油漆、玻璃等工业部门。此外还用于墙壁喷料、高密度混凝土骨料，以防 X 射线辐射。

【鉴别特征】 板状晶形；相对密度大；硬度小；不溶于水和有机溶剂中。

【产地】 湖南隨县柳林；广西象州圣母岭；河南汲县。

### Fk002 毒重石 witherite

【组成与结构】 成分为 $BaCO_3$，其中含 BaO 77.7%、$CO_2$ 22.3%，常含微量 Sr、Ca、Mg，并替代 Ba。斜方晶系，晶体少见，集合体多呈致密块状或纤维状、葡萄状。属碳酸盐类矿物。

【物化性质】 无色，微带灰、黄色。玻璃光泽、断口为油脂光泽。硬度 3.0～3.5，性脆。密度 4.2～4.3g/cm³。遇酸起泡，易溶于盐酸，加入硫酸溶液后将产生重晶石（硫酸钡）沉淀。

【功能与用途】 除重晶石外，毒重石是分布比较广的含钡矿物，常与白云石、方解石、重晶石等共生。用于制造锌钡白和含钡化合物，广泛运用于催化剂、橡胶胶黏剂、农药杀虫剂、油脂添加剂和纸张增光剂上。化工用时要求 $BaCO_3$＞36%。

【鉴别特征】 无色、加酸起泡。加硫酸将有重晶石（$BaSO_4$）沉淀。

【产地】 湖北隨县；贵州天柱；广西象州。

### Fk003 硅钡石 sanbornite

【组成与结构】 成分为 $Ba_2[Si_4O_{10}]$，其中含 BaO 54.05%、$SiO_2$ 44.13%、$Al_2O_3$ 0.41%、CaO 0.20%、MgO 0.27%、$H_2O$ 6.7%、SrO 0.08%。斜方晶系，晶形呈板状或片状，常为粒状集合体。属硅酸盐类矿物。

【物化性质】 白色至无色。半透明至透明，玻璃光泽至珍珠光泽。硬度 5.5。密度 3.71g/cm³。不溶于水与酸中。

【功能与用途】 常与石英、毒重石共生，分布不广，没有大量利用，可用于提取钡化合物。

【鉴别特征】 白色至无色，玻璃光泽，相对密度小。

【产地】 美国加利福尼亚。

## Fl 明 矾 石

明矾石在矿物学上有钾明矾石与钠明矾石两种，并且两者往往共生，而工业利用上主要是钾明矾石，也就是人们俗称的明矾石。现将其叙述如下。

### Fl001 明矾石 alunite

【组成与结构】 成分为 $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$，其中含 $K_2O$ 11.37%、$Al_2O_3$ 36.92%、$SO_3$ 38.66%、$H_2O$ 13.05%。常有少量 Na 置换 K 成为钠明矾石 $NaAl_3(SO_4)_2O_6$。三方晶系，晶体呈假立方体或菱面体，常为块状、土状、纤维状、结核状集合体。属硫酸盐类矿物。

【物化性质】 白色、浅灰色、灰黑色、浅红色。透明，油脂光泽。断口贝壳状至片状。硬度 3.5～

4.0，性脆。密度 2.6～2.9g/cm³。不溶于水与盐酸中，在碱性溶液中完全分解。具强烈的电热效应。

【功能与用途】 常与石英、绢云母、黄铁矿以及钠明矾石共生。矿石工业品位为含 $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ 35%。并常按矿石粒度与结构分为角砾状、粗粒状和细粒状矿石，在市场上分别俗称为“生子”、“大花”和“雪花”。

明矾石主要用以提取明矾，制造钾肥、硫酸与炼铝，目前在我国市场上主要用于印刷、造纸、制革、油漆、医药以及食品工业上，也作为染布用的媒染剂、胶片的硬化剂、合成氨的催化剂、制糖及水的澄清剂和选矿用的沉淀剂。

【鉴别特征】 色浅；透明；在碱性溶液中完全分解。

【产地】 浙江苍山；安徽矾山；福建平和。

# Fm 滑　　石

滑石是历史悠久的非金属矿物原料，用途甚广。目前它已作为商业名称，含义较广，不仅是滑石本身，也包括由不同比例的滑石和其他矿物组成的矿石，有的甚至还包括根本不含滑石而具滑石性能的矿物集合体。现在工业利用最广的有块滑石、滑石岩、滑石片岩和绿泥石岩。

## Fm001　　块滑石　talc

【别名】 滑石

【组成与结构】 成分为 $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$，其中含 MgO 31.72%、$SiO_2$ 63.52%、$H_2O$ 4.76%。单斜晶系，晶体常为菱形板状，集合体呈块状、纤维状、叶片状。属硅酸盐类矿物。

【物化性质】 白色、淡绿色、浅灰色及粉红色，含杂质时可呈深灰黑色。条痕为白色。珍珠光泽。有滑腻感。硬度 1.0～1.5。贝壳状断口。密度 2.58～2.83g/cm³。加热显著失水，膨胀率小。电绝缘和耐热、耐酸性能较高。

【功能与用途】 块滑石杂质少，化学性能稳定，用于制造高频电瓷绝缘材料的块滑石瓷，广泛应用于无线电接收机、电视、雷达、遥控等工程，此外还可做火花塞、煤气喷嘴等。

【鉴别特征】 硬度低；表面有滑腻感；加硝酸钴溶液呈玫瑰红色。

【产地】 辽宁海城；山东平度。

## Fm002　　滑石岩　talk rock

【组成与结构】 主要成分为滑石（占 60%～70%），其次为方解石、白云母、海沧石或透闪石等。滑石以块滑石占多数，片滑石次之。鳞片变晶结构、斑状变晶结构与交代结构。大多呈致密块状、土状或结核状构造。经常可见燧石条带与生物骨屑等。

【物化性质】 灰白色、灰褐色，硬度小（1～2），质细，具滑感，可塑性强，但由于生成条件不同，变化较大。当其杂质较少时，矿石颜色较浅，滑感较强，硬度较小，质细而均匀，可塑性大；当矿石杂质较多时，颜色偏深，甚至变为杂色，硬度增大，表面滑感有所降低，质略粗而不均，常以片状、纤维状滑石占多数，因而其加工方法也有所不同。

【功能与用途】 滑石岩工业要求滑石含量在 30%～70%，含杂质较多须选矿后方能使用。它广泛应用于化学工业与轻工业上，但各部门又有不同质量要求，如造纸要求颜色洁白、细腻、没有云母小片；陶瓷要求耐火度高、具固定收缩性；绝缘材料要求细粒均质，焙烧后不变形；日用化工及食品医药要求质纯、细软、不含硬质颗粒等。

【鉴别特征】 硬度小，表面有滑腻感；可塑性强。

【产地】 江西高安；重庆南桐；江西兴国岩前；陕西冕宁。

### Fm003 滑石片岩 talc schist

【组成与结构】 主要成分为滑石，一般含量为50%～60%，其次有少量菱镁矿、白云石、石英、透闪石、绿泥石等，具鳞片变晶结构、交代残余结构等。片状构造。由于组成与构造不同，滑石片岩有将过渡为滑石石英片岩（含石英50%～55%，滑石35%～40%）和滑石菱镁矿（含滑石20%～25%，菱镁矿70%～80%）。

【物化性质】 浅灰色、浅绿色。油脂光泽。表面有滑腻感。硬度1.5。密度2.5g/cm³。白度较高，一般为60～90，杂质较少。其中既有块状滑石也有片状滑石。通常含$SiO_2$ 62%、MgO 30%、$Fe_2O_3$ 小于1%。

【功能与用途】 滑石片岩通常是加工成滑石粉，大量用于造纸工业，此外还用于油毡涂料、橡胶电缆、绝缘电瓷、防火布、防水布等生产上。质优滑石粉还是高级化妆品材料。

【鉴别特征】 硬度小；片状构造；表面有滑感。

【产地】 辽宁海城范家堡；山东海阳徐家店。

### Fm004 绿泥石岩 chlorite rock

【别名】 灰绿色滑石

【组成与结构】 主要成分为斜绿泥石，约为70%，其次有鳞绿泥石和叶绿泥，有时还含5%～10%滑石及微量磷灰石、金红石、锆石。显微鳞片变晶结构。条带状构造为主，条纹状构造与块状构造次之。

【物化性质】 浅绿色、浅褐色或杂色。表面有滑感，质地细腻。硬度1～2。条痕为白色。密度2.5g/cm³。化学成分上含$SiO_2$ 30%、MgO 31%、$Al_2O_3$ 21%，质量比较稳定。

【功能与用途】 绿泥石岩在外观上与滑石具有相同特点，并当作滑石矿开采利用了数十年，后经地质工作者证实，应为斜绿泥石岩。它主要用于作填充剂、涂料、吸附剂、悬浮剂和润滑剂。

【鉴别特征】 以绿泥石为主、呈浅绿色；表面具滑感；细腻，硬度小。

【产地】 辽宁本溪连山关；广西龙胜。

## Fn 地 蜡

地蜡主要由石蜡基原油中轻质油挥发后而形成的，亦可由褐煤中提炼出来。前者数量大，是目前主要来源；后者俗称褐煤蜡。地蜡在石油化工上有广泛用途。

### Fn001 地蜡 ozokerite

【组成与结构】 为多种碳氢化合物组成的天然矿物蜡，其中含C 85%、H 14%，S与N各为0.3%，接近于纯碳氢化合物的含量。

【物化性质】 深黄褐色、棕色。薄片状，蜡状光泽。硬度1。密度0.89g/cm³。熔点低，60～80℃即熔化。在二硫化碳中99%被溶解。

【功能与用途】 地蜡工业品位为0.5%，是制造各种凡士林的主要原料，也用以制绝缘材料、防酸设备、擦光剂、润滑剂、化妆品和蜡制品（蜡纸、蜡烛、鞋油等）。地蜡经处理后可获石蜡、石油、润滑油和地蜡沥青。

【鉴别特征】 硬度小，手指甲可刻划；有蜡感；在阳光下可熔化。

【产地】 青海柴达木油泉子。

## Fo 硅质材料

硅质材料包括石英砂、石英砂岩、石英岩与脉石英。石英砂为天然状态下产物，其他需经破碎

加工后方能达到工业粒度的要求。硅质材料在化学工业上绝大部分用于玻璃工业生产，同时也提炼单晶硅。

### Fo001 石英砂 quartz sand

【组成与结构】 主要成分为石英，其含量一般在80%以上，其次为长石（占10%左右）、石屑（2%～3%）以及微量黑云母、绿泥石、钛铁矿、柘榴子石等。砂粒呈棱角状、次棱角状和浑圆状，粒度在0.05～2mm，未胶结，松散状。由于石英砂可在海、河、湖中产出，故成分变化很大，通常含$SiO_2$ 80%～99%、$Al_2O$ 0.24%～6.0%、$Fe_2O_3$ 0.07%～1.10%、CaO 0.09%～2.55%。当其粒度极细，在5～20μm，均匀，且$SiO_2$含量大于98%则称之为粉石英。

【物化性质】 黄色、黄白色。密度1.75～2.0g/cm³，松散系数：干燥时为1.04；潮湿时为1.35。透气性变化较大，在245～780。石英砂化学性质稳定，耐高温与耐酸。

【功能与用途】 分布较广，目前利用最多是海滨石英砂。主要用做平板玻璃材料，其工业要求为$SiO_2>95\%$，$Fe_2O_3<0.3\%$，$Al_2O_3<2\%$，而粒度在0.5～2.0mm。此外石英砂亦用于耐火材料上。

【鉴别特征】 以石英为主，粒度细小，松散状。

【产地】 福建东山；广东阳江；海南东方。

### Fo002 石英砂岩 quartzose sandstone

【组成与结构】 由石英碎屑与胶结物组成。碎屑以石英为主，含量大于95%，粒度小于1mm，一般为滚圆状。其次含少量长石、云母、黏土矿物等。胶结物以硅质为主，其次为泥质、铁质和钙质。具镶嵌结构。通常含$SiO_2$ 98%、$Al_2O_3$ 0.5%～1.8%，CaO、MgO、$Fe_2O_3$均在0.1%左右。

【物化性质】 常为灰白色、灰色。石英碎屑的磨圆度与分选性均较好。密度2.55～2.68g/cm³。松散系数1.45～1.70。具较高电阻率。岩石刚性大，裂隙发育。

【功能与用途】 目前应用较多的是沉积形成，由硅质胶结的石英砂岩。其经破碎加工后主要用于玻璃工业上，生产平板玻璃与玻璃制品，此外还用于耐火材料与水过滤器上。石英砂岩工业要求SiO大于96%、$Al_2O_3<2\%$、$Fe_2O_3<0.2\%$。

【鉴别特征】 块状；色浅；石英粒度均匀、硅质胶结；刚性大。

【产地】 湖北大军山；苏州清明山；山东沂南；云南昆明白眉村。

### Fo003 石英岩 quartzite

【组成与结构】 主要成分为石英，常含微量长石、云母、绿泥石、角闪石等。石英含量一般大于90%，杂质不足10%。胶结物为硅质，已结晶，从而使石英与胶结物界线不清。具粒状变晶结构，块状构造，个别为条带状构造。石英岩化学成分通常$SiO_2$大于98%，CaO、MgO、$Fe_2O_3$、$Al_2O_3$均在0.1%左右。

【物化性质】 灰白色、灰褐色。油脂光泽。密度2.55～2.65g/cm³。性脆，硬度大。松散系数1.45～1.70。电阻率高。裂隙发育。抗腐蚀能力强。

【功能与用途】 目前应用较多的石英岩是变质作用形成的石英岩。因其原岩不同，成分变化较大。其破碎加工后主要用于玻璃原料，生产平板玻璃和器皿玻璃。其工业要求$SiO_2>96\%$、$Al_2O_3<2\%$、$Fe_2O_3<0.2\%$。

【鉴别特征】 质纯；油脂光泽；坚硬。

【产地】 辽宁庄河；安徽凤阳。

### Fo004 脉石英 vein quartz

【组成与结构】 以石英为主，几乎占99%，其次为长石、云母、黄铁矿以及围岩团块，其总含量不超过5%。呈粒状结构，块状构造。其化学成分通常 $SiO_2$ 大于99%、$Al_2O_3$ <0.3%、$Fe_2O_3$ <0.1%。

【物化性质】 白色、乳白色。油脂光泽。断口贝壳状。硬度7，性脆。密度2.65～2.66g/cm³。不溶于水与酸。裂隙发育。

【功能与用途】 目前应用较多的是与岩浆活动有关的脉石英。破碎加工后可用于玻璃工业上，其工业要求同石英砂。

【鉴别特征】 白色；硬度大，坚硬。

【产地】 新疆哈密；湖北蕲春。

## Fp 富钾岩石

富钾岩石在自然界很多，但能达到工业要求并被工业所利用的富钾岩石不多。目前大体可分两大类：一类是与大山活动或岩浆侵入活动有关的富钾岩石，如富钾火山岩、正长岩、碱长正长岩等。另一类是含钾较高的沉积岩，如富钾砂岩、富钾板岩、富钾页岩等。其工业要求 $K_2O$ 为9%，但由于工艺问题，目前大部分处于实验阶段。

### Fp001 富钾砂页岩

【组成与结构】 主要成分为石英、伊利石、钾长石、海绿石以及少量斜长石、高岭石、绢云母、碳酸盐等，其中 $K_2O$ 主要赋存在伊利石、钾长石和海绿石中。由于岩石不同其结构也有所差别。富钾页岩多呈条带状或条纹状构造；富钾板岩呈板片状构造；富钾砂岩呈粒状构造，碎屑粒度较粗。通常含 $SiO_2$ 50%～60%、$Al_2O_3$ 15%～19%、$K_2O$ 8%～12%。

【物化性质】 多为灰黄色、黄黑色。硬度不大。松散，易破碎研磨。部分溶于水中。岩石表面略显丝绢光泽。可分裂成薄片。

【功能与用途】 主要用于农用钾肥生产。其中含钾较高者可直接破碎、研磨成粉末作为复合肥使用。

【鉴别特征】 肉眼不易鉴别，主要通过化学分析与物相分析、试验。

【产地】 山西平顺；内蒙古白云鄂博；天津蓟县。

### Fp002 富钾火成岩

包括钾质粗面岩、钾质响岩、富钾凝灰岩、正长岩、碱长正长岩等。

【组成与结构】 成分主要为钾长石，其含量在50%～70%，其次有少量绢云母、绿泥石以及碱性辉石、钾霞石、白榴石等。呈斑状、似斑状结构。块状构造，个别具气孔状构造。化学成分一般含 $SiO_2$ 55%左右，$Al_2O_3$ 18%左右，$K_2O$ 为10%～12%。其中 $K_2O$ 主要赋存在钾长石中。

【物化性质】 褐红色、肉红色或浅褐色，硬度大。密度通常为5.6g/cm³。富钾火山岩相对低些，并且常有绿泥石、碳酸盐充填气孔中。岩石不溶于水。

【功能与用途】 主要用于生产钾肥或复合肥。但在生产流程中要将不溶于水的富钾火成岩变为水溶性钾肥，工艺比较复杂，成本高，目前仅限于综合利用回收中生产钾肥或复合肥。

【鉴别特征】 肉红色、褐红色；块状；以钾长石为主。

【产地】 河北东坪；山西闻喜；安徽寿县。

# Fq 浮岩与火山灰

浮岩与火山灰（渣）是地下岩浆喷发时因在大气中急剧冷却而形成以火山玻璃为主的产物。由于喷发的原始岩浆性质以及形成方式不同，可形成不同类型的浮岩与火山灰（渣），通常最常见的是中-酸性浮岩、基性浮岩、火山灰和火山渣等，并各具不同性能。近年来随着科技进步，火山灰（渣）和浮岩的应用不断扩大，并在不断深入。

## Fq001 中-酸性浮岩 intermediate-acid pumice rock

【组成与结构】 为密布气孔的中-酸性火山熔岩。主要成分为火山玻璃，其含量占85%以上，其次含有少量石英、黑云母、长石、普通角闪石等，且均呈细小雏晶或微晶。玻璃结构、珍珠结构。气孔状构造，偶见有流纹状构造。化学成分为 $SiO_2$ 63%～90%，$Na_2O+K_2O$ 较高，一般为 10%～11%，$Al_2O_3$ 11%～16%、$Fe_2O_3$ 5%、CaO 1.3%～0.5%、MgO 0.3%。

【物化性质】 颜色较浅，为灰白色、灰黄色。颗粒容量 0.459～0.651g/cm³。松散容量 240～445kg/m³。密度 2.32～0.42g/cm³。空隙率 31.7%～49.3%。孔隙率 71.8%～81%。简压强度 5.33～17.6kg/cm³。吸水率较大，达 64%。在水中会浮起。硬度通常在 6 以上。化学性质稳定。

【功能与用途】 由于质轻，容重小，多孔，孔隙间壁锋利，导热系数小等，因而在化学工业上大量用于生产过滤剂、催化剂、分子筛以及各种磨料、干燥器、吸收剂与净化剂等。也用于配制不同规格的轻骨料混凝土。

【鉴别特征】 气孔状；质轻；能浮于水面；吸水性强。

【产地】 吉林和龙、天池。

## Fq002 基性浮岩 basic pumice rock

【组成与结构】 为密布气孔的火山基性火山熔岩。主要成分为火山玻璃，约占含量 85%以上，其次含少量普通辉石、贵橄榄石、白榴石、磁铁矿等，呈雏晶或微晶。玻璃结构、玻基斑状结构。气孔状构造。化学成分为 $SiO_2$ 较低 45%～51%、$K_2O+Na_2O$ 4.76%～9.55%、$Al_2O_3$ 13%～17%、$Fe_2O_3$ 6.3%～14.2%、MgO 4%～9%、CaO 6%～9%，通常富含 MgO、CaO 和 $Al_2O_3$。

【物化性质】 颜色较深，多为红褐色、黄褐色、铁黑色。颗粒容量 0.864～1.680g/cm³。松散容量 540～815kg/m³。密度 2.72～2.84g/cm³。空隙率 51.3%～56.3%。孔隙率大多在 40.7%～58.2%。简压强度一般为 9.65kg/cm³，最高可达 17kg/cm³。吸水率一般为 10%。基性浮岩颗粒容量与松散容量都比中-酸性浮岩高，但吸水率低，硬度大于 6，化学性质稳定。

【功能与用途】 基性浮岩质轻、多孔，在碱性激发剂作用下有明显的水硬胶凝和保温、隔音特点，故大多用于轻质骨料，制成不同规格的保温、隔音、防火等各种构件。同时也用各种研磨材料和改变塑料、橡胶制品的性能。

【鉴别特征】 颜色较深；多气孔；能浮于水面。

【产地】 黑龙江五大连池、山西大同、吉林辉南、内蒙古察右后旗。

## Fq003 火山灰（渣） ash（scoriae）

【组成与结构】 火山渣是地下火山喷发的碎屑物，当其粒径小于 2mm 则为火山灰。其主要成分为玻屑，其次为晶屑与岩屑，并经常与火山砾、火山砂等混杂产出。化学成分与相应的火山浮岩相同，但往往由于混入物不同而变化较大。

【物化性质】 灰白色、浅褐色、浅紫色。质地松散而粗糙。气孔多，形状有椭圆形、圆形与不规则

状。化学性质稳定。物理性质与同类火山浮岩相似。

【功能与用途】 火山灰（渣）不但具备同类浮岩的功能，而且松散，易搬动与加工，成本低，因而大量应用于研磨、过滤、催化、净化以及混凝土轻质骨料上。

【鉴别特征】 质松散而粗糙。颗粒多孔、形状各异。性质稳定。

【产地】 山西大同；吉林辉南；内蒙古察右后旗。

## Fr 橄榄岩 peridotite

【组成与结构】 主要成分为橄榄石[$(Mg,Fe)_2SiO_4$]、斜方辉石、单斜辉石和角闪石，其次为基性斜长石、黑云母、铬铁矿、尖晶石等。其中橄榄石含量一般在40%～50%。若超过90%，则为纯橄榄岩。橄榄岩为粒状结构、包含结构、海绵陨铁结构。致密块状构造。

【物化性质】 浅绿色、深绿色，通常含 $SiO_2$ 42%、MgO 31%、$Al_2O_3$ 4%、CaO 5%、$K_2O+Na_2O$ <1%。在工业利用上其与橄榄石性能有关。后者硬度6.5～7.0。密度3.2～4.4g/cm³。熔点高，达1760℃。热膨胀系数小，为$10^{-6}$数量级。微溶于水。因而橄榄岩具有硬度大，膨胀系数小，热容大与熔点高、耐磨等特点。

【功能与用途】 橄榄岩当MgO≥40%时可与磷块岩熔烧制造钙镁磷肥。同时可加工成橄榄石砂，作为喷砂清洗剂，清除金属表面污物以及作为砖砂、耐火材料等。

【鉴别特征】 颜色深绿；硬度大；熔点高。

【产地】 宁夏小松山；内蒙古索伦山；陕西商南松树沟。

## Fs 蛇纹岩 serpentine

【组成与结构】 主要成分为蛇纹石[$Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$]，其次为磁铁矿、铬铁矿、水镁石和铁镁碳酸盐矿物。蛇纹石一般含量在80%左右，其中包括叶蛇纹石、纤维蛇纹石和利蛇纹石。岩石为半自形粒状结构、块状构造。化学成分上含 $SiO_2$ 35%、MgO 38%、$Al_2O_3$ 1%、CaO<1%。

【物化性质】 暗绿色、黄绿色至黑绿色，颜色不均匀，风化后变为灰白色，土状。硬度2.5～4.0。表面有滑感，具蜡状或丝绢光泽。容量轻，有较好的热稳定性与化学稳定性。

【功能与用途】 蛇纹岩当MgO≥32%时可与磷灰石一起制成钙镁磷肥，也可磨成蛇纹石粉直接作复合肥使用，同时也是造纸、酿造与水处理中重要原料。当MgO≥40%，$SiO_2/MgO$≥1.1时可制成蛇纹石砖，作为碱性耐火材料。

【鉴别特征】 黄绿色；硬度小；表面有滑感。

【产地】 江苏东海；江西弋阳；四川彭县。

## Ft 碘 与 溴

碘与溴的独立矿物很少，且不稳定，尤其溴。目前工业利用上主要是从现代盐湖的盐类矿、地下卤水、海水、油气井废水中回收。此外碘还可从钠硝石和磷酸盐中提取。碘与溴的化合物广泛应用于农业和医药上。溴化合物还可在汽油中作防爆剂以及制造灭火与缓燃剂、感光剂等。碘还用于火箭燃料添加剂上。

### Ft001 碘钙石 lautarite

【组成与结构】 成分为 $Ca[IO_3]_2$，其中含 CaO 14.38%、$I_2O_5$ 85.62%。单斜晶系，晶形呈短柱状，常为放射状集合体。属碘酸盐类矿物。

【物化性质】 无色、浅黄色。硬度 3.5～4.0。密度 4.6g/cm$^3$，略溶于水。在盐酸（HCl）中能放出氯气。

【功能与用途】 常与石膏、钠硝石共生，于其晶体裂隙中。是提取碘及其化合的原料之一，用于制造橡胶催化剂，合成纤维稳定剂，印刷制板的感光剂，人造皮革与石油的脱氧剂，电池添加剂，医药的杀菌消毒剂，农业上除莠剂以及气象上造云降雨及防止台风等。

【鉴别特征】 溶于盐酸中并发出氯气。

【产地】 青海大柴旦。

## Ft002 碘铬钙石 dietzeite

【别名】 铬酸碘酸钙

【组成与结构】 成分为 $Ca_2[CrO_4][IO_3]_2$，其中含 CaO 20.54%、$I_2O_5$ 61.64%、CrO 18.32%。单斜晶系。晶形为板状或粒状。集合体常为纤维状、皮壳状。属碘酸盐类矿物。

【物化性质】 深金黄色。透明。贝壳状断口。硬度 3.5。密度 3.6g/cm$^3$。

【功能与用途】 多产于硝酸盐类岩石中，与硼钠钙石共生，为提取碘的矿物原料之一，主要用于医药与农业上。

【鉴别特征】 深金黄色；硬度小；透明。

【产地】 智利。

# G　与建筑材料有关的矿物与岩石

建筑材料与人们生活十分贴近。早在原始社会，为了御寒防暑人们就知道寻找石块、凿洞垒墙营造栖身之处。随后男耕女织的社会生产结构的形成，住宅成了人们生存的首要条件，虽然这时社会经济还比较落后，但已揭开了建筑材料生产的序幕。18 世纪以来工业产业革命，城市扩展以及生产厂房、公共设施建设的兴起，促使建筑技术与规模与日俱进。开始从普通土木结构发展到砖木结构，再发展到现今的钢筋混凝土结构；从当初小型低矮住宅与蜿蜒曲折小路建筑发展到现代高楼层、大跨度、立体化的住宅与交通建筑。在这发展潮流中，与之相匹配的必然是建筑材料的创新与开发，大量轻质、高效、新型、低耗材料源源不断地占据了现代建筑市场，一些传统的建筑材料则逐渐减退，甚至有的被淘汰。材料的更新又推动了原材料的生产。近十几年与建筑材料有关的矿物与岩石应用范围不断扩大；许多新的工业矿物与岩石被开发出来，以往只有十几种的饰面大理石现在已发展到近 400 种；新型材料如陶粒、岩棉在原料研究上又不断展现。如此事实表明了在当代建筑业发展形势下与建筑材料有关的工业矿物与岩石不论在品种还是在数量上都得到了前所未有的发展，取得丰硕成果。

与建筑材料有关的工业矿物与岩石种类很多。若从其在建筑中作用划分基本上可分两大部分：一是基础建筑材料，其中包括目前用量最大、应用范围最广的水泥原料、建筑砖瓦、砂、石料以及近代建筑中为防火、隔音、防震、保温等所需要的材料。另一是以美化装饰为主的建筑材料，其中包括日益受人青睐的陶瓷生产原料、饰面材料与涂料原料。近年来为适应市场需要，国内、外对于利用工业矿物与岩石生产新型建筑材料取得很大进展，并成为今后发展的一个方面，为此在本章将加入岩棉、陶粒与铸石原料一节。

我国与建筑材料有关的工业矿物与岩石分布很广，几乎全国各个省、市、自治区都有产出。从它生成条件看既有与岩浆作用、变质作用有关的，也有与沉积作用有关的。矿床类型也很多。据初步统计与建筑材料有关的工业矿物与岩石大多与沉积作用有关，并且很多矿床具有规模大、产状稳定、易于开发的特点。目前我国与建筑有关的工业矿物与岩石基本上可自给自足，部分还可出口。但是在生产企业中正规化生产矿山不多，大多是乡镇企业与个体户承包生产，因而矿产资源浪费严重，而环境保护难以保证。规范与建筑材料有关的工业矿物与岩石的生产是当前亟待解决的问题之一。

目前与建筑材料有关的工业矿物与岩石的质量要求主要包括两方面：化学性质与物理性能，但对不同原料往往有所侧重。用工业矿物与岩石直接作建筑材料的，如饰面材料和建筑砂、石料其化学成分要求相对比较宽，常允许有较大范围波动，而其物理性能不但要求项目多，而且有严格指标。相反，对于用工业矿物与岩石作原料生产建筑材料的，如水泥灰岩、陶瓷用黏土等，其化学成分要求远较物理性能严格。此外，在质量评价中还应该看到建筑材料用的工业矿物与岩石在经济上是薄利的，而在用量上又是大宗的，因此在保证质量前提下还应考虑市场价格因素，以便合理地评价以及选用工业矿物与岩石。

我国与建筑材料有关的工业矿物与岩石的矿产资源十分丰富，蕴藏量也较大，近年来也取得新进展，但从总体讲开发、研究水平还不很高，有的还刚刚起步，如岩棉生产。今后应当全面规划、突出重点、增加投入，以期达到或超过世界水平。

## Ga　水 泥 原 料

在近代建筑业中不论交通道路、江河桥梁，还是住宅大厦、工矿厂房都离不开水泥，其用量一

直占据建筑材料中前茅，而其品种已达近百种之多。水泥依据建筑需要大体上可分为通用水泥与专用水泥两大类。通用水泥为一般民用建筑用的水泥。专用水泥是以其特殊性能用于特定范围的水泥，如石油钻井中用的硬块水泥、化学工业中用的耐酸水泥、工程大坝上用的抗渗抗冻水泥、环境美化中用的彩色水泥等。

通用水泥多属于硅酸盐类水泥，其用量约占水泥总用量的80%以上。水泥生产工艺流程基本上可概括为“二磨一烧”的模式，即以石灰质原料、黏土质硅质原料与少量其他配料，按一定比例混合，经研磨成生料，然后入窑经1350～1450℃煅烧至部分熔融，成为以硅酸钙为主的熟料。其中主要矿物相有硅酸三钙（$3CaO \cdot SiO_2$）、硅酸二钙（$2CaO \cdot SiO_2$）、铝酸三钙（$3CaO \cdot Al_2O_3$）和铁铝酸四钙（$4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$）。熟料与适量石膏混配，再经过细磨则成水泥。从水泥生产工艺流程可以看出，硅酸盐类通用水泥主要原料为石灰质原料、黏土质原料、石膏及其他配料等四方面组成。

石灰质原料是水泥生产中用量最大的原料，它主要来自石灰质岩石，如各种石灰岩、大理岩及白垩，俗称水泥灰岩。

黏土质原料用量不及石灰岩大，但也是重要原料之一。关于黏土质原料各地差异很大，种类繁多，大多是就地取材，本节仅就常见几种加以说明。

石膏是任何一种水泥生产中必须添加的原料，具有普遍适用性。

硅质材料只是在化学成分不达标情况下才添加。其他配料主要依据市场对水泥品种的需求和原料来源情况而定。多是就地取材，例如在洗轧厂附近多采用粉煤灰作配料生产粉煤灰硅酸盐水泥。

水泥原料在我国分布很广，各地都有一定的优质水泥灰岩及其他配料，从而促进了我国水泥工业迅速发展。目前我国水泥年产量已居世界前列，基本上满足了国内需要，并且近年来生产工艺、能源消耗、环境保护都取得了可喜进步。

## 一、水泥灰岩

水泥灰岩是以方解石为主的碳酸盐岩，在工业上要求其$CaO \geqslant 48\%$，$MgO \leqslant 3.0\%$，$K_2O + Na_2O \leqslant 0.6\%$，$SiO_2 \leqslant 4\%$，$SO_3 \leqslant 1\%$。现利用最多是结晶灰岩、泥灰岩、生物碎屑灰岩、泥晶石灰岩与白垩。

### Ga001 生物碎屑灰岩 bioclastic limestone

【组成与结构】 是以生物碎屑被碳酸钙胶结而成的灰岩。生物碎屑含量变化于40%～90%，种类繁多，主要有腕足类、珊瑚类、藻类、腹足类、介形虫等，呈完整形体或碎片。胶结物主要为泥晶或亮晶的方解石，偶含石英与黏土矿物。呈生物碎屑结构，块状构造。

【物化性质】 灰色、灰黑色。由于生物碎屑含量与胶结程度不同，使其物理性质变化较大。通常坚韧度比较小，抗压强度较低，小于100MPa。密度2.3g/cm³，孔隙率大，质地比较松。含CaO 48%～50%，MgO、$Al_2O_3$、$SiO_2$均较低，小于1%。岩石易破碎。溶于稀酸中。

【功能与用途】 生物碎屑灰岩化学成分与物理性能良好，广泛用于生产优质水泥。部分生物碎屑保持完好的灰岩常做饰面材料，用于墙壁贴面与装饰。

【鉴别特征】 硬度小；有生物化石或残片；致密块状；加酸起泡。

【产地】 江西彭泽象山；四川峨嵋黄山；浙江杭州石龙山。

### Ga002 结晶灰岩 crystalline limestone

【组成与结构】 主要成分为方解石，含量约占80%以上。胶结物为亮晶方解石，部分为泥晶方解石，常含燧石、白云石和黏土矿物，呈晶粒结构，原层块状构造。方解石粒度0.1～0.5mm，有的可达1mm。

【物化性质】 灰白色、灰黑色。致密，硬度 3。密度 2.5～2.8g/cm³。性脆。湿度与孔隙度小于 1%。松散系数一般为 1.5～1.6。质纯，含 CaO 53%～56%，MgO 小于 3%，$SiO_2$ 和 $Al_2O_3$ 一般小于 1%。加弱酸起泡。易破碎研磨。

【功能与用途】 主要用于做水泥生产原料，同时还用于制造电石、苏打、苛性碱、纯碱、漂白粉、化肥以及冶金工业上作熔剂。

【鉴别特征】 致密块状；硬度小；加弱酸起泡。

【产地】 江苏江宁孔山；安徽芜湖白马山；青海德令哈相对山。

### Ga003 泥晶灰岩 micritit limestone

【组成与结构】 主要成分为方解石，含量在 90%以上，颗粒细小，一般小于 0.01mm，常含燧石、石英和黏土矿物以及有机质等。泥晶结构，乌眼结构，块状构造，叠层构造。有时亦含少量生物残片。

【物化性质】 灰色、灰黑色、深灰色。致密，孔隙率小，硬度 3。密度 2.6g/cm³。常具层纹或斜层理，使岩石易于破碎、研磨。化学成分较纯，含 CaO 49%～54%，最高可达 55%，MgO 小于 2%，$Al_2O_3$、$SiO_2$ 和 $Fe_2O_3$ 均小于 1%。溶于弱酸中。

【功能与用途】 由于成分较纯，含 MgO 和 $SiO_2$ 较低，常作为优质水泥原料。同时亦用玻璃与陶瓷工业。当硫含量小于 0.1%、磷小于 0.005%时还可制电石。

【鉴别特征】 泥晶结构、乌眼结构；致密孔隙度小。

【产地】 贵州遵义马坎；湖北埔圻凤凰山；湖南辰溪大元山。

### Ga004 泥灰岩 marl

【组成与结构】 主要由方解石与黏土矿物组成。方解石含量 50%～75%，黏土矿物含量 10%～25%。粒度一般在 0.1mm 以下。其次有少量或微量石英、有机质成分。呈微晶或泥晶结构，块状构造。

【物化性质】 灰黑色、浅灰色。断口参差不一。硬度 3。密度 2.4～2.5g/cm³。易破碎。加酸缓慢起泡。通常含 CaO 43%～50%、$Al_2O_3$ 10%～20%、$SiO_2$ 5%、MgO 1%。不溶于水。

【功能与用途】 由于含一定数量的黏土矿物，所以不需与其他原料配合即可用于制造水泥，是一种比较理想的水泥原料。亦可用于建筑材料。

【鉴别特征】 表面有滑感，点弱酸缓慢起泡。

【产地】 安徽巢县马家山；四川绵竹汉晒场。

### Ga005 白垩 chalk

【组成与结构】 为柔软微晶石灰岩，主要由颗石藻、钙球等浮游的微体古生物化石组成，方解石含量达 99%，有时含微量石英、长石和黏土矿物。粒径小于 5μm，一般为 0.002～0.005mm。微晶质结构，土状、块状构造。

【物化性质】 黄白色、乳白色。粉末状、柔软、松散、易碎。相对密度 1.81g/cm³。抗压强度 25MPa，含 CaO 54%、MgO 小于 1%，质纯。吸水性差，易溶于水。

【功能与用途】 由于具有高度分散性，涂覆能力强，较高的油容量，因而广泛用于造纸、油漆、涂料等方面，亦可作为水泥的原料。

【鉴别特征】 白色粉末状；吸水性差；在电子显微镜下可见到颗石藻等微古生物。

【产地】 英国英吉利海峡。

## 二、石膏

石膏在水泥工业中将起缓凝剂作用，使水泥得到正常所需的凝结时间，保证混凝土的质量。同

时石膏又可提高水泥强度，减少干缩率和增强水泥抗冻性。石膏在混凝土中起着十分重要角色。但是石膏加入量必须适量。加入量过少起不了缓凝剂作用；加入量过大将反而降低水泥的强度，影响水泥安定性，使其发生干裂。

在自然界中石膏包括无水硬石膏和二水石膏，其中无水硬石膏埋藏量远大于二水石膏。以往在水泥生产中总认为二水石膏易于研磨，粒度较细，可增强水泥强度，一般不用硬石膏。近年来科学研究表明，硬石膏也可以起到缓凝剂作用，并不影响水泥的牌号，从而大大扩大了原料的来源。二水石膏在工业与商业运作上将分为纤维石膏、普通石膏、雪花石膏、泥质石膏等四种，各自有不同技术指标与基本特征。

### Ga006　硬石膏　anhydrite

【组成与结构】 成分为 $CaSO_4$，其中含 CaO 41.2%、$SO_3$ 58.8%，有时少量锶与钡取代了钙，常混入 $Al_2O_3$、$SiO_2$ 和 MgO。斜方晶系，晶体呈厚板状，常为块状和粒状集合体。

【物化性质】 白色，灰白色，有时因混入杂质而呈浅蓝、浅红色调。玻璃光泽。硬度 3～3.5。密度 2.8～3.0g/cm$^3$。半透明，断口参差不齐。较难溶于水，但在地表条件下可水化变为石膏。

【功能与用途】 用做水泥缓凝剂，通常要求 $CaSO_4+CaSO_4\cdot 2H_2O$ 大于 55%。此外还用做油漆的填料，要求吸附水分不超过 2%，细度应通过 1600 孔/cm$^2$ 的筛。

【鉴别特征】 硬度小；遇酸不起泡；半透明。

【产地】 安徽庐江罗河；河北大冶金山店；江苏南京周村。

### Ga007　纤维石膏　fibrous gypsum

【别名】 纤膏

【组成与结构】 成分为 $CaSO_4\cdot 2H_2O$，属于二水石膏中一种，通常含 CaO 32.5%、$SO_3$ 46.6%、$H_2O$ 20.9%，常含微量 $SiO_2$，MgO、$Al_2O_3$、NaCl、SrO、$CO_2$ 及有机质。单斜晶系，板状晶形，常呈纤维状集合体。若使生长空间较大，可形成巨大晶体，称透明石膏，具燕尾双晶。

【物化性质】 乳白色、蜡黄色。半透明，质纯，丝绢光泽。硬度 2。密度 2.3g/cm$^3$。微溶于水。易于破碎、分选。

【功能与用途】 多产于岩石裂隙中，当脉宽 2m，$CaSO_4+CaSO_4\cdot 2H_2O$ 大于 95%时方可开采利用。纤维石膏主要用于水泥工业做缓凝剂和农业上改造土壤。此外由于质纯亦用于造纸、橡胶、日用化工与纺织工业中做填料。透明石膏还作标本以及医用与食用。

【鉴别特征】 纤维状；硬度小；石膏中常有眉状黑色泥岩包裹体呈断续分布，即“眉毛荚”，而石膏之间常有“水线”。

【产地】 山东枣庄；湖北应城；贵州绥阳。

### Ga008　普通石膏　gypsum

【组成与结构】 成分为 $CaSO_4\cdot 2H_2O$，属于二水石膏中一种。分布较广，常含少量硬石膏、白云石、方解石与黏土矿物，偶见芒硝等。单斜晶系，晶体呈板状，少数呈粒状。细粒状结构、块状、层纹状、网络状、竹叶状和鳞状构造。

【物化性质】 白色、灰白色、淡青色、浅黄色、断口参差状，玻璃光泽、丝绢光泽。硬度 2。密度 2.30～2.35g/cm$^3$。加酸不起泡。微溶于水。质纯。含 CaO 一般为 30%～32%、$SO_3$ 44%～45%，$Al_2O_3$ 和 MgO 通常在 1%～2%。

【功能与用途】 主要用于水泥工业中做缓凝剂和农业上改造土壤，其要求 $CaSO_4+CaSO_4\cdot 2H_2O$ 大于 55%。若在建筑上做轻质墙体材料和胶结材料一般要求 $CaSO_4+CaSO_4\cdot 2H_2O$ 大于 85%。若

作医用、食用和艺术品模具则要求 $CaSO_4+CaSO_4\cdot 2H_2O$ 大于 95%。

【鉴别特征】 硬度小；晶形良好，具双晶；点酸不起泡。

【产地】 山西太原西山；甘肃天祝火烧沟；宁夏同心贺家口子。

### Ga009 雪花石膏 alabaster

【组成与结构】 同普通石膏，系普通石膏中局部地段重结晶而形成的。但晶体较粗，外貌似雪花，晶面洁白，闪光耀眼。常呈粒状集合体。

【物化性质】 纯白，玻璃光泽。透明至半透明。疏松，硬度 3。密度 2.30g/cm³。雪花状断口。纯洁度高。

【功能与用途】 同普通石膏。

【鉴别特征】 洁白；外形似雪花状。

【产地】 同普通石膏。

### Ga010 泥质石膏 argillic gypsum

【别名】 泥膏

【组成与结构】 主要成分为 $CaSO_4\cdot 2H_2O$，混有少量硬石膏、蒙脱石、水云母、方解石、石英等，有的还含有机质与沥青。单斜晶系，具板状、纤维状和粒状变晶结构，土状、块状、纹层状、星点状构造，常夹带泥质、粉砂质条带。

【物化性质】 灰色、蓝灰色、灰黑色。由于赋存状态不同，其物理性质差异较大。一般较松散，密度 2.5g/cm³ 左右。易破碎，分选。成分变化大，一般 CaO 为 15%～30%、$SO_3$ 16%～40%、MgO 0.1%～6%。

【功能与用途】 要经分选后才能利用，因石膏分布很不均匀。用途同普通石膏。

【鉴别特征】 在矿石中分布不均；石膏中杂质较多；颜色发暗黑色调。

【产地】 云南红河官厅；甘肃天祝火烧沟；山东枣庄底阁。

## 三、黏土质和硅质配料

水泥生产中除石灰石原料外必须加入一定量黏土质配料，以满足水泥熟料中所需的 $SiO_2$、$Al_2O_3$ 与 $Fe_2O_3$ 的组分，否则水泥无法烧成。黏土质配料用量通常为石灰石原料的 1/5 左右。当加入黏土质配料后仍不能满足成分要求时还要加入一定量的硅质配料，以便提高水泥中 $SiO_2$ 含量。

黏土质配料种类很多，其成因有沉积形成的，也有风化残积的。但不论哪一样其粒度都必须小于 0.01mm。它最主要指标是硅酸率 $SiO_2/Al_2O_3+Fe_2O_3$ 和铝氧率 $Al_2O_3/Fe_2O_3$，前者要求为 2.7～3.5，后者为 1.5～3.5。此外为防止烧结时结瘤，$SO_3\leqslant 2\%$，$Na_2O+K_2O\leqslant 4\%$。同时为增强水泥强度 MgO 要小于 3%。目前各地厂家所用的黏土质原料大多是就地取材，比较常用的有黄土、黏土、页岩等。至于硅质原料较多用砂与砂岩。

### Ga011 黄土 loess

见 Gb001。

### Ga012 黏土 clay

【组成与结构】 作为水泥用黏土，其主要矿物成分为水云母类或水云母类与蒙脱石。粒度小于 0.005mm，含量一般在 60%以上，此外还含石英、云母、长石等非黏土矿物。在水泥用黏土中以水云母黏土最常见，其化学成分变化大，通常硅酸率为 2.7～3.3，铝氧率在 2～3，呈粉砂质黏土结构，疏松或半固结状。

【物化性质】 灰色、黄色和红色。拌水后具黏性，干燥后将保持原形，烧结后呈岩石般坚硬。具可

塑性，其指数一般在 20 左右，最高达 30。含水率可达 35%，具一定黏结性。

【功能与用途】 将为水泥熟料中提供必不可少的 $SiO_2$、$Al_2O_3$ 和 $Fe_2O_3$ 等重要组分，保证水泥必要的化学组分需要。当水泥灰岩中杂质较少时，水泥用黏土中 MgO、$K_2O+Na_2O$ 和 $SO_3$ 含量可适当放宽。

【鉴别特征】 颜色比较多样；可塑性中等；烧结后坚如岩石。

【产地】 四川彭县；河南密县；山东历城；湖北宜都。

### Ga013 黏土岩 clay rock

【组成与结构】 组成的矿物成分为水云母类矿物，含量可达 95%左右。此外还含有少量石英、长石等。水云母类黏土矿物粒度小于 0.005mm。微晶质或隐晶质结构，弱固结，呈疏松块状。若在外力作用下具薄片状页理即称之为页岩。

【物化性质】 黄色、绿色、红色、灰色等多种颜色。遇水不变软，一经细磨，和水后具可塑性，其指数一般在 20 左右。化学成分稳定。易破碎、研磨成粉。硅酸率一般为 2.5 左右。

【功能与用途】 因成分单一，非黏土矿物含量少，用其作水泥生产中黏土质配料可保证水泥熟料的稳定性。同时利用黏土岩（或页岩）作水泥配料可避免因使用黏土而毁坏耕地的现象。

【鉴别特征】 色调多种；具可塑性；呈疏松半固结状或具薄片状页理。

【产地】 广西河池；西藏堆龙德钦；四川安县。

### Ga014 黑色页岩 black shale

【组成与结构】 作为水泥用的黑色页岩其主要成分为水云母类黏土矿物，含量可达 90%，其次有微量石英和碳质成分，偶含黄铁矿。呈隐晶质或微晶质结构，具薄片状页状构造。

【物化性质】 黑色，不污手。硬度小，一般在 3 左右。和水后具一定可塑性，其指数小于 20。不易燃烧，但烧失量较大，可达 7%。易破碎、研磨。

【功能与用途】 用于作水泥生产的配料。其功能与黏土岩相似，但往往由于含 $SiO_2$ 较高，常作为水泥熟料中硅酸率较低的配料。

【鉴别特征】 黑色；薄层页状构造；不粘手；与水和后具可塑性。

【产地】 广西临桂；北京门头沟。

### Ga015 砂岩 sandstone

【组成与结构】 水泥用砂岩以石英砂岩为主，其次为粉砂岩。其成分以石英为主，含量约 60%以上，多为硅质胶结。砂粒结构，块状构造。

【物化性质】 灰白色、黄白色。坚硬，致密，硬度在 6 以上。裂隙发育，易破碎。密度 2.5g/cm³。不溶于水、酸、碱中。

【功能与用途】 砂岩在水泥熟料中起调配其硅酸率作用。使用时需经破碎，去杂质，研磨后按熟料需要酌情适量加入，使熟料硅酸率调配到 2.7～3.5。有的厂家据实地情况采用河砂。工业对水泥用砂岩要求不十分严格，一般要求硅酸率大于 4，MgO、$Na_2O+K_2O$ 及 $SO_3$ 与黏土质配料一样，分别要小于 3%、4%和 2%。

【鉴别特征】 坚硬块状；以石英为主。

【产地】 河北蓟县；山西阳泉。

## 四、其他配料

为增加品种，调节牌号，降低能耗，通常在水泥生料中要加入一定量的其他配料，掺入量约占水泥产量的 1/4～1/3。配料种类较多，但各地厂家多就地取材，其中最常用有沸石、煤矸石、火

山灰、铁矿粉以及炉渣。

### Ga016 沸石 zeolite

【组成与结构】 作为水泥配料用的沸石主要为片沸石族中斜发沸石，其成分为 $(Na, K)Si_5Al_2O_{12} \cdot 3H_2O$，属单斜晶系，片状与板状晶形。大多为半固结状，有时呈放射状与片状集合体。

【物化性质】 白色，红色或褐色。玻璃光泽或珍珠光泽，透明呈半透明。硬度 3.5～4.0。密度 2.1～2.2g/cm³。耐热，熔解温度在 800℃以上。耐酸、耐碱。可粘舌。具离子交换性能和吸附分离性能。

【功能与用途】 在水泥生产中沸石除作掺和料和填充剂外，还可改善水泥安定性，提高产量，降低能耗。目前世界约 2/5 的沸石用于水泥生产。我国 99%作为活性混合材料用于地方水泥厂的立窑。沸石也可作无熟料水泥。

【鉴别特征】 白色；玻璃光泽；半固结状。

【产地】 浙江缙云；河南信阳；山东潍坊；黑龙江海林。

### Ga017 煤矸石 gangue

【组成与结构】 煤矸石实质上是碳质页岩或泥质页岩。成分主要为黏土类矿物以及绿泥石、有机质等。偶含石英、黄铁矿等。在成分上以 $SiO_2$ 与 $Al_2O_3$ 为主，约占总含量 70%以上。泥质结构，块状与层纹状构造。

【物化性质】 黑色、灰黑色。土状光泽、丝绢光泽。硬度大于 6。密度 3～4g/cm³。在水中不溶解，不易燃烧。

【功能与用途】 主要代替黏土配制水泥生料，可制成煤矸石硅酸盐水泥。具有一定活性的煤矸石沸腾炉渣与石灰按一定比例混合可制成无熟料水泥。自燃煤矸石与水泥熟料混合可制成少熟料煤矸石水泥。

【鉴别特征】 灰黑色；坚硬；不易燃烧；生于煤层中。

【产地】 山东淄博；北京门头沟；安徽渺溪。

### Ga018 火山灰与浮石 volcanic ash & pumice

【组成与结构】 浮石为喷发出地表而具多孔的火山熔岩；火山灰为火山喷发到大气层后而落到地面上粒度小于 2mm 的晶屑、玻屑与岩屑。其成分多为流纹质与英安质。浮岩为隐晶质或玻璃质结构，块状构造。火山灰除近代呈疏松状外，大多已固结成块。浮岩与火山灰经常相伴在一起。

【物化性质】 浮岩为白色、灰白色。多孔状，气孔可占总体 1/2。质轻，颗粒容重 0.8～1.3g/cm³。密度 2.4～2.8g/cm³，吸水率在 30%左右。火山灰耐酸性强。

【功能与用途】 除作混凝土轻质骨料外，因它具有可溶性硅酸，可做硅质水泥材料，可提高水泥防水性与耐久性、硬度提高和抗化学腐蚀，适于桥墩、栈桥、堤防及水下工程用，起到防水水泥作用。浮岩与火山灰还可配制成轻质高强度的混凝土构件，如内外墙板、屋面保温层、楼板隔音层以及耐热混凝土等。

【鉴别特征】 颜色较浅；多气孔；相对密度小，质轻。隐晶质。

【产地】 吉林龙和、天池；山西大同；辽宁宽沟；内蒙古察右后旗。

### Ga019 铁矿粉 iron ore

【组成与结构】 作为水泥生产配料的铁矿粉一般有两种：一是赤铁矿石，另一是磁铁矿砂矿或选厂尾砂。后者由于来源不稳定，现大多用前者。赤铁矿成分为 $Fe_2O_3$，三方晶系，常呈板状、鳞片状或鲕状、豆状集合体。

【物化性质】 钢灰色、鲜红色。金属光泽至半金属光泽。硬度 5～6。密度 5.0～5.3g/cm³。条痕为樱桃红或红棕色。具磁性或弱磁性。

【功能与用途】 在水泥生产中铁矿粉将起调节水泥熟料中硅酸率作用，特别是当硅酸率较高时，加入铁矿粉将保证水泥质量。一般要求铁矿粉的硅酸率要小于 4。

【鉴别特征】 红色粉末，条痕为红棕色，相对密度较大。

【产地】 河北宣化；湖南宁乡。

### Ga020 废渣 waste residue

废渣 不是天然工业矿物与岩石，而是工业矿物与岩石经加工处理并提取了有用物质后所剩下的残渣。在水泥生产中加入一定矿渣不但可以起调配水泥熟料的硅酸率，而且对提高工业生产，降低成本，保护资源与环境有重大意义。目前在水泥工业中使用最多的有：高炉矿渣、钢渣、赤泥、粉煤灰等。

1. 高炉矿渣 是冶炼生铁时所排留下的废渣。其成分主要为 CaO、$Al_2O$、$SiO_2$、MgO、MnO 等。其与普通水泥相似，所以大部分用于直接生产矿渣硅酸盐水泥。

2. 钢渣 是炼钢时排放的废渣。主要成分为 CaO、$SiO_2$，其次为 $Al_2O_3$、$Fe_2O_3$，但成分不稳定。主要用做水泥生产配料，用于调整水泥熟料中的硅酸率。

3. 赤泥 是铝土矿提炼氧化铝时排放出的泥浆。其成分与水泥较相近。矿物成分以硅酸二钙与硅酸三钙为主。所以经常将其脱碱后代替黏土质原料生产普通硅酸盐水泥、硫酸盐水泥。

4. 粉煤灰 是粉煤燃烧后产生烟灰，在排气道中形成细灰。其化学成分上 $SiO_2$ 为 40%～60%、$Al_2O_3$ 11%～35%、$Fe_2O_3$ 4%～20%，与黏土成分较相近。它在有水分存在时能生成具有水硬胶凝性能的化合物，所以粉煤硅酸盐水泥能降低水化热，提高混凝土强度，而干燥时收缩小，宜于作堤坝水库材料和墙面用水泥。

5. 炉渣 是煤燃烧后在炉底排除出来的废渣。它通常黏结成块。其成分与粉煤灰相似，也常用于水泥熟料生产中。

## Gb 建筑用砖瓦黏土与砂、石料

在传统的建筑行业中砖瓦、砂、石是最基本的材料。虽然近代钢筋混凝土结构在大型建筑中起着主导作用，但砖瓦、砂、石仍不失其重要性，尤其在民间建筑中。

建筑用砖瓦砂石材料基本上可分砖瓦黏土、建筑砂、卵石和建筑石料等三大类。在自然界中这三大类材料产出分布十分广，但能否作为建筑材料使用往往决定于两方面因素。一方面是物理与化学性质，特别是一些技术性能，如石材的抗压性、黏土的可塑性、砂卵石的粒度与容量等。另一方面也决定于这些材料的可取性。其运输是否方便、能否露天开采等往往成为能否利用的先决条件。

建筑砖瓦砂石在建筑行业中用量十分大，但材料本身在各地差异也很大，所以目前所制定的工业指标大多属于综合性指标，具体应用时还必须进行具体分析测定。

我国建筑用的砖瓦黏土与砂石料品种很多，数量巨大，分布广泛，基本上满足了当前需要，惟一是在开发利用上经常缺乏环保观念，以至破坏了生态。

### 一、砖瓦黏土

砖瓦黏土是指专用于烧制砖瓦的黏土。其种类很多，大体可归纳为普通黏土（包括砂质黏土、泥质黏土、泥灰质黏土、粉砂质页岩等）。红土、黄土和煤矸石。其工业要求主要考虑两方面：化学成分与工业性能。化学成分指标是 $SiO_2$、$Al_2O_3$ 和 $Fe_2O_3$ 的含量，并允许在较大范围内波动。其中 $SiO_2$ 55%～80%、$Al_2O_3$ 7%～20%、$Fe_2O_3$ 3%～15%。工业性能上要求指标较多，主要有如下几方面。

1. 粒度　通常要求小于 0.05mm，并以十进制划分了粉砂、粉尘和黏土等三级。

2. 可塑性　是砖瓦黏土重要指标，要求可塑指数在 7～15。

3. 空气收缩率　即土坯风干后收缩程度，要求在 3%～12%。

4. 烧成收缩率　烧成后收缩情况，要求在 2%～8%。

5. 耐火度　要求小于 1350℃。

砖瓦黏土在我国分布很广，各地都依据当地具体情况进行选料，并呈现一定趋向性。在西北地区多用黄土为原料；华北与东北地区多选取黄壤土为原料；南方地区大多用红土为原料。近年来为防止毁田取料，保护耕地，各地大力提倡用煤矸石、炉渣等制砖瓦，并取得一定效果。

## Gb001　黄土　leoss

【组成与结构】 以黏土质粉砂为主。碎屑矿物以石英、长石为主，其次为云母及微量重矿物和钙质结核（姜石）。富含钙质。粒度在 0.05～0.005mm，属于粉砂级。疏松，半固结状。

【物化性质】 土黄色、黄色、灰黄色。孔隙发育。干燥时坚硬，遇水浸润后易崩解。具可塑性，其指数为 11。化学成分稳定，含 $SiO_2$ 50%～70%、$Al_2O_3$ 11%～12%，助熔氧化物 $Na_2O+K_2O$ 2% 左右，CaO 8%～9%、MgO 4%，耐火度 1350℃。

【功能与用途】 黄土从粒度结构与级配看多属于粉砂级黏土范畴，其含助熔氧化物高，耐火度低，易于烧成普通建筑用砖，当其中黏土级颗粒增高时方可烧成空心砖与瓦片。另可作硅酸盐水泥和高铝水泥重要配料。

【鉴别特征】 黄色，半固结状；可塑性中等；干燥后坚硬，遇水时崩解。

【产地】 甘肃兰州；青海西宁；陕西西安以及我国西北部其他地方及华北地区。

## Gb002　黄壤土　clay

【组成与结构】 主要由黏土矿物组成，其中以水云母类与蒙脱石为主，伴有石英、长石、云母以及绿泥石等矿物，含一定量的有机质。粒度在 0.005mm 左右，属黏土级。化学成分中 $SiO_2$ 不超过 70%，$Al_2O_3$ 一般不高于 15%，而 $Fe_2O_3$、CaO 以及有机质往往随不同地区而变化，当含量较高时则过渡为铁质黏土、钙质黏土以及泥质黏土等。通常呈土状集合体。

【物化性质】 黄色、灰黄色，常因其他混入物加入而呈红褐色、灰黑色等。具可塑性，可塑指数 15～19。含水率最高可达 40%。具较好黏结性，干燥后将保持原型。耐火度低，一般在 1350℃ 以下。

【功能与用途】 黄土壤具较好可塑性与黏结性，并且在粒度级配上通常小于 0.005mm 的黏土级颗粒可占 60%以上，所以除烧制普通砖外，还可烧制成瓦片以及薄壁空心制品。

【鉴别特征】 颜色比较杂；具较高可塑性；干后坚硬并保持原型。

【产地】 北京西山；辽宁丹东；河北邯郸；黑龙江大庆。

## Gb003　红土　laterite

【别名】 砖红土

【组成与结构】 主要成分为黏土矿物，其中以三水铝石、高岭石为主，偶含碎屑残块。粒度一般在 0.05～0.005mm 之间，多属于尘土级。化学成分与其他黏土相似，惟 $Fe_2O_3$ 较高，一般在 7%左右。半固结状。

【物化性质】 红色、褐红色、淡红色。具有较高可塑性，一般可塑指数在 15 左右。加水掺和后较松软，干后坚硬。含水率在 30%左右，烧失量低。

【功能与用途】 因粒度较细，可塑性好和含铁较高，多用于烧制普通砖、瓦。在铁质较低和粗粒度黏土出现而取得较好级配时可烧制高级砖、瓦。

【鉴别特征】 红色；具较好可塑性；干后十分坚硬。
【产地】广西南宁；湖南常德；广东湛江；四川成都。

### Gb004 煤矸石 gangue

【组成与结构】 主要成分为炭质黏土岩或泥质黏土岩，主要矿物成分为黏土矿物，其中以水云母类与蒙脱石为主，偶含石英、黄铁矿。块状、层纹状结构。
【物化性质】 灰黑色、黑色。硬度 6。密度 3～4g/cm$^3$，破碎后成疏松状，加水后具一定可塑性，可塑指数一般在 10 左右。吸水率 25%左右。具较好黏结性。耐火度一般低于 1350℃。
【功能与用途】 煤矸石在成分上与炭质黏土较相似。它要经过破碎、研磨后才能使用，所以在粒度级配上更易掌握。它除烧制普通砖瓦外还可烧制特殊砖瓦，如隔音砖、轻体砖等。煤矸石含有碳质，烧制时可节省能源，同时又削减了矿山废料堆积，是变废为宝的典范。
【鉴别特征】 黑色、灰黑色；不易燃烧；可塑性好；坚硬，生于煤层中。
【产地】 北京门头沟；河南平顶山；山东淄博。

## 二、建筑用砂与卵石

砂与卵石是建筑行业不可缺少的材料，即使在现今以钢筋混凝土结构为主体的建筑中，砂与卵石也是十分重要的建筑材料。近年来随着城市住宅兴建，砂与卵石用量急增，每年用量都在(5～10)亿吨以上。

我国建筑行业对砂与卵石的化学成分与矿物成分无严格要求，但对其粒度及其级配有一定规定，以便合理使用。此外对砂、卵石的杂质如云母、泥质和硫化物的含量有明确要求，以便保证混凝土的强度与耐火性以及建筑物的质量。

我国建筑用砂与卵石分布较广，资源比较丰富，各地基本上可自给自足。

### Gb005 河砂 sand of river

【组成与结构】 在建筑业中最常用的是河砂，其主要成分为石英、长石、少量云母、磁铁矿等，粒度在 0.05～5mm 不等，呈松散状。
【物化性质】 黄白色、灰白色。不具黏性与可塑性，但适水性较好。密度 1.75～2.0g/cm$^3$，松散系数与湿度有关，湿时松散系数可达 1.35，干时为 1.04。
【功能与用途】 砂可使胶凝材料在凝结硬化中不因干缩、湿涨过程引起体积变化。目前砂大量用于混凝土的细骨料；配制砂浆、三合土和用以制造灰砂砖等。在作砂浆时其用量与水泥是 5∶1。在作混凝土骨料时要求砂的细度模数大于 3.2，并具优良的级配，使其孔隙率与总面积达到最小程度，以增强混凝土的强度与耐火性。

目前大多数地区用河砂，但也有地方用海砂与风砂。河砂特点是含泥量经淘洗一般均在 5%以下，含硫化物折算成 $SO_3$ 也不足 1%，云母含量也达不到 2%，所以是较理想的低廉材料。
【鉴别特征】 黄白色；泥质较少；砂滚圆度较差，常含较多碎块。
【产地】 全国各大、小江河。

### Gb006 卵（砾）石 pebble

【组成与结构】 作为建筑用卵（砾）石是指粒径大于 5mm 的岩石碎块，当其外形呈滚圆状则称之为卵石；当具多棱状则为砾石。卵石一般为天然产物，而砾石既有天然的，也有人工的。其成分包括火成岩、沉积岩和变质岩三大类。
【物化性质】 卵（砾）石颜色多样，与原岩有一定关系，通常多呈杂色。坚硬、致密。强度大。基本化学与物理性质如硬度、相对密度、稳定性等与原岩相似。

【功能与用途】 除作混凝土粗骨料外，还可作铁路、公路的铺路基石，护堤坝、拦河坝、堰的材料，砌墙、井的材料。目前用量最大的是作混凝土粗骨料，工业要求其含泥量小于2%，硫化物含量按$SO_3$折算小于1%，空隙率小于45%。为了得到较小空隙率要求按卵石颗粒级配范围表的规定，选择优良的级配。同时卵（砾）石混凝土强度（按规定的试验）要高出混凝土所需标号的150%。

【鉴别特征】 滚圆形或多棱形；坚硬；杂色。

【产地】 全国各地江河、湖泊、海滨等地。

## 三、建筑石材

建筑用石材是指除去作饰面石材外的各种可加工成建筑用的天然岩石。建筑石材除必须具备质地坚硬、抗风化能力强、抗破坏性能好的特点外，还应具有分布广、数量多、采运方便等条件。目前建筑用石材中最常用的有五种类型：花岗岩类、砂岩、石英岩类、板岩类、大理岩及碳酸盐岩类和片麻岩类。目前各地在使用上多就地取材，但有一定趋向。在华南地区多用花岗岩，在华北、西北地区多用变质岩类、碳酸盐岩类，西南地区多用花岗岩类与碳酸盐岩类。其利用范围较广，除建筑民宅、修桥铺路、建堤筑坝外，还用于城市环境美化等。

### Gb007 花岗岩 granitoid

【组成与结构】 包括花岗岩、花岗闪长岩、石英闪长岩、二长花岗岩及石英正长岩等。主要矿物成分为石英、斜长石、钾长石、黑云母及少量角闪石等。$SiO_2$含量一般在65%～78%，具花岗结构，似斑状结构、块状构造。

【物化性质】 灰白色、灰黑色、浅红色、肉红色等。质地坚硬，密度2.7～2.9g/cm³，不溶于水，耐酸，抗压强，易成型。

【功能与用途】 花岗岩类质地坚硬，结构均匀，大多用于砌墙、铺路、修堤坝。碎块可用于作修路基石或混凝土的集料。工业要求其强度不小于1000kg/cm³，吸水性不大于0.5%，磨损损失量不大于0.25g/cm³。黄铁矿不宜太多，不要有裂缝。

【鉴别特征】 花岗结构；致密坚硬；块状。

【产地】 山东青岛；福建惠安；广东汕头；江西南昌。

### Gb008 碳酸盐岩 carbonate

【组成与结构】 包括石灰岩、白云岩、泥灰岩以及大理岩。其主要成分为方解石、白云石，混有石英、绢云母及黏土矿物。化学成分上含$CaCO_3$在85%以上。呈结晶粒状结构、鲕状结构、碎屑结构，层状与块状构造。

【物化性质】 灰白色、灰色、黑灰色、黄灰色。性脆，硬度小于4。点酸起泡。耐碱。易成型。密度2.7g/cm³。吸水率小于1%，抗压强度为1100～1700g/cm²。

【功能与用途】 通常用做路面、基石以及混凝土的骨料。大理岩可作为城市雕塑材料，化工上耐碱槽与管道。

【鉴别特征】 灰白色块状；点酸起泡；硬度小；易成型。

【产地】 河北唐山；湖北黄石；山西太原；云南大理。

### Gb009 砂岩与石英岩 sandstone；quartzite

【组成与结构】 包括石英砂岩，长石石英砂岩，石英岩以及杂砂岩等。主要成分为石英，其次有少量长石及其他碎屑。胶结物为硅质、碳酸盐等。石英含量一般在80%～90%。粒状结构，块状、层状构造。若经变质作用而重结晶即为石英岩。

【物化性质】 白色、淡红色、灰黑色。坚硬致密。密度2.55～2.68g/cm³。硬度大于7。松散系数

为 1.45～1.70。不溶于水，具一定耐酸、碱能力。石英岩耐酸率可达 98%。具较高电阻率。

【功能与用途】 由于致密坚硬、抗压能力强，多用于修建桥墩、路面、房基、堤坝和灯塔之用。工业要求其抗压强度不低于 1000kg/cm³，吸水率不大于 0.5%，磨损损失量不大于 0.25g/cm³。

【鉴别特征】 致密块状；表面可见石英颗粒；打击发出火星。

【产地】 河南渑池；辽宁本溪；山东临沂；江苏苏江。

### Gb010 板岩 slate

【别名】 瓦板岩

【组成与结构】 它是由黏土岩、粉砂岩或中酸性火山凝灰岩经轻微变质而成的。包括绢云母千枚状板岩、炭质板岩、钙质板岩、绿泥石板岩等。原岩成分变化不大，但有脱水现象，并且表面可出现少量绢云母、绿泥石等新生矿物。矿物颗粒极细，呈隐晶质结构，板状构造。

【物化性质】 灰绿色、灰白色、灰黑色。硬度 5 左右，性脆。表面丝绢光泽。沿板面可一片片剥下。不溶于水，吸水率 1%～0.5%，抗压强度低于 1000kg/cm³。质轻，耐火，不易风化。

【功能与用途】 能制成不同规格板片，吸水率低，所以多作为房屋盖瓦用，亦可铺设园林步行小道以及在建筑中作充填石料。

【鉴别特征】 板状，可成片剥下；表面有丝绢光泽；不溶于水，吸水率低。

【产地】 北京房山；河北涞水。

## Gc 建筑用特种需要材料

在建筑向高层化和大跨度发展中，不但需要轻质高强的材料，而且还要求所用材料具有保温、隔音、防火、抗震的能力，以便做到既能减轻建筑物自身质量、减少基础载荷，降低建筑周期与造价，同时又能提高人们居住生活的质量与安全。因而大量天然的轻质、保温、隔音、防水、抗震的建筑材料被开发出来，广泛地用于各项建筑，并发展了它的作用。

天然轻质、保温、隔音、防火等建筑材料种类很多，主要包括膨胀珍珠岩材料、石棉、云母类、硅藻土、天然沥青、火山灰、浮石、石青等（后三者在本章 Ga 部分已阐述，本节不再重复）。这些材料在我国分布较广，产出条件多样，但大多与岩浆活动有关，其次与沉积作用有关。其埋存量基本满足国内需要，除个别外。但加工水平还比较粗放，品种还不够多，尚需进一步提高。

### 一、膨胀珍珠岩原料

膨胀珍珠岩既是岩石学术语，又是商业名称。主要指一组酸性火山玻璃质熔岩，经熔烧处理后将形成一种体积比原来膨胀 4～25 倍的洁白轻质材料。它已广泛应用于建筑工程上。目前应用最多的酸性火山玻璃质熔岩是珍珠岩、松脂岩和黑耀岩。

### Gc001 珍珠岩 perlite

【组成与结构】 由酸性火山玻璃组成，其 $SiO_2$ 含量在 70%左右，$H_2O$ 约 2%～6%，有时含长石、石英斑晶及极少量黑云母与磁铁矿。有时玻璃基质中还有少量针状、柱状、斑状、珠球状皱晶。呈珍珠结构或玻基斑状结构，致密块状构造。

【物化性质】 浅灰色、绿灰色、淡绿色等。玻璃光泽至珍珠光泽，风化后为油脂光泽。硬度 6.5～7，性脆。断口参差状，条痕为白色。碎片呈半透明。密度 2.2～2.4g/cm³。耐火度 1300～1380℃。膨胀倍数 3～30 倍，膨胀后松散颗粒容量 32～200kg/m³。

【功能与用途】 膨胀后珍珠岩具有质轻、吸音、吸湿、保温、抗冻等特点，主要用于建筑工程中，其中 60%用做混凝土和灰浆骨料。此外还用于热工设备，厂房、窑炉冷热管道，仓库建设，气体

液化工程以及贮运的保温制冷工程设备上。目前工业对其要求：含 $SiO_2$ 70%、$H_2O$ 4%～6%、$Fe_2O_3+FeO$ 小于 1%，膨胀倍数 $K_e$ 大于 7～10。要求矿石色调越浅越好，无去玻或变质作用。

【鉴别特征】 玻璃光泽；硬度大；加热膨胀；珍珠结构。

【产地】 河北围场；湖北鄂城；浙江缙云老虎头。

### Gc002 松脂岩 pitchstone

【组成与结构】 以酸性火山玻璃质为主，偶含不等量透长石斑晶，石英斑晶与雏晶以及少量角闪石、黑云母等。全玻璃质结构，玻基斑状结构，块状构造。通常含 $SiO_2$ 69%～71%、$H_2O$ 6%～10%。

【物化性质】 黄白色、褐色、浅绿色和黑色等。松脂光泽。具贝壳状断口。硬度 7，半透明。密度 2.2～2.7g/cm³。耐火度 1300～1380℃。膨胀倍数 3～30 倍。颜色越浅松脂岩膨胀倍数越大。

【功能与用途】 同珍珠岩，主要用于建筑工业上。此外亦用于农业上土壤改造以及橡胶、油漆、塑料等工业上作充填剂。

【鉴别特征】 松脂光泽；一般颜色具黄色色调；含 $H_2O$ 比较高，一般在 8%。

【产地】 浙江天台九里坪；湖北鄂城扶山；山西灵丘塔地。

### Gc003 黑耀岩 obsidian

【组成与结构】 全部由酸性火山玻璃组成，斑晶极少。$SiO_2$ 含量 73%，含水分很少，一般 $H_2O$ 少于 2%。玻璃基质中偶见少量雏晶。玻璃结构。块状构造。

【物化性质】 黑色、褐色。明显玻璃光泽和贝壳状断口。其他同珍珠岩。

【功能与用途】 除用于建筑上作轻质材料和保温、隔音、防寒、隔热材料外，由于它特殊色调与组构，还可作工艺品和装饰品。

【鉴别特征】 黑色；玻璃光泽；贝壳状断口。

【产地】 福建政和；浙江缙云天井子。

## 二、石棉

石棉是天然纤维状矿物集合体，属于硅酸盐类矿物。由于其内部结构以及其性能与用途不同可分为蛇纹石石棉、角闪石石棉和水镁石石棉等三大类。蛇纹石石棉也称温石棉，产量大，分布广。其次是角闪石石棉，它包括蓝石棉、铁石棉、直闪石石棉、透闪石石棉和阳起石石棉等，其中以蓝石棉价值最高。水镁石石棉数量少，一般要改性后方可利用。

我国石棉蕴藏量丰富，探明储量于世界前列，同时也是重要产棉国家之一，但在石棉生产加工中环境保护与加工水平有待进一步提高。石棉用途较广，主要用于水泥制品、保温制品、制动制品、橡胶制品和纺织制品的生产。

### Gc004 蛇纹石石棉 serpentine asbestos

【别名】 温石棉

【组成与结构】 成分为 $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$，其中含 $SiO_2$ 43.51%、MgO 43.45%、$H_2O$ 13.04%，属于层状结构的硅酸盐矿物，目前形成石棉的只是属于其中的纤蛇纹石石棉。它含有磁铁矿、方解石、菱镁矿等杂质。呈纤维状集合体。

【物化性质】 浅黄色、黄绿色。丝绢光泽。硬度 2.5。密度 2.4～2.5g/cm³。可劈成细纤维，直径最小达 $2\times10^{-5}$mm。质地柔软，富弹性，具可纺性。熔点高达 1500℃，不易燃烧。导热性低，热导率 0.116～0.232W/(m·K)。机械强度可达到 374kg/cm²。耐碱，溶于酸，具绝缘性，表面电阻率 $\rho_s=(2.61\sim6.44)\times10^8\Omega$。长时间耐热温度 500～550℃，短时间耐热温度可达 700℃。

【功能与用途】 由于石棉具有轻质、耐热、抗腐蚀和隔音等特点，并依据石棉分级将作为不同用

途。中长纤维主要用于各种石棉纺织制品，生产各种石棉布、石棉绳、电解布。中短纤维用于生产水泥制品，如石棉板、石棉管、防火隔热板、石棉保温板。短纤维用于制造地面砖、沥青路面增强材料等。此外还用于橡胶、塑料工业中。

【鉴别特征】 纤维状，富弹性；不燃烧；溶于酸但不溶于碱；能劈成极细的纤维。

【产地】 四川石棉；青海芒崖；辽宁金州；陕西宁强；河北涞源。

## Gc005 蓝石棉 blue asbestos

【组成与结构】 蓝石棉是碱性角闪石石棉的通称。我国蓝石棉基本上都属于碱性角闪石石棉中的镁钠闪石石棉，即原称纤铁蓝闪石石棉。其组成分为 $Na_2Mg_3FeSi_8O_{22}(OH)_2$，其中含 $SiO_2$ 56.10%、$Fe_2O_3$ 15.60%、MgO 14.50%、$Na_2O$ 5.05%、FeO 4.06%等。单斜晶系，常呈纤维状集合体。

【物化性质】 蓝色、蓝灰色、深蓝色、灰蓝色。玻璃光泽至丝绢光泽。硬度 2 左右。能剥离出 0.04～2.5μm 的极细纤维。具很强耐酸、耐碱以及防腐蚀能力。酸蚀量 2%～11%，碱蚀量 1%～7%。熔点高，在 1035～1220℃。强度高，抗拉强度为 20～162kg/mm²。弹性好，伸长度 2.4%～5.2%。密度 3g/cm³。

【功能与用途】 具极细纤维与耐酸、碱能力，可用做石棉纺织品，如防化学包装布、电解隔膜布、输送强酸、强碱液体管道接口的防腐接合材料。制造高压石棉水泥管和水泥板。过滤材料。在塑料工业中作增强材料，以防老化，并抗腐蚀。

【鉴别特征】 蓝色；极细纤维，高弹性；能耐酸与耐碱，不易腐蚀。

【产地】 四川、云南、陕西。

## Gc006 水镁石石棉 brucite asbestos

【组成与结构】 主要成分为水镁石 $Mg(OH)_2$，其中 MgO 69.11%、$H_2O$ 30.89%，常含少量 Fe、Mn。三方晶系，常呈片状与纤维状集合体。呈纤维状时即为水镁石石棉。

【物化性质】 白色，有时带浅绿色。硬度 2.5。密度 2.35g/cm³。纤维长。长纤维比例较大，但性脆。强度与耐酸、耐碱能力较差，不及温石棉。

【功能与用途】 水镁石石棉储藏量较少、工业意义不大。但近年来研究表明，若通过加热改性后其强度可增加，使用价值不亚于温石棉。

【鉴别特征】 白色；纤维较长；性脆。

【产地】 陕西商洛。

## Gc007 蛭石 vermiculite

【组成与结构】 成分为 $(Mg, Fe, Al)_3[(SiAl)_4O_{10}](OH)_2 \cdot 4H_2O$，单斜晶系，通常呈鳞片状集合体。蛭石是黑云母、金云母经热液蚀变或风化作用后的产物。其鳞片重叠，在 1 英寸厚度内（相当于 2.54cm）可叠 100 万片。

【物化性质】 黄褐色、古铜色。油脂光泽。硬度 1～1.5。剥出鳞片具挠性，有时微具弹性。密度 2.4～2.7g/cm³。抗压强度 1～1.5t/cm³。当声波频率为 512Hz 时，吸音系数为 0.53～0.73。烧灼后蛭石体积将膨胀 18～25 倍。平均容重 100～130kg/m³。浸泡两天质量吸水率达 350%～370%。在－30℃以下容重、强度不变，也不发生变形、腐烂、变质等现象。耐碱，不耐酸。

【功能与用途】 由于蛭石加热膨胀后具有隔音、隔热、吸水、防火等功能，而且质量只有河砂的 1/7，热导率为河砂的 1/4，所以多用于做轻质混凝土骨料、轻质砂浆、高层建筑上顶板、墙壁以及制作隔音板、防火墙、防火砂浆、管道保温层。蛭石加木质纤维能制成电话室、录音室、剧场、影院等的嵌镶物。此外，蛭石在农业、冶金与环保上也有广泛用途。

【鉴别特征】 黄褐色鳞片状；轻而软，具挠性与微弹性；加热迅速膨胀数倍至数十倍。
【产地】 内蒙古固阳；陕西潼关；河南灵宝；河北龙关。

### Gc008 硅藻土 diatomite

【组成与结构】 成分为 $SiO_2$，通常含量达 80%以上，最高达 94%。含少量 $Al_2O_3$、$Fe_2O_3$、$Na_2O$、$K_2O$、CaO、MgO、$P_2O_5$ 等。有机质含量变化大，从微量至 30%。矿物成分主要为蛋白石，偶伴少量黏土矿物、石英、碳酸盐矿物等。硅藻土系古代硅藻遗体在淡水湖泊或浅海中堆积而成的。常呈薄层状、微层状，风化后呈书页状，土状集合体。
【物化性质】 浅黄色、浅灰色、白色。条痕为白色。无光泽至土状光泽，不透明。质轻、多孔、固结差、易破碎。硬度 1.0～1.5，但硅藻骨骼微粒硬度可达 4.5～5.0。密度 0.4～0.9g/cm³，固结硬化后可达 2g/cm³。熔点 1400～1650℃。除氢氟酸外不溶于酸，易溶于碱。孔隙率大，能吸收比本身质量大 1.5～4.0 倍的水。对声、热、电传导性能较低。硅藻土孔体积多为 0.45～0.87cm³/g，主要孔半径为 50～800nm。
【功能与用途】 硅藻土具质轻、孔隙率大、熔点高、吸附性强、不溶于酸等特点，大量用做混凝土骨料，防止水泥开裂与析水。亦可配制高硅质水泥和波特兰水泥、隔音板、隔热砖、防火板等。还可作三合土水泥、灰泥的混合材料，轻质建筑等。此外在石油工业、轻工、油漆、造纸等作吸附剂、过滤剂、消毒剂、充填剂等。
【鉴别特征】 白色书页状；质轻易碎；捏之呈粉末；硬度小；多孔，不溶于酸，除氢氟酸外。
【产地】 山东临朐；吉林海龙；浙江嵊县；四川米易。

### Gc009 天然沥青 native bitumen

【组成与结构】 天然沥青是指天然产出的地沥青或含沥青质的岩石，其中包括硬沥青、辉沥青和脆沥青三种，以前者最常见。天然沥青系沥青基石油田天然蒸发、氧化、聚合作用而形成的。成分为碳水化合物，以碳为主，总碳量（C）85%～88%，氢（H）8.5%～10.0%，硫黄（S）0.3%～1.5%，氮（N）2.0%～2.8%，固定碳（F、C）不同种类略有不同，硬沥青为 10%～20%，辉沥青20%～30%，脆沥青 3.0%～5.5%。几乎不含挥发分，呈固体或半固体。
【物化性质】 黑色，外观似煤炭。硬沥青条痕为褐色，辉沥青与脆沥青呈黑色。树脂光泽。密度 1.0～1.2g/cm³，相对而言脆沥青密度较大（1.15～1.20g/cm³），而硬沥青较小（1.03～1.00g/cm³）。可塑性大，抗风化能力强。耐酸、耐碱。绝缘体，不导电。不溶于水，而有憎水性。黏结能力较大。软化点高达 133～150℃。
【功能与用途】 由于天然沥青具有憎水性、黏结性、可塑性及耐酸、碱等特性，并且抗冲击性能较大。故主要用于铺设公路路面，水箱、储水池衬里，建筑工程的隔水材料；制造沥青油毡、沥青砖供屋顶和地下防水工程用。此外在冶金工业上硬沥青处理后成为焦炭供铸造用，再深加工可做炼铝的阴极糊。在化工上辉沥青主要用于日本漆、热溶塑胶、涂料上。在电气上可做绝缘材料。

在国外天然沥青含量达 3%以上的沥青质岩石即可开采；达 6.5%以上可直接用于铺设路面；在 3%～6%之间在铺路时需加以处理。

【鉴别特征】 黑色，条痕也近于黑色；可塑性强；耐酸耐碱；不溶于水，而有憎水性。
【产地】 新疆克拉玛依。

## Gd 岩棉、陶粒和铸石原料

岩棉、陶粒和铸石不是天然材料，而是以天然工业矿物与岩石为材料，经过深加工而获得的产品，目前已广泛应用于建筑业上。这种产品代表了当代建筑材料发展的一个新趋向。本节将重点阐

述上述三种材料的组成、结构、功能与用途，其制作过程与工艺流程不作介绍。

### Gd001 岩棉 men-made asbestos

【组成与结构】 岩棉是以玄武岩或辉绿岩为主要原料，加入适量的白云岩、石灰岩、硅质页岩或矿渣深加工而成的非连续性絮状纤维材料。所用材料在化学成分上：玄武岩，$SiO_2$ 40%～50%、$Al_2O_3$ 10%～17%、$Fe_2O_3$ 11%～17%、CaO 9%～14%、MgO 6%～14%、$K_2O+Na_2O$ 2%～4%；白云岩，CaO 30%～35%、MgO 18%～22%，烧失量小于5%。生产中允许原料的成分有一定波动，但配料后要求其酸度系数 $M_K=\frac{SiO_2+Al_2O_3}{CaO+MgO}>1\sim1.5$；熔融状态下材料的黏度系数 $M_b=\frac{mSiO_2+2mAl_2O_3}{2mFe_2O_3+mFeO+mCaO+mMgO+mK_2O+mNa_2O}\geqslant1.2\sim2$（$m$ 为该氧化物的分子数）以保证拉出的纤维的性质与质量。

【物化性质】 岩棉纤维细，平均直径小于8μm。质地柔软，富弹性，不脆，不粉化。容量低，小于1000kg/m³。保温、隔热性能好，热导率仅 0.029～0.046W/(m·K)。化学性质稳定，抗酸、碱，不腐烂。不溶于水，可防水，隔音。软化温度大于750℃。

【功能与用途】 鉴于上述性能，岩棉用途主要是加工成保温板、保温毡、保温管套、保温带等，用于各类建筑物以及车、船、锅炉、专业隔音室、干燥间、各种管道的隔热、保温、防火、吸音设备；可与水泥混合作为绝缘喷涂层、墙壁和吸音板的材料；还可作大型建筑物隔音充填剂。

【产地】 北京；黑龙江哈尔滨；江苏南京；湖北荆门等地均有生产。

### Gd002 陶粒 earthenware

【组成与结构】 陶粒是陶粒原料在回转炉中经高温（1050～1300℃）快速焙烧、膨胀而成的一种外为釉质坚硬外壳，内有均匀细小而又互不连续的蜂窝状气孔的陶质粒状物。其粒径一般为5～30mm。

陶粒原料较多，有粉砂岩、泥质页岩、火山岩、火山沉积岩、千枚岩、板岩以及粉煤灰等，但目前最常用的是页岩和黏土岩。上述原料要求黏土矿物占40%，并以伊利石、水云母与蒙脱石为主，粒度小于0.005mm占50%以上，不含碎石。可塑性指数要大于15，耐火度在1100～1230℃，膨胀率要求大于2。在化学成分上 $SiO_2$ 53%～64%、$Al_2O_3$ 11%～12%、$K_2O+Na_2O$ 2.5%～6.1%、$Fe_2O_3$ 5.1%～10.0%、CaO+MgO 2.5%～6.8%、有机物 0.5%～3.4%，烧失量 5.4%～10.3%，允许有一定波动范围。但其中 $Al_2O_3/SiO_2$ 应为 1.2～1.8，$(CaO+MgO)/(Al_2O_3+SiO_2)$ 为 0.04～0.13，$(K_2O+Na_2O)/(Al_2O_3+SiO_2)$ 为 0.02～0.06，$Fe_2O_3/(Al_2O_3+SiO_2)$ 为0.04～0.12，有机碳/$Fe_2O_3$ 为 0.04～0.20，若不符上述比例应掺加不同原料调配。

【物化性质】 陶粒质轻，密度 1.0～1.8g/cm³。松散容量为 300～1000kg/cm³。抗压强度高于规定标准的2～3倍，达到 30～40kg/cm³。吸水率每小时可达5%左右。具有耐火、耐水、耐化学与细菌腐蚀。能抗冻、抗震与隔热。

【功能与用途】 鉴于上述特点，陶粒是一种理想的人造轻质骨料。它可代替砂、卵石作为高层建筑混凝土和保温混凝土中骨料，能使建筑物减轻自身质量30%～35%，节省钢材10%左右，同时提高了建筑物抗震性能。亦可作管道保温、炉体保温以及隔音、隔热的建筑材料。此外还可用于净水厂的过滤材料；园林中无土基床材料等。

【产地】 北京门头沟；新疆乌鲁木齐；辽宁抚顺、本溪；黑龙江鹤岗。

### Gd003 铸石 cast stone

【组成与结构】 铸石是将铸石原料破碎、熔化并浇铸成所需制品，其包括板材、管材与铸石粉三

类。铸石原料主要为玄武岩与辉绿岩，同时为降低熔化温度、提高熔融体流动性以及加速其结晶，常加入适量的角闪岩、白云岩、萤石以及铬铁矿或钛铁矿粉。铸石原料中玄武岩与辉绿岩要求 $SiO_2$ 45%～51%、$Al_2O_3 + TiO_2$ 15%～20%、$Fe_2O_3 + FeO$ 14%～17%、CaO 9%～11%、MgO 4%～7%、$Na_2O+K_2O$ 2%～4%；白云岩 MgO 大于 18%、CaO 大于 30%；萤石 $CaF_2$ 大于 85%；铬铁矿 $Cr_2O_3$ 大于10%～20%、$SiO_2$ 小于 10%。此外还要求玄武岩与辉绿岩均匀，细粒，未风化，不含捕虏体和大于 2mm 的橄榄石、辉石斑岩。

【物化性质】 化学性质稳定，耐酸、碱度可达 99%（除氢氟酸和过热磷酸）。硬度大，耐磨性强，一般比碳素钢高 5 倍。抗压强度达 5700～8500kg/cm³，抗弯、抗拉强度高，弯曲强度一般为 650kg/cm³。熔点较高。

【功能与用途】 由于铸石硬度大、耐酸碱、又耐磨，因而许多工业部门用它代替钢材、合金材料与橡胶等。铸石制品可作矿山、电站、煤气厂、炼焦厂、水泥厂的水平风力或水力输送管、运料槽、矿浆、粮仓的输送槽或管的材料、衬板。在化学工业中可作贮酸槽、电解槽及输送腐蚀性溶液的槽、管的衬板、衬管等。

【产地】 陕西略阳；江苏六合；黑龙江牡丹江。

# Ge 陶瓷原料

陶瓷是指由黏土类、石英类和长石类等天然矿物与岩石经一定配料、加工、成型、烧制而成的硅酸盐制品的统称，其中包括陶器、瓷器与炻器。陶瓷制品最早出现在人们日常生活用品中，后来随着工业发展其制品也渗透到化工、轻工、电工等部门的特殊生产设备上，如耐酸槽、高压电瓷等。近年来由于建筑业振兴和人民生活水平的提高，对于建筑物表面美化与室内装修越来越受人重视，从而使建筑陶瓷生产与供销呈数十倍增长，成为陶瓷产品中最热销的产品之一。

陶瓷产品生产约有数千年历史，曾经几度成为人类文明历史的光辉标志。如今其制造工艺从手工向机械化、高科技方向发展；所用材料在原来基础上不断拓宽，采用了低能耗、高品质的材料；应用范围已扩展到电子、航天、核能、医学等领域，使陶瓷工业向着新方向发展。

我国陶瓷原料种类较多，分布广泛，蕴藏量丰富。在形成条件上以沉积作用形成占多数，其中有不少优质大型矿床，为我国陶瓷业发展起了保证作用。然而陶瓷产品是原料品质与工艺技术的结合。今后如何开发原料、精选原料以及提高工艺技术将是陶瓷工业发展的关键。

本节将对主要陶瓷原料进行阐述。因工业矿物与岩石具有多方面用途，有些陶瓷原料已在上述各章节中提到，现为了内容完整性，在尽量不重复的前提下仍作一定描述。

## 一、黏土类原料

黏土类原料在陶瓷原料中占重要地位。通常在瓷器配料中占其一半左右，而在陶器与炻器配料中可占 70%左右。黏土类原料在矿物成分上主要为黏土矿物。在物理性能上必须具备可塑性与烧结性才能构成陶瓷产品的骨架，否则无法形成陶瓷器件。现将较常用的黏土类原料叙述如下。

### Ge001　高岭土　kaolin clay

【组成与结构】 成分以高岭石为主，常伴埃洛石，并含少量蒙脱石、水云母、水铝英石以及石英、云母、碳酸盐矿物和有机质等。高岭石含量占 90%左右。矿物粒度小于 2μm。呈微晶质或隐晶质结构。常为致密块状或松散土状集合体。

【物化性质】 白色，因含杂质呈黄色、灰色或红褐色。珍珠光泽或土状光泽，半透明至不透明。硬度 1.0～2.5。密度 2.2～2.6g/cm³。粉碎后加水具可塑性，易成型。烧结性能好，在 1365℃时能形成白色的坯，基本不变形。化学成分稳定。具绝缘性，耐酸。

【功能与用途】 具有良好的可塑性、烧结性、吸水性、悬浮性和较强黏结力，在陶瓷工业中多用于制造坯体，其工业要求 $Al_2O_3$ 大于 28%～37%、$Fe_2O_3+TiO_2$ 小于 2%，其中 $TiO_2$ 小于 0.6%，烧失量为 18%，白度大于 80%，耐火度不小于 1710℃，此外还用于造纸、橡胶、塑料以及耐火材料工业上。

【鉴别特征】 白色；可塑性强，易于成型；表面呈珍珠光泽。

【产地】 江苏苏州；湖南醴陵；山西大同；江西景德镇。

## Ge002 伊利石黏土 iillite clay

【组成与结构】 以伊利石为主，此外还含少量石英、高岭石、绿泥石、蒙脱石、绢云母。其中伊利石含量占 70%以上，为富钾硅酸盐云母类黏土矿物，又称水云母。常呈粉砂泥质结构，土状集合体。

【物化性质】 白色。具较好的吸附性、细腻性。硬度小，为 1～2。密度 2.7g/cm³。易破碎，具中等可塑性，烧灼后白度较高。水溶液呈弱酸性。$SiO_2$ 含量低，一般为 50%左右，$Al_2O_3$ 和 $Na_2O+K_2O$ 成分较高，前者大于 30%，后者为 9%。

【功能与用途】 伊利石黏土白度高，细腻，可用于陶瓷、造纸与塑料工业中。在陶瓷工业中主要生产釉面砖、马赛克和空心砖。

【鉴别特征】 白色；细腻；易碎；吸附性较好。

【产地】 浙江欧海；甘肃天水。

## Ge003 陶土 syderolife

【组成与结构】 陶土是陶瓷工业的专业名词。主要是由高岭石、蒙脱石、石英、长石组成的粉砂-砂质黏土。化学成分与一般黏土相似，与高岭土相比 $Al_2O_3$ 含量低，$SiO_2$ 和 $Fe_2O_3$ 含量较高。矿物颗粒较粗。土状集合体。

【物化性质】 浅灰色、黄褐色。具明显吸水性与吸附性。加水后具可塑性，可塑系数为 7 左右。干燥后不变形，烧结性能良好。含 $SiO_2$ 较低，一般在 45%左右，$Al_2O_3$ 可达 33%，$Fe_2O_3$ 较高，通常为 5%，最高达 14%。

【功能与用途】 由于在成分上含铁较高，虽然可塑性与烧结性能较好，但大多用于烧制一般生活用的陶器具，也可用于烧制地下生活污水管道。

【鉴别特征】 常具红色色调；土状集合体，但颗粒较粗；可塑性中等。

【产地】 江苏宜兴。

## Ge004 绢英岩 sericitolite

【别名】 绢英片岩

【组成与结构】 主要成分为绢云母与石英，其中石英含量 40%～50%，绢云母含量 25%～35%，常伴钾长石、白云母、叶蜡石等。$SiO_2$ 含量 78%，$Al_2O_3$ 含量 14%。变晶结构，多呈致密块状。若具片状构造即为绢云母石英片岩。它多由花岗岩、石英斑岩经热液变质而成的。

【物化性质】 白色、灰白色或淡绿色。丝绢光泽至蜡状光泽。硬度 1～3。表面略具滑感。白度可达 85%。吸水率低，一般仅 15%左右。干燥时收缩率不足 1%，而破碎研磨成型焙烧后收缩率仅 16%左右。

【功能与用途】 绢英岩与绢云片岩可代替高岭土、长石作为陶瓷原料，生产高质量釉面砖。此外，绢云母可用于造纸、涂料、橡胶等工业上。

【鉴别特征】 白色块状；表面呈丝绢光泽；有滑感。

【产地】 湖北孝感；吉林梨树；福建寿宁。

### Ge005　木节土　mujie stone

【组成与结构】 木节土是外来的日本名词。它相当于煤系地层中由高岭石为主组成的高岭石黏土岩，相当于软质或半软质黏土。常呈土状集合体，于煤层之中或其上、下盘。

【物化性质】 黑色、灰黑色、灰色。湿时具有良好的可塑性。干时十分坚硬，不易变形。吸水力强，易碎。质地细腻，表面有滑感。具有最佳活性的燃烧温度为600～950℃。

【功能与用途】 具较高可塑性，当其TFe含量低于1%则可作陶瓷原料，烧制日用与建筑陶瓷器具。亦可用于耐火材料工业中。

【鉴别特征】 黑色；细腻，有滑感。湿时可塑性较强；产于煤层中或其上、下盘。

【产地】 安徽淮南；河北邯郸；河南平顶山。

### Ge006　其他

陶瓷工业用的黏土类原料很多，此处简介两种西方国家常用的原料。

1. 蜡石　以高岭石、地开石为主的黏土，有时还含有叶蜡石。表面蜡状光泽。土状构造。属于火山岩经热液蚀变而成的。日本等国家比较常用。

2. 燧石黏土　几乎全由高岭石组成，呈隐晶质结构，致密块状。质地坚硬，具贝壳状断口，在水中不崩解，没有天然塑性。多产于煤系地层中。西方国家比较常用。

## 二、长石类原料

长石类原料在陶瓷生产中具有十分重要的地位。它一方面作为坯料的熔剂，将降低坯料熔融温度，加大熔融间隔时间，提高坯料的力学强度，改善坯料的透明度。另一方面又在釉料中起熔剂作用，为熔剂物质。现将常用的长石类原料叙述如下。

### Ge007　钾长石　potash feldspar

【组成与结构】 成分为$K(AlSi_3O_8)$，含$K_2O$ 16.9%、$Al_2O_3$ 18.4%、$SiO_2$ 64.7%，常伴有$Na_2O$、$Fe_2O_3$和BaO等。钾长石是透长石、正长石和微斜长石三种同质多象变体的总称。属于单斜晶系或三斜晶系，在自然界中很少独立出现，常与石英等其他矿物共生。

【物化性质】 灰白色、肉红色、浅黄色。玻璃光泽。硬度6～6.5。密度2.55～2.76g/cm$^3$。熔点不高于1290℃。熔融间隔时间长，大约120～1280℃。化学成分稳定，不受任何酸、碱腐蚀。有助熔性。熔融液黏度高。

【功能与用途】 由于具有上述特点，广泛用于陶瓷工业中，用于陶瓷坯的制造和釉料的调配，以便促使坯料更好熔融。在工业上要求其$K_2O+Na_2O$大于11%，$Al_2O_3$大于17%。$Fe_2O_3$小于0.2%。此外钾长石在玻璃、化肥与磨料中都得到应用。近年还有人探讨在钾长石中回收钾。

【鉴别特征】 常为肉红色；硬度6～6.5，比较大；有很好双晶，在日光下可见。

【产地】 湖南平江；山东新泰；山西闻喜；云南个旧。

### Ge008　钠长石　albite

【组成与结构】 成分为$Na(AlSi_3O_8)$，含$SiO_2$ 68.70%、$Al_2O_3$ 19.50%、$H_2O$ 11.80%，常混有Sr、Be等。钠长石系钠长石分子与钙长石分子两种组分组成的类质同象系列矿物之一。其中钠长石占10%～100%，而钙长石占0～10%。三斜晶系，板状晶形，粒状集合体。

【物化性质】 灰色、灰白色、白色。硬度6.0～6.5。密度2.61g/cm$^3$。玻璃光泽。熔点1215℃。易风化。

【功能与用途】 主要用于玻璃与陶瓷工业中，作瓷器的釉料，玻璃与搪瓷的配料。可烧制釉面砖并具有块烧、节能的特点，表现出烧成温度低、烧成时间短。用于陶瓷原料时钠长石工业要求$SiO_2$

67%左右、$Al_2O_3$ 19%～20%、$Na_2O$ 9%～10%、$Fe_2O_3$ 小于1%。

【鉴别特征】 灰白色板状晶形；具良好双晶面；易风化。

【产地】 湖南衡山；山东新泰；辽宁岫岩。

### Ge009 长石砂岩 arkose

【组成与结构】 主要成分为石英和长石。长石含量大于25%，包括钾长石与钠长石。其次有微量锆石、磷灰石等。胶结构为碳酸盐以及硅质或铁质成分。矿物分选与磨圆程度变化大。粒状结构，块状、层状构造。

【物化性质】 肉红色、灰色、灰黑色等。硬度6.0～6.5。密度2.55g/cm³。刚性大，不易破碎。具有较高电阻率。松散系数为1.45～1.70。化学性质稳定。耐酸，不耐碱。

【功能与用途】 必须经过破碎后送出长石砂方可用于作陶瓷原料。其功能与用途同钾长石，主要用于陶瓷坯体与釉料的调配。工业要求指标与钾长石相同。此外还做建筑石材，耐酸石材。

【鉴别特征】 肉红色块状；致密坚硬；粒状结构。

【产地】 山东沂南；苏州清明山；山西阳泉。

### Ge010 正长岩 syenite

【组成与结构】 主要成分为长石和角闪石、黑云母等。长石中钾长石与钠长石占2/3以上，不含石英或极少。在化学成分上 $Na_2O$ 4%、$K_2O$ 5%～6%。等粒结构，斑状结构，块状构造。

【物化性质】 肉红色、玫瑰色。致密坚硬，硬度大于6。密度2.6～2.7g/cm³。裂隙不发育，不易破碎。化学成分变化不大，耐酸。

【功能与用途】 将其破碎后选出长石砂方可作陶瓷原料。其功能、用途及其工业指标与钾长石基本相同。正长岩还可做建筑石材、饰面材料及铺路的路基石。

【鉴别特征】 肉红色，致密块状；呈粒状结构；耐酸。

【产地】 河北赤城。

### Ge011 文象花岗岩 graphic granite

【别名】 伟晶花岗岩

【组成与结构】 组成分以钾长石与石英为主，约占70%以上，其次有少量角闪石、黑云母及其他矿物。矿物颗粒粗大，晶形明显。呈伟晶结构，文象结构。块状构造。

【物化性质】 浅灰白色、浅红褐色、黄褐色。质地较疏松，略加打击即破碎呈小碎块。硬度6.0～6.5。密度2.7g/cm³。在地表易风化。化学成分变化不十分大，耐酸。

【功能与用途】 破碎分选出钾长石后方可作陶瓷原料，而文象花岗岩中钾长石含量大，颗粒粗，易选，质较纯，可制釉面砖。其质量要求与陶瓷用钾长石相同。

【鉴别特征】 肉红色粗粒状；具文象结构；疏松易风化。

【产地】 内蒙古兴和；新疆阿尔泰。

## 三、石英类原料

石英类原料在陶瓷坯体中可减少其干燥时及烧成过程中产生收缩、变形。通常多加入石英砂、石英岩和脉石英。这三种岩石已在上面各章节中阐述了，此处不再重复。现仅介绍新近开发的两种原料。在此必须提出，石英类原料只是在陶瓷坯体制造中其 $SiO_2$ 含量不足时才给予适当加入，进行调配。

### Ge012 白岗岩 alaskite

【组成与结构】 成分主要为石英、碱性长石与斜长石，有时含少量云母，不含其他暗色矿物。$SiO_2$

含量达到75%左右，具花岗结构。块状构造。属花岗岩类变种之一。

【物化性质】 白色、灰白色。致密坚硬。硬度大于6。密度2.60～2.65g/cm³。抗压强度在100～170MPa，易破碎。化学成分变化不大，耐酸。

【功能与用途】 用于做玻璃与陶瓷原料，相对而言前者要求$Fe_2O_3$含量比后者更低，一般不超过1%。在陶瓷生产中白岗岩主要用于坯体制造。

【鉴别特征】 白色；几乎无暗色矿物；花岗结构。

【产地】 吉林；湖南。

### Ge013 浅粒岩 leplite

【组成与结构】 主要成分为长石与石英，暗色矿物极少。偶见黑云母、角闪石等。石英含量大于65%，长石含量大于25%，以钠长石为主。具细粒状变晶结构，块状构造。属于浅变质岩石，原岩可能为长石砂岩或酸性火山岩。

【物化性质】 浅白色。致密坚硬，硬度6.0～6.3。密度2.61g/cm³。玻璃光泽至珍珠光泽。不易风化，不溶于水，耐酸、碱。性脆，易破碎。

【功能与用途】 主要用于玻璃与陶瓷工业，含$Fe_2O_3$均要小于1%，相对而言前者含铁要求更低。在陶瓷工业中可用于烧制釉面砖。其烧成温度900℃，白度可达88%，耗时仅60min，具快烧、节能特点。

【鉴别特征】 色浅致密；具粒状变质结构；组成分简单以石英、长石为主，几乎无暗色矿物。

【产地】 辽宁海城；内蒙古固阳。

## 四、其他

近年来在陶瓷生产中开发出不少节能型原料及其添加剂，使陶瓷产品更加经济、美观。现介绍如下几种。

### Ge014 透辉石 diopside

【组成与结构】 成分为$CaMg(Si_2O_6)$，其中含CaO 25.9%、MgO 18.5%、$SiO_2$ 55.60%，有时混入少量MnO和FeO。单斜晶系，晶体呈柱状，常为粒状、放射状集合体。

【物化性质】 白色、灰绿色、浅绿色、翠绿色。条痕无色或绿色。玻璃光泽。硬度5.5～6.5。密度3.22～3.56g/cm³。干燥与烧成收缩率小，热膨胀率低，并呈线性膨胀。

【功能与用途】 透辉石近年已用于陶瓷生产上作坯体，据实验表明，黏土类原料生产的釉面砖，素烧温度为1260℃，而用透辉石作原料釉面砖素烧温度降为1070℃，并且素烧时间也由原60h缩短到29h，产品质量完全达国家标准。它属于快烧、节能型原料。透辉石还用于玻璃、造纸、橡胶、涂料等工业部门。

【鉴别特征】 绿色柱状晶形；玻璃光泽；放射状集合体；常产于钙质、镁铁质岩石中。

【产地】 黑龙江林口；陕西凤县；吉林通化。

### Ge015 透闪石 tremolite

【组成与结构】 成分为$Ca_2Mg_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$，其中含CaO 13.8%、MgO 24.6%、$SiO_2$ 58.8%、$H_2O$ 2.6%，有时有FeO、MnO及$Al_2O_3$混入物。单斜晶系、长柱状或针状晶形，常呈放射状与纤维状集合体。

【物化性质】 白色、浅灰色。玻璃光泽至丝绢光泽。硬度5.5～6.0。密度2.9～3.0g/cm³。热膨胀率低，白度较高，干燥与烧成收缩率小。

【功能与用途】 已广泛用于陶瓷、玻璃、涂料、橡胶等工业中。在陶瓷生产中用透闪石作原料烧制的釉面砖，其釉烧温度1040℃，时间为29h，而用黏土类原料烧制釉面砖，其釉烧温度则要

1150℃，时间为 60h。此外还可烧制陶瓷锦砖和变色釉面砖。

【鉴别特征】 颜色浅，一般为白色；呈放射状、纤维状集合体；产于接触变质带上。

【产地】 陕西商县；江西于都；内蒙古乌拉特前旗。

## Ge016 硅灰石 wollastonite

【组成与结构】 成分为 $CaSiO_3$，其中含 CaO 48.3%、$SiO_2$ 51.7%，Ca 常被 Fe、Mn、Mg、Ti 置换。硅灰石有三种同质多象变体，但在自然界中通常仅出现低温相的三斜晶系硅灰石。晶体为针状和纤维状，常呈叶片状集合体。

【物化性质】 白色、灰白色，常因含杂质而呈黄、绿、棕色调。玻璃光泽。硬度 4.5～5.5。密度为 2.75～3.10g/cm³。化学成分稳定。在 25℃中性水中溶解度为 0.0095g/100mL。一般情况下耐酸、耐碱、耐化学腐蚀。热膨胀系数小，而且变化也较小，具线性均匀膨胀的特点。白度达 90%。熔点约 1540℃，助熔性能好。

【功能与用途】 广泛应用于陶瓷、造纸、油漆、橡胶、电焊、冶金等部门。据统计总用量 60%于陶瓷业中，30%于涂料上。在烧制釉面砖的坯料中掺加入 40%～50%硅灰石，其素烧温度将降低 105～180℃，烧成时间缩短了 23～40h。此外硅灰石还用于制造电瓷釉料，彩色马赛克，轻质陶瓷等。

硅灰石目前无统一的工业技术要求。通常一般要求 $SiO_2$ 38%～56%、CaO 40%～50%、$Fe_2O_3$ 小于 0.6%。

【鉴别特征】 白色纤维状、针状晶形；白度高，耐酸、碱；纤维长度与其直径之比 7∶1，表面处理后可达 20∶1。

【产地】 吉林盘石；江西上高；湖北大冶；河南方城。

## Ge017 叶蜡石 pyrophyllite

【组成与结构】 成分为 $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$，其中含 $Al_2O_3$ 28.3%、$SiO_2$ 66.7%、$H_2O$ 5%，Al 可被少量 Fe、Mg 替代。单斜晶系，晶体少见，常呈鳞片状或隐晶质致密块状，有时呈放射状、片状集合体。

【物化性质】 白色、浅绿色、淡灰色。半透明，蜡状光泽。质地细腻有滑感。硬度 1.5。密度 2.65～2.90g/cm³。贝壳状断口。薄片有挠性，无弹性。绝缘，传热好。化学性质稳定，在高温下才被硫酸分解。耐火度大于 1700℃。

【功能与用途】 主要用于耐火材料、陶瓷材料、工艺雕刻材料以及农药、化妆品、涂料、橡胶等工业上。在陶瓷工业上用于生产釉面砖以及微孔陶瓷、绝缘陶瓷。制品不易破碎。其工业要求 $Al_2O_3$ 大于 20%、$SiO_2$ 小于 70%、$Fe_2O_3$ 小于 0.5%。

【鉴别特征】 质地细腻硬度小；表面有滑感；蜡状光泽。

【产地】 浙江青田；福建峨眉。

## Ge018 滑石 talk

【组成与结构】 成分 $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$，单斜晶系。通常呈叶片状或致密块状集合体。

【物化性质】 淡绿、白色、微带浅黄、浅褐。珍珠光泽。硬度 1。密度 2.7～2.8g/cm³。有滑腻感。对油类有吸附性。

【功能与用途】 广泛应用于化工、涂料、造纸、橡胶、陶瓷工业中。滑石粉以不同量加入陶瓷坯体中可增加产品韧性、透明度与色彩。同时也可配制陶瓷的釉料。块滑石作原料可以烧制成高频与超高频的电瓷绝缘体。

【鉴别特征】 硬度 1；表面有滑感；加硝酸钴溶液呈玫瑰红色。

【产地】 辽宁海城；山东平度。

# Gf 涂料原料

在人类生活的早期涂料就已出现。那时人们就已知道用有颜色的湿土来粉刷墙壁，美化环境。随着人类社会的进步，涂料已超越了美化生活范围而广泛用于工业各部门，使机器、仪表、汽车、轮船、管道等不受自然侵蚀，起着防护与保护作用，延长其使用寿命。同时在公共场所、交通道路、高危地段常用涂料作出醒目标志，以示警戒。因而涂料与人们生活越来越近，现已形成一门独立的工业。特别是近年来我国各种住宅建筑兴起，涂料的使用及其用量成倍增长，成为人民生活中不可缺少的材料。

现代涂料是由许多原料制成的，但它结构基本上是由成膜物质与溶剂组成的。成膜物质中主要是油脂和树脂。它可以单独成膜，但为了提高成膜效果和耐久性往往要加入一定的矿物原料作填充料与颜料，改变涂料性能，延长其成膜寿命。各种溶剂在涂料成膜后将全部挥发掉。

作为涂料填充料与颜料的工业矿物与岩石，其种类很多，并且随着技术进步还在不断地发现与开发。对它的要求不仅在色调、结构上，而且还要求其耐光性、吸油性、分散能力、对化学溶剂的抵抗力以及其流动性等。目前市场上所需的各种涂料原料我国都有产出，基本满足需要。现将常见的涂料原料阐述如下。为了不与其他各章节重复，本节仅重点阐述各种涂料原料的功能与用途，其他内容从简。

## Gf001 白垩 chalk

【基本特征】 成分为 $CaCO_3$。粒度越细越好，一般为 7～44μm。与它相仿者有白云岩、方解石、石灰岩以及各种碳酸钙沉淀物。

【功能与用途】 颜色洁白；分散性大；涂覆能力强，能占据空隙，并且折射率高；油容量也大，其吸油量为白垩本身的质量 20%～25%。因而广泛用做涂料的填充料与颜料。它可改变涂料性能。白垩价廉，分布广，但它易受酸腐蚀。

【产地】 英国英吉利海峡；中国四川、河南。

## Gf002 累托石黏土 roctorite clay

【基本特征】 累托石是“二八面体云母和二八面体蒙脱石 1∶1 规则同层的矿物”，成分为 $K_x(H_2O)\{Al_2[Al_xSi_{4-x}O_{10}](OH)_2\}$，灰白色，硬度小于 1，塑性指数 37。

【功能与用途】 因其悬浮性能好，干燥时不易开裂，附着力强，涂刷性好，并且在高温时具有稳定性。是涂料中良好的悬浮剂。调配在涂料中涂刷后能获得耐久性。同时累托石黏土又是染料，民间称染土，用以席草染色。

【产地】 广西德保；湖北钟祥；湖南耒阳。

## Gf003 锂皂土 hectorite

【基本特征】 以锂皂石为主的黏土。理皂石是一种不含铝而含镁、锂的黏土矿物，属蒙脱石-蛭石类。成分为 $[Si_8(Mg_4Li_{1.05})O_{20}(OH)_4]Mg_{1.05}\cdot H_2O$。灰白、灰绿色。质地细腻。硬度小，具滑感。

【功能与用途】 加入能很快膨胀，形成含大量水的网络结构的凝胶。具较好的分散性、悬浮性、触变性与稠密性，多用于特种涂料中作填充料，也用于化妆品、医药工业上。

【产地】 中国新疆托克逊；美国加利福尼亚州汉克托。

## Gf004 伊利石黏土 illite clay

【组成与结构】 是以伊利石为主的黏土。伊利石又称水白云母，属于富钾的硅酸盐云母类黏土矿

物。成分为 $K_{<1}Al_2[(Al,Si)Si_3O_{10}](OH)_2 \cdot H_2O$。白色，不具膨胀性与可塑性。

【功能与用途】 具有较好吸附性，细腻、白度高。常作为涂料的填充料与颜料。由于伊利石黏土干燥快、附着力很强，耐冲刷，十分宜于作建筑物的涂料。

【产地】 浙江温州；甘肃天水。

## Gf005 膨润土 bentonite

【基本特征】 主要由蒙脱石矿物组成的一种黏土岩。蒙脱石属于层状含水铝硅酸盐矿物。其层状结构使每个晶体构造层间能吸附和放出水分子，并对阳离子具强烈的吸附能力，致使层间有 $K^+$、$Na^+$、$Mg^{2+}$、$Ca^{2+}$、$H^+$ 等交换阳离子的存在，使颗粒容易分裂成很细的带电粒子，适于变成理想的溶胶。

【功能与用途】 具有吸水膨胀和良好的造浆性能。在水中分散性好，不受电介质的影响。不发生絮凝，能改变涂料悬浮的稳定性；其色泽不分层，涂刷性能好，附着性强。而且价格又低廉，因而宜作为用量巨大的建筑用涂料。

【产地】 内蒙古兴和；江苏句容；浙江临安。

## Gf006 硅灰石 wollastonite

【基本特征】 是含钙的硅酸盐矿物，成分为 $CaSiO_3$，多呈纤维状与针状。白度可达 83%。

【功能与用途】 亮白色针状结构的硅灰石在涂料中将成为一种良好的退光剂，使涂料均匀涂染而增强了它的涂膜耐磨性与耐用性，所以硅灰石加入将能得到又美观、又耐火、抗霉变能力强的高质量涂料。它还可在沥青涂料中作为石棉代用品。

【产地】 吉林盘石；江西上高；河南方城。

## Gf007 硅石 quartz

【基本特征】 包括石英、燧石，成分为 $SiO_2$，硬度大，成分较纯。

【功能与用途】 硅石加入可提高涂料耐磨性与防滑性能，常作为涂料的填充料。较粗的硅石粉可使涂料表面透明度与光泽度降低；较细的硅石粉有助于涂层的光洁程度及外涂层的胶黏力。

【产地】 福建东山；山东荣成；江西永修。

## Gf008 硅藻土 diatomite

【基本特征】 是由不同藻类骨骼组成。化学成分为 $SiO_2$，矿物成分以有机成因的无定形蛋白石为主。质轻、多孔、吸水率高。

【功能与用途】 性能与硅石相似，但退光性较好，能扩大底层颜料的遮盖力，主要用于光泽乳胶、油漆、底层涂层以及一些混凝土涂料中。

【产地】 吉林海龙；浙江嵊县；四川米易。

## Gf009 云母 mica

【基本特征】 主要为白云母，其次为绢云母，呈片状，具耐热、抗磨、绝缘等特点。

【功能与用途】 云母粉在涂料介质中将表现出电活动性，使其黏度和搅溶性发生显著变化。首先是能封闭涂料的表面，防止水分渗入，阻止涂膜下垂。再则提高涂料凝聚力、抗腐性、延长涂料寿命，同时还提高涂料的分散性与附着性，使其易于涂刷。云母粉可作为耐热涂料的填充料。在乳胶漆中加入云母粉还可减少主要颜料的需用量。

【产地】 内蒙古察右前旗；河北曲阳；吉林集安；新疆阿尔泰。

### Gf010 滑石 talc

【基本特征】 是一种层状含水镁硅酸盐矿物，成分为 $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$。白色，硬度小，易磨，可细粒化，亮度高。

【功能与用途】 吸油率高，具良好的流变性能，可阻止涂料中其他固相物质沉淀，提高涂刷性能。若用于内涂层可起防腐蚀和耐湿性的作用。它是一种普通使用的涂料填充料，由于滑石在水中有很絮凝的倾向，使用时须加其他防絮凝剂。

【产地】 辽宁营口；广西桂林；湖南洞口；云南丽江。

### Gf011 石墨 graphite

【基本特征】 是碳元素结晶矿物之一，成分为 C，呈片状，硬度小，有滑感，耐高温，热稳定性好。

【功能与用途】 用在涂料中石墨要经过研磨、酸处理后水洗、烘干才可使用。石墨能很好地黏附在涂物表面，具良好的涂布面积及防水渗透的功能。通常用做防护性能的涂料，涂在建筑钢制品上防止腐蚀，涂在地面上可消除静电的集聚，形成一种难于磨损，不会打滑的表面。石墨又是一种颜料。

【产地】 黑龙江柳毛；陕西眉县；山东莱西。

### Gf012 叶蜡石 pyrophyllite

【基本特征】 是黏土矿物中一种。成分为 $Al_2[Si_4O_{10}](OH)_2$，质地细腻，硬度小，绝缘体，耐热性能好，化学性质稳定。

【功能与用途】 叶蜡石随粉磨程度提高其白度也随之提高并具高度的润滑性能和良好的遮盖力，常作为高级涂料的填充料。叶蜡石价廉。所以广泛用于涂料中。

【产地】 浙江青田；福建峨眉。

### Gf013 染料矿物 pigment minerol

染料矿物包括如下几种。

1. 二氧化钛的颜料矿物

用金红石、锐钛矿经硫酸盐法或氧化法生成的白色颜料。其中金红色型呈微淡色，锐钛矿型呈冷蓝白色。

2. 氧化铁的颜料矿物

包括赭石、赭土、浓黄土、棕土等，其成分中均含铁的氧化物，但颜色与氧化铁存在方式有关。赤铁矿（$Fe_2O_3$）为红色；褐铁矿（$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$）为黄色；磁铁矿（$Fe_3O_4$）为褐色至黑色；针铁矿［$\gamma$-FeO(OH)］为橘红色；蓝铁矿［$Fe_3(PO_4)_2$］为蓝色。浓黄土含一定褐铁矿为橙黄色，煅烧后为红色。

3. 铜的硫酸盐颜料矿物

颜色十分鲜艳、纯正，为古代贵重颜料。其中孔雀石为绿色；蓝铜矿为蓝色。

4. 铬化合物的颜料矿物

铬不同化合物呈现不同颜色。氧化铬为绿色；铬酸锌为黄色。

5. 其他

主要用某些矿物与岩石的颜色，如绿泥石制造绿色颜料；有色页岩作为不同灰色色调的原料。

# Gg 饰面石材

饰面石材是指能切出大块板材，而经加工后又能拼出具有一定装饰效果与艺术效果的石材。装饰石材大部分作为建筑物的墙面、地面、柱面、台面、桌面等饰面用，部分用于纪念性建筑物的碑、塔，实验室操作台，精密机床平台上。由于饰面石材与人们生活十分贴近，所以具有十分广阔的市场，特别是近年来建筑业振兴，饰面材料花色品种日新月异，目前已达数百种之多。在这繁多品种中按商品性质分类，基本可分为花岗石、大理石和板石三大类。这其中不同品种石材往往随着其岩性不同而具有不同的物理与化学性质；同样岩性的石材又因其产出时代或条件不同而具有不同的色调与花纹；同样色调与花纹的饰面石材又由于被装饰对象及其设计者（或拥有者）的个性而有不同的感观认识与评述。显见饰面石材既具材料本身的天然属性，而又具有艺术鉴赏的主观属性。

饰面石材在我国分布很广，几乎遍布全国，并且每省、市、自治区都有自己特色的饰面石材面市。现饰面石材每年除供应国内市场所需外，还有部分出口。目前我们应在继续开发新品种的同时，加强市场规范化管理与环境保护意识，使我国饰面石材走绿色发展道路。

在饰面石材生产中一般都要求石料的颜色与花纹美观稳定；金属硫化物、氧化物、节理充填物、空洞等所谓色斑、色线要小而少；石材的锯、切、抛、磨性能要好；荒料块度要大于 $0.5m^3$；荒料率为 15%～20%；板材面积要在 $30\times(15\sim30)m^2$ 以上。目前我国各地饰面石材常以其颜色、花纹及其形象，或以地方名称，或以传统名称对饰面石材命名。如水芙蓉、济南青、汉白玉等等，作为一种品牌展示在市场上。由于命名原则不统一，往往有同类异名或异类同名等混乱现象出现。为了改变这种现象，现在将出口品牌凡经注册备案后都给以统一代号，如 101-汉白玉、301-济南青等。

## Gg001 大理石 marble

【组成与结构】 大理石是商业名称，它包括大理岩、石灰岩、白云岩以及白云石化大理岩、蛇纹石化大理岩等，其中通常以大理岩最常见。其主要成分为方解石，其次为白云石，少量石英、长石等。块状构造。

【物化性质】 颜色多样，大体有七种：白、黄、灰、绿、赭、红、黑，以白色、灰色最常见。玻璃光泽，具较好磨光性，抛光后光泽度一般可达 90 度以上。密度 2.7～2.9g/cm³。抗压强度 99～120MPa。抗折强度为 12～19MPa。吸水率低，0.23%。膨胀率较小，为 0.02%～0.04%。耐磨度 7～24g/m³。结构致密，具绝缘性和可雕性。

【用途】 广泛应用于室内、外装饰用的饰面材料，包括内、外墙、房柱、台阶、地面、窗台、壁炉、洗手间台面以及纪念塔、纪念碑，大型雕塑基台等。其次用于电气绝缘材料，如配电盘开关等和化学工业的耐碱槽等。再次是作为大型雕刻品和日常生活小用品如台灯基座、文具等材料。大理石碎块还可做人造大理石和米石材料。

【产出品种】 大理石据不完全统计有 390 多个花色品种，现将各省、市、自治区主要品种及其岩性特征，颜色列表如下。

| 代 号 | 品种名称 | 产 地 | 颜 色 | 岩性特征 |
|---|---|---|---|---|
| 101 | 汉白玉 | 北京房山 | 白色 | 白云质大理岩 |
| 102 | 艾叶青 | 北京房山 | 灰色 | 白云质大理岩 |
| 110 | 螺丝转 | 北京房山 | 灰色 | 白云质大理岩 |
| 121 | 黄金玉 | 北京昌平 | 黄色 | 白云质灰岩 |
| 117 | 雪花白 | 河北曲阳 | 白色 | 大理岩 |
| 113-1 | 涞水红 | 河北涞水 | 红色 | 大理岩 |

续表

| 代　号 | 品种名称 | 产　地 | 颜　色 | 岩性特征 |
|---|---|---|---|---|
| 121 | 阜平红 | 河北阜平 | 红色 | 大理岩 |
| | 海浪 | 山西闻喜 | 赭色 | 大理岩 |
| | 秋景 | 山西闻喜 | 赭色 | 大理岩 |
| | 白色 | 山西广灵 | 白色 | 大理岩 |
| 217-1<br>219-2 | 丹东绿 | 辽宁凤城 | 绿色 | 蛇纹石化镁橄榄石砂卡岩 |
| 218 | 东北红 | 辽宁金县 | 红色 | 大理岩 |
| 219 | 铁岭红 | 辽宁铁岭 | 红色 | 大理岩 |
| 214 | 肉红 | 辽宁海城 | 肉红色 | 大理岩 |
| 234 | 大连黑 | 辽宁大连 | 黑色 | 大理岩 |
| | 墨玉 | 吉林集安 | 黑色 | 蛇纹岩 |
| | 白色 | 吉林双阳 | 白色 | 大理岩 |
| 320 | 莱阳绿 | 山东莱阳 | 绿色 | 蛇纹石化大理岩 |
| 311 | 雪花白 | 山东平度掖县 | 白色 | 大理岩 |
| | 莱阳黑 | 山东莱阳 | 黑色 | 蛇纹石、橄榄石化大理岩 |
| 411 | 墨玉 | 山东沂南 | 黑色 | 灰岩 |
| 312-1 | 金星玉 | 山东苍山 | 黑色 | 石灰岩 |
| 315 | 海浪玉 | 山东栖霞 | 绿色 | 蛇纹石化大理岩 |
| 055 | 红皖螺 | 安徽灵璧 | 红色 | 叠层灰岩 |
| 057 | 灰皖螺 | 安徽灵璧 | 灰色 | 叠层灰岩 |
| 77 | 碧波 | 安徽怀宁 | 绿色 | 蚀变灰岩 |
| | 奶油 | 安徽广德 | 奶油色 | 大理岩（白云质） |
| 055-1 | 红螺纹 | 江苏铜山 | 红色 | 叠层灰岩 |
| | 红奶油 | 江苏宜兴 | 奶油色 | 白云质灰岩 |
| | 雪花白 | 江苏赣榆 | 白色 | 大理岩 |
| 056 | 抗灰 | 浙江杭州 | 灰色 | 石灰岩 |
| | 仙洞墨玉 | 浙江衢州 | 黑色 | 石灰岩 |
| | 长兴奶油 | 浙江长兴 | 白色 | 石灰岩 |
| | 松香黄 | 河南淅川 | 黄色 | 方解石脉 |
| | 芙蓉红 | 河南南召 | 红色 | 大理岩 |
| 405-1 | 米黄 | 河南淅川 | 黄色 | 大理岩 |
| | 墨豫黑 | 河南安阳 | 纯黑色 | 石灰岩 |
| 023 | 秋景 | 湖北黄石 | 赭色 | 蚀变灰岩 |
| 028 | 晶白 | 湖北黄石 | 白色 | 白云质大理岩 |
| 042 | 虎皮 | 湖北黄石 | 赭色 | 蚀变白云质灰岩 |
| 022 | 雪浪 | 湖北黄石 | 白色 | 蚀变白云质灰岩 |
| | 双峰黑 | 湖南双峰 | 黑色 | 石灰岩 |
| | 邵阳黑 | 湖南邵阳 | 黑色 | 石灰岩 |
| 402，403 | 云花 | 广东云浮 | 黑白相间 | 大理岩 |
| 413 | 蕉岭白 | 广东蕉岭 | 灰白 | 大理岩 |
| | 桂林黑 | 广西桂林 | 黑色 | 石灰岩 |
| 502 | 碧绿 | 广西桂林 | 绿色 | 蚀变灰岩 |
| 704 | 苍山白 | 云南大理 | 白色 | 白云质大理岩 |
| 075 | 绿花 | 云南漾濞 | 绿色 | 大理岩 |
| 703 | 云灰（云花） | 云南大理 | 灰色 | 大理岩 |
| 077 | 纹脂奶油 | 贵州贵阳 | 红色 | 白云岩 |
| 076 | 残雪 | 贵州织金 | 黑底白花 | 石灰岩 |
| 078 | 贵州黑 | 贵州大方 | 黑色 | 大理岩 |
| 691 | 香蕉黄 | 陕西潼关 | 黄色 | 蛇纹石化大理岩 |
| 692 | 孔雀绿 | 陕西潼关 | 绿色 | 蚀变灰岩 |

## Gg002 花岗石 granite

【组成与结构】 花岗石是商业名称，它包括岩浆岩类、片麻岩类和混合岩类，有时还包括各种石英岩；但通常以二长花岗岩、钾长花岗岩最常见，其成分主要为钾长石、斜长石、石英、黑云母、角闪石等，花岗结构，似斑状结构。块状构造。

【物化性质】 花岗石颜色多样，其中以红色、黑色、咖啡色、墨绿色最为特殊。并且构造花纹奇特又增添几分美感。质地坚硬。硬度 6～7。密度 2.7～2.9g/cm³。抗风化、耐酸、耐磨损的能力优于大理石。抗压强度高 170～700MPa。抛光后光泽度在 100 以上。抗折强度 16～28MPa。吸水率 0.20%。耐磨损变化大，最高可达 3.4g/cm³，一般在 0.5g/cm³ 左右。

【用途】 广泛用于室内外装修用的饰面材料，包括内外墙、房柱、台阶、地面、窗台、壁炉、洗手间台面以及桥、塔、碑、殿等建筑。其次花岗石用于工业个别设备上，如机械、仪器的坐垫、铺砌耐酸槽及地板、耐腐蚀管材与防腐材料，亦可作大型雕刻材料。最后其碎料可作为铁路路基石和混凝土的骨料。

【产出品种】 花岗石用做饰面材料已有较长历史，其品种较多，目前已知有 90 多种。现将各省、市、自治区主要品种及其颜色、岩性特征列表说明如下。

| 代 号 | 品种名称 | 产 地 | 颜 色 | 岩 性 特 征 |
|---|---|---|---|---|
| | 京墨玉 | 北京密云 | 黑角 | 角闪二辉岩 |
| | 南口红 | 北京昌平 | 粉红 | 二长花岗岩 |
| | 白虎涧 | 北京昌平 | 紫红 | 黑云花岗岩 |
| | 贵妃红 | 山西灵丘 | 红色 | 片麻状花岗岩 |
| | 墨玉 | 河北曲阳 | 黑色 | 辉长岩 |
| | 橘红色 | 山西五台山 | 粉红色 | 混合花岗岩 |
| | 盘石黑 | 吉林盘石 | 黑色 | 橄榄辉长岩 |
| | 青山 | 吉林和龙 | 黑色 | 玄武岩 |
| | 黑白花 | 黑龙江汤原 | 黑红色 | 二长花岗岩 |
| | 黑金花 | 黑龙江汤原 | 黑红色 | 二长花岗岩 |
| 301 | 济南青 | 山东济南 | 黑灰色 | 辉长岩 |
| 305 | 泰安绿 | 山东泰安 | 灰绿色 | 花岗闪长岩 |
| 353 | 长清花 | 山东济南 | 灰黑 | 花岗岩 |
| 351 | 柳埠红 | 山东历城 | 粉红 | 二长花岗岩 |
| 306 | 灰白色 | 山东青岛 | 灰白色 | 花岗岩 |
| 301-3 | 黄岗灰 | 山东济南 | 灰绿色 | 橄榄辉长岩 |
| | 红白 | 江苏东海 | 红白色 | 混合花岗岩 |
| | 雪花 | 江苏东海 | 灰白 | 混合花岗岩 |
| | 黑白 | 江苏赣榆 | 白底黑点 | 混合花岗岩 |
| | 细花 | 浙江洞头 | 黑色 | 闪长岩 |
| | 肉红色 | 浙江欧江 | 肉红色 | 花岗斑岩 |
| 618 | 黑芝麻 | 福建莆田 | 灰黑 | 黑云母花岗岩 |
| 603 | 峰白石 | 福建惠安 | 灰白 | 花岗岩 |
| 605 | 厦门白 | 福建厦门 | 灰白 | 浅色花岗岩 |
| 602 | 田中石 | 福建惠安 | 灰白 | 浅色花岗岩 |
| 607 | 左山红 | 福建惠安 | 粉红 | 二长花岗岩 |
| | 花岗石 | 江西星子 | 白底黑点 | 混合花岗岩 |
| | 花岗石 | 江西南昌 | 黑底白花 | 似斑状花岗闪长岩 |
| | 芝麻白 | 河南淅川 | 灰白 | 花岗岩 |
| | 菊花青 | 河南偃师 | 青灰绿 | 辉绿玢岩 |
| | 雪花青 | 河南偃师 | 灰绿 | 辉绿玢岩 |
| | 云黑梅 | 河南偃师 | 灰白 | 花岗斑岩 |

续表

| 代　号 | 品种名称 | 产　地 | 颜　色 | 岩 性 特 征 |
|---|---|---|---|---|
| 607 | 三峡红 | 湖北宜昌 | 红色 | 二长花岗岩 |
| | 水芙蓉 | 湖南郴州 | 深灰基底红色大斑 | 二长花岗斑岩 |
| | 绿色木纹 | 湖南桃江 | 灰绿 | 花岗岩 |
| | 冻金花岗石 | 广东新兴 | 灰白相间 | 混合岩 |
| | 花岗石 | 广东汕头 | 灰白 | 花岗岩 |
| | 黑墨玉 | 广西北流 | 黑墨色 | 花岗闪长岩 |
| | 石棉红 | 四川石棉 | 红色 | 二长花岗岩 |
| | 芦山红 | 四川芦山 | 红色 | 二长花岗岩 |
| | 贵州白 | 贵州梵净山 | 灰白色 | 白岗岩 |

**Gg003　　板石　slate**

【组成与结构】 板石是商品名称，它包括各种板岩和千板状板岩，是经过轻微变质作用而形成的。其原岩成分没有重结晶或只有少量重结晶，产生少量绢云母、绿泥石于板岩表面上。矿物颗粒很细，外表呈致密隐晶质，具变余结构、板状构造、变余构造。其原先岩石大部分是属于黏土岩。

【物化性质】 颜色多样，有淡青色、淡绿色、黑色、褐色、棕色、粉红色、黄色、浅灰色等。易于劈分成厚度 10～20mm 的薄板，最薄可达 4mm 厚。薄板表面平滑，略显丝绢光泽。质地轻且较硬，不易风化，耐火，耐冻，能经受不少于 25 次的冻循环。抗弯曲强度大于 180kg/cm$^3$。金属硫化物含量低，一般小于 2%。吸水率低，有一定防水作用。

【用途】 板石可拼性较好，而且比大理石、花岗石容易加工，加之它色质古雅、价格低廉，以往在北方农村用做房瓦，而现在广泛用于房屋内外装饰上。不仅做盖瓦，而且做墙内外贴面、地面铺设与层面的材料。此外还可做黑板、工艺品及砚石等。

【产出品种】 板石加工比较简单，但目前大量产品是乡镇企业和个体户生产，工业标准也不统一，并且产品多按其自然颜色划分命名。现将目前市场上最常见几种介绍如下。

| 品　种 | 颜　色 | 主要岩性 | 用　途 | 产　地 |
|---|---|---|---|---|
| 青板石 | 深灰、浅灰 | 绢云母板岩 | 房瓦、墙壁饰面 | 北京、湖北 |
| 绿板石 | 灰绿条纹 | 绢云绿泥板岩 | 房瓦、饰面 | 北京、陕西 |
| 黄板石 | 黄褐色 | 绢云千板状板岩 | 铺设地面 | 贵州、湖南 |
| 红板石 | 砖红、棕红 | 凝灰质板岩 | 铺设地面 | 陕西、湖南 |
| 黑板石 | 黑灰色 | 碳质黏板岩 | 饰面、铺设地面 | 湖南 |
| 灰板石 | 灰色 | 含碳绢云板岩 | 饰面、铺地、工艺 | 湖北、山西 |

## 参　考　文　献


1　全国矿产储量委员会办公室编. 矿产工业要求参考手册. 北京：地质出版社，1987

2　地质辞典办公室. 地质辞典（二）矿物. 岩石地球化学. 北京：地质出版社，1981

3　陶维屏. 中国工业矿物和岩石（上册）. 北京：地质出版社，1987

4　张培元. 中国工业矿物和岩石（下册）. 北京：地质出版社，1987

5　S. J. 莱方德. 工业矿物和岩石. 北京：中国建筑工业出版社，1984

6　郑延力，樊素兰. 非金属矿产开发应用指南. 西安：陕西科学技术出版社，1992

7　马鸿文. 工业矿物和岩石. 北京：地质出版社，2002

8　非金属矿工业手册编辑委员会. 非金属矿工业手册. 北京：冶金工业出版社，1992

# H　与医药有关的矿物与岩石

中医中药是我国人民数千年生活经验的结晶与创举，并成为世界医学宝库中一颗灿烂星星，而今长久不衰，并继续发扬光大，威震全球。中药是中医重要组成部分，是中医治病必不可少的物质。中药种类十分多，总体讲可分为植物药、动物药和矿物药三大类。其药源完全来自大自然，因而得到世人青睐。据不完全统计在中药中，植物药可占50%左右，动物药和矿物药各占25%左右。矿物药在中药中占有重要地位。近年来中医药研究得到了重视与发展，矿物药的研究与开发也取得很大进步。

目前我国市售的矿物药大约近百种，它的鉴别及其医理主要依据历史医药书籍记载，如明代李明珍的《本草纲目》，清代吴谦的《医宗金鉴》等相传下来。其次是活跃在民间的中医师，采药师与制药师的切身经验，并通过他们口述言传一代一代传下来。在这过程中不可避免有的失传了，有的误解了，但总体讲这近百种矿物药都是经过长期临床经验与论证的产物。

我国矿物药由于当时科学技术水平所限，对其记载描述和鉴别标准不可能达到科学的定性与定量水平，因此每味矿物药不论是文字记载，还是语言传教大多停留在表面体态、颜色、大小、软硬等直观感觉认识上。并且古代中国以中原地区文化最发达、医学最先进，因此初始的矿物药多出自这一带，而中国幅员辽阔，地质情况复杂，同一种矿物药在不同地域、不同地质条件下其特征不可能完全相同。此外文字记载与口头传教又往往由于人们理解与体验程度不同而发生偏差。因此目前市售的矿物药很难取得统一。同样一味药在北京同仁堂购的可能与武汉达仁堂购的不完全一致，然而它们名称却完全一样。这种现象在很大程度上阻碍了矿物药的发展。

矿物药在我国分布十分广，资源也比较丰富。目前我们所用的矿物药几乎全都属于无机化合物，并且可在各个地质时期与不同地质作用下形成。其中在时间上包括前寒武纪滑石、磁石、古生代石燕、中生代雄黄与雌黄以及第四纪的姜石；在作用上包括与岩浆作用有关的自然铜、紫石英，与近代盐湖沉积有关的朴石、硼砂、与火山活动有关的海浮石以及与区域变质作用有关的滑石、金礞石等等。大量研究表明矿物药产出形成具有一定规律性。它在形成时间上大多是中、新生代；在形成条件上以沉积作用与次生作用占大多数；在物种构成上以矿物居多、岩石与化石较少。在矿物中非金属矿物远远多于金属矿物；易溶解、易挥发、加热易分解的矿物远多于稳定性较大的矿物；结构相对简单的矿物如氧化物、硫化物也远多于结构较复杂的硅酸盐矿物。这种产出形成特点与矿物药配制及其临床医疗方法有密切关系。

矿物药种类较多，目前对于它的分类尚未统一意见。通常在市售中均将其分为原矿物药与加工矿物药两大类。前者是指自然界采集后保持原来状态的药用矿物。后者是指经过加工后的药用矿物，其中由单味矿物药加工而成的则称制品药，如伏龙肝。若多味矿物药或制品药加工而成的则称为丹药，如铅丹。本书仅引用了少量加工药，而重点对原矿物药进行阐述。为了方便读者查找，将矿物药按矿物、岩石、化石、加工药等大类划分。由于矿物类数量较多，其中又划分了单质矿物、氧化物与氢氧化物、硫化物、卤化物、碳酸盐、硅酸盐、硫酸盐、硝酸盐和硼酸盐、有机物等分别阐述之。

矿物药随着研究深入，其性质也逐渐明朗，但也存在许多不解之处。首先从医学原理看矿物药组成变化较大，其中有单质矿物、简单化合物、复杂的硅酸盐以及由多种矿物组成的岩石。它们在泡制煎熬、临床治疗中究竟是阳离子还是阴离子起作用？是主元素还是微量元素起作用？是矿物药

本身还是配合植物药与动物药才起作用？这些问题目前了解甚少，甚至是盲点。由此可见对于矿物药的机理及其作用还缺深度的认识。其次，在临床处方时所需是矿物药及其重量，而对每味矿物药中各种组分含量似乎都没有追究，如在临床配药时需 3 克硫黄，然而后者中硫含量变化悬殊，从10%～80%不等。不同硫含量的硫黄难道不影响医疗效果吗？显然，矿物药还缺乏如同工业矿石品位一样的定量标准。再次是矿物药强调天然采集状态而不强调深加工，然而在自然状态下也未免不受围岩、地下水、土壤等因素的污染。这种污染不能讲都是有害的，如有些紫石英污染了含砷黏土后反使它增加了治疗妇科疾病的效果，看来矿物药急需规范化，不能让偶然随机因素左右了它的本质。总之，矿物药的治疗原理与功能还需要在定性、定量以及标准化上进行更深入研究，揭示其内在奥秘，使矿物药在我国中医学中起着更大作用。

# Ha　单质矿物类药用矿物

单质矿物是由单一元素组成的矿物。在药用矿物中大多是金属单质矿物，如自然金、自然银，少数为非金属单质矿物，如硫黄。但是由于金属单质矿物产出分布局限，在自然界中比较罕见，药源十分有限，所以市售很少，临床一般以其炼制的成品代之。相反，非金属单质矿物由于来源容易，现临床中还经常使用，市售中仍可见。

单质矿物性质一般比较稳定，纯度虽然达不到 100%，但都比较高，含杂质较少，硬度较小。这在矿物药中是很难得的。

## Ha001　金箔　native gold

【别名】 金；太真；金薄；金屑

【组成与结构】 据古籍记载其应为自然金（山金自然金或砂金自然金），等轴晶系，常含少量银、铜等杂质，晶形罕见。因来源问题，今中医师所用皆为炼熟经砸制成薄片状的黄金代之，或以水煮金器，取汁用之。

【物化性质】 金黄色。强金属光泽，条痕亦为金黄色。不透明。硬度 2.5。密度 19g/cm$^3$。有极好的延性，能砸成薄片状。可溶性极微，不溶于水与酸、碱中。

【功能与用途】 主治癫痫风热、上气咳嗽、肺损吐血、去热驱烦。对类风湿关节炎、小儿食痫有疗效。亦可治心脏风邪、恍惚狂言、意志不定症。现因价格昂贵，药理不明，已不见用。此外金箔有毒性，谨慎使用。

【鉴别特征】 金黄色；硬度小；有延性。

【产地】 河北；陕西；黑龙江。

## Ha002　银箔　native silver

【别名】 银；银屑；白金

【组成与结构】 成分为自然银，等轴晶系，常含有微量 Au、Pt、Sb、Bi 等，呈树枝状集合体。因来源有限，今中医师皆用人工冶炼的银块砸成薄片代之。

【物化性质】 银白色，表面易成黑灰色，条痕为光亮的银白色。金属光泽。硬度 2.5。密度 10.1～11.1g/cm$^3$。富延展性，能砸成薄片。可溶性微弱，但比金相对高一点。在水和酸、碱中有一定溶出。

【功能与用途】 在本草记载“主治与金不远”。常用于治疗心虚惊悸，或因忧虑神气不安以及小儿伏热潮发者，能平肝、定志。现无市售，临床也很少用。

【鉴别特征】 银白色，表面常呈黑灰色；条痕为光亮银白色；有延性。

【产地】 江西银山。

### Ha003　锡　native tin

【别名】 白锡

【组成与结构】 据古籍记载系产于马来半岛之自然锡，四方晶系，常含微量 Au、Cu，呈粒状集合体。由于产量有限，现多由人工炼制的金属锡代用。

【物化性质】 银白色。金属光泽。条痕为银白色。不透明。硬度 2。密度较大，为 7.2g/cm$^3$。富延展性，可打成极薄的锡箔。易熔，熔点 230℃。能溶于盐酸或硫酸中，不溶于水。质较重，但用力能折断。

【功能与用途】 具有甘、寒、微毒性能，主要用于解砒霜毒；治杨梅疮，防治瘿（生在脖子上的一种囊状的瘤子，多指甲状腺肿瘤）。

【鉴别特征】 银白色；硬度小；密度大，质较重；有延展性。

【产地】 广西贺县。

### Ha004　水银　native mercury

【别名】 汞；灵液

【组成与结构】 在矿物学上称之为自然汞，成分为 Hg，质比较纯。因其在自然界产出有限，目前市售多由辰砂人工提炼而成的。它多于汞矿床氧化带上，或见于温泉沉积物中。有时亦呈液态小球状散布在一些岩石内。

【物化性质】 银白色。金属光泽。密度较大，为 13.6g/cm$^3$。在常温下为液态，在－38.1℃则凝结成固态。

【功能与用途】 具杀虫、利尿、去热毒、安神镇心的作用。可治呕吐、反胃。西医用水银制造医疗器械和各种药膏，如二百二、医牙的汞膏等。水银有毒，切忌内服。

【鉴别特征】 常温下为液态；银白色；相对密度大；可分散成小珠粒。

【产地】 贵州铜仁水银厂。

### Ha005　硫黄　native sulphur

【别名】 石硫黄；土硫黄；石留黄；黄硇砂；黄牙；阳侯将军

【组成与结构】 原指自然硫，成分为 S，常含微量 As、Te、Se 及黏土和有机质混入物。斜方晶系。晶体为锥柱状、板状。呈块状、粒状或粉末状集合体。现市售的往往是从黄铁矿炼制的硫。

【物化性质】 淡黄色、草黄色。金刚光泽。断口参差，呈油脂光泽。硬度 1～2，性脆。密度 2.05～2.08g/cm$^3$。硫黄味。不溶于水和盐酸。燃烧放出 $SO_2$，呈紫蓝色火焰。

【功能与用途】 硫黄有毒，多外用，少内服，病除即止，久服伤阴。具通便、杀虫、补火助阳、散寒祛寒功能。可治疥癣、阴疽、腰酸膝冷、阳痿肾虚以及虚寒、黄胆等症。亦可治烫、烧伤，能止痛、保护创面，促进愈合。

【鉴别特征】 淡黄色；硬度小；硫黄味。

【产地】 山东磁新；青海天峻；黑龙江五大连池。

## Hb　氧化物与氢氧化物类药用矿物

该类药用矿物在我国分布比较广，主要是铁、锰氧化物与氢氧化物。其在成因上多与沉积作用有密切关系，特别是海相沉积，产在浅海、滨海及海湾地带，形成后往往又经过氧化、分解等作用，生成部分氢氧化物，所以在这类药用矿物中氧化物与氢氧化物经常共生在一起，从而致使它成分复杂化。此外这类药用矿物在生成过程中受潮下水流影响常具有比较特征的外形或晶形，如鲕状、结核状、豆状等。此外亦有少部分药用矿物如磁石、锡石生成岩浆作用有关，成分可能比上述

铁、锰氧化物与氢氧化物纯净些，但它产出分布不及前者广泛。

### Hb001 无名异 manganese nodule

【别名】 土子；禿子；黑石子；铁砂

【组成与结构】 据古籍记载与市售品情况判定无名异即锰结核，其矿物成分较复杂，通常以水锰矿 $MnO_2(OH)_2$ 和软锰矿 $MnO_2$ 为主，含硬锰矿、锰土及黏土矿物。胶状结构，常呈结核状、其直径一般为 0.1～0.3cm，或呈土状。

【物化性质】 黑褐色，表面常有色泽较浅的粉末。金属光泽。条痕为黑色。硬度 5～6。砸碎后断面亦为黑色，污手。质较重，密度 4.5g/cm³ 左右。溶于热或浓盐酸中。放出氯气，难于溶于水中。

【性能与用途】 具有止痛活血、消肿散瘀和生肌等作用。主治打伤肿痛、赤瘤丹毒、臁疮溃烂以及杨梅、痔瘘、痈疽等疾病。亦可治脚气。它多用于外敷。很少用于内服。

【鉴别特征】 结核状；黑色、断口与条痕亦为黑色，并能污手；质重，硬度大。

【产地】 广西桂林；广东广州。

### Hb002 禹余粮 limonite

【别名】 禹粮石；石中黄子；石中黄；白余粮；太乙余粮

【组成与结构】 以不纯的褐铁矿为主，常含有黏土和有机物等混入物。主要成分为 $Fe_2O_3$，其次为 $Al_2O_3$ 以及少量 Mg、Pb、K、Na、P 等。常呈块状、结核状或中空的结核，少数为土状、钟乳状。

【物化性质】 褐色，具有不同色调。半金属光泽或土状光泽。断口不平坦。条痕为褐色或浅褐色。硬度 3～5。密度 3.3～4.3g/cm³。质地坚硬。吸水不膨胀，但可引起局部脱色变浅。化学成分常因杂质混入而不稳。

【功能与用途】 古医书所指的禹余粮“乃石中黄粉”，因此应选带黄粉的褐铁矿结核作药用。它具有涩肠止泻、清热收敛和止血功能，用于治泻痢、崩漏、带下等症。对于小腹疼、四肢府不仁者也有一定疗效。

【鉴别特征】 褐色；带黄粉；半金属光泽或土状光泽；吸水不膨胀，但颜色变浅。

【产地】 山西阳泉；内蒙古甲生盘。

### Hb003 代赭石 reniform or oolitic hematite

【别名】 丁头代赭；紫朱；土朱；代赭

【组成与结构】 经各方考证，此处所指代赭石即丁头代赭石。其实为肾状、鲕状赤铁矿集合体。主要成分为 $Fe_2O_3$，混有水针铁矿（$FeOOH \cdot nH_2O$）、石英、黏土等矿物。三方晶系，晶体少见，常为肾状、鲕状集合体，或土状。

【物化性质】 暗红色，表面具钢灰色锖色。条痕为红色～砖红色。半金属半泽，不透明。硬度 5.5，性脆。密度 4.0～5.3g/cm³。无磁性，煅烧后具弱磁性。不溶于水。

【功能与用途】 具有平肝凉血、镇逆止血作用。用于治噫气、呕吐、眩晕耳鸣。除血热、清肝火以及带下百病、难产、堕胎等症。亦可治肠风血痢久不愈者。其大多属于内服药。

【鉴别特征】 暗红色；肾状、鲕状集合体；无磁性。

【产地】 河北宣化；湖南宁乡。

### Hb004 磁石 magnetite

【别名】 灵磁石；活磁石；玄石；处石；吸针石；吸铁石；雄磁石；熁铁石

【组成与结构】 磁石即磁铁矿或赤铁矿化磁铁矿，常伴有石英、角闪石。主要成分为 $Fe_3O_4$，常含有 V、Ti、Mg、Mn、Al 等。等轴晶系。晶体为八面体。多为粒状集合体，或致密块状。

【物化性质】 铁黑色，或具暗蓝锖色。条痕为黑色。半金属光泽。断口不平坦。硬度 5.5～6.5。密度 5.16～5.18g/cm³。具强磁性。不溶于水，在酸、碱中仅微溶，相对而言碱溶大于酸溶。表面易风化，颜色发红，光泽与硬度降低。

【功能与用途】 具有镇静安神、益肾补血、潜阳纳气、平肝息喘，明目聪耳，止金疮血等作用。用于治疗肾脏风虚、耳聋目昏者；周痹风湿、肢节中痛者。亦可治小儿惊痫，男人阳不起，女人宫不收等症状。其多为内服药。

【鉴别特征】 黑色条痕；强磁性；立方形晶体。

【产地】 河北邯郸；湖北大冶；辽宁鞍山。

**Hb005　　锡矿　cassiterite**

【别名】 锡石

【组成与结构】 此味药中医临床很少应用，市售也无货。据古人记载分析，锡矿应是矿物学中锡石。主要成分为 $SnO_2$，含 Sn 78.8%，常有 Fe、Mn、Zn，或 Nb、Ta 等元素混入。四方晶系，晶形为粒柱状。或膝状双晶，呈不规则粒状集合体。

【物化性质】 褐黑色、褐色。条痕为黄灰至褐黑色。晶面油脂状光泽、沥青状光泽，新鲜断面为金刚光泽。断口不平。硬度 6～7。密度 7.0g/cm³。一般无磁性，含铁多时具弱磁性。不溶于水，相对而言碱溶大于酸溶。

【功能与用途】 锡矿现已中断应用。有毒，多用于外用。将锡矿的研磨液，敷涂创面，治疗肿痛。

【鉴别特征】 四方晶系；褐黑色；膝状双晶。

【产地】 广西大厂。

# Hc　硫化物类药用矿物

硫化物类药用矿物除辰砂外大多为非金属硫化物。它在成因上主要与岩浆活动有关，常处于低温浅层条件下形成的。虽然其产状变化较大，但矿物结构都比较简单，其中都伴有不同数量的金属元素与微量元素，使其特性发生某种变化，出现了不同的医疗效果。硫化物类药用矿物在我国分布较广，药源充足，使用悠久，大多用于解毒、消肿，是市售中常见的矿物药。

**Hc001　　朱砂　cinnabar**

【别名】 丹砂；辰砂；神砂；灵砂

【组成与结构】 据考证朱砂即矿物学上辰砂。成分为 HgS，常混有石英、方解石。属三方晶系，其中含 Hg 86.20%。晶体呈菱面体，常为粒状集合体，目前市售的朱砂大多为不均匀粒状与粉末。

【物化性质】 朱红色，表面因风化呈黯黑锖色。半透明，金刚光泽。条痕为红色。硬度 2.0～2.5，性脆。密度较大，达 8.09g/cm³。极易碎裂。不溶于水，溶于酸、碱中，并且相对而言碱溶大于酸溶。

【功能与用途】 具有安神、解毒、明目之功能，号称主治身体五脏百病，但实际上主治慢性精神分裂症及各种精神疾病、神经性呕吐、咽喉肿痛、口舌生疮等，但朱砂不能过量或长期服用，每日以 0.3～0.5g 为宜，否则将引起慢性汞中毒。朱砂是属于内服药。

【鉴别特征】 颜色鲜艳；相对密度大；半透明；金刚光泽；表面常有黯黑锖色。

【产地】 湖南源陵；陕西旬阳；贵州铜仁。

### Hc002 雄黄 realgar

【别名】 黄石；熏黄；南雄黄；雄精；腰黄；黄金石

【组成与结构】 主要成分为 AsS，含 As 70%、S 30%。单斜晶系。晶体呈短柱状，晶面具纵纹。常为粒状、块状集合体，有时为土状集合体。此味药应用历史较久，是民间常见药。

【物化性质】 橘红色，见光后多呈橙黄色粉末。晶面为金刚光泽，断面为树脂光泽。透明—半透明。硬度 1.5～2.0。密度 3.56g/cm$^3$。熔点低（310℃），烧灼时发出臭蒜味。不溶于水，但溶于苛性碱中。

【功能与用途】 具有解毒、杀虫、除恶疮燥温之功能。治疮痈中毒、蛇虫咬伤、疟疾寒热、疥癣头疮等。近来还用于治疗麻风反应神经痛、流行性腮腺炎、肺结核等疾病。雄黄既可内服又可外用，但其具毒性。内服要慎用，不能连续长期服用。禁用火煅烧，以免增大毒性。

【鉴别特征】 橘红色；加热有臭蒜味；硬度小。

【产地】 湖南石门、浏阳；陕西宁陕；云南南华。

### Hc003 雌黄 orpiment

【别名】 砒黄；昆仑黄

【组成与结构】 主要成分为 $As_2S_3$，其中含 As 61%、S 39%。单斜晶系，晶体呈短柱状或片状，常为梳状、块状、粉末状集合体。此味药应用历史较长，是民间常见药。

【物化性质】 柠檬黄色，有时微带浅褐色。金刚光泽至油脂光泽，在空气中易变暗淡。条痕为鲜黄色。硬度 1～2。密度 3.4～3.5g/cm$^3$。熔点低（320℃），烧灼时发出臭蒜味。不溶于水，相对而言碱溶大于酸溶。

【功能与用途】 具解毒、杀虫、除邪气之功能。可治疗咳嗽喘急、腹痛及胃反呕吐不止、肺结核等疾病。亦可治牛皮癣、恶疮等以及抗皮肤真菌。雌黄具毒性，内服慎用，多外用。

【鉴别特征】 柠檬黄色；条痕为橘黄色；硬度小。

【产地】 湖南石门、浏阳；云南南华；陕西宁陕。

### Hc004 蛇含石 sulfur ball

【别名】 蛇含；蛇黄

【组成与结构】 蛇含石原指煤层中黄铁矿球状结核，其表面常因风化而成褐铁矿。主要成分为 $FeS_2$，理论上含 S 53.45%，常伴有 Cu、Au、Co、Ni 等。等轴晶系。晶体为微晶质或胶状，多呈同心层结核或细粒个体放射状排列的结核。

【物化性质】 黯淡的铜黄色，表面常有褐色薄膜。条痕为绿黑色。断口参差状。金属光泽，不透明。硬度 6.0～6.5，性脆。密度 4.9～5.2g/cm$^3$。具导电性。溶于酸、碱中，相对而言碱溶大于酸溶。

【功能与用途】 具有消肿化瘀、止血镇痛与镇惊之功能。常用于配制丸、散。主治风痛、关节酸痛、小儿惊痫、叫号恍惚等症。磨汁涂亦可消除肿毒。蛇含石仅限指结核状黄铁矿，若它氧化彻底为褐铁矿，则该结核已不是蛇含石，而是禹余粮，两者功能完全不同。

【鉴别特征】 结核状；条痕为绿黑色；铜黄色。

【产地】 山西阳泉；山东兖州。

### Hc005 砷石 arsenopyrite

【别名】 白砷石；太白石

【组成与结构】 据古书记载考证砷石一说相当于矿物学中毒砂；一说相当于砒石或部分为砒石。目

前大多数人倾向于前者。成分为 FeAsS，含 Fe 34.4%、As 46.0%、S 19.6%。单斜晶系，晶体呈条柱状、板状，常为粒状和块状集合体。此味药目前中医临床很少应用，也无药材市售。

【物化性质】 锡白色，或带褐黄锖色。条痕为黑色。金属光泽。不透明。硬度 5.5～6.0。密度 5.9～6.3g/cm³。性脆。打击时发臭蒜味。微溶于酸、碱中，相对而言碱溶大于酸溶。

【功能与用途】 具有除热、明目、下气、除隔中热、止消渴、益肝气之功能。可治脚气，瘰疬、赘瘤（肿瘤一种）。可内服和外用，因毒石毒性大，任何用法均应谨慎，用量应由少渐多。

【鉴别特征】 锡白色；打击有臭蒜味；烧渣有磁性。

【产地】 广西宾阳大马山；广东曲江一六。

### Hc006 自然铜 copper-bearing pyrite

【别名】 石髓铅接骨丹；铜矿

【组成与结构】 该味药究竟为何物争论已久。有的认为是黄铁矿，有的认为是黄铜矿。据考证大多数人认为可能是含铜黄铁矿。其主要成分为 $FeS_2$，含 S 53.4%，伴有 Cu、Co、Ni 等元素。等轴晶系，晶体呈立方体或八面体、块状集合体。

【物化性质】 浅黄色，常具锖色，风化后表面为褐色。金属光泽。条痕为黑色。不透明。硬度 6.0～6.5。性脆。密度 4.9～5.2g/cm³。无磁性，煅烧后有硫黄味，并具弱磁性。不溶于水，溶于酸、碱中，相对而言酸溶大于碱溶。

【功能与用途】 具排脓、消瘀血、续筋骨、止痛、安心之功能，主要用于治疗骨折、创伤，舒筋活血，促使骨折创伤部位愈合。也用于治疗闪腰岔气、腰痛、心气痛等疾病。该味药多配丸、散或外用调敷。

【鉴别特征】 黄色立方体；加热有硫黄味；金属光泽。

【产地】 广东英德；甘肃白银。

## Hd 卤化物类药用矿物

卤化物类药用矿物种类比较单一，基本上以氯化钠为主，并且具有较相似的特征：如易溶、硬度小、味咸、相对密度轻等，但由于其所形成条件以及制取方法的不同，使其中所含的伴生组分与微量元素也有所差别，并且在临床治疗上产生了不同的效果，从而呈现出不同特性的矿物药。

该类矿物药在我国分布较广，且有悠久的应用历史，是民间经常使用的常见药。但由于历史与地域原因，卤化类药用矿物目前仍不规范，各地所用的差异明显，极大地影响了此味矿物药临床医疗效果。

### Hd001 大青盐 rock salt

【别名】 戎盐；石盐；青盐；胡盐；羌盐

【组成与结构】 主要指古代与近代炎热干燥地区的湖盆、海湾、海滨泻湖中所形成的固体石盐结晶体。人们俗称岩盐。成分为 NaCl，并含有绿泥石、石英、白云母、石膏等黏质成分，并常呈微小包裹体于岩盐中。后者为等轴晶系，呈立方体、块状集合体。

【物化性质】 无色、灰白色，常因混入物而呈黑灰色晕斑。玻璃光泽。硬度 2.5。密度 2.1～2.2g/cm³。表面易潮解呈油脂光泽。易溶于水。味咸。晶面有下凹呈漏斗状花纹。性脆。

【功能与用途】 味咸、寒、无毒，具有凉血、益气、明目、杀虫、解毒、除邪通便、定痛之功能。可治疗喉炎、出汗发虚、腹胀气满、一切脚气。亦可治小儿疝气、风热牙痛、风眼烂弦等症。既可内服又可外用。

【鉴别特征】 白色立方体；表面有下凹的漏斗状花纹；味咸。
【产地】 陕西定边、解池。

### Hd002 光明盐 lake salt

【别名】 石盐；圣石；水晶盐
【组成与结构】 指结晶完好的近代盐湖沉积的湖盐。其成分为 NaCl，很少混入物，质纯，结晶体粗大。等轴晶系，晶形呈立方体、块状、粒状集合体。
【物化性质】 白色、无色、透明。玻璃光泽，或因潮解而光泽暗淡时，新鲜面仍可见较强光泽，并有晕彩。硬度 2.5。密度 2.1～2.2g/cm$^3$。性质稳定。溶于水，味咸。极易潮解。
【功能与用途】 味咸甘、平、无毒。具开盲明目、消食化积之功能。用于治疗胃脘胀痛，食物中毒，不思饮食等症。对胃酸缺乏性胃病也有疗效。此味药多用于内服，由于光明盐含杂质的包裹体较少，疗效较稳定。
【鉴别特征】 洁白的立方体；味咸；易潮解。
【产地】 青海茶卡。

### Hd003 卤碱 brine

【别名】 卤盐；石碱；寒石；六八一
【组成与结构】 为现代盐湖中卤水块加工精制而成的粉剂。在成分上为 NaCl、KCl 等。粒状晶形，粉末状集合体。在民间有的用直接过滤后、具有一定浓度的盐湖卤水代之。
【物化性质】 粉末剂为白色，味咸，易潮解与溶于水中。硬度 1～2。密度 2g/cm$^3$ 左右。性质比较稳定。结晶粗者可呈现玻璃光泽。
【功能与用途】 味咸、无毒，具消炎、利尿、镇静、强心、降压、消泻、明目之功能。用于治疗胃痛、助消化、胃溃疡、十二指肠溃疡等症。卤碱多为内服药，也用于外用，但一定要掌握用药量。民间所用的过滤卤水应注意其浓度，否则将起副作用。
【鉴别特征】 白色粉末；味咸；可溶于水。
【产地】 内蒙古卡甘里门诺尔；山西运城。

### Hd004 锅巴盐 salt of the under ground water

【别名】 锅底盐；锅板盐
【组成与结构】 盐碱地地区的地下水经熬制而成的复合盐。其成分除 NaCl 外，尚有 KCl、$CaSO_4$ 等以及 Mg、Fe 等混入物。晶体呈粒状，常为粒状、块状集合体。
【物化性质】 白色、灰白色，因混入物不同而呈灰黑色或浅红色。硬度 1～2。密度 2g/cm$^3$ 左右。易溶于水。味咸、涩。
【功能与用途】 味咸、无毒，具有健骨、除湿、止痛缓下等作用。此味药在民间应用较广，据说可治风湿病、胃痛、软骨病等症。在中医临床中使用不多。主要为内服药。
【鉴别特征】 白色、黄白色；味咸带涩；易溶于水。
【产地】 内蒙古；新疆；青海。

### Hd005 紫脑砂 mg-bearing salt

【别名】 狄盐；红盐
【组成与结构】 主要成分为 NaCl，但含有 Mg、Ca、Ti、V、Sr 等多种组分。其中以 Fe 最为特征。结晶后为主方体。藏医亦用此味药，但称之为藏脑砂或藏红盐。

【物化性质】 紫色、紫红色，但深浅不均匀。致密程度不一，易碎，性脆。玻璃光泽。有氨臭、味极咸，刺激舌。在潮湿环境中吸湿潮解，表面熔融。易溶于水。质重，密度 2.5～3g/cm³，硬度1～2。

【功能与用途】 味极咸、有毒，具有破结血、止痛下气、去恶肉、生好肌等功能，用于治疗气郁不舒、积聚痞块、胃脘疼痛以及气臌、气肿等症。近来还用于治疗肿瘤，对肉瘤 S-180、瓦克（Walker）癌 256 及腹水癌都有一定抑制作用。

【鉴别特征】 紫红色；味极咸；易潮解，表面呈熔融状。

【产地】 印度；中国青海。

## Hd006 白脑砂 sal-ammoniac

【别名】 气砂

【组成与结构】 主要成分为氯化铵 $NH_4Cl$，含一定数量硫和 $FeCl_2$。理论上含 $NH_4$ 33.7%。等轴晶系，晶体呈粒状，常为块状、纤维状集合体。它大多为火山喷气或地下煤层燃烧后散逸气体的凝华物。

【物化性质】 无色、白色、灰色、带黄色色调。透明至半透明，玻璃光泽或乳状光泽。硬度 1.5～2，质酥脆、易打碎。密度 1.53g/cm³。有硫黄味。易溶于水，味咸而苦，刺激舌。溶水后重行结晶为箭镞状骸晶。加热挥发。

【功能与用途】 味酸咸，有大毒，具有软坚散结、消积祛痰之功能。用于治疗肾脏积冷、气攻心腹疼痛；反胃吐食、呕逆不止等症，亦可治疗肾寒滑精，腰腹冷痛，赤白带下，虫积腹痛等症。此味药毒性大，能腐坏人肠胃，慎用。

【鉴别特征】 白色结晶粉末；遇热几乎挥发；硫黄味。

【产地】 新疆吐鲁番。

## Hd007 绿盐 atacamite

【别名】 盐绿；石绿

【组成与结构】 《本草纲目》曾写道："方家言波斯绿盐色青，阴雨中干而不湿者为真"。经考证其系氯铜矿，成分为 $Cu_2Cl(OH)_3$，斜方晶系，晶体呈板状、针状，常为粒状、皮壳状集合体，为铜矿床在地表氧化带上产物。

【物化性质】 翠绿色、绿色或黑绿色。条痕为绿到淡绿色。金刚光泽至玻璃光泽。硬度 3.5，性脆。密度 3.75～3.79g/cm³。煅烧易熔，火焰为天蓝色。易溶于酸中。

【功能与用途】 味咸苦辛，性平，无毒，具有明目消翳功能，主治目昏暗赤涩泪多出；虫蚀齿疼痛，出脓水不绝等症。历代均作外用，禁内服，现临床很少应用，亦无市售。

【鉴别特征】 翠绿色；皮壳状集合体；火焰为天蓝色。

【产地】 安徽铜官山；江西丁家山。

## Hd008 紫石英 fluorite

【别名】 赤石英

【组成与结构】 唐朝《岭表录异》云："其色淡紫，其质莹澈，随其大小皆五棱，两头如箭镞。"据此判定紫石英系紫色萤石，掺杂有少量其他色调的萤石和水晶。主要成分为 $CaF_2$，常有微量 $Al_2O_3$ 和 $Fe_2O_3$ 及 Y、Ce 等微量元素混入。等轴晶系、八面体晶形，呈块状、粒状集合体。

【物化性质】 无色、紫色、绿色、淡蓝色。透明，条痕为白色。玻璃光泽。断面为油脂光泽。硬度为 4，性脆。密度 3.1～3.2g/cm³。在阴极射线和紫外线下发紫光。不溶于水，能溶于酸、碱中，碱溶相对大于酸溶。

【功能与用途】 味甘，性湿，无毒。具有镇心安神，温肺暖宫、养肝温补之功能。可治疗虚劳惊悸、补虚止惊、令人能食；肺虚寒咳、痰多气喘；胞宫虚寒、长年不孕等症。此外亦可除胃中寒散。此味药多为内服，是中医临床比较常用的矿物药。

【鉴别特征】 紫色；八面体晶形；紫外线照射下发出紫光。

【产地】 浙江义乌；内蒙古四子王旗。

## He 碳酸盐类药用矿物

碳酸盐类药用矿物种类比较简单，除炉甘石为锌的碳酸盐外，其余几乎全为在不同地质条件下形成的，以碳酸钙为主的矿物药。其中有的是沉积形成的，有的是次生淋滤形成的。不同条件形成的碳酸盐使它呈现出各种奇特的状态，但这些药用矿物的颜色均较浅，易酸溶，从外表特征上比较容易界定与鉴别。碳酸盐类药用矿物在我国分布较广泛、药源比较充足，应用历史也较悠久，是市售中常见的矿物药。

### He001 方解石 calsite

【别名】 黄石

【组成与结构】 主要成分为 $CaCO_3$，其中含 CaO 56%、$CO_2$ 44%，除 Fe、Mg、Mn 等少量类质同象混入物外，尚有黏土质、硅质混入物。三方晶系，晶形呈菱面体，常呈粒状、块状集合体。此味药在《本草纲目》中有详细描述。

【物化性质】 灰白色，有时因杂质混入呈粉红色，条痕白色。玻璃光泽。断口呈阶梯状。硬度 3。密度 2.6～2.8g/cm$^3$。遇冷酸起泡强烈。水溶性较低，易酸溶。

【功能与用途】 味苦辛，大寒，无毒。主治胸中热结气、黄胆、通血脉。属于内服药。因历代将方解石与石膏混用，因而方解石应用资料积累得比较少。

【鉴别特征】 菱面体晶形；硬度 3；加液起泡。

【产地】 河北唐山；湖北黄石。

### He002 钟乳石 stalagmite

【别名】 石钟乳；钟乳；石花；石床；石脑；芦石；滴乳石；孔中蘖；殷蘖

【组成与结构】 《本草纲目》记载："石之津气，钟聚成乳，滴溜成石，故名石钟乳。"其成分为 $CaCO_3$，矿物成分主要为方解石，常呈同心环或放射状结构，钟乳状、石笋状、不规则瘤状集合体。

【物化性质】 白色、灰白色，常因杂质混入染成灰黄色。条痕为白色。硬度 3，性脆。玻璃光泽。遇冷酸强烈起泡。质较纯，含 Mg、Fe 量低。水溶性低，易酸溶。

【功能与用途】 具有温肺助阳、化痰平咳、入肾壮阳之功能。主要用于治疗肺虚喘急，乳汁不通，吐血损肺。亦可治疗五痨七伤之疮以及明目增益等症状。此味药主要为内服，但其微量元素含量很不稳定，尤其是药材表面及钟乳石环带间，从而极大影响药效。钟乳石在古代较常用，近代已少用。其药源丰富、便宜。

【鉴别特征】 钟乳状、石笋状；横切面具同心状；加冷酸强烈起泡。

【产地】 广西容县。

### He003 鹅管石 stalactite

【别名】 虚中；芦石

【组成与结构】 据古籍记载分析鹅管石有两种：钟乳鹅管石和珊瑚鹅管石。前者指钟乳石尖端部位，后者为珊瑚体，经石化后多为文石。显然两者成分差不多，均为碳酸钙。市售中两者混用。

【物化性质】 乳白色、浅黄色。鹅管状，半透明，直径 1～4cm，质重，易碎，断面由方解石（文石）颗粒组成的同心环。无气味。加冷酸强烈起泡。属于酸溶性。

【功能与用途】 功能与钟乳石相似，主治肺结核以及咳嗽壅滞、胸膈痞满。珊瑚鹅管石它与现代珊瑚骨骼不同，后者属小海浮-石花类药材，两者不应混用。目前市售中有的用现代珊瑚骨骼代替鹅管石出售。

【鉴别特征】 钟乳状；断面同心圆；滴酸起泡。

【产地】 广西容县；北京房山。

## He004 姜石 lime concretion

【别名】 磋砺石；裂姜石；料姜石；黄土小僧

【组成与结构】 据记载姜石应包括石灰岩风化淋滤的结核和黄土中结核。成分为 $CaCO_3$，主要矿物成分为方解石，常伴有黏土矿物与碎石等。通常呈结核状，表面不平坦，极似生姜。

【物化性质】 白色，微带黄色，往往色调较杂。质重、坚硬、易砸碎、断面粗糙。碎后呈土状颗粒，咀嚼略有砂粒感，略吸舌头。滴酸强烈起泡。不溶于水，属于酸溶性矿物药。

【功能与用途】 主要用于治疗丁疮肿痛，热豌豆疮以及通身水肿等症。华北民间常将姜石投入水井或水缸里，认为饮用此水可治疗与预防肿瘤。药用姜石仅限于颜色灰白，不含非黏土质硅酸盐类矿物质。姜石现临床应用很少，但西北和华北民用其治疗胃病仍一直未断。

【鉴别特征】 似生姜状；灰白色微带黄色；质重坚硬。

【产地】 河北邢台；山西柳林。

## He005 炉甘石 smith sonite

【别名】 白炉甘石；炉眼石；浮水甘石；甘石；制甘石；飞甘石

【组成与结构】 系天然的菱锌矿。主要成分为 $ZnCO_3$，其中含 ZnO 64.90%、$CO_2$ 35.10%，常含 Fe、Mg、Ca、Co、In 等。有时还混有水锌矿[$Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$]。三方晶系，晶体呈菱面体。钟乳状、土状集合体。

【物化性质】 白色、无色，条痕为白色。玻璃光泽。半透明。硬度 5。密度 4.0～4.5g/cm$^3$。有土腥味。加冷盐酸不起泡，加热盐酸才起泡。不溶于水，属酸溶性药用矿物。

【功能与用途】 味甘、性平、无毒。具收湿敛疮、明目去翳、止血生肌作用，用于治疗目赤肿烂、湿疹、下疳阴疮以及外痔等症。炉甘石主要作为外用药，最常见于眼科与外科。

【鉴别特征】 白色；加热 HCl 起泡，冷 HCl 不起泡；加热易碎。

【产地】 广西泗顶厂；辽宁关门山。

## He006 铜绿 cuprocalcite

【别名】 铜青；铜锈

【组成与结构】 “生熟铜皆有青，即是铜之精华，大者即空绿，以次空青也”。《本草纲目》所说铜绿即天然的孔雀石，其成分为 $Cu_2[CO_3](OH)_2$，单斜晶系，多呈放射状、薄膜状集合体。系铜矿床的氧化带上产物。市售多为深加工或人工制品。

【物化性质】 蓝绿色、浅绿色，条痕为绿色。玻璃光泽至丝绢光泽。硬度 2.5～4.0。密度 4.0～4.5g/cm$^3$。加冷酸强烈起泡。在酸中全溶。

【功能与用途】 性寒，具解毒、收敛、杀虫之功能，用于治疗烂弦风眼；舌上生疮；膁疮顽癣；杨

梅毒疮；众蛇咬毒等症。因具毒性，仅用于外用。

【鉴别特征】 蓝绿色；在冷酸中全溶，并强烈起泡。

【产地】 湖北铜绿山；江西城门山。

## He007 扁青 azurite

【别名】 石青；层青；碧青；大青

【组成与结构】 “扁以形名。……绘画家用之，其色青翠不渝俗呼为大青”。据文献记载扁青应为蓝铜矿。其成分为 $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$。其中含 CuO 69.24%、$CO_2$ 25.53%、$H_2O$ 5.23%。常与绿青共生。单斜晶系，菱形晶体，为粒状皮壳状集合体，系铜矿床氧化带上次生矿物。

【物化性质】 蓝色、浅蓝色，条痕为蓝色。玻璃光泽至金刚光泽。断口不平。硬度 3.5～4.0。性脆。密度 3.7～3.9g/cm$^3$。易溶于水、酸、碱中。

【功能与用途】 味甘，性平，具破积聚、解毒气、利精神的作用。主治顽痰不化；目痒、目痛，并翳膜不明等症，在古代还属于涌吐药，是古代临床急救药之一。现临床比较少用。内服、外用均可。

【鉴别特征】 蓝色；条痕为蓝色；遇 HCl 起泡。

【产地】 湖北大冶；广东阳春。

## He008 曾青 stalactitic azurite

【别名】 层青

【组成与结构】 “形如黄连相缀，又如蚯蚓屎，方棱，色深如波斯青黛，层层而生，打之如金声者是真”。据古籍记载曾青应属于被膜状扁青或钟乳状蓝铜矿之集合体，常与绿青（孔雀石）共生。其成分仍为 $Cu_3[CO_3]_2(OH)_2$，但混入较多有色金属与稀土元素，成分比扁青复杂。单斜晶系，被膜状集合体。

【物化性质】 深蓝色，表面间有绿色（绿青）薄层。土状光泽，质硬难打碎。强火焰烧之有 Cu 的绿色火焰。加盐酸浸湿后火焰呈蓝绿色。加浓盐酸起泡。能溶于酸中。

【功能与用途】 味酸、小寒，具通九窍、破症坚积聚等作用。主治目生眵瞖、耳内恶疮等症。目前中医临床已很少应用。其多为外用。

【鉴别特征】 蓝色；钟乳状、被膜状。

【产地】 安徽铜陵；广东曲江。

## He009 绿青 radiated malachite

【别名】 石绿；大绿；碧青

【组成与结构】 南宋（桂海志）云：石绿、铜之苗也……生石中，质如石者，名石绿。据此疑为孔雀石。成分为 $Cu_2(CO_3)(OH)_2$，单斜晶系，单晶呈针状、针柱状或放射状同心环带状。常为被膜状、钟乳状或土状集合体。

【物化性质】 绿色、蓝绿色，条痕为绿色。半透明。玻璃光泽至金刚光泽。针状集合体呈丝绢光泽。断口不平。硬度 4。密度 4g/cm$^3$。加浓盐酸作用起泡。常用扁青、曾青共生。

【功能与用途】 味酸、寒、无毒，具有主益气、止泻利、疗鼽鼻之功能，可治疗鼻疳、头疮、耳疮以及卒中急风、眩晕僵仆、痰涎壅塞、心神迷闷等症。亦可作涌吐药，古代用于急救病人。此味药内服与外用均可。但现中医临床鉴于药源及其纯度问题比较少用。

【鉴别特征】 绿色；性脆；呈土状，被膜状；加酸起泡。

【产地】 湖北大冶；广东阳春。

# Hf　硅酸盐类药用矿物

硅酸盐类药用矿物数量与种类都比较多，其中有简单硅酸盐，也有复杂硅酸盐。在产出特征上基本可分两类：一种主要产于前寒武纪地层中，与区域变质作用密切有关；另一类主要产于中、新生代地层中，与沉积作用或风化淋滤作用有关。通常前者为铁镁硅酸盐类，如云母、滑石、不灰木（石棉）等。其溶解度较低，多为酸溶或碱溶矿物。后者多为铝硅酸盐矿物，如白石脂（高岭石）、黄石脂（伊利石）等，其溶解度较大，为水溶性矿物。但是不论哪一种该类药用矿物都有一定伴生矿物或其他元素的混入物。这些伴生矿物或微量元素对其治疗的药理和疗效将起何等作用目前还有待进一步研究。

硅酸盐类药用矿物在我国分布很广，药源较充足，有的价钱便宜，是临床中比较常用的矿物药。然而由于历史原因，其中一些矿物药已失传了，更重要是在药物鉴定、鉴别以及定名上有些混乱，同样一味药不同地方叫法不同甚至是不同的矿物药，这种混乱局面亟待纠正。

## Hf001　白石英　rock clystal

【别名】 水精；石英

【组成与结构】 《本草纲目》曾记载白石英为“六面如削，白澈有光，长五六寸者弥佳”。它所指的系较完好的巨晶和晶簇状石英。其成分为 $SiO_2$，三方晶系，晶体呈六方柱，晶面上常有花纹，多呈粒状、块状集合体。

【物化性质】 无色、灰白色。透明。玻璃光泽，断口油脂光泽。硬度 7，性脆。密度 2.65～2.66g/cm$^3$。晶体内常有气、液相包裹体。不溶于水而溶于酸、碱中。

【功能与用途】 味甘、微温，具温润肺气、镇咳、利尿、益气等功能。主治哮喘；肾脏阳气衰微；腹坚胀满；肾虚耳聋等症。白石英为内服药，但“久服多服则元气下陷”。

【鉴别特征】 无色；透明；柱状晶形。

【产地】 陕西华阳；山东泰安；内蒙古乌拉特中后旗。

## Hf002　玛瑙　agate

【别名】 马瑙

【组成与结构】 《本草纲目》称“玉属也，文理交错，有似马脑，因以名之。”其在矿物学上属石英的隐晶质变种。主要成分为 $SiO_2$，通常多由隐晶质 $SiO_2$ 玉髓与胶体的蛋白石（$SiO_2 \cdot nH_2O$）组成。呈环状、同心状以及条带状结构。

【物化性质】 灰色、红色、黄色、杂色，条痕为白色。蜡状光泽。断口细密平坦至半贝壳状。硬度 6～7。密度 2.6～2.7g/cm$^3$。不溶于水，而溶于酸、碱中，相对而言碱溶大于酸溶。

【功能与用途】 辛、寒、无毒，主辟恶、熨目赤烂及自生障翳。多研磨粉面于外用。

【鉴别特征】 坚硬；色调不均；呈同心状与环带状。

【产地】 内蒙古白乃庙。

## Hf003　菩萨石　quartz

【别名】 放光石；阴精石

【组成与结构】 据《本草纲目》记载应为隐晶质石英。成分为 $SiO_2$，矿物成分为蛋白石和玉髓及少量微晶石英。

【物化性质】 灰白色为主。玻璃光泽。硬度 5.0～5.5。贝壳状断口。密度 1.9～2.5g/cm$^3$。不溶于水，属碱溶性的药用矿物。

【功能与用途】 能消瘀血、通月经、解风肿、明目去翳。多用于妇科疾病，调经活血。亦可外用，用于除蛇、虫、蜂、犬之毒。

【鉴别特征】 色浅；硬度大；非晶质无晶形。

【产地】 内蒙古四子王旗。

## Hf004 云母 muscovite

【别名】 云母石；千层纸；云英；云珠；云液；云砂；云华；砚石

【组成与结构】 据《本草纲目》所述“生土石间，作片成层可拆，明滑光白者为上”。此系白云母。成分为 $KAl[AlSi_3O_{16}](OH)_2$，单斜晶系，晶呈假六方柱，常呈板片状或鳞片状集合体。

【物化性质】 无色、白色，或带黑褐色。玻璃光泽。透明。可剥成薄片。硬度 2.5～3.0。密度 2.76～3.10g/cm³。质韧不易打碎，有弹性。不溶于水，但易溶于碱中。为碱溶性矿物。

【功能与用途】 味甘，性平，无毒，具明目、止痢、平喘、补肾、止血、敛疮之功能。通常用于治消化道出血、风痫、金疮等。亦用于制补益药，疗五痨七伤、安五脏、益精子、明目等，但阴虚大炎者，慎勿误用。

【鉴别特征】 透明；能剥成片；富弹性；不溶于水。

【产地】 新疆；内蒙古。

## Hf005 金精石 vermiculite

【别名】 金晶石

【组成与结构】 古代有关金精石仅在元代刘河间《宣明方论》中作一味药列出。近来中医临床有一定用量，系属于水化金云母，即蛭石（可能含未水化金云母），成分为 $(Mg \cdot Fe \cdot Al)_3[(Al \cdot Si)_4O_{12}](OH)_2 \cdot 4H_2O$，单斜晶系，晶体呈假六方板、片状。

【物化性质】 黄褐色、褐色或金黄色。似金属光泽或油脂光泽。可制成片，具挠性或很弱弹性。硬度 1.0～1.5。密度 2.4～2.7g/cm³。烧之即胀裂至卷曲。有滑感。不溶于水，相对而言酸溶大于碱溶。

【功能与用途】 具安神镇静、去翳明目、解毒之功能。主要治疗心悸、失眠、角膜云翳等症。是以内服为主的矿物药。

【鉴别特征】 可制成片；具挠性；烧之膨胀。

【产地】 安徽大别山；湖北武当山；吉林集安。

## Hf006 滑石 talk

【别名】 脱石；画石；白滑石；桂府滑石；液石；冷石；番石

【组成与结构】 目前市场销售多为矿物学上滑石，而南方城市以石脂（高岭石）代之。滑石成分为 $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$，常含微量的 Fe、Mn、Al、Ni 等，单斜晶系，偶见菱形的片状晶体，常为致密块状集合体。

【物化性质】 白色，可呈各种色调的彩色。条痕仍为白色。珍珠光泽。硬度 1。密度 2.6～2.8g/cm³。无吸水性，不粘舌，具滑感。不溶于水，总体上酸溶大于碱溶。

【功能与用途】 具清热消暑、利尿渗湿之功能，可主治小便不利、除烦热心燥、腹胀痛闷、中暑、伤寒疫疠等症，亦可治肛裂。由于滑石具体滑，胎前亦忌之，小便清利及精滑者勿服。目前此药应用较乱，南、北方同名不同物，亟待统一。

【鉴别特征】 具滑感；条痕为白色；硬度小。

【产地】 辽宁营口。

### Hf007 白石脂 kaolinite

【别名】 白符

【组成与结构】 《本草纲目》称："赤、白石脂四方皆有，以理腻粘舌缀唇者为上"。用现代矿物学标准衡量即高岭石类黏土，其成分以高岭石为主，伴少量水云母、石英等。高岭石 $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$，单斜或三斜晶系。集合体多呈块状或土状。

【物化性质】 白色，间有黄色，或因铁、锰质污染成不均匀色调。土状光泽，致密时呈油脂光泽。具滑感与土臭味。硬度 1.0～1.5。密度 2.5～2.8g/cm³。吸水，具可塑，不膨胀，溶于水，属于碱溶性矿物。

【功能与用途】 具有止泻、止血之功能，主治小儿水痢、冷痢、止便脓血以及小儿脐中汁出不止、兼赤肿等症，对于妇女崩中漏下赤白沃也有疗效。白石脂以内服为主。

【鉴别特征】 有滑感；吸水，可塑性；土臭味；白色。

【产地】 江苏高岭；江西景德镇。

### Hf008 赤石脂 halloysite

【别名】 石脂；赤符；真赤石脂

【组成与结构】 《神农本草经》将赤石脂附于"五色石脂"。其矿物成分与成因和白石脂较相似，亦为高岭石类黏土，但其中以多水高岭石（埃洛石）为主，并伴有较多的 Fe、Mn 质，使其色调变红。通常为块状。

【物化性质】 红白相间，或砖红色、紫色。光泽暗淡。具滑感。硬度 1～2。密度 2.0～2.3g/cm³。失水后不再吸水，具强烈土臭。溶于水，亦溶于酸、碱中。

【功能与用途】 具有吸附与收敛作用，可用于治疗虚寒性泄泻或久痢不止，肠胃出血以及经多带下等症。亦可治疗慢性腹泻。外用可治疮痈溃痛。

【鉴别特征】 颜色比较杂；表面有滑感；硬度小。

【产地】 四川叙永。

### Hf009 黄石脂 illite

【别名】 黄符

【组成与结构】 《神农本草经》将黄石脂列为"五色石脂"之一，其亦为高岭石类黏土，但以水云母（伊利石）为主。因混入 $Fe(OH)_3 \cdot nH_2O$ 之故而呈黄色。常呈块状与土状集合体。

【物化性质】 黄色。土状光泽或油脂光泽。硬度 1～2。密度 2.0～2.3g/cm³。表面具滑感，煅制后质地松散，易碎。吸水，塑性不强，并粘舌。溶于水，亦溶于酸、碱中。

【功能与用途】 性甘、平。主治黄疸泻痢、肠癖脓血，阴蚀下血以及臃肿、疽痔等症。古代黄石脂作为单味药服用。

【鉴别特征】 黄色；细腻；有滑感；具弱可塑性。

【产地】 河南嵩山。

### Hf010 玉 jadeb

【别名】 白玉屑；玉屑；玄真

【组成与结构】 《本草纲目》曾写道："黄如燕栗、白如截脂……然服食者惟贵纯白，他色亦不取焉"。古人用玉入药以纯白为准而再没有分类。事实上市售入药的玉有硬玉 $NaAl[Si_2O_6]$（翡翠）、软玉 $Ca_2Mg_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$ 和岫玉等三种，由于其产出稀少且局限，因而各地采用不同。如东北地区多用岫玉，西北多用软玉。上述三者应为独立的一味药，其结构详见本书Ⅰ部分。市售多软玉

与岫玉。

【物化性质】 （针对软玉与岫玉）

白色、黄白色乃至各种浅色调。隐晶质。条痕为白色。蜡状或油脂状光泽。硬度 2.5～3.5。密度 3g/cm³ 左右。不溶于水。软玉易溶于碱而难溶于酸；岫玉易溶于 HCl 而难溶于碱。

【功能与用途】 味甘、性平、无毒。具有除胃中热、润心肺、止烦躁、滋五脏之功能。可治小儿惊啼、大人喘息烦满。此外配制成汤剂可明目、滋毛发、助声喉，起到保健作用。此味药多为内服。

【鉴别特征】 色泽鲜艳；硬度小；隐晶质致密块状。

【产地】 辽宁岫岩；新疆和田。

## Hf011 阳起石 tremolite

【别名】 羊起石；白石；阳石；起阳石

【组成与结构】 按历代本草所述，非矿物学上阳起石，而系透闪石。成分为 $Ca_2(Mg、Fe)_5[Si_4O_{11}]_2(OH)_2$，单斜晶系，晶体为长柱状、针状，常呈纤维状、放射状集合体。

【物化性质】 暗绿色、灰绿色。玻璃光泽或丝绢光泽。硬度 5.5～6.0。条痕无色。密度 2.9～3.0g/cm³。性脆。易折碎。不溶于水，相对而言碱溶大于酸溶。

【功能与用途】 味咸、微温，具补肾壮阳、祛寒暖宫之功能。用于治疗肾气虚寒、阳痿不举、精滑不禁、遗精早泄及手足厥冷、腰酸膝软等症。亦可治疗丹毒。阳起石属温性补肾药，其疗效似与配伍的药物有关。

【鉴别特征】 暗绿色；纤维状或放射状；易折碎。

【产地】 陕西洛南；甘肃甘南。

## Hf012 不灰木 asbestos

【别名】 无灰木

【组成与结构】 《本草纲目》记载："不灰木，形如针，文全若木，烧之无烟。此皆言石者也"。据此认为不灰木即石棉，其包括阳起石石棉或蛇纹石石棉，甚至滑石、水镁石质石棉。而蒙医所用的不灰木则为蓝石棉。石棉常呈纤维状集合体。

【物化性质】 白色、灰白色。纤维状，具丝绢光泽。摸之有柔软感，软似棉絮。极难、甚至不溶于水，可溶于酸、碱之中。微有土臭味。加热在 785℃以下其内部结构仍无变化。

【功能与用途】 甘、大寒、无毒。具除烦热阳厥之功能。可治小便不利、咽喉肿痛、足心烦热、霍乱心腹胀满气逆，内烦而呕、手足厥冷等症。此味药目前临床很少用。

【鉴别特征】 纤维状；柔软如棉絮；不溶于水。

【产地】 四川石棉；陕西商洛。

## Hf013 白垩 kaolinclay

【别名】 白垩土；白土粉；白善土，白土子

【组成与结构】 《本草纲目》曾写道："白土处处有之，用烧白瓷器坯者"。按上述记载药用的白垩应是高岭石黏土，俗称瓷土（高岭土），而不是岩石学中以碳酸钙为主的"白垩"。瓷土是以高岭石为主含有多量的埃洛石、少量蒙脱石、水云母、水铝石等多种矿物的集合体。呈土块状。

【物化性质】 白色、黄色、灰玫瑰色。土状光泽至油脂光泽。硬度 1.5～2.0。密度 2.0～2.2g/cm³。具有强的可塑性与黏结力。吸水，易溶于水中。相对而言碱溶大于酸溶。

【功能与用途】 味苦、性温，具有止血、止泻之功能。可治泻痢、阴肿、闭经、吐血、泄精以及虚热反胃等症。内服多入丸、散。外用可治痱子。此味药不可久服，伤人五脏，令人羸瘦。

【鉴别特征】 白色，条痕亦为白色；吸水性强；具可塑性与黏结力。

【产地】 河北邯郸；江西景德镇。

# Hg 硫酸盐类、硝酸盐类和硼酸盐类药用矿物

本节中以硫酸盐类药用矿物最多，硝酸盐类与硼酸盐类药用矿物仅为少数。由于它有相似之处，所以归并一起阐述。

硫酸盐类以及硝酸盐类和硼酸盐类药用矿物主要产出在湖北、山西、河北、青海、西藏等地。其中除白矾形成与火山作用有密切关系外，其他均产于古代或近代盐湖中，与沉积作用有关，特别是化学沉积作用有密切关系，往往只有化学沉积形成的才能作为药用。上述药用矿物经常共生组合在一起，并且有较相似特征，如颜色浅、硬度小、相对密度低、易溶于水中等。正因其特征较相似，目前在市售中往往张冠李戴，出现一些不一致现象。

## Hg001 长石 anhydrite

【别名】 硬石膏；直石；土石；方石

【组成与结构】《本草纲目》曾写道："长石即俗呼硬石膏者……理如马齿，方而润泽，玉色……"主要成分为 $CaSO_4$，常与方解石、石英与石膏共生。斜方晶系，晶体呈板状，常为纤维状、粒状集合体。

【物化性质】 无色、白色，有时为紫红色（药用仅限于白色）。条痕为白色。玻璃光泽。透明。硬度 3.0～3.5。断口不平，常显珍珠光泽。密度为 2.8～3.0g/cm$^3$。可溶于水，但酸溶的量大于水溶的量。亦可溶于碱中，其碱溶的量与水溶的基本相当。

【功能与用途】 味辛、性寒、无毒，具有利小便，通血脉，清热之功能。主要用于除烦躁，止渴，明目，杀虫，除毒以及治疗胃中结气等症。此味药多内服，但目前中医临床已很少应用。

【鉴别特征】 无色；条痕为白色；纤维状集合体。

【产地】 山西运城；湖北应城。

## Hg002 石膏 gypsum

【别名】 细理石；软石膏；冰石；生石膏

【组成与结构】《本草纲目》曾对石膏写道："有红白二者，红者不可服，白者洁净，细纹短密如束针，正如凝成白蜡状，松软易碎，烧之即白烂如粉"。其成分为 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$，偶伴有石英、硬石膏及黏土矿物。单斜晶系，板状晶形，纤维状集合体。

【物化性质】 无色透明至灰白色。条痕白色。玻璃光泽。硬度 2。密度 2.3g/cm$^3$。易打碎。溶于水，但在 38℃时溶解度最大也仅 0.29%。可溶于 HCl 无起泡现象。

【功能与用途】 味辛、微寒，具清热泻火、除烦止渴之功能。主治湿热病、感冒初起、高烧不退、肺热咳嗽、气喘、斑疹、湿疹、汤火烫伤和乳痈等疾病。近来还用于治流行性乙型脑炎和急性扭挫伤。内服、外用均可。

【鉴别特征】 白色；纤维状；硬度小。

【产地】 湖北应城。

## Hg003 理石 gypsit

【别名】 矾石；长理石

【组成与结构】 在古籍记载中理石概念比较含糊。据文献与市售情况判断理石应为石膏与硬石膏集合体，其中以石膏为主。多呈不规则状或纤维状集合体。

【物化性质】 灰白色，质硬，性脆，基本性质同长石和石膏。属于水溶性药用矿物。

【功能与用途】 味辛、性寒，具利胃解烦，益精明目，破积聚，去三虫之功能。此味药现中药临床很少应用，也无市售。

【鉴别特征】 纤维状：断面粗糙，可见明显亮点。

【产地】 湖北应城；山西运城。

## Hg004 玄精石 glauberite

【别名】 元精石；太阴玄精石；阴精石；太阴元精石；玄英石；大阴精石

【组成与结构】 据《本草纲目》描述，玄精石“大如杏叶，小者如鱼鳞，悉皆六角，端正似刻，正如龟甲状。烧过则悉解析，薄如柳叶，片片相离，白如霜雪，平洁可爱”。目前大多数人认为是钙芒硝。成分为 $Na_2Ca[SO_4]_2$，单斜晶系，晶形呈中间凸的龟背状。粒状、块状集合体。

【物化性质】 无色透明，或带黄、褐色调的灰色，中间多为黑色泥质包裹体。玻璃至蜡状光泽。具贝壳状断口。硬度 2.5～3.0，性脆。密度 2.75～2.85g/cm$^3$。溶于盐酸，亦溶于水。味咸，易风化。

【功能与用途】 味咸、性温。具有补心消暑、去邪热之功能，用于治疗头风脑痛、肺胃蕴热生痰，眼生赤脉及汤火伤痛等症。此味药多内服。应严密包装放在阴凉处。目前市售中局部地区已误用石膏为玄精石，应予纠正。

【鉴别特征】 白色；龟背状；味咸；易溶于水。

【产地】 陕北横山；山西运城。

## Hg005 扑消 glauber salt

【别名】 芒消；马牙消；盐消；皮消；风化消；元明粉；玄明粉；川消

【组成与结构】 古籍中曾描述扑消“生于盐卤之地，状似末盐，凡牛马诸皮须此治熟”。故此认为扑消系天然芒硝，或盐碱滩地下水经加工精制而成的含水硫酸钠。其成分为 $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$，呈单斜晶系，多为块状、粒状或皮壳状集合体。

【物化性质】 无色透明，略带黄色。玻璃光泽，硬度 1.5～2.0，性脆。密度 1.49g/cm$^3$。极易吸湿潮解，而干燥条件下失水。溶于水全部污化“与水同色”味凉而微苦咸。

【功能与用途】 味辛苦，大寒，具有泻热通便，润燥软坚，推陈致新之功能，用于治疗大便秘结，胀满欲死；喉痛齿痛；肾囊风以及外科感染等症状。此味药内服外用均可，但要严密包装，防止风化。扑消民间较常用，但多由刮扫地面土消，经溶解、过滤、重结晶而获得。

【鉴别特征】 白色透明；味凉苦咸；加热 30℃转为无水芒硝即元明粉。

【产地】 内蒙古乌盟；山西运城。

## Hg006 白矾 potassium alum

【别名】 矾石；明矾；白君；巴石；钾明矾；涅石

【组成与结构】 白矾为天然钾明矾经水溶、过滤、蒸发而成的，其成分为 $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$，等轴晶系，不规则状集合体，微量混入物极少。

【物化性质】 白色透明。玻璃光泽至油脂光泽。硬度 3.5～4.0，性脆。密度 2.6～2.8g/cm$^3$。易打碎，溶于水中，味涩。

【功能与用途】 味酸、寒，具解毒、止血、祛痰、燥湿、止泻、通便之功能，用于治疗风痰痫病，反胃呕吐，赤目风肿等症，亦可治传染性肝炎、子宫脱垂、溃疡病、腹泻、高血压和烧伤创面绿脓杆菌感染等。白矾火煅后即为枯矾 [$KAl(SO_4)_2$]，可消痰止泻、润心肺。

【鉴别特征】 白色透明；易溶于水，味涩。

【产地】 浙江义乌；福建。

## Hg007 绿矾 melanterite

【别名】 青矾；黑矾；煅赤者为绛矾；皂矾

【组成与结构】 “黑矾亦名皂矾，不堪服食，惟疮家用之”。天然产出者为水绿矾，成分为 $Fe(SO_4)\cdot 7H_2O$，其中含 FeO 28.84%、$SO_3$ 28.80%，单斜晶系，晶体呈针状，呈不规则粒状集合体，为干燥地区硫化物矿床的氧化带产物。市售多为精加工的。

【物化性质】 蓝绿色。条痕为绛红至褐红色。半透明至透明。硬度 2.5，性脆。密度 1.89g/cm$^3$。在空气中易失水变成三水硫酸盐，呈黄绿粉末。易溶于水中，相对而言酸溶大于碱溶。味酸涩。

【功能与用途】 性凉，无毒，具有燥脾湿、杀虫、补血、止痒、消积化痰、除湿解毒之功能。主要用于治疗食劳黄病，身目俱黄；耳生烂疮；喉风肿闭；汤火灼伤；狐臭以及缺铁性贫血等症。内服时多经煅烧制成绛矾服用。外用浓度不能太大，以免刺激。此味药应密装于阴干处。

【鉴别特征】 蓝绿色；在空气中易失水成粉末；性脆。

【产地】 甘肃白银厂。

## Hg008 胆矾 chalcanthite

【别名】 石胆；蓝胆矾；蓝矾

【组成与结构】 《本草纲目》曾写道：“此物出铜处有之……味极酸苦，磨铁作铜色。此是真也……”。天然胆矾成分为 $CuSO_4\cdot 5H_2O$，常含微量 Zn、Co、Mn 等元素。三斜晶系，晶体呈板状或短柱状，常为放射状、钟乳状集合体。为干燥地区铜矿床的氧化带产物，现市售多为精加工的。

【物化性质】 天蓝色、蓝色。条痕为白色。透明至半透明。玻璃光泽。贝壳状断口。硬度 2.5，性脆。密度 2.1～2.3g/cm$^3$。极易溶于水，水溶液呈蓝色，味极酸、苦、涩。

【功能与用途】 味酸、性寒，具催吐，杀虫，化痰，消积等作用，用于治疗食物中毒；痰涎阻塞咽喉；风眼赤烂；疯犬咬毒；金疮杨梅等症。亦可用于治疗皮肤肿瘤；白癜风等。此味药既可内服也可外用，因有毒，要慎用。

【鉴别特征】 蓝色；极易溶于水并呈蓝色；味苦、酸、涩。

【产地】 甘肃白银厂；江西丁家山；湖北铜绿山。

## Hg009 消石 nitre

【别名】 火消；焰消；地消；钾硝石；银消

【组成与结构】 《本草纲目》称“以其消化诸石，故名消石”。天然产硝石其成分为 $KNO_3$，含 $K_2O$ 46.5%、$N_2O_5$ 53.5%。斜方晶系，晶体呈板柱状，常呈疏松皮壳状或针状集合体。属于硝酸盐类矿物。

【物化性质】 无色或白色。断面为玻璃光泽。硬度 2.0～2.5，性脆，易打碎。密度 1.99g/cm$^3$。易溶于水，味苦。在酸性介质中几乎全部溶解。

【功能与用途】 味苦、性寒，具有利尿泻下、破积软坚、消胆中结石、清热利湿之功能，用于治疗劳淋、血淋、热淋、气淋、石淋及小便不通至甚者；心腹痛、腰腹痛似胆结石、膀胱结石症等。对黄疸、水肿、便秘、泻痢也有疗效。多为内服。

【鉴别特征】 白色；易溶于水；味苦涩。

【产地】 青海大柴旦。

## Hg010 硼砂 borax

【别名】 蓬砂；鹏砂；盆砂；白硼砂；月石；西月石

【组成与结构】 古籍道：“硼砂生西南番，有黄白二种。西者白如明矾，南者黄如桃胶。”说明了硼

砂产于干涸盐湖沉积中。成分为 $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$，含 $B_2O_3$ 36.6%，单斜晶系，晶形为短柱状，常为土状、块状、皮壳状集合体。属于硼酸盐类矿物。

【物化性质】 无色或白色，微带浅黄、浅蓝色调。玻璃光泽。硬度 2.0～2.5。相对密度 1.63～1.72g/cm³。性脆。易溶于水，味甜、涩味。

【功能与用途】 甘微咸、性凉、无毒，具有消痰止咳、消热解毒、喳膈反胃、生津去气与防腐之功能，可治咽喉痛肿；咽哑作痛；气闭痰结等症，亦可治癫痫；尿潴留；诸蛇咬痛肿以及急性腰扭伤和皮肤真菌病等。多为外用，也可内服。现市售多为工业硼砂再加工的。

【鉴别特征】 白色，玻璃光泽；易溶于水，味甜涩。

【产地】 西藏班戈湖、杜佳里湖。

## Hh 有机物为主的药用矿物

在中药中以有机物为主的药用矿物不多，目前仅收集两例：琥珀与石炭。

### Hh001 琥珀 amber

【别名】 玻瑰；真虎珀；血泊；遗王

【组成与结构】《本草纲目》写道："枫脂入地千年变为琥珀，不独松脂变也。玻珀如血色，以布拭热，吸得芥子者，真也"。显见，琥珀是一种树脂化石，产于煤层（常称煤珀）或河谷中，由琥珀松脂酸的龙脑醚、游离琥珀酸以及非晶质琥珀等混合物构成。主要成分为碳、氢、氧，但其含量变化大，一般为 $C_{20}H_{32}O_2$ 属非晶体。煤珀还含硫（<1%）。

【物化性质】 黄色、橙黄色、红色（俗称血珀）。透明。松脂光泽。硬度 2.0～2.5，质酥（煤珀质较硬）。密度 1.06～1.09g/cm³。燃之易熔，在 150℃开始软化，250～300℃熔融。摩擦带电。味淡。部分溶于酒精、乙醚和松节油中。

【功能与用途】 味甘、性平、无毒，具有镇惊安神、活血化瘀、利尿通淋之功能，可治疗泌尿系统结石；小便尿血；体内瘀血；小便赤涩不通淋沥作痛；阴囊血肿等症。此味药多为用服，而且认为琥珀优于煤珀。

【鉴别特征】 黄色透明；燃烧有松香气味；在紫外线照射下呈玫瑰色。

【产地】 陕西商洛。

### Hh002 石炭 stone coal

【别名】 煤炭；乌金石；焦石

【组成与结构】 目前临床使用与市售大多是石煤，也有的是一般煤块。主要成为有机碳，此外还含有数量不等的高岭石、蒙脱石、黄铁矿、石英以及微量元素 Ga、Ge、P、U 等。

【物化性质】 黑色、灰黑色。土状光泽。硬度 3 左右。可燃。不溶于水中。有一定吸附性。以富 $Al_2O_3$ 和 $SiO_2$ 为特征。粘手。

【功能与用途】 有解毒、活血之功能，用于治疗疮毒；妇女月经不调等症。目前中医临床不太常用此味药。它既可内服也可外用。

【鉴别特征】 黑色；粘手；可燃；条痕为黑色。

【产地】 江西萍乡；山西大同。

## Hi 药用的古生物化石

药用古生物化石涉及有脊椎动物、节肢动物、腕足动物和腔肠动物。其生成时代自古生代至

中、新生代，但其中以新生代脊椎动物的骨骼、牙齿、头骨等化石作为药用的最常见。药用古生物化石其化学成分均以碳酸钙为主，矿物成分主要为方解石。但由于各门类动物生成环境不同，其摄取其他元素及其数量也有所不同，所以各自具有不同功能和起着不同疗效。同时其生成受地域局限，分布与数量都很不均衡。药用的生物化石其药理研究还有待深入。目前药用珊瑚是现代珊瑚骨骼，现应归属动物药中，但鉴于其主要成分为方解石，且习惯称之为矿物药，故归入本节描述。

## Hi001 龙齿 dragon tooth

【别名】 真龙齿；正龙齿

【组成与结构】 龙齿为中、新生代哺乳类动物如三趾马、象、犀牛、羚羊等动物牙齿化石。其主要成分为磷酸钙与碳酸钙。矿物成分为隐晶质磷灰石、方解石和黏土矿物。

【物化性质】 灰白色至黄褐色，或具黄褐色与灰白色环带。似油脂状、珐琅状光泽。断口不平。硬度 5 左右。通常多为碎块；齿化石内部为灰白色，瓷状光泽。质坚硬，较重。煅制后色泽变暗，体较轻，质地变酥。可溶于 HCl 与 $HNO_3$ 中。

【功能与用途】 大寒，具镇惊安神，消除烦闷之功能，历代多用于治疗因惊成痫，狂言妄语症。此味药多为内服，但药源问题有待解决。

【鉴别特征】 表面具珐琅质，呈似油脂状与珐琅状光泽；具有丘状脊形齿冠可与其他动物骨骼区别。

【产地】 陕西蓝田；北京周口店。

## Hi002 龙骨 dragon bone

【别名】 白龙骨；粉龙骨；土龙骨；五花龙骨；化龙骨

【组成与结构】 为中、新生代哺乳类动物如象、犀牛、马鹿、三趾马、羚羊、恐龙等骨骼化石。主要成分为碳酸钙与磷酸钙。矿物成分为隐晶质磷灰石、方解石和黏土矿物。

【物化性质】 黄白色，呈骨骼状，表面较光滑，质较轻、酥松，易打碎。硬度 3～5，表面略具土状光泽或瓷状光泽，有土腥味。煅后颜色变暗，酥脆易碎，表面呈粉性，吸舌力强。可溶于 HCl 和 $HNO_3$ 中，但化学成分不稳定。

【功能与用途】 味甘、性平，具有镇惊安神、敛汗涩精、敛疮生肌的功能。用于治疗产后虚汗；遗尿淋沥；血热惊悸、烦躁、头痛；久痢不止与尿血等症。此味药主要为内服，目前市售常把龙齿与龙骨混用，并且用现代生物骨骼代之，应予注意。

【鉴别特征】 骨骼状；土腥味；煅后变暗；酥脆易碎。

【产地】 陕西蓝田；北京周口店。

## Hi003 石燕 spirifer

【别名】 大石燕；石燕子；燕子石

【组成与结构】 “石燕如蚬蛤，色如土，坚重如石”。它是古生代腕足类石燕科化石，主要成分为碳酸钙，矿物成分主要为方解石及黏土矿物。化石介壳残留有角质成分。

【物化性质】 暗灰色、钢灰色。完整石燕化石呈肾状形，长 2～3cm，一面中央隆起，另一面为同形状凹陷，两侧突出，有细的放射线纹。质重而硬，可打碎，断面粗糙。味淡。具可溶性，煅后可溶性有所增加。

【功能与用途】 性凉、无毒，具有清热、利湿之功能，用于治疗伤寒小便不通，小腹胀满；赤白带下，多年不止；肠风痔漏，面色虚黄，饮食无味；脏腑损伤，常泻不止等症。此味药多为内服。

【鉴别特征】 肾状形腕足类化石；坚硬；表面有纹线。

【产地】 湖南零陵；广西大厂。

### Hi004 石蟹 paleoerab

【别名】 大石蟹；蟹化石

【组成与结构】 为节肢动物如石蟹、鱼目蟹、扁沙蟹等古生物化石。主要成分为碳酸钙。矿物成分以方解石为主，含微量石英与云母等矿物。完整化石较少，多为碎块，常与其他介壳化石碎片混杂在一起。

【物化性质】 钢灰色、浅灰色，表色稍浅而黄，色泽不均匀。质疏易打碎，断面粗糙。土状光泽，可见稀疏的亮点。遇冷稀 HCl 起泡分解。溶于酸碱中，相对而言酸溶大于碱溶。

【功能与用途】 性凉，具有清热、利湿、解毒之功能，主要用于治疗喉痛、热痰、丁骨漆疮以及妊娠子宫痛和日夜频数涩痛等症。此味药多外用或磨汁服用。古籍记载此味药有催生落胎功能，现无临床实例。

【鉴别特征】 生物化石外形；色调不均，可见稀疏亮点；表面具稀疏珍珠样突起。

【产地】 广东潮州；台湾台中、新竹。

### Hi005 珊瑚 coral

【组成与结构】 为珊瑚虫繁衍过程中，碳酸钙依珊瑚体结构集聚，经钙化后而成的骨骼。主要成分为碳酸钙，并含一定数量角质、几丁质和有机酸等物质。矿物成分以方解石为主。珊瑚自古生代至现代都在衍生。入药者多为现代红珊瑚，即古人所说“入药用红油者”。

【物化性质】 红色，部分为黄色。表面具细密纵纹，光滑，油脂光泽。坚硬，性脆，硬度 3.0～3.5。不易折断。加酸起泡。溶于酸，溶出成分中 Sr 含量比较高。

【功能与用途】 味甘、性平、无毒，具有安神、宿血之功能，主要用于治疗心肺郁热，吐衄不止；心神昏冒，惊痫卒倒；怔忡烦乱等症，亦治疗眼有障翳等眼科疾病。此味药可内服，也可外用。

【鉴别特征】 红色珊瑚体形；滴酸起泡；坚硬而脆。

【产地】 海南南沙；福建东山。

## Hj 药用岩石

将岩石整体作为药用在中医药中比较少。目前比较少也仅几种，其中一部分与变质作用有关的，其形成时代较早，相当于前寒武纪或古生代。有一部分与岩浆作用有关，其形成时代主要为中新生代。对于药用岩石的药理性能目前除麦饭石比较明确，是由微量元素在医疗中起作用外，其他则不十分清楚，是其中主要矿物组分或某种矿物起作用，还是整体起作用。这还需深入研究。

关于黄土和矿泥二味药，因其分类归属上仍有不同看法，现暂并入本节描述。

### Hj001 花蕊石 serpentine marble

【别名】 花乳石

【组成与结构】 《本草纲目》写道：“黄石中间有淡白点，以此得花之名。”“体至坚重，色如硫黄，形块有极大”。据此判断系含蛇纹石的大理岩，或蛇纹石化大理岩。主要矿物成分为方解石，其次为蛇纹石及微量金云母、石英。呈花斑状结构，块状构造。矿物颗粒极其细小。“花蕊”即蛇纹石。

【物化性质】 黄白色、灰绿色。质重，坚硬。不溶于水，易溶于酸。煅制后色泽暗淡，质酥脆，轻砸可碎，并且表面与中心色泽基本一致。在酸溶中 Mg 的溶出量较多，它与蛇纹石含量有关。蛇纹石含量越高，溶出的 Mg 量也越大。

【功能与用途】 酸涩、性平、无毒，具有收敛止血，化瘀功能，可治疗五脏崩损、喷血不止；打扑

伤损、猫狗咬伤；内损血入脏腑；妇人产后败血不尽，血迷血晕等症。此味药多煅后用，内服、外敷均可，是矿物药中最佳止血药之一。

【鉴别特征】 黄白色花斑状；加酸起泡；煅后酥脆，煅前坚硬、质重。

【产地】 吉林通化；陕西汉中。

## Hj002 青礞石 chlorite schist

【别名】 礞石

【组成与结构】 古籍记道："坚细而青黑，打开中有白星点，煅后则星黄如麸金。其无星点者，不入药用"。其为绿泥石片岩，主要成分为绿泥石，其次为水化黑云母、石英等，鳞片变晶结构，片状构造。绿泥石 $(Mg,Fe)_5Al[AlSi_3O_{10}](OH)_8$ 含量约占 70%～80%。市售常与黑云母片岩混用。

【物化性质】 黑灰色。玻璃光泽或油脂光泽。触摸有光滑感。质酥，易打碎。断面为层状，斜片状。硬度 2.0～2.5。密度 3g/cm³ 左右。稍有火硝味。较易溶于酸中。加 $KNO_3$ 煅制后则酥软金黄色，轻打可碎，部分呈团块状。

【功能与用途】 味淡、无毒，具有去痰止咳之功能，可治急慢惊风、痰潮壅滞、塞于咽喉；痫症；喘息胸痹、瘰疬等症。用药时将青礞石用火硝煅过，药性始能发出。以内服为主，但气弱血虚者慎用。

【鉴别特征】 灰黑色片状构造；煅后呈金黄色；表面有光滑感。

【产地】 内蒙古大青山；安徽大别山。

## Hj003 金礞石 mice schist

古籍未明确金礞石为一单味药。据《中药志》载："其原矿物为棕褐色，有珍珠光泽的小云母片"。据此认为金礞石为云母片岩，其主要成分为富铁的黑云母，含量占 70%，其次为绿泥石、石英等，鳞片变晶结构，片状构造。市售常以绿泥石-黑云母片岩代之。

【物化性质】 黄黑色、黄色，玻璃光泽。体轻、质酥，易捻成碎片，甚至捻成碎面。碎片具挠性，灼烧崩裂而无明显胀裂。不溶于水，但碱溶大于酸溶。煅制后成金黄色，光泽加强，但更酥碎，碎片呈麦麸状。

【功能与用途】 逐痰，平肝。治痰涎壅塞喘急，癫痫、精神狂躁等症。也可治热痰引起的惊风抽搐等症。对食积不消也有疗效。此味药多入丸、散。以往处方中礞石应指青礞石，不应用金礞石代之。

【鉴别特征】 黄黑色；易碎；煅后为金黄色。

【产地】 山东泰山；河北燕山。

## Hj004 海浮石 pumice

【别名】 海石；水花；浮石

【组成与结构】 古籍曾写道：海浮石"有细孔如蛀窠，白色，体虚而轻。今皮作家用磨皮垢甚妙，海中者味咸，入药更良"。据此目前市售有大海浮石与小海浮石两种。前者为多气孔火山浮岩，主要由火山玻璃与少量呈斑晶状硅酸盐矿物组成，气孔中偶见方解石、沸石与石髓的杏仁体。斑状结构、气孔状构造。小海浮石是贝壳碎屑为核心的沉积结核，主要成分为微晶质方解石，结核状构造。目前市售中多用大海浮石，但东北地区例外。

【物化性质】 大海浮石为浅灰色、灰黑色与黑色。表面粗糙具无数小孔，似海绵状，具较高吸水能力。硬而酥脆，体轻，易打碎。断面粗糙、表里相同。不溶于水，可溶于酸、碱中。

小海浮石为灰白色，带黄色色调。有众多小孔，体重，质硬，可打碎。断面似棉，成层状，与表面不一样。略有腥气。滴酸起泡。酸溶大于碱溶。

【功能与用途】 性平、无毒。具清热降火、消积块、化老痰之功能，用于治疗咳嗽不止、痰热、血淋、小便涩痛及疝气、疮肿等症。其中大海浮石对消除瘿瘤结核较有效，而小海浮对治疗咳喘病较显著。此味药多用于内服。在用药中海浮石必须是从海里捞上来的，否则药效大有不同。
【鉴别特征】 表面具有众多气孔。大海浮石质轻，可浮水面，表面与断面相同；小海浮石质重，表面多小孔，里面有贝壳核心，表里不一致。
【产地】 山东烟台；浙江舟山；广东湛江。

## Hj005 麦饭石 maifan stone

【别名】 长寿石（中国台湾）；健康石（日本）
【组成与结构】 为含有一定微量元素的半风化的花岗岩类岩石。主要矿物成分为钾长石、斜长石、石英，其次为黑云母、角闪石以及副矿物磷灰石、榍石、锆石、磷钇矿和高岭石、蒙脱石、水云母等黏土矿物。斑状、似斑状结构、花岗结构，块状构造。
【物化性质】 具有对重金属 Pb、Cu、Zn、Cd、Cr、Mn、Ni 等和放射性元素 U、Th 等的吸附作用，特别对水中氰化物、酞酸酯及致癌杂菌有很强的吸附作用。同时也具有溶解性，能浸出 Sr、Le、Mo、S、B 等多种微量有益元素。
【功能与用途】 可治疗脚气、慢性胃病、高血压、皮癣等症。可内服也可外用。此外还可用于活水净化、水质澄清，保证居民饮水卫生，提高健康水平将起重大作用。
【鉴别特征】 基本特征同花岗岩，具体性能需专业实验分析鉴别。
【产地】 内蒙石哲里木；河南嵩山；陕西小秦岭；辽宁朝阳；山东泰安。

## Hj006 阴起石 chlorite-actinolite schist

【别名】 石生
【组成与结构】 阴起石未见古籍记载。目前各地市售不一致，有的为滑石片岩，有的为滑石-水镁石片岩，有的为绿泥石化阳起石片岩。个别地方还有的为滑石-阳起石片岩。从有关资料看绿泥石化阳起石片可能比较接近。其主要成分为阳起石、绿泥石、滑石、石英等，花岗变晶结构、片状构造。阳起石含量在 70%左右，当滑石含量增高，则过渡为滑石-阳起石片岩，但务必将滑石分开。
【物化性质】 青绿色，夹有黑色斑块。质较硬，性脆，易打碎。断面显层，碎块仍呈条状。具滑感。有泥土味。表面具珍珠或丝绢光泽。密度 $3g/cm^3$ 左右。不溶于水，溶于酸、碱中。相对而言碱溶大于酸溶。
【功能与用途】 此味药为民间验方常用品种，古代文献中无记载。阴起石具有起阴助阳，温暖子宫的功能，通常用于治疗子宫寒冷、久不受孕、白带白淫、淋漓不止等症。此味药多作为散剂应用。
【鉴别特征】 灰绿色表面有黑色斑块；表面有滑感；片状构造，破碎后仍呈条状。
【产地】 内蒙古武川；陕西汉中；河南嵩山。

## Hj007 矿泥 black earch

【组成与结构】 矿泥古籍没有详载。为火山灰物质经长期土壤化后而成的黑泥土。主要成分为硅酸盐、碳酸盐与氧化铝等，同时还有多种微量元素以及氧等。呈疏松状或半固结状态。
【物化性质】 黑色、灰黑色。土状光泽。具有一定的可塑性。干燥时比较酥松，可捻成粉。加水可成悬浮液。具泥腥味。
【功能与用途】 此味药系民间验方常用品种，故古代文献中无详载。主要用于治疗头疮、疥疮、牛皮癣、脱毛秃顶等症并取得一定效果。通常用于外敷，其效力可能与矿泥中含有氡气有一定关系。能否内服未见报道。
【鉴别特征】 黑色；泥腥味重；加水呈悬浮液。

【产地】 黑龙江五大连池。

### Hj008 黄土 loess

【组成与结构】 黄土在古籍中记载不多。其主要成分为粉砂，其次为黏土及少量砂粒，有时还混有矿物碎屑，如长石、石英、云母等。常含钙质结核（姜石）。呈疏松状或半固结状态。

【物化性质】 灰黄色。干燥时较坚实，能保持一定状态，遇水浸润或冲刷后则崩解，并发生塌陷。孔隙与柱状节理发育。能溶于水中，呈浑浊液。具有可塑性。土腥味。

【功能与用途】 具解毒、泻痢、腹热、下血等功能。此味药系民间验方常用的品种，通常取黄土水煮，去渣，内服。

【鉴别特征】 土黄色；松散状；有土腥味。

【产地】 陕西延安；河北邯郸。

## Hk 加工的药用矿物

本节所述的是以矿物为原料经加工而成的药品，也可谓人造药用矿物或人造矿物药。其中包括由单味药用矿物加工后而成的、由多味药用矿物加工而成的、由矿物炼制的产品经再加工后而成的。上述三种加工矿物药以前者最常见。其加工方法相对比较简单，加工后使原矿物药的功能、用途及其疗效都发生不同程度的变化，从某种意义上讲促使了矿物药向更高方向发展。但由于时代局限性，它所涉及的矿物种类还不多，主要为硫化物类药用矿物，加工过程也比较粗简，所以成品的稳定性则比较差。至于其药理仍有待今后进一步研究与探讨。

### Hk001 秋石 refined salt

【别名】 秋冰；秋白石

【组成与结构】 古籍曾云："此盖仿海水煎盐之义，方士亦以盐入炉煅成伪者"。据此秋石应系石盐的人工煅制品，实属加工精盐。其成分为 NaCl，杂质混入物极少。粒状集合体。古代以童子溺炮制。

【物化性质】 白色。疏松。质重而坚脆，易碎。易潮解。溶于水中，也溶于酸性介质中。味咸。

【功能与用途】 味咸、无毒，具有滋肾水，养丹田，安和五脏，消咳逆稠痰，积块软坚之功能，用于治疗噎食反胃；白浊遗精；赤血带下；羸弱久嗽；腹胀喘满等症。此味药多内服。临床治疗时不应将现在秋石与古代由童便浓缩而成的"人中白"混为一谈。

【鉴别特征】 白色；质纯；溶于水，味咸。

【产地】 全国各地。

### Hk002 白灰 lime

【别名】 石灰

【组成与结构】 系天然石灰岩加工后产品。石灰岩煅烧后去掉残渣即成生石灰，后者若吸水则成熟石灰。其主体成分：生石灰为 CaO，熟石灰为 $Ca(OH)_2$。粉末状或块状。

【物化性质】 白色。生石灰白色粉末加水后将放出热，成为白色块状的熟石灰。两者均能溶于水中。呈浑浊液，味涩。

【功能与用途】 具有解毒、止血、燥湿、杀虫之功能，用于治疗创伤出血，火烫等。

【鉴别特征】 白色粉末状；溶于水中能发热。

【产地】 全国各地石灰产区。

### Hk003 伏龙肝 burned loess

【别名】 赤伏龙肝；伏龙；灶心土；灶心黄土；陈伏龙肝

【组成与结构】《本草纲目》写道："凡使勿误用灶下土。其伏龙肝，是十年以来，灶额内火气积火自结"，其系黄土经柴草多年烧结而成的烧焦之黄土。其主要成分为高岭石，其次为长石、云母及褐铁矿。呈土状或块状。

【物化性质】 红褐色、黑褐色。土状光泽。致密，局部疏松多孔。断面显颗粒状。硬度 3。密度不均一，变化于 2.2～2.6g/cm$^3$。有土腥味，略吸舌。可溶于水中。体轻，较坚硬。但可砸碎。

【功能与用途】 味辛、微温，具有收敛止血、止呕和胃、消痈肿毒气之功能，可治呕吐反胃、各种出血症、妊娠呕吐以及小儿丹毒等疾病。此味药多内服，也是民间验方常用药。据报道在农村有的用砖瓦代替伏龙肝也取得较好的疗效。但灶土或砖瓦其所用原料不同，必将影响疗效。

【鉴别特征】 黑褐色、红褐色；不规则土状块体；具土腥状。

【产地】 全国农村各地。

### Hk004 铅丹 minium

【别名】 黄丹；丹粉；铅华；黄虢丹；朱丹；朱粉；红丹；厂丹；障丹

【组成与结构】 铅丹有天然产出，常与方铅矿伴生，但不入药用。现所用的系铅与硫黄、消石、醋加工制成的。成分为 $Pb_3O_4$，其中含 $PbO_2$ 最高 34%。四方晶系，粉末状或细鳞片状集合体。

【物化性质】 黄红色粉末。条痕为橘黄色。不透明，土状光泽。质重易吸湿结块。捻之细腻染指。硬度 2～3。密度 4.6g/cm$^3$。加热易熔，可见密集微小铅粒。难溶于水与酸、碱中。相对而言酸溶大于碱溶。

【功能与用途】 味辛、微寒，具有杀菌、收敛、拔毒之功能，可治金疮及一切恶疮、外痔、鸡眼以及破伤水入、肿溃不愈等症。此味药多外用调敷或熬膏张贴。

【鉴别特征】 黄红色粉末；难溶；易熔可呈现微小铅粒。

【产地】 云南会泽（天然的）；全国各地（人工的）。

### Hk005 铅粉 hydrocerusite

【别名】 铅华；铅霜；粉錫；胡粉；官粉；宫粉；光粉

【组成与结构】《本草纲目》指出"即今化铅所作胡粉也，而谓之粉錫，以与今乖"。表明铅粉系铅经过加工制成的，称水白铅矿，成分为 $Pb_3[CO_3]_2(OH)_2$ 或为 $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$，理论上含 PbO 86.33%，三方晶系鳞片状晶形，粉末状集合体。水白铅矿有天然产出，但量少不足药用。

【物化性质】 白色粉末、半透明。珍珠光泽至金刚光泽。硬度 3.5。密度 6.14g/cm$^3$。易吸湿结块，捻之细腻染指有滑感。难溶于水，相对而言碱溶往往大于酸溶。

【功能与用途】 味辛、性寒，具有杀虫、解毒、收敛之功能，可治痈疽发背恶疮、火烧疮、疥癣、狐臭等症，亦可打虫、止便、消胀等。内用外敷均可，但脾胃虚弱者不宜用，妊妇忌之。

【鉴别特征】 白色粉末；相对密度较大；染指有滑感。

【产地】 辽宁本溪（天然的）；全国各地（人工的）。

### Hk006 密陀僧 litharge

【别名】 没多僧；炉底；蜜陀僧

【组成与结构】《本草纲目》曾详述密陀僧制作过程，指出在炼银时"其灰池感铅银气，积火成此物，未必自胡中来也"。其系铅的氧化物，成分为 α-PbO 常与铅黄（PbO）相伴。四方晶系，晶体呈板状或鳞片状。致密块状集合体。密陀僧亦有天然产出，其为铅锌矿床氧化带上氧化不足时产

物，数量极少。

【物化性质】 橘黄色、黄红色。油脂光泽或暗淡光泽，硬度 2～3，性脆。密度可达 9g/cm³。质重而坚硬。打碎后在断面上成层，有时还可见到各种色调层纹相间分布。能溶于盐酸、硝酸中，而缓慢溶于碱。

【功能与用途】 味咸辛，有小毒，具有止血、杀虫、燥湿之功能。用于治疗多骨疮、血风臁疮、阴汗湿痒、赤白痢、湿疹、疥癣、狐臭等疾病。治疗失音也有一定效果。此味药多外敷或入丸、散，内服慎之。

【鉴别特征】 橘黄色；不同色调层纹相间分布；相对密度较大。

【产地】 陕西甸阳、辽宁（天然的）；全国各地（人工的）。

## Hk007 银朱 artificial cinnabar

【别名】 辛红；猩红

【组成与结构】 古籍记载曰："昔人谓水银出于丹砂，熔化还复为朱者，即此也。"所以银朱系以水银、硫黄为原料制成的，其成分与辰砂相同，为 HgS，呈细粒状或疏散的土状集合体，三方晶系。

【物化性质】 深红色粉末，呈金刚光泽。吸湿易结块、捻之极细而染指。质重、松散。能溶于酸、碱中，通常碱溶相对比酸溶大得多。

【功能与用途】 辛、性温、有毒，具有杀疮虫、治脑风、熏厉风疮、能收水去毒、躁湿提脓之功能，用于治火焰丹毒、汤火灼伤、咽喉疼痛、黄水湿疮、癣疮有虫等疾病。此味药多以外用调敷为主，内服仅微量入丸、散。

【鉴别特征】 深红色粉末；能染指；金刚光泽；质重。

【产地】 全国各地制药厂。

## Hk008 白降丹 artificiat chloride of the mercury

【别名】 降丹

【组成与结构】 白降丹历代有廿多种制作方法，是由水银与适量的火消、食盐、白矾等配料炼制而成。其成分主要为 $HgCl_2$，有时混有轻粉 $Hg_2Cl_2$。晶形呈薄片状，晶簇状集合体。目前在自然界未发现与其相应的矿物。

【物化性质】 白色，带微黄色调。透明，质重，易碎。硬度近 2.5。玻璃光泽。能溶于水，并随温度升高，其溶解度也增加，在 100℃可达 56%。在疡面条件下酸溶大于碱溶。

【功能与用途】 有毒，具有杀菌防腐功能，用于治痈疽发背，一切疔毒；提脓拔毒，退管生肌。近来用于治疗皮肤癌、颈淋巴结核、骨结核都起一定疗效。此味药有毒性与腐蚀性，切忌内服，外用亦宜微量，属于毒剧药，应密闭低温保存与严格依法管理。

【鉴别特征】 白色针柱状晶簇；易溶解，并随温度升高溶解度增大。

【产地】 全国省级以上医药公司方可监制出产。

## Hk009 红粉 montrogdite

【别名】 红升丹；大升丹；小金丹；升药；红升；红粉片；升丹

【组成与结构】 红粉历代有 22 种制作方法，是由水银、火消、白矾等三味主药，加上其他配料如食盐炼制而成。成分为 HgO，薄片状晶形，粒状集合体。自然界中与其相当的矿物称橙汞矿（橙汞石）仅在美国与我国贵州偶见，数量极其有限。

【物化性质】 橙红色、橙黄色。半透明。硬度大于 2.5。金刚光泽，质重、性脆，易研磨。有特奇臭味，不能入口。易溶于盐酸、硝酸中。在疡面条件下碱溶大于酸溶，其溶解度大于白降丹与轻粉。

【功能与用途】 有毒，具去腐拔毒，生肌长肉之功能，用于治疗烂脚恶疮、下疳腐烂等症。近来在临床上亦用于治疗术后切口感染起杀菌作用。红粉对金黄色葡萄球菌和大肠杆菌的灭杀能力比石炭酸大 100 倍以上。效果较好。此味药仅宜微量外用。应密闭、低温、避光保存。
【鉴别特征】 橙红色；有奇特臭味；金刚光泽。
【产地】 全国省级以上医药公司方可监制出产。

## Hk010 轻粉 calomel

【别名】 汞粉；峭粉；腻粉；水银粉
【组成与结构】 轻粉是应用较早，疗效较好的一种丹剂。主要由水银、白矾、食盐等炼制而成。成分为 $Hg_2Cl_2$，呈薄片状晶形，四方晶系，粒状、粉末状集合体。自然界与其对应的矿物称汞膏（角汞矿），数量极少。
【物化性质】 无色透明。玻璃光泽到金刚光泽。体较轻、性脆、易碎。几乎不溶于冷水，部分溶于 HCl，但不溶于 $HNO_3$。在疡面条件下碱溶比酸溶大得多。味淡，久之有“甜”感。
【功能与用途】 辛、性冷、无毒，具有治疮毒、消水肿、止血痢之助能，可治疗生癣、头疮、杨梅疮癣、下疳阴疮等，也可治疗大小便关格不通、膨胀喘急等症。此味药大多为外敷。内服常作缓泻药。虚人不宜服。
【鉴别特征】 白色粉末；不溶于冷水；味淡，久之有“甜”感。
【产地】 全国各地制药厂。

## Hk011 小灵丹 artificail orpiment

【别名】 人造雌黄金粟丸
【组成与结构】 小灵丹系由硫黄与雄黄经升华制成的非晶质硫砷化合物。呈粉末状集合体。成分为 $As_2S_3$。
【物化性质】 火红色、橘红色。透明至半透明。玻璃光泽。质坚而重。硬度近 3.5，性脆，易打碎。断口为贝壳状。可溶于水中，味淡。相对而言碱溶大于酸溶。
【功能与用途】 具有散寒止痛之功能，可治疗固脾肾虚引起的偏坠疝气；脾虚久泻；胃寒腹痛；妇女血寒、行经腹痛、湿寒白带等症。主要用于制作内服丸、散。
【鉴别特征】 火红色；透明至半透明；整体无定形。
【产地】 全国各地中药厂。

## Hk012 砒石 arsenolite

【别名】 红砒；白砒；人言；信石；砒黄；砒霜
【组成与结构】 天然砒石系毒砂、雌黄等矿床氧化带上产物，相当于砷华。由于其数量少，历代均以人工制品代之。古籍曾记载其制法：“将生砒就置火上，以器覆之，令烟上飞，着器凝结，累然下垂，如乳尖者入药为胜，平短者处之”。现常以毒砂、雄黄、雌黄为原料来制取，成分为 $As_2O_3$，典型者为等轴晶系，八面体晶形，土状、钟乳状集合体。
【物化性质】 无色至灰白色，带有蓝、黄、红等色调。并有不同颜色层次，中间颜色浅，上、下颜色深。质脆、轻打可碎。稍经加热显臭蒜味和硫黄臭气。硬度 1.5～2.0。密度 3.7～3.9g/cm³。缓慢溶于水中，通常碱溶大于酸溶。
【功能与用途】 性暖，有毒，具去腐拔毒、平喘、解毒、去痰之功能，主治皮肤癌；多年肺气喘息，咳嗽晨夕不得眠；体表恶性肿瘤；遍身生云头癣等疾病。砒石市售有砒黄与砒霜两种，后者更纯净。一般多外用。其畏绿豆、豆腐与腊，内服往往配其煮后应用。砒石属剧毒药，要依法管理市售与服用。

【鉴别特征】 加热有蒜臭味和硫黄臭气；缓慢溶于水中；色调较杂，并有层次。
【产地】 全国大型中药厂。

### Hk013 铁落 fragment of the iron

【别名】 铁打落；生铁落；铁屑
【组成与结构】 为煅铁时砧上捶打落下的铁屑。成分为 $Fe_2O_4$，常含微量 Pb、Zn、V 等。
【物化性质】 灰黑色，表面有锖色。金属光泽。不透明。硬度 5～6。性脆。不溶于水，在酸、碱中微溶。可研磨成粉状。
【功能与用途】 具有除热止烦，降火镇惊，平肝潜阳之功能，可治风热恶疮；火上忧；癫狂症等。此味药既可外用，也可内服。
【鉴别特征】 灰黑色；硬度大；有磁性。
【产地】 全国各地药厂均有生产。

### Hk014 针砂 powdery steel

【组成与结构】 为钢的细粉末。成分为 $Fe_3O_4$，常含微量的 Mn、Ni、Cr 等元素。
【物化性质】 钢灰色。金属光泽。不透明。硬度 6～7，性脆。不溶于水，微溶于酸、碱中。
【功能与用途】 具有镇惊、平肝之功能，可治疗心神不安，黄疸等疾病。此味药多用于配制丸、散，内服。
【鉴别特征】 钢灰色；质坚；具磁性；硬度大。
【产地】 全国各地药厂均可生产。

### Hk015 赤铜 powdery copper

【别名】 红铜；铜落；铜末；铜屑；铜粉；铜砂
【组成与结构】 赤铜系打铜时落下的铜屑，相当于金属铜，但常含有微量元素 Pb、Zn、Au、Ag 等。
【物化性质】 铜黄色。金属光泽。不透明。硬度 2.5～3.0。强延展性。密度 8.5～8.9g/cm$^3$。具有导电、导热性质，不溶于水，而溶于酸中。
【功能与用途】 具有清热、去火之功能，可治疗风热病、风眼症、腋臭、白癜风以及接骨焊齿等，此味药常作丸、散内服，也可调配外敷。
【鉴别特征】 铜黄色。硬度小。表面有锖色或发红。易研磨成粉。
【产地】 全国各地制药厂。

## 参 考 文 献


1 陶维屏主编. 中国工业矿物与岩石上册. 北京：地质出版社，1987
2 马鸿文主编. 工业矿物与岩石. 北京：地质出版社，2002
3 地质部地质辞典办公室编辑. 地质辞典（二）. 矿物、岩石、地球化学分册. 北京：地质出版社，1978
4 李鸿起，李大经等. 中国矿物药. 北京：地质出版社，1988
5 郑延力，樊素兰. 非金属矿产开发应用指南. 西安：陕西科学技术出版社，1992
6 全国矿产储量委员会办公室主编. 矿产工业要求参考手册. 北京：地质出版社，1987

# I　宝玉石和观赏石

## 概论

本书前面各章所介绍的矿物和岩石多是涉及工农业和建筑业等生产所需的原料，供人类的物质生活所需或救死扶伤所用。而本章所介绍的矿物和岩石，主要是供人类的精神生活所需。天然宝玉石以其美观、耐久、稀少、珍贵，自古至今，为人们所喜爱，是财富、权贵、高雅和文化品味的象征。当今宝玉石的开采和交易，更成为一些国家和地区的经济支柱。据国际地质科学联合会统计，1984 年世界非能源矿产总值中宝石产值占有 1/10 以上，其产值仅次于铁矿石和黄金而居第三位。主要生产国是澳大利亚、扎伊尔、博茨瓦纳、俄罗斯、南非、印度、巴西、哥伦比亚、缅甸、斯里兰卡和泰国。

中国人对玉更偏爱，玉文化极优深广博，更有独特的印章石和砚石文化，对观赏石的品评也有许多独到之处。

宝玉石的收藏和评赏，历史上多属权贵和有钱人的爱好，国强民富的太平盛世，宝玉石业兴；战乱灾荒年代，则宝玉石业萧条。晚清和民国时期，中国许多历史文物和珍宝美玉，大量流失海外。新中国成立后，流失现象虽得以制止。但建国初期，还属国穷民贫的初创阶段，宝玉石业的恢复和发展较慢。改革开放后，经济迅速发展，人民生活水平大有提高。随着衣食住行条件的改善，人们文化修养和生活素质的提高，促进了宝玉石事业的大发展。不仅天然宝玉石贸易大增，优化宝玉石、人造宝玉石和宝玉石的仿制品也蓬勃兴起。

2004 年 4 月 6 日科技文摘报第三版载有 2004 年上海国际珠宝首饰博览会情况，报道以上海为中心的我国铂金消费达 150 万盎司，占全球总销量的 52%；黄金消费 240t，在全球排第三，仅次于美国和日本；钻石饰品销售突破 100 亿元，成为亚洲最大的钻石市场，还是亚洲最大的翠玉市场。我国淡水珍珠的产量全球第一，占全球总产量的 95%。

1984 年国际地质科学联合会新闻杂志报道，世界非能源矿产总值是 1400 亿美元，其中宝石产值为 149.90 亿美元，仅次于金和铁的产值而居第三位。

珠、宝、玉石业，大产业！

限于本书只能对宝石和玉石等作科普性介绍，读者若想深入详细的了解宝玉石知识及市场情况，请查阅有关专门书籍和期刊。此方面的鸿篇大作现在出版许多。

## Ia　宝　　石

### 一、概述

#### （一）什么是宝石

狭义概念的宝石指自然界中色泽艳丽、透明无瑕、硬度、化学性质稳定或者是透明度稍差，但具特殊光学效应，粒度大于 3mm 以上的单矿物晶体称为宝石。广义概念的宝石包括无机宝石和有机宝石两大类。两大类宝石中又可分天然宝石和人造宝石；后者又分为按照某些天然宝石的化学组成，模拟在自然界中生成的物理、化学条件，用人工方法合成的宝石，称为合成宝石。另一类是利用特殊玻璃或某些无机化合物、有机塑料仿制成某些宝石，在自然界并没有物理化学性质与之相对应的天然宝石，这种仿制品也称赝品。现在市场上合成宝石和仿制品宝石不少，本文主要是介绍天

然宝石及其主要特征。

（二）天然宝石必须具备的条件

宝石制品是用来美化和装点人们生活的，宝石必须具有美观、耐久、稀少三大特点。用做宝石的矿物必须粗大（粒径大于3mm），颜色艳丽、透明、少瑕或特殊光学效应者，世界上已发现矿物3000余种，但常见宝石矿物仅20余种，这20余种矿物中的极少数才形成粒大色美透明的宝石矿物。宝石还必须耐久，要硬度高，不怕腐蚀，可作传家之宝，世袭之物。物以稀为贵，任何美丽的东西如果遍地皆是就不显其名贵了。当今人造红宝石的物理、化学特性皆与天然红宝石类同，也属宝石范畴，但人们愿要价格昂贵的天然红宝石，而不要价格极低的人造红宝石，就足以说明物以稀为贵的含义了。

（三）天然宝石的经济评价依据

天然宝石经济评价的依据包括以下五个方面。

1. 品种

国际市场上常见的20余种宝石按美观、耐久、稀少三个因素综合考虑，可分为高、中、低三个档次，属高档的是五大宝石：钻石、红宝石、蓝宝石、祖母绿和金绿宝石（猫眼石、变石）。它们的优质品价格均在150美元/克拉以上。坦桑石（蓝色黝帘石）、欧泊、海蓝宝石、绿柱石、电气石、尖晶石、锆石、方柱石等多属中档宝石，黄玉、水晶、月光石、锂辉石等多在低等宝石范畴之列。不同品级的宝石价格差异很大，同是一克拉重的优质宝石，钻石价格是5000美元，海蓝宝石200美元，黄玉15美元。

2. 质量

同种宝石不同的质量，如颜色的色相、亮度、饱和度、透明度、净度、特殊的光学效应及清晰程度，均属经济评价的参数。同一种宝石，不同的质量等级，差价可达5～10倍。通常优质的中档宝石价格比劣质的高档宝石价格高。宝石本身的质量好坏是宝石评价的关键。

3. 质量

自然界中产出的宝石颗粒均较细小，所以宝石的价值通常以宝石个体质量的平方向上增长，价格$=D^2\times K$，$D$为宝石的质量。$K$为每克拉的价格。特别大的宝石不在此列，它们很少在市场交易，多作为珍宝被国家或富商珍藏。

4. 款式和磨工

高档宝石多有特定的款式，以充分展示该宝石的光学特性。每种款式的上、下刻面均有一定比例，棱面之间有一定交角。抛光技术更为重要，直接地影响宝石的反光效果。有人说“三分材料七分工”，同样的原料，磨工不同，宝石效果就相差甚远，价格也大不相同。

5. 买主的喜爱

由于购买宝石的买主，各自的文化修养和传统爱好不同，所以对宝石的颜色、品种和款式的要求也不同。日本人偏爱钻石、珍珠、红宝石、祖母绿和紫晶，东南亚一带流行的是翡翠、红宝石、钻石和绿松石。阿拉伯人喜爱珊瑚、绿松石。欧美人士除喜爱五大宝石外，凡是色美、粒大、透明的宝石均受欢迎，特别是蓝色宝石更受喜爱。因此，在宝石贸易中要充分考虑买主的喜爱这一心理因素。

（四）宝石矿物鉴别与一般矿物鉴别的同异

宝石矿物的基本鉴别方法和手段及其表述术语和参数、代表符号等与一般矿物鉴别相同，在本书前述中已有简单介绍。但也有一些差异，就是宝石矿物特别是其色彩和透明度。因为宝石矿物多是透明度好的矿物，因此矿物内所含杂质及包裹体的性质及排列，矿物双晶特征等都可能引起特殊光学效应，增加宝石的特殊美感和鉴别特征，其特殊光学效应包括如下。

1. 宝石中的包裹体

一般矿物中及宝石矿物中都存在包裹体，不透明金属矿物无法观察包裹体，矿物细小和半透明矿物，则要磨制特殊的包裹体薄片在显微镜下观察鉴别。宝石矿物因其透明、颗粒大，故宝石中的

包裹体也较大，用肉眼或放大镜就能观察鉴别。包裹体分固体、液体和气体三种相态，按其与宝石的生成先后，又分先生型、同生型和后生型三类。先生型是指包裹体形成于主晶——宝石结晶体结晶之前，并为主晶体所包围。如天然金刚石中的小金刚石包裹体、尖晶石中的橄榄石包裹体等。先生型包裹体是具熔蚀状外形为特征的原生包裹体。同生型包裹体是与主晶同时形成的包裹体，多是在宝石矿物结晶过程中间，因地质和物理化学因素影响，产生了缺陷或造成窝穴时，由其矿物（主晶）不断生长变大而将其微量“母液”封存其中而形成，可分固、液、气三相，一相、二相、三相组合的形式存在。一般同生型固相包裹体以其晶形完整，晶棱、晶面无蚀溶为特征。后生型包裹体是一类晚于宝石晶体形成的次生包裹体。起因于晶体内原生液态包裹体的结晶作用，或由于应力作用形成的裂隙中溶液的渗入充填。后生型包裹体常沿宝石晶体中的裂理或次生裂隙成带生长，并以不平行一定结晶体方向而作不规则展布为特征。如有些水晶中之水胆、氧化锰质树枝状苔纹玛瑙等。

宝石中的包裹体俗称瑕或棉，通常视同如裂纹和解理等为宝石之缺陷，影响宝石的纯净、透明度、颜色和外观美丽，严重者影响宝石品级优劣和宝石车工款式的选择。如目前宝石级金刚石包裹体一般不得超过晶体最小径长的 1/5，当然还要从其大小、透明度、颜色以及包裹体所在位置等全面考虑，方能予以评价定级。

宝石中的包裹体如果颜色、形态特别，或在晶体内作有规律的排列呈一定美术形象者，则有时不仅无害，还可作为另一类宝石处理，如发晶、鬃晶和水胆玛瑙等。而且有些纤维状包裹体作定向排列的特殊品种，可能导致产生星光或猫眼效应，如星光蓝宝石、猫眼等。还有些包裹体可帮助判别该宝石的产地，如哥伦比亚莫佐矿山产出的祖母绿宝石，常含有罕见的氟菱钙铈矿，而柬埔寨拜灵蓝宝石中则以含有红色绿柱石微晶包裹体为特征。另外，次生方面体和原生包裹体的不同还有助于天然宝石和人造宝石的识别。

2. 特殊光学效应

由于宝石内部保存了结晶过程中遗留下来的某些痕迹，如包裹体、双晶、微细球状结构等。当光线与宝石内这些特殊的内在因素发生作用时，则造成光的干涉、散射、衍射等现象，使宝石显现特殊的光学效应，增加了宝石的奇特感，提高了宝石的价值。常见的特殊光学效应有猫眼效应、星光效应、变彩效应和晕色效应等。

（1）猫眼效应　弧面宝石在光线照射下，在宝石表面呈现可以平行移动的丝绢状光带，像猫眼睛的虹膜，这种现象称之为猫眼效应。这是因为宝石晶体中含有平行密集排列的纤维状气态、液态或固态包裹体，如果宝石的底面沿着平行纤维状包裹体的延长方向切割，并琢磨成光洁的弧面型宝石，光线照射到宝石中的纤维状包裹体上，一条纤维就是一个反射光点，无数平行纤维的光点连在一起就成了丝绢状光带，当转动宝石，光带也随之平行移动构成猫眼效应。自然界中具猫眼效应的宝石有绿柱石、电气石、金绿宝石、石英等。但由于具猫眼效应的金绿宝石多呈褐黄色，光带明亮，酷似猫的眼睛，所以宝石学界称其为“猫眼石”。其他具猫眼效应的宝石均需在“猫眼”前面注明宝石名称，如电气石猫眼、绿柱石猫眼等。

（2）星光效应　弧面宝石在光线照射下，在宝石表面呈现相互交会的四射、六射或十二射星状光带，好似夜空中的星光，这种现象称之为星光效应。它也是由宝石晶体内部有平行晶面的各种包裹体所引起的反射现象。常呈现六射星光的宝石有星光红宝石，星光蓝宝石等；四射星光有星光透辉石，星光尖晶石等，十二射星光有星光红宝石和蓝宝石等。

（3）月光效应　月光石是钾、钠长石交替平行排列，互相垂直具格子双晶的微斜长石。当双晶很薄，厚度在 50～1000nm 时，入射光在微细双晶面上的散射作用，无规律的反射光聚集在一起，造成朦胧状的蔚蓝的乳白晕色，如同月光，称为月光效应。

（4）变彩效应　欧泊是在同一宝石界面上可以同时显示出多种光谱色（红、橙、黄、绿、青、蓝、紫）的罕见宝石，它是由宝石中极细小的二氧化硅形成的圆球，按三维点阵紧密排列组合一

起，当白光进入该三维衍射光栅时，随光线入射角度的不同或宝石的转动而发生变彩。变彩效应见于欧泊（贵蛋白石）、虹彩长石等。

（5）变色效应　金绿宝石有一个绿色变种，它在日光下照射时呈绿色，而在白炽灯光照射下呈紫红色，这种现象称为变色效应。其原因是这种金绿宝石有两个透光区，一个是绿色波段，一个是红色波段之故。具变色效应的金绿宝石，宝石名称为变石。具变色效应的宝石尚有：哥伦比亚含钒蓝宝石，泰国绿色蓝宝石，立方氧化锆变石、人造刚玉变石，人造尖晶石变石等。

（6）砂金效应（又称硒金光）　透明的宝石内部含有许多不透明的固态包裹体，如细小云母片、黄铁矿、赤铁矿和小金属片等，当观察宝石时，包裹体对光的反射作用呈现许多星点状反光点，宛若水中的砂金，称为砂金效应，具这种光学效应的天然宝石有日光石和人造砂金石。

3. 不能作破坏性测定，鉴别时感观经验很重要

确定是什么矿物，主要是依据矿物的化学成分和结晶构造，现在测定这两种数据，只需很小的几粒矿物通过电子探针和 X 射线粉晶分析就可获得。但宝石是贵重物质，略有破损就不值钱了，主要凭简单的光性和物性来确定，但一般矿物的光性和物性，随着杂质含量的多少和差异，其变化是很大的。所以必须三种以上的检测数据能互相印证时才可信。宝石鉴别工作，经验很重要，色彩的细微差异，包裹体的种类、颜色、形态及排列等，都可能是决定某宝石名称或真假的重要因素，但这些现象是难以在宝石鉴别书中全写上的，全凭鉴别人员丰富的经验判断和仔细检测确定。顾客在购买高中档宝石时，一定要有权威检测机构和有正式宝石鉴别证书的人员出具的鉴别证书为凭。成交时，一定要获得该鉴别证书并妥善保存，换句话说，该证书就是这颗宝石的身份证。有关宝石鉴别证书的内容，各国都有统一要求。

## Ia001　钻石　diamond

【别名】　金刚石

【组成与结构】　化学成分为碳（C），金刚石属等轴晶系，晶体呈八面体、四面体和菱形十二面体。

金刚石常含微量的杂质元素，如氮、硼、铍、铝等。根据金刚石中所含微量元素的种类和含量，把金刚石分为两个类型，四个亚类：即Ⅰ型（$Ⅰ_a$、$Ⅰ_b$）和Ⅱ型（$Ⅱ_a$、$Ⅱ_b$）。

$Ⅰ_a$型　含氮量为 0.1%～0.3%，呈小片状，不透明，光子传导性不良，98%的天然金刚石属此类。

$Ⅰ_b$型　含氮量低，以分散的顺磁性氮存在于金刚石中，晶体呈现琥珀黄色，这类金刚石在自然界中少见，人造金刚石属此类型。

$Ⅱ_a$型　含微量游离氮，光子传导性良，热导性极好，解理较发育。自然界中含量极少。

$Ⅱ_b$型　金刚石中含微量硼、铍、铝等杂质元素，一般呈微带蓝的天蓝色，具半导体性，优质钻石多属此类。

【物化性质】　天然金刚石一般呈无色、淡黄色、淡褐色，偶尔可见到淡绿色、红色、粉红色、绿色、蓝色和黑色。金刚光泽，透明，均质体，折射率 2.417，色散中等 0.044，硬度 10，相对密度 3.52，一组解理完全。长波紫外线下Ⅰ型钻石不发光，$Ⅱ_b$型发弱淡蓝色荧光，短波紫外线$Ⅱ_b$型发弱荧光。X 射线中透明，发浅天蓝色荧光。钻石是热导性质最佳物质，热导率为 146.44W/(m·K)，用热导仪测试，反应极端灵敏。吸收光谱在紫色区 415nm 处呈现吸收窄带。金刚石中常见石墨、石榴石、橄榄石、透辉石、铬尖晶石和铁矿物等细小矿物包裹体。金刚石也是具高熔点、高绝缘性和强化学稳定性，耐强酸、强碱腐蚀等特性。

【宝石鉴别特征】　钻石的最大特点是强金刚光泽，色散高，折射率高，硬度高。对脂肪的吸附力强，用手触摸后看上去有一层油膜。

钻石以高色散发出的彩色闪光为鉴别特征，但具有高色散的宝石却不仅限于钻石一种（见表 9-1），钻石的色散柔和，仅在标准钻石型的底刻面上见到蓝色和橙色闪光，而有些色散太强的宝石看

起来五彩缤纷，十分刺眼。

在标准钻石型刻面的钻石腰围处，常可见到的解理裂开的胡茬状毛边或三角形平面。而其他钻石赝品因硬度较低，故在腰围处可见到密集排列的在琢磨过程中留下的斜擦痕迹。钻石琢型是根据全反射原理计算出来的，所以琢型是严格的按设计角度琢磨的。一般情况下每个小的棱面对称，小面棱平直而尖锐、三条棱交于一点。由于硬度高无其他物质能刻划，故表面光洁没有擦痕。

钻石的标准圆钻琢型是根据全反射原理设计的，所以当入射光从台面进入钻石后，能够从台面全部反射出来，没有光从亭部漏出。如果将钻石对准窗棂或电灯，反射出来的影像清晰不会歪扭。如果将钻石台面向下，盖在一张有字的纸上，从钻石亭部向下垂直观察看不到纸上的字迹。

钻石与相似宝石及赝品的区别如下。

钻石与相似宝石及赝品的色散、相对密度、双折射、硬度资料如下。表中似钻石的天然宝石只有白色锆石与钻石最相似，但锆石具有高的双折射率。如果观察方向恰当，可见到小面棱的双影，也可以将锆石台面向上，放在略低于桌面的暗处观察，当台面向桌子方面缓慢倾斜时，会在台面的下方出现一个小的漏光暗窗（简称倾斜试验）。锆石硬度低，刻面宝石的棱和角圆滑。在吸收谱红区可见两条乃至数十条吸收线等特征可与钻石区别。

**钻石与相似宝石及赝品的若干物理性质**

| 宝石名称 | 色　散 | 相对密度 | 折射率 | 双折射 | 硬　度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 钻石 | 0.044 | $3.515^{+0.15}_{-0.05}$ | 2.417 | 无 | 10 |
| 锆石 | 0.038 | 4.69 | 1.926～1.985 | 0.059 | 7.5 |
| 立方氧化锆 | 0.065 | 5.8±0.20 | 2.15 | 无 | 8.5 |
| 钇铝榴石 | 0.028 | 4.57 | 1.833 | 无 | 8 |
| 钆镓榴石 | 0.045 | 7.05 | 1.970+0.060 | 无 | 6.5 |
| 钛酸锶 | 0.190 | 5.13±0.02 | 2.407 | 无 | 5～6 |
| 人造金红石 | 0.300 | 4.25 | 2.61～2.90 | 0.283 | 6.5 |
| 合成蓝宝石 | 0.018 | 4.00±0.03 | 1.762～1.770 | 0.008 | 9 |
| 合成尖晶石 | 0.020 | 3.63 | 1.727 | 无 | 8 |
| 锡石 | 0.071 | 6.8±2.0 | 1.888～2.054 | 0.096 | 6～7 |
| 闪锌矿 | 0.156 | 3.5+0.50 | 2.37 | 无 | 3.5～4 |
| 榍石 | 0.051 | 3.52±0.02 | 1.900～2.034 | 0.100～0.135 | 5～6 |
| 黄玉 | 0.014 | 3.56 | 1.619～1.627 | 0.008 | 8 |
| 石英 | 0.013 | 2.65 | 1.544～1.553 | 0.009 | 7 |

注：引自李兆聪（1998）。

锡石、闪锌矿、榍石的色散很高，硬度低，且锡石和榍石的折射率比钻石低，双折射强。黄玉和石英的色散低，折射率低，有弱的双折射。这些矿物经过仔细观察鉴别，不难与钻石区分。

表中的一些合成宝石和人造矿物更与钻石相似，尤以立方氧化锆为最，成分为 $ZrO_2$，等轴晶系，1976 年在前苏联制成，命名为 phianite，其与钻石的区别是色散和相对密度高，硬度小。在亭部小面上可见到多种色散颜色。台面盖在写字的纸上观察会见到字影。一般粒度大的琢型远不如钻石规矩，棱角圆滑，表面可见擦痕，内部洁净，极少见到缺陷。

钛酸锶：成分为 $SrTiO_3$，商品名称为 Fabulite。色散极强，可见各种色散颜色。硬度低，只 5.5，棱角明显圆滑。相对密度大。

钇铝榴石（YAG）：商品名为 Diamonair，化学成分为 $Y_3Al_2Al_3O_{12}$。比钻石色散较低，折射率小硬度小而相对密度大可与钻石区别。

钆镓榴石（GGG）：与钻石的区别是硬度小，相对密度大，折射率较低。通常为褐色并含有三角形片状包裹物和微小球形气泡。

合成无色蓝宝石：可根据倾斜试验法出现暗窗，低色散，折射率 1.76～1.78 和略滑的小面棱与钻石区别。

合成无色尖晶石：折射率低，色散低，硬度略低，在短波紫外灯照射下显淡绿色荧光。

人造金红石：商品名 Titania。以其高色散、高折射率、高双折射和低硬度与钻石区别。且本身常带淡黄色，放大镜下显有球状气泡。

人造钻石虽已试验成功，但市场上尚未流通，其鉴别特征从略。此外还有仿钻组合石，二层仿钻组合石是用天然钻石冠部与仿钻石材料的亭部黏合而成。识别的方法是接合面上反光现象清楚。如果在台面上放一个针触及台面，就会看到两个反光点，一个来自台面，一个来自结合面。还有辐照改色钻石，就是使本来颜色不美的钻石，通过辐照作用变成蓝色钻石，其颜色是由晶格缺陷的色心造成的，不具半导体性，不通电流。而天然蓝色钻石由硼元素致色，具半导体性，如果在钻石两端加一电压，就会有电流通过。

【钻石经济评价的依据】 钻石价格昂贵，目前世界上有统一的评价标准。评价要素有四个：质量、颜色、净度和切工。

（1）钻石的质量及测算　在钻石的经济评价中，质量是首要因素，其原因是粒径大的钻石十分难得，在一般情况下，钻石的质量价值是以重量的平方乘上依一定质量而定的市场基础价向上增长。其公式如下：

$$\text{钻石的价值} = \text{质量}^2 \times K(\text{基础价})$$

钻石经常使用的质量单位为“克拉”和“分”，1 克拉等于 0.2g，1 分等于 0.01 克拉。

钻石的质量需在高精度的天平上称量，当钻石已镶嵌在首饰上不能直接用天平称量时，可以用测量钻石体积的方法来估算钻石的质量。不同形状的钻石有不同的计算公式如下：

标准圆形钻石　腰围直径$^2$×高度×0.0061×相对密度

椭圆形钻石　腰围平均直径$^2$×高度×密度×0.0062

心形钻石　长×宽×高×密度×0.0059

长方形钻石　长×宽×高×密度×调整系数

榄尖形、梨形的计算公式与长方型相同，但调整系数有区别如下所述，有些宝石专著上附有钻石重量的换算表，只要知道钻石的直径，就可查得该粒钻石的质量。

**调整系数**

| 长：宽 | 调整系数 | | |
|---|---|---|---|
| | 长方形 | 榄尖形 | 梨　形 |
| 1：1 | 0.008 | | |
| 1.25：1 | | | 0.00615 |
| 1.5：1 | 0.009 | 0.00565 | 0.0060 |
| 1.66：1 | | | 0.0059 |
| 2：1 | 0.010 | 0.00580 | 0.00575 |
| 2.5：1 | 0.0106 | 0.00585 | |
| 3：1 | | 0.00595 | |

（2）钻石颜色的分级标准　钻石颜色主要有微带蓝的白色（无色）、白色、淡黄色、黄色。各国定有统一的评价标准。标准以外的其他颜色为红色、粉红色、绿色、蓝色的钻属钻石中的珍品，另外按质论价。美国宝石研究所（G.I.A）和南非等国由 D 字开头，到 X，分成三大组十小组。中国和香港的分类是以数字表示，85 色以上的金刚石才能用来琢磨钻石。

**D～H类　无色白大类**

超特级无色白　无色，极透明，看上去透明如水，有的能显示微带极淡的蓝色光，属美国G.I.A的D级，中国的100色。

特级无色　无色透明，但无蓝色光，相当于G.I.A的E级，中国的99色。

纯无色　无色透明，G.I.A的F级，中国的98色。

准无色　略出现似有似无的黄色，G.I.A的G级，中国的96～97色。

I～L类　微带黄的白色类。把钻石亭部朝上，用6500K色温标准灯观察，亭部的尖端显出极微黄色。但冠部向上，由正中检查显示纯无色或准无色就列入此类，分如下几级。

超级微黄色　钻石亭部朝上（标准钻石向下的尖锥状部分），可显轻微黄色；但冠部朝上，由正中检查显无色。G.I.A的H、T级，中国的95色。

较轻微黄色　亭部向上显微黄色，但冠部向上显无色。G.I.A的J级，中国的94色。

轻微黄色　亭部向上显微黄，冠部显似有似无极微黄。G.I.A的K、L级，中国的93～92色。

M～X类　黄色类　由任何角度都能看出黄色。

浅黄色　用目视即可看出明显浅黄色或浅褐色。G.I.A的M、N、O、P，中国的91～88色。

黄色　明显的黄色或褐色，价值较无色类低很多。G.I.A的R级以下，中国的86色以下。

目前颜色分级评价多采用对比法：即在标准白色钻石灯下（色温为6500K），把所需鉴别的钻石与美国G.I.A制作的标准钻石样对比划分。前几年日本设计了颜色等级分析仪，但该仪器自身精度误差较大，且价格昂贵，故目前使用该仪器的尚不多。

（3）钻石洁净度分级标准　钻石的洁净度是依钻石在10倍放大镜下观察结果为依据。包括两个方面，即宝石内部原有的缺陷及加工过程中对钻石表面造成的破坏。净度共分六级。

完全洁净级：简称FL，内部无瑕疵，10倍镜下干净。

内部洁净级：简称IF，内部无瑕疵，表面有一点瑕疵。

非常非常细微的内部瑕疵级：简称VVS，有极微小的瑕疵，10倍镜下可发现针状包裹体1～2个。

很轻微的瑕疵级：简称VS，可以看到非常微小的瑕疵，10倍镜下易发现少量细小矿物包裹体。

轻微瑕疵级：简称SL，可明显的看到瑕疵，10倍镜下十分容易发现矿物包裹体，肉眼也可见到矿物包裹体。

不洁净级：简称$I_{1,2,3}$，可以明显的看到瑕疵、包裹体、解理及裂隙。

（4）钻石的切工　或称车工，流行的切工分级为优、良、中、差四级，评定的内容包括钻石的对称性、加工光洁程度和人为损伤等。

钻石的对称性：标准钻石型一般情况下有58个刻面，各刻面排列，组合的分布和比例关系是否准确称为对称性，可用钻石标准形态比例仪检查，如台面比例，冠部和亭部角度比例及钻石腰部的厚薄等。

钻石加工的光洁程度和人工损伤：光洁程度是指刻面上的抛光程度，用10倍放大镜观察看刻面上是否有条纹状痕迹及人工损伤等，一般情况下不应有琢痕细纹及人工损伤，若有则依其多少评级。

钻石切磨尚需注意充分利用宝石的自然条件，要最大限度的展示钻石原料之美，尽量消除或掩蔽其缺陷。

【产状和产地】　金刚石原生矿床主要是金伯利岩和钾镁煌斑岩型，工业矿床多富集在砂矿和半风化的金伯利岩筒或钾镁煌斑岩脉中。1700年以前，印度是世界上惟一的金刚石生产国，其后每隔百年就在不同地区发现一个大金刚石矿。如1725年在巴西，1866年在南非，1940年在苏联，1977年在澳大利亚等。目前，世界90%以上的金刚石产于澳大利亚、扎依尔、博茨瓦那、俄罗斯、南

非、纳米比亚、安哥拉和巴西。澳大利亚产金刚石最多，但钻石级仅占5%，扎依尔也只占5%，博茨瓦纳占19%，俄罗斯和南非钻石级占25%，坦桑尼亚、科特迪瓦、塞拉利昂、巴西和中非等国钻石级占50%，加纳和几内亚钻石级占70%，纳米比亚产金刚石中钻石占95%，属世界之最。中国金刚石产地主要是山东中部蒙阴地区、辽宁辽东半岛地区和湖南常德桃源地区，山东和辽宁省金刚石以原生矿为主，湖南省是砂矿型。辽宁省产出的金刚石宝石级较多。

## Ia002 红宝石和蓝宝石

【概述】 红宝石和蓝宝石是色美、透明的宝石级刚玉，宝石级刚玉中除红色的称红宝石外，其余各种颜色的刚玉宝石，如淡蓝色、蓝色、绿色、黄色、灰色、无色等，均称为蓝宝石（sapphire）。红宝石和蓝宝石以其晶莹剔透的美丽颜色，备受上流权贵和普通人民的喜爱，跻身于世界五大珍贵宝石之列。世界宝石学界定红宝石为7月、蓝宝石为9月的生长石。日本人选其作为结婚23周年（蓝宝石），26周年（星光蓝宝石），40周年（红宝石），52周年（星光红宝石）的珍贵纪念品。

矿物化学组成是$Al_2O_3$，纯者无色，呈现颜色的均含不同的微量色素离子所致，红色含铬，蓝色含钛或铁，绿色含铁，黄色含铁和镍。三方晶系，晶体多呈六方双锥体和桶状晶体。玻璃光泽，二色性强，折射率1.762～1.770，双折射率0.008～0.010。色散度0.018，硬度9，相对密度为3.95～4.1，贝状或参差状断口，偶见裂理和叶片双晶。

【红宝石的鉴别特征】 红宝石（ruby）产地不多，现在在市场上见到的，大多数来自缅甸、斯里兰卡、泰国、坦桑尼亚、越南。不同产地红宝石各有特点。

（1）缅甸抹谷红宝石 宝石多呈鸽血红色、玫瑰红色、粉红色。颜色鲜明但不均匀，呈糖溶于水中时的旋涡状，偶尔也可见到平直的色带。多色性明显，聚片双晶发育，可以见到平直排列的百叶窗式双晶纹。裂理常沿三组双晶面裂开。宝石中不同程度的含有包裹体。有绢丝状金红石包裹体，一般纤维状金红石包裹体平行红宝石晶体的六方柱面展布，构成三组交角为60°和120°的面网，当平行这三组包裹体的面网切割，并琢磨成弧面宝石后，当光线照射在弧面上，就会出现六射星光，即星光红宝石。若包裹体呈不规则堆积，就呈现出半透明的乳白色絮状斑块。此外红宝石中也常含尖晶石、方解石、榍石、赤铁矿等粒状固态包裹体，在宝石中也分散分布或指纹状分布有气液包裹体，其中气态约占30%左右。

（2）斯里兰卡红宝石 特点与缅甸红宝石相似，但颜色较浅，包裹体少、透明度较大。金红石包裹体细长、不太常见，另有带晕圈的锆石包裹体和棱角圆滑的六方柱状磷灰石包裹体。

（3）泰国红宝石 呈带褐的红色或玫瑰红色。聚片双晶发育，色带和生长纹平直，包裹体较少，常见指纹状包裹体和羽毛状中心有黑色晶体的荷叶状包裹体。

（4）越南红宝石 颜色为浅粉红色，聚片双晶发育，有云雾状气液包裹体，微透明到半透明。

（5）中国红宝石 矿点近十处，有海南和黑龙江的产于第三纪碱性橄榄玄武岩风化形成的残坡积矿物和云南、安徽、新疆、青海、江苏、西藏自治区变质岩型原生矿化和砂矿。有一定经济意义的是云南、海南和黑龙江的含红宝石砂矿。中国红宝石为红色、带玫瑰的红色，聚片双晶发育，透明至半透明，有气液包裹体。

（6）红宝石的鉴别 在肉眼观察的基础上可进一步用仪器检测。用二色镜观察，有明显的红色深浅差异的二色性。在查尔西滤色镜下呈红色，在紫外灯下观察有红色荧光。用分光器观察有极清楚的红色区、蓝色区、黄绿区、紫色区的吸收带。

【红宝石与相似的红色宝石的区别及与合成红宝石、红色玻璃的区别】 与红宝石相似的天然红色宝石有红色尖晶石、红色电气石、红色绿柱石、红色锆石、镁铝榴石、浅红色黄玉等。相似的人造宝石有合成红宝石和红色玻璃。它们的若干物理特性如下。

红宝石及相似的宝石物理特性

| 宝石名称 | 硬　度 | 相对密度 | 折射率 | 双折射率 | 多色性 |
|---|---|---|---|---|---|
| 红宝石 | 9 | 3.99 | 1.76～1.77 | 0.008 | 二色性强 |
| 合成红宝石 | 9 | 3.99 | 1.76～1.77 | 0.008 | 二色性强 |
| 锆石 | 7.5 | 4.7 | 1.92～1.98 | 0.059 | 中等 |
| 尖晶石 | 8 | 3.6 | 1.72 | 无 | 无 |
| 镁铝榴石 | 7.5 | 3.7～3.9 | 1.74～1.76 | 无 | 无 |
| 电气石 | 7 | 3.06 | 1.62～1.64 | 0.018 | 弱～强 |
| 绿柱石 | 7.5～8 | 2.72 | 1.57～1.58 | 0.004～0.008 | 中等 |
| 黄玉 | 8 | 3.52 | 1.619～1.627 | 0.008 | 中等 |
| 玻璃 | 5～6 | 2.3 | 1.470 | 无 | 无 |

注：引自李兆聪等（1998）。

红色尖晶石颜色均一，有八面体小尖晶石及磁铁矿串珠状包裹体，在正交偏光镜下黑暗，没有二色性。

红色锆石的相对密度，折射率及双折射率比红宝石强，多色性较弱。

镁铝榴石颜色均一，查尔斯镜下不显红色，无红色荧光，在正交镜下黑暗或显花斑状的光性异常。

红色绿柱石的相对密度、折射率和多色性较红宝石低。

浅红色黄玉折射率略低，属假一轴晶，低折射率暗影不动，高折射率暗影边界移动。

红色玻璃颜色均一，没有二色性，包裹体单一，多呈圆形气泡，气泡壁较厚，相对密度小。

合成红宝石的许多物理和光性特征与天然红宝石一致。但颜色均一，内部缺陷少，包裹体少，偶见单一的圆形、泪滴状气泡。荧光较天然红宝石强，在紫外灯下呈透明的红色。助熔剂法合成红宝石有云翳状或烟雾状由熔质造成的乳白色包体，这种包体在高倍放大镜下观察呈褐黄色和黑色的网格状。这是当前珠宝市场上欺骗性最大的合成红宝石。

【蓝宝石的鉴别特征】 蓝宝石（sapphire）最大特点是颜色不均，可见平行六方柱面排列的、深浅不同的平直色带和生长纹。聚片双晶发育，常见百叶窗式双晶纹。裂理多沿双晶面裂开。二色性强。世界不同产地的蓝宝石除上述共同的特点之外，亦因产地不同各具特色。依据地质成因不同，可分两类：一类是产于镁质矽卡岩和贫硅矽卡岩中及其派生砂矿。如缅甸、斯里兰卡和印控克什米尔产的蓝宝石，因含铁、钛致色，故呈鲜艳的蓝色，含绢丝状金红石和指纹状液态包裹体。绢丝状金红石包裹体密集排列可产生六射或十二射星光。指纹状液态包裹体的空隙中的气泡所占面积约30%左右。常见固态包裹体还有刚玉、尖晶石、铀烧绿石、磷灰石等。属优质宝石品种。另一类是产于玄武岩中及其派生砂矿型，主要有澳大利亚、泰国和中国产蓝宝石。宝石颜色很暗，刻面宝石反光效果亦不太好，一般均需经过加热改色处理。20 世纪 80 年代在中国东部沿海一带的玄武岩中，相继发现了许多蓝宝石矿床，计有海南、福建、江苏、山东和黑龙江等地。其中以山东蓝宝石质量最佳。其蓝宝石晶体呈六方桶状，粒径一般在 1cm 以上，最大的可达数千克拉。蓝宝石因含铁高，多呈近于炭黑色的靛蓝色、蓝色、绿色和黄色，以靛蓝色为主。宝石级蓝宝石中包裹体极少，偶尔可见黑色固态包裹体和指纹状包裹状。没有绢丝状金红石及弥漫状液态包裹体。蓝宝石中平直色带明显，聚片双晶不发育。大的晶体外缘可见六方柱面的生长线。经改色处理的山东蓝宝石因内部缺陷少，属优质蓝宝石。

【蓝宝石与相似的天然蓝色宝石及改色蓝宝石、合成蓝宝石的区别】 与蓝宝石相似的蓝色天然宝石有蓝色尖晶石、蓝色电气石、坦桑尼亚石（黝帘石）、蓝锆石（改色）、蓝锥矿、蓝晶石、堇青石。相似的人造宝石有合成蓝宝石，合成尖晶石和蓝色玻璃。它们的区别如下。

蓝宝石及相似的蓝色宝石物理特性

| 宝石名称 | 硬　度 | 相对密度 | 折射率 | 双折射率 | 多色性 |
|---|---|---|---|---|---|
| 蓝宝石 | 9 | 3.99 | 1.76～1.77 | 0.008 | 二色性强 |
| 合成蓝宝石 | 9 | 3.99 | 1.76～1.77 | 0.008 | 二色性强 |
| 蓝锥矿 | 6.5 | 3.67 | 1.75～1.80 | 0.047 | 二色性强 |
| 蓝晶石 | 4～6 | 3.69 | 1.71～1.73 | 0.016 | 三色性明显 |
| 人造尖晶石 | 8 | 3.63 | 1.727 | 无 | 无 |
| 尖晶石 | 8 | 3.60 | 1.72 | 无 | 无 |
| 黝帘石 | 6.5 | 3.35 | 1.69～1.70 | 0.009 | 三色性强 |
| 电气石 | 7 | 3.10 | 1.62～1.64 | 0.020 | 二色性强 |
| 堇青石 | 7 | 2.59 | 1.53～1.56 | 0.009 | 三色性明显 |
| 玻璃 | 5～6 | 2.30 | 1.470 | 无 | 无 |

注：引自李兆聪等（1998）。

蓝色尖晶石颜色均一，微带灰的色调，均质体，晶体中有较多气液包裹体和八面体小尖晶石包裹体群。

蓝色电气石多呈带绿的蓝色，有较多的裂纹和空管状气液包裹体，双折射率大，在底刻面的棱面处可见双影，二色性极明显。

蓝锥矿［benitoite batiSi$_3$O$_9$ 六方（＋）锥状、板状］呈蓝色到紫色，折射率及相对密度均与蓝宝石相近，亦具强二色性，但它双折射率大（0.047），色散强（0.046）。故以强色散的鲜艳外观及双折射率双影和在短波紫外光中有亮蓝色荧光可以与蓝宝石区别。世界惟一产地是美国的加利福尼亚州，粒度较小，产量不大。

蓝锆石是天然锆石经过加热处理而成鲜艳的蓝色。用它强的色散（0.039）和高的双折射率（0.040～0.060）及密集排列的吸收光谱可以与蓝宝石区别。

坦桑石（tanzanite），化学组成为 $Ca_2Al_3Si_3O_{12}(OH)$。是宝石级黝帘石（zoisite），经热处理后变为蓝宝石蓝。化学成分上的区别在于坦桑石含 $V_2O_3=0.20\%$，$Fe_2O_3=0.04\%$；而黝帘石不含钒，$Fe_2O_3=0.34\%\sim2.14\%$，斜方晶系。颜色不均，有明显的三色性：深蓝、紫红、黄绿色。相对密度 3.35，硬度 6.5～7。均较蓝宝石低可以与之区别。坦桑石基本不含铁，是含钒而致蓝色。蓝宝石一般含铁 0.47%～1.37%，故与蓝宝石不同，在吸收谱中没有铁的吸收线。1967 年发现于坦桑尼亚变质岩区残积层中，是当今世界受欢迎的宝石品种之一。

蓝晶石（kyanite），化学式为 $Al_2SiO_5$，三斜晶系，柱状晶体，透明—半透明，玻璃光泽～珍珠光泽。矿物有蓝色和绿色宝石级珍品，以其较小，且有方向性，双折射率较蓝宝石高，三色性明显，呈紫蓝、无色、钴蓝三种颜色区别于蓝宝石。产地主要是缅甸、印度、巴基斯坦和巴西，产于富铝片岩、片麻岩和花岗伟晶岩中。

堇青石（cordierite，亦名印度石 indialite）化学式为 $(Mg,Fe)_2Al_4Si_5O_{18}$，斜方晶系，短柱状晶体。透明—半透明，玻璃光泽～油脂光泽。其硬度、比重和折射率明显低于蓝宝石。蓝色堇青石从外观上酷似蓝宝石，但它特有的多色性是主要的识别特征，有蓝、紫、浅黄（无色）三色性。三种颜色差别之大，可以导致体色的不同。如果一个方向是蓝色，另外一个方向就可能无色。为此根据极明显的三色性和较多的睡莲状包裹体可以与蓝宝石区别。

合成蓝宝石的物理特性与天然蓝宝石相似，区别在于合成蓝宝石颜色均一，内部洁净，包裹体单一稀少，可见圆形气泡。将合成蓝宝石放在白纸上或放入白杯子中的水里观察，合成蓝宝石色带多呈弧形，而天然蓝宝石生长线或色带则平直。在刻面合成蓝宝石的台面方面观察，可见二色性，而刻面天然蓝宝石一般则需从腰围方向观察才显二色性。

人造尖晶石的颜色艳丽、均一，因含钴致色，所以在灯光或日光照射下会闪红光，在查尔西滤光镜下呈红色，均质体。吸收谱在橙、黄、绿区有 3 个吸收带，而天然蓝宝石在蓝色区有 1 个或 3

个吸收线而与人造尖晶石有别。

含钴蓝玻璃在查尔西滤色镜下呈红色，均质体，无二色性，折射率低，硬度小，含有微量的圆形气泡。由于玻璃宝石赝品均由玻璃熔液浇铸而成，为此在玻璃宝石赝品的表面有浇铸的印痕。宝石赝品的棱角也比较圆滑，没有机械琢磨的印痕。吸收谱在红、橙、绿区有 3 个吸收带反映了钴的致色特性。

人造星光红宝石、星光蓝宝石与天然星光红宝石、星光蓝宝石的成因是相同的。区别在于天然星光宝石的星线（光带）粗细不等，在星线的交会处，星线变粗，形成一个光线相对密集的光点；天然宝石的六射星线没有合成星光宝石明显，需在强光或单一光源照射下才清晰。而人造星光宝石星线十分清楚，细而均一，在宝内的自然光照射下即能看清。色带呈弧形。

【红宝石、蓝宝石的经济评价依据】 自然界中的红宝石和蓝宝石，不同程度的存在着某些缺陷。经济评价的首要因素就是颜色，其次是质量、透明度和净度。

红宝石的价值就颜色而论，以缅甸产鸽血红色最佳，依次是玫瑰红色和粉红色。蓝宝石以印度克什米尔产矢车菊蓝色者最佳，其次是深蓝色、浅蓝色、绿色和黄色。质优的蓝宝石价格可以与红色红宝石类比。

优质星光红宝石和星光蓝宝石除星光明显外，尚需透明度好，星光居中、完全，没有断缺的射线，使人感到星光来自宝石内部，而不是浮于表面为好。

自然界中产出的红宝石及蓝宝石颗粒较小，宝石的价值是依质量的平方向上增长，但如果宝石的质量超过 5 克拉以上，就要根据宝石的质量单独议价。

## Ia003 绿柱石

1. 概述

绿柱石（beryl）的化学组成为 $Be_3Al_2(SiO_3)_6$，六方晶系，晶体呈六方柱状，晶面上有平行柱面展布的纵条纹。透明～半透明，玻璃光泽，一轴晶（－），折射率 1.564～1.602，双折射率 0.005～0.009，多色性不明显，色散度 0.014，硬度 7.5，相对密度 2.72，断口呈贝壳状到参差状，性脆，柱面解理不完全。含不同金属元素的绿柱石，呈不同的颜色，有翠绿色、红色、粉红色、天蓝色、黄色、绿色和无色。因此绿柱石类宝石品种甚多。有祖母绿（emerald），含铬的翠绿色绿柱石。

海蓝宝石（aquamarine）含铁的天蓝色绿柱石。

铯绿柱石（morganite），含铯、锂或锰，呈玫瑰红色绿柱石。巴西和美国产出多。

金色绿柱石（heliodor）是一种含铁呈金黄色、淡柠檬黄色绿柱石。产于巴西、美国和中国。

暗褐色绿柱石（dark brown beryl）是一种含钛铁矿包裹体，具星光效应的绿柱石。巴西产。

透绿宝石（goshenite）无色透明，中国产量较大。

2. 祖母绿宝石（emerald）

祖母绿有“绿色之王”的美誉，特别为东方民族所酷爱。自古以来，祖母绿一直同钻石、红宝石和蓝宝石同列为世界四大珍贵宝石。16 世纪以前，人们把娇艳、稀罕的祖母绿视作比钻石还贵重的宝石。至今世界宝石市场的优质祖母绿价格比一般钻石还高好多倍。

（1）祖母绿的鉴别特征及成因类型　祖母绿以其透明的翠绿色为主要鉴别特征。颜色的优劣主要取决于宝石中铬和铁含量。通常翠绿色祖母绿中含氧化铬 0.15%～0.30%，深翠绿色含氧化铬 0.5%～0.6%。祖母绿颜色的明度取决于氧化铁的含量，如果不含或少含氧化铁，颜色就鲜艳，明度就大。如果氧化铁的含量超过 0.60%，绿色就会变暗。说明不同地质产状的祖母绿，质量亦不相同。世界上祖母绿矿床的成因类型有四种：一为产于超基性围岩中的花岗伟晶岩型，产地有巴西、美国等。二为产于超基性岩围岩中的气成一热液型含祖母绿的金云母岩，以俄罗斯乌拉尔所产为代表，尚有津巴布韦、南非、印度等国，是主要工业类型。三为产于炭质页岩中的含祖母绿方解

石细脉和方解石-白云石细脉等。产于哥伦比亚。是主要工业类型，世界90%的优质祖母绿均来自该类型。四为产于巴西和津巴布韦的含祖母绿砂矿，规模小。

哥伦比亚祖母绿多呈透明的淡翠绿色到深翠绿色，以稍带蓝色的翠绿色质量最佳，玻璃光泽，亚贝壳状断口，在长波紫外光下不发或发弱粉红色荧光，在查尔西滤光镜下显暗红色，二色性不明显。宝石中可见到下述包裹体。

气、液、固三相包裹体：仅见于哥伦比亚祖母绿中。包裹体边缘呈锯齿状，其中包有二氧化碳气泡、液态氯化钠及固态立方体食盐。

裂隙充填薄膜包裹体：宝石内部裂隙中充填有薄膜状褐色铁质，多呈树枝状。

固态包裹体：黄褐色粒状氟碳钙铈矿包裹体突起高，是木佐矿区祖母绿的典型包裹体。此外，祖母绿中尚可见到黄铁矿、方解石和长石包裹体。

乌拉尔祖母绿：它比哥伦比亚祖母绿稍黄，呈带黄的绿色，有时具褐色的色调。宝石中有阳起石包裹体，呈长的柱片状，外观上很像竹筒，绿色或褐色，一般不规则排列；黑云母包裹体呈叶片状、鳞片状，如密集在一起就呈褐色，是祖母绿呈褐色的原因。

巴西祖母绿：颜色较差，属低质祖母绿。呈淡黄绿色和绿色，透明度差，包裹体一般呈不规则或层状展布的乳滴状气液包裹体；平行排列的管状包裹体发育，如果密集排列经琢磨可显猫眼效应；片状、鳞片状黑云母和粒状磁铁矿包裹体，云朵状白色长石包裹体等。

(2) 祖母绿与天然绿色宝石及合成祖母绿、赝品等的区别

自然界中像祖母绿这种透明、鲜绿的宝石不多，约有五种，其物性特征如下。

**祖母绿及相似的绿色宝石的物理特征**

| 宝石名称 | 光　性 | 硬　度 | 相对密度 | 折射率 | 双折射率 |
|---|---|---|---|---|---|
| 祖母绿 | 一轴(一) | 7.5 | 2.63～2.9 | 1.564～1.602 | 0.005～0.009 |
| 绿色蓝宝石 | 一轴(一) | 9 | 4左右 | 1.76～1.77 | 0.008～0.009 |
| 绿色钙铝榴石 | 均质体 | 6.5 | 3.85 | 1.74左右 | 无 |
| 绿色电气石 | 一轴(一) | 7 | 3.05 | 1.62～1.64 | 0.018 |
| 绿色翡翠 | 不消光 | 7 | 3.33 | 1.66～1.68 | 0.014 |
| 绿色萤石 | 均质体 | 4 | 3.18 | 1.43 | 无 |
| 含成祖母绿 | 一轴(一) | 7.5 | 2.65～2.66 | 1.560～1.567 | 0.003～0.004 |
| 绿柱石熔融玻璃 | 均质体 | 7 | 2.47 | 1.52 | 无 |
| 淡蓝绿色磷灰石 | 一轴(一) | 5 | 2.9～3.1 | 1.632～1.667 | 0.002～0.005 |

注：引自李兆聪等（1998）。

带黄的绿色萤石外观像祖母绿，但萤石相对密度比祖母绿大，而硬度和折射率小，且是均质体，在偏光器中黑暗，不透光。

绿色电气石二色性明显，双折射率高，在亭部底刻面棱角处有双影，在三溴甲烷中会缓慢下沉，而祖母绿则上浮。

绿色磷灰石颇似浅色祖母绿，区别在于浅色祖母绿没有蓝的色调，为带油脂的玻璃光泽，折射率比祖母绿大，硬度比祖母绿小。

含铬钒的绿色钙铝榴石也颇似祖母绿，但其强的亚金刚光泽和色散，均质体可以和祖母绿区别。

优质半透明翠绿色翡翠较似祖母绿，但仔细观察翡翠具特有的纤维交织结构，有较多细纤维，以此和祖母绿区别。

合成祖母绿颜色艳绿，查尔斯滤色镜下呈现鲜明的红色，有较强的红色荧光。天然祖母绿具有特殊的三相包裹体及方解石、云母等矿物包裹体。而合成祖母绿的包裹体是云团状、羽毛状熔质包裹体，在高倍镜下呈网格状褐黄色熔质和气泡包裹体。银白色不透明多角形铂片包裹体，柱状硅铍石包裹体。此外，合成祖母绿的折射率和相对密度均较天然祖母绿稍低。

绿柱石熔融玻璃许多物理特性与天然祖母绿相近，有较大欺骗性。但它在正交偏光下黑暗或呈暗十字架形异常双折射。有羽状气态包裹体，在查尔西滤色镜下呈绿色。

二层石或三层石　用绿色胶粘合两层浅色绿柱石，或用优质祖母绿和劣质绿柱石粘合的二层石，都是常见的祖母绿仿制品。它们的鉴别是从腰围处观察是否有粘合的痕迹。另外需注意粘合的层面上，会有明显的气泡。

箔衬　祖母绿首饰若采用金属托全封闭式镶嵌，就要怀疑宝石的亭部外缘是否镀有绿色薄膜。

注油　由于祖母绿裂隙较发育，所以常用油入油的方法来掩盖裂隙和增强绿色。所以对通到宝石表面的裂隙应注意观察，在放大镜下用顶光照射，裂隙处就会产生干涉色。如果把宝石放在台灯下缓慢加温会有油珠流出。在紫外线下发黄荧光。

（3）祖母绿经济评价的依据

不同产地和成因类型的祖母绿价值差别很大，1976 年，哥伦比亚优质祖母绿每克拉平均价格为 400～600 美元，而巴西祖母绿每克拉平均价格仅为 10 美元。祖母绿经济评价的依据为：颜色、透明度、净度和质量。一般分为三级。

一级　深翠绿色、翠绿色、带蓝的蓝绿色，包裹体少，裂隙不超过总体积的 5%。

二级　深翠绿色、翠绿色、带蓝的蓝绿色，裂隙不超过总体积的 10%。

三级　深翠绿色、翠绿色、带蓝的蓝绿色，裂隙多，占总体积的 15%以上，半透明。

祖母绿性脆、在琢磨、镶嵌时均需注意，不宜过热，过热会产生裂纹。不能用超声波清洗，易扩大或产生裂纹。

3. 海蓝宝石（aquamarine）

海蓝宝石以淡雅的天蓝色赢得人们的喜爱，是近期畅销的宝石品种。被宝石界列为三月生辰石。海蓝宝石含微量铁致色，除颜色，其他物化特性与一般绿柱石同。

鉴别特征：海蓝宝石呈天蓝色、淡天蓝色，玻璃光泽，包裹体较少。查尔西镜观察，呈鲜艳的黄绿色，具弱二色性，优质大粒宝石较多，都产于伟晶岩中，故包裹体特征相同。

管状包裹体　海蓝宝石最典型的包裹体是中空或充满液体的细长管状包裹体，如密集排列可琢磨出猫眼效应。

雪花状包裹体　由无数气液包裹体聚集在一起成放射状展布。呈半透明的雪花状。

还有星散分布的气液包裹体和固态云母包裹体。

海蓝宝石与相似宝石的区别如下。

与海蓝宝石相似的宝石有天蓝色黄玉、蓝宝石和改色锆石，但它们的相对密度明显偏大，放入三溴甲烷中会迅速下沉，而海蓝宝石浮于其上。如用放大镜观察底刻面棱角处，锆石双影十分清晰，而海蓝宝石则不十分清楚。锆石所具有的高色散，可以与海蓝宝石、黄玉和天蓝色蓝宝石区别。海蓝宝石与人造尖晶石、玻璃的区别是后者为均质体，且无二色性。

**海蓝宝石与相似淡蓝色宝石的物理特征**

| 宝石种类 | 硬度 | 相对密度 | 折射率 | 双折射率 | 多色性 |
|---|---|---|---|---|---|
| 海蓝宝石 | 7.5 | 2.67～2.9 | 1.560～1.600 | 0.006 | 二色性明显 |
| 锆石 | 7.5 | 4.69 | 1.926～1.985 | 0.059 | 二色性明显 |
| 黄玉 | 8 | 3.59 | 1.610～1.620 | 0.010 | 二色性明显 |
| 人造尖晶石 | 8 | 3.63 | 1.728 | 无 | 无 |
| 玻璃 | 6 | 2.37 | 1.50 | 无 | 无 |
| 磷灰石 | 5 | 2.9～3.1 | 1.630～1.667 | 0.002～0.005 | 二色性明显 |

注：引自李兆聪等（1998）。

海蓝宝石经济评价的依据是颜色、透明度、质量。以颜色深，内部无瑕和重量大为佳品。世界各地的海蓝宝石均产于伟晶岩中，以糖粒状钠长石化伟晶岩中海蓝宝石及其他颜色的绿柱石宝石较

富集。主要产地有巴西、俄罗斯、中国、巴基斯坦等国。中国又以新疆阿尔泰伟晶岩产海蓝宝石等绿柱石宝石较多。

## Ia004 猫眼石和亚历山大石

【概述】 猫眼石和亚历山大石（又称变石）矿物学名称，都属金绿宝石（chrysoberyl），是铍矿石的工业铍矿物之一（$BeAl_2O_4$），三斜晶系，晶体呈短柱状、板状；颜色为棕黄色、绿黄色、黄绿色、黄褐色；玻璃光泽，二轴（+），折射率 1.746～1.755，双折射率 0.008～0.010，三色性为黄绿色，橙黄色，浅紫红色，硬度 8.5，相对密度 3.71～3.75，贝壳状断口。

【猫眼石的鉴别特征和评价依据】 猫眼石（cat's eye）是呈褐黄色具清晰猫眼光学效应的宝石。猫眼石的绢丝状包裹体有的是金红石，有的是空管。由于这些管状包裹体细长而且密集，所以猫眼效应特别明显，就是在漫射光源下也十分清晰。这是具猫眼效应的其他宝石所不能比拟的。另外，用单光源从猫眼石侧面照射，猫眼石两侧呈不同的颜色。自然界中具猫眼效应的宝石品种很多，与猫眼石最相似的是褐黄色、褐绿色石英猫眼，区别是猫眼石光泽明亮，光带细而均匀，且在相对密度、折射率和多色性方面都大于石英猫眼。

猫眼石与人造猫眼石的区别在于：人造猫眼石在弧形顶端同时出现 2～3 条亮带（天然猫眼石仅一条）；用放大镜观察人造猫眼石的两侧可见六边形蜂窝状结构；且人造猫眼硬度低，为 5 左右；相对密度小，2.46；折射率低，均质体。

米黄色和棕褐色，是猫眼石的最佳颜色，白黄色、白绿色价较低，灰色的最差。好的猫眼石，猫眼的亮线应位于宝石弧面的中央，要细窄而界线清，猫眼线移动灵活。宝石加工的形状要合理，应注意采用从腰围以上的弧面做计价依据。

【亚历山大石（变石）的鉴别特征】 变石（alexandite）是含铬的金绿宝石，在透明的晶体中可同时通过红光和绿光，当光源中红光成分多，它就呈红色，当光源中绿光成分多，它就显绿色。由于日光中绿色成分多，白炽灯光中红色成分多，所以它在日光照射下呈绿色，白炽灯照射下呈红色。这种专有的特性可以与自然界任何宝石区别。与变石相似的宝石仅有人造刚玉变石和人造尖晶石变石。区别的方法是天然变石具三色性，而人造刚玉只具二色性；人造尖晶石变石无多色性。变石具不规则分布的气液包裹体；人造刚玉变石和人造尖晶石变石具气泡包裹体和弧形色带。

变石经济评价以色美、变色效应明显为佳。据传说亚历山大石（alexandite）名称的由来，因俄国沙皇二世在 1830 年他生日那天，他戴了镶有变石的王冠出席典礼而得名。可见优质变石也深受人们喜爱、珍藏。

4. 猫眼石和变石的产地和矿床成因

猫眼石的主要产地是斯里兰卡，变石产地主要是俄罗斯和斯里兰卡。系由花岗岩熔融体的含铍挥发组分同富含铬的超基性岩相互作用形成的气成热液型。

## Ia005 电气石

【概述】 电气石（tourmaline）是个成分复杂［$XR_3Al_6B_3O_{27}(OH)_3$，其中 X：Na，Ca；R：Li，Mg，Fe，Mn］，颜色变化大的矿物，自然界以黑色不透明或半透明电气石为多，透明度好，颜色美丽的电气石属中档宝石，被誉为十月生辰石，中国祖先称电气石类宝石为碧玺。三方晶系，柱状晶体，端部呈球面三角形，柱面具纵纹。一轴（－），折射率 1.624～1.644；双折射率 0.018～0.040，二色性明显，硬度 7～7.5，相对密度 3.02～3.26。

【电气石宝石（碧玺）鉴别特征】 （1）颜色 电气石宝石（碧玺）以颜色命名，它们往往与自身所含微量过渡元素有关。如玫瑰色-红色电气石（rubellite）是含 Li，Mn 的红碧玺。蓝-靛青色电气石（indicolite）是含 Fe 及含 Li 的蓝碧玺；绿-祖母绿电气石（verdelite），是含 V 或 Cr 的绿碧玺。此外还有黄色、无色和杂色电气石，它们多是锂电气石（elbaite）或钙电气石（liddicoatite）变种。

还有一种褐色碧玺多为镁电气石（dravite）。

（2）透明度　电气石宝石中的气液包裹体和扁平状裂隙较多，但多分散展布而不影响透明度。具猫眼效应含长管状空隙状包裹体的品种透明度稍差。

（3）二色性　除粉红色电气石外，其他颜色电气石多具三色性，绿色电气石垂直 $c$ 轴方向光线被全部吸收呈现黑色。

双折射率　在折射率 1.60～1.65 的区间里，只有电气石的双折射率大于 0.010，在电气石刻面宝石亭部小面棱显出双影。

（4）杂色　同一个晶体的内部及表皮、上端和下端颜色各异，表里不一。

【电气石宝石与相似宝石的区别】　与红碧玺相似的宝石有红宝石，红色尖晶石，锂辉石，淡红色黄玉，红色绿柱石，浅紫色水晶等。

与绿碧玺相似的宝石有透辉石、绿色绿柱石。

与蓝碧玺相似的宝石有蓝色尖晶石。

碧玺与上述宝石的区别是棱角处有明显的双影，气液包裹体较多，同一包裹体中，气相所占面积超过 1/3。二色性强，透明度好。相对密度和折射率的测定更有利于区别。

【经济评价依据及产地】　颜色、透明度、内部缺陷多少和质量作为经济评价依据。目前各种颜色的电气石均受欢迎，红色的做女性饰物，而绿色、蓝色电气石做男性饰物。以红色、深粉红色的优质电气石价值最高。颗粒大而内部缺陷多的常用做雕刻首饰。

彩色电气石多产在强烈钠长石化、锂云母化花岗伟晶岩核部，主要生产国是美国、俄罗斯、哈萨克斯坦、巴西、斯里兰卡和中国。我国新疆、内蒙古、云南、秦岭地区都有产出。以新疆阿尔泰地区为主要产地。

## Ia006　尖晶石　spinel

【组成与结构】　尖晶石分三个亚种，镁尖晶石 $MgAl_2O_4$，镁铁尖晶石 $(Mg, Fe)(Al, Fe)_2O_4$，和铁尖晶石 $FeAl_2O_4$。等轴晶系，八面体晶形。

【物化性质】　尖晶石有各种颜色，但都微带灰色色调，透明，强玻璃光泽，贝壳状断口，硬度 7.5～8，相对密度 3.58～4.62，折射率为 1.712～1.830。均质体。杂质元素有 Mn、Zn，有时有 Cr、K、Cu 等元素，不溶于酸。

【尖晶石宝石鉴别特征及与相似宝石的区别】　尖晶石有各种颜色，如红色、橙红色、粉色、蓝紫色、蓝色，灰绿色等，其中含铬的显红色，含铁的显蓝色，含锌高显绿色。尖晶石通常均含有较多的气液和固态包裹体。尖晶石中含有串珠状无色和黑色尖晶石小八面体及锆石、磷灰石和榍石包裹体，含星云状展布的气液二相包裹体，其中气泡所占面积较大；含裂隙充填铁质薄膜包裹体。红色尖晶石在紫外光照射下发红色荧光。在可见光吸收谱中的红色端有密集排列的吸收线；在查尔西滤色镜下显红色，其他颜色尖晶石无这些现象。

红色尖晶石与红宝石相似，区别在于红宝石有二色性，有绢丝状包裹体，颜色不均，在可见光吸收谱中蓝色端有铁的吸收线。红色尖晶石与镁铝榴石的区别是在查尔西镜下观察，镁铝榴石不显红色。蓝、绿色尖晶石与蓝宝石的区别也是无二色性和包裹体不同等。

天然尖晶石与人造尖晶石的区别在于人造尖晶石颜色较浓艳、均一；人造尖晶石中包裹体甚少，偶尔见到伞状、酒瓶状粒长气泡；人造尖晶石偶显弧形生长线。折射率及可见光吸收谱也有差异。

【经济评价的依据】　颜色、透明度和质量是尖晶石经济评价的依据。红色尖晶石受人欢迎，色红、透明度高、质量大，是尖晶石中的佳品，一粒被称作“黑色王子红宝石”的红色尖晶石，1660 年被当作红宝石镶在英帝国国王的皇冠中心最显眼的地方，可见其价值高贵。

【矿床成因和产地】　世界优质尖晶石均来自缅甸北部与红、蓝宝石同一地质产状的镁质矽卡岩中，系酸性花岗岩交代白云质大理岩而成。尖晶石作为红宝石、蓝宝石的伴生宝石同时开采。主要生产

国是缅甸、斯里兰卡、柬埔寨和泰国。

## Ia007 石榴石 garnet

我国古称紫鸦。是一月生辰石。

【组成与结构】 石榴石矿物成分复杂，它们的共同化学式为 $A_3B_2[SiO_4]_3$，其中 A 代表阳离子 Ca、$Fe^{2+}$、Mn、Mg 以及 Y、K、Na，而 B 主要代表三价阳离子 Al、$Fe^{3+}$、Cr 以及 Ti、V、Zr 等。由于三价阳离子半径相互接近，因而彼此发生了类质同象代替。而二价阳离子分为两组，Mg、$Fe^{2+}$、Mn 为一组，钙离子半径较大为另一组。其分组名称及化学成分见表 9-7。等轴晶系，晶体近圆粒状，像石榴颗粒。

【物化性质】 石榴石颜色各种各样，受成分影响而变化，但无严格的规律性，铁铝榴石、镁铝榴石显均质性，其他变种多显异常干涉性。透明至半透明，强玻璃光泽至亚金刚光泽，硬度 7～7.5，贝壳状断口，各变种其他物理性质如下。

**石榴石族矿物化学组成及其宝石的物性特征**

| 矿物 / 组分 | 铁铝榴石系列 | | | 钙铝榴石系列 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 铁铝榴石 almandine | 镁铝榴石 pyrope | 锰铝榴石 spessartite | 钙铝榴石 grossular | 钙铁榴石 andradite | 钙铬榴石 uvarovite |
| $SiO_2$ | 39.56 | 41.99 | 35.87 | 38.46 | 35.18 | 35.88 |
| $Al_2O_3$ | 21.87 | 21.13 | 20.84 | 16.92 | 0.41 | 1.13 |
| $Cr_2O_3$ | — | 1.36 | — | — | — | 27.04 |
| $Fe_2O_3$ | 1.56 | 1.07 | 0.06 | 7.78 | 30.55 | 2.46 |
| FeO | 25.60 | 8.17 | 1.78 | 8.20 | 0.09 | — |
| MnO | 0.18 | 0.27 | 38.24 | 0.36 | 0.14 | 0.03 |
| MgO | 9.70 | 20.20 | 0.22 | 0.57 | 0.21 | 0.04 |
| CaO | 0.95 | 4.85 | 2.72 | 26.20 | 32.69 | 33.31 |
| 其他 | 0.29 | 0.86 | 0.15 | 1.21 | 0.68 | 0.18 |
| 总计 | 99.83 | 99.90 | 99.88 | 99.70 | 99.87 | 100.07 |
| 产地 | 内蒙古麻粒岩中 | 云南角砾云煌岩中 | 新西兰 | 中国北京 | 中国河北矽卡岩中 | 芬兰 |
| 颜色 | 褐红色<br>黑红色 | 红色<br>玫瑰红色 | 橙红色<br>橙黄色 | 翠绿色<br>黄绿色<br>浅黄绿色 | 翠绿色<br>绿色<br>黄绿色 | 翠绿色<br>深绿色 |
| 折射率 | 1.76～1.82 | 1.73～1.76 | 1.79～1.814 | 1.73～1.76 | 1.855～1.895 | 1.81～1.86 |
| 相对密度 | 3.8～4.2 | 3.66～3.87 | 4.12～4.20 | 3.57～3.73 | 3.81～3.87 | 3.712～3.809 |
| 色散度 | | | | 0.027 | 0.057 | |
| 光性 | 均质体但具异常干涉色 | 均质体但呈光性异常 | 均质体但光性异常 | 均质体，具异常干涉色 | 均质体 | 弱非均质性 |
| 包裹体 | 当针状金红石包裹体呈 70°和 110°交角密集分布时显四射星光。另有钛铁矿、锆石等固体包裹体及水滴状液态包裹体 | 有稀疏针状金红石包裹体呈交角 70°和 110°排列。另见有粒状固体包裹体 | 羽毛状（裂隙状）分布的气液包裹体 | 星点状黑色固态包裹体 | 放射状或马尾状纤细石棉阳起石包裹体。放射状中心呈暗褐色 | |
| 备注 | 一般石榴石宝石 | | | 优质石榴石宝石 | | 粒度小，不具宝石价值 |

【鉴别特征及与相似宝石的区别】 石榴石类折射率较高，光泽强，均质体或其异常干涉色为特征。与之相似的矿物有锆石、尖晶石、祖母绿、硅镁石和火欧泊等，仔细观察测定其颜色、光泽、折射率、光性、相对密度等是可区别的。与人造石榴石的区别主要在于内部包裹体和密度。人造石榴石颜色均一，宝石中无瑕疵，偶尔可见到少量气泡。在查尔西滤光镜下显红色。钆镓榴石相对密度为7.05，钇铝榴石相对密度为4.58，均较天然石榴石高。

【经济评价依据】 石榴石依颜色、透明度、粒度为经济评价的依据。其中以翠绿色钙铁榴石、含铬钒钙铝榴石价值最高。质优者可以和祖母绿价值相当。其后是红色镁铝榴石、橙黄色锰铝榴石。如果颜色中带有褐色色调，价值就会降低。半透明的含水钙铝榴石多用来做玉料。

【产状与产地】 镁铝榴石主要产于印度、斯里兰卡、巴西、马达加斯加、美国、中国等地区超基性岩及砂矿中。锰铝榴石产于斯里兰卡、巴西、马达加斯加、中国的花岗伟晶岩及砂矿中。铬钒钙铝榴石产在坦桑尼亚、肯尼亚、南非等地超基性岩及砂矿中。钙铁榴石产在俄罗斯乌拉尔地区超基性岩及砂矿中。含水钙铝榴石产在肯尼亚和中国接触变质岩中。宝石级石榴石发现在冲积矿床中与其他宝石相伴生。

## Ia008 橄榄石 olivine

橄榄石大约在3500年以前在与埃及就被视为“太阳宝石”用以护身趋邪。目前橄榄石被列为八月生辰石。

【名称】 宝石级橄榄石 peridot

【组成与结构】 橄榄石的化学组成为 $(Mg, Fe)_2SiO_4$，按Mg和Fe量比可分为6个亚种，中国发现的宝石级橄榄石以镁橄榄石为主，其分子式为 $(Mg_{90.5}Fe_{9.5})SiO_4$。斜方晶系，短柱状，常见不规则圆粒状。

【物化性质】 微带黄的绿色，黄绿色，褐绿色。透明，玻璃光泽，二轴（+），折射率1.654～1.690，双折射率0.035～0.038，多色性不明显，硬度6.5～7.0，相对密度3.27～3.48，色散度0.020。在493～453nm蓝区有三条铁的吸收线。有特征的睡莲叶状铬铁矿包裹体及呈层状展布的细小的含少量气相的液态包裹体。

【鉴别特征】 特有的橄榄绿色，稀疏的睡莲叶状包裹体和星点状液态包裹体，多色性不明显，双折射率高，在宝石亭部放大观察，在大棱角处有明显的双影。将橄榄石放入二碘甲烷中可缓慢下沉。与橄榄石颜色相似的宝石有黄绿色金绿宝石、钙铝榴石和硼铝镁石，它们的相对密度和折射率都比橄榄石大；黄绿色透辉石与橄榄石比是折射率大，比重和硬度小。而黄绿色玻璃的比重、折射率和硬度更比橄榄石小，且无多色性。

【评价依据】 颜色、净度和质量是橄榄石宝石经济评价的依据。以颜色绿，内部缺陷少，质量大为佳品。目前小粒橄榄石做群镶宝石也较受欢迎，是当今畅销的宝石品种。

【产状与产地】 已知橄榄石宝石矿床都是由玄武岩带至地表的橄榄岩包体经风化后形成的残坡积砂矿。美国、俄罗斯、巴西、澳大利亚、捷克、肯尼亚和中国都有产出，我国河北省和吉林省是世界优质橄榄石产地。

## Ia009 锆石 zircon

锆石按成分分高型锆石和低型锆石。高型锆石呈白色、褐红色，多是岩浆结晶早期产物，锆石中含放射性元素少，保持了锆石原有的物理化学特征。低型锆石产于岩浆演化晚期，气成热液型岩石中，富含放射性元素也发生蜕变和去晶化作用，这种锆石呈绿色、暗绿色、透明度差。且残留有放射性，不宜用来做宝石。

【组成与结构】 宝石级纯净锆石的化学组成为 $ZrSiO_2$，四方晶系，呈四方柱或四方双锥型晶体。

【物化性质】 高型锆石呈金刚至亚金刚光泽，一轴（+），折射率 1.925～1.984，双折射率 0.059，色散度 0.038，透明，贝壳状断口。锆石中可见液态包裹体和黑色固态包裹体。

吸收光谱：锆石具有非常特征的吸收光谱，几乎在不同色区中均能见到均匀平行排列吸收线。谱线数量不等，位于红区 653.5nm、659nm 两条是高型锆石的诊断线，青区 489nm 是低型锆石诊断线。红区 660nm 是热处理的锆石诊断线。

【鉴别特征及区别】 常见的锆石多呈无色、红褐色、褐红色、绿色，热处理过的呈蓝色、白色。锆石具有强的双折射率，明显的色散和强的亚金刚光泽，较容易与其他宝石区别。在磨好的底面上可以见到极明显的棱边双影。热处理的蓝色锆石具明显的二色性——无色和蓝色。锆石在长、短波紫外光下有荧光，在分光器上观察有极明显的密集排列的吸收光谱。

锆石比较容易与钻石、榍石、人造金红石相混淆，区别在于钻石是均质体。榍石和人造金红石的双折射率、色散均较锆石高，可呈现五彩缤纷的“火彩”。

【评价依据】 锆石经济评价的依据是颜色、净度、切磨的款式和质量。

颜色：锆石最流行的颜色是无色和蓝色，其中以蓝色价最高，若伴有带黄的色调就影响宝石的价值。无色锆石多用来仿钻石，带有褐色色调则需加热处理，否则影响宝石价值。

净度：透明无瑕的锆石已能满足市场所需，故有缺陷的就不能用来做宝石。

款式：锆石多用来仿钻石，故应严格按钻石型琢磨。为避免底棱双影造成的模糊状态，在琢磨时，宝石的台面应垂直锆石四方柱状晶体的延长方向。

质量：锆石可以用来单独镶嵌或者群镶宝石，故不同大小的锆石均有需求。但以质量大者价格贵些。

【产状和产地】 目前所知世界宝石级锆石主要产于玄武岩和镁质矽卡岩、矽质矽卡岩风化后的残坡积、冲积砂矿中。斯里兰卡、柬埔寨、缅甸和中国皆有产出。中国主要是海南蓬莱和福建明溪两地，以红锆石为主。

## Ia010 黄玉 topaz

黄玉透明洁净，硬度高，粒度大，反光效果好。颜色多，经改色变成像海蓝宝石一样艳丽的天蓝色和金黄色颇受欢迎。是当前流行的中低档宝石品种。黄玉被国际宝石学界列为十一月生辰石。

【名称】 古称酒黄宝石

【组成与结构】 化学组成为 $Al_2Si_4(F,OH)_2$。斜方晶系，晶体多呈斜方柱状，柱面常具纵纹。矿物多呈粒状和块状。

【物化特征】 红色、淡红色、橙黄色、褐色、淡蓝色和无色。透明，玻璃光泽，二轴晶（+），折射率 1.619～1.627，双折射率 0.008～0.010，多色性清楚，其颜色依矿物本色而异。硬度 8，韧性大，有一组解理（001）完全。相对密度 3.59。不溶于酸。包裹体特征是在同一包裹体的空隙里有两种以上不相混溶的液态包裹体，多呈管状伸长，偶呈水滴状星散分布，罕见不透明赤铁矿包裹体。

【鉴别特征】 黄玉一般多透明无瑕，呈强玻璃光泽，外观酷似水晶、海蓝宝石、磷灰石、赛黄晶、电气石等，除根据有一组完全解理和特殊的不混溶液态包裹体及较大的相对密度，可以与上列矿物区别。

目前，用天然无色黄玉经辐射加温处理后的蓝色黄玉，橘黄色黄玉市场上已很多，其颜色淡雅艳丽，性质稳定，已得到宝石界承认。改色后的黄玉与天然黄玉几无差异。作为制造厂商在宝石交易过程中，必须详细注明“改色黄玉”标识。

【评价依据】 天然黄玉与改色黄玉均以颜色、净度、质量为评价依据。以颜色深、无裂隙、透明度好，块体大为佳品。上等的红色黄玉，棕红色黄玉价格昂贵，其次是粉红色、棕黄色、蓝色、黄色，无色者最差。

【产状和产地】 主要产于花岗伟晶岩和气成-热液云英岩矿床中及其形成的砂矿床中。世界优质黄玉主要产在巴西、斯里兰卡、中国、美国、英国、缅甸、非洲、澳大利亚等地。当今中国产的改色蓝色黄玉质量优良，是当今我国重要的宝石出口产品。

## Ia011 水晶 rock crystal

水晶是结晶完好的透明石英，紫晶是水晶中最受人喜爱的宝石品种，我们的祖先还认为紫晶可以促使互相谅解，保佑万事如意。罗马大主教常佩戴紫晶戒指，典礼上使用紫晶高脚杯盛酒。国际宝石学界把紫晶列为二月生辰石。

用来做宝石的有无色水晶、紫晶、黄晶、烟晶和发晶。

水晶 rock crystal 无色透明，用来做水晶球、玉雕制品，无色宝石戒面和改色原料。

紫晶 amethyst 深紫～淡紫色水晶，主要用来做戒面及玉雕制品。

烟晶 smory quartz 烟晶主要用来做玉雕和改色原料。

黄晶 citrine 黄橘红色，褐黄色，主要用来做宝石戒面。

发晶 hair crystal 水晶晶体中含有纤细的头发状、纤维状角闪石、电气石等包裹体，是良好的玉雕材料。

【组成与结构】 化学组成 $SiO_2$，三方晶系，六方柱状晶体。

【物化性质】 颜色有紫、黄、褐、灰黑及无色，透明，玻璃光泽，一轴（+），折射率 1.544～1.553，双折射率 0.008，色散度 0.013，硬度 7，相对密度 2.66，贝壳状断口紫晶具有清楚的二色性。

各色水晶中常可见到不规则的絮状气液包裹体。紫晶中尚具典型的虎纹状裂痕包裹体，发晶中含固态纤维状包裹体。

【鉴别特征】 （1）天然无色水晶和合成水晶的区别在于天然水晶中含星点状、云雾状和絮状展布的气液包裹体。合成水晶晶体中心有一平整的片状子晶晶核，气液包裹体较少。

（2）天然紫晶与改色紫晶、合成紫晶的区别是天然紫晶颜色分布不均，呈平直的片状展布。而改色紫晶是颜色均一，见不到不规则的片状色团。人工合成紫晶也颜色均一。尚有无色的子晶晶核。

（3）天然无色或改过色的水晶与无色或改过色的黄玉十分相似。除仔细观察包裹体特征外，就是用三溴甲烷重液区分。黄玉具特有的两种不相互混溶的液态包裹体，且在三溴甲烷重液中下沉现象区分它们。

【评价依据】 水晶类宝石除天然紫晶价值略高外，其他品种均属低档宝石。价值取决于颜色、透明度、质量和净度。如果将大的水晶琢磨成水晶球则价格昂贵。

【产状和产地】 具宝石价值的水晶和紫晶均产在火山岩、伟晶岩、砂岩、页岩和灰岩晶洞中。紫晶的主要产地有巴西、乌拉圭、俄罗斯、马达加斯加。中国、印度、美国、墨西哥也有产出。中国的优质无色水晶产量甚多。

## Ia012 欧泊 opal

欧泊的拉丁文意思是“集宝石之美于一身”，古罗马自然科学家普林尼曾说：“在一块欧泊石上，你可以看到红宝石的火焰，紫水晶似的色斑，祖母绿般的绿海，五色缤纷，浑然一体，美不胜收。有些欧泊石之美不亚于画家的调色板，另一些则不亚于硫磺之火焰或燃油之火舌”。在欧洲，欧泊早在罗马帝国时代就价值极高，至今仍备受欢迎，被国际宝石学界列为十月生辰石。

【组成与结构】 化学组成 $SiO_2 \cdot nH_2O$。非晶质，由粒径为 150～400nm 排列整齐的二氧化硅球粒构成，球的粒径和球粒间的空隙距离相等。球粒间充填有吸附水或间隙水。水在常温下晾干或加热

到100℃就会消失，故欧泊易干裂。

【物化性质】 半透明～不透明，颜色是伴有彩片的白色、黑色或橘黄色，半玻璃光泽和蜡状光泽，折射率1.37～1.47，硬度5～6.5，相对密度2.15～2.23；大多数欧泊在长波紫外线下有强的荧光，火欧泊发出淡绿褐色荧光。

【种类及鉴别特征】 目前市场上欧泊品种繁多，有天然的、合成的、组合的、玻璃的和塑料欧泊等。

(1) 天然欧泊 天然欧泊是赋存于蛋白石中的变彩块体。一块欧泊的颜色是由体色和彩片组成。体色可能是天色、乳白色、暗灰色或黑色，而每片彩片的颜色是取决于球粒的大小而呈现不同颜色。天然欧泊可分为如下。

白欧泊 体色呈白色，半透明～不透明，变彩较浅。

黑欧泊 体色呈黑色、灰黑色，半透明--不透明，变彩深而鲜艳。

晶质欧泊 体色透明无色，彩片较浅。

火欧泊 呈橘红色，半透明，没有彩片。

天然欧泊是一种似瓷的彩色块体，孔隙较多，以至于能黏附在舌上。彩片为面性展布，呈两头尖的不规则薄片，边界模糊。常见沿一定方向排列的丝绢状外观。

(2) 人造欧泊 已见种类如下。

染色欧泊 用糖液将白欧泊染黑，黑色往往沉淀在彩片或球粒的空隙中间。

注塑欧泊 在天然欧泊里注入塑，使其呈现黑色或白色。可见黑色集中的小束。

注油欧泊 注油或上蜡以掩饰欧泊的裂缝，但显蜡状光泽，用热针检查，欧泊表面会形成小珠粒。

合成欧泊 外貌与天然欧泊相似。但天然欧泊彩片呈片状，而合成欧泊显立体的蜂巢状结构。

组合欧泊 有两层组合（顶面用质量好的欧泊，底面用次品等）和三层组合（上假下真）区别方法是注意接合面的光泽变化，注意胶和面的气泡，用细针探查结合面，粘胶的硬度低；注意顶面和底面颜色是否相同。

玻璃欧泊 无孔隙不吸水、折射率（1.49～1.52）和相对密度（2.4～2.5）比天然欧泊大。

塑料欧泊 表面光洁，呈现“针状火焰”变彩，具镶嵌图案。它是由不同性质的两层塑料构成，硬度低，表面易磨损，相对密度小（1.21），折射率高（1.48～1.49）。“针状火焰”在透射光下呈现与合成欧泊相同的蜂巢状结构。塑料欧泊摩擦以后能产生静电吸附纸屑。

【评价依据】 欧泊是以“整颗粒”、二层石、三层石三种形式在市场上出售，以整颗粒的价值高，三层石价值最低。欧泊以变彩均匀、色美，红色和紫色成分多，亮度强，致密无破损者为佳品。尤其是黑色彩片斑斓的欧泊价值最高。

【产状与产地】 欧泊矿床有两种类型，一是古风化壳型，以澳大利亚为主，其次是墨西哥。另一类是火山岩热液型，在火山岩的裂隙、孔洞中沉淀形成，以美国为主，还有捷克斯洛伐克。澳大利亚产量占世界总产量的90%～95%。

## Ia013 长石 feldspar

长石的种类很多，但用来做宝石的仅有月光石（微斜长石）、日光石（含金属矿物的斜长石）、拉长石（具变彩效应）和天河石。月光石和天河石属正长石，日光石和拉长石属斜长石。其中月光石是最有价值的品种，许多地方人民认为佩戴月光石，可以带来好运。今天，月光石被宝石界定为六月的生辰石。

【组成与结构】 长石属 $KAlSi_3O_8$-$NaAlSi_3O_8$-$CaAl_2Si_2O_8$ 的三元素矿物，即相当于钾长石、钠长石和钙长石三个端元分子组合的混熔矿物，透长石、正长石、水长石、天河石属钾钠长石系列，拉长石、奥长石、钠长石属钙钠长石系列，其中透长石、正长石和水长石属单斜晶系，其余属三斜晶系。

【物化性质】 长石类矿物一般颜色较浅，有白色、灰色、浅黄、浅红、浅绿等色，拉长石颜色较深。透明～半透明，玻璃光泽～珍珠光泽。解理完全，断口不平坦，硬度 6～6.5，相对密度 2.56～2.72，折射率：钾钠长石在 1.517～1.539，双折射率 0.004～0.010；钠长石-拉长石在 1.525～1.573，双折射率为 0.007～0.012。色散度 0.12。部分矿物显晕色和晕彩及由包裹体引起的特殊光学效应。

**长石类宝石特征成分及物理性质**

| 宝石名称 | 天河石 | 月光石 | | | | 日光石 | 拉长石 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 矿物名称 | 微斜长石 | 正长石 | 水长石 | 钠长石 | 奥长石 | 透长石 | |
| $K_2O$ | 13 | 15.60 | 15.30 | 0.18 | 0.65 | 9.40 | 0.20 |
| $Na_2O$ | 1.9 | 0.80 | 0.92 | 11.69 | 8.90 | 4.19 | 3.88 |
| $Rb_2O$ | 1.05 | | | | | | |
| $Cs_2O$ | 0.20 | | | | | | |
| CaO | 0.36 | 0.50 | 0.11 | 0.05 | 4.09 | 1.19 | 12.80 |
| 折射率 | 1.522～1.530 | 1.519～1.524 | 0.518～0.524 | 0.525～0.536 | 1.538～1.547 | 1.528～1.539 | 1.562～1.571 |
| 双折射率 | 0.007 | 0.005 | 0.006 | 0.010 | 0.011 | 0.007 | 0.009 |
| 相对密度 | 2.595 | 2.56 | 2.56 | 2.62 | 2.655 | 2.57 | 2.701 |
| 硬度 | 6～6.5 | 6 | 6 | 6～6.5 | 6～6.5 | 6.5 | 6 |
| 晶系 | 三斜 | 单斜 | 单斜 | 三斜 | 三斜 | 单斜 | 三斜 |
| 光性 | (－) | (－) | (－) | (＋) | (±) | (－) | (＋) |

【鉴别特征】

月光石（moon stone） 乳白色，半透明，具淡蓝色晕彩。月光石是由钾、钠长石的双晶交替排列，构成格子状结构双晶层，厚度很薄，在 50～1000nm 之间，这两组相互近似垂直的双晶纹，对入射光造成散射，呈现朦胧的晕色，如同朦胧的月光而被称月光石。

日光石（sun stone） 无色透明的透长石或奥长石中，含有红色、黑色镜铁矿、针铁矿、赤铁矿包裹体而呈现出赤色或金黄色火焰状闪光。

拉长石（labradorite） 半透明，具蓝色、绿色、橙色、红色变彩。由双晶纹和微细包裹体对光的不同吸收和干涉引发不同颜色的变彩，又称彩虹拉长石。

天河石（amazonite） 一种呈淡绿～深绿色和蓝绿色的微斜长石，其颜色是由稀碱金属所引起，天河石中一般含 $Rb_2O$ 1.4%～3.3%，$Cs_2O$ 0.2%～0.6%及 $Li_2O$ 0.02%。

这些宝石除上列特殊光学效应及颜色外，还可依其相对密度，折射率等作进一步确定。

【评价依据】 月光石 具蓝光晕光的月光石最有价值，带白色晕光的较次，晕色的延长方向应与琢磨宝石的长轴一致并聚在中心，歪散将影响价值。

拉长石 以蓝色晕彩最佳，黄绿色最低。

天河石 以透明好，解理少、纯正蓝色为上品，带绿的蓝色次之。

日光石 以半透明、色深、金属包裹体反光效果好为佳品。

【产状与产地】 拉长石、日光石和天河石产于基性、中性和酸性岩浆岩和花岗伟晶岩中，而月光石和日光石多赋存在片麻岩和结晶片岩的晶洞中，具工业价值的以砂矿为主。

世界优质月光石主要产于缅甸、斯里兰卡、马达加斯加、印度、美国、澳大利亚。日光石主要来自墨西哥、美国、挪威、俄罗斯。拉长石主要产于马达加斯加、芬兰、俄罗斯。宝石级天河石见于美国、俄罗斯、印度和中国。

## 二、少见罕见宝石

世界已发现的罕见宝石近 200 种，它们因为特别稀少，不见于宝石市场，多为少数国家博物

馆、收藏家和矿物学家所据有。中国已发现的罕见宝石有十多种，下面予以简要介绍。

### Ia014 透辉石 diopside

【组成与结构】 化学式 $CaMgSi_2O_6$，单斜晶系，柱状晶体。

【物化性质】 一般无色至淡绿色，随含铁量增高而绿色加深，以及红褐色、黑色。透明～半透明，玻璃光泽。硬度 5～6，相对密度 3.27～3.31，二轴晶（－），折射率 1.664～1.721，重折射率 0.024～0.031。有些透辉石宝石具猫眼和星光效应。

【鉴别特征】 透辉石的颜色和物理性质与橄榄石相近，透辉石折射率略高，双折射率、硬度、相对密度略低。没有睡莲叶状包裹体。解理完全。

【评价依据】 以翠绿色、透明、粒大或具星光效应、猫眼效应的为佳品。

【产状与产地】 透辉石一般产于富钙变质岩中，翠绿色含铬透辉石产于金伯利岩和尖晶石二辉橄榄岩中，见于芬兰和俄罗斯。星光透辉石产于印度，猫眼透辉石见于缅甸，中国产质量好的淡绿色透明透辉石，产于天山金云母-透辉石类伟晶岩中，呈 0.5～5cm 自形短柱状晶体。

### Ia015 符山石 idocrase 和 vesuvianite

【组成与结构】 化学式为 $Ca_{10}Mg_2Al_4Si_9O_{31}(OH)_4$，正方晶系，两端锥状四方柱体。

【物化特征】 颜色有绿、蓝、红、黄、褐等色，透明至半透明，玻璃光泽，一轴晶（－），折射率 1.700～1.752，重折射率 0.001～0.008，硬度 6～7，相对密度 3.32～3.42。

【鉴别特征】 易与符山石相混的宝玉石是半透明～不透明的钙铝榴石和软玉，钙铝榴石为均质体，相对密度和折射率也略高，而软玉折射率和相对密度比符山石低。

【评价依据】 多数符山石因透明度差，但韧性好，可做玉石，我国天山一处矽卡岩晶洞中产出有黄色透明，粒径达 1～3cm 的四方短柱体。可做低档宝石。

【产地】 有美国、加拿大、俄罗斯、肯尼亚、巴基斯坦和中国。

### Ia016 堇青石 cordierite

【组成与结构】 化学通式为 $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$，但常有铁置换镁，且含一定量的水。斜方晶系，假六方柱状，横断面似圆形。

【物化特征】 颜色有蓝色、浅蓝、浅紫、浅黄和淡褐色。透明、玻璃光泽。贝壳状断口并呈油脂光泽。硬度 7～7.5，相对密度 2.57～2.61，折射率 1.522～1.578，重折射率 0.005～0.018，二轴（－），可见光吸收谱：黄区有两个吸收带，绿区有一个吸收带，蓝区和紫区有 3 个吸收带。晶体中可含有云母、矽线石、十字石、尖晶石、锆石、磷灰石包裹体。多色性强，黄绿/淡蓝/紫罗兰色。

【鉴别特征】 堇青石特有的多色性是其主要的识别特征，用肉眼从不同方向观察，体色变化极大，一个方向是靛蓝色，另一个方向就可能是极浅的黄色或无色，根据它的三色性——蓝、紫、淡黄（无色）和低的折射率、密度可与蓝宝石区别。

【评价依据】 宝石级堇青石以蓝色和紫罗兰色为优质，半透明的可琢磨成凸圆形界面，透明者可加工出刻面宝石，有水蓝宝石美名。我国天山黑云母片岩内产蓝色透明堇青石，粒度较大，达 1～4cm，但裂纹多。

【产状和产地】 堇青石产于片岩、片麻岩和接触变质岩。砂矿是宝石级堇青石主要来源。产地主要有斯里兰卡、缅甸、印度、巴西、美国、芬兰等地。

### Ia017 坦桑石 tanzanite

一种钒-黝帘石（V-zoisite）矿物。

【组成与结构】 坦桑石化学式为 $Ca_2Al_3$-$(SiO_4)_3(OH)$，斜方晶系，柱状晶体。

【物化特征】 颜色：紫蓝色、深蓝-淡蓝色和褐黄色。透明，玻璃光泽，解理面呈珍珠光泽。硬度7，相对密度3.35。折射率1.691～1.704，重折射率0.008～0.013，多色性强，（蓝、紫和黄绿色）。

【鉴别特征】 坦桑石呈靛蓝色至蓝色，十分像蓝色蓝宝石，是近期受人欢迎的品种，它与蓝宝石的区别是相对密度小，硬度低，三色性强。

【评价依据】 黝帘石有三个宝石级变种，蓝色透明坦桑石，浅紫红色透明半透明锰黝帘石块状集合体；白色～黄绿色致密块状钠黝帘石，后两者只用做玉雕石料。蓝色坦桑石以色深的蓝色猫眼最佳，其价值不低于祖母绿和蓝宝石。

【产状与产地】 产于层间片岩接触带附近的变质岩中，1967年发现于坦桑尼亚。

## Ia018　绿帘石　epidote

【组成与结构】 化学式为 $Ca_2(Al,Fe)_3(SiO_4)_3(OH)$，单斜晶系，沿 $b$ 轴伸长的柱状晶体。

【物化特征】 颜色为绿色、黄色、暗绿色、黑色。透明～微透明，玻璃光泽，二轴晶（－），折射率1.715～1.797，重折射率0.015～0.049。多色性强：无色、淡黄或黄绿-绿黄-黄绿。绿帘石遇盐酸可部分分解，可熔融。硬度6～7，相对密度3.25～3.5。

【鉴别特征】 绿帘石与符山石的颜色和折射率相近似，但绿帘石多色性强，重折射率和色散率高，可见明显的双影，又是二轴晶（－）等特征可与符山石区别。

【评价依据】 颜色深，透明，具猫眼效应的绿帘石可琢磨蛋圆宝款式而受欢迎。

【产状与产地】 主要产于接触变质灰岩中。主要产地有欧洲奥地利、瑞士和法国；美国和巴西、中国新疆和云南也有宝石级绿帘石产出。

## Ia019　方钠石　sodalite

【组成与结构】 化学式为 $Na_8Al_6Si_6O_{24}Cl_2$ 等轴晶系，多呈致密块状。

【物化特征】 颜色呈白色、黄色、绿色、红色或无色。透明～半透明。玻璃～油脂光泽。折射率1.48，色散0.018，硬度为5.5～6，相对密度2.13～2.29。受热可熔化成无色玻璃，遇盐酸溶解。

【鉴别特征】 方钠石与青金石属同族矿物，物理和化学特征相近，但方钠石结晶完好，可见到不完全解理面，质地没有青金石油腻；且颜色不太均一，无黄铁矿包裹体，相对密度亦小于青金石。

【评价依据】 优质蓝色块状方钠石可作蛋圆宝石和雕琢玉料。蓝色透明晶体可作翻型宝石 。

【产状和产地】 产于霞石正长岩或霞石正长伟晶岩中，主要产地有俄罗斯、美国、加拿大、巴西、印度和非洲。中国新疆天山碱性伟晶岩中产透明粒状宝石级方钠石及块状方钠石。

## Ia020　方柱石　scapolite

【组成与结构】 方柱石是钠柱石和钙柱石两个端元组分组成的类质同象系列矿物。化学式：$Na_4Al_3Si_9O_{24}Cl$-$Ca_4Al_6Si_6O_{24}(CO_3,SO_4)$，正方晶系沿 $c$ 轴伸长的柱状晶体。

【物化特征】 颜色呈海蓝色、紫罗兰色、绿灰色、粉红色、黄色和无色。透明～半透明。玻璃光泽，解理面珍珠光泽。一轴晶（－），折射率1.540～1.568，色散0.017，多色性：无色、淡黄色晶体；无色～淡黄/黄；粉红、紫罗兰色晶体：深蓝/淡紫。相对密度2.57～2.74，硬度5～6。

【鉴别特征】 浅色方柱石与月光石相似，方柱石为一轴晶（－），折射率略高、多色性略强，并有平行 $c$ 轴排列管状孔穴包裹体所导致的猫眼效应。

【评价依据】 粒大、透明、粉红色、黄色、蓝色猫眼方柱石为佳品。

【产状与产地】 方柱石为气成作用产物，宝石级方柱石来自缅甸、马达加斯加、巴西、坦桑尼亚等

地。中国产方柱石属钠柱石端员，玫瑰色，位于新疆帕米尔高原呈方柱石-透辉石-钠长石岩脉侵入于老片麻岩内。

### Ia021 磷灰石 apatite

磷灰石是磷矿石主要工业矿物，在前面 Fb 中已有介绍，故在此对其物理化学性质从略。

磷灰石是六方晶系，柱状晶体，玻璃光泽，蓝色磷灰石宝石二色性明显，蓝/黄。部分粒径大、透明的磷灰石具猫眼效应。蓝色和紫色磷灰石比黄色和绿色者更贵。

宝石级磷灰石通常产于含磷灰石的伟晶岩脉中和砾石层中，紫色磷灰石产于美国。绿色磷灰石产于印度，黄色磷灰石产于墨西哥。中国甘肃和新疆产蓝色和绿色磷灰石。阿尔泰钠-锂伟晶岩晶洞中，产玫瑰红色透明短柱状氟锰磷灰石晶体，粒径达 0.5～3cm。

### Ia022 锂辉石 spodumene

【组成与结构】 化学式 $LiAlSi_2O_6$，单斜晶系，柱状晶体。

【物化性质】 颜色以无色、浅黄、淡绿、粉红色为主，深黄、深绿、紫罗兰色和蓝色少。硬度 6.5～7.5，相对密度 3.16～3.20，透明～半透明，玻璃光泽。二轴晶（+），折射率 1.653～1.682，重折射率 0.012，色散 0.017，多色性显著，粉红色晶体：紫色至紫罗兰色/无色；绿色晶体：绿～蓝绿/无色～淡绿。

【评价依据】 因含微量锰呈现玫瑰红-丁香紫色宝石——紫锂辉石（kunzite），含铬而呈绿色、翠绿色锂辉石（hiddenite），纤维质品种可作猫眼宝石的锂辉石属佳品。

【产状与产地】 产于钠-锂型伟晶岩，主要产地有巴西、美国、马达加斯加、俄罗斯和中国。我国紫锂辉石见于内蒙古角力格太富锂花岗伟晶岩晶洞内，产出有 100g 的玫瑰红色透明紫锂辉石。翠绿锂辉石和透锂辉石见于新疆阿尔太富锂伟晶岩中。

### Ia023 铯沸石 pollucite

【组成与结构】 化学式为 $(Cs,Na)Al_2Si_4O_{12}\cdot H_2O$，等轴晶系，细粒块体为多。

【物化特征】 颜色淡～无色，透明～半透明，玻璃光泽。硬度 5～7，相对密度为 2.90。均质体，折射率 1.52，紫外线和 X 射线下呈橙～粉红色荧光。

【产状、产地及评价】 铯沸石见于花岗伟晶岩中，优质透明小粒铯沸石见于美国缅因州和康涅狄格州。丁香紫-白色块状铯沸石见于瑞典。无色透明小块状铯沸石见于中国阿尔泰地区伟晶岩中。

### Ia024 钽锰矿 manganetantalite

【组成与结构】 化学式 $MnTa_2O_6$，是 Fe、Mn、Nb、Ta 类质同象四组分的一个端元矿物，斜方晶系，短柱状，板状晶体。

【物化性质】 深红色、红褐色、褐黑色。硬度 6～6.5，相对密度 8，解理清楚，弱电磁性。二轴晶（+），折射率 2.19～2.34，重折射率 0.150，色散高。玻璃光泽～松脂光泽。

【鉴别特征】 与钨锰矿在颜色和折射率等方面很相近，但钨锰矿的硬度为 4～5.5，相对密度 6.7～7.3，都比钽锰矿小。颜色略差（浅红、浅紫、褐黑色），光泽略强（半金属～金刚光泽）。

【产状和产地】 产于花岗伟晶岩中，巴西产少量红褐色 3 克拉以上宝石级锰钽矿，俄罗斯、瑞典、澳大利亚也有报道，我国新疆阿尔泰伟晶岩中产出过粒径达 1cm 左右的红色透明的板状自形晶体。

### Ia025 锡石 cassiterite

【组成与结构】 化学式 $SnO_2$，是锡矿石的主要工业矿物。正方晶系，正方双锥柱状体。

【物化特征】 颜色：质纯者白色或无色，一般呈黄色、红色、褐色和黑色，与含铁等过渡族元素有关。透明～半透明，金刚光泽。硬度 6～7，相对密度 6.8～7.1，无磁性。一轴晶（＋），折射率 2.006～2.101，重折射率 0.098，色散 0.071，近两倍于金刚石。性脆。不溶于酸，在锌板上加盐酸还原出金属锡。

【鉴别特征】 浅色锡石像锆石和榍石，黑褐锡石像铁金红石，但锡石光泽比金红石弱，比锆石强，颜色呈斑点状和带状和有明显的多色性。

【产状和产地】 宝石级锡石产于花岗、石英斑岩、热液脉、云英岩和花岗伟晶岩中，主要产出地为玻利维亚，产有鲜黄褐～红褐、黄、灰和无色等优质品种，西班牙、西南非洲、澳大利亚、美国、英国和墨西哥等地也有产出。我国是产锡大国，也有些宝石级锡石产出于小型热液脉和伟晶岩型矿体中。如云南西盟和九毛石英脉晶洞内，产有粒径为 1～2cm 的无色透明锡石和褐红色透明锡石；新疆东准噶尔花岗伟晶岩，产有粒径为 1～3cm 黑红色透明锡石；在四川雪宝顶石英脉中，产出有晶形较完整，粒径达 2～7cm 的黑色锡石。

## Ia026　白钨矿　scheelite

【组成与结构】 化学式为 $CaWO_4$，正方晶系，四方双锥或呈板状体。

【物化性质】 颜色为白色、淡灰色及黄白色、淡绿色、浅褐色。断口不平坦，玻璃～丝绢光泽。硬度 4.5～5，相对密度 6.0，无磁性，在阴极射线下和短波紫外线下发浅蓝色白色荧光。一轴晶（＋），折射率 1.918～1.937，重折射率 0.016～0.017，溶于盐酸和硝酸。

【鉴别特征】 白钨矿以其颜色浅，相对密度大，折射率高，以及在紫外线下呈显明的浅蓝色可与浅色长石、重晶石、磷灰石、钙铝榴石区别。

【产状和产地】 多产于接触交代型矿床。无色透明宝石，褐色、棕色晶体见于美国。白灰色晶体见于朝鲜。无色、浅黄色、橘红色透明白钨矿见于中国四川雪宝顶石英脉晶洞内，粒径为 1～10cm 的四方双锥晶体。

## Ia027　金红石　rutile

【组成与结构】 化学式 $TiO_2$，正方晶系，柱状，针状，部分呈曲膝双晶。

【物化特征】 颜色较复杂，红褐色、棕红色、褐色、橙黄色、黑色都有。半透明～不透明，金刚光泽～油脂光泽，硬度 6～6.5，相对密度 4.2～4.4。一轴晶（＋），折射率 2.61～2.90，重折射率 0.29，色散 0.28，多色性弱。不溶于酸。

【鉴别特征】 金红石呈柱状晶形，曲膝双晶及颜色深，强光泽，高的折射率和重折射率鉴别。浅色金红石易与锆石混淆，但锆石光泽较弱，折射率和重折射率较低。红褐色金红石可能与锡石混淆，但金红石折射率和重折射率比锡石高，相对密度比锡石低。

【产状和产地】 金红石是个常见的钛矿物，也是一个重要工业钛矿物，但宝石级金红石仅见于石英脉中和伟晶岩中，产地有美国、巴西、瑞士、俄罗斯、法国。中国河北丰宁县伟晶岩中，产有黑红色半透明短柱状晶体，粒径 1～3cm。

## Ia028　榍石　sphene

【别名】 titanite

【组成与结构】 化学式 $CaTiSiO_5$，单斜晶系，晶体呈楔形。

【物化性质】 颜色呈绿、黄、褐色和蜜黄褐色，透明～半透明。金刚光泽～油脂光泽。硬度 5～5.5，相对密度 3.50～3.54。二轴晶（＋），折射率 1.88～2.09，重折射率 0.135～0.180，色散 0.051，多色性明显：无色/绿黄色/红黄色。

【鉴别特征】 榍石常具特征的信封状或楔状晶形，光泽强，色散强，折射率和重折射率高。仅可能与锆石和人工合成金红石混淆，但榍石的相对密度明显低于上述两矿物。

【产状与产地】 榍石一般呈副矿物产于火成岩、变质岩中。宝石级榍石见于墨西哥、巴西、印度、美国、加拿大等，此外在巴基斯坦、斯里兰卡、缅甸亦发现宝石级榍石，在中国帕米尔的方柱石-透辉石-钠长岩脉晶洞内，见到呈粒径 2～8cm 的“信封状”楔形晶体。

## 三、有机宝玉石

### Ia029 珍珠 pearl

【组成与结构】 珍珠是由外来核心层和包裹它的珍珠层构成，珍珠层是由角质和文石晶体垂直层面互相重叠排列呈同心圆状的生长层。其化学成分为：$CaCO_3$ 91.6%、$H_2O$ 4%、有机质 4%、其他 0.4%。

【物化特征】 颜色以白色为主，也有粉红色、淡黄色、淡绿色、淡蓝色、褐色和黑色。相对密度 2.61～2.78，折射率 1.530～1.686。在长波紫外光下，部分珍珠显白色荧光，黑色珍珠发淡红色荧色。遇盐酸起泡。

【鉴别特征】 目前市场上有天然珍珠、人工养殖珍珠、染色珍珠和赝品珠。

天然珍珠多呈圆粒状，它的核心极小，肉眼几乎不能辨，由表及里，几乎全由一层层极薄的同心圆状珍珠层组成，结构均一，硬度相同，钻孔孔径均匀一致，其珍珠层厚，透明度略差。

养殖珍珠始于中国，至今已有 1700 多年历史，其后传入日本。分海水养珠、淡水养珠和淡水无核养珠等。天然珍珠与养殖珍珠的主要区别是养殖珠多有内核，珍珠层然后围绕它生长，其结合面有一条褐黑色痕迹。一般情况下珍珠层较薄，仅有 0.5～2mm，透明度好，具半透明的凝胶状外表。日本琵琶湖养殖出无核人工养殖珍珠，称琵琶珠，它呈椭圆和不规则形态，它的珍珠层亦薄，中间呈空心等可与天然珍珠区别。

染色珍珠：改色珍珠多是灰黑色、黑色珍珠，颜色均一，光泽差。而天然黑珍珠并非纯黑色，而是略带彩虹样闪光的深蓝黑色、或古铜色调黑色。用布蘸一点 5%的稀硝酸擦洗珍珠，若布上显有黑迹，则属染色珍珠。

赝品珠，即人工制造的假珍珠，一般有 3 种：充蜡玻璃仿制珠——相对密度小（1.5），表面光滑，硬度大；塑料镀层仿制珠和珠母镀层仿制珠，表层呈均匀分布的丘疹状，不如天然珍珠和养殖珍珠贴实平整，在偏光器下观察呈均质性，而天然和养殖珍珠显非均质性。

【评价依据】 经济评价依据是颜色、光泽、透明度、质地、形状、大小及加工精细程度。颜色以白色稍带玫瑰红色为最佳，白色、白色带浅粉红色者颇受欢迎；蓝黑色带金属光泽为特佳品，而黄色则少有人喜爱。珍珠形状以圆形为好，制成套件价格高。珍珠上打孔质量好坏对价格也有很大影响。

【产状与产地】 珍珠附生在天然淡水湖和海水软体动物贝壳中；在美洲、亚洲、欧洲和澳洲海域及内陆河流和湖泊中皆有产出。优质天然珍珠主要产于波斯湾地区和斯里兰卡，称为东方珍珠，其次是缅甸、菲律宾和澳大利亚等产出的珍珠粒大、形圆、珍珠层厚、白色、具强的珍珠光泽，属世界名贵品种，称南洋珍珠。价格非常昂贵。

人工养殖珍珠在世界许多地方都有，日本是第一生产大国，淡水无核养珠产于日本列岛中部琵琶湖，出口世界各地。中国是世界第二大养殖珍珠生产国。广西合浦县（古称廉州）生产海水养珠已有 1700 多年的历史。合浦珍珠几乎粒粒放光，结实凝重，光润晶莹，颗粒大而圆，有白色、粉红色、乳白色，带金属光泽的蓝黑色。在国际市场上销路甚佳。淡水养殖及淡水无核养珠遍及南方诸省，以江苏数量多，质量好。

### Ia030 珊瑚 coral

珊瑚是古今中外人士喜爱的宝石品种，古罗马人视珊瑚具有防止灾祸，给人智慧、止血和驱热

的功能，至今意大利还流行用珊瑚做避邪的护身符。佛教徒们视红色珊瑚是如来佛的化身。印度和中国西藏人民把珊瑚作为祭佛的吉祥物，是极受珍视的首饰宝石品种，制作项链、手镯、胸针和雕刻摆设饰物。

珊瑚是圆筒状腔肠动物，在成长过程中，分泌出石灰质（方解石）来建造自己的躯壳，为了追求食物和阳光，珊瑚就像树木抽枝拔芽一样，形成了树枝状的群体，呈现出婀娜多姿、美丽动人的天然艺术品。

【组成与结构】 化学式为 $CaCO_3$，由微晶方解石集合体构成，呈树枝状，枝体上有纵条纹。

【物化性质】 珊瑚一般为白色，宝石级珊瑚为红色，粉红色，橙红色，亦有少量黑色和蓝色者。不透明～亚半透明，颜色较均一，仔细观察，可见深浅和透明度稍有差别的平行条带，平行条带在珊瑚的横截面上呈同心圆状。在珊瑚的枝体上有寄生虫的巢穴（凹坑）。珊瑚呈蜡状光泽，硬度3.5～4，相对密度 2.6～2.7，折射率 1.48～1.66。遇盐酸起泡，无荧光。

【鉴别特征】 与珊瑚相似的天然宝玉石尚未发现，但市场上有仿制赝品及合成珊瑚品存在。它们是

染色大理石　呈红色具粒状结构，没有颜色不均匀的条纹，用棉签蘸丙酮擦拭，棉签上呈现红色。

粉红色玻璃　玻璃光泽，含有气泡，贝壳状断口，遇盐酸不起泡。

粉红色塑料　不具珊瑚所特有的条带状结构，有使用模具留下的痕迹，遇盐酸不起泡。

吉尔森合成珊瑚　微细粒状结构，见不到天然珊瑚颜色或透明度略有差异的条带状结构。相对密度 2.45，较天然珊瑚小。

【保养与评价】 珊瑚的化学成分是化学性质不稳定的 $CaCO_3$，故在夏天炎热、人体流汗时，不宜久戴珊瑚项链，因为汗液中的盐和酸性分泌物会腐蚀珊瑚。珊瑚不宜多接触香水、酒精、食盐、油污和醋等。

珊瑚的质量相差无几，颜色和块度是经济评价的依据，红色越深越贵。

【产状与产地】 珊瑚在暖海近岸地带多有产出，红色贵珊瑚以地中海、红海、苏伊士海湾口、日本小笠原群岛至琉球群岛的浅海区，我国台湾基隆和澎湖列岛均有产出。

## Ia031　琥珀　amber

琥珀作为玩物和装饰品出现的年代很早，战国墓中就出土有琥珀珠，汉代以后，琥珀制品更是多见。古罗马人赋予琥珀极高的价值，一个琥珀小雕像比一名健壮的奴隶价值都高。琥珀能散发出一种优雅的芳香，古罗马妇女，爱将琥珀置手中把玩。

【组成与成因】 琥珀是第三纪松柏科植物的树脂，经地质作用掩埋到地下，树脂经石化而成。化学成分为 $C_{10}H_{16}O$，其中碳 79%，氢 10.5%，氧 10.5%，有时含少量的硫化氢。

【物化性质】 颜色多呈黄色、橙黄色、褐黄色或暗红色。树脂光泽，透明～未透明，性脆，在锋利的刀刃下切割易崩块，贝壳状断口，折射率 1.539～1.545，相对密度 1.1～1.16，硬度 2～3，非晶质体。琥珀是碳氢化合物，加热到 150℃软化，250～300℃熔融燃烧，加热时有树脂芳香味。琥珀溶于酒精，摩擦可生静电。能吸附纸屑，非晶质，但在偏光器下局部发亮。琥珀的形态多呈饼状、肾状、瘤状及拉长的小滴状。有时琥珀中心常包有昆虫。

【种类、识别及保养】

天然琥珀　树脂光泽，特有的黄色、褐黄色透明体、质轻和摩擦生电可以和自然界中所有宝石区别，此外，用放大镜观察可见流线和圆形气泡，偶尔包有昆虫化石。折射率 1.54，用热针触及有芳香味。

净化琥珀　琥珀易干裂，将整粒琥珀放在植物油中缓慢加热，使之在低温环境中熔融。熔融后的琥珀颜色变浅，多呈浅黄色，透明度提高，但有时能见到由微细气泡构成的云层。时间长了表面仍出现细纹。

压制琥珀　在加压的条件下加热小粒琥珀使之熔融交结在一起。产品透明度提高，颜色变浅。但在偏光器下可见应变双折射现象。在紫外光照射下也还有粒状结构。

硬树脂　一种近代树脂。一切特点与琥珀类同，只是含有更多的挥发分，耐久性差。区别是在硬树脂表面滴上一小滴乙醚用手指揉搓会使硬树脂软化并发黏，而琥珀无此现象。

赝品　塑料是仿琥珀的主要赝品，外表十分相似。区别是密度和气味。天然琥珀在饱和的盐水中漂浮，而塑料制品下沉。塑料用热针触及有辛辣味。

琥珀怕热、怕曝晒，过分干燥易产生裂纹，其制品不宜放在阳光直接照射的地方，琥珀属有机质，易溶于有机溶剂，故不要用重液测相对密度和浸油测折射率。琥珀性脆，不宜受外力冲击。

【评价依据】 琥珀的评价除制品的颜色、透明度、雕琢工艺外，最贵重的是含昆虫的琥珀，依昆虫的清晰程度、形态大小、数量及完整程度而决定其经济价值。

【产状与产地】 琥珀产地较多，以欧洲波罗的海沿岸最著名，如波兰、德国等。其他还有北美、印度、印度支那、新西兰等。中国琥珀产地有辽宁抚顺和河南南阳地区。抚顺产上品琥珀，其中常包有昆虫，清晰美观，十分珍贵。南阳琥珀质量差，只有药用或作压制琥珀。

## Ia032　煤玉　jet

一种不透明，光泽强的黑色材料，我国700多年的文化遗址中就有煤玉工艺品及煤块。古罗马时代，煤玉是流行的“黑宝石”，煤玉工艺品呈光滑的球形、耳铛和圆形物及兽形工艺品。

【物化特征】 煤玉是褐煤的一个变种，以低等植物为主，亦有部分高等植物遗体组成的腐殖腐泥混合煤。主要成分：含碳77.7%，氢6.74%，氧13.4%，氮1.66%，硫0.66%。通常为致密块状，性脆。煤玉为黑色、褐黑色，明亮的树脂光泽，折射率1.66，相对密度1.35，硬度2.4～4。手触有温感。

【鉴别特征】 在外观及折射率方面与煤玉相近似的物质有玻璃辉石、黑曜岩、染黑玛瑙、酚醛树脂、黑色塑料。前三种天然石质体的比重和硬度比煤玉高，手触呈凉感，热针触探无气味等可与煤玉区别。酚醛树脂、黑色塑料的比重比煤玉小，热针触探有辛辣气味，有韧性和模制痕迹而不同于煤玉。

【产状与产地】 煤玉主要产于煤系地层中，主要产于美国中西部、英国北部以及西班牙和法国。我国煤玉主要产于辽宁抚顺第三纪煤系中。

## Ia033　牙类及龟甲

人类要保护野生动物，维持生态平衡。大象已被列为世界保护动物，不准许任何人猎杀。但世界各国历代流传下来的牙制品甚多，特别是象牙制品很多，为了识别，特将鉴别特征简介如下。

(1) 象牙　颜色呈白色和浅黄色。半透明到不透明。象牙的横断面上有两组相互交织的弧形网格，好像是旋转引擎的图案。象牙的纵断面有近于平行的波纹线。相对密度1.70～1.80。折射率1.54。

(2) 河马牙　河马牙结构细腻，横断面呈现排列密集，略呈波纹状的细同心线。质白且不易沾污。是最好的牙料，相对密度1.80～1.95，折射率1.54。

(3) 海象牙　海象牙的结构分为内外两部分。内部有瘤状外观。相对密度1.80～1.95，折射率1.54。

(4) 龟甲　龟甲就是乌龟的背壳，颜色呈褐色和黄色斑杂状。用热针触及有烧焦的头发味。装饰用龟甲是来自玳瑁龟。龟甲是非晶质的，油脂光泽～蜡状光泽。硬度2.5，韧度相当好，无解理，断口不平坦和暗淡，相对密度1.29，折射率1.55。

(5) 仿牙制品

骨头　骨头是常用来仿制象牙的材料，它的折射率1.54，相对密度2，与象牙相似，但结构不

同。骨头横断面是密集排列的小点，纵截面则见平行排列的线条特征来区别于象牙。

植物象牙　这是一种植物的果实，在横截面上可看到模糊的同心圆线，纵截面可见模糊的直线。折射率 1.54，但相对密度比象牙低（1.4～1.45）。

塑料　塑料中的赛璐珞是常用的仿制材料，但仿制品上只有纵纹而没有弧形网格。它的相对密度与象牙接近，但折射率低（1.50）。用热针触及有醋味。

# Ib　玉石和印章石

## 一、概论

中国是世界开发和使用玉器最早的三大地域之一，又是玉文化最发达、流传最久的国家。自古以来，有关玉石的界定并不统一，古人多称石之美者为玉。又称“玉：石之美，有五德”。也就是说，玉是一种美石，且必须符合象征君子“仁”、“义”、“智”、“勇”、“洁”五种品质的美石。并多以色辨玉。玉、器不分；就是常以色定名，且玉块和玉器不分，统称为玉。现代人们对玉的认识及解释也不一致，《辞海》解释玉为“温润而有光泽的美石”（1979 年版）；1987 年出版的《矿产工业要求参考手册》中称玉石为：适用于雕琢玉器的岩石，常为单矿物或多矿物集合体，致密块状，半透明至不透明，硬度为莫氏 4～7 左右。1997 年 5 月 1 日正式实施的《珠宝玉石名称》国家标准中，给出了玉石的科学定义。即“玉石”是“由自然界产出的，具有美观、耐久、稀少性和工艺价值的矿物集合体，少数为非晶质体”。印章石是中国玉文化的特殊产品，它的硬度比一般玉石材质的偏低，适于刻制印章，在我国已有悠久的发展历史和较大的市场，故给予特殊命名。

我国玉石的开发及玉文化的发展，由新石器时代萌芽，在奴隶社会形成并发展，玉器的用途由玉工具发展到装饰，并逐渐变为以祭器、法器等礼器为主。姚士奇先生综合了这一时期的玉器用途有以下十种。

① 礼用器　以六瑞为主，还包括琮、笏、珑等。

② 祭用器　以六器为主。

③ 丧葬用器　玉含、玉塞等丧葬类六器。

④ 佩用器　发饰、耳饰、颈饰、腕饰、首饰、腰饰等。

⑤ 财货用　玉马、玉龟、玉几、玉爵、玉象等。

⑥ 军用器　牙璋、戈、矛、斧、钺、刀等。

⑦ 节用器　节是天子与诸侯，诸侯与诸侯进行交往活动的信物，如珍圭、谷圭、琬圭等。

⑧ 嵌用器　常嵌玉于剑、弓、杖、冠等。

⑨ 食物　古籍中有玉屑、玉浆、玉糜等。

⑩ 乐用玉器　常见有玉磬、戚等。

《周礼》曰：“以玉作六器，以礼天地四方：以苍璧礼天，以黄琮礼地，以青圭礼东方，以赤璋礼南方，以白琥礼西方，以璜礼北方”。“以玉作六瑞，以等邦国，王执镇圭，公执桓圭，侯执信圭，伯执躬圭，子执谷璧，男执蒲璧”。

据史籍记载，周武王灭商时，在商的首都缴获宝玉 14000 块，佩玉 18 万块。河南安阳县挖掘出来一座至今为止最完整的一座殷王室墓葬——妇好墓。妇好是殷王武丁的妻子，且战功卓著，死后受厚葬。从其墓中共发掘随葬器物 1600 多件，其中就有玉器 750 余件，这其中礼器 160 多件，仪仗器 60 多件，实用工具类 60 多件，装饰与艺术品 300 多件。跟其他铜器、骨器、蚌器相比，玉器所占的比例为最大，这充分说明当时统治阶层多么喜爱玉器和大量占有玉器。也说明古代国家政治最重要内容的“礼”中，玉器是最重要的载体。玉器中大量装饰与艺术品玉器和相当数量实用工具类玉器的呈现，说明当时玉既是祭祀和礼制的载体，也是文化艺术和财富的体现。更赋予玉许多美好神奇的评论，如玉是万物主宰说，天地之精说，道德楷模说，能避邪除祟说和延年益寿说等充

分说明中国玉器及玉文化的很大发展。

秦汉至明清封建社会时期，是我国玉业和玉文化的持续发展时期。在玉器的应用方面，礼器用玉渐趋衰落，佩玉盛行，到后期则陈设类、文房玩物类、器皿类、神像类大增。册宝类、祭器类和镶嵌类仍保有一定阵地。由于汉、唐以来疆域的扩展，对外交流的兴盛，使玉石品种和产量大增，和田玉和翡翠的大量出现，雕刻工艺上圆雕、浮雕、镂空、薄意、俏色等手法的创新，大大提高了玉雕水平。花辫纹、飞天纹的运用；花鸟、神佛、吉祥图案的兴起，更有宋徽宗嗜玉成癖，清乾隆爱玉成癖，琢玉业由宫廷走向民间，形成了北京、扬州和苏州三大玉业中心，大大促进了玉雕业的繁荣和昌盛，产生了许多稀世珍品，如最早的元代大玉雕《渎山大玉海》，质量 1950kg。迄今为止，最大的玉制品是清朝的《大禹治水图》，质量 5300kg。这一时期的玉文化更有新的发展，拜玉风渐弱，崇玉风更盛，中国三大哲学思想儒家、道家和佛家的理念，以玉为载体，广为流传。有关论玉、评玉、颂玉的专著、小说、诗歌、典故、成语甚多。《红楼梦》就是一部写“人玉一体”和“借玉非今”，揭示当时统治阶层生活言行的不朽佳作。

清末到新中国成立之前，中国大地上外受帝国主义列强的侵略和掠夺，内部亦战乱不已，国穷民贫，不仅玉业不振，已有的大量玉件国宝珍品亦多外流。小说和电影《穆斯林的葬礼》，真实和生动地反映了当时中国玉业衰落和其从业人员学艺谋生的艰辛及护玉爱国的崇高品德。

改革开放以来，生产大发展，人民生活水平提高，玉业大兴，有关宝玉石类的专著和通俗读物成为畅销书，宝玉石的地质研究亦备受重视。珠宝玉器的销售额成倍上升。纵观中国历史，玉雕业及玉文化的兴衰与国家的兴衰息息相关，诚如有人说：“玉雕，乃国事也”。

## 二、常见玉石

### Ib001　翡翠　jadeite

被誉为东方“瑰宝”和“玉石之王”。

【组成与结构】 翡翠主要由单斜辉石类矿物——硬玉（jadeite，$NaAl[Si_2O_6]$）组成，天然翡翠除硬玉之外，还含有 1%～52%其他矿物，如透辉石、钙铁辉石、霓石、霓辉石、钠铬辉石、钠闪石、钠长石以及铬铁矿、磁铁矿、赤铁矿等，其中后三种铝硅酸盐矿物有时可形成钠铬辉石翡翠、钠闪石翡翠和钠长石翡翠。硬玉翡翠的理论化学成分值为：$SiO_2$ 59.45%、$Al_2O_3$ 25.21%、$Na_2O$ 15.34%，但不同产地和不同亚种，其化学成分存在较大差别，几个典型品种的化学成分如下。表中分析值反映出绿色翡翠中硅、铝、钠略低，而镁、钙较高，红色翡翠铬、铁含量较高。一般翡翠是以硬玉为主的粒状和纤维状矿物集合体组成，致密块状，薄片鉴别结构有粒状镶嵌结构、纤维交织结构和交织结构。

几个典型翡翠品种化学成分（%）

| 成分 / 品种 | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Cr_2O_3$ | FeO | MnO | MgO | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 无色翡翠 | 59.82 | 24.43 | — | 0.05 | — | 0.04 | 0.14 | 13.50 | 0.03 |
| 绿色翡翠 | 59.62 | 22.73 | 0.092 | 0.48 | 0.51 | 1.22 | 1.67 | 12.75 | — |
| 红色翡翠 | 59.50 | 24.42 | 0.57 | 1.57 | — | 0.13 | 0.83 | 13.39 | 0.06 |

注：引自廖宗廷等，1998。

【物化性质】 翡翠具强玻璃光泽至油脂光泽，硬度 6.5～7，相对密度 3.25～3.4，半透明至不透明，折射率 1.65～1.67，韧性强。翡翠的颜色变化较大，范围较广，典型的颜色有绿、红、蓝、紫、黄、白、青、黑绿等色。翡翠以绿色为主，绿色可进一步分成祖母绿色（艳绿为祖母绿宝石色）、苹果绿色、葱心绿、菠菜绿、油绿色、灰绿色等十多种。翡翠中的绿色常分布不均，形态各异，因此又分别描述为带子绿、团块绿、丝絮绿、均匀绿、靠皮绿等；除单色翡翠外，还有多色翡翠，三色的称福禄寿或三彩，四色的称四喜，也称四全。具五种颜色的称五福临门。艳绿色翡翠，如果是由含铬的绿

色硬玉组成，在吸收光谱中的红色区有三条细的吸收带，在蓝色区 437nm 处有一条黑色吸收带。如果是含铁的绿色或其他颜色的矿物组成，则只在蓝色区 437nm 处有一条黑色吸收带。

翡翠的结构和透明度的差异，构成了翡翠质地的差别，变斑晶交织结构中，用肉眼能见到的小斑晶，行家们称为翠性，又称苍蝇翅，显丝绢状闪光效应。在翡翠中还常见纤维状晶体密集堆集在一起的透明度略差的白色斑块，行家称为石花，翡翠的透明程度用“水头”表示。常见翡翠质地有如下品种。

玻璃地：结构细腻，韧性强，半透明至透明，像玻璃一样均匀而无绵柳或石花，不受颜色限制，属翡翠佳品。

蛋青地：是一种较混浊的玻璃地品种，透明度稍差，质地如同鸡蛋清，玻璃光泽。

油青地：质地细腻，透明度较好，色较暗，有油青色、豆青色、灰青色、蓝青色等，似油脂光泽而得名。

马牙地：结构细腻不透明，形如马牙般“瓷底”而得名。

干地：结构粗糙，有明显颗粒感，不透明，光泽不强的翡翠。

还有许多质地名称，属过渡性质地，从略。

【功能与用途】 16 世纪，欧洲人把它佩戴在腰部，是一种能治腰痛和肾痛的宝石。用翡翠制作的玉器有戒指、镯子、耳坠等多种佩戴品，也有用大件玉料制作的工艺美术品，如俏色玉雕、“福禄寿”三色玉雕。而“岱岳奇观”更是翡翠工艺精品。翡翠属高档玉料，对其经济评价是依据玉件的颜色、透明度、结构、净度、磨工五个方面评定。

颜色是评价翡翠的第一要素，以红色和绿色最佳。翡翠颜色以绿色居多，因此更注重对绿色的评估，好的绿色要达到的标准是正、浓、阳、均。正是指色调纯正，纯正祖母绿色特佳，微黄的苹果绿色次佳，带黄的葱心绿色较差，微灰的油绿色甚差，灰绿色特差。浓是指颜色的深浅，浓的特佳，较浓的很佳，偏淡的差，很淡的很差。阳是指颜色的明亮鲜艳程度，艳绿色佳，暗绿色差。均是指颜色分布的均匀度，均匀的佳，不均匀的差。最佳的颜色应是均匀的浓艳绿色。

透明度：依光线透过翡翠的深度可分透明（玻璃地）、半透明（半玻璃地）、尚透明（水地）、微透明（粉底）、不透明（干地）五种。

结构：表述矿物的粗细程度，共分 6 种。非常微粒结构（用 10 倍放大镜难见），质量极佳；细微粒结构（用 10 倍放大镜可见），质量很佳；细粒结构（肉眼难见），质量尚佳；较粗结构（肉眼可见），质量稍次；粗粒结构（肉眼易见），质量很次；很粗结构（肉眼看得十分清楚），质量极次。

净度：翡翠的瑕疵程度，包括黑色瑕疵（磁铁矿或铬铁共晶石等，多呈点状展布）、白色瑕疵（石花或白色长石矿物）和绺（指翡翠中的裂纹和裂痕）。根据这些瑕疵对翡翠成品的美观所造成的损害程度来进行估价。

琢磨工：包括造型设计、切磨和抛光。玉不琢不成器，可见琢磨对璞玉变成高贵宝玉的价值。

【鉴别特征】 优质翡翠价格昂贵，一块 100g 左右的玻璃地艳绿色翡翠价值 15 万美元。因此，市场上以假充真、以劣充优的赝品、次品很多。要谨防假冒。翡翠的外观特征有：颜色不均，绿色定向延长；带油脂的强玻璃光泽；变斑晶交织结构，显翠性和石花；有凉感，亲水性强。用一般仪器可测得翡翠折射率近似 1.66，硬度 6.5～7，相对密度 3.25～3.4，在查尔西镜下颜色不变。与天然翡翠容易混淆的物件有三种，一是在观感上与天然翡翠相近似的其他天然玉石；二是有缺陷的天然翡翠经人工优化的改性翡翠，行家称 B 货、C 货；三是非玉石的仿制品——赝品。

1. 翡翠与相似玉石的识别

与翡翠有些相似的玉石有蛇纹石玉、独山玉、青海翠、东陵玉、澳洲玉等，有关这些玉石的详细资料后面将另有详细介绍，这里仅指出他们各自与翡翠的区别特征。总的看，上列玉石通常都只能用来仿冒较低档的翡翠，因为它们都不常见很鲜艳的翠绿色。青海翠（钙铝榴石）的绿色相对较好，但其绿色常呈斑点状分布，特征很典型；独山玉的绿色多偏暗，且杂色较多，透明度较差；绿

色东陵玉（绿色石英岩）的绿色常带有蓝色调，其鳞片状的铬云母片也很典型；蛇纹石玉透明度较高，淡淡的均匀的绿色或黄绿色与翡翠并不相像；独山玉色杂不均，光泽较暗，且无“翠”性，粒状结构，可与翡翠区分；澳洲玉是含镍的玉髓，除绿色像翡翠外，其结构属隐晶质，十分细腻，颜色均一，易与翡翠区别。

2. 人工优化及鉴别特征

由于市场的需求和资源的短缺导致优化事业的发展，优化产品有三种：人工漂白注胶翡翠（B货）、染色翡翠（C货）、人工漂白注胶染色翡翠（B+C货）。天然翡翠称A货。

B货是以强酸浸泡的方式去除翡翠玉料中的杂质或脏色，再以无色胶作充填处理的翡翠。它可使翡翠的净度和透明度提高，且使绿色更明艳。但由于强酸的侵蚀，使得翡翠结构遭到一定程度的破坏，从而使组织变得较松散，尽管以聚合物充填可起到固结的作用，但时间一长免不了胶质老化甚至变化的问题，因之尽管可以有高档翡翠的外观，但价格可差10倍以上。B货的鉴别较难，需要有丰富的经验及鉴别条件才能最终解决问题，但感观的印象仍是不可忽略的。一是光泽，由于胶类的充填，B货不如A货的玻璃光泽那样明亮，带有树脂感。二是颜色，B货的颜色通常较鲜艳，不太自然，具有漂浮感，绿色与白色的反差较强。三是声音，A货的敲击声非常清脆舒扬，哪怕以指甲轻刮都会有清越的声音，B货则发闷，即便脆却不舒扬。四是结构，在宝石显微镜下观察，B货的晶体有破裂、错开现象，会产生表面光泽的差别，常可在B货表面看到似龟裂纹的网纹，犹如橘皮效应。五是荧光特性，B货在紫外荧光灯下发荧光，A货则很少。六是实验室用红外吸收光谱仪可测出B货中的聚合物的存在，在较高温度下聚合物就会变黄甚至烧焦，而A货可耐千度高温而不变色。

C货是染色翡翠，是用无机盐或有机染料在一定温度或压力下对无色或浅色的翡翠着色，通常是染绿色，以充当高绿翡翠。染色的翡翠外观颜色较浓艳，放大观察常可见颜色集中在颗粒之间的缝隙中以及裂缝中，不像A货翡翠的颜色是由矿物颗粒本身的颜色所致。C货与A货在分光镜中红区谱线有差别，A货在693nm、650nm、630nm处有三条窄吸收带，而C货在650nm左右有一宽的模糊的吸收带。

在人工漂白注胶过程中，再加入染料处理的翡翠，称B+C货，这种翡翠在查尔西镜下观察显红色。对这种翡翠的鉴别要求的专业性较强。

3. 赝品仿冒翡翠的鉴别

常见的仿翡翠赝品有绿色玻璃，绿色脱玻化玻璃和染色石英岩。仿翡翠绿色玻璃呈半透明乳白色，放大观察可见圆形气泡和漩涡状波纹，较易与翡翠区分。绿色脱玻化玻璃市场上称为马来西亚玉，它与天然翡翠十分相似。但放大观察可见内部具羊齿植物叶脉状的纹，有时也可见到气泡。用仪器测试：折射率为1.54，相对密度为2.64，疏水性强，以此可与天然翡翠区别。染色石英岩具等粒状结构，在颗粒之间没有纤维状细小晶体。绿的染料均匀地附着在粒状颗粒之间或裂隙处，没有翡翠的“翠性”，相对密度2.64，折射率1.54，在查尔西滤色镜下观察呈暗红色等可与天然翡翠区别。

总之，翡翠优劣真伪的鉴别是专业性很强的活，要有丰富的实践经验。购买高档或大件翡翠时，最好请专门鉴别机构鉴别，并出具正规鉴别证书为宜。

【产状与产地】 世界著名优质翡翠矿床位于缅甸北部乌龙河流域。从13世纪就开始在这一带开采砂矿（俗称仔料），直到1871年才发现原生翡翠（山料）矿床。矿体产于早第三纪的蛇纹石化橄榄岩体内，它是受低温高压变质作用而形成的钠长石-翡翠岩脉。该地区已有各类采坑近70个。仔料的质量通常都比山料好。但由于仔料有外皮的遮挡，使得对其色质的评价非常困难。即便是去除外皮的仔料和没有外皮的山料，外部看到的颜色可能与内部存在的颜色有很大差异，外部没有绿，切开却见满膛绿，外部都是绿，切开可能无绿或少绿。因此在评估原料时往往带有很强的经验性和随机性。

世界90%以上的翡翠产于缅甸。在日本、美国、俄罗斯、危地马拉、意大利有少量产出，但质量差。据国外文献记载，中国西藏曾产翡翠，但至今不知产地何在。近几年在新疆已发现翡翠，

呈脉状矿体产于高压变质作用形成的蓝闪石片岩带中的超基性岩体内（邹天人，1996b），经济价值尚待评价。

## Ib002 软玉类玉石

软玉类玉石是由透闪石（tremolite）-阳起石（actinolite）系列矿物集合体构成的致密岩石类玉石，以产于中国新疆和田的软玉最好，故称和田玉，外国人也有称其为中国玉的，软玉依其颜色不同还有许多品种。软玉是我国新石器时代就已应用的一种贵重玉石。

【名称】 软玉 nephrite 或 jate，习惯称和田玉、羊脂玉、中国玉。

【组成与结构】 软玉化学式为 $Ca_2(Mg,Fe^{2+})_5(Si_4O_{11})_2(OH)_2$，由以透闪石为主或以阳起石为主的矿物集合体组成。和田玉主要品种是以单斜晶系透闪石为主，含有微量透辉石、绿泥石、蛇纹石、方解石、石墨、磁铁矿的集合体。软玉的质地十分细腻，但用手触摸有涩感，它是由粒径小于 0.01mm 的纤维状透闪石-阳起石晶体交织在一起的块体，呈毡状、簇状、捆状交织结构。这种结构肉眼看不清楚。

【物化性质】 软玉为油脂、蜡状光泽，硬度 6～6.5，韧性大。折射率 1.606～1.632，相对密度 2.9～3.1，微透明到不透明。软玉的颜色较多，取决于组成矿物的颜色，含痕量铁的透闪石呈白色或浅灰色，含铁的透闪石呈淡绿色，含 FeO 多在 1%以下，其 Mg/(Mg+Fe)＞0.90。阳起石为绿色，含 FeO 4%～12%，Mg/(Mg+Fe)＝0.90～0.50。石墨呈灰黑色，磁铁矿为黑色。软玉的矿物组成不同，颜色也不同，形成了许多品种。

白玉：白色，含透闪石 95%，阳起石 2.2%，绿帘石 2%，呈交织毡状结构，质地细腻，光泽滋润，宛如羊脂者称羊脂玉，白玉是软玉中的上品，一般含 FeO＜0.3%，Mg/(Mg+Fe)＝0.998～0.993。

青玉和青白玉：灰白至淡绿色，含透闪石 89%，阳起石 6%，绿帘石 3.3%，除呈纤维毡状结构外，偶尔可见较粗的透闪石斑晶。颜色均一，质地细腻、油脂蜡状光泽。一般含二氧化铁介于 0.38%～1.22%，Mg/(Mg+Fe)＝0.991～0.971。

糖玉和黄玉：也是以透闪石为主的软玉，糖玉以色似红糖得名，多呈紫红色或褐红色；黄玉是指淡黄至黄色的软玉，根据黄色的不同，又分多种，如密蜡黄、栗色黄、黄色黄、鸡蛋黄、米色黄……其中以蜜蜡黄和栗色黄为上品，非常稀少。软玉的黄色和糖色系由铁氧化所至。其含铁量与 Mg/(Mg+Fe) 值与白玉近似。

碧玉：绿色、深绿色或暗绿色，常见为菠菜绿色，优质的碧玉也是名贵品种，通常碧玉不如其他品种质地均匀洁净，常含有明显的黑斑、白筋等。是以阳起石为主的软玉，亦含较多绿帘石，黑斑点是由磁铁矿所致。碧玉所含铁较多，FeO＝3.8%～12.3%，Mg/(Mg+Fe)＝0.933～0.895。因其颜色不均，一般比白玉低一档次，多用于制作器皿。

墨玉：是灰黑色至漆黑色的软玉，一般颜色分布不均，墨玉的主要矿物是阳起石（岫岩）或透闪石（和田），但含杂质或石墨较多而呈墨色，墨玉细腻，多为蜡状光泽。一般墨玉的价格比白玉档次低。但通黑如漆者亦属珍品。

多色玉：有两种以上颜色的软玉，其中俏色玉则属玉雕佳品。

【功能与用途】 中国是使用软玉最早的国家之一，也是上等软玉的主要生产国，玉文化源远流长，软玉制品多种多样，有首饰、挂件、佩件、用具、祭具、玩具、陈设品和收藏保值等，人们更是用“如花似玉”、“白璧无瑕”、“价值连城”作为美丽、高尚和高贵的代表。现在市场上对软玉的经济评价是依据其颜色、质地和块度。中国白玉分三级：一等品：颜色洁白、细腻，无裂纹、无杂质，块质量在 5kg 以上。二等品：色较白、细腻，无裂纹、无杂质，块质量 3kg 以上。三等品：色青白、质地较细、无裂纹，稍有杂质，块质量在 3kg 以上。中国碧玉分四级：特等品：碧绿色，细腻、无裂纹、无杂质，稍有星点，块质量 50kg 以上。一等品：碧绿色、细腻……（同特等品），块质量 50～75kg。二等品：绿色……（同上），块质量 5～72kg。三等品：浅绿色，无裂纹，稍有杂

质，块质量 2kg 以上者。碧玉的价格较白玉低，一般特等品的价格介于白玉的二等品和三等品之间。已琢磨好的各种玉体，则还要考虑其设计造型和工艺水平全面评估。

【鉴别特征】 软玉光泽柔和滋润，好像涂了一层动物油脂，多呈微透明～不透明，在软玉中看不到透明的斑晶，而且由纤维状小晶体交织成稀疏不等的花斑。易仿冒软玉的玉类主要是蛇纹石玉、石英质玉和方解石玉等玉品。

蛇纹石质玉：蛇纹石质玉所特有的半透明状黄绿色较易与软玉区别。且其纤维交织结构不均一，没有软玉那样规则分布的花斑状结构，可见分布不规律的白色“云朵”。蛇纹石质玉的光泽较软玉差，呈蜡状。蛇纹石质玉的硬度、相对密度和折射率都比软玉小。

石英岩质玉：石英岩质玉质地细腻，玻璃光泽、等粒状结构与软玉不同，硬度略大于软玉，而相对密度和折射率小于软玉。

方解石质玉：质地细腻色白的阿富汗灰岩，市场上称“阿富汗白玉”的方解石玉很像白色软玉。但细看结构，阿富汗白玉呈粒状结构，不见软玉特有的花斑结构。硬度和相对密度小于软玉，方解石玉遇到稀盐酸就会起剧烈反应。

【产状与产地】 关于软玉的矿床类型主要有两种，一是中酸性岩浆岩热液与镁质碳酸盐岩接触交代型，我国和田玉、岫岩老玉、江苏溧阳梅岭玉属此类。二是产于铁镁质岩与蛇纹岩交代作用有关的类型。我国有新疆玛纳斯、青海祁连、台湾花莲，以阳起石为主，花莲玉还显猫眼效应。加拿大、美国、新西兰、波兰、俄罗斯等都属这一类型。还有产出较少的变质型软玉矿床，澳大利亚软玉矿床属此类型。

按玉料产状可分三类：一是山料：山上的原生矿石，棱角明显，块度一般都较大，是作大型玉件的理想材料。二是坡积料，常分布于山坡或山脚下，是由冰川或雨水自山上搬运而下的玉料，俗称山流水，搬运距离较短，还保有部分棱角，块度也较大。三是籽料或籽玉，常经河流长距离搬运磨蚀，其外形浑圆如鹅卵石，通常块度较小，但质量却最好，透明度较高，质地细腻，少裂纹，常被用于制作精美的中小型玉体，属软玉上品。

## Ib003 蛇纹岩类玉石

【种类】 蛇纹岩类玉石的命名多以产地地名命之，为中国的岫玉（辽宁岫岩县）、安绿玉（吉林集安县绿水河）、酒泉玉（产于祁连山，又称祁连玉）、泰山玉（山东泰山北麓）及会理玉、凤阳玉、蓝田玉、弋阳玉等，国外以地名命名的有朝鲜玉（高丽玉）、威廉玉（美国宾夕法尼亚州和马里兰州）、雷科玉（墨西哥的雷科）。也有依据玉料的色彩命名的，如京黄玉（北京、辽宁等地黄色岫玉）、墨绿玉（含黑色斑块磁铁矿的岫玉）、鸳鸯玉、蛇绿玉、古绿玉、血玉（红褐、黄褐色，有美丽的条带状花纹）、猫眼玉（有猫眼闪光效应，产于美国加利福尼亚等地）、花玉、竹叶状玉等。还有依据玉料产状而命名的，如崂山海底玉、戈壁玉（新疆塔克拉玛干沙漠边缘戈壁滩中风成漂砾，绿色、暗绿色，小者几厘米，大者达 0.5m）。

【组成与结构】 玉料主要以蛇纹石 serpentine，$Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$ 为主，含少量透闪石、透辉石、滑石、菱镁矿、白云石、绿泥石等矿物。两种玉料成分如下。玉料多由细小纤维状、叶片状和胶状蛇纹石晶体组成，呈网斑状结构。有时在均匀分布的基底上，可见密集堆积的不透明云朵状白色斑块。有时纤维状细长晶体呈定向平行排列时，则显猫眼效应。

两种蛇纹石玉的化学成分

| 成分 | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | FeO | MgO | CaO | MnO | $Na_2O+K_2O$ | $H_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 祁连玉 | 35.80 | 0.08 | 6.4 | 3.78 | 0.42 | 38.29 | 0.51 | 0.058 | 0.05 | 13.96 |
| 岫岩玉 | 44.57 | 0.05 | 0.20 | — | 0.62 | 41.17 | 0.13 | 0.015 | 0.60 | 12.00 |

【物化性质】 玉料质地一般细腻，用手触摸有滑感，半透明～微透明，蜡状光泽，参差状断口，相对密度 2.44～2.8，硬度 2.5～5.5，折射率 1.555～1.573，常见微带黄的浅绿色，也有豆绿色、黄绿色、白色、墨绿色，少量红褐色、黄褐色及两种颜色的花玉，鸳鸯玉。不耐磨损，遇盐酸或硫酸分解。

【功能与用途】 蛇纹石玉是我国利用历史最悠久的传统玉石之一，也是我国“四大名玉”（软玉、绿松石、独山玉、蛇纹玉）中产量广大、产地最多、应用最广的玉石品种。蛇纹石玉质地纯净细腻，颜色美观柔和而均匀，制作的玉器玲珑剔透，价格适中，玉料块度大中小都丰富，较易加工雕琢，可加工成多种各式玉件。

蛇纹石质玉料根据颜色、透明度、质地、块度分四级进行经济评价。国内外公认质地较好的品种有岫玉：多呈淡绿色，有时可见碧绿色、红色、褐色、黄色，质地细腻，半透明，蜡状至油脂光泽，在玉器成品上可见分布不均匀的丝絮，还可见不透明的白色“云朵”，是我国最优质的蛇纹石玉品种。储量丰富，产量亦大。崂山海底玉：是由崂山仰口湾陆上延伸至海底的绿色蛇纹石玉，质地细腻，光泽柔和，纹理缜密，有块状和带状之分，带状者，则为墨绿色与淡黄绿色交互排列，色彩浓淡斑驳，色形变幻多姿，其玉雕产品别具特色。朝鲜玉（高丽玉）：黄绿色，艳丽，透明度高，质地细腻，可见清晰云朵状的斑，犹如蓝天中的云朵，为优质蛇纹石玉。加利福尼亚猫眼石，是一种具有平行排列的纤维状结构的蛇纹石玉，琢磨成弧面形界面后，呈猫眼效应。

【鉴别特征】 翡翠和软玉的相对密度、强度和折射率都比蛇纹石质玉高，光泽亦强。价格高，不会有人用它们去冒充岫玉。而葡萄石玉和水钙铝榴石玉的肉眼观察特点很相似，其特征为这两矿物在颜色和光泽及透明度方面与蛇纹石玉相似。但他们的相对密度、硬度和折射率都大很多。用肉眼观察，葡萄石具放射状纤维结构特征和用小刀刻不动的硬度。水钙铝榴石为粒状结构和黑色小点，而无岫玉的白色“云朵”状结构。

【产状与产地】 蛇纹石质玉在中国的开发利用历史悠久，已知产地分布于我国 16 个省区的 25 个市县境内，资源量和产量也位居我国“四大名玉”之首。蛇纹石质玉的成因类型有两种，一是蛇纹石化基性和超基性岩型，二是白云质碳酸盐岩经蛇纹石化形成的沉积变质型（岫玉）。玉料产状有两类：一是原生型（山料），最多。其次是风砾型（戈壁玉）和漂砾型（酒泉玉）。在国外蛇纹石质也遍及五大洲，主要产地有朝鲜、阿富汗、巴基斯坦、新西兰、美国、墨西哥、意大利、希腊、埃及等国。

## Ib004 长石岩类玉石

长石分斜长石（Na-Ca 系）和正长石（K-Na 系）两类，我国以斜长石为主的玉种有独山玉和特斯翠及钠专硬玉；以正长石为主的有天河石玉及白云玉。独山玉是我国四大名玉之一，将作较详细介绍，其他玉种则作简介。

独山玉

【别名】 南阳玉

【组成与结构】 主要组成矿物为斜长石、黝帘石，含少量绿帘石、铬云母、绢云母、黑云母、透闪石和榍石、黄铁矿、黄铜矿等。一般含 $SiO_2$ 42.52%～44.38%、$Al_2O_3$ 32.15%～34.13%、$Cr_2O_3$ 0.01%～0.30%、$Fe_2O_3$ 0～0.56%、MgO 0.28%～1.32%、CaO 14.83%～19.61%、$Na_2O$ 0.52%～4.86%、$K_2O$ 0.02%～2.64%、$H_2O$ 0.23%～2.26%。由多种矿物组成集合体，具交织变晶粒状结构。

【物化性质】 独山玉硬度 6～6.5，相对密度 2.73～3.18，折射率 1.56～1.70。玻璃～蜡状光泽，半透明～不透明。颜色变化大，单一色调的玉料不多，按颜色划分成 8 类 10 多个品种。

白独山玉：呈乳白色，主要由斜长石（90%～100%）、黝帘石及少量绿帘石、透辉石和绢云母组成。

绿独山玉：呈翠绿、绿和蓝绿色，由斜长石（90%～95%）、铬云母（5%～10%）和黑云母（1%）组成。

紫独山玉：呈淡紫、紫和亮棕色，由斜长石（90%～100%）、黝帘石（5%）和黑云母（1%～5%）组成。

黄独山玉：黄绿色和橄榄绿色，由斜长石（90%～100%）、黝帘石（1%～10%）和少量绿帘石、榍石和金红石组成。

红独山玉：呈粉红色或芙蓉色，由黝帘石（50%～80%）和斜长石（30%～40%）组成。

青独山玉：呈青色或深蓝色，由斜长石（86%）和辉石（15%）组成。

墨独山玉：黑色、黑绿色，由斜长石（45%）、黝帘石（45%）和绿帘石（10%）组成。

杂色独山玉：呈白、绿、黄、紫的条纹，玉石为黑云母铬云母化斜长岩和绿帘石化斜长岩，主要由斜长石（40%～50%）、黝帘石（4%～4.5%）和绿帘石等组成。

【功能与用途】 独山玉属中档玉料，可琢制各种玉体及工艺玉雕陈列品，是我国四大名玉之一，产量居四大名玉的第2位。评价独山玉的优劣要色正均一为上品，质地细腻、致密坚硬，无白筋、无杂质、无裂纹、光泽强、透明度好、块度大为上品，分四级，一般特级品比3级品价格高7倍。

【鉴别特征】 独山玉的颜色鲜艳但繁杂，一般在同一块玉石上常有白、绿、褐、墨绿等色，这种颜色多样的特点是其他中、低档玉料所没有的。独山玉呈细粒状结构，透明度好，可较容易与具纤维状的翡翠和软玉区别开来。

【产状与产地】 独山玉产于河南南阳市郊独山，是超基性岩浆沿断裂带上升就位，产于辉石岩体内的斜长岩受黝帘石化，绿帘石化交代作用而形成。相似玉料在我国四川和新疆相继发现，四川依地名而称“雅翠”，新疆产称“哈密翡翠”。

特斯翠　属透闪石（约20%左右）和斜长石（80%）玉，另有极少量细粒黄铁矿，细粒等粒结构。透闪石翠绿色，呈细长条状均匀分布于斜长岩内。质地细腻，微透明。极似“花青种翡翠”。为玉雕佳料。近几年在天山基性-超基性杂岩内发现，为透闪石化斜长岩型。

钠长硬玉　是由以钠长石为主，含钠铬辉石、角闪石和绿泥石集合体组成。当组分中钠长石含量多时，其透明度增高，在白色或浅黄绿底色上，带有暗绿或蓝绿色的色斑或纹带，有钠长石翡翠之称。当钠铬辉石的含量高时，则玉料为深绿色，并常带有暗绿色至黑色细脉，透明度较差，被人视为“乾青种翡翠”。钠长硬玉硬度为6左右，相对密度2.46～3.15，折射率为1.53～1.74，油脂光泽至玻璃光泽。半透明至微透明，极似翡翠。但其硬度和相对密度比翡翠小，玉料中常见有黑色的斑点等特征可与翡翠相区别。

天河石　富含铷、铯的钾微斜长石亚种，多呈板块状产出。其美丽的蓝绿色，玻璃光泽，具有格子色斑状的闪光，质优而块度小的可制作首饰品，如弧面界面、项链等，块度大者，可雕制各种工艺品摆体。我国的天河石主要产地有新疆、内蒙古、四川、湖北、湖南、云南、江苏、河南等省区。俄罗斯、美国、巴西、加拿大和澳大利亚亦产。主要产于花岗伟晶岩中。

白云玉　主要是隐晶质微斜长石（95%～99%），含少量钠闪石、磷灰石、方解石、黄铁矿等，质地致密细腻，光泽油亮。时有细条纹及黄铁矿点缀，出现“金星”或“金线效应”。玉料有白、灰白、浅黄、灰黑等色。产于白云鄂博，属海相喷溢沉积碱性-超基性碳酸岩杂岩系上岩组的“富钾板岩”。

**绿松石、孔雀石、硅孔雀石类**

这三个矿物的成分和结构虽不相同，但它们也有一些共同的地方，它们都属铜矿物并都以绿色为主，不透明，易受损坏和腐蚀，同属含铜岩石或铜矿石的风化次生沉积矿物。

### Ib005　绿松石　turquise

【组成与结构】 绿松石的分子式是 $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8\cdots 5H_2O$，理论值 $P_2O_5$ 34.13%、$Al_2O_3$

36.84%、CuO 9.57%、$H_2O$ 19.47%，但自然界中只有天蓝色的绿松石成分接近理论值，绿色绿松石则是一部分铜被铁置换或脱水而成。绿松石属三斜晶系，短柱状。但自然界产出的绿松石多是隐晶质块体，质地细腻，优质品的抛光面上好似上了釉的瓷器，但劣质绿松石孔多，质地粗糙。

【物化性质】 绿松石硬度分三级，最硬的称“瓷松”，硬度 5.3～6；次之为绿松 4.5～5.3，风化严重的“泡松”硬度在 4 以下。蜡状光泽，点测法折射率近似值 1.62，密度 2.60～2.90，在酸中能缓慢溶解。

【功能与用途】 绿松石是我国四大名玉之一，我国历史上著名的和氏璧即是绿松石所制。优质绿松石主要用于制作界面、胸饰、耳饰等。次之作项链、手链、服饰等。块度大者雕刻成工艺品。绿松石碎屑可以作颜料。藏医还将绿松石用做药品。绿松石的经济评价取决于颜色、质地、块度。国际宝石界分为四个品级：质硬、色蓝如瓷松者，块大者为特级料，中小块一级料；中等硬度，色由蓝到豆绿，如绿松以及网纹美观的铁线松者，大块为一级料，中小块为二级料。其他可使用者为三级，“面”松为四级。

【鉴别特征】 绿松石以其特有的不透明天蓝色、淡蓝色、绿蓝色、绿色及其在底色上常有白色斑点及褐黑色铁线和蜡状光泽为主要识别特征。天蓝色的硅孔雀石肉眼观察与绿松石很相似，但它的相对密度、硬度和折射率都偏低，属玻璃光泽，没有绿松石所特有的白色斑块和褐黑色铁线。

人工优化绿柱石有染色和灌注等，染色绿松石可被醮有氨水的棉签擦去，注塑绿松石的折射率和相对密度偏小。黏结绿松石为粒状结构，带角的蓝色色斑，并显示模制痕迹，相对密度亦偏小。合成绿松石的典型特征是脉石中具带角的蓝色色斑，折射率稍小，其光谱在蓝区无吸收带。仿制绿松石的染色玉石还有玉髓、磷镁石、黄镁矿、羟硅硼钙石等，但它们的折射率都在 1.60 以下。

【产状与产地】 绿松石多是产在细碎屑岩或玄武岩、粗面岩的构造破碎带中，属外生淋积矿床。优质绿松石主要产于伊朗和中国荆襄地区。一般绿松还产于新疆哈密、青海乌兰、安徽、江苏、云南和鄂豫陕交界处。国外产绿松石的还有美国、墨西哥、印度、俄罗斯等国。

### Ib006　孔雀石　malachite

【组成】 化学式为 $Cu_2CO_3(OH)_2$。单斜晶系，呈针状、柱状，常呈皮壳状及同心条带状块体，微透明至半透明，丝绢光泽，贝壳状至参差状断口，硬度为 3.5～4.0，相对密度为 3.6～4.0，折射率为 1.655～1.909，重折射率 0.25，遇酸起泡，性脆、颜色呈绿色或孔雀绿色。孔雀石按其形态、结构、特殊光学效应及用途分为 5 种：①晶体孔雀石，极为稀少；②块状孔雀石；③青孔雀石，又称“杂蓝铜孔雀石”，孔雀石与蓝铜矿紧密结合、绿色与深蓝色相映成趣，为名贵玉雕材料；④孔雀石猫眼；⑤天然艺术孔雀石观赏石。孔雀石中国产地有广东阳春石菉、湖北大冶铜绿山以及江西、云南等地。国外主要有俄罗斯、非洲、美国、智利等地。

### Ib007　硅孔雀石　chrysocolla

化学组成为$(Cu,Al)_2H_2Si_2O_5(OH)_4 \cdot nH_2O$，单斜晶系，隐晶质集合体，常呈块状、肾状、皮壳状产出，微透明到不透明，玻璃光泽，贝壳状断口，硬度 2.0～4.0，相对密度 2.0～2.4，折射率 1.575～1.635，颜色常呈蓝色至蓝绿色。硅孔雀石常与含孔雀石或石英紧密共生结合而构成“混合硅孔雀石”和“硅孔雀石石英”两种特殊品种，更多的当然是普通硅孔雀石品种：呈绿色、蓝绿、天蓝色，硬度低，性脆。致密块体用于玉器和首饰工艺美术原料，质量和档次低于孔雀石。产状和产地同孔雀石，它们常共生产出。

## 三、青金石、方钠石、蓝纹石类

青金石和方钠石属同一族矿物，肉眼观察是方钠石晶体内未见青金石特征的黄铁矿包裹体，且玉质结构较粗。蓝纹石是蓝色方钠石与浅色矿物组成云雾状条纹而得名。

## Ib008 青金石 lazurite

化学式为$(Na,Ca)_{2\sim8}(AlSiO_4)_6(SO_4,Cl,S)_{1\sim2}$，青金石以其鲜艳的蓝色和细腻斑驳的结构而列名贵玉石品种。

青金石玉料主要矿物是青金石和蓝方石，其次有透辉石、方解石、云母和角闪石组成集合体。青金石为等轴晶系，玻璃～蜡状光泽，粒状结构、致密块体；硬度5～6，相对密度2.4～2.9，折射率1.5，不透明到微透明，短浪紫外光下可见绿色、白色、暗色荧光，查尔西滤色镜下呈淡红褐色。

青金石具鲜艳的蓝色，斑驳的光彩、闪金的星点深受古今人们的喜爱，而列名贵玉石品种之列。它也是古代帝王祭神祭天的礼仪品、清朝四品官的顶戴，更是天然矿物原料。著名敦煌莫高窟壁画上的蓝色颜料，大部分均为青金石。依据玉料成分及颜色的分布情况，青金石玉被分为四个品种。①青金石：是指无黄铁矿和透辉石杂质的致密块体或罕见的单矿物体。②青金：在青金石致密块体中，含有少量白点状方解石、少量透辉石以及少量星点状黄铁矿的品种。③金格浪：指含有大量黄铁矿的青金石致密块体，一般黄铁矿的含量大于青金石的含量。④催生石：指青金石矿物同方解石混杂在一起和一般不含黄铁矿的品种。传说它有催生助产作用，故而得此美名。四个品种前两个属佳品，后两个品种多作雕刻工艺材料。

青金石的鉴别特征较明显，它特有的蓝色和星点状的黄铁矿晶体构成了其典型的鉴别特征。但一些优化改色品和仿制品的鉴别应仔细分辨。对染色青金石的辨别是颜色多呈小网格分布在小颗粒之间的边缘或用蘸有丙酮的小棉签擦拭时被染成蓝色。粘合青金玉的胶黏剂多属塑料，小心燃烧则会有一种特殊气味。青金石的仿制品有方钠石、熔结的合成尖晶石、染色玉髓、染色大理岩、合成青金石等。

**青金石与某些仿制品的区别**

| 品种 / 特征 | 青金石 | 合成青金石 | 方钠石 | 熔结尖晶石 | 染色玉髓 | 染色大理岩 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 折射率 | 1.56 | 1.50 | 1.48 | 1.72 | 1.53 | 重折射率高 |
| 相对密度 | 2.4～2.9 | <2.45 | <2.35 | 3.53 | 2.60 | 2.7～2.9 |
| 硬度 | 5～6 | | 5.5～6 | 7.5～8 | 6～7 | 3 |
| 查尔斯滤色镜下 | 淡红褐色 | 无明显颜色 | 红褐色 | 鲜红色 | | |
| 包裹体 | 晶形不规则的黄铁矿 | 形状规则的黄铁矿 | 无黄铁矿 | 均匀的黄色星点 | | |
| 结构 | 粗、细斑驳的蓝色和白色外观 | 细、均一 | 粗晶，可见不完全解理面 | 细小致密 | 集合体，具染色痕迹 | 粒状镶嵌结构，具染色痕迹 |

青金石的主要生产国是阿富汗、俄罗斯和智利。所有青金石矿床均属接触交代矽卡岩型矿床，产于镁矽卡岩中的青金石矿床，品质好，如阿富汗和俄罗斯的青金石矿床，而产于智利卡连的钙质矽卡岩中玉料，青金石中含大量方解石的白色斑点和条带，属劣质品。

## Ib009 方钠石 sodalite

化学式为$Na_8Si_6Al_6O_{24}Cl_2$，我国新疆产方钠石属伟晶状块体，颜色有鲜蓝色、蓝色、深蓝色、灰蓝色，条痕灰蓝色。硬度5.5～6，相对密度2.2～2.3，半透明到不透明。等轴晶系，均质体，折射率1.48左右。玻璃光泽到油脂光泽。偶见方铅矿、黄铁矿小晶体和气液包裹体。抛光后有活光闪现。透明鲜蓝的可作界面及各种佩件。大件可作雕体及高档装饰建材。小件可磨制12生肖挂件及纽扣等。

我国新疆产方钠石矿床属碱性伟晶岩型，有两类：一为与碳酸岩有关的金云母-透辉石-方钠石伟晶岩，含方钠石5%～40%，分布于脉体边部及端部。二是与碱性正长岩联系的黑云母-霓辉石-霞石-钠长石-方钠石伟晶岩，方钠石含量平均达20%，主要分布在脉中心。资源量大，在1996年

12月印度举行的国际会议上，公认我国天山产方钠石质量比美国、加拿大、印度和俄罗斯等国好。取名为天山蓝。

### Ib010 蓝纹石

一般是指蓝色方钠石与白色钠沸石构成蓝白色纹理而称蓝纹石，我国地质人员1980年在四川旺苍县也找到了在灰色石质上有蓝色方钠石构成的云雾状条纹而称为蓝纹石。它主要由霞石、磷灰石、方钠石组成，含少量钛辉石、白云母、黄铁矿。颜色为灰色、灰蓝色至蓝色，分布不均匀。在灰白色基底上，出现云雾状不均匀分布的带纹或色块，且界线不清。因其中的钛辉石蚀变成黑云母而使玉质带有黑色斑点。该玉料结构致密，微透明或不透明。硬度5～6，油脂光泽。按颜色可分为浅蓝色蓝纹石和蓝色蓝纹石两类。可制作首饰品或玉器。该岩石地质上称为方钠石化磷霞岩。

## 四、二氧化硅质玉石

二氧化硅类玉石就是以$SiO_2$为成分或主要成分的玉石品种，包括晶质的芙蓉石；多晶质的东陵石；隐晶质玉髓组成的碧玉、绿玉髓、玛瑙等；非晶质的含水胶状蛋白石；二氧化硅交代角闪石、蛇纹石石棉而成的木变石、虎眼石；二氧化硅热水置换交代形成的硅化木以及天然玻璃等。

### Ib011 水晶和芙蓉石 rose quartz

无色透明的水晶及紫色、黄色、烟色、绿色和含有发丝状、长针状包裹体的水晶属宝石佳品，前已有介绍。而一种淡粉红色-深玫瑰色的块状石英晶体，又称蔷薇石英，多被用做玉石材料。芙蓉石呈透明～半透明粉红色，常可见乳滴状气液包裹体使晶体呈半透明雾状，有时芙蓉石中针状包裹体呈定向平行排列，若平行磨成弧型界面时，可显“星光效应”和“猫眼效应”。芙蓉石都产在花岗伟晶体中，我国主要是新疆、内蒙古、四川和河北等地，国外以巴西产质地最好。美国、印度、俄罗斯也产。

### Ib012 石英岩质玉石 quartzite-jade

石英岩质玉石是指其质地和颜色可以用于做玉料的石英岩，简称石英岩玉。它是以粒状石英为主（在90%以上），含少量其他副矿物的致密块体。纯石英岩硬度为7，相对密度2.65，折射率约1.54，玻璃光泽。属中低档玉石材料。依据其颜色、质地和产地不同，又分若干品种。

1. 东陵玉

是指印度产含绿色铬云母石英岩，粒状结构，致密块状，翠绿色，又称“印度玉”。现今广义的东陵玉常将含有有色矿物而导致美丽颜色，且产地不明的石英岩都称为东陵玉，从而有绿色东陵玉，红色东陵玉、紫色……

2. 京白玉

因最早发现于北京西山而得名，纯的细粒石英岩，细腻，微透明，无杂质，抛光后洁白如羊脂玉。但欠“滋润”性脆。

3. 密玉

因产于河南密县而得名。物理性质同东陵玉，有浅绿色和橙红色，以绿色为主。色调变化较大。

4. 贵翠

产于贵州省晴隆镇而得名，是含一种绿色高岭石石英岩，浅绿色为主，也有灰黄色、红色品种。砂眼较多，亮度不均匀。其他石英岩质玉石品种还有台湾翠（产于台湾的蓝色石英岩）、余太翠（产于内蒙古含白云母和绢云母的绿色石英岩）、琅琊玉（产于山东的红棕色、半透明含云母的石英岩）牡丹玉或朱砂玉（产于吉林桦甸，含长砂的石英岩，长砂红如鸡血，故又称“硅质鸡血石”）。

石英岩类玉石的评价主要从质地、颜色、透明度、杂质、裂纹等方面进行。通常以玉质细腻致密均匀，颜色鲜艳均一，且有一定透明度，砂眼少或肉眼不易发现，杂质、裂纹少者为佳。其中以翠绿色品种最佳，颜色纯正的紫色石英岩玉和质地细腻的纯白色石英岩玉也是上品。

## Ib013　隐晶质二氧化硅类玉石

隐晶质 $SiO_2$ 类玉石主要有四种，即玉髓、碧玉、玛瑙和木变石。它们属隐晶质粒状或纤维状结构。其中结构均匀无条纹和条带的称玉髓，有环带、条带的称玛瑙；其中含粉砂及黏土矿物的多彩石称碧玉；呈密集纤维状结构的称木变石或虎睛石。

1. 玉髓（chalcedony）

是一种以玉髓矿物为主，并含少量蛋白石和微粒石英矿物集合体，成分为 $SiO_2$，隐晶质，硬度为 6.5，相对密度 2.58～2.64，折射率为 1.53～1.54，玻璃光泽，颜色变化大，可分如下五种。

① 绿玉髓（chrysoprase），亦称澳玉、英卡玉，呈苹果绿色、蓝绿色，颜色鲜艳均一，是含 0.5%～1%的氧化镍所致，质地细腻的致密块体，贝壳状断口，微透明～半透明。粗略看似翡翠、绿松石或天河石，它们的区别是：绿色翡翠具变斑晶交织结构，能见到斑晶或纤维状硬玉晶体。绿松石不透明，瓷性光泽，硬度低（5～6）。天河石具明显格子状双晶纹。绿玉髓的绿色越浓越好。

② 红玉髓（carnelian），是呈亮橙或浅红色。

③ 肉红玉髓（sard），具褐色色调的玉髓。

④ 葱绿玉髓（prase），深绿色，含绿泥石等。

⑤ 铬玉髓（chrome chalcedony），含 $Cr_2O_3$ 玉髓，发现于津巴布韦。

玉髓以其颜色和质地，受到人们的欢迎，英、澳等国把红玉髓与红宝石一起同被定为 7 月生辰石，绿玉髓和祖母绿一起，被定为 5 月生辰石。澳大利亚产绿玉髓，其绿色青翠欲滴，美观喜人，可与翡翠媲美。且物美价廉。

2. 碧玉（josper）又称碧石

碧玉是一种含黏土矿物的玉髓，硬度 6.5，相对密度 2.58～2.64，折射率为 1.53～1.54，半透明～不透明，颜色有红、黄、绿、灰等，工艺美术界称肝石或土玛瑙。碧玉除可以颜色为标准作进一步划分外（如红肝石、绿肝石等），还有一些特殊品种。

① 风景碧玉，形色似一种自然景观的。

② 血滴石（bloodstone），绿色背景上带有红斑点的。

③ 瑞士青金石，被染成蓝色仿冒青金石的。

3. 玛瑙　agate

玛瑙色彩斑斓，纹理奇特，历来为中国人民所喜爱。是我国传统四宝（玉石、水晶、珍珠、玛瑙）之一，现代玛瑙的分类是按玛瑙颜色、花纹、特殊光学效应、特殊包裹物等不同特点划分。

① 按颜色特征分，如红、蓝、紫、绿、黄、胆青玛瑙、白玛瑙等，其中天然蓝、紫、绿玛瑙很少见，市场上所见基本为染色品。

② 以突出的花纹图案划分，如缟玛瑙、缠丝玛瑙、带状玛瑙、风景玛瑙等，其中南京雨花石是风景玛瑙的上品，在小小的一块玛瑙鹅卵石中，可观古今风物，中外胜迹，令人心旷神怡。

③ 具特殊光学效应的玛瑙有光线照射时，会闪出火红色的晕彩，被称为火玛瑙。还有会闪光的玛瑙。

④ 以奇特包裹物闻名的水胆玛瑙，玛瑙中包裹了水溶液之故。

玛瑙中以水胆玛瑙最珍贵，具特殊光学效应的火玛瑙和闪光玛瑙极稀少。色彩鲜艳、搭配和谐的多色玛瑙也是佳品，是制作俏色玉雕的极好玉料。中国玉雕产品，享誉海内外。

4. 木变石（wood alexandrite）

木变石是一种硅化石棉。即当岩石中的青石棉矿体遭受富硅酸热水溶液的交代作用，使青石棉

变成了由 $SiO_2$ 组成的石英隐晶质集合体，但却保留了石棉的纤维状结构，因外观很似木质而被人们称为“木变石”。

青石棉（钠闪石）硬度为5，相对密度为3.02～3.42。$SiO_2$ 交代后，变成木变石，硬度上升为7，相对密度则下降为2.64～2.71。木变石类颜色有棕黄、红棕、灰蓝、褐紫等色，质地细腻坚韧，微细纤维状结构，强丝绢光泽，平行切磨，可显美观的“猫眼效应”。可分三个品种。

① 木变石　是指其纤维顺向平行排列、整齐一致，且纤维较长的棕黄色、棕色至红棕色品种。通常颜色单一，线条流畅舒缓，显得既古朴又华丽的木质色彩。该品种主要产自南非、巴西等国。

② 虎睛石（tiger's eye）　黄色至黄褐色。因其活光四射，色如老虎的眼睛而得名。其纤维较短，排列不齐不均匀，花纹变化较多，颜色在黄褐色背景中杂有红、蓝色彩，极似虎眼而得名。

③ 鹰睛石（hawk's eye）　指以蓝色为主的品种，貌似鹰眼而得名。

木变石类以颜色鲜艳，花纹美、光泽强、少杂质、少裂纹者为优，鹰睛石又比一般木变石价高。

世界上最大的木变石矿床位于南非，巴西、印度、德国等国产出。我国河南淅川县所产木变石以黄褐色与蓝色斑杂的斑马虎睛石为主。

### Ib014　硅化木玉石　siliceous wood-jade

硅化木是真正木化石，是千百万年前的树木被迅速埋在地下后，被地下水中的 $SiO_2$ 交代而形成的木化石。它保留了木质结构和纹理。其中木质结构清晰，光泽较强烈的可用做玉石材料，被用于雕琢成陈设或花园装饰。通常硬度在6.5～7之间，密度2.65～2.91。

硅化木玉石根据 $SiO_2$ 的结晶情况或程度，被分为三个品种，一是非晶质蛋白石硅化石；二是隐晶质玛瑙硅化木；三是显晶质微粒石英的普通硅化木。

### Ib015　蛋白石

蛋白石（opal）是一种天然的 $SiO_2$ 胶凝体，含水量不定（$SiO_2 \cdot nH_2O$），最高可达34%，是由 $SiO_2$ 组成的非晶质玉石，因其观感酷似鸡蛋的蛋白，故得名蛋白石。

蛋白石的颜色通常有乳白色、蛋青色、浅黄色、黄至橙红色、浅灰色、浅红色、绿色、蓝色等。某些蛋白石产生单色的晕彩，主要是白色和浅蓝色，而有一些蛋白石，可产生五颜六色的晕彩，通称欧泊，已在第一节中详细介绍。蛋白石硬度5～5.5，相对密度1.86～2.30，折射率1.40～1.46，非晶质体。可雕成工艺品或首饰及装饰品。世界各国多有产出。

### Ib016　天然玻璃

被列入天然玻璃玉石的非晶质体有两种，一种是黑曜岩，它是火山喷发出的岩浆在地表遇到湖泊或其他水体而迅速冷却凝固，未来得及结晶的块状均质体。以 $SiO_2$ 为主要成分，并常含有各种杂质，化学成分属酸性火成岩类。

1. 黑曜岩（obsidian）

黑曜岩是一种花岗流纹岩质火山玻璃彩石，非晶质体，贝壳状断口。常呈褐色～黑色，亦有绿、黄、红等色。透明～不透明。玻璃光泽，硬度5～5.5；相对密度2.33～2.50；折射率1.48～1.52；黑曜岩中常见气泡以及流动纹构造，也常见晶体包裹体和似针状包裹体，这是它与人造玻璃的最大区别。黑曜岩依颜色及花纹分若干品种。

① 雪花黑曜岩（又称菊花黑曜岩）：是在黑色基质背景上，分布着白色硅质圆斑，似片片雪花而得名。多不透明，它黑色对比度大，素雅别致。可制作玉器。

② 带状绸状黑曜岩：具有条带状纹理的黑曜岩。

③ 火焰黑曜岩（晕彩黑曜岩）：一种因含细小气泡而反光时产生的晕彩效应似光焰而得名。

黑曜岩在世界许多国家都有产出，我国也有产出。

2. 玻璃陨石（tektite）

玻璃陨石又称“莫尔道”玻陨石，是因首先在捷克斯洛伐克的莫尔河发现而得名。我国发现于海南岛的玻璃陨石名为“雷公墨”。其主要成分：$SiO_2$ 74.85%、$TiO_2$ 0.75%、$Al_2O_3$ 11.59%、TFeO 4.69%、MgO 4.12%、CaO 1.77%、$Na_2O$ 1.53%、$K_2O$ 2.40%。非晶质体，不透明。玻璃光泽，硬度 5.5，相对密度 2.21～2.96，折射率 1.46～1.53。富含圆形和鱼雷形包裹体气泡。颜色有黑、绿、绿褐等色。表面具侵蚀或熔融外貌。产出于中国、捷克、美国、澳国等地。

## Ib017 碳酸盐类玉石

碳酸岩类沉积岩是分布很广的岩石，主要有灰岩（大理岩）和白云岩两类。白云岩是以白云石 $CaMg(CO_3)_2$ 为主的岩石，折射率 1.5～1.69，相对密度 3.5～4，硬度 3；灰岩和大理岩是以方解石为主的岩石，化学成分主要是 $CaCO_3$，折射率 1.486～1.678，硬度 3，相对密度 2.71～2.86。它们同属三方晶系，完全的菱面体理解，透明～不透明，玻璃至丝绢光泽，参差或锯齿状断口，颜色多变，色带及其他构造常见。石灰岩是普通沉积岩、由非晶质或隐晶质方解石组成。大理岩是由显晶质粒状方解石组成，因这种岩石以产于云南大理地区的特征而得名。大理岩和白云岩的用途很广，有关在工农业和建筑业方面的用途和要求，在前面的章节中已有介绍，这里只介绍有关它在玉石方面的用途和产地。它们主要用于制作玉雕工艺品、石雕人兽形象、制作纪念碑和装饰艺术材料。依据产出地点和石质特征又分许多品种，我国就有以下几种。

1. 汉白玉

是我国著名的纯白色大理岩，质地细致均一，颜色洁白，透光性较好，历来是优良的玉雕和高级建筑装饰石材料，北京故宫和天坛都有广泛采用。产于北京房山区周口店地区。

2. 大理石

又称云石，是指最美的工艺大理石，产于云南大理市区内。

其花纹是一种灰、深灰、暗绿、褐、浅褐等色调，衬托在白、浅白色的底色上，其美丽的花纹，宛如中国水墨风景画。似“崇山峻岭”、“云山雾海”、“山涧溪流”、“飞禽走兽”，以及“人物”、“神灵”等千变万化的图景。因而大理石玉主要作为一种名贵摆设品而驰名。通常加工成石屏风、石桌面、石凳面和小型平面观赏摆件。其石质堪称优质工艺大理石。其大理石花纹的颜色主要是由于含少量金云母、炭质、绿泥石、石英或角闪石、黑云母、斜长石等矿物所致。

3. 文石玉又称文石

文石玉是文石、方解石、菱铁矿的矿物集合体，以文石和方解石为主，文石是方解石的同质异象体，属斜方晶系。通常呈葡萄状、杏仁状、球状集合体产出，仅产于我国澎湖群岛，又称澎湖文石。文石玉玉质中的同心圆状花纹称为文石眼。优质文石颜色深、质地细密，硬度较高，花纹多变。以有眼而色黄的最为珍贵。一般可琢磨雕刻成圆璧、方圭、念珠、手串、戒指、袖扣、领带夹等饰物，亦可雕琢成花卉、人物、鸟兽、鱼虫等工艺品，件件玲珑剔透，精美雅观。

4. 百鹤玉

百鹤玉，是一种含海百合基化石的石灰岩质玉石，产于湖北鹤峰距今 4.3 亿年前的古生代地层中，又称百合玉。百鹤玉主要是由密集分布的海百合茎化石的碎屑等组成的生物礁石灰岩。平面上组成了圆形、椭圆形、圆锥形、长条形等斑状或环状花纹，且有白、灰、红、绿等颜色。成为一种色彩丰富，花纹奇异，质地细密，品种多样的玉料。可制作栩栩如生的各种动物摆件、宝塔、花瓶等仿古玉器及健身球、手镯、项链等用品。

5. 菊花石

在黑色或灰黑色的灰岩中，“镶嵌”着一朵朵盛开的白色“菊花”，这种神奇的石料被称为菊花石。“菊花”的花蕊是燧石，“花瓣”是天青石和方解石。基质灰岩中还可见到筵科类、蜿足类及珊瑚等的化石。“菊花”有大有小，大者可达 50cm，一般为 3～8cm。花形各异，有绣球状，凤尾状，蝴蝶状以及典型的菊花状等。“花蕊”绒绒点点，“花瓣”自然舒展形态逼真。不用加工，已是大自然天工神笔描绘的精美图。用于制作工艺品的菊花石以基质墨黑，“花朵”完整饱满，朵径较大，“花”多而不乱，疏密有致为上品。

我国已发现的灰岩质菊花石产地有湖南浏阳、湖北宜昌、恩施、陕西南部、江西永丰。以湘鄂地区最具盛名。此外在北京西山也有一处“菊花石”产地，其“花瓣”是由红柱石组成，地质学上称之为接触变质矿物，其化学式为 $Al_2O[SiO_4]$。

6. 灵璧玉

主要产于安徽省灵璧县，故称灵璧玉。是元古代地层中的碳酸盐岩石。依据花纹及颜色等特点，可划分为很多品种，其中最著名的有红皖螺、灰皖螺和磬云石。红皖螺和灰皖螺是蓝绿藻低等植物群体的遗迹化石，地质上称为叠层石。磬云石，则是含有金属矿物及有机质的一种细腻致密灰岩。

7. 蜜蜡黄玉

是一种黄色的白云石大理岩，因其色黄如蜜蜡，加工后表面具明显蜡状光泽，因而称之为蜜蜡黄玉。其矿物组成以白云石为主，伴有少量方解石和石英，因而属于白云石玉。其硬度 4.3～4.5，相对密度 2.6～2.9。色调柔和滋润，不透明～微透明，质地细腻。其黄色调是由于含有铁质所引起。除可雕琢大件玉器外，也可加工成图章、项链、玉镯等工艺品和首饰。产于新疆哈密地区震旦系地层中，是 20 世纪 80 年代新发现的新品种。

8. 木纹玉

木纹玉是近年在黄河岸边发现的一种布满木纹的岩石，故称为黄河木纹玉，简称木纹玉。木纹玉矿物成分以白云石为主，也含有方解石，属白云石玉。玉石中红色或黄色纹理清晰美丽，是因含铁质而致色的。纹理通常有红黄相间和红白相间两种，都很似松木板上的木纹，被称为红松玉和白松玉。也有一种木质本色和花纹均似一般木质的。更觉稀罕。

木纹玉硬度为 3～3.5，易于开采加工，一般以质地细腻致密，花纹流畅、奇特，色彩和谐美观者为上品。可制作建筑石料、装饰面料、实用器皿外，还可加工雕琢成多种工艺品和首饰品，如斑马、手镯、健身球等。

其他地区还有许多，如产于四川丹巴县含铬云母呈翠绿色的西川玉；湖北竹溪县含化石种属多，数量达岩石体积的 70%花色丰富的瓦沧玉；河北曲阳的曲阳玉，陕西潼关的香蕉黄，山东曲阜的尼山石，湖北大冶的紫纹玉，贵州的曲纹玉……国外也有许多品种，如紧临我国中巴边境的巴基斯坦岫玉，阿富汗产有可雕琢成美丽逼真大白菜的翠白玉等……

## Ib018　安山岩类玉石

安山岩（andesite）是中性火山岩，细粒或隐晶结构，含斑晶块状构造、斑晶多为拉长石，而基质为中长石、暗色矿物有辉石、角闪石、黑云母等。

1. 梅花玉

是具杏仁状结构的安山岩，所谓“杏仁”就是被各种颜色矿物质充填的火山岩气孔。若被含铁的玛瑙充填时，则为红色；被绿帘石充填，则呈黄绿色，为绿泥石充填，则呈深绿色，为方解石或石英充填时，则显白色或无色透明。当玉料被抛光后，这些被充填了各种矿物的气孔，便形成了好似梅花的“花朵”。气孔间常有曲折的细裂隙，当其被矿物充填后，便形成了“梅花”的枝干。在安山岩黑色或灰黑色的背景下，更显出枝繁花茂的奇妙图画，令人拍案叫绝。梅花玉因此得名。因其产于河南汝阳，故又名汝玉。

梅花玉的硬度 6～7，相对密度 2.74 左右。质地细腻，光泽明亮，花纹别致，具有良好的工艺性能。可以被加工成各种首饰、器皿和仿古玉器。

梅花玉中的梅花图案是天然形成的。因此，梅花玉的价值以梅花的多少、枝干是否齐全、图案的美观程度而定。一般分三个品级。通常以底色为黑色，“梅花”为多种颜色且枝干齐全者为上品。

优质梅花玉几乎全部产于汝阳，商周时代已开采，鼎盛期为东汉。1983 年在汝阳重新发现了梅花玉矿体。广东东部地区侏罗系火山岩中也发现有梅花玉，其“梅花”朵径较汝玉为大，一般 5～6mm，可达 8mm 左右。

2. 瓜子玉

是一种含白色、灰白色斜长石斑晶的安山岩，斜长石斑晶大似瓜子而名“瓜子玉”，亦名“花斑玉”。在黝黑色基底中均匀分布长方形白斑。产于北京西山及河北省中生代火山岩区。

3. 金星玉

是一种含黄铁矿的灰绿-绿色安山岩。质地细腻，并有金黄色黄铁矿晶粒星散闪烁，故名“金星石”。

## Ib019　矽卡岩类玉石

矽卡岩（skarns）是指由硅酸盐岩浆岩与碳酸盐类岩石相接触，发生中高温交代变质作用，形成了许多接触变质矿物，主要由这些矿物组成的岩石称为矽卡岩，常见的矽卡岩矿物有钙铝榴石，镁铝榴石，金云母，透辉石，透闪石，阳起石，粒硅镁石，符山石等。我国已发现和确定的矽卡岩类玉石品种如下。

1. 青海翠玉

钙质矽卡岩类，主要矿物为水钙铝榴石，次要矿物为斜绿泥石，还有少量透辉石、符山石。水钙铝榴石［hydro grossular，$Ca_3Al_2(SiO_4)_{3-z}(OH)_{4z}$］为等轴晶系，硬度 6，相对密度 3.6，折射率 1.736，颜色为白色，灰白色，淡绿色，灰绿色，玻璃光泽到松脂光泽。斜绿泥石［clinochlore $(Mg,Fe^{2+},Al)_6(SiAl)_4O_{10}(OH)_8$］，单斜晶系，晶形呈片状、柱状，硬度 2～3，相对密度 3，珍珠光泽，颜色为翠绿色，灰绿色，暗绿色。青海翠玉硬度 6～7，相对密度 3.5，折射率 1.70～1.73。颜色有 3 种：①翠绿型，②白底绿花型，③浅粉黄型。

翠绿型青海翠玉：常表现为淡绿底色之上有浓绿翠块或纯正翠绿均匀者。半透明至微透明，也有少量透明品种。质地细腻坚韧，颗粒感弱。很似翡翠。

白底绿花型青海翠玉：特点是在白色光润的底色上散布着大小不一的翠绿色斑点或条带，质地均一，色泽艳丽，是制作首饰、摆件、挂件、高档酒具的理想材料。

浅粉黄型青海翠玉：浅粉黄色、灰绿色等，光泽较差。由于其颜色清淡，微裂隙较发育，质较次，可雕制玉佩、酒具等。

人们发现，青海翠玉还有一个神奇的功能，即能在几分钟至十几分钟，将新酒中的醇转化为乙酸乙酯，乳酸乙酯，己酸乙酯等芳香物质，即可加速催化白酒、啤酒中的醇，转化为芳香脂类，有明显的脂化作用。几分钟内，祛除酒中苦、辣味，提高酒的品质，使白酒变得醇香、绵软、啤酒泡沫增多、持久，更加可口，因此又称“美酒玉”。

青海翠玉中的优质品，价格可与中档翡翠相当，且资源较丰富，在祁连县、乌兰县均有产出，故又称“乌兰翠”，“祁连玉”。

2. 哈密翠

产于新疆哈密，由石榴石、黝帘石、透辉石组成的矽卡岩，主体由白色粒状透辉石集合体组成，石榴石和黝帘石呈浅翠绿色斑点均匀分布于白色透辉岩内。翠绿光亮、微透明，极其美观。

3. 桐柏回龙玉

回龙玉属石榴石-符山石矽卡岩，产于河南省桐柏县回龙地区，主要由黄绿色粒状符山石组

成，伴有石榴石、黝帘石、绿帘石、硅灰石等矿物。石质以黄绿色为主，兼有苹果绿、黄、白等杂色。色艳丽柔和，花纹美观，微透明～半透明，质地细腻。符山石：vesuvianite，化学式为 $Ca_{10}Mg_2Al_4(SiO_4)_5(Si_2O_7)_2(OH)_4$，正方晶系，柱状晶体，透明～半透明，玻璃光质。硬度6～7，相对密度 3.3～3.42。折射率 1.674～1.76。美国加利福尼亚州产有与钙铝榴石共生的，一种绿色、黄绿色致密块状符山石，质地细腻温润，取名加州玉。与回龙玉相似。

4. 德兰斯瓦翡翠

又名亚利桑那翡翠，绿色（含铬）、浅粉红色（含锰），硬度 7.5，相对密度 3.45～3.56，折射率 1.72～1.73。多成半透明致密或细粒块状体。为绿色钙铝榴石岩，其中常含黑色磁铁矿包裹体。

## 五、较稀罕的玉石类

列入这一范围的玉石有两类，一类是构成玉石的矿物本身就很稀罕少见，所构成的玉石就更是稀上加稀了。属于这一类的如紫硅碱钙石，它仅是 1960 年才发现的新矿物，1973 年才见于宝玉石市场。另一类是构成玉料的主要矿物，是一般常见矿物，如萤石、赤铁矿，形成喜人的玉料则是较难见到的。

### Ib020　查罗石玉

【别名】 紫硅碱钙石玉

查罗石英文是 charoite，紫硅碱钙石玉是转译自俄文 Чароит。化学式为 $K(Ca,Na)_2Si_4O_{10}(OH,F)\cdot H_2O$，紫色。故中译文又称紫硅碱钙石。单斜晶系，呈束状、发状集合体，纤维结构。颜色为淡紫～红紫色。丝绢光泽。硬度 5，相对密度 2.54，折射率 1.550～1.559。

查罗石玉，是一种富碱富钙的硅酸盐矿物集合体。其主要矿物成分为紫硅碱钙石（75%～85%）、方解石和霓石，另有少量榍石、透闪石及其他稀有矿物。

玉料呈多变的紫色，同一块玉石中可具有淡紫、紫红、紫黑等不同色调。此外，闪耀的丝绢光泽也是它的一个特征。硬度 5～6，相对密度 2.68 左右。

查罗石的紫色，素雅高贵，闪耀的丝绢光泽透着灵秀华丽之感，硬度适中，韧而不裂，适于雕琢。因而是雕制工艺品和首饰的好料，且是罕见的玉石，更有收藏价值。

### Ib021　丁香紫玉（锂云母岩）

丁香紫玉，是由显微鳞片状锂云母集合体组成的玉石品种，锂云母英文名称 lepidolite，$K_2(LiAl)_{5\sim6}[Si_{6\sim7}Al_{1\sim2}O_{20}](OH,F)_4$，单斜，板状，小片状；浅蓝、无色、玫瑰红、紫；硬度 2.5～4，相对密度 2.8～2.9；锂云母岩除主要矿物锂云母外，常含有少量石英、钠长石等，因颜色似丁香紫色而称“丁香紫玉”，是近年发现的新玉种。

丁香紫玉的颜色有玫瑰色，丁香紫色，紫罗兰色，淡紫灰色及灰色。优质者半透明，珍珠到丝绢光泽，不含其他矿物杂质。质次者不透明，光泽较暗淡。丁香紫玉的硬度 3～4，相对密度 2.8～2.9，折射率 1.55～1.57。

丁香紫玉硬度较低而韧性较佳。可雕琢各种人物、花鸟及各种摆件等。以色浓、块度大、质地细腻致密、无裂缀者为最佳。丁香紫玉大件工艺品，以其柔和悦目的丁香紫色，给人一种雅致的美感。

丁香紫玉最初发现于新疆，产于钠-锂型花岗伟晶岩中。此后在陕西商洛地区钠锂型伟晶岩中，也找到了丁香紫玉。质地非常细腻，呈浅紫到淡粉红色，因含微量石英，其硬度比新疆产者高，可达 5.5。

### Ib022　萤石　fluorite

萤石的颜色丰富美丽，透明～半透明。玻璃光泽，硬度 4，相对密度 3.18，折射率 1.434。等轴晶系，晶形呈八面体和立方体或致密块状体。因软，我国曾称它为软水绿晶和软水紫晶。萤石以其色彩美丽，晶莹剔透，深受人们喜爱，欧洲在古罗马时期，我国远在新石器时代就已开始用萤石作

饰物。但传世的宝玉石罕见，中国历史上可与和氏璧齐名的隋珠，又被称为“夜明珠”，据考证很可能就是具有磷光效应的萤石。因萤石的化学成分为氟化钙（$CaF_2$），常含少量钇（Y）和铈（Ce）等稀土元素杂质而具荧光效应，极少部分还具有磷光效应而被美称为“夜明珠”。萤石质宝玉石不仅古代传下来的少，当今市场上也未进入几大名贵的或普通的宝玉石之列的原因，在于等轴晶系萤石晶体习性是沿八面体形（111）面解理完好，沿立方体（001）面解理较清楚，加以性脆易裂解，因此晶体完整块大的玉料难得，加工成完好工艺成品更难。只有小部分较致密的块状玉料，经细心加工才能成为难得的艺术品。我国萤石资源丰富，内蒙古更居全国之冠，各地大中型萤石矿不少，但内蒙古仅产于阿拉善盟额济纳旗一萤石矿有工艺级萤石。适于雕刻者为茎层状萤石，有同心圆状或条带状构造，紫色与白色相间、樱红色与无色条带相间，或绿色条带与黄绿色条带相间，块度较大，透明度高。有一定韧性，适于雕刻，已被地区及北京玉器厂利用，雕制成骆驼、马、凤凰（双凤谐鸣）及仕女等工艺品，晶莹剔透，淡雅相宜，美观可爱。但不足之处是硬度较低，性脆，展品放置时间久了容易失去光泽，要精心保护。我国浙江金华，江西德安等地也有工艺级萤石产出。

## Ib023 桃花石

蔷薇辉石岩（rhodonite）中可用做玉石的优质品，因其质地、硬度很似翡翠，而又呈粉桃色，故又称“粉翠”、“桃花玉”，又以产于北京郊区者最著名，故又称“京粉翠”。

蔷薇辉石矿物化学式为（Mn、Fe、Ca）$SiO_3$，含 MnO 44%～48%，三斜晶系，厚板状，常呈块状集合体产出。硬度 6，相对密度 3.4～3.7，玻璃光泽，半透明至不透明。颜色有紫红、粉红、红白和灰粉色。其中红白花京粉翠属特级品，它是由粉红色蔷薇辉石和白色石英组成红、白花斑状致密块体，蔷薇辉石宛如玫瑰花瓣，散落在乳白色半透明的石英集合体中，恰似落花缤纷；有时其白色和粉红色交错斑驳，又恰似桃花盛开，非常美观，为北京独有的品种。粉红色粉翠属一级品，紫红色粉翠属二级品。主要用做玉器工艺品，要求块体致密，质地细腻，颜色艳，裂纹少，块度越大者越好。

粉翠制品艳丽美观，但有一个缺点，即所含锰质在空气中易氧化成黑色，故所制玉器摆放一二年后表面即开始变黯，因而要注意收藏防潮，以延长其作为艺术品的寿命。

蔷薇辉石主要产于接触交代矽卡岩矿床、热液脉、火山岩型矿床中。我国产地有北京昌平、吉林、四川、新疆、青海等地。国外见于法国、瑞典、俄罗斯、美国、澳大利亚和印度等国。

## Ib024 葡萄石玉

葡萄石玉是指由葡萄石［prehnite，$Ca_2Al_2Si_3O_{10}(OH)_2$］矿物的微小放射状晶质集合体组成的玉石。矿物属斜方晶系，晶体为纤维状结构，呈放射状排列。

葡萄石玉常以葡萄状、肾状、板状、片状、放射状或块状产出。颜色主要有白色、浅黄色、肉红色、绿色等，以浅绿色最常见。葡萄石玉硬度 6～7，相对密度 2.8～2.95，玻璃光泽，透明至半透明，折射率 1.616～1.649。其品种以颜色区分，也有猫眼葡萄石玉，但极为罕见。白色葡萄石玉曾被商家称作“日本玉石”出售。

葡萄石玉以其较高的硬度和较好的韧性，成为一种较好的玉石品种，但因其产量较少，质量好者亦不多见，因而市场上不常见此类玉石制品。

葡萄石玉的主要产地有法国、瑞士、南非和澳大利亚等国。我国尚未见有葡萄石玉的报道。但葡萄石矿物见于辽东一个正长岩与石灰岩接触交代形成的矽卡岩中。

## Ib025 菱锰矿

菱锰矿（rhodochrosite）玉石是指用做玉石的菱锰矿集合体组成。菱锰矿的化学式为 $MnCO_3$，三方晶系，单晶呈菱形，故得名。常以块状、结核状、鲕状、肾状等集合体方式产出。硬度 3～5，

相对密度 3.42 左右，折射率 1.85～1.92，玻璃光泽。半透明至微透明，遇盐酸起泡。

菱锰矿玉石的颜色为玫瑰红色，粉红色。常见不同色度组成的平行条纹，也可有白色，灰色，黄色或褐色等细条纹出现于粉红色底色之上。

具有不同色调的粉红色条带状的块状菱锰矿已成为非常重要的装饰面料。而玫瑰色和纯正粉红色且色质较均匀的品种，则被用于制作玉雕工艺品和首饰等。因颜色俏丽明快，很受欢迎。但因其硬度较低，且易与酸反应，故应注意保护。

菱锰矿玉石的著名产地，有罗马尼亚、西班牙、澳大利亚、美国、加拿大等国家。

### Ib026　赤铁矿

赤铁矿（hematite）的化学式是 $Fe_2O_3$，是主要工业铁矿物之一。三方晶系，硬度 5～6，相对密度 5.26，金属光泽，韧性很好。颜色有红、黑、褐黑、深灰等色，条痕及断口表面呈褐红色。常以块状、粒状、放射状集合体等方式产出，可溶于盐酸。

用做玉石的赤铁矿，以颜色越深越好。黑色赤铁矿的用途很广，最主要是用来制作浮雕和凹雕等工艺品。是表现一些庄严肃穆，或抽象写意，或神秘莫测等主题的好选材。赤铁矿也被用于制作各种饰物，如富有民族或现代气息的各种项链、耳饰等。前两年在市场上风行一时。现在仍常见这种产品。

在玉石品种中，赤铁矿以其强烈的金属光泽，较高的相对密度及褐红色的条痕。有别于其他玉石品种。

## 六、印章石

印章石又称印石，即适于刻制印章的玉石，主要是由黏土矿物组成的，色彩瑰丽，石质细腻滋润，柔而易攻，适于刀刻的石料。印章石最常见的石质为叶蜡石质，也有高岭石、地开石、绢云母、绿泥石、珍珠云母等黏土矿物组成的各种石质。当然并非其他玉料就不可以治印，印章石也并非不能制作雕刻玉器，这主要是个传统和积习的问题。主要黏土矿物特征如下。

**印章石黏土矿物特征**

| 中文名 | 英文名 | 化学式 | 晶系、结晶习性 | 颜　色 | 硬　度 | 相对密度 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 叶蜡石 | pyrophyllite | $Al_4[Si_8O_{20}](OH)_4$ | 单斜，叶片状、纤维状 | 白、黄、浅蓝、绿 | 1～2 | 2.6～2.9 |
| 地开石 | dickite | $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ | 单斜，叶片、柱、粒 | 白、浅红、浅蓝 | 2 | 2.6～2.68 |
| 高岭石 | kaolinite | $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ | 三斜，鳞片、板、粒 | 白、带红、褐、蓝 | 2～2.5 | 2.61～2.68 |
| 绢云母 | muscovite | $K_2Al_4[Si_6Al_2O_{20}](OH,F)_4$ | 三方，叶片状、板 | 无、浅绿、褐 | 2.5～3 | 2.82 |
| 珍珠云母 | mazgarite | $Ca_2Al_4[Si_4Al_4O_{20}](OH)_4$ | 单斜，叶片状 | 灰、红、黄、绿 | 3.5～4.5 | 3～3.1 |
| 绿泥石 | chlorite | $(Mg,Al,Fe)_{12}[(Si,Al)_8O_{20}](OH)_{16}$ | 单斜，片状、粒状 | 白、绿色、黄 | 2.5～3 | 2.67 |
| 珍珠陶土 | Nacrite | $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$ | 单斜，板状 | 淡绿 | 2.5～3 | 2.6 |

印章石在我国玉石文化中，占有一个很特别且很重要的席位，自古就与社会文化及政治结下了不解之缘。历代文人墨客、画师笔匠、商贾官吏，无不以特制的印章留下印记，来表达或证明物之所属或认可的意愿；象征皇权的玉玺，更是皇帝验明正身的宝物，万万遗失不得。另外，中国的书法佳品和水彩国画，都以配有印记添色增值，而这些印章又多是书法家或画师本人所亲刻。正因为有这些金石篆刻大师们对石料的欣赏、喜爱和评品，就更抬升了印章石的地位和价值，因此成为中国文化积习的特殊产物。

中国的印章石品种繁多，最著名的是四大系印石，即福建寿山石、浙江青田石和昌化石、内蒙古的巴林石。此外还有长白石、广绿石、莱州石等许多品种。

### Ib027　寿山石

寿山石是我国最有名的印章石，因产于福建省福州市寿山乡而得名。矿物组成主要是地开

石；其次是珍珠陶土、高岭石、伊利石、叶蜡石、滑石、石英和绢云母等。化学成分变化较大，以田黄石为例：$SiO_2$ 45.35%、$Al_2O_3$ 37.19%、FeO 0.12%、CaO 0.02%、MgO 0.02%、$K_2O$ 0.56%、$Na_2O$ 0.03%、$H_2O$ 5.0%。隐晶质致密块状集合体，蜡状光泽，不透明～微透明，硬度一般为2.0～3.0，相对密度 2.569～2.576。颜色主要为白、乳白、黄、浅黄等颜色。寿山石主要是酸性火山岩（流纹岩，石英斑岩等）蚀变的产物。寿山石石质细腻柔润，硬度适合于刀刻，更因其有细微的脆性，运刀之时，手感极佳，透出浓厚的“金石味”深得金石雕刻家们的喜爱。

寿山石品种繁多，以产状可分四大类。

1. 田坑石

指水田里零星产出的寿山石，其中以黄色的品种最为珍贵，称为田黄，也称黄田，依颜色还有白田、红田、黑田、银裹金（有白色色皮的田黄）、金裹银（有黄色色皮的白田）等品种。田黄素有“石帝”之称。半透明或更透明的田黄，被称为田黄冻，是田黄之极品。田黄产量稀少，优质品价高出黄金数倍，常以百万元计。如著名的历经五代帝王传至末代皇帝溥仪之手的乾隆御用三连章，咸丰皇帝遗给慈禧，曾经大显威严的“同道堂”御印等，均为田黄所制。

2. 水坑石

位于寿山溪坑头支流之源，采矿坑垌深入溪涧水下，因而称水坑石。水坑石产地由于地下水丰富，矿石多年受水侵蚀，透明度和光泽较强，有许多“冻”、“晶”品种。所谓“冻”，指质地细腻的半透明品种。所谓“晶”，则指质地莹澈的近透明至透明的品种。水坑石中的优质品种有水晶冻、鱼脑冻、桃花冻、玛瑙冻、牛角冻等。

3. 山坑石

指寿山乡方圆十几公里内山上矿坑中开采的寿山石。一般质地、透明度和颜色均低于田坑石和水坑石。是目前寿山石的主要来源，品种多达 70 余种。也有一些优质品，如“芙蓉石”，光绪年间曾与田黄、昌化鸡血石并誉为“印石三宝”。

4. 掘性石

指产于水坑石和山坑石矿硐附近的松软砂土层中需挖掘而出的玉料。半透明，常有萝卜纹和红筋，按具体产状分类 6 种，为掘性头石、掘性高山石、掘性旗降石等。

## Ib028 青田石

青田石产于浙江省青田县，主要组成矿物为叶蜡石，但含少量绢云母、石英、硅灰石、绿帘石、一水硬铝石等矿物，因而使其硬度较纯叶蜡石高，且颜色多样。

青田石石质细嫩温润，微透明至不透明，油脂光泽。就其雕刻性能而言，为“四大系印石”中之最佳。因其少砂少裂，质地细腻均匀，软硬适中，令人忘刀而见笔，随刀雕刻尽得笔音韵味，深受金石篆刻家宠爱。

青田石按其颜色、石质、透明度、纹理等分为 20 多个品种，以冻石最为名贵，其中以“封门青”、“灯光冻”、“五彩冻”也很名贵。

封门青：因产于青田封门山而得名，又名“青冻”。石质细嫩，微透明至半透明。质地纯洁细腻，颜色明媚均匀，无杂色。

灯光冻：石质细嫩，色黑而富有光泽，当用灯光映照，则发现其完全透明且并非黑色，而是红黄色或微黄色，恰若灯辉且莹洁如玉。

五彩冻：玉料呈多种颜色，且颜色柔和不乱，五彩斑斓，故称“五彩冻”。

## Ib029 昌化石和昌化鸡血石

昌化石因产于浙江临安县昌化而得名。组成矿物以地开石为主，并有高岭石、珍珠陶土、明矾

石、黄铁矿和石英等。化学成分为 $SiO_2$ 42.31%～49.46%、$TiO_2$ 0.02%～0.05%、$Al_2O_3$ 37.03%～41.16%、$Fe_2O_3$ 0～1.98%、FeO 0～0.18%、MgO 0～0.13%、CaO 0.03%～0.23%、$Na_2O$ 0～0.15%、$K_2O$ 0～0.14%等。隐晶质～微晶质致密块状体，半透明～微透明，蜡状光泽。硬度 2～3.5，硅化者 4～6。相对密度 2.9。颜色有白、黑、红、黄、灰等。昌化石石质不及寿山石和青田石，相对多砂，工艺上称其为“砂丁”，为雕刻家所大忌。故其一般昌化石不及上述两石。但昌化石中还有“印石三宝”之一的昌化鸡血石，是一种含有红色辰砂矿物的品种。辰砂矿物以浸染状或是细脉状分布于地开石基质之上，或浓或淡，或斑或片，艳红如鸡血，与基质相映，给人以强烈的视觉效果，基质（地）多为白、黄、灰等色。而辰砂（血）亦有各种不同色调，以“地”莹润细嫩，“血”鲜红满敷者为极品。在许多品种中以大红袍（含“血”量大于 50%～70%）、红帽子（上部为全红，下部为冻石，含血量占 1/3 左右）、红云篇（血呈云雾状）珍贵。鸡血石品种很多，优质的鸡血石一般都用来制作图章，质次些的用于雕刻工艺品。现优质昌化鸡血石每方印石价可高达数万至数十万或更高。

## Ib030　巴林石和巴林鸡血石

巴林石因产于内蒙古自治区巴林右旗而得名，因其产地毗邻林西县，过去曾误称“林西石”。巴林石主要由高岭石组成，含少量明矾石、叶蜡石、赤铁矿、黄铁矿、褐铁矿以及金红石、锆石、辰砂等副矿物，而含辰砂者即为“巴林鸡血石”。岩石化学成分：$SiO_2$ 45.29%、$Al_2O_3$ 39.53%、$Fe_2O_3$ 0.43%、FeO 0.18%、$TiO_2$ 0.05%、CaO 0.12%、MgO 0.02%、$K_2O$ 0.08%、$Na_2O$ 0.06%、$P_2O_5$ 0.01%，烧失量 14.08%。此外含辰砂的汞矿石含 Hg 0.01%～1.23%。

巴林石硬度 1.5～3，相对密度 2.60～2.63，块状或隐晶质鳞片状集合体。岩石呈土状光泽，琢磨后具蜡状光泽或珍珠光泽，半透明至不透明，有滑腻感。颜色多样，有白、红、橙、黄、浅绿、浅蓝、紫、灰、黑等色，既有单色，也有复色多色共存的。巴林石颜色鲜艳，质地细腻无砂，可雕性好，依其颜色和质地亦划分数十个品种。巴林鸡血石的“血”色，尽管亦有血色浓艳纯正者，但大多数在红色中带有不同程度的偏色，不及昌化鸡血石的血色显鲜红纯正色调，但巴林鸡血石的质地细腻温润，均匀少砂，易于刀攻，优于昌化鸡血石带“砂丁”的质地。故有“南血北地，各有千秋”的专家评语。

## Ib031　长白石

长白石是产于吉林省长白朝鲜族自治县的一种优质印石，旧称马鹿玉。

长白石的主要矿物组成是黏土矿物高岭石和地开石，为中生代晚期长白山火山喷发后沉积交代形成的。其石质柔腻、颜色艳丽，纹理漂亮。用做印石的品种多达百种以上，且通常透明度较高。著名的品种有蓝天冻、薄荷冻、兰花青田、白芙蓉、艾叶绿、楚石冻等优质印石品种。都是以颜色和透明度来划分的。已探明长白石储量在 130 万吨以上。

## Ib032　广绿玉

广绿玉因产于广东省阳江市，且玉石呈绿色，故得名“广绿玉”，也称“广绿石”，是一种主要由绢云母矿物或水白云母矿物组成的致密“绢云母岩”或“水白云母岩”，另有少量石英、磷灰石和金红石等次要矿物。

广绿玉质地细腻，滑润致密，蜡状光泽，硬度 3.5～4，相对密度 2.8～2.9。产于云英岩化或绢云母化花岗岩中。广绿玉的颜色除绿色以外，还有黄色、乳白色等。另外也有多种颜色混杂者。著名品种有碧翠、丛林积雪、黄玫瑰、秋景、绿海金星、广绿冻、碧海云天等。

广绿玉主要被用于雕刻图章，也用来制作其他小件玉器，为国内外收藏家所喜爱。

### Ib033 莱州玉

莱州玉产于山东省掖县，因掖县为隋代莱州所治，故称“莱州玉”。又因其色绿似冻又有“绿冻石”之称。

莱州玉是一种隐晶质的绿泥石岩。组成玉石的矿物主要为绿泥石（70%～90%）、叶绿泥石（10%～20%），也含有5%～10%的滑石。玉石质地细腻，有滑感，不透明至半透明，硬度1～2.5，相对密度2.65～2.78。莱州玉颜色美丽又容易雕琢，已作图章工艺品。

印章石还有许多产地和品种，陕西略阳的“五花石”，黑龙江东宁产的“东宁石”，广西东兴产的“东兴石”，河南商城产的“四方石”，浙江产的“阳平石”、“宁波石”、“宝花石”、“风脑石”等。

评价印章石的质量，通常从质地、颜色、石形、质量这四个方面进行。质地以洁净、细润为上，莹澈为贵；颜色以纯正鲜艳者佳，浑浊或混杂者次；石形以嵯峨丰满者为上品，扁平露棱角者为下品；质量即块度则越大越好。

印章石在现代，虽仍被用于制作印章，但更多被用于雕制各种各样的工艺品摆件。因其质软易于用刀，常可雕刻出工艺非常精细复杂的作品，尽显雕刻艺术的魅力。

## Ic 砚 石 类

砚石是一种能雕刻砚台的岩石。砚台则是我们以往文房四宝之一中的惟一耐用品，也是东方人（特别是中国人和日本人）习用毛笔、讲究书法、绘画文明的象征。现今人们广泛使用铅笔、钢笔、圆珠笔书写，即使用毛笔书写时，也多改用墨汁了。因此砚台已基本上失去了作为“研墨工具”的实用价值，但其石质优良的雕刻品，仍属许多文化人乐于收藏的文化艺术品。

砚石主要是沉积岩和浅变质岩中的泥质、粉砂质、凝灰质页岩和板岩一类，也有用石灰岩和生物灰岩者。其主要是由硬度较低的方解石、绢云母和黏土矿物组成。还必须含一定比例（5%左右）的硬度较大的次要矿物（石英、黄铁矿、赤铁矿和红柱石等），以利于提高砚石的研磨性能。砚石的颜色主要呈黝黑、暗绿、紫红、灰绿、褐黄及灰白等色，光泽一般较暗，主要呈土状光泽、油脂光泽、蜡状光泽。其次为珍珠光泽和丝绢光泽等。硬度一般为3.0～5.0，相对密度为2.9左右。在主要使用毛笔书写的时代，砚台的需求量是很大的，因此磨制砚台的砚石也分两类：一类是质地一般的板岩和泥灰岩，它分布广，几乎各省都有产出，其产量大，价格适合多数消费者水平。另一类是其中石质优异、纹彩特殊的砚石，经过精细雕刻后，可成为既有实用价值的文房佳品，又具艺术品味的石雕品和收藏品者。其石质方面，要求质地细腻，粒度均匀（粒径0.005～0.01mm），密实，坚柔适度。下墨不渗墨，发墨不损毫。石质优美，在工艺上更能借景出彩，砚台上下盘封盖严实，贮墨能经久不涸。在数千年的发展历史中，我国已产生了一些名贵品种，主要品种如下。

### Ic001 端砚

产于古端州（今广东省肇庆市）羚羊峡-北岭山一带，它和安徽的“歙砚”、甘肃的“洮砚”、晋、渝的“澄泥砚”，合称中国四大名砚，而端砚被推为四大名砚之冠。

一般端砚的颜色配比适度。主要有深灰、棕紫、青灰稍带紫蓝、灰白稍带黄绿及纯白等色，花式纹理秀丽多姿，圆润悦目。石质细腻匀润，具叩之不响，磨之无声，刚而不脆，柔而不滑，贮水不耗，发墨利笔，保持湿润而不燥等特点。岩石属凝灰质泥岩-凝灰质含粉砂质泥岩，具变余凝灰（粉砂）泥质结构。矿物成分：泥质、绢云母、酸性火山灰85%～90%，粒径<0.01mm，尘状赤铁矿1%～15%，粒径0.01～0.04mm，陆源碎屑加火山碎屑（石英、长石、白云母、岩屑等）<15%，（含量越少越好）。依据砚石的天然色彩和纹理形态可分许多名贵品种，主要有以下几类。

1. 深色系列

即“火烙”系列，所谓火烙，即砚石中局部像被烙铁烫过一样。颜色紫红带黑，与周围石基形

成悦目的鲜明对比，按其自然形象，又可分为金钱火烺，烟脂火烺，马尾火烺和猪肝冻等。其紫红带黑的颜色是由于局部铁质增高所至（$FeO+Fe_2O_3$ 6.66%～18.59%）。金钱火烺及猪肝冻：它们是典型的火山灰球，直径 1～5cm 不等，球体核心多是岩屑，包围它的是由火山灰构成的同心环带。胭脂火烺、马尾火烺是由红色矿物组成的变形纹层理或岩石沉积面上微形沟渠上的红色矿物充填构成。

2. 浅色系列

浅色系列砚石均属酸性火山尘泥岩类，铁质含量低于深色系列，$FeO+Fe_2O_3$ 4.65%～6.64%，其品种较多，大致可分四组：

① 蕉叶白、鱼脑冻、荡等，它们的特点是石质细腻、洁白。由于形成机制差异，而产生的不同花纹。蕉叶白和荡是由潮坪区的波纹状层理形成，鱼脑冻是由变形纹层理所致。

② 石眼：它是极其名贵又稀少的品种。石眼形态多为球状体，并“晕作数重兼有瞳子”，似天然的鸟兽眼睛长在砚石上，直径 2～10mm，是典型的“火山尘泥球”。

③ 有金星点、金银线、冰纹等。

金星点是指砚台放水研磨时出现的大量微小闪亮反光星点，似太空中布满群点。它是由砚石中的碎屑状石英、菱铁矿及白云母组成，它们的粒径大多小于 0.1mm，少数 0.1～1mm。这种砚石利于发墨，主要是碎屑物起了作用。

金银线多由砚石中具有呈线条状的次生裂隙充填物而得名。金线者，为棕黄色受氧化的菱铁矿细脉；银线者，为白色方解石细脉，它们的硬度与砚石基本相近。

水纹是被白色泥质物充贯胶结的微细裂隙，图像犹如薄冰碎裂时表面上出现的裂纹而得名。

端砚石在 1985 年经广东省地矿局 719 地质大队勘察。查明它赋存于古生代泥盆系中统地层中，属海湾潮坪相含火山物质的陆源沉积建造。主要由砂岩、页岩组成，局部夹砾岩和凝灰岩。在 7 个自然韵律分层总厚 285m 岩层中，砚石则产于其中 4 个分层顶部的凝灰质粉砂质泥岩-凝灰质泥岩中，合格石材厚度仅 0.3～1.5m，一般为 0.4～0.6m。

## Ic002　歙砚

产于歙州龙尾山而得名歙砚，又称龙尾砚。始于唐代。石质坚韧、润密、不吸水，发墨如油，不伤毫，雕刻精细，造型浑朴。南唐时推崇李廷珪墨、澄心堂纸、诸葛氏笔、龙尾歙砚为文房四宝。南唐时成为朝廷贡品。且石质像瓜肤一样细腻，纹理如丝罗一样美丽，扣之有金属般的声音。歙砚的品种如下。

眉子：其纹为黑色，酷似人的眉毛，成条状分布于砚石之中，底色大多为青金色。

罗纹：指砚石纹理如丝罗那样的旖旎。

金星：石中有金黄色的颗粒，如粟米粒大小，分布在黑色的砚石中，如夜空星斗。

鱼子：石中密布着如鱼腹中鱼子花纹，色呈青灰、碧绿、膳黄等多种，膳黄纹色酷似膳鱼腹底的肌肤。

金晕：石中发云雾状的金黄色晕，浓淡虚实、形状不一。

“歙砚产徽州符婺源县龙尾山，在县东北百里，周三十里产砚，又名砚山、罗纹山。”婺源县现属江西省，据《辞源》上介绍的物产中未提产砚石。而安徽省歙县的物产中提有歙砚。婺源县东北百里已属安徽境内。在皖、浙、赣三省接壤地区，地质构造上属江南古陆东端。出露地层全为中元古代双桥山群或上溪群，为一套巨厚的浅变质的变余粉-粗屑沉凝灰岩。歙砚石的具体岩石学名称及产状和规模不详。

## Ic003　洮砚

因产于甘肃省南端临潭县（古洮州）而得名，其原料是一种水云母板岩，洮砚目前所见遗物最

早者为宋代。洮砚颜色以碧绿为主，品质有上、中、下之分，上品即绿如蓝、润如玉的“绿漪石”，这种绿色砚石中含有条条纹理，犹如万般云霞或涟漪的河水，绚丽多彩，千姿百态，石中带有黄格者更为珍贵。洮砚石质细腻，肤理莹润，发墨而不损毫，磨而不光，呵气即湿，贮墨经月不涸，且不会变质。

### Ic004　澄泥砚

澄泥砚也是四大名砚之一，它的前身是古代陶砚，始用于唐朝，唐宋之间颇为盛行。澄泥砚是用经过过筛的细泥，放入适当的添加剂，经过加工雕刻，炼烧而成。澄泥砚质地坚细，耐磨、无石无异，受人喜爱。产于河南灵宝和山西省等地。

### Ic005　松花石砚

也是中国名砚之一，松花石又名松花玉，产于东北长白山区混同江砥山松花江发源地而得名。该砚石硬度高，敲击声如铜锣，研墨之后，用水冲洗不留痕迹，颜色有紫红色、紫绿相间、深绿和淡绿色等，纹理似大海的波浪、流水的旋涡。其中以深绿色并具石纹者为上品。

### Ic006　红丝砚

产于山东省青州、临朐，以临朐县老崖岗者石质最佳。最早开采于唐中和年间，为唐宋的四大名砚之一。红丝砚的色泽和品种很多，主要有紫红地灰黄丝纹，紫黄地黄丝纹、猪肝色地灰黄丝纹、紫红地红丝纹、黄地红丝纹等。红丝砚的纹理千姿百态，形状不一，有的似云水，似月晕；有的似花卉，似鸟兽；有的似人物、似山峰，一砚一式，各不相同。有的石中夹杂着石英脉，像断而不裂的冰纹，有的旋转圈丝几十重，而次第不乱，有的具有绿色的石眼或金黄的色带，以及闪闪发光的紫筋。红丝砚石质细润，色泽艳丽，质坚而润，不渗墨，发墨且不损毫，历史上许多文人墨客，也对红丝砚有过很高的评价。

山东省除出产驰名的红丝砚外，还有曲阜出产的尼山砚，文理精腻，亦称雅品。登州鼍矶岛还出产一种金星雪浪砚。

### Ic007　贺兰山砚

产于宁夏贺兰山的笔架山峰下，有青、紫两色，质坚而润，不亚端石。亦有评洮砚虽石质腻致，尚不及贺兰砚的赞扬。

现今砚台已不多用，一般文具店已不出售石质砚台，而是塑料墨盒。笔者走访北京文化街琉璃厂两次，多数店铺中已无砚石出售。只在荣宝斋有广东端砚数十方展售。此外在红桥市场奇石展销区的山东展位上见一方青州“红袍玉带”砚石，标价 300 元。

据载大连现有质量 28.8t 的“双塔回归砚”，质量 400t 的“中华龙舟砚”。海南岛南山寺旅游区有一台质量 35t 的“日月同辉龙凤砚”，刻有十条盘龙。北京西山八大处三山庵风景区，展示有一方“中华魂巨龙砚”，长 11.8m，宽 3.2m，质量约 45t。砚台上有 21 枚天然石眼，9 只长寿龟，及 56 条神龙，砚台中间的日月双池，形呈中国地图轮廓。整方砚台构思巧妙，刀功细腻，气势磅礴。上述四大巨砚，都产自河北省易水县，由特有的紫翠石雕刻而成。

## Id　观　赏　石

### 一、观赏石概论和特点

观赏石也称欣赏石、雅石、奇石、怪石等等，我国古代亦称石玩和石供，在不同国家和地区，

其叫法也不尽相同，泰国、印度尼西亚、新加坡、马来西亚多称奇石，韩国喜称寿石，我国港台地区多称雅石。指天然形成的具有观赏、玩味、陈列和收藏价值的各种石体，包括一般未经琢磨而直接用于陈列、收藏或装盆、造园的岩石、矿物、化石和陨石等。它们以奇特的形状、艳丽的色泽、漂亮的花纹或细腻的质地等特点而受到人们的青睐，被誉为“无声的诗”、“立体的画”、“鬼斧神工的雕塑品”。

袁奎荣先生 1994 年提出了观赏石一般具有如下特点。

（1）天然性　观赏石通常是浑然天成且保持天然状态。精雕细刻者，已跨入工艺美术品行列，不属于观赏石范畴。

（2）区域性　某些观赏石代表了浓烈的地方特色、地区风格。如南京雨花石、江苏太湖石、西北风棱石、西南钟乳石、宜昌三峡石等。

（3）稀有性　“物以稀为贵”，部分观赏石独一无二，具有较高的收藏价值。

（4）奇特性　观赏石在色彩、形态、质地、纹理、图案等方面往往表现出妙趣横生或生动形象等特点，成为新、奇、美、异、独、特的奇矿异石。如“文字石”、“阿诗玛”头像造型石、方解石“石花”等。

（5）艺术性　观赏石能给人回味，产生美感、联想和激情等。从赏石中陶冶人们的情操，提高美学水平，如一块“月亮”石和一块“美女”石组合在一起，就会给人“嫦娥独居月宫伴清寒”的联想和“嫦娥奔月”的美丽传说。

（6）科学性　某些观赏石包含深奥的科学道理，反映某一阶段的科学事件，具有重要的科学研究价值，如陨石、南极石和古生物化石。

（7）可采性　所有观赏石都应采集于自然界中，并用于室内收藏与装饰或玩赏于股掌之上。宏观的自然景观（如昆明睡美人、石林阿诗玛等）不宜列入观赏石之列。

（8）商品性　部分观赏石作为一种矿产资源，同宝玉石一样，是国家财富，它可以直接或间接地产生经济价值，具一般商品的特性，如著名的雨花石年产值达千万元以上。

## 二、中国观赏石的分类、命名和赏鉴

关于观赏石的分类其说不一，李维纹提出五分法：①矿物晶体类；②生物化石类；③造型石类；④纹理石类；⑤纪念石类。袁奎荣等分为七大类：①造型石；②纹理石；③矿物晶体；④生物化石；⑤事件石；⑥纪念石；⑦文房石。张肇新、王凤章（1996）提出了按成因分类和按应用分类的两大系统。按成因分类：①原生观赏石类；②风成观赏石类；③水成观赏石类；④化石成因观赏石类；⑤古生物化石观赏石类。按应用分类：①景观石；②园林石；③盆景石；④装饰石；⑤陈设清供石；⑥佩戴石。

有关观赏石的命名分两大类：一是石类的命名，指产于某一地域的观赏石类，多以产出地名称命名，如太湖石、灵璧石、三峡石、黄河石等；二是以成因命名的，如风棱石等。对具体石块的命名，属个体命名，往往是依据该石块的质地、颜色、形态和纹理的某一特色来命名。名字取得好，对品赏该石块有画龙点睛之妙，是该观赏石主人艺术修养、文化修养和科学素质的综合体现。若能附上佳句妙对，则更为增色。如嘉陵石的命名中有“贵妃醉酒”、“一江春水向东流”、“小蝌蚪找妈妈”、“琴女”（附“唐韵欧风，拉小提琴的少女”）。三江石有“羊年吉祥”、“钟馗”。北京“璞心斋”的藏品名称中有“一条大河”、“早春二月”、“普度众生”、“尚方宝剑”等。

我国人民赏石、玩石历史悠久，特别是对太湖石、灵璧石、雨花石等以形态、纹理为主的观赏石更显偏爱。宋代大书法家米芾爱石成癖。尤其是对太湖石更是喜爱，并颇有研究，著有《国石谱》一书。首次提出“瘦、皱、漏、透”四字评石赏石标准。大诗人苏东坡，在米芾四字品石基础上，又提出“丑”字标准。认为“石丑为佳”。今人在前人基础上，进一步提出了“瘦、皱、漏、透、奇、丑”品石六字诀和“瘦、皱、漏、透、清、拙、轻、质、色、形、丑、秀、奇、顽、雄”

品石十五字诀。张肇新、王凤章提出“质地、色泽、形态、纹理”四项品石原则。

由于观赏石的分类、鉴赏、命名原则各异，笔者认为通过解剖代表性观赏石的石质、成因、美学特征、历史沿革、真假分辨等范例来提高对观赏石的品评和认识是很有益的。

## Id001 太湖石

因产于江苏太湖而得名，石出太湖中岛山洞庭山，西距苏州约 60km。由硅质白云岩、石灰岩经湖水长期浪击、溶蚀而成。大者可供园林、庭院布景，小者可作盆景。太湖石佳品清秀挺拔，百态千姿。宋代大书法家米芾提出评赏太湖石的四字标准为“瘦、皱、漏、透”。所谓“瘦”，系指石体挺拔俊秀，露骨裸筋，不臃肿；“皱”系指石体表层凸凹不平，条带相间，纹理如叠；“漏”系指石体上洞下孔，孔洞相连，可行烟走水；“透”系指石体前后左右孔洞相穿相透。章鸿钊先生遗著《古矿录》中引自明一统志文中有“苏州府洞庭山在府城西 130 里太湖中，出太湖石，以水生者为贵，形嵌空，性温润，扣之铿然。在山上者枯而不润”。这几句话也是品赏太湖石的点睛之笔，形嵌空，包括了“瘦、皱、漏、透”等形态；性温润，点明了太湖石有吸水性；其石立水中，整体湿润，可生长青苔、花草；扣之铿然，说明经风吹、浪击和溶蚀后残留下来的太湖石是石质细腻坚硬的佼佼者。唐代大诗人白居易称“石有聚族，太湖为甲”，推崇备至。如苏州留园的冠云峰、上海豫园的玉玲珑、杭州花圃的绉云峰、南京瞻园的仙人峰、北京颐和园的清芝岫等，都属太湖石名石。

## Id002 灵璧石

因产安徽灵璧县而得名，灵璧石产于磬石山，该山“在县北七十里，山出磬石”（据《古矿录》中引《明一统志》资料）。同时又载有“邳县，磬石山在城西南八十里，与河水相近，山有石，其声清亮，可为磬。禹贡泗滨浮磬，即此山所出者”。又《太平寰宇记》有“徐州浮磬时有，上供乐府”。上述三地所产磬石，都同指磬石山所产，磬石山是江苏和安徽的界山，位于灵璧县和邳县之间，呈东北走向。它西北距徐州也只有 35～40km。故徐州市人民对灵璧石的收集研究之风也很甚，建有灵璧石展览馆，出版有灵璧专著和图册。磬是古代打击乐器，由石板或金属制成，石制磬有曲尺状和云版状两种；金属磬有铜磬和铁磬，状如杯；击之，其声悠扬悦耳。灵璧石又分黑灵璧石和白灵璧石等数种，岩石总体呈黑色者称黑灵璧。2003 年 2 月 15 日中央电视台 2 台《鉴宝》栏目中，展示了一件黑色石头，目估高约 40～50cm，宽约 20～35cm，上大如鸟首，腰细，底扁实，击之发磬声，专家鉴别为灵璧石，估价值 30 万人民币。同年 3 月，北京红桥天坛市场奇石展销区徐州摊，展出了一件白色为主的石头，其上有浅褐色细裂隙，裂隙上或两侧有红褐色方解石晶体长出，显雪地红梅之美，亦称雪花石，亦是灵璧石中的精品。灵璧石是由碳酸盐岩经风化而成。岩石矿物颗粒细小，组织结构致密，造型奇特古朴，颜色有黑、红、白及杂色相间，石质坚硬，击之有金属声，故又称“八音石”。笔者从灵璧幅 1∶20 万地质图看到，相当古磬石山的地区，是元古代硅质白云岩和燧石灰岩大面积出露区，他们可能就是灵璧石的原生岩石。宋代杜绾的《云林石谱》记载，“石在土中，随其大小，具体而生，或成物象，或成峰峦，巉岩透空……”。该石多作厅堂陈设。

## Id003 岩溶洞穴石

这类观赏石主要指碳酸盐岩层经地下水溶蚀、淋积作用为主形成，如岩溶洞穴中的各种各样的石柱、石幔、石簾、石钟乳、石花、石笋……各种拟人似物的形象石，这类观赏石质纯、细腻、洁白或色浅、是构筑溶洞公园的主要石料，配以各色灯光，如入仙境，有的似如来佛，有的像莲座观音等。小的钟乳石、石笋等则是制作园林石、盆景石和陈设石的好石材。

## Id004 菊花石

是一种欣赏价值很高的观赏石。它是由某些柱状、针状、纤维状矿物（方解石、红柱石、天青石、电气石等）在灰岩或板岩内形成的放射状、花朵状集合体，形态类似菊花而被称为菊花石。湖南浏阳菊花石的基岩为下二叠统灰黑色灰岩和碳质板岩。黑地白花，十分美丽动人，被誉为“天然的艺术品”。在1915年的巴拿马万国博览会上荣获金奖，誉为“全球第一”。除湖南浏阳外，湖北、新疆、广西、贵州、云南、陕西也都产有菊花石。陕西菊花石于1977年发现！是菊花石的一个新品种，花朵较小，白色，在岩石内密集均匀分布，有如布匹上的印花图案。北京西山有条菊花石沟，由煤系地层中的富铝岩石，经变质作用生成的红柱石柱状晶体构成，其图案亦可观。

## Id005 雨花石

又称五彩石，五色石。相传梁武帝时，有位云光法师在南京中华门外石子岗（梅岗）设坛讲经说法。赤诚所至，感动上苍，天降花雨，落地成石，故称雨花石。雨花石原石为火山熔浆经冷凝结晶而形成的玛瑙、玉髓，后经流水搬运冲刷、磨蚀而成雨花石。雨花石质地细腻，色彩缤纷，花纹图案形象生动，是观赏石中的佼佼者。雨花石分布广泛，除江苏外，四川、安徽、江西、河北等地也都有产出，大者可供陈设，小者可作佩件。

## Id006 红河石

因产于广西红河而得名。红河石的原石为三叠系粉砂岩，后经流水冲刷、搬运、磨蚀而成各种形态的河流砾石，即现在的红河石，具青、红、褐、紫等色，石体形象生动、纹理千变万化，或像人物、鸟兽；或似花草、山川等是广西柳州一带著名的观赏石。2003年在北京团城举办的观赏石展品中，有红河石佳品，被命名为《羊年吉祥》、《钟馗》等奇石。全国各地类似经河水搬运、冲刷、磨蚀而形成的观赏石还很多，较知名的有黄河石、三峡石、嘉陵江石、全海石等。嘉陵江流域广阔，群山连绵，地质构造复杂，石类丰富，江水长流多变，造成了许多奇特的观赏石，其造型如飞禽走兽，花鸟人物，楼台亭阁，英雄豪杰，佛祖先师，名人字画等……闽中县杨敬业收藏的一块具有唐韵欧风，似一个拉小提琴的少女，取名为“琴女”的观赏石，报载某外国人出价60万元而杨未卖。

## Id007 风棱石

又称大漠石、戈壁石、巴林石；属风成观赏石，由风蚀作用形成。一般造型奇特，如卧牛、野猪、驼峰、雄鹰；质地坚硬细腻，但表面粗糙（风砂磨蚀所制）。花纹图案丰富，具水平层纹者，因层纹之间坚硬程度不同，耐风蚀能力有别，硬层突出，软层深陷，而构成千层饼、三明治形状。是我国西北华北北部沙漠、戈壁地区特有的观赏石品种，具有很高的开发价值，巨大的风蚀山体构成沙漠地区特有的雅丹地貌景观。大块石体可用于园林布景，小者可作厅堂案几陈设请供。品评应以造型、纹理为主。

## Id008 矿物晶体

是一个比较大的观赏石类别，以物质组分划分有硫化物型、氧化物型、碳酸盐型、硅酸盐型、硫酸盐型、磷酸盐型等，从晶体类别分，有单晶型、双晶型、单矿物晶簇型、多种矿物晶体共生型。从收藏角度不同也可分两类：一类是纯美学观赏角度出发对一些晶形完整美观，色彩鲜艳，光泽亮丽的矿物晶体喜爱；另一类是带有科学知识角度，对我国产出的新矿物，珍稀矿物感兴趣，如

香花石、包头矿、黄河矿、辉锑矿等。我国特有和比较常见的矿物观赏石有辉锑矿、雄黄、雌黄、辰砂（硫化物类）、锡石、白钨矿、黑钨矿（氧化物类）、电气石、水晶、绿柱石、锂云母、大片白云母（硅酸盐类）、方解石、冰洲石、氟碳铈矿（碳酸盐类）、雁尾状双晶石膏（硫酸盐类）等。在欧美等西方国家对矿物晶体类观赏石极为推崇，重视收藏，我国人民现也重视和逐渐喜爱对矿物晶体观赏石的收集。

### Id009　古生物化石

由古代生物遗体经埋藏、石化而成。分动物化石和植物化石两大类，我国常见的动物化石观赏石有：珊瑚类化石（其中以角锥状、拖鞋状珊瑚化石最具价值）；腕足类的石燕、鹦头贝；三叶虫类的蝙蝠虫、王冠虫；鱼类的北票鲟鱼、狼鳍鱼、江汉鱼，其中以北票鲟鱼较名贵；头足类的中华直角石、菊石；昆虫类的蜻蜓、蜜蜂、蚊、蝇、蛾等（其中以保存在琥珀中的最珍贵）；爬行类的龟化石、恐龙化石、恐龙蛋、贵州龙化石和鸟类化石都很珍贵。常见的植物化石有叠层石、硅化木、银杏、水草等。一般观赏化石的品评标准应以形态为主，通常肢体完整无伤、纹脉清晰、个体大者较贵重。如系群体，并有其他种类化石衬托，相映成趣者更为珍贵。古生物化石分一般商品性观赏化石，珍稀类有一定科学价值的古生物化石，多属博物馆收藏品，极稀少，有重要科学价值，对研究生物进化有重要意义的珍品则属国家文物，不属商品。

### d010　火山喷溢沉积观赏石

我国中生代和新生代陆相火山岩及火山喷溢机构广布，尤以中国东部地区为多。火山喷溢活动造成许多独特而美丽的景观，构成许多知名的火山公园，如黑龙江五大连池、吉林长白山天池、福建省漳州地质公园、广东佛山的西樵山公园和湛江的湖光岩公园，都是以火山岩的特殊地形地貌景观而成名。也造就了许多可供栖带搬运的火山岩类观赏石：如火山弹、火山豆、火山枕、浮石、黑曜石、气管石、杏仁状玄武岩、条带石、流纹石、解理石等。火山岩石质坚硬，造型独特，成因有别，功能各异，既有观赏价值，又有地质科学内涵，是一类尚待推广普及的观赏石。

## 三、观赏石爱好的兴起与观赏石事业的发展前景

观赏石爱好是一个古老而新兴的话题，有许多古代文人墨客爱石成癖。改革开放以来，随着生产的发展，对外交流的增多，人民生活水平的提高，人们对精神文化生活的需要也与日俱增，喜爱观赏石之风大兴，各城市观赏石展销活动很多，有关观赏石的书籍和图册亦大量问市，呈现一片兴旺繁荣景象。在今后进一步普及拓展观赏石活动时，应注意以下一些问题。

1. 增强文化素质，提高艺术修养

观赏石是大自然孕育的天然石质艺术品，寻找、采集、收藏过程，实际上也是一个对观赏石认识和发现的过程，需要具备一定的鉴赏能力。历史上“卞和献璞”的故事，就是一个很典型的例子。同一块石头，卞和见了，视为价值连城；楚王见了，视若顽石。鉴赏能力来自一个人的科学知识的积累和文学、艺术水平的提高。俗话说：“内行看门道，外行看热闹”就是这个道理。一个文化素质很低的人，是很难成为一名优秀的观赏石爱好者的。

2. 普及地学知识，扩大观赏石品种

在有关中国观赏石的分类、命名和鉴赏一节中，就介绍了许多有关观赏石的岩石类型、化学成分、结构构造、矿物晶体、古生物化石、表生地质营力等地学知识，随着地质学知识的提高，就会了解不同观赏石的形成条件和到什么地方去找所希望的观赏石。扩大开发新的观赏石品种，如地质事件观赏石：火山产物、震积岩、风暴岩、界面岩……极难获得的珍稀观赏石，如极地岩石、珠峰顶岩石、深海沟岩石、大陆科学超深钻底部岩石、宇宙岩石等；台湾学者廖学诚博士出版了一大本《新石头记之艺术探密》图册，展示了 108 幅观赏石微观图片，开创了微观级观赏石探索之先河。

了解一些地质学知识，对观赏石的合理搬运、收藏和保护也大有裨益，可减免那些易碎、易裂、易风化氧化的矿物岩石的损坏。

3. 采集观赏石可增强体质，开阔视野

自娱性亲自采集观赏石，可增强体质，有益健康，亲近大自然，接触山野乡民，了解国情民意，开阔视野，舒展胸怀，放松神经，增长知识，收获快乐。2003 年长寿杂志第 12 期上，刊有一篇一世行老人写的“我和老伴同爱石”的短文，除介绍了他们爱石历史外，还突出地描写了一年夏天，起早赶首班车赴六合县收集雨花石的过程，特别是当雷雨过后，无意中在山坡上采得一枚“质、色、形、纹、奇”俱佳的好石头时的心情是很有感染力的。

4. 进一步开拓观赏石市场，发展经济

目前我国观赏石事业发展是很快的，其产值虽无确切统计和评估，但其金额会是巨大的，因此袁奎荣（1996）教授把开发观赏石（含宝玉石）事业，提升为地质矿产资源开发的第三阶段，其主要论点是以矿物晶体为例，作为金属或非金属矿产品出售的矿物价格，与作为观赏石出售的价格相比，相差值为几十几百到成千上万倍。为了进一步发展观赏石事业，必须在资源、市场和采集方面加强引导和组织，以促进观赏石事业快速健康的发展。

① 扩大观赏石资源　扩大观赏石资源要从三方面着手，一是如上节所述，要加强观赏石品种的开发，二是增加观赏石产地和地域的开发，我国地广、山多、河流纵横，各类岩石皆有出露，各种地貌景观皆有分布，是个活力无穷的制造观赏石的天然大工厂。以往我国观赏石的开发多集中在苏皖浙地区，所谓四大名石都与江苏有关。而广大西北、东北地区，至今对观赏石开发的也很少。这与地区的经济文化发展差异有关。随着我国经济的快速发展，特别是中央提出加快西部的发展和振兴东北老工业基地方针的实施，所以内地的经济文化会有很大提升，因此因地制宜地扩大观赏石资源产地和产量是完全可能的。

② 开拓观赏石市场　观赏石市场可分大中城市市场、小城镇市场和国际市场。大中城市市场的开拓，首先是要加强观赏石市场的培育，应多举办观赏石的展销宣传及观赏石评赏知识的介绍，各省区地质博物馆中也应设有观赏石佳品的展示，以培育开发观赏石交易市场为主。小城镇则以培养自娱性采集为主，相互交换部分出售为辅。此外还应大力开发国际市场，互通有无，发展观赏石的进出口贸易。

③ 有序采集　观赏石的采集形式可分三类：一是以个人喜爱自娱性休闲娱乐为目的的不定式采集；二是山区和农村的农民或工人，在其主业之外，利用农闲或工余休息时间，到附近山坡、河谷地带，采集观赏石出售，作为主业收入之补充，以提高生活水平，可以单人独行，也可集体采集，灵活多样，这种方式采集的观赏石产量，将是我国近期观赏石的主要来源；三是以采集观赏石为职业及发展产、运、销一条龙和连锁经营形式，在观赏石资源丰富，产量稳定地区应发展的形式。

在这三种采集形式并存发展的同时，三种形式的采集人员，都应遵守有秩序、守法规的采集原则，要爱护林木、花草、青苗，不要破坏生态平衡，造成水土流失！更要注意安全采集，避免人身事故的发生。

## 参 考 文 献


1　王福泉. 宝石通论. 北京：科学出版社，1985

2　李兆聪. 宝石鉴定法. 北京：地质出版社，1998

3　周国平. 宝石学. 武汉：中国地质大学出版社，1989

4　董振信. 宝玉石鉴定. 北京：地震出版社，1999

5　姚士奇. 宝玉和中国玉文化. 南京：江苏古籍出版社，1990

6 廖宗廷，周祖翼，丁倩. 中国玉石学. 上海：同济大学出版社，1998
7 戴苏兰. 玉石. 北京：地质出版社，1999
8 邹天人，于晓晋. 中国天然宝石及矿床类型和主要产地. 矿床地质，1996，15 增刊：1～8
9 邹天人，郭立鹤. 中国主要玉石类型及产地. 矿床地质，1996，15 增刊：79～92
10 季明钧. 广东端砚石产出地质特征及其成因机制探讨. 广东地质，1990，5，N3：88～96
11 袁奎荣，邹进福. 中国观赏石. 北京：北京工业大学出版社，1994
12 张肇新，王凤章. 论观赏石的成因、分类与鉴赏. 矿床地质，1996，15 增刊：158～163
13 冯天骊. 中国地质旅游资源. 北京：地质出版社，1998
14 章鸿钊. 古矿录. 北京：地质出版社，1954

# J　与特种用途有关的矿物与岩石

## Ja　与特种用途有关的矿物

### 一、云母

云母（Mica）是一大类层状硅酸盐矿物的总称，包括白云母、金云母、锂云母、铁锂云母、黑云母、钠云母、钒云母、海绿石等。目前工业上利用的主要是前四种矿物。四种矿物中锂云母和铁锂云母主要作为开发锂金属的原料，在有关稀有稀土矿产有关的矿物中描述，这里主要介绍白云母和金云母。工业品位对这两种矿物的平均含矿率要求为 4kg/m³。

#### Ja001　　白云母　muscovite

【组成与结构】　$KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH \cdot F)_2$。白云母的理论成分为 $K_2O$ 11.8%、$Al_2O_3$ 38.5%、$SiO_2$ 45.2%、$H_2O$ 4.5%。常含 Fe、Mg、Na、Li、Rb、Cs、Ba、Cr 等。矿物属层状硅酸盐，单斜晶系。

【物化性质】　晶体呈假六边形或菱形，板状、片状或鳞片状，常呈集合体产出。无色或浅黄色、浅褐色、浅灰色、浅绿色等，随类质同象杂质元素的加入而变化。由于有的白云母含铁矿物包裹体出现黑色或褐色斑点。透明到半透明。玻璃光泽，解理面珍珠光泽。解理 {001} 极完全。(001) 面上硬度 2～3，⊥ (001) 面上为 4。相对密度 2.76～3.10。薄片具弹性。

【功能与用途】　工业应用主要与片径及质量有关。作为工业原料的大片白云母或利用工业原料云母加工成的厚片云母，有效面积≥4cm²，其上不允许有裂缝、孔隙、砂眼、黏结、皱纹、嵌填物、严重风化及水锈等。由于具有高的绝缘性和耐热性、耐碱、耐酸以及抗压等性能，大片白云母在电气电子工业、航空航天等技术领域用做耐热绝缘材料，大容量电气芯片以及电子显微镜和电子示波器等的元件。白云母也可用在冶金工业和机械工业方面，制作蒸汽锅炉、冶炼炉的炉窗和机械上的零件。云母粉可作石油钻探泥浆混入物，以改善泥浆性能，可作混凝土和砖的装饰掺合剂，电缆及金属丝的保护涂料，电焊条等的填料。超细云母粉加入橡胶、油漆、塑料、涂料中可改善这些产品的性能。此外，云母粉和玻璃粉混匀成型为云母陶瓷。用云母粉和碎云母制成的云母纸可代替天然薄片云母，广泛用于电气电子工业。

【鉴别特征】　白云母以其无色或浅色、片状、极完全解理、薄片有弹性而易于识别。

【产状与产地】　白云母主要产白云母花岗岩、二云母花岗岩、花岗伟晶岩及石英长石白云母脉中，与石英、钾长石、酸性斜长石等共生。优质的大片白云母主要产花岗伟晶岩中。产地有新疆阿尔泰、四川丹巴、内蒙古集宁等。

#### Ja002　　金云母　phlogopite

【组成与结构】　$KMg_3[AlSi_3O_{10}](OH \cdot F)_2$。金云母的化学成分：$SiO_2$ 38%～45%、$Al_2O_3$ 10%～18%、MgO 20%～28%、$K_2O$ 7%～10%、$H_2O$ 0.38%～5.42%，常含 Na、Ca、Ba、Fe、Ti、Cr、Mn 等，有锰金云母、钛金云母、铬金云母、氟金云母等变种。金云母属层状硅酸盐，单斜晶系。

【物化性质】　晶体形态与白云母相似，呈假六方板状、短柱状或角锥状。柱面具有清晰的平行条

纹。集合体呈鳞片状或叶片状。可分出深色金云母（棕色、绿色）和浅色金云母（浅黄色）。前者半透明，玻璃光泽至半金属光泽，解理面呈珍珠光泽。后者透明，玻璃光泽。金云母解理{001}极完全，薄片具弹性，硬度2～3，相对密度2.7～2.85，不导电。

【功能与用途】 金云母的热稳定性优于白云母，浅色金云母的热稳定性强于深色金云母。在800～1000℃下金云母片的弹性、透明度和绝缘性等均保持不变。金云母的工业应用与技术要求与白云母相似，为重要的绝热材料，用于各种耐高温窗口、电热设备、探照灯、蓄电池，以及用于制造飞机引擎的火花塞、用做塑料充填剂、热及电的绝缘器等。人工合成的大片氟金云母已部分代替天然金云母用做各种窗口材料，如微波窗口、X射线输出窗、$\alpha$和$\beta$计算管窗口、高温观察窗和其他耐酸、耐碱、隔气体和液体等的窗口材料。人工合成金云母也用于原子能工业。

【鉴别特征】 浅色金云母有时难与白云母区别，但白云母不溶于热浓$H_2SO_4$中。金云母以较浅的颜色和弱多色性与黑云母区别。

【产状与产地】 金云母主要产于镁质矽卡岩及镁质超基性岩内，与透辉石、透闪石、镁橄榄石、尖晶石等共生。此外，也见于某些白云大理岩及伟晶岩内。新疆拜城碱性伟晶岩中产出优质金云母板片，新疆尉犁且干布拉克镁质超基性岩中产出超大型的金云母和蛭石矿。此外，四川攀枝花、云南洱海等地也有金云母产出。

## Ja003 工业水晶 industrial crystal

工业水晶又可分出压电水晶 piezoelectric crystal、光学水晶 optical crystal、熔炼水晶 smelting crystal 及工艺水晶 craft crystal 四类。

【组成与结构】 工业水晶为在工业上可利用的透明石英晶体，化学组成$SiO_2$，结构属三方晶系，架状硅酸盐。

【物化性质】 工业水晶呈完好的具有锥面的柱状晶体，柱面有横纹，常见双晶，透明无色，无解理，断口贝壳状，玻璃光泽，断口油脂光泽，硬度7，相对密度2.65。水晶的电学、热学及某些力学性质具有明显的异向性，其中压电性正是由于在晶体上施压时产生不同符号电荷产生的。水晶除HF酸外不溶于其他任何酸，熔于熔融的$Na_2CO_3$中。

**压电水晶**

由于水晶晶体不存在对称中心或具有两端无对称关系的极轴，在垂直于极轴的切片上，垂直于切片平面施压，切片的两相对平面上产生不同符号的电荷（正负电荷）。或者相反，受施加电场作用，晶体可以产生轻微变形，在交流电条件下，晶体发生弹性振动，如果所加电流的振荡频率与晶体的固有频率一致，晶体的振动将是最强的。水晶的这种压电性功能被广泛用于电子技术和超声技术。电子工业中用压电水晶制造谐振器和滤波器（频率误差$<10^{-9}$s），应用于自动化武器、导弹、核武器、超音速飞机、卫星导航、遥控、遥测、电子显微镜、电子计算机，测定几亿分之一秒的精密计时仪等工业领域。超声波技术中压电水晶用来制造回声探测器和压电传感器。压电水晶晶体内不应有缺陷、包裹体和裂隙。按单晶大小压电水晶可分出四个技术等级，要求单晶尺寸≥8mm×8mm×8mm～30mm×30mm×30mm。

**光学水晶**

适于光学上使用的水晶，除要求纯净透明外，一般不应有包裹体、节瘤、蓝针、绵及气泡。水晶的硬度大于玻璃，利于切割，用做制造透晶、棱柱晶和水晶楔等。水晶易透过红外线及紫外线，能透过波长大于20nm的紫外线，10mm厚的晶体薄片透光率≥85%，适于制造石英折射仪、红外线分析仪、光谱仪及摄谱仪等。石英常见的双晶是道芬双晶和巴西双晶。道芬双晶由两个左形或右形晶体组成，两个体的偏光面向同一方向旋转，仍可用于制造压电水晶。巴西双晶由一个左形和一个右形组成。在（0001）切片中由于两个体的偏光面旋转相反，有不同的干涉色，不适合作光学材料。光学水晶在工业应用上根据其中无缺陷部分的大小一般分为三级，每一级又根据允许缺陷的程

度再分出二等。

**熔炼水晶**

熔炼水晶是生产特种透明石英玻璃和人造水晶的原料。由于天然水晶的质量和资源有限，近年来已广为人造水晶所代替。熔炼水晶的成分要求甚严，其中 $SiO_2$ 含量≥99.9%，Al、Fe 的含量应小于 $10^{-5}$，Mg、Ti 含量应小于 $10^{-6}$。熔炼水晶不允许含有包裹体，表面不应有黏附的矿物或杂质，不允许带有紫色、黄色，一级品不允许有墨晶。熔炼水晶允许含有双晶、节瘤、蓝针和干净的自然晶面，不拘外形，但每块水晶的最小厚度必须≥3mm。按晶体中透明部分所占体积百分比熔炼水晶分为四级。

**工艺水晶**

工艺水晶是分选和加工压电水晶和光学水晶时剔出来的水晶，用以制造水晶眼镜片以及作为制造各种工艺品的水晶原料。用做工艺品的水晶原料必须完全透明，可带色或无色，也可有道芬双晶、巴西双晶、节瘤、少量氯态、固态包裹体、蓝针和小棉，不允许存在大棉和裂陷。工艺水晶工业原料按颜色、可用部分的大小、可用部分允许缺陷的程度分出四级。

【鉴别特征】 水晶以具有双锥的透明六方柱状晶体而易于识别。与具有透明柱状晶形的黄玉晶体的区别是水晶柱面上有横纹，黄玉为竖纹。

【产状与产地】 工业水晶主要产在花岗伟晶岩及石英脉的晶洞及裂隙中，少数见于与这些水晶脉邻近的砂矿中。伟晶岩及石英脉中最常见的共生矿物是微斜长石和普通石英，其次有萤石、黄玉、绿柱石、云母以及稀有稀土金属矿物等。水晶广泛产于世界。我国新疆、内蒙古花岗伟晶岩以及赣南、湘南等地钨锡石英脉中均产出。

水晶除用于工业外，还是一种贵重的宝玉石原料供鉴赏储存用。

## Ja004 电气石 tourmaline

【组成与结构】 电气石的化学组成十分复杂，矿物分子式总体可写为 $(NaCa)RAl_6[Si_6O_{18}][BO_3]_3(O\cdot OH\cdot F)_4$。式中 R 主要为 Mg、Fe、Li、Al、Mn，有时也有 $Fe^{3+}$ 和 $Cr^{3+}$。当 R 以 $Fe^{2+}$ 为主时称为黑电气石或铁电气石（schorl），以 Mg 为主时称为镁电气石（dravite），以（Al+Li）为主时称为锂电气石（elbaite），若 Mn 进入称为钠锰电气石（tsilaist）。内蒙古集宁产出的铁电气石含 $SiO_2$ 33.72%、$B_2O_3$ 9.24%、$Al_2O_3$ 26.17%、$FeO+Fe_2O_3$ 25.10%、$Na_2O$ 3.33%、$H_2O$ 1.41%，此外含微量 Mn、Mg、Ca、K。电气石属三方晶系，环状硅酸盐。

【物化性质】 晶体呈柱状，柱面上常有纵纹，晶体横断面呈球面三角形，偶见 $(10\bar{1}1)$ 或 $(40\bar{4}1)$ 双晶，集合体呈棒状、放射状、针状以及致密块状或隐晶质块体。颜色随成分不同而异，铁电气石是黑色，富 Li、Cs、Mn 的电气石呈玫瑰色、淡蓝色，富 Mg 电气石呈褐色或黄色，富 Cr 电气石呈深绿色。电气石垂直 $c$ 轴从中心向外常形成色带。条痕无色，玻璃光泽，无解理，硬度 7～7.5，相对密度 3.03～3.25，随成分中 Fe、Mn 含量增大，相对密度相应增大。电气石具有压电性和热电性。

【功能与用途】 压电性良好的晶体可用于无线电工业中的波长调整器、偏光仪中的偏光片，或作为测定空气和水冲压用的压电计。细粒电气石可作研磨材料。色泽鲜艳美观，清澈透明的晶体可作宝石，称为碧玺，有多种颜色。具猫眼效应者称为碧玺猫眼。

【鉴别特征】 电气石以具有柱状晶形，柱面有纵纹，横断面呈球面三角形，无解理，硬度大等特征易于鉴别。

【产状与产地】 电气石主要产花岗伟晶岩、酸性花岗岩，高温气成热液矿床以及变质岩中。花岗伟晶岩中产出的电气石属铁电气石-锂电气石系列，与石英、白云母共生。白云母或二云母花岗岩中产出的电气石多为铁电气石，与石英、微斜长石、绿柱石等共生。受交代强烈的花岗伟晶岩多产出锂电气石，是宝石电气石的主要产地，与锂云母、绿柱石、钠长石、铯沸石、铌钽矿物等共生，产

地有新疆阿尔泰及河南官坡等地。气成热液矿床中的电气石多产于石英脉、锡石硫化物矿脉及云英岩中，与白玉母、黄玉、萤石、锡石等共生。赣南粤北以及湘南桂北等地的钨锡矿床常有大量铁电气石产出。变质岩或变质矿床中产出的电气石主要为铁电气石。辽宁翁泉沟变粒岩中产出的电气石，与石英、长石、黑云母、石榴石等共生。镁矽卡岩中有富镁电气石产出，与透闪石、金云母、斜硅镁石、遂安石、板状硼镁石等共生。

## Ja005 冰洲石 iceland spar

【组成与结构】 质纯、结晶完整和无色透明的方解石称为冰洲石，矿物分子式 $CaCO_3$。矿物理论成分 CaO 56.03%、$CO_2$ 43.97%。矿物属三方晶系。

【物化性质】 晶体呈复三方偏三角面体、菱面体，有的呈板状，集合体呈块状。无色，有时为黄色，透明，解理 $\{10\bar{1}1\}$ 完全，冰洲石晶体常沿解理由于晶体振动产生裂隙。有关冰洲石晶体破坏痕迹及其原因的研究，对了解矿物生长史和评价冰洲石矿床具有重要意义。硬度 2.50～3.75，相对密度 2.62～2.72。黔南矿床矿物液体包裹体均一法测温，冰洲石生成温度平均为 165℃。冰洲石具有特殊的偏光性，具有极强的双折射效应或重折射率。

【功能与用途】 冰洲石具有特殊的光学性质被广泛用于光学领域，如偏光显微镜的棱镜、偏仪、光度计、化学分析用的比色计、大炮射程仪及测远仪的配件，制作大屏幕显示器、计算机的折射仪、窄带干涉滤光器的元配件，还可制成光束分裂器用于电光偏析器上。光学用冰洲石的质量要求是：无色透明，无包裹体，无裂隙，无双晶，在紫外线照射下不发荧光。冰洲石按菱面体解理的尺度和允许缺陷的程度分为三个技术等级：一级≥50mm×50mm×45mm，二级≥30mm×30mm×20mm，三级 20mm×20mm×14mm。

【产状与产地】 冰洲石主要产于低温热液方解石脉的晶洞中，有时充填在喷出岩的气孔、空洞或裂隙中。贵州望谟麻山石灰岩裂隙中产出低温浅层热液成因的巨型冰洲石单晶矿床，单晶重数千克至 25 吨。内蒙古赤峰杏仁状熔岩空洞中产出质量良好的冰洲石单晶。

## Ja006 光学萤石 optical fluorite

【组成与结构】 无色透明的萤石用做光学萤石，矿物分子式 $CaF_2$，矿物理论成分 CaO 51.1%、F 48.9%。矿物属等轴晶系。

【物化性质】 晶形与普通萤石相同，常呈立方体，其次八面体，少数为菱形十二面体。集合体呈块状，无色透明或均匀浅色透明，玻璃光泽，解理 {111} 完全，性脆，硬度 4，相对密度 3.1～3.2。萤石为光性均质体，折射率很低，1.4339，色散弱。加热或经紫外线照射能发出蓝、红或绿色荧光。对光学萤石的质量要求极其严格，除纯净、无色、完全透明外，应不含包裹体或云雾，无裂隙、无气泡。

【功能与用途】 光学萤石对各种波长的色散效应均微弱，极易透过红外线和紫外线，是重要的光学材料。光学萤石可用以制造各种光学透镜，如无球面像差的光学物镜，光谱仪或色谱仪的棱镜以及辐射紫外线及红外线的窗口材料。用做光学材料的完整无缺陷晶体的大小至少要求 6mm×6mm×4mm，最好的为 20mm×20mm×10mm。根据晶体或晶块大小及采取率，光学萤石原料一般分为五级。

【产状与产地】 在国外，光学萤石产于花岗伟晶岩及与其相邻的残积矿床中。见于伟晶岩内石英核外侧的晶洞中，与压电石英、烟晶等一起呈晶簇产出。浙江武义杨家萤石矿床中产出有极少量的光学萤石，与石英、玉髓、蛋白石以及方解石和重晶石共同产出。

## Ja007 海泡石 sepiolite

【别名】 蛸螵石

【组成与结构】 矿物化学式 $Mg_8(H_2O)_4[Si_6O_{15}](OH)_4 \cdot 8H_2O$，常有 Al、Fe、Ni、Cu 等类质同象混入物。这些元素含量高时分别形成铝海泡石、铁海泡石、镍海泡石以及铜海泡石等变种。此外，有时含少量 Ca、Mn、Cr、K、Na 等杂质。常见包裹体有方解石、白云石等。辽宁产出有较纯的海泡石，含 $SiO_2$ 54.37%、$Al_2O_3$ 0.05%、$Fe_2O_3$ 0.06%、CaO 1.97%、FeO 0.06%、MgO 30.22%、$H_2O^+$ 13.85%。江西乐平海泡石含 $SiO_2$ 66.78%、$Al_2O_3$ 0.45%、$Fe_2O_3$ 0.75%、CaO 0.12%、MgO 23.29%、$K_2O$ 0.15%、$Na_2O$ 0.20%、$CO_2$ 1.19%、$H_2O^+$ 2.44%、$H_2O^-$ 1.94%。海泡石矿物属斜方晶系，含水的层链状硅酸盐，不含水的海泡石属单斜晶系。

【物化性质】 通常呈致密黏土状集合体，有时呈皮壳状、粉末状。颜色通常为白色、浅灰色，有时微带褐色或玫瑰红色。铜海泡石为浅蓝绿色，铁海泡石为黑色。辽宁产海泡石为黄白色、灰黄色，风化面为灰白色。海泡石新鲜面为珍珠光泽，风化后为土状光泽，断口贝壳状，硬度 2～3，相对密度 2～2.5，性软，有时有滑腻感，粘舌并具有涩感，干燥时能浮在水上。海泡石由于存在大的表面积，具有强的吸附力，由于呈纤维形态在溶液中具有很好的流变性。

【功能与用途】 海泡石具有吸附、脱色、热稳定、抗腐蚀、抗辐射、隔热、绝缘及催化等性能，用途十分广泛。海泡石是地热钻井、超深钻井和海上钻井最理想的泥浆原料。用它配制的泥浆在高温下不发生絮凝，在盐水中不受带电荷离子的影响。在石油和油脂工业上用做脱色剂和净化剂。海泡石能除去矿物油、植物油、动物油中的有色成分、有毒成分和臭气，使产品变得明澈纯净。在医药及酿酒业，海泡石作为发亮剂用来净化葡萄糖，除去酒中的蛋白残渣。在环保领域被用做去污剂清除各类矿物油的污染，还可用做放射性裂变废物和有毒气体的吸附剂。此外，海泡石还可用做建筑材料、电绝缘体、温和磨料、珐琅、铸造用黏结剂及农药、化肥、牲畜生长刺激剂的载体。在纺织、树脂、陶瓷、国防及空间科学等方面也有应用。超细粉碎和活化处理可显著改善海泡石的工艺性能。超细粉碎旨在降低纤维细度，增大比表面积，改善吸附性、流变性及催化性。活化的目的在于增大比表面积、增强机械强度、改善表面性质等。

【鉴别特征】 海泡石难溶于 HCl 并析出硅胶。在硝酸钴溶液中染成浅玫瑰红色。矿粉在氯化钾及亚甲基蓝混合稀溶液中加热被染成深蓝色。准确鉴别需依靠 X 射线衍射及红外光谱分析。

【产状与产地】 海泡石有内生及外生两种成因。通常作为表生矿物见于蛇纹岩及硼矿床的风化壳中，与蛇纹石、玉髓、蛋白石、钙和镁的碳酸盐共生。呈粒状集合体分布于蛇纹石化斑花大理岩及其附近的电气石变粒岩及钠长石伟晶岩中。海泡石还交代蛇纹石及镁碳酸盐，几乎穿切所有与其伴生的矿物。规模大的海泡石矿床一般是外生沉积矿床，又包括陆相沉积和海相沉积两个亚型。矿石呈层状、似层状、透镜状赋存于干旱或半干旱盆地蒸发岩中或火山盆地碱性玄武岩中。也有的矿层见于灰岩、钙镁质页岩以及膨润土矿层中，常与碳酸盐、镁蒙脱石、滑石、硫酸盐、卤化物等共生。海泡石国内产地有江西乐平、安徽全椒、江苏盱眙、湖南浏阳等地。

## Ja008　凹凸棒石　attapulgite

【别名】 坡缕石　palygorskite；山软木；凹凸棒石黏土

【组成与结构】 $Mg_5(H_2O)_4[Si_4O_{10}]_2(OH)_2$。化学组成中常类质同象混入有 Al、Ni 及 $Fe^{3+}$ 等。富 Al 和 $Fe^{3+}$ 的变种称为铝凹凸棒石和铁凹凸棒石。安徽嘉山清明山产凹凸棒石含 $SiO_2$ 59.93%、$Al_2O_3$ 9.22%、$Fe_2O_3$ 6.90%、FeO 0.21%、MnO 0.06%、CaO 0.52%、MgO 9.66%、$K_2O$ 0.51%、$Na_2O$ 0.10%、$TiO_2$ 1.31%、$P_2O_5$ 0.06%，烧失量 10.98%。云南产凹凸棒石含 $SiO_2$ 53.36%、$Al_2O_3$ 10.25%、$Fe_2O_3$ 2.70%、FeO 0.30%、CaO 1.93%、MgO 6.89%、$H_2O^+$ 12.94%、$H_2O^-$ 7.56%。凹凸棒石黏土除凹凸棒石外常含有蒙脱石、高岭石、水云母、海泡石、石英、蛋白石及碳酸盐等。凹凸棒石属单斜晶系含水的层链状硅酸盐。

【物化性质】 凹凸棒石呈棒状、毛发状或纤维状，通常呈毛毯状或土状集合体。白色、灰色、灰绿色或浅褐色，土状或弱丝绢光泽。硬度 2～3，加热到 700～800℃，硬度＞5，由于质松多孔，相对

密度 2.05～2.32，易浮于水，断口贝壳状或参差状，裂片平坦能弯曲，土质细腻，有油脂滑感，吸水性强，具黏性和可塑性，干燥后收缩小，水浸泡崩散，悬浮液遇电介质不絮凝沉淀。凹凸棒石有很大的表面积，具强吸附力。

【功能与用途】 凹凸棒石具有良好的吸附、脱色、热稳定、催化、抗盐及造浆性能，用途十分广泛。凹凸棒石黏土用于钻井泥浆在高温下不会引起严重的井底胶凝，在高浓度盐的作用下不会降低黏度和触变性能，广泛用于地热、盐类地层、石油及海洋钻探中。在石油和油脂工业中凹凸棒石用做脱色剂和吸附剂，使石油净化、脱色，使动物油和植物油脱色、除臭、消毒。在化工陶瓷领域用其制作有很高白度，坚固、耐酸的玻璃珐琅。在农药及化肥业中用以制作化肥、除虫剂、杀虫剂、除草剂的载体。在制糖、酿酒、医药业中用做澄清净化剂。在塑料业中用做发泡灵脱色。在环保方面用于放射性废物的吸附处理。在军工方面用做防护装备吸附毒气。凹凸棒石用做橡胶、塑料、纸张等的填料，还可用做干燥剂、隔音隔热材料等。凹凸棒石常与海泡石、蒙脱石等伴生于黏土中，具有综合利用价值。

【鉴别特征】 凹凸棒石吹管焰下灼烧易熔成淡黄色的泡沫玻璃并成为硬块。在热 $H_2SO_4$ 中分解形成 $SiO_2$ 残渣。凹凸棒石与海泡石、蒙脱石等黏土矿物相似，需借 X 射线衍射、红外光谱、电子显微镜分析等区别。

【产状与产地】 热液型凹凸棒石黏土矿多见于富镁岩石，如白云岩、蛇纹岩、菱镁矿岩以及花岗岩、正长岩等岩石的裂隙中，呈脉状、网脉状、树枝状和皮壳状等产出，常遭到风化，与方解石、石英、云母、高岭石、蛋白石、海泡石等共同产出。沉积型凹凸棒石黏土矿呈层状、似层状、透镜状赋存于镁-钙质页岩、泥灰岩、灰岩、含盐岩系、碱性玄武岩、膨润土矿层，以及干旱、半干旱蒸发岩和火山盆地中，常与蒙脱石、海泡石、高岭石以及石英、方解石、卤化物等共同产出。沉积型凹凸棒石黏土矿床一般规模较大。热液型矿床国内产地有安徽全椒。沉积型矿床国内产地有江苏盱眙、安徽嘉山等地。

## Ja009 沸石 zeolite

沸石是沸石族矿物的总称，目前已知沸石族矿物约 40 种。自然界常见且有工业经济意义的沸石有斜发沸石（clinoptilolite）、丝光沸石（mordenite）、毛沸石（erionite）、菱沸石（chabazite）、钙十字沸石（phillipsite）、浊沸石（laumontite）及片沸石（heulandite）。主要由沸石组成的岩石叫沸石岩（zeolite rock），可以是由一种沸石矿物组成的单一沸石岩，也可以是几种沸石按一定比例组成的混合沸石岩。

【组成与结构】 沸石是含水的碱或碱土元素的铝硅酸盐矿物，一般化学式可写作 $A_m(Si,Al)_pO_{2p}\cdot nH_2O$，其中 A 主要为 Na 和 Ca，其次为 Ba、Sr、K 和极少的 Mg、Mn 等。成分中(Mg、Ca、Sr、Ba、$Na_2$、$K_2$)：$Al_2$=1：1，O：(Si，Al)=2：1 是恒定的。上述 7 个矿物的化学式及所属晶系为：斜发沸石 $(Na,K,Ca)_{2-3}[Al_3(Al,Si)_2Si_{13}O_{36}]\cdot 12H_2O$，单斜晶系；丝光沸石 $(Na_2Ca)[AlSi_5O_{12}]_4\cdot 12H_2O$，斜方晶系；毛沸石 $(K\ NaCa)[Al_2Si_6O_{16}]_2\cdot 12H_2O$，六方晶系；菱沸石 $(CaNa_2)[AlSi_2O_6]_2\cdot 6H_2O$，三方晶系；钙十字沸石 $(K_2\ Na\ Ca)[AlSi_3O_8]_2\cdot 6H_2O$ 单斜晶系；浊沸石 $Ca[AlSi_2O_6]\cdot 4H_2O$，单斜晶系；片沸石 $(CaNa_2)[Al_2Si_7O_{18}]\cdot 6H_2O$，单斜晶系。

沸石是由硅氧铝氧四面体组成的架状硅酸盐矿物，其硅氧铝氧四面体以角顶相连形成的架状结构较其他架状铝硅酸盐矿物具有更为宽阔的孔道和空间。它们被 K、Na、Ca 等阳离子和水分子——沸石水占据，使沸石具有特殊的物理性质。

沸石岩除主要由沸石组成外，存在火山玻璃、火山碎屑、黏土矿物、长石、石英等。浮石岩矿石具玻屑凝灰结构、含砾玻屑凝灰结构、致密块状构造、角砾状构造、流纹构造以及珍珠构造。

【物化性质】 沸石晶体多呈纤维状、柱状，部分为板状形态。也有的呈菱面体、八面体、立方体和近三向等长的粒状。纯净沸石为无色或白色，因含其他杂质元素而带浅色。沸石具玻璃光泽，硬度

较低，相对密度较小，较易被酸分解。在吹管焰下灼烧，大部沸石膨胀起泡，状似沸腾，沸石一名即由此而来。上述 7 种沸石的物理性质如下。

| 名　　称 | 常见晶形 | 解　理 | 颜　　色 | 硬　度 | 相对密度 |
|---|---|---|---|---|---|
| 斜发沸石 | 板状 | {010}完全 | 无色、白色 | 3.5～4 | 2.1～2.2 |
| 丝光沸石 | 针状、纤维状、放射状 | {010}完全 | 白色、淡黄色 | 3～4 | 2.12～2.15 |
| 毛沸石 | 纤维状、放射状 | | 白色 | 3.5～4 | 2.02 |
| 菱沸石 | 菱面体 | $\{10\bar{1}1\}$中等 | 无色、白色、浅红色 | 4～5 | 2.05～2.10 |
| 钙十字沸石 | 柱状 | {010}和{100}中等 | 无色、白色、灰黄色 | 4～4.5 | 2.2 |
| 浊沸石 | 柱状 | {010}和{110}完全 | 瓷白色 | 3～3.5 | 2.2～2.3 |
| 片沸石 | 板状、片状 | {010}完全 | 无色、白色、黄色、砖红色 | 3.5～4 | 2.18～2.22 |

沸石晶格硅氧四面体中的 $Si^{4+}$ 被 $Al^{3+}$ 置换出现过剩负电荷，由 $Na^+$、$K^+$、$Ca^{2+}$ 等离子补偿，由于这些阳离子与晶格结合力很弱，易与其他阳离子相互交换，沸石具有离子交换性能。沸石晶体有大量孔道和空洞存在，晶体表面积和静电引力增大，从而沸石具有很大的吸附力。与此有关、沸石晶体可容纳相当数量的物质，能促使化学反应在其表面进行，从而具有催化性能。沸石空洞中的水分子受热会逐渐逸出，晶体结构并不破坏。水分子被逐出后还可吸附其他物质分子。直径小于孔道的分子可以进入空洞，直径大于孔道的分子不能进入，从而沸石具有筛选分子的能力。此外，沸石具有较高的热稳定性和耐酸性。沸石作为硅酸盐水泥熟料的混合材料，在水泥凝结过程中具有脱铝、解硅、吸钙的性质。

【功能与用途】 沸石相对密度小、发泡性高、活性好，沸石岩被大量用于建筑材料工业，如生产水泥、烧制高强板材、轻质砖瓦、轻质陶瓷制品等。据统计世界上 2/5 的沸石岩用于生产水泥。在石油、化学工业利用沸石的催化性和吸附性，使石油分馏出多种产品，分离出天然气中的 $H_2O$、$CO_2$ 和 $SO_2$，有利于提高石油和天然气的质量。作为气体、液体的净化、分离、储存剂，沸石可清除化工和生活用水中的重金属阳离子及有机污染物，吸附一些易挥发、有毒气体或液体，并用于核废料处理。沸石的离子交换性能被用于海水淡化、硬水软化、取钾、控制环境污染。在农业和畜牧业方面沸石可用于保肥、保水和改良土壤。在这几方面最常利用斜发沸石、丝光沸石及毛沸石。此外，沸石粉可作填料，用于造纸、塑料、橡胶工业。天然沸石可用以制造新型气相防锈剂、红外辐射材料等。

【鉴别特征】 沸石以质轻、晶体细小、无色或色浅，常具玻璃光泽或珍珠光泽，以及在薄片中具低突起、低重折射率、易与其他矿物区别。沸石族矿物彼此之间需借助 X 射线衍射分析鉴别。

【产状与产地】 少量沸石见于晚期热液脉或岩浆岩的裂隙中，与方解石、石髓、石英等共生。沸石主要产于火山碎屑岩和火山玻璃岩中，是由火山玻璃与碱性水，包括岩石中的间隙水及成岩时的盐水，相互反应形成的。这一产状沸石分布最广，常构成有经济价值的沸石矿床。矿体呈层状，产状平缓，厚度通常从数厘米到数米。矿体除主要组成矿物沸石外，常见有黏土矿物、长石、蛋白石以及萤石等。此外，沸石也见于低级变质岩和碱性岩的风化壳中。

沸石国内产地有山东潍县涌泉、浙江缙云老虎头、河北赤城独石口等。

## Ja010　蛭石

【名称】 蛭石　vermiculite

【组成与结构】 蛭石化学式 $(Mg,Ca)_{0.7}(Mg,Fe^{3+},Al)_6[(Si\ Al)_8O_{20}](OH)_4 \cdot nH_2O$。蛭石为成分复杂的含水铝硅酸盐矿物，通常是黑云母或金云母经热液蚀变或风化形成。蛭石晶体含有层间水，其含量取决于层间阳离子的水合能以及环境温度和湿度的变化。蛭石没有确定的化学成分，大体上含 $SiO_2$ 38%～42%、$Al_2O_3$ 9%～17%、$Fe_2O_3$ 5%～18%、MgO 11%～23%、$H_2O$ 5%～11%，Ca、Na、K 的含量不定。蛭石属单斜晶系，层状硅酸盐。

【物化性质】 蛭石常按黑云母或金云母成假象。矿物褐色、黄褐色、金黄色、青铜黄色，有时带绿色。光泽较黑云母弱，常呈油脂光泽或珍珠光泽。解理{001}完全，解理微具弹性，硬度1～1.5，相对密度2.4～2.7。蛭石在高温下焙烧体积会剧烈膨胀，膨胀后体积可增大15～25倍，甚至可达40倍。膨胀的蛭石平均容重为100～130kg/m$^3$，呈银白色，具金属光泽，相对密度显著减小（0.6～0.9）。经焙烧膨胀的蛭石，由于层间水分子变成蒸汽，具有细小的空气间隔层，具有优良的隔音、隔热或保温性能。蛭石具有较强的阳离子交换能力和吸附性，对放射性元素有较强的吸附能力。此外，蛭石具有良好的吸水性、耐火性、耐冻性以及抗菌性。

【功能与用途】 蛭石具有体轻、保温、绝热、隔音、抗震、耐火、抗菌、耐冻的特性，在建筑、电力、石油、化工、冶金、纺织等行业中得到广泛应用。可以用其制作各种形式的高温、高压锅炉以及各种气液管道、冷藏库、各种电热设备的重要材料。农业上蛭石可改善土壤结构，提高土壤的透气性和含水性，在植物育种、育秧方面可使作物从生长初期就能获得充足水分和矿物质，促进植物较快生长。此外可用于园艺栽培、无土栽培、草坪种植以及作为肥料、杀虫剂、除草剂等的载体。膨胀蛭石在畜牧业上可用做饲料添加剂，促进家畜成长又能吸收饲料中的有毒物质。蛭石具有良好的吸附性和离子交换能力，在环保方面用以处理废水及有害物质，如利用膨胀蛭石吸附海水中的油污，核工业上吸附某些放射性元素等。此外，用蛭石制成的刹车片具有良好的耐热性和抗剪、抗弯强度，制动效果好。膨胀蛭石还可用做冷却器及冰箱的保冷材料。

【鉴别特征】 蛭石外形与黑云母相似，但光泽、解理程度、硬度、薄片弹性均较黑云母弱。灼烧时体积强烈膨胀是蛭石的重要鉴别特征。

【产状与产地】 蛭石主要产碱性岩、基性岩、超基性岩、矽卡岩以及热液蛭石脉中，主要是黑云母或金云母经低温热液蚀变的产物，部分蛭石是黑云母经风化作用形成。蛭石国内产地有四川南江盘家坡、甘肃红石山、内蒙古固阳文圪气，以及新疆尉犁且干布拉克等，后一产地是一大型或超大型金云母-蛭石矿床产地。

## Ja011 磨料石榴石

【名称】 磨料石榴石 abrasive garnet

最常用做磨料的石榴石有铁铝石榴石（almandine）、镁铝石榴石（pyrope）、锰铝石榴石（spessartine）、钙铝石榴石（grossular）以及钙铁石榴石（andradite）。其中又以前两种石榴石为主。

【组成与结构】 上述几种石榴石的化学式为：铁铝石榴石 $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$、镁铝石榴石 $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$、锰铝石榴石 $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$、钙铝石榴石 $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$、钙铁石榴石 $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$。石榴石除上列化学式中列出的元素外，常含有K、Na、Cr、Ti、Zr、V等类质同象元素。石榴石矿物属等轴晶系。

【物化性质】 石榴石晶形有菱形十二面体、四角三八面体以及菱形十二面体和四角三八面体的聚形，有时出现六八面体，较常见歪晶。晶面上常有平行四边形长对角线的条纹。在自然界常呈粒状、浑圆粒状，有时呈饼状产出。集合体呈致密块状。

石榴石由于成分不同颜色多种多样。其中铁铝石榴石有褐红、棕红、橙红、粉红等颜色，镁铝石榴石有紫红、血红、橙红、玫瑰红等，锰铝石榴石有深红、橘红、玫瑰红、褐色等，钙铝石榴石有红褐、黄褐、蜜黄、黄绿等，钙铁石榴石有黄绿、褐色、黑色等。石榴石多具玻璃光泽，断口具油脂光泽，其中钙铁石榴石具金刚光泽。解理{110}不完全或无解理，断口不平坦，硬度6.5～7.5，熔点1200～1280℃，相对密度：铁铝石榴石4.319；镁铝石榴石3.5～4.3；锰铝石榴石4.190；钙铝石榴石3.594；钙铁石榴石3.859。

【功能与用途】 石榴石硬度大、熔点高，被大量用做磨料。高级磨料产品可用于研磨，抛光玻璃、陶瓷等材料，也可作为敷涂料制成砂纸、砂布和砂轮，用来抛光各种金属、木材、橡胶和塑料。低

级磨料产品用来清除铝和其他软质金属的表面氧化层，可用做抛磨和擦洗材料、钢结构材料的抛磨材料。石榴石砂可用于喷砂清理、水射流清洗。

【鉴别特征】 石榴石依据其晶形、颜色、油脂光泽及大的硬度易于辨认。至于不同石榴石的区别需借助成分分析、光性及X射线衍射分析等。

【产状及产地】 石榴石在自然界广泛分布。铁铝石榴石主要产于片麻岩、花岗岩以及流纹岩中。镁铝石榴石主要产金伯利岩、橄榄岩、蛇纹岩及榴辉岩中。锰铝石榴石主要产伟晶岩、花岗岩及锰矿床中。钙铝石榴石和钙铁石榴石主要产矽卡岩、热液脉、碱性岩及部分角岩中。石榴石也见于砂矿中。石榴石的共生或伴生矿物多种多样，不同的石榴石伴有不同的共生矿物。石榴石产地有吉林通化、四川茂汶等地。

### Ja012 颜料矿物 pigment minerals

颜料矿物是经过粉碎和淘洗等简单加工即具有颜料染色性质的矿物。可作为颜料的矿物多种多样。褐铁矿（limonite）和赤铁矿（hematite）可用做棕色和红色颜料。孔雀石（malachite）、暗镍蛇纹石（garnierite）和海绿石（glauconite）可作为绿色颜料。蓝铁矿（vivianite）和蓝铜矿（azurite）可用做蓝色颜料。软锰矿（pyrolusite）和磁铁矿（magnetite）是黑色颜料。白垩（chalk）、石膏（gypsum）、硬石膏（anhydrite）和高岭土（kaolin）可用以制作白色颜料。法国一种含氢氧化铁的蒙脱石黏土被用做红色颜料，用于彩色木雕。

【组成与结构】 从略。这里仅指出，通常被称作褐铁矿的乃是水针铁矿、纤铁矿、水纤铁矿以及富水的氢氧化铁凝胶体的混合物。用做颜料的赤铁矿多是铁赭石——一种红色粉末状赤铁矿。上列白垩是一种由极细小颗粒方解石及显微粒状钙质藻组成的碳酸盐物质。高岭土是高岭石、多水高岭石、蒙脱石、水云母等组成的混合物。

【物化性质】 用做颜料的矿物要求颜色稳定，尤其是经日光照射后颜色稳定，具有良好的附着与覆盖能力，对油的吸收能力、水萃取液为中性、不含水溶盐类以及粉碎后颗粒细而均匀等性质。矿物通过煅烧颜色会更深、更稳定。

【功能与用途】 上述矿物各有多种用途，作为颜料主要功能是染色、防蚀。

【产状与产地】 颜料矿物多为表生沉积矿物，好些是次生矿物和氧化矿物。矿体多呈层状、似层状、岩被状产出。矿物产地可参考前面有关章节。

## Jb 与特种用途有关的岩石

### Jb001 硅藻土 diatomite

【别名】 硅藻岩

【组成与结构】 硅藻土是一种生物成因的硅质沉积岩，主要由地质历史时期的硅藻及部分放射虫类的遗体组成。化学成分主要为$SiO_2$，混入元素有Fe、Al、Ca、Mg、K、Na、P等，矿物组成多为蛋白石及其变种。硅藻是一种单细胞植物，生活在水深适度含可溶硅酸的湖泊或浅海中。硅藻吸收水中的硅酸构成细胞壁，死亡后遗骸沉淀于海底或湖底，其有机部分分解腐烂，化学性质稳定的硅质细胞壁壳保留并聚集形成硅藻土。硅藻土主要由蛋白石组成，杂质有水云母、高岭石等黏土矿物以及砂和有机质。视杂质成分及含量的不同，硅藻土矿石通常分成三类：①高纯硅藻土；②含泥质富有机质的硅藻土；③富泥质硅藻土。硅藻土通常具多孔结构及土状结构。

【物化性质】 高纯硅藻土一般呈白色土状，依杂质成分及含量的不同，分别呈灰白、黄、灰、绿及黑色，条痕白色，无光泽到土状光泽，不透明，无解理，断口粉末状到次贝壳状。大多数硅藻土质轻多孔，固结差，易碎裂，用手可捏成粉末。硬度1～1.5，硅藻骨骼微粒的硬度较大，达4.5～5。纯净干燥的硅藻土块相对密度很小，0.4～0.9，能浮于水面，固结硬化后相对密度接近2，煅烧后

可达 2.3。由于多孔，对液体的吸附力很强，一般能吸收相当于其本身质量 1.5～4 倍的水。对声、热、电的传导性极低。硅藻土的比表面积为 1.0～65$m^2/g$。天然硅藻土经 900℃煅烧 2h 后，硅藻壳上有规则排列的微孔仍保持完好，在 1200℃下煅烧 2h，大部分微孔遭到破坏。硅藻土熔点 1400～1650℃，除溶于 HF 酸外不溶于其他酸，但溶于碱。

【功能与用途】 硅藻土具有质轻、孔隙度大、吸附性强，能隔热和隔音、熔点高、热稳定性强，除溶于 HF 酸及碱外不溶于其他酸类等特点，用途十分广泛。

用做过滤剂和漂白材料是硅藻土的主要用途。硅藻土的显微孔隙用在制糖、制药、酿酒、炼油工业上以及工业和城市用水等以滤除滤清各种有机溶液。用硅藻土制成的隔热砖、耐火石灰广泛用于动力机械设备、钢铁冶炼和热处理、石油精炼、玻璃窑和陶瓷窑及冷藏设备上。利用硅藻土的吸附性能，在涂料、造纸、塑料、油漆、橡胶、肥料、沥青、杀虫剂等工业中常用来作吸附剂和填充剂。硅藻土可用做三合土、水泥、灰泥的混合材料。混凝土中掺入硅藻土可增进材料的均匀性，防止开裂和漏水。在陶瓷业中可用做陶瓷原料，供给坯体和釉所需的 $SiO_2$。硅藻土还可用来制作水玻璃，作为催化剂载体、磨料的原料。

【产状与产地】 硅藻土主要产大型浅水盆地中，包括湖泊及浅水海洋两类，前者含有较多的动植物化石和炭质碎屑，常与粉砂质黏土层在一起。矿层呈似层状、层状，产状平缓。矿层一般发育层理，岩性、岩相变化不大。矿石中除蛋白石外常有石英砂、黏土、碳酸盐等产出，偶见长石、云母、角闪石、金红石、锆石等。海盆地中产出的硅藻土有时伴生海绿石。我国硅藻土资源分布较广，储量丰富。矿床主要分布在吉林、黑龙江、山东、浙江、云南等省，著名矿山有山东临朐县山旺村、吉林长白县马鞍山、四川米易回汉沟、浙江嵊县福泉山等。

## Jb002 浮石 pumice

浮石是一种疏松多孔的玻璃质或凝灰质岩石，以其质轻、容重小（0.3～0.4$g/cm^3$）能浮于水面而得名，有的文献又称为浮岩（pumice stone）。

【组成与结构】 浮石的化学成分变化较大，黑龙江五大连池等地浮石的化学成分（%）如下所列。

**五大连池等地浮石的化学成分** （%）

| 项目 | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | FeO | MnO | MgO | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $P_2O_5$ | 烧失量 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 51.82 | 2.0 | 13.81 | 9.92 | 5.81 | 0.09 | 6.66 | 6.09 | 3.83 | 4.97 | 1.00 | 0.12 |
| 2 | 48.11 | 2.50 | 14.28 | 14.00 | 8.48 | 0.10 | 6.53 | 7.45 | 4.11 | 2.05 | 0.88 | 0.13 |
| 3 | 69.52 | 0.30 | 12.02 | 5.27 | 2.49 | 0.05 | 0.29 | 0.79 | 5.63 | 4.01 | — | 1.97 |
| 4 | 70.46 | 0.25 | 10.92 | 5.20 | 2.29 | 0.06 | 0.35 | 0.58 | 5.88 | 4.14 | — | 1.38 |

注：1. 黑龙江五大连池老黑山玄武质浮石。

2. 山西大同聚杂堡玄武质浮石。

3. 吉林安图圆池流纹质浮石。

4. 吉林安图双目峰流纹质浮石。

浮石的矿物成分多种多样，除非晶质火山玻璃外，酸性流纹质浮石可出现少量石英、酸性斜长石、黑云母、角闪石，基性玄武质浮石可出现基性斜长石、辉石、橄榄石等。浮石具玻璃质结构、凝灰质结构、玻基斑状结构及气孔构造。

【物化性质】 浮石的物理化学性质重要的有容重、相对密度、空隙率、抗压强度以及吸水率。它们的含义及测定方法如下。

1. 容重，又可分为颗粒容重和松散容重。前者指自然颗粒或自然块度的容重，后者是将浮石破碎到 5～30mm 粒度按自然级配测得的单位体积的重量，它随颗粒的增大而减小。

2. 空隙率是指自然堆放状态下的颗粒之间的空隙，可按如下两个公式计算。

①空隙率（%）＝（1－松散容重/颗粒容重）×100%；

②空隙率(%)=[1−颗粒容重/(相对密度×1000)]×100%。

3. 抗压强度可分出筒压强度及抗压强度。前者是指将一定粒级的浮石放入承压筒将试件压入200mm深度时的压力值（$kg/cm^2$），后者是将浮石切割成一定尺寸的立方体或圆柱体，受压破裂时的强度值（$kg/cm^2$）；

4. 吸水率，采用0.5～2.5cm粒径的浮石进行试验，测定其饱和状态时的吸水百分率，吸水时间一般为1h。

上述4个地区浮石的物理性质列于下表，表中浮石产地与性质与上表相同。

浮石的物理性质

| 项目 | 颗粒容重/($g/cm^3$) | 松散容重/($kg/cm^3$) | 相对密度 | 空隙率①式/% | 空隙率②式/% | 筒压强度/($kg/cm^2$) | 抗压强度/($kg/cm^2$) | 吸水率/% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.846 | 540～630 | 2.77 | — | 67～81 | — | 150～170 | — |
| 2 | 1.220 | 564 | 2.84 | 53.8 | 56.9 | 9.65 | 79.1 | 13.6 |
| 3 | 0.651 | 445 | 2.32 | 31.7 | 71.8 | 17.60 | — | 26.6 |
| 4 | 0.571 | 288 | 2.42 | 49.8 | 76.3 | 12.0 | — | 34.7 |

浮石的颜色随化学组成不同而异，有灰白、灰、红褐、紫红、铁黑、黄褐等。浮石硬度较大，通常在莫氏硬度6以上。浮石是含有大量挥发分的岩浆喷出地表后，由于压力骤减，温度降低，熔浆的内应力加大，熔浆中挥发分气体迅速膨胀并逸出，岩浆冷却后形成的多孔非晶质玻璃质岩石。

【功能与用途】 浮石多孔、体轻、孔隙间壁锐利、硬度大、化学性质稳定，加上开采容易，加工简便，成本低等被大量用于建筑材料、水泥原料、工业原料等领域。

浮石多孔、体轻、热导率低、保温、隔音、耐热、防虫蛀、防霉、防化学侵蚀，可制成不同容重合乎强度要求的混凝土构件，如内墙板、楼板、空心砖、屋面板等。浮石具较高的活性，有较高的硅酸率（$SiO_2/Al_2O_3+Fe_2O_3$）和铝氧率（$Al_2O_3/Fe_2O_3$）和一定的水硬性，可掺入水泥中作为活性混合材料，也可制成无熟料水泥。作为水泥原料，要求其$SO_3$量<3%。在工业原料领域方面，经工艺处理后的浮石可用于优质磨料、抛磨光学玻璃、防弹夹丝玻璃、软金属、塑料、眼镜、电视显像管、荧光屏、铬板、镍板、清洗具等。经工艺处理后的浮石可用做工业过滤剂、干燥剂、催化剂、净化剂、吸附剂、塑料填充剂，以及杀虫剂的载体。此外，以浮石为原经高温熔化可制成岩棉和岩棉制品，也可作路面碎石、铁路道渣。

【产状和产地】 浮石产地在国内广泛分布，主要分布在黑龙江、吉林、内蒙古和海南岛，山西、云南、江苏、浙江、台湾等省也有分布。浮石在空间和形成时间上都与火山活动有关，空间上多分布在火山口四周，时间上主要见于第四纪，其次第三纪。更老时代的浮石多已被压实，转为坚实的火山岩。在国内玄武质浮石较发育，在国外主要发育流纹质浮石。

## Jb003 珍珠岩 perlite

珍珠岩在岩石学上是一种流纹岩质的酸性火山玻璃。在工业上珍珠岩是指在加热到一定温度时能够膨胀形成质轻多孔的各种酸性火山玻璃，又叫膨胀珍珠岩。通常，广义的膨胀珍珠岩包括膨胀了的珍珠岩、黑曜岩和松脂岩三类。珍珠岩与黑曜岩、松脂岩的区别在于珍珠岩具特殊的因冷凝形成的圆弧形裂纹，即珍珠结构，含水量2%～6%。松脂岩具特殊的松脂光泽，含水量6%～10%。黑曜岩具玻璃光泽，含水量一般小于2%。下面提到的珍珠岩即膨胀珍珠岩。

【组成与结构】 珍珠岩化学组成是一种含水的酸性硅铝酸盐。化学成分大体为：$SiO_2$ 68%～74%、$Al_2O_3$ 12%左右、$Fe_2O_3$ 0.5%～3.6%、MgO 0.3%左右、CaO 0.7%～1.0%、$K_2O$ 2%～3%、$Na_2O$ 4%～5%、$H_2O$ 2.3%～6.4%。除火山玻璃及一定量的水，有时含有少量透长石、石英等斑晶和星点状磁铁矿。岩石具珍珠结构、全玻璃质结构、玻基斑状结构、斑状构造、角砾状构造等。

【物化性质】 珍珠岩因含不同色素离子而有黄白、肉红、暗绿、棕褐、灰黑等颜色，条痕白色。碎片及薄的边缘半透明至透明。玻璃光泽到珍珠光泽，风化后为油脂光泽。性脆。断口贝壳状、参差状、裂片状。硬度 5.2～6.4，相对密度 2.2～2.4。折射率 1.492～1.506。耐火度 1300～1380℃。膨胀倍数 3～10 倍。珍珠岩的膨胀性取决于玻璃质的纯净程度，通常①略带淡色者膨胀性好，棕色及透明度差的膨胀性差；②膨胀性随铁含量增大而变差；③全玻璃质结构的膨胀性最好，隐晶、雏晶、斑晶含量多时会降低膨胀性能；④具显著流纹构造和角砾状构造的膨胀性差；⑤脱玻化作用会降低岩石的膨胀性，极强的脱玻化作用形成大量矿物可使火山玻璃完全不能膨胀。

【功能与用途】 珍珠岩原矿用途不大，仅用做钢铁工业所需的炉渣凝结剂。珍珠岩具有容重轻、热导率低、耐火性强、隔音性能好、孔隙细微、化学性能稳定、无毒无味等特性是优质的保温隔热材料，广泛用于建筑、工业 、农业等领域。其中建筑、助滤剂、园艺是珍珠岩的三大应用领域。

建筑业是珍珠岩的最大消费领域，约占珍珠岩总消费量的 60%～70%，主要用做混凝土骨料，制作轻质保温隔热吸音板、防火屋面和轻质防冻、防震、防火、防辐射等高层建筑工程墙体的绝缘填料，制作各种工业设备、管道的绝热层。此外还用于各种深冷、冷库工程的内壁和低沸点液体、气体储罐内壁以及运输工具的内壁等。珍珠岩的另一大用途是制作膨胀珍珠岩制品。这是以膨胀珍珠岩为骨料，用水泥、水玻璃、磷酸盐、沥青等作为胶结剂，并掺入一定量水，经搅拌、成型、干燥、焙烧或养护而成的具有一定形状的产品，如板管、瓦砖等。这种膨胀珍珠岩制品除用于建筑业外，还广泛用于机械、冶金、水电、轻工业等领域。珍珠岩用做助滤剂是其第二大消费领域。经过工艺处理加工成具有微孔结构和吸附性能的珍珠岩是一种无机过滤材料，用以制作分子筛、去污剂、过滤剂等，广泛用于酿酒、果汁、饮料、制糖等食品加工制造业，还用于净化水、净化废油、石油脱蜡、分馏烷和烃以及化工工业塑料、喷漆业去毒等。珍珠的另一重要消费领域是农林园艺，主要用于改良土壤、防止农作物倒伏、控制肥效和肥度。此外，还可作为杀虫剂和除草剂的稀释剂和载体。

珍珠岩还用做颜料、搪瓷、釉、塑料、树脂和橡胶业的填料，化学反应中的催化剂以及油井灌浆混合剂，作为精制物品的包装材料、磨料等。珍珠岩微粉可熔制瓶罐玻璃。珍珠岩玻璃可用以生产珍珠岩纤维及珍珠岩棉等保温材料。

【产状与产地】 珍珠岩产在时代较新的玻璃质火山岩，主要是流纹岩中，矿体呈似层状的薄层或互层以及透镜体产出。珍珠岩国内产地有浙江缙云天井山、吉林九台、河南信阳上天梯等。

## Jb004 膨润土 bentolite

膨润土是一种以含蒙脱石为主的优质黏土矿或黏土岩。蒙脱石（montmorillonite）是一种含水的层状铝硅酸盐矿物。根据层间阳离子的不同，蒙脱石可分出钠蒙脱石、钙蒙脱石、镁蒙脱石、铝蒙脱石等。取决于上述不同蒙脱石的相对含量，膨润土可分出钠基、钙基、镁基、钠钙基、镁钠基等膨润土。膨润土另一常用的近似的工艺名称——漂白土。漂白土有两种，一种是活性白土，是经酸处理后的膨润土，具有强的漂白性能。另一种是天然漂白土，某些钠基、钙基、铝基膨润土以及凹凸棒石、海泡石等属此。

【组成与结构】 膨润土主要由蒙脱石组成，其他黏土矿物有贝得石、伊利石、高岭石、埃洛石，此外常混有沸石、方英石、石英、蛋白石、长石、方解石等非黏土矿物。膨润土的化学组成不固定，浙江临安膨润土矿的化学成分为 $SiO_2$ 64.99%、$TiO_2$ 0.46%、$Al_2O_3$ 14.29%、$Fe_2O_3$ 2.27%、FeO 0.93%、MgO 1.925%、CaO 3.03%、$Na_2O$ 2.16%、$K_2O$ 2.86%，烧失量 6.54%（包括 $H_2O$ 5.09%）。膨润土通常致密坚硬，也有的松散土状。结构多样，有泥质、粉砂-细砂、角砾凝灰、变余火山碎屑等结构。膨润土的主要组成矿物蒙脱石的化学式为 $Na_x(H_2O)_4(Al_{2-x}Mg_x)[Si_4O_{10}](OH)_2$。矿物属单斜晶系，层状铝硅酸盐。

【物化性质】 膨润土主要由蒙脱石组成。蒙脱石常呈土状隐晶质块体，有时呈细小鳞片状、球粒

状，通常为白色，有时为浅灰、粉红、浅绿色，条痕白色，无光泽，鳞片状者{00$\bar{1}$}解理完全。硬度2～2.5，相对密度2～2.7，甚柔软，有滑感。加水膨胀，体积可增大几倍。钠蒙脱石遇水膨胀可形成永久性乳浊液或悬浮液，具有一定的黏滞性、触变性和润滑性。钙蒙脱石的膨胀性较小，在水中虽可迅速分散，但一般会很快絮凝沉淀。蒙脱石具可塑性、黏结性，有很强的吸附力和阳离子交换性能。正是由于层间阳离子的交换，形成上述不同的蒙脱石，具有不同的物理化学性质。

膨润土多呈致密坚硬块状，少数土状。膨胀力强的在露头上呈多孔状或泡沫状。颜色有白色、乳酪色、浅灰色、淡绿黄色、浅红色、肉红色、砖红色、黑色、斑杂色等。油脂光泽、蜡状光泽或无光泽。贝壳状或锯齿状断口。与蒙脱石的物理化学性质有关，膨润土具有吸水膨胀性、黏结性、吸附性、润滑性、催化活性、触变性、可塑性及阳离子交换性能等。膨润土在水介质中的各种性能，多随所含蒙脱石层间阳离子的不同而变化，人们为了取得预想的工艺技术效果，往往以改变蒙脱石吸附态阳离子种类的办法来达到，即所谓的膨润土改型。

【功能与用途】 膨润土的上述性能被广泛用于冶金、机械制造、钻探、石油化工、轻工、农林牧和建筑等方面。国内主要用于铸造型砂（约占70%），钻井泥浆（约占70%）及铁矿球团（约占3%）三大领域。铸造型砂主要借助于膨润土的黏结性，使型砂具有较高的热强度，从而延长型砂的使用寿命。石油钻井中膨润土起润滑钻头作用并用以保护井壁。钠基膨润土作为铁矿球团的黏结剂，可节省炼铁时的熔剂和焦炭。膨润土的吸附性和净化性被用于食用油的精制、脱色、除毒，工业上用于净化汽油、煤油、特殊矿物油、石蜡和凡士林等。此外，还用于消毒防护、废水处理以及处理核废料等。膨润土可作为纸张、橡胶、肥皂、涂料等的填料，可代替工业用淀粉生产糨糊、浆纱和印刷花糊料，可作为农药、化肥的载体以改良土壤，可用做家禽的饲料添加剂等。

【产状与产地】 膨润土主要产安山岩、粗安岩、流纹岩及其蚀变和风化的沉积岩石中。矿层通常稳定，呈层状或透镜状，与下伏岩层为突变接触，与上覆岩层为渐变过渡。受后期热液作用形成的矿石常沿裂隙延伸，呈似层状或脉状。中酸性火山岩受后期热液、海水、地下水、地表水作用，岩石受到水化，相伴随的化学变化以及再结晶形成蒙脱石等黏土矿物是膨润土矿成矿的重要因素。膨润土国内产地有浙江临安平山、浙江余杭仇山、辽宁黑山以及山东潍县涌泉庄等。

## Jb005 天然油石 native oilstone

【组成与结构】 油石有人造油石和天然油石两种。天然油石原料主要是石英岩，其次石英砂岩，要求$SiO_2$含量＞98%，石英含量＞95%，石英颗粒料0.005～0.05mm，一般需呈多角形等轴状，具均匀致密结构。

【物化性质】 天然油石的硬度要求在6级以上，耐磨损，研磨部件的光洁度达4～10级，对部件的磨削率0.01g/100min。

【功能与用途】 油石以其耐磨是机械工业中加工精密零件不可缺少的一种研磨工具，广泛适用于倒砂压光和直接研磨各种高精度、高光洁程度的块规、刀具、刃具、抛光钟表摆轴及零件、仪表轴尖、硬合金笔尖、高级绘图仪器以及精密机械零件。

【产状与产地】 作为天然油石原料的石英岩呈层状大面积分布，由于耐风化常突出于其他岩石之上。天然油石的国内产地有河南密县助泉寺。

## Jb006 铸石 cast stone

铸石是以玄武岩、辉绿岩等为主要原料，经配料、熔化、浇铸成型等工艺制成的工业制品。

【组成与结构】 铸石的主要组成是玄武岩及辉绿岩。铸石生产中需要加入若干辅助材料，如石灰岩、白云岩、菱镁矿、菱铁矿、石英砂、蛇纹石、煤矸石、工业废渣等。通常还加少量萤石作熔剂，加少量铬铁矿或铬渣作结晶促进剂。玄武岩主要由钙质斜长石及辉石组成，有时含橄榄石、似

长石及火山玻璃，辉绿岩的矿物组成类似玄武岩。目前，我国比较定型的铸石生产原料实际配比为：玄武（或辉绿岩）80%～90%，角闪石 3.4%～6.7%，白云石 3.2%～6.0%，萤石 0.15%～0.29%，铬铁矿 2.1%～5.2%。我国制定的铸石用玄武岩的成分指标为：$SiO_2$ 45%～51%，$Al_2O_3+TiO_2$ 15%～21%，其中 $TiO_2$ 约 5%，$Fe_2O_3$ 12%～17%、CaO 9%～11%、MgO 4%～7%、$K_2O+Na_2O<3\%$。

玄武岩通常具细粒隐晶质至玻璃质结构，也常见斑状结构，基质具间粒结构、间隐结构和填间结构，普遍发育气孔构造及杏仁构造以及枕状构造、绳状构造。辉绿岩的典型结构是辉绿结构，常具带状构造，其次具块状构造、球状构造。

【物化性质】 铸石具硬度较大、耐磨、耐腐蚀、介电性好、机械强度高等性质。熔融的玄武岩产品的耐久性为锰钢的 4～5 倍。我国建材部标准 JC 242—81 通用普型铸石制品中关于制品的理化性能指标要求为：耐酸度 95%～98%浓硫酸（化学纯 GB 625—77）不低于 99%；耐酸度 20%硫酸（化学纯 GB 625—77）不低于 96%；耐碱度 20%氢氧化钠（化学纯 GB 629—77）不低于 98%；磨损度不大于 0.09g/cm²；冲击韧性不低于 1.60kg·cm/cm²；抗压强度不低于 6000kg/cm²；弯曲强度不低于 650kg/cm²；耐急热急冷性能，其中 20～70℃反复一次水浴法和 25～200℃反复一次气浴法，抽取 50 个样品经检验后若不合格品不超过 14 个为合格。

【功能与用途】 铸石制品包括板材、管材和铸石粉三类，广泛用于建材、冶金、煤炭、石油、化工、轻工业等部门，主要替代钢材、合金材料及橡胶等。铸石常用做暴露于强磨蚀、强腐蚀或与酸接触条件下工作的物件，如制作气压或液压运输矸石、矿石、熔渣、煤、焦炭等坚硬物料的装置，用以衬砌料仓、煤台、煤槽、焦炭分离器、矿渣的排除设备等。

【产状与产地】 玄武岩为基性火山喷出岩，常形成巨厚的大面积分布的岩流和岩被。辉绿岩为浅成基性侵入岩，多呈岩床、岩墙产出。用做铸石原料的玄武岩产地有江苏六合、黑龙江牡丹江市黄花、湖南耒阳春江铺、北京门头沟大峪。辉绿岩产地有陕西略阳田坝。

## Jb007 耐酸石材 acid-resisting rock material

【组成与结构】 作为耐酸石材的岩石 $SiO_2$ 含量应不低于 45%，且含量越高越耐酸。花岗岩、石英岩、脉石英、辉绿岩、辉长岩、玄武岩、安山岩等岩石都可用做耐酸石材。花岗岩主要由石英、碱性长石和斜长石组成，次要矿物有黑云母、角闪石和辉石。花岗岩的化学成分 $SiO_2$ 含量约 65%～75%，$Al_2O_3$ 约 13%～16%。石英岩和脉石英主要由石英组成，含量大于 90%，$SiO_2$ 含量在 95%以上，$Al_2O_3$ 含量大多小于 1%。辉绿岩、辉长岩和玄武岩的组成矿物类似，主要有斜长石、辉石、橄榄石、碱性长石、似长石，次要矿物有角闪石和黑云母。岩石 $SiO_2$ 含量 43%～53%，$Al_2O_3$ 含量大于 13%。安山岩主要由中性斜长石组成，次要矿物有辉石，岩石 $SiO_2$ 含量约 54%～64%，$Al_2O_3$ 含量多大于 17%。

花岗岩具典型花岗结构、块状构造、斑杂状构造和似片麻状构造。石英岩具粒状变晶结构、块状构造，有时具条带状构造。辉绿岩具典型辉绿结构、块状构造。辉长岩具辉长结构、块状构造。玄武岩常具交织结构、玻璃质结构和玻基斑状结构，气孔构造、杏仁构造、熔渣状构造、枕状构造等。安山岩通常具斑状结构、块状构造、气孔构造及杏仁构造。

【物化性质】 作为耐酸石材要求具有下列物理性质如下。

1. 岩石中矿物分布均匀、组织结构致密、岩石新鲜、坚硬；
2. 不得有明显气孔、晶洞、裂纹、包裹体；
3. 岩石吸水率小于 1.5%；
4. 耐酸率 97.5%～98.5%，浸酸后的抗压强度不低于原有强度的 85%；
5. 岩石膨胀系数小于 0.0008%。

【功能与用途】 花岗岩、石英岩、辉绿岩等是重要的建筑装饰石材，作为耐酸石材主要用于建筑物

或容器的防腐材料，铺砌耐酸池、耐酸石槽、耐酸地面，加工成各种精度的粗细管材及粉料，在硫酸塔中作为耐腐蚀的填料。

【产状与产地】 花岗岩为侵入岩，呈岩基、岩株大面积产出。石英岩为沉积变质岩，呈厚层产出。辉绿岩为浅成侵入体，呈岩墙、岩床、岩脉产出。辉长岩呈小型侵入体产出。玄武岩、安山岩均为大面积喷出岩，呈岩流、岩被产出。上述各种岩石在自然界广泛分布，岩石的详细产状和产地可参阅前述有关章节。山东青岛料石总厂生产的花岗岩即用做耐酸石槽及地面石。

## Jb008 耐碱石材 alkali-resisting rock material

【组成与结构】 石灰岩（limestone）、白云岩（dolomite）、大理岩（marble）等可用做耐碱石材。有些耐酸石材 $SiO_2$ 含量很高、结构容量大、孔隙率小，也可作为耐碱石材使用。

石灰岩是一种以方解石为主要组成的碳酸盐岩石，主要化学成分 $CaCO_3$。白云岩是以白云石为主要组成的碳酸盐岩石，主要化学成分 $CaMg(CO_3)_2$。大理岩是由石灰岩或白云岩经过变质形成的岩石。石灰岩和白云岩除主要组成矿物方解石和白云石外，常含少量菱铁矿、铁白云石、菱镁矿、黏土矿物和铁矿物等。大理岩除含大量方解石和白云石外，常含少量蛇纹石、透闪石、透辉石、方柱石、金云母、镁橄榄石、石英、硅灰石。石灰岩和白云岩具糖粒结构、粒屑结构、生物骨架结构和残余结构，具层理构造及块状构造。大理岩具粒状变晶结构，块状构造。

【物化性质】 石灰岩、白云岩和大理岩的耐碱性质主要取决于岩石的钙、镁含量。通常 CaO、MgO 含量越高，岩石越耐碱。其次取决于岩石结构，细粒、致密、无裂纹的岩石耐碱。相反，岩石遇酸易被腐蚀损坏。此外，岩石的耐碱性质还取决于岩石是否新鲜、坚硬。

【功能与用途】 耐碱石材对苛性碱、碳酸碱、碳酸盐等有优良的耐腐蚀性能，是一种主要的建筑、冶金、装饰材料。在耐碱性质方面主要用于铺砌耐碱池、耐碱槽、耐碱地面。用白云岩制成的碱性砖用于砌筑转炉、化铁炉炉衬。在这方面具有原料分布广成本低的特点。炼铁和炼钢时白云岩作为熔剂起中和酸性炉渣作用，减轻炉渣对炉衬的侵蚀。

【鉴别特征】 方解石与白云石在野外最简易的鉴别方法是加酸起泡，发出响声，后者发泡微弱，甚至不起泡。

【产状与产地】 石灰岩、白云岩和大理岩主要呈厚层状产出，其次呈似层状、透镜状，在自然界广泛分布。详细产状及产地见前述有关各节。

## Jb009 天然沥青 native asphalt

沥青是指一种能溶解于二硫化碳的易燃、黏性的液体或固体的烃类混合物的总称，包括石油产品、地沥青、矿物石蜡和沥青岩。天然沥青是指天然产出的固体或半固体的地沥青（land asphalt）、矿物石蜡（mineral paraffin）和沥青岩（asphalite）。

【组成与结构】 天然沥青的成分变化较大，其中地沥青含 C 80%～88%、H 9%～11%、N 0.5%～1.4%，O 和 S 5.9%～11%。矿物石蜡主要由方格状异构烷组成，含 C 84.44%～86.15%、H 13.71%～15.30%，O、S、N 之和不超过 1.5%～2.0%。沥青岩又可分出硬沥青、脆沥青及辉沥青。硬沥青的化学成分以碳氢化合物和碳为主，总碳量 85%～88%，固定碳 10%～20%、H 8.5%～10%、S 0.3%～1.5%、N 2.0%～2.8%，几乎不含挥发分。脆沥青的固定碳含量变化大，在 3%～55%间。辉沥青的固定碳含量变化小，在 20%～30%间。

【物化性质】 地沥青为暗褐色或黑色黏结的固体或半固体，加热时变软，冷却后恢复为更黏的液体或固体，是由靠近地表的原油缓慢分馏形成的。地沥青的硬度 0.5～2，密度 1～1.2g/cm³，软化点温度大于 100℃，易溶于松节油、氯仿、二硫化碳等有机溶剂中，较难溶于苯和酒精中。矿物石蜡是一种蜡状的、链烷成因的固体沥青，一般呈黄色、灰绿色到褐色，外观像蜂蜡，密度小于 1.0g/cm³，含有大量石蜡和针状蜡结晶体。硬沥青外观像煤炭，黑色光泽，棕褐色条纹。硬沥青的

软化点温度高达 133～250℃，性脆，密度介于 1.00～1.03g/cm³ 间。耐风化，耐酸碱，具良好的电绝缘性。脆沥青是比硬沥青更硬、更脆、更不易溶解、熔点更高的沥青，具贝壳状、锯齿状断口。脆沥青密度 1.15～1.20g/cm³。辉沥青又称纯沥青，性质介于硬沥青和脆沥青之间。它比硬沥青重、难熔，但比脆沥青轻、易熔。辉沥青密度 1.10～1.15g/cm³。

【功能与用途】 天然沥青主要用做建筑工程的隔水材料，制造沥青油毡，铺设公路、地面，可作水箱、蓄水池的衬里等。在国外，除开采天然沥青外，对沥青含量达 3%以上的沥青质岩石也开采利用。含量达 6.5%以上的可直接铺设地面。含量在 3%～6%左右的，在铺设公路、地面时要适当加入纯沥青以保证所需的胶结力。沥青具有良好的绝缘性，可用来制作电冰箱、蓄电池外壳。沥青与石蜡混合用做电线绝缘材料。化学工业上沥青用做橡胶、涂料、油漆、印刷油墨和提炼化工产品的原料。对硬沥青进行热处理制成固定碳为 90%，灰分为 0.3%的生沥青焦，用于制造铸造焦。铸造焦进一步煅烧，除去水分和挥发分，制成碳达 99%的熟沥青焦，用做炼钢增碳剂原料。

【产状与产地】 天然沥青主要见于石油、天然气田地区，沿裂隙分布，形成沥青脉、沥青湖、沥青丘。在富有机质沉积岩的孔隙和裂隙中也有产出，呈浸染状、团块状以及脉状。天然沥青产地有新疆克拉玛依油田边缘的乌尔禾。