

长江水系水环境化学元素系列专著(2)

长江水系水环境化学研究系列专著编辑委员会

水环境化学元素研究

张立城 余中盛 章 申 等著

中国环境科学出版社

新华书店
PDF

长江水系水环境化学元素系列专著

水环境化学元素研究

长江水系水环境化学研究系列专著编辑委员会

张立城 余中盛 章 申 等著

中国环境科学出版社

• 北 京 •

(京)新登字 089 号

图书在版编目(CIP)数据

长江水系水环境化学元素系列专著 (2): 水环境化学元素研究/张立城等著. —北京: 中国环境科学出版社, 1995

ISBN 7-80093-828-x

I. 长… I. 张… Ⅲ. 水环境-环境化学-化学元素-长江流域-研究. N. X 21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 11898 号

长江水系水环境化学元素系列专著

水环境化学元素研究

长江水系水环境化学研究系列专著编辑委员会

张立城 余中盛 章 申 等著

责任编辑 李静华

*

中国环境科学出版社出版

(100062 北京崇文区北岗子街 8 号)

北京市通县永乐印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

1996 年 2 月第 一 版 开本 787×1092 1/16

1996 年 2 月第一次印刷 印张 19

印数 1—1500 字数 462 千字

ISBN 7-80093-828-x/X·970

定价: 23.00 元

长江水系水环境化学元素研究系列专著编辑委员会

主 任 章 申

副 主 任 曾北危 田笠卿 张立城

常委委员

(按姓氏笔画) 王大生 王立军 王明远 白先宏

佘中盛 汪炳武 李岫霞 孟 伟

吴忠勇 赵桂久 徐小清

委 员 万良碧 王晓蓉 刘嘉麒 关淑樵

朱百鸣 吴正褪 郑远昌 罗淑梅

惠嘉玉 钱杏珍 熊定国 廖 激

序 言

河湖水体是与人类活动和生活息息相关的陆地水环境系统。河流是水圈最活跃的部分,它像人体血液一样贯穿于整个自然景观机体中,河湖水体和其他历史自然体如土壤、岩石等一样具有一定的化学组成和地球化学特性,它们是水体发生发展过程中化学元素和其水环境条件相互作用的结果。河湖陆地水的化学成分和元素分布等地球化学性状的研究已有相当长的历史,但与岩石、土壤、生物的化学成分和元素分布的研究相比较还是薄弱的领域,其主要原因是河湖水的许多微量元素浓度极低,通常在“微克/升”,或更低的数量级水平上,研究的难度大。早期研究测得的某些微量元素的浓度,由于当时样品采集、贮运、分析技术的限制,比近期的数据偏高,而且不少微量元素如一些稀有分散元素、稀土元素等研究数据更缺乏,或处于空白状态。天然水中元素的总浓度应是它在水中各种形态的总和,元素的生物效应和生物地球化学迁移转化规律是与它在水环境中赋存的形态紧密相关的。水环境又是一个自然系统,揭示和认识它的地球化学规律,合理开发利用其资源,进行有效的水环境保护,都需要以水—悬浮物—沉积物—水生生物为整体进行系统综合的研究。

长江是中国第一大河,世界第三巨川,水系发育,流域面积辽阔,海拔高差 4 000 多米,自然条件多种多样,区域差异明显,具有丰富多样的地表水类型和较多的水化学类型。长江河源由于极其恶劣的自然环境,使它成为全球大陆中人为影响甚小的环境背景值研究空白区。这些丰富多采的自然条件为研究探讨水环境化学元素的发生、形成、赋存形态、迁移转化规律及形成与影响因素提供了基础和良好的客观条件。其研究成果丰富了水环境地球化学和化学地理的基本理论,为长江水系乃至其他水系水质资源的开发利用提供了科学依据和研究方法。

长江水系水环境化学元素研究是一项内容极其丰富、科学性强、技术条件要求很高的综合性水源保护科学研究。在国家环境保护局、中国科学院和国家教委的关怀和领导下,组织多学科,发挥多部门的科技优势,群策群力,通力合作,在高质量、高水平圆满完成国家“七五”科技攻关环保专题的任务基础上,充分开发长江水系水环境背景值资料,有效发挥其成果的效益,组织集体编写《长江水环境化学元素研究》系列专著。编写过程中,广泛参考和吸收水环境地球化学的文献资料,特别是近年的新进展和新成果,力求使本系列专著在理论上达到新的水平,在实践中更好地适用。由于本系列专著内容丰富,各册具相对独立性和完整性,将根据完成先后分册出版。《水环境化学元素研究方法》一书是本系列专著中首先出版的第一本。以后将陆续出版《水环境化学元素研究》和《水环境地球化学》等分册。

本系列专著是社会主义大协作的产物,参加工作的有中国科学院的科研所,国家教委的大专院校和国家环保的科研单位 13 个,320 名科技人员。参加本编著的有几十位科技工作者,本系列专著是集体劳动的成果,包含着“长江水系水环境背景值研究”项目的全体

科技人员的贡献。在研究过程中还得到长江流域各省、市、自治区的环保部门和有关高校的大力支持,在此一并深表感谢。书中不妥之处和错误在所难免,敬希读者多予指正。

章 中

前 言

长江是中国最大的水系,也是世界第三大河,它的水资源极为丰富,年总径流量近 1 亿万 m^3 , 占我国河流年总径流量的 1/3 以上,长江水系非常庞大,干流全长 6300km,流域面积达 180 万 km^2 , 大小支流 1 万余条,湖泊众多,流经青海、西藏、云南、四川、湖北、湖南、江西、安徽、江苏、上海 10 个省、市、自治区。其支流延伸到甘肃、陕西、河南、贵州、广西和浙江等省区。长江流域上游广阔的地区由于自然条件欠佳,难以开发利用,中下游地区城镇众多,人口稠密,经济较发达,工农业产值约占全国的 40%,长江流域雄厚的物质技术基础和中下游有利的自然环境条件为振兴我国的经济,实现四化发挥着巨大的作用,但经济发展过程中也造成中游水系水体污染,因此长江水系水质资源的开发利用和保护对长江流域经济的持续发展至关重要。

天然水体本身固有的化学元素组成与含量,反映着水体各相(水相、沉积相、生物相)物质组成与结构特征,并能揭示水系流域地区水体元素组成和浓度及其与气候因子、地形地貌、地质、土壤、植被等自然因素的关系,在很大程度上表征着长江水系水体环境质量状况与变化,区域环境化学特征,水体元素分布和分配及迁移转化的规律,它也是最基础的水源水质保护技术数据,可广泛应用于水资源的开发利用,水环境容量的计算和水质环境标准的制定,水环境污染程度和环境质量评价及经济发展规划和环境管理,水利建设等诸多方面。为便于在这些方面的应用,本书尽量多的列出了各河流河段的实测数据和数理统计数据。

本书的资料和数据主要来源于国家“七五”科技攻关项目“长江水系水环境背景值研究”,该项研究属世界上最大的水环境质量状况研究项目,研究的难度也较大,水中许多元素的浓度极低,常在十亿至百万分之几的含量范围,为获得精确可靠的数据,采用了最适宜的方法和仪器设备。为使获得的数据便于同国内外同类研究数据比较,将水相用 $0.45\mu\text{m}$ 孔径滤膜进行了分离,分别测定未过滤的原样水(全量)和过滤水(可认为是溶解态元素含量)中的元素。将河湖沉积物分离为孔径小于 $63\mu\text{m}$ 的部分和小于 0.84nm 孔径的原样部分(去掉根块、碎石等物)。采用中子活化、原子吸收分光光度计和 ICP 等先进设备分别测定了 30 余个元素。同时测定了水的 pH、电导率、悬浮物、硬度、DO、COD、离子总量等理化参数。

该项研究还是环境科学领域一项多层次、多功能、多目标和多用途的水源应用基础研究,在 5 年期间集中了中国科学院、国家环保系统的科研单位和高等院校 300 名专业科技人员,通力合作,协同攻关共同完成的。

本书为《长江水系水环境化学元素研究》系列专著之一,重点汇总了有关长江水系水和沉积物化学元素的组成、含量和分配与分布区域差异方面的数据、资料;阐述了水环境化学元素含量分布形成的自然环境条件、水体的地球化学条件。

本书是 300 余名专业科技人员历时 5 年多精心研究的成果,该项研究先后获得中国科学院科技进步一等奖和国家科技进步三等奖,该项研究为本专著的编写奠定了良好的

基础。在该次大规模综合调研过程中还得到国家环保局、中国科学院、国家教委及云南、贵州、四川、湖南、江西、安徽、青海等省区环保及水文部门金鑑明、郭方、陈子久、柴文琦、许邦仪、傅立勋、鲍强、杨生、白先宏、雍永智、周思毅、孟伟、王大生等大力帮助和支持，在此，并表示感谢。参加本专著编写和提供资料的主要有曾北危、田笠卿、李岫霞、王立军、吴忠勇、赵桂久、徐小清、刘嘉麒、熊定国、廖激、吴正提、万良碧、朱百鸣、关淑樵、朱颜明等。

作者

1995.2

目 录

第一章 长江流域的地球化学环境	(1)
第一节 长江水系组成	(1)
第二节 长江流域的地质环境	(5)
第三节 长江流域的地形和地貌特征	(8)
第四节 长江流域的气候特征	(10)
第五节 长江水系的水文特征	(12)
第六节 长江流域的生态环境特征	(14)
第七节 长江流域的化学地理特征	(15)
第二章 长江水系水环境的地球化学因素	(17)
第一节 水环境的温度与溶解氧	(17)
第二节 水的 pH 值	(19)
第三节 水的离子组成与浓度	(20)
第四节 水的硬度	(25)
第五节 水的化学耗氧量	(26)
第六节 水的酸、碱缓冲能力与化学稳定性	(27)
第三章 长江水系水体元素含量表征及数理统计方法	(31)
第一节 水体元素含量表征	(31)
第二节 水体环境单元元素含量的表征	(32)
第四章 长江河源区水系水体的化学元素	(34)
第一节 河源区水系流域环境特征	(34)
第二节 河源区水体理化性状及其地球化学特征	(36)
第三节 河源区水系水体元素的含量与背景值	(38)
第五章 金沙江干流与北岸水系水体中的化学元素	(51)
第一节 金沙江干流或北岸水系的环境特征	(51)
第二节 水体的理化性状及其地球化学特征	(53)
第三节 金沙江干流及北岸水系水体元素含量和背景值	(57)
第六章 金沙江南岸水系水体中的化学元素	(87)
第一节 金沙江南岸水系的环境特征	(87)
第二节 金沙江南岸水系水体的理化性状及其地球化学特征	(88)
第三节 金沙江南岸水系水体元素的含量和背景值	(89)
第四节 金沙江南岸主要支流水系水体元素含量与背景值	(97)
第五节 金沙江南岸水系水体稀有稀土和放射性元素的含量和背景值	(112)
第七章 乌江水系水体中的化学元素	(117)
第一节 乌江流域的环境特征	(117)

第二节	乌江水系水体的理化性状及其地球化学特征	(120)
第三节	乌江水系水体元素含量与背景值	(121)
第四节	乌江水系水体稀有、稀土、分散与放射性元素的含量与背景值	(126)
第八章	赤水水系水体中的化学元素	(128)
第一节	赤水水系的环境特征	(128)
第二节	赤水水系河水的理化特征	(129)
第三节	赤水水系水体元素的含量与背景值	(130)
第四节	赤水水系水体稀有、稀土、分散与放射性元素的含量与背景值	(137)
第九章	清江水系水体中的化学元素	(138)
第一节	清江流域的环境特征	(138)
第二节	清江水系河水的理化特征	(139)
第三节	清江水系水体元素含量与背景值	(140)
第十章	岷江水系水体中的化学元素	(147)
第一节	岷江水系的环境特征	(147)
第二节	岷江水系水的理化特征	(148)
第三节	岷江水系水体元素含量与背景值	(150)
第四节	岷江水系水库水元素的含量	(156)
第十一章	沱江水系水体中的化学元素	(158)
第一节	流域的环境特征	(158)
第二节	沱江水系水体的理化特征	(159)
第三节	沱江水系水体元素含量与背景值	(160)
第十二章	嘉陵江水系水体中的化学元素	(165)
第一节	嘉陵江水系的环境特征	(165)
第二节	嘉陵江水系河水的地球化学特征	(168)
第三节	嘉陵江水系水体元素的含量与背景值	(168)
第十三章	汉江水系水体中的化学元素	(175)
第一节	汉江水系的环境特征	(175)
第二节	汉水水系河水的理化性状及其地球化学特征	(179)
第三节	汉水水系水体元素含量与背景值	(180)
第十四章	洞庭湖水系水体中的化学元素	(190)
第一节	洞庭湖水系的环境特征	(190)
第二节	洞庭湖水系水的理化特征	(192)
第三节	洞庭湖水系水体元素含量与背景值	(194)
第十五章	鄱阳湖水系水体中的化学元素	(221)
第一节	鄱阳湖水系的环境特征	(221)
第二节	鄱阳湖水系水的理化特征	(224)
第三节	鄱阳湖水系水体元素含量与背景值	(225)
第十六章	长江下游水系水体中的化学元素	(244)
第一节	长江下游水系的环境特征	(244)

第二节	长江下游水系水的理化特征.....	(246)
第三节	长江下游水系水体元素含量和背景值.....	(247)
第十七章	长江干流水体中的化学元素含量与变化.....	(254)
第一节	长江干流的环境特征.....	(254)
第二节	长江干流水的理化性状及其地球化学特征.....	(255)
第三节	长江干流水体元素含量.....	(257)
第十八章	长江水系水和沉积物元素含量与分布特征.....	(264)
第一节	长江水系水和沉积物与人为影响关系密切的 15 个微量元素的含量 特征.....	(264)
第二节	长江水系水环境中稀有稀土及放射性元素的含量特征.....	(276)
第三节	长江水系水环境背景值元素结构组成特征.....	(285)
第十九章	长江水系水和沉积物元素含量与背景值区域分异特征.....	(287)
参考文献		(291)

第一章 长江流域的地球化学环境

在自然条件下水环境中的化学元素的发生、组成和元素的丰度取决于它的地球化学环境和元素本身的地球化学性质,自然环境条件包括气候、地质、地形地貌、水文、土壤、植被等要素,但是主要的影响因素是气候和地质环境。气候影响并决定了岩石风化的性质、强度和速度,在很大的程度上决定着水环境化学元素的丰度,特别是影响和决定了常量元素或称大量元素的丰度和组成。岩性对水域的理化性状常常产生很大的影响,对水环境中元素的组成,特别是微量元素组成和丰度往往有显著的影响,但是,气候和岩性的影响作用不是孤立进行的,水环境中化学元素的组成、丰度及其赋存形态,在固-液相中的分配是气候和岩石类型综合作用的结果,像地貌和水文、土壤、植被条件都附属于气候和岩性,是间接的作用因素。

长江水系流域面积辽阔,气候、地质、地貌、水文、土壤和植被条件区域分异非常显著,这些因素的组合复杂,形成不同的地球化学环境,造成了水环境中水化学过程,元素组成和丰度的区域分异。因此,弄清影响和决定水环境中化学元素的地球化学背景条件是探索和揭示长江水系水环境化学元素组成特征的基础和前提条件。

第一节 长江水系组成

长江是中国最大的河流,也是世界上著名的大河流之一,全长约 6300km,流域面积 180 万 km^2 , 约占中国总面积的 1/5, 每年入海径流量高达近 1 万亿 m^3 , 占中国总径流量 1/3 以上。长江有一个庞大的水系网, 主要的一级支流有 53 条, 大小支流有 1 万多条, 其中集水面积在 100 km^2 以上的支流有 437 条, 长度在 500km 以上的一级支流有雅砻江 (1500km)、岷江 (735km)、沱江 (655km)、嘉陵江 (1119km)、乌江 (1018km)、沅江 (1062km)、资水 (590km)、湘江 (744km)、汉江 (1532km)、赣江 (744km)。长江干流及其众多的支流, 加上星罗棋布的湖泊 (全流域湖泊总面积约为 2.2 万 km^2), 形成庞大而复杂的水系。

现将长江水系河网结构特点, 按江段和较大支流分别叙述如下 (图 1-1-1)。

一、通天河水系

通天河是长江的上源, 从源头各拉丹冬雪山东麓至直门达的巴塘河口, 流程 1292km, 河流穿流在海拔 4500m 的高原面上。

通天河水系发育不对称性, 受地形和降水条件的制约, 较长的支流多发源于西南侧的唐古拉山脉, 除沱沱河外, 还有尕尔曲、布曲和当曲等较大支流。沱沱河是最长的一条, 从源头到它的河口为 358.1km, 而且与通天河的流向大体一至。楚玛尔河发源于可可西里山的东麓, 是通天河左岸的大支流。

由于地势较高, 通天河水主要靠冰雪融水补给, 其次为降水和地下水补给。河水有较长的冻结期, 从 9 月底至第二年 4 月中旬, 河水都封冻。河水最大流量在 7 月份, 这是冰雪

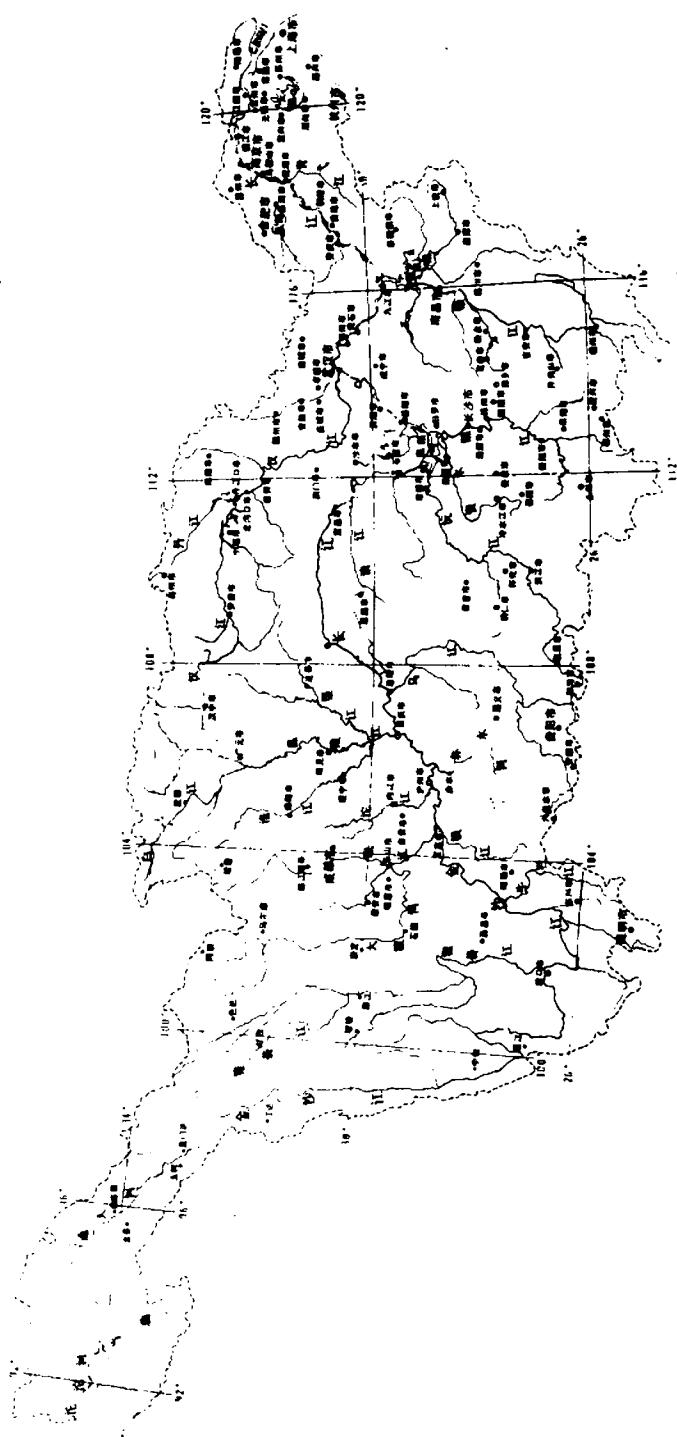


图 1-1-1 长江水系图

融水和降水同时补给河流的结果。

二、金沙江水系

受横断山脉的控制,由西向东流的通天河至巴塘河口之后,流向急转南下,从巴塘河口至宜宾江段称为金沙江,流程 2308km。

金沙江西有宁静山脉,东有沙鲁里山脉,山岭海拔在 5000m 以上,受两峡峙形成峡谷。因此,自巴塘河口至攀枝花市江段,没有较长的支流,攀枝花市以下江段才有较大(或长)的支流汇入,主要有雅鲁江、龙川江、普渡河、牛栏江和横江等。

雅鲁江是金沙江的最长支流,也是长江水系中仅次于汉江而居第二长的一级支流,全长 1500km。它发源于青海省巴颜喀拉山南麓,流经川西高原,于攀枝花市汇入金沙江。

普渡河发源于昆明南面的滇池,向西北流经富民段叫螳螂川,然后向北流入金沙江。

牛栏江发源于乌蒙山南段西麓杨林海,向北流入金沙江,全长 110km,流域面积 4927km²。

横江发源于黔西北威宁县境西,向北流入金沙江,全长 307km,流域面积 13385km²。上源为灰岩等碳酸盐岩分布区,喀斯特地貌发育,多形成暗河(地下河)。

除上述支流外,还有小江、以礼河、会理河、会东河、昭觉河、美姑河等短小的支流。

金沙江流域内较大的湖泊有滇池、程海、泸沽湖、邛海以及马湖等,年平均径流量达 1455 亿 m³,相当于黄河的 2.5 倍。

三、岷江水系

岷江是长江的 8 大支流之一,它发源于岷山脉的南麓,在宜宾汇入长江,全长 735km,流域面积 135780km²。

岷江水系发育较好,主要支流有大渡河、南河、鱼子溪、杂谷脑河、黑水等。

大渡河是岷江的大支流,发源于川、青交界的果洛山东麓,长 1070km,流域面积 90700km²。在河流划分上属长江的二级支流,但论长度比岷江长 277km,按流量占岷江的一半以上。在习惯上,人们还是把它作为岷江的支流。大渡河流域的雅安、峨眉等地区,是长江流域的暴雨中心,也是我国的暴雨中心,年降水量在 1800—2000mm 左右。因此,流量大是这条河的一大特色,年径流量达 641 亿 m³。

四、沱江水系

沱江是长江的一级支流,发源于龙门山中段的九顶山西侧,于泸州汇入长江,全长 655km,流域面积 27860km²,它的支流比较短小。

五、嘉陵江水系

嘉陵江发源于秦岭南麓嘉陵谷(或称凉水沟),于重庆汇入长江,全长 1119km,在长江各大支流中居第 3 位,流域面积 159700km²,居长江各大支流之首位。

嘉陵江在合川分为三支,东支为渠江,中支为嘉陵江(主干流),西支为涪江。各自形成独立而完整的水系。

六、乌江水系

乌江是长江上游右岸的最大支流,它发源于贵州省威宁县的香炉山,于四川涪陵市汇入长江,全长 1018km,流域面积 86815km²。乌江干流绝大部分在贵州省境内,故有黔江之称。

乌江水系十分发育,长 100km 以上的支流有六冲河、白甫河、猫跳河、野洛河、偏岩

河、湘江、渭江、石阡河、清水河、独水河、洪渡河和芙蓉江等。

流域内碳酸盐岩分布广泛,喀斯特地貌发育,地下水与河流连成网络,降雨过后,以地下水补给为主。

七、赤水水系

赤水河发源于云南省东北的镇雄县,流经滇、黔、川三省,在四川省合江县汇入长江。干流全长 420km,流域面积 1.9 万 km^2 。河口多年平均流量 $289.7\text{m}^3/\text{s}$,年径流总量 91.3 亿 m^3 。主要支流有桐梓河、古蔺河、习水河等。赤水河上游山势险峻,坡度陡峭,水流湍急,中游流经地区为云贵高原至四川盆地的过渡地带;下游进入四川盆地,水流平缓,中下游区为碎屑岩和泥岩互层,中上游区为碳酸盐岩石和碎屑岩相间,以石灰岩居多。

八、清江水系

清江发源于利川县佛宝山山麓凉风垭的龙洞沟,是长江右岸湖北境内的最大河流,自西南向东北经利川、咸丰、恩施、建始、长阳、宜都等县,在宜都城北流入长江,全长 440km,流域面积 16700 余 km^2 。流域地处云贵高原的东部边缘,平均海拔高度在 1000—1500m,由于流域内降水量较大,清江流量丰富,年平均流量为 $412.5\text{m}^3/\text{s}$,年总径流量达 164 亿 m^3 ,流经地区石灰岩广泛分布。

九、洞庭湖水系

洞庭湖是长江水系的第二大湖泊,面积为 2820km^2 。澧水、沅江、资水和湘江四水汇于洞庭湖,形成庞大的洞庭湖水系,流域总面积达 23 万 km^2 以上。

澧水长 372km,流域面积有 18000km^2 ,它有三源,分别发源于湖南永顺、桑植和湖北鹤峰县境。上游山岭海拔 2000m 左右,流域的北部玉峰、鹤峰一带是长江中游地区有名的暴雨中心区之一,因而河水暴涨暴落是澧水的一大特色。上游地区碳酸盐岩分布广泛,喀斯特地貌发育,溶洞、漏斗、暗河等到处可见,主要支流有溇水、溱水。

沅水发源于贵州境内的云雾山,长 1060km,是长江的第五长河,流域面积 88815km^2 。

沅水水系发育呈树枝状,中游以上多支流,主要有渠水、舞水、巫水、溇水、辰水和酉水等。全河多滩,仅湖南省境内的 500km 干流有险滩 128 处。

资水发源于广西资源县境,长 713km,流域面积 28142km^2 。资水水系呈羽毛状,支流都较短小。

湘江发源于广西灵川县海洋山。干流长 817km,流域面积 95738km^2 ,是洞庭湖水系流域面积最大的河流。湘江有大小支流 1300 多条,形成宽阔的掌状水系。其主要支流有潇水、耒水、耒水、涟水、浏阳河等。

十、汉江水系

汉江是长江最大的支流,全长 1532km,发源于秦岭山地陕西省宁强县境内的潘家山。干流流经陕西、湖北两省,于武汉汇入长江,支流涉及河南省的南部。汉江流域面积 150710km^2 。

从源头至丹江口为上游,流经秦岭和大巴山山地,河谷深切,滩多流急,河床落差大。从丹江口至钟祥县中山口为中游,流经低缓起伏的丘陵和河谷盆地,河床宽阔多浅滩。中山口以下为下游,河床狭窄,河流在两岸的堤防内缓慢地淌流,两岸为辽阔的汉江平原,水网纵横、湖泊星罗棋布。

汉江的主要支流有丹江、堵江、南河、白河和淡水等,其中最长的是丹江。丹江源于陕

西省高县凤凰山,流经陕西、河南、湖北三省,于湖北均县汇入汉江,全长 390km。有名的丹江水利枢纽就建立在丹江与汉江的汇合处。

十一、鄱阳湖水系

鄱阳湖不仅是长江水系最大的淡水湖,而且是我国最大的淡水湖,面积 3583km^2 。

鄱阳湖汇集了赣江、抚河、信江、鄱江、修水等 5 大支流,形成庞大的鄱阳湖水系,大小江河不仅遍及江西省各地,而且还涉及到湖南、安徽和浙江省的部分区域,全流域面积达 16.2万 km^2 。每年流入长江的水量几乎占长江入海水量的 $1/6$ 。鄱阳湖水系最大的支流是赣江。

赣江发源于武夷山和大庾岭,全长 744km,是长江水系的 8 大支流之一。流域面积 82068km^2 。

十二、长江下游及支流

长江自接纳了鄱阳湖水量之后,便属于下游,江面开阔、河床平缓,水势浩大。长江下游段长达 400 多 km,在安徽大通开始受东海潮汐顶托的影响。

长江下游的支流都较短小,南岸的主要支流有秋浦河、青弋江(275km)、水阳江(254km);北岸主要支流有华阳河、皖河、滁河等。这些河流都发源于长江下游平原边缘的低山、丘陵。

长江下游湖泊众多,较大的湖泊有巢湖,面积 783km^2 。太湖是长江下游最大的湖泊,面积 2425km^2 ,在长江水系的湖泊中居第 3 位。太湖夹于长江和钱塘江之间,流域面积 36000km^2 ,以平原为主,占 68%,丘陵占 16%,河网湖泊占 16%。

长江在镇江以下为长江三角洲。在江阴段江面宽仅 1200m,过江阴以后,江面豁然开阔,愈往东愈宽,南通附近达 18km,上海以东江面宽达 90 多 km,形成了一个纵深 200 多 km 的喇叭形河口。

第二节 长江流域的地质环境

长江流域地层发育齐全,从太古界至第四系均有出露。流域横跨三江、康滇、松潘甘孜、昆仑秦岭、华南褶皱系和扬子地台,包含古亚州、喜马拉雅、环太平洋系统各种源断裂,各地层地质发育史,沉积变质作用和岩浆活动差异很大,岩相变化复杂(图 1-2-1),以下分区论述。

一、长江河源区

长江河源区的通天河流域,位于巴颜喀拉山与唐古拉山两褶皱山脉之间的断裂带中,河水自西向东顺南北两褶皱带的接触界面流动。区域广泛发育石炭、二迭、三迭、侏罗系地层,为一套海相—海陆交互相巨厚地槽型砂页岩和碳酸盐岩沉积,其上沉积陆相碎屑岩系。楚玛尔—通天河断裂带以北广泛分布二迭、三迭系碎屑岩,三迭系缺失中下统,主要分布巨厚海相侏罗系,上部夹煤层。河源至唐古拉山一带以碳酸盐岩为主,高原河谷区分布有第四系冰川、冰水堆积。河源区经历华西—印支—燕山期和喜马拉雅多次构造运动,岩浆侵入活动发生在褶皱带和断裂区,主要表现为唐古拉褶皱带有酸性火成岩侵入,楚玛尔—通天河断裂带主要为中性火成岩和基性、超基性岩侵入。

二、金沙江区

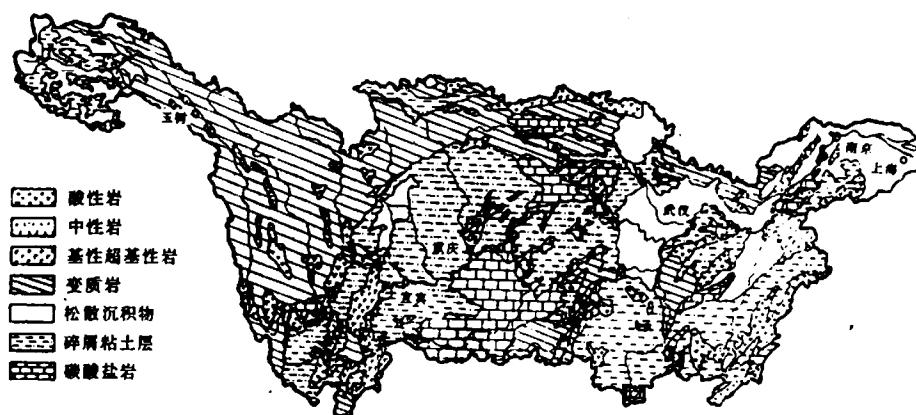


图 1-2-1 长江流域地表岩性分布图

金沙江及其支流流域跨越特提斯—喜马拉雅构造和三江褶皱系,地层自太古界至新生界均有出露,变质岩大面积广泛分布,不同地区的沉积变质作用和岩浆活动也不尽相同,区域岩性复杂。

直门达以下至金江街一段,金沙江及其支流水系流经的区域,广泛分布大面积的变质岩系,金沙江下游岩系以碎屑粘土岩为主,沿构造带有变质作用和岩浆侵入。四川康定分布有太古界的康定杂岩,其变质程度高,与下元古界的界限难以确定,暂定为岩浆岩,岩性主要为片麻岩,其次为透闪大理岩、磁铁角闪岩、变粒岩及斜长角闪片岩、云母片岩等。分布于川西、滇东的元古界昆阳群(会理群),主要由一套沉积变质的碎屑岩夹中基性火山岩与硅镁质碳酸盐岩组成,岩性为变质岩、板岩、千枚岩、片岩、凝灰岩、变质基性火山岩、细碧角斑岩、变安山岩、玄武岩、石灰岩、大理岩等。川西巴塘一带的寒武系由火山岩、千枚岩、板岩、大理岩组成。金沙江纵谷区及雅砻江中下游寒武、奥陶系多为浅海相碳酸盐岩及碎屑沉积,岩性主要为灰岩、页岩到砂岩,砂岩与泥灰岩互层,寒武系以巨厚复理石、类复理石沉积为特征,奥陶、志留系为笔石页岩及介壳灰岩。昌都地区为含笔石、腕足类化石的奥陶系石灰岩及砂板岩系。金沙江、雅砻江之间分水岭雀儿山,出露古生界板岩、千枚岩和大理岩化灰岩以及印支期花岗岩,竹庆—甘孜断裂带东北侧主要为三迭系陆源碎屑岩沉积。泥盆、石灰、二迭、三迭、侏罗系遍布全区,大部为海相—海陆交互相地槽型碳酸盐岩和砂页岩沉积。二迭系下统以海相厚层灰岩为主,上统为海陆交互相的灰岩与页岩,夹有煤系。三迭系广布巨厚的地槽型复理石、类复理石建造,岩性主要为砂板岩、石英砂岩、千枚岩等。邓柯以上金沙江上游侏罗系为浅海—海相沉积,杂色砂页岩、泥灰岩、生物碎屑灰岩组成,含石膏。

直门达以下金沙江沿断层发育,沿深断裂带多旋回构造运动和多旋回岩浆活动十分强烈,形成一些构造岩浆变质杂岩带。下游河段仍受构造控制,大部分发育在大断裂层内,流域岩石垂直节理发育,断面构造复杂,山崩现象普遍。

金沙江水系雅砻江流域是长江岩浆主要活动区之一。岩浆性质随时间演化和不同地区的性质发展有所差异,相应的成矿元素组合也有显著变化。川西扬子区分布有元古界玄武质熔岩,至东南为基性、中酸性熔岩、火山碎屑岩或沉积岩系代替。元古代康滇地轴有多

次断裂分异活动,地轴东侧多为黑云母花岗岩、二长花岗岩和斜长花岗岩,接触带形成有矽卡岩型含 Sn 富 Fe 矿,并有辉长岩与斜长岩侵入。

金沙江区岩浆分布特点:①中酸性岩系主要分布在康滇地轴两侧的深大断裂带,由北向南岩浆岩中浅色或长英质矿物含量增加。邓柯以上金沙江河谷出露岩石为石英岩、花岗岩、辉绿岩、灰岩等;石鼓附近金沙江砾石层主要为石英岩,其次为玄武岩和绿泥片岩,花岗岩、花岗片麻岩、片岩、石灰岩很少;下游砾石成分以石英岩、花岗岩为主,辉绿岩、灰岩次之。

三、云贵高原区

主要指滇东高原和贵州高原。滇东、黔西高原分布有元古界昆明群以及浅变质碎屑沉积岩系的板溪群,岩性以砂板岩为主,夹有千枚岩、片岩、变砂岩,局部地层夹有较多中基性火成岩和大理岩、石英岩等。古生界寒武一二迭各系均有出露,但分布不均。黔东志留系砂页岩和笔石页岩厚度较大,黔南、滇东发育泥盆、石炭系浅海相碳酸盐岩及碎屑沉积,黔北缺失。二迭系分布广泛,下统以海相巨厚灰岩为主,上统为海陆交互相灰、页岩,夹煤系,含以大羽羊齿为代表的华夏植物群。此区属扬子准地台,地层岩性特点是以震旦系为基底,从震旦到三迭碳酸盐岩系都十分发育,累计厚度达数千米,是长江流域内碳酸盐岩最为发育的地区,特别是黔东北。大部分碳酸盐岩多含泥质等杂质,且多碎屑岩夹层而呈间夹层和间互层状,较纯碳酸盐岩中也多富含白云质。

滇东、黔西的侏罗系大部分为陆相河湖碎屑沉积,其上白垩至第三系都为陆相红色沉积,其中白垩系上统出露较广,主要是陆相红色岩系,岩性为红色砂岩、页岩、泥岩及砂砾岩。与白垩系相关密切的第三系下统陆相红层,以砂岩、泥岩、砾岩为主,含石油、天然气及盐类等矿产,上统红层是此区重要的煤和油页岩集中的岩系。

晚古生代至前中生代是此区岩浆活动最强烈的时期。上古界岩浆岩以超镁铁质和镁铁质为特征,川滇黔交界区广泛分布巨厚二迭系玄武熔岩,其中局部有杏仁状铜矿化,并有泥盆到石炭系先后侵入的辉长岩和超镁铁质岩系。黔东散布有镁铁质和超镁铁质苦橄岩和金伯利岩小岩体。

四、四川盆地

川西的岷江,龙门—贡嘎山以西广布巨厚地槽型复理石、大理石类岩石,沿褶皱带有中酸性火山岩侵入;以西即大渡河泸定以下,主要为浅海相镁铁质碳酸盐岩、砂页岩及泻湖膏盐沉积。三迭系下中统以浅海相碳酸盐岩、硫酸盐岩为主,上统以海陆交互相或陆相碎屑含煤系沉积为特征。

广元以上嘉陵江流经昆仑秦岭褶皱带,地区岩性古老,构造复杂,沉积变质的碎屑岩及碳酸盐岩分布。

四川盆地中部和南部构造简单,盆地中侏罗系发育最好,厚度大,各门类化石丰富。侏罗下统含煤和灰岩堆积,西北薄,东南厚;上统是在热带亚热带气候条件下沉积的一套红色粘土岩、页岩和砂岩,底部为砂砾岩。白垩系大部分为陆相红色沉积。印支—燕山运动使盆地断陷,中生代陆相红层巨厚,且西厚东薄。盆地西北部的成都平原有冲积洪积和冰水堆积,而且仍在接受堆积。

川东平行岭谷区,三迭、侏罗系大部为紫红色砂页岩及灰岩、石英砂岩和页岩。三峡地层主要为泥盆、石炭系及三迭系碳酸盐岩系夹红色碎屑岩及煤系,古生—中生界各系互层

出露,及震旦—三迭碳酸盐岩系,部分地区出露酸性、中酸性火山岩。

五、汉江区

汉江流域分布有湖北神农架崆岭群,岩性片麻岩为主。下、中、上元古界地层在秦岭、大巴山、神农架、大别山均有出露,下元古界主要是一套沉积变质的火山碎屑岩系及斜长片麻岩组成,夹有凝灰质碎屑岩及白云片岩、大理岩、板岩、千枚岩、石英岩等。元古界顶部震旦系下统主要为火山岩及火山碎屑岩组成,局部地区遭受浅变质和混合岩化,上统地层以碳酸盐岩及硅质沉积为主,在秦岭地区夹酸性火山碎屑岩,鄂西地区夹有千枚岩或片岩,除秦岭区有缺失外,汉江流域古生—中生界地层发育齐全。秦岭区石炭系中上统以板岩、千枚岩、砂岩为主,夹碳酸盐岩,其他地区以碳酸盐岩为主夹碎屑岩。江汉盆地第三系发育良好,地层含有石油、天然气、油页岩、煤系及盐类矿产。

汉江在秦巴山地、汉中平原主要流经文元古界沉积变质的碎屑岩、火山碎屑岩和碳酸盐岩系,断裂褶皱强烈区有酸性火山岩侵入。至郧县流过碳酸岩系和碎屑岩系。汉江中下游主要流经第三系陆相沉积。宜昌附近主要是白垩系砂岩和砾岩系,长江过宜昌流经第三系沉积和第四系砂砾和粘土冲积层,在宜都、枝城以下进入江汉平原地质沉积区,长江穿行于第四系冲积层。

六、湘赣区

属扬子准地台和华南褶皱系。志留纪以前为海相碳酸盐和火山碎屑岩系沉积,分布于赣北的修水沉积变质的碎屑岩夹火山岩及碳酸盐岩系,分布于湘西、赣北,是一套海相浅变质碎屑沉积岩系,局部地区夹较多的中基性火山岩。碳酸盐岩沉积,以湘西发育最好,厚度最大。

湘赣南部发育砂页岩和页岩系,间夹少量薄层灰岩和泥灰岩,局部夹基性火山岩。全区泥盆至三迭系海相沉积盖层发育良好,为浅海相碳酸盐岩及碎屑岩类沉积。其中泥盆系在流域南界岭南、桂北为浅海相沉积,以灰岩为主,夹砂岩和页岩;湘赣地区为海陆交互相沉积,以砂页岩和灰岩为主。二迭、三迭系广布全区,以碳酸盐岩为主,上统均含有煤系。永兴、萍乡等地分布有二迭系下统火山沉积岩,赣南、赣东有片麻花岗岩和花岗闪长岩分布。

侏罗、白垩系在湘赣主要为陆相红色砂岩、页岩、泥岩和砂砾岩系沉积和喷发岩为主的火山岩系,总的以中酸性岩为主,广泛分布于湘赣东南,局部地区有流纹岩、安山岩和凝灰角砾岩分布。

第三系陆相沉积和第四系平原河湖相地层主要分布在湘赣北部、洞庭湖、鄱阳湖平原,第三系以红色砂岩、泥岩、砾岩为主,第四系主要为粘土、亚粘土、亚砂土、粉细砂,砂卵石等。新生代岩浆活动特征是玄武岩分布广,除玄武岩外,江西临江、广昌等地有安山质熔岩,江西余江、高安等地还有橄榄辉长岩、辉长斑岩及辉绿岩浅成侵入体。

第三节 长江流域的地形和地貌特征

长江流域的地貌是影响水环境化学元素组成的一个重要因素,主要原因是长江水系地貌类型复杂地势高程相差非常悬殊,干流总落差达 5000m 以上,特别是长江上游广阔的高原,受垂直高度的影响,气候终年低温,影响风化作用的性质和强度,使之与中下游纬度相近的水环境化学元素的组成和赋存形态发生异常。长江水系的地貌类型众多,但突出

的特点是高程相差悬殊,形成三级大的台阶,可划分为4大水环境单元:长江河源至通天河水系,海拔在4800m以上多湖泊和沼泽;金沙江水系主要流经高山峡谷的川西藏东横断山地,一般高程在3000m以上,以上为一级台阶,长江进入川江段的秦巴山地、四川盆地、云贵高原,海拔高程一般在500—2000m,属二级台阶;以下长江进入丘陵谷地和平原,海拔在500m以下,属三级台地,它们形成不同的气候环境,具有不同水环境化学元素的地球化学特征。

长江流域地势自西而东可划分为以下6个部分。

一、青藏高原

长江流域的最西部河源区处于青藏高原的中心部分,南缘是唐古拉山,北缘为昆仑山,形成南北宽达1300km,东西长达2000km,海拔4200—4700m的高原,高原西为低山丘陵与宽谷相间形成波状地形,受海拔高度的影响,气候寒冷干旱,物理机械风化作用,成为各种雪蚀融冻地貌的基础,发育了河源区诸多水系,滩洼地多,湖泊、沼泽发育。

二、横断山地

长江出青藏高原,进入横断山地,地势北高南低,海拔4000—4500m,河谷切割较深,高差达数米,成平行岭谷,发育了雅砻江、大渡河和岷江等河流。

三、云贵高原

滇中高原海拔2500m左右,地势自南向北倾斜,金沙江的几条支流都发源于滇中高原,如普渡河、小江、牛栏江等,滇东北与黔西北的乌蒙山海拔2500—3000m,是长江与珠江的分水岭。贵州高原为低山、宽谷和浅盆地组成的高原,海拔在800—1400m,因碳酸盐分布广,喀斯特地貌发育,河流切割深,河谷两岸陡峻,地下水主要做垂直运动,乌江的一些支流常潜入地下,以暗流注入乌江。

四、四川盆地

四川盆地为一呈东北—西南向的菱形盆地,四周为中高山,北有米仓山—大巴山,西有龙门山,西南有大凉山,南有大娄山,东有巫山。盆地海拔在400—800m,整个地势西北高东南低,所以长江主流从盆地的东南侧流过,发育不对称水系,左岸支流多且长,右岸支流少且短,从西北向东南流入长江的主要河流有岷江、沱江、嘉陵江。

四川盆地东北的米仓山—大巴山为中山山地,海拔2000—2900m,是嘉陵江与汉江水系的分水岭。四川盆地与贵州高原以东的中山山地,海拔在2000m左右。四川盆地东部巫山—武陵山地,海拔2000m左右,出三峡后,长江进入第三台阶的低山丘陵平原区。

五、中游低山丘陵

长江出低山区后,南北支流的上游地区多为低山丘陵,北有秦岭、伏牛山、桐柏山、大别山。南有南岭、武陵山、武夷山等山地,除主峰外,海拔一般在1000m以下,多为低山、丘陵交错,成为与黄河、淮河、珠江、钱塘江水系的分水岭。

六、中下游平原区

长江出巫峡后,地势骤然下降,进入长江中下游平原区,有江汉平原和洞庭湖、鄱阳湖拗陷盆地与形成的湖泊,鄱阳湖口以下,除有大别山、九华山、黄山等山地外,多为宽阔的冲积平原,江北多洼地和湖泊,江南河川多短小,其下进入长江三角洲,南北各为一个面积较大的碟形洼地。

长江流域的地势由西向东和从南北向干流显著倾斜,水系发育,河流流势聚中趋向较

迅,携带的物质和元素趋向富积,因此,长江流域的地貌特征,对江河水质水化学成分有明显的影响。

第四节 长江流域的气候特征

受海拔高程悬殊和季风气候的影响,长江流域的气候差异显著,可划分为以下4个不同的区域。季风区占流域总面积的80%。多年平均降水量1100mm,5—10月占全年降水量70%—90%。

一、高原亚寒带

长江河源区包括通天河流域地区为高原亚寒带气候,其特征是年均气温低,在 -3 — $+3^{\circ}\text{C}$,夏季是我国温度最低的地区,最热月7月的均温仅 6 — 12°C ,海拔4500m以上的地区存在多年冻土层,5800m以上山地终年积雪,年降水量300—400mm,6—9月占全年的80%以上,多以固体形式降落。

二、高原温带

金沙江上中游东部,大渡河和雅砻江上游地区,气候特征是垂直变化显著,海拔3000m以下,气候干热,年均气温 10°C 以上,最暖月 $>18^{\circ}\text{C}$,海拔3000—3500m的山地,最暖月均温 15 — 18°C ;3500m—4000m高山,最暖月均温 12 — 15°C 。全年降水量从低于250mm到700mm。

三、北亚热带

汉江上中游,巢湖和青弋江流域地区,其气候特点是最冷月气温 $>0^{\circ}\text{C}$,土壤和河流基本不冻结,全年都有作物生长,是温带和热带的过渡地带,一年分两季,冷季气候近于温带,热季气候近于热带。

年均气温 15 — 16°C ,最冷月气温 0 — 4°C ,最热月气温 26 — 29°C 。 $>10^{\circ}\text{C}$ 积温4500—5000 $^{\circ}\text{C}$ 。年降水量1000mm以上。

四、中亚热带

金沙江下游诸河流域,乌、赤水和岷江、沱江以及洞庭湖和鄱阳湖水系的流域地区,其气候特征是受季风和青藏高原的影响,气候湿热。

长江中游洞庭湖水系以上地区,年均气温 16 — 20°C ,最冷月平均气温 3 — 4°C ,最热月平均温度 27 — 29°C 。 $>10^{\circ}\text{C}$ 积温5000—7000 $^{\circ}\text{C}$,年降水量1200mm以上。

谷地地区包括洞庭湖和鄱阳湖水系的流域地区,年平均气温 16 — 18°C ,最冷月气温 3 — 8°C ,最热月气温 28 — 30°C 。 $>10^{\circ}\text{C}$ 积温5100—6000 $^{\circ}\text{C}$,由于北部无山脉阻挡寒流南侵,所以绝对最低温度可降低到 -12°C 。降水量1300—1600mm。4—6月降水量占全年的44%—19%。

长江流域降水丰沛,多年降水量年均达19120亿 m^3 ,相当于流域面上降水深1057mm。

由图1-4-1可以看出长江流域降水量分布的特点,除长江河源区和金沙江中上游地区降水量低外,长江流域大部分地区的降水量是丰富的,除雅砻江和汉江流域北部地区降水量不足800mm外,其他地区都在1000mm以上,其中岷江流域,资、沅、澧水流域和鄱阳湖流域大部分地区,年降水量在1400—1800mm,通常长江干流以南的降水量均大于江

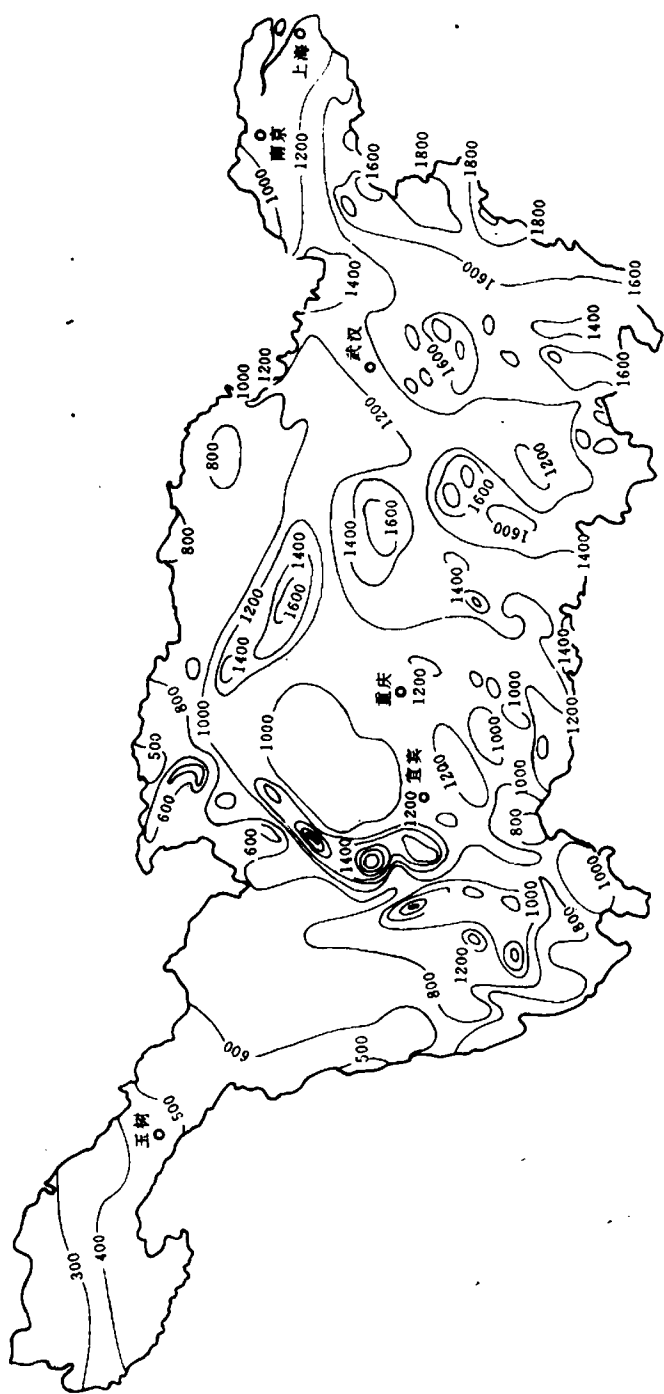


图 1-1-1 长江流域多年平均降水量等值线

北。山地、丘陵大于平原、盆地。降水主要集中在5—10月份,占全年降水量的70%—90%,而江南地区大部分集中在4—6月,占全年的50%左右。

蒸发量对区域水化学的形成有较大的影响,从长江流域多年平均水面蒸发等值线图(图1-4-2)可看出,流域内有三个高值区:长江河源区的沱沱河、楚玛尔河一带,蒸发量高达1100mm,地处青藏高原内部的这一地区,气温虽低,但因风大日照强烈,导致蒸发量大。牛栏江河谷一带蒸发量1200—1600mm,由于气候干燥炎热,气温高,饱和差大,导致蒸发强烈。赣江流域大部分在1000mm以上。蒸发量低值出现于四川盆地、湘西,水面蒸发量为800mm,局部地区低达700mm,主要是降水量大,饱和差小导致水面蒸发较小,四川盆地则多云雾,湿度大,日照少,导致水面蒸发较少。

长江流域陆面蒸发量600mm线呈东北—西南向,穿过湖北西部、湖南西北部及贵州北部,成为长江一条明显分界线,此线向西北呈递减趋势,至长江河源一带仅为200mm左右,600mm线向东南依地形变化的趋势比较明显,一般湖区、平原地区大于山区。

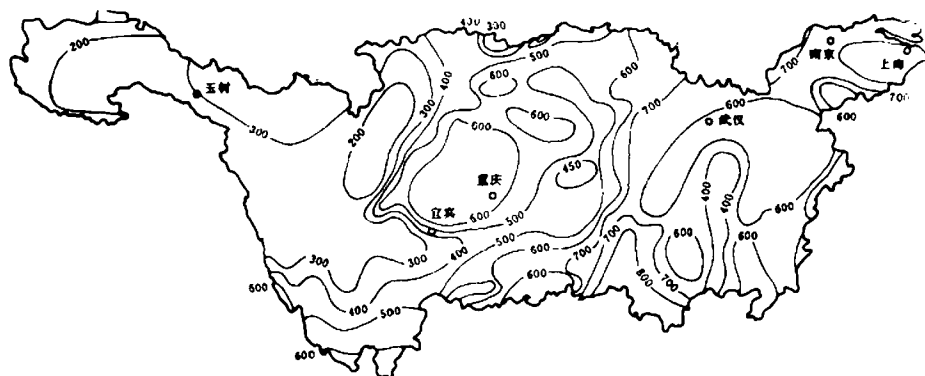


图1-1-2 长江流域平均年陆面蒸发等值线图

第五节 长江水系的水文特征

长江水系水量丰富,多年平均流量为 $29400\text{m}^3/\text{s}$,全流域水资源总量为9282亿 m^3 ,天然地表水资源主要来自中游段的洞庭湖水系,达1946.1亿 m^3 ,约占总量的20.9%。其次为鄱阳湖水系为1354.0亿 m^3 ,约占总流域的14.6%。金沙江段为1546.5亿 m^3 ,约占16.6%。

表1-5-1列出了长江水系径流组成,从径流地区分布看,中游段所占总量的比例最大(47.2%),其中洞庭湖和鄱阳湖尤为突出(合计占35.5%)。上游段以岷江、沱江区域所占径流量比例较大(11.0%)。

长江干流年径流量比较稳定,主要站的年径流量变差系数(C_v)为0.11—0.25,各主要支流年径流量变化也不很大,变差系数在0.10—0.39。森林覆盖较好的、又有冰雪融水补给的雅砻江、岷江等河流径流量更较稳定(表1-5-2)。长江洪水主要是由暴雨形成,洪峰流量一般出现在6—9月,干流洪峰出现在7和8月,其特点是峰高、量大,持续时间长。鄱

阳湖水系与湘江出现于4—6月。资、沅、澧水出现于6—7月；上游支流出现于7—8月，汉江出现于7—9月。支流洪水多呈陡涨陡落型式，历时较短。长江洪灾有两种类型：一是流域性暴雨形成的洪水，总量大持续时间长。二是中上游局部地区或支流发生集中性暴雨所形成的洪水，洪峰特别高。

表 1-5-1 长江流域径流组成

区 段	金沙江	岷沱江	嘉陵江	乌 江	干流上区	上游段	洞庭湖
径流量 (亿 m ³)	1546.5	1019.6	694.1	526.6	581.6	4368.4	1946.1
径流组成 (%)	16.6	11.0	7.5	5.7	6.3	47.1	20.9
面积百分比 (%)	27.1	9.2	8.8	4.9	5.6	55.6	14.5

区 段	汉江	鄱阳湖	干流中区	中游段	太湖	干流下区	下游段	全流域
径流量 (亿 m ³)	574.1	1354.0	509.2	4383.4	96.3	434.1	530.4	9282.2
径流组成 (%)	6.2	14.6	5.5	47.2	1.0	4.7	5.7	100.0
面积百分比 (%)	9.3	8.9	4.7	37.4	2.1	4.9	7.0	100.0

表 1-5-2 长江水系主要站点水文统计表

河流	代表站	流域 面积 (km ²)	径 流				泥 沙			侵蚀模数 (t/km ²)
			多年平均 流量 (m ³ /s)	年径流量 (亿 m ³)	年径 流深 (mm)	Cv	含沙量 (kg/m ³)	年输沙量		
								万 t	占宜昌 %	
通天河	直门达	137732	403	127	92.2	0.25	0.759	900	1.8	66
金沙江	屏 山	458821	4610	1450	317	0.16	1.66	24000	46.7	522
长 江	宜 昌	1005501	14300	4510	448	0.11	1.77	51400	100.0	511
长 江	汉 口	1488036	23500	7400	497	0.14	0.612	43000	83.7	289
长 江	大 通	1705383	29000	9140	536	0.15	0.533	47100	91.6	276
雅砻江	泸 宁	108082	1390	438	406	0.20	0.403	1740	3.4	161
岷 江	高 场	132626	2850	896	674	0.13	0.571	5000	9.7	376
大渡河	铜街子	77202	1510	476	617	0.10	0.698	3300	6.4	427
嘉陵江	北 碚	157900	2120	668	422	0.23	2.19	14800	28.8	939
渠 江	罗渡溪	39592	682	215	543	0.34	1.22	2600	5.7	656
涪 江	小河坝	29053	496	156	538	0.21	1.23	1880	3.7	647
乌 江	武 隆	83035	1610	507	611	0.21	0.653	3240	6.3	390
湘 江	湘 潭	81638	2050	646	792	0.28	0.178	1130		139
沅 江	桃 源	85223	2120	668	784	0.22	0.236	1530		180
汉 江	黄家港	95217	1230	388	407	0.39	2.44	10100		1060
汉 江	碾盘山	140340	1710	539	386	0.39	2.39	13000		929
赣 江	外 洲	80948	2120	668	826	0.31	0.168	1150		142

汛期径流量的集中程度，在支流明显地表示出北岸大于南岸，北岸约在70%以上，南

岸在 70% 以下, 上下游支流相反。

由于长江流域巨大的流域调蓄作用, 长江干流年际变幅很小, 实际最大和最小值比仅在 1.72—2.16 之间, 而 C_v 值仅 0.11—0.15 之间。长江支流水系的 C_v 值明显增大, 大多在 0.30—0.60 (图 1-5-1)。

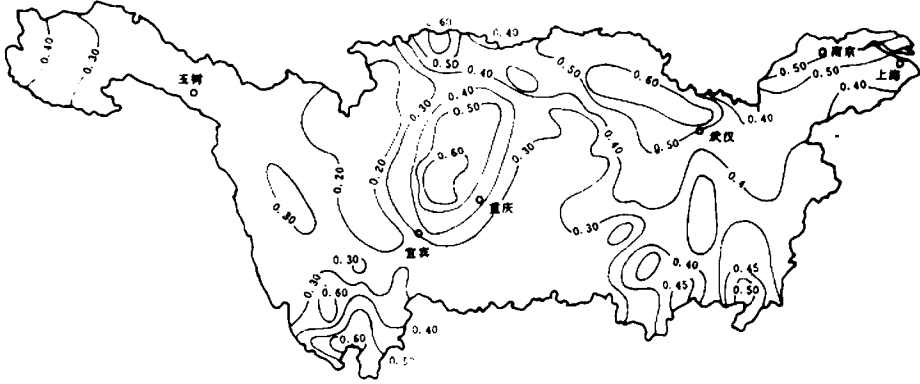


图 1-5-1 长江流域年径流量 C_v 等值线图

长江水系河水含沙量相对较小, 多年平均含沙量干流主要江段变化在 $0.53—1.66\text{kg}/\text{m}^3$ 。一级支流中嘉陵江、汉江最大 (表 1-5-2), 分别为 $2.19\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $2.39\text{kg}/\text{m}^3$ 。长江干流输沙量以宜昌段最大, 为 5.1 亿 t/a , 屏山、汉口和大通站分别为 2.4、4.3、4.7 亿 t/a 。宜昌以上金沙江来沙量最多, 占 46.6%。一级支流中嘉陵江最多, 占 28.8%。其次是岷江占 9.7%。宜昌至武汉段, 河流坡降较小, 水流平缓, 泥沙沉降。长江干、支流输沙量年内分配规律是 80% 在丰水期。丰水期多在降雨量集中并易形成暴雨径流的季节, 河水流量大、流速快, 泥沙沉降速率小。

长江流域多年平均年侵蚀模数 (大通站) 为 $276\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 金沙江为 $522\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 嘉陵江为 $939\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 汉水流域为 $929\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。从侵蚀模数看, 长江流域水土流失也较严重, 特别是嘉陵江和汉水流域水土流失严重。

第六节 长江流域的生态环境特征

受地貌海拔高度, 季风气候和纬度位置的影响, 自然景观区域差异十分显著, 土壤和植被组合类型不同, 长江河源区通天河流域, 只能生长以矮蒿草为主的牧草, 以高山草甸草地为主, 是我国最大牧场, 但牧草生长缓慢, 植株矮小, 土壤为草毡土和棕毡土。金沙江中上游地区土壤和植被受垂直地貌变化影响很大由谷底至高山为灌丛草原—褐土, 彬—棕壤; 高原面上为灌丛草原—棕褐土; 灌丛草甸—棕毡土; 高山草甸—草毡土。金沙江下游至岷、沱江流域, 主要为偏湿性的常绿阔叶林、竹林和针叶林。土壤为富含钙磷的紫色土和紫泥土。金沙江南岸水系流域以红壤为主或红黄壤、棕壤分布。乌江、赤水流域以黄壤为主, 谷、盆地红壤。土壤受石灰岩影响, 石灰土呈微碱性反应, 多生长马尾松。进入中下游的洞庭湖和鄱阳湖流域土壤以第四纪红色粘土发育的红壤为主, 呈强酸性反应。谷地多

为红壤性水稻田,此外还有红色砂页岩、花岗岩、千枚岩等风化物发育的红壤和红壤性水稻土。为重要农业区,能一年三熟,亚热带经济林木和作物。

汉江中上游地区气候较温暖,无霜期 235—245 天;年降水 800—1200mm,自然植被以常绿阔叶和落叶阔叶林(麻栎)为主,山地为针阔混交林(华山松、麻栎、红桦为主),针叶林(冷杉、落叶松),土壤自下而上依次为残余碳酸盐黄棕壤、黄棕壤、棕壤、暗棕壤和高山草甸土,汉江下游为湖泊洼地组成的平原,土壤为黄棕壤。长江下游的巢湖和青弋江流域,山地为落叶阔叶林,有常绿阔叶树,土壤为黄棕壤,丘陵和盆地为农业区。

长江流域土地面积 27 亿亩,耕地 3.63 亿亩,林地 7.16 亿亩、牧地 4.69 亿亩,水域面积 1.13 亿亩。

长江流域森林资源丰富,生物种类繁多,主要的有松、杉、竹、茶等森林覆盖率为 27%,林区生态系统复杂丰富,有不少珍贵树种鸟兽。

第七节 长江流域的化学地理特征

长江流域自西向东跨越我国三个阶梯地形面及两个地形起伏剧烈的阶梯过渡带,高原和山地面积 118 万 km^2 ,丘陵面积 80 万 km^2 ,二者合计约占流域总面积的 87.2%,这就为流水切割和地面侵蚀提供有利的地形条件。丘陵区在流水地貌自然调整过程中,属于相对稳定的阶段,由于人口密度高,人类活动的强度大,植被破坏严重,其水土流失程度更甚于山区。

长江流域除江源和通天河流域及川西北等地区为高寒少雨外,大部分地区年均降雨量约 1100mm,降水年内分配不均,多集中在汛期,且多暴雨。长江上游暴雨一般可持续 3—5 天,川西盆地边缘最长可达 7 天,最大一日暴雨可达 565mm,最大 3 日可达 862mm。

长江流域内容易造成流失的岩性和土壤,主要有第四纪松散堆积物,四川盆地广布的紫色砂页岩,南方丘陵分布的花岗岩、紫红色砂页岩,淮阳山地的花岗片麻岩,湖南和江西等省广布的紫色砂页岩等,这些岩性大部分比较破碎软弱,在高温多雨条件下,迅速风化,容易在降雨侵蚀力作用下,水土流失。长江流域内还分布着大面积的幼年岩性土:如石灰土、紫色土、花岗片麻岩区的麻骨土和第四纪黄土,均是易于发生流失的土壤,特别是山地或丘陵区的坡度很大时,更易造成流失。

人类不合理的土地开发和经营活动,会从根本上影响土壤侵蚀的规模与进程。本世纪 40 年代末,长江流域的水土流失面积已达 36 万 km^2 ,占流域总土地面积的 20%。50 年代至 80 年代中期,长江流域治理了水土流失面积约 5.7 万 km^2 ,1985 年全流域水土流失面积为 56.19 万 km^2 ,占流域总面积的 32.05%,年均侵蚀量 22.38 亿 t,平均侵蚀模数 3981t/($\text{km} \cdot \text{a}$)。(表 1-7-1)

表 1-7-1 长江流域水土流失现状

	面积(km^2)	占流失面积(%)	年均侵蚀量(万 t)	侵蚀模数 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$)
轻度	210269.90	37.41	24684.23	1173.93
中度	189595.42	33.74	65778.93	3469.44
强度	102695.27	18.27	65195.25	6348.42
极强度	40798.12	7.26	41688.57	10218.26

续表

	面积(km ²)	占流失面积(%)	年均侵蚀量(万 t)	侵蚀模数 t/(km ² · a)
剧烈	18638.42	3.32	26504.89	14220.57
总计	561997.13	(32.05)	223851.87	3981.78

流域现有水土流失面积 56.2 万 km², 年均剥蚀厚度约 3mm, 为允许侵蚀量的 8 倍左右。而剧烈流失区年侵蚀模数 1.4 万 t/(km² · a), 年均剥蚀厚度可达约 10mm。

长江流域从河源向下游倾斜显著的地势, 易于风化的松散堆积物和岩石, 集中和大的降雨量, 高温和昼夜温差大的气候因素, 为风化产物和地表物质迅速汇集于水体, 并通过长江输入海洋提供了有利的条件, 除河源地区, 河流水体盐分不易累积, 化学元素, 特别是微量元素多处于低背景水平。巨大的气候差异和不同的环境地质条件, 形成明显差异的区域地球化学分异, 长江河源区, 常年低温, 冰冻冰霜物理风化作用为主, 中下游亚热带地区, 湿热多雨的气候, 强烈的化学风化作用, 为河湖提供了丰富的溶质。河源区微量元素贫瘠的松散碎屑沉积物, 物理风化为主导的风化营力, 为河流提供的溶质有限。乌江、赤水和清江流域的石灰岩, 碳酸盐的溶蚀—沉淀是控制河水元素组合和浓度的主导因素。化学风化强烈, 花岗岩分布广泛的鄱阳湖流域, 为河流提供的微量元素以溶质为主。长江流域气候、环境地质以及其延伸的水文因素; 地貌地势; 土壤植被的特征和区域差异是形成和影响水体化学元素组成和丰度的基础因素。

第二章 长江水系水环境的地球化学因素

河水的化学因素不只是河水环境性状与功能的表征,而且是制约河流水体中元素浓度、固-液相分配、形态和迁移转化的直接因素。

从影响河流水体元素发生和形成、形态和转化的因素看,河水的水温和溶解氧状态, pH 和 Eh, 主要离子及组成, 水的化学类型等因素是基础, 河水化学稳定性、对酸和碱的容量等则是河水基本功能的反映。

第一节 水环境的温度与溶解氧

一、河水的温度

河水的许多物理化学过程和微生物过程,都是在一定温度下进行的,因而它对水体中化学元素的浓度和赋存形态有一定的影响,地表水温度主要受气候条件和季节变化影响。在天然河水中,水温和溶解氧饱和度相关。

长江水系范围辽阔,受水热条件、地形和海拔高度的影响,河流水温度变差较大。由实测值推断,长江河源区主要河流水系河水的水温年均值是我国最低的。河源西部区的河流如沱沱河(沿)、楚玛尔河(大桥)、布曲(雁石坪)年均水温低于 2℃。河源区东部通天河(直门达)年均水温也低于 3℃。长江河源区河水水温低,主要受海拔高度的影响,常年气温偏

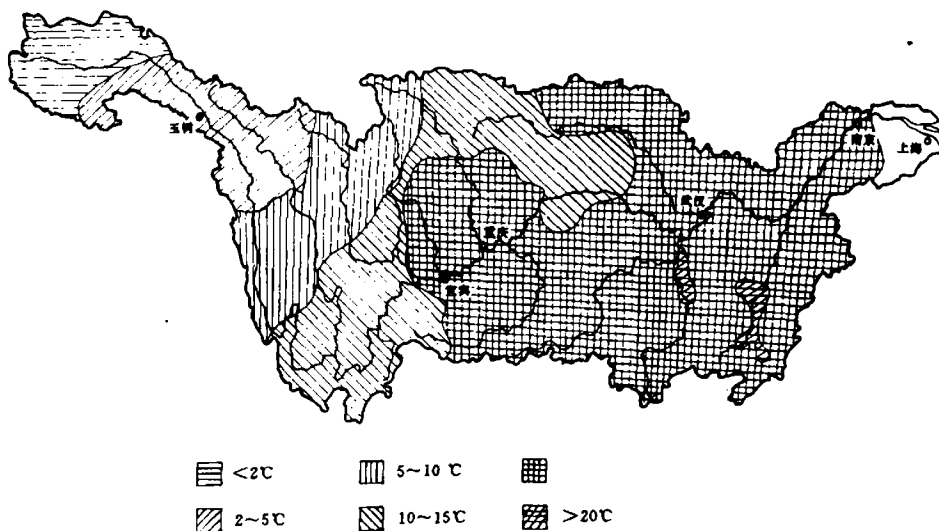


图 2-1-1 长江水系河水水温分布图

低,即使最热月均气温也低于 4°C ,其次是冰川融雪水和地下水冻层的影响。长江水系年均水温最高的河流是赣江,年均水温 20.6°C (棉津);湘江是另一高水温河流,年均水温为 20°C (湘赣)。长江水系河水水温总的变化趋势是从河源和金沙江上游向东和东南方向水系升高(图 2-1-1)。嘉陵江上游、大渡河上中游、大小金川、雅砻江上游和金沙江中上游地区河水水温也较低,在 $5-10^{\circ}\text{C}$ 。汉江中上游、嘉陵江上游、大渡河和雅砻江下游地区河水年均水温在 $10-15^{\circ}\text{C}$,其以东的广阔水系河水年均水温在 $15-20^{\circ}\text{C}$ 。长江水系河水年均水温的变异与气温大致与纬度平行的分布状况不同,它主要呈经向分布,主要受海拔、补给源性质和水本身的热容量控制。

长江干流年均水温的变化趋势也是从河源区向下游逐渐增加(图 2-1-2)。但最高水温出现于重庆至万县江段。



图 2-1-2 长江干流江水温沿途变化

二、河水溶解氧

河流水体中的元素在固-液相中的分配与转化,同水体中的氧化-还原反应有很大的关系,因此水中溶解氧的浓度除直接同生态环境有关,还有非常显著的地球化学意义。溶解氧的含量同水温有关,水温还对氧化速度有很大影响,水温每升高 15°C ,氧化速度增大 10 倍。

长江水系河水溶解氧的含量变化受水温和海拔高程的影响,有一定的变化特征。长江河源区由于海拔在 4000m 以上,气压低,空气中含氧量比低海拔减少 1/3 左右,使河水中的溶解氧仅相当于海面高程河水溶解氧的 78%。因此,虽然河水水温年均低于 5°C ,溶解氧的含量并不高,范围是 $5.8-12.2\text{mg/L}$,中值是 8.8mg/L 。金沙江上游海拔在 2000m 以上,受海拔高程影响,河水溶解氧含量也不高,在 $6.4-10.6\text{mg/L}$,按测定时的温度计算成海面高度河水溶解氧含量,约相当于其饱和度的 70%—80%。普渡河—横江水系河水溶解氧含量在 $4.3-9.5\text{mg/L}$,约为其饱和度的 70%左右。以上水系的河水中溶解氧含量偏低,主要受高海拔地形条件影响而引起的。金沙江以下,长江主要流水系河水中溶解氧多在 $8.0-12.0\text{mg/L}$,按其测定时的温度计算,基本处于饱和状态。河水复氧能力是很强的,一般河流复氧能力在 $1.32-3.1\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。在自然状况下,河水中的溶解氧受气压和水温的影响含量有所波动,长江水系受水温和地形的影响,在天然状况下年变化在 $8-12\text{mg/L}$ 左右。由于河水溶解氧的补充能力很强,使河水中的氧化还原电位保持平衡,河水中的氧处于丰氧状态。具有持续的氧化能力,一般都处于氧化状态。

第二节 水的 pH 值

pH 值是影响元素迁移和沉淀最重要的水环境因素之一,它决定了化学元素的迁移转化。河水中大多数元素在酸性环境中迁移能力增加。长江水系河水的 pH 值一般在 6.7—9.0,但有一定的水系分异(图 2-2-1)。长江河源区通天河水系河水 pH 变化较大,从 7.3—9.5,主要受 HCO_3^- 浓度的影响,随河水矿化度的增加而增加,但矿化度超过 300mg/L 左右以上,河水中的 SO_4^{2-} 和 Cl^- 逐渐变成主要阴离子, HCO_3^- 的浓度降低,pH 下降。在河源区河水的 pH 在低矿化水和高矿化水相近,河水矿化度在 300mg/L 左右时,pH 也最高。

金沙江东岸和北岸的河流 pH 在 7.4—8.3 之间,变化较小。但由南岸汇入金沙江的普渡河、横江水系的 pH 变化很大,从 7.2—8.6;乌江和赤水水系河水的 pH 在 7.9—8.9,大多稳定在 8.0 以上;岷江、沱江的 pH 与乌江、赤水类似,但 pH 超过 8 的高值少。嘉陵江、汉江、洞庭湖水系的 pH 多在 7.5—8.5,大致在长江水系 pH 的中值范围。鄱阳湖水系是长江水系河水 pH 最低的水系,pH 多在 7.0 左右,一些河流河段河水 pH 在 7.0 以下。青弋江和巢湖水系河水的 pH 在 6.9—7.5,也属 pH 较低的水系。长江水系河水 pH 的分异状况,由图 2-2-1 可以看出,长江流域中部广大地区河水 pH 在 7.5—8.0,向西是河水 pH 在 8.0—8.5 的较大地区,河源西部区河水的 pH 多在 8.5—9.0。长江水系东部鄱阳湖水系和洞庭湖水系中下游青弋江、巢湖水系出现大面积河水 pH 值为 7.0—7.5 的地区。鄱阳湖水系,河水的 pH 值随季节而有所变化,在枯水季节河水的 pH 降低,常在 7.0 以下。

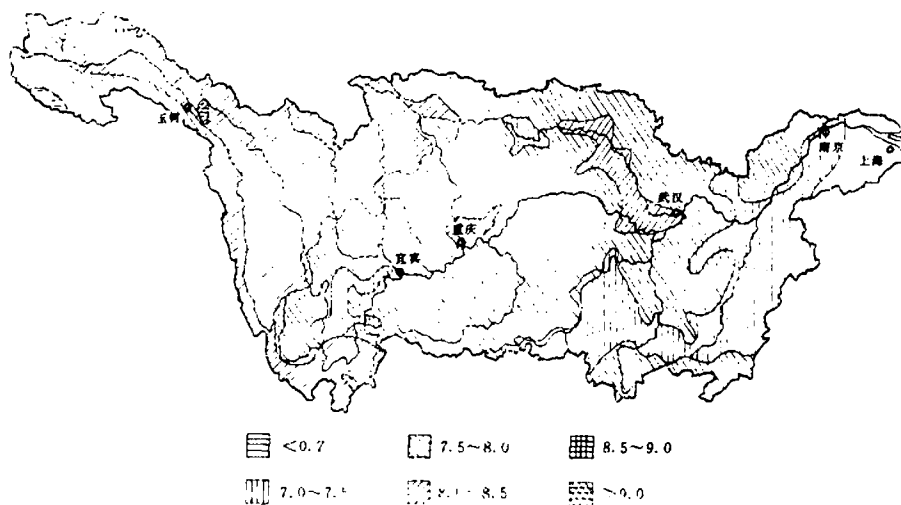


图 2-2-1 长江水系 pH 值分区图

长江干流河水的 pH 总的趋势由上游向下游降低,从楚玛尔河的 8.4 降至南京江段

的 7.6,通天河直门达出现 9.0 的高值(图 2-2-2)。长江水系河水 pH 的变化,主要和环境地质与水热条件的变化有关。长江河源区河水 pH 变化范围较大,主要是区域水热条件引起 HCO_3^- 的变化造成的;乌江、赤水系石灰岩分布广,受石灰岩溶解与淀积的影响而出现 pH 区域性稳定偏高。鄱阳湖水系 pH 普遍低,同花岗岩分布广泛,降水量大有关。

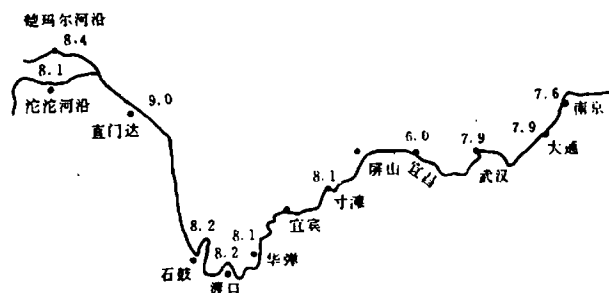


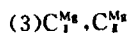
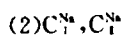
图 2-2-2 长江干流 pH 沿程变化

第三节 水的离子组成与浓度

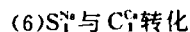
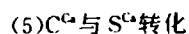
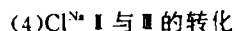
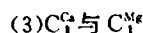
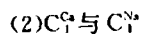
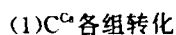
一、离子组成

由于长江水系水热条件、环境地质因素变化较大,降水量年均相差 2000mm 以上, $>10^{\circ}\text{C}$ 的积温相差 5000 $^{\circ}\text{C}$ 以上,广泛分布区域集中的岩性,碎屑岩、变质岩、石灰岩和火成岩的综合影响,河流、湖库水的化学组成比较复杂,按离子组成对水进行分类的 O. A. 阿列金分类法,长江水系出现的水化学类型如下:

1. 单一类型:河系或河段仅出现单一水化学类型,即水的化学组成,主要离子相对稳定。



2. 多种类型转化,河流或河段不同水期出现的类型不同,相互转化。



在一般情况下,随着流域地区干旱度的增加,水的矿化度由低渐高,水化学类型变化

方向[C]→[S]→[Cl];阳离子Ca→Mg→Na+K,水组I→II→III。长江水系受区域地质条件的影响,特别是在变质岩广泛分布的普渡河水系,水化学类型变化较复杂,在矿化度不高的河水,也出现Mg>Ca水和[S]水。

用河水化学类型发生相关的地球化学性质和作用相近、转化规律一致的原则,为表征长江水系河水的化学类型的区域特征,将长江水系划分为9个类型区域(图2-3-1):

(1) C_1^{Na} —I,矿化度较高,分布于金沙江渡口以西程海及附近金沙江支流。

(2) C_1^{Ca} —I,矿化度较低,石灰岩分布广泛地区河水,金沙江上游—雅砻江水系、嘉陵江水系大部、汉江上游水系。

(3) C_1^{Ca-Na} —I,矿化度极低,花岗岩广泛分布地区河水,主要分布于鄱阳湖水系。

(4) C_1^{Ca} —I,矿化度极低,石灰岩、砂岩地区河水分布面积大,如长江水系中部广大水系。

(5) C_1^{Mg-Ca} —I,矿化度变化大,低于100mg/L或高于300mg/L,分布于资水上游和乌江上游。

(6) Cl_1^{Na} —I,矿化度高,分布于长江河源区通天河水系。

(7) C_1^{Ca} —I— S_1^{Na} ,矿化度变化大,从128—575mg/L, S_1^{Na} 出现于高矿化度时,分布于嘉陵江东支渠江上游的后河和州河水系。

(8) S_1^{Na} — C_1^{Ca} ,矿化度变化大,从287—1060mg/L, S_1^{Na} 出现于矿化度>559mg/L的河水及泥灰岩区。分布于嘉陵江上游白龙江支流北峪河。

(9) C_1^{Mg} — S_1^{Na-Mg} ,矿化度变化较大,从103—494mg/L,石炭系地层,分布于横江上游的关河水系。

以上划分主要是依据于年内出现在水期较多的类型,一部分河流年内水化学类型的变化较复杂,可出现数种类型的转化,特别是中小河流,如金沙江云南境内的洒渔河3月为 C_1^{Na} 和 C_1^{Ca} 水;6—11月为 C_1^{Mg} 水;12月为 S_1^{Na} 水。长江干流及大的支流河水化学类型变化小,除河源区的水为 Cl_1^{Na} 外,多为 C_1^{Ca} ,即离子主要成分为 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 水。仅鄱阳湖水系的一些支流为 C_1^{Na} 水。

二、离子浓度

长江水系水的离子浓度按O. A. 阿列金的划分标准,从低矿水(<200mg/L)到高矿化水(>1000mg/L)的各种矿化度河水都存在,但分布广泛的主要为低矿化程度到中度矿化程度的河水(200—500mg/L)。为表征长江水系河水矿化度实际状况和河水矿化度区域分异特征,将长江水系河水的矿化度年均值分为以下6级区域(图2-3-2)。

1. 极低矿化度河水区:矿化度<80mg/L,分布在鄱阳湖水系,其中赣江最低,从37.9(外洲站)到93.8mg/L(贾村站),均值为70.4mg/L(峡江站)。除泸水和禾水矿化度略高于100mg/L外,鄱阳湖水系诸河矿化度大多低于80mg/L,抚河、潦水低于40mg/L。此外青弋江和巢湖水系的抚埠河,鄂北的峰水、瑞水、靳水等河系河水矿化度多低于80mg/L。鄱阳湖水系河水矿化度有一定的季节变化,一般枯水期略高于丰水期,丰水期瞬时实测部分河流河水矿化度低于20mg/L,但除信江(梅港站)矿化度与径流量变化有明显相关性外($\gamma=0.84$,显著水平>0.05),其余大部分河流河段无明显相关性。

2. 低矿化度河水区:矿化度80—160mg/L,主要分布于洞庭湖水系,但澧水略高于160mg/L。鄂北的峰水、畲水和这一带长江北岸流入的支流,河水的矿化度大部在80—

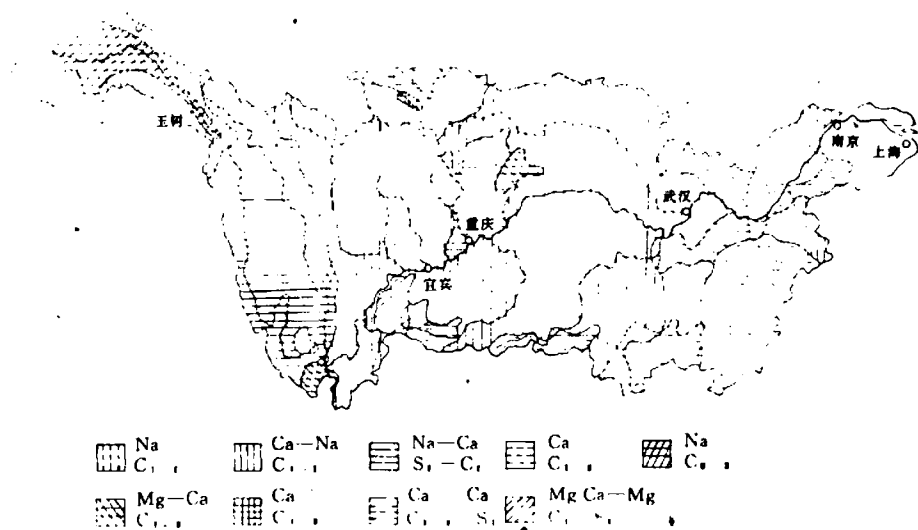


图 2-3-1 长江水系水化学类型图

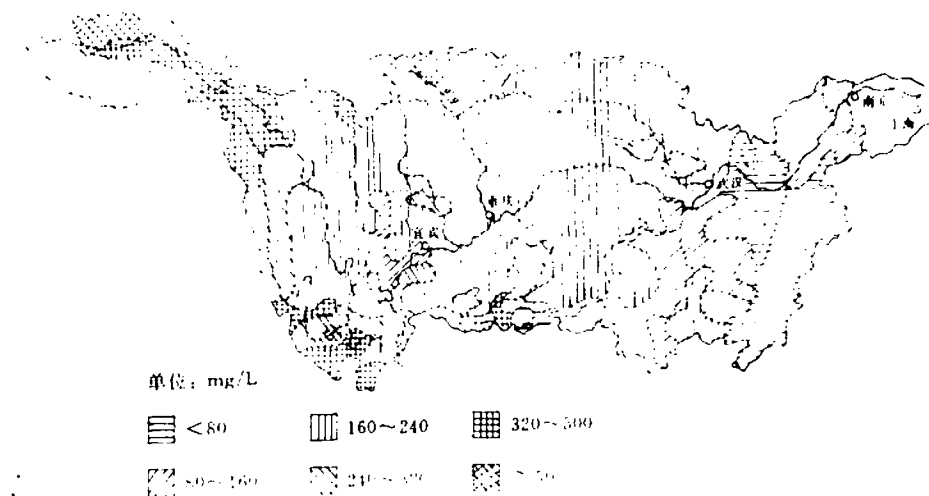


图 2-3-2 长江水系河水离子总量分布图

160mg/L, 如湘江(湘潭)138.6mg/L, 资水(桃江)122.1mg/L, 沅江(桃源)121.3mg/L。这一矿化度区的河流, 河水矿化度的变化和流量是负显著相关性(表 2-3-1)。即流量增大, 矿

化度降低。但从斜率很小来看,随河水流量的增加矿化度降低的很少。

表 2-3-1 洞庭湖水系矿化度和流量相关

水系名称	n	r	回归方程
湘江(湘潭站)	17	-0.92	$y_F = 168.46 - 0.005x_F$
资水(渣江站)	15	-0.70	$y_F = 176.80 - 0.012x_F$
沅江(桃源站)	13	-0.67	$y_F = 135.88 - 0.003x_F$
澧水(石门站)	17	-0.69	$y_F = 191.65 - 0.008x_F$

3. 较低矿化度河水区:矿化度在 160—240mg/L,主要分布在岷江、嘉陵江、大渡河和汉水及之间的入长江支流,乌江、赤水及清江水系,这些水系河水的矿化度多在 200mg/L 左右,仅岷江部分江段略高于 240mg/L。这一区内的河水矿化度的季节变化较明显,与流量的变化呈显著负相关(表 2-3-2)。

表 2-3-2 长江较低矿化度河水区河水矿化度与流量相关性

河流名称(站)	n	r	显著水平	回归方程
岷江(彭山站)	13	-0.72	>0.05	$y_F = 313.46 - 0.044x_F$
嘉陵江(武胜)	19	-0.73	>0.01	$y_F = 257.59 - 0.010x_F$
汉江(皇庄)	20	-0.82	>0.01	$y_F = 196.40 - 0.002x_F$
清江(恩施)	15	-0.80	>0.01	$y_F = 229.23 - 0.033x_F$
大渡河(泸定二站)	17	0.81	>0.01	$y_F = 211.01 - 0.023x_F$

从斜率看,除汉江外,其他河系河水随流量的增加,矿化度降低的量,较低矿化度河水区大。

4. 中等矿化度河水区:矿化度 240—320mg/L,主要分布在金沙江上游及普渡河和牛栏江之间入长江水系,以及沱江和岷江的部分河段,这一河区,河水矿化度在 240—320mg/L 范围内波动较大,部分河流河水矿化度高于 400mg/L。从季节和流量的变化看,这一矿化区矿化度随流量的增加而明显降低,但除沱江水系外(表 2-3-3),无显著相关关系。

表 2-3-3 沱江水系矿化度和流量关系

河流(站)	n	r	显著水平	回归方程
沱江(三皇庙)	13	-0.72	>0.05	$y_F = 322.35 - 0.045x_F$
沱江(登瀛岩)	17	-0.83	>0.01	$y_F = 320.49 - 0.034x_F$
沱江(李家湾)	14	-0.78	>0.05	$y_F = 310.06 - 0.019x_F$

5. 稍高矿化度河水区:矿化度 320—500mg/L,主要分布在普渡河水系,包括滇池水系和盘龙江水系。汉水的矿化度都是较高的,这一水区矿化度变化较大,个别河流河段矿化度超过 500mg/L,但多数河流河水矿化度不超过 500mg/L。金沙江石鼓以上河水的矿化度上升超过 320mg/L,金沙江石鼓段达 350mg/L。

6. 高矿化度河水区:矿化度 >500 mg/L,主要分布在长江河源区通天河水系,特别是沱沱河以北的支流,有的河流矿化度超过 1000mg/L,是长江水系河水矿化度最高的地区。

长江水系河水矿化度的水系分异,同降水量的分布及区域地质环境有关。因此,从河源区向下游,随着降水量的增加,总的趋势是河水的矿化度逐渐降低。从楚玛尔河(沿)

1270mg/L→通天河(直门达)496mg/L→金沙江(石鼓)350mg/L→长江(宜昌)221mg/L
→到下游长江干流(大通)降为 156mg/L。

长江水系河水的矿化度大多在 500mg/L 以下,除长江河源区楚玛尔、沱沱河等几条河流外,大都为碳酸盐体系,碳酸盐的溶解平衡是控制水中其他水化学过程的主导因素。离子总量,特别是 Ca^{2+} 、 HCO_3^- 的浓度在长江水系河水中具有重要的地球化学意义,但是它们的浓度水系分异和变化较大。为表征碳酸盐体系在长江水系河水的地球化学作用和水系分异,计算了水热和地质环境区域变化较大的长江河源区(矿化度较高)、金沙江、普渡河水系(变质岩广泛分布、矿化度稍高)、乌江—赤水水系(主要为石灰岩分布,降水量较大)和湘江水系(碳酸盐分布较广,降水量较大)及鄱阳湖水系(花岗岩分布广,降水量较大)。从水系、 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 等主要离子和离子总量及相关系(表 2-3-4)可揭示出:

(1)长江河源区矿化度变化较大,(<200—>1000mg/L),特别是有高矿化度河水存在。在矿化度<300mg/L 左右时, HCO_3^- 和 Ca^{2+} 为主要阴、阳离子。当矿化度高于 500mg/L 时, Cl^- 和 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 为主要阴阳离子,与矿化度有显著相关性,显著水平>0.01。

表 2-3-4 不同水热和地质条件下河水主要离子与矿化度的关系

水 系 (矿化度·mg/L)	离 子	n	r	显著水平	回归方程	平均值
长江河源水系 (通天河)	Ca^{2+}	16	0.92	>0.01	$y_A = -9.05 + 26.033x_{\text{Ca}}$	
	Mg^{2+}	16	0.55			
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	16	0.99	>0.01	$y_A = 238.57 + 2.86x_{\text{K}+\text{Na}}$	
	HCO_3^-	16	-0.11			
	Cl^-	16	0.98	>0.01	$y_A = 285.76 + 1.71x_{\text{Cl}^-}$	
	SO_4^{2-}	16	0.43			
金沙江(普渡河、 牛栏江)水系 (267.5)	Ca^{2+}	32	0.12			37.7
	Mg^{2+}	32	0.83	>0.01	$y_A = 128.3 + 10.64x_{\text{Mg}}$	13.1
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	32	0.91	>0.01	$y_A = 204.33 + 3.95x_{\text{K}+\text{Na}}$	16.0
	HCO_3^-	32	0.97		$y_A = 29.09 + 1.39x_{\text{HCO}_3^-}$	171.4
	Cl^-	32	0.50	>0.05	$y_A = 206.77 + 8.37x_{\text{Cl}^-}$	7.3
	SO_4^{2-}	32	0.12			
乌江—赤水水系 (306.5)	Ca^{2+}	21	0.82	>0.01	$y_A = 74.53 + 4.9x_{\text{Ca}}$	47.3
	Mg^{2+}	21	0.75	>0.01	$y_A = 163.23 + 8.21x_{\text{Mg}}$	17.4
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	21	0.39			8.0
	HCO_3^-	21	0.81	>0.01	$y_A = 1.76x_{\text{HCO}_3^-} - 28.14$	190.4
	Cl^-	21	0.80	>0.01	$y_A = 259.74 + 8.60x_{\text{Cl}^-}$	5.4
	SO_4^{2-}	21	0.82	>0.01	$y_A = 225.74 + 2.16x_{\text{SO}_4^{2-}}$	37.3
鄱阳湖水系(赣 江)(90.91)	Ca^{2+}	22	0.90	>0.01	$y_A = 27.43 + 5.41x_{\text{Ca}}$	
	Mg^{2+}	22	0.62	>0.05	$y_A = 60.06 + 11.29x_{\text{Mg}}$	
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	22	0.41			
	HCO_3^-	22	0.98	>0.01	$y_A = 14.69 + 1.29x_{\text{HCO}_3^-}$	
	Cl^-	22	-0.07			
	SO_4^{2-}	22	0.39			

(2)金沙江的普渡河—牛栏江水系,河水矿化度在 300mg/L 左右以下, Ca^{2+} 大于 Mg^{2+} 和 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 的浓度,但 $\text{K} + \text{Na}$ 和 Mg 与矿化度有明显相关性,显著水平>0.01,可

能和变质岩白云岩的影响有关。 HCO_3^- 为优势阴离子,与矿化度有极好的相关性,因此在这种类型河水中 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为控制水化学过程的主要离子, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的竞争导致河水中更多的金属离子络合沉淀, $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 高于 Mg^{2+} ,但由于它的溶解度高,对其他金属离子的络合作用不大。

(3)在碳酸盐岩石分布广泛,矿化度稍高的乌江、赤水河,阴离子中 HCO_3^- 占很大优势,阳离子 Ca^{2+} 占优势, HCO_3^- 和 Ca^{2+} 的平衡作用是控制河水微量金属离子转入沉积相的主要因素,但 SO_4^{2-} 和 Mg^{2+} 也起重要作用,它们都与矿化度有明显相关性,显著水平 > 0.01 。

(4)在火成岩特别是花岗岩分布广泛、降水量大、矿化度低的水系(如赣江水系), HCO_3^- 为绝对优势阴离子, Ca^{2+} 和 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 的浓度接近,但控制河水地球化学作用的仍为 HCO_3^- 和 Ca^{2+} 的平衡作用,且与矿化度呈明显的相关性,相关水平 > 0.01 。

对长江河源区水系和湘江水系沉积物金属赋存形态的地球化学形成因素研究表明,碳酸盐的平衡作用导致 9%—18% 的 Cu, 6%—18% 的 Zn, 31%—57% Cd, 1%—6% 的 Pb 从水相进入沉积相。而在亚热带 Fe/Mn 水合氧化物使水中微量金属转入沉积相起重要作用的河流,碳酸盐的平衡作用,仍能使一部分微量金属进入沉积物,即使在花岗岩分布广泛, $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+} (\text{Na}^+)$ 水中 Ca^{2+} 和 HCO_3^- 的平衡作用仍能使 5% 左右的 Cu, 3%—7% 左右的 Zn 和 1.4—2.4% 左右的 Pb 进入沉积物。

此外,根据热力学计算, Cl^- 在河水,特别是在矿化度较高的氯化物体系的河水中,微量金属氯的络合作用也是很重要的,特别是形成的 HgCl_2^- 和 CdCl_2 是最稳定的。

第四节 水的硬度

水的硬度是表征饮用、洗涤及工业利用价值方面的重要标志,但在天然水环境中它具有很大的地球化学意义,在天然水中它是水中钙盐及镁盐丰度的指标。水中所含重碳酸钙 $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2]$ 、重碳酸镁 $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$ 等称为暂时硬度。水中所含 Ca、Mg 等离子超过重碳酸及碳酸根时剩余的 Ca、Mg 等离子与水中的硫酸根及氯离子(或硝酸根)结合成 CaSO_4 、 MgSO_4 、 CaCl_2 、 MgCl_2 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 等盐类称永久硬度。暂时硬度即碳酸盐硬度在水中可发生以下反应:



在以上过程中将同其他金属离子发生吸附共沉淀,导致水中元素,主要是微量元素在水中丰度的变化,在液相和固相的再分配。硬度的表示方法有两种,一种以度计算,即 1 升水中含 10mg/LCaO 为 1°(度),这是我国习惯上常用的德国硬度。另一种用 meq/L(毫克当量/升)表示,1meq/L 为 2.804 度(德),以下均用德国度。

长江水系河水的硬度变化幅度较大(图 2-4-1),但大部分为软水(硬度 < 8 度(德)),部分为稍硬或中等硬度水(8—16°),个别的也可见到大于 16° 的硬水。其分布特征,由河源自西向东部硬度降低。长江河源区和金沙江上游河水多属中等硬水(> 8 度(德)),长江水系腹地河水硬度在 6—8 度(德),为软水上限。东部鄱阳湖及巢湖—青弋江水系河水属极软水(硬度 $< 4^\circ$)。长江水系硬度的分布主要受降水量的影响,降水量超过 1000mm 的地区大多为软水(硬度 6°),此外地质因素对河水硬度的影响也甚显著,如乌江——赤水——

清江等流经灰岩地区的河流,河水硬度区域偏高,而鄱阳湖水系由于花岗岩分布广泛,在同样降水条件下,较石灰岩地区河水硬度明显低。

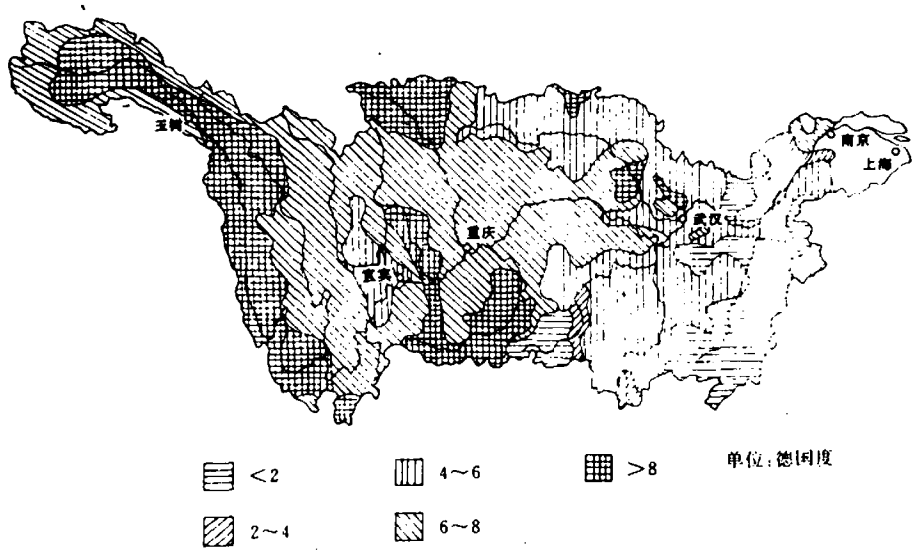


图 2-4-1 长江水系河水硬度分布

第五节 水的化学耗氧量

化学耗氧量在天然水中,它是氧化还原条件和水天然有机物浓度的标志,在污染水体它是反映有机质污染的指标。长江水系河水的天然化学耗氧量一般是比较低的,流域内的大部分河流河水的化学耗氧量在 1.5—2.0mg/L 范围内波动,图 2-5-1 清楚地表明了这种状况。长江水系河水化学耗氧量的这一特征同长江流域的自然环境因素有关。长江流域西部由于气温与水温低,进水河流水体中的天然有机物质降解速率较慢,由于土壤有机耗氧物腐殖质的含量低,地表径流携入河流水体的量亦低,因此河水的化学耗氧量亦不高。长江流域的中下游地区,虽然植被繁茂,土壤富含有机质,但由于气温水温高,有机质的分解和降解速率快,故亦不会使河水中的化学耗氧量明显增大,长江水系河水化学耗氧量处于中度水平。受区域自然环境因素的影响,在流域东部的一些河流河水化学耗氧量降低,如鄱阳湖水系和青弋江水系的一些河流河段化学耗氧量在 1.0—1.5mg/L,甚至低于 1.0mg/L,这和该地区降水量大,水温气温高,进入河水中的有机物质量低,分解快,有机物质在河水中残留量少等因素有关。也有一些河流河段受区域局部环境的影响,化学耗氧量偏高,化学耗氧量可达 2.5—3.5mg/L,甚至超过 3.5mg/L。多和这些地区植物覆盖度高,土壤中易发生有机质的累积,转化生成的腐殖质进入河流的浓度增加有关,但总的来看,长江水系河水的化学耗氧量背景不高。

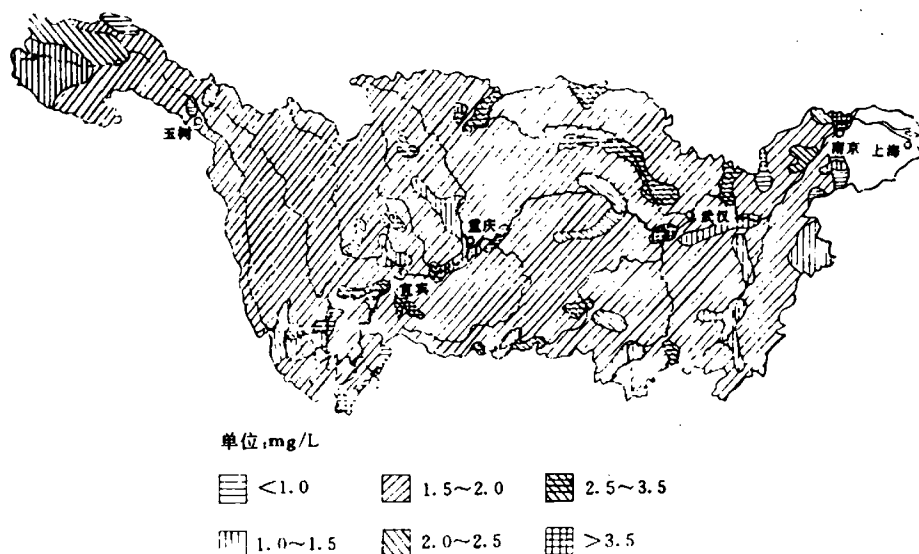


图 2-5-1 长江水系化学耗氧量分布量

第六节 水的酸、碱缓冲能力与化学稳定性

一、水的酸、碱缓冲能力

天然河水对酸和碱具一定的缓冲能力,这种能力受多种水环境因素的影响,如矿物的溶解和沉淀,可溶组分的光合作用等因素,但碳酸化合物是影响水体对酸和碱缓冲能力的主要因素。以 $\text{pH}6.5 - 8.5$ 为基准,即河水实测 pH 增高到不超过 8.5 时所能容纳的碱量和 pH 降到不低于 6.5 时所能容纳的酸量,由 $[\text{碱}] = c/d$ 计算, c 为碳酸化合物总量, d 为碳酸平衡常数,在 $\text{pH} = 8.5$ 时比原来增加的碱度就是加入的碱量 ΔB ,在 $\text{pH} = 6.5$ 时比原来减少的碱度就是加入的酸量 ΔA 。由以上公式计算了长江水系主要流水系的 ΔB 和 ΔA 值,计算表明长江水系大部分河水对碱的容量是甚小的,从 -0.404meq/L 到 0.473meq/L ,但大部分河水在 0.0meq/L 。为表征河系对碱的缓冲性能和长江水系 ΔB 的实际水平,将长江水系河水对碱的缓冲容量划分为以下 5 级:

1. 极低容碱水系区,碱的缓冲容量 $< 0.05\text{meq/L}$ 水系区(图 2-6-1)。

长江河源通天河至金沙江上游、雅砻江以西的水系,河水的碱容量很低,大多在 0.05meq/L 以下,其中像长江河源区大多河流碱容量为负值,是长江水系碱容量最低的水系区。

2. 很低碱容量水系区($0.05 - 0.1\text{meq/L}$):嘉陵江水系和普渡河水系特别是上游和龙川江,大多水系河段碱容量在 $0.05 - 0.1\text{meq/L}$,部分高于 0.1meq/L ,属很低的碱容量水系区。

3. 低碱容量水系区($0.1-0.2\text{meq/L}$): 岷江、渠江、沱江、乌江、赤水和湘江、汉江、鄱阳湖水系大部分的碱容量在 $0.1-0.2\text{meq/L}$, 部分略高于 0.2meq/L , 属略高碱容量水系区。

4. 中度低溶碱区, 碱容量 $0.2-0.3\text{meq/L}$ 水系区: 耒水、资江水系大多碱容量在 $0.2-0.3\text{meq/L}$, 部分略高于或略低于此值范围。显然溶碱区有所增加。

5. 稍高溶碱区, 碱容量在 $0.3-0.4\text{meq/L}$, 涟水、汉江的支流石泉河, 鄂北入长江的举水。

总之, 长江水系河水大都碱容量很小, 但也有个别河流、泉水和湖泊具有很强的容碱性, 如嘉陵江支流北峪河, 碱容量高达 0.877meq/L , 长江河源区布曲水系上游温泉水碱容量高达 41.44meq/L , 它们都和 $(\text{S})\text{Na}$ 水有关。

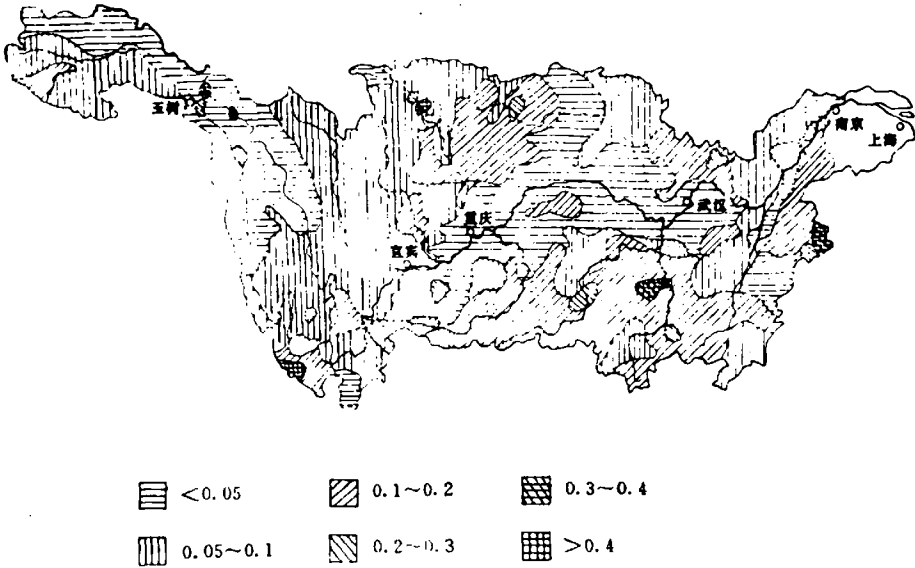


图 2-6-1 长江水系河水溶碱量分布图(单位 meq/L)

以上计算还表明长江水系河流对酸的缓冲容量比对碱的缓冲容量要高, 因此划分的级差值相对较高(图 2-6-2)。

1. 极低容酸水系区: 酸容量 $<0.5\text{meq/L}$, 主要出现于长江水系东部鄱阳湖水系及皖南、皖北入长江的青弋江和巢湖水系等支流。大体与 pH 低于 7.0 或 7.0 左右、矿化度 $<160\text{mg/L}$ 的水系相一致。

2. 低容酸水系区: 酸容量 $0.5-1.0\text{meq/L}$, 主要出现于长江水系中部, 分布范围广, 面积大, 包括岷沱、嘉陵、乌江、湘江水系等河系, 大体同 $\text{pH}7.5-8.0$ 、河水矿化度 $160-320\text{mg/L}$ 的水系区相一致。

3. 中度容酸水系区: 酸容量 $1.0-2.0\text{meq/L}$, 主要出现于西部, 从长江河源通天河水系至金沙江上游水系, 汉江水系, 及鄂北入长江的一些支流水系, 大致同 $\text{pH}8.0-8.5$ 、矿

化度 320—500mg/L 的水系区相一致。

4. 高容酸水系区:酸容量 $>2.0\text{meq/L}$,出现于渡口西南云南境内的小河系,面积较小。

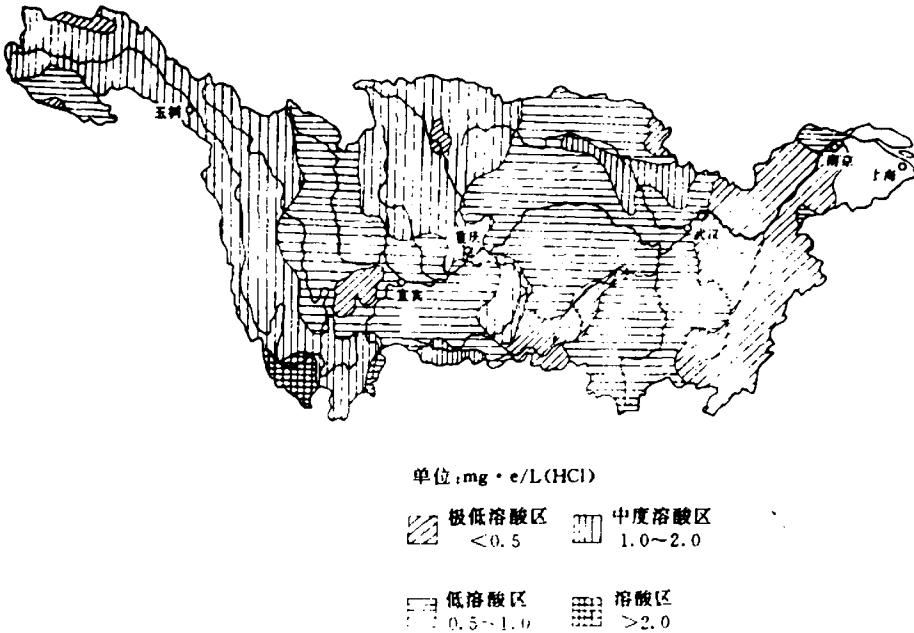


图 2-6-2 长江水系河水容酸量分布图

长江水系河水容酸量,总的趋向由西向东逐渐降低,和降水量的变化有关,但受区域地质条件的影响。在云南金沙江支流出现高容酸区。长江中部低容酸区出现在汉江、乌江上游,资水、沅江上游。

出现中度容酸区和地质条件有关。在同样的水热条件下一般来说发育和流经花岗岩地区的河流,河水酸容量降低,碱容量增加。发育和流经石灰岩地区的河流,酸容量增加,碱容量降低。而云南在金沙江南岸汇入的河流,一些河流受深度变质岩区域地质环境的影响,特别是在枯水季节地下水的适量补充,出现酸容性增加的现象。

二、水的化学稳定性

河水的化学稳定性,包括它的溶蚀性和沉积性,是河水的地球化学特性之一,且具有重要的实践意义。长江水系基本上都属碳酸盐型河水,而碳酸盐溶解平衡是控制河水化学稳定性的主导因素。实际上河水中有过量的游离(H_2CO_3)时, CaCO_3 处于未饱和状态,这种水具溶蚀作用,相反则具沉积性。通过 pH 实测值和计算值(pH_s),可判断水的稳定性;当 $\text{pH} < \text{pH}_s$,水稳定指数小于零时,这种河水具溶蚀性,且负值越小,溶蚀性越强,反之沉积性越强。

由 $\text{pH}_s = \text{PK}_2 - \text{PK}_1 - \lg[\text{碱度}]$ 计算了长江水系河水的 pH_s 。由 $P = \frac{2\sqrt{2}}{1+\sqrt{I}}$, $I = 2.5$

$\times 10^{-5}C$ (C 为水的含盐量, 单位为 mg/L), 对 pH_s 进行盐分浓度的影响调整。由实测 pH 与 pH_s 差值计算出各河流的 P_s 值, 将长江水系河水化学稳定性划分为 6 级, 可以看出:

1. 长江水系河水大部分为弱溶蚀性水(图 2-6-3), $0 > S > -2$ 。
2. 长江水系鄱阳湖水系大部分和巢湖水系出现大面积中等溶蚀区, $-1 > S > -2$ 。
3. 强溶蚀区仅见于鄱阳湖的信江、乐安江、昌江水系等面积不大的区域。
4. 长江水系西部, 通天河至金沙江上游水系出现中等至很弱的溶蚀地区。
5. 长江水系中出现零星分布的弱至很弱的沉积性水区。

就整个长江水系来看, 以溶蚀性为主, 即处于碳酸盐不饱和状态, 利于微量元素的迁移, 特别是易于碳酸盐发生吸附共沉淀的 Pb 、 Ca 等元素的迁移。

长江水系河水化学稳定性和河水的矿化度有密切关系, 并伴随水化学类型的转化:

(A) 矿化度 $< 100\text{mg/L}$ 的河水, C^{H} 和 C^{G} 水都为强溶蚀性水, $S > 1.5$, 但以 C^{H} 为主。

(B) 矿化度 $100-150\text{mg/L}$, 多为中等溶蚀性水, $S > -0.5$ 到 -1.5 , 以 C^{G} 水为主。

(C) 矿化度 $150-300\text{mg/L}$ 的河水为溶蚀—沉积过渡性水, 大多为弱溶蚀性水 $S < -0.5$, 以 C^{G} 水为主, 部分为弱沉积性。

(D) 矿化度 $> 300\text{mg/L}$ 的河水, 都为沉积性河水 ($S > 0$), 以 C^{G} 水为主, 部分为 C^{H} 水。

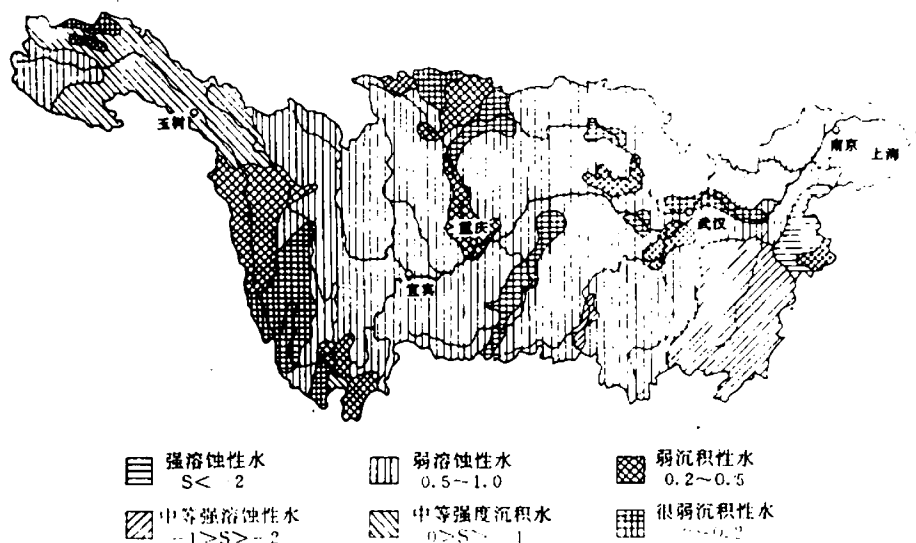


图 2-6-3 长江水系河水稳定性分布图

第三章 长江水系水体元素含量表征及数理统计方法

第一节 水体元素含量表征

一、水体中元素含量的基本概念：

水体通常被认为由水、悬浮物和沉积物三相理化体系构成，水相中的化学元素一般分为溶解态和颗粒态两类，目前国内外采用 $0.45\mu\text{m}$ 孔径的滤膜将河流、湖库水分离成两部分，通过 $0.45\mu\text{m}$ 滤膜的部分，其化学元素的含量，称为溶解态元素的含量，实际上它包括离子状态的元素和小于 $0.45\mu\text{m}$ 孔径的胶体等。不通过 $0.45\mu\text{m}$ 滤膜过滤，直接测定采集到的水样中的元素含量，它包括各种形态的元素浓度总和，一般称为元素的含量或总量。因为采样过程需加酸保存，因此所谓水中元素的含量，实际上还包括加酸后，使水的 $\text{pH} < 2$ 酸化后从水中悬浮颗粒物上被解吸，释放进入水中的元素。

在过去相当长一段时间，把通过 $0.45\mu\text{m}$ 孔径滤膜过滤而直接测定的水中元素含量，称为悬浮态元素的含量，它可用以表征水中元素的赋存形态总的状况及其迁移转化性能，有重要的地球化学意义。

此外，水中元素的含量还可用 $0.2\mu\text{m}$ 孔径的滤膜分离为呈离子状态的元素含量。用阳极伏安溶出法，测定水中元素的状态，分为稳定价态和不稳定状态的元素含量。

二、沉积物中元素的含量

水体中的三相理化体系水、悬浮物和沉积物中的界面反应，是影响和控制水体中化学元素含量和赋存形态的主导因素。表层沉积物当水体水动力因素发生改变时可发生再悬浮，极大的影响水中的元素含量。

沉积物中的化学元素含量是其不同赋存形态元素含量之和，目前的环境地球化学分类，即按地球化学相，可把沉积物中的元素分为如下不同的部分。

1. 水溶态元素包括存在于沉积物间隙水中的元素，这一部分元素通常占沉积物元素总量的很小比例，其含量比例常占 1% 以下，多数微量元素含量在 $0.0\mu\text{g/L}$ 以下。

2. 弱吸附的元素，通常是与碳酸盐发生共沉淀从水相进入沉积相的，这一部分元素它们和沉积物颗粒吸附结合得很弱，在天然状态下可因水中 CO_2 的含量变化而发生变化，在实验室可用醋酸或氯化铵很容易从沉积物上提取下来。

3. 易还原和半易还原态的元素，这一形态的元素，在沉积物中主要与 Fe 和 Mn 的氧化物结合，它们在还原条件下易从沉积物颗粒上解吸下来，重新进入水相，当水体发生有机质污染，沉积环境由氧化环境转化为还原环境时，这一形态的元素易于释放出来。

4. 有机质—硫化物螯合态的元素，这部分元素在沉积物中呈有机螯合与硫化物状态，它们与沉积物颗粒结合比较紧密，只有当有机质，主要是腐殖质分解时才能释放出来。

5. 晶格态或残渣态的元素，指存在于沉积物矿物晶格中的元素，它通常不能被生物吸收，只有当矿物化学风化时才能释放出来，这部分元素在一般沉积物中占的比例较大。

沉积物中元素含量主要由以上 5 种形态或 5 部分元素组成,按以上地球化学形态分类的元素,具有明显的地球化学意义,在不同自然环境条件和不同的污染性质状况下,它们的组合类型和含量比例不同,因此可以用以反映它们形成的历史和水系流域的地球化学环境,以及人为的影响。

沉积物中元素的含量,受其颗粒粒度的影响,一般颗粒物越细,沉积物颗粒的粒径越小,颗粒的比表面积越大,在水环境中吸附的元素数量越多。因此,在一般状况下,细粘质的沉积物含有更多的微量元素。研究还证实,不同的元素在细粘颗粒物上的富积程度有所差异,研究认为微量元素 Cd 更多的在 200 μm 以下粘粒部分富积。此外,沉积物矿物的组成对元素的富积程度也有明显的影响。

为了对比不同河流、湖库水体沉积物元素含量的变化,在国际上,目前环境科学家们采用 63 μm 孔径筛选,将沉积物分离成 <63 μm 的部分,以这一部分化学元素的含量,进行不同水体沉积物元素含量的比较。此外,为表征河流、湖库水体的沉积物元素的含量特征,只去除沉积物的大块颗粒物,通过 20 目筛孔的细筛,分析测试其通过部分,用以表征河流、湖库采样点的元素的基本含量。长江水系水体化学元素的含量,对通过 20 目筛(孔径为 0.84mm)和 240 目筛孔(孔径 63 μm)的部分的含量都做了表征。

第二节 水体环境单元元素含量的表征

一、背景值单元的划分

长江水系由若干级支流组成,为表征不同流水系,河段水体元素含量的变化,按水系的自然格局和组成,把水系划分为长江一至三级支流单元。根据水系流域的环境特征,考虑到其形成和影响因素,岩性、土壤、植被、气候等因素划分若干水环境单元,准确的划分环境单元,是表征水系水体元素含量的基础。水体环境背景值是表征一定水域主导因素相对一致和相对稳定的区域的元素含量,由于自然环境是一个开放的系统,它本身不可能是均一的,而且不断的与周围环境要素发生着相互作用,因此做为一定的水域单元,水体的元素背景值是该水域水体单元元素的集中值和均值、范围表征值和趋向值。

二、水体元素含量的数理统计

为取得区域水环境准确的元素含量及其背景值,必须对分析测试过程实行质量保证,对取得的每个元素的含量值首先进行地球化学成因分析判断,去伪存真,然后进行数理统计。为取得准确的元素环境背景值,本书采用表 3-1-1 的概率检验方法,由于各种方法只适用一定的范围,各有一定优势,在长江水系水环境背景值数理统计检验中选用其中的两种概率检验方法。

表 3-1-1 长江水系水环境背景值数据概率分布类型检验方法

检验方法	适用范围(数据)
W 检验	4—50
X^2 检验	>50
Vistelius 置信带法	>4
KS 检验	>4
偏度峰度法	>8

如果选用的两种检验方法都为正态分布或对数正态分布,即确定样本的分布类型为正态分布或对数正态分布。如一为正态分布,另种检验方法为对数正态分布,即确定为对数正态分布,正态及对数正态检验的置信率均大于 0.10,置信概率不同时,取置信概率大者。

受季风、水热条件差异,垂直地貌海拔高度、地质因素与岩性变化的显著影响,长江水系水体元素丰度及其赋存状态存在明显的水域分异,本书将按从长江河源至下游水域的顺序,主要表征一级支流和部分较大二级流水域水体的元素的丰度及其背景值。

第四章 长江河源区水系水体的化学元素

第一节 河源区水系流域环境特征

长江河源区位于昆仑山和唐古拉山之间,青藏公路以西的广阔地区,在青海省西南部境内,处于青藏高原的中部,大致在北纬 $32^{\circ}40'$ — $35^{\circ}40'$ 与东经 91° — 94° 间。

长江河源由一系列的小水系组成,从北至南主要有楚玛尔河、北麓河、沱沱河、尕尔曲、布曲和当曲 6 条水系组成。发源于格拉丹东冰川,流程长的沱沱河一般认为是正源。

一、气候特征

长江河源区尽管纬度较低,但地势高是形成其独特气候的主导因素,低温寒冷是其气候的主要特征,年均气温一般只有 -3°C — $+3^{\circ}\text{C}$,最暖月 7 月均气温也仅在 $3-12^{\circ}\text{C}$, $>10^{\circ}\text{C}$ 积温仅 240—1000 $^{\circ}\text{C}$,部分地区甚致不出现稳定 $>10^{\circ}\text{C}$ 积温,1987 年的实测数值能反映出长江河源区(中部)气温的特征,最热月气温也仅有 $3.0-4.6^{\circ}\text{C}$,而夏季最暖季节(6—8 月)平均温度仅 2.6°C ,是我国夏季温度最低的地区。长江河源区降水量南北和东西部有明显的变化,沱沱河以北,年降水量为 221.5—243.7mm,沱沱河以南近唐古拉山地区,降水量增加,年均降水量在 278.1—319.1mm。降水季节都集中在 6—9 月,占全年降水量的 86%—90%。

由于风多,气候干燥,虽然气温常年偏低,长江河源区年均蒸发量仍达 1545.6—1928.7mm。

二、水文特征

据实测和推算,多年平均总径流量以沱沱河最大,为 8.28 亿 m^3 ,布曲(雁石坪)为 7.52 亿 m^3 ,尕尔曲为 6.03 亿 m^3 ,楚玛尔河仅 2.46 亿 m^3 。当曲无实测资料,据沱沱河江面积为 15924 km^2 ,当曲为 31024 km^2 ,当曲的流域面积是沱沱河的 1 倍多,当曲流域的降水量比沱沱河流域丰富。推算,当曲的总径流量应超过 17 亿 m^3 。河源区水系汇入通天河的水量(至直门达)年均均为 119 亿 m^3 。沱沱河占其汇入量的 7%,布曲占 6%,楚玛尔河仅占 2%。河源区河水径流量的季节变化和降水量基本一致(表 4-1-1),北部的楚玛尔河 7—10 月占全年径流量的 82.1%,沱沱河 6—9 月径流量占全年 85.9%,南部的布曲 6—9 月占全年径流量的 77.6%。径流量年际变化更显著,而且越向北越大,楚玛尔河的最大年径流量 5.34 亿 m^3 (1966)和最小年径流量 0.055 亿 m^3 (1979)相差近 100 倍。沱沱河最大年总径流量 14.4 亿 m^3 (1961)与最小年总径流量 2.80 亿 m^3 (1979)相差 5.2 倍,而南部布曲(雁石坪)最大年径流量 12.2 亿 m^3 (1963)和最小年径流量 4.63 亿 m^3 相差仅 2.6 倍。长江河源区径流深度的地区变化更明显,北部较南部小,楚玛尔河流域只有 24.7mm,沱沱河流域为 49.1mm,尕尔曲为 144.7mm,唐古拉山流域的布曲(雁石坪)高达 165.9mm,相当于我国东部长江流域一些河流的径流深。

表 4-1-1 长江河源区主要河源支流降水量与径流量

降水量以 mm 计
径流量以亿 m³ 计

河流	月 份		1	2	3	4	5	6
	分	类						
楚玛尔河 (大桥)	降水		0.7	1.0	1.5	3.1	12.9	39.4
	径流量		0.012	0.002	0.002	0.031	0.092	0.112
沱沱河 (大桥)	降水		1.0	1.4	1.7	4.4	16.6	47.9
	径流量		0.013	0.006	0.008	0.158	0.396	0.879
布曲 (雁石坪)	降水		1.0	1.6	2.4	9.3	24.1	70.1
	径流量		0.149	0.138	0.157	0.183	0.242	0.635
通天河 (直门达)	降水		4.7	5.0	7.4	17.7	61.4	101.3
	径流量		1.74	1.57	1.89	3.89	6.80	13.5
河流	分 类	7	8	9	10	11	12	全年
楚玛尔河 (大桥)	降水	80.2	68.7	33.2	5.6	0.8	0.5	247.6
	径流量	0.316	0.611	0.695	0.396	0.129	0.058	2.46
沱沱河 (大桥)	降水	87.6	68.4	39.8	9.8	0.4	0.6	279.6
	径流量	1.93	2.70	1.60	0.461	0.093	0.036	8.28
布曲 (雁石坪)	降水	110.3	86.8	51.9	11.4	1.3	1.2	371.4
	径流量	1.67	2.18	1.35	0.461	0.215	0.142	7.52
通天河 (直门达)	降水	110.6	95.9	76.4	28.6	2.8	1.3	513.1
	径流量	25.7	25.0	21.5	11.0	2.17	2.07	119

三、环境地质条件

长江河源区处于最近一次强烈的大规模地壳变动——喜马拉雅造山运动隆起形成的高原的核心部分，唐古拉山和昆仑山之间，以三迭系、侏罗系、二迭系、第三系和第四系海—陆交互相沉积为主，厚度大，普遍受到区域浅变质作用的影响，以楚玛尔河—通天河断裂带为界，北部二迭系、三迭系特别发育，二迭系由碎屑岩和碳酸盐岩石组成，三迭系以碎屑岩为主，受区域浅变质作用，楚玛尔河—通天河断裂带以南，海相侏罗系分布广，厚度大，为紫红色碎屑岩夹泥灰岩，石灰岩分布广泛。此外，还分布有三迭系，第三系和石炭系地层，三迭系以碳酸盐岩石为主，下部为红色碎屑岩未受区域变质作用。在沱沱河和尕斯库勒河源和沿通天河南岸有零星小块花岗岩侵入，由灰及灰白色中及粗粒黑云母花岗岩及花岗闪长岩组成。从整个河源区看，地质条件比较单一，以碎屑岩分布最为广泛。主要成分为砂岩，近唐古拉山区有较多石灰岩出露，这些岩石的微量金属元素含量多很低，其风化产物为河流提供的微量金属元素是不丰富的。

四、土壤与植被

由于长江河源区高寒常年低温的气候，寒冻风化和融冻作用为主导，再加隆起历史短，土壤表现为年青性，矿物风化程度浅，土壤剖面分化简单，土壤近期发育恶化，表现为土壤粗骨化、砂砾化、土层很浅，主要发育成高山冰沼土、荒漠石质土和高原草甸沼泽土，较干旱的气候还使土壤普遍不同程度的盐渍化，除沱沱河流域稍高外，土壤含盐量不高，以 NaCl 和 MgSO₄ 为主要类型。高寒的气候环境也限制着植物区系的发生和发育，形成寒旱特殊生态现象，河源区范围内森林消失，灌木矮化，多贴地生长，根系密结，生物产量低。青藏公路向东南方向发育着面积广阔的草甸草原，以矮蒿草甸草场、藏蒿草甸草场、

高山灌丛草甸草场组成,生长着藏蒿草、苔藓地衣、浅叶蒿草、凤毛菊、金莲花、雪莲等耐寒植物,牧草生长缓慢,植株矮小,但因阳光充足,草含蛋白质丰富,粗脂肪高,草质良好。

五、地球化学特征

自然历史发育的年青性和向高寒、干旱、缺氧的发展过程是控制该地区物质迁移转化和形态的主导地球化学因素,形成一种地球大陆独特的化学地理环境。其特征是以寒冻风化和融冻作用,单纯的热力胀缩过程和岩隙水分反复冻胀形成的剥裂作用为主的强烈物理风化作用,矿物风化程度浅,物质移动缓慢,主要以颗粒物理迁移为主,土壤淋溶作用甚弱,季节短,强烈的蒸发导致土壤元素向表层富积,土壤通体有强烈石灰反应,整个剖面有碳酸盐存留。生物物理循环过程缓慢,腐殖化程度低。矿化不彻底,淋溶作用弱。由于地表径流低而滞缓,侵蚀和搬运能力弱,河流中元素的迁移主要集中在短暂汛期。以颗粒态为主进入水体。由于化学风化作用弱,为河流提高的游离、胶体态元素的量少,河流水体中溶解态元素的浓度比一般河流比例低。

第二节 河源区水体理化性状及其地球化学特征

一、水温和溶解氧

长江河源区常年气温低,海拔高造成水温和气压低,它们成为影响和决定水温、水中溶解氧含量的主要因素,形成了长江河源区独特的水温和溶解氧特征。

据多年实测及推算,长江河源区水系河水的水温是我国最低的地区,楚玛尔河至布曲的河流,最高月水温(楚玛尔河站、沱沱河站、雁石坪站)都在 7.1°C 以下,最低月均水温在 0.0°C 。10月至翌年4月都在 0.3°C 以下,全年月均水温低于 2°C 。1984年日均最高水温出现在8月为 $9.0-9.2^{\circ}\text{C}$ 。沱沱河(沿)站最高月均水温仅 7.1°C ,从10月至翌年4月均水温都在 1.0°C 以下。

长江河源区河水溶解氧的含量,同水温和气压低两个因素的影响密切相关。实测含量范围在 $5.8-12.2\text{mg/L}$ 。水温低应使溶解氧增加,但由于气温低,空气中含氧量降低,与同海拔高度的地区相比,溶解氧减少 $1/3$ 以上。

长江河源区河流水体水温和溶解氧低,使水中有机质的矿化速度慢,而不彻底,氧化能力弱,化学风化、元素的释放速率都较低。

二、pH

长江河源区的河水实测 pH 范围在 $7.3-9.5$,有一定的区域分异,河水 pH 的变化主要受河水 HCO_3^- (含 CO_3^{2-}) 的浓度影响,在一定范围内,随 HCO_3^- 含量增加而增加。但随矿化度增加 SO_4^{2-} 和 Cl^- 逐渐成为主要阴离子。pH 趋于降低,在长江河源区 pH 高值在矿化度为 300mg/L 左右。河水的矿化度和流域的降水量、干燥度密切相关。因此,河源区河水 pH 有明显的地区分异。沱沱河及以北地区的降水量在 $200-300\text{mm}$,河水矿化度高, pH 在 8.0 以上、 9.0 以下。沱沱河以南降水量在 400mm 左右,河水矿化度低,河水的 pH 一般在 8.0 以下,但北近昆仑山和南近唐古拉山的河流 pH 高到 9 以上。

河源温泉水 pH 在 5.0 左右,同含 SO_4^{2-} 有关。沱沱河岸外的井水 pH 在 8.0 左右,因 Cl^- 占优势。降水的 pH 在 $8.0-7.0$ 左右。

三、水的离子组成

按 O. A. 阿列金的划分标准,长江河源区河水,从低矿化水($<200\text{mg/L}$)到高矿化水($>1000\text{mg/L}$)各种矿化程度河水都有,沱沱河以北除近昆仑山麓源于冰雪融水补给的河流外,其矿化度都属高矿化度水,矿化度高达 $1440\text{—}2896\text{mg/L}$ 。沱沱河的矿化度为 686mg/L ,属中等矿化度河水,沱沱河以南河流河水的矿化度在 $196.8\text{—}312.3\text{mg/L}$,大部为低和中矿化度水,且越向南,越近唐古拉山的河水,矿化度越低,布曲上游河水的矿化度仅 106.6mg/L 。

四、河水的化学类型

长江河源区河水化学类型与矿化度的变化密切相关,河水的矿化度较低时($<300\text{mg/L}$),以 $[\text{C}]^{\text{H}}$ 和 $[\text{C}]^{\text{S}}$ 为主,当河水矿化度超过 300mg/L 以上时,河水变为 $[\text{Cl}]^{\text{H}}$ 水。而表层潜水为 $[\text{S}]\text{Ca}$ 或 $[\text{S}]\text{Na}$ 水,与地层广泛出现石膏层有关。

五、硬度

长江河源区河水的硬度变化较大,按通常的分类方法,从软水到硬水并存,河水硬度范围在 $4.1\text{—}22.5$ 度(德),大部分河流河水硬度在稍硬水 $3\text{—}16$ 度(德)范围,沱沱河水的硬度为 11.0 度(德),其以北的河流,除源于昆仑山冰雪融水,并流经山麓的河流外,河水的硬度明显高于南部,范围在 $11.8\text{—}22.5$ 度;而流经昆仑山麓的育岗欠陇巴曲(不冻泉)的硬度为 7.9 度;沱沱河以南的河流河水的硬度明显降低,范围在 $7.4\text{—}9.6$ 度,介于稍硬水与软水范围。长江河源区河水硬度和河水的矿化度有关,越接近山麓河水矿化程度越低,水质越软。如唐古拉山上坡的巴斯错湖出口处水的硬度仅 4.1 度。表层潜水的硬度一般较大,如沱沱河沿的井水硬度高达 81.6 度,河源东部河水的硬度较西部、沱沱河以北的河流低,稍高于以南的河流,但一般不超过 10 度,通天河(直门达)河水的硬度为 11.1 度,属稍硬水,在河源西部区各河流水硬度的中值范围。

六、化学耗氧量

1987 年和 1988 年的河源区主要河流河水化学耗氧量的测定表明,河源区河水化学耗氧量变化大,但大多数河流不高,一般范围在 $0.72\text{—}4.21\text{mg/L}$,大多数河流在均值 1.76mg/L 左右,沱沱河在 1.31mg/L 以下,育岗欠陇巴曲(不冻泉)河水最低,小于 1.0mg/L ,敦幸加陇曲最高,为 4.21mg/L 。

七、河水的地球化学特征

受高海拔低温、低压、低含氧量自然环境的影响,形成较特殊的水的地球化学特征。水温低,使化学风化和有机质的矿化速率低,在几乎完全无人污染影响,植物产度甚低的情况下,河水化学耗氧量相对偏高。溶解氧含量低,氧化能力弱,还可能使水中亚氧化物比例增加。pH 高,水中化学元素迁移能力弱。由于长江河源区面积辽阔,水热条件差异较大,河水化学状态有明显的区域分异,沱沱河及以北、昆仑山麓以南的河流河水溶解氧含量更低,矿化度高,碱性强,为酸碱缓冲能力差的沉积性水,水质恶劣。沱沱河以南的河流越近唐古拉山的河流河段,河水含氧量越丰富,pH 适中,水质软,化学耗氧量低,对酸和碱都具有一定的缓冲能力,水质明显好于以北的河流,符合饮用水、供水水质标准。长江河源区河流水化学条件既是长江河源自然因素的综合反映,又是制约和影响河流水体元素背景值区域特征的基本因素。

第三节 河源区水系水体元素的含量与背景值

长江河源水系是由昆仑山至唐古拉山间一系列小水系组成,主要有楚玛尔河、北麓河、沱沱河、尕儿曲、布曲、当曲等。由于地势高,低温寒冷,降水量低,年均降水量仅 221—319mm,化学风化浅弱,碎屑岩分布广泛,微量元素含量较低,这些条件使以溶质进入河流水体的元素丰度低。

一、河源水系中元素的含量

表 4-3-1 列出的河源水系河流及其他类型水体元素的天然丰度,它们具有以下特征:

1. 同种元素在不同水体水中的浓度变化较大

有的元素浓度相差 1—2 个数量级以上,如尕儿曲(曲即河流之意)原水(总量)Cu、Pb、Zn、Cd、Cr 等元素的浓度较其他一些河流河水高 1 个多数量级,其 Pb 的浓度是布曲(兵站)和青岗欠龙巴(巴意为河流,样点位于不冻泉)的 11 倍以上。河水中同种元素溶解态的浓度变化虽较明显,但都在同一数量级范围,一般低于 5 倍。沉积物同种元素的浓度变化相对更小,一般不超过 2—3 倍。

2. 不同河流水体水中元素的浓度变化悬殊

表 4-3-1 还表明各河流水体元素浓度相差很大,尕尔曲与沱沱河水中大多数元素的浓度,如:Cu、Pb、Zn、Cr、As、V、Fe、Mn 等都显著高于其他河流。冰川融雪补给的山坡湖泊和以山泉补给为主的流程较短的河流,河水中元素的浓度一般都较低,原水中元素的浓度变化和其沉积物元素浓度的变化大都相应一致。

利用中子活化分析的稀土元素 La、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Yb、Lu;稀有元素 Cs、Rb、Nb、Sc;分散元素 Sr 和 Pa;放射性核素 U 和 Tb(表 4-3-2)等也显示出各河流水体同种元素的含量变化很大。河水(元素总量)中 Rb、Cs、Th、La 等元素的含量都以楚玛河最低,其浓度变化范围达 4 个数量级,Sb、Sc、Ce、Nd、Sm、Eu、Yb、Lu 达 3 个数量级,Tb、U、Ba、Sr 亦达两个数量级。以溶解态存在的这些元素含量变化范围亦相对较小,但也可达两个数量级。

3. 沱沱河水 As 的含量异常

1987 年样品分析发现沱沱河水中 As 的浓度异常高,1988 年 7 月一昼夜连续 5 次采样,采样间隔 5—6 小时。1987 年和 1988 年的连续 5 次采样分析结果都表明,沱沱河水含 As 量异常高,1987 年河水 As 的浓度为 $29.60\mu\text{g/L}$,其中溶解态 As 的含量为 $28.31\mu\text{g/L}$,较其他河流湖泊高一个数量级。1988 年 5 次连续采样测定值,As 的平均浓度高达 $34.98\mu\text{g/L}$,其变幅不大,其溶解态 As 的浓度高达 $33.40\mu\text{g/L}$,占河水总 As 量的 94%,即主要为溶解态的 As。这在我国许多河流中实属罕见,我国黄河水含砷量高,但都在 $10\mu\text{g/L}$ 以下,而且 90% 以上是悬浮颗粒态的 As。根据沉积物矿物分析结果,沱沱河沉积物中并未发现含 As 高的矿物。温泉水 As 的浓度高达 $55.43\mu\text{g/L}$,地下水含 As $25.60\mu\text{g/L}$,据此推测沱沱河水中 As 的浓度高,可能和温泉与地下水的影响有关。

4. 温泉水和浅井水含 As、Fe 和 Mn 明显高于河水

表 4-3-1 列出的温泉水和浅井水的数据是未通过 $0.45\mu\text{m}$ 滤膜过滤的水,这两种水为地层和土层渗滤水,颗粒物的影响较小,温泉水的浊度为 16mg/L ,表明颗粒物没有多大影响,这两种水虽未过滤,根据其成因特点,原水中的元素主要为溶解态和胶体,因此可与

表 4-3-1 长江河源区不同环境类型水体元素背景值

单位:水样 $\mu\text{g/L}$ 沉积物 mg/kg

元素	样品	水 体									
		青岗欠 龙巴曲 (不冻泉河)	楚玛尔河	沱沱河	尕尔曲	布曲(兵站)	唐古拉山湖	唐古拉温泉	沱沱河 沿井水	通天河 (黄门达)	各曲(玉树)
Cu	A	1.68	2.23	7.31	23.11	3.59	2.23	0.73	3.04	6.03	0.42
	B	0.77	0.59	1.18	0.41	0.54	0.76	—	—	0.55	0.34
	C	26.88	11.25	14.85	15.50	17.86	16.06	—	—	17.26	17.26
Pb	A	4.28	14.38	20.66	57.10	4.84	5.34	4.01	0.065	2.38	0.85
	B	2.57	4.24	0.93	0.77	0.50	3.78	—	—	1.21	0.55
	C	9.54	4.75	10.43	16.9	13.76	13.20	—	—	9.82	14.33
Zn	A	3.51	3.62	25.00	32.60	5.32	1.78	1.88	5.40	11.70	3.08
	B	0.91	1.34	1.80	0.44	0.36	0.18	—	—	3.24	2.24
	C	54.78	27.40	67.18	73.12	66.11	50.76	—	—	54.10	67.78
Cd	A	0.008	0.075	0.084	0.064	0.036	0.140	0.015	0.040	0.039	0.009
	B	0.005	0.061	0.020	0.021	0.004	—	—	—	0.005	0.005
	C	0.080	0.053	0.320	0.110	0.120	0.066	—	—	0.440	0.12
Cr	A	10.01	4.51	21.06	48.84	22.06	4.97	0.45	0.208	8.52	0.93
	B	0.155	0.303	0.261	0.120	0.222	0.332	—	—	0.461	0.335
	C	42.40	14.7	28.6	23.2	34.7	30.68	—	—	37.80	77.5
Ni	A	0.871	5.60	2.89	6.05	1.46	0.43	—	2.36	0.48	0.32
	B	0.608	1.79	0.22	0.05	0.05	0.40	—	—	0.12	0.22
	C	24.69	11.95	20.04	20.40	20.44	26.81	—	—	18.32	22.56
Co	A	0.52	1.16	0.47	3.21	1.19	0.71	0.25	0.61	0.66	0.195
	B	0.50	0.32	0.16	0.17	0.32	0.26	—	—	0.56	0.169
	C	24.00	15.21	14.85	13.50	19.00	21.50	—	—	16.50	—

续表

水 体		青岗欠 龙巴曲 (不冻泉)	楚玛尔河	陀陀河	尕尔曲	布曲(兵站)	唐古拉山湖	唐古拉温泉 (巴斯错)	陀陀河 沿井水	通天河 (直门达)	各曲(玉树)
元 素	样 品										
Hg	A	0.003	0.007	0.102	0.052	0.012	0.196	0.005	0.002	0.003	0.005
	B	0.001	0.004	0.003	0.023	0.004	0.005	-	-	0.002	0.001
	C	0.01	0.015	0.015	0.012	0.069	0.017	0.017	-	0.011	0.020
As	A	2.107	11.01	29.06	9.12	2.40	2.11	55.43	25.60	2.34	0.72
	B	0.101	1.120	28.31	1.04	1.20	0.471	-	-	1.84	0.18
	C	13.40	6.53	29.24	15.47	49.43	49.4	-	-	15.26	-
Fe	A	2425	2395	5232	9745	3651	1340	184	174	2506	184
	B	8.48	9.11	16.10	9.37	130.4	25.95	-	-	11.45	3.45
	C	18890.8	6154.2	9789	12632	20250	16501	-	-	-	-
Mn	A	77	92	229	500	163	92	63	172	88	7.49
	B	2.75	2.06	3.55	2.51	5.51	1.19	-	-	0.86	0.30
	C	494	279.5	377	533	459	565.5	-	-	481	156
Mo	A	1.83	1.83	0.967	0.111	0.67	1.08	0.86	2.87	1.33	1.49
	B	1.57	2.53	0.806	0.058	0.64	0.61	-	-	1.71	1.37
V	A	4.59	5.23	64.5	11.09	5.27	2.19	6.14	5.65	3.71	0.11
	B	0.14	0.13	0.43	0.21	0.21	0.39	-	-	0.18	0.04
Se	A	0.108	0.590	0.117	0.194	0.63	0.06	0.04	2.78	0.141	0.24
	B	0.088	0.590	0.107	0.082	0.04	0.03	-	-	0.130	0.23
F	A	0.18	0.29	0.29	0.17	0.06	0.06	4.24	-	0.18	0.18
P	A	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.05	-	0.14	0.02
N	A	0.53	0.77	1.52	0.75	0.37	1.12	1.90	9.74	0.33	1.66

注:A——原样水;B——过滤水;C——沉积物。

表 4-3-2 河源区主要河流水和沉积物稀有稀土元素浓度(单位: 水样 $\mu\text{g/L}$, 沉积物 mg/kg)

元素		样品类型		河 流									
				沱沱河	北麓河	敦幸加陵曲	阿尺曲	朵尔曲	布曲 (雁石坪)	班 曲	布 曲 (温泉兵站)	楚玛尔河	青岗欠 龙巴曲 (不冻泉)
Rb	A	111	160	13	184	166	114	17.7	56.4	2.9	11.3	0.9	19
	B	59	6.4	0.8	9.1	6.9	2.7	1.0	4.4	1.3	0.4	0.6	6.9
	C	75	71	51	127	125	88	87	93	25	75	85	55
	D	88	87	66	90	115	98	89	96	78	74	105	64
Cs	A	44	19.6	1.1	18.4	33.3	25.9	2.8	14.6	0.26	1.19	0.06	10.5
	B	25	0.5	0.02	0.44	1.2	0.9	0.4	1.5	0.03	0.02	0.05	1.0
	C	5.0	5.0	6.0	9.0	6.7	11.2	13.3	14.9	1.4	5.0	5.7	4.1
	D	5.0	5.0	6.3	6.3	8.3	14.9	17.2	18.2	6.2	5.0	1.0	5.5
Sr	A	2340	4600	1460	5300	780	760	1100	550	2000	710	500	1550
	B	2220	4000	1110	4340	530	510	1000	450	2120	660	470	1330
	C	690	170	230	300	460	180	180	180	110	240	170	240
	D	620	310	190	450	430	220	260	300	250	320	130	100
Ba	A	211	560	172	700	480	360	97	152	63	87	37	177
	B	82	110	103	110	49	42	32	42	60	42	34	65
	C	630	430	390	630	670	330	300	340	330	400	380	340
	D	310	450	350	480	700	840	410	410	430	340	410	380
Sb	A	0.07	1.91	0.40	2.40	4.92	3.86	1.10	1.95	0.18	0.43	0.09	0.007
	B	0.07	0.26	0.08	0.16	0.47	0.58	0.39	0.43	0.12	0.19	0.08	0.07
	C	1.3	0.7	0.8	0.5	2.7	4.2	4.1	4.9	0.5	1.7	1.3	1.0
	D	2.8	1.1	0.9	0.9	4.4	4.7	4.7	5.1	1.5	1.7	1.2	1.3
Sc	A	3.2	14.5	0.67	15.8	8.9	8.5	1.5	3.6	0.22	1.3	0.064	3.5
	B	0.004	0.025	0.001	0.003	0.005	0.002	0.001	0.003	0.001	0.002	0.052	0.001
	C	3.6	4.5	5.4	3.2	4.1	6.4	5.8	6.6	1.5	9.5	8.0	6.0
	D	7.6	7.8	7.0	7.9	6.1	9.8	8.3	8.7	9.3	9.2	8.0	7.4
U	A	3.0	5.5	1.2	4.9	4.2	2.3	0.7	1.1	1.7	1.5	1.2	2.3
	B	2.0	2.1	1.0	2.1	1.5	0.5	0.4	0.5	1.7	1.3	1.2	1.5
	C	1.8	1.9	1.7	1.0	2.0	1.8	2.1	2.0	6.7	2.0	2.1	1.7
	D	1.3	3.3	2.0	2.6	3.0	4.3	3.1	3.7	3.7	3.5	2.7	3.4
Th	A	3.7	13.1	0.63	15.1	12.8	9.1	1.5	4.2	0.2	0.8	0.02	3.5
	B	...	0.03	...	...	...	...	...	...	0.01	...	0.008	0.013
	C	9.3	8.6	5.6	11.4	8.3	7.1	7.5	80.9	2.2	9.3	8.6	5.6
	D	11.2	10.3	10.7	10.8	10.8	15.6	11.3	15.4	13.1	11.2	10.3	10.7

续表

元素	河流		沱沱河	北麓河	敦草加 陡曲	阿尺曲	尔尔曲	布曲 (雁石坪)	班曲	布曲 (温泉兵站)	楚玛尔河	青冈欠 龙巴曲 (木冻泉)	各曲 (玉树)	通天河 (直门达)
	样品类型													
La	A	8.5	38.9	2.8	10.5	25.2	23.6	4.6	10.5	0.79	2.0	0.08	9.7	
	B	0.7	0.16	—	0.12	0.02	0.02	0.007	0.02	—	0.012	0.012	—	
	C	21	24	22	14	25	24	29	29	9	39	29	22	
	D	16	18	22	30	94	55	41	47	49	46	37	45	
Ce	A	14.5	65	5.1	76	44	43	8.0	19.3	1.4	3.8	0.27	16.7	
	B	—	—	0.1	0.2	0.2	—	—	—	0.13	—	0.25	—	
	C	31	39	35	26	38	42	43	47	15	69	4.7	84	
	D	53	84	35	47	147	94	66	80	83	82	63	78	
Nd	A	7.8	32.2	2.3	40.3	20.0	25.6	4.7	10.5	0.7	1.36	0.10	7.3	
	B	2.8	—	0.5	—	—	—	—	—	—	0.38	0.38	—	
	C	15	18	23	13	20	21	19	19	7	49	37	16	
	D	27	42	25	30	84	41	33	46	14	46	34	48	
Sm	A	1.3	5.9	0.57	5.5	3.6	4.0	0.77	1.77	0.10	0.38	0.02	1.47	
	B	—	—	—	—	0.005	—	—	—	—	—	—	—	
	C	2.9	3.9	4.0	2.4	3.2	3.6	4.5	4.4	1.4	5.8	4.6	3.3	
	D	2.3	7.3	3.9	5.0	7.8	9.4	5.8	7.0	7.8	7.6	5.7	7.2	
Eu	A	0.24	1.05	0.11	1.18	0.73	0.74	0.14	0.31	0.02	0.013	0.002	0.29	
	B	—	—	0.003	0.004	0.003	0.004	0.002	—	—	—	—	—	
	C	0.71	0.69	0.76	0.53	0.72	0.79	0.78	0.88	0.26	1.79	1.57	0.99	
	D	1.03	1.24	0.81	0.85	1.57	1.36	1.08	1.19	1.29	2.11	1.73	1.86	
Tb	A	0.14	0.88	0.07	1.00	0.48	0.62	0.11	0.22	0.02	0.03	0.01	0.17	
	B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	C	0.40	0.62	0.58	0.38	0.40	0.55	0.68	0.64	0.19	0.88	0.82	0.26	
	D	0.79	1.14	0.62	0.74	1.40	1.37	0.93	1.04	0.99	1.10	0.90	0.02	
Yb	A	0.39	2.2	0.15	2.5	1.4	1.6	0.28	0.69	0.03	0.25	0.011	0.57	
	B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	C	0.90	1.7	1.4	0.8	1.0	1.5	1.8	1.7	0.3	3.0	3.7	2.5	
	D	1.7	2.8	1.6	1.7	4.9	3.6	2.5	2.8	3.2	4.6	4.1	3.9	
Lu	A	0.09	0.39	0.025	0.42	0.23	0.25	0.050	0.11	0.007	0.034	0.004	0.084	
	B	—	0.006	—	0.009	0.006	0.003	0.003	0.005	—	0.004	0.002	0.004	
	C	0.13	0.27	0.22	0.14	0.17	0.23	0.27	0.22	0.10	0.41	0.44	0.29	
	D	0.31	0.45	0.25	0.29	0.89	0.56	0.36	0.43	0.52	0.64	0.48	0.55	

注:A—原水;B—过滤水;C—沉积物(100日);D—沉积物(240日)。

注: A—原水; B—过滤水; C—沉淀物(100目); D—沉淀物(240目)。

河流水体过滤水对应比较,温泉水 As 浓度高达 55.43 $\mu\text{g/L}$,浅井水 As 浓度 25.60 $\mu\text{g/L}$,从中可发现温泉水和浅井水中含 As 异常高。此外,Fe 和 Mn 浓度也较高,温泉和浅井水 Fe 的浓度分别为 184 $\mu\text{g/L}$,Mn 的浓度分别 63 $\mu\text{g/L}$ 和 172 $\mu\text{g/L}$ 。

5. 河水中 N 和 P 的天然浓度与形态异常

氮素化合物在河水中是不稳定的,进入河流中的氮素多为有机氮形态,受微生物的分解作用,逐渐变成较简单的化合物再转化成氨,最后分解形成硝酸盐态氮。通过氨态氮转化为硝态氮的过程可以帮助了解河水有机质自净的状态,水中氨态氮大部分是动物性来源,长江河源区河水中的氮素来自长江河源自然环境,包括野生动物,人为的影响极小。因此对长江河源区河流中氮素的测定,在很大程度上反映了它的自然背景状况。

表 4-3-3 列出了长江河源区主要河流与湖泊等水体水中总氮量,氨态和硝态氮的含量及磷的含量,它反映了长江河源区河水中氮素有如下几个特征:

表 4-3-3 长江河源区河水中氮的含量

河流名称	采样地点	N(NO ₃ ⁻)		N(NH ₄ ⁺)		总氮 mg/L	总磷 mg/L
		含量 mg/L	占总量的 %	含量 mg/L	占总量的 %		
青岗穴龙巴河	不冻泉	0.38	66	0.2	34	0.58	0.007
楚玛尔河	楚玛尔河水文站	0.47	61	0.3	39	0.77	0.007
北麓河	公路桥	0.28	19	1.2	81	1.48	0.057
敦宰加陇曲	公路桥	0.14	10	1.3	9.0	1.44	0.007
阿尺曲	公路桥	2.84	83	0.6	17	3.44	0.007
沱沱河	沱沱河镇	0.22	14	1.3	86	1.52	0.0214
杂儿曲	布曲汇合点上	0.25	33	0.5	67	0.75	0.0214
布曲	雁石坪	0.14	11	1.1	89	1.24	0.0143
班尔曲	唐古拉兵站	0.42	38	0.7	62	1.12	0.0143
布曲	温泉兵站	0.13	25	0.4	75	0.53	0.0140
布曲	老唐古拉兵站	0.17	46	0.2	54	0.37	0.0140
各曲	玉树	0.56	34	1.1	66	1.66	0.0214
通天河	直门达	0.23	70	0.1	30	0.33	0.0143
歇武	歇武村上	0.48	83	0.1	17	0.58	-
沱沱河井水	沱沱河镇	9.64	99	0.1	1	9.71	-
温泉	老唐古拉兵站	1.60	84	0.3	16	1.90	0.050
巴斯错湖	唐古拉山坡	0.60	55	0.5	45	1.10	0.007

(1)河水中总氮含量很高,大部分河流河段和其他水体水中总氮量超过 1.0mg/L,河水的变化范围 0.33—3.44mg/L,中值在 1.44mg/L,比同年长江(武汉)、黄河(济南)、珠江高 0.5—2 个数量级。

(2)长江河源河水除阿尺曲、楚玛尔河外,氮素主要以氨氮 N(NH₄⁺) 存在,由 [N(NH₄⁺)] 转化为 [N(NO₃⁻)] 的数量一般低于 50%,多在 20% 左右,这表明河水在从地表径流汇集进入河流的和流程中尚处于有机物的转化进行中,河水中尚存相当比例的未转化物。

河源东部区流程较长、流量较大的各曲与西部区的河流总氮的转化状况相近,流程短、流量小的歇武曲总氮和转为 N(NO₃⁻) 的量亦较大。通天河(直门达)总氮量转化率较

高,60%以上为硝酸盐态氮。这是由于东部气温和水温升高,通天河汇合上游支流后,流程长,氮素在转化过程中去除并大部分转化为硝酸盐氮。

(3)长江河源区水体中无论是总氮量还是转化率都有明显的变化,近南部和北部山麓的河流河水中总氮量低,并多转化为硝态氮,中部的河流河水总氮量高,转化速率低,主要以氨态氮存在。井水和温泉水氮的总量高,且主要以硝酸盐态存在,系矿物溶解而来。

长江河源区夏季最高日温也不足 10°C ,长年低温,对氮素有机物质的转化分解缓慢,使水中总氮量很高和处于含氮有机质转化的初级阶段,河水中的氮素主要以中间产物 $[\text{NH}_4^+]$ 存在。这与我国其他地区差异很大。

长江河源区河水都含有微量的P,含量范围在 $0.007-0.057\text{mg/L}$ (表4-3-3),沱沱河以北的河流河水中的P含量较低,在 0.007mg/L 。沱沱河及杂儿曲河水含P在 0.0214mg/L ,班曲与布曲水系在 0.0140mg/L 左右,河源东部通天河(直门达段)河水P含量为 0.0143mg/L ,各曲为 0.0214mg/L 。河源区水中P的分布有一定的区域差异,即河源北部的河水含P最低,中部最高,南部略高于北部,东部河水含P与河源南部接近。长江河源区河流沉积物重矿物中普遍含有富P矿物,磷灰石的含量除各曲外,其他河流沉积物中含磷灰石占重矿物 $1.61\%-6.80\%$,显然,长江河源区水系流域磷灰石矿物的普遍存在为河水中P提供了丰富的来源,但在河水中受水体的理化条件的影响,发生迁移转化,使河水中P的含量发生分异。

6. 河水溶解态元素的含量

表4-3-1列出的长江河源区水系河水过滤水样元素的浓度,其中Cr、Hg、Mo、V呈算术正态分布,其他元素呈对数正态分布。与国内外有关数据比较,表明大部分元素的浓度比世界河水过滤水样均值和我国东部河水过滤水样中的元素明显偏低,如我国东部河水过滤水中的Cu浓度多在 $1.0\mu\text{g/L}$ 以上,长江河源水系为 $0.63\mu\text{g/L}$;Zn在 $1.60\mu\text{g/L}$ 以上,长江河源水系为 $0.68\mu\text{g/L}$;Pb在 $0.84-1.0\mu\text{g/L}$,长江河源水系为 $0.76\mu\text{g/L}$;Cd在 $0.05\mu\text{g/L}$ 以上,而长江河源水系在 $0.015\mu\text{g/L}$;Hg在 $0.0n\mu\text{g/L}$ 范围,长江河源水系则在 $0.00n\mu\text{g/L}$ 范围,Cr在 $0.65\mu\text{g/L}$ 以上,河源水系在 $0.26\mu\text{g/L}$;Fe在 $32.0\mu\text{g/L}$ 以上,河源水系在 $12.5\mu\text{g/L}$ 。河源水系河水中的Mn、Mo、Co等也偏低,但As在河水均值范围,Se较我国东部过滤水中的浓度高。河源水系河水中的稀有稀土元素的背景值在世界淡水和我国若干河流范围内(表4-3-4),但La、Nd、Sr、Ba、Lu趋向偏高,它同北麓河、阿尺曲过滤水中这些元素的浓度偏高有关。

二、河源水系河流沉积物元素的背景值

长江河源水系河流沉积物(表4-3-5)和 $<63\mu\text{m}$ 细粘部分的沉积物元素背景值(表4-3-6)变化范围较水相都小,最多不超过4倍。同国内外,特别是同我国一些河流比较,元素背景值水平,除As明显高,Cd、Hg明显低外,其他元素都在一般河流沉积物的中值范围或略有偏低的趋势。 $<63\mu\text{m}$ 细微颗粒部分较沉积物原样中的元素浓度都有不同程度的增加,其增加40%左右的有Cr、Hg、Cd、Fe、Co、Pb,增加20%左右的有Ni、Cu、Mn,增加最少的为Zn,增加不足10%,这种现象表明通过细微颗粒吸附作用富集于沉积物的元素量,因元素的不同而异,但总的来看都不显著,即沉积物原样和由天然机械磨蚀生成的细微颗粒部分的元素含量变化不很大。

稀有稀土元素(表4-3-7)与世界沉积物平均值接近(4-3-9),大部分元素也与松花江

表 4-3-4 河源区河水过滤水稀有稀土元素背景值特征统计表

单位: $\mu\text{g/L}$

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Rb	13	对数正态	7.7	15.6	2.6	4.4	0.4	2.7	8.4	2.6	0.4—17.2
Cs	13	对数正态	2.3	6.7	0.30	8.0	0.02	0.44	1.39	0.30	0.02—4.35
Sr	13	对数正态	1457	1357	993	2.5	275	1000	3466	993	300—3260
Ba	13	对数正态	62	30	56	1.6	31	49	108	56	30—102
Sb	13	对数正态	0.23	0.18	0.18	2.2	0.07	0.16	0.46	0.18	0.07—0.48
Sc	13	对数正态	0.008	0.015	0.003	3.44	0.001	0.002	0.019	0.002	0.001—0.019
U	13	正态	1.3	0.63	1.1	1.8	0.4	1.3	2.1	1.3	0.4—2.1
Th	4	正态	0.014	0.011				0.012		0.014	0.001—0.029
La	3	正态	0.13	0.03	0.12	1.3	0.03	0.12	0.15	0.13	0.09—0.17
Ce	6	对数正态	0.16	0.06	0.15	1.48	0.06	0.17	0.22	0.15	0.09—0.25
Nd	3	正态	0.39	0.09				0.44		0.39	0.3—0.5
Sm	1									0.005	
Eu	5	对数正态	0.003	0.008	0.003	1.3	0.001	0.003	0.004	0.003	0.002—0.005
Tb											
Yb	1									0.03	
Lu	9	对数正态	0.005	0.002	0.004	1.6	0.002	0.004	0.006	0.004	0.002—0.008

表 4-3-5 长江河源区河流沉积物元素背景值特征统计表

mg/kg(Fe 为%)

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	12	正态	17.37	3.44	17.07	1.22	11.97	16.98	20.03	17.37	12.93 21.81
Pb	12	正态	10.91	2.98	10.48	1.36	5.62	10.49	13.70	10.91	7.06 14.75
Zn	12	偏态	61.50	11.79	59.98	1.30	32.74	65.28	68.32	65.28	32.74—68.32
Cd	12	对数正态	0.123	0.069	0.110	1.623	0.051	0.115	0.152	0.110	0.059--0.206
Hg	12	偏态	0.024	0.020	0.019	1.941	0.010	0.015	0.054	0.015	0.010 0.054
As	12	正态	18.06	8.10	16.30	1.63	7.01	15.6	28.79	18.06	7.62 28.51
Co	12	正态	17.31	3.51	16.98	1.23	11.5	17.35	20.45	17.31	12.79 21.84
Ni	12	偏态	20.97	3.40	20.66	1.21	13.22	21.5	24.27	21.5	13.22—24.27
Cr	12	正态	35.96	14.05	33.56	1.48	16.4	33.95	54.88	35.96	17.83 54.08
Mn	12	偏态	482.17	81.71	474.41	1.22	299.4	497.5	543.4	497.5	299.4 543.4
Fe	12	正态	1.44	0.50	1.35	1.47	0.68	1.35	2.07	1.44	0.79 2.09

表 4-3-6 长江河源区河流沉积物 $<63\mu\text{m}$ 部分的元素背景值特征统计表

mg/kg(Fe 为%)

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	11	正态	23.17	2.88	23.00	1.14	18.68	23.80	26.70	23.17	19.46--26.88
Pb	11	正态	15.61	5.62	14.69	1.45	7.77	14.33	23.44	15.61	8.36--22.86
Zn	11	偏态	73.53	22.81	70.14	1.40	34.62	72.12	97.85	72.12	34.62--97.85
Cd	11	对数正态	0.202	0.120	0.171	1.849	0.072	0.15	0.32	0.171	0.078--0.379
Hg	11	偏态	0.043	0.037	0.034	1.950	0.018	0.024	0.085	0.024	0.018--0.085
As	11	正态	23.65	14.43	20.51	1.73	9.97	18.55	32.10	23.65	5.04--42.26
Co	11	正态	25.51	2.00	25.43	1.08	22.00	26.00	26.95	25.51	22.93--28.09
Ni	11	偏态	28.73	6.12	28.07	1.26	16.99	28.93	33.18	28.98	16.99--33.18
Cr	11	正态	61.98	12.08	60.96	1.21	48.6	59.50	80.55	61.98	46.40--77.56
Mn	11	偏态	619.64	88.37	614.40	1.14	519.3	594	717.2	594	519.3--717.2
Fe	11	正态	2.29	0.86	2.18	1.36	1.55	2.15	2.67	2.29	1.18--3.40

表 4-3-7 长江河源区河流沉积物 63 μ m 部分稀土元素背景值特征

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Rb	12	正态	88	15	86	1.2	64	89	91	88	68—107
Cs	12	偏态	8.8	5.0	7.8	1.6	5.0	6.3	17.0	6.3	5.0—17.0
Sr	12	正态	298	146	266	1.7	106	280	446	298	110—486
Ba	12	对数正态	459	156	440	1.3	319	410	656	440	303—639
Sb	12	偏态	2.5	1.7	2.0	2.0	0.9	1.6	4.7	1.6	0.9—4.7
Sc	12	正态	8	1.1	8	1.1	6.3	8.0	9.3	8.0	6.7—9.4
U	12	偏态	4.9	6.4	3.5	2.0	1.4	3.4	4.2	3.4	1.4—4.2
Th	12	偏态	12	1.9	12	1.2	10	11	15	11	10—15
La	12	正态	44	20	40	1.6	17	46	54	44	19—64
Ce	12	正态	76	28	72	1.4	37	79	92	76	39—113
Nd	12	对数正态	42	16	40	1.4	25	42	48	40	26—60
Sm	12	正态	6.4	2.0	6.0	1.5	2.6	7.1	7.8	6.4	3.9—8.9
Eu	12	正态	1.3	0.4	1.3	1.3	0.8	1.3	1.8	1.3	0.8—1.9
Tb	12	正态	1.0	0.24	1.0	1.3	0.6	1.0	1.3	1.0	0.7—1.3
Yb	12	正态	3.1	1.3	2.9	1.5	1.6	3.0	4.5	3.1	1.7—4.6
Lu	9	对数正态	0.005	0.002	0.004	1.6	0.002	0.004	0.006	0.004	0.002—0.008

表 4-3-8 一些水体沉积物中元素含量

mg/kg

元 素	本水系	松花江 水系 ⁽¹⁾	洞庭湖 水系 ⁽²⁾	东海大 陆架 ⁽³⁾	冲绳海 槽 ⁽⁴⁾	密执安 湖 ⁽⁵⁾	世界沉积物 平均值
Pb	88	103	160	102	110	85	135
Cs	8.8	6	9.5	8	7.4	2.9	4.2
Sr	300	—	93	200	415	132	320
Ba	440	690	580	570	510	490	400
U	3.1	—	4.1	2.0	1.9	2.3	3.1
Th	11	11	13	13	11	5.8	9.6
Sc	8.1	12	9.3	11	13	6.6	10
Sb	2.5	1.1	1.1	1.8	1.7	1.1	1.2
La	44	41	11	46	27	23	41
Ce	76	82	66	73	62	48	83
Nd	40	44	40	41	34	—	32
Sm	6.4	5.4	6.2	3.6	3.7	3.4	3.4
Eu	1.3	1.5	1.1	1.4	1.2	0.8	1.2
Tb	1.0	1.0	0.73	0.77	0.69	0.5	1.0
Yb	3.1	3.0	2.3	2.9	2.5	1.7	3.6
Lu	0.48	0.44	0.42	0.36	0.36	0.20	0.70

和洞庭湖水系沉积物含量范围一致,但较冲绳海槽与密执安湖高,也高于海洋沉积物和湖底沉积物,U、Sb、Th与松花江水系及世界河流沉积物接近,比洞庭湖低。Sb的背景值水平显著高于其他水体沉积物。

三、河源水系河流悬浮物元素背景值

由于存在于过滤膜上的样品甚少,所能提供的测试液有限,故仅测定了Cu、Pb、Zn、Cd、Ni、V、Fe、Mn 8种元素的浓度,其背景值和特征数据列于表4-3-9。与长江河源河流沉积物同种元素背景值比较可以看出,悬浮物元素背景值同 $<63\mu\text{m}$ 的沉积物元素背景值接近,或稍高。

从长江河源区河流悬浮物与沉积物 $63\mu\text{m}$ 部分的联系,可以推断,河水中的悬浮物为河床泛起的小于 $63\mu\text{m}$ 细粘部分,悬浮物中的元素浓度大体与这一部分相当。河水中悬浮物浓度在 $0.10-0.53\text{g/kg}$ 。

表 4-3-9 长江河湖水系主要河流悬浮物与沉积物几种元素背景值比较

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征		沉积物 ($<63\mu\text{m}$)
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围	
Cu	8	正态分布	24.71	11.22	20.39	2.08	3.78	23.99	38.7	24.71	6.37—43.05	23.17
Pb	8	正态分布	20.70	11.500	17.46	1.96	4.84	20.22	31.31	20.70	5.87—35.53	15.61
Zn	8	正态分布	114.13	72.30	96.87	1.83	33.39	94.52	196.90	114.13	20.86—207.41	72.12
Cd	7	正态分布	0.112	0.102	0.064	3.928	0.004	0.101	0.225	0.112	0.020—0.243	0.171
Ni	8	正态分布	38.37	7.76	37.67	7.75	22.74	38.46	46.76	38.37	28.37—48.37	28.93
Mn	8	正态分布	706.13	249.96	662.01	1.5	244.80	721.00	990.40	706.12	383.67—1028.58	59.4
Fe	8	正态分布	2.22	0.52	2.16	1.28	1.18	2.28	2.68	2.22	1.54—2.89	2.29
V	8	正态分布	61.03	26.01	55.46	1.63	19.27	63.15	90.11	61.03	27.47—94.58	

mg/kg(Fe 为%)

第五章 金沙江干流与北岸水系水体中的化学元素

第一节 金沙江干流或北岸水系的环境特征

一、河系组成

金沙江流域跨越川西高原、山谷、横断山地北段,川西南山地,滇北高原等地貌区,总体属高海拔地区,有 2/3 区域在 3000—4000m 之间,局部在 4500m 以上,终年积雪,主要河流为金沙江及其支流雅砻江、安宁河、无量河、西溪河、牛栏江和横江等。

金沙江发源于青海唐古拉山脉中段,是长江上游由直门达至岷江入口的这一段,全长 2316 公里,占长江总长度 1/3 以上。江水流贯于川西高原和高山之间,两岸高山夹峙、水流湍急,多年平均流量为 $4458\text{m}^3/\text{s}$ 。

雅砻江源出青海省巴颜喀拉山南麓,在青海省内称清水河,入川境后始称雅砻江,全长 1375 公里,主要支流鲜水河、理塘河与安宁河等,流域面积为 130000km^2 ,占金沙江流域面积的 40%,是金沙江最大的支流,也是长江上游最长的支流。

安宁河是雅砻江下游一条较大的支流,流域面积为 11200km^2 ,干流全长 320km^2 ,于大坪地附近注入雅砻江,河水径流的补给主要是降水约占 60%,以雪水为主。

二、地貌特征

金沙江流域总体属高海拔地区,“高山峡谷”是金沙江干流及其支流、中、下流段河谷地貌的共同特征。由于金沙江水系为强烈侵蚀切割的山地区,考虑到山体高度的差别以及相对侵蚀切割程度的差别,把全水系划为一系列次一级的地貌类型,它们是中山山低起伏、低高山高起伏、中高山高起伏、高高山中起伏和高高山高起伏等 5 种地貌类型。

三、地质环境

金沙江流域主要位于川西地槽区,有大型隆起与拗陷,平式与复式褶皱反复活动的大型冲断带等,部分属东部地台区、深山拗断带、盐源台缘拗陷,三迭纪以前地层是川西地槽主要构成部分之一,流域主要构造为金沙江复背斜,石渠、雅砻江复背斜和木里复背斜。

该流域岩性主要是灰岩、大理岩、砂岩及石英砂岩、玄武岩、片岩、板岩、闪长岩、花岗岩和现代冲积物等,对本区河流溶质成分及悬浮成分均有较大影响。

金沙江流域矿藏十分丰富,就目前资料看,石渠—炉霍—康定—木里褶断带为稀有金属多金属矿带,沿断裂带有不少酸性岩体及中性岩体分布,比较大型的矿床有石渠北部、康定西部、乾宁、炉霍西部及九龙等地与花岗伟晶岩有关的锂铍矿及铍矿,道孚有规模中等的热液富铁矿,九龙南部的铜矿及产于下奥陶统,成矿后受中一酸性热液富集,并伴生锌、矿区周围矿点成群,九龙等地还有中小型铅锌矿、钨矿,此外,炉霍、甘孜等地还发现汞、锡等矿点,脉点分布较大,以木里为最高。

金沙江以东褶断带多金属矿带,沿金沙江断裂还有钴矿、铬矿与白云母矿,在德格、白玉等地的铜、钼、锑、铅、锌、金、银及铬等多种金属,其成矿与中一酸性岩浆的活动有关。

邓柯经雀儿山到木里等地有大型铅锌矿,理塘、木里一带零星分布一些热液型铜矿、铁矿,并含有银、金、锌等多种元素,西昌、米易一带有钒钛磁铁矿,钴往往与钒钛磁铁矿伴生,另外,冕宁发现轻稀土矿,其中有共生铜矿,德昌一带有重稀土。在雅砻江中、下游,理塘河、金沙江沿岩河谷阶地、河漫滩及现代河床中含有砂金等,德格、炉霍等地发现汞。

总之,金沙江成矿带(川西部分)是我国著名的三江成矿带的一个重要组成部分,成矿条件良好,矿化普遍,类型齐全,有着大批具有一定规模的矿床和矿点分布,并有极大的潜在远景。

四、气候特征

该流域地处亚热带范围,但由于海拔高,地形复杂,使得本区气候总体偏寒,年平均温度 $4-16^{\circ}\text{C}$,一月份气温 $-10-4^{\circ}\text{C}$,七月份气温 $12-24^{\circ}\text{C}$,气候类型多,变化大,本区受东西季风和西南季风控制,其影响程度由东南向青藏高原内部逐渐减弱,形成区内降水量分布极不均匀,根据日积温的多少,可把该流域划分为三个气候带。金沙江及雅砻江上游地区,是四川省地势平均最高的地区,受地势影响,该区气温最低,霜雪期最长,降水量最少,最干燥而日照最长地区,平均气温 $0-6^{\circ}\text{C}$,阿坝、甘孜、理塘一带属寒温带,偏西北石渠、色达属亚寒带,平均温度在零度以下,是四川的“寒极”,年降雨量 $600-800\text{mm}$,5—9月为雨季,草木植物生长旺盛,是四川重要纯牧区。高原中部雅砻江中游,气候垂直变化明显,气温随高度增加而骤降,霜雪、冰雹、大风较多,年平均温度 $6-14^{\circ}\text{C}$,属温带、寒温带,年平均降水量 $600-1100\text{mm}$ 之间,本区气候较冷而湿润。川西南地区,冬暖夏短,气温年差较小,雨量集中,干湿季明显,年平均温度 $15-17^{\circ}\text{C}$,冬天很暖和,属南亚热带或暖亚热带,为全省最热地区,降雨量多在 1000mm 左右。

五、土壤

金沙江流域地处川西高山高原地区,气候和生物带均发生垂直方向上的交替,引起了土壤类型也随着从寒带向上(或向下)依次交替,因而具有明显的垂直地带性,根据地貌及地理位置,高山草甸上、山地褐红壤、山地红壤、燥红土及黄壤是金沙江流域的主要分布类型。

川西横断山地纵谷南段,气候主要受西南季风和西南支气流交替控制,干湿季明显,土壤垂直分布分异显著:

700—1300m	山地燥红土
1200—2000m	山地红壤
2000—2900m	山地褐红壤
2900—3000m	山地灰棕壤

川西横断山地纵谷北段土壤由低到高,由河谷至山顶,具有一定水平意义的土壤垂直分带,即山地灰褐土→山地褐土→山地棕壤→山地灰化土→高山草甸土。

南坪—得荣地区多属峡谷,气候垂直变化从低到高为干暖→湿润→冷湿→干燥寒冷,土壤垂直带分为:山地灰褐土($1200-2000\text{m}$)→山地褐土($2000-2800\text{m}$)→山地棕壤($2500-3400\text{m}$)→山地灰化土($3400-3800\text{m}$)→高山草甸土($3800-4100\text{m}$)。

松潘—新龙地区属山原峡气候已趋干寒,其土壤垂直变化:

山地褐土 $2800-3500\text{m}$

山地棕壤及山地灰化土 3500—4200m

高山草甸土 4200—4700m

江原—甘孜地区,松潘新龙区北界,包括色达、邓柯一线,境内地形比较和缓,相对高度 500—1000m,气候更为干寒,大面积分布为亚高山草甸土,在森林线以上则发育着高山草甸土。

第二节 水体的理化性状及其地球化学特征

一、水化学基本特征

金沙江水系的水化学参数,列于表 5-2-1 和 5-2-2,其主要水系环境单元的水化学参数列在表 5-2-3 至表 5-2-5,它们的水化学基本特征:

表 5-2-1 金沙江水系水化学参数特征统计表

名 称	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
水温(℃)	43	6.0—16.0	11.6	2.39	正态
pH	43	7.40—8.30	7.92	0.238	正态
电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$)	41	32.1—375	234	74.3	正态
悬浮物	42	1.0—235	69.7	68.0	正态
总 盐	43	44.4—366	172	66.4	正态
硬度(德度)	43	0.70—10.9	7.12	2.22	正态
HCO_3^-	43	22.0—234	150	44.6	正态
SO_4^{2-}	39	0.59—19.1	8.58	4.66	正态
Cl^-	37	0.14—23.8	7.89	7.54	正态
K^+	41	0.36—1.49	1.00	0.298	正态
Na^+	40	2.43—21.2	8.92	5.52	正态
Ca^{2+}	42	12.8—54.8	34.9	9.08	正态
Mg^{2+}	42	0.85—18.5	10.1	3.76	正态
溶解氧	33	6.10—11.0	8.99	1.33	正态

各组分含量除注明外均以 mg/L 计。

表 5-2-2 金沙江水系水化学参数特征统计表

名 称	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
pH	22	7.70—8.30	7.97	0.173	正态
电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$)	20	216—375	280	34.0	正态
悬浮物	21	8.60—235	107	76.0	正态
总 盐	20	147—256	206	26.1	正态
硬度(德度)	20	7.30—8.40	7.93	0.35	正态
HCO_3^-	21	128—222	164	19.1	正态
SO_4^{2-}	19	5.0—19.1	12.3	2.80	正态
Cl^-	19	6.10—23.8	13.7	6.03	正态
K^+	20	1.02—1.49	1.22	0.125	正态
Na^+	19	8.50—21.2	13.6	4.34	正态

续表

名 称	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
Ca ²⁺	20	35.3—40.5	38.4	1.59	正态
Mg ²⁺	20	9.75—12.0	11.1	0.633	正态
溶解氧	18	6.10—11.0	8.61	1.35	正态
水温(°C)	22	9.5—16.0	12.4	1.85	正态

各组分含量除注明外,均以 mg/L 计。

表 5-2-3 雅砻江水系水化学参数特征统计表

名 称	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
pH	9	7.80—8.30	8.06	0.181
电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$)	9	170—350	249	57.5
悬浮物	9	1.00—89.0	29.6	35.1
总 盐	9	109—180	148	22.1
硬度(德度)	9	5.20—12.9	8.07	1.98
HCO ₃ ⁻	9	116—234	174	39.6
SO ₄ ²⁻	9	32.0—10.8	6.78	2.62
Cl ⁻	9	0.14—3.62	1.38	1.08
K ⁺	9	0.67—1.34	0.93	0.195
Na ⁺	9	3.56—8.54	5.28	1.68
Ca ²⁺	9	24.9—50.3	36.9	9.36
Mg ²⁺	9	7.30—17.4	12.5	3.36
溶解氧	8	7.80—11.0	9.70	1.26
水温(°C)	9	8.8—15.0	10.8	1.99

各组分除注明外,均以 mg/L 计。

表 5-2-4 安宁河水系水化学参数特征统计表

名 称	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
pH	4	7.40—7.50	7.45	0.058
电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$)	4	81.0—133	115	0.002
悬浮物	4	13.5—83.0	38.9	31.0
总 盐	4	70.6—90.3	84.1	9.27
硬度(德度)	4	2.40—3.90	3.43	0.695
HCO ₃ ⁻	4	67.1—101	81.6	14.8
SO ₄ ²⁻	4	0.59—2.32	1.71	0.770
Cl ⁻	4	0.69—2.06	1.33	0.560
K ⁺	4	0.36—0.74	0.56	0.155
Na ⁺	4	2.45—3.73	3.26	0.598
Ca ²⁺	3	18.9—20.4	19.5	0.814
Mg ²⁺	4	2.48—5.31	4.00	1.16
溶解氧	4	8.20—11.0	9.40	1.18
水温(°C)	4	10.3—15.0	12.5	2.35

各组分含量除注明外,均以 mg/L 计。

表 5-2-5 理塘河水系水化学参数特征统计表

名 称	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
pH	3	7.80—8.10	7.97	0.153
电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$)	3	152—200	179	24.4
悬浮物	3	33.5—64.5	49.3	15.5
总 盐	3	110—128	118	9.29
硬度(德度)	3	4.3—6.7	5.53	1.20
HCO_3^-	3	97.6—140	122	21.9
SO_4^{2-}	3	5.20—8.56	6.96	1.69
Cl^-	3	0.00—1.60	0.763	0.802
K^+	3	0.66—0.74	0.690	0.044
Na^+	3	4.57—6.12	5.18	0.824
Ca^{2+}	3	22.4—36.5	29.5	7.05
Mg^{2+}	3	5.22—6.72	6.11	0.788
溶解氧	2	8.8—10	9.4	0.849
水温($^{\circ}\text{C}$)	3	6.0—9.0	7.67	1.53

各组分含量除注明外,均以 mg/L 计。

1. 溶解氧

全水系溶解氧差别不大,变化幅度在 $6.1\text{—}11.0\text{mg}/\text{L}$ 之间,均值为 $9.0\text{mg}/\text{L}$,金沙江最低,为 $8.6\text{mg}/\text{L}$,安宁河、理塘河最高,为 $9.4\text{mg}/\text{L}$,与全水系平均水温为 11.6°C 所应有的溶解氧相比,该水系属富氧环境,可能是由于水流湍急,江水得到充分曝气,因而溶解氧较高。

2. pH

全水系 pH 值在 $7.7\text{—}8.3$ 之间,均值为 7.9 ,各河流均值顺序为:雅砻江(8.1)>金沙江、理塘河、泸沽湖(8.0)>安宁河(7.5)>彝海(7.4)。由此看出,金沙江水系 pH 值均大于 7.0 ,属弱碱性水,许多元素在该 pH 下自身将产生水解、沉淀作用,因而对金沙江水系可溶态元素背景值起了控制作用。

3. 电导率

全水系电导率在 $32.1\text{—}375\mu\text{S}/\text{cm}$ 之间,以金沙江最高,电导率均值为 $280\mu\text{S}/\text{cm}$,安宁河最低,为 $115\mu\text{S}/\text{cm}$,湖泊中彝海电导率最小,仅 $32.1\mu\text{S}/\text{cm}$,故整个水系的电导率均在淡水范围内。

4. 总可溶性盐

全水系总可溶性盐范围在 $44.4\text{—}366\text{mg}/\text{L}$ 之间,均值为 $172\text{mg}/\text{L}$ 。其中金沙江最高,为 $206\text{mg}/\text{L}$,安宁河最低,为 $84.1\text{mg}/\text{L}$,湖泊中仍以彝海最小,为 $44.4\text{mg}/\text{L}$,和该水系的电导率顺序一致,表明电导率和总可溶性盐含量之间有一定相关性。

5. 硬度

全水系硬度在 $0.70\text{—}10.9$ 德国度之间,均值为 7.1 德国度,其中金沙江最高,为 7.93 德国度,安宁河仍有明显区域分异,仅 3.43 德国度,根据对水的硬度分级可以看出:在金沙江水系中,安宁河及彝海属很软水,理塘河、昭觉河、鲜水河和泸沽湖属软水,金沙江、雅砻江属中等硬水。

6. 碱度

全水系碱度为 149.9mg/L, 其中雅砻江最高, 为 174.3mg/L, 其次是金沙江, 安宁河最低, 为 81.6mg/L, 由于金沙江水系 pH 值均 ≤ 8.30 , 因而碱度以重碳酸盐为主要组分。

7. 碱金属

全水系 K^+ 浓度在 0.36—1.49mg/L 之间, 均值为 1.00mg/L。 Na^+ 浓度在 2.43—21.2mg/L 之间, 均值为 8.92mg/L, 从整个水系看, K^+ 浓度没有明显变化, 而 Na^+ 在金沙江干流邓柯、岗托一带江水中, 含量较高, 反映了与江水接触的岩石中, Na^+ 含量较高。根据这一区域岩性为中基性火山岩夹结晶灰岩, 考虑到支流主要流经花岗岩, 地下水补给为火山岩(喷出岩)孔隙水及浅变质砂、板岩裂隙水, 都有可能使江水 Na^+ 含量增加, 还有上游高含 Na^+ 江水的补给, 以及土壤、气候因素都可能产生影响。

8. 酸根

全水系 SO_4^{2-} 均值为 8.58mg/L, Cl^- 均值为 7.89mg/L, 以金沙江最高, SO_4^{2-} 为 12.3mg/L, Cl^- 为 13.7mg/L, 金沙江干流邓柯、岗托二点的 SO_4^{2-} 和 Cl^- 为全水系之最, 而安宁河 SO_4^{2-} 最低, 为 1.71mg/L, 理塘河 Cl^- 浓度最低, 为 0.76mg/L, 显示出明显的地区差异。全水系总磷、总氮含量较低, 总氮均值为 0.15mg/L, 总磷均值为 0.02mg/L 其中安宁河、理塘河含氮量远低于金沙江和雅砻江。

二、金沙江水系水化学类型

按阿列金(O. A. Alekin)提出的天然水分类法进行计算, 金沙江水系可划分为 4 种水化学类型, 不同类型水的分布与岩石类型及地下水补给等均有密切相关性。金沙江干流从上至下表现出三种类型水, 即巴塘以北为重碳酸盐钠组 I 型水(Ca^{2+}), 奔子栏以下至巧家主要为重碳酸盐钙组 II 型水(Ca^{2+}), 巧家以下至宜宾包括昭觉河, 主要为重碳酸盐钙组 III 型水(Ca^{2+}); 金沙江主要支流雅砻江, 在雅江以北包括鲜水河在内, 主要为重碳酸盐钙组 I 型水(Ca^{2+}), 雅江以南包括理塘河、安宁河主要为重碳酸盐钙组 I 型水(Ca^{2+}), 显示出区域性分布特征。

对于高原湖泊泸沽湖和彝海, 也进行相应分类, 泸沽湖湖面海拔约为 2846m, 其中 HCO_3^- 为主要阴离子, 占阴离子总量的 85.8%, Ca^{2+} 占阳离子总量的 56.1%, Mg^{2+} 占阳离子总量的 25.9%, Na^+ 、 K^+ 占阳离子总量的 18.3%, 该湖离子总量为 179mg/L, 故基本上认为泸沽湖属碳酸盐湖。彝海阴离子也是 HCO_3^- 占绝对优势, 为阴离子总量的 92.3%, Ca^{2+} 占阳离子总量的 47.2%, Mg^{2+}

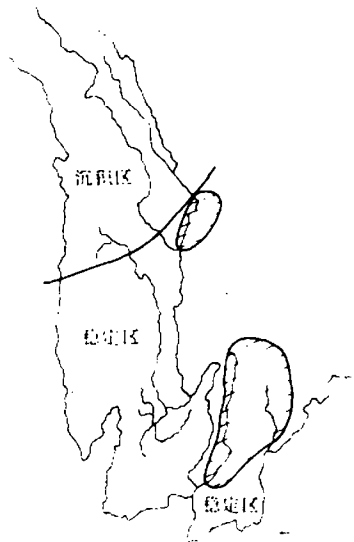


图 5-2-1 金沙江水系水化学稳定性分布图
(图中阴影部分表示侵蚀区)

占阳离子总量的 19.4%,K、Na 占阳离子总量的 33.3%,总离子浓度为 30.3mg/L,亦属碳酸盐湖。

三、金沙江水系水的稳定性

根据公式

$$pH_t = pK_2 - pK_1 - \log [Ca^{2+}] - \log [碱] + P$$

计算结果表明:金沙江及雅砻江上游几个断面,即巴塘、甘孜及炉霍以北的江水属沉积性水,其下游包括理塘河属稳定型水,而其它几条支流即鲜水河、昭觉河及安宁河属侵蚀性水。高原湖泊泸沽湖属稳定性水,而彝海则属侵蚀性水(图 5-2-1)。

第三节 金沙江干流及北岸水系水体元素含量和背景值

表 5-3-1 和 5-3-2 分别列出了金沙江干流及北岸水系河水和过滤水中元素的背景值,表 5-3-3 至 5-3-9 分别列出了主要支流河水和过滤水元素背景值,其特征如下:

1. 河水原水元素以正态分布为主,只有 Cd 为对数正态分布,过滤水中的元素分布类型比较复杂,Cd、Fe 和 Mn 为对数正态分布,Hg 为偏态分布,其他元素为正态分布,表明该水系元素浓度变化较小或稳定。

2. 全水系水中元素溶解态背景值除 F 外含量极低,在 10⁻⁹—10⁻¹¹数量级中变化,可把这些元素分为 4 组:

Fe、Mn、Ni、As 为 10⁻⁹数量级;Pb、Co、Cr、Mo、V、Se、Cu 和 Zn 为 10⁻¹⁰数量级,Cd 为 10⁻¹¹数量级和 Hg 为 10⁻¹²数量级。而对于元素总量的背景值,都有不同程度的变化,其中 Zn、Pb、Mn 和 Fe 含量有较大增加,为溶解态的十几到几百倍。

表 5-3-1 金沙江水系干流及北岸水系河水元素背景值特征统计表 μg/L

元 素	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
As	36	0.41—4.68	2.02	1.20	正态
Cd	35	0.02—0.80	0.074	0.016	对数正态
Co	38	0.10—2.33	1.25	0.501	正态
Cr	37	0.09—10.6	4.47	3.03	正态
Cu	38	0.96—6.79	3.17	1.63	正态
F ⁺	35	0.07—0.20	0.13	0.027	正态
Fe	38	108—4.89×10 ³	1.81×10 ³	1276	正态
Hg	38	0.001—0.01	0.005	0.003	正态
Mo	38	0.30—1.60	0.90	0.339	正态
Ni	38	1.00—7.38	3.77	1.68	正态
Pb	35	0.15—3.39	1.26	0.746	正态
Se	38	0.04—0.32	0.20	0.063	正态
V	38	1.00—12.9	5.68	3.13	正态
Zn	34	1.82—2.02	6.60	3.70	正态
Mn	38	4.59—107	47.6	29.0	正态

* :单位为 mg/L。

表 5-3-2 金沙江干流及北岸水系过滤水元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

元 素	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
As	37	0.19—2.97	1.26	0.713	正态
Cd	37	0.001—0.16	0.022	0.012	对数正态
Co	38	0.01—0.58	0.24	0.163	正态
Cr	38	0.10—1.31	0.58	0.270	正态
Cu	37	0.18—1.01	0.68	0.217	正态
F ⁻	36	0.06—0.16	0.12	0.022	正态
Fe	35	3.59—31.3	8.99	0.556	对数正态
Hg	38	0.001—0.01	0.003		偏态
Mn	35	0.66—7.15	2.20	0.499	对数正态
Mo	38	0.12—0.92	0.47	0.216	正态
Ni	38	0.16—2.16	1.23	0.373	正态
Pb	33	0.01—0.72	0.15	0.143	正态
Se	38	0.01—0.26	0.18	0.061	正态
V	37	0.42—1.73	0.89	0.309	正态
Zn	35	0.47—2.28	0.99	0.432	正态

* :单位为 mg/L。

表 5-3-3 金沙江干流河水元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

元 素	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
As	15	1.10—4.58	2.39	0.820	正态
Cd	15	0.02—0.10	0.054	0.024	正态
Co	17	0.10—2.33	1.45	0.530	正态
Cr	17	1.67—10.6	5.77	3.06	正态
Cu	17	1.86—6.79	4.10	1.32	正态
F ⁻	17	0.11—0.20	0.14	0.025	正态
Fe	17	$965.9—3.89 \times 10^3$	2.33×10^3	922.5	正态
Hg	16	0.001—0.01	0.005	0.003	正态
Mn	17	26.1—105.2	55.6	23.3	正态
Mo	17	0.52—1.60	0.97	0.359	正态
Ni	17	2.53—6.33	4.56	1.12	正态
Pb	15	0.47—1.63	1.02	0.361	正态
Se	17	0.15—0.32	0.24	0.042	正态
V	17	3.20—11.0	7.42	2.38	正态
Zn	16	3.30—14.1	8.42	3.73	正态

* :单位为 mg/L。

表 5-3-4 金沙江干流过滤水元素背景值

μg/L

元 素	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
As	16	1.08—2.04	1.55	0.326	正态
Cd	16	0.001—0.04	0.014	0.011	正态
Co	17	0.10—0.58	0.37	0.123	正态
Cr	17	0.34—1.12	0.63	0.210	正态
Cu	16	0.75—1.01	0.87	0.083	正态
F ⁺	17	0.10 0.16	0.12	0.015	正态
Fe	15	3.59—19.3	8.45	4.25	正态
Hg	17	0.001 0.01	0.003	0.003	正态
Mn	16	0.66 3.88	1.98	0.830	正态
Mo	17	0.21—0.92	0.54	0.220	正态
Ni	16	1.19—1.74	1.47	0.132	正态
Pb	17	0.01—0.18	0.077	0.054	正态
Se	17	0.13 0.26	0.22	0.034	正态
V	17	0.63 1.50	1.06	0.230	正态
Zn	15	0.47—1.35	0.79	0.247	正态

* :单位为 mg/L。

表 5-3-5 雅砻江水系河水元素背景值特征统计表

μg/L

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
As	9	0.65 3.30	1.51	0.90
Cd	8	0.02 0.77	0.22	0.27
Co	9	0.35—1.85	1.00	0.45
Cr	9	0.86 8.11	4.25	2.58
Cu	9	1.02—4.36	2.25	1.28
F ⁺	9	0.09 0.13	0.12	0.012
Fe	8	316 2.07×10 ³	932	641
Hg	9	0.001—0.01	0.006	0.003
Mn	8	11.4—46.4	24.2	12.6
Mo	9	0.41 0.99	0.65	0.21
Ni	9	1.46—6.68	3.24	1.66
Pb	8	0.34—2.36	1.30	0.69
Se	9	0.15—0.23	0.18	0.029
V	9	1.68—6.93	3.67	1.92
Zn	8	1.82—12.4	4.80	3.59

* :单位为 mg/L。

表 5-3-6 雅砻江水系河水过滤水元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
As	9	0.44 1.10	0.75	0.21
Cd	9	0.003—0.10	0.038	0.035
Co	9	0.13 0.38	0.22	0.092
Cr	8	0.37 0.66	0.50	0.11
Cu	9	0.48 0.78	0.60	0.11
F ⁺	9	0.09 0.11	0.097	0.007
Fe	7	5.48 7.13	6.27	0.49
Hg	9	0.001—0.01	0.003	0.002
Mn	9	1.26 4.89	2.53	1.18
Mo	9	0.12 0.60	0.39	0.15
Ni	9	0.89—1.42	1.25	0.17
Pb	7	0.10—0.29	0.20	0.067
Se	9	0.13 0.22	0.17	0.031
V	9	0.48 1.04	0.72	0.19
Zn	9	0.53 2.28	1.08	0.57

* :单位为 mg/L。

表 5-3-7 安宁河水系河水元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
As	3	0.41 0.69	0.51	0.16
Cd	3	0.029 0.044	0.038	0.008
Co	4	0.70—1.43	1.06	0.35
Cr	4	0.56—4.50	2.26	1.65
Cu	3	1.72—1.87	1.78	0.079
F ⁺	4	0.13—0.24	0.17	0.047
Fe	4	657— 2.52×10^3	1.26×10^3	873
Hg	4	0.004—0.009	0.006	0.002
Mn	4	17.0 107	57.8	37.4
Mo	4	0.51—1.33	0.95	0.40
Ni	4	1.40 3.98	2.41	1.11
Pb	3	0.69 2.19	1.30	0.79
Se	4	0.04 0.19	0.10	0.061
V	4	2.23 7.39	4.01	2.32
Zn	3	3.87—7.10	5.22	1.68

* :单位为 mg/L。

表 5-3-8 安宁河水系过滤水元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
As	4	0.19—1.02	0.48	0.37
Cd	4	0.025—0.44	0.034	0.018
Co	4	0.01—0.05	0.031	0.019
Cr	4	0.23—0.86	0.60	0.31
Cu	4	0.27—0.79	0.52	0.21
F ⁺	4	0.12—0.16	0.13	0.019
Fe	4	7.68—24.1	14.7	6.85
Hg	4	0.004—0.005	0.004	0.0005
Mn	3	2.18—5.92	4.20	1.89
Mo	4	0.24—0.52	0.37	0.12
Ni	4	0.52—0.87	0.71	0.16
Pb	3	0.08—0.51	0.25	0.23
Se	4	0.01—0.19	0.092	0.078
V	4	0.42—1.06	0.75	0.27
Zn	3	1.04—2.01	1.48	0.49

* : 单位为 mg/L。

表 5-3-9 理塘河水系原水元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
As	3	0.94—2.88	1.72	1.02
Cd	3	0.02—0.28	0.12	0.14
Co	3	0.68—1.35	1.12	0.38
Cr	3	1.71—5.44	3.36	1.90
Cu	3	1.25—3.66	2.30	1.24
F ⁺	3	0.16—0.62	0.31	0.27
Fe	3	652— 2.04×10^4	1.14×10^3	782
Hg	3	0.001—0.01	0.005	0.004
Mn	3	20.8—38.1	29.1	8.68
Mo	3	0.80—1.32	1.08	0.26
Ni	3	1.83—4.70	3.16	1.45
Pb	3	0.62—1.73	1.27	0.58
Se	3	0.11—0.16	0.13	0.025
V	3	2.30—7.61	4.33	2.87
Zn	3	3.82—8.63	6.02	2.43

* : 单位为 mg/L。

表 5-3-10 理塘河水系过滤水元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
As	2	0.88—0.90	0.89	0.014
Cd	3	0.003—0.084	0.034	0.044
Co	3	0.06—0.25	0.15	0.097
Cr	3	0.49—1.31	0.83	0.43
Cu	3	0.25—0.61	0.42	0.18
F ⁺	3	0.13—0.58	0.29	0.25
Fe	2	8.13—9.12	8.63	0.70
Hg	3	0.001—0.007	0.005	0.003
Mn	3	2.16—15.3	6.81	7.36
Mo	3	0.13—0.71	0.37	0.30
Ni	3	0.93—1.22	1.09	0.15
Pb	2	0.10—0.12	0.11	0.014
Se	3	0.09—0.16	0.13	0.035
V	3	0.46—0.85	0.61	0.21
Zn	3	0.67—1.36	1.13	0.40

*：单位为 mg/L 。

全水系元素背景值的含量由大到小变化顺序是：

总量 $\text{Fe} > \text{F} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{V} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Mo} > \text{Se} > \text{Cd} > \text{Hg}$ 溶解态 $\text{F} > \text{Fe} > \text{Mn} > \text{As} > \text{Ni} > \text{Zn} > \text{V} > \text{Cu} > \text{Cr} > \text{Mo} > \text{Co} > \text{Se} > \text{Pb} > \text{Cd} > \text{Hg}$

比较水系中各条河流元素背景值含量大小，同样发现，无论是总量或溶解态，Fe、F 和 Mn 含量总是最高，而总量中元素 Se、Cd、Hg 含量总是最低，溶解态中元素 Pb、Cd(Co) 和 Hg 含量最低。

3. 全水系元素存在形态有很大差异。

在所研究的 15 个元素中，F 和 Se 主要以溶解态形式存在，占河水总量 90% 以上；Fe、Mn、Pb、Cr、Zn、V 和 Co 的悬浮态是江(河)水中主要存在形态，占河(江)水总量的 80% 以上；Ni、Cu 和 Cd 悬浮态略占优势(67%—77%)，As 和 Mn 是溶解态略占优势，而 Hg 则各占一半。

全水系各条河流元素形态变化见表 5-3-11。

表 5-3-11 金沙江水系各河流元素存在形态比较表

元 素 河 流	溶 解 态		悬 浮 态	
	>80%	50%—80%	60%—80%	>80%
金沙江	Se、F	As、Mo、Hg	Co、Ni、Cu、Cd	Fe、Pb、V、Mn、Cr、Zn
雅砻江	Se、F	As、Mo、Hg	Co、Ni、Cu、Zn	Fe、Pb、V、Mn、Cr、Cd
安宁河	Se、As、Cd	F、Hg	Ni、Cu、Zn、Cr、Mo	Fe、Pb、V、Mn、Co
理塘河	Se、F、Hg	As	Ni、Cd、Cr、Mo、Mn	Fe、Pb、V、Cu、Co、Zn

由表 5-3-11 可看出金沙江和雅砻江元素存在形态有一定相似性，而安宁河和理塘河许多元素有明显差异。

4. 金沙江水系元素背景值与国内外已发表的背景值相比(见表 5-3-12 和表 5-3-13), 有一定的差异。

表 5-3-12 金沙江水系与其它水系河水元素背景值比较

μg/L

背景值 元素 河流	As	Cd	Co	Cr	Cu	F*	Fe	Hg	Mo	Ni	Pb	Se	Mn	Zn
世界河流平均值	1.0	0.02	0.20	1.0	5.0	0.2	670	0.07	0.5	0.3	3.0	0.20	5	1.0
欧洲 Satten 河	/	0.01	/	0.8	6	/	1200	/	/	/	4	/	260	4
密西西比河	3	0.1	/	0.5	2.0	/	5	/	/	/	0.2	/	10	10
洞庭湖水系	1.20	0.08	0.05	0.89	1.40	/	97.0	0.026	/	0.50	1.55	0.5	10	5.0
北江水系	0.99	0.09	/	0.82	1.49	/	181.3	0.01	2.2	2.89	1.43	/	15.6	1.68
松花江水系	0.52	0.064	0.12	0.85	1.46	/	740	0.023	0.95	1.76	1.02	/	10	3.88
金沙江水系	2.02	0.074	1.25	4.47	3.17	0.13	1814	0.005	0.90	3.77	1.26	0.20	47.6	6.60
金沙江	2.39	0.054	1.45	5.77	4.10	0.14	2331	0.005	0.97	4.56	1.02	0.24	55.6	8.42
雅鲁江	1.51	0.22	1.00	4.25	2.25	0.12	932	0.006	0.65	3.24	1.30	0.18	24.2	4.80
安宁河	0.51	0.038	1.06	2.26	1.78	0.17	1264	0.006	0.95	2.41	1.30	0.10	57.8	5.22
理塘河	1.72	0.12	1.12	3.36	2.30	0.31	1136	0.005	1.08	3.16	1.27	0.13	29.1	6.02

* F 的单位为 mg/L。

表 5-3-13 金沙江水系河水元素背景值(过滤水)与其它水系之比较

μg/L

背景值 元素 河流	As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	Se	Zn
洞庭湖水系	0.9	0.06	0.06	0.89	1.00	32.0	0.025	3.0	0.3	0.40	1.10	0.08	4.0
北江水系	0.84	0.06	/	0.65	1.40	40.4	0.01	7.8	/	2.27	0.85	/	1.60
松花江水系	0.32	0.053	0.12	0.71	1.26	62	0.016	/	0.95	1.24	0.84	0.09	2.90
第二松花江	0.33	0.027	0.10	0.75	1.99	32	0.058	/	2.2	0.87	0.77	0.14	5.51
嫩江	<0.30	0.065	0.11	0.64	1.00	180	0.017	/	1.50	1.31	0.71	0.08	2.20
湘江	0.90	0.060	/	0.61	0.73	/	0.025	/	/	0.30	1.0	/	4.0
金沙江水系	1.26	0.022	0.24	0.58	0.68	9.0	0.003	2.20	0.47	1.23	0.15	0.18	0.99
金沙江	1.55	0.014	0.37	0.63	0.87	8.45	0.003	1.98	0.54	1.47	0.077	0.22	0.79
雅鲁江	0.75	0.038	0.22	0.50	0.60	6.27	0.003	2.53	0.39	1.25	0.20	0.17	1.08
安宁河	0.48	0.042	0.031	0.60	0.52	14.7	0.004	4.20	0.37	0.71	0.25	0.092	1.48
理塘河	0.89	0.034	0.15	0.83	0.42	8.63	0.005	6.81	0.37	1.09	0.11	0.13	1.13

与国外河流淡水平均值相比较,金沙江水系中元素 Ni、Cr、Co、Fe、Mn、Cd 较高,Hg 和 Pb 较低,而其它元素 Se、F、Mo、As 和 Cu 含量相近。而与国内河流相比,Ni、Cr、Co、Fe、Mn、Zn 和 Cu 较高,Hg 较低,Se、F、Mo、As 和 Pb 含量相近。

5. 全水系元素的背景值浓度特征:

(1)As

江水原水背景值为 2.02μg/L,过滤水为 1.26μg/L。

湖泊水(原水)2.62μg/L

过滤水 2.52μg/L

全水系中,金沙江干流砷总量最高为 $2.39\mu\text{g/L}$,其次是理塘河、雅砻江,安宁河最小,砷总量仅为 $0.5\mu\text{g/L}$,溶解态显示同样规律。金沙江、雅砻江及理塘河中溶解态砷占总量的 50%—58.6%,而安宁河显示出地区差异,砷主要以溶解态存在,占总量的 94.1%。

湖泊中砷的含量与江水背景值没有明显差异,但湖泊中砷主要以溶解态形态存在,其含量占总量的 96.2%。

(2)Cd

江(河)水	$0.074\mu\text{g/L}$
江河水过滤水	$0.022\mu\text{g/L}$
湖泊水	$0.053\mu\text{g/L}$
湖泊过滤水	$0.021\mu\text{g/L}$

镉背景值以雅砻江最高,为 $0.22\mu\text{g/L}$,其次是理塘河、金沙江,安宁河最低,仅为 $0.042\mu\text{g/L}$ 。全水系镉主要以悬浮态形态存在,溶解态含量在 17%—28%之间,但安宁河又显示出地区差异,镉基本以溶解态的形式存在,溶解态含量几乎就是总量。湖泊中镉溶解态亦仅为总量的 39.6%。

(3)Co

江(河)水	原水	$1.25\mu\text{g/L}$
	过滤水	$0.24\mu\text{g/L}$
湖泊	原水	$0.91\mu\text{g/L}$
	过滤水	$0.035\mu\text{g/L}$

水系中钴的总量除金沙江为 $1.45\mu\text{g/L}$ 外,其余都是 $1.0\mu\text{g/L}$ 左右,全水系悬浮态钴为总量的 80.8%,变化幅度在 78%—87%之间,而安宁河则 97.1%的钴以悬浮态形式存在。湖泊中钴也主要以悬浮态形式存在,为总量的 96.2%。

(4)Cr

江(河)水	原水	$4.47\mu\text{g/L}$
	过滤水	$0.58\mu\text{g/L}$
湖泊水	总量	$3.04\mu\text{g/L}$
	溶解态	$0.16\mu\text{g/L}$

铬的总量以金沙江最高,为 $5.77\mu\text{g/L}$,并且以悬浮态为主,为总量的 92.5%,全水系亦以悬浮态为主要形态,为总量的 87.0%,而安宁河悬浮态较低些,为总量的 73.5%,湖泊中的铬以悬浮态为主,为总量的 94.7%。

(5)铜

江(河)水	原水	$3.17\mu\text{g/L}$
	过滤水	$0.68\mu\text{g/L}$
湖泊水	原水	$3.04\mu\text{g/L}$
	过滤水	$0.16\mu\text{g/L}$

金沙江铜总量最高,为 $4.10\mu\text{g/L}$,安宁河最低,为 $1.78\mu\text{g/L}$,溶解态所占百分数在 18%—29.0%之间,故铜主要以悬浮态形式存在。湖泊中铜主要以悬浮态形式存在,为总量的 94.7%。

(6)F

江(河)水	原水	0.13mg/L		
	过滤水	0.12mg/L		
湖泊水	原水	泸沽湖	0.13mg/L	彝海 0.34mg/L
	过滤水		0.12mg/L	0.33mg/L

全水系中理塘河含氟量最高,为 0.31mg/L,湖泊中彝海氟的总量达 0.34mg/L,均超过世界河流均值。全水系及湖泊中的氟,均是溶解态为主要形态,分别是 92.3%和 92.3%—97.1%。仅安宁河溶解态比例较低,占总量的 76.5%。

(7)Fe

江(河)水	原水	$1.81 \times 10^3 \mu\text{g/L}$		
	过滤水	8.99 $\mu\text{g/L}$		
湖泊	原水	泸沽湖	107.9 $\mu\text{g/L}$	彝海 387 $\mu\text{g/L}$
	过滤水		8.67 $\mu\text{g/L}$	151 $\mu\text{g/L}$

铁以金沙江总量最高,为 $2.33 \times 10^3 \mu\text{g/L}$,雅砻江最低,为 932 $\mu\text{g/L}$,全水系以悬浮态形式存在,为总量的 99.5%。湖泊中泸沽湖以悬浮态形式存在,为总量的 92%,而彝海有明显的差异,溶解态含量极高,为 151 $\mu\text{g/L}$,悬浮态仅为总量的 60.9%。

(8)Hg

江(河)水	原水	0.005 $\mu\text{g/L}$		
	过滤水	0.003 $\mu\text{g/L}$		
湖泊	原水	0.007 $\mu\text{g/L}$		
	过滤水	0.004 $\mu\text{g/L}$		

全水系各河流之间汞总量差异不大,但从汞的存在形态来看,理塘河有明显的差异,汞几乎 100%以溶解态形式存在,而其他几条河流包括湖泊在内,溶解态仅占总量的 43%—66.7%之内。

(9)Mn

江(河)水	原水	47.6 $\mu\text{g/L}$		
	过滤水	2.20 $\mu\text{g/L}$		
湖泊	原水	37.3 $\mu\text{g/L}$		
	过滤水	2.15 $\mu\text{g/L}$		

全水系 Mn 主要以悬浮态形式存在,为总量的 95.4%,从各条河流来看,金沙江悬浮态为总量的 99.0%,理塘河较低,为总量的 76.6%。湖泊也是以悬浮形式存在,为总量的 94.2%

(10)Mo

江(河)水	原水	0.90 $\mu\text{g/L}$		
	过滤水	0.47 $\mu\text{g/L}$		
湖泊	原水	1.13 $\mu\text{g/L}$		
	过滤水	0.38 $\mu\text{g/L}$		

全水系钼总量无明显变化。就钼的存在形式而言,雅砻江和金沙江溶解态略多于悬浮态,而理塘河和安宁河则悬浮态略多于溶解态,全水系溶解态占总量的 52.2%。湖泊中钼的悬浮态为总量的 66.4%。

(11)Ni

江(河)水	原水	3.77 $\mu\text{g/L}$
	过滤水	1.23 $\mu\text{g/L}$
湖泊	原水	1.36 $\mu\text{g/L}$
	过滤水	0.52 $\mu\text{g/L}$

全水系镍含量无明显差异,悬浮态镍为总量的 67.4%,河流间悬浮态含量变化幅度在 61.5%—73.8%之间,湖泊中悬浮态镍为总量的 61.8%。

(12)Pb

江(河)	原水	1.26 $\mu\text{g/L}$
	溶解态	0.15 $\mu\text{g/L}$
湖泊	原水	0.64 $\mu\text{g/L}$
	溶解态	0.096 $\mu\text{g/L}$

全水系铅含量无明显变化,且悬浮态铅为水中主要存在形式,占总量的 88.1%,河流间悬浮态含量变化幅度在 80.8%—95.8%之间,湖泊亦以悬浮态铅为主要存在形式,占总量的 85.0%。

(13)Se

江(河)	原水	0.20 $\mu\text{g/L}$
	过滤水	0.18 $\mu\text{g/L}$
湖泊	原水	0.19 $\mu\text{g/L}$
	溶解态	0.14 $\mu\text{g/L}$

全水系无明显差异,硒在水中主要以溶解态形态存在,其含量为总浓度的 90%,河流间溶解态硒含量变化幅度在 91.3%—100%之间。

(14)V

江(河)	原水	5.68 $\mu\text{g/L}$
	过滤水	0.89 $\mu\text{g/L}$
湖泊	原水	1.45 $\mu\text{g/L}$
	过滤水	0.47 $\mu\text{g/L}$

全水系以金沙江水中钒的总量最高,为 7.42 $\mu\text{g/L}$,雅砻江最低,为 3.67 $\mu\text{g/L}$,全水系主要以悬浮态形式存在,为总量的 84.3%,河流间悬浮态含量变化幅度在 80.4%—87.1%之间。湖泊中钒的总量明显低于江河总量,悬浮态钒为总量的 67.6%。

(15)Zn

江(河)	原水	6.60 $\mu\text{g/L}$
	过滤水	0.99 $\mu\text{g/L}$
湖泊	原水	2.44 $\mu\text{g/L}$
	过滤水	1.46 $\mu\text{g/L}$

全水系中以金沙江水中锌的总量最高,为 8.42 $\mu\text{g/L}$,其余河流无明显差异。水系中锌主要以悬浮态形式存在,占总量的 85.0%,河流间悬浮态变化范围在 71.5%—93.1%之间。湖泊则溶解态略高于悬浮态,溶解态锌为总量的 59.8%。

6. 金沙江干流及北岸水系沉积物和悬浮物元素背景值

金沙江干流及北岸水系河流沉积物的元素背景值列在表 5-3-14,其细微颗粒 $63\mu\text{m}$ 部分列在表 6-4-2,主要水系环境单元沉积物元素背景值分别列于表 5-3-15 至表 5-3-16。表 5-3-17 还列出了金沙江干流及以北水系河流悬浮物元素的背景值,通过数理统计特征和有关数据的对比和比较,该水系沉积物的背景值有以下特征:

(1)除 $63\mu\text{m}$ 细微颗粒部分的沉积物中 Cd 为对数正态分布外,其他元素在沉积物原样、 $63\mu\text{m}$ 部分中的元素和悬浮颗粒元素的背景值都为正态分布,这表明该水系颗粒物中元素的背景值分布规律且变化稳定。

(2)金沙江及北岸水系各河流单元沉积物无论原样和 $63\mu\text{m}$ 的部分元素背景值水平除个别元素外,没有明显的差异。原样和 $63\mu\text{m}$ 部分,同悬浮物中的元素差异较大,悬浮颗粒物中元素的背景值显著高于沉积物(表 5-3-18)。

表 5-3-14 金沙江水系(北)沉积物元素背景值特征统计表

mg/kg

元素	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
As	35	3.50—17.8	11.1	3.49	正态
Cd	35	0.037—0.27	0.14	0.051	正态
Co	35	4.60—24.6	12.7	4.34	正态
Cr	35	30.0—194	89.2	44.7	正态
Cu	35	12.6—64.0	32.5	15.0	正态
Fe*	35	0.27—5.98	3.07	1.08	正态
Hg	34	0.003—0.04	0.015	0.009	正态
Mn	34	382—1060	611.6	142	正态
Ni	35	14.6—112	42.6	22.5	正态
Pb	35	8.64—27.0	16.2	4.44	正态
Zn	34	36.0—108	72.7	16.4	正态

* :Fe 单位为%。

表 5-3-15 金沙江水系(北)沉积物($63\mu\text{m}$)元素背景值特征统计表

mg/kg

元素	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
As	35	7.20—26.6	15.5	4.42	正态
Cd	34	0.10—0.61	0.21	0.099	对数正态
Co	35	6.80—27.4	15.1	4.71	正态
Cr	36	38.0—244	109	55.5	正态
Cu	35	18.8—78.0	39.4	15.9	正态
Fe*	35	2.09—5.60	3.79	1.02	正态
Hg	35	0.008—0.05	0.022	0.012	正态
Mn	34	530—1010	723	137	正态
Ni	35	19.6—98.0	46.9	20.9	正态
Pb	35	17.2—39.0	25.9	4.93	正态
Zn	34	50.0—186	95.2	32.3	正态

* :Fe 单位为

表 5-3-16 金沙江干流沉积物元素背景值特征统计表

mg/kg

元素	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
As	17	7.70—17.8	12.1	3.20	正态
Cd	17	0.088—0.27	0.15	0.045	正态
Co	17	4.60—18.0	12.1	3.72	正态
Cr	17	34.0—170	83.9	34.8	正态
Cu	17	12.6—58.0	33.8	14.1	正态
Fe*	17	0.29—4.13	2.80	0.98	正态
Hg	17	0.003—0.03	0.013	0.006	正态
Mn	17	354—372	563	108	正态
Ni	17	14.6—58.0	38.9	13.5	正态
Pb	17	9.41—22.0	16.5	3.15	正态
Zn	17	36.0—104	68.8	16.5	正态

* :Fe 单位为%。

表 5-3-17 金沙江干流沉积物(240目)元素背景值特征统计表

mg/kg

元素	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
As	17	10.9—26.6	17.6	4.16	正态
Cd	16	0.04—0.37	0.22	0.083	正态
Co	17	6.88—19.2	14.3	3.62	正态
Cr	16	38.0—144	90.3	33.0	正态
Cu	17	18.8—82.0	42.6	16.0	正态
Fe*	17	2.09—5.59	3.58	0.916	正态
Hg	17	0.008—0.052	0.018	0.009	正态
Mn	17	530—872	681	86.2	正态
Ni	17	19.6—72.0	44.0	14.3	正态
Pb	17	17.8—34.7	26.6	4.53	正态
Zn	17	50.0—154	87.9	27.7	正态

* :Fe 单位为%。

表 5-3-18 雅砻江水系沉积物(原样)元素背景值特征统计表

mg/kg

元素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
As	8	2.20—16.2	10.4	4.79
Cd	8	0.037—0.23	0.11	0.057
Co	8	8.60—22.0	13.0	5.08
Cr	8	48.0—260	108	79.0
Cu	8	2.00—54.0	28.3	19.1
Fe*	8	2.45—5.98	3.40	1.23
Hg	8	0.005—0.03	0.018	0.011
Mn	8	434—1060	644	202

续表

元素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
Ni	8	15.0—112	49.1	35.1
Pb	8	9.88—20.6	15.1	4.07
Zn	8	60.0—94.0	79.0	11.5

* :Fe 单位为%。

表 5-3-19 雅砻江水系 63 μ m 部分沉积物背景值特征统计表 mg/kg

元素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
As	8	11.3—19.8	15.0	2.83
Cd	8	0.100—0.23	0.14	0.049
Co	8	9.40—24.0	15.3	6.00
Cr	8	56.0—210	122	70.7
Cu	8	18.8—64.0	38.4	19.7
Fe*	8	2.64—5.60	4.01	1.24
Hg	8	0.013—0.05	0.026	0.014
Mn	8	542—988	757	174
Ni	8	26.0—98.0	53.3	31.9
Pb	8	17.2—81.9	31.0	21.1
Zn	8	62.0—600	148	183

* :Fe 单位为%。

表 5-3-20 安宁河水系河流沉积物(原样)元素背景值特征统计表 mg/kg

元素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
As	4	3.50—26.3	11.6	10.2
Cd	3	0.064—0.21	0.13	0.076
Co	4	10.2—13.0	12.0	1.24
Cr	4	40.0—76.0	65.5	17.2
Cu	4	16.0—36.0	26.5	8.23
Fe*	4	2.98—3.61	3.29	0.27
Hg	4	0.003—0.02	0.010	0.005
Mn	4	552—1100	737	247
Ni	4	20.0—36.0	27.5	6.61
Pb	4	11.9—83.4	34.9	32.8
Zn	3	60.0—98.0	75.3	20.0

* :Fe 单位为%。

表 5-3-21 安宁河水系沉积物(63 μ m)元素背景值特征统计表

mg/kg

元素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
As	3	7.20—12.9	10.1	2.85
Cd	3	0.19—0.27	0.22	0.046
Co	4	13.2—18.4	16.0	2.14
Cr	4	70.0—104	86.5	15.4
Cu	4	30.0—60.0	41.5	12.9
Fe ⁺	4	4.15—4.97	4.46	0.38
Hg	4	0.011—0.03	0.023	0.009
Mn	4	818—1790	1115	457
Ni	3	32.0—34.0	33.3	1.16
Pb	3	23.6—39.0	30.5	7.81
Zn	3	98.0—140	113	23.7

* :Fe 单位为%。

表 5-3-22 理塘河水系沉积物(原样)元素背景值

mg/kg

元素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
As	3	7.40—9.70	8.57	1.15
Cd	3	0.099—0.19	0.14	0.046
Co	3	4.80—24.6	14.1	9.96
Cr	3	30.0—194	105	82.8
Cu	3	13.2—61.0	35.7	25.9
Fe ⁺	3	1.76—4.88	3.33	1.56
Hg	3	0.006—0.027	0.015	0.011
Mn	3	676—896	823	127
Ni	3	16.0—88.0	50.7	36.1
Pb	3	9.62—19.4	15.5	5.19
Zn	3	62.0—108	80.7	24.2

* :Fe 单位为%。

表 5-3-23 理塘河水系河流沉积物(63 μ m)元素背景值

mg/kg

元素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
As	3	8.30—13.9	11.8	3.03
Cd	3	0.14—0.22	0.17	0.042
Co	3	7.00—27.4	16.8	10.2
Cr	3	40.0—206	119	83.2
Cu	3	18.8—78.0	44.9	30.2
Fe ⁺	3	2.11—5.39	3.83	1.65
Hg	3	0.014—0.04	0.030	0.015
Mn	3	706—1010	841	155

续表

元素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
Ni	3	20.0—96.0	58.0	38.0
Pb	3	22.3—30.7	26.0	4.28
Zn	3	80.0—112	95.3	16.0

* :Fe 单位为%。

表 5-3-24 金沙江水系(北)悬浮物元素背景值特征统计表

mg/kg

元素	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
Co	15	11.9—30.9	23.3	5.90	正态
Cr	15	51.5—182	113	38.3	正态
Cu	15	25.7—86.7	57.9	20.6	正态
Fe*	15	2.77—5.84	4.72	0.86	正态
Mn	13	730— 1.29×10^3	1.02×10^3	163	正态
Ni	15	25.9—99.0	62.2	24.2	正态
Zn	13	96.5—190	128	30.6	正态
Cd	9	0.20—0.85	0.57	0.182	
Pb	7	30.1—45.8	38.2	5.58	

* :Fe 单位为%。

金沙江水系沉积物元素的背景值,基本数据表达如下:

砷

原样 11.1mg/kg

<63 μ m 15.5mg/kg

全水系砷浓度的变化不大,仅金沙江沉积物中砷含量略高,原样为 12.1mg/kg, <63 μ m 样为 17.6mg/kg。

镉

原样 0.14mg/kg

<63 μ m 0.21mg/kg

悬浮物 0.57mg/kg

全水系镉浓度变化不大,其中金沙江沉积物中镉的含量略高,原样为 0.15mg/kg, <63 μ m 样为 0.22mg/kg,悬浮物中镉的含量明显高于沉积物,为原样的 4 倍, <63 μ m 样的 2.7 倍。

钴

原样 11.7mg/kg

<63 μ m 15.1mg/kg

悬浮物 23.3mg/kg

全水系沉积物中钴浓度无明显差异,仅理塘河含量略高,原样为 14.1mg/kg, <63 μ m 样为 16.8mg/kg,悬浮物中钴含量明显高于原样。

铬

原样	89.2mg/kg
<63 μ m	109mg/kg
悬浮物	113mg/kg

全水系沉积物中,仅雅砻江沉积物铬的含量略高,原样为 108mg/kg, <63 μ m 样为 128mg/kg,悬浮物中铬含量与沉积物无明显差异。

铜

原样	32.5mg/kg
<63 μ m	39.4mg/kg
悬浮物	57.9mg/kg

全水系铜浓度无明显变化,原样中仅理塘河沉积物含量略高,<63 μ m 样中,则金沙江沉积物含量略高,悬浮物中铜含量则明显高于沉积物原样。

铁

原样	3.07%
<63 μ m	3.79%
悬浮物	4.72%

水系以雅砻江沉积物中的铁含量略高,原样为 3.40%, <63 μ m 为 4.01%,悬浮物中铁的含量也略高于沉积物原样。

汞

原样	0.015mg/kg
<63 μ m	0.022mg/kg

全水系以雅砻江沉积物中汞的含量最高,为 0.018mg/kg,而安宁河沉积物原样汞的含量最低,为 0.010mg/kg。

锰

原样	612mg/kg
<63 μ m	723mg/kg
悬浮物	1023mg/kg

全水系中,理塘河沉积物的全样最高,为 823mg/kg,而安宁河<63 μ m,样中,锰的含量最高,为 1.12×10^3 mg/kg,悬浮物中锰的含量亦明显高于沉积物原样。

铅

原样	16.2mg/kg
<63 μ m	25.9mg/kg
悬浮物	38.2mg/kg

全水系中,仅安宁河沉积物原样中的铅明显高于全水系,为 34.9mg/kg,悬浮物也明显高于沉积物原样。

镍

原样	42.6mg/kg
<63 μ m	46.9mg/kg
悬浮物	62.2mg/kg

全水系以理塘河沉积物中镍含量最高,原样为 50.7mg/kg, <63 μ m 样为 58.0mg/

kg, 安宁河也有明显的地区分异, 原样中镍仅 27.5mg/kg, <63 μ m 样为 33.3mg/kg, 悬浮物中的镍略高于沉积物。

锌

原样 72.7mg/kg
<63 μ m 95.2mg/kg
悬浮物 72.7mg/kg

全水系无明显变化, 但雅砻江<63 μ m 样中锌含量明显高于全水系, 均值为 148mg/kg, 悬浮物的浓度和沉积物原样的浓度相同。

全水系及各条河流沉积物和悬浮物的元素背景值及分布类型见表 5-3-25 至 5-3-35。

表 5-3-25 金沙江水系(北)沉积物元素背景值与国内外水系沉积物的比较

河 流	背景值 (mg/kg)	元 素										
		As	Cd	Co	Cr	Cu	Fe%	Hg	Ni	Mn	Pb	Zn
地壳平均含量		1.8	0.20	/	100	55	/	0.08	/	950	12.5	78
美国松散沉积物	15-21	<1	/	57	36	2.19	0.068	/	95	29	24	
松花江水系	5.9	0.26	/	33.0	21	/	0.033	24	/	5.5	60	
洞庭湖水系	12.9	0.33	9.5	44.0	20.3	2.98	0.047	21.2	450	23.3	83.3	
北江水系	13.2	0.72	/	35.0	16.4	2.23	0.06	13.4	403	36.6	55.0	
第二松花江	/	0.14	/	11.3	17.7	2.19	0.036	/	670	24	22	
金沙江水系	11.1	0.14	12.7	89.2	32.5	3.07	0.015	42.6	611	16.2	72.7	
金沙江	12.1	0.15	12.1	83.9	33.8	2.80	0.013	38.9	563	16.5	68.8	
雅砻江	10.4	0.11	13.0	108	28.3	3.40	0.018	49.1	644	15.1	79.0	
安宁河	11.6	0.13	12.0	65.5	26.5	3.29	0.010	27.5	737	34.9	75.3	
理塘河	8.57	0.14	14.1	105	35.7	3.33	0.015	50.7	823	15.5	80.7	

从以上结果可以看出:

(A)金沙江水系沉积物中各元素在河流之间的含量, 除个别元素有明显差异外, 一般没有明显差异。

(B)金沙江水系沉积物原样和<63 μ m 样的元素背景值之间无明显差异。各元素背景值浓度大小顺序如下:

原样中, 全水系、金沙江、雅砻江和理塘河的大小顺序均为

Fe>Mn>Cr>Zn>Ni>Cu>Pb>Co>As>Cd>Hg

安宁河由于个别几个元素有明显差异, 其顺序为

Fe>Mn>Zn>Cr>Pb>Ni>Cu>Co>As>Cd>Hg

<63 μ m 样, 其大小顺序为,

全水系 金沙江 Fe>Mn>Cr>Zn>Ni>Cu>Pb>As>Co>Cd>Hg

雅砻江 Zn>Cr

安宁河 Cu>Ni

理塘河 Co>As

看出各条河流沉积物, 某些元素还是有地区差异。

(C)与其它河流沉积物元素背景值相比(见表 5-3-12), 含量都在同一个数量级范围

之内,其中 Ni、Cr、Cu、Mn 略高于国内洞庭湖、松花江和北江水系,Pb 和 Hg 略低于上述水系,其它元素基本一样。与地壳平均含量相比,As 明显高于平均含量,Hg 明显低于平均含量。

(D)悬浮物中元素背景值与沉积物元素背景值相比较,除 Zn 没有富集外,其余元素一般均比沉积物元素背景值高,其中悬浮物对 Cd 的富集能力最大,为沉积物的 4 倍,详细富集情况见表 5-3-26。

表 5-3-26 金沙江水系悬浮物与沉积物元素背景值比较

元 素 倍 数	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
悬浮物/沉积物原样	2.7	1.5	1.0	1.5	1.2	1.4	1.3	1.5	0.76
悬浮物/<63μm 沉积物	4.0	1.8	1.3	1.8	1.5	1.7	1.5	2.4	1.0

(3)金沙江及北岸水系河流沉积物的地球化学特征

(1)沉积物组成

(A)沉积物的矿物组成

在金沙江及各条支流选择一代表沉积物进行 X—射线衍射分析,整个水系沉积物衍射角均相同,仅吸收峰高有差异,其组成主要是石英、方解石、长石及粘土矿物、绿泥石、伊利石和高岭石等。

(B)沉积物的一般特征。

金沙江水系各条河流沉积物的特征及比较见表 6-4-14 至表 6-4-18。由表可以看出:各条河流之间差异并不十分明显,全水系沉积物中的有机质含量均不超过 10%,沉积物的 pH 值在 7.5—8.4 之间,偏碱性,以金沙江沉积物的 pH 值最高,理塘河最小。根据所获得的沉积物机械组成的百分数分析,沉积物属粗砂,其中 0.25—0.05mm 组分的细砂最多,占总量的 51%—75%,粗砂(1—0.25mm)组分在 9.4%—30%之间。

表 5-3-27 金沙江水系(北)河流沉积物一般特征的比较

河 流 项 目		金沙江	雅砻江	安宁河	理塘河
有机质%		0.27	0.70	0.41	0.92
pH 值		8.38	8.10	7.93	7.50
机 械 组 成 %	1—0.25mm	9.42	24.1	30.0	20.6
	0.25—0.05mm	75.0	50.9	54.0	66.1
	0.05—0.01mm	9.93	16.6	7.83	6.25
	0.01—0.005mm	1.19	3.54	1.94	1.68
	0.005—0.001mm	1.01	3.11	1.78	0.80
<0.001mm		3.55	3.92	3.81	4.40

表 5-3-28 金沙江及北岸水系沉积物粒度组成

名 称	样本数	全 距	背景值		分布 类型
			平均值	标准偏差	
有机质%	16	0.09—0.79	0.27	0.189	正态
pH	17	8.00—8.72	8.38	0.202	正态

续表

机械组成 1%	样本数	全 距	背景值		分布 类型
			平均值	标准偏差	
1—0.25mm	17	0.11—39.5	9.42	13.3	正态
0.25—0.05mm	17	56.4—91.1	75.0	10.9	正态
0.05—0.01mm	17	0.41—27.1	9.93	8.98	正态
0.01—0.005mm	17	0.00—2.21	1.19	0.723	正态
0.005—0.001mm	17	0.00—2.61	1.01	0.743	正态
<0.001mm	17	1.48—5.71	3.55	1.18	正态

表 5-3-29 雅砻江水系沉积物粒度组成

名 称	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
有机质 %	7	0.02—1.75	0.70	0.70
pH	8	7.70—8.50	8.10	0.26
机械组成 %				
1—0.25mm	8	1.14—87.0	24.1	30.1
0.25—0.05mm	8	9.16—81.1	50.9	26.4
0.05—0.01mm	7	0.81—44.5	16.6	18.9
0.01—0.005mm	8	0.20—10.1	3.54	3.79
0.005—0.001mm	8	0.80—8.70	3.11	2.59
<0.001mm	8	1.09—7.97	3.92	2.30

7. 金沙江干流及北岸水系稀有稀土和放射性元素的背景值

考虑到样本的代表性及统计需要,采选了 17 个样点的河水和沉积物样品,重点放在金沙江干流及主要支流雅砻江上,其他几条水系均布设一点,可供统计和比较用,各环境单元样本数的分配状况为:金沙江——9,雅砻江——4,安宁河——1,理塘河——1,鲜水河——1,泸沽湖——1。

(1) 河水中元素的背景值

表 5-3-30 列出了金沙江水系及以北河流环境单元的河水稀有稀土和放射性元素的背景值;表 5-3-31 列出的是其过滤水这些元素的背景值;表 5-3-32 为金沙江干流河水;表 5-3-33 为金沙江干流过滤水;表 5-3-34,5-3-35 分别列出了金沙江北岸水系河水及其过滤水的稀有稀土和放射性元素的背景值。金沙江干流及北岸水系河水的背景值特征如下:

表 5-3-30 安宁河水系沉积物粒度组成

名 称	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
有机质 %	4	0.08—0.60	0.41	0.23
pH	4	7.80—8.10	7.93	0.15
机械组成 %				
1—0.25mm	4	9.07—50.2	30.0	18.0
0.25—0.05mm	4	43.5—62.2	54.0	7.75
0.05—0.01mm	4	1.00—16.6	7.82	7.58

续表

名 称	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
0.01—0.005mm	4	0.40—3.64	1.94	1.34
0.005—0.001mm	4	1.60—2.01	1.78	0.21
<0.001mm	4	2.30—6.53	3.81	1.95

表 5-3-31 理塘河水系沉积物粒度组成

名 称	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
有机质%	3	0.11—2.32	0.92	1.22
pH	3	6.00—8.50	7.50	1.32
机械组成%				
1—0.25mm	3	1.02—57.1	20.6	31.6
0.25—0.05mm	3	34.8—87.5	66.1	27.7
0.05—0.01mm	3	3.01—11.7	6.25	4.75
0.01—0.005mm	3	0.81—2.43	1.68	0.82
0.005—0.001mm	3	0.40—1.21	0.80	0.41
<0.001	3	3.50—5.75	4.42	1.18

表 5-3-32 金沙江水系(北)河水稀有稀土放射性元素背景值

 $\mu\text{g/L}$

元 素	样本数	全 距	背景值		分布 类型
			平均值	标准偏差	
Ce	15	0.53—12.7	3.86	3.85	正态
Dy	15	0.03—0.76	0.26	0.232	正态
Er	15	0.01—0.53	0.17	0.163	正态
Eu	15	0.01—0.20	0.069	0.062	正态
La	15	0.25—6.02	1.77	1.79	正态
Lu	15	0.01—0.10	0.034	0.026	正态
Nd	15	0.37—5.98	1.95	1.70	正态
Pr	15	0.10—1.99	0.63	0.586	正态
Sc	15	0.05—0.40	0.16	0.107	正态
Sm	15	0.08—1.04	0.45	0.309	正态
Tb	15	0.02—0.18	0.070	0.047	正态
Tm	14	0.01—0.24	0.072	0.064	正态
Y	15	0.22—4.38	1.34	1.28	正态
Yb	15	0.05—0.49	0.18	0.133	正态
U	12	0.13—0.52	0.26	0.109	正态
Th	14	0.06—0.29	0.18	0.083	正态
Sr	15	73.0—388	211	86.2	正态
Ba	13	10.8—48.4	30.0	13.2	正态
Gd	15	0.01—0.91	0.34	0.297	正态

表 5-3-33 金沙江水系(北)过滤水稀有稀土放射性元素背景值

 $\mu\text{g/L}$

元 素	样本数	全 距	背景值		分布 类型
			平均值	标准偏差	
Ce	15	0.40—2.06	1.07	0.606	正态
Dy	15	0.03—0.19	0.10	0.052	正态
Er	15	0.01—0.36	0.13	0.102	正态
Eu	15	0.01—0.05	0.027	0.015	正态
Gd	15	0.01—0.69	0.25	0.202	正态
La	14	0.07—0.66	0.30	0.157	正态
Lu	15	0.002—0.02	0.012	0.005	正态
Nd	14	0.05—0.27	0.13	0.056	正态
Pr	15	0.10—0.94	0.37	0.228	正态
Sc	14	0.01—0.06	0.035	0.013	正态
Sm	15	0.08—0.86	0.35	0.253	正态
Tb	15	0.004—0.18	0.065	0.049	正态
Tm	14	0.01—0.17	0.064	0.051	正态
Y	11	0.01—0.06	0.022	0.019	正态
Yb	15	0.05—0.47	0.17	0.123	正态
U	11	0.10—0.52	0.25	0.126	正态
Th	13	0.01—0.12	0.083	0.036	正态
Sr	15	71.6—388	208	85.1	正态
Ba	15	3.60—46.8	21.0	11.2	正态

表 5-3-34 金沙江干流河水(原水)稀有稀土放射性元素背景值

 $\mu\text{g/L}$

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
Ce	7	0.95—12.7	5.77	4.60
Dy	7	0.09—0.76	0.40	0.267
Er	7	0.02—0.53	0.27	0.190
Eu	7	0.02—0.20	0.10	0.073
Gd	7	0.03—0.91	0.52	0.335
La	7	0.55—6.02	2.64	2.15
Lu	7	0.01—0.10	0.050	0.030
Nd	7	1.23—5.98	3.02	1.79
Pr	7	0.13—1.99	0.95	0.689
Sc	7	0.06—0.40	0.19	0.111
Sm	7	0.10—1.04	0.60	0.365
Tb	7	0.03—0.18	0.098	0.051
Tm	7	0.03—0.24	0.11	0.071
Y	7	0.50—4.38	2.11	1.50
Yb	7	0.09—0.49	0.27	0.150
U	7	0.18—0.52	0.31	0.119
Th	7	0.07—0.29	0.21	0.083
Ba	7	36.7—166	70.5	50.2
Sr	7	170—388	276	71.0

表 5-3-35 金沙江干流过滤水稀有稀土放射性元素背景值

 $\mu\text{g/l}$

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
Ce	7	0.40—2.06	1.30	0.656
Dy	7	0.04—0.20	0.13	0.055
Er	7	0.02—0.36	0.19	0.114
Eu	7	0.01—0.05	0.031	0.016
Gd	7	0.03—0.69	0.36	0.224
Ho	7	0.09—0.49	0.28	0.117
La	7	0.07—0.32	0.24	0.087
Lu	7	—0.02	0.013	0.006
Nd	7	0.05—0.27	0.13	0.071
Pr	7	0.13—0.94	0.48	0.254
Sc	7	0.01—0.06	0.038	0.016
Sm	7	0.10—0.86	0.44	0.267
Tb	7	0.03—0.18	0.096	0.050
Tm	7	0.01—0.17	0.094	0.055
Y	7	0.06	0.023	0.025
Yb	7	0.09—0.47	0.24	0.141
U	7	0.12—0.52	0.29	0.138
Th	7	0.01—0.12	0.085	0.035
Ba	6	23.8—33.3	27.8	3.15
Sr	7	170—388	272	70.4

①金沙江干流及北岸水系河水包括过滤水稀有、稀土及放射性元素的背景值都为正态分布,表明河水中这些元素的天然浓度变化稳定,并具相对小的变异性。

②元素的浓度具有不同的数量级,为其自然特色:全水系除碱土金属 Sr、Ba 在 10^{-4} — 10^{-5} 数量级外,其余稀土元素和放射性元素含量均在 10^{-9} — 10^{-11} 数量级内。总量具体变化幅度为:

Ce、La、Nd、Y 含量为 10^{-9} 数量级。

Dy、Er、Pr、Sm、Gd、Yb、Sc、U、Th 含量为 10^{-10} 数量级。

Eu、Lu、Tm、Tb 含量为 10^{-11} 数量级。

溶解态具体变化幅度为:

Ce 含量为 10^{-9} 数量级。

Dy、Er、La、Nd、Yb、Pr、Sm、Gd、U、Th 含量为 10^{-10} 数量级。

Y、Sc、Tm、Tb、Lu、Eu 含量为 10^{-11} 数量级。

金沙江稀土及放射性元素含量数量级范围基本上和全水系一样,雅砻江则有比较多的元素含量在 10^{-10} — 10^{-11} 数量级内。

按稀土元素含量与原子序作图发现,金沙江水系、金沙江和雅砻江等水环境中,镧系元素总量偶数原子序的元素比奇数原子序的元素含量要大,这个结果与镧系元素在地壳中相对丰度依着原子序作有规律的变化完全一致,表明金沙江水系稀土元素总量明显受水系汇水区岩性所控制,溶解态稀土元素除了 Nd 含量略低外,其余的稀土元素也显示出相同的规律,表明溶解态稀土元素背景值也同样受汇水区岩性所控制。

③金沙江水系稀土元素及部分碱土、放射性元素背景值与其它水系之比较(见表 5-3-36)。

表 5-3-36 雅砻江水系河水稀有稀土放射性元素背景值

μg/L

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
Ce	4	0.53-2.62	1.57	1.06
Dy	4	0.03-0.19	0.11	0.089
Er	4	0.01-0.19	0.093	0.087
Eu	4	0.01-0.05	0.031	0.025
Gd	4	0.01-0.39	0.19	0.204
La	4	0.25-1.04	0.68	0.384
Lu	4	0.01-0.03	0.020	0.006
Nd	4	0.37-1.32	0.84	0.454
Pr	4	0.01-0.50	0.26	0.232
Sc	4	0.05-0.35	0.16	0.138
Sm	4	0.08-0.59	0.30	0.257
Tb	4	0.02-0.10	0.052	0.038
Tm	4	0.01-0.06	0.032	0.023
Y	4	0.22-0.78	0.51	0.252
Yb	4	0.09-0.13	0.11	0.023
U	4	0.17-0.27	0.22	0.048
Th	4	0.08-0.14	0.11	0.026
Ba	4	17.8-25.9	21.8	4.04
Sr	4	148-240	178	42.2

由表 5-3-37 可看出:总量中 Yb、Sr、Ba 和 U 略低于其它水系背景值外,其余稀土元素均远高于国内外水系中稀土元素背景值。而溶解态元素背景值(表 5-3-38)除 Nd、Ba 和 U 接近或略低于其它水系外,其余元素溶解态含量亦均高于国内外已报导的背景值,影响的因素是多方面的,由于我国是稀土矿产最多的国家,已探明储量为全世界的 80%,而金沙江水系又属富含稀有金属多金属矿带,目前已有多处发现稀土矿藏,因此该水系稀土元素背景值含量较高,与该区汇水区岩性、水化学特征都密切相关。

④金沙江水系稀土、部分碱土及放射性元素在水环境中的存在形态(见表 5-3-39)。

从水系这些元素的溶解态百分数可以看出:在全水系及金沙江中,有 Tm、Tb、Yb 三个元素在水体中基本上是以溶解态存在,其溶解态占总量的 90%以上,Sm、Er 和 Gd 则以溶解态为主(70%以上),Pr 则溶解态略高于悬浮态,而稀土元素 Nd、Y 基本上以悬浮态形态存在,Ce 和 Sc 以悬浮态为主,而 Eu、Dy、Lu 悬浮态略高于溶解态。雅砻江则有明显分异现象,水系中有 Tm、Tb、Yb 和 Pr 是基本上以溶解态为主,Lu、Er、Sm、Gd、Eu 和 La 以溶解态为主,Ce 和 Dy 溶解态略高于悬浮态,Y 基本上以悬浮态形态存在,而 Nd 和 Sc 则以悬浮态为主。

总的来看,全水系稀土元素存在形态的倾向是,大多数重稀土主要以溶解态形态存在,大多数轻稀土主要以悬浮态形态存在,中稀土基本上介于二者之间,但雅砻江有明显地区差异。

水系中碱土金属 Sr 基本上是以溶解态形态存在。全水系及雅砻江中 Ba 以溶解态为

主,金沙江则 Ba 的悬浮态略高于溶解态。水系中放射性元素 U 基本上是以溶解态形态存在,而 Th 则相反,大体上是以悬浮态形态为主要存在形式。

(2)金沙江干流及北岸水系河流沉积物稀有、稀土、放射性元素背景值

表 5-3-40 至表 5-3-46 列出了金沙江干流及北岸水系河流沉积物(原样和 63 μ m 部分)及主要水系环境单元沉积物的背景值,它们呈正态分布,表明其变化的规律和稳定性。这些元素的背景值特征:

表 5-3-37 雅砻江水系过滤水稀有稀土放射性元素背景值

$\mu\text{g/L}$

元 素	样本数	全 距	背景值		分布 类型	背景值范围 (80%置信区间)
			平均值	标准偏差		
Ce	3	0.400—1.96	0.96	0.866		
Dy	3	0.030—0.151	0.071	0.069		
Er	3	0.010—0.193	0.077	0.101		
Eu	3	0.010—0.052	0.024	0.024		
Gd	3	0.01—0.387	0.14	0.218		
La	3	0.253—0.911	0.58	0.329		
Lu	3	0.008—0.018	0.015	0.006		
Nd	3	0.124—0.213	0.17	0.045		
Pr	3	0.10—0.502	0.24	0.230		
Sc	3	0.026—0.053	0.036	0.015		
Sm	3	0.083—0.590	0.25	0.291		
Tb	3	0.02—0.101	0.048	0.046		
Tm	3	0.006—0.061	0.030	0.028		
Y	3	0.000—0.025	0.016	0.014		
Yb	3	0.087—0.129	0.10	0.022		
Sr	4	148—240	178	42.4		
Ba	4	9.80—21.9	15.1	5.37		

表 5-3-38 安宁河、理塘河水系稀有稀土放射性元素背景值特征统计表

$\mu\text{g/L}$

元 素	样本数	安宁河背景值		理塘河背景值	
		河 水	过滤水	河 水	过滤水
Ce	1	1.38	2.68	1.55	0.57
Dy	1	0.11	0.077	0.085	0.040
Er	1	0.11	0.11	0.028	0.028
Eu	1	0.031	0.020	0.021	0.010
Gd	1	0.16	0.16	0.077	0.077
Ho	1	/	/	/	/
La	1	0.55	0.24	0.85	0.21
Lu	1	0.010	0.01	0.013	0.004
Nd	1	0.50	0.15	0.66	0.10
Pr	1	0.29	0.29	0.19	0.19
Sc	1	0.072	0.024	0.19	0.024
Sm	1	0.32	0.092	0.19	0.19
Tb	1	0.046	0.046	0.026	0.026

续表

元 素	样本数	安宁河背景值		理塘河背景值	
		河 水	过滤水	河 水	过滤水
Tm	1	0.031	0.031	0.011	0.011
Y	1	0.37	0.009	0.55	0.014
Yb	1	0.053	0.053	0.072	0.072
U	1	/	0.10	0.97	0.88
Th	1	/	0.11	0.28	0.12
Ba	1	23.5	16.4	10.8	3.6
Sr	1	102	101	73.0	71.6
Zr	1	/	/	/	/

表 5-3-39 金沙江水系河水中稀土元素及部分碱土金属、

放射性元素背景值与其它水系比较表

 $\mu\text{g/L}$

元 素 水 系	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb
世界淡水范围	0.05— 0.08	0.1— 0.2	0.06— 0.25	0.01— 0.12	0.002— 0.009	0.001— 0.005	0.005— 0.20
洞庭湖水系	0.03	0.10	0.50	0.01	0.003	0.005	0.006
嫩 江	0.17	0.22	0.37	0.03	0.009	0.005	0.018
松花江水系	0.14	0.16	0.40	0.023	0.008	0.007	0.017
金沙江水系	1.77	3.86	1.95	0.45	0.069	0.070	0.18
金沙江	2.64	5.77	3.02	0.63	0.10	0.098	0.27
雅砻江	0.68	1.57	0.84	0.30	0.031	0.052	0.11

元 素 水 系	Lu	Sc	Sr	Ba	Th	U
世界淡水范围	0.002— 0.005	0.004— 0.04	3—1000	3—150	0.007— 0.10	0.002— 5.00
洞庭湖水系	0.002	0.055	40	15.4	/	/
嫩 江	0.003	0.026	109	19	0.017	0.15
松花江水系	0.003	/	68	18	0.016	0.12
金沙江水系	0.034	0.16	211	30	0.18	0.26
金沙江	0.050	0.19	276	70.5	0.21	0.31
雅砻江	0.020	0.16	178	21.8	0.11	0.22

表 5-3-40 金沙江水系过滤水稀土元素及部分碱土金属、

放射性元素背景值与其它水系比较表

 $\mu\text{g/L}$

元 素 水 系	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Sc	Sr	Ba	Th	U
湘江	0.07	/	0.60	0.009	0.005	/	0.007	0.003	0.005	37	14	0.0065	0.37
松花江水系	0.14	0.16	0.4	0.023	0.008	0.007	0.017	0.0033	0.011	68	18	0.016	0.12
洞庭湖水系	0.04	0.14	0.5	0.011	0.004	0.004	0.005	0.004	0.005	71	24	0.007	0.28
金沙江水系	0.30	1.07	0.13	0.35	0.027	0.065	0.065	1.07	0.035	208	21	0.083	0.25
金沙江	0.24	1.30	0.13	0.44	0.031	0.096	0.24	1.30	0.038	272	27.8	0.085	0.29
雅砻江	0.58	0.96	0.17	0.25	0.024	0.048	0.10	0.96	0.036	178	15.1	0.077	0.20

表 5-3-41 金沙江水系稀土元素的存在形态百分数

元 素 河 流	形 态	溶 解 态 %		悬 浮 态 %	
		>80	50—80	>80	50—80
全水系		Tm、Tb、Yb	Sm、Er、Gd、Pr	Nd、La、Y	Eu、Dy、Lu、Ce、Sc
金沙江		Tm、Tb、Yb	Sm、Er、Gd、Pr	Nb、La、Y	Eu、Dy、Lu、Ce、Sc
雅砻江		Tm、Tb、Yb、Er、 Sm、Pr、La	Lu、Gd、Eu、Dy、Ce	Y	Nd、Sc

表 5-3-42 金沙江干流及以北水系沉积物稀有、稀土、放射性元素背景值特征统计表 mg/kg

元 素	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
Ce	14	33.5—117	73.9	22.7	正态
Dy	14	2.28—8.57	4.62	1.44	正态
Er	14	1.27—4.58	2.62	0.763	正态
Eu	14	0.59—2.09	1.24	0.35	正态
Gd	14	2.46—10.4	5.58	1.80	正态
Ho	14	0.55—1.65	0.98	0.266	正态
La	14	16.9—61.2	37.2	11.9	正态
Lu	14	0.19—0.51	0.38	0.091	正态
Nd	14	14.2—54.9	32.2	9.92	正态
Pr	14	4.01—15.0	8.82	2.80	正态
Sc	14	4.25—15.4	9.94	2.96	正态
Sm	14	2.65—11.3	6.36	2.05	正态
Tb	15	0.64—7.95	2.90	2.18	正态
Tm	13	0.27—0.60	0.44	0.093	正态

表 5-3-43 金沙江干流及北岸水系沉积物 63 μ m 部分稀有稀土放射性元素背景值特征统计表

mg/kg

元 素	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
Ce	14	51.1—140	99.4	26.0	正态
Dy	14	4.49—8.58	6.63	1.19	正态
Er	14	2.66—4.94	3.88	0.719	正态
Eu	15	1.29—2.19	1.68	0.278	正态
Gd	14	5.08—10.5	7.76	1.52	正态
Ho	14	1.75—3.32	2.51	0.492	正态
La	14	27.4—71.2	51.8	13.0	正态
Lu	14	0.35—0.88	0.61	0.147	正态
Nd	14	24.7—55.2	39.2	9.28	正态
Pr	14	6.81—15.1	10.8	2.55	正态
Sc	15	6.53—15.8	12.1	2.82	正态
Sm	14	5.48—12.2	8.56	1.97	正态

续表

元 素	样本数	全 距	背景值		分布类型
			平均值	标准偏差	
Tb	13	0.80—2.25	1.44	0.494	正态
Tm	15	0.49—1.05	0.70	0.166	正态
Y	13	24.2—44.6	35.2	7.02	正态
Yb	14	2.46—5.75	4.22	0.824	正态
U	14	1.80—6.80	3.34	1.31	正态
Th	14	8.60—27.3	16.5	5.31	正态
Sr	15	114—226	173	40.8	正态
Ba	15	295—549	376	72.7	正态

表 5-3-44 金沙江干流沉积物稀有稀土放射性元素背景值特征统计表 mg/kg

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
Ce	7	33.4—77.3	59.1	15.5
Dy	7	2.28—5.07	3.89	0.861
Er	7	1.27—3.02	2.27	0.545
Eu	7	0.59—1.28	1.07	0.244
Gd	7	2.46—5.91	4.62	1.12
Ho	7	0.55—1.08	0.84	0.175
La	7	17.0—38.9	29.6	7.75
Lu	7	0.19—0.49	0.34	0.101
Nd	7	14.2—34.9	26.7	7.29
Pr	7	4.01—9.18	7.06	1.82
Sc	7	4.25—12.2	9.57	2.81
Sm	7	2.65—6.63	5.12	1.34
Tb	7	0.64—7.95	3.26	2.54
Tm	7	0.27—0.57	0.42	0.104
Y	7	12.5—27.9	20.9	4.73
Yb	7	1.64—3.31	2.48	0.593
Zr	7	78.4—346	174	102
U	7	1.30—2.90	1.89	0.677
Th	7	4.50—11.3	8.77	2.39
Ba	7	311—375	339	23.4
Sr	7	164—213	186	16.8

表 5-3-45 金沙江干流沉积物(63 μ m 部分)稀有稀土放射性元素背景值特征统计表 mg/kg

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
Ce	7	64.8—131	101	24.5
Dy	7	4.49—8.03	6.69	1.34

续表

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
Er	7	2.66—4.94	4.00	0.833
Eu	7	1.42—2.13	1.69	0.233
Gd	7	5.08—9.60	7.82	1.58
Ho	6	1.81—3.23	2.51	0.560
La	7	34.8—67.0	52.9	12.3
Lu	7	0.41—0.88	0.65	0.171
Nd	7	25.8—51.7	39.6	8.96
Pr	7	7.22—14.4	11.0	2.52
Sc	7	6.53—14.6	12.1	2.99
Sm	7	5.48—11.0	8.60	1.90
Tb	6	0.80—1.87	1.45	0.375
Tm	7	0.49—1.05	0.73	0.190
Y	6	24.2—44.2	35.5	8.04
Yb	7	3.27—5.57	4.42	0.811
Zr	7	48.6—951	532	358
U	7	2.40—6.80	3.66	1.69
Th	7	8.60—24.7	15.9	5.75
Ba	7	308—467	375	63.1
Sr	7	183—226	202	15.3

表 5-3-46 雅砻江沉积物(原样)稀有稀土
放射性元素背景值特征统计表

mg/kg

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
Ce	3	86.0—101	93.2	7.49
Dy	3	3.85—5.59	4.93	0.941
Er	3	2.14—3.27	2.78	0.578
Eu	4	1.21—2.09	1.58	0.379
Gd	3	4.94—6.86	6.12	1.03
Ho	3	0.78—1.20	1.01	0.213
La	3	42.2—50.3	46.1	4.08
Lu	3	0.33—0.49	0.41	0.080
Nd	3	34.9—41.8	38.2	3.45
Pr	3	9.92—11.7	10.8	0.876
Sc	4	5.41—13.0	9.07	3.29
Sm	3	6.52—8.22	7.48	0.871
Tb	4	1.29—4.90	2.54	1.67
Tm	4	0.38—1.23	0.67	0.384
Y	3	20.1—29.9	25.8	5.07
Yb	3	2.32—3.55	2.94	0.615
Zr	3	159—194	175	17.6

续表

元 素	样本数	全 距	背景值	
			平均值	标准偏差
U	3	1.80—2.70	2.27	0.451
Th	3	8.70—13.9	11.8	2.76
Sr	3	112—126	118	7.10
Ba	4	280—426	357	62.0

表 5-3-47 金沙江水系沉积物中稀土元素及部分碱土金属、

放射性元素背景值与其它水系比较表

mg/kg

元 素	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Sc	Sr	Ba	Th	U
地壳丰度	30	60	/	6.0	1.2	0.9	3.0	0.50	22	375	425	9.6	2.7
洞庭湖水系	43	66	40	5.2	1.0	0.75	2.2	0.41	5.5	88	744	14.0	4.0
湘江	45	79	44	4.6	1.1	0.86	3.2	0.52	7.6	/	539	23.5	4.4
金沙江水系	37.2	73.9	32.3	6.36	1.24	2.90	2.82	0.38	9.94	159	355	10.2	2.07
金沙江	29.6	59.1	26.7	5.12	1.07	3.26	2.48	0.34	9.57	186	339	8.77	1.89
雅鲁江	46.1	93.2	38.2	7.48	1.58	2.54	2.94	0.41	9.07	118	357	11.8	2.27

表 5-3-48 安宁河、理塘河、泸沽湖沉积物稀有稀土

放射性元素背景值特征统计表

mg/kg

元 素	样本数	安宁河背景值平均值		理塘河背景值平均值		泸沽湖背景值平均值	
		原样	63 μ m 部分	原样	63 μ m 部分	原样	63 μ m 部分
Ce	1	63.6	78.3	96.6	618	116.8	51.1
Dy	1	4.83	6.56	5.38	18.3	8.57	5.08
Er	1	2.84	3.77	2.87	8.78	4.58	2.79
Eu	1	1.03	1.29	1.52	1.95	2.86	1.51
Gd	1	5.30	7.01	6.89	25.1	10.35	5.77
Ho	1	1.01	2.19	1.20	9.37	1.65	1.75
La	1	31.5	40.7	49.6	349	61.2	27.4
Lu	1	0.41	0.54	0.41	1.18	0.59	0.35
Nd	1	27.1	31.3	39.8	174	54.9	24.7
Pr	1	7.53	8.50	11.2	54.4	15.0	6.81
Sc	1	10.1	12.4	15.4	12.4	23.5	15.3
Sm	1	5.82	7.22	8.05	7.07	11.3	5.56
Tb	1	1.25	2.16	2.19	11.6	6.20	1.01
Tm	1	0.47	0.60	0.49	0.54	0.76	0.73
Y	1	26.3	35.3	26.9	27.4	41.3	25.1
Yb	1	2.98	3.73	3.55	3.27	4.14	2.46
U	1	1.90	2.50	3.50	26.4	1.9	1.8
Th	1	10.0	15.0	15.1	173	11.1	10.9
Ba	1	398	346	367	408	464	435
Sr	1	116	208	102	122	152	151
Zr	1	84.6	111	175	296	165.6	0.00

①元素分布的数量级:

全水系沉积物中,除碱土金属 Ba、Sr 的背景值为 10^{-4} 数量级外,稀土元素放射性 Th 和 U 背景值含量都在 10^{-5} — 10^{-7} 数量级中。沉积物原样的具体变化幅度是:

Ce、La、Nd、Y 和 Th 含量为 10^{-5} 数量级

Dy、Er、Pr、Eu、Gd、Sm、Tb、Yb、Sc 和 U 含量为 10^{-6} 数量级

Ho、Tm、Lu 含量为 10^{-7} 数量级。

小于 $63\mu\text{m}$ 样沉积物变化幅度是:

Ce、La、Nd、Pr、Y、Sc 和 Th 含量为 10^{-5} 数量级。

Dy、Er、Eu、Gd、Sm、Tb、Yb、Ho 和 U 含量为 10^{-6} 数量级

Lu、Tm 含量为 10^{-7} 数量级。

金沙江和雅砻江各元素在沉积物原样和小于 $63\mu\text{m}$ 样的背景值含量的数量级基本和全水系一样。

取全水系、金沙江和雅砻江沉积物原样和小于 $63\mu\text{m}$ 样中稀土元素含量与原子序作图,同样发现,镧系元素背景值偶数原子序的元素比奇数原子序的含量大,与镧系元素在地壳中相对丰度依着原子序作有规律的变化完全一致。表明全水系及各条河流沉积物原样及小于 $63\mu\text{m}$ 样稀土元素背景值明显受沉积物来源和汇水区岩性所控制。

②金沙江水系沉积物中稀土元素及部分碱土金属、放射性元素背景值与其它水系之比较(见表 5-3-47)。

由表 5-3-47 可看出:放射性元素 U、Th 和碱土金属 Ba、稀土元素 Nd 略低于湘江及洞庭湖水系沉积物背景值,而稀土元素 Tb 和 Sc 及碱土元素 Sr 略高于湘江及洞庭湖水系,其它稀土元素 La、Ce、Sm、Eu、Yb、Lu 和湘江及洞庭湖水系沉积物背景值基本一致。与地壳丰度相比,除 Tb 明显高外,其它元素均接近或低于地壳丰度。

表 5-3-46 还列出了金沙江干流及北岸水系流域地区的泸沽湖沉积物原样和 $63\mu\text{m}$ 细微颗粒部分的稀有、稀土和放射性元素的背景值,它比河流同种元素的背景值大部分元素明显较高。

第六章 金沙江南岸水系水体中的化学元素

第一节 金沙江南岸水系的环境特征

金沙江中下游南岸的较大支流普渡河、牛栏江、小江和横江水系同属云南境内金沙江水系的主要支流,集中在滇中和滇东北地区,位于东经 $105^{\circ}45'$ — $102^{\circ}30'$,北纬 $24^{\circ}05'$ — $28^{\circ}45'$,它们的总流域面积 11 万 km^2 ,占云南省面积的 28.5%(图 6-1)。由于它们的自然条件,特别是气候相近,可合为一个二级背景值研究区和环境单元。

一、气候特征

属亚热带高原垂直带显著气候,特别是四季不分明,雨热同季,干冷同季。雨季在 6—10 月份,降雨量占全年 80%。12—5 月为旱季,多晴少雨。由于山高谷深河谷热量资源丰富,山地温暖,高山上部气候湿凉。北部常出现倒春寒。年降水量 900—1000mm 左右,年势气温 $13-15^{\circ}\text{C}$,相对湿度 70% 左右。

二、地质环境

地层发育,出露岩石类型多、分布广,中部和南部元古界出露岩石为板岩、白云石、砂岩和大理岩,分布十分广泛。北部和中部主要为震旦系砂、页、灰、白云岩。上古界出露面积广,主要为灰岩、白云质灰岩、炭质页岩。东部以中生界“红层”分布较广。新生界零星出露于山间盆地,主要为砾、粘土岩、页岩。流域内岩浆岩和玄武岩及变质岩都有较广的出露。以沉积矿床为主,普渡河上游磷矿中伴有钼、铍、铈、镧等稀有分散元素及放射性元素。其次还有盐矿,伴生芒硝、钾盐、硼、锂、铍、铷、铯等,主要分布在昆明、安宁、昆阳等滇中一带。小江上游有煤矿,中下游有铜矿,伴有铅、锌、金、银、锑、镉、钴、镍、镓、铟等。牛栏江中游有煤矿,下游有铅锌矿。横江上游有煤矿。

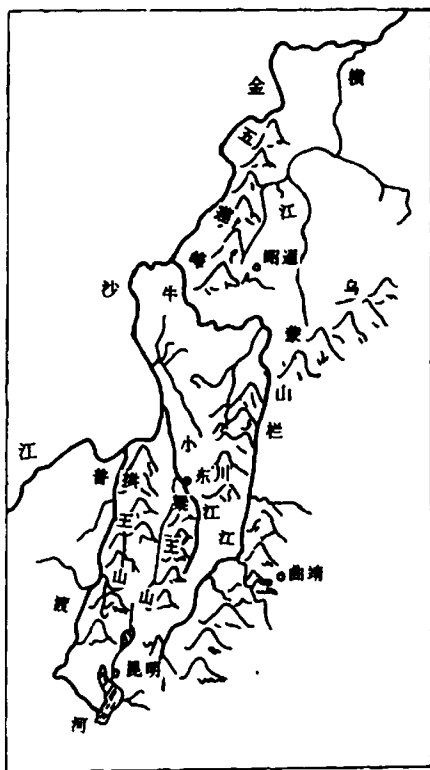


图 6-1 金沙江水系地势图

三、水文特征

金沙江中游(石鼓至屏山)河长 1273 公里,下游(屏山至宜宾)河长 96km。中游为深切河谷,高差 800—1000m,河宽 80—200m,下游地势平缓,海拔 500m 以下,河床宽 300—500m。金沙江中下游集水面积占全流域的 54%,径流量(石鼓)为 $1290\text{m}^3/\text{s}$,至宜昌增至 $4750\text{m}^3/\text{s}$,径流量丰枯季节明显,最小径流量出现于 4—5 月份,夏季为丰水期,占全年径流量的 44%—54%,补给以降水为主,60%—70%为大气降水补给。本研究中的主要水系包括普渡河、横江、牛栏江、小江都是由云南境内注入金沙江的一级支流。

普渡河全长 178km,流域面积 11030km^2 ,多年平均流量为 $101\text{m}^3/\text{s}$ 。

横江全长 307km,流域面积 14175km^2 ,多年平均流量 $120\text{m}^3/\text{s}$ 。

牛栏江全长 423km,多年平均流量为 $173\text{m}^3/\text{s}$,流域面积 13185km^2 。

小江流域面积 2241km^2 ,小江是一条含砂量很高的河流,多年平均含沙量为 $5.01\text{kg}/\text{m}^3$,而牛栏江含量仅 $0.974\text{kg}/\text{m}^3$ 。

四、植被与土壤

横江流域以黄壤为主,普渡河流域红壤分布面积最大,其次零星出露紫色土及红色灰石土。小江流域以红壤占绝对优势,少量零星分布黄壤及紫色土。牛栏江流域仍以红壤占绝对优势,其次为黄红壤及零星分布的紫色土。植被的分布有明显的垂直带,山顶以云南松、滇油杉为主,一般长势茂密,河流两岸以灌木为主,有的地方为光秃山崖。在山间盆地分布着人工种植的果木和可耕地。

第二节 金沙江南岸水系水体的理化性状及其地球化学特征

金沙江下游及其南岸支流普渡河—横江流域位于云南省中部及东北部,属湿润亚热带气候,广泛分布砂岩、灰岩、玄武岩,形成独特的区域水化学特征。

一、矿化度

在 $77\text{—}272\text{mg}/\text{L}$,属淡水。湖泊矿化度在 $220.9\text{—}244.2\text{mg}/\text{L}$,泉水在 $224.1\text{—}263.0\text{mg}/\text{L}$,寻甸塘子温泉矿化度高达 $1534.9\text{mg}/\text{L}$,属高矿化度水。

二、离子组成

HCO_3^- 是主要阴离子,含量范围在 $82.1\text{—}263.5\text{mg}/\text{L}$,均值 $153\text{mg}/\text{L}$ 。 Ca^{2+} 为主要阳离子,均值 $54.8\text{mg}/\text{L}$,范围值 $34.6\text{—}75.0\text{mg}/\text{L}$ 。 Cl^- 和 CO_3^{2-} 水为主。

三、硬度

稍硬水(8—16 德国度)占 48%,软水(4—8 德国度)占 21.3%。在河水中横江以软水为主。

四、pH

变化在 7.6—8.6,均值为 8.2,区域差异不明显。属中到弱碱性水。

五、水温和溶解氧

11 月平均水温 15.5°C ,牛栏江为 17°C ,金沙江干流为 11.7°C 。溶解氧 $7.8\text{mg}/\text{L}$,差异不大。金沙江干流含量最高为 $15\text{mg}/\text{L}$,饱和度 136%。

第三节 金沙江南岸水系水体元素的含量和背景值

流经中、东北部金沙江南岸的较大支流普渡河、牛栏江、小江和横江水系自然环境条件相近,可划为一个环境单元,属亚热带高原垂直变化显著气候,年降水量 900—1000mm 左右,年均气温 13—15℃,水量热量明显增加,广泛分布板岩、白云岩、砂岩和大理岩,红层分布较广,岩浆岩、玄武岩和变质岩有广泛出露,伴有稀土、稀有以及铅、锌、金、银等矿床,以黄壤、红壤、紫色土分布为主。属低矿化度 77—272mg/L, pH 值为 7.6—8.6 弱碱性水。本环境单元水热条件增加,化学风化作用明显增强,它是形成水环境化学元素丰度和形态的基本因素。

一、河水元素背景值

从表 6-3-1 可以看出金沙江南岸水系环境单元河水元素背景值除 Mn 和 Mo 为对数正态分布外,其他都为偏态分布,表明这些元素有相当的区域分散性和相对变化性,如 Fe、Cu、Pb、Zn、Mn 等元素,离散程度较大,Fe 相差 4 个数量级,Mn 达 2 个数量级。

同全长江水系河水这些元素的背景值比较,大部分元素比较接近,处于明显高背景值水平的有 Fe、Cr、Co、Cu、Pb、Cd、Cr。稀有稀土和放射性元素中(表 6-3-2)Rb、Ba、Sb、U、Nd 等元素与长江水系均值基本一致,也同世界这些元素的均值接近。La、Ce 则低于全长江水系河水中的均值。Sr、Sc、Sm、Eu、Th、Yb 则趋向于偏高。

二、溶解态元素的背景值

金沙江南岸河流水环境单元溶解态元素也以偏态分布为主,表现为离散性较大,区系河水溶解态元素含量分布的不均匀性,多数元素的背景值水平与长江全水系元素的背景值水平接近,但 Cd、Cu、Pb、Co、Fe 明显处于高背景值水平(表 6-3-3)。与前述的河源水系、金沙江干流及北岸水系环境单元相比,河水中以溶解态存在的元素比例,明显增高,多数元素由以悬浮颗粒态为主。转化为以溶解态为主。稀有稀土和放射性元素的分布类型复杂,Sr、Ba、U、Th、Nd、Sm 呈正态分布,Rb、Sb、Sc、Ce 呈对数正态分布,Cs、Eu、Tb、Yb、Lu 呈偏态分布。

三、沉积物和悬浮物元背景值

金沙江南岸水系河流沉积物中多数微量元素的累积程度较高,故与河水不同,沉积物中的多数元素处于高背景值状态(表 6-3-4 和 6-3-5)。像 Zn、Cd、Co、Ni、Fe 是长江全水系沉积物背景值的 2 倍以上,Cu 达 4 倍以上,造成金沙江南岸水系环境单元沉积物许多微量元素明显高背景值的原因和地形高差悬殊,冲刷严重,有色金属矿床较多,进入水中的许多微量元素在中偏碱性水环境中向沉积物富积有关。比较表 6-3-4 和 6-3-5 可以看出 <63μm 部分的沉积物都有明显的高于沉积物原样的现象,而且增高的趋势十分一致,但富积程度显著性差异不十分明显,这种现象可推断沉积物处于高背景值状态,主要是沉积物冲刷来的矿物造成的,即处于高背景值的原因是由沉积物中矿物成分引起的。以稀有、稀土和放射性矿物看(表 6-3-6)Sr、Sc、La、Nd、Sm 与长江水系沉积物比较,明显处于高背景值水平,而其他元素基本上与长江全水系沉积物这些元素背景值相近。

表 6-3-7 列出了金沙江面岸水系河流悬浮物元素的背景值,除 Cd 外,都是正态分布,表明悬浮物元素含量分布的均匀性。除 Fe 外其他元素都较沉积 <63μm 的部分更加富

表 6-3-1 金沙江南岸水渠河水元素背景值

 $\mu\text{g/L}$

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	40	偏态	8.73	14.53	3.06	3.95	0.51	1.88	35.9	1.88	0.48—59.4
Pb	40	偏态	4.26	6.06	1.97	3.34	0.46	1.36	15.8	1.36	0.34—28.0
Zn	40	偏态	22.73	42.19	4.87	5.78	1.06	1.64	99.9	1.64	0.48—183.6
Cd	40	偏态	0.15	0.17	0.08	3.21	0.019	0.074	0.49	0.074	0.018—0.534
Ni	40	偏态	2.98	5.08	0.90	4.20	0.26	0.45	15.5	0.45	0.14—19.4
Cr	40	偏态	3.70	6.24	1.42	3.62	0.3	0.82	17.9	0.82	0.25—260.0
Co	40	偏态	1.65	2.42	0.76	3.14	0.26	0.43	6.73	0.43	0.25—10.9
Fe	40	偏态	2146.21	3541.61	492.13	6.11	25.59	256	9900	256	24.21—13500
Mn	40	对数正态	97.87	207.34	25.76	5.27	1.22	18.44	366	25.76	0.6—1200
Mo	40	对数正态	0.68	0.55	0.52	2.11	0.17	0.44	1.64	0.52	0.12—2.76
V	40	偏态	6.62	10.15	1.69	9.19	0.16	1.42	25.98	1.42	0.01—41.2
Se	40	偏态	0.20	0.13	0.16	2.07	0.04	0.17	0.44	0.17	0.02—0.52
Hg	40	偏态	0.03	0.03	0.02	1.92	0.01	0.02	0.08	0.02	0.005—0.097
As	40	偏态	5.13	25.15	0.91	3.16	0.31	0.7	3.32	0.7	0.2—7.18
F	40	偏态	0.16	0.19	0.13	1.79	0.06	0.12	0.47	0.12	0.04—0.81

表 6-3-2 金沙江中下游南岸水系河水锶水锶有稀土放射性元素背景值

 $\mu\text{g/L}$

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Rh	11	偏态	3.78	7.03	2.01	2.53	0.68	1.80	2.96	1.80	0.68—26
Cs	11	偏态	0.24	0.52	0.10	2.76	0.04	0.11	0.13	0.11	0.04—1.9
Sr	11	正态	273	161	209	2.50	30	295	408	273	23—600
Rb	11	对数正态	49	43	3.9	1.89	14	38	53	39	13—180
Sb	11	对数正态	2.18	0.14	0.18	1.92	0.07	0.16	0.43	0.18	0.06—0.49
Sc	11	偏态	0.70	1.86	0.17	3.95	0.03	0.13	0.30	0.13	0.027—6.6
U	11	对数正态	0.64	0.40	0.55	1.72	0.27	0.53	0.97	0.55	0.27—1.7
Th	11	偏态	0.40	0.98	0.13	3.38	0.03	0.13	0.22	0.13	0.028—3.5
La	11	偏态	1.55	3.56	0.56	3.33	0.16	0.45	1.07	0.45	0.16—12.0
Co	11	偏态	2.64	5.75	1.06	3.13	0.31	0.80	1.96	0.80	0.28—20.8
Nd	11	偏态	2.55	6.14	0.84	3.41	0.29	0.51	1.73	0.51	0.29—22
Sm	11	偏态	0.39	0.88	0.15	3.02	0.06	0.11	0.26	0.11	0.06—3.2
Eu	11	偏态	0.11	0.29	0.032	3.42	0.011	0.021	0.053	0.021	0.011—1.03
Tb	11	偏态	0.063	0.12	0.020	4.15	0.003	0.014	0.182	0.014	0.003—0.40
Yb	11	偏态	0.095	0.23	0.033	3.22	0.010	0.025	0.055	0.025	0.01—0.03
Lu	11	偏态	0.016	0.036	0.007	2.92	0.002	0.006	0.014	0.006	0.002—0.13

表 6-3-3 金沙江中下游南岸水系海河生态元素背景值

表 6-3-3 金沙江中下游南岸水系灌溉河水态元素背景值			正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征		μg/L
元素名称	样本数	分布类型	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距	
Cu	40	偏态	1.28	1.52	0.96	1.96	0.41	0.93	2.46	0.93	0.41—2.46	
Pb	40	偏态	1.14	1.13	0.82	2.15	0.34	0.61	3.49	0.61	0.34—3.49	
Zn	40	偏态	1.17	1.51	1.09	1.45	0.62	1.02	1.87	1.02	0.62—1.87	
Cd	40	偏态	0.057	0.056	0.04	2.24	0.017	0.033	0.16	0.033	0.017—0.16	
Ni	40	偏态	0.45	0.39	0.36	1.81	0.22	0.30	1.3	0.30	0.22—1.3	
Cr	40	偏态	0.69	0.56	0.55	1.91	0.24	0.51	1.74	0.51	0.24—1.74	
Co	40	偏态	0.31	0.11	0.30	1.26	0.24	0.3	0.35	0.3	0.24—0.35	
Fe	40	对数正态	28.51	50.84	15.86	2.68	3.22	12.8	59.8	15.86	2.58—320	
Mn	40	对数正态	5.82	6.61	3.09	3.26	0.46	2.92	19.04	3.09	0.38—27.37	
Mo	40	对数正态	0.53	0.53	0.38	2.25	0.12	0.29	1.14	0.38	0.09—2.76	
V	40	偏态	0.61	0.54	0.33	5.26	0.02	0.34	1.56	0.34	0.02—1.56	
Se	40	正态	0.15	0.10	0.12	2.28	0.02	0.14	0.32	0.15	0.01—0.38	
Hg	40	偏态	0.012	0.005	0.011	1.88	0.002	0.012	0.02	0.012	0.002—0.02	
As	40	偏态	0.68	0.43	0.57	1.77	0.27	0.5	1.46	0.5	0.27—1.46	
F	40	偏态	0.16	0.18	0.12	1.79	0.06	0.11	0.46	0.11	0.06—0.46	

表 6-3-4 金沙江中下游南岸水系沉砂河流域(南岸)背景值

表 6-3-4 重沙江中下游兩岸水系沉积物(原样)背景值												mg/kg
元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征		
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距	
Cu	16	对数正态	85.44	52.79	75.04	1.64	32.48	70	172.62	75.04	40.6—245.5	
Pb	16	正态	30.58	11.81	28.56	1.46	11.92	26.3	48.26	30.58	14.9—55.7	
Zn	16	对数正态	119.13	69.38	104.90	1.67	30.56	106	217.6	104.90	38.2—338	
Cd	16	正态	0.24	0.14	0.21	1.73	0.06	0.2	0.44	0.24	0.07—0.636	
Ni	16	正态	47.93	19.54	44.60	1.48	17.36	42	81.96	47.93	12.7—96.6	
Cr	16	正态	96.04	32.11	91.25	1.39	40.8	90	158.46	96.04	51—159.9	
Co	16	偏态	23.75	11.98	21.70	1.51	11.2	18.4	43.44	18.4	11.2—43.44	
Fe	16	正态	4.65	1.68	4.38	1.42	1.87	4.33	7.72	4.65	2.34—8.66	
Mn	16	正态	784.41	175.56	766.04	1.25	431.04	729.6	1048.4	784.41	538.8—1134	
Hg	16	对数正态	0.054	0.040	0.041	2.185	0.010	0.044	0.12	0.041	0.013—0.128	
As	16	正态	9.02	4.12	8.21	1.58	2.24	7.7	16.81	9.02	2.8—18.96	

表 6-3-5 金沙江中下游南岸水系河流沉积物(63 μ m)元素背景值

表 6-3-5 金沙江中下游南岸水系河流沉积物(63μm)元素背景值											mg/kg
元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	27	对数正态	110.74	59.68	95.53	1.77	33.84	92.9	214.37	95.53	31.7—267.2
Pb	27	偏态	40.8	23.44	36.32	1.59	20.48	33.9	86.02	33.9	20.2—189.6
Zn	27	对数正态	164.78	95.67	143.28	1.71	55.2	142.5	374.16	143.28	55.2—439.8
Cd	27	对数正态	0.31	0.24	0.23	2.17	0.06	0.19	0.60	0.31	0.049—1.14
Ni	27	正态	55.55	17.07	52.89	1.39	27.08	53.7	78.19	55.55	26.1—94.4
Co	27	对数正态	27.97	11.20	25.99	1.47	13.44	24.4	48.43	25.99	12.6—53.8
Fe	27	正态	6.24	1.96	5.91	1.41	2.87	5.94	8.66	6.24	2.78—9.66
Mn	27	正态	920.42	239.45	887.78	1.33	510.83	949	1224.4	920.42	501.1—1430
Hg	27	对数正态	0.061	0.056	0.045	2.201	0.01	0.05	0.19	0.045	0.007—0.239
As	27	正态	10.30	4.96	8.83	1.89	1.67	9.54	17.69	10.30	1.38—20.55
Cr	27	对数正态	105.52	41.32	98.48	1.46	54.23	95.75	169.7	98.48	53—226

表 6-3-6 金沙江中下游水系河流沉积物(<63 μ m)稀有稀土放射性元素背景值 mg/kg

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Rb	10	正态	73	33	64	1.8	17	75	121	73	14—132
Cs	10	正态	4.6	2.4	4.0	1.7	1.4	4.1	7.2	4.6	1.3—10
Sr	10	偏态	618	116	608	1.2	407	600	710	600	385—879
Ba	10	正态	435	213	395	1.6	182	440	579	435	579—761
Sb	10	正态	1.1	0.48	1.0	1.7	0.2	1.2	1.8	1.1	0.4—1.8
Sc	10	正态	20	8	18	1.5	9	24	28	20	9—35
U	10	正态	3.2	0.9	3.1	1.4	1.4	3.4	3.9	3.2	1.2—4.9
Th	10	正态	10	4.9	8.4	1.8	2.3	9.7	15.5	10	2.0—20.0
La	10	正态	51	10	50	1.2	37	54	60	51	37—72
Ce	10	正态	94	21	92	1.2	63	99	108	94	62—138
Nd	10	正态	50	11	49	1.3	33	54	63	50	33—67
Sm	10	正态	9.3	2.1	9.1	1.3	6.3	9.8	11.9	9.3	6.2—13
Eu	10	正态	2.1	0.5	2.1	1.3	1.5	2.0	2.8	2.1	0.3—2.8
Tb	10	正态	0.96	0.20	0.94	1.2	0.7	1.0	1.2	0.96	0.3—1.8
Yb	10	正态	2.9	0.51	2.9	1.2	2.0	2.9	3.5	2.9	2.1—3.7
Lr	10	正态	0.47	0.07	0.46	1.2	0.38	0.47	0.56	0.47	0.38—0.61

表 6-3-7 金沙江中下游南岸水溪河流量浮物元素背景值

表 6-3-7 金沙江中下游南岸水系河流悬浮物元素背景值											mg/kg
元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	10	正态	137.51	64.28	126.61	1.51	38.4	116.5	234.5	137.5	76.8—290.7
Pb	10	正态	113.54	85.14	84.77	2.32	15.8	99.4	237.95	113.54	31.6—286.3
Zn	10	正态	310.11	165.11	267.91	1.81	53.55	244	5315	310.11	107.1—539
Cd	10	对数正态	1.41	2.34	0.62	3.67	0.06	0.65	4.75	0.62	0.129—7.878
Ni	10	正态	70.03	13.55	68.90	1.21	24.95	67.3	89.3	70.03	49.9—98.7
Cr	10	正态	100.27	21.83	97.79	1.28	26.9	95.9	127.75	100.27	53.8—137.8
Co	10	正态	28.67	8.37	27.66	1.32	8.45	27.9	40.15	28.67	16.9—47.9
Fe (%)	10	正态	4.39	2.28	3.81	1.80	0.79	3.57	7.59	4.39	1.58—8.38
Mn	10	正态	944.28	173.73	928.48	1.22	302.5	942.5	1156.5	944.28	605—1164

积,表明河水中的元素受悬浮物微细颗粒的吸附,在悬浮颗粒物中呈高度富积。计算显示悬浮物的元素含量同沉积物、河水和河水过滤水中同种元素具有相关性。

第四节 金沙江南岸主要流水系水体元素含量与背景值

一、普渡河水系

普渡河发源于昆明松花坝,流经滇池、螳螂川,于东川汇入金沙江,全长 359km,汇水面积 10445km²,流域山势波状起伏,形成断层陷落湖泊滇池等。

1. 普渡河水系河水元素背景值

普渡河水系河水背景值列于表 6-4-1,从表中可以看出:

(1)普渡河原水中大部分元素为对数正态或正态分布,仅 Zn 和 Ni 属偏态分布。

(2)普渡河原水中的元素背景值都明显低于金沙江中下游及南岸入江的其他三条河流河水。

(3)与我国东部一些河水如松花江、洞庭湖水系和北江水系元素背景值比较,Cu、Pb、Cd 略高。Co、Mn 明显高,其他元素处于同样含量水平。

2. 普渡河河水溶解态(过滤水)元素背景值

普渡河溶解态元素背景值列于表 6-4-2,它的特征:

(1)大多数元素为正态分布,少数元素为对数正态分布,表明溶解态元素背景值分布的一致性和规律性。

(2)与我国的其他河水比较,大部分元素背景值较松花江、洞庭湖水系,也较小江、牛栏江、横江低,特别是 Pb、Zn、Cd、Cr、Co、Fe。也有如 Mn、Mo 略高。Cu、Ni、Hg 等一致。

3. 普渡河水系沉积物元素背景值

表 6-4-3 和 6-4-4 列出了普渡河沉积物元素背景值,其特征是所有元素都是正态分布,表明它分布的规律性。与国内外有效研究数值的比较,Mn、Zn、Cr、Ni 明显较高。Hg、Pb、Cu 略低于或基本一致。与 63 μ m 细粒径沉积物比较,除 Cu、Ni、Cr、Mn 较原样沉积物稍高外,其他元素多相近,甚致略低,如 Cd。可以推断普渡河水系沉积物中的元素主要以颗粒态存在。相对于河水元素背景值较低的现象表明,河流水体中的元素具强烈的向水中富积作用。

4. 普渡河悬浮物元素背景值

从表 6-4-5 列出的悬浮物中少量样品、部分元素表明,悬浮物中元素的背景值远较沉积物中高。Cu、Pb、Zn、Ni、Cr 比沉积物(原样)高近一倍或一倍以上。Mn、Fe、Co 略高或接近。Cd 高 5 倍。表明水体中的微量重金属更趋于富积于悬浮物中。

二、牛栏江水系

牛栏江发源于嵩明,流经沾益、宣威等县,在巧家县汇入金沙江。全长 461km。流经云贵高原中部和东部的主体,海拔一般 2000m 左右。北部的乌蒙山峰峦叠嶂,形成高山深峡。由于植被贫乏,水土流失严重,冲积扇发育。地下水为以碳酸盐类岩溶裂隙水为主,但河水主要靠嵩明盆地汇集的降水补给。

表 6-4-1 普渡河水系河水(原水)元素背景值特征统计表

μg/L

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	9	正态	2.14	1.52	1.73	2.03	0.23	1.64	4.45	2.14	0.51—5.56
Pb	9	对数正态	1.84	2.36	1.10	2.63	0.21	0.72	5.86	1.10	0.46—7.4
Zn	9	偏态	3.38	5.02	1.99	2.49	0.48	1.38	11.15	1.38	0.48—11.15
Cd	9	正态	0.061	0.056	0.044	2.268	0.009	0.028	0.152	0.061	0.019—0.172
Ni	9	偏态	1.00	1.60	0.58	2.43	0.14	0.43	3.31	0.43	0.14—0.43
Cr	9	对数正态	0.89	1.26	0.58	2.27	0.11	0.49	2.66	0.58	0.25—4.24
Co	9	对数正态	0.75	1.06	0.47	2.35	0.11	0.31	2.33	0.47	0.25—3.53
Fe	9	对数正态	738.00	1387.11	258.31	4.52	11.52	232	2794.65	258.31	25.59—4380
Mn	9	对数正态	37.06	47.93	20.27	3.65	0.55	19.76	110.37	20.27	1.22—160
Mo	9	对数正态	0.51	0.47	0.40	2.00	0.08	0.33	1.28	0.40	0.18—1.64
V	9	对数正态	3.15	4.62	1.58	3.28	0.16	1.12	9.95	1.58	0.36—14.96
Se	9	正态	0.17	0.14	0.13	2.10	0.03	0.09	0.41	0.17	0.06—0.44
Hg	9	对数正态	0.04	0.02	0.036	1.5	0.01	0.03	0.07	0.036	0.023—0.097
As	9	正态	0.86	0.65	0.66	2.19	0.09	0.51	1.84	0.86	0.2—1.98
F	9	对数正态	0.22	0.26	0.14	2.46	0.02	0.11	0.66	0.14	0.05—0.81

表 6-4-2 普渡河过滤水元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	9	正态	1.00	0.74	0.84	1.80	0.19	0.82	2.09	1.00	0.42—2.85
Pb	9	正态	0.48	0.16	0.46	1.34	0.15	0.42	0.72	0.48	0.34—0.83
Zn	9	正态	0.99	0.27	0.96	1.30	0.32	0.90	1.42	0.99	0.71—1.46
Cd	9	正态	0.029	0.012	0.027	1.443	0.008	0.024	0.047	0.029	0.018—0.053
N	9	对数正态	0.40	0.23	0.36	1.53	0.11	0.3	0.76	0.36	0.24—0.98
Cr	9	正态	0.32	0.08	0.31	1.27	0.11	0.27	0.43	0.32	0.24—0.46
Co	9	正态	0.28	0.04	0.28	1.15	0.11	0.26	0.34	0.28	0.24—0.35
Fe	9	正态	26.47	16.21	22.26	1.90	4.12	22.61	51.64	26.47	9.16—58.14
Mn	9	正态	9.46	5.67	6.99	2.75	0.32	8.5	16.09	9.46	0.71—16.1
Mo	9	正态	0.38	0.32	0.30	1.97	0.05	0.26	0.89	0.38	0.12—1.14
V	9	正态	0.73	0.49	0.58	2.11	0.06	0.51	1.52	0.73	0.13—1.56
Se	9	对数正态	0.099	0.110	0.072	2.09	0.018	0.06	0.27	0.99	0.04—0.38
Hg	9	正态	0.015	0.004	0.015	1.298	0.005	0.015	0.02	0.015	0.01—0.02
As	9	正态	0.75	0.65	0.54	2.31	0.09	0.39	1.74	0.75	0.19—1.97
F	9	对数正态	0.21	0.24	0.13	2.44	0.02	0.10	0.63	0.21	0.05—0.77

表 6-4-3 普渡河水系沉积物元素背景值特征统计表

mg/kg

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	4	正态	53.43	20.53	50.98	1.40	8.12	42.6	76.5	53.43	40.6—84
Pb	4	正态	31.15	16.45	27.64	1.79	2.98	19.1	45.96	31.15	14.9—46.4
Zn	4	正态	122.73	143.90	80.46	2.66	7.64	50.8	283.18	122.73	38.2—338
Cd	4	正态	0.23	0.27	0.16	2.68	0.01	0.09	0.54	0.23	0.07—0.636
Ni	4	正态	31.3	10.00	30.13	1.38	4.34	24.8	41.9	31.3	21.7—43.6
Cr	4	正态	63.5	12.54	62.57	1.22	10.2	55	76.04	63.5	51—77.4
Co	4	正态	18.15	4.30	17.80	1.25	2.84	16.4	22.92	18.15	14.2—24.2
Fe(%)	4	正态	3.22	0.92	3.13	1.32	0.47	2.82	4.24	3.22	2.339—4.49
Mn	4	正态	616.43	92.77	611.29	1.16	107.76	542.3	714.68	616.43	538.8—729.6
Hg	4	正态	0.057	0.035	0.049	1.836	0.005	0.044	0.095	0.057	0.024—0.105
As	4	正态	7.60	2.12	7.34	1.37	0.95	7.41	9.44	7.60	4.73—9.66

表 6-4-4 普渡河沉积物(63 μ m 部分)元素背景值特征统计表											mg/kg
元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	8	正态	66.96	38.71	59.09	1.68	12.68	59.8	128	66.96	31.7—146.8
Pb	8	正态	26.4	7.09	25.71	1.27	8.08	22.3	36.8	26.4	20.2—42.2
Zn	8	对数正态	132.16	128.64	101.70	2	22.08	82.5	320.04	101.70	55.2—439.8
Cd	8	对数正态	0.24	0.36	0.14	2.57	0.02	0.11	0.76	0.14	0.049—1.14
Ni	8	正态	44.73	18.64	41.67	1.49	10.44	40.1	73.20	44.73	26.1—77.8
Cr	8	正态	79.73	28.33	76.05	1.37	21.2	66.8	123	79.73	53--140
Co	8	正态	20.34	7.07	19.38	1.39	5.04	17.2	31.12	20.34	12.6--34
Fe(%)	8	正态	5.22	1.97	4.88	1.49	1.11	4.24	7.74	5.22	2.78—7.79
Mn	8	正态	745.55	199.71	723.28	1.30	211.56	630.4	1013.08	745.55	528.9—1095
As	8	正态	8.30	5.28	7.27	1.68	1.53	6.86	15.91	8.30	3.82—20.55
Hg	8	正态	0.054	0.039	0.039	2.657	0.003	0.052	0.106	0.054	0.007—0.124

表 6-4-5 普渡河水系河流悬浮物背景值

mg/kg

元 素	样 本	背 景 值	范 围
Cu	3	107.16	80.2—124.8
Pb	3	56.02	31.6—99.4
Zn	3	268.2	107.1—539.0
Cd	3	2.73	0.127—7.878
Ni	3	57.93	49.9—67.3
Cr	3	100.4	87.8—117.7
Co	3	22.27	16.9—28.4
Mn	3	647.0	109.2—974.5
Fe(%)	3	4.582	3.087—5.386

1. 牛栏江水系河水(原水)元素的背景值

表 6-4-6 列出了牛栏江水系河水元素的背景值,其特征:

(1)分布类型 Cu、Pb、Cr、Fe、Mn、Mo、Se、Hg 为正态分布。As 和 F 为偏态分布,其他元素为对数分布。分布类型复杂。

(2)大部分元素的背景值比一般认为的河水背景值明显偏高,如 Cu、Cr、Zn、Mn、Fe 比我国东部一些河水的背景值高数倍。其他元素在一般河水背景值范围或略显偏高,如 Se、As、Pb、V 近偏低。

2. 牛栏江溶解态(过滤水)元素的背景值

(1)元素分布类型复杂,Cu、Zn、Ni、Cr、Fe、Mo、V、Se、As 为正态分布,Pb 和 Mn 为对数正态分布。其他元素为偏态分布,表明溶解态元素含量变化不同。

(2)从过滤水与原水同一元素的比值看,F、Mo、Se、As 主要以溶解态存在,而 Fe、Mn、V 等主要以悬浮态存在,Cu、Pb、Zn、Cd、Ni、Cr、Co、Hg 溶解态占的比例在 20%—40%。

(3)与河水有效背景值数据比较,Se、Co、Mn 明显高,Hg、Pb、Mo 有偏高趋势,Fe、V、As、Cd、Ni、Cr 略偏低。Cu 和 F 处于一般水平。

3. 牛栏江水系沉积物元素背景值

表 6-4-7 列出了牛栏江水系沉积物背景值,其特征:

(1)所有元素都呈正态分布,表明沉积物元素的含量是均匀的。

(2)Ni、Cr、Co、Fe 较一般河流沉积物元素背景值明显偏高。As、Zn、Hg、Mn 在一般河流沉积物背景值范围。

(3)与表 6-4-8 列出的 63 μ m 部分的沉积物元素背景值比较,除 Zn 比原样沉积物明显偏高外,大部分元素接近,甚至较低,如 Cr、Hg、Ni 明显低于原样沉积物中的这些元素。

4. 牛栏江水系悬浮物元素的背景值

从采集测定的一个悬浮物元素的含量看,如表 6-4-9,它的元素含量明显高于沉积物,

表 6-4-6 牛栏江水系河水(原水)元素背景量特征统计表

mg/L

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	10	正态	3.48	2.30	2.67	2.36	0.24	3.15	6.93	3.48	0.48—7.46
Pb	10	正态	1.11	0.53	1.01	1.61	0.27	0.92	1.91	1.11	0.54—1.98
Zn	10	对数正态	28.41	57.60	4.01	6.89	0.37	1.47	133.45	4.01	0.74—167
Cd	10	对数正态	0.16	0.22	0.07	3.91	0.01	0.03	0.53	0.07	0.021—0.534
Ni	10	对数正态	0.726	0.563	0.567	2.046	0.14	0.38	1.61	0.567	0.28—1.68
Cr	10	正态	1.81	1.32	1.43	2.11	0.23	1.5	3.79	1.81	0.46—4.85
Co	10	对数正态	0.756	0.579	0.593	2.037	0.145	0.38	1.72	0.593	0.29—1.76
Fe	10	正态	881.00	842.31	532.34	3.11	44.5	329	2175	881	89—2580
Mn	10	正态	34.26	25.01	26.33	2.25	3.26	29.4	76.65	34.26	6.52—85.3
Mo	10	正态	0.64	0.38	0.53	2.08	0.06	0.48	1.14	0.64	0.12—1.34
V	10	对数正态	2.84	3.29	1.31	4.26	0.08	0.86	7.95	1.31	0.16—10.28
Se	10	正态	0.21	0.15	0.16	2.64	0.01	0.14	0.42	0.21	0.016—0.046
Hg	10	正态	0.028	0.013	0.026	1.576	0.008	0.02	0.046	0.028	0.016—0.046
As	10	偏态	16.71	50.35	1.28	5.64	0.22	0.74	80.71	0.74	0.22—80.71
F	10	偏态	0.22	0.28	0.16	1.95	0.05	0.13	0.59	0.13	0.05—0.59

表 6-4-7 牛栏江水系沉积物元素背景值特征统计表

表 6-4-7 牛栏江水系沉积物元素背景值特征统计表												mg/kg
元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征		
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距	
Cu	4	正态	131.05	88.56	108.59	2.06	9.64	76.1	227.28	131.05	48.2—245.5	
Pb	4	正态	35.5	6.53	35.06	1.20	6	30.5	42.52	35.5	30—43.7	
Zn	4	正态	108.68	30.94	105.21	1.35	14.74	92	137.08	108.68	73.7—138.8	
Cd	4	正态	0.22	0.12	0.20	1.61	0.03	0.17	0.35	0.22	0.134—0.396	
Ni	4	正态	66.25	26.42	62.09	1.53	7.4	53.1	92.94	66.25	37—96.6	
Cr	4	正态	113.75	34.38	109.98	1.35	15.92	95.2	150.9	113.75	79.6—158.1	
Co	4	正态	32.95	20.01	28.35	1.91	2.8	20	54.36	32.95	14—58	
Fe	4	正态	5.94	2.61	5.46	1.64	0.59	4.70	8.43	5.94	2.93—8.66	
Mn	4	正态	893.45	253.71	862.55	1.38	110.48	860.4	1112.6	893.45	552.4—1134	
Hg	4	正态	0.082	0.037	0.076	1.604	0.01	0.056	0.116	0.082	0.046—0.118	
As	4	正态	12.86	7.08	10.37	2.42	0.56	13.4	18.42	12.86	2.8—18.96	

表 6-4-8 牛栏江水系细粒沉积物(≤3 μ m)元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	9	正态	140.13	75.35	120.64	1.84	18.99	140.2	253.21	140.13	42.2—267.2
Pb	9	正态	32.16	7.83	31.26	1.29	9.45	32.1	41.98	32.16	21—44
Zn	9	正态	138.64	35.76	134.01	1.33	39.33	147.95	170.71	138.64	87.4—170.8
Cd	9	正态	0.22	0.10	0.20	1.59	0.05	0.18	0.36	0.22	0.113—0.382
Ni	9	正态	65.67	18.72	63.04	1.37	16.74	69.65	87.20	65.67	37.2—91.1
Co	9	正态	37.77	12.77	35.43	1.50	7.47	39.85	52.41	37.71	16.6—53.8
Fe	9	正态	7.03	2.04	6.70	1.42	1.50	8.12	8.61	7.03	3.33—8.76
Mn	9	正态	945.22	257.91	907.71	1.37	225.50	1044	1194.2	945.22	501.1—1214
Hg	9	对数正态	0.057	0.062	0.041	2.13	0.007	0.036	0.148	0.041	0.015—0.218
As	9	正态	11.06	5.91	8.5	2.54	0.62	12.74	16.79	11.06	1.38—17.84
Cr	9	正态	97.19	27.41	93.58	1.35	27.27	95.60	127.75	97.19	60.6—136.7

且与沉积物中的元素浓度变化一致,相应增高。

表 6-4-9 牛栏江悬浮物元素含量

mg/L

元素	含量	元素	含量
Cu	178.3	Cr	137.80
Pb	34.2	Co	47.90
Zn	244.0	Mn	1149.0
Cd	0.647	Fe(%)	8.379
Ni	98.70		

三、小江水系

小江发源于云南寻甸清水海,由东川汇入金沙江,全长 140 余 km。流域为泥石流高发区,拱王山主峰海拔 4344m,小江和金沙江交汇处海拔仅 695m,相差达 3649m,形成高山寒区和河谷暖区。地下水为碳酸盐和碎屑岩岩溶裂隙水,以集水的形式补给河流,但小江主要靠大气降水补给为主。

1. 小江水系河水(原水)的背景值

表 6-4-9 列出了小江水系河水元素的背景值,其特征:

- (1)所有元素都呈正态分布,这是河水原水元素分布少有的现象。
- (2)与一些河流比较,Fe、Mn、F、Zn、Cu 的背景值较高。As、Mo、Se、Cd、Hg 较低。
- (3)矿藏的天然影响是使河水中一些元素背景值高的原因。例如小江河水中的 Cu、Pb、Zn、Ni、Cr、Co、Fe、Se 等元素比一般河水和我国东部一些河水的背景值高数倍至一个数量级。

2. 小江河水溶解态元素的背景值

小江河水溶解态元素的背景值列在表 6-4-11,其特征:

- (1)所有元素呈正态分布。
- (2)相比较而言,本单元水系中溶解态元素的背景值较高,特别是 Cu、Pb、Co、Mo、Mn、Se 较我国东部一些河流河水溶解态元素背景值高数倍。
- (3)与河水原水中的元素背景值比较,溶解态元素的浓度占的比例一般在 30%以下,河水中的元素主要以悬浮颗粒态存在。

3. 小江沉积物中元素背景值

小江几个典型沉积物元素的分析结果列在表 6-4-12。与一些河流比较,除 Hg 处于高背景值外,Fe、Mn 也趋于偏高,其他元素与一般河流沉积物背景值相近。细颗粒 63 μ m 沉积物元素的浓度与沉积物原样元素的含量基本一致,未呈现明显增高的趋势。这可能同小江流域铜和铅锌矿的天然来源有关。小江流域的铜、铅锌矿由于泥石流冲刷,进入河流中的矿物颗粒较细颗粒沉积物会有更多的矿石中的元素。

四、横江水系

横江发源于滇省鲁甸,从南向北流经鲁甸、昭通、大关等县市,在水富县汇入金沙江,全长 306km,地形为高原、高山、深谷与阶地组成。地下水为碳酸盐岩溶裂隙水,地下暗河发育,补给河流,但横江主要靠大气降水补给。

表 6-4-10 小江水系河水元素背景值特征统计表

表 6-4-10 小江水系河水元素背景值特征统计表												mg/L
元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征		
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距	
Cu	6	正态	12.73	13.27	5.06	5.79	0.17	2.49	29.06	12.73	0.58—31.4	
Pb	6	正态	4.90	5.42	2.19	4.78	0.10	1.08	12.09	4.90	0.34—14.1	
Zn	6	正态	41.95	71.07	8.75	8.59	0.38	1.45	139.59	41.95	1.26—183.6	
Cd	6	正态	0.11	0.12	0.06	3.38	0.005	0.029	0.276	0.11	0.018—0.337	
Ni	6	正态	7.59	8.57	2.08	8.40	0.07	0.36	18.26	7.59	0.24—19.4	
Cr	6	正态	3.31	2.75	2.04	3.41	0.11	1.86	6.39	3.31	0.38—6.4	
Co	6	正态	4.11	4.43	1.61	5.54	0.09	0.44	9.68	4.11	0.3—10.4	
Fe	6	正态	3941.87	4636.73	638.14	15.39	7.26	89	9660	3941.87	24.21—9900	
Mn	6	正态	305.96	464.10	38.19	19.57	0.18	10.86	949.80	305.96	0.6—1200	
Mo	6	正态	1.24	1.01	0.81	3.12	0.05	1.02	2.54	1.24	0.17—2.76	
V	6	正态	10.25	10.33	4.57	5.52	0.08	2.4	23.51	10.25	0.28—25.98	
Se	6	正态	0.31	0.16	0.24	2.51	0.012	0.28	0.48	0.31	0.04—0.52	
Hg	6	正态	0.031	0.026	0.025	1.904	0.004	0.022	0.066	0.031	0.012—0.084	
As	6	正态	1.8	2.67	0.95	3.02	0.11	0.58	5.48	1.8	0.37—7.18	
F	6	正态	0.12	0.04	0.11	1.45	0.018	0.1	0.17	0.12	0.06—0.18	

表 6-4-11 小江水系河水溶解态元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	6	正态	2.60	3.62	1.41	3.11	0.11	0.99	7.55	2.60	0.36—9.88
Pb	6	正态	1.24	1.52	0.79	2.60	0.08	0.6	3.32	1.24	0.28—4.30
Zn	6	正态	1.46	1.08	1.20	1.94	0.19	0.77	2.98	1.46	0.62—3.44
Cd	6	正态	0.024	0.011	0.022	1.471	0.005	0.018	0.039	0.024	0.016—0.045
Ni	6	正态	0.54	0.53	0.42	1.99	0.07	0.32	1.26	0.54	0.24—1.62
Cr	6	正态	0.76	0.56	0.61	2.08	0.08	0.51	1.53	0.76	0.26—1.64
Co	6	正态	0.41	0.28	0.36	1.63	0.08	0.29	0.78	0.41	0.27—0.97
Fe	6	正态	82.95	120.01	37.20	3.93	2.95	13.86	249.8	82.95	9.84—320
Mn	6	正态	5.01	4.68	2.59	4.21	0.11	1.27	10.20	5.01	0.38—10.68
Mo	6	正态	1.16	1.05	0.68	3.67	0.04	0.93	2.54	1.16	0.12—2.76
V	6	正态	0.92	0.66	0.64	3.08	0.03	0.76	1.72	0.92	0.09—1.86
Se	6	正态	0.22	0.13	0.16	2.97	0.006	0.16	0.36	0.22	0.02—0.38
Hg	6	正态	0.015	0.046	0.015	1.36	0.003	0.013	0.021	0.015	0.01—0.022
As	6	正态	0.66	0.38	0.58	1.67	0.102	0.54	1.17	0.66	0.34—1.38
F	6	正态	0.12	0.04	0.11	1.45	0.018	0.1	0.17	0.12	0.06—0.18

mg/L

表 6-4-12 小江河流沉积物中的元素浓度

mg/kg

元素	样本数	沉积物(原样)	沉积物(63 μ m 部分)
Cu	3	84.5(48.2—129.2)	108.95(77.7—140.2)
Pb	3	32.9(30.0—37.8)	8.60(21.0—36.2)
Zn	3	3.9(73.7—116.0)	123.5(101.5—145.5)
Cd	3	0.169(0.164—0.173)	0.141(0.139—0.144)
Ni	3	46.67(37.0—49.9)	49.85(42.0—57.7)
Cr	3	83.47(75.6—95.2)	78.55(69.4—87.7)
Co	3	22.6(14.0—33.8)	32.35(29.9—34.8)
Mn	3	797.66(552.4—981.1)	788.5(600.7—900.5)
Hg	3	0.097(0.046—0.128)	0.034(0.015—0.052)
Fe(%)	3	4.50(2.92—5.99)	6.48(4.70—6.98)
As	3	12.05(6.48—16.27)	7.01(6.04—7.98)

* 括号内为背景值范围。

1. 横江水系河水元素的背景值

(1)从表 6-4-13 可以看出横江河水元素的背景值多为正态或对数正态分布,表明其含量变化的规律和均匀性。

(2)通过与国内外和本单元其它河流比较,横江河水中的大部分元素的背景值明显处于低水平,如 Cu、Cr、Ni、Mn、V、Mo 都远低于一些河流的天然浓度。但 Se、Zn、Co、Pb、Cd、Fe 等元素与一般河流的天然浓度一致。

2. 横江水系河水溶解态元素背景值

表 6-4-14 表明横江水系河水溶解态元素除 F 为偏态分布外,其他元素都为正态分布。表明大部分元素在河水中的含量存在一定的规律和均匀性。此外所有元素的溶解态背景值处于低水平,占河水中这些元素的比例大多在 50%左右,表明在横江水系河水中溶解态元素所占比例是一般河水中很高的。但 Se、Zn、Cr、Co、Mo 等元素 80%以上为溶解态。

3. 横江河流沉积物元素的背景值

从不多的样品分析结果看(表 6-4-15),横江沉积物中的多数元素如 Cr、Fe、Ni、Zn、Cr 等处于高背景水平,而 Cd、Hg 处于一般水平或低水平。

63 μ m 细粒沉积物仅 Pb、Cu、Zn、Cd 比沉积物原样元素含量高,其他元素持平甚至偏低。

4. 横江河水悬浮物元素的背景值

表 6-4-15 横江悬浮物不多的样品分析结果表明,横江河水悬浮物中元素的含量是很高的,同河流 63 μ m 沉积物元素背景值比较,除 Cr 和 Mn 外,其他元素含量大幅度增加,表明河流中的元素以悬浮颗粒态存在的量是较大的。悬浮物中元素的浓度同沉积物有相应的增减关系。

表 6-4-13 横江水系河水(河水)元素背景值特征统计表

μg/L

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	10	正态	1.25	0.39	1.20	1.37	0.39	1.05	1.77	1.25	0.77—1.88
Pb	10	对数正态	2.71	2.23	2.13	2.00	0.47	1.9	6.77	2.71	0.94—7.37
Zn	10	偏态	12.37	22.83	3.13	4.60	0.57	1.56	55.69	1.56	0.57—55.69
Cd	10	对数正态	0.13	0.13	0.09	2.30	0.015	0.074	0.374	0.09	0.03—0.382
Ni	10	正态	0.4	0.14	0.38	1.40	0.13	0.32	0.62	0.4	0.26—0.72
Cr	10	正态	0.74	0.20	0.72	1.35	0.19	0.76	0.98	0.74	0.38—1.1
Co	10	正态	0.40	0.05	0.40	1.12	0.17	0.4	0.46	0.40	0.33—0.46
Fe	10	正态	189.51	81.83	166.27	1.84	22.75	202	275.5	189.51	45.5—295
Mn	10	正态	8.60	3.46	7.85	1.62	1.41	8	12.90	8.60	2.82—14.42
Mo	10	正态	0.47	0.32	0.40	1.80	0.10	0.33	1.04	0.47	0.19—1.08
V	10	正态	0.78	0.50	0.32	17.62	0.00005	0.72	1.58	0.78	0—1.74
Se	10	正态	0.15	0.05	0.14	1.52	0.03	0.17	0.2	0.15	0.06—0.2
Hg	10	偏态	0.03	0.06	0.02	2.39	0.005	0.014	0.113	0.014	0.005—0.113
As	10	正态	0.48	0.12	0.47	1.27	0.16	0.44	0.66	0.48	0.31—0.74
F	10	偏态	0.10	0.03	0.10	1.28	0.04	0.1	0.15	0.1	0.04—0.15

表 6-4-14 横江水系溶解态元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	10	正态	0.55	0.09	0.55	1.17	0.23	0.52	0.71	0.55	0.45—0.71
Pb	10	正态	1.06	0.33	1.01	1.40	0.31	1.02	1.4	1.06	0.61—1.40
Zn	10	正态	1.36	0.33	1.32	1.29	0.44	1.31	1.78	1.36	0.88—1.87
Cd	10	正态	0.058	0.03	0.052	1.65	0.013	0.044	0.10	0.058	0.026—0.116
Ni	10	正态	0.25	0.03	0.25	1.14	0.1	0.25	0.3	0.25	0.20—0.30
Cr	10	正态	0.50	0.13	0.48	1.38	0.11	0.5	0.67	0.50	0.22—0.68
Co	10	正态	0.31	0.024	0.31	1.08	0.14	0.3	0.34	0.31	0.27—0.34
Fe	10	正态	10.28	9.07	7.60	2.22	1.29	7	26.75	10.28	2.58—28.40
Mn	10	正态	1.38	0.95	1.14	1.91	0.23	1	3.06	1.38	0.46—3.20
Mo	10	正态	0.37	0.27	0.30	1.97	0.06	0.28	0.86	0.37	0.12—0.88
V	10	正态	0.33	0.25	0.13	13.60	0.00005	0.22	0.69	0.33	0.00—0.70
Se	10	正态	0.13	0.044	0.12	1.69	0.015	0.14	0.17	0.13	0.03—0.17
Hg	10	正态	0.011	0.002	0.011	1.21	0.0045	0.01	0.0145	0.011	0.009—0.016
As	10	正态	0.43	0.092	0.42	1.22	0.16	0.39	0.57	0.43	0.31—0.64
F	10	偏态	0.096	0.026	0.093	1.289	0.03	0.10	0.13	0.10	0.31—0.13

表 6-4-15 横江河流沉积物元素的背景值

mg/kg

元素	沉积物(原样)	沉积物(63 μ m)
Cu	67.1(57.4—74.6)	81.7(81.2—82.2)
Pb	43.33(22.72—55.0)	71.4(54.4—88.4)
Zn	164.8(135.0—187.5)	339.25(271.3—407.2)
Cd	0.276(0.214—0.327)	0.519(0.43—0.607)
Ni	62.6(59.8—66.9)	57.8(55.4—60.2)
Cr	124.3(104.9—159.9)	119.9(114.6—125.3)
Co	26.6(21.0—34.9)	23.65(23.3—24.0)
Mn	833(755—895)	949.0(944.6—953.4)
Hg	0.45(0.38—0.56)	0.170(0.11—0.239)
Fe	4.71(4.33—5.43)	4.77(4.61—4.93)
As	8.21(7.70—8.66)	10.57(10.05—11.09)

表 6-4-15 横江悬浮物元素的背景值

mg/kg

元素	背景值	元素	背景值
Cu	151.9(88.4—209.7)	Cr	89.3(53.8—111.1)
Pb	199.8(144.5—286.3)	Co	28.56(23.0—32.3)
Zn	473.2(438.0—524.0)	Mn	772.4(605—942.5)
Cd	1.09(0.68—1.62)	Fe(%)	2.58(1.59—3.57)
Ni	75.4(68.1—79.9)		

第五节 金沙江南岸水系水体稀有稀土 和放射性元素的含量和背景值

一、原水与过滤水

表 6-5-1 和 6-5-2 分别列出了本水系河水原水和溶解态的稀有稀土和放射性元素背景值,其特征:

1. 河水原水中 Rb、Ba、Sb、U、Nd 等元素与长江水系均值基本一致,也同世界河流均值接近。Sr、Sc、Sm、Eu、Th、Yb 高于金沙江水系河水这些元素的均值。La、Ce 则低于全长江水均值。过滤水除 Cs 低于全长江水系均值而原水则显著高于全长江水系均值外,其他元素的背景值变化和原水基本一致。

2. Sc、La、Ce、Eu、Tb、Yb、Th、La、Ce 等元素绝大部分以悬浮态存在,溶解态占总量不到 10%。Sr、Ba、Sb、U 等元素则 90% 为溶解态。

二、沉积物稀有稀土放射性元素背景值

1. 表 6-5-3 列出了沉积物(63 μ m)细粒部分的元素背景值,与河水不同,大部分元素

表 6-5-1 金沙江中下游南岸水系河水原水稀有稀土放射性元素背景值

 $\mu\text{g/L}$

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Rb	11	偏态	3.78	7.03	2.01	2.53	0.68	1.80	2.96	1.80	0.68—26
Cs	11	偏态	0.24	0.52	0.10	2.76	0.04	0.11	0.13	0.11	0.04—1.9
Sr	11	正态	273	161	209	2.50	30	295	408	273	23—600
Ba	11	对数正态	49	43	3.9	1.89	11	38	53	39	13—180
Sb	11	对数正态	2.18	0.14	0.18	1.92	0.07	0.16	0.43	0.18	0.06—0.49
Sc	11	偏态	0.70	1.86	0.17	3.95	0.03	0.13	0.30	0.13	0.027—6.6
U	11	对数正态	0.64	0.40	0.55	1.72	0.27	0.53	0.97	0.55	0.27—1.7
Th	11	偏态	0.40	0.98	0.13	3.38	0.03	0.13	0.22	0.13	0.028—3.5
La	11	偏态	1.55	3.56	0.56	3.33	0.16	0.45	1.07	0.45	0.16—12.0
Co	11	偏态	2.64	5.75	1.06	3.13	0.31	0.80	1.96	0.80	0.29—20.8
Nd	11	偏态	2.55	6.14	0.84	3.41	0.29	0.51	1.73	0.51	0.29—22
Sm	11	偏态	0.39	0.88	0.15	3.02	0.06	0.11	0.26	0.11	0.06—3.2
Eu	11	偏态	0.11	0.29	0.032	3.42	0.011	0.021	0.053	0.021	0.011—1.03
Tb	11	偏态	0.063	0.12	0.020	4.15	0.003	0.014	0.182	0.014	0.003—0.40
Yb	11	偏态	0.095	0.23	0.033	3.22	0.010	0.025	0.055	0.025	0.01—0.03
Lu	11	偏态	0.016	0.036	0.007	2.92	0.002	0.006	0.014	0.006	0.002—0.13

表 6-5-2 金沙江中下游南岸水溪河水溶解态稀有稀土放射性元素背景值特征统计表

μg/L

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Rb	11	对数正态	1.1	0.6	0.98	1.63	0.5	1.0	1.5	0.98	0.52—2.7
Cs	11	偏态	0.017	0.01	0.016	1.65	0.010	0.015	0.028	0.015	0.01—0.04
Sr	11	正态	249	153	192	2.44	29	260	382	249	23—600
Ba	11	正态	29.4	11.1	27	1.61	10	28	42	29	8—46
Sb	11	对数正态	0.20	0.15	0.16	2.09	0.06	0.16	0.42	0.16	0.06—0.49
Sc	11	对数正态	0.006	0.003	0.006	1.55	0.003	0.006	0.009	0.006	0.003—0.016
U	11	正态	0.40	0.14	0.38	1.39	0.25	0.37	0.60	0.40	0.25—0.65
Th	11	正态	0.004	0.002	0.003	1.87	0.001	0.004	0.006	0.004	0.001—0.006
La	11	偏态	0.037	0.021	0.034	1.47	0.02	0.03	0.04	0.03	0.02—0.1
Ce	11	对数正态	0.067	0.030	0.060	1.68	0.02	0.07	0.10	0.06	0.02—0.13
Nd	11	正态	0.18	0.13	0.13	2.45	0.05	0.17	0.34	0.18	0.05—0.35
Sm	11	正态	0.052	0.025	0.045	1.98	0.012	0.046	0.082	0.052	0.007—0.097
Eu	11	偏态	0.006	0.003	0.005	1.52	0.003	0.004	0.006	0.004	0.003—0.015
Tb	11	偏态	0.003	0.002	0.003	1.49	0.002	0.003	0.005	0.003	0.002—0.007
Yb	11	偏态	0.011	0.001	0.010	1.12	0.01	0.01	0.012	0.01	0.01—0.014
Lu	11	偏态	0.003	0.002	0.003	1.77	0.002	0.003	0.007	0.003	0.002—0.008

表 6-5-3 金沙江中下游水系环境单元沉积物稀有稀土放射性元素背景值 $\mu\text{g/L}$

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Rb	10	正态	73	33	64	1.8	17	75	121	73	14—132
Cs	10	正态	4.6	2.4	4.0	1.7	1.4	4.1	7.2	4.6	1.3—10
Sr	10	偏态	618	116	608	1.2	407	600	710	600	385—879
Ba	10	正态	435	213	395	1.6	182	440	579	435	579—761
Sb	10	正态	1.1	0.48	1.0	1.7	0.2	1.2	1.8	1.1	0.4—1.8
Sc	10	正态	20	8	18	1.5	9	24	28	20	9—35
U	10	正态	3.2	0.9	3.1	1.4	1.4	3.4	3.9	3.2	1.2—4.9
Th	10	正态	10	4.9	8.4	1.8	2.3	9.7	15.5	10	2.0—20.0
La	10	正态	51	10	50	1.2	37	54	60	51	37—72
Ce	10	正态	94	21	92	1.2	63	99	108	94	62—138
Nd	10	正态	50	11	49	1.3	33	54	63	50	33—67
Sm	10	正态	9.3	2.1	9.1	1.3	6.3	9.8	11.9	9.3	6.2—13
Eu	10	正态	2.1	0.5	2.1	1.3	1.5	2.0	2.8	2.1	0.3—2.8
Tb	10	正态	0.96	0.20	0.94	1.2	0.7	1.0	1.2	0.96	0.3—1.8
Yb	10	正态	2.9	0.51	2.9	1.2	2.0	2.9	3.5	2.9	2.1—3.7
Lu	10	正态	0.47	0.07	0.46	1.2	0.38	0.47	0.56	0.47	0.38—0.61

高于世界河水的均值。部分元素呈强烈富积,较水相比 Sr、Sc、La 显著高于长江水系沉积物这些元素的平均水平。Ce、Nd、Sm、Eu 也呈偏高趋势。

2. 沉积物稀有稀土元素间呈显著相关性

本水系沉积物中稀有元素之间及稀土元素之间有很好的相关性,见表 6-5-4。La 与轻稀土元素 Ce、Nd 和 Sm 的相关系数 $r > 0.9$; La 与重稀土元素 Yb、Lu 和 Th 的相关系数 $r > 0.85$, Eu—Tb 及 Yb—Lu 相关系数分别为 0.97 及 0.93,稀有元素 Rb—Cs 也有较好的相关性,相关系数为 0.908,凡是相关性好的元素,它们的地球化学性质相似,沉积过程中行为较均一,并且有相似的富集和迁移转化规律。

表 6-5-4 沉积物中元素相关性

元 素	r	a^*	b^*
Rb—Cs	0.908	-0.221	0.065
La—Ce	0.965	-4.14	1.74
La—Nd	0.903	0.352	0.684
La—Sm	0.920	-0.476	0.192
La—Yb	0.887	0.641	0.0443
La—Lu	0.852	0.170	0.005
La—Th	0.848	13.16	2.95
Eu—Tb	0.966	0.134	0.564
Yb—Lu	0.928	0.090	0.129
Ce—Nd	0.809	6.5	0.34

$$* C_A = aC_B + b$$

第七章 乌江水系水体中的化学元素

第一节 乌江流域的环境特征

一、水系格局与组成

乌江发源于黔西北的乌蒙山东麓。南源三岔河流自贵州威宁县香炉山(现定为正源),北源六冲河源自贵州赫章县各部(现定为乌江最大的支流),在化屋基汇合后向东流去,于四川涪陵市汇入长江,是长江上游南岸最大的支流,贵州省境内第一大河。干流全长1037km,贵州省境内874.2km,(包括川、黔界河72.1km)。流域总面积87920km²。

乌江流域支流较多。全水系中,流域面积大于1000km²的16条一级支流,面积总和6092km²,占乌江流域总面积69.29%。各支流特征详见表(表7-1-1)。

表 7-1-1 乌江主要支流特征

序号	支流名称	流域面积 (km ²)	河长(km)	天然落差 (m)	河口多年 平均流量 (m ³ /s)	比降(%)
1	六冲河	12501	273.4	1294	175.9	4.7
2	猫跳河	3248	181	549.6	55.9	3.04
3	野纪河	2234	106	796	31.2	7.51
4	偏岩河	2176	139.1	830	29.2	5.97
5	湘 江	7371	149	639	84.4	4.65
6	清水江	9875	215	739.3	118	3.54
7	余庆河	1489	110.6	776	27.8	7.02
8	石阡河	2128	116	502	44.8	4.4
9	六池河	2098	112	470	35.8	4.2
10	印江河	1230	95.4	752	21.3	7.86
11	甘龙河	500/1700	53/100	515/710	5.02/43	9.72/7.1
12	濯 河	5585	248.7	1159	143	4.66
13	洪渡河	3712	203	981	90.9	5.06
14	郁 江	3800	175	1484	134	8.48
15	芙蓉江	7433/7793	200.4/231.2	991/1108.3	161/469	4.95/4.79
16	大溪河	2065	120	500		4.17

注:斜线上为贵州省境内值,斜线下为全河值。

二、气候特征

乌江流域属于亚热带季风湿润气候,具有季风气候和亚热带高原山地气候的一般特征。全年湿度大,阴雨天多,日照少;气温、降水等气候要素的地区差异显著,气候类型多样。

由于地理位置,地貌和季风环流三个因素互相影响,互相作用,上、中、下游地区的天气状况各不相同;同一区域内因海拔高度的不一致,气候的垂直差异亦很明显。

上游地区:本地区气候较为复杂,属山原凉亚热带夏秋湿润、冬春干旱气候。海拔1700m以上的地区,年均气温 $10-12^{\circ}\text{C}$,1月份均温 17°C ,7月份均温 $17-20^{\circ}\text{C}$ 。上游地区气候特征为冬长无夏、春秋相连,日均温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 $2500-3300^{\circ}\text{C}$,为流域内热量最少的地段。

源头区是全流域光能资源最为丰富的地区,年均日照时数为1805h。年降水量为900—1200mm,北源源头区仅800mm,雨季开始晚,干、湿季比较明显。海拔1000m左右的河谷属中亚热带气候类型,年均气候 $14-16^{\circ}\text{C}$ 。

中游地区:中游地区主要有海拔500m以下的河谷亚热带,海拔800m左右的山原亚热带和山地暖温带湿润气候。年均气温 $14.5-16.5^{\circ}\text{C}$ 。夏季多大雨和暴雨,秋季多阴雨,春季多冰雹。

下游地区:乌江下游主要为中亚热带、北亚热带湿润气候。年均气温 $14.9-18.3^{\circ}\text{C}$ 。日均温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的积温 $4600-5990^{\circ}\text{C}$ 。年均降水量1000—1350mm,降水日数较多。

三、地质环境

乌江流域是我国沉积岩发育良好的地区之一。地层齐全、化石丰实,碳酸盐类岩石广布,尤以岩溶景观奇特闻名于世。自元古代至第四纪均有沉积。

1. 元古界地层主要分布在乌江流域的中游地区。下部以碎屑岩为主,少量碳酸盐岩,多为变质岩。上部的震旦系为冰碛层,含磷岩层、碎屑岩及白云岩。

2. 下古界地层主要分布在下游地区及中游的东部,其中寒武系下部主要为碎屑岩,底部为“黑色多金属层”,其中Co、Ni、Mo、Cu、Pt、Au、Ag、V元素、重稀土元素、放射性元素的含量均比国外同层位岩石含量高。中、上部主要是白云岩及白云质炭岩。奥陶系地层由碳酸盐岩和碎屑岩组成,矿产有含钾粘土岩、赤铁矿、萤石、重晶石及雄黄等。志留系为碎屑岩和泥质灰岩、泥灰岩为主的混合相沉积岩。

3. 上古生界在整个流域均有分布。其中泥盆系地层主要为陆源碎屑岩和碳酸盐岩。见有赤铁矿、菱铁矿、铅土矿、铅锌矿产出。石炭系主要为碳酸盐岩。二迭系在流域内分布广泛,为含劣质煤的砂、页岩与灰岩。玄武岩主要分布在上游及中游部分地区。矿产有锰矿、煤及部分铝土矿。

中生界地层中以三迭系最为发育,主要岩石有白云岩、白云质灰岩、灰岩及砂、页、泥岩、铜砂岩、石膏、岩盐、油页岩等。

乌江流域煤矿分布较普遍,主要分布在水城、六枝、贵阳、遵义、毕节、思南等地。铁矿主要分布于乌江上游水城、赫章;锰矿分布在乌江中游遵义等地,为中型矿;汞矿主要分布在乌江下游的务川、酉阳、黔江及中游的开阳、石阡、印江等地,伴生硫、砷、硒、碲、铀、氟、锑、铀、金等矿;铝土矿分布在中游修水、清镇及下游遵义,伴生Zr、Ti、V、Be、Ga、Ge、Nb、Ta等金属。此外乌江上游还有铅锌矿、铜矿、硫铁矿等分布。

四、地形地貌特征

乌江水系位于云、贵高原东斜坡北段与四川盆地南缘。东邻梵净山、佛顶山,西连乌蒙山,南靠苗岭,北濒大娄山。地势处于我国第二级阶梯——云贵高原向湖南丘陵过渡的斜坡地带。总的趋势是西部地势较高,海拔1400—2400m,中部稍低,海拔800—1400m,往北穿越娄山与四川盆地衔接,东北边部海拔500—800m。流域内山峦迭障、峰谷相间,切割强烈,岸壁陡峭,瀑布险滩甚多,水流湍急,地势起伏较大,地形复杂,岩溶广泛发育。

五、河流水文特征

乌江流量丰富,河口多年平均流量 $1509\text{m}^3/\text{s}$,年径流量534亿 m^3 ,相当于贵州河流年径流总量(1140亿 m^3)的46.84%,占贵州境内长江流域各河年径流总量(668亿 m^3)的79.94%。径流为雨水补给,其时空分布与降水量分布趋势一致,流域内多年平均径流深近600mm。月径流量占年径流量的比重以5、6、7月为最大,达14.5%—29.6%,次为8、9、10月,占7%—7.5%。连续3个月最大水量月份为5—7月份。武隆水文站多年平均流量 $1590\text{m}^3/\text{s}$,实测最大流量 $21000\text{m}^3/\text{s}$ (1964),为多年平均流量的13.2倍;估测最大流量 $30600\text{m}^3/\text{s}$ (1830年),为多年平均流量的19.2倍。径流的年际变化比较稳定。乌江泥沙量相对较少,武隆水文站实测多年平均输沙量为3165万t,占长江宜昌以上来沙量的6.2%,而年径流量却占宜昌年径流量的11.84%。50年代中期至80年代初期,上游地区森林覆被率由35%以上下降到7%左右,水土流失严重,造成乌江输沙量相应增加。据鸭池河水文站实测资料,1971—1981年平均含沙量为 $1.533\text{kg}/\text{m}^3$,1982年上升为 $1.86\text{kg}/\text{m}^3$ 。据六冲河洪家渡水文站实测资料,径流量为武陵的8.69%,而来沙量却是武陵的22.75%。乌江流量大,稀释自净能力强,目前水质基本状况良好。

区内地下水补给主源于大气降水,次为地表水。降水渗入量之大小,主要取决于降水强度、岩石类型、地形地貌、植被覆被率程度等,因地域性差异而异。区内降雨量大的织金南部入渗系数达0.45—0.65。入渗系数随岩石组合类型而异,碳酸盐岩区0.4—0.7,碎屑岩、玄武岩区0.15—0.27。入渗系数洼地比坡地大。

六、土壤和植被特征

乌江流域由于地形高差剧烈,地貌类型多样,土壤复杂,所以植物种属丰富,植被类型多。自然植被可分为两个系列。

1. 酸性土植被:发育在砂岩、页岩、砂页岩母质上的酸性土上的植物群落,其中亚热带常绿阔叶林特征,带有明显的地带性特征。常绿阔叶林仅残存在局部边远山区,广阔的丘陵山地为次生落叶阔叶林,山体中上部为原生落叶林。本区针叶林分布广,面积大。

2. 钙质土植被:发育在碳酸盐类岩石的钙质土壤的岩溶植被,分布较广,有钙质土针叶林、阔叶林、灌丛植被和灌草丛植被。

在地区分布上,乌江上游为阔叶常绿林和旱地作物为主,植被覆盖率10%—14.4%。乌江中游以常绿阔叶林、常绿落叶阔叶混交林及落叶林成斑块分布,植被覆盖率在5%—14%左右。乌江下游为典型亚热带常绿阔叶林,经济林以油桐、油茶为主。植被覆盖率在14.5%—29.9%。

黄壤分布广泛,下游由砂岩、砂页岩第四纪红色粘土、玄武岩母质发育而成,具明显富铝化、脱硅作用, $\text{pH}4.5—5.5$ 。黄红壤分布于乌江下游河谷盆地,微酸至酸性, $\text{pH}5.5$ 左右。石灰土广泛分布于乌江中游、上游和下游,土壤发育在碳酸岩母质上,多呈中性至微碱

性。紫色土广泛分布于乌江下游近四川境地区,发育在紫色砂页岩母质上,从微碱至酸性都有。水稻土则是主要耕作土壤,广泛分布于江河下游河谷盆地。

第二节 乌江水系水体的理化性状及其地球化学特征

一、河水的一般理化性状

碳酸岩和化学风化为主形成了乌江河水的理化状况,为典型喀斯特地区水化学特征。

1. pH:全水系 pH 值变幅在 7.9—8.9 之间,均值为 8.4。上、中、下游差异不显著。全水系水质偏碱性,主要是流水对广布于流域内的碳酸盐岩的溶蚀作用,至使水中形成碳酸氢盐缓冲体系。

2. 氧化还原电位 Eh(mV):全水系 Eh 值变幅在 140—197 之间,均值为 170.4。上、中、下游区均值差异不大,分别为 167.9、172.5 和 170.9。

乌江水系属山区性河流,比降大,水流畅通,氧化能力强,DO 饱和率较高,形成氧化环境。在这种 pH 和 Eh 环境条件下,多数元素价态转变为高价,形成金属碳酸盐和氢氧化物沉淀。全水系微量元素含量一般偏低,这与河水的偏碱以及氧化环境等地球化学特征是一致的。

3. 电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$):全水系电导率变幅在 32—460 之间,变幅大。均值为 222.1。上、中、下游区均值差异较大,中游区最高为 290.1,下游区最低为 137.4,电导率反映了水中离子强度。电导率与矿化度呈正相关关系。

4. 矿化度(mg/L):全水系矿化度变幅较大,在 71.8—312.8 之间,均值为 170.6,上游和下游其值差异不大,分别为 146.1 和 142.9,中游矿化度较高,为 211.5 且变幅较大,为 131.1—312.8 之间。

5. 溶解氧,全水系溶解氧饱和率在 55%—107% 之间。平均饱和率为 87%,下游高一些,达 93%。流水溶解氧丰富与流域内地貌条件,河流比降大,致使流水复氧能力强这一客观条件是一致的。

6. COD(mg/L):全水系的 COD 在 0.2—6.8 之间,大多在 1.0 以下,均值为 0.8,大于 2.0 以上的测值仅占统计值的 6%。上游和下游水平接近。分别为 0.7 和 0.8,中游略高一些,为 1.0。

7. 总硬度(德度):全水系总硬度在 3.0—17.5 之间,均值为 9.5。上、下游差异不大,中游高一些,为 11.9,变幅为 6.1—17.5 之间。属微硬水。乌江水系水质这一特征与流域内广布碳酸盐岩以及岩溶发育这一地质条件是一致的。

8. 总碱度(德度):全水系总碱度在 3.2—10.7 之间,均值为 6.9。上游和下游分别为 6.0—6.5,中游偏高,为 8.3。

9. 浊度(度):全水系除少数因下雨因素影响外,全水系的水质均为无色、无味、水体透明度较好。均值为 4 度。

10. 悬浮物(mg/L):全水系的悬浮物值变幅在 0.1—438 之间。变幅大,均值为 4.0,中游和下游差异不大。

11. 离子组成(mg/L):

① HCO_3^- , HCO_3^- 是乌江水系的主要阴离子,占阴离子总量的 80% 以上。全水系含量

变幅在 56.4—232.6 之间,均值为 144.6。中游含量最高达 177.4,上、下游含量较低,分别为 126.9 和 133.2。天然水中 H_2CO_3 — HCO_3^- — CO_3^{2-} 处于平衡状态,当 pH 在 8.5 左右时,水中碳酸主要以 HCO_3^- 形式存在,其含量高低直接影响总盐量,制约水的化学稳定性。

② SO_4^{2-} :乌江水系 SO_4^{2-} 含量变幅较大,在 1.9—171.0 之间。主要表现在中游,其含量变幅在 12.5—171.0 之间,全水系均值为 28.0。中游最高为 58.0,上游次之为 32.3,下游最低为 25.6。

③ Cl^- :乌江水系 Cl^- 含量变幅在 0.6—15.0 之间。均值在 2.2。上、中、下游含量均值为:上游最高为 2.5;中游次之为 2.1;下游最低为 1.3。

④ Ca^{2+} :乌江水系 Ca^{2+} 含量变幅较大,在 10.6—99.0 之间,均值为 40.4。上、中、下游其差异不大。

⑤ Mg^{2+} :乌江水系 Mg^{2+} 含量变幅较大,在 2.5—26.5 之间,均值为 10.5。中游含量偏高为 14.4;上游为 6.8;下游为 10.6。 Mg^{2+} 含量变幅大,其原因除与白云岩分布相关外,和 Ca^{2+} 以及其它影响因素的关系亦较复杂。

⑥ K^+ :乌江水系 K^+ 含量在 0.4—2.8 之间,变幅大,均值为 0.9。上游和下游含量接近,分别为 0.8 和 0.7。中游含量较高为 1.3。

⑦ Na^+ :乌江水系 Na^+ 含量变幅较大,在 0.8—8.9 之间。均值为 2.0,上游区含量较高为 2.4;中、下游为 1.9 和 2.0。

二、河水化学稳定性

对乌江水系河水化学稳定性计算,化学稳定性指数 I 在 $-1 \sim -0.2$ 之间的占 15.4%。 I 在 0.02—1.0 之间的河流占 83.1%,其余 $I \approx 0.0$,计算表明乌江水系为以沉积性为主的河流。

三、河水化学侵蚀性

化学侵蚀系数 K 值($K = P \cdot Q / F$, P 为河水总盐量, Q 为总径流量, F 为流域面积)又概括反映水化学侵蚀量和速率, K 值与流域盐性和水热条件有关。计算结果:乌江水系主要支流河水的 K 值在 114.5—179.7t/(a·km²),均值 144.6t/(a·km²)。

第三节 乌江水系水体元素含量与背景值

乌江干流长 1037km,流域面积 87920km²,属亚热带季风湿润气候,因海拔高差大,气候垂直差异明显,降水量 800—1400mm,热量丰富,>10℃积温 2500—6000℃。碳酸盐类岩石分布广泛。煤矿分布较多,其他矿有铁矿、锰矿、汞矿、铝、铅锌矿等。乌江流量丰富,年径流量 534 亿 m³,河水含沙量小。广泛分布的碳酸岩、降水丰富,湿热的气候是影响河流水体元素丰度和形态的主要因素。

一、河水元素背景值

表 7-3-1 和 7-3-2 分别列出了乌江水系河水(原水和溶解态)15 个元素的背景值。通过与国内外河水中元素天然浓度的比较,可看出乌江水系河水背景值的基本特征。

1. 乌江水系河水原水元素的背景值,在长江水系属低水平,除 As、Hg、Se 略高于平均水平外,其他元素都低于长江水系平均水平,也是国内外河水元素低水平背景值。

2. 河水过滤水中的元素,除 Ni 外,其他元素都在长江水系河水平均水平以下或在平均

表 7-3-1 乌江水系河水元素背景值特征统计表

元素名称			样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
					平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cr	51	对数正态	1.90	3.60	0.73	3.59	0.20	0.58	5.33	0.73	0.03—17.00		
Mn	48	对数正态	21.90	55.14	12.17	3.08	2.50	12.35	77.00	12.17	1.05—90.00		
Cu	50	对数正态	1.98	1.87	1.38	2.42	0.39	1.54	5.13	1.38	0.14—10.51		
Zn	49	对数正态	4.45	32.86	3.66	1.92	1.50	3.50	9.00	3.66	0.80—13.10		
As	52	对数正态	0.46	120.20	0.41	1.62	0.21	0.38	0.84	0.41	0.19—1.02		
Se	52	对数正态	0.208	5.406	0.132	2.769	0.028	0.152	0.391	0.132	0.006—1.419		
Pb	51	对数正态	0.86	0.83	0.53	2.96	0.11	0.62	2.15	0.53	0.05—4.11		
Cd	50	偏态	0.015	0.017	0.010	2.450	0.003	0.008	0.032	0.008	0.003—0.080		
Hg	52	对数正态	0.021	2.215	0.018	1.800	0.008	0.019	0.033	0.018	0.003—0.068		
Fe	44	对数正态	152.19	163.35	95.61	2.88	23.00	110.50	315.00	95.61	6.00—956.00		
Co	51	偏态	0.57	1.77	0.20	3.22	0.05	0.16	0.82	0.16	0.03—12.61		
Ni	50	对数正态	0.36	2.22	0.26	2.31	0.09	0.29	0.89	0.26	0.05—1.43		
Mo	52	对数正态	0.62	0.31	0.54	1.68	0.26	0.51	0.99	0.62	0.17—1.66		
V	49	对数正态	1.97	3.12	0.74	4.39	0.08	0.80	6.08	0.74	0.04—14.20		
F	52	对数正态	0.06	0.41	0.06	1.53	0.04	0.05	0.11	0.06	0.02—0.15		

μg/L

表 7-3-2 乌江水系河水(过滤水)元素背景值特征统计表

表 7-3-2 乌江水系河水(过滤水)元素背景值特征统计表												μg/L
元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征		
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距	
V	52	偏态	0.36	0.33	0.24	2.52	0.08	0.24	0.80	0.24	0.04—1.47	
Cr	51	对数正态	0.48	2.61	0.32	2.65	0.08	0.36	1.07	0.32	0.02—0.38	
Mn	50	偏态	5.57	6.81	3.90	2.16	1.70	3.18	11.62	3.18	1.00—43.00	
Cu	52	对数正态	0.76	1.09	0.58	2.13	0.22	0.59	1.79	0.58	0.13—3.22	
Zn	51	对数正态	2.54	3.74	2.26	1.67	1.31	2.35	3.97	2.26	0.50—6.90	
As	52	对数正态	2.31	0.54	0.28	1.54	0.17	0.26	0.54	0.28	0.14—0.90	
Se	51	偏态	0.145	0.145	0.083	3.622	0.016	0.122	0.310	0.122	0.002—0.682	
Pb	52	对数正态	0.47	1.78	0.26	2.86	0.07	0.20	1.10	0.26	0.05—3.53	
Cd	49	对数正态	0.006	0.012	0.005	2.082	0.002	0.004	0.015	0.005	0.001—0.024	
Hg	52	偏态	0.013	0.008	0.010	1.928	0.003	0.014	0.017	0.014	0.002—0.041	
Fe	51	对数正态	10.39	2.08	7.65	2.19	2.88	7.00	25.00	7.65	1.45—39.50	
Co	51	对数正态	0.08	0.38	0.05	2.58	0.02	0.05	0.21	0.05	0.01—0.38	
Ni	52	对数正态	0.30	0.80	0.15	2.76	0.05	0.15	0.54	0.15	0.04—4.70	
Mo	50	对数正态	0.45	0.57	0.38	1.80	0.16	0.39	0.81	0.38	0.11—1.24	

表 7-3-3 乌江水系沉积物元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	全 距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值
			平均值	标准差	平均值	标准差	10%	50%	90%		
Cr	26	47.63 -293.00	104.02	64.68	85.59	1.70	53.66	74.60	200.03	偏态	74.60
Mn	25	443.50—1832.00	946.12	436.10	858.51	1.56	491.98	746.09	1675.00	对数正态	858.51
Cu	26	16.33 149.03	52.46	41.38	39.81	2.09	19.64	29.49	121.14	偏态	29.49
Zn	24	34.27— 222.41	112.71	53.95	101.06	1.62	60.30	99.17	212.92	对数正态	101.06
As	26	2.57—29.80	9.99	6.88	8.04	1.98	2.58	7.51	20.34	对数正态	8.04
Pb	24	13.90 -39.30	25.20	7.13	24.45	1.28	18.72	24.44	38.35	对数正态	24.45
Cd	23	0.030- 0.330	0.103	0.085	0.083	1.871	0.042	0.074	0.274	对数正态	0.083
Hg	26	0.024—0.245	0.072	0.049	0.061	1.777	0.028	0.06	0.134	对数正态	0.061
Fe(%)	26	2.57 -10.80	4.73	2.41	4.24	1.59	2.66	3.34	8.31	偏态	3.34
Co	26	8.08-46.02	22.27	13.46	18.63	1.84	8.87	13.67	42.95	偏态	13.67
Ni	26	19.80—74.12	43.99	17.20	40.30	1.48	25.81	36.01	69.68	对数正态	40.30

表 7-3-4 乌江水系河流沉积物(63 μ m 部分)元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	全 距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值
			平均值	标准差	平均值	标准差	10%	50%	90%		
Cr	26	50.40—261.00	106.23	63.91	91.85	1.69	55.30	73.70	210.44	偏态	73.70
Mn	26	492.77—3879.00	1023.24	713.50	877.12	1.69	509.53	741.84	1668.20	偏态	741.84
Cu	26	15.50—157.00	51.83	43.07	39.02	2.08	20.07	28.25	123.90	偏态	28.25
Zn	25	38.80—368.30	142.80	106.93	124.00	1.72	67.52	111.60	288.99	对数正态	124.00
As	25	2.59—20.98	8.76	4.55	7.66	1.72	3.18	8.14	15.55	正态	8.76
Pb	25	15.90—208.30	34.08	36.83	28.40	1.60	20.24	24.98	39.84	对数正态	28.40
Cd	24	0.026—0.416	0.120	0.114	0.094	1.985	0.041	0.080	0.335	对数正态	0.094
Hg	26	0.025—0.150	0.067	0.031	0.060	1.625	0.029	0.064	0.111	正态	0.067
Fe(%)	26	2.23—10.90	4.69	2.44	4.19	1.60	2.71	3.40	8.30	偏态	3.40
Co	26	8.08—47.60	22.66	13.42	19.25	1.78	10.21	14.59	43.89	偏态	14.59
Ni	26	19.80—76.60	43.40	17.99	40.11	1.49	25.76	35.43	72.02	偏态	35.43

水平。在乌江水系化学风化强烈地区,河水中无论原水和溶解态水中的化学元素的天然浓度都很低,同乌江水系石灰岩广泛分布、河水化学偏碱性有关,以溶解态存在的元素浓度相对同样水热条件下花岗岩广泛出露的地区明显降低。

3. 溶解态元素的浓度占河水同种元素的比例相对较低,如 Fe、Mn、Cu、Co 等元素溶解态的含量占总量的比例不到 10%,其他元素一般也在 30% 左右以下。在乌江水系水热环境条件下,化学风化强烈,溶解态金属所占比例应相对较高,在同样水热条件下的花岗岩地区一般占 50% 以上。

二、河流沉积物元素背景值

乌江水系河流沉积物元素背景值列于表 7-3-3, 63 μ m 细粒部分沉积物的元素背景值列在表 7-3-4。其特征:

1. 无论是河流沉积物,还是其中 63 μ m 的细粒部分,元素的分布类型较复杂,原样沉积物以对数正态分布为主,部分为偏态。63 μ m 以下细粒部分沉积物,以偏态分布居多,部分为正态和对数正态分布。这些现象表征其元素浓度的离散性,分布的不均匀性。

2. 相对于一些河流沉积物,乌江水系河流沉积物 63 μ m 细粒部分的元素浓度较沉积物原样并未有明显增加的趋势。Cr、Mn、Cu、Ni 还有降低的趋势。这可能和碳酸盐含微量金属元素较贫,细微颗粒沉积物仍保持“纯正”石灰岩特征有关。

3. 乌江沉积物几乎所有元素都低于长江水系沉积物元素背景值的平均水平,个别在平均水平,同国内外的效数据比较,背景值也处于低水平。

第四节 乌江水系水体稀有、稀土、分散 与放射性元素的含量与背景值

表 7-3-5 列出了乌江水系一些稀有、稀土、分散和放射性元素,可以看出以下特征:

1. 这些元素多数以溶解态存在(溶解态占总量的 50% 以上),例如 Sr、Ba、Sb、U、Rb、Tb、Eu、Rb、Yb、Lu 等元素以溶解态存在的量都在 50% 以上,其中 Sr、Ba、Sb、U 都在 80% 以上,基本以溶解态存在为主。

2. 通过与国内外有关数据比较,表明这些元素中大多数元素的背景值明显处于低背景值水平。但 Ba 和 Sr 处于高背景值水平,其中 Sr 较世界淡水的平均水平高出 5-6 倍。

3. 乌江水系 63 μ 粒径沉积物稀有、稀土和放射性元素环境背景值与世界沉积物平均值比较,Rb、Sr 和 Ba 略偏低,其余元素差异不大。与国内河流沉积物比较,除 Rb 和 Ba 偏低外,其余元素都在各水系沉积物的环境背景值范围内。这一结果与河水中溶解态的 Rb、Cs、Sc、Th 和稀土元素的环境背景值明显偏低而 Sr 的环境背景值明显偏高的趋势显然不同。这同乌江水系流域地区的地质环境有关,乌江流域广泛石灰岩,河水受石灰潜水的的影响较大。水中基本上以溶解态存在的 Sr、Ba 和 Rb,水迁移性强,在沉积物累积的量也低。

表 7-3-5 乌江水系水体稀有、稀土和分散元素的背景值

元 素 分 类	Rb	Cs	Sr	Ba	Sb	Sc	U	Th	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Tb	Lu
河水(A)	0.88	0.030	330.4	38.69	0.120	0.024	0.530	0.018	0.130	0.270	0.120	0.027	0.008	0.004	0.012	0.002
过滤水(B)	0.59	0.010	310.9	36.23	0.100	0.005	0.440	0.005	0.050	0.100	0.050	0.010	0.005	0.003	0.007	0.001
B/A×100%	67	33	94	94	83	21	83	28	38	37	42	37	63	75	58	50
<63μm 沉积物	91.31	5.15	151.54	447.0	1.16	13.99	4.09	14.48	50.31	99.23	42.31	7.76	1.42	1.09	2.99	0.40

* 单位:水为 μg/L;沉积物为 mg/kg.

第八章 赤水水系水体中的化学元素

第一节 赤水水系的环境特征

一、水系组成

赤水是长江上游南岸注入的较大一级支流,发源于云南省镇雄县,在四川省合江县注入长江。全长 444.5km,其中云南省境内 73.5km,贵州省境内长 126km,四川省境内 51km,川贵界河 194km。流域总面积 20440km²。水系特征与乌江相似。总的轮廓呈向东南凸出的不规则弧形,与乌江形成两条协调的同心弧。东南岸主要支流 14 条,发源于大娄山东南麓,西北岸较大支流 7 条。较大支流有桐梓、习水、二道河、大同河、古蔺河。

二、气候特征

与乌江流域气候不同,赤水河流域由于地形较闭塞,又处于东南季风背风面,气流下沉增温,使气温较高,降水较少,如仁怀,年均温 17.5℃,年降水 882mm,具干热河谷特征。从降雨强度来看,以夏季最大,多阵雨及暴雨,冬季则多间歇性小雨及毛毛雨,年降水量多在 1000mm 以上,阴天日数很多,日照百分率仅 25%—30%。

三、地质环境

赤水流域与乌江流域同属扬子沉积区,岩石基本一致。

1. 在中上游主要是震旦系灯影组的白云岩,下部有磷矿、重晶石、萤石、铅锌矿产出。
2. 下古生界在中上游均有分布,以碎屑岩为主,底部的黑色多金属层含有多种元素,重稀土元素、放射性元素等。中上统为碳酸盐岩区,下统由白云岩、灰岩、砂页岩组成。中统为灰岩。上统为泥质灰岩、钙质页岩组成,中上统厚度均较小。下古生界缺失泥盆、石炭系,仅二迭系发育齐全,下统主要为灰岩,上统为灰岩及含煤岩组,是流域内主要产煤层位。伴生有高岭土、黄铁矿等。

三迭系在流域内分布广泛,主要为黄绿、紫红色泥、页岩和灰岩互层。

侏罗系分布于下游地区,岩性为紫红色泥岩,与砂岩互层,厚度大。底部有铁矿,偶见煤层,中部局部见含铜砂岩。

白垩系亦分布于下游,岩性为紫红—砖红色砂岩夹粉砂岩及泥岩。

赤水流域矿藏丰富:

1. 煤:蓄量丰富,居江南各省之首,分布在镇雄、仁怀、习水、桐梓等地。
2. 铁:小型铁矿,分布在桐梓、习水、古蔺、仁怀等地。
3. 铜:产于砂岩中,为含铜砂岩型,分布在习水、仁怀等地。
4. 天然气和卤水:产于赤水及合江县境内,二者共生,卤水中含盐量 4.2%,伴生有 I、Br、K、Li、B 等元素。
5. 磷矿:属小型矿床,产于仁怀、习水等地。
6. 硫铁矿:产于镇雄、威信、毕节、古蔺、仁怀、习水等地。

另外习水境内有含钾岩石、石膏及铅锌矿。古蔺境内有铀矿。

四、地形地貌

赤水流域山脉、河流与构造线走向一致,地形切割强烈,相对高差 500—700m,构成黔北山原中山峡谷地貌。

侵蚀构造地貌:主要见于碎屑岩类分布区,以浅切或中切低山——中山为主要特征。

溶蚀地貌:岩溶形态有洼地,落水洞、溶洞、天窗、石芽遍布于碳酸盐岩区。有溶丘谷地、峰丛洼地等。

侵蚀溶蚀地貌:分布于桐梓与习水之间的背斜轴部的寒武系碳酸盐岩地层。以机械侵蚀为主,岩溶化强度较弱,形成与非可溶性岩区的中山峡谷相似的地形,海拔 1500—1650m 左右。

赤水流域位于云贵高原向四川盆地倾斜的斜坡面上。西和南连接云贵高原,东邻大娄山,地势南高北低,山脉、河流与地质构造线走向一致。

五、水文特征:

赤水年均径流量 $309\text{m}^3/\text{s}$,实测最大流量 $9890\text{m}^3/\text{s}$ (1953)。多年平均侵蚀模数 $870\text{t}/(\text{a} \cdot \text{km}^2)$,年平均含沙量 $0.927\text{kg}/\text{m}^3$,年输沙量 7197 万 t。

六、土壤与植被

赤水河流域地质、气候和地形地貌条件复杂,形成相近多样的植被和土壤类型。

黄壤广泛分布于赤水河流域上中游地区。赤水及习水下游河谷地带主要分布黄红壤。黄棕壤分布于赤水上游山地。赤水下流地区还广泛分布有紫色土。植被以高原山地常绿栎林为主,经济林以漆树、茶树、旱地作物为主。赤水上游地区为以湿润性常绿林和马尾松为主的过渡性植被。

第二节 赤水水系河水的理化特征

一、一般理化状况

1. pH 在 7.6—8.7,比乌江略低,平均值在 8.2,明显偏碱性。
2. 溶解氧含量 8.3—10.9mg/L,均值 9.2mg/L。氧化还原电位均值在 171.7mV,范围在 146—202.0mV,都表明赤水河水溶解氧是丰富的,处于氧化环境。
3. 硬度范围大,为 1.6—15.2 度(德),均值 7.4 度,为软水。
4. 离子组成:

Ca^{2+} 占阳离子总量的 80%以上,其次为 Mg^{2+} 占阳离子总量的 15%, Na^+ 和 K^+ 的含量较低。阴离子 HCO_3^- 占 70%以上, SO_4^{2-} 也占较高的比例,约占阴离子总量的 20%, Cl^- 占阴离子总量的比例很小。矿化度范围值为 61.8—154.4mg/L,属低矿化度河水。主要为 Ca^{2+} 水。

二、化学耗氧量及酸碱容量

化学耗氧量在 0.3—2.2mg/L,均值 1.0mg/L,属化学耗氧量低的河流。

对酸的缓冲容量:范围为 0.04—2.62meq/L,均值为 0.88meq/L(毫克当量/升),即每升河水中加入 0.88meq/L 的酸,仍能保持水的 pH 在 6.5 以上。

对碱的缓冲容量在 0.01—0.030meq/L,均值在 0.06meq/L,表明赤水对碱的缓冲能

力很小,不到对酸缓冲能力的 6.8%,这是因为赤水偏碱性, HCO_3^- 碱度占水中离子的优势,导致对碱的缓冲能力很弱。

第三节 赤水水系水体元素的含量与背景值

赤水是长江上游南岸较大支流,全长 444.5km,流域面积 20440km²,位于云贵高原向四川盆地倾斜坡面上,地形切割强烈,山势陡峻,由于地形较闭塞,降水相对较少,年均降水 1000mm 左右,碳酸盐岩石分布广泛,有煤、铁、磷矿、铀、放射性矿床。受石灰岩地质环境影响,河水的 pH 在 7.6—8.7 偏碱性,是影响和控制水体中化学元素含量和形态的主要因素。

一、河水元素的背景值

赤水水系河水(原水)和过滤水(溶解态)元素背景值分别列在表 8-3-1 和 8-3-2。其背景值数据特征:

1. 元素的分布类型较特殊,河水原水大部分元素为对数正态和正态分布,仅 Hg 为偏态分布,而过滤水以正态分布为主,部分偏态分布,表明它们含量的高散度较大,且不规则。

2. 同国内外有效数据比较,赤水河水原水中的元素背景值水平较低,即河水中这些元素的天然浓度较低。也明显低于乌江水系河水中这类元素的背景值。

3. 过滤水中的元素较原水更低,特别是 Fe、Mn 和 As 背景值低数倍以上,是许多河流中最低的,表明在赤水中一方面这些元素的来源少,且由于水的理化条件,使溶解态元素难以存在。

4. 除 Fe 和 Mn 外,大部分元素溶解态的量占优势,超过河水同种元素总量的 50%,河水中的总 Fe 较溶解态 Fe 高近 1 个数量级,而 Mn 60% 以上为悬浮颗粒态。

二、沉积物和悬浮物

赤水水系河流沉积物原样和 63 μm 以下细微粒部分的背景值分别列在表 8-3-3 和表 8-3-4。通过与国内外同类研究数据比较,可以看出其特征:

1. 沉积物原样和 63 μm 细微粒部分元素的背景值几乎都高于国内外有关资料数据,系高水平背景值的河流沉积物。

2. 沉积物原样和 63 μm 的细微粒部分的沉积物同种元素的背景值没有明显的差异,63 μm 细微粒部分的元素背景值略高于沉积物原样。

赤水水系河水中元素的浓度、背景值在国内外河流中是处于低浓度、低水平,溶解态元素浓度特别低,而沉积物中元素的浓度、背景值又处于高水平,这些现象表明,赤水河水系河流中的元素,大量的富积在沉积物中,和河水偏碱性、碳酸盐的地球化学作用较强而使水中的元素很容易转入沉积物有关。

三、赤水水系河流悬浮物的背景值

赤水水系河水清澈,河流悬浮物的含量是很低的,难以取得。从取得的少量河水悬浮物元素的天然浓度(表 8-3-5)可以看出赤水水系河水悬浮物中元素的天然浓度是很高的,是河流沉积物同种元素浓度的 3—5 倍,进一步证实了赤水水系河水中的元素在细微粒颗粒上强烈的富积作用。

μg/L

表 8.3.1 赤水水系河水背景值特征统计表

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
V	21	对数正态	0.81	0.82	0.49	3.13	0.08	0.57	1.97	0.49	0.04 3.34
Cr	20	对数正态	0.78	0.78	0.50	2.70		0.52		0.50	0.08--3.21
Mn	21	对数正态	10.66	10.78	6.68	2.67	2.34	4.50	27.96	6.68	1.55--36.40
Cu	21	对数正态	1.33	7.20	1.01	2.18	0.33	1.12	2.61	1.01	0.17--5.60
Zn	21	正态	3.52	1.46	3.14	1.78	2.05	3.50	5.78	3.52	0.40--7.00
As	21	正态	0.60	0.31	0.53	1.68	0.24	0.49	1.14	0.60	0.22 1.36
Se	21	正态	0.110	0.078	0.083	2.282	0.021	0.094	0.250	0.110	0.015 0.285
Pb	21	对数正态	0.61	0.52	0.43	2.47	0.10	0.49	1.17	0.43	0.10--2.18
Cd	20	对数正态	0.007	0.004	0.006	1.740		0.006		0.006	0.002 0.020
Hg	21	偏态	0.026	0.011	0.025	1.388	0.017	0.023	0.047	0.023	0.014--0.061
Fe	20	对数正态	119.05	117.88	72.66	2.84		59.50		72.66	13.80 340.00
Co	21	对数正态	0.31	7.32	0.19	3.24	0.05	0.29	0.81	0.19	0.01--0.87
Ni	21	对数正态	0.26	0.37	0.19	2.29	0.06	0.22	0.49	0.19	0.04 0.92
Mo	21	正态	0.42	0.23	0.34	2.18	0.14	0.43	0.77	0.42	0.03--0.83
F(mg/L)	22	正态	0.06	0.04	0.05	2.19	0.01	0.06	0.12	0.06	0.01 0.14

表 8-3-2 赤水水系河水过滤水元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
V	21	正态	0.30	0.20	0.24	2.17	0.08	0.28	0.59	0.30	0.08—0.73
Cr	20	偏态	0.45	0.36	0.28	3.47		0.37		0.37	0.02—1.17
Mn	20	偏态	4.14	3.56	2.77	2.92		2.38		2.38	0.10—13.00
Cu	20	正态	0.82	0.92	0.62	2.31		0.76		0.82	0.10—2.69
Zn	20	正态	2.71	1.63	2.08	2.43		2.60		2.71	0.15—7.00
As	19	正态	0.28	0.08	0.27	1.33		0.28		0.28	0.15—0.40
Se	19	正态	0.093	0.058	0.076	1.995		0.084		0.093	0.017—0.212
Pb	20	正态	0.31	0.28	0.24	2.00		0.21		0.31	0.09—1.10
Cd	20	偏态	0.004	0.003	0.003	1.871		0.004		0.004	0.001—0.013
Hg	21	偏态	0.017	0.011	0.015	1.809	0.005	0.015	0.041	0.015	0.004—0.052
Fe	18	正态	9.71	5.63	8.09	1.92		9.50		9.71	2.80—19.50
Co	20	正态	0.09	0.31	0.06	2.59		0.09		0.09	0.01—0.36
Ni	20	偏态	0.15	0.14	0.10	2.72		0.08		0.08	0.02—0.39
Mo	20	正态	0.31	0.21	0.24	2.33		0.31		0.31	0.03—0.69

表 8-3-3 赤水水系河流沉积物元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cr	13	对数正态	81.96	22.07	79.69	1.27	70.28	74.30	117.51	79.69	54.00—137.70
Mn	13	对数正态	686.43	293.97	640.53	1.45	396.15	589.03	1203.55	640.53	391.62—1382.41
Cu	12	正态	30.01	15.20	26.80	1.65	13.81	30.60	42.8	30.01	13.68—66.46
Zn	13	正态	91.42	37.73	84.05	1.55		85.54		91.42	39.60—160.77
As	12	对数正态	5.46	3.08	4.83	1.66	2.70	4.86	8.90	4.83	2.23—13.24
Pb	13	正态	24.84	3.79	24.59	1.16		24.12		24.84	20.31—32.92
Cd	12	正态	0.047	0.036	0.038	2.014	0.020	0.035	0.112	0.047	0.010—0.129
Hg	13	正态	0.060	0.031	0.051	1.902		0.062		0.060	0.014—0.120
Fe(%)	12	正态	2.86	0.69	2.78	1.28	2.09	2.97	3.60	2.86	1.85—4.24
Co	12	正态	12.53	4.53	11.83	1.43	8.63	11.81	18.41	12.53	6.07—22.57
Ni	12	正态	27.97	6.36	27.25	1.28	19.51	28.70	33.76	27.97	16.42—38.14

表 8-3-4 赤水水系河流沉积物(63 μ m 部分)元素背景值特征统计表

mg/kg

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cr	13	偏态	83.33	23.87	80.44	1.32	73.34	77.70	118.17	77.70	43.00—142.30
Mn	13	对数正态	699.83	554.52	649.05	1.47	398.96	604.01	1242.31	649.05	396.44—1462.11
Cu	12	正态	26.97	10.11	25.12	1.50	14.14	26.11	39.51	26.97	13.89—43.12
Zn	12	正态	113.96	53.92	101.77	1.67	49.65	108.70	188.57	113.96	44.30—210.33
As	13	正态	5.98	3.40	5.11	1.82		5.50		5.98	1.92—13.24
Pb	13	对数正态	26.49	19.69	26.03	1.21	21.17	25.19	35.72	26.03	20.31—38.87
Cd	13	正态	0.078	0.135	0.077	3.293		0.035		0.078	0.007—0.479
Hg	13	正态	0.060	0.030	0.052	1.816		0.065		0.06	0.017—0.104
Fe(%)	12	正态	3.06	0.76	2.98	1.29	2.09	3.10	3.92	3.06	1.98—4.24
Co	12	正态	12.19	4.92	11.35	1.49	7.05	11.83	19.58	12.19	5.35—23.80
Ni	12	正态	28.69	7.38	27.69	1.33	16.73	30.42	35.61	28.69	16.42—40.06

表 8-3-5 赤水水系河流悬浮物元素背景值特征统计表

mg/kg

元素名称 样本数	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
	平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	最小	50%	最大	背景值	全距
Cr	3	164.13	2.41	169.99	1.05	157.10	161.70	173.60	157.10—173.60
Mn	3	1665.33	134.66	1642.88	1.22	1401.00	1534.00	2061.00	1401.00—2061.00
Cu	3	173.10	10.39	171.78	1.16	155.60	159.60	204.10	155.60—204.10
Zn	3	357.23	46.27	350.84	1.26	306.80	308.20	456.70	306.80—456.70
As	4	23.60	12.10	21.60	1.58	14.00	22.00	44.00	14.00—44.00
Pb	3	33.17	19.69	32.08	1.38	22.50	34.70	42.30	22.50—42.30
Cd	3	1.645	0.048	1.552	1.504	1.124	1.355	2.456	1.124—2.456
Hg	4	0.142	0.034	0.128	1.634	0.089	0.108	0.264	0.089—0.264
Fe(%)	3	7.83	0.51	7.80	1.12	6.94	7.84	8.72	6.94—8.72
Co	3	60.40	2.73	59.20	1.28	47.20	57.30	76.70	47.20—76.70
Ni	3	89.03	6.03	88.88	1.07	82.30	89.90	94.90	82.30—94.90

表 8-3-6 赤水稀有稀土分散与放射性元素的背景值

元 素 分 类	Rb	Cs	Sr	Ba	Sb	Sc	U	Th	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Tb	Lu
河水(A)	0.632	0.042	308.8	34.75	0.211	0.050	0.300	0.032	0.206	0.398	0.215	0.046	0.012	0.007	0.018	0.003
过滤水(B)	0.454	0.011	303.0	31.43	0.079	0.006	0.274	0.006	0.029	0.064	0.032	0.009	0.004	0.004	0.007	0.002
B/A×100%	72	26	98	90	37	12	91	19	14	16	15	20	33	57	39	67
<63 μ m 沉积物	76.58	4.64	193.98	347.3	0.87	11.66	3.15	12.17	46.93	90.40	36.59	6.72	1.32	1.02	3.06	0.39

* 单位:水为“ μ g/L”;沉积物为“mg/kg”。

第四节 赤水水系水体稀有、稀土、分散与放射性元素的含量与背景值

表 8-3-6 列出了赤水水系稀有、稀土、分散和放射性一些元素的背景值,它们有以下特征:

1. 与乌江类似 Sr、Ba、Rb、U、Tb、Lu 在河水中都主要以溶解态存在,像 Sc、La、Ce、Nd、Sm 等都主要以悬浮颗粒存在。在乌江水系中 Sc 和 Yb 主要以溶解态存在,在赤水水系转变为以悬浮颗粒态存在。

2. 河水中稀有、稀土和放射性元素水环境背景值与国内外其它河流水系的比较。

所研究的 16 种元素水环境背景值溶解态与国内外其它河流的对比见表 8-3-6。明显低于世界淡水均值和国内河流均值一个数量级的元素有 Rb、Sb、Sc、Th、La、Ce、Nd、Yb,与世界河流淡水均值和国内河流元素含量均值相当(或在一个数量级之内)的元素有 Cs、Ba、U、Sm、Eu、Tb、Lu,高于世界淡水均值和国内河流均值的元素仅 Sr(高出一个数量级)一项。赤水河水系 Sb、Sc、Th、La、Ce、Nd、Yb 的低背景值和 Sr 的高背景值,均成了发育于喀斯特地区河流中稀有、稀土和放射性元素分布的一个显著特征。

3. 赤水水系(63 μ m 粒径)沉积物中 16 种元素除 Sb 低于乌江水 63 μ m 粒径沉积物一个数量级外,其余 15 个元素背景值都非常接近。也就是说这两个水系沉积物中稀有、稀土和放射性元素背景值基本规律和特征非常相似。赤水河水系与世界沉积物均值比较: Sr、Ba、Sb 较低, Sc 略高,其余元素 Rb、Cs、U、Th、La、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Yb、Lu 相当或差异不显著。与长江水系沉积物比较,除 Sc、Ce 略高, Sb 略低外,其余基本相当或差异不显著,即是说赤水水系沉积物中 16 种元素背景值基本在国内河流沉积物背景值范围内。这一结果与水相中 Cs、Ba、U、Sm、Eu、Tb、Lu 的低背景值和 Sr 的高背景值这一特征显然不同。

第九章 清江水系水体中的化学元素

第一节 清江流域的环境特征

一、水系组成

清江是一条由湖北省长江南岸注入的最大支流,发源于湖北省利川县的佛宝山,自西向东流经利川、咸丰、恩施、建始、长阳、宜都,在宜都北注入长江。全长 440km,流域面积 16700 余 km^2 ,较大支流 9 条,以忠建河最长,支流为南北向。

二、气候特征

清江流域地处鄂西山地,海拔大都在 1000m 以上,地势高峻成为该流域地区热量较少的主要原因,如海拔 1819m 的绿葱坡站,1 月平均气温为 -3.3°C ,7 月平均气温也仅 18.4°C ,年均气温仅 7.8°C ,但河谷地区气温一般在 $16-17^{\circ}\text{C}$,大于 10°C 的积温为 4500—5300 $^{\circ}\text{C}$ 。

清江流域年均降水量为 1200mm,降水量较大,多暴雨,降水主要集中在 5 月份,降水有明显的区域变化,东北部地区多在 600mm/a,西南部高达 1600mm/a。

三、地质环境

该区域地质构造属于新华夏构造体系隆起带的一部分,褶皱轴大致作东北—西南走向。但其东部由于受黄陵背斜的牵制而呈近东西走向,作弧形排列,所以有人称之为八面山弧。背斜大多宽广平缓,往往形成高山峻岭,向斜狭窄而陡峻,常是盆地和低丘所在。

清江流域地层发育完整,以浅海相碳酸盐岩沉积为主,上部碎屑岩沉积渐多,寒武系底部的黑色页岩含磷、钒、钼、镍等矿产,奥陶系由灰岩、泥灰岩、夹页岩组成。

四、地形地貌

清江流域的地形受新构造运动间歇性上升的影响最大,形成明显的三级平面:

1. 海拔 1500—2000m 的山顶部位,往往有比较平缓起伏的岗峦,是最老一级侵蚀面—鄂西期侵蚀面。

2. 在海拔 500—1000m 的高度往往有由轻微倾斜的红色砂岩及砾岩所构成的山间盆地,如恩施、建始平地,即山原期侵蚀面。

3. 在山原期侵蚀面以下,有一深切峡谷,是最新的幼年期地形,即所谓峡谷期。第四纪冰川的作用,使本区广泛分布有古冰川地貌,现在仍保存有 U 形谷、冰斗、冰窖、悬谷、鱼脊峰等冰川作用遗迹。

五、土壤与植被

清江流域土壤有 4 种类型:山地黄土、石渣子土、灰色土和山地沙土。

土壤性状的垂直变化十分明显,在地势较低的地区,土质较粘重,土壤有机质含量较低。随着地势升高,气温降低,湿度增加,水化程度增大,土色逐渐由红变黄,在地势较高、坡度较陡的地方,因遭受严重冲刷,土层显得浅薄,并夹有大量砾石和碎屑。

山地黄土主要发育在石灰岩和第四纪粘土母质上,由于土层呈黄色,故称山地黄土。它以有机质含量高,酸性反应和生长期较短而区别于丘陵黄土。灰色土主要分布在鄂西高山地区的顶部和上坡,成土母质有石灰岩、砂岩和云母片岩等,母质的物理、化学和生物风化都很强烈,虽处高山顶部,也能形成深厚而疏松的土层。

鄂西清江流域低山丘陵地区,属于北亚热带落叶阔叶、常绿阔叶混交林地带。巴山松林分布于鄂西北鄂西南海拔 1200—1900m 地段上,林内混生有锐齿槲栎、刺叶栎、袍树、山杨等。杉木林主要在该区海拔 200—1400m(最高可至 1700m)的低山丘陵山谷中。林内灌木常出现有一些喜阴湿的植物种类。

六、河流水文特征

清江流域降水丰富,河水以降水补给为主,受降水的影响,清江流量变化较大,平均年径流量为 $4125\text{m}^3/\text{s}$,但最大达 $10400\text{m}^3/\text{s}$,最小流量低至 $27.5\text{m}^3/\text{s}$ 。年径流总量达 164 亿 m^3 。由于清江发源于丘陵山地地区,地面坡度较大,因此都具有山溪性河流的特点。

清江流域天然植被保存较好,因此河水的含沙量较少,一般在 $0.275\text{kg}/\text{m}^3$ 左右。清江的含沙量一般都随季节而变化,洪水季节 6、7、8、9 四个月的含沙量较高,而在枯水和平水季节含沙量较少,输沙量则更集中于 6、7、8、9 月,四个月的输沙量占全年输沙量的 80% 以上。多年平均输沙量为 864 万 t,但年际变化较大,最大达 3580 万 t,最小仅 186 万 t。

第二节 清江水系河水的理化特征

一、pH

清江下游长阳站可反映清江的水文水化学特征,清江的 pH 多年平均为 7.9,属略偏碱性的河流,为地带性偏高,主要受区域岩石性质特别是石灰岩广泛出露的影响。

二、溶解氧

根据实测,清江溶解氧的含量从 $8.0\text{—}12.8\text{mg}/\text{L}$,多年均值为 $10.9\text{mg}/\text{L}$,清江含氧丰富且较稳定,同清江的河床比降大,水在流动中暴气充分,使氧保持在较高的水平有关。

三、离子组成和矿化度

清江是一条矿化度较低的河流,多年平均离子总量为 $202\text{mg}/\text{L}$,变化不大,变化范围在 $189\text{—}227\text{mg}/\text{L}$ 。阳离子以 Ca^{2+} 为主,平均值为 $39.9\text{mg}/\text{L}$,占阳离子总量的 77%,阴离子以 HCO_3^- 为主,占阴离子总量的 87%。水化学类型为 Ca^{++} 。

四、硬度

清江河水的硬度较小,变化于 $3.62\text{—}7.29$ 度,多年平均为 6.6 度(德),属软水。

五、化学耗氧量

清江河水的化学耗氧量多年平均值为 $1.8\text{mg}/\text{L}$,上游更低,属化学耗氧量偏低的河流。

六、水化学稳定性和酸碱容量

根据计算清江的水化学稳定性系数为 0.069,属弱沉积性和溶蚀性河流,因此它容酸量较大,酸容量为 $0.914\text{meg}/\text{L}$ 。容碱量较低,容碱量仅 $0.071\text{mg}/\text{L}$ 。

第三节 清江水系水体元素含量与背景值

一、河水(原水)的元素背景值

清江河水的元素背景值列于表 9-3-1,其算术平均值同国内外有效数据比较,特征是大部分元素在河水原水中是较低的,为河水原水低背景值区。但 As、Cd、Se 略偏高,处于较高背景值水平。特别是 Se 的含量是我国河水中较高的。

二、河水溶解态(过滤水)元素的背景值

清江水通过 0.45 μ m 滤膜的过滤水样中元素的背景值列于表 9-3-2,同国内外有关数据比较,大部分元素的背景值处于低水平,其占河水同种元素的比例相对较低,特别是 As、Mn、Fe、Cr 占总量的比例都低于 20%,其他元素占总量的比例一般也不足 50%,相对于同样的自然地带环境,属河水中悬浮态元素含量比例较大的河流,可能和区域地质因素、石灰岩的碱性环境、河水中以溶解态存在的元素量很低有关。但像 Se 在清江中,同其他水系比较主要也以溶解态存在。

Se 和 Cd 处于高背景值水平同该流域的地质环境有一定的关系。对该流域岩石中 Cd 的含量分析表明,广泛出露的沉积岩中 Cd 的含量在 0.83—0.92mg/kg,较一般沉积岩偏高(0.0n—0.30mg/kg)。Se 也有这种现象。

三、清江水系河流沉积物的背景值

清江水系河流沉积物的背景值列于表 9-3-3,细粘微粒 63 μ m 以下部分的沉积物元素背景值列入表 9-3-4,其特征:

1. 清江水系河流沉积物大多数元素处于低背景值水平,低于我国东部一些河流,也低于长江水系河流沉积物元素的平均背景值水平。但是 Mn 和 Fe 的背景值处于一般河流沉积物的背景值水平。

2. 清江河流沉积物细微颗粒 63 μ m 部分的元素背景值大部分元素较原样沉积物同种元素的背景值略高,但没有明显的富积现象,个别元素 As 和 Co 在细微粒 63 μ m 以下部分还有降低的趋势。

四、清江河水中 Se 和 Cd 处于高背景值

Se 和 Cd 处于高背景值水平同该流域的地质环境有一定的关系。对该流域岩石中 Cd 的含量分析表明,广泛出露的沉积岩中 Cd 的含量在 0.83—0.92mg/kg,较一般沉积岩(0.0n—0.30mg/kg)偏高。Se 也有这种现象。

表 9-3-5 列出了清江主要河段河水(原水)和过滤水中稀有稀土和放射性元素的天然浓度,可以看出其特征:

1. 河水原水较长江水系的含量水平显著增高,即使是最上游的河段多数元素也高于长江水系河水的平均水平,如长江水系河水 Rb 的背景值为 1.4 μ g/L,利川河段为 1.80 μ g/L;长江水系河水背景值 Cs、Sr、La、Nd 分别为 0.038、240、0.24、0.26 μ g/L,而利川河段河水这些元素的天然浓度为 0.073、527.0、0.260 和 0.400 μ g/L,很明显,清江河水中稀有稀土元素的背景水平是较高的。

2. 从清江河段河水稀有稀土元素的变化看,从中游的津阳口向下河水中稀有稀土元素大幅度增加,特别是 Rb、Ba、Sc、Th、Ce 等成数量级的增加,造成这种现象的原因还不

表 9-3-1 清江水中元素背景值特征统计表

表 9-3-1 浙江省水中元素背景值特征统计表												μg/L
元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值		背景值表征			全 距
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值		
Cu	6	正态	1.47	0.96	1.13	2.38	0.22	1.64	2.36	1.47	0.23—2.71	
Pb	6	正态	0.56	0.26	0.50	1.66	0.17	0.53	0.83	0.56	0.21—0.89	
Zn	6	正态	2.93	0.70	2.84	1.33	1.00	3.09	3.49	2.93	2.024—3.84	
Cd	6	正态	0.147	0.094	0.124	1.86	0.0396	0.102	0.266	0.147	0.027—2.592	
As	6	正态	4.47	3.32	3.44	2.32	0.56	4.21	7.28	4.47	0.177—8.77	
Co	6	正态	1.13	1.22	0.46	6.43	0.014	0.62	2.66	1.13	0.44—2.70	
Ni	6	正态	0.68	0.43	0.50	2.73	0.048	0.68	1.09	0.68	0.14—1.84	
Cr	6	正态	5.08	6.09	2.68	3.73	0.24	3.15	10.06	5.08	2.78—12.94	
Se	6	正态	1.27	1.07	0.80	3.30	0.078	1.06	2.49	1.27	0.11—2.65	
Mn	6	正态	187.90	249.53	56.09	9.75	0.594	107.32	392.78	187.90	133.40—509.80	
Mo	6	正态	3.02	0.74	2.94	1.28	1.22	2.89	3.79	3.02	2.07—3.97	
Fe	5	正态	4992	3220	0.86	0.04	0.094	3.30	7.81	4992	842.4—9143.8	
V	6	正态	3.70	1.71	3.36	1.64	1.02	3.62	5.41	3.70	1.50—5.91	
Hg	6	正态	0.11	0.0228	0.11	1.26	0.036	0.12	0.13	0.11	0.081—0.14	

表 9-3-2 清江过滤水中元素背景值特征统计表

μg/L

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全 距
Cu	6	正态	0.47	0.48	0.30	2.90	5.4×10^{-2}	0.24	1.04	0.47	0.14—1.08
Pb	6	正态	0.24	0.16	0.17	2.83	0.019	0.26	0.41	0.24	0.44—3.2
Zn	6	正态	2.41	0.94	2.14	1.86	0.37	2.65	3.10	2.41	1.19—3.63
Cd	6	正态	0.082	0.048	0.070	1.836	0.0198	0.07	0.135	0.0817	0.02—0.143
As	6	正态	0.51	0.42	0.39	2.19	0.09	0.39	0.89	0.51	$1.04—3.02 \times 10^{-2}$
Co	6	正态	0.094	0.059	0.071	2.08	0.015	0.087	0.16	0.094	0.081—0.17
Ni	6	正态	0.29	0.30	0.16	3.55	0.18	0.21	0.57	0.29	0.10—0.68
Cr	6	正态	0.43	0.16	0.40	1.61	0.10	0.45	0.56	0.43	0.23—0.63
Se	6	正态	1.07	0.87	0.70	3.11	8.4×10^{-2}	0.94	2.09	1.07	$4.49 \times 10^{-2}—2.19$
Mn	6	正态	4.95	3.89	3.37	2.96	0.34	3.95	9.51	4.95	$7.57 \times 10^{-2}—9.97$
Mo	6	正态	2.54	1.71	2.16	1.85	0.62	1.87	4.31	2.54	0.35—4.75
Fe	6	正态	4.18	1.19	4.02	1.39	1.36	4.34	5.29	4.18	2.65—5.72
V	6	正态	0.91	0.36	0.84	1.58	0.23	0.88	1.27	0.91	0.44—1.38
Hg	6	正态	0.085	0.022	0.082	1.28	0.03	0.072	0.11	0.085	0.056—0.11

表 9-3-3 清江河流沉积物背景值特征统计表

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全 距
Cu	5	正态	42.10	11.38	40.64	1.37	12.27	48.61	50.38	42.10	7.42—56.78
Pb	5	正态	22.94	2.60	22.81	1.12	9.65	23.69	25.13	22.94	19.59—26.29
Zn	5	正态	76.95	22.30	74.12	1.37	22.94	77.53	97.27	76.96	48.18—105.72
Cd	5	正态	0.41	0.26	0.35	1.88	0.08	0.35	0.65	0.41	0.082—0.74
Hg	5	正态	0.084	0.031	0.080	1.42	0.028	0.071	0.12	0.084	0.044—0.12
As	5	正态	9.10	1.17	9.05	1.13	3.97	8.83	10.06	9.10	7.59—10.61
Co	5	正态	15.25	3.54	14.88	1.29	4.95	16.58	18.05	15.25	10.69—19.82
Ni	5	正态	38.53	10.06	37.35	1.33	12.18	44.07	46.38	38.53	25.55—51.51
Cr	5	正态	90.78	17.60	89.35	1.22	34.56	97.8	105.75	90.78	68.07—113.48
Mn	5	正态	632	111.22	623.67	1.20	240	680	725	632	488.52—775.47
Fe	5	正态	4.53	1.08	4.42	1.29	1.54	4.37	5.60	4.53	3.14—5.93

* 单位:Fe 为“%”,其他元素为“mg/kg”.

表 9-3-4 清江河流沉积物(63 μ m 部分)背景值特征统计表

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全 距
Cu	5	正态	43.13	6.33	42.75	1.16	18.62	41.91	49.61	43.12	34.95—51.29
Pb	5	正态	25	1.31	24.97	1.05	11.61	24.86	26.11	25	23.31—26.69
Zn	5	正态	80.06	10.17	79.56	1.13	33.97	77.11	89.29	80.06	66.94—93.19
Cd	5	正态	0.50	0.32	0.42	1.93	0.1	0.39	0.83	0.50	0.085—0.92
Hg	5	正态	0.12	0.049	0.11	1.54	0.032	0.11	0.16	0.12	0.051—0.18
As	5	正态	7.90	1.56	7.78	1.22	3.08	7.55	9.42	7.90	5.88—9.91
Co	5	正态	16.50	1.29	16.46	1.08	7.65	16.37	17.77	16.50	14.84—18.17
Ni	5	正态	37.72	5.81	37.35	1.17	15.30	38.27	43.29	37.72	30.22—45.20
Cr	5	正态	90.13	12.54	89.43	1.15	37.96	89.74	102.6	90.13	73.96—106.30
Mn	5	正态	672	47.64	670.61	1.07	300	670	715	672	610.54—733.46
Fe	5	正态	4.30	0.59	4.28	1.14	1.87	4.3	4.81	4.30	3.55—5.07

* 单位:Fe 为“%”,其他元素为“mg/kg”.

表 9-3-5 清江水系河水和过滤水稀有稀土元素背景值

样点位置		Rb	Cs	Sr	Ba	Sc	U	Th	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
宜 都	A	30.00	2.000	327.0	159.0	3.400	1.400	2.800	9.700	13.000	11.000	1.200	0.250	0.110	0.410	0.073
	B	0.86	0.015	325.0	33.0	0.007	0.350	0.009	0.037	0.055	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.005
长 阳	A	35.00	2.200	592.0	172.0	3.600	1.700	3.400	13.400	18.000	12.000	1.800	0.360	0.100	0.590	0.100
	B	0.67	0.014	474.0	22.0	0.006	0.420	0.007	0.037	0.050	0.250	0.000	0.009	0.000	0.000	0.005
漳 阳 口	A	23.00	1.340	583.0	117.0	2.300	1.300	2.200	7.100	10.000	8.700	0.850	0.180	0.100	0.350	0.053
	B	0.45	0.014	595.0	29.0	0.007	0.640	0.005	0.048	0.062	0.000	0.050	0.008	0.000	0.000	0.009
恩 施	A	9.30	0.740	518.0	55.0	1.150	1.100	0.990	3.300	5.300	5.800	0.430	0.120	0.082	0.160	0.032
	B	0.65	0.016	495.0	20.00	0.010	0.670	0.008	0.051	0.075	0.000	0.000	0.006	0.006	0.013	0.002
恩施黄泥村	A	4.10	0.330	209.0	22.0	0.470	0.450	0.380	1.400	2.100	0.860	0.210	0.050	0.023	0.064	0.012
	B	0.84	0.019	521.0	22.0	0.011	0.730	0.005	0.094	0.150	0.000	0.040	0.009	0.000	0.020	0.004
利 川	A	1.80	0.073	527.0	22.0	0.100	0.320	0.078	0.260	0.560	0.400	0.040	0.014	0.000	0.022	0.026
	B	0.74	0.015	639.0	24.0	0.004	0.380	0.003	0.052	0.034	0.000	0.020	0.008	0.000	0.000	0.007

清楚,是天然矿床的扩散晕还是人为污染所致尚需进一步调查研究。

3. 过滤水中的稀有稀土元素除分散元素 Sr 外,其背景值是很低的,而且整个江段没有明显的变化,如 Rb 从上游到下游其浓度为 $0.74-0.86\mu\text{g/L}$ 。

4. 除 Sr 和 Ba 外,其他元素主要以悬浮颗粒态存在,过滤水中所占的比例大多是很低的,一般低于 50%。

第十章 岷江水系水体中的化学元素

第一节 岷江水系的环境特征

一、水系组成

岷江流域位于四川省中西部,范围包括四川省甘孜、阿坝、凉山、成都、雅安、乐山、宜宾等6个地、市、州的42个县(市)及青海省东南部久治、班玛二县。流域总面积13.3万 km^2 。岷江水系主要由岷江正流水系和大渡河水系组成。

岷江是长江上游最大的支流,发源于四川省西北部岷山南麓的弓杠岭(东源)和郎架岭(西源)。干流全长745km,平均比降为4.83‰,流域面积4.53万 km^2 。

大渡河是岷江最主要的支流,其正源足木足河和西源杜柯河(绰斯甲河)均源于四川青海交界处刀阿尼玛卿山东南麓,东源梭磨河源于四川省红原县鹧鸪山北西部。三源交汇于可尔因河后称为大金川。向南流经丹巴,接纳小金川后始称大渡河,全长1070km、流域面积7.74万 km^2 ,平均比降3.2‰。青衣江是大渡河的重要支流,正源宝兴河发源于巴郎山、夹金山南麓,在雅安西北15km处飞仙关接纳天全河、恭经河后称青衣江,向南流经雅安、洪雅、夹江,在乐山附近草鞋渡汇入大渡河。全长276km,流域面积1.30万 km^2 。

二、气候特征

岷江流域从南到北跨纬度5度以上,热量条件从南向北递减。又由于自南向北地势急剧升高,使得流域内气候条件变化多端。全流域从南到北,跨越了中亚热带、北亚热带、暖温带、中温带、寒温带和亚寒带6个气候带。中下游盆地和盆地边缘带,为中亚热带和北亚热带地区,大渡河、岷江上游下段的川西山地区,基本上属暖温带,岷江、大渡河上游地区为中温带,岷江、大渡河上源地区地势高,海拔在3000m以上,为寒温带和亚寒带。岷江流域气温自北向南递增,日照时数及蒸发量则递减;降水量地域分布不均,总体上是中下游多于上游,其中以雅安为中心的中游为降雨中心而以茂县为中心的上游为干旱中心;全流域雨季均为5-9月;上游山地气候垂直变化显著,垂直分带明显,尤以大渡河中游的贡嘎山东坡最为典型。

三、地质环境

岷江上游地区,从茂县沙坝以上及杂谷脑河和鱼子溪流域的绝大部分地区,岩性较单一,主要为中、上三叠统的砂、板岩夹灰岩。松潘以上上源有石炭系和二叠系出露。火成岩主要分布于黑水河和杂谷脑河上游。大渡河流域上游地区中、上段与岷江正流流域上游岩性相同。岷江正流上游下段从茂县沙坝至都江堰出露地层以古生界为主,花岗岩所占比重较大。大渡河上游从丹巴至泸定有志留系、石炭—二叠系分布。岷江中游地区(成都平原)以第四系松散沉积物为主,其次为白垩系的砂砾岩和泥岩,第三系红色砂砾岩及中侏罗统的棕、紫红色泥岩与灰绿色砂岩。岷江下游地层主要为中、上侏罗统的紫红色泥、砂岩系,白垩系砂砾岩和泥岩仍有出露,第四系沿河谷地带断续分布。大渡河中、下游地层较复杂,除

少量出露中侏罗统、下三叠统外,震旦系及古生界寒武、奥陶二叠系地层广泛分布,泸定至石棉之间几乎均为元古代中、酸性火成岩。

四、地形地貌特征

岷江流域地域广阔、从西北向东南,跨越了高原、山地、平原、丘陵等几个大的地貌单元,总体地势西北高、东南低。流域内不同水系及流域上游、中游、下游各段自然条件差异十分显著。岷江流域上游地区及大渡河中上游地区是高山山区和高原地区,海拔高度多在3000m以上。穿过川西高山峡谷地带后,进入到海拔不足1000m的盆地地区,因此,中上游地区河床比降大、水流湍急、河床深切,河面较狭窄,而中下游地区河面较宽而水流较缓。

五、水文特征

岷江年径流总量为900亿 m^3 ,上游为143.2亿 m^3 ,多年平均流量紫坪铺站为452 m^3/s ,高场站为2850 m^3/s 。50%的水量来自大渡河,约20%来自青衣江,干流青神峡以上水量约占20%,其余10%来自青神峡至高场(河口)区间及马边河。产水丰度上游上段较低,约40—60万 m^3/km^2 ,上游下段汶川至都江堰江段最高,为88.4万 m^3/km^2 ,中、下游(含大渡河、青衣江)为68.6万 m^3/km^2 。径流年内分配7月最高,12月最低。岷江夏季水位特高,6—10月为汛期,7—9月洪水最多,一般12月至次年3月为枯水期。大渡河年径流总量为473亿 m^3 (不含青衣江),多年平均流量为1500 m^3/s (铜街子)。6—10月为汛期,径流量占全年总量的70%。青衣江年径流总量为150亿 m^3 ,多年平均流量477 m^3/s (董河站)。径流年内分配冬季占8%—10%,春季占15%—20%,夏季45%,秋季约占30%,6—10月为汛期,水量占全年的65%—70%。岷江水系径流主要来源于降水补给,地下水和融雪水补给比重不大。岷江正流地下水和融雪水补给比重不足20%;大渡河上游三源以地下水和融雪水补给为主,降水补给少,上游下段及中、下游以降水补给为主;青衣江流域中游为降雨中心,水源补给为降水为主。岷江流域侵蚀模数平均为391 t/km^2 ,年输沙量5210万 t (高场),平均含沙量为0.19 kg/m^3 ,悬移质泥沙量随水量变化而异,汛期泥沙量大而枯水期小。全流域中,青衣江含沙量最高、多年平均含沙量达1.7 kg/m^3 (千佛岩),侵蚀模数为755.5 t/km^2 ,是著名的水土流失区。

六、土壤与植被

岷江流域土壤分布也有明显的差异,岷江、大渡河上游为川西北高原,主要为褐土、棕壤、暗棕壤和山地草甸上,土壤有明显的垂直分带性。进入盆周山区,以黄壤和黄棕壤为主。下游上段成都平原主要土壤为灰潮土,下游中、下段则以紫色土区为主。植被分布与土壤相互关联,受水热条件等自然因素制约,同时受社会经济和人为活动影响。总的来看,中下游地区自然植被保存较差,以栽培植物为主,上游地区自然植被覆盖较好。上游上段,自然植被垂直分带较为明显,从海拔1300—5000m,依次分布着干旱河谷灌丛、常绿与阔叶混交林、亚高山常绿针叶林、亚高山落叶针叶林、亚高山灌丛草甸、高山灌丛草甸等。

第二节 岷江水系水的理化特征

岷江水系河水的理化特征列于表10-2-1,其基本特征如下。

1. 岷江水系各环境单元河水化学类型皆为 C^{a} 水。这是由于本水系河水为混合起源

的水体,其离子组成既与水与沉积岩相互作用有关,也与火成岩与河水的相互作用有关。

2. 岷江水系河水矿化度(离子总量)皆很低,其中大渡河为 184.38mg/L,岷江正流为 190.63mg/L,全水系均值为 186.67mg/L,属低矿化度水。矿化度上、下游之间变化幅度以变异系数衡量,岷江水系河水矿化度变异系数为 19%(表 10-2-1)。

3. 本水系河水硬度皆小于 6.4 度(德),硬度变异系数为 17%,各环境单元皆属软水。

4. 本水系河水 pH 值均值为 8.3,且变异系数很小,各环境单元皆小于 2.5%,属略偏碱性水。河水的这一特性,对本水系过滤金属和金属元素的化学行为有重要影响,亦对这些元素的背景值含量水平产生重要影响。

5. 本水系河水中溶解氧(DO)均值在 10mg/L 以上,属于典型的富氧水体。

6. 本水系河水水温全距 6.2—18.0℃。河水水温受地形条件影响,基本上是从上游至下游,海拔高处向海拔低处,水温递增。

7. 河水电导率变化于 0.2—0.5Ω/cm。

8. Cl⁻ 在岷江正流与大渡河之间有显著分异。

从总体来看,本水系河水溶氧充足,矿化度低,水质软,微碱性,属 C₃型优良的水资源。各环境单元之间,除 Cl⁻ 外,基本上没有明显的分异。本水系河水理化指标可视为背景水平。

第三节 岷江水系水体元素含量与背景值

岷江是长江上游北岸最大支流,根据水系的组成特点,可将其划为两个二级环境单元:大渡河和岷江正流。前者包括大渡河(大金川)干流及其主要支流青衣江、梭磨河、绰斯甲河、小金川、燕子沟等;岷江水系除此以外的部份,包括岷江干流及主要支流热务河、黑水河、杂谷脑河、鱼子溪、马边河等,称之为“岷江正流”以与岷江水系相区别。

一、河水元素的背景值

岷江河水及以溶解态存在的过滤水中的元素,其分布类型以对数正态分布为主。部分为偏态和正态分布,表 10-3-1 和 10-3-2 表明岷江水系中多数元素区域分异明显,含量分布的不均匀性。反映了岷江水系河段岩性的区域分异特征。

与世界河流元素天然含量平均水平及洞庭湖、松花江、北江等水系比较表明,岷江水系河水元素背景值水平,Cu、Pb、Cd、Mo 趋向偏低,Sr、Ba 和 U 趋向偏高,但所有元素基本处于一般背景值水平(表 10-3-3 和 10-3-4),以溶解态存在的这些元素的背景值的水平与河水元素总量的变化趋势相似。

岷江支流大渡河,是长江的二级支流,它比岷江干流还长,故表 10-3-5 列出了大渡河水与其溶解态元素的背景值。除大渡河水 Cs 和 Mo 明显高于岷江干流,Fe 明显低外,其他元素区域河系分异均不显著。溶解态元素背景值 Cs 两水系分异不明显,而 Mo 成为分异最明显的元素,其次为 Pb、Zn、Cd、Sc、Sb 和 Th。由于岷江流域气候条件和地质环境,岩性的区域变化较大,使河水中无论是悬浮态和溶解态元素的区域河段分异比较大,造成含量分布的不均匀性。

表 10-3-1 岷江水系原水中元素背景值特征统计表

表 10-3-1 岷江水系原水中元素背景量值特征统计表											
元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	38	对数正态	0.66	0.472	0.53	1.918	0.26	0.48	1.29	0.53	0.23—1.23
Pb	38	偏态	0.67	0.417	0.56	1.892	0.19	0.62	1.02	0.62	0.19—1.02
Zn	38	对数正态	3.00	1.503	2.72	1.555	1.64	2.68	4.51	2.72	1.53—4.80
Cd	38	对数正态	0.018	0.009	0.016	1.581	0.009	0.017	0.028	0.016	0.009—0.029
Hg	38	对数正态	0.027	0.008	0.026	1.349	0.017	0.025	0.040	0.026	0.017—0.038
Cr	38	对数正态	0.98	0.913	0.70	2.351	0.27	0.70	1.89	0.70	0.23—2.10
As	38	偏态	0.897	0.281	0.846	1.445	0.452	0.984	1.200	0.984	0.452—1.200
Ni	37	对数正态	0.77	0.496	0.65	1.786	0.32	0.60	1.31	0.65	0.30—1.38
Co	38	对数正态	0.38	0.261	0.31	1.879	0.14	0.32	0.74	0.31	0.14—0.71
Se	38	对数正态	0.193	0.130	0.157	1.974	0.065	0.161	0.348	0.157	0.065—0.378
Mo	38	偏态	0.46	0.539	0.29	2.603	0.09	0.26	0.98	0.26	0.09—0.98
V	38	对数正态	0.52	0.405	0.39	2.214	0.13	0.39	1.10	0.39	0.14—1.09
Fe	38	对数正态	228.03	246.64	152.52	2.413	48.0	147.5	503.0	152.52	48.95—475.23
Mn	38	偏态	22.12	12.215	18.63	1.891	7.43	19.38	39.56	19.38	7.43—39.56
F	38	偏态	0.19	0.034	0.17	1.197	0.14	0.16	0.23	0.16	0.14—0.23

表 10-3-2 岷江水系过滤水中元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	38	对数正态	0.34	0.246	0.29	1.771	0.13	0.27	0.55	0.29	0.14—0.60
Pb	38	偏态	0.45	0.262	0.37	1.981	0.12	0.46	0.73	0.46	0.12—0.73
Zn	38	对数正态	1.87	1.222	1.60	1.717	0.77	1.61	3.17	1.60	0.80—3.22
Cd	38	偏态	0.013	0.006	0.012	1.510	0.007	0.012	0.020	0.012	0.007—0.020
Hg	38	对数正态	0.018	0.004	0.018	1.223	0.013	0.018	0.022	0.018	0.014—0.023
Cr	38	对数正态	0.60	0.459	0.46	2.154	0.18	0.48	1.24	0.46	0.17—1.23
As	38	偏态	0.732	0.296	0.660	1.636	0.278	0.769	1.102	0.769	0.278—1.102
Ni	38	对数正态	0.46	0.325	0.38	1.949	0.15	0.40	0.74	0.38	0.16—0.89
Co	38	对数正态	0.23	0.152	0.20	1.823	0.09	0.19	0.40	0.20	0.09—0.42
Se	38	正态	0.138	0.080	0.111	2.174	0.048	0.124	0.227	0.138	0.036—0.242
Mo	38	偏态	0.31	0.414	0.18	2.653	0.09	0.11	0.80	0.11	0.09—0.80
V	38	对数正态	0.31	0.299	0.21	2.321	0.09	0.18	0.58	0.21	0.07—0.64
Fe	38	偏态	9.20	15.75	4.15	3.129	1.24	3.28	20.00	3.28	1.24—20.00
Mn	38	对数正态	4.13	3.17	2.97	2.404	1.00	3.09	8.81	2.97	0.96—9.21
F	37	偏态	0.17	0.034	0.17	1.201	0.11	0.16	0.21	0.16	0.11—0.21

表 10-3-3 岷江水系河水中稀有稀土元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
La	16	对数正态	0.23	0.110	0.20	1.611	0.09	0.20	0.35	0.20	0.11—0.38
Ce	16	正态	0.40	0.182	0.35	1.690	0.138	0.405	0.572	0.40	0.16—0.63
Nd	16	正态	0.24	0.112	0.22	1.662	0.10	0.20	0.43	0.24	0.09—0.39
Sm	16	对数正态	0.054	0.028	0.048	1.602	0.026	0.040	0.080	0.048	0.026—0.088
Eu	16	正态	0.010	0.004	0.009	1.496	0.005	0.010	0.015	0.010	0.005—0.015
Tb	16	对数正态	0.006	0.003	0.006	1.537	0.003	0.006	0.010	0.006	0.003—0.010
Yb	16	对数正态	0.016	0.008	0.014	1.738	0.006	0.015	0.028	0.014	0.007—0.029
Lu	16	正态	0.005	0.002	0.005	1.478	0.002	0.005	0.007	0.005	0.003—0.007
Th	16	对数正态	0.042	0.034	0.030	2.441	0.008	0.028	0.096	0.030	0.009—0.096
U	16	对数正态	0.83	0.488	0.72	1.745	0.286	0.730	1.140	0.72	0.32—1.48
Rb	16	对数正态	2.61	3.076	1.75	2.409	0.52	2.27	3.38	1.75	0.56—5.45
Cs	16	对数正态	0.202	0.215	0.126	2.802	0.026	0.121	0.382	0.126	0.033—0.478
Sr	16	对数正态	286	115.87	268	1.441	150	265	366	268	167—430
Ba	16	对数正态	31.5	15.79	28.2	1.617	15.0	26.0	56.2	28.2	15.2—52.4
Sb	16	对数正态	0.179	0.128	0.148	1.848	0.069	0.130	0.360	0.148	0.067—0.326
Sc	16	对数正态	0.045	0.046	0.030	2.469	0.009	0.027	0.083	0.030	0.009—0.097

表 10-3-4 崧江水系过滤水中稀有稀土元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设			百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围	
La	16	正态	0.041	0.020	0.036	1.736	0.013	0.040	0.058	0.041	0.015---0.066	
Ce	16	偏态	0.065	0.040	0.052	2.126	0.012	0.060	0.104	0.060	0.012---0.104	
Nd	16	正态	0.041	0.023	0.033	2.116	0.008	0.040	0.074	0.041	0.010- 0.071	
Sm	16	偏态	0.010	0.005	0.008	1.771	0.003	0.010	0.014	0.010	0.003---0.014	
Eu	16	对数正态	0.003	0.002	0.003	1.622	0.002	0.003	0.005	0.003	0.002---0.006	
Tb	16	偏态	0.003	0.001	0.002	1.560	0.001	0.002	0.004	0.002	0.001---0.004	
Yb	16	对数正态	0.006	0.003	0.005	1.683	0.003	0.005	0.010	0.005	0.003- 0.010	
Lu	16	对数正态	0.002	0.001	0.002	1.745	0.001	0.002	0.004	0.002	0.001 0.004	
Th	16	偏态	0.006	0.005	0.005	1.787	0.003	0.004	0.010	0.004	0.003---0.010	
U	16	对数正态	0.81	0.498	0.69	1.794	0.26	0.68	1.14	0.69	0.32---1.46	
Rb	16	对数正态	2.07	2.126	1.44	2.432	0.36	1.93	2.74	1.44	0.46- 4.52	
Cs	16	对数正态	0.119	0.119	0.072	3.114	0.012	0.086	0.264	0.072	0.016---0.311	
Sr	16	对数正态	284	116.6	266	1.444	150	265	366	266	165---428	
Ba	16	对数正态	29.2	15.58	25.7	1.684	12.6	24.0	50.0	25.7	13.1---50.3	
Sb	16	偏态	0.229	0.331	0.134	2.569	0.056	0.095	0.440	0.095	0.056---0.440	
Sc	15	偏态	0.006	0.004	0.005	1.749	0.003	0.004	0.010	0.004	0.003---0.010	

μg/L

表 10-3-5 大渡河水系河水元素背景值特征统计表

表 10-3-5 大凌河水系河水元素背景值特征统计表															
元 素	原 水						过 滤 水						溶解态 占总量 (%)		
	样 品 数	全 距	背 景 值			分布 类型	背景值范围 (80%置信区间)	样 品 数	全 距	背 景 值				分布 类型	背景值范围 (80%置信区间)
			X	S	C _v (%)					$\bar{X}$	S	C _v (%)			
Cu	19	0.22-2.02	0.65	1.895	71.03	LN	0.28-1.48	19	0.12-0.69	0.29	1.515	43.41	LN	0.17-0.51	47.3
Pb	19	0.20-1.16	0.70	1.738	59.80	LN	0.34-1.42	19	0.13-1.23	0.56	0.281	50.22	N	0.19-0.92	63.5
Zn	19	1.47-5.68	2.57	1.488	41.39	LN	1.54-4.29	19	0.53-3.38	1.25	1.552	46.19	LN	0.71-2.20	47.3
Cd	19	0.007-0.004	0.014	1.553	46.23	LN	0.008-0.024	19	0.006-0.024	0.009	0.002	26.57	P	0.006-0.012	54.5
Hg	19	0.0167-0.010	0.026	1.295	26.31	LN	0.018-0.036	19	0.0135-0.0254	0.019	1.202	18.60	LN	0.015-0.024	71.9
Cr	19	0.08-4.24	0.79	2.463	111.99	LN	0.25-2.53	19	0.08-1.80	0.49	2.182	91.53	LN	0.18-1.36	49.6
As	19	0.443-1.340	0.888	0.292	32.91	N	0.511-1.265	19	0.217-1.140	0.666	0.311	46.72	N	0.265-1.068	72.9
Ni	18	0.25-2.54	0.75	1.763	61.60	LN	0.36-1.56	19	0.09-0.92	0.46	0.208	45.26	N	0.19-0.73	39.5
Co	19	0.10-0.80	0.29	1.735	59.54	LN	0.14-0.59	19	0.05-0.44	0.17	1.793	63.74	LN	0.08-0.36	54.4
Se	19	0.023-0.371	0.136	2.119	87.02	LN	0.051-0.359	19	0.006-0.316	0.123	0.007	71.08	N	0.010-0.235	69.9
Mo	18	0.087-0.63	0.20	0.169	86.27	P	0.000-0.369	18	0.022-0.413	0.11	0.094	86.04	P	0.07-0.22	78.2
V	19	0.116-1.68	0.36	2.202	92.97	LN	0.1-0.99	19	0.047-0.992	0.15	0.272	177.73	P	0.08-0.57	42.0
Fe	19	25-1160	198.55	2.975	151.09	LN	48.65-810.37	19	1.24-70	3.74	21.10	564.12	P	1.24-24.06	172
Mn	19	3.24-52.19	17.60	2.127	87.62	LN	6.65-46.60	19	0.36-8.74	2.45	2.291	99.14	LN	0.84-7.13	15.1
F	18	0.14-0.23	0.16	0.027	16.67	P	0.14-0.19	18	0.14-0.18	0.16	0.013	7.87	P	0.14-0.18	95.8

第四节 岷江水系水库水元素的含量

本水系基本没有天然湖泊,较大的人工水库仅有黑龙滩水库1个。为了解水库水体元素背景值与河水的差异,于1987年在黑龙滩水库布设了两个断面,采集表层(30—50厘米水深)水样,分析了原水和过滤水中15种重金属元素背景值及原水中常规离子含量(表10-4-1)。兹将结果与河水比较如下。

表10-4-2列出了黑龙滩水库水体中金属元素背景值与岷江—沱江水系河水的元素含量。由表中可看出,Cu、Cr、As、Ni、Se、V、F和Hg8种元素在原水和过滤水中的背景值均是水库高于河流,其中以V差别最大,过滤水中水库比河流高1.5倍,原水高77%;其次是Se,原水中水库比河流高1.2倍;过滤水中高42%;差别最小的是Hg,过滤水中水库比河流高22%,原水仅高8%,可认为基本接近;其余5种元素在水库水中背景值比河水高的幅度分别是,Cu:原水19%,过滤水79%;Cr:原水16%,过滤水48%;As:原水12%,过滤水43%;F:原水25%,过滤水20%;Ni:原水23%,过滤水16%。

Zn、Cd、Fe、Mn、Mo五种元素均为水库水(原水和过滤水)低于河水。其中以Fe、Mn为最,Mn在过滤水中水库比河水低6.1倍,原水中低1.4倍;Fe在原水中低5.6倍,过滤水中低20%;差别最小的是Zn,原水中水库比河流低23%,过滤水中低39%;Mo在过滤水中水库比河流低57%,但原水仅低8%,几乎接近;Cd在原水中水库比河流低78%,过滤水中低33%。

Pb和Co情况较为特殊。Pb在原水中是水库稍高于河流(26%),而在过滤水中则是水库低于河水(48%);Co则相反,在原水中是水库低于河水(35%),而过滤水中则是水库稍高于河水(15%)。

水库水和河水水化学类型相同,均为 HCO_3^- —Ca型水。从8大离子含量来看,Na、 HCO_3^- 以及pH水库与河水很接近, CO_3^{2-} 均未检出; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为水库稍低于河水(10%)。

因此,本水系的情况与洞庭湖水系有某些相似之处。

造成水库和河流水体元素背景值差别的原因主要是水文特征和地球化学环境的差异。本水系河流河床纵比降大,水流急,暴氧复氧能力强,属于氧化条件,多数元素在河水中迁移能力大于沉淀能力,同时河水在流动过程中迅速与不同类型的岩石和土壤等接触,各种元素有较多的补给源。而水库基本是静水,水交换极慢,暴氧复氧能力较弱,其氧化条件比河流弱得多(SO_4^{2-} 较高就是证明),元素有可能充分沉淀,而不致受到象河流那样剧烈的搅动。在氧化—还原条件等改变后,许多元素的地球化学行为会发生改变,这是造成上述差别的另一重要原因。

表 10-4-1 水库水与河水中常规离子含量比较(1987)

mg/L

离子 水类	pH	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	离子总量
水 库	8.1	1.8	4.1	28.3	7.3	19.3	2.4	127.1	0	190.3
岷 江	8.3	0.8	3.6	30.5	8.0	13.3	0.6	120.5	0	177.3
岷—沱江	8.2	0.88	4.1	31.7	7.7	15.0	1.0	124.7	0	184.2

表 10-4-2 水库水与河水中重金属元素背景值比较

μg/L

元 素	原 水			过 滤 水		
	岷—沱江	岷 江	水 库	岷—沱江	岷 江	水 库
Cu	0.47	0.53	0.56	0.28	0.29	0.50
Pb	0.62	0.62	0.78	0.46	0.46	0.31
Zn	2.60	2.72	2.21	1.65	1.60	1.19
Cd	0.016	0.016	0.009	0.012	0.012	0.009
Hg	0.025	0.026	0.027	0.018	0.018	0.022
Cr	0.75	0.70	0.81	0.50	0.46	0.68
As	0.98	0.984	1.10	0.714	0.769	1.02
Ni	0.74	0.65	0.80	0.40	0.38	0.44
Co	0.31	0.31	0.23	0.20	0.20	0.23
Se	0.181	0.157	0.345	0.149	0.138	0.196
Mo	0.26	0.26	0.24	0.11	0.11	0.07
V	0.49	0.39	0.69	0.26	0.21	0.53
Fe	127.64	152.52	23	3.12	3.28	2.73
Mn	16.64	19.38	8	2.41	2.97	0.42
F ⁺	0.17	0.16	0.20	0	0.16	0.19

* :F 的单位为 mg/L。

第十一章 沱江水系水体中的化学元素

第一节 流域的环境特征

沱江流域的环境特征如下:

一、水系组成

沱江是长江在四川省境内一条重要的一级支流,沱江发源于四川盆地西缘的九顶山南麓。其源头有三:绵远河、石亭江和湔江。其中以绵远河为正流。通过清白江毗河接纳一部分岷江来水,流至金堂赵家渡后称沱江。尔后向南东流经简阳、资阳、资中、内江、富顺,由泸州注入长江。沱江全长 629km、落差 2354m,平均比降为 3.35%。沿途接纳较大支流 15 条,主要有左岸的赖溪河、大清流、阳化河及右岸的威远河、球溪河等,整个水系呈树枝状。水源补给以降水为主。沱江流域地处四川省中部心腹地,地跨德阳、成都、内江、自贡、重庆、泸州 6 地市 35 县(市),流域总面积 27860km²。

二、气候特征

沱江流域上源地处北亚热带,年均气温 13—17℃,≥10℃活动积温在 4500—5100℃之间,雨量为 1000—1200mm/a,雨季 5—9 月集中全年降水 80%以上,尤以 7—8 月为多。沱江流域绝大部分属中亚热带,年均气温 14—18℃,≥10℃活动积温为 5100—5900℃,多年平均降水 857—1200mm,雨季在 6—9 月较集中。

三、河流水文特征

沱江年径流总量为 135.5 亿 m³,多年平均流量为 429m³/s(李家湾站)。径流补给主要靠大气降水。水量丰度以上游为高(118.7 万 m³/km²),中游最低(25.1—32.2 万 m³/km²),下游水量丰度居中(30.6—48.6 万 m³/km²)。5—10 月份中上游暴雨频繁发生,季节径流量占全年的 77%—82%,主汛期 7—9 月径流量占全年的 58%—64%。年内洪枯流量变化较大,一般相差 200 倍以上。径流年际变化上游较稳定而中下游较大,年际径流比从上到下在 2.4—4.0 之间。由于地质结构较松散、植被覆盖差以及人为活动影响,沱江含沙量较高,干流多年平均含沙量变化在 0.68—1.08kg/m³,李家湾站多年平均输沙量 4.11kg/m³(1951—1981)。相当于年输沙量 1300 万吨。悬移质泥沙量随水量变化而变,汛期 6—9 月输沙量占全年的 90%以上,枯水期(12—5 月)仅占全年 1.0%以下。输沙率集中程度高,一日最大输沙率超过平均值 300 倍以上。侵蚀模数为 545—985t/km²,从上游至下游递减。

四、地貌地貌特征

沱江发育于盆地边缘的中、低山地,流经成都平原和盆地中部丘陵地带。沱江流域除上源地带有少量古生代地层和火成岩分布外,几乎均为中、新生代地层。尤以侏罗系紫色岩系占绝对优势。沱江流域矿产资源主要有上游绵竹、什邡等磷矿(储量 5000 万 t 以上),彭县的蛇纹石、铜矿,以及绵竹、安县、威远、富顺、隆昌等地的煤矿。自贡、安岳、乐至、资

中、威远等地的盐矿和威远、隆昌、泸州的天然气。

五、土壤与植被

沱江流域中下游自然植被较简单,主要有马尾松林、柏木林、竹林。栽培作物主要是水稻、玉米、甘蔗、棉花、豆类,一般一年二熟,经济作物和经济林木繁多。上游上源地区还保留有一定量中、低山地亚热带植被。从整个流域范围看,自然植被覆盖很低。沱江流域上游处于四川盆地西缘山地,以黄壤和黄棕壤为主,中下游为紫色土,其中资阳以上为黄红紫泥土、红紫泥土和棕紫泥土,资阳以下主要为灰紫泥和暗紫泥土。

第二节 沱江水系水体的理化特征

沱江水系河水的理化特征列于表 11-2-1,其基本特征如下。

1. 沱江水化学类型基本为 $C\alpha$ 型水。
2. 沱江河水矿化度均值为 251.18mg/L,属低矿化度水。沱江上游河水矿化度低于 100mg/L,下游干流高于 300mg/L,上游与下游之间有显著性差异。
3. 沱江河水硬度变幅较大,全距为 2.3—9.87 度(德)。上游水质极软(2.3—3.6 度(德)),中下游硬度升高,简阳至内江段河水硬度大于 9.5 度(德),局部变为微硬水。
4. 沱江水系河水 pH 值均值为 7.8,从上游至中、下游,pH 值逐步略呈下降趋势,总体上仍属中性偏弱碱性水。
5. 沱江水系溶解氧(DO)从上游到下游随着沿岸工业呈递减趋势。上游河水中溶解氧皆在 10mg/L 以上,而中下游降到 8.5mg/L 以下,最低点 6.4mg/L(釜溪河)。由 DO 衡量,沱江中下游水体已受到一定程度污染。
6. 本水系理化指标从上游到下游的分异明显,以三源头(绵远河、石亭江、濞江)汇合处为界,上游 pH 值、DO 明显高于下游,而离子总量及 7 种阴、阳离子含量和硬度皆是下游显著高于上游。这是由于下游流域开发程度很高,工、农业特别是盐化工等工业较发达,人为活动影响较为剧烈。显然,沱江下游河水理化指标不能代表背景状况,上游三源头理化指标仍属背景水平。

表 11-2-1 沱江水系河水理化特征(1987. 11)

项 目	全 距	均值	标准差	变异系数(%)
水温(℃)	10.8—16.5	12.7	1.13	8.9
pH	7.6—8.1	7.8	0.22	2.8
硬度(德国度)	2.3—9.87	6.89	2.71	39.4
电导(欧姆/cm)	0.1—0.6	0.22	0.42	188.2
DO(mg/L)	6.4—10.9	8.5	1.19	17.3
K ⁺ (mg/L)	0.14—5.06	2.46	1.6	65.1
Na ⁺ (mg/L)	2.08—12.3	7.4	3.6	47.9
Ca ²⁺ (mg/L)	8.82—49.7	33.3	13.2	39.1
Mg ²⁺ (mg/L)	3.89—17.8	9.71	4.94	50.9

续表

项 目	全 距	均值	标准差	变异系数(%)
HCO ₃ ⁻ (mg/L)	58—216.7	141.8	64	45.1
SO ₄ ²⁻ (mg/L)	11.41—53.95	32.6	14.7	45
Cl ⁻ (mg/L)	1.5—26.5	13.2	9.4	71.4
CO ₃ ²⁻ (mg/L)	—	—	—	—
F ⁻ (mg/L)	0.22—0.52	0.32	0.11	31.5
离子总量(mg/L)	88.2—353.2	251.2	98.0	39.0
水化学类型	C ₁			

第三节 沱江水系水体元素含量与背景值

沱江流域是地处四川中部心腹地带的长江一级支流,全长 629km,流域面积 27860km²。气候属亚热带,>10℃积温在 4500—5900℃,降水丰富,为 860mm—1200mm/a,沱江年总径流量 135.5 亿 m³,洪粘流量变化甚大,由于地质结构较松散,沱江含沙量较高,年均含沙量在 0.68—1.08kg/m³,年输沙量 1300 万 t,侵蚀模数为 545—985t/km²。沱江江水矿化度均值 251.2mg/L,上游 100mg/L,下游 300mg/L,为 C₁水,pH 均值 7.8,略偏碱性。水体元素含量和背景值如下:

一、河水元素背景值

沱江河水元素的背景值除 Ni、Se 和 F 显著高于全长江水系河水这些元素背景值外,其他元素多明显低于全长江水系元素背景值,特别是 Cu、Zn、Mo、Fe 和 Mn,从总体上看,河水中的微量元素趋向低背景值水平(表 11-3-1),以溶解态存在的元素(表 11-3-2),与河水元素的总量变化除 Cu 外,处于明显高背景值的元素(Se、F、Ni)和处于明显低背景值的元素(Mo、Fe、Mn)变化是一致的,表明河水元素的浓度在很大程度上决定于溶解态元素的天然含量,在河水中趋向以溶解态为主要存在形态的元素,背景值趋向高水平,主要以悬浮颗粒态存在的元素,在沱江河水中多处于低背景值水平,稀有稀土和放射性元素也有这种现象(表 11-3-3)。

二、沉积物元素背景值

沱江水系微量元素的背景值与长江全水系比较,除 Pb 略高,Co 持平外,其他元素都处于相对低背景水平,其中 Cd、Cr、Fe 仅为长江水系沉积物这个元素背景值的 60%,因此从总体上看沱江沉积物元素处于低背景值水平(表 11-3-4)。稀有稀土和放射性元素多数也具有偏低趋势,但不甚显著(表 11-3-5),而 Sr 和 Ba 却有明显偏高的现象,Sr 较长江水系沉积物背景值高近 1 倍,Sr 和 Ba 在水中主要呈溶质迁移,不易从水相转入沉积相,沱江沉积物中 Sr 和 Ba 高,可能是进入河流水体的悬浮颗粒物,富含 Sr 和 Ba 的矿物沉降入沉积物的结果。

表 11-3-1 沱江水系河水元素背景值特征统计表 μg/L

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	11	对数正态	1.21	1.189	0.73	2.972	0.17	0.43	2.61	0.73	0.18—2.90
Pb	11	对数正态	0.74	0.317	0.69	1.515	0.33	0.62	1.19	0.69	0.40—1.18
Zn	11	对数正态	2.37	0.925	2.23	1.434	1.16	2.38	2.74	2.23	1.40—3.55
Cd	11	正态	0.017	0.006	0.016	1.565	0.006	0.019	0.022	0.017	0.009—0.025
Hg	11	正态	0.022	0.006	0.021	1.361	0.012	0.023	0.027	0.022	0.014—0.030
Cr	11	正态	1.08	0.487	0.98	1.634	0.46	1.08	1.77	1.08	0.46—1.72
As	11	正态	0.910	0.332	0.850	1.487	0.461	0.966	1.265	0.910	0.482—1.338
Ni	11	对数正态	1.27	0.629	1.14	1.664	0.50	1.22	1.78	1.14	0.59—2.19
Co	11	正态	0.33	0.118	0.31	1.609	0.10	0.33	0.45	0.33	0.18—0.49
Se	11	正态	0.340	0.160	0.296	1.840	0.084	0.355	0.517	0.340	0.134—0.546
Mo	11	对数正态	0.85	1.283	0.26	5.479	0.04	0.26	2.71	0.26	0.03—2.38
V	11	正态	1.39	0.914	1.07	2.265	0.30	1.10	2.64	1.39	0.21—2.57
Fe	11	偏态	85.0	49.59	69.02	2.195	12.0	80.0	104.5	80.0	12.0—104.5
Mn	11	对数正态	4.39	5.009	2.32	4.218	0.15	3.01	6.98	2.32	0.36—14.87
F(mg/L)	10	对数正态	0.34	0.106	0.32	1.360	0.22	0.30	0.47	0.32	0.2—0.48

表 11-3-2 沱江水系过滤水元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	11	对数正态	1.06	1.124	0.57	3.433	0.09	0.43	2.56	0.57	0.12—2.80
Pb	11	对数正态	0.49	0.164	0.47	1.387	0.31	0.46	0.75	0.47	0.30—0.71
Zn	11	正态	1.97	0.740	1.83	1.515	0.79	2.02	2.55	1.97	1.01—2.93
Cd	11	对数正态	0.010	0.005	0.009	1.585	0.006	0.009	0.016	0.009	0.005 0.017
Hg	11	正态	0.018	0.004	0.017	1.277	0.012	0.018	0.023	0.018	0.013—0.023
Cr	11	对数正态	0.75	0.367	0.67	1.650	0.36	0.72	1.07	0.67	0.35—1.29
As	11	正态	0.655	0.329	0.573	1.759	0.226	0.634	0.992	0.655	0.230 1.080
Ni	11	正态	0.62	0.409	0.49	2.248	0.10	0.48	1.06	0.62	0.09—1.15
Co	11	正态	0.22	0.092	0.20	1.628	0.08	0.22	0.29	0.22	0.10—0.34
Se	11	正态	0.187	0.064	0.175	1.504	0.076	0.213	0.242	0.187	0.105—0.270
Mo	11	偏态	0.51	0.732	0.18	4.372	0.04	0.13	0.90	0.13	0.04—0.90
V	11	正态	0.99	0.887	0.51	4.576	0.03	0.83	2.33	0.99	0.16—2.13
Fe	11	对数正态	6.76	11.64	2.96	3.437	0.62	2.80	13.16	2.96	0.60—14.54
Mn	11	对数正态	0.97	1.301	0.40	4.084	0.07	0.27	2.76	0.40	0.07—2.47
F [*]	10	对数正态	0.32	0.103	0.30	1.347	0.22	0.28	0.47	0.30	0.21 0.45

*: 单位为%。

表 11-3-3 沱江河水中稀有稀土元素背景值特征统计表

μg/L

元素	原			水(总量)		过 滤 水(溶解态)					溶/总 (%)
	全	距	$\bar{X}$	S	$C_v(\%)$	全	距	$\bar{X}$	S	$C_v(\%)$	
La	0.05	0.07	0.05	0.009	17	0.02	0.04	0.03	0.01	39	52
Ce	0.10	0.14	0.11	0.02	17	0.04	0.09	0.06	0.025	43	54
Nd	0.05—0.07		0.06	0.008	14	0.02—0.04		0.03	0.011	39	48
Sm	0.01—0.02		0.016	0.005	34	0.005—0.01		0.008	0.002	27	53
Eu	0.003—0.004		0.004	0.0005	15	0.001—0.004		0.003	0.001	44	72
Tb	0.002—0.005		0.003	0.001	41	0.001—0.003		0.002	0.0008	38	69
Yb	0.002—0.080		0.019	0.034	182	0.002—0.005		0.003	0.001	41	20
Lu	0.001—0.004		0.002	0.0012	61	0.001—0.003		0.002	0.0008	47	90
Rb	0.44—2.26		1.23	0.78	63	0.44—2.26		1.21	0.75	62	98
Cs	0.015—0.020		0.017	0.0018	10	0.006—0.017		0.012	0.005	38	70
Sr	70—500		244	204	84	70—500		236	199	84	97
Ba	19—99		53	38	72	19—97		50	35	70	94
Sb	0.05—1.61		0.38	0.69	181	0.05—1.60		0.37	0.69	182	99
Sc	0.004—0.017		0.011	0.005	54	0.002—0.009		0.004	0.001	39	38
Th	0.004—0.014		0.008	0.004	54	0.002—0.004		0.003	0.0008	26	42
U	0.30—1.10		0.76	0.32	43	0.30—1.10		0.73	0.32	44	96

表 11-3-4 沱江水系沉积物元素背景值特征统计表

mg/kg

元 素	样品数	全 距	背 景 值			
			$\bar{X}$	S	Cv(%)	范围(80%置信区间)
Cu	5	14.0—25.0	18.2	4.2	23.3	12.8—23.6
Pb	5	9.5—52.2	26.1	20.1	76.9	0.2—52.0
Zn	5	49.0—84.0	66.5	13.7	20.6	48.8—84.2
Cd	5	0.038—0.093	0.067	0.023	35.0	0.037—0.097
Hg	5	0.006—0.081	0.035	0.030	99.8	0.006—0.074
Cr	5	21.0—41.5	31.5	8.3	26.2	20.8—42.2
Ni	5	17.5—31.0	23.4	4.9	21.0	17.1—29.7
Co	5	7.0—18.5	12.2	4.6	37.5	6.3—18.1
As	5	1.01—7.21	4.5	2.6	56.8	1.15—7.85
Fe	5	1.00—3.10	2.24	0.86	38.2	1.13—3.35
Mn	5	261.5—530.5	390.8	104.7	26.8	255.7—525.9

* :单位为%。

表 11-3-5 沱江水系沉积物稀有稀土元素背景值特征统计表

mg/kg

元 素	全 距	背 景 值			
		$\bar{X}$	S	Cv(%)	范围(80%置信区间)
Rb	26—89	59	31.7	53.4	18.1—99.9
Cs	2.3—6.0	3.8	1.9	51.7	1.3—6.3
Sr	460—770	580	166	28.7	366—794
Ba	390—660	517	136	26.3	342—692
Sb	0.2—2.5	1.0	1.3	123.7	0.1—2.7
Sc	3.6—18.0	10.5	7.2	68.7	1.2—19.8
U	1.7—5.5	3.3	1.9	59.2	0.8—5.8
Th	3—10	7	3.6	51.5	2.4—11.6
La	22—36	30	7.4	24.3	20—40
Ce	25—55	47	19.7	41.5	22—72
Nd	12—25	23	9.7	42.8	10—36
Sm	3.0—5.4	43	1.2	28.2	2.8—5.8
Eu	0.8—1.5	1.1	0.4	32.8	0.6—1.6
Tb	0.65—1.10	0.81	0.25	31.4	0.49—1.13
Yb	1.9—2.1	2.0	0.12	5.7	1.8—2.1
Lu	0.30—0.43	0.37	0.07	17.7	0.28—0.46

第十二章 嘉陵江水系水体中的化学元素

第一节 嘉陵江水系的环境特征

一、水系组成

嘉陵江是长江的一大支流,它发源于秦岭南坡的凉水沟源,于重庆朝天门汇入长江,长 1119km。流域面积 159710km²,是长江水系支流之首。嘉陵江水系发育,呈树枝状,基本上由三大干流组合而成,从西而东有涪江、嘉陵江和渠江。

1. 涪江 涪江是嘉陵江西侧的大支流,它发源于岷山山脉主峰雪宝顶(海拔 5888m)北坡的三岔子,流经龙门,于江油县武都镇出山后,流经四川盆地丘陵区,在合川县汇入嘉陵江,河长 700km。

2. 嘉陵江 嘉陵江是全水系中干流,习惯上把广元昭化镇以下称为中下游,流域狭窄,支流较短少,河长 100km 以上的支流有东河和西河。在昭化镇以上,嘉陵江分东西两支,东支为嘉陵江正源,河长 350km,发育不对称水系,右岸(西侧)支流多而长,左岸(东侧)支流少且短。西侧的主要支流有羊模河、燕子河、西汉水(长 289km)、青泥河、永宁河和红崖河,东侧支流主要是南河和潜河。

昭化以上的西支叫白龙江,发源于甘肃省南部绿曲县境,流经岷山山脉与秦岭山地之间,长 535km。

3. 渠江 渠江发源于米仓山一大巴山南麓,于合川汇入嘉陵江,干流长 720km。渠江的支流较短。渠江在三汇镇以上分东西两源,东源为州河,西源为巴河。

二、水文特征

嘉陵江水系河水补给主要靠降水,其次是地下水。冰雪融水补给只有涪江上游,但补给量很有限。

嘉陵江水系河流洪峰出现在 7 月和 9 月,一般都有两个峰,使流量过程线呈马鞍形。按河流流量大小的分配,大体上可以划分为枯水期(或低水位期):11—3 月,平水期(或半前期、半后期):4—6 月和 10—11 月,丰水期:6—9 月。

洪、枯流量变幅最大的河流是梓江,最大月平均流量为最小月平均流量的 67 倍。洪、枯流量变幅最小的是白龙江的支流白水江,最大月平均流量为最小月平均流量的 4.2 倍。其他河流一般在 10—25 倍之间。

河历年径流量的年际变化,即年变差系数(C_v :最大年平均径流量与最小年平均径流量之比值)多数支流在 2—6 之间,而白龙江及其支流白水江的 C_v 值分别为 2.2 和 1.2,属变差较小的河流。但梓江则达 8.7。

三、地质环境

嘉陵江流域部分属于四川台向斜,是扬子地台的组成部分,中生代的地层出露最广,其中在三台—平昌—万源一线以南地区广泛分布侏罗系的泥岩类砂岩、介壳灰岩。在此线

以北的地区出露白垩系的钙质砂岩、砂质泥岩、粉砂岩及砾岩,砂岩和粉砂质泥岩。

龙门山褶皱带地层组合比较复杂,从侏罗系到元古界的地层都有。主要的有中、浅变质的石英片岩、变质砂岩、钙质白云岩、白云质灰岩、千枚岩、砂岩、泥灰岩、灰岩、页岩、硅质页岩以及紫红色砂页岩和花岗岩等。

秦岭褶皱带在嘉陵江上游。由于沉积建造、构造类型、岩浆活动等不同,分为两个地质构造单元。即北秦岭加里东地槽和南秦岭海西地槽。

北秦岭加里东地槽位于微成盆地以北地区。出露第四纪的河流沉积堆积,风堆积到泥盆系的地层。主要岩性组合是:砂岩、砂砾岩、石英砂岩、泥岩、砾岩、板岩、碎屑岩、灰岩、白云质灰岩、白云岩、泥灰岩、黄土、砂砾和亚粘土以及花岗岩、花岗闪长岩类。

嘉陵江流域的矿产种类较多,其中对水环境背景值有影响的,有铁、铜、铅、锌、汞、锑、钨、锡、镍、钼、铝土矿等金属矿藏,非金属矿主要是煤。

铁矿分布较广,主要分布于嘉陵江上游流域,集中于秦岭成矿带。

铜矿集中分布于嘉陵江上游流域。

铅锌矿主要集中在北秦岭成矿带上,此外,凤县、两当县、迭部县及平武、安县、广元、南江等地有铅锌矿分布。

锑矿主要分布于西汉水上游的西和县崖湾一带,矿床之一。

汞矿分布在两当、徽县及平武县。

锰矿分布于嘉陵江上游的略阳县境。

钴矿分布于康县阳坝铜矿坡,与铜共生。

钒矿储量很少,主要分布在渠江上游的万源,镍矿分布于东河上游的旺苍县。

煤矿分布广,嘉陵江上游地区各县都有煤。

四、地形地貌特征

嘉陵江流域地势北高南低,从而决定了河流的流向。流域内上游与中下游的地貌特征绝然不同。上游地区为中高山山地,中下游地区为丘陵起伏的盆地。按地貌分区,大致可以分为下列地貌单元。秦岭山地自东向西横贯于嘉陵江上游流域,是秦岭山脉的西延部分,可以分为北秦岭和南秦岭,北秦岭地势自西向东逐渐降低,西部迭山海拔4900m。北秦岭山地是嘉陵江上游许多支流,如岷江、西汉水、永宁河、青泥河以至嘉陵江的发源地。同时,又是长江水系与黄河水系的分水岭。

岷山山脉位于白龙江以西,南北走向,一般在3000m以上,主峰雪宝顶海拔达5588m,是嘉陵江流域的最高峰。是涪江的补给源之一。

龙门山山脉位于涪江的上游,作东北—南西走向,它是四川盆地向青藏高原过渡的高中山山地,海拔3000m以上,一些山峰海拔超过4000m。米仓山—大巴山山地位于渠江的上游,是嘉陵江与汉江的分水岭。山岭海拔2500m左右,地势西高东低。由于碳酸盐岩类分布较广,岩溶地貌发育。

嘉陵江中下游地区是四川盆地的中心部分。在其北部为海拔1400m以下的低山,相对高差200—1000m。

五、气候特征

嘉陵江流域按温度带划分,全流域包括中亚热带、北亚热带、暖温带和中温带。除此之外,在北亚热带、暖温带和中温带的山地,形成山地气候垂直带。

中亚热带的范围大致在渠江流域的下游和上游的一部分地区,涪江的中下游地区。

北亚热带的北界大致在涪江的上游、白龙江中下游、嘉陵江西支的下游以及渠江的上游流域。

暖温带的北界大致包括了涪江上源、白龙江中上游和嘉陵江西支及其支流西汉水、青泥河、永宁河和红崖河流域。

中温带的范围在暖温带主要在白龙江的上游和西汉水的上源地区。

嘉陵江流域的降水主要受东南季风的影响,但各地降水量的差别很大,在四川盆地的中下游地区,年降水量一般在 1000—1200mm 之间,而在涪江支流的盐亭、三台县东部,年降水量在 900mm 以下,是中下游地区的少雨区;在涪江上游的龙门山山前地区,是个多雨中心,年降水量在 1200—1420mm 之间。在嘉陵江上游地区,包括白龙江流域和东支嘉陵江流域,即秦岭山地及山间盆地,年降水量在 450—650mm 之间,是流域内的少雨区域。

降水主要集中在 6—8 月,一般占全年降水量的 40% 左右。雨季长短因地而异,一般自上游往下游而增长。在 9 月底或 10 月初,雨季结束。

六、土壤与植被

嘉陵江流域植被类型众多。在嘉陵江中下游地区,由于人类的开发历史悠久,自然植被基本已不存在,以农业植被为主。

四川盆地边缘山地,即涪江上游的龙门山前地区,渠江上游的米仓山、大巴山区,除海拔 2200m 以下的平缓低山和河谷阶地为农耕地外,主要是马尾松林、柏木林、常绿阔叶林。

在龙门山和岷山山地、大巴山山地海拔 2000m 以上的山体,以森林植被为主导地位。一般都形成植被垂直带,从低到高,有常绿阔叶与落叶阔叶林—针阔叶混交林—亚高山针叶林。嘉陵江流域母岩、水热条件、植被条件以及地貌等较复杂,发育类型众多的土壤。

紫色土主要分布于嘉陵江中下游的低山丘陵区。

碳酸盐紫色土分布于涪江支流梓江流域的盐亭和三台县的东部,pH 在 8.0 以上,有盐酸反应。土壤中的微量元素含量:Zn 90.3ppm,Cu 318ppm,Mn 718ppm。

中性紫色土的分布范围最广,嘉陵江中下游地区的绝大部分地区都属紫色土分布的范围。土壤呈中性反应,pH 值在 7.0 左右,除与碳酸盐紫色土区接壤的地域土壤有轻微的盐酸反应外,绝大部分地区的土壤均无盐酸反应。土壤中的微量元素含量:Zn 119.6ppm,Cu 29.5ppm,Mn 564ppm。

酸性紫色土分布于四川盆地边缘的低山丘陵,降水丰富,土体中的可溶性物质被淋溶迁移,土壤呈微酸性反应,pH 值在 6.5 左右。土壤中的微量元素含量:Zn 110.9ppm,Cu 27.6ppm,Mn 604.0ppm。

山地黄壤主要分布于四川盆地边缘的低山,一般在海拔 1800m 以下。在流域的分布上,多集中于涪江上游的龙门山前地带,渠江上游的大巴山南坡和嘉陵江南秦岭以南的地区。土壤全剖面呈酸性反应,pH 值在 6.5 以下。

第二节 嘉陵江水系河水的地球化学特征

嘉陵江水系由于流域面积辽阔,自然环境条件变化亦较大,河系又较发育,故河水的理化条件变化亦较大,这里仅就其水化学总的特征加以评述。

一、一般理化性状特征

1. pH:略偏碱性,在 7.7—8.0,个别河段极端变化值为 6.8—8.4。
2. 溶解氧:实测值为 7.2—10.4mg/L,平均值为 8.7—8.8mg/L。
3. 电导率:变化范围为 139—350mV/cm,属氧化环境,平均值为 245mV/cm。
4. 化学耗氧量:实测值变化于 0.96—4.23mg/L,平均值在 1.3—1.4mg/L,属化学耗氧量较低的河流。

二、离子组成和矿化度

嘉陵江及其主要支流河水的矿化度多年变化于 202—222mg/L,属矿化度偏低的河流。其主要阴离子为 HCO_3^- ,含量变化于 129—147mg/L,主要阳离子为 Ca^{2+} ,年均含量变化于 34.4—38.6mg/L,在离子组成中还含相对较多的 SO_4^{2-} (20mg/L 左右)和 Mg^{2+} (6.6mg/L 左右)。

水化学类型基本为 $\text{C}^{++}\text{HCO}_3^-$ 水。

硬度同水的离子组成密切相关,嘉陵江水系河水的硬度在 6.7—7.0 度(德),属软水范畴。

三、输沙量

嘉陵江是一条含沙量大、输沙率高的河流,多年平均输沙量为 1.57t/a,主要同嘉陵江流域黄土区域的强烈冲刷有关。

四、水化学稳定性

根据计算嘉陵江属弱沉积性河流,水化学稳定系数为 0.26,其主要支流渠江和涪江的水化学稳定系数在 0.07—0.23,也属弱沉积性河流。

五、酸、碱容量

计算表明,嘉陵江对碱的容量是很低的,嘉陵江干流为 0.045meq/L,其主要支流渠江约在 0.06meq/L,涪江约在 0.08meq/L,都属容碱量低的河流,这同嘉陵江水系河水略偏碱性有关。

计算还表明嘉陵江对酸的容量较大,嘉陵江及其主要支流都在 0.9meq/L 左右。

第三节 嘉陵江水系水体元素的含量与背景值

嘉陵江是长江流域面积最大的一级支流,全长 1119km,流域面积 159710km²,水系发育,有涪江、嘉陵江和渠江三大干流组成。流域内气候复杂,包括亚热带和温带的 4 个气候区,山地垂直气候分异明显,降水差异悬殊,秦岭山地降水量年均仅 450—650mm,而涪江上游达 1200—1420mm。流域年均降水量 936mm,多年平均流量 2120m³/s,年均总径流量 694.1 亿 m³,是含沙量高的河流,年均输沙量 15700 万 t。岩性以泥岩类砂岩、砂砾岩、浅变质砂岩、白云质灰岩、板岩、碎屑岩等沉积岩和浅变质岩分布为主。河水的矿化度年均在

202—222mg/L 属低矿化河水, pH 在 7.7—8.0, 略偏碱性, 为 Ca^{2+} 水, 水质软, 在 6.7—7.0 度(德), 为弱沉积性水, 对碱的容量低(嘉陵江干流为 0.045meq/L, 对酸的容量较大, 都在 0.9meq/L。这些是嘉陵江水系河流水体元素形成的基础。

一、河水元素背景值

嘉陵江水系河水元素的背景值列在表 12-3-1 和 12-3-2, 通过与国内外同类研究数据比较, 可以看出, 嘉陵江水系河水元素的背景有如下特征:

1. 所有元素都是对数正态分布, 表明其分布的规律性和离散度不大, 符合河流河水中元素的一般分布规律。

2. 多数元素如 Mn、Mo、As、Hg、Co、Ni、Se 及 Fe 趋向背景值高或明显高水平, 如 As、Mn 和 Mo 都明显高于国内外多数河流河水这些元素的背景值水平。

3. 溶解态(过滤水)元素背景值浓度占河水总量的比例较低, Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Mn 等元素溶解态占河水总量低于 30%。溶解态 As 低于总 As 一个数量级, 溶解态 Fe 仅占总 Fe 的不足 20%。但也有部分元素以溶解态为主, Se 和 Mo 溶解态的量占总量的 80% 以上, Hg 占 70% 以上, V 占 60% 左右。

4. 稀有稀土和放射性元素同上述微量元素在河水(元素总量)和过滤水中的背景值水平, 具有相同的特征, 河水中稀有、稀土和分散元素的总量几乎都处于高背景值水平, 大多元素较长江水系河水的背景值平均水平高一倍以上(表 11-3-3 和表 11-3-4)。而在过滤中, 除了在河水中主要以溶解态存在的元素如 Sr 和 Ba 等, 大多数元素处于低背景值水平, 显示嘉陵江水系河水中的稀有稀土和放射性元素主要以颗粒态存在, 并同流域富含有色金属矿, 包括 Sb、Zn、Hg、Mo、Ni 等矿藏分布有关, 且属易粉碎风化冲蚀的岩石。

二、沉积物元素的背景值

嘉陵江水系河流沉积物元素背景值和其 $63\mu\text{m}$ 细微颗粒部分沉积物的元素背景值分别列在表 12-3-5 和表 12-3-6。通过与国内外有关数据比较, 可以看出嘉陵江沉积物元素天然浓度和背景值的一些特征。

1. 嘉陵江河流沉积物(原样)和 $63\mu\text{m}$ 细微颗粒部分沉积物元素背景值大多以对数正态分布和正态分布, 表明沉积物背景值的稳定性和规则性, 符合一般河流沉积物元素的含量分布类型。离散程度不大且规则。

2. 嘉陵江河流沉积物元素背景值与大部分河流, 特别是我国东部一些河流沉积物元素的背景值水平基本一致或趋向偏低。如 As 明显处于低背景值水平, 我国东部河流沉积物在 6.0—13.2mg/kg, 而嘉陵江河流沉积物 As 的背景值在 5.43mg/kg。Cd 和 Hg 也都处于低背景值水平。

3. $63\mu\text{m}$ 细微颗粒部分沉积物中的微量元素 Cu、Pb、Zn、Cd、Co 和沉积物原样元素的浓度相比, 没有富积的趋势, 甚至有所降低, 这些元素可能主要以矿物颗粒存在。但 Ni、As、Hg、Cr、Mn 和 Fe 在 $63\mu\text{m}$ 以下部分具明显富积趋势, 背景值水平明显高于沉积物原样。这些元素在河流中更趋向于从水相进入沉积物。

4. 稀有稀土和放射性元素从 $<63\mu\text{m}$ 的沉积物元素背景值看, 除 Sr、Ba、Sb、La 较长江水系沉积物中这些元素的背景值水平较高外, 其他元素低于长江水系沉积物这些元素的背景值(表 12-3-7)。嘉陵江水系河水中元素在水和沉积物分布和分配上的这些特点, 和嘉陵江流域砂岩、砂砾岩、石英砂岩等微量金属元素贫乏的岩石广泛分布有关。此外嘉陵江

表 12-3-1 嘉陵江水系河水元素背景值特征统计表

元素	样本数	全 距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值
			平均值	标准差	平均值	标准差	10%	50%	90%		
Cu	46	0.10—19.00	3.05	4.22	1.62	2.76	0.55	1.45	9.10	对数正态	1.62
Pb	46	0.03—8.30	1.09	1.91	0.40	3.47	0.10	0.29	3.90	对数正态	0.40
Zn	46	0.60—36.00	6.60	9.12	2.99	3.40	0.70	2.65	22.40	对数正态	2.99
Cd	46	0.001—0.152	0.018	0.030	0.009	2.709	0.004	0.008	0.053	对数正态	0.009
Hg	46	0.016—0.149	0.047	0.028	0.041	1.609	0.021	0.040	0.092	对数正态	0.041
As	46	0.65—30.00	6.98	6.98	4.30	2.78	0.65	4.60	19.30	对数正态	4.30
Co	46	0.02—4.80	0.42	1.02	0.14	2.99	0.06	0.10	0.60	对数正态	0.14
Ni	46	0.98—53.00	4.13	8.55	2.14	2.41	1.00	1.70	11.50	对数正态	2.14
Cr	46	0.12—27.00	3.11	6.74	0.80	4.01	0.23	0.51	13.00	对数正态	0.80
Se	46	0.07—0.65	0.25	0.12	0.22	1.49	0.15	0.21	0.43	对数正态	0.22
Mn	46	3.00—250.00	23.29	46.45	11.05	2.62	4.00	9.00	28.00	对数正态	11.05
Mo	46	0.47—5.40	1.45	0.77	1.30	1.58	0.65	1.36	2.07	对数正态	1.30
Fe	46	12.00—7700.00	552.75	1399.30	135.66	4.11	36.00	101.00	926.00	对数正态	135.66
V	46	1.86—47.50	7.80	10.37	4.91	2.26	2.50	3.64	25.00	对数正态	4.91

表 12-3-2 嘉陵江水系过滤水元素背景值特征统计表

元素	样本数	全距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值
			平均值	标准差	平均值	标准差	10%	50%	90%		
Cu	47	0.10~1.10	0.54	0.20	0.49	1.54	0.23	0.56	0.77	正态	0.54
Pb	47	0.01~3.00	0.21	0.43	0.12	2.34	0.05	0.10	0.40	正数正态	0.12
Zn	47	0.60~10.00	3.04	2.42	2.19	2.28	0.70	2.40	5.80	对数正态	2.19
Cd	47	0.001~0.016	0.004	0.003	0.003	1.805	0.002	0.003	0.008	正数正态	0.003
Co	47	0.02~0.12	0.04	0.02	0.04	1.44	0.02	0.04	0.06	对数正态	0.04
Ni	47	0.60~2.30	1.14	0.32	1.10	1.28	0.85	1.06	1.62	正数正态	1.10
As	47	0.10~6.20	0.67	0.98	0.41	2.41	0.10	0.39	1.30	对数正态	0.41
Hg	47	0.017~0.118	0.042	0.023	0.037	1.569	0.020	0.036	0.088	对数正态	0.037
Cr	47	0.04~2.86	0.37	0.43	0.28	1.97	0.12	0.25	0.71	正数正态	0.28
Se	47	0.05~0.63	0.21	0.13	0.18	1.75	0.08	0.18	0.40	对数正态	0.18
Mo	47	0.25~4.50	1.24	0.67	1.09	1.63	0.50	1.25	1.90	对数正态	1.09
V	47	1.21~6.60	2.94	0.97	2.80	1.32	2.00	2.80	3.86	对数正态	2.80
Mn	47	1.00~139.00	6.55	19.77	3.67	1.92	1.80	3.50	5.50	对数正态	3.67
Fe	47	10.00~926.00	47.67	132.65	25.09	2.22	12.00	20.00	60.00	对数正态	25.09
F	47	0.04~0.39	0.16	0.07	0.14	1.55	0.09	0.14	0.24	对数正态	0.14

表 12-3-5 嘉陵江水系河流沉积物元素背景值特征统计表

元素	样本数	全距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值
			平均值	标准差	平均值	标准差	10%	50%	90%		
Cu	19	6.70--35.50	20.32	4.50	18.20	1.56	8.50	20.00	34.00	正态	20.32
Pb	19	2.20--30.00	18.59	4.96	16.85	1.33	10.60	18.70	26.60	正态	18.59
Zn	19	24.00--94.00	55.91	19.71	51.84	1.45	26.00	55.00	88.00	正态	55.91
Cd	19	0.060--0.790	0.251	0.185	0.201	1.829	0.100	0.210	0.580	对数正态	0.201
Co	19	5.70 76.00	14.08	15.22	11.27	1.70	6.80	9.90	17.00	对数正态	11.27
Ni	19	9.30--37.00	23.58	7.63	21.95	1.43	10.00	23.30	35.50	正态	23.58
As	19	1.40--17.80	7.12	4.80	5.43	2.07	1.90	6.50	15.00	对数正态	5.43
Hg	19	0.010--0.276	0.047	0.063	0.028	2.456	0.011	0.022	0.122	对数正态	0.028
Cr	19	21.00--88.00	47.32	15.98	44.38	1.39	22.00	44.50	76.50	对数正态	44.38
Mn	19	214.00--931.00	464.47	163.02	436.64	1.37	276.00	419.00	719.00	对数正态	436.64
Fe*	19	1.23--4.48	2.71	0.80	2.56	1.35	1.54	2.66	3.98	正态	2.71

*:单位为%。

表 12-3-6 嘉陵江水系河水沉积物(<63 μm)元素背景值特征统计表

元素	样本数	全 距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值
			平均值	标准差	平均值	标准差	10%	50%	90%		
Cu	18	9.80—31.90	19.54	5.25	18.72	1.30	11.30	20.30	28.50	正态	19.54
Pb	17	16.30—28.00	22.49	3.46	22.17	1.17	16.30	23.30	27.50	正态	22.49
Zn	18	32.20—88.30	55.80	15.50	53.50	1.32	33.00	54.50	81.30	对数正态	53.50
Cd	17	0.100—0.800	0.255	0.159	0.221	1.630	0.100	0.220	0.400	对数正态	0.221
Co	18	8.60—15.80	11.80	1.99	11.62	1.18	8.70	11.60	14.60	对数正态	11.62
Ni	18	25.20—46.40	34.03	5.11	33.62	1.15	26.40	33.15	45.30	对数正态	33.62
As	17	3.20—14.60	8.53	3.14	7.87	1.44	4.10	7.70	13.50	对数正态	7.87
Hg	15	0.012—0.294	0.052	0.071	0.033	2.195	0.019	0.024	0.099	对数正态	0.033
Cr	18	41.00—86.00	65.64	12.14	64.26	1.20	44.00	66.45	86.00	正态	65.64
Mn	18	406.00—735.00	566.28	102.23	556.32	1.20	412.00	549.50	734.00	对数正态	556.32
Fe	18	2.33—4.60	3.33	0.66	3.26	1.21	2.44	3.20	4.47	对数正态	3.26

流程较长,中上游深入低温干燥地区,化学风化较弱,由风化作用释放的微量金属元素数量低有关;偏碱性的河流水化学条件,也使大部分元素易从水相转入沉积相。嘉陵江水系元素在水体中的背景值水平和形态特征显示了嘉陵江水系河水和地质环境岩性及其风化侵蚀作用特征。

第十三章 汉水水系水体中的化学元素

第一节 汉江水系的环境特征

一、汉水水系的组成

汉水是长江的最长支流之一,其源有三:中源发源于陕西省宁强县嶓冢山,称漾水;北源为发源于秦岭的沮水(又名黑河);南源为发源于米仓山的南河(又名玉带河)。其中北源最长,水量也大,故定为汉水正源。汉水干流流经陕西、湖北两省,于武汉市汇入长江,全长1577km,流域面积174000km²。

根据汉水干流的河谷形态、水文特征及地貌类型,可将其划分成三个典型河段:丹江口水库大坝以上为上游,丹江口水库大坝至钟祥为中游,钟祥以下为下游。

汉水支流众多,河网密布,流域面积超过5000km²的较大支流有唐白河、丹江、沮水、堵河、任河、南河、旬河、夹河等8条。河源区重要支流有褒河。

汉水水系的形态极不对称,右岸流域面积为62247km²,占全流域面积的35.8%;左岸流域面积为111753km²,占64.2%;左岸支流源远流长,数量多,右岸支流少且大多数短。

汉水水系内共建有大小水库29座,大部分分布在中下游地区,汉水流域的大型水库有4座,丹江口水库最大。丹江口水库大坝位于丹江汇入汉水口下游800m处,距汉口650km。该水库是以防洪为主,兼顾发电、灌溉、航运、养殖的综合性水库。坝高97m,控制流域面积95220km²,相应库容174.5m³亿,水面面积858.8km²,多年平均径流量379亿m³,多年平均输沙量1.15亿t,可灌溉农田2300—3500万亩。

二、地形地貌特征

汉水流域总的地势是自西北向东南倾斜,上游段干流及区域地质构造走向均呈东西向,中下游则呈西北—东南向。汉水流域的地貌类型有山地、丘陵和平原,根据其分布特点划分为4个单元,即北部的秦岭淮阳山脉地带,南部的大巴山、荆山山脉地带;河谷盆地与丘陵及下游泛滥冲积平原。

秦岭是我国南北自然地理环境的分界线,东至伏牛山,呈东西走向,愈向东愈低。

大巴山脉为四川盆地与汉水流域的分界线,西段称为米仓山,中段为九龙山,东段为大巴山,山脊走向近东西向,高度愈向东愈低。其北坡较南坡陡峭,在山脊与汉水河谷之间有低缓的花岗岩丘陵。

汉水河谷盆地指中上游汉水两岸狭长的河谷及冲积盆地。以上游至中游,分别有汉中盆地、洋县—安康黄金峡、安康—丹江口水库段狭谷盆地交错地带等。丘陵主要分布在丹江口至钟祥段河谷两岸。

江汉平原位于汉水下游及唐白河中下游区域,系近代冲积而成。历史上由于汉水洪水泛滥,形成了许多自然堤,洪水时成为分洪的湖泊带。

三、地质环境

汉水流域的地层,从前震旦系到近代均有出露,尤以古生代变质岩系的分布最广,其次为新生代的红色岩系和第四纪的疏松沉积物,中生代地层面积最小,主要为侏罗纪棕色粗砂岩与页岩及三叠纪页岩与灰岩。前震旦系主要为花岗岩、片麻岩及片岩;震旦系以片岩、灰岩为主;寒武系为片岩与页岩间夹灰岩;奥陶系为灰岩及页岩夹灰岩;志留系以页岩为主,间夹有千枚岩;泥盆系主要为厚层灰岩、石英岩、石英砂岩;石炭、二叠系为灰岩、各种片岩与页岩;白垩—第三系为红色砂岩、砾岩、粘土岩及泥灰岩;第四系为红土、粘土等近代沉积物。各时代的火成岩有花岗岩及各种基性岩。岩性的地域分布大致为:谷城—房山—岚皋—勉县一线以北及方城—枣阳—汉口一线以东为变质岩、岩浆岩区,其余地区为沉积岩区。也就是说,汉水上游基本上由变质岩和岩浆岩组成,中下游河谷镶嵌在沉积岩层和松散沉积物中。从时代上看,古生代及其以前地层主要分布在上游,是构成秦岭、大巴山等山脉的主要地层;新生代、中生代地层多分布于山间盆地、地堑及下游低洼地区,构成中等山地及丘陵地。

汉水流域前寒武纪基性、超基性岩浆岩中普遍含有 Ni、Mo、Cr 矿床;以辉石岩、角闪岩为主体的基性、超基性岩浆岩中含有石棉及含钛磁铁矿;加里东期角斑岩中普遍有黄铁矿、磁黄铁矿及少量黄铜矿;基性岩中有含铜的石英脉;碱性碳酸岩中有烧绿石矿;竹山一带,燕山期岩浆成矿作用形成的花岗岩中有 Cu、Pb、Zn 等多种金属矿。沅水、溇水流域及江汉平原为沉积岩矿床的形成提供了条件,形成了大型的盐矿、磷矿、煤炭、石油、锰矿等。如钟祥、襄樊附近的磷矿,南阳的云母矿,应城、汉川等地的盐矿、石膏矿等。下游区磷矿的分布位置恰与前震旦纪形成的古老北西向构造带吻合,并沿北西向凹陷带两侧靠隆起带的部位分布。在鄂西主要受华夏系构造控制的地层中发现有铁矿。总之上游区以金属矿为主,中下游区主要是非金属矿。汉水流域较大的矿点有城口上游的锰矿、旬阳北侧的汞锑矿、平利县的钼矿、宁强县的铁矿等。主要的矿带有丹凤—太白的铅锌矿带、平利—岚皋的钼矿带、旬阳—安康—紫阳及月河盆地的沙金矿、山阳—宁陕的铁矿带等。此外在山阳也有砷、金、钒矿点,在白河—旬阳线有铜矿。

四、汉水流域的气候

汉水流域处于季风气候区,主要受东南季风控制,汉水上游也受西南季风影响。年平均气温在 15—17℃,年平均降水量为 700—1300mm,下游区及任河上游降水量较大,年平均可达 1100mm 以上,中游区一般在 800—900mm,上游区 700—900mm。由于汉水流域降水受季风控制,降水主要集中在夏季,特别是 6—8 月。雨季下游早于上游,夏季(尤为 7—8 月)上游区还受西南季风影响,降水量大于中下游区。

汉水流域降水量的年、月变率都较大,年变率在 20% 以上,月变率更大,多雨月的月变率可达 100% 以上。由于降水的变率大,在时间上相对集中,造成河水量、水位暴涨暴落,易发生洪水灾害。

汉水流域年平均蒸发量为 900—1500mm,且下游大于上游,河谷大于山区,左岸大于右岸,最大月蒸发量出现在 7 月,最小出现在 1 月。年均相对湿度一般为 70%—80%,夏季大于冬季。

五、河流水文特征

汉水以降水补给为主,地下水的补给量约占全年径流量的 15%—20%,石灰岩地区

可达 30%—40%，如襄阳地区的西南部和郧阳地区南部的石灰岩地区。由于地表径流直接受降水制约，汉水径流量的年内变化与降水的年内变化基本一致。汉水年平均径流总量为 576.62 亿 m^3 ，年平均流量 $1792\text{m}^3/\text{s}$ 。如下游的碾盘山站，年径流量达 539 亿 m^3 ，年平均流量 $1710\text{m}^3/\text{s}$ 。最大年平均流量达 $3310\text{m}^3/\text{s}$ (1964 年)，最小为 $572\text{m}^3/\text{s}$ (1941 年)，实测最大洪峰量为 $29000\text{m}^3/\text{s}$ (1964 年 10 月)。由于汉水流域降水的季节性及多暴雨特点，反映在流量、水位曲线上呈波浪形，每年较大的洪峰有 3—5 次，峰形不一，历时数日或一月不等。最大洪峰持续时间一般很短，下游约为 3—7 天，上游及汉水支流上更短。

汉水径流量的年变化亦较大，变差系数 C_v 为 0.39—0.45。汉水干、支流主要测站流量、径流量特征值见表 13-1-1、表 13-1-2 和表 13-1-3。

表 13-1-1 汉水干支流主要测站流量特征值

河 名	测 站	平均流量 (m^3/s)	最大流量 m^3/s	最小流量 m^3/s	最大 平均	最大 最小	统计年份
汉 水	白 河	937	22500	80.5	24	279.5	1974
汉 水	碾盘山	1710	29100				1964
堵 河	竹 山	209	4400	23.8	21.1	184.9	1974
南 河	开峰峪	68.9	1470	15.3	21.3	96.1	1974
丹 江	荆紫关	39.4	1340	5.0	34.0	268	1974
沮 水	安 陆	66.4	200	2.26	30.0	885	1975
堵 河	黄龙滩	95.9	25.9	3.7			

表 13-1-2 汉水干、支流主要测站径流量特征值

河 名	测 站	最大年径流量 (亿 m^3)	最小年径流量 (亿 m^3)	最大/最小	C_v	统计年数
汉 水	安 康	306.4	129.3	2.4	0.27	14
汉 水	白 河	576.9	127.3	4.5	0.34	26
汉 水	郧 县	656.4	210.0	3.1	0.33	14
汉 水	襄 阳	860.0	160.0	5.3	0.40	14
南 河	开峰峪	36.5	8.5	4.3	0.48	16
堵 河	黄龙滩	95.9	25.9	3.7	0.37	26
堵 河	竹 山	84.1	23.3	3.6	0.35	26

汉水流域气候温和，植被覆盖较好，大部分地区水土流失不严重，但人类活动导致局部地区植被破坏，产生了较强的水土流失。碾盘山站多年平均含沙量仅 $2.39\text{kg}/\text{m}^3$ ，年输沙量为 1.3 亿 t，侵蚀模数为 $929\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。汉水输沙量是长江支流中较大的一条，占长江大通站年平均输沙量 (5.02 亿 t) 的 1/4。测站泥沙特征值见表 13-1-3。

表 13-1-3 汉水平支流主要测站含沙量、输沙量、侵蚀模数特征值

河名	测站	集水面积 km ²	多年平均含沙量特征值(kg/m ³)				多年平均输沙量特征值(万 t)				多年平均侵蚀模数(t/km ²)				统计年数
			平均	最大	最小	最大/最小	平均	最大	最小	最大/最小	平均	最大	最小	最大/最小	
汉水	安康	41439	1.78				1960	3310	1160	2.88	473	806	280	2.88	4
汉水	白河	59115	1.83	2.58	1.0	2.58	518.83	9830	1270	7.74	736.16	1320	215	6.14	12
汉水	碾盘山	140340	2.39	3.82	0.51	7.5	13000	26000	1660	15.6					
堵河	黄龙滩	10668	1.27	3.05	0.12	25.85	784.68	1950	86.2	22.62	723.59	1830	80.7	22.68	21
南河	谷城	5781	1.67	6.15	0.41	15.19	516.82	1740	70.2	24.61	893.77	3010	122	24.67	13
唐白河	双沟	9890	2.98	3.80	1.81	2.1	858	1500	417	3.6	869.33	1520	422	3.6	3
丹江	丹凤	2766	4.44	6.97	3.67	1.90	230.18	473	88.1	5.37	825	1740	319	5.52	6
淅水	安陆	7131	0.42	0.74	0.07	10.5	90.8	342	2.5	136.8	127	480	3.51	136.75	14
涇河	江湾	1220	0.7	1.85	0.42	4.44	19.50	58.5	6.02	9.72	186.52	649	49.4	13.14	14
天门河	天门	2611	0.7	0.14	0.01	15.0	4.48	2.87	0.06	47.05	18.25	34.7	1.53	22.67	6
天河	贾家坊	1222	1.18	1.95	0.43	4.58	46.66	127	9.9	12.83	381.46	1040	81.1	12.82	13
夹河	赵家河	5250	5.49	11.8	2.86	4.13	1082.87	3540	332	10.66	2062.88	6740	632	10.66	8

六、土壤与植被特征

汉水流域的地带性土壤为黄棕壤,表层有机质含量达2%—3%,中部为质地粘重的淀积层。该土壤呈中性到微酸性,pH值为6—7。由于其过渡类型,既具有北方棕壤的淋溶和粘化作用,又有南方自然土壤中的富铝化过程。土壤粘粒在剖面中淀积,形成粘盘或铁锰结核,在成土过程中被原生矿物分解出来的铁锰胶结所包围,使土壤颜色呈棕黄色。黄棕壤的富铝化过程较弱,盐基淋溶强烈,Fe、Mn、Cu、Co、Al有所积累。冲积平原由河湖相冲积物组成,海拔高度多在50m以下,受地下水的影响,自湖盆向外依次分布着潜育型水稻土、潜育型水稻土、灰潮土,岗地上多为黄土母质,其上发育着粘盘黄棕壤,丘陵上则发育着典型的黄棕壤。

汉水流域的地带性植被为常绿阔叶、落叶阔叶针叶混交林,优势植物为马尾松、栎树、桦树等。由于地形、气候、水文条件的制约,在山地有垂直地带性分异。如秦岭南坡,500—800m之间的地带以麻栎、马尾松为主;700—2200m之间为松栎地带,2100—2600m之间为桦木地带,以红桦、毛红桦为主;2400—3000m为冷杉地带,以陕西冷杉为主;2900—3350m为落叶松地带;3350—3760m为高山灌木地带,以密枝杜鹃、爬柳、高山绣线菊等为主。大巴山北坡(覆盖率26%)的优势植物有白栎、青冈栎、锐齿槲栎、栓皮栎、马尾松、山杨、红桦、槭树、杉木、油桐、樟科、棕榈等。其中1000m以下以油松、马尾松、杉木、栓皮栎、油桐、化香、侧柏等为主;1000—1800m之间以栎类、白桦、榆树、槭树、山杨、四照花、油松、华山松为主,1600—2300m之间是以红桦为主的落叶阔叶林,2300m以上为冷杉。在汉水上游谷地及大洪山山地为青冈栎、落叶栎类、华山松、巴山冷杉等。

第二节 汉水水系河水的理化性状及其地球化学特征

汉水水系庞大,水的理化条件也有一定的区域分异,但其水的理化性状没有明显较大的差异,总的特征概述如下:

一、pH值、溶解氧及化学耗氧量

pH:汉水水系河水多年统计其pH在7.8—8.0,水系内变化不明显,都为略偏碱性水。

溶解氧:主要水系河段多年均值为8.9—9.9mg/L,是含氧丰富的河流,较长江流域的大部分河流氧的饱和度高。

化学耗氧量:汉水水系各江段河水多年平均化学耗氧量为1.2—2.1mg/L,是化学耗氧量低的河流,汉水水系溶解氧的含量丰富同化学耗氧量低也有一定的关系。

二、离子组成和矿化度

汉水水系主要江段的离子多年均值为184—193mg/L,波动不大,属于矿化度较低的河水。其离子组成,阳离子以 Ca^{2+} 为主,约占阳离子总量的75%左右, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 的含量比例相对较高,约占阳离子总量的10%左右。阴离子以 HCO_3^- 占绝对优势,其含量占阴离子总量的85%左右,其次为 SO_4^{2-} ,约占阴离子总量的10%左右。

三、汉水水系的水化学类型

汉水水系大多数河水的水化学类型以 $\text{C}_{\text{HCO}_3^-}$ 型水为主,中游及南阳盆地西部河水多为 $\text{C}_{\text{HCO}_3^-}$ 型水,汉水河谷及冲积平原上河水多为 $\text{C}_{\text{HCO}_3^-}$ 型水。这是因为汉水中游以石灰岩为主,Ca、

Mg 离子的含量高所致。而南阳盆地为黄土地区,土壤中含有较多的 Ca、Mg。下游冲积平原及河谷盆地由于地下水位高,盐分的下渗受到限制,在土壤表层积累,致使地表水中 Ca、Mg 含量增高。在应城一带发现的大型盐矿就是例证。为了反映地下水的水化学类型,我们在神农架林区采集了两个泉水样,水样中 Ca、Mg 离子的含量较低,水化学类型均为 C_1 。

根据多年主要江段离子测定值计算,汉水水系主要为 C_1 和 C_2 水。

四、硬度

汉水河水的硬度主要江段多年均值都在 6.0 度(德)左右,各江段没有明显变化,属软水河流,但相对于其离子总量较低的现象,其河水的硬度相对偏大,可能同 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 相对偏高有关。

五、汉水水化学稳定性和酸碱容量

汉水的水化学稳定系数在 -0.004 — -0.198 ,属弱溶积区,与由中下游注入长江的其他大支流比较,其溶蚀性相对较小。

计算还表明汉水对碱的容量也是偏小的,在 0.053 — 0.081meq/L ,这同该河流的 pH 偏碱性有关。汉水对酸的容量为 0.813 — 0.861meq/L ,相对于中下游注入长江的支流,汉水的容酸量相对是较高的。

第三节 汉水水系水体元素含量与背景值

一、河水元素背景值

表 13-3-1 至表 13-3-4 列出了汉水水系及河流原水、过滤水中 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、As、Hg、V、Fe、Mn、Sr、Ba、Co、Mo、F 15 个元素和稀有稀土分散元素背景值,与国内外其它水域水中元素背景值比较,可以看出:

1. 汉水水系河水原水中 15 个元素的背景值水平与世界淡水中元素背景含量比较,Cu、Ni、As、Cr、Se、Mo、V、Fe、Mn、F 等元素的背景值与世界淡水的平均含量接近;Zn、Cd 比世界平均含量低;Pb、Co、Hg 略高于世界淡水的平均含量。与美国河流背景值比较,Pb、As、Hg、Cr、V、Fe、Mn、F 较接近;Cd、Co、Ni、Se、Mo 等低于美国河流中的含量;Cu 略高于内华达河。与松花江水系水环境背景值相比,汉水水中大部分元素背景值低于或接近松花江水中元素背景值;本区仅 Cu 略高于松花江。与本水系下游比较,大多数元素背景值低于下游区,只 Hg 的背景值与下游区接近(表 12-3-5)。

2. 汉水水系过滤水中多数元素均低于或接近世界其它水域元素背景值;Cd、Ni、Se、V、Fe、Mn、Co、As、Hg、Cr、Mo、F 等元素也低于松花江水系环境背景值,仅 Cu 略偏高。

汉水水系河水过滤水背景值与澳大利亚的一些河流比较,汉水水系中 Pb、Zn、Cd、Ni、Hg 的背景范围上限低于澳大利亚河流的背景值下限,Cu、Cr、Mn 的范围二者基本一致。

汉水水系过滤水背景值与世界其它河流相比,Pb、Zn、Cd、Ni 低于英国的 Pwryd 河,Hg 低于多瑙河,Cu 与 Pwryd 河,Co 与亚马逊河,Cr 与世界淡水的含量比较接近。与松花江水系过滤水元素背景值相比,Pb、Zn、Co、As、Hg、Cr、Mo、Cd、Ni、Se、V、Fe、Mn 均低于或接近松花江背景值,只 Cu 高于松花江,与原水一致。与本水水系下游水域比较,仅

表 13-3-1 汉水水系河水元素背景值特征统计

μg/L

名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	38	对数正态	4.03	2.51	3.38	1.78	1.33	3.18	7.16	3.38	1.60—7.11
Pb	38	对数正态	1.67	2.26	0.82	3.30	0.18	0.89	3.68	0.82	0.18—3.81
Zn	38	正态	4.19	2.15	3.57	1.76	1.38	4.19	7.68	4.19	1.41—6.97
Cd	38	对数正态	0.033	0.055	0.012	4.863	0.001	0.018	0.074	0.012	0.002—0.089
Co	38	对数正态	0.163	0.185	0.110	2.281	0.040	0.120	0.330	0.110	0.038—0.320
Ni	38	正态	0.42	0.21	0.35	1.88	0.11	0.45	0.72	0.42	0.15—0.69
As	38	对数正态	1.30	1.18	1.01	1.93	0.41	0.97	2.75	1.01	0.43—2.34
Hg	38	对数正态	0.044	0.042	0.035	1.780	0.015	0.033	0.063	0.035	0.017—0.074
Cr	38	对数正态	2.16	4.15	0.87	3.26	0.22	0.70	3.99	0.87	0.19—4.02
Se	38	对数正态	0.082	0.120	0.050	2.450	0.018	0.045	0.150	0.050	0.015—0.153
Mo	38	对数正态	1.43	2.72	0.61	3.30	0.13	0.53	3.50	0.61	0.13—2.83
V	38	对数正态	1.65	2.13	0.99	2.53	0.31	1.010	2.88	0.99	0.30—3.30
Mn	38	对数正态	19.92	28.87	7.82	4.07	0.78	8.39	71.27	7.82	1.28—47.86
Fe	38	对数正态	74.44	21.79	30.57	3.88	4.89	34.97	160.00	30.57	5.32—175.57
F ⁻	38	对数正态	0.27	0.25	0.21	2.02	0.08	0.25	0.50	0.21	0.08—0.51

* 单位为 mg/L.

表 13-3-2 汉水水系上游区河水元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	10	对数正态	2.81	1.27	2.56	1.60	1.33	2.82	3.98	2.56	1.40—4.67
Pb	10	对数正态	2.36	2.03	1.61	2.65	0.49	2.04	5.09	1.61	0.46—5.61
Zn	10	正态	4.10	1.89	3.33	1.92	1.40	4.15	5.68	4.10	1.68—6.52
Cd	10	对数正态	0.016	0.024	0.006	5.121	0.001	0.005	0.040	0.006	0.001—0.049
Co	10	对数正态	0.220	0.310	0.120	2.710	0.050	0.110	0.330	0.120	0.03—0.43
Ni	10	正态	0.45	0.21	0.39	1.78	0.24	0.50	0.56	0.45	0.18—0.72
As	10	对数正态	0.60	0.24	0.35	1.54	0.41	0.60	0.85	0.56	0.32—0.97
Hg	10	对数正态	0.028	0.009	0.027	1.270	0.023	0.026	0.030	0.027	0.020—0.037
Cr	10	对数正态	1.57	1.42	1.03	2.77	0.29	1.13	3.89	1.03	0.28—3.79
Se	10	对数正态	0.116	0.114	0.088	2.060	0.050	0.083	0.134	0.088	0.035—0.222
Mo	10	对数正态	0.76	0.81	0.38	4.49	0.05	0.55	1.31	0.38	0.06—2.60
V	10	对数正态	1.10	0.63	0.94	1.98	0.50	0.83	1.92	0.94	0.45—1.97
Mn	10	对数正态	19.07	21.56	11.12	2.66	3.58	10.64	35.54	11.12	3.18—38.90
Fe	10	对数正态	145.26	216.85	55.60	3.23	9.87	58.49	314.00	55.60	0.32—252.32
F ⁻	10	对数正态	0.48	0.38	0.41	1.65	0.29	0.35	0.56	0.41	0.21—0.78

*：单位为 mg/L 。

表 13-3-3 汉水水系江河水中稀有稀土分散元素背景值特征统计表 $\mu\text{g/L}$

名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Rb	13	对数正态	1.13	1.16	0.85	1.94	0.40	0.80	1.90	0.85	0.36—2.00
Cs	13	对数正态	0.02	0.01	0.02	1.50	0.01	0.02	0.04	0.02	0.01—0.03
Sr	13	正态	205	67.6	188	1.45	83	195	297	205	118—292
Ba	13	对数正态	58	34.5	51	1.63	28	43	86	51	27—95
Sb	13	对数正态	0.23	0.39	0.12	2.57	0.04	0.12	0.39	0.12	0.04—0.41
Sc	13	对数正态	0.02	0.02	0.02	2.19	0.003	0.02	0.05	0.02	0.01—0.04
U	13	对数正态	0.93	0.59	0.71	1.84	0.31	0.75	1.70	0.71	0.32—1.55
Th	13	对数正态	0.02	0.02	0.02	1.76	0.01	0.02	0.04	0.02	0.01—0.04
La	13	对数正态	0.27	0.13	0.24	1.55	0.16	0.19	0.46	0.24	0.14—0.43
Ce	13	对数正态	0.55	0.27	0.49	1.61	0.28	0.38	0.94	0.49	0.27—0.90
Nd	13	对数正态	0.27	0.14	0.24	1.59	0.15	0.20	0.48	0.24	0.13—0.44
Sm	13	对数正态	0.06	0.03	0.05	1.70	0.03	0.04	0.11	0.05	0.03—0.11
Eu	13	对数正态	0.01	0.004	0.01	1.36	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01—0.02
Tb	13	对数正态	0.01	0.003	0.01	1.34	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01—0.014
Yb	13	对数正态	0.02	0.01	0.02	1.34	0.01	0.02	0.03	0.02	0.012—0.03
Lu	13	正态	0.003	0.001	0.003	1.30	0.002	0.003	0.004	0.003	0.002—0.004

表 13-3-4 汉水水系河水过滤水中稀有稀土分散元素背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准差	平均值	标准差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Rb	13	对数正态	0.81	0.53	0.67	1.76	0.30	0.60	1.90	0.67	0.32--1.40
Cs	13	偏态	0.01	0.003	0.01	1.53	0.003	0.01	0.01	0.01	0.003--0.01
Sr	13	正态	195	69	178	1.47	83	192	290	195	106--284
Ba	13	对数正态	47	21	43	1.53	23	42	80	43	25--74
Sb	13	对数正态	0.18	0.39	0.08	2.62	0.04	0.06	0.16	0.08	0.02--0.28
Sc	13	对数正态	0.002	0.001	0.002	1.71	0.001	0.002	0.01	0.002	0.001--0.004
U	13	对数正态	0.88	0.62	0.64	2.07	0.20	0.73	1.70	0.64	0.25--1.63
Th	13	对数正态	0.01	0.001	0.004	1.33	0.003	0.004	0.01	0.004	0.003--0.01
La	13	对数正态	0.12	0.03	0.12	1.23	0.09	0.12	0.16	0.12	0.09--0.15
Ce	13	对数正态	0.24	0.05	0.24	1.21	0.20	0.23	0.29	0.24	0.18--0.30
Nd	13	偏态	0.13	0.04	0.12	1.30	0.10	0.11	0.18	0.11	0.10--0.18
Sm	13	正态	0.02	0.01	0.02	1.21	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02--0.03
Eu	13	对数正态	0.01	0.003	0.01	1.39	0.004	0.01	0.01	0.01	0.004--0.01
Tb	13	偏态	0.01	0.002	0.01	1.30	0.004	0.004	0.01	0.004	0.004--0.01
Yb	13	对数正态	0.01	0.003	0.01	1.24	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01--0.014
Lu	13	正态	0.002	0.0004	0.002	1.27	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001--0.002

Hg 略偏高,其余均较低。

表 13-3-5 汉水水系河水不同区段元素含量表

μg/L

元 素	原 水				过 滤 水			
	上游区	中游区	下游区	全水系	上游区	中游区	下游区	全水系
Cu	3.26	5.87	3.00	3.68	2.50	5.27	2.40	3.01
Pb	2.62	0.66	1.05	1.60	1.83	0.59	0.49	1.05
Zn	5.83	7.08	5.44	5.92	5.01	3.17	4.45	4.42
Cd	0.038	0.045	0.003	0.025	0.033	0.003	0.003	0.015
Co	0.22	0.050	0.090	0.134	0.19	0.042	0.053	0.103
Ni	0.87	0.07	0.42	0.53	0.69	0.06	0.33	0.42
As	2.36	0.18	1.51	1.58	2.01	0.60	1.43	1.49
Hg	0.020	0.035	0.038	0.030	0.015	0.03	0.018	0.019
Cr	1.53	1.28	1.30	1.39	0.99	0.41	1.04	0.89
Se	0.164	0.336	0.147	0.192	0.118	0.014	0.118	0.097
Mo	0.88	1.08	1.17	1.04	0.70	0.74	0.98	0.82
V	1.21	1.80	2.09	1.68	0.63	0.50	1.62	1.00
Mn	12.74	36.42	117.28	59.29	3.45	2.13	11.31	6.33
Fe	124.82	427.00	175.50	205.53	13.20	10.00	92.94	44.46
F ⁺	0.73	0.24	0.10	0.38	0.33	0.22	0.08	0.208

*: 单位为 mg/L。

3. 汉水河水中稀有稀土分散元素背景值的概率分布除 Sr、Lu 呈正态分布外,其余 14 个元素均呈对数正态分布。将本区江河水中的稀土元素背景值与世界淡水中稀土元素含量比较,除 Sr、Ba、La、Ce、Tb 比世界淡水偏高外,其余元素均比世界淡水含量低或接近,在世界淡水中含量范围以内(表 12-3-6)。

汉水水系稀土元素与美国密西西比河比较,Sr、Ba、Sc 比密西西比河含量高,Sb 比密西西比河含量低,其余的 Rb、Cs、V、La、Eu 两者比较接近。

汉水水系稀土元素与 Rhone 河比较,Cs 比 Rhone 河低 1 倍多,Sb 比 Rhone 河低近 40 倍,Rb 两者比较接近。与挪威河流比较,Cs、Sr、Ba、Ce 比挪威河流高,Th、Sm、Yb 比挪威河流含量低,其余的 Rb、Sb、Sc、La、Eu 两者比较接近。与松花江水系稀土元素背景值比较,Sr、Ba、U、Ce、Sm 比松花江背景值高,Rb、Cs 比松花江背景值低,其余的 Sb、Sc、Th、La、Nd、Eu、Tb、Yb、Lu 两者接近。

汉水水系江河水原水稀土元素背景值除 Rb 背景值水平比下游河水低 0.21μg/L,Sr 两者接近外,其余稀土元素背景值均低于下游含量。

汉水水系江河水过滤水中稀土元素背景值下游元素含量比较,Rb、Cs、Th、La、Ce、Eu、Yb 背景值比下游含量高,说明汉水水系稀土元素尚未受人为影响。

从河水元素的背景值水平看,汉水水系具有从长江河源水系向下游水系明显过渡的性质,由上游向下游水系河水背景值水平逐渐降低的元素,汉水水系这些元素含量明显下降,如 Sr、Sb 等。从长江河源水系向下游水系河水中元素背景值水平逐渐上升的,汉水水系明显上升,如 Ba、U、Ce 等。

表 13-3-6 汉水水系与国内外河流水中稀有稀土分散元素含量

 $\mu\text{g/L}$

元 素	Rb	Cs	Sr	Ba	Sb	Sc	U	Th	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
世界淡水	均 值	1	0.02	70	0.20	0.01	0.4	0.03	0.1	0.2	0.2	0.06	0.006	0.003	0.01	0.003
	范 围	0.6— 9.0	0.005— 1.0	3— 100	0.01— 5	0.004— 0.04	0.002— 5.0	0.007— 0.10	0.05— 0.80	0.1— 0.3	0.06— 0.25	0.01— 0.12	0.002— 0.009	0.001— 0.005	0.005— 0.20	0.002— 0.005
密西西比河	1.55	0.019	50	10	0.30	0.004	1.3		0.23				0.006			
罗讷河	1.2	0.043			4.90											
挪 威	1.1	0.098	18.5	12.1	0.23	0.015		0.08	0.33	0.17		0.12	0.009		0.20	
松花江	1.9	0.05	85	24	0.2	0.02	0.23	0.012	0.25	0.19	0.32	0.02	0.011	0.008	0.025	0.005
汉 水	背景值	原水	0.85	0.02	205	51	0.12	0.02	0.71	0.02	0.24	0.05	0.01	0.01	0.02	0.003
		滤水	0.67	0.01	195	43	0.08	0.002	0.64	0.004	0.12	0.02	0.01	0.004	0.01	0.002
对 照 区	原水	0.46	0.024	204	70	0.35	0.246	0.90	0.157	0.63	1.29	0.57	0.022	0.019	0.036	0.004
	滤水	0.35	0.007	200	52	0.18	0.002	0.85	0.003	0.10	0.20	0.13	0.005	0.004	0.009	0.002

表 13-3-7 汉水水系河流沉积物中元素背景值特征统计表

名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	32	对数正态	26.9	13.3	24.3	1.5	16.7	23.2	40.3	24.3	15.1-39.2
Pb	32	正态	20.7	7.0	18.9	1.5	11.5	21.7	28.5	20.7	11.7-29.8
Zn	32	对数正态	87.3	58.5	75.2	1.6	48.5	73.1	117.0	75.2	42.3-133.6
Cd	32	对数正态	0.51	0.21	0.47	1.46	0.26	0.49	0.74	0.47	0.29-0.77
Co	32	正态	15.5	4.4	14.7	1.3	11.3	14.6	23.1	15.5	9.8-21.2
Ni	32	对数正态	32.9	12.6	30.8	1.4	21.8	30.1	46.4	30.8	20.0-47.5
As	32	对数正态	7.00	3.15	6.29	1.57	3.33	6.20	11.14	6.29	3.52-11.23
Hg	32	对数正态	0.034	0.015	0.030	1.540	0.017	0.028	0.056	0.030	0.017-0.053
Cr	32	对数正态	99.6	45.5	81.4	1.5	56.1	79.3	144.0	81.4	47.9-138.4
V	31	对数正态	135	91	119	2	81	100	206	119	66-213
Mn	32	对数正态	973	466	873	2	537	826	1490	873	50.2-1517
Fe	32	对数正态	4.1	2.9	3.5	1.6	2.3	3.3	7.3	3.5	1.9-6.5
Ti	31	对数正态	4823	2426	4349	11	2676	3774	8255	4349	2501-7563
P	31	对数正态	814	356	765	1	503	762	1390	785	493-1249

表中*者单位为%含量。

表 13-3-8 汉水下游区河流细粒沉积物(<63 μ m)中元素背景值特征统计表

名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设			百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围	
Cu	10	对数正态	19.9	4.9	19.2	1.3	14.6	18.7	25.5	19.2	14.3—25.9	
Pb	10	对数正态	26.5	12.3	23.8	1.5	13.8	21.8	37.6	23.8	13.7—41.5	
Zn	10	对数正态	73.6	22.5	70.4	1.3	48.3	68.3	102.0	70.4	49.0—101.1	
Cd	10	对数正态	0.50	0.24	0.44	1.60	0.19	0.47	0.82	0.44	0.20—0.80	
Co	10	对数正态	15.6	3.60	15.1	1.2	12.7	14.1	22.0	15.1	11.5—19.8	
Ni	10	对数正态	27.7	7.5	26.8	1.3	20.7	25.9	38.0	26.8	19.6—36.6	
As	10	正态	7.22	3.04	6.48	1.49	3.61	7.05	10.0	7.22	3.30—11.10	
Hg	10	正态	0.039	0.008	0.038	1.240	0.026	0.041	0.046	0.039	0.028—0.049	
Cr	10	对数正态	79.9	37.1	73.9	1.4	53.0	69.2	100.0	73.9	46.3—118.0	
V	5	对数正态	129	62	117	2	77	96	237	117	68—201	
Mn	10	对数正态	1106	500	1027	1	741	891	1371	1027	642—1644	
Fe	10	对数正态	4.2	2.7	3.6	1.8	2.2	2.9	8.7	3.6	1.9—7.0	
Ti	5	对数正态	4922	2570	4414	2	3003	3257	9319	4414	2426—8034	
P	5	对数正态	779	177	741	1	421	950	963	741	541—1014	

* 单位为%含量。

二、河流沉积物元素背景值

表 13-3-7 和表 13-3-8 例出了汉江河流沉积物一些微量元素的背景值,从表中还可看出不论沉积物原样还是 $<63\mu\text{m}$ 的部分,它们都是对数正态或正态分布,标准偏差较小,表明这些元素在汉水水系的分散性不大,河系差异亦不很大。与长江全水系沉积物元素背景值比较,Mn、Cr、Cd 显著偏高,Fe 和 Ni 略偏高,其他元素与长江全水系沉积物元素背景值水平相当接近。与松花江水系河流沉积物比较,汉水沉积物中的 Cu、Pb、Ca、Ni、As、Cr、Mn 是偏高趋势,Zn、Co、Hg、Fe 呈偏低趋势,但差异不显著。与美国、欧洲及国内一些河流比较,从总体上看汉江水系河流沉积物微量元素的背景值水平没有明显的差异。表 13-3-7 与 13-3-8 比较,可以看出汉江水系河流沉积物 $<63\mu\text{m}$ 的部分中微量元素与原样的元素背景值没有明显的不同,部分元素,如 Mn、Co、Cr、Ti 略偏低,这种现象表明,元素在细微粒部分没有明显的累积,也有可能汉江水系主要流经松散沉积物地区,河流沉积物的组成主要为细微粒径的部分。

表 13-3-9 列出的汉江水系沉积物稀有稀土及放射性元素背景值,其中 Rb 和 Lu 显著偏低,Sr、Ba、Sb、Tb 显著偏高,其显著差异的原因有待进一步调研。

表 13-3-9 汉水与其他河流沉积物中稀有稀土分散元素背景值比较

mg/kg

背景值 元 素	汉 水	松 花 江	世界平均
La	42	43	41
Ce	84	74	83
Nb	40	49	32
Sm	8.1	5.5	8.4
Eu	1.8	1.3	1.2
Tb	1.2	0.96	1.0
Yb	3.1	2.9	3.6
Lu	0.40	0.50	0.70
Rb	78	101	135
Cs	4.0	5.5	4.2
Sr	638	63	320
Ba	833	705	460
Sb	2.0	0.93	0.10
Sc	14.2	10.0	10.0
U	3.4	3.6	3.1
Th	14	11.6	9.6

第十四章 洞庭湖水系水体中的化学元素

第一节 洞庭湖水系的环境特征

一、水系的组成

洞庭湖水系有湘江、资水、沅水、澧水四大水系组成,其长度和流域面积列在表 14-1-1。此外还有汨罗江等短小支流注入洞庭湖。

洞庭湖水系的流域面积为 24.7 万 km^2 , 94% 以上的流域面积在湖南境内,南以五岭山脉与珠江流域分界,东以幕阜山脉与鄱阳湖水系分界,西以川黔间的丛山与乌江及清江分界,北临长江。

表 14-1-1 洞庭湖水系概况

区 域	河流长度(km)		流域面积(km^2)		
	全 长	湘 境	全 部	湘 境	占百分率(%)
湘 江	856	670	94660	85583	90.41
资 水	653	653	28112	26738	95.01
沅 水	1033	568	89163	51066	57.27
澧 水	388	388	18496	15505	83.83
四水小计	2930	2273	230461	178692	77.54
其它入湖河流			13722	11091	80.83
洞庭湖区的河流			18640	15060	80.79
总 计			262823	204843	77.94

二、气候特征

洞庭湖水系属中亚热带季风气候区,具湿热气候特征,热量丰富,冷热分明,雨量充沛。平均气温 $17-18^{\circ}\text{C}$,区域变差低于 2°C ,全年大于 10°C 的活动积温大部分地区在 $5000-5800^{\circ}\text{C}$,全年均气温 22°C 以上的有 5 个月。

降水量区域变化于 $1300-1700$ 毫米,4—9 月占全年降水量的 60%—70% 以上。

洞庭湖水系具夏季高温湿润、冬季较冷的气候,活跃的生物地球化学因素,使地表物质、矿物岩石强烈的风化,风化壳的厚度达数十至数百米,地表淋溶强烈,缺乏盐基,土壤普遍出现脱硅富铝化,河水矿化度低。

三、地质因素

洞庭湖水系的流域面积约有 92% 是由不同地质时期的沉积岩和变质岩组成。其余约 8% 的面积以火成岩分布为主。

沉积岩中,又以石灰岩(碳酸盐岩石)分布为主,大约占流域面积 25%,火成岩以花岗岩为主。仅有零星分布的玄武岩。火成岩只占全流域面积的 8% 左右。其他分布较广的依次是砂岩、砾岩、板岩、页岩等沉积变质岩类,占总面积 40% 左右。

花岗岩主要出露于湘江流域的东部地区,石灰岩广布于澧水、沅水流域,湘江和资水中上游主要分布石灰岩。

洞庭湖流域矿产资源十分丰富,已发现 99 种矿,锑、钨、铋储量均占全国第一,铅居第三,锌、汞居第五位。

铜矿、铅锌矿、钨矿、锡矿主要分布在湘江流域湘南和湘西南一带。镍汞矿分布在湘北武陵山脉和澧水流域。汞矿分布在资、沅水流域,形成汞矿带,锑矿分布在资水流域。

四、地形地貌特征

洞庭湖水系东、西、南三面高,中部和北部低,形成马蹄形盆地。西北部武陵山脉,海拔 1000m 以上,西部有云贵高原,海拔 500—1000m;中部有雪峰山脉、衡山山脉,海拔 500m;东面有幕阜山脉、九岭山脉、武功山脉、罗霄山脉,海拔均在 1000m 以上;南部的南岭山脉,海拔在 1000m 以上。流域中部为丘陵盆地和河谷盆地,北部为洞庭湖沿岸冲积平原,海拔在 50m 以下。

五、水文特征

洞庭湖水系包括湘、资、沅、澧四水和洞庭湖。

每条河流的水文特征如表 13-1-2 所示。

洞庭湖水系流域面积为 248303km²。其中湘江流域面积占 38%;沅江流域占 36%;资水流域占 11%;澧水流域占 7%;湖区各流域占 7%。

洞庭湖水系多年平均总径流量为 1675.7 亿 m³(1989 年为 2080 亿 m³)。其中沅江 662.5 亿 m³,占 39%;湘江占 633.7 亿 m³,占 38%;资水 231.4 亿 m³,占 14%;澧水 148.1 亿 m³,占 10%。

洞庭湖水系的河水补给主要靠降水形成的地表径流和地下水。一般地下水补给量占全年径流量 17%—18%。有的干、支流由于上游分布着喀斯特地形,或有含水丰富的地表层,地下水供给相当丰富,补给量可占 25%左右。

洞庭湖水系属我国含沙量低的河流,湘江年平均含沙量为 0.102—0.170kg/m³,资水为 0.131—0.193kg/m³,沅江为 0.196—0.264kg/m³,澧水为 0.36—0.43kg/m³。

洞庭湖水系河水径流量年内和年际变化都较大,最大径流量可达平均径流量的 1.5 倍,最小仅为年均径流量的 0.4 倍。受季风降水影响,湘江和资水 4—6 月、沅水和澧水 5—7 月为丰水期,占全年径流量的 50%以上;11 月至翌年 2 月为枯水期,占全年径流量的 15%以下。

表 14-1-2 洞庭湖水系河流流量特征

河流名称	多年平均流量(m ³ /s)		年径流量(亿 m ³)	年径流深(mm)
湘 江	2010		633.7	776.2
	最大	3010	949.1	1162.4
	最小	890	280.6	343.7
	1983 年	2140	675	937.8

续表

河流名称	多年平均流量(m^3/s)		年径流量(亿 m^3)	年径流深(mm)
资水	743		231.4	878.5
	最大	1180	372.3	1394.2
	最小	429	135.4	507.0
沅水	2100		662.5	779.3
	最大	3270	1030	1219.1
	最小	1490	469.9	556.2
澧水	469		148.1	844.0
	最大	693	219.0	1249.1
	最小	328	104.3	594.3
洞庭湖 (城陵矶)	1140		3592	

六、土壤与植被

洞庭湖水系主要土壤类型是红壤、黄壤、山地黄棕壤、石灰土、紫色土、水稻土、山地草甸土等,以红壤分布面积广,其次是黄壤。

根据土壤发育和地方特点,洞庭湖水系分5个土壤区。

1. 湘北滨湖平原盆地冲积上区;
2. 湘中丘陵盆地红壤、紫色土区;
3. 黔东、黔东南、湘西山地丘陵黄壤、紫色土、石灰土区;
4. 湘东丘陵山地、湘南山岭山地红壤区;
5. 桂东北红壤和黄壤区。

洞庭湖水系属亚热带常绿阔叶林区。其中,西北部及其他海拔较高地区,属落叶常绿混交林区;局部地区高山上部有华南—南岭区系的高山针叶林混生于阔叶树零星分布。

第二节 洞庭湖水系水的理化特征

洞庭湖水系河水水化学类型以重碳酸盐类型占优势。大部分为重碳酸盐钙型和重碳酸钠型水。也出现少量重碳酸镁型水。洞庭湖水系河水水质以碳酸盐体系作为基本的调节因素,制约着水质的化学过程、理化性状和化学物质与元素的天然浓度。

一、pH 值

洞庭湖水系河水的 pH 值变化较大,波动于 6.3—9.1,但大多数 pH 在 8.0 左右,呈微碱性。洞庭湖水系河水的 pH 值与其化学类型密切相关。重碳酸钙型水的 pH 值一般在 8.0 以上,重碳酸钠型水的 pH 一般在 7.5 左右,重碳酸镁型水 pH 一般在 7.0 左右。重碳酸钙型水分布范围最多。重碳酸钠型水主要分布在流经花岗岩板岩地段的河流河段,分布散,范围小。这种类型的水,湘江水系分布范围较多。重碳酸镁型水分布范围甚小,仅见于资水上游。

pH 值是河水的最主要地球化学指标之一,是影响河水中元素迁移和沉淀的最主要因素之一。在石灰岩地区主要是重碳酸钙型和矿化度较高的河水,其中重金属元素将发生更多的沉淀,除碱金属和碱土金属外,其他过渡元素和重金属的氢氧化物在洞庭湖水系大部分河水的 pH 值范围内易于发生沉淀。金属离子更多的以悬浮态迁移和络离子迁移,而后者又易被粘土矿物和有机质碎片(主要是腐殖质)等所吸附或共沉淀而进入沉积物中。

二、Eh 值

洞庭湖水系河水的 Eh 值范围波动在 50—245mV,大多在 150—200mV,均值在 127mV。由此可见,洞庭湖水系河水的氧化还原电位势较高,表示水中为氧化环境。河水为微偏碱性,这种水具有一定的氧化能力,使河水中的各种元素以转变为高价态的优势场为其特征。按广义酸碱理论,高价态的离子是典型的“硬酸”,依照“硬亲硬,软亲软”的原则,其对含氧基团(OH^- 、 CO_3^{2-} 等)的“硬碱”配位基具有强的亲和力,形成金属碳酸盐、氢氧化物等沉淀。同时,还可促进粘土矿物的吸附或沉淀,从而降低水中微量金属元素的含量,使河水中的微量金属浓度较低。

三、溶解氧

洞庭湖水系河水的溶解氧含量范围在 7.5—13.6mg/L,平均在 8.5—9.7mg/L,其饱和度为 70%—115%。这些数值和 Eh 值都表明洞庭湖水系河水含有丰富的溶解氧,水环境中溶解氧复氧能力很强,有机和其他耗氧物污染很轻,水生生态环境条件良好。

四、矿化度

洞庭湖水系河水矿化度变化幅度在 19—326mg/L,按 O. A. 阿列金的划分类型的标准,大部分为低矿化度水(总盐量在 200mg/L 以下),部分为中等矿化度水(含盐量 200—500mg/L)。洞庭湖水系河水的矿化度变化较大,根据洞庭湖水系的实际状况,可细分为极低矿化度水(总盐量 $<50\text{mg/L}$),主要分布在洞庭湖水系的东南隅东北部和西南隅花岗岩和沙岩地段上;甚低矿化水(总盐量 50—100mg/L)主要分布在湘江流域和澧水部分地区;中低矿化水(总盐量在 100—150mg/L)主要分布在湘江与沅江中上游广大地区,这种矿化水的河水分布面积最广;较高矿化水(总盐量 $>150\text{mg/L}$)分布在湘江流域的中南部,沅水流域的中下游。洞庭湖水系河水的矿化度地域分布同岩石类型与降水量,尤其同径流深的分布关系密切,径流深的花岗岩区和沙岩区的河水矿化度低,径流深偏低的石灰岩地域河水矿化度一般在 150mg/L 以上。

五、电导率

洞庭湖水系河水的电导率在 0.1—1.1S/cm 之间。电导率和矿化度有显著的相关性,其相关参数和方程为 $n=95, r=0.87, y(\text{矿化度})=30.23+173x(\text{电导率})$,它间接反映了洞庭湖水系河水的离子总量的变化。

六、总硬度

洞庭湖水系河水的总硬度变化较大,在 1.1—9.5 度(德)之间,但大部分河水总硬度在 4—5 左右,属软水型水质。总硬度的变化和矿化度密切相关,主要受钙离子浓度的影响。因此,和河水的化学类型有关。在地区分布上砂岩、花岗岩区总硬度低,石灰岩地区较高。在洞庭湖四水中,澧水的硬度最高,大部分在 5—6 度左右,甚至更高,沅水较低,大部分在 4—5 度以下。

七、主要离子

Ca^{2+} : 洞庭湖水系河水中钙离子浓度变化较大, 在 3.8—40mg/L 之间, 平均在 23.4—31.1mg/L。其中湘江最高, 为 31.1mg/L, 沅江最低, 为 23.4mg/L, 资水为 24.3mg/L, 澧水为 29.5mg/L。洞庭湖水系流域地区位于亚热带湿润地区, 降水充分。钙是主要阳离子, 反映了流域岩性和区域气候因素的影响。

$\text{Na}^+ + \text{K}^+$: 平均在 0.46—0.89mg/L, 沅水较低, 为 0.46mg/L, 其他三河都在 0.8mg/L 左右。 Na^+ 的浓度高于 K^+ , 沉积岩中 K 高于 Na, 但含 K 的矿物抵抗风化能力强, K 不易从硅酸盐矿物里释放出来, 即使释放出 K 来, 也趋向于迅速地结合在风化的次生矿物里, 这也是水中 Na^+ 高于 K^+ 的原因。

HCO_3^- ; HCO_3^- 是洞庭湖水系河水中的主要阴离子, 占阴离子总量 90% 以上, 但浓度变化甚大, 变化在 12.8mg/L 至 200mg/L, 大多在 60—120mg/L。湘江水系河水均值在 87.4mg/L ($2x=47.8$), 其变化随总盐量增加而增加, 并呈显著线性相关。

八、化学耗氧量

洞庭湖水系河水 COD 的浓度, 平均为 1.54mg/L, 变幅甚小。湘江最大, 为 1.67mg/L, 沅水为 1.45mg/L, 资水为 1.60mg/L 和澧水为 1.56mg/L, 都属 COD 低的河流。联系到河水中的溶解氧丰富, 表明洞庭湖水系河水中的有机质含量甚低。

第三节 洞庭湖水系水体元素含量与背景值

洞庭湖水系有湘江、资水、沅水和澧水四大河流域组成, 流域面积 24.7 万 km^2 , 年总径流量为 1675.7 亿 m^3 , 94% 的流域面积在湖南省境内。其中湘江长 856km, 流域面积 94660 km^2 , 年总径流量 633.7 亿 m^3 ; 资水长 653km, 流域面积 28142 km^2 , 年总径流量 231.4 亿 m^3 ; 沅水长 1033km, 流域面积 89163 km^2 , 年总径流量 662.5 亿 m^3 ; 澧水长 388km, 流域面积 18496 km^2 , 年总径流量 148.1 亿 m^3 。洞庭湖流域属中亚热带季风气候, 具湿热气候, $>10^\circ\text{C}$ 的积温 5000—5800 $^\circ\text{C}$, 年均降水量 1300—1700mm, 流域面积的 92% 由沉积岩和变质岩组成, 其中碳酸盐岩占 25%, 其余为砂岩、砾岩、页岩和变质岩。矿产蕴藏丰富, Sb、Bi、W、Pb、Zn、Hg、Ni、Cu 矿都居重要地位。洞庭湖水系属我国含沙量低的河流, 湘江年均含沙量 0.102—0.170 kg/m^3 , 澧水为 0.36—0.43 kg/m^3 , 资水、沅水介于湘江、澧水之间。

洞庭湖水系河水大部为低矿化水, 矿化度在 200mg/L 以下, 矿化度变幅在 19—326mg/L, pH 在 6.3—9.1, 多在 8.0 左右, 呈微碱性, 以重碳酸钙和重碳酸钠型水为主。硬度多在 4—5 度(德), 属软水。洞庭湖水系河水以碳酸盐体系作为基本调节因素, 制约着水中元素的天然浓度和赋存形态。

一、洞庭湖水系河水元素背景值

河水的元素背景值列于表 14-3-1, 通过比较可以看出洞庭湖水系河水中元素都为对数正态分布, 表明元素在河水中的分布是相对均匀的规则分布。

河水原水中元素的背景值水平大部分低于长江水系河水中元素背景值的均值水平, 属国内外有关河水背景值低水平范围; 但 Pb 和 Hg 呈高背景值水平。

稀有稀土和放射性元素 Rb、Cs、Ba、Ce、La、Nd 则趋向为高背景值水平, 而 Se 则趋向低背景值。但是洞庭湖水系河水中元素的背景值的含量水平同其地球化学丰度基本一致。

表 14.3-1 洞庭湖水系河水背景值特征统计表

元 素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	228	对数正态	3.575	4.607	2.942	1.821	0.505	1.910	11.150	2.942	22.90—0.16
Pb	232	对数正态	1.802	1.943	1.397	2.139	0.250	1.000	4.600	1.397	14.38—0.10
Zn	229	对数正态	7.258	4.824	6.887	1.325	3.383	6.000	13.000	6.887	29.00—1.00
Cd	232	对数正态	0.107	0.126	0.027	5.778	0.006	0.045	0.310	0.027	0.53—0.00
Cr	229	对数正态	1.673	1.181	1.407	1.869	0.515	1.440	3.105	1.407	6.70—0.09
Ni	231	对数正态	5.509	4.043	6.316	1.025	1.140	4.000	11.000	6.316	21.00—0.17
Co	233	对数正态	0.452	0.266	0.293	2.594	0.200	0.400	0.800	0.293	1.80—0.02
Mo	64	对数正态	0.499	0.440	0.291	2.843	0.150	0.320	1.275	0.291	1.74—0.06
V	28	对数正态	1.591	1.485	1.347	2.304	0.155	0.880	3.980	1.347	4.20—0.05
As	226	对数正态	1.426	0.891	1.190	1.866	0.600	1.200	2.700	1.190	5.00—0.05
Se	88	对数正态	0.170	0.157	0.064	4.074	0.042	0.110	0.415	0.110	0.75—0.01
Hg	226	对数正态	0.008	0.010	0.001	9.478	0.001	0.004	0.019	0.001	0.05—0.00
Fe	229	对数正态	276.476	552.247	241.104	1.085	36.500	110.000	551.350	241.104	3780.00—7.00
Mn	231	对数正态	20.287	29.784	18.858	1.307	3.065	10.000	39.000	18.858	210.00—0.54
F	208	对数正态	91.462	48.566	103.658	1.100	36.500	88.000	156.000	103.658	310.00—0.10
P	112	对数正态	0.018	0.028	0.002	8.287	0.003	0.008	0.050	0.002	0.13—0.00
Ca	215	对数正态	26.243	17.642	29.473	1.225	4.295	26.290	46.535	29.473	81.76—0.41
Mg	214	对数正态	4.739	3.849	4.530	1.571	1.035	3.410	10.480	4.530	19.03—0.17
Rb	44	对数正态	2.264	1.700	1.942	1.713	0.750	1.700	5.100	1.942	7.30—0.70
Cs	45	对数正态	0.069	0.059	0.019	4.964	0.020	0.040	0.160	0.019	0.25—0.02

续表

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Sr	42	对数正态	82.524	83.177	85.470	1.126	18.500	55.000	189.500	85.470	350.00—5.00
Ba	42	对数正态	21.762	13.636	21.584	1.190	8.000	18.500	40.500	21.584	58.00—5.00
Sb	43	对数正态	0.344	0.288	0.181	3.092	0.100	0.800	0.200	0.181	1.30—0.10
Sc	43	对数正态	0.005	0.002	0.001	8.136	0.003	0.004	0.007	0.001	0.01—0.00
U	39	对数正态	0.235	0.170	0.109	3.782	0.030	0.210	0.500	0.109	0.59—0.02
Th	38	对数正态	0.008	0.008	0.001	8.610	0.003	0.005	0.013	0.001	0.05—0.00
La	42	对数正态	0.092	0.147	0.019	5.477	0.020	0.040	0.200	0.019	0.66—0.01
Ce	13	对数正态	0.111	0.037	0.051	3.556	0.055	0.100	0.145	0.051	0.18—0.03
Nd	29	对数正态	0.488	0.323	0.316	2.640	0.200	0.400	0.900	0.316	1.50—0.04
Sm	18	对数正态	0.011	0.009	0.001	8.861	0.002	0.006	0.025	0.001	0.03—0.00
Eu	37	对数正态	0.003	0.002	0.000	9.864	0.001	0.003	0.007	0.000	0.01—0.00
Tb	10	对数正态	0.004	0.002	0.000	9.017	0.001	0.004	0.004	0.000	0.01—0.00
Yb	26	对数正态	0.011	0.015	0.001	8.364	0.004	0.007	0.019	0.001	0.07—0.00
Lu	29	对数正态	0.003	0.002	0.000	10.232	0.002	0.003	0.006	0.000	0.01—0.00
Na	42	对数正态	2.048	0.965	1.845	1.597	1.000	1.850	3.000	1.845	5.00—0.70
Hf	29	对数正态	0.005	0.002	0.001	8.136	0.003	—3.000	8.500	0.001	0.00—0.01

二、洞庭湖水系河水过滤水中元素的背景值

表 14-3-2 列出了洞庭湖水系部分元素的背景值,其特征:

1. 所有元素都呈对数正态分布,但是变差较大,这同洞庭湖水系的地质因素和气候条件变化较大有关,使洞庭湖水系河水中以溶解态存在的化学元素含量差异较大。

2. 多数元素溶解态背景值水平较长江水系大部分河流高,像 Fe、Mn、Cr 明显呈高背景值水平,这同洞庭湖水系的湿热气候,强烈的化学风化,溶释作用较强,以溶解态释放的化学元素增加有关。与洞庭湖水系河水元素总量比,以溶解态存在的元素量有明显的增加,部分元素以溶解态存在的量超过 50%。

三、沉积物元素背景值

洞庭湖水系河流沉积物元素背景值,其统计特征值表明(表 14-3-3):

(1) 尽管元素测定的样本数差异很大,但几乎所有元素都为对数正态分布,且标准偏差较小(表 14-3-2),表明洞庭湖水系河流沉积物元素的天然浓度变化较小,分布具相对稳定性。

(2) 同国内外及长江水系的河流沉积物微量元素的天然浓度和均值比较,Hg、Cd、As、Zn、Pb、Cu 及许多稀有、稀土和放射性元素的背景值处于略高背景值水平,这同洞庭湖水系有色金属矿藏分布较广,进入河流水体中的金属,在洞庭湖水偏碱性的水化学条件下,很易进入沉积物并在沉积物中富积有关。

(3) 洞庭湖水系河流沉积物中元素的背景值和它的含量水平,总的看同其地球化学丰度的变异顺序基本一致。

湘江、资水、沅水、澧水是洞庭湖水系的四大支流水系,主要流经湖南省。

(1) 湘江发源于广西灵川县海洋山,在湖南湘阴县注入洞庭湖,流经地区地质条件复杂,东部为变质岩系,南部以石炭纪石灰岩分布最广,中下游第三纪红色岩系分布面积最大。

湘江水系河水的背景值,大多数元素为对数正态分布,与洞庭湖水系河水元素背景值比较,大部分元素的背景值趋向偏低或相当,但是 Cu、Co、Ca 等元素明显偏高,而 Rb、Cs 两元素较洞庭湖水系河水这两个元素背景值高数倍,V、Ba 偏低,Sr 低数倍。与资水、沅水和澧水比较,除 Cs、Sr 特高外,La 和 F 也明显偏高(表 14-3-4)。

湘江河水溶解态(过滤水)元素的背景值,大多数元素都为对数正态分布,与洞庭湖水系河水同一元素溶解态背景值比较,除 Mo 明显偏高,Cu、Pb、Cr、V 偏低外,Zn、Cd、Ni、Co、As、Se、Fe、Mn 等元素的背景值与洞庭湖水系河水溶解态这些元素的背景值没有明显的差异(表 14-3-5)。

湘江水系河流沉积物元素背景值,所有元素均为对数正态分布,且偏差较小。同洞庭湖水系河流沉积物同一元素比较,湘江水系河流沉积物元素背景值 Pb、As、V、Fe、Rb、Sb、Ce、Sm 呈现为高背景值,Th 显著偏高。而 Ni、Se、Hg、Mn、Ca、Ba、Sc 呈偏低背景值。其他元素的背景值大致与洞庭湖水系沉积物元素的背景值相近,没有明显的差异(表 14-3-6)。

(2) 资水水系水体元素背景值

资水发源于湖南省城步县黄马界,干流长 653km,流域面积 28142km²,流域上中游流经地区由石灰岩、砂岩及各类泥质矿物为主的岩石组成。中游还广泛分布变质砂岩、页岩、

表 14-3-2 洞庭湖水系河水过滤水背景值特征统计表

元素	样本数	分布类型	正态分布假说		对数正态分布假说		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	209	对数正态	1.518	1.514	1.194	2.135	0.285	1.170	2.800	1.194	9.20—0.05
Pb	195	对数正态	0.766	0.725	0.495	2.552	0.190	0.490	2.000	0.495	3.30—0.06
Zn	221	对数正态	4.772	2.860	4.499	1.351	2.755	4.000	7.040	4.499	32.00—2.00
Cd	214	对数正态	0.060	0.079	0.011	7.025	0.003	0.021	0.190	0.011	0.34—0.00
Cr	206	对数正态	0.876	0.494	0.670	2.138	0.340	0.765	1.635	0.670	2.05—0.11
Ni	205	对数正态	3.621	2.360	3.768	1.678	0.625	4.000	8.000	3.768	10.00—0.10
Co	222	对数正态	0.337	0.170	0.204	2.768	0.100	0.400	0.600	0.204	0.80—0.10
V	25	对数正态	0.553	0.479	0.339	2.929	0.105	0.310	1.195	0.339	1.63—0.03
As	208	对数正态	1.072	0.635	0.854	1.984	0.400	0.900	1.850	0.854	3.20—0.10
Fe	219	对数正态	45.579	38.516	45.922	1.153	12.000	34.000	96.900	45.922	200.00—2.00
Mn	214	对数正态	5.826	6.105	5.223	1.493	1.700	3.530	12.000	5.223	40.00—0.40

μg/L

表 14-3-3 洞庭湖水系沉积物背景值特征统计表

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	183	对数正态	20.458	8.832	20.575	1.174	10.000	20.000	30.050	20.575	50.00—3.20
Pb	180	对数正态	24.857	11.183	25.309	1.160	13.300	23.415	40.000	25.309	76.10—0.50
Zn	181	对数正态	87.414	34.507	92.812	1.086	43.250	83.300	126.950	92.812	206.20—0.50
Cd	182	对数正态	0.474	0.347	0.290	2.809	0.120	0.385	0.855	0.290	1.67—0.03
Cr	183	对数正态	43.735	21.490	45.080	1.131	13.800	44.000	72.400	45.080	102.00—3.00
Ni	183	对数正态	22.090	11.227	23.788	1.204	8.050	21.100	36.685	23.788	58.00—0.10
Co	177	对数正态	8.466	3.696	8.414	1.293	3.450	8.330	13.330	8.414	16.67—1.00
V	9	对数正态	48.824	42.385	50.515	1.157	5.510	25.760	105.400	50.515	106.00—11.02
As	182	对数正态	16.619	11.665	16.311	1.232	6.550	12.550	36.100	16.311	54.60—1.10
Se	64	偏态	0.191	0.123	0.086	3.649	0.043	0.170	0.340	0.170	0.58—0.02
Hg	166	对数正态	0.155	0.852	0.027	5.095	0.016	0.065	0.186	0.027	11.00—0.00
Fe	184	偏态	2.982	1.206	2.802	1.463	1.670	2.765	4.675	2.765	6.44—0.51
Mn	183	偏态	520.420	270.784	530.778	1.035	200.000	500.000	800.000	500.000	1575.00—49.50
Ca	9	对数正态	2.171	2.322	1.835	1.915	0.187	1.670	5.257	1.835	8.00—0.37
Mg	9	对数正态	0.696	0.325	0.537	2.105	0.158	0.527	1.071	0.537	1.12—0.32
Al	8	对数正态	10.396	4.992	10.311	1.246	2.698	8.713	16.215	10.311	16.26—5.40
Ti	8	对数正态	4893.000	3636.469	4950.289	1.012	829.000	3415.500	9695.500	4950.289	12960.00—1658.00
Rb	39	对数正态	160.333	89.150	159.440	1.059	74.000	133.000	285.000	159.440	452.00—69.00
Cs	38	对数正态	8.295	4.574	8.334	1.323	4.250	7.200	13.800	8.334	20.90—0.50
Sr	15	对数正态	49.467	30.907	51.077	1.132	12.500	55.000	81.000	51.077	124.00—12.00

续表

元 素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Ba	40	对数正态	553.075	194.166	565.096	1.029	330.000	545.000	800.000	565.096	950.00—100.00
Sb	39	对数正态	2.049	2.246	1.620	1.842	0.550	1.400	4.400	1.620	11.00—0.30
Sc	40	对数正态	9.452	3.674	9.480	1.265	4.075	10.100	13.300	9.480	18.40—1.70
U	39	对数正态	4.364	2.559	4.099	1.390	2.250	3.700	7.050	4.099	15.80—1.40
Th	35	对数正态	11.354	3.951	11.219	1.195	7.450	11.000	16.100	11.219	20.00—4.10
La	40	对数正态	42.245	19.977	43.287	1.126	16.850	40.900	66.350	43.287	96.00—4.69
Ce	39	对数正态	69.462	35.770	69.313	1.089	28.000	62.000	127.000	69.313	186.00—20.00
Nd	39	对数正态	39.487	16.631	39.598	1.113	19.000	37.000	63.000	39.598	88.00—11.00
Sm	38	对数正态	11.637	9.881	12.588	1.363	3.250	7.050	28.450	12.588	34.10—0.20
Eu	40	对数正态	1.020	0.396	0.857	1.840	0.415	1.045	1.450	0.857	1.94—0.36
Tb	38	对数正态	0.707	0.235	0.571	1.949	0.300	0.715	1.045	0.571	1.18—0.27
Yb	38	对数正态	2.488	1.113	2.306	1.569	1.000	2.350	4.100	2.306	5.10—0.34
Lu	39	对数正态	0.418	0.173	0.292	2.348	0.190	0.390	0.695	0.292	0.91—0.13
Na	38	对数正态	0.422	0.219	0.273	2.635	0.100	0.380	0.745	0.273	1.00—0.10
Hf	38	对数正态	8.505	6.405	8.040	1.296	4.000	6.800	14.400	8.040	38.10—2.80

* 单位:Fe、Ca、Mg、Al以“%”计,其他元素为“mg/kg”计。

表 14-3-4 洞庭湖水系湘江江水背景值特征统计表

表 14-3-4 洞庭湖水系湘江水质背景值特征统计表												μg/L
元 素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征		
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围	
Cu	70	对数正态	2.237	1.792	1.944	1.853	0.475	1.850	4.300	1.944	8.60—0.25	
Pb	72	对数正态	1.488	1.466	1.131	2.192	0.235	0.780	3.250	1.131	6.30—0.12	
Zn	71	对数正态	5.799	2.437	5.598	1.290	4.000	5.000	9.000	5.598	14.00—2.00	
Cd	72	正态	0.104	0.108	0.029	5.683	0.007	0.051	0.260	0.104	0.33—0.00	
Cr	72	对数正态	1.421	1.002	1.167	1.932	0.500	1.105	2.660	1.167	4.99—0.09	
Ni	71	正态	5.633	3.060	5.888	1.468	2.000	6.000	9.500	5.633	14.00—0.17	
Co	72	正态	0.518	0.268	0.357	2.410	0.200	0.450	0.800	0.518	1.21—0.10	
Mo	17	对数正态	0.348	0.150	0.224	2.617	0.125	0.330	0.545	0.224	0.63—0.10	
V	8	对数正态	0.725	0.764	0.500	2.959	0.025	0.420	1.895	0.500	2.10—0.05	
As	70	对数正态	1.141	0.534	0.960	1.907	0.600	1.000	1.815	1.000	2.80—0.05	
Se	40	对数正态	0.144	0.140	0.051	4.200	0.037	0.089	0.363	0.051	0.58—0.02	
Hg	69	对数正态	0.005	0.005	0.005	10.003	0.001	0.004	0.013	0.004	0.03—0.00	
Fe	72	对数正态	279.701	523.455	238.887	1.074	50.000	124.100	512.550	238.887	3780.00—40.00	
Mn	72	对数正态	16.324	14.492	16.073	1.277	4.000	11.000	33.500	16.073	70.00—2.00	
F	66	对数正态	98.712	61.641	113.430	1.106	23.500	98.000	180.000	98.000	310.00—4.00	
Ca	69	对数正态	28.930	22.711	34.521	1.242	2.625	31.880	58.465	31.880	99.44—0.82	
Mg	67	对数正态	3.287	2.234	3.162	1.667	0.710	2.940	7.040	2.940	8.49—0.17	
Rb	11	对数正态	3.291	2.031	3.157	1.605	0.700	2.900	5.300	3.157	7.30—0.70	
Cs	12	对数正态	0.104	0.069	0.037	4.274	0.035	0.075	0.195	0.037	0.22—0.03	

续表

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Sr	11	对数正态	40.727	16.007	41.131	1.111	19.000	39.000	55.500	41.131	67.00—17.00
Ba	11	对数正态	16.454	8.756	16.652	1.213	5.500	16.000	22.000	16.652	36.00—5.00
Sb	12	对数正态	0.458	0.392	0.265	2.943	0.100	0.275	0.900	0.265	1.30—0.10
Sc	12	对数正态	0.006	0.002	0.001	8.214	0.003	3.000	8.500	0.001	0.00—0.01
U	12	对数正态	0.374	0.278	0.223	3.404	0.030	0.370	0.770	0.223	0.79—0.03
Th	11	对数正态	0.006	0.003	0.001	8.214	0.003	0.005	0.007	0.001	0.01—0.00
La	12	对数正态	0.077	0.059	0.023	4.796	0.025	0.055	0.150	0.023	0.20—0.02
Nd	12	正态	0.578	0.415	0.398	2.770	0.120	0.455	0.950	0.578	1.50—0.04
Sm	12	对数正态	0.017	0.028	0.002	8.676	0.003	0.006	0.025	0.002	0.10—0.00
Eu	12	对数正态	0.005	0.004	0.000	9.614	0.001	0.005	0.008	0.000	0.01—0.00
Yb	11	对数正态	0.010	0.013	0.001	8.546	0.004	0.007	0.009	0.001	0.05—0.00
Lu	11	对数正态	0.004	0.002	0.000	9.017	0.002	0.003	0.005	0.003	0.01—0.00
Na	9	对数正态	3.000	1.118	2.862	1.464	0.500	3.000	4.500	2.862	5.00—1.00
Hf	12	对数正态	0.005	0.002	0.001	8.136	0.003	0.004	0.008	0.001	0.01—0.00

表 14-3-5 洞庭湖水系湘江过滤水背景值特征统计表 μg/L

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	69	对数正态	1.273	1.060	1.020	2.270	0.180	1.000	2.400	1.000	6.40—0.08
Pb	68	对数正态	0.832	0.849	0.531	2.669	0.120	0.435	2.200	0.435	3.10—0.06
Zn	70	对数正态	4.394	1.408	4.247	1.295	3.000	4.000	6.000	4.247	10.00—2.00
Cd	71	对数正态	0.070	0.083	0.014	6.858	0.004	0.019	0.200	0.014	0.28—0.00
Cr	67	对数正态	0.726	0.363	0.555	2.086	0.360	0.610	1.275	0.555	1.75—0.21
Ni	69	正态	3.963	2.328	4.365	1.660	0.365	4.000	7.500	3.963	8.00—0.10
Co	69	对数正态	0.361	0.154	0.238	2.525	0.200	0.400	0.510	0.400	0.80—0.10
V	8	对数正态	0.335	0.293	0.163	3.613	0.015	0.175	0.825	0.163	1.25—0.03
As	64	对数正态	0.979	0.542	0.775	2.000	0.400	0.850	1.700	0.775	2.60—0.23
Hg	70	对数正态	0.007	0.009	0.004	9.614	0.002	0.004	0.014	0.004	0.04—0.00
Fe	68	对数正态	38.662	22.029	38.545	1.131	20.000	33.000	71.000	33.000	110.00—8.00
Mn	70	对数正态	5.701	9.788	5.028	1.459	2.000	4.000	10.000	4.000	52.00—1.00

表 14-3-6 洞庭湖水系湘江沉积物背景值特征统计表

表 14-3-6 洞庭湖水系湘江沉积物背景值特征统计表											mg/kg
元 素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	58	偏态	17.695	8.053	17.711	1.188	7.400	16.700	29.200	16.700	38.20—3.20
Pb	57	偏态	30.079	19.045	29.488	1.147	15.000	25.000	51.200	25.000	100.90—9.50
Zn	57	对数正态	80.149	39.178	80.009	1.080	39.750	75.000	118.050	80.009	226.50—20.20
Cd	55	正态	0.468	0.280	0.296	2.765	0.105	0.500	0.750	0.468	1.12—0.06
Cr	58	正态	37.533	19.937	39.190	1.150	11.000	36.000	59.500	37.533	92.00—3.00
Ni	55	正态	18.156	8.216	18.401	1.194	7.550	17.500	29.050	18.156	40.40—2.50
Co	58	偏态	8.328	4.427	8.252	1.318	3.050	8.100	13.900	8.100	21.20—1.00
V	3	对数正态	49.833	48.932	63.098	1.170	5.510	33.680	69.240	63.098	104.80—11.02
As	58	对数正态	23.836	14.451	23.768	1.185	7.900	19.950	45.550	23.768	54.60—6.30
Se	26	对数正态	0.138	0.077	0.056	3.91	0.038	0.130	0.245	0.056	0.31—0.02
Hg	54	对数正态	0.062	0.043	0.016	5.27	0.013	0.050	0.123	0.016	0.17—0.01
Fe	58	正态	3.366	1.438	3.178	1.453	1.495	3.110	5.365	3.366	6.44—0.75
Mn	57	对数正态	442.925	284.403	447.735	1.040	125.000	375.000	902.000	447.735	1246.00—100.00
Ca	3	对数正态	1.568	0.930	1.428	1.837	0.327	1.536	2.025	1.428	2.51—0.65
Mg	3	对数正态	0.610	0.343	0.460	2.27	0.158	0.527	0.756	0.460	0.99—0.32
Al	3	对数正态	7.179	2.268	7.130	1.225	2.757	6.259	8.011	7.130	9.76—5.51
Ti	3	对数正态	8389.000	3972.127	8629.470	1.007	2888.000	6431.000	9695.500	8629.470	12960.00—5776.00
Rb	11	对数正态	258.000	158.375	260.899	1.050	105.000	203.000	406.000	260.899	614.00—84.00
Cs	11	对数正态	10.282	4.707	10.154	1.235	5.000	10.500	13.250	10.154	20.90—4.80
Ba	11	对数正态	478.455	180.078	492.749	1.033	221.500	460.000	670.000	492.749	690.00—133.00

各种板岩,流域内的盆地广泛分布着红色岩系。

资水水系河水(原水)的元素背景值(14-3-7),除 La、Cd 外,其他元素都为对数正态分布,一般偏差较小。微量和稀有放射性元素 Pb、Zn、As、F、Rb、Se、Cs、Sb、U、Th 的背景值水平较洞庭湖全水系河水这些元素的背景值呈明显偏高。但是 Fe、Ca、La、Ce、Nb 等元素明显偏低,特别是 Nb 显著低于洞庭湖水系的背景值平均水平。其他元素的背景值大致与洞庭湖水系河水同种元素的背景值相同,或没有明显的差异。

资水水系河水溶解态(过滤水)元素的背景值(14-3-8),可以看出这些元素都是对数正态分布,偏差也较小。同洞庭湖水系河水过滤水元素背景值比较,Cu、Pb、Ni、As、Fe 明显较高,Mn 显著呈高背景值水平,但 Mo 低于洞庭湖水系河水过滤水元素的背景值水平。其他元素基本一致。

资水水系河流沉积物元素背景值(表 14-3-9),除 Pb、Cr、Ce、Sm 为正态分布外,其余元素均属对数正态分布,且大多偏差较低。在洞庭湖水系中资水水系的元素背景值大多都在洞庭湖水系河流沉积物的中值范围,没有明显的差异。

(3) 沅水水系水体元素背景值

沅水发源于贵州省都匀县云雾山,在湖南省常德市德山注入洞庭湖,干流长 1033km,流域面积 89163km²,流经地区上游大部分为石英砂岩、千枚岩、板岩和第三纪红色岩层。中游以灰岩与红色岩层交互出露。下游以红色岩层为主,砂岩和砾岩次之。

沅水水系河水的背景值(表 14-3-10),Cr、Co、V、Ca、Eu 为正态分布,Cu、Pb、Zn、Cd、Ni 等 32 个元素为对数正态分布,偏差亦较小。沅水水系河水(原水)大多数元素在洞庭湖水系是较低的,如 Cr、Ca、Pb、Mn 等,但 Hg、Co、V 等元素较高。

沅水河水溶解态的元素在洞庭湖水系中一般较高(表 14-3-11),如 Cu、Pb、Cd、Ni、Mo、As 和 Fe 都显著较洞庭湖水系河水溶解态同种元素的背景值高,元素 V 也略高于洞庭湖水系河水溶解态 V,其他元素如 Zn、Cr、Co、Hg、Mn、Se 也都与洞庭湖水系河水溶解态这些元素的背景值水平相当。沅水河水中溶解态元素背景值相对较高,和沅水水系上游地区变质岩、千枚岩等的广泛出露有关,沅江上游出露的千枚岩、泥灰岩含有较丰富的微量元素。还同沅江河水中以悬浮态存在的元素量相对较低,以溶解态存在的微量元素的比例较高有关。

沅水水系河流沉积物元素的背景值(表 14-3-12),除 Pb、Cr 为正态分布外,其他元素都为对数正态分布。沅江河流沉积物元素的背景值除 As 明显低于洞庭湖水系河流沉积物背景值水平外,其他元素大多同洞庭湖水系河流沉积物同一元素的背景值没有明显的变化。

(4) 澧水水系流水体元素背景值

澧水是洞庭湖四大河流最短的,发源于湖南桑植县八大公山,全长 388km,流域面积 1.85 万 km²,澧水流域上游为石灰岩和红色砂页岩,中游出现石英岩,下游以灰岩、砂岩和砾岩为主,这些岩石一般含有的微量金属元素较贫乏。

澧水水系河水(原水)的元素背景值(表 14-3-13),除 Cd 和 V 为正态分布,Fe、F、Th、Eu、Lu、Na 为偏态分布,其他元素都为对数正态分布。与洞庭湖水系河水背景值比较,澧水水系河水中元素背景值 As 特别高,和其支流澧水流域雄黄矿藏有关,Cu、Zn、Cr、Mn 等元素亦较高,其他元素多偏低,稀土元素较高,同广泛出露的白色和红色砂岩、页岩含稀

土元素高有关。

澧水水系河水过滤水除 Cr、V、Cd 明显较高外(表 14-3-14),大部分元素背景值处于低水平。澧水水系河水中的悬浮颗粒物较少,以悬浮态存在的元素比例亦较低。就洞庭湖水系四条主要大河系来看,除 As 区域性高背景值外,大部分元素在河水包括过滤水中的浓度较低,趋于低背景值水平。

澧水水系河流沉积物元素背景值(表 14-3-15),所有元素(除 Cd)都为对数正态分布。相对于洞庭湖水系的其他河流,沉积物元素背景值 Cu、Zn、Cr、Co 等微量元素和大部分稀土元素为高背景值,这些元素趋向于向沉积物中富积。Pb、Fe、Sb 等元素在水、过滤水和沉积物中都处于低背景值水平。

显然,洞庭湖水系河水中的元素,特别是溶解态元素的背景值较洞庭湖水的元素背景值水平低。

表 14-3-7 资水水系河水元素背景量特征统计表

μg/L

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设			百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差		10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	38	对数正态	2.788	1.769	2.549	1.617		0.930	2.370	5.125	2.549	9.20—0.33
Pb	46	对数正态	2.666	2.496	2.394	1.896		0.295	1.850	5.400	2.394	11.00—0.22
Zn	46	对数正态	9.444	4.758	9.199	1.258		4.740	8.000	17.500	9.199	21.00—4.00
Cd	47	偏态	0.165	0.145	0.061	4.7		0.013	0.092	0.370	0.092	0.49—0.01
Cr	46	对数正态	1.709	0.999	1.492	1.842		0.565	1.560	2.890	1.492	4.76—0.21
Ni	47	对数正态	6.310	4.130	6.888	1.494		1.025	6.000	12.000	6.888	18.00—0.18
Co	47	对数正态	0.485	0.296	0.317	2.730		0.100	0.400	0.800	0.317	1.42—0.02
Mo	16	对数正态	0.393	0.318	0.224	2.877		0.140	0.235	0.910	0.224	1.12—0.13
V	7	对数正态	1.579	1.377	1.412	2.189		0.095	1.510	3.190	1.412	4.04—0.19
As	44	对数正态	1.463	0.836	1.235	1.838		0.600	1.305	2.850	1.235	3.30—0.30
Se	21	对数正态	0.208	0.176	0.091	3.797		0.064	0.120	0.396	0.091	0.75—0.01
Hg	47	对数正态	0.008	0.010	0.001	10.04		0.001	0.005	0.019	0.001	0.04—0.00
Fe	45	对数正态	198.189	198.946	196.014	1.076		47.000	130.000	430.000	196.014	970.00—30.00
Mn	41	对数正态	17.825	17.369	17.169	1.268		4.270	10.000	32.500	17.169	72.00—3.00
F	42	对数正态	109.288	43.465	168.301	1.103		60.000	105.000	160.000	168.301	210.000—0.10
Ca	41	对数正态	21.350	15.624	22.562	1.247		4.190	23.660	40.110	22.562	60.64—2.69
Mg	42	对数正态	2.512	1.462	2.269	1.628		0.910	2.220	4.140	2.269	6.32—0.57
Rb	10	对数正态	3.470	1.809	3.287	1.497		0.600	3.050	5.600	3.287	5.90—1.20
Cs	10	对数正态	0.094	0.077	0.029	4.76		0.010	0.055	0.160	0.029	0.25—0.02

续表

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Sr	8	对数正态	54.625	19.123	55.581	1.093	11.000	54.500	76.500	55.581	78.00—22.00
Ba	10	对数正态	16.200	8.677	16.156	1.202	3.500	14.500	22.000	16.156	35.00—7.00
Sb	9	对数正态	1.667	4.253	0.526	3.268	0.050	0.300	6.800	0.526	13.00—0.10
Sc	10	对数正态	0.006	0.004	0.001	8.780	0.001	0.004	0.008	0.001	0.01—0.00
U	10	对数正态	0.316	0.290	0.155	3.654	0.020	0.180	0.590	0.155	0.84—0.04
Th	7	对数正态	0.011	0.007	0.002	7.454	0.003	0.009	0.021	0.002	0.02—0.01
La	9	正态	0.031	0.013	0.008	5.134	0.010	0.030	0.050	0.031	0.05—0.02
Nd	5	对数正态	0.340	0.207	0.214	2.652	0.100	0.300	0.500	0.214	0.70—0.20
Sm	5	对数正态	0.036	0.036	0.007	6.251	0.005	0.020	0.065	0.007	0.10—0.01
Eu	6	对数正态	0.006	0.006	0.001	9.570	0.001	0.004	0.012	0.001	0.02—0.00
Tb	6	对数正态	0.005	0.003	0.001	8.136	0.002	0.004	0.007	0.001	0.01—0.00
Yb	5	对数正态	0.012	0.008	0.002	7.454	0.003	0.008	0.019	0.002	0.03—0.01
Lu	8	对数正态	0.004	0.002	0.004	9.017	0.001	0.004	0.006	0.004	0.01—0.00
Na	10	对数正态	1.930	0.811	1.760	1.565	0.500	1.750	2.650	1.760	3.50—1.00
Hf	6	对数正态	0.006	0.002	0.001	7.454	0.002	0.006	0.008	0.001	0.01—0.00

表 14-3-8 资水水系河水过滤水元素背景值特征统计表 μg/L

元 素	样 本 数	分 布 类 型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	43	对数正态	2.321	1.976	1.976	1.794	0.610	1.620	5.085	1.967	9.00—0.29
Pb	47	对数正态	1.737	1.672	1.372	2.138	0.250	0.830	4.650	1.372	5.20—0.18
Zn	44	对数正态	4.849	1.721	4.686	1.307	2.700	4.105	7.010	4.686	9.30—2.00
Cd	41	对数正态	0.054	0.049	0.012	6.284	0.006	0.031	0.120	0.012	0.16—0.00
Cr	44	对数正态	1.307	0.884	1.067	2.017	0.285	1.130	2.525	1.067	4.00—0.18
Ni	45	对数正态	4.909	3.930	5.391	1.629	0.610	4.000	9.000	5.391	18.00—0.10
Co	47	对数正态	0.376	0.241	0.219	2.904	0.100	0.400	0.705	0.219	1.10—0.10
V	7	对数正态	0.841	0.858	0.582	2.706	0.060	0.310	1.985	0.582	2.34—0.12
As	45	对数正态	1.318	0.837	1.081	1.905	0.450	1.200	2.550	1.081	4.00—0.30
Se	7	对数正态	0.162	0.102	0.071	3.798	0.024	0.129	0.286	0.071	0.30—0.05
Fe	45	对数正态	51.322	38.787	50.468	1.124	20.000	40.000	95.350	50.468	200.00—10.00
Mn	47	对数正态	15.750	24.163	13.780	1.369	2.000	8.000	45.000	13.780	130.00—2.00

表 14-3-9 长江水系洞庭湖流域废水沉积物背景值特征统计表

元 素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	39	对数正态	22.600	12.705	23.088	1.196	6.050	20.000	40.500	23.088	50.00—4.10
Pb	38	正 态	27.176	9.274	27.149	1.125	14.150	27.300	40.050	27.176	45.90—10.90
Zn	38	对数正态	92.274	38.196	93.161	1.075	35.450	92.550	137.500	93.161	191.70—32.60
Cd	38	对数正态	0.575	0.428	0.380	2.869	0.075	0.500	1.240	0.380	1.67—0.03
Cr	38	对数正态	42.226	24.009	43.484	1.140	11.500	39.500	74.900	39.500	102.00—7.30
Ni	39	对数正态	22.765	12.667	28.910	1.234	7.800	20.000	40.215	28.910	57.80—0.10
Co	39	对数正态	8.688	4.449	8.716	1.326	2.350	8.330	14.450	8.716	20.00—1.00
As	38	对数正态	19.185	10.033	18.983	1.182	8.050	16.995	38.250	18.983	40.70—5.90
Se	17	对数正态	0.293	0.185	0.159	3.192	0.060	0.250	0.540	0.159	0.72—0.04
Hg	35	对数正态	0.060	0.045	0.015	5.520	0.011	0.046	0.116	0.015	0.21—0.00
Fe	37	对数正态	2.689	1.044	2.515	1.468	1.220	2.460	4.365	2.515	4.58—1.07
Mn	38	对数正态	490.950	228.073	495.174	1.033	207.300	478.100	804.500	495.174	1153.80—144.80
Rb	10	对数正态	191.100	91.256	194.177	1.054	41.000	173.500	285.000	194.177	348.00—82.00
Cs	10	对数正态	15.750	8.886	15.749	1.215	2.700	12.050	24.350	15.749	31.40—5.40
Sr	7	对数正态	28.143	16.119	28.559	1.158	6.000	22.000	48.500	28.559	56.00—12.00
Ba	10	对数正态	528.000	199.600	527.721	1.025	158.000	455.000	670.000	527.721	950.00—370.00
Sb	9	对数正态	3.144	3.850	2.674	1.873	0.200	1.400	9.750	2.674	11.00—0.40
Sc	10	对数正态	8.770	3.262	8.691	1.245	2.000	9.600	11.500	8.691	13.50—4.00
U	10	对数正态	6.090	3.756	5.850	1.342	1.100	5.350	7.050	5.850	15.80—2.20
Th	9	对数正态	10.344	3.615	10.319	1.220	2.050	10.700	14.850	10.319	16.20—4.10

表 14-3-10 洞庭湖水系元水河水背景值特征统计表

元 素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	45	对数正态	1.597	1.419	1.271	1.890	0.500	1.200	2.795	1.271	6.40—0.43
Pb	42	对数正态	0.784	0.616	0.550	2.295	0.275	0.565	1.500	0.550	2.90—0.22
Zn	60	对数正态	6.376	3.422	6.104	1.321	3.000	5.300	12.000	6.104	17.00—2.53
Cd	58	对数正态	0.114	0.137	0.031	6.012	0.005	0.036	0.310	0.031	0.49—0.00
Cr	59	正态	1.256	0.658	1.043	1.920	0.460	1.280	2.085	1.256	2.74—0.17
Ni	51	偏态	4.752	2.788	4.754	1.492	1.915	4.000	8.000	4.000	12.00—0.19
Co	60	正态	0.433	0.166	0.305	2.349	0.200	0.400	0.600	0.433	0.80—0.10
Mo	20	对数正态	0.593	0.501	0.376	2.888	0.060	0.475	1.275	0.376	1.74—0.06
V	8	正态	2.531	1.788	2.675	1.933	0.125	3.445	4.120	2.531	4.20—0.25
As	59	对数正态	1.112	0.610	0.906	1.931	0.400	1.000	1.950	0.906	3.00—0.20
Se	10	对数正态	0.232	0.196	0.106	3.607	0.022	0.136	0.419	0.106	0.64—0.04
Hg	55	对数正态	0.006	0.008	0.004	9.614	0.001	0.004	0.013	0.004	0.04—0.80
Fe	58	对数正态	139.197	119.479	142.103	1.087	36.000	97.000	266.000	142.103	570.00—11.00
Mn	59	对数正态	11.906	9.973	11.389	1.301	3.750	8.000	26.150	11.389	48.00—2.00
F	55	对数正态	77.164	27.784	76.994	1.070	50.000	70.000	115.000	76.994	150.00—37.00
P	27	对数正态	0.007	0.009	0.001	8.175	0.004	0.005	0.008	0.0001	0.05—0.00
Ca	57	正态	23.901	13.059	24.933	1.198	5.230	23.830	38.605	23.901	54.78—3.21
Mg	57	对数正态	6.816	5.204	6.748	1.464	1.395	7.360	13.525	6.748	23.69—0.77
Rb	13	对数正态	1.085	0.351	0.961	1.639	0.700	1.000	1.350	0.961	2.00—0.70
Cs	13	偏态	0.032	0.008	0.011	4.372	0.020	0.030	0.040	0.030	0.05—0.02

续表

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Sr	11	对数正态	59.091	27.369	60.711	1.104	20.000	60.000	90.000	60.711	100.00—20.00
Ba	13	对数正态	41.154	25.472	41.581	1.136	14.500	38.000	69.000	41.581	96.00—13.00
Sb	13	偏态	0.346	0.310	0.176	3.276	0.100	0.200	0.800	0.200	0.90—0.10
Sc	13	对数正态	0.004	0.001	0.001	7.671	0.003	0.004	0.005	0.001	0.01—0.00
U	13	对数正态	0.235	0.173	0.111	3.870	0.030	0.270	0.450	0.111	0.51—0.02
Th	11	对数正态	0.006	0.002	0.001	7.454	0.004	0.005	0.008	0.001	0.01—0.00
La	11	对数正态	0.032	0.017	0.007	5.741	0.010	0.030	0.040	0.007	0.07—0.01
Ce	13	对数正态	0.111	0.037	0.051	3.556	0.055	0.100	0.145	0.051	0.18—0.03
Nd	8	偏态	0.338	0.052	0.281	1.836	0.150	0.300	0.400	0.300	0.40—0.30
Eu	11	正态	0.002	0.001	0.000	10.492	0.001	0.002	0.003	0.002	
Tb	4	对数正态	0.003	0.001	0.000	8.780	0.001	0.003	0.004	0.000	
Yb	3	偏态	0.030	0.035	0.005	7.035	0.005	0.010	0.040	0.010	0.07—0.01
Lu	6	对数正态	0.002	0.001	0.000	10.492	0.001	0.002	0.003	0.002	
Na	13	对数正态	1.823	0.760	1.652	1.605	0.750	1.800	2.550	1.652	3.60—0.70
Hf	6	对数正态	0.005	0.002	0.001	8.136	0.002	0.005	0.007	0.001	0.01—0.00

表 14-3-11 洞庭湖水系元水过滤水背景值特征统计表

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	59	对数正态	2.985	3.802	2.311	1.993	0.355	1.000	10.100	1.000	13.60—0.27
Pb	59	对数正态	1.783	2.063	1.304	2.342	0.205	0.660	5.100	1.304	6.50—0.10
Zn	58	对数正态	4.653	2.429	4.408	1.353	2.455	4.000	6.910	4.000	15.00—2.00
Cd	59	对数正态	0.108	0.140	0.032	6.686	0.002	0.031	0.310	0.032	0.54—0.00
Cr	60	对数正态	0.911	0.643	0.671	2.257	0.265	0.705	1.815	0.671	2.53—0.11
Ni	59	对数正态	5.979	4.878	6.173	1.525	1.000	4.000	16.000	4.000	16.00—0.10
Co	60	正态	0.355	0.156	0.224	2.674	0.110	0.400	0.600	0.355	0.60—0.10
V	7	对数正态	0.657	0.356	0.483	2.388	0.090	0.811	1.020	0.483	1.14—0.18
As	58	对数正态	0.862	0.470	0.675	2.045	0.400	0.700	1.400	0.700	2.50—0.10
Se	8	对数正态	0.172	0.135	0.071	3.877	0.022	0.105	0.362	0.071	0.41—0.04
Hg	55	对数正态	0.004	0.004	0.004	9.864	0.001	0.003	0.007	0.003	0.02—0.00
Fe	59	对数正态	65.031	51.050	68.025	1.129	12.500	48.000	138.000	68.025	257.80—3.00
Mn	56	对数正态	6.715	7.869	5.827	1.476	2.000	3.200	18.500	3.200	36.00—1.00

表 14-3-12 洞庭湖水系沅水沉积物元素背景值特征统计表

元 素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	50	对数正态	20.111	6.009	20.045	1.138	10.000	20.800	25.350	20.045	35.00—10.00
Pb	51	正态	22.961	8.742	22.918	1.145	13.300	21.900	35.300	22.961	42.20—6.80
Zn	51	对数正态	96.317	25.704	96.346	1.055	60.100	91.670	127.500	96.346	158.90—51.40
Cd	48	对数正态	0.357	0.204	0.214	2.827	0.125	0.330	0.670	0.214	0.83—0.05
Cr	51	正态	45.624	19.621	46.075	1.112	19.500	46.000	69.550	45.624	86.00—10.20
Ni	50	对数正态	22.250	10.174	23.679	1.194	9.750	21.520	34.850	23.679	50.00—1.00
Co	51	对数正态	8.708	3.446	8.541	1.242	5.000	8.300	12.500	8.541	19.60—3.00
V	3	对数正态	46.127	9.566	53.233	1.173	7.635	19.810	61.555	53.233	103.30—15.27
As	50	对数正态	9.221	4.105	5.617	1.238	4.600	8.550	13.750	9.017	24.00—2.90
Se	22	对数正态	0.199	0.117	0.094	3.560	0.054	0.190	0.340	0.094	0.45—0.03
Hg	48	对数正态	0.117	0.110	0.038	4.491	0.025	0.084	0.277	0.038	0.47—0.02
Fe	50	对数正态	2.843	0.741	2.720	1.351	1.840	2.775	3.815	2.720	4.34—1.67
Mn	50	对数正态	517.088	180.161	531.119	1.031	295.400	527.250	745.500	531.119	984.00—49.50
Ca	3	对数正态	1.598	0.967	1.501	1.911	0.264	1.858	2.134	1.501	2.41—0.53
Mg	3	对数正态	0.859	0.370	0.715	1.997	0.218	1.024	1.071	0.715	1.12—0.44
Rb	13	对数正态	95.615	24.757	95.670	1.053	69.500	89.000	130.000	95.670	136.00—69.00
Cs	13	对数正态	6.000	1.776	5.873	1.246	4.000	5.500	8.200	5.873	9.10—3.90
Sr	8	对数正态	68.125	28.901	69.669	1.089	11.500	60.000	103.000	69.669	124.00—23.00
Ba	13	对数正态	633.077	164.184	635.625	1.021	400.000	620.000	800.000	635.625	920.00—370.00
Sb	13	对数正态	1.446	0.525	1.291	1.655	0.750	1.500	1.900	1.291	2.60—0.50

* 单位:Fe 为%,其他元素为 mg/kg.

续表

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Sc	13	对数正态	11.692	2.862	11.596	1.154	7.950	11.400	13.850	11.596	18.40—7.60
U	13	对数正态	3.831	0.819	3.732	1.266	2.750	3.700	4.900	3.732	5.50—2.70
Th	13	对数正态	9.338	1.781	9.256	1.152	7.450	9.200	11.300	9.256	12.50—7.40
La	13	对数正态	36.715	14.130	39.302	1.142	15.995	34.300	52.500	39.302	60.30—4.69
Ce	13	对数正态	61.000	19.858	60.837	1.071	42.000	58.000	70.000	60.837	118.00—39.00
Nd	13	对数正态	36.385	8.057	36.320	1.079	27.000	34.000	44.000	36.320	55.00—26.00
Sm	13	对数正态	6.177	1.230	6.089	1.192	4.650	5.900	7.450	6.089	8.90—4.40
Eu	13	对数正态	1.061	0.273	0.957	1.577	0.720	1.050	1.240	0.957	1.77—0.72
Tb	13	对数正态	0.780	0.205	0.675	1.726	0.485	0.770	1.010	0.675	1.18—0.48
Yb	13	对数正态	2.345	0.975	2.227	1.649	0.870	2.350	3.250	2.227	3.90—0.34
Lu	13	对数正态	0.538	0.423	0.367	2.327	0.255	0.460	0.560	0.367	1.90—0.25
Na	13	对数正态	0.639	0.379	0.459	2.388	0.210	0.530	1.095	0.459	1.40—0.10
Hf	13	对数正态	6.446	2.135	6.307	1.251	4.200	5.500	9.200	6.307	10.00—3.90

* 单位: Fe 为 %, 其他元素为 mg/kg.

表 14-3-13 长江水系洞庭湖流域澧水河水背景值特征统计表

 $\mu\text{g/L}$

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	49	对数正态	1.754	1.528	1.430	2.055	0.335	1.160	4.305	1.430	5.55—0.16
Pb	50	对数正态	0.979	0.796	0.709	2.359	0.205	0.805	2.090	0.709	3.20—0.10
Zn	54	对数正态	9.453	9.106	8.804	1.370	3.000	6.000	24.500	8.804	38.00—1.00
Cd	53	正态	0.035	0.028	0.007	6.578	0.005	0.030	0.071	0.035	0.09—0.00
Cr	52	对数正态	2.464	1.592	2.212	1.683	0.715	2.305	4.635	2.212	6.70—0.37
Ni	51	对数正态	2.975	1.878	3.021	1.766	0.290	3.000	6.000	3.021	6.00—0.20
Co	52	对数正态	0.309	0.171	0.184	2.784	0.150	0.200	0.600	0.184	0.90—0.10
Mo	7	对数正态	0.256	0.124	0.155	2.745	0.075	0.200	0.400	0.155	0.50—0.15
V	5	对数正态	1.490	1.468	1.261	2.167	0.135	1.010	2.825	1.261	3.92—0.27
As	54	对数正态	2.189	1.250	1.949	1.655	0.820	1.800	4.200	1.949	5.10—0.40
Hg	47	对数正态	0.008	0.007	0.001	9.017	0.002	0.006	0.014	0.001	0.04—0.00
Fe	52	偏态	629.087	1577.686	522.651	1.095	17.500	105.000	1350.000	105.000	8200.00—7.00
Mn	52	对数正态	19.860	28.522	21.054	1.377	1.000	10.500	47.500	21.054	130.00—0.54
F	44	偏态	78.977	41.882	80.911	1.097	23.000	90.000	130.000	90.000	180.00—20.00
Ca	47	对数正态	28.735	14.724	34.836	1.204	5.095	31.560	41.575	34.836	80.23—0.41
Mg	47	对数正态	6.611	4.561	6.789	1.456	1.040	6.010	12.810	6.789	21.00—0.47
Rb	10	对数正态	1.460	0.389	1.342	1.527	0.450	1.550	1.800	1.342	2.00—0.90
Cs	10	对数正态	0.049	0.020	0.015	4.759	0.010	0.050	0.070	0.015	0.08—0.02

续表 14-3-13 长江水幕洞至湖淞城通水河水背景值特征统计表

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Sr	10	对数正态	126.100	101.450	222.287	1.131	2.500	122.500	218.000	222.287	300.00—5.00
Ba	10	对数正态	21.400	14.998	21.116	1.189	5.000	15.500	29.500	21.116	58.00—10.00
Sb	10	对数正态	0.280	0.123	0.180	2.558	0.100	0.200	0.400	0.180	0.50—0.20
Sc	10	对数正态	0.006	0.005	0.001	8.214	0.002	0.004	0.005	0.001	0.02—0.00
U	8	正态	0.205	0.106	0.104	3.710	0.010	0.210	0.325	0.205	0.38—0.02
Th	8	偏态	0.004	0.002	0.000	9.017	0.002	0.003	0.006	0.003	0.01—0.00
La	10	对数正态	0.335	0.521	0.140	4.575	0.010	0.115	0.500	0.140	1.70—0.02
Nd	4	对数正态	0.700	0.294	0.553	2.128	0.150	0.750	0.900	0.553	1.00—0.30
Sm	4	对数正态	0.020	0.033	0.002	9.364	0.001	0.004	0.037	0.002	0.07—0.00
Eu	10	偏态	0.004	0.002	0.000	9.864	0.001	0.003	0.006	0.003	0.01—0.00
Yb	7	对数正态	0.005	0.002	0.000	8.935	0.001	0.005	0.007	0.005	0.01—0.00
Lu	5	偏态	0.007	8.500	2.998	1.030	0.011	0.015	0.001	0.015	0.00—0.02
Na	10	偏态	1.600	0.699	1.427	1.639	0.500	1.500	2.000	1.500	3.00—1.00
Hf	5	对数正态	0.004	0.001	0.001	7.671	0.002	0.003	0.004	0.001	0.01—0.00

表 14-3-14 长江水系洞庭湖流域潜水过滤态背景值特征统计表

表 14-3-14 长江水系洞庭湖流域潜水过湖态背景值特征统计表												μg/L
元 素	样 本 数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征		
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围	
Cu	47	对数正态	1.069	0.711	0.848	2.272	0.245	1.140	1.910	0.848	3.01—0.05	
Pb	46	对数正态	0.613	0.387	0.418	2.453	0.200	0.540	1.170	0.418	1.44—0.14	
Zn	45	对数正态	4.084	1.789	3.884	1.382	2.000	4.000	6.000	3.884	9.00—2.00	
Cd	47	对数正态	0.022	0.018	0.013	7.761	0.002	0.018	0.047	0.018	0.06—0.00	
Cr	45	对数正态	1.060	0.541	0.859	2.016	0.405	0.970	1.760	0.859	2.24—0.11	
Ni	47	对数正态	2.408	1.334	2.392	1.792	0.415	2.000	4.000	2.392	6.00—0.10	
Co	47	对数正态	0.257	0.135	0.144	2.962	0.100	0.200	0.400	0.144	0.60—0.10	
V	5	对数正态	1.082	0.935	0.881	2.384	0.110	0.900	2.010	0.881	2.42—0.22	
As	46	对数正态	1.542	1.036	1.284	1.885	0.500	1.250	3.000	1.284	4.60—0.20	
Hg	44	对数正态	0.006	0.005	0.001	9.233	0.002	0.005	0.013	0.001	0.02—0.00	
Fe	46	对数正态	23.137	21.426	22.779	1.217	10.000	14.500	48.000	22.779	112.00—2.00	
Mn	47	对数正态	3.518	3.318	3.076	1.640	1.000	2.000	9.000	3.076	15.00—0.40	

表 14-3-15 长江水系洞庭湖流域潜水沉积物背景值特征统计表

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	36	对数正态	23.069	7.020	23.549	1.153	12.500	25.000	30.000	23.549	38.00—4.00
Pb	36	对数正态	20.995	9.766	23.359	1.215	7.835	22.165	31.665	23.359	42.90—0.50
Zn	35	对数正态	82.003	34.710	109.497	1.118	25.000	91.670	122.500	109.497	136.10—0.50
Cd	35	对数正态	0.373	0.225	0.230	2.703	0.150	0.330	0.670	0.230	1.20—0.08
Cr	36	对数正态	52.645	21.017	54.438	1.111	14.500	57.000	75.500	54.438	95.00—10.00
Ni	36	对数正态	24.629	11.011	25.750	1.182	5.830	26.670	37.500	25.750	42.00—4.00
Co	34	对数正态	9.795	3.935	9.846	1.269	3.330	10.500	14.085	9.846	15.00—2.00
As	35	对数正态	11.898	5.499	12.213	1.261	4.950	10.970	19.380	12.213	24.40—1.10
Hg	22	对数正态	0.061	0.043	0.017	5.230	0.015	0.048	0.110	0.017	0.19—0.01
Fe	35	对数正态	2.534	0.957	2.379	1.554	0.845	2.200	3.625	2.379	3.91—0.51
Mn	34	对数正态	580.673	206.420	603.399	1.031	190.050	620.000	750.000	603.399	894.00—92.30
Rb	6	对数正态	145.833	30.314	146.247	1.039	54.500	141.500	180.000	146.247	190.00—109.00
Cs	6	对数正态	4.533	2.127	5.187	1.561	0.250	5.000	6.100	5.000	6.60—0.50

续表

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设			百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Ba	6	对数正态	558.333	250.233	635.480	1.039	1.039	50.000	625.000	755.000	635.480	810.00—100.00
Sb	6	对数正态	0.950	0.351	0.795	1.968	1.968	0.150	1.100	1.200	1.100	1.20—0.30
Sc	6	对数正态	8.478	3.696	9.079	1.338	1.338	0.850	9.265	11.350	9.079	12.40—1.70
U	6	对数正态	2.533	0.579	2.429	1.386	1.386	0.700	2.650	2.950	2.650	3.00—1.40
Th	6	对数正态	13.583	4.758	13.751	1.198	1.198	2.750	13.500	18.000	13.751	20.00—5.50
La	6	对数正态	43.833	21.904	46.757	1.132	1.132	5.500	43.000	62.500	46.757	80.00—11.00
Ce	6	对数正态	183.667	270.089	190.131	1.100	1.100	10.000	70.500	436.500	190.131	729.00—20.00
Nd	6	对数正态	41.667	18.758	44.317	1.133	1.133	5.500	40.500	60.500	44.317	67.00—11.00
Sm	6	对数正态	27.968	12.092	29.030	1.152	1.152	4.455	28.050	37.950	29.030	47.10—8.91
Eu	6	对数正态	1.200	0.506	1.039	1.879	1.879	0.180	1.205	1.625	1.039	1.95—0.36
Tb	6	对数正态	0.700	0.265	0.557	2.057	2.057	0.135	0.700	0.935	0.557	1.10—0.27
Yb	6	对数正态	2.267	0.763	2.134	1.531	1.531	0.450	2.350	2.900	2.134	3.20—0.90
Lu	6	对数正态	0.362	0.104	0.260	2.308	2.308	0.085	0.385	0.440	0.260	0.48—0.17
Na	6	对数正态	0.343	0.126	0.223	2.696	2.696	0.050	0.365	0.440	0.365	0.45—0.10
Hf	6	对数正态	7.400	2.667	7.308	1.250	1.250	2.050	6.800	10.550	7.308	11.20—4.10

第十五章 鄱阳湖水系水体中的化学元素

第一节 鄱阳湖水系的环境特征

一、水系组成

鄱阳湖水系主要由五大河流汇集,其中赣江、抚河自西南,信江自东南,饶河自东,修河自西北汇注鄱阳湖,再经湖口入长江。这些河流的干流和各级支流以及鄱阳湖组成的,以鄱阳湖为汇聚中心的辐聚水系称之鄱阳湖水系。

鄱阳湖水系流域位于长江中游南岸,东经 $113^{\circ}35'$ — $118^{\circ}29'$,北纬 $24^{\circ}29'$ — $30^{\circ}05'$ 之间。流域总面积为 162225km^2 ,占长江流域总面积的 8.97% 。其中 157086km^2 位于江西省境内,占全流域的 96.7% ,为江西省国土面积的 94% ,其余 5139km^2 则为鄱阳湖水系五大河上游由邻省汇入江西的集水面积(其中湖南 681km^2 、福建 968km^2 、浙江 545km^2 、安徽 2945km^2),只占鄱阳湖流域的 3.2% 。

赣江自北向南流贯江西全省,包括贡水在内全长 751km 。整个水系流域面积达 83500km^2 ,占江西省总面积的一半,为江西省境内最大的河流,就其水量而言,则为长江第二大支流。其原流有两支,东支称贡水,为赣江正流,发源于赣闽交界武夷山的黄竹岭,自源地至赣州长 240km 。沿途有湘水、濂水、梅川江、平江、桃江等次支流汇入,集水面积约 27000km^2 ;西支由池江和上犹江汇合而成,称为章水,长 232km ,集水面积为 7695km^2 。章水东流至赣州与贡水汇合,始称赣江,而后流经赣县、万安、泰和、吉安、吉水、峡江、新干、清江、丰城、南昌、新建、水修等县市,其中汇有袁河、锦江,最终汇入鄱阳湖。

抚河全长 276km 。流域面积 15811km^2 ,源出于广昌驿前镇古四木岭,有宜黄水、东乡水、临水等支流纳入,在花港经青岚湖入鄱阳湖。

信江源出于赣东北的怀玉山区,下游于大溪渡(余干县境)分为东西两支,西支称西大河,经余干县瑞洪镇后与赣江南支、抚河汇入鄱阳湖;东支在波阳县境内和饶河合流注入鄱阳湖。其主要支流有:丰溪河、石溪水、铅山水、白塔河、罗圩河等。全长 312km ,流域面积为 15941km^2 。

饶河,南支乐安河源出婺源县境内的怀玉山区,流经德兴、乐平、万年与波阳诸县,全长 279km ,流域面积 8989km^2 ;北支为发源于安徽省祁门县的昌江,流经景德镇至波阳县,河长 250km ,流域面积 6220km^2 。乐安河与昌江于波阳县饶公渡汇合后,终称饶河,但流程不长又与信江东支合流,以后另分为主流和黄沙港分别纳入鄱阳湖。汛期河水漫至饶公渡以上时,昌江与乐安河则各自入鄱阳湖。

修河,源出于湘、鄂、赣边境的幕阜山麓,流经铜鼓、修水、武宁、永修诸县,途中主要支流濂河汇入后,经吴城入鄱阳湖,全长 357km ,流域面积 14793km^2 。

二、地形地貌特征

鄱阳湖水系流域地势是南高北低,周围环山,北面开口,四周渐次向鄱阳湖倾斜,以鄱

阳湖为底部的大盆地。

地形以山地和丘陵为主,山地、丘陵约占总面积的 78%左右,省际边陲群山环绕,中南部丘陵起伏,红岩遍布,流域内主要山地有怀玉山、武夷山、幕阜山、九岭山、武功山、万洋山(井冈山)、诸广山、大庾岭、九连山、庐山。山地面积约为 60101km²,约占流域总面积的 36%,其高程一般在 500m 以上,大部分山区的高程在 500—1000m 之间,少数山峰大于 1000m,个别山峰可达 2000m。

武夷山是流域内最大最高的山地,南北纵贯近 500km,海拔多在 1000—1500m 之间,位于铅山县与福建交界的黄岗山高达 2157.7m。

九岭山位于修水与潦水之间,自武宁县南部起向西南延伸至万载县西北部,高峰林立,一般山峰都在 1000—1500m 之间。

丘陵在流域内分布很广,其面积约为 70117km²,约占总面积的 42%左右。海拔高程一般为 200 米,接近山地的高丘约为 300—500m,相对高程多为 200m—300m。丘陵之中,还夹有不少盆地,较大者有:吉泰盆地、赣州盆地,其次有瑞金、宁都、兴国、信丰、南丰、贵溪等盆地。

在流域内平原、岗地、水面面积为 36729km²,约占总面积的 22%,其中水面面积为 16667km²,约为总面积的 10%左右。

流域内平原主要以鄱阳湖冲积平原为最大,其次是散布于山地丘陵地区的河谷平原和盆地内的冲积平原。

三、地质环境

鄱阳湖流域地层发育良好,分南北两大区,北区以广泛出露前震旦纪复理石变质岩系为特征,震旦系及下古生界发育齐全,多为海相砂、页岩及碳酸岩,南区以广泛出露前泥盆纪浅变质岩系为特点,含煤、页岩及碳酸岩和红色砂、砾岩及火山岩建造。广泛分布侵入岩,岩石类型繁多,从超基性—中性—酸性—碱性都有,以花岗岩类为主,包括花岗闪长岩、钾长花岗岩、花岗闪长岩。在新建、德兴、全南一带出露超基性、基性岩,主要岩性有橄榄岩、蛇纹岩、辉岩、角闪石岩、辉长岩等。

流域区内成矿地质条件良好,矿产资源丰富,有色、稀有稀土金属为优势矿产,具有品位高、类型多、分布广、规模大、伴生成分多的特点。铜、钨、铈储量居全国前列,与钽、铌稀土号称江西的“五朵金花”。矿产主要受构造——岩浆岩成矿带控制,多呈北东、北东东向分布。

铜铅锌及伴生多金属矿,主要分布在鄱阳湖区瑞昌、九江及信江流域和饶河流域的德兴、乐平、铅山、弋阳、贵溪、东乡等地。铜矿类型以斑岩型为主,铅锌矿以火山或次火山岩类型为主。

钨矿主要分布在赣江上游赣南地区,赣中、赣北均有少量分布,钨矿类型以石英脉最重要,并发现有斑岩钨矿等。

稀有、稀土金属在成因和分布上与钨矿多形影相随,关系密切。主要的稀土矿多分布于赣江上游支流——桃江流域,即“三南”地区和寻乌一带。稀土类型多与花岗岩有关。

黑色金属中的铁矿,主要分布于赣江支流袁河和禾水流域,即新余、分宜、安福、永新和莲花等地。类型以新余式沉积变质铁矿为主,其次为宁乡式沉积铁矿,再次为铁帽型铁矿。

煤矿资源比较丰富,主要分布于赣江支流袁河流域、信江流域及饶河的乐安河流域,即新余、高安、丰城、乐平、横峰等地。煤矿时代以晚二迭纪和早三迭纪为主,早二迭纪和早石炭纪为次。

非金属矿产中:上饶朝阳磷矿、清江和周田盐矿、金溪的石墨矿、永新的石膏矿、弋阳的蛇纹石矿、德安的萤石矿和万年的水泥灰岩矿、景德镇附近高岭土矿等都占有较重要地位。

四、气候特征

鄱阳湖水系流域位于南岭以北、长江以南,纬度偏低,距海亦不远,冬季常受西伯利亚(或蒙古)高压影响,盛行偏北风。夏季多为副热带高压控制,盛行偏南风。春夏之交冷暖气流交绥于境内,梅雨连绵;夏秋之际在单一气团笼罩之时,晴热少雨。因此,全省具有气候温和、光照充足、热量丰富、雨量充沛、夏冬季长、春秋季短、春寒夏热、秋干冬阴、无霜期长等特点,具有亚热带湿润季风气候。

流域内年平均气温为 16.3—19.5℃,1 月为最冷月,平均气温为 3.6—8.5℃,7 月为最热月,平均气温为 26.9—29.8℃。日平均气温稳定通过 10℃ 以上的持续期为 234—275 天,≥10℃ 积温为 5034—6343℃。

流域内各地多年平均降水量,一般在 1400—1900mm。局部略小于 1400mm,或略大于 1900mm,大部分地区则在 1500—1600mm,山区都大于 1600mm。其分布总趋势是:省境四周山区多于中部盆地,赣东大于赣西。降水的地理分布差异较大,四季降水量的分布也不均匀,1—3 月平均降水量占全年降水量的 16%—21%,4—6 月占全年降水量的 42%—53%,7—9 月占全年降水量的 18%—27%,10—12 月占全年降水量的 10%—15%。

赣江流域平均年降水量为 1546.7mm,抚河流域的多年平均年降水量,除与福建边境的山区为 1700—1800mm 外,各地比较均匀,平均为 1698.1mm。信江位于江西的东部,其北面的山区和南面的山区均为全省的高值区,全流域多年平均降水量为 1815.4mm。饶河流域多年平均降水量变化较大,总规律是东大于西,从东部的 1900mm,降至西部的 1500mm,多年平均降水量是 1753.4mm。修河位于江西省的西北部,全流域多年平均年降水量各地差异较大,南部的九岭山山区达 1900mm,东部的武宁以东地带则不足 1500mm。全流域多年平均为 1592.6mm。

五、水文特征

鄱阳湖水系五大河流多年平均径流深都在 800—1100mm 之间,其中信江、乐安河均大于 1100mm,信江为 1186mm,为各水系之最大,最小值出现于赣江的上游和中游,均不足 800mm。

赣江(含清丰山区)多年平均径流深为 823.3mm,径流量为 683.0 亿 m³;占鄱阳湖流域的 49.4%,占长江大通站的 7.2%,其中上游占赣江水系的 43.3%,中游占 29.0%,下游占 27.7%。其径流深的分布,上、中、下游分别为 803.7、763.5、953.3mm。以下游为最高,中游为最低。

抚河、信江、饶河、修河四水系多年平均径流深为 927.8、1124.9、934.7、842.6mm,以信江为最高。四水系的径流量为 146.7、172.5、132.9、122.5 亿 m³,占鄱阳湖流域的百分比分别为:10.6%、12.5%、9.6%、8.9%。

饶河水系中:昌江占 36.6%,乐安河占 63.4%;修河水系中:修水占 68.1%,潦水占 31.9%。

鄱阳湖水系河流径流的补给来源是雨水和降雪,属雨水补给型。流域内气温较高,冬季虽有降雪,但占全年降水总量的百分比很小,全水系各河径流量的变化趋势是与降雨量的变化趋势相一致。而各河河川径流的地下水补给(即河川径流的基流部分)约占全年河川径流量的 15%—30%,全水系平均为 22%。总趋势是:各河的上游大于下游,山区大于丘陵,丘陵又大于滨湖平原。

六、土壤与植被特征

鄱阳湖水系流域,由于受地形地貌、地质、水文气候诸多方面因素的影响,形成的土壤类型主要有:红壤、黄壤、水稻土及山地黄棕壤等。分布最广泛的为红壤,遍布整个流域丘陵岗地和海拔 700—800m 的低山区,其次为黄壤和水稻土。黄壤主要分布在流域中 800—1400m 山地。水稻土以不同的亚类,分布的区域不同,一般分布在丘陵低洼地和平原、湖洲。其它土壤类型分布面积很小,零星分布。

流域区各土壤类型的化学组分大体是由硅酸盐、硅铝酸盐、氧化物及一些稳定的原生矿物组成,其中以硅铝酸盐及硅酸盐占绝对优势,此外有部分有机质和水分。土壤的颜色由于受氧化矿物染色所致,如红壤是由于含 Fe_2O_3 所致。一般,红壤 $\text{pH}=4.5-5.5$,呈强酸反应,黄壤 $\text{pH}=5.5$ 。

鄱阳湖水系流域的植被类型主要有:针叶林、阔叶林、竹林及针阔叶混交林。在气候较热、降水充沛的地区,一般呈常绿林,而在气候温和降水季节明显的地区一般为夏绿林。从植物群落的类型看,乔木树主要有:马尾松林、台湾松林、杉木林、竹林等。灌木草丛组成以乔本科的高草和中草为主,蕨类植物次之。水生植物主要有莲、水草等。

从植被地区分布上来看,流域区的低山丘陵山顶、山坡上一般分布着马尾松、台湾松林、杉木林、竹林等为主的森林和次生森林,植被一般较密集,而在河岸附近、城镇附近植被一般较差,特别是在岩石风化较强区,冲刷较大,水土流失严重,植被大部分受破坏,许多地区形成光秃的山顶,如赣江中上游地区会昌、兴国、寻乌等地尤为突出。而在山间盆地、冲积平原、湖积阶地则分布着人工农地及果木。

第二节 鄱阳湖水系水的理化特征

降水量大和地质环境以花岗岩广泛出露为特征,形成了鄱阳湖水系河水理化性状具有某些独特的地球化学特性,其基本特点如下:

一、pH

鄱阳湖水系河水多年均值在 7.2—7.4,有些河流、河段 pH 值低于 7.0,出现 6.8 或 6.7 的状况。鄱阳湖水系河水是长江水系河水 pH 值最低的。

二、溶解氧

鄱阳湖水系河水的溶解氧多年均值在 7.2—7.9mg/L,主要受水温的影响,河水中溶解氧的含量水平受到控制,因为鄱阳湖水系河流也是长江水系水温最高的河流。

三、化学耗氧量

鄱阳湖水系诸河化学耗氧量多年均值为 1.1—1.6mg/L,是长江水系河水化学耗氧

量较低的河流水系,这和常年水温较高,复氧能力较强,水中耗氧有机质保持低水平的平衡以及丰富的流量状态等因素有关。

四、矿化度

鄱阳湖水系河水的矿化度是长江水系诸河最低的,多年平均离子总量 55.6—79.2mg/L,这同流域地区的降水量高达 1600mm 左右和花岗岩广泛分布的地质环境有关。水化学类型为 C^α 或 C^β ,有的河段这两种类型年内交替出现。

水化学组成,阴离子 HCO_3^- 为优势离子,占阴离子总量的 80% 以上,阳离子 Na^+ 和 Ca^{2+} 都是优势离子,其含量常相接近,或年内交替。其中赣江、信江和修水河水中 Na^+ 多超过 Ca^{2+} ,成为主要阳离子。

五、其他理化性状

鄱阳湖水系河水化学稳定性系数多在 -1 以下,有的河流河段河水的稳定性系数在 -2 以下,表明具强的溶蚀性,在长江水系河水中最具侵蚀性,这同鄱阳湖水系花岗岩广泛出露,降水量高达 1500mm 以上,pH 低,形成不饱和的弱矿化水有关。

计算还表明鄱阳湖水系河水溶碱量在长江水系中较大,溶碱量为 0.074—0.207meq/L,比较而言,在长江水系河水中溶碱量算较大的,因为鄱阳湖水系河水偏碱性,pH 在 7.2 以下,有些河流河段不同季节有所变化,常低于 7.0,在 6.8 或更低的 pH 值范围。但由于这些河水的 HCO_3^- 浓度低,对碱的溶量仍是有限的。

计算还表明鄱阳湖水系河水的溶酸量在 0.166—0.787meq/L,相对于长江水系,河水的溶酸量是偏低的。因为河水的离子浓度低,溶酸量是有限的。

鄱阳湖水系河水由于矿化度低, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 常常是阳离子的主要离子, Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的浓度较低,鄱阳湖水系河水的硬度很低,赣江年均值在 1.9 度(德),信江最低,还不到 1 度(0.99),其他支流都在 1.82 度(德)以下。

鄱阳湖水系河水的这些理化性状,如 pH 低,溶解氧充足,化学耗氧量低,硬度小,具较大的溶蚀性和适中的对酸和碱的容量等都表明,鄱阳湖水系河水具备良好的物理化学性状和应用价值。

第三节 鄱阳湖水系水体元素含量与背景值

鄱阳湖水系占江西省总面积的 1/2,按其水量为长江第二大支流。鄱阳湖水系流域总面积为 162225km²,占长江流域面积的 9%。鄱阳湖流域南高北低,周围环山,四周渐次向鄱阳湖倾斜,以山地和丘陵为主,水面约占总面积的 10% 左右。鄱阳湖广泛分布复理石变质岩、含煤、页岩、碳酸岩和红色砂、砾岩,侵入岩出露广泛,从超基性—中性—酸性都有,以花岗岩类为主,流域内矿产资源丰富,铜、钨、铀、钼、铌居全国前列。鄱阳湖流域具温暖气候,年均气温 16.3—19.5℃,≥10℃ 积温为 5034—6343℃。年均降水量 1400—1900mm。

降水量丰富,花岗岩广泛出露,形成了鄱阳湖水的某些地球化学特征,河水的 pH 在 6.7—7.4 是我国河流最低的水系之一。矿化度为 55.6—79.2mg/L,是长江水系最低的,为 C^α 或 C^β 水。为明显的溶蚀性水,并具相对较大的溶碱量。

一、鄱阳湖水系河水元素的含量和背景值

表 15-3-1 列出了鄱阳湖水系河水元素的背景值,其特征:

1. 鄱阳湖水系河水中元素的背景值以对数正态分布为主,表明河水中大部分元素的含量变化有一定的规律和范围,偏差较小。但是 Cd、Fe、F 三个元素呈偏态分布,其标准差亦较大,表明这几个元素在鄱阳湖水系河水中的分布是很不均匀的,含量变化较大。

2. 鄱阳湖水系河水中的元素背景值同长江全水系河水比较,其背景值大部分元素处于明显的低水平,Cu、Pb、As、Cr、Ni、V、Mo、Se、Cd、Hg 都明显低于长江水系河水的平均背景值水平。Co、Fe、Mn、F 四个元素同长江水系河水平均背景值水平基本一致。

鄱阳湖水系河水的元素背景值明显处于低水平和其流域的自然环境因素有关,如降水量大,植被覆盖度高等。重要的是河水的泥沙含量低,如赣江(外洲)的输沙率为 353kg/s,不到嘉陵江输沙率(北碚)4980 公斤/秒的 1/10,也不及汉水(碾盘山)输沙率 4130kg/s 的 1/10。鄱阳湖水系的一些较大支流如修水的输沙率仅 49.2kg/s,抚水输沙率仅 42.9kg/s,由此不难看出鄱阳湖水系河水原水元素背景值水平低,同河水的悬浮颗粒物低有直接的关系。

二、鄱阳湖水系河水过滤水元素的背景值

表 15-3-2 列出鄱阳湖水系河水过滤水元素的背景值,其特征:

1. 大部分元素呈对数正态分布,但 Fe 和 Cd 为偏态分布,表明在鄱阳湖水系河水原水和过滤水中的元素 Fe 和 Cd 的分布最不均匀。

2. 同鄱阳湖水系河水原水相同,过滤水中大部分元素的背景值水平比长江水系全水系河水过滤水中的元素背景值低。大部分元素显著低于全长江水系过滤水元素背景值,但 Fe 和 Mn 在过滤水中的背景值又明显的高于全长江水系的平均背景值水平。鄱阳湖水系河水过滤水中 Fe、Mn 呈现高背景值水平和鄱阳湖水系河水的 pH 相对较低,河水的矿化度低,河水阳离子 Na^+ 相对较高有关。

3. 过滤水中的元素占河水原水中的比例较高,大多数元素过滤水中占总量的比例在 60%~80%,在长江水系中属最高的河流之一。反映了其流域强烈的化学风化特征。

三、鄱阳湖水系河流沉积物元素背景值

鄱阳湖水系河流沉积物元素的背景值列于表 15-3-3,细微颗粒沉积物背景值列于表 15-3-4,通过比较可以看出其特征:

1. 鄱阳湖水系河流沉积物元素背景值以正态分布为主,其次为对数正态分布,表明鄱阳湖水系河流沉积物中的元素分布更集中,偏差较小。

2. 除 Fe、Mn 和 Cu 的背景值与长江全水系河流沉积物元素背景值平均水平接近或略低外,其他元素的背景值都较全长江水系河流沉积物元素明显偏高,联系到鄱阳湖河水中元素的背景值低于全长江水系河水的背景值,表明鄱阳湖水系河流中的元素主要趋向集中于沉积物中。

3. 鄱阳湖水系河流沉积物在细微颗粒中有明显的集中趋向,在小于 $63\mu\text{m}$ 的细微颗粒中元素的量较河流沉积物原样高 20%~50%左右。

四、鄱阳湖主要支流水体元素背景值

表 15-3-5 至表 15-3-8 列出了鄱阳湖水系主要支流水体和沉积物中的元素背景值,从这些表中可以看出鄱阳湖水系主要河流的元素背景值及其存在的某些差异;铜的背景值在沉积物中以饶河、信江稍高;水相中砷值以饶河略高,信江次之;沉积物中砷元素背景

表 15-3-1 鄱阳湖水系河水元素背景值特征统计表

表 15-3-1 鄱阳湖水系河水元素背景值特征统计表												$\mu\text{g/L}$
名 称	样 本 数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征		
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距	
Cu	103	对数正态	0.84	0.54	0.69	1.88	0.33	0.65	1.85	0.69	0.21—2.56	
Pb	105	对数正态	1.27	2.59	0.58	3.07	0.19	0.53	2.51	0.58	0.10—21.11	
Zn	105	对数正态	5.68	3.87	4.76	1.78	2.15	4.60	10.81	4.76	1.50—28.50	
As	103	对数正态	0.88	0.42	0.79	1.60	0.36	0.85	1.36	0.79	0.20—2.85	
Cr	104	对数正态	0.83	0.57	0.64	2.17	0.23	0.80	1.72	0.64	0.08—2.83	
Ni	104	对数正态	0.37	0.24	0.31	1.81	0.14	0.32	0.78	0.31	0.10—1.21	
Co	104	对数正态	0.22	0.18	0.18	1.05	0.09	0.17	0.42	0.18	0.06—0.69	
Fe	105	偏态	182.9	128.4	130.0	2.77	43.8	152.5	380.0	152.5	2.0—553.0	
Mn	103	对数正态	24.3	21.7	16.7	2.55	4.57	21.6	56.0	16.7	0.89—125.3	
V	103	对数正态	0.42	0.32	0.34	1.99	0.12	0.38	0.93	0.34	0.07—1.79	
Mo	105	对数正态	0.46	0.51	0.31	2.48	0.10	0.31	0.98	0.31	0.03—2.70	
F	104	偏态	0.177	0.196	0.137	1.90	0.056	0.143	0.255	0.143	0.037—1.390	
Se	105	对数正态	0.12	0.07	0.10	1.83	0.04	0.10	0.24	0.10	0.04—0.31	
Cd	104	偏态	0.023	0.049	0.011	2.97	0.003	0.010	0.045	0.010	0.003—0.630	
Hg	104	对数正态	0.010	0.007	0.009	2.23	0.002	0.009	0.019	0.009	0.002—0.034	

表 15-3-2 鄱阳湖水系河水过滤水元素背景值特征统计表

名 称	样 本 数	分 布 类 型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全 距
Cu	105	对数正态	0.52	0.39	0.41	2.03	0.16	0.44	1.12	0.41	0.12—1.98
Pb	104	对数正态	0.31	0.26	0.22	2.27	0.09	0.20	0.74	0.22	0.08—1.43
Zn	106	对数正态	4.01	2.84	3.22	1.93	1.40	3.50	7.90	3.22	1.03—14.10
As	103	对数正态	0.59	0.40	0.48	1.98	0.18	0.55	1.18	0.48	0.10—2.34
Cr	106	对数正态	0.51	0.41	0.36	2.37	0.13	0.34	1.15	0.36	0.04—1.67
Ni	105	对数正态	0.24	0.17	0.20	1.86	0.10	0.19	0.50	0.20	0.08—1.02
Co	105	对数正态	0.09	0.04	0.08	1.04	0.04	0.09	0.15	0.08	0.04—0.27
Fe	105	偏态	42.5	34.6	29.1	2.64	9.40	31.9	102.4	31.9	1.0—160.7
Mn	106	对数正态	14.6	22.8	7.64	2.99	2.34	6.95	31.5	7.64	0.24—154.2
V	105	对数正态	0.27	0.22	0.21	2.20	0.05	0.20	0.57	0.21	0.03—1.34
Mo	106	对数正态	0.36	0.04	0.23	2.57	0.07	0.24	0.91	0.23	0.02—2.40
F	106	对数正态	0.137	0.09	0.118	1.75	0.052	0.125	0.205	0.118	0.033—0.728
Se	105	对数正态	0.08	0.04	0.06	1.74	0.03	0.06	0.13	0.06	0.02—0.23
Cd	106	偏态	0.006	0.001	0.004	2.96	0.001	0.004	0.013	0.004	0.002—0.017
Hg	106	对数正态	0.008	0.006	0.006	2.42	0.001	0.006	0.018	0.006	0.001—0.031

μg/L

表 15-3-3 鄱阳湖水系河流沉积物元素背景值特征统计表

表 15-3-3 鄱阳湖水草河流沉积物元素背景值特征统计表													
元 素	样 本 数	分 布 类 型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征		mg/kg(Fe 为 %)	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距		
Cu	51	对数正态	19.90	10.08	17.56	1.69	9.95	18.41	34.29	17.56	2.53—60.93		
Pb	51	对数正态	33.86	16.38	30.22	1.63	14.81	30.01	56.40	30.22	10.07—84.86		
Zn	51	正态	69.78	24.99	63.84	1.61	33.99	77.27	104.36	69.78	12.93—118.18		
Cd	52	对数正态	0.323	0.494	0.184	0.026	0.065	0.144	0.660	0.184	0.032—2.398		
Hg	52	正态	0.068	0.029	0.062	0.016	0.033	0.065	0.105	0.068	0.018—0.152		
As	52	对数正态	9.52	6.94	7.51	2.03	2.97	7.52	20.50	7.51	1.23—29.60		
Cr	52	正态	37.87	16.98	33.22	1.79	14.34	39.70	59.95	37.87	3.11—77.16		
Ni	52	正态	18.51	8.79	15.89	1.90	6.78	17.73	29.46	18.51	1.07—41.44		
Co	52	正态	9.66	3.78	8.74	1.65	2.91	10.02	15.18	9.66	1.65—18.19		
Fe	52	正态	2.88	0.94	2.72	1.43	1.62	2.87	4.05	2.88	1.09—5.14		
Mn	52	正态	572.8	258.4	493.2	1.95	269.7	562.8	888.9	572.8	26.8—1197.5		

表 15-3-4 鄱阳湖水系河流沉积物(63 μ m)元素背景值特征统计表

元 素	样 本 数	分 布 类 型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	全距
Cu	51	正态	28.49	10.17	26.75	1.44	14.99	28.22	43.97	28.49	12.67-63.43
Pb	51	对数正态	39.82	16.30	36.85	1.49	20.67	35.61	63.93	36.85	16.33-92.89
Zn	51	正态	88.46	22.91	84.85	1.36	45.26	94.00	116.01	88.46	36.95-129.74
Cd	52	对数正态	0.428	0.540	0.275	0.021	0.099	0.248	0.909	0.275	0.055-3.656
Hg	50	正态	0.091	0.030	0.056	0.011	0.052	0.088	0.137	0.091	0.028-0.186
As	50	对数正态	12.08	7.02	10.37	1.76	4.39	11.30	26.20	10.37	2.12-38.30
Cr	52	正态	46.12	15.19	43.38	1.45	22.33	46.10	65.26	46.12	17.65-78.64
Ni	51	正态	22.45	7.89	20.73	1.56	10.74	22.18	32.99	22.45	2.84-41.55
Co	52	正态	11.77	3.64	11.09	1.46	6.92	11.63	16.15	11.77	2.01-19.76
Fe	52	正态	3.61	0.98	3.47	1.35	2.30	3.70	4.84	3.61	1.34-6.22
Mn	51	正态	727.2	276.0	641.4	1.92	432.4	701.0	1103.0	727.2	27.2-1406.7

mg/kg(Fe为%)

表 15-3-5 鄱阳湖水系主要支流水系单元河水元素背景值特征统计表

μg/L

元素名称	饶 河			信 江			抚 河			赣 江			修 水							
	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	背 景 值 范围				
Cu	12	正态	0.89	0.43—1.89	11	正态	0.74	0.33—1.26	14	正态	0.58	0.27—0.92	53	对数 正态	0.87	0.22—3.88	14	正态	0.46	0.21—0.97
Pb	12	正态	0.65	0.13—1.19	12	正态	0.41	0.15—1.10	13	正态	0.46	0.10—1.28	53	对数 正态	0.66	0.10—21.1	13	正态	1.23	0.20—3.70
Zn	12	正态	6.78	3.82—10.2	12	正态	5.95	2.0—13.25	14	正态	5.03	3.0—12.11	53	对数 正态	4.55	1.5—28.5	14	正态	4.42	1.51—7.40
As	11	正态	1.10	0.84—1.62	11	正态	0.81	0.58—0.98	14	正态	0.73	0.32—1.30	52	对数 正态	0.79	0.20—3.10	14	正态	0.77	0.35—1.42
Hg	12	正态	0.017	0.004—0.060	12	正态	0.015	0.004—0.034	14	正态	0.007	0.003—0.019	53	正态	0.009	0.003—0.028	14	正态	0.009	0.003—0.015
Cd	12	正态	0.012	0.004—0.058	11	正态	0.023	0.005—0.090	14	正态	0.012	0.004—0.037	53	偏态	0.014	0.004—0.340	14	正态	0.009	0.004—0.150
Fe	11	正态	134.7	52.1—285	11	正态	95.1	6.9—266	14	正态	266.5	120.8—428.3	54	正态	200.6	11.5—553	13	正态	116.8	2.0—334.3
Mn	11	正态	63.3	1.37—286	11	正态	19.9	0.89—56.0	14	正态	26.3	11.2—44.8	53	对数 正态	17.8	2.45—80.3	14	正态	11.9	2.9—49.1
Co	11	正态	0.26	0.13—0.42	12	正态	0.14	0.11—0.18	14	正态	0.18	0.11—0.23	53	对数 正态	0.17	0.06—0.60	14	正态	0.22	0.07—0.46
Ni	12	正态	0.41	0.14—1.03	12	正态	0.58	0.18—1.20	14	正态	0.38	0.10—0.91	52	正态	0.33	0.11—0.78	14	正态	0.11	0.11—0.41
Cr	12	正态	0.79	0.16—1.70	12	正态	0.46	0.12—1.04	13	正态	0.48	0.28—0.94	52	正态	1.06	0.08—2.83	13	正态	0.49	0.15—1.14
Mo	11	正态	0.29	0.07—0.56	11	正态	0.67	0.19—1.50	13	正态	0.20	0.09—0.38	53	对数 正态	0.27	0.03—2.70	13	正态	0.42	0.06—0.98
Se	12	正态	0.18	0.06—0.38	12	正态	0.15	0.06—0.28	14	正态	0.12	0.05—0.26	54	正态	0.12	0.04—0.29	13	正态	0.07	0.04—0.18
V	12	正态	0.42	0.10—1.48	11	正态	0.54	0.07—1.53	13	正态	0.43	0.25—0.57	51	对数 正态	0.29	0.08—1.12	14	正态	0.43	0.10—1.04
F	12	正态	0.091	0.037—0.310	12	正态	0.146	0.095—0.213	14	正态	0.128	0.056—0.241	54	对数 正态	0.147	0.039—0.430	14	正态	0.588	0.056—1.668

μg/L

表 15-3-6 鄱阳湖水系主要支流水系单元河水过滤水元素背景值特征统计表

元素名称	饶河				信江				抚河				赣江				修水			
	样本数	分布类型	背景值	背景范围	样本数	分布类型	背景值	背景范围	样本数	分布类型	背景值	背景范围	样本数	分布类型	背景值	背景范围	样本数	分布类型	背景值	背景范围
Cu	11	正态	0.37	0.10—0.60	11	正态	0.47	0.18—0.86	14	正态	0.38	0.15—0.60	52	对数正态	0.48	0.17—1.98	13	正态	0.27	0.14—0.54
Pb	12	正态	0.38	0.07—1.02	12	正态	0.23	0.11—0.54	13	正态	0.23	0.08—0.64	52	对数正态	0.22	0.08—1.43	14	正态	0.31	0.07—0.75
Zn	12	正态	5.16	2.98—9.20	12	正态	4.19	1.10—9.15	13	正态	3.82	2.10—7.90	53	对数正态	3.10	1.04—14.10	14	正态	2.54	1.03—6.30
As	11	正态	0.89	0.40—1.62	12	正态	0.54	0.23—0.92	14	正态	0.42	0.10—0.55	52	对数正态	0.45	0.10—2.42	14	正态	0.51	0.20—0.75
Hg	12	正态	0.012	0.002—0.031	12	正态	0.012	0.004—0.024	14	正态	0.005	0.002—0.01	53	对数正态	0.005	0.001—0.025	14	正态	0.006	0.002—0.012
Cd	12	偏态	0.004	0.002—0.015	12	正态	0.010	0.004—0.011	13	正态	0.008	0.004—0.010	54	偏态	0.005	0.003—0.136	14	偏态	0.005	0.002—0.036
Fe	12	正态	38.6	4.2—92.6	12	正态	16.4	2.8—34.9	14	正态	64.6	10.2—133.7	53	对数正态	34.6	2.20—160.7	13	正态	24.0	1.0—73.3
Mn	11	正态	31.1	1.24—116	11	对数正态	4.93	0.24—56.0	14	正态	12.7	1.111—25.2	52	对数正态	6.75	0.88—38.0	13	正态	5.96	1.29—12.4
Co	12	正态	0.13	0.07—0.22	12	正态	0.08	0.04—0.13	14	正态	0.10	0.05—0.20	52	正态	0.08	0.04—0.22	14	正态	0.10	0.06—0.12
Ni	11	正态	0.17	0.10—0.80	12	正态	0.28	0.14—0.73	14	正态	0.25	0.10—0.50	53	对数正态	0.20	0.10—0.68	13	正态	0.17	0.10—0.40
Cr	12	对数正态	0.42	0.10—1.31	12	正态	0.30	0.06—0.82	13	正态	0.29	0.14—0.55	54	正态	0.68	0.04—2.11	14	正态	0.42	0.09—1.06
Mo	12	正态	0.27	0.09—0.70	12	正态	0.61	0.16—1.20	13	正态	0.16	0.08—0.32	53	对数正态	0.20	0.02—2.40	14	正态	0.40	0.05—1.30
Se	12	正态	0.11	0.03—0.30	12	正态	0.09	0.02—0.16	14	正态	0.07	0.03—0.13	53	对数正态	0.07	0.03—0.23	14	正态	0.05	0.03—0.08
V	11	正态	0.14	0.05—0.20	11	正态	0.42	0.05—1.34	14	正态	0.31	0.10—0.59	53	正态	0.22	0.03—0.63	14	正态	0.40	0.05—1.12
F	12	正态	0.078	0.033—0.288	12	正态	0.125	0.092—0.160	14	正态	0.110	0.052—0.173	54	对数正态	0.137	0.036—0.425	14	正态	0.256	0.039—1.262

表 15-3-7 鄱阳湖水系主要支流水系沉积物(<63 μ m)元素背景值特征统计表

元素名称	饶 河			信 江			抚 河			赣 江			修 水			mg/kg
	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	
Cu	5	正态	35.01 32.61—37.29	6	正态	34.81 14.57—63.43	7	正态	27.52 21.74—33.91	27	正态	25.52 12.67—52.59	7	正态	30.50 14.99—44.21	
Pb	6	正态	30.65 23.0—35.0	6	正态	47.39 28.39—77.07	7	正态	35.24 25.44—46.83	27	正态	43.69 16.33—92.89	7	正态	29.46 18.67—46.67	
Zn	6	正态	97.82 86.68—112.61	6	正态	106.45 89.83—120.81	6	正态	106.48 94.36—122.28	27	正态	79.08 36.95—129.74	6	正态	99.82 78.38—121.99	
As	6	正态	13.19 11.30—15.07	5	正态	7.71 2.12—14.60	7	正态	6.52 3.37—8.59	27	对数 正态	11.87 4.10—48.60	7	正态	11.73 6.25—15.80	
Hg	6	正态	0.098 0.088—0.100	6	正态	0.096 0.052—0.137	6	正态	0.091 0.070—0.110	27	对数 正态	0.088 0.028—0.170	7	正态	0.087 0.047—0.186	
Cd	6	正态	0.280 0.099—0.671	6	正态	0.435 0.113—0.712	7	正态	0.208 0.113—0.268	28	对数 正态	0.272 0.061—3.656	7	正态	1.030 0.055—3.041	
Fe	6	正态	3.30 3.35—5.17	6	正态	3.58 1.76—4.98	7	正态	4.06 3.26—6.22	28	正态	3.32 1.34—5.15	6	正态	4.53 3.41—5.55	
Mn	6	正态	857.50 575.2—1014.3	6	正态	782.7 324.5—1397.5	7	正态	883.2 507.3—1175.3	27	对数 正态	638.7 360.9—1406.7	7	正态	644.7 27.15—1177.4	
Co	6	正态	14.60 11.17—19.0	5	正态	14.76 10.53—19.27	7	正态	12.71 9.87—19.76	28	正态	10.92 5.23—16.83	7	正态	11.42 6.08—15.87	
Ni	6	正态	34.04 22.14—56.66	5	正态	31.59 20.73—41.55	7	正态	19.13 12.62—23.54	28	正态	20.21 9.51—32.99	7	正态	25.83 20.86—35.43	
Cr	6	正态	59.68 47.36—78.64	6	正态	52.66 19.23—77.61	7	正态	42.26 29.55—52.77	28	正态	41.37 17.56—74.96	7	正态	53.76 40.28—70.79	

表 15-3-8 鄱阳湖水系主要支流水系沉积物元素背景值特征统计表

mg/kg

元素名称	饶 河				信 江				抚 河				赣 江				修 水			
	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	背 景 值 范 围	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	背 景 值 范 围	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	背 景 值 范 围	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	背 景 值 范 围	样 本 数	分 布 类 型	背 景 值	背 景 值 范 围
Cu	5	正态	26.23	4.16—41.97	6	正态	29.13	10.74—60.93	7	正态	12.90	6.81—24.66	27	正态	18.15	2.53—37.93	7	正态	21.39	10.74—27.78
Pb	6	正态	23.64	13.36—29.38	6	正态	44.81	23.72—72.15	7	正态	24.65	10.85—33.1	27	正态	37.97	12.94—84.86	7	正态	24.88	10.07—42.43
Zn	6	正态	81.08	5.21—99.74	6	正态	102.00	84.23—118.18	6	正态	77.05	62.11—90.32	27	正态	64.53	15.5—115.31	7	正态	56.98	12.93—94.93
As	6	正态	11.05	4.70—20.50	5	正态	6.71	1.55—13.6	7	正态	4.10	1.23—7.63	28	正态	10.77	2.97—28.3	7	正态	7.32	4.04—13.50
Hg	6	正态	0.065	0.037—0.097	5	正态	0.089	0.07—0.109	7	正态	0.056	0.028—0.105	28	正态	0.069	0.018—0.152	7	正态	0.065	0.043—0.10
Cd	6	正态	0.150	0.065—0.257	6	正态	0.269	0.102—0.528	7	正态	0.133	0.097—0.180	28	对数 正态	0.174	0.045—2.398	7	正态	0.784	0.032—2.356
Fe	6	正态	3.21	2.02—5.11	5	正态	3.23	2.32—4.24	7	正态	2.81	1.67—5.14	28	正态	2.78	1.23—4.15	7	正态	3.31	1.98—4.32
Mn	6	正态	649.4	456.9—866.0	6	正态	714.1	279.2—1197.5	7	正态	534.0	270.6—1023.8	28	正态	554.4	251.3—1163.5	7	正态	542.6	26.8—841.6
Co	6	正态	11.92	6.66—18.02	5	正态	13.82	9.49—18.19	7	正态	8.18	2.91—16.98	28	正态	9.12	1.65—13.47	7	正态	9.58	5.91—13.50
Ni	6	正态	24.53	12.79—37.03	6	正态	24.64	2.83—41.44	7	正态	11.13	5.62—21.37	28	正态	16.77	1.07—31.44	7	正态	22.57	17.39—30.73
Cr	6	正态	52.44	24.89—77.16	6	正态	46.87	14.13—74.76	7	正态	28.54	19.88—44.96	28	正态	32.90	3.11—69.12	7	正态	47.82	33.21—59.95

表 15.3-9 鄱阳湖水系河水中稀有稀土放射性元素背景值特征统计表

表 15-3-9 鄱阳湖水系河水中稀有稀土放射性元素背景值特征统计表												μg/L
元 素	样 本 数	全 距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值	
			平均值	标准差	平均值	标准差	10%	50%	90%			
Rb	22	0.5-6.4	3.2	1.9	2.6	2.2	0.6	3.2	5.8	正态	3.2	
Cs	22	0.008-0.61	0.077	0.127	0.042	2.75	0.011	0.037	0.15	对数正态	0.04	
Sr	22	6--510	72	120	37	2.8	11	33	97	对数正态	37	
Ba	22	4--64	16	14	13	2.0	5	13	24	对数正态	13	
Sb	22	0.01-0.35	0.105	0.097	0.070	2.66	0.014	0.06	0.23	对数正态	0.07	
Sc	22	0.005-0.17	0.034	0.045	0.019	2.89	0.006	0.018	0.087	对数正态	0.019	
U	22	0.01-1.1	0.19	0.26	0.10	3.10	0.03	0.09	0.44	对数正态	0.10	
Th	22	0.003-0.26	0.069	0.084	0.029	4.44	0.003	0.033	0.21	对数正态	0.029	
La	22	0.05-1.3	0.43	0.38	0.28	2.8	0.06	0.33	0.87	对数正态	0.28	
Ce	22	0.12-2.6	0.80	0.70	0.53	2.7	0.13	0.54	1.6	对数正态	0.53	
Nd	22	0.06-1.1	0.38	0.30	0.27	2.5	0.08	0.29	0.73	对数正态	0.27	
Sm	22	0.007-0.24	0.071	0.064	0.043	3.09	0.01	0.05	0.14	偏态	0.05	
Eu	22	0.003-0.35	0.012	0.009	0.009	2.21	0.003	0.008	0.025	对数正态	0.009	
Tb	22	0.003-0.033	0.012	0.009	0.009	2.27	0.003	0.009	0.022	偏态	0.009	
Yb	22	0.005-0.075	0.022	0.017	0.017	2.08	0.006	0.016	0.038	对数正态	0.017	
Lu	22	0.002-0.01	0.004	0.002	0.003	1.64	0.002	0.004	0.006	偏态	0.004	

表 15-3-10 鄱阳湖水系河水过滤水稀有稀土放射性元素背景值特征统计表

元 素	样 本 数	全 距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位			分布类型	背景值
			平均值	标准差	平均值	标准差	10%	50%	90%		
Rb	22	0.5--6.0	2.9	1.7	2.3	2.1	0.6	2.9	5.4	正态	2.9
Cs	22	0.002—0.15	0.029	0.032	0.020	2.46	0.006	0.018	0.053	对数正态	0.02
Sr	22	5—500	69	119	34	2.9	11	28	94	对数正态	34
Ba	22	3—61	15	14	12	2.0	4	12	24	对数正态	12
Sb	22	0.01—0.34	0.095	0.093	0.063	2.56	0.014	0.06	0.23	对数正态	0.06
Sc	22	0.001 0.027	0.007	0.006	0.005	2.16	0.002	0.005	0.020	对数正态	0.005
U	22	0.01—1.0	0.17	0.26	0.08	3.17	0.03	0.05	0.43	对数正态	0.08
Th	22	0.002—0.05	0.009	0.011	0.006	2.17	0.003	0.005	0.014	对数正态	0.006
La	22	0.03—0.5	0.11	0.11	0.08	2.14	0.04	0.06	0.24	偏态	0.06
Ce	22	0.07 0.86	0.21	0.20	0.15	2.06	0.08	0.14	0.45	偏态	0.14
Nd	22	0.05—0.38	0.11	0.09	0.09	1.9	0.05	0.07	0.22	偏态	0.07
Sm	22	0.006—0.088	0.019	0.019	0.014	1.99	0.007	0.01	0.041	偏态	0.01
Eu	22	0.002—0.014	0.004	0.003	0.004	1.75	0.002	0.003	0.007	偏态	0.003
Tb	22	0.003—0.008	0.005	0.001	0.004	1.38	0.003	0.004	0.007	偏态	0.004
Yb	22	0.004—0.021	0.009	0.004	0.008	1.47	0.005	0.008	0.010	偏态	0.008
Lu	22	0.001—0.004	0.002	0.001	0.002	1.56	0.001	0.002	0.003	偏态	0.004

值饶河稍高,铜、砷元素分布规律大致相似。水环境单元中锌元素背景值以饶河、信江及抚河略高;过滤水中铅值以饶河略高,沉积物中铅元素背景值以信江、赣江略高,本水系各条河流汞元素背景值水平差异不大,水相中汞值饶河、抚河略高一点,五大河流汞元素背景值普遍较低。饶河上游、信江铅山一带、抚河上游及赣江上游章水、贡水地带多为花岗岩、碎屑岩出露,泥灰岩、页岩有一定分布,这些岩体铜、铅、锌和砷等元素含量较高,对五大河流汞元素分布有一定影响。

从各条河流亲铁元素背景值比较来看,原水中铁值以抚河、赣江稍高,信江较低;悬浮态中的铁元素背景值也以抚河、赣江较高。水环境单元锰元素背景值以饶河、抚河稍高,锰的高值区也多在饶河流域。铬元素背景值则以赣江流域略高。镍元素背景值以信江、抚河稍高于其它河流,钒元素高值点位多在信江流域;钴值各条河流含量分布差异不大,以饶河稍高。总之,鄱阳湖流域亲铁元素背景值以赣东至赣南区域分布稍高。

五大河流镉元素背景含量水平在 10^{-11} mol/L 数量级,普遍较低,沉积物中镉含量以修河、信江稍高。硒元素含量各条河流差异不大;钼元素背景水平以信江略高,修河次之;氟元素背景含量修河、赣江流域的袁河较高,修河及袁河流域碳酸岩出露较为广泛,有资料报道,水中氟含量随着碳酸盐总量增高而上升,同时与水中钠离子含量呈正相关,袁河及修河水体钠离子及重碳酸根离子含量较高,有利于水中氟离子的迁移。

五、鄱阳湖水系河流水体稀有稀土、放射性元素背景值

1. 河水元素背景值:鄱阳湖水系河水中的稀有稀土和放射性元素的含量丰度顺序与地壳丰度基本一致,但主要以溶解态存在于水中的 U、Sb 和 Cs 在河水中的顺序向前位移。尽管鄱阳湖水系稀有稀土和放射性矿藏资源蕴藏量较多,但并未使鄱阳湖水系河水的背景值明显增高(表 15-3-9 和表 15-3-10)。

2. 过滤水元素背景值:将鄱阳湖水系过滤水的稀有稀土元素背景值与世界淡水及国内外若干河流的元素含量比较结果列于表 15-3-11,可以看出,鄱阳湖水系稀有稀土元素

表 15-3-11 鄱阳湖水系稀有稀土元素背景值与国内外河流的比较 $\mu\text{g/L}$

元素	世界淡水	希恩河 Skine	美国河 Main	密西西比河 Nississip	松花江水系	洞庭湖水系	本水系
Rb	1	1.1	1.4	1.5	1.7	2.5	2.9
Cs	0.02	0.098		0.019	0.043	0.06	0.02
Sr	70	19		50	68	61	31
Ba	10	12		10	18	28	12
Sb	0.2	0.23	0.5	0.30	0.11	0.3	0.06
Sc	0.01	0.015	0.008	0.001	0.011	0.005	0.005
U	0.4		1.8		0.12	0.30	0.08
Th	0.03	0.08			0.016	0.007	0.006
La	0.1	0.33	0.23		0.14	0.05	0.06
Ce	0.2	0.17			0.16	0.13	0.14
Nd	0.2				0.4	0.4	0.07
Sm	0.06	0.12	0.002		0.023	0.009	0.01
Eu	0.006	0.009	0.006		0.008	0.005	0.003
Tb	0.003				0.007	0.004	0.004
Yb	0.010	0.20			0.017	0.007	0.008
Lu	0.003				0.003	0.003	0.002

表 15-3-12 鄱阳湖水系沉积物中稀有稀土元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值	全距
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%		
Rb	22	对数正态	175	81	160	1.52	100	155	262	160	75—410
Cs	22	对数正态	11.4	4.6	10.6	1.50	6.2	9.7	1.87	10.6	3.9—21.4
Sr	22	对数正态	115	73	100	1.67	49	92	160	100	39—390
Ba	22	正态	491	178	464	1.41	262	455	720	491	250—950
Sb	22	对数正态	1.13	0.86	0.86	2.13	0.30	0.75	2.08	0.86	0.24—3.6
Sc	22	正态	11.5	2.68	11.2	1.33	9.0	11.8	15.0	12.0	4.1—16.7
U	22	对数正态	8.5	6.1	6.9	1.9	3.1	6.7	14.7	6.9	2.9—28
Th	22	对数正态	33.2	27.1	24.1	2.36	6.6	26	66	24	3.6—100
La	22	对数正态	92	65	76	1.84	38	59	160	76	35—290
Ce	22	对数正态	185	134	151	1.87	76	115	362	151	66—580
Nd	22	对数正态	80	54	67	1.81	35	57	148	67	31—230
Sm	22	对数正态	15	10	12	1.84	6.2	11	30	12	5.4—42.1
Eu	22	对数正态	1.7	0.89	1.5	1.66	0.79	1.3	2.5	1.5	0.42—4.5
Tb	22	对数正态	2.1	1.2	1.8	1.73	0.87	1.5	3.8	1.8	0.81—4.9
Yb	22	对数正态	6.0	3.9	5.0	1.82	2.5	3.8	12.2	5.0	2.1—13.6
Lu	22	偏态	0.97	0.60	0.82	1.77	0.36	0.66	1.7	0.66	0.31—1.9

mg/kg

的背景值除 Rb 偏高外,其余元素都接近或低于世界淡水的平均值。与国内外几条河流比较也表明除 Rb 稍高外,Sr、Sb、U 和 Th 都略低于其他河流,而 Cs、Ba、Sc 和稀土元素都与其他河流的低值接近。稀土元素、Th 和 Sc 的背景值与洞庭湖水系基本相同,低于松花江水系和国外的一些河流,可能与地处亚热带地区因而降水量较大有关。

3. 沉积物元素背景值:表 15-3-12 列出了鄱阳湖水系河流沉积物稀有稀土和放射性元素的背景值,数理统计表明 Ba 和 Sc 为正态分布, Lu 为偏态分布,其余 13 种元素皆为对数正态分布。

通过比较可以看出鄱阳湖水系河流沉积物背景值的某些特征,与世界河流沉积物平均值比较(表 15-3-13),Rb、Ba、Sb 和 Sc 的背景值与该平均值相当接近。其余元素差异较明显:Sr 的背景值明显地低于世界沉积物的平均值,约为后者的 1/3;Cs、U、Th 和稀土元素比世界沉积物平均值高 1.5—3 倍。与国内某些河流沉积物比较也有类似的情况:Rb、Cs、Ba、Sb 和 Sc 的背景值与洞庭湖水系、松花江水系和长江全水系的沉积物背景值都比较接近;Sr 的背景值比松花江水系和长江全水系约低 1 倍,但与洞庭湖水系接近;而 Th、U 和稀土元素的背景值比松花江水系、洞庭湖水系和长江水系都大约高 1 倍。以上结果表明,鄱阳湖水系沉积物的 Th、U 和稀土元素的背景值明显地高于国内外一般河流沉积物。但从前面过滤水元素背景值的讨论中已知,溶解态 Th、U 和稀土元素的背景值与国内外河流差异并不显著,这表明上述元素在沉积相中的分布比在水相更能反映区域环境的地球化学特征。

表 15-3-13 鄱阳湖水系河流与国内外河流沉积物背景值比较 mg/kg

元 素	世界沉积物平均含量	长江全水系	松花江水系	洞庭湖水系	鄱阳湖水系
Rb	135	99	107	147	160
Cs	4.2	6.0	6.8	7.3	10.6
Sr	320	245	200	94	100
Ba	460	460	760	554	491
Sb	1.2	1.1	0.93	1.3	0.86
Sc	10.0	9.0	7.9	9.5	12.0
U	3.1	3.5	3.7	3.6	6.9
Th	9.6	13	11.5	13	24
La	47	47	43	43	76
Ce	83	87	72	66	151
Nd	52	43	42	38	67
Sm	6.4	7.1	3.6	5.4	12
Eu	1.2	1.3	1.3	1.1	1.5
Tb	1.0	1.0	0.89	0.73	1.8
Yb	3.6	2.9	2.8	2.5	5.0
Lu	0.7	0.42	0.5	0.42	0.66

4. 鄱阳湖水系主要支流水体元素的含量与背景值

鄱阳湖流域地质构造复杂,岩石类型有基性和酸性火成岩、砂岩、石灰岩和碎屑岩,这些岩石的元素组成有较大的差异,抗风化和溶蚀性也有很大差异,因此对地表水的影响亦存在相当大的不同,形成不同的元素背景值。

表 15-3-14 列出了赣江、抚河、信江、修水和饶河河水的稀有和稀土元素的背景值,可以看出,稀土元素、Th 和 Sc 有类似的分布,以抚河背景值为最高,其次是赣江。而水中易迁移元素 Sr、Ba、Sb 和 U 的分布也相似,以信江的背景值为最高,这种分布主要受河水流经地区岩性的影响。

表 15-3-14 鄱阳湖水系 5 条主要河流的元素背景值

μg/l.

元素	河流	原水(元素总量)		过滤水(元素溶解态)		元素悬浮态	
		平均值	含量范围	平均值	含量范围	平均值	占总量的百分数(%)
Rb	赣江	3.3	0.5—6.4	2.9	0.5—6.0	0.4	9
	抚河	3.3	2.6—4.0	2.8	2.5—3.0	0.5	12
	信江	2.0	1.4—3.2	1.9	1.3—3.1	0.1	15
	修水	2.8	0.5—4.4	2.5	0.5—3.5	0.3	5
	饶河	0.7		0.6		0.1	11
Cs	赣江	0.057	0.023—0.15	0.024	0.007—0.083	0.033	58
	抚河	0.033	0.018—0.043	0.027	0.016—0.038	0.006	18
	信江	0.018	0.008—0.029	0.012	0.002—0.023	0.006	33
	修水	0.050	0.015—0.085	0.037	0.013—0.060	0.013	26
	饶河	0.021		0.014		0.007	33
Sr	赣江	45	6—510	38	5—500	7	16
	抚河	28	23—35	26	21—32	2	7
	信江	48	10—88	47	10—88	1	2
	修水	42	14—99	41	14—95	1	2
	饶河	35		35			
Ba	赣江	14	6—25	12	6—25	2	14
	抚河	14	12—15	12	9—15	2	14
	信江	23	5—64	22	4—61	1	4
	修水	20	4—46	18	3—45	2	10
	饶河	5		5			
Sb	赣江	0.09	0.01—0.31	0.05	0.01—0.30	0.04	41
	抚河	0.05	0.04—0.06	0.04	0.03—0.05	0.01	20
	信江	0.15	0.04—0.35	0.14	0.04—0.34	0.01	7
	修水	0.16	0.08—0.22	0.12	0.06—0.22	0.04	25
	饶河	0.10		0.10			
Sc	赣江	0.043	0.007—0.17	0.005	0.002—0.01	0.038	88
	抚河	0.066	0.028—0.14	0.016	0.001—0.027	0.050	76
	信江	0.010	0.006—0.018	0.004	0.002—0.006	0.006	60
	修水	0.011	0.006—0.022	0.007	0.004—0.012	0.004	36
	饶河	0.005		0.003		0.002	40
U	赣江	0.13	0.03—1.1	0.10	0.03—1.1	0.03	23
	抚河	0.062	0.055—0.071	0.055	0.046—0.070	0.007	11
	信江	0.19	0.03—0.47	0.18	0.03—0.46	0.01	5
	修水	0.16	0.01—0.31	0.12	0.01—0.30	0.04	25
	饶河	0.029		0.029			

续表

元素	河流	原水(元素总量)		过滤水(元素溶解态)		元素悬浮态	
		平均值	含量范围	平均值	含量范围	平均值	占总量的百分数(%)
Th	赣江	0.043	0.03—0.26	0.006	0.003—0.027	0.037	86
	抚河	0.078	0.034—0.15	0.023	0.005—0.015	0.055	71
	信江	0.017	0.006—0.033	0.007	0.003—0.011	0.010	59
	修水	0.073	0.003—0.21	0.003	0.002—0.004	0.070	96
	饶河	0.004	-	0.004			
La	赣江	0.36	0.06—1.3	0.09	0.03—0.25	0.27	75
	抚河	0.54	0.41—0.67	0.27	0.03—0.50	0.27	50
	信江	0.16	0.08—0.28	0.04	0.03—0.05	0.12	75
	修水	0.37	0.08—0.82	0.05	0.04—0.07	0.32	86
	饶河	0.05		0.05			
Ce	赣江	1.03	0.26—2.6	0.17	0.08—0.46	0.86	83
	抚河	0.99	0.76—1.3	0.50	0.14—0.86	0.49	49
	信江	0.28	0.15—0.49	0.095	0.08—0.14	0.19	68
	修水	0.72	0.18—1.6	0.10	0.07—0.16	0.62	86
	饶河	0.12				0.02	17
Nd	赣江	0.46	0.07—1.1	0.11	0.05—0.30	0.35	76
	抚河	0.53	0.40—0.67	0.27	0.10—0.38	0.26	49
	信江	0.15	0.10—0.26	0.06	0.05—0.06	0.09	60
	修水	0.36	0.10—0.75	0.05	0.05—0.06	0.31	86
	饶河	0.06		0.06			
Sm	赣江	0.094	0.010—0.24	0.015	0.01—0.041	0.076	84
	抚河	0.093	0.066—0.12	0.049	0.013—0.088	0.044	47
	信江	0.022	0.010—0.043	0.010	0.007—0.013	0.012	55
	修水	0.056	0.011—0.13	0.007	0.006—0.009	0.049	88
	饶河	0.007		0.007			
Eu	赣江	0.013	0.003—0.024	0.003	0.002—0.006	0.010	77
	抚河	0.019	0.014—0.035	0.010	0.003—0.014	0.009	47
	信江	0.006	0.004—0.008	0.003	0.002—0.004	0.003	50
	修水	0.014	0.004—0.030	0.003	0.002—0.003	0.011	78
	饶河	0.003		0.003			
Tb	赣江	0.015	0.003—0.033	0.005	0.003—0.008	0.010	67
	抚河	0.015	0.010—0.018	0.006	0.005—0.007	0.009	60
	信江	0.005	0.003—0.009	0.004	0.003—0.005	0.001	20
	修水	0.009	0.003—0.019	0.004	0.003—0.005	0.005	56
	饶河	0.004		0.004			
Yb	赣江	0.030	0.005—0.075	0.009	0.005—0.019	0.021	70
	抚河	0.023	0.015—0.028	0.013	0.008—0.021	0.010	43
	信江	0.011	0.006—0.016	0.005	0.005—0.007	0.006	54
	修水	0.015	0.007—0.026	0.008	0.007—0.009	0.007	47
	饶河	0.007					

续表

元素	河流	原水(元素总量)		过滤水(元素溶解态)		元素悬浮态	
		平均值	含量范围	平均值	含量范围	平均值	占总量的百分数(%)
Lu	赣江	0.005	0.002—0.01	0.002	0.001—0.003	0.003	60
	抚河	0.004	0.003—0.005	0.003	0.002—0.004	0.001	25
	信江	0.003	0.002—0.004	0.001	0.001—0.002	0.002	67
	修水	0.003	0.002—0.005	0.002	0.001—0.002	0.001	33
	饶河	0.002		0.002			

赣江为本水系最大的河流,其主要支流有袁水、禾水、章水、贡水、桃江、平江和梅江等,在章水和桃江上游的大余和龙南地区,花岗岩广泛出露,其中富含稀土元素,河水中稀土元素的背景值明显地高于其他河流。而袁水上游广泛分布的是石灰岩,河水中 Sr、Ba、Sb 和 U 的背景值比其他地区高几倍到几十倍,但稀土元素偏低。禾水上游主要是火山碎屑岩,该地区河水中 Sr、Ba、Sb 和 U 的背景值也较高,稀土元素也偏低。因此,作为综合结果赣江的 Rb、Sr 和 U 的背景值高于其他 4 条河流和鄱阳湖全水系的背景值,而 Th 和 8 种稀土元素的背景值与鄱阳湖水系的背景值接近。

抚河上游盱江地区广泛出露花岗岩和变质岩,河水中稀土元素的背景值明显地高于鄱阳湖水系的平均值和其他 4 条河流。Th 和 Sc 也有相同的趋势。

信江上游玉山地区主要是石灰岩地区,河水中 Sr、Ba 和 U 等易迁移元素的背景值较高,铅山地区为花岗岩和碎屑岩,河水中微量元素也偏高。

修水的 Sr、Ba、Sb 和 U 的背景值仅低于信江而高于赣江和抚河,这与相应地区广泛分布的板岩和砂岩等有关。

饶河上游为花岗变质岩,河水中多数微量元素背景值较低。

由于赣江及其一些支流(袁水、禾水、锦江和遂川江等)沉积物中上述元素的背景值并不高(表 15-3-15),因此,平均的结果赣江的 Th 和稀土元素的背景值比抚河约低 1 倍,但仍高于信江、修水和饶河。以上分布特点与稀有和稀土元素溶解态背景值的分布趋势十分相似。

从以上讨论可以看出,流经花岗岩地区的河水中稀土元素、Th 和 Sc 等背景值明显偏高;流经石灰岩地区的河水中 Sr、Ba、Sb 和 U 等水中易迁移元素的背景值显著地高于其他地区。因此,河水流经地区的岩性是稀土和稀有元素水环境背景值的重要影响因素。当然气候因素也十分重要,鄱阳湖水系地处亚热带湿润区,气温较高,雨量充沛,有利于岩石风化和元素的迁移。5 大支流沉积物的元素背景值均为算术平均值,从表 15-3-15 可以看出 5 大支流的沉积物中 Rb、Cs、Ba 和 Sc 的背景值都与全水系的平均值接近,而 Sr、Sb、U、Th 和 8 种稀土元素的背景值在各河流间差异较大。其中 Sr 和 Sb 的背景值以饶河为最高,约为抚河和赣江的 1.5—4 倍,而 U、Th 和稀土元素的背景值恰好相反,是抚河和赣江的沉积物中较高,约为另 3 条河流的 1.5—3 倍,饶河为最低。赣江上游的主要支流桃江、章水和贡水分别流经龙南、大余和会昌地区,这些地区河流沉积物中 U、Th 和稀土元素的背景值明显地高于其他地区。

表 15-3-15 鄱阳湖水系及支流沉积物的元素背景值

mg/kg

元 素	鄱阳湖水系		赣 江	抚 河	信 江	修 水	饶 河
	背景值	背景值范围					
Rb	160	94—275	199	169	141	153	109
Cs	10.6	6.3—18.0	12.4	9.2	14.6	8.7	8.3
Sr	100	52—194	120	64	152	99	177
Ba	491	261—721	405	580	607	550	580
Sb	0.86	0.32—2.29	0.93	0.48	1.43	1.68	2.08
Sc	12.0	8.1—15.0	11.4	11.1	12.8	10.6	15.1
U	6.9	3.1—16.0	9.8	10.8	6.2	6.4	3.1
Th	24	8.0—73	37	59	22	21	15
La	76	35—167	94	198	62	52	55
Ce	151	67—339	184	361	121	99	104
Nd	67	31—144	82	152	55	45	57
Sm	12	6.2—30	16	28	9.3	8.3	11
Eu	1.5	0.77—2.8	1.6	3.0	1.2	1.1	1.7
Tb	1.8	0.88—3.6	2.3	3.3	1.3	1.2	1.5
Yb	5.0	2.3—10.9	7.7	7.9	3.2	3.7	3.6
Lu	0.66	0.36—1.7	1.0	1.1	0.44	0.56	0.51

第十六章 长江下游水系水体中的化学元素

第一节 长江下游水系的环境特征

长江下游水系研究区范围选择了位于长江下游,主要包括大别山南麓的入长江的支流、青弋江、水阳江及太湖水系等,其总面积约为 16 万 km^2 ,该区的北部为大别山低山丘陵区,是长江流域和淮河流域的分水岭;南部为皖南山地,构成了暖温带和亚热带的分界线;中部是苏皖平原;东部为著名的长江三角洲平原,大别山地和皖南山地是本区各水系的发源地,淠水、皖河、巢湖入湖河流等皆发源于大别山,青弋江和水阳江分别发源于黄山和天目山。

一、水系组成

选择调研的水系可分为四部分:大别山南麓水系;巢湖水系;青弋江、水阳江水系;长江下游干流及太湖水系。

1. 大别山南麓水系。大别山是淮河和长江的分水岭,发源于大别山南麓的诸河直接汇入长江,而且河流长度不大,流域面积较小,径流量不大,流域面积较大的支流有淠水和皖河。

淠水位于湖北省境内,发源于大别山脉的新店至高山一线,流域面积 2504km^2 ,全长 165km ,平均坡降 21% ,平均流量 $52\text{m}^3/\text{s}$ 。该河的两支支流西河和东河在英山县城南汇合,构成淠水,在淠水县的兰溪镇汇入长江。白莲河水库是淠水上较大的水库,控制流域面积 1800km^2 ,多年平均流量 $37\text{m}^3/\text{s}$,总库容为 11.04 亿 m^3 ,主要用于灌溉和防洪。

皖河发源于大别山东侧,其上游为太湖河,花凉亭水库以下始称皖河,西流 61km 至怀宁县,接纳了潜水和皖水,再西流 28km 入七里湖、八里湖,于安庆市西入长江。皖河中游河网密布,渠道纵横。

皖河全长 188km ,流域面积 6442km^2 ,两岸地形自西北向东南倾斜,花凉亭水库以上为上游,多为山地,坡降为 $5.0\%-1.0\%$;怀宁以上为中游,多山地丘陵,坡降为 $1.0\%-0.5\%$;下游为平原、圩区,坡降为 $0.5\%-0.3\%$ 。皖河水系内以山区为主,占流域面积的 65.6% ,丘陵面积占 19.3% ,平原仅占 15.1% 。该河多年平均流量为 $130\text{m}^3/\text{s}$ 。

2. 巢湖水系。巢湖水系流域面积近 13130km^2 ,入湖河流有 33 条,多具有山溪性特点,重要的为杭阜河。杭阜河发源于大别山东侧,流域面积约 4506km^2 ,多年平均流量为 $56.4\text{m}^3/\text{s}$,河流总长度为 154km ,该河于三河镇同丰乐河汇合后入巢湖。该河上游已建有龙河口水库,控制流域面积 1120km^2 ,多年平均流量为 $27\text{m}^3/\text{s}$,总库容 7.87 亿 m^3 ,主要用于防洪、灌溉。

巢湖是 1 万年前形成的构造湖,东西长 53km ,南北宽 22km ,在平均水位 $7.5-7.8\text{m}$ 时湖面面积约有 756.20km^2 ,湖容约 17 亿 m^3 。

巢湖经裕溪河与长江相通,裕溪河在安徽和县裕溪口入长江,经裕溪河输出的巢湖多

年平均水量约 33 亿 m^3 。

3. 青弋江、水阳江水系。青弋江、水阳江水系包括青弋江、水阳江。上游分别发源于黄山和天目山,下游河道纵横交错,在芜湖的鲁港长河和当涂的太平口流入长江。流域面积 17455km^2 (其中安徽占 93.2%,江苏占 6.8%),地形南高北低,按地形划分,山地面积占 55%,丘陵占 27%,冲积平原占 14%,湖泊占 4%。

青弋江水系位于安徽省境内,流域面积为 7150km^2 ,干流总长 275km,该河的多年平均流量为 $174\text{m}^3/\text{s}$ 。麻川河、徽水、蒲溪、秋溪、舒溪、茶溪等为该河的主要支流。青弋江干流已建成太平水库(又称太平湖),控制流域面积 2800km^2 ,多年平均流量 $88\text{m}^3/\text{s}$,总库容为 24.7 亿 m^3 。

二、区域地质地貌条件

地质地貌条件是影响区域水体环境背景值形成的重要因素。该区地处我国东部新华夏第二隆起带、新华夏第二沉降带和淮阳山字型前弧东翼的复合部位。在漫长的地质历史过程中,经历了多次构造运动,地质构造较复杂,南北向构造形迹和东西构造形迹都较为发育,并伴随有大量岩浆侵入。从太古代至古生代,震旦纪到印支期,燕山期到喜山期都有活动。但无论是加里东运动、华力西运动,还是印支运动,仅波及部分地区,直至燕山运动才遍及全区,主要表现为强烈的断裂和频繁的岩浆喷发和侵入,形成了本区基底的拗型。继之为喜马拉雅运动,使本区沉积了厚薄不等的、从白垩系到新生界地层。

本区出露的地层较全,太古界、元古界、中生界和新生界地层都有出露,沉积岩以灰岩、砂岩为主,岩浆岩主要为花岗岩,变质岩主要为片麻岩。片麻岩主要分布于大别山区,花岗岩类主要分布于大别山区和皖南山区,灰岩主要分布于皖南山地,砂岩遍及全区低山丘陵地带,苏皖平原和长江三角洲主要为亚粘土、亚砂土等第四纪冲积物。

由于该区处于淮阳断块和扬子断块的接触地带,现代地貌轮廓在燕山运动时期基本形成。在地势上,由于长江从中穿流而过,构成了南、北高,中间和东部低的地貌景观,地貌类可划分为三类:冲积平原、侵蚀丘陵和山地。

冲积平原、侵蚀丘陵和山地构成本区地貌的轮廓。冲积平原沿长江两岸分布,形成了辽阔的长江下游平原,整个平原地势低平,海拔均在 50m 以下,由苏皖平原和长江三角洲平原构成。苏皖平原从湖口至镇江,两边有山地和丘陵夹峙,平原狭小而纵长,镇江以下,空旷辽阔,是长江三角洲平原。侵蚀丘陵和山地主要分布在本区南北两侧,构成长江下游水系的分水岭。北侧主要为大别山地,经长期剥蚀,山势低平,海拔大部分也在 1000m 以下,部分地带仅 200m 左右,南侧主要为天目山、黄山、九华山等山地,海拔大部分也在 1000m 以下,少部分山峰达 1000m 以上。

三、气候特征

本区处于中纬度地带,属亚热带季风区,气候温和多雨。6 月中旬到 7 月上旬为梅雨季节,雨量较多,阴雨连绵,雨期较长;梅雨结束后进入炎夏,降水受太平洋副热带高压(台风)控制,多为雷阵雨,降水强度大,秋冬季一般较干燥,雨量较少。

长江下游区平均年降雨量在 800—1300mm。一般南部多、北部少,东部多、西部少。山区大于平原,江南大于江北。大别山和黄山分别是江北和江南的两个多雨中心,局部地区高达 1500mm 和 1800mm。

该区无霜期一般在 210—250 天,活动积温 $5100—5200^\circ\text{C}$ 。多年平均气温约为 15°C 。

17℃,年最高气温出现在7月份,最低出现在1月份,7月份平均气温28—29℃,历年最高达40℃以上;1月平均气温2—4℃,最低气温-10℃以下,多年平均径流深200—1000mm,平原丘陵地区较小,山区较大。

历年最大暴雨一般出现在6—8月间,年最大24h雨量均值100—130mm,山区大于平原,变差系数0.50—0.60。上游具有山溪性的特点,暴涨暴落,中下游较平缓。

年侵蚀模数一般200—500t/km²。大别山区较大,皖南山区较小。

四、植被特征

长江下游典型区位于温暖而湿润的亚热带季风气候区,其植被组成,既有温带的落叶阔叶树,也有亚热带的常绿阔叶树,植被属落叶阔叶—常绿阔叶混交林过渡类型。在植物种属上也具有明显的过渡性。落叶阔叶乔木层中以壳斗科的栎属树种最多,主要有有槲树、小叶栎、麻栎、栓皮栎等,此外还混生有枫香、黄连木、化香树等落叶树,林中夹杂的常绿阔叶树有棕榈、女贞、刺柞、猫儿刺、华冬青等。乔木层中,落叶阔叶树多居最高层,常绿阔叶树常居亚乔木层或灌木层。目前在平原、丘陵及山地中,已无完整的天然植被,森林全是次生林。本区是杉木、马尾松、油茶、油桐、乌桕、毛竹、棕榈、枫香等亚热带树种分布的北界,也是棠梨、毛白杨等若干华北温暖带植被分布的南界。

五、土壤特征

土壤是母岩在气候、地形、生物等作用下形成的,与水环境处于相互作用的状态,对水环境的组成和元素含量有一定的影响。

本区主要土壤类型有黄壤、黄棕壤、红壤和水稻土。黄棕壤是本区地带性土壤,兼有红壤和黄壤的某些特征,其成土过程与棕壤相似,以粘化作用为主,但又具有明显的富铝化特征,主要粘土矿物为云母—蛭石—高岭石。黄棕壤、黄壤主要分布于大别山区的低山丘陵地带,在皖南山区也有少量分布;红壤仅分布于皖南山区,水稻土主要分布于河谷平原及长江下游平原,在水耕熟化过程中,使广泛分布于冲积淤积平原的草甸土、沼泽土以及盐渍土上逐渐发展成为肥沃的水稻土,这是人类活动的产物。

本区土壤的形成多是在古风化壳的基础上形成的。古风化壳多为富铝风化壳,是在第三纪末开始形成,其脱硅富铝化过程一直延续至今,所以本区大部分土壤既受近代气候条件的影响,又有古风化壳的残留特征。

第二节 长江下游水系水的理化特征

长江下游河流多短小,本节例举杭阜河和太平湖等水的理化条件,以表征长江下游地区河流、湖泊的理化基本特征。

杭阜河河水的水化学类型为C₁S型水,离子总量为48—108mg/L,矿化度为1.24—2.64meq/L,总硬度为1.15—2.22度(德)。巢湖的水化学类型多为C₁S型水,离子总量为93—146mg/L,矿化度为2.44—4.18meq/L,总硬度为2.13—4.23度(德)。裕溪河水的水化学类型为C₁S—C₂S型水,离子总量为99—203mg/L,矿化度为2.68—5.58meq/L。总硬度为2.47—6.42度(德)。

太平湖上游河流的水化学类型为C₁S—C₂S型水,离子总量为46—98mg/L,矿化度为1.22—2.44meq/L,总硬度为1.43—2.89度(德)。太平湖下游河水的水化学类型为C₁S

Ca^{2+} 型水,离子总量 69—172mg/L,矿化度为 1.86—4.62meq/L,总硬度为 1.18—5.61 度(德)。

水阳江的水化学类型为 $\text{Ca}^{2+}-\text{Cl}^{-}$,离子总量为 118—156mg/L,矿化度为 2.9—4.1meq/L,总硬度为 3.62—4.96 度(德)。

第三节 长江下游水系水体元素含量和背景值

长江下游地区是我国重点经济开发地区,人口稠密,工业发达,在人类活动如此频繁的区域,背景值研究样点位置的选择就显得相当重要。我们选择发源于大别山、黄山、天目山的长江支流水域做为本地区水体环境背景值调查研究的典型区。在这些水域地表植被较好,基本没有工业废水流入,在相对很少受到工业污染的中上游,开展水体环境背景值调查研究。

按区域主导因子如水系流经区的岩石类型、地质年代、土壤类型、地貌类型及水体的类型划分,并以岩石类型、水体类型为主。

结合区域差异性,长江下游典型水域划分为:青弋江水系、水阳江水系、大别山南麓的皖浙水域、巢湖水系及长江干流等水系河段,以示长江下游水系水体元素的含量和背景值特征。

一、河水元素背景值

表 16-3-1 和 16-3-2 表明长江下游水系河水(原水)和过滤水(溶解态)元素的背景值为对数正态或正态分布,离散性小,元素在河水中的含量分布较稳定,变化小。同长江全水系河水和过滤水中的元素背景值比较大多数元素略呈偏高的趋势,尤以 Cd 和 Mn、Fe 最为明显,与世界淡水均值比较 Cu、Mn、Fe、Cr 亦趋向偏高,其他元素多接近。

与温带的松花江水系河水原水比较,Cu、Pb、Co、Ni、As 略低于松花江的含量,其他元素的含量比较接近。

过滤水中元素背景值,除 Co、Cr 与世界其他水域背景值比较接近外,大多数元素都低于世界河水的平均含量,也低于美国、澳大利亚等国河水的含量,而与国内松花江过滤水相比,本区 As、F 含量略高,其他元素均较接近或低于松花江河水的背景含量水平。

本区江河水过滤水中稀有稀土元素背景值含量大多低于或接近国内外其他水域相应元素的含量(表 16-3-3),只 Ce、Sr 两个元素略高于其他水域中的含量。

二、沉积物元素背景值

长江下游水系河流沉积物和 $<63\mu\text{m}$ 部分的沉积物元素背景值列于表 16-3-4 和表 16-3-5,除个别元素为正态分布外,其他均为对数正态分布,标准偏差亦较小,表明长江下游调研水系河流沉积物元素的天然含量区域分异不显著。与国内河流沉积物比较,如松花江水系沉积物元素背景值以及美国、德国都较接近,与沉积岩和土壤的克拉克值基本在同一水平,与长江全水系比较,除 Mn 略高外,其他元素非常接近或略偏低。 $<63\mu\text{m}$ 的细粘粒沉积物较长江全水系除 Mn 略高外,其他元素都明显低于全长江水系沉积物元素背景值的平均水平。这种现象表明,长江中下游河流沉积物元素在细粘部分的富积程度较低。长江下游河流沉积物稀有稀土放射性元素的背景值,同上述微量元素的背景值相似,除 Lu、Sr 明显低于世界河流沉积物均值外,其他元素基本一致,因为表 15-3-6 所列世界河

表 16-3-1 长江下游水系河水元素背景值特征统计表

元 素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	21	对数正态	1.37	1.77	0.92	2.10	0.46	0.73	2.14	0.92	0.35—2.39
Pb	21	对数正态	0.72	0.52	0.49	2.44	0.10	0.53	1.45	0.49	0.15—1.53
Zn	21	对数正态	11.23	12.47	5.87	3.21	0.88	5.27	20.70	5.87	1.30—26.44
Cd	21	对数正态	0.078	0.046	0.071	1.470	0.053	0.066	0.098	0.071	0.043—0.115
Co	21	对数正态	0.262	0.148	0.220	1.670	0.130	0.200	0.550	0.22	0.110—0.420
Ni	21	对数正态	0.80	0.41	0.68	1.64	0.40	0.65	1.42	0.68	0.36—1.29
As	20	对数正态	1.22	0.72	0.98	1.87	0.41	1.28	1.82	0.98	0.44—2.18
Hg	21	对数正态	0.005	0.003	0.004	2.150	0.001	0.005	0.008	0.004	0.001—0.011
Cr	21	对数正态	1.33	0.73	1.15	1.68	0.61	1.17	2.42	1.15	0.59—2.25
Se	21	正态	0.18	0.07	0.17	1.46	0.09	0.18	0.27	0.18	0.09—0.26
Mo	21	对数正态	0.53	0.44	0.41	1.98	0.16	0.39	1.09	0.41	0.17—0.98
V	21	对数正态	1.54	0.87	1.32	1.63	0.68	1.26	2.80	1.32	0.70—2.49
Mn	21	对数正态	21.72	22.24	11.49	3.17	2.70	12.00	45.30	11.49	2.59—50.98
Fe	21	对数正态	301.50	322.96	163.17	3.02	35.20	158.38	874.50	163.17	39.20—679.15
F*	21	正态	0.15	0.08	0.13	1.77	0.06	0.15	0.26	0.15	0.05—0.25

* : 单位为 mg/L 。

表 16-3-2 长江下游水系河水过滤水元素背景值特征统计表

元 素	样 本 数	分 布 类 型	正态分布假设				对数正态分布假设			百分位值				背景值表征	
			标准偏差		平均值		标准偏差	平均值		10%	50%	90%	背景值	背景值范围	μg/L
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差		平均值	标准偏差						
Cu	21	对数正态	0.74	0.43	0.64	1.63	0.34	0.61	1.34	0.61	0.61	1.34	0.61	0.34 1.21	
Pb	21	对数正态	0.20	0.31	0.09	3.15	0.01	0.06	0.60	0.09	0.06	0.60	0.09	0.02-0.40	
Zn	21	对数正态	2.25	1.57	1.77	1.95	0.62	1.80	4.62	1.77	1.80	4.62	1.77	0.75 4.17	
Cd	21	对数正态	0.028	0.013	0.024	1.650	0.014	0.026	0.031	0.024	0.026	0.031	0.024	0.012 0.045	
Co	21	对数正态	0.078	0.069	0.051	2.310	0.018	0.056	0.180	0.051	0.056	0.180	0.051	0.017 0.151	
Ni	21	正态	0.54	0.21	0.47	1.63	0.30	0.52	0.82	0.54	0.52	0.82	0.54	0.270 0.810	
As	20	正态	0.89	0.57	0.61	2.53	0.13	0.92	1.41	0.89	0.92	1.41	0.89	0.15 1.63	
Hg	21	对数正态	0.004	0.002	0.003	1.880	0.001	0.004	0.005	0.003	0.004	0.005	0.003	0.001-0.007	
Cr	21	对数正态	0.49	0.48	0.30	2.61	0.11	0.26	1.32	0.30	0.26	1.32	0.30	0.09-1.05	
Se	21	正态	0.105	0.048	0.084	1.890	0.027	0.110	0.160	0.105	0.110	0.160	0.105	0.040-0.170	
Mo	21	对数正态	0.42	0.35	0.33	1.85	0.16	0.32	0.82	0.33	0.32	0.82	0.33	0.15-0.73	
V	21	对数正态	0.81	0.45	0.69	1.70	0.32	0.73	1.36	0.69	0.73	1.36	0.69	0.35-1.37	
Mn	21	对数正态	9.42	13.98	4.46	3.36	0.75	4.69	16.00	4.46	4.69	16.00	4.46	0.93 21.29	
Fe	21	对数正态	28.05	26.73	18.53	2.39	6.43	14.70	73.20	18.53	14.70	73.20	18.53	6.03-56.96	
F [*]	21	对数正态	0.14	0.07	0.11	1.87	0.05	0.13	0.25	0.14	0.13	0.25	0.14	0.04 0.24	

*: 单位为 mg/L.

表 16-3-3 长江下游水系河水过滤水稀有稀土元素背景值特征统计表

表 16-3-3 长江下游水系河水过滤水稀有稀土元素背景量特征统计表												
元 素	样 本 数	分 布 类 型	正态分布假设		对数正态分布假设			百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围	
La	9	对数正态	0.09	0.01	0.09	1.16	0.08	0.09	0.12	0.09	0.08--0.11	
Ce	9	对数正态	0.20	0.03	0.20	1.12	0.16	0.20	0.26	0.20	0.17--0.23	
Nd	9	正态	0.10	0.02	0.10	1.77	0.07	0.10	0.13	0.10	0.08--0.12	
Sm	9	正态	0.024	0.01	0.023	1.36	0.010	0.025	0.037	0.024	0.016--0.033	
Eu	9	正态	0.005	0.001	0.005	1.13	0.004	0.005	0.006	0.005	0.004--0.006	
Tb	9	偏态	0.004	0.001	0.004	1.21	0.004	0.004	0.007	0.004	0.004 0.007	
Yb	9	对数正态	0.011	0.002	0.010	1.23	0.007	0.010	0.016	0.010	0.008 0.013	
Lu	9	对数正态	0.002	0.0001	0.002	1.08	0.001	0.002	0.002	0.002	0.0016--0.002	
Rb	9	对数正态	0.8	0.4	0.8	1.5	0.4	0.7	1.9	0.8	0.5 1.2	
Cs	9	对数正态	0.014	0.010	0.011	1.89	0.004	0.012	0.038	0.011	0.005--0.025	
Sr	9	对数正态	118	37.5	109	1.3	46	97	198	109	75 159	
Ba	9	对数正态	65	50.3	49	2.1	18	44	158	49	19--126	
Sb	9	正态	0.077	0.05	0.049	2.01	0.002	0.070	0.200	0.077	0.008--0.146	
Sc	9	正态	0.002	0.001	0.002	1.60	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001--0.003	
U	9	对数正态	0.30	0.27	0.21	2.19	0.08	0.16	0.94	0.21	0.08--0.58	
Th	9	对数正态	0.005	0.002	0.004	1.49	0.002	0.004	0.010	0.004	0.003 0.007	

μg/L

表 16.3-4 长江下游水系江河沉积物中元素背景值特征统计表

元 素	样 本 数	分 布 类 型	正 态 分 布 假 设		对 数 正 态 分 布 假 设		百 分 位 值			背 景 值 表 征	
			平 均 值	标 准 偏 差	平 均 值	标 准 偏 差	10%	50%	90%	背 景 值	背 景 值 范 围
Cu	25	对数正态	19.6	14.23	16.4	1.69	8.4	15.6	28.4	16.4	8.3 32.3
Pb	25	对数正态	24.9	8.63	23.5	1.39	13.4	25.7	34.6	23.5	15.4 35.9
Zn	25	对数正态	80.1	20.54	77.1	1.28	56.9	75.4	110.0	77.1	56.0—106.1
Cd	25	对数正态	0.54	0.48	0.44	1.734	0.23	0.42	0.76	0.44	0.21 0.89
Co	25	对数正态	11.8	4.98	10.8	1.48	5.8	10.3	19.6	10.8	6.5 17.9
Ni	25	正 态	20.7	8.53	18.6	1.58	7.8	21.1	29.9	20.7	9.7 — 31.7
As	24	对数正态	7.56	4.31	6.35	1.78	3.00	6.43	14.44	6.35	3.02—13.34
Hg	24	对数正态	0.023	0.007	0.021	1.361	0.013	0.023	0.032	0.021	0.011—0.032
Cr	25	对数正态	53.1	26.29	46.0	1.65	20.4	50.1	87.7	46.0	24.0—81.9
Mn	25	对数正态	684	220.62	654	1.33	486	594	1023	654	454—942
Fe ⁺	25	对数正态	3.52	2.10	3.07	1.59	1.62	2.92	6.49	3.07	1.69—5.59
V	25	对数正态	113	57.35	102	1.50	65	100	179	102	61 172
Ti	25	对数正态	3907	1388.55	3711	1.33	2666	3566	6694	3711	2560—5378
P	25	对数正态	856	676.94	686	1.75	427	589	1596	686	333 1412

*, 单位为%。

表 16-3-5 长江下游水系沉积物(<63 μ m)元素背景值特征统计表

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Cu	21	对数正态	20.1	5.743	19.3	1.30	13.3	17.6	25.7	19.3	13.8 27.1
Pb	21	对数正态	23.6	10.85	20.9	1.61	11.0	23.7	38.0	20.9	11.3 38.5
Zn	21	正态	85.7	14.55	84.3	1.19	61.3	87.7	102.0	85.7	66.9 104.5
Cd	21	对数正态	0.48	0.28	0.43	1.57	0.26	0.42	0.78	0.43	0.24—0.77
Co	21	对数正态	11.7	3.25	11.3	1.28	8.2	11.3	15.2	11.3	8.2 15.5
Ni	21	正态	21.7	6.50	20.5	1.33	13.9	21.0	29.2	21.7	13.3 30.1
As	20	对数正态	8.7	5.82	6.9	1.93	2.6	6.98	15.6	6.9	3.0 16.1
Hg	20	正态	0.020	0.004	0.019	1.230	0.016	0.020	0.025	0.020	0.015 0.025
Cr	21	对数正态	57.7	25.45	52.9	1.45	31.3	53.1	81.9	52.9	32.8 85.4
Mn	21	对数正态	725	167	707	1.23	563	675.0	942	707	541—923
Fe	21	对数正态	3.42	1.78	3.10	1.50	2.08	2.83	5.42	3.10	1.84 5.23
V	21	对数正态	105	46	97.8	1.39	73.7	92.9	153	97.8	64.0 150.0
Ti	21	对数正态	3887	1275	3729	1.31	2727	3566	5076	3729	2632 5283
P	21	对数正态	1017	949	744	1.94	446	605	2443	744	316 1719

*：单位为%。

流沉积物均值是非 $<63\mu\text{m}$ 的沉积物,根据一般状况, $<63\mu\text{m}$ 部分的沉积物应高于所列数值,所列长江下游水系沉积物是 $<63\mu\text{m}$ 的部分,故其背景值数据虽略高于世界平均值,按一般沉积物在 $<63\mu\text{m}$ 部分发生不同程度的富积状况推断,长江下游水系河流沉积物的背景可能略低于世界均值。

表 16-3-6 长江下游水系河流沉积物稀有稀土放射性元素背景值 mg/kg

含 量 元 素	河 流			
	青弋江	水阳江	长江下游水系	世界平均
La	51	46	49	47
Ce	103	93	98	83
Nd	44	37	41	52
Sm	7.2	7.3	7.3	6.4
Eu	1.3	1.3	1.3	1.2
Tb	1.1	0.99	1.1	1.0
Yb	3.4	3.3	3.4	3.6
Lu	0.42	0.40	0.41	0.7
Rb	160	100	130	135
Cs	7.7	6.9	7.3	4.2
Sr	120	190	155	320
Ba	880	990	935	460
Sb	0.96	1.8	1.38	1.20
Sc	14.5	9.8	12.2	10.0
U	3.2	4.5	3.9	3.1
Th	15.8	12.7	14.3	9.6

第十七章 长江干流水体中的化学元素含量与变化

第一节 长江干流的环境特征

一、水系组成的基本状况

长江主源是沱沱河,沱沱河至通天河流经青藏高原,海拔均在4500m以上,多湖泊沼泽。自青海省直门达至四川省宜宾,称为金沙江,全长2308km,穿越横断山脉区,金沙江干流总落差3000多m。四川宜宾至湖北省宜昌为川江,长1044km,穿行于四川盆地的丘陵、盆周山地和鄂西山地之中;河流纵向落差显著减少,坡降约0.2m/km,江面增宽至300—800m。著名的三峡都在此江段。宜昌以上干流各段总称为长江上游,长4540km,占全江总长度的71.9%,控制流域面积100万km²。从沱沱河源至宜宾江段长3496km,落差5100多m,占全江落差的95%,河道比降大,滩多流急,汇入的主要支流有雅砻江。宜宾至宜昌段,长1044km,加入的主要支流有北岸的岷江、沱江、嘉陵江,南岸有赤水河、乌江。

宜昌至江西湖口,为长江中游,长955km,流域面积68万km²。长江干流自宜昌以下,进入中下游冲积平原,江面展宽,河床比降锐减,河道迂回曲折,水流平缓,支流众多,湖泊密布,地势低洼,排水不畅。本段主要支流,在南岸有清江,洞庭湖水系的湘、资、沅、澧4水,鄱阳湖水系的赣、抚、信、饶、修5水,北岸有汉江。

湖口以下为下游,长830km,流域面积12万km²,地势低平,湖泊众多,但大支流少。加入的主要支流有南岸的青戈江;水阳江水系,太湖水系,北岸有巢湖水系。淮河部分水量也通过大运河入长江。下游水深江宽,水位变幅小,通航能力大。长江河口入海附近宽达90km,大通以下600km江段受潮汐影响,是塌岸最严重的河段。

二、水文基本特征

长江是以降水补给为主的河流,降水一般占全年径流量的70%—80%,地下水供给20%—30%。长江流量丰富,宜昌站多年平均径流量为4543亿m³。历史上宜昌站最大洪峰流量达110000m³/s(1870年)。长江每年5—10月为汛期,7—8月水量最大,汛期径流量占全年径流量的70%—80%。汛期时空变化,有从东向西逐渐推迟的趋势。

宜昌多年平均年径流量4384亿m³,约占大通站年水量的50%。洞庭湖、鄱阳湖、金沙江各约占大通站的16%—22%。

长江干流径流年际变化小,最大年径流量和最小年径流量的比值(除汉口站外)都不到2倍,变差系数在0.2以下,以宜昌站0.11为最小且最为稳定,1954年径流量最大达5750亿m³,1942年最小为3350亿m³。

1985年长江全流域水土流失面积56.2万km²,占流域总面积的31.2%。其中:轻度流失21.0万km²,占流失面积33.8%;强度流失10.3万km²,占流失面积的18.3%;极度流失4.07万km²,占7.2%;剧烈流失1.87万km²,占3.3%。

土壤侵蚀总量 22.39 亿 t。其中:轻度流失地区年侵蚀量 2.47 亿 t,占 11.03%;中度流失区 6.58 亿 t,占 29.39%;强度流失区 6.52 亿 t,占 29.12%;极强度流失区 4.17 亿 t,占 18.63%;剧烈流失区 2.65 亿 t,占 11.83%。其中宜昌以上的集水区总土地面积约 100 万 km^2 ,水土流失面积 35.2 万 km^2 ,年均土壤侵蚀量 14.05 亿 t。

按流域一级支流划分,水土流失面积占总土地面积的百分率,则以沱江的 58.41% 为最大。其次是嘉陵江 57.8% (但四川省境内的嘉陵江流域部分,其流失面积竟高达 63.36%)。流失面积率在 40% 以上的支流还有岷江、汉江及干流上游区间;水土流失面积最小的是太湖水系,只有 12.31%;次小是乌江为 18.63%。

长江全流域水土流失面积的绝对量和流失面积率较大的省和支流,大部分分布在上游。

长江流域由于地面侵蚀物质的颗粒粗大,在泥沙输移过程中极易沿程淤积,使流域河流泥沙输移比(输沙量同地面侵蚀量之比)远小于 1。据若干典型调查,大多地区的泥沙输移比在 0.15—0.51 之间。输移比的大小,与地表组成物质关系密切,并受地貌岩性、土壤的影响。据观测,长江干流是悬移质泥沙粒径有沿程变细的趋势,屏山站多年平均粒径(D50)为 0.048mm,岷江为 0.056mm,宜昌减小到 0.03mm。这在一定程度上反映了输移比将由于流域面积不断扩大和河流坡降逐渐小而呈现减小的趋势。

长江流域输沙模数,最高达 $4000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,输沙模数大于 $2000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的强产沙区主要分布在上游陇南山地及大渡河、金沙江下游;中下游干支流输沙模数都未超过 $1000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。金沙江、嘉陵江、岷江是长江流域土壤侵蚀和输沙模数最严重的区域。据初步统计,输沙模数大于 $1000\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的面积分别为金沙江 13.99%,嘉陵江 34.17%,岷江 12.55%。

长江干流通天河以上流域地区人口稀少并存在广大面积的无人区,人为活动对长江干流的污染影响甚少,进入中下游水系的广大流域地区,自然环境条件优越,土地和矿产资源特别是有色金属资源储量丰富,品种较多,分布较广。经济大规模的发展,不合理的土地开发和经济活动,大量的污染物质和水土流失造成的泥砂进入长江干流,尽管长江具有极其丰富的径流量,但是人类活动直接和间接地对长江干流水体的化学元素组成和含量还是有明显的影响,当然,从目前的状况看,这种影响,使水体中的化学元素明显高于它的背景值水平,但大多数元素的含量水平远低于国家饮水标准,尚不会构成对健康的影响。

第二节 长江干流水的理化性状及其地球化学特征

一、pH 值

长江干流江水的 pH 值波动于 7.8—8.2 之间,75% 以上的江段在 pH8.0 以上。宜昌以上的长江干流江水的 pH 值在 8.0 以上,宜昌以下的长江干流出现有 pH 值 7.8—7.9 的江段。流经石灰岩、花岗岩和第四纪沉积物为主的江段之江水,其 pH 值有一定的差异,流经石灰岩地区的江水都在 pH8.0 或 8.0 以上,流经花岗岩地区的江水 pH 值可变化在 7.2—7.8 之间,而流经第四纪沉积物地区的江水其 pH 值可波动在 7.6—8.0 之间。长江干流江水大多呈微碱性,使江水中金属元素的溶解态浓度趋于降低。

二、Eh 值

长江干流水环境的氧化还原电位值(Eh 值),在+100—+500mV 之间。长江水环境的氧化还原电位值(Eh 值),表明氧系统是水环境的“决定电位”系统。长江水环境系统的 Eh 值决定于水环境中的游离氧含量。除氧系统之外,水环境中的有机质系统和铁锰等分布相当普遍的变价元素,在水环境的氧化还原中也起着重要的作用。至于其他微量变价元素如铜、钴、铬、钒、铈、锡等,由于其量甚微,它们对水环境的氧化还原电位不会起多大作用。反之,水环境的 Eh 值却对微量元素的行为活动起着决定性的影响。长江水环境呈微碱性(pH7.8—8.2),而氧化还原电位(Eh 值)高于 0,通常大于 100mV,可使铁、锰、铜、钒、铬、硫均处于高价氧化态,形成的络酸、钒酸和硫酸根具有强的迁移能力,而三价铁和四价锰则形成难溶性化合物,很难迁移。

三、溶解氧(DO)

长江干流江水中含有丰富的溶解氧(DO)变动范围在 7.8—11mg/L 之间,处于饱和或过饱和状态,属明显的氧化环境,这也同水环境系统的 Eh 值相适应。江段的水文状况不同和季节的演变或一天之内光合作用过程的变化都会影响江水中 DO 的变化。就总体而言,长江水中溶解氧丰富,对有机质有较大的自净同化容量,能使金属元素以高价态存在。

四、化学耗氧量(COD)

长江干流中化学耗氧量(COD)波动在 1—3mg/L 之间,大多数的情况(80%)在 1.0—1.5mg/L。据称,天然河流水体中 COD 量仍保持在正常水平,表明长江干流江水的水质是良好的,个别江段受到轻度污染。

五、生物化学耗氧量(BOD)

长江干流水中生物化学耗氧量(BOD)波动在 0.2—1.5mg/L 之间,大多数在 1mg/L 以内。一般而言,长江干流从上游往下游,BOD 呈现稍有增高的趋势。天然河流的水体中 COD 正常值为 1mg/L 左右,BOD 在 0.5mg/L 左右或更低。长江干流江水中 COD 和 BOD 值均基本属于正常范畴,但干流中下游江水中 COD 和 BOD 都明显地稍高于正常值,表明受到一定程度的有机污染。长江干流水中 BOD:COD 的比值为 1:1.5—1:4 之间,也属正常范围。

六、离子总量

长江干流水中离子总量波动在 80—180mg/L 之间,属于低矿化度(离子总量小于 200mg/L)的水。江水中离子总量有较明显的区域分异特征,如干流的离子总量高于洞庭湖水系和鄱阳湖水系,而嘉陵江水系的离子总量又高于长江干流,河源区的沱沱河、楚玛尔河、通天河的离子总量则是全长江水系最高的,河源区常出现中等矿化度(离子总量 200—500mg/L)甚至较高矿化度(离子总量 500—1000mg/L)的水。

七、总硬度

长江干流江水中的总硬度波动在 5.0—8.5 度(德)之间,大多数水域的总硬度为 6—8 度,属软水。总硬度与矿化度(离子总量)之间有显著的相关性,主要是受钙和镁的影响。

八、主要离子含量特征

镁离子浓度波动在 3—12mg/L,大多江段在 5—10mg/L 范围内,变幅较大。

钙离子浓度波动在 10—15mg/L,大多江段在 30—40mg/L 范围。长江水系汇水区域广泛分布碳酸盐岩,主要是石灰岩,特别是广大范围的上中游地区等,由于位处亚热带的

长江流域降水充沛和热量丰富,江水中阳离子以钙的浓度最高。这很好地反映了流域的主要岩性与地球化学过程以及区域气候因素的影响,表现出明显的区域分异特征。长江干流水环境中钙/镁比值的变幅范围很大,水体中钙/镁的摩尔比值波动在 6:1—2:1 之间。

钠离子波动在 3—9mg/L,大多在 5—8mg/L 范围内,Na/Cl 离子的摩尔比值在 1:1—2:1 之间波动,表明钠离子基本上和氯离子相当或略超过氯离子。

钾离子浓度变化范围不大,波动在 1—3mg/L 之间,多出现在 1.5—2.5mg/L 范围,钠离子浓度高于钾离子,Na/K 的摩尔比值在 5:1—8:1 之间波动。

重碳酸根和碳酸根的总浓度波动在 100—150mg/L 之间,大多数出现在 110—130mg/L 的范围以内。重碳酸根占明显优势,基本上检不出碳酸根。长江水系中重碳酸根是主要的阴离子,其摩尔浓度在 1.6—2.0mmol 之间,占水体中阴离子摩尔总量的 90% 左右。天然水中重碳酸根含量在 0.8—1.8mmol 时是最安定的体系,而长江干流江水中重碳酸根浓度大多是在这最安定体系的上限,甚至超过上限浓度。长江干流江水中含有相对丰富的重碳酸钙。

硫酸根波动在 2.5—4.5mg/L 之间,大多数出现在 3.3—3.8mg/L 的范围内。重碳酸根浓度大于硫酸根,重碳酸根/硫酸根的摩尔比值在 50:1—80:1 之间,这表明长江干流水是典型的重碳酸钙型水。

氯离子浓度波动在 5—12mg/L 之间,大多数出现在 5.5—8.0mg/L 的范围之内。长江河口由于受海水潮流顶托的影响,大通以下的河口区的氯离子与钠离子明显地增高,河口区江水中的盐度明显地增加。长江干流江水中重碳酸根、氯离子、硫酸根的浓度分别是 1.8—2.4、0.16—0.26、0.03—0.045mmol,硫酸根、氯离子、重碳酸根的摩尔比例在 1:4:50—1:10:100 之间。

磷酸根浓度波动在 0.02—0.3mg/L 之间,而且随季节和水文条件变化会波动很大。

铵氮、亚硝酸盐氮和硝酸盐氮的变幅分别在 0.03—0.4、0.003—0.05 和 0.25—1.0mg/L 之间。三种形态氮的分配关系是:硝酸根>铵>亚硝酸根,三者的浓度变化和三者比例关系会随着水文条件的变化而变化。

九、长江干流的水化学类型

长江干流水环境中主要的无机物组成是 8 大离子,4 种主要的阳离子 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 和 4 种主要的阴离子 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 的丰度顺序是:

阳离子: $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} > \text{K}$

阴离子: $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- \geq \text{SO}_4^{2-}$

长江干流水环境中的碳酸盐体系,主要的优势形态是重碳酸根(HCO_3^-),在水体中基本上检不出碳酸根,这主要是长江干流水环境的 pH 值(8.0 左右)所决定的。

长江江水中主要的无机成分是重碳酸根和钙离子,长江干流江水的水化学类型是重碳酸钙型水,江水中重碳酸根的毫克当量在 1.8—2.3 之间,而钙和镁的毫克当量之和在 2.0—2.3 之间,偶尔也出现: $\text{HCO}_3^- \leq \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ 。

长江干流的水化学类型是重碳酸钙 I 型水 C_1^{Ca} ,少数江段也出现重碳酸 I 型水 C_1^{Ca} 。

第三节 长江干流水体元素含量

为全面认识长江水系水质特征,探索河流水体元素中的天然含量变化和人为影响可

能的程度,正确评估长江水系水质资源特征,从长江干流渡口以下,远离城镇点源污染明显影响的上游江段,设立和采集了相当数量的水和沉积物样品,对这些样点测试结果的数理统计表明,长江干流无论是江水,还是其过滤水中的元素浓度,大部分都明显比各支流水系的同种元素增高(表 17-3-1 和表 17-3-2),特别是 Cu、Pb、Zn、Cd、Fe 和 Mn 等与人为活动关系较大的微量元素增高得更为显著。由河水中元素的全量与其过滤水中的元素含量比较,悬浮颗粒态元素的含量比例增高,表明长江干流水系水中的元素,无论是人为影响来源的,还是天然来源的,水体中的元素主要转化为悬浮颗粒态存在。

一、长江干流水体元素含量基本特征

1. 长江干流河水中大多数微量或痕迹元素的含量高于长江水系全水系平均及各支流(表 17-3-1)。由于长江干流水体中悬移质含量较高,悬移质作为载体携带有可观量的微量元素,从而使河水中微量元素的含量增高,是全流域水系最高的(表 17-3-2)。

2. 长江干流过滤水中以溶解态存在的各种微量或痕迹元素的含量。同长江水系各支流无明显的差异,相同的元素都处于同一数量级水平。

3. 由于长江干流悬移质和推移质很高,以悬浮态存在的化学元素之含量是全水系最高的。

4. 从宏观比较,长江干流沉积物中微量或痕迹元素的含量同全水系或各支流比较不呈现显著差异(表 17-3-3),但进行深入分析则发现呈现不同程度的地域差异。

5. 从总体观察,长江水系水环境中化学元素丰度,其中长江干流和金沙江大多数元素的丰度居其他各支流之首。干流沿程从上游到下游,水相元素丰度减少,而沉积物中丰度增加,其变化状况依地质地理和水文条件而异。

6. 长江水系水环境中大多数元素以悬浮态存在为主如 Fe、Sc、Th、La、Ce、Nd、Eu、Mn、V、Cr、Tb、Yb、Co、Pb、Ni、Cs、Lu、Cu、Zn、Cd 等以悬浮颗粒态占的比例都高于 50%(表 17-3-4)。长江河源、金沙江、干流以及全水系的背景值中以悬浮态所占的百分比值更高(表 17-3-3)。

从上可见,长江全水系水环境中各种化学元素的赋存型态的变化因地域而异,不少化学元素赋存型态的地域差异较为明显。长江干流水域中悬浮或悬移游质量较多,多数化学元素(特别是属于所谓“硬酸”的金属阳离子)在干流中主要以悬浮颗粒态为主,其所占比例往往居于长江全水系之冠。

7. 长江干流同沿江各湖泊比较,则湖泊水环境中以溶解态所占比例大于长江干流(及各支流),在干流中以悬浮态迁移为主的 V、Cr、As、Zn、Cd 等元素在湖泊中却以溶解态迁移为主。

二、长江干流水体元素含量沿程变化趋势

长江干流沿程水体元素的含量基本状况为:原水中 Cu、Zn、Ni、Cr、V 的含量从金沙江到中下游呈递减趋势;而 Hg、Se 则相反,从金沙江向中下游呈增长趋势。这表明,Cu、Zn、Ni、Cr、V 主要来自上游,而 Hg、Se 则主要来自中下游。虽然从干流上游到中下游的流量递增,但 Hg、Se 含量仍然上升。长江干流上游与中下游比较,Cu、Pb、Zn、Co、Ni、Cr、V、Mn、Fe、F 的浓度,上游高于中下游;而 Cd、As、Hg、Mo、Se 的浓度则中下游高于上游。

过滤水中,只有 Hg 的浓度,从金沙江到干流的中下游呈增长趋势,其它元素则看不出明显的规律变化。从干流上游与中下游比较看,Cu、Pb、Zn、Cr、Mn、Fe、Se、F 的浓度,上

表 17-3-1 长江干流水中元素的含量特征表

μg/L

元素	样本数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			含量特征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	平均值	范围
Cu	35	对数正态	11.76	8.39	15.99	11.92	2.95	11.71	22.50	15.99	1.45 - 36.0
Pb	35	对数正态	8.67	8.93	9.01	10.71	1.76	5.80	20.66	9.01	0.47 - 30.56
Zn	35	对数正态	33.61	20.06	36.60	25.15	8.61	31.00	50.81	34.60	6.10 - 108.00
Cd	35	对数正态	0.116	0.082	0.123	0.128	0.028	0.082	0.225	0.123	0.01 - 0.27
Co	35	对数正态	4.15	2.62	5.330	6.70	0.855	4.20	7.67	5.33	0.15 - 9.20
Ni	35	对数正态	8.75	6.18	9.89	12.71	1.20	8.10	16.68	9.89	1.00 - 19.87
As	32	正态	1.79	0.81	1.81	1.10	0.630	1.91	2.53	1.78	0.44 - 3.61
Hg	35	正态	0.030	0.010	0.030	0.01	0.017	0.03	0.04	0.03	0.01 - 0.050
Cr	35	正态	7.42	4.97	7.90	7.29	1.68	6.80	10.71	7.90	0.8 - 23.10
Mn	35	正态	206.7	125.5	252.47	338.7	28.01	218.2	378.10	252.5	7.20 - 478.20
Fe ⁺	35	正态	5142.1	4423.7	5471.7	6962.7	999.0	2231.0	11200.0	5471.7	500.0 - 14300.0
V	35	对数正态	5.14	7.238	4.62	4.49	1.64	3.20	7.12	4.62	0.78 - 32.4
Rb	8	对数正态	20.65	7.97	21.33	10.76	3.95	20.50	28.50	21.33	7.90 - 32.0
Cs	8	对数正态	1.62	0.74	1.74	1.21	0.215	1.55	2.35	1.74	0.43 - 2.70
Sr	16	对数正态	267.83	132.5	298.5	266.0	28.50	340.0	365.0	298.5	57.00 - 370.0
Ba	16	对数正态	134.8	62.51	145.5	116.9	14.50	135.0	188.0	145.5	29.00 - 220.0
U	16	对数正态	1.09	0.433	1.201	0.924	0.12	1.20	1.40	1.201	10.12 - 1.40
Th	16	对数正态	2.01	1.04	2.195	1.777	0.225	1.95	3.05	2.195	0.45 - 3.60
Sb	16	对数正态	0.92	0.94	0.934	0.909	0.110	0.605	1.74	0.934	0.22 - 2.80
Se	35	对数正态	0.314	0.206	0.326	0.281	0.075	0.270	0.558	0.326	0.07 - 0.75
Mo	35	对数正态	0.82	0.864	0.852	1.19	0.135	0.44	2.35	0.85	0.08 - 2.95
F	32	对数正态	200.4	51.32	200.9	54.31	136.50	199.5	240.0	200.9	102 - 330.0

* 单位: Fe 为%。

表 17-3-2 长江干流过滤水中的元素含量特征表

元 素	样 本 数	分 布 类 型	正态分布假设		对数正态分布假设		百 分 位 值			含 量 表 征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	平均含量	含 量 范 围
Cu	35	对数正态	1.68	0.504	1.68	0.514	1.15	1.60	2.33	1.68	0.70 — 2.90
Pb	35	对数正态	0.749	0.180	0.842	0.934	0.17	0.73	1.38	0.84	0.04 — 1.52
Zn	35	对数正态	5.60	3.42	5.58	3.06	2.53	5.04	9.10	5.58	2.05 — 18.10
Cd	35	对数正态	0.019	0.01	0.021	0.023	0.004	0.016	0.035	0.021	0.001 — 0.05
Co	35	对数正态	0.328	0.402	0.322	0.34	0.100	0.230	0.515	0.32	0.03 — 2.10
Ni	35	对数正态	0.707	0.454	0.793	0.92	0.100	0.79	1.165	0.79	0.10 — 1.78
As	35	对数正态	1.14	0.666	1.26	1.29	0.16	1.19	1.89	1.14	0.16 — 2.10
Hg	35	对数正态	0.023	0.008	0.024	0.010	0.012	0.024	0.035	0.024	0.009 — 0.046
Cr	35	对数正态	0.911	0.346	0.91	0.33	0.55	0.82	1.40	0.36	0.44 — 1.80
Mn	35	对数正态	4.21	3.04	4.47	4.34	0.78	3.40	8.12	4.47	0.53 — 13.0
Fe	35	对数正态	97.08	0.958	113.72	193.73	9.90	79.9	191.0	113.7	5.8 — 360.0
V	11	对数正态	1.28	0.467	1.28	0.48	0.80	1.17	1.91	1.28	0.5 — 2.34
Rb	8	对数正态	2.12	1.25	2.12	1.06	0.60	1.70	5.30	2.12	1.20 — 4.60
Cs	8	对数正态	0.50	0.025	0.052	0.03	0.10	0.045	0.80	0.05	0.02 — 0.08
Sr	16	对数正态	258.8	128.6	283.51	234.4	31.50	10.50	355.0	283.5	63.0 — 360.0
Ba	16	对数正态	49.67	18.8	51.0	24.2	325.0	51.0	67.0	51.0	21.0 — 73.0
U	16	对数正态	0.72	0.295	0.800	0.646	0.075	0.84	0.92	0.80	0.07 — 0.92
Th	16	对数正态	0.039	0.032	0.046	0.068	0.003	0.03	0.075	0.046	0.003 — 0.09
Sb	16	对数正态	0.472	0.509	0.463	0.419	0.085	0.26	0.95	0.46	0.17 — 1.50
Se	35	对数正态	0.221	0.164	0.236	0.264	0.046	0.22	0.43	0.236	0.04 — 0.56
Mo	35	对数正态	0.45	0.413	0.46	0.454	0.100	0.380	0.805	0.46	0.07 — 1.85
F	32	对数正态	190.0	30.00	196.0	196.0	130.0	190.0	235.0	196.0	100.0 — 260.0

表 17-3-3 长江干流沉积物元素的含量特征表

表 17-3-3 长江干流沉积物元素的含量特征表												
元 素	样 本 数	分 布 类 型	正 态 分 布 假 设		对 数 正 态 分 布 假 设			百 分 位 值			含 量 表 征	
			平 均 值	标 准 偏 差	平 均 值	标 准 偏 差	10 %	50 %	90 %	平 均 值	背 景 值 范 围	
Cu	23	对数正态	57.27	23.60	57.04	18.84	40.06	49.25	68.98	57.04	38.52 — 128.0	
Pb	23	对数正态	26.82	9.61	26.90	9.87	15.20	24.70	38.42	26.90	14.70 — 48.82	
Zn	25	对数正态	143.4	33.61	143.7	34.57	97.01	146.3	176.3	143.7	56.50 — 208.9	
Cd	23	对数正态	0.44	0.181	0.445	0.176	0.250	0.430	0.625	0.445	0.23 — 0.88	
Co	23	对数正态	14.98	1.83	14.99	1.85	12.14	14.54	16.96	14.99	12.13 — 18.20	
Ni	23	对数正态	43.24	3.32	43.25	3.33	39.23	43.70	47.02	43.25	39.13 — 47.14	
As	22	对数正态	9.35	3.31	9.48	3.91	4.89	9.03	11.61	9.48	3.33 — 16.87	
Hg	23	对数正态	0.073	0.049	0.073	0.040	0.042	0.052	0.130	0.073	0.20 — 0.046	
Cr	23	对数正态	84.69	6.28	84.71	6.36	75.56	86.81	91.26	84.71	75.00 — 93.02	
Mn	23	对数正态	766.7	131.2	767.5	130.7	596.3	751.3	890.7	767.5	582.3 — 1032.0	
Fe ⁺	23	对数正态	4.525	0.982	4.54	1.023	3.025	4.700	4.900	4.54	2.71 — 6.88	
V	21	对数正态	41.78	5.98	41.81	5.75	34.72	40.63	45.55	41.81	33.84 — 55.76	
Rb	8	对数正态	95.17	10.50	95.25	10.27	42.50	95.00	105.5	95.25	85.0 — 113.0	
Cs	8	对数正态	5.85	1.15	5.86	1.17	2.15	5.60	7.15	5.86	1.30 — 7.60	
Sr	16	对数正态	135.7	44.42	137.45	50.16	38.00	139.0	180.0	137.45	76.00 — 190.0	
Ba	16	对数正态	536.7	27.32	536.8	27.20	250.0	535.0	565.0	536.8	500.0 — 580.0	
U	16	对数正态	3.35	0.95	3.37	0.986	1.05	3.40	4.25	3.37	1.00 — 4.90	
Th	16	对数正态	11.95	1.04	11.96	1.04	5.350	11.95	13.10	11.96	5.3 — 13.3	
Sb	16	对数正态	1.30	0.28	1.30	0.27	0.50	1.25	1.60	1.30	0.50 — 1.80	
Se	30	对数正态	0.22	0.13	0.23	0.20	0.054	0.24	0.37	0.23	0.04 — 0.46	
Mo	20	对数正态	16.21	0.56	16.53	0.62	10.24	16.36	24.78	16.53	10.18 — 25.26	

* 单位: Fe 为 %。

表 17-3-4 长江干流水中元素形态含量比例

 $\mu\text{g/L}$

元 分 项	Cu	Pb	Zn	Cd	Co	Ni	As	Hg	Cr	Mo	V
汇水(A)	15.99	9.04	34.60	0.123	5.3	9.89	1.79	0.030	7.90	0.85	4.62
过滤水(B)	1.68	0.84	5.58	0.021	0.32	0.79	1.14	0.024	0.36	0.46	1.28
B/A $\times 100$	10.5	9.3	16.1	17.0	6.0	8.0	63.6	80.0	4.5	54.0	27.7
元 分 项	Cs	Rb	U	Th	Sb	Ba	Sr	Fe	Mn	F	
汇水(A)	1.74	21.33	1.201	2.195	0.93	145.5	298.5	5471.2	25.25	200.9	
过滤水(B)	0.05	2.12	0.800	0.046	0.46	51.0	283.5	113.7	4.47	196.0	
B/A $\times 100$	3.0	10.0	66.6	2.1	49.6	35.1	95	2.1	17.7	97.5	

游稍高于中下游;而 Cd、Ni、As、Hg、V、Mo 的浓度,则中下游高于上游。

沉积物中 Cd、Hg、Mn、Pb 的浓度从金沙江到中下游呈增长趋势;Zn、As 则是以干流上游出现峰值,高于金沙江和中下游;而 Cu、Co、Cr 则是在上游出现低谷,金沙江和中下游均高于上游;Ni 是金沙江与上游高于中下游,呈下降趋势;Fe、Mn 在各江段沉积物中无明显的差别。

长江干流水环境中,除原水中 Hg、Mo 和过滤水中 Hg、Mo、Mn 之外,其他元素含量都高于长江全水系的均值。沉积物中 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr 的含量都超过页岩的均值。

从总体来观察,长江干流江水中多数元素的丰度是上游高于中下游,而在干流沉积物中,则是多数元素的丰度呈现出上游低于中下游的趋势。这表明在长江干流的环境水文与地球化学条件下,多数元素在中下游沉积物中积累,中下游属于沉积河床。

长江干流水环境背景研究未发现干流有明显的高背景区,其中金沙江渡口江段呈现 V、Ti、Cr 等多种金属元素的稍高背景值。长江全水系的高背景区有:沅江、清江、乌江水系的高汞高硒背景,湘江和赣江的多元素高背景,抚河、于河、修水的低矿化度与稍高放射性背景。

三、长江干流水环境中元素分布的总体特征

长江干流水环境中元素分布的总体特征是:河水中元素丰度分布顺序是:Ca、Mg、Na、K、Fe、F、Mn、Sr、Zn、Cu、Ba、Rb、Cr、Ni、Ti、Co、Ce、V、Sc、La、Nb、Pd、As、Cs、Mo、Zr、Sb、U、Se、Th、Yb、Eu、Bi、Tb、Lu、Au。

长江干流水环境中以溶解态存在的元素丰度分布顺序是:Ca、Na、Mg、K、F、Fe、Ba、Zn、Cu、Mn、V、Rb、Cr、As、Ni、Mo、Pb、Co、U、Be、Ce、Se、Ti、Nd、Sc、Sb、Cs、Th、Zr、Cd、Sm、Yb、Eu、Tb、Hg、Lu、Au。

河水中与溶解态中元素丰度顺序稍有差异,高价的易于水解的金属元素,其溶解态丰度比原水约低 1 或 2 个数量级,个别的甚至可差 3—4 个数量级。

长江干流河水和溶解态中元素丰度的顺序大致上同地壳中元素丰度分布顺序有一定差异,这主要是元素对水的物理化学性质不同所决定的,而且地球化学与生物地球化学的影响是决定性的。水中痕量元素平均浓度与水溶态平均浓度之比值例示(表 17-3-5)。

表 17-3-5 长江干流河水和过滤水中平均浓度比

mg/L

金属元素	Cd	Pb	Cu	Cr	Zn	Co	Ni	Hg	As	V	Mo	Se	Mn	Fe	F
过滤水浓度	0.007	0.486	1.37	0.889	7.95	0.35	0.084	0.021	1.28	1.22	0.16	0.37	3.4	0.13	0.43
河水中浓度	0.042	4.41	14.08	5.76	25.75	4.69	1.71	0.024	1.61	3.89	0.20	0.51	195	8.24	/
溶解态占原水%	17	11	10	15	31	2	.	88	80	31	80	73	2	2	/

结果表明:元素在长江干流的赋存形态,主要受化学元素本身的物理化学性质和江水的物理化学与水文条件的影响,其中 Hg、As、Mo、Se 在水体中的赋存形态以水溶态为主,达 70%—90%,而 Fe、Mn 的水溶态却低于 2%,几乎都以颗粒态或悬浮物形式存在。Co、Ni、Cu、Pb、Cd 也主要以颗粒态或悬浮颗粒态存在,占河水中的 80%—90%,而 Zn、V 的 70%以悬浮态或颗粒态的形态存在。由于在水环境中各种元素的存在形态差异悬殊,对以河水中元素分布浓度为主的水环境数据进行主成分及因子分析,更有利于揭示水环境背景值的有关内在影响因素。

长江干流中大部分痕量元素在河水和在悬移物中的沿程含量分布之间,存在较明显的相关性,其中以 Cd、Pb、Cu、Cr、Zn、Mn、Co、Ni 及 V、Fe 等存在的相关性尤为显著,这也说明化学元素在水环境中液—固相之间存在一定的动态平衡关系。正是这水体中可溶态、悬浮态及沉积物之间所存在的带有区域环境特征的特性,为对数据进行多元素统计分析提供了前提及基础。

根据对长江干流金属元素沿程分布状态的分析,将长江干流可定性地分四段:宜宾—涪陵,万县—洪湖,洪湖—鄱阳湖口,湖口以下,每一段都具有相对明显的区域地质和地球化学特征。其中奉节至洪湖段,沿程分布曲线波动较大,相对含量较高,这可能是由于地理地质环境复杂,痕量元素在地球化学的迁移、转化、归趋过程中存在着各种复杂的机制。其沿程分布之总趋势是上游<中游<下游。这表明人类活动在一定程度上影响到长江干流水环境基线值之沿程变化。

第十八章 长江水系水和沉积物元素含量与分布特征

长江水系庞大,支流众多,流域面积辽阔,自然条件复杂。包括河源寒带、高原温带、亚热带山地和平原盆地,具有不同的地质环境。为了全面反映长江水系河流、湖库等水体元素的背景值,依据气候水文和地质等影响水体元素背景值的主要因素的变化,以流域界限为基础,布设了 500 个样点,对相对未受到工矿开发直接污染影响的样点经样点和时间优化,对 352 条河流和 32 个湖库背景值样点的原水、过滤水和沉积物(样点沉积物和小于 $63\mu\text{m}$ 的沉积物)进行了数理统计和地球化学检验,求得和确定了长江全水系河流、湖库水和沉积物的背景值,通过比较可以看出长江水系水和沉积物的元素背景值特征。

第一节 长江水系水和沉积物与人为影响关系 密切的 15 个微量元素的含量特征

一、长江水系河水 15 个微量元素背景值

表 18-1-1 和表 18-1-2 分别列出了长江河水和河水过滤水元素的背景值,通过比较可以看出,长江水系河水元素的背景值有以下特征。

1. 长江河水元素的离散性很大

从表 18-1-1 和表 18-1-2 可以看出无论是河水原水还是过滤水中大部分元素都是偏态分布,表明其离散性是很大的。从元素全距值来看,河水原水相差最小的为 3 个数量级,大部分元素在河水中的天然浓度相差 4 个数量级, Mn 高达 5 个数量级, Fe 高达 7 个数量级。

过滤水中元素的浓度含量范围变化虽较原水小,但元素的天然浓度的含量范围也多在 3—4 个数量级范围以上。Pb、Cd、Ni、Cr、F 的含量范围在 3 个数量级, Cu、Zn、Hg、As、Co、Se 含量范围变化在 4 个数量级。Mn、Mo、V、Fe 的含量范围高达 5 个数量级。长江水系河水元素的含量变化很大,同长江流域范围辽阔,地质构造、地形、气候、生物群落的变化很大有关,因为这些元素在河水的丰度受上述因素的影响极大。特别是这些元素在河水中不仅只是呈真溶液状态,也呈胶体和悬浮状态,通常后者的数量极大,特别是像 Fe 和 Mn 等元素,主要以悬浮颗粒态存在,因此随环境条件,特别是河流水文条件的变化而发生较大的变化。

2. 河水中元素背景值大多呈低水平

将表 18-1-1 列出的长江水系河水原水的背景值同国内外已发表的有关数据比较,长江水系河水元素的背景值呈低背景值水平或与世界淡水元素的背景值基本一致,如 Pb、Co、Ni、Mo 等元素略呈低背景值水平, Cu、Zn、Cd、Hg 等元素基本与世界淡水背景值一致。

3. 长江水系河水中以溶解态存在的元素水平较高

表 18-1-2 和 18-1-1 比较,可以看出长江水系河水溶解态存在的元素比例是较高的。如 F 主要以溶解态存在,占河水总量的 92% 以上。Se、Ni、Hg 则分别占总量的 68%、64%、67%,溶解态都是其主要存在形态。Cd、Zn、Cr 溶解态的量占总量的比例也达到近 50%。但 Fe、As 以溶解态存在的量比例较低,分别占 8% 和 9%,相对来说 Fe 和 As 溶解态的比例也较高,因为象 Fe、Mn、Cr、As 在河水中绝大部分以悬浮颗粒态存在。

4. 长江水系河水溶解态元素的背景值呈低水平状态

表 18-1-2 列出的长江水系河水溶解态元素的背景值同世界淡水和我国东部一些河流如松花江水系比较,可以看出长江水系河水过滤水元素的背景值除 F 和 Se 外,都明显较低。如 Cu,长江水系河水过滤水的背景值为 $0.57\mu\text{g/L}$,松花江水系则为 $1.29\mu\text{g/L}$,Pb 前者是 $0.23\mu\text{g/L}$,后者为 $0.84\mu\text{g/L}$;Ni 前者为 $0.37\mu\text{g/L}$,后者为 $1.24\mu\text{g/L}$ 等。其他元素的背景值也是长江水系的同一元素低于松花江及世界淡水和大部分河流河水溶解态元素的背景值。

二、长江水系湖库水 15 个微量元素背景值

长江水系湖泊众多,在本研究中共采集湖库样品 32 个,表 19-1-3 和 19-1-4 分别列出了湖库水原水和过滤水元素的背景值,同长江水系河水背景值比较,长江水系湖库水的特征:

1. 离散程度比河水小

从表 18-1-3 和 18-1-4 可以看出,无论是湖库水还是其过滤水元素的背景值都呈对数正态分布。原水的离散度除 Fe 和 Mn 相差高达 5—6 个数量级,其他元素在 4 个数量级。过滤水除 Fe 和 Mn 在 5 个数量级,其他元素在 2—3 个数量级。由以上不难看出湖库水较河流水的背景值离散程度小,但相对偏差仍然很大,这同长江流域气候水文和地质条件变化较大有关。

2. 长江水系湖库水元素背景值同河水元素背景值无显著差异

从表 18-1-3 和 18-1-4 及它们的对比表 18-1-5 可以看出,长江水系湖库水同江河水元素的背景值无论原水和其过滤水都无显著差异,特别是过滤水中元素的背景值除 Pb、Cd、Mn、V 湖库水明显高于河水外,其他元素接近江河水高于湖库水。原水除 Cu、Pb 湖库水高于河水外,其他元素河水略高于或同湖库水同种元素的背景值接近。总的看来长江水系湖库水同河水元素的背景值无明显差异。

三、长江水系河流沉积物 15 个微量元素的背景值

长江水系河流沉积物和小于 $63\mu\text{m}$ 的细粒沉积物元素的背景值分别列于表 18-1-6 和表 18-1-7,可以看出长江水系河流沉积物的某些特征。

1. 沉积物元素的背景值离散性较大

除了原样中和小于 $63\mu\text{m}$ 细粒沉积物中的 V、Cd、Ni、As、Hg、Cr 都呈对数正态分布外,其他元素无论是沉积物原样还是小于 $63\mu\text{m}$ 的细粒沉积物的背景值都为偏态分布,它们的含量变化是很大的,大多相差 2—3 个数量级,这是因为长江水系范围辽阔,自然条件复杂,使河流沉积物元素的含量变化甚大。小于 $63\mu\text{m}$ 细粒沉积物中 V 的背景值呈对数正态分布同统计的样点数不足有关。

2. 长江水系河流沉积物微量元素背景值呈低水平状态

表 18-1-8 列出了国内外一些河流和湖泊沉积物的元素背景值,其中边远地区湖泊背

表 18-1-1 长江水系河水中元素背景值特征统计表

表 18-1-1 长江水系河水中元素背景值特征统计表											
元素 名称	样 本 数	全 距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值 μg/L
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%		
Cu	351	0.13—31.39	2.21	3.33	1.26	2.69	0.38	1.26	4.81	偏态	1.26
Pb	350	0.01—14.78	1.41	2.19	0.71	3.02	0.19	0.65	3.05	对数正态	0.71
Zn	349	0.10—68.70	6.89	9.00	4.18	2.67	1.17	4.28	14.04	对数正态	4.18
Cd	349	0.002—0.800	0.053	0.105	0.022	3.232	0.005	0.019	0.103	偏态	0.019
Ni	351	0.04—15.60	1.33	1.94	0.71	2.87	0.21	0.61	3.28	偏态	0.61
As	350	0.14—61.20	2.30	5.65	1.11	2.62	0.42	0.88	3.93	偏态	0.88
Hg	348	0.001—0.275	0.035	0.039	0.021	2.912	0.005	0.023	0.094	偏态	0.023
Cr	350	0.15—47.30	2.52	5.20	1.07	3.13	0.30	0.90	5.88	偏态	0.90
Se	352	0.010—2.780	0.210	0.233	0.147	2.425	0.055	0.165	0.380	偏态	0.165
Mo	349	0.01—5.50	0.90	0.80	0.61	2.55	0.17	0.68	1.83	偏态	0.68
V	351	0.08—60.00	2.95	5.23	1.28	3.60	0.24	1.29	7.40	偏态	1.29
Mn	351	0.99—1540.00	44.56	106.15	19.31	3.33	3.75	19.32	89.40	对数正态	19.31
Fe	351	0.49—19500.00	959.24	153.28	271.70	4.37	50.00	215.50	517.60	偏态	215.50
F	310	0.01—1.26	0.16	0.12	0.13	1.86	0.06	0.13	0.27	偏态	0.13
Co	349	0.00—5.26	0.59	0.84	0.31	3.00	0.09	0.30	1.55	偏态	0.30

表 18-1-2 长江水系河水中溶解态元素背景值特征统计表

表 18-1-2 长江水系河水中溶解态元素背景值特征统计表											
元素 名称	样本数	全 距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值 μg/L
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%		
Cu	351	0.06-2.98	0.70	0.51	0.54	2.07	0.20	0.57	1.40	偏态	0.57
Pb	352	0.01-4.29	0.47	0.65	0.26	2.91	0.08	0.23	1.19	偏态	0.23
Zn	352	0.04--12.41	2.52	1.95	1.89	2.16	0.67	1.98	5.01	对数正态	1.89
Cd	353	0.001--0.289	0.017	0.028	0.009	2.735	0.003	0.009	0.037	偏态	0.009
Co	352	0.00-0.71	0.13	0.12	0.08	2.80	0.02	0.10	0.31	偏态	0.10
Ni	352	0.02-2.44	0.52	0.45	0.34	2.58	0.10	0.37	1.22	偏态	0.37
As	351	0.05-4.41	0.68	0.54	0.53	2.02	0.22	0.55	1.28	对数正态	0.53
Hg	348	0.000-0.155	0.024	0.026	0.013	3.087	0.003	0.016	0.070	偏态	0.016
Cr	353	0.02-2.69	0.50	0.36	0.40	1.95	0.18	0.43	0.99	对数正态	0.40
Se	350	0.002-1.070	0.147	0.129	0.102	2.543	0.033	0.114	0.273	偏态	0.114
Mo	353	0.01-9.90	0.75	0.94	0.46	2.72	0.12	0.54	1.51	对数正态	0.46
V	351	0.01-5.90	0.78	0.78	0.48	2.76	0.12	0.52	1.77	偏态	0.52
Mn	352	0.14--67.41	7.22	9.52	3.99	2.86	1.10	3.45	19.00	对数正态	3.99
Fe	352	0.08-257.80	26.06	29.70	15.36	2.92	4.08	15.84	58.96	对数正态	15.36
F	297	0.02-1.21	0.15	0.11	0.12	1.83	0.06	0.13	0.26	对数正态	0.12

表 18-1-3 长江水系湖库水中元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	全距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%		
Cu	27	0.36—4.03	1.27	0.86	1.07	1.72	0.54	0.96	2.60	对数正态	1.07
Pb	27	0.10—31.23	2.50	5.96	0.88	3.47	0.15	0.73	5.34	对数正态	0.88
Zn	27	0.67—13.74	3.64	2.92	2.69	2.13	1.06	2.45	7.17	对数正态	2.69
Cd	27	0.006—0.129	0.028	0.029	0.019	2.290	0.008	0.019	0.084	对数正态	0.019
Co	28	0.05—0.94	0.28	0.23	0.21	2.14	0.07	0.21	0.71	对数正态	0.21
Ni	28	0.11—1.72	0.55	0.33	0.46	1.77	0.16	0.51	1.00	对数正态	0.46
As	28	0.37—16.20	1.66	2.96	1.05	2.05	0.51	0.98	2.11	对数正态	1.05
Hg	28	0.004—0.196	0.036	0.046	0.020	2.657	0.007	0.020	0.122	对数正态	0.020
Cr	28	0.05—4.97	0.79	0.92	0.55	2.01	0.25	0.53	1.71	对数正态	0.55
Se	28	0.018—0.513	0.147	0.089	0.122	1.745	0.040	0.145	0.200	对数正态	0.122
Mo	28	0.08—1.70	0.70	0.42	0.56	1.87	0.21	0.61	1.27	对数正态	0.56
V	28	0.00—3.00	0.90	0.72	0.58	2.20	0.21	0.73	2.19	对数正态	0.58
Mn	28	1.22—379.12	46.52	76.31	20.96	3.08	6.19	17.78	92.00	对数正态	20.96
Fe	28	10.00—920.00	59.27	172.10	107.46	2.22	31.00	114.95	303.65	对数正态	107.46
F	26	0.06—0.73	0.21	0.14	0.17	1.75	0.09	0.16	0.40	对数正态	0.17

表 18-1-4 长江水系湖库水元素溶解态背景值特征统计表

表 18-1-4 长江水资源库水元素溶解态背景值特征统计表											
元素名称	样本数	全 距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	μg/L 背景值
			平均值	标准差	平均值	标准差	10%	50%	90%		
Cu	30	0.16—3.55	0.74	0.67	0.57	1.92	0.24	0.56	1.59	对数正态	0.57
Pb	30	0.05—3.78	0.69	0.90	0.32	3.36	0.07	0.32	2.22	对数正态	0.32
Zn	30	0.18—6.15	2.06	1.51	1.52	2.09	0.70	1.46	3.88	对数正态	1.52
Cd	30	0.002—0.118	0.024	0.029	0.013	2.908	0.003	0.011	0.050	对数正态	0.013
Co	30	0.01—0.30	0.12	0.10	0.07	2.76	0.01	0.06	0.26	对数正态	0.07
Ni	30	0.09—0.99	0.35	0.21	0.29	1.72	0.16	0.29	0.70	对数正态	0.29
As	30	0.20—9.02	1.12	1.69	0.73	2.09	0.40	0.65	1.26	对数正态	0.73
Hg	29	0.001—0.130	0.022	0.029	0.013	2.428	0.004	0.013	0.061	对数正态	0.013
Cr	30	0.05—1.49	0.38	0.28	0.30	1.77	0.17	0.28	0.70	对数正态	0.30
Se	30	0.014—1.250	0.158	0.229	0.100	2.244	0.031	0.109	0.242	对数正态	0.100
Mo	30	0.04—1.61	0.57	0.41	0.40	2.35	0.15	0.48	1.13	对数正态	0.40
V	29	0.00—2.50	0.60	0.54	0.37	2.49	0.09	0.45	1.41	对数正态	0.37
Mn	30	0.17—283.71	23.76	54.33	4.80	6.01	0.46	3.77	47.30	对数正态	4.80
Fe	30	1.24—151.30	28.31	36.63	14.18	3.10	3.45	12.33	84.30	对数正态	14.18
F	26	0.05—0.46	0.17	0.10	0.14	1.71	0.06	0.14	0.36	对数正态	0.14

景值是取自世界远离工业区的 78 个湖泊的均值。通过比较可以发现,长江水系河流沉积物和 $63\mu\text{m}$ 以下的细微颗粒沉积物的元素背景值所有元素都处于低背景值水平,Cd、Ni、Co 尤为明显。计算表明(18-1-9)河流沉积物小于 $63\mu\text{m}$ 的细微颗粒部分的富积系数除 Cd 较高达 42%、Cu 为 22% 外,其他元素多在 10% 左右,这表明天然释放出的这些微量元素数量不大,沉积物中的微量元素大多存在于原生矿物中,而长江水系中上游地区多分布沉积碎屑岩、砂岩和石灰岩,这些岩石的风化产物贡献的微量元素不丰富是长江水系河流沉积物呈低背景值水平的主要因素。

表 18-1-5 江河、湖库水中元素背景值比较表

$\mu\text{g/L}$

类型	形态	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Co	Ni
江河	总量(A)	1.26	0.71	4.18	0.019	0.023	0.88	0.30	0.61
	溶解态(B)	0.57	0.23	1.89	0.009	0.016	0.53	0.10	0.37
	$B/A \times 100\%$	45	32	45	47	70	60	33	61
湖库	总量(A)	1.07	0.88	2.69	0.019	0.020	1.05	0.21	0.46
	溶解态(B)	0.57	0.32	1.52	0.013	0.013	0.73	0.07	0.29
	$B/A \times 100\%$	53	36	57	68	65	70	33	63
类型	形态	Cr	Se	Mn	Mo	V	Fe	F	
江河	总量(A)	0.90	0.165	19.31	0.68	1.29	215.50	0.13	
	溶解态(B)	0.40	0.114	3.99	0.46	0.52	15.36	0.12	
	$B/A \times 100\%$	44	69	21	68	40	7	92	
湖库	总量(A)	0.55	0.122	20.96	0.56	0.58	107.46	0.17	
	溶解态(B)	0.30	0.100	4.80	0.40	0.37	14.18	0.14	
	$B/A \times 100\%$	55	82	23	71	64	13	82	

四、长江水系湖库沉积物微量元素背景值

长江水系中所调研的主要湖库沉积物和小于 $63\mu\text{m}$ 细粒沉积物元素背景值列于表 18-1-10 和 18-1-11,湖库 $63\mu\text{m}$ 细粒沉积物的相对富积率列在表 18-1-9,通过这些表列出的数据和同国内外有关数据比较,长江水系湖泊和水库沉积物元素的背景值有某些特征。

1. 沉积物微量元素的背景浓度离散性较小

以表 18-1-10 和表 18-1-11 可以看出除原样中 Zn 为正态分布外,无论是湖库沉积物还是其 $63\mu\text{m}$ 细微颗粒部分沉积物都呈对数正态分布,除 Fe 和 Mn 外,其他元素的浓度相差仅在 1—2 个数量级范围内,表明长江水系湖库沉积物元素含量范围的离散程度较小。

2. 长江水系湖库沉积物微量元素背景值处于低背景值水平

同表 18-1-8 列出的国内外一些湖泊沉积物元素背景值,特别是同未污染的边远地区湖泊沉积物元素背景值比较,长江水系湖库沉积物所有元素背景值都明显处于低背景值水平,如 Cu、Pb、Cd、Ni 分别比边远地区 78 个湖泊沉积物这些元素的背景值低 33%、

表 18-1-6 长江水系河流沉积物中元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	全距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%		
Cu	261	2.53—166.20	30.67	27.82	23.98	1.88	13.11	22.00	58.00	偏态	22.00
Pb	261	2.20—566.80	27.43	39.07	21.88	1.74	11.50	21.90	39.30	偏态	21.99
Zn	260	13.40—742.00	87.44	66.41	75.88	1.61	44.78	73.64	128.10	偏态	73.64
Cd	261	0.010—2.556	0.258	0.319	0.159	2.608	0.046	0.143	0.550	对数正态	0.159
Co	260	1.00—52.73	14.09	8.17	12.17	1.70	6.58	12.29	24.20	偏态	12.29
Ni	260	1.07—88.00	29.79	15.88	25.76	1.72	13.30	26.56	50.90	偏态	26.56
As	260	1.23—405.60	10.70	25.52	7.50	2.00	3.08	7.83	16.20	偏态	7.83
Hg	258	0.003—1.400	0.061	0.144	0.034	2.571	0.011	0.035	0.100	偏态	0.035
Cr	259	3.11—293.00	63.63	42.18	52.02	1.87	21.00	54.00	119.20	对数正态	52.02
V	52	50.50—489.0	128.95	80.13	114.35	1.54	75.90	100.00	206.00	对数正态	114.35
Mn	261	42.00—3830.00	709.96	433.26	624.51	1.58	370.00	580.00	155.00	偏态	580.00
Fe*	262	0.27—17.30	3.50	2.14	3.05	1.63	1.76	2.98	5.98	偏态	2.98

*：背景值单位为%。

表 18-1-7 长江水系河流 < 63 μ m 沉积物中元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	全距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%		
Cu	244	9.80—197.40	34.53	24.48	29.39	1.68	16.30	26.91	60.00	偏态	26.91
Pb	243	7.51—570.40	32.36	41.93	26.79	1.63	16.30	25.47	44.01	偏态	25.47
Zn	245	5.98—770.40	100.78	69.15	88.87	1.55	55.00	88.00	155.10	偏态	88.00
Cd	243	0.007—9.000	0.357	0.634	0.225	2.496	0.075	0.220	0.690	对数正态	0.225
Co	243	0.90—56.98	15.53	7.40	14.11	1.50	9.38	13.80	24.00	偏态	13.80
Ni	243	2.84—98.00	32.82	15.44	29.66	1.54	18.56	29.70	49.90	对数正态	29.66
As	243	0.40—60.11	11.02	8.25	8.93	1.86	4.10	8.81	18.10	对数正态	8.93
Hg	238	0.004—1.730	0.073	0.159	0.042	2.504	0.014	0.041	0.114	对数正态	0.042
Cr	197	17.65—252.00	66.97	36.84	60.00	1.55	38.00	56.88	104.00	对数正态	60.00
V	39	50.50—377.00	118.25	60.90	107.91	1.46	73.70	90.20	173.00	对数正态	107.91
Mn	245	2.00—3879.00	776.95	384.90	701.61	1.48	504.00	670.00	177.00	偏态	670.00
Fe	244	1.34—12.67	3.71	1.61	3.45	1.43	2.21	3.37	5.36	偏态	3.37

*: 背景值单位以%计。

21%、37%和46%。Zn、Fe、Mn、Hg也都明显较低。表18-1-8除列出世界边远地区78个湖泊沉积物元素平均值,在表中还列出了密执安湖沉积物背景值。以长江水系湖库小于63 μ m细粒沉积物同世界边远湖泊和密执安湖比较,长江水系湖泊沉积物元素背景值除Fe和Mn外也都较低。长江水系湖泊沉积物Mn和Fe的背景值较高,同长江水系的水热条件和地质因素有关,长江水系地处亚热带地区,河流中的许多微量元素水迁移性强,大部分微量元素随水迁移,而Fe和Mn在天然水中难以迁移,易在沉积物中富积。长江水系风化壳富含Fe和Mn,特别是Mn,在长江流域风化壳表层Mn矿的分布相当广泛。暴雨径流冲刷,使大量含Mn矿物进入河流,在湖泊、水库中沉积,这也是长江水系湖库沉积物Mn背景值高的主要原因。

3. 长江水系湖库沉积物微量元素背景值高于河流沉积物

对长江水系河流和湖库沉积物原样和小于63 μ m沉积物的比较表明,无论原样沉积物还是小于63 μ m细微粒沉积物,湖库沉积物元素的背景值都明显高于河流沉积物,湖库沉积物Cu、Cd比河流沉积物都高34%—40%,湖库沉积物的Pb、Cr都比河流沉积物背景值高20%以上,其他元素湖库沉积物比河流沉积物都高10%—35%以上。计算表明长江湖库沉积物元素比河流沉积物元素更多的富积。

表 18-1-8 国内外江河、湖库沉积物中元素背景值 mg/kg(Fe 为%)

类	元 素	Cu	Pb	Zn	Cd	Co	Ni	As	Hg	Cr	Mn	Fe
江 河	松花江	21.0	7.4	89.6	0.26	16.0	24.0	5.91	0.033	33.0	539	3.06
	美 国	23.0	25.0	88.0	0.26		23.0	5.19	0.033	69.0	105	4.54
	莱茵河	51.0	30.0	115.0	0.30	16.0	46.0		0.20	47.0	960	3.24
湖	中国东北	32.0	9.8	54.0	0.31	18.0	28.0	9.93	0.041	60.0	924	4.42
	美 国	25.0	25.0	51.0	0.14		43.0	6.0	0.089	32.0		
	康茨坦茨湖	30.0	19.0	124.0	0.21		55.0		0.20	50.0		
库	密执安湖	44	40	120			54	11	0.04	77		
	边远地区湖泊	45	34	118	0.40	16	62		0.35*		760	4.3

* 可能为 0.035。

表 18-1-9 长江水系沉积物背景值及 63 μ m 细微粒部分元素富积率

		mg/kg(Fe 为%)											
水体类型	沉积物类型	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Co	Ni	Cr	Mn	Fe	V
江 河	沉积物(A)	22.0	21.9	73.64	0.159	0.035	7.83	12.29	26.56	52.02	580	2.98	114.35
	细粒沉积物(B)	26.91	25.47	88.00	0.225	0.042	8.93	13.80	29.66	60.00	670.0	3.37	107.91
	富积率(%)	22	16	20	42	20	14	12	12	15	16	13	-6
湖 库	沉积物(A)	37.15	29.28	100.23	0.273	0.042	9.67	15.91	33.97	65.30	659.74	3.67	135.06
	细粒沉积物(B)	37.93	40.58	101.73	0.429	0.061	10.73	14.69	33.09	68.79	692.70	3.89	104.76
	富积率(%)	2	39	1	57	45	11	-8	-3	5	5	6	-22

表 18-1-10 长江水系湖库沉积物中元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	全距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%		
Cu	23	10.10—297.20	54.21	63.43	37.15	2.14	13.10	34.90	108.40	对数正态	37.15
Pb	23	8.64—117.00	35.89	24.89	29.28	1.81	12.80	29.38	72.15	对数正态	29.28
Zn	23	45.70—176.00	100.23	31.48	94.35	1.39	50.76	100.00	138.00	正态	100.23
Cd	23	0.045—1.400	0.395	0.337	0.273	2.289	0.102	0.300	0.700	对数正态	0.273
Co	23	4.87—50.00	18.50	10.57	15.91	1.66	5.97	16.98	34.20	对数正态	15.91
Ni	23	11.66—122.00	39.32	22.94	33.97	1.65	17.18	37.03	64.70	对数正态	33.97
As	23	1.06—49.40	12.65	10.09	9.67	1.86	4.55	10.60	23.00	对数正态	9.67
Hg	23	0.007—0.152	0.062	0.048	0.042	2.443	0.011	0.042	0.140	对数正态	0.042
Cr	23	19.29—192.00	74.54	36.96	65.30	1.61	30.68	70.00	118.00	对数正态	65.30
V	8	91.80—221.00	140.97	41.55	137.06	1.31	91.80	119.00	221.00	对数正态	135.06
Mn	23	27.00—3541.00	853.32	643.53	659.74	1.71	367.00	730.00	380.00	对数正态	659.74
Fe	23	1.09—11.20	4.31	2.58	3.67	1.66	1.98	3.69	8.35	对数正态	3.67

单位:mg/kg(Fe 为%)

表 18-1-11 长江水系湖库底泥沉积物中元素背景值特征统计表

元素名称	样本数	全距	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			分布类型	背景值
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%		
Cu	20	15.32—176.00	45.36	34.50	37.93	1.69	20.67	33.14	63.43	对数正态	37.93
Pb	20	20.60—136.00	46.60	27.80	40.58	1.63	20.70	39.07	77.07	对数正态	40.58
Zn	20	65.21—178.00	105.55	28.66	101.73	1.29	75.00	103.84	136.00	对数正态	101.73
Cd	20	0.062—2.110	0.556	0.432	0.429	1.875	0.211	0.453	0.804	对数正态	0.429
Co	20	6.08—52.00	16.54	9.34	14.69	1.55	7.96	15.25	20.79	对数正态	14.69
Ni	20	13.29—128.00	37.65	23.52	33.09	1.55	20.20	33.20	54.30	对数正态	33.09
As	20	4.80—30.80	12.52	7.37	10.73	1.69	5.41	10.05	22.50	对数正态	10.73
Hg	20	0.021—0.285	0.082	0.064	0.061	2.088	0.025	0.068	0.137	对数正态	0.061
Cr	20	24.10—224.00	77.34	40.51	68.79	1.54	32.79	71.44	105.00	对数正态	68.79
V	20	29.90—224.00	118.57	48.43	104.76	1.43	29.90	105.00	224.00	对数正态	104.76
Mn	20	27.00—3061.00	893.64	611.56	692.70	1.65	448.00	783.00	103.00	对数正态	692.70
Fe	20	2.03—10.50	4.33	2.25	3.89	1.53	2.44	3.69	6.22	对数正态	3.89

第二节 长江水系稀有稀土及放射性元素的含量特征

长江水系主要河流河水、过滤水和沉积物的稀有稀土放射性元素背景值列表于 18-2-1 至 18-2-3,从中可以看出长江水系中这些元素背景值有如下一些明显特征。

长江水系河水、过滤水和沉积物中稀有稀土和分散元素的分布类型都为偏态分布,偏差较大,表明各样点这些元素的浓度相差较大,这同长江流域地域辽阔,水热条件和地质环境变化较大有明显关系。

一、含量分布特征

1. 背景值与地壳相应元素丰度的一致性

长江水系稀有和稀土元素的背景值从 $n \times 10^{-3} \mu\text{g/L}$ 到 $n \times 10^2 \mu\text{g/L}$,将上述元素按背景值的数量级分组,各组再按背景值从大到小顺序排列,可归纳如表 18-2-4。另外已知地壳中上述元素丰度次序为: $\text{Sr} > \text{Ba} > \text{Rb} > \text{Ce} > \text{La} > \text{Nd} > \text{Sc} > \text{Sm} > \text{Th} > \text{Yb} > \text{U} > \text{Cs} > \text{Eu} > \text{Tb} > \text{Lu} > \text{Sb}$,与表 19-2-4 比较,可见河水中稀有和稀土元素背景值顺序基本与地壳丰度相对应,只有主要以溶解态存在的水中易迁移元素 U、Sb 和 Cs 次序前移,即在水中相对富集。这一事实表明河水中元素的背景值主要受元素的地壳丰度所控制,同时也受元素的地球化学性质所制约。

2. 稀有稀土放射性元素的地带性特征

比较长江水系 9 个环境单元稀有稀土元素的背景值可以看出,长江河源区与长江的其他支流水系呈现出明显的差异。河源区原水中稀有稀土元素的背景值显著地高于地处亚热带的长江各支流水系。河源区河水中这些元素除 Sr、Ba、U、Sb 等元素在河水中以溶解态为主外,其他元素悬浮态占 90% 以上,说明河源区以物理风化为主,化学风化甚弱,以悬浮颗粒态迁移为主。河源区河水中的微量元素的补充部分来自地下水。河源区强烈的蒸发浓集作用,是导致河水中稀有稀土放射性元素偏高的主要因素。长江河源区的水环境背景值反映了我国干旱地区水化学组成上的某些特征。

3. 稀有稀土放射性元素背景值的区域差异

同处亚热带湿润区的长江各主要支流水系由于地质构造和岩性的不同,水环境背景值也呈现一定的区域特征。背景值差异最大的是 Sr,乌江的 Sr 背景值比洞庭湖和鄱阳湖水系高出 7—13 倍。形成 Sr 高背景的原因一是乌江流域为典型石灰岩地区,石灰岩中 Sr 含量远高于其他岩类, Sr 为强水迁移元素,岩石化学风化产物中 Sr 很容易被淋溶出来;二是分析证明乌江流域地下水 Sr 和 Ba 含量明显地高于一般地表水,石灰岩地区岩溶作用使地下水中含有大量的 Sr 和 Ba,进入河水引起河水 Sr 和 Ba 增高。

不同水系之间背景值差异较大的元素除 Sr 外还有 Rb 和 Cs。长江水系河水中 Rb、Cs 背景值较高的基本在花岗岩区,鄱阳湖水系的赣江流域和洞庭湖水系的湘江、资水流域花岗岩分布广泛,其中富含铷和铯。花岗岩中还富含稀土元素,赣江的稀土元素背景值明显地高于其他河流,但作为鄱阳湖水系的平均结果,稀土元素的高背景值并不明显。

地处亚热带的长江水系各环境单元环境条件有较大差异,但各环境单元之间 Ba、Sb、Sc、Th 和稀土元素的背景值同一元素最高和最低只有 2—3 倍之差, Rb、Cs 和 U 的最高与最低差 4—8 倍,只有 Sr 差别达到约 20 倍。

表 18-2-1 长江水系河水稀有稀土放射性元素背景值特征统计表

表 18-2-1 长江水系河水稀有稀土放射性元素背景值特征统计表												
元 素 名 称	样 本 数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征		μg/L
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围	
Rb	124	偏态	10.1	30.7	1.93	4.15	0.50	0.14	13.0	1.4	0.5—13.0	
Cs	124	偏态	1.50	5.94	0.068	7.10	0.013	0.038	1.23	0.038	0.013—1.23	
Sr	124	偏态	410	687	202	3.43	35	240	785	240	35—785	
Ba	124	偏态	67	106	39	2.60	13	39	146	39	13—146	
Sb	124	偏态	0.52	1.86	0.16	3.63	0.04	0.13	0.81	0.13	0.04—0.81	
Sc	124	偏态	0.704	2.37	0.046	8.14	0.005	0.028	1.03	0.028	0.005—1.03	
U	124	偏态	0.79	0.89	0.45	3.25	0.08	0.56	1.52	0.56	0.008—1.52	
Th	124	偏态	0.68	2.35	0.047	7.29	0.006	0.03	0.87	0.03	0.006—0.87	
La	124	偏态	1.94	6.04	0.35	4.62	0.07	0.24	2.92	0.24	0.07—2.92	
Ce	124	偏态	3.59	10.9	0.67	4.49	0.14	0.49	5.35	0.49	0.14—5.35	
Nd	124	偏态	1.94	5.86	0.37	4.49	0.07	0.26	2.47	0.26	0.07—2.47	
Sm	124	偏态	0.33	0.92	0.074	4.32	0.014	0.055	0.59	0.055	0.014—0.59	
Eu	124	偏态	0.065	0.19	0.015	3.69	0.004	0.011	0.11	0.011	0.004—0.11	
Tb	124	偏态	0.046	0.14	0.011	3.73	0.003	0.008	0.074	0.008	0.003—0.074	

表 18-2-2 长江水系河水过滤水稀有稀土放射性元素背景值特征统计表

μg/L

元 素 名 称	样 本 数	分 布 类 型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值表征	
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围
Rb	145	偏态	2.05	4.98	1.15	2.47	0.43	0.91	4.4	0.91	0.43—4.4
Cs	145	偏态	2.68	2.01	0.029	4.71	0.007	0.02	0.39	0.02	0.007—0.39
Sr	142	偏态	343	569	163	3.56	26	198	660	198	26—660
Ba	145	偏态	35.7	26.8	75.1	27.5	10	30	71	30	10—71
Sb	145	偏态	0.24	0.44	0.13	2.93	0.04	0.11	0.47	0.11	0.04—0.47
Sc	145	偏态	5.35	6.90	3.81	2.13	0.001	0.004	0.008	0.004	0.001—0.008
U	144	偏态	0.56	0.51	0.32	3.29	0.05	0.43	1.21	0.43	0.05—1.21
Th	133	偏态	0.006	0.006	0.005	1.85	0.002	0.005	0.009	0.005	0.002—0.009
La	131	偏态	0.075	0.083	0.051	2.36	0.018	0.05	0.14	0.05	0.02—0.14
Ce	115	偏态	0.14	0.11	0.11	2.17	0.04	0.11	0.24	0.11	0.04—0.24
Nd	112	偏态	0.11	0.11	0.07	2.49	0.02	0.07	0.28	0.07	0.02—0.28
Sm	116	偏态	0.020	0.017	0.015	2.14	0.007	0.013	0.040	0.013	0.007—0.040
Eu	132	偏态	0.005	0.003	0.004	1.71	0.002	0.001	0.007	0.004	0.002—0.007
Tb	109	偏态	0.004	0.0037	0.004	1.62	0.002	0.004	0.006	0.004	0.002—0.006
Yb	111	偏态	0.009	0.004	0.008	1.55	0.005	0.008	0.013	0.008	0.005—0.013
Lu	133	偏态	0.002	0.002	0.002	1.71	0.001	0.002	0.004	0.002	0.001—0.004

表 18-2-3 长江水系沉积物稀有稀土放射性元素背景值

表 18-2-3 长江水系沉积物稀有稀土放射性元素背景值												
元 素 名 称	样 本 数	分布类型	正态分布假设		对数正态分布假设		百分位值			背景值特征		mg/kg
			平均值	标准偏差	平均值	标准偏差	10%	50%	90%	背景值	背景值范围	
Rb	142	偏态	115	64	101	1.7	58	99	182	99	58-182	
Cs	142	偏态	8.8	5.0	7.8	1.6	5	6.3	17.0	6.3	5.0—17.0	
Sr	125	偏态	296	195	237	20	92	245	600	245	92—600	
Ba	141	偏态	548	245	500	1.5	300	460	950	460	300—950	
Sb	142	偏态	1.6	1.4	1.2	2.1	0.5	1.1	3.0	1.1	0.5—3.0	
Sc	142	偏态	12	5.6	11	1.5	7.3	8.8	18.9	8.8	7.3—18.9	
U	142	偏态	4.4	3.6	3.7	1.7	2.1	3.5	7.1	3.5	2.1—7.1	
Th	142	偏态	17	14	14	1.9	8	13	30	13	8—30	
La	142	偏态	53	33	48	1.5	30	47	74	47	30—74	
Ce	142	偏态	100	68	88	1.6	55	87	145	87	55—145	
Nd	142	偏态	51	32	45	1.6	27	43	83	43	27—83	
Sm	142	偏态	8.1	5.3	7.1	1.6	4.6	7.1	10.7	7.1	4.6—10.7	
Eu	142	偏态	1.3	0.61	1.2	1.7	0.6	1.3	1.9	1.3	0.6—1.9	
Tb	142	偏态	1.1	0.7	0.94	1.7	0.5	1.0	1.5	1.0	0.5—1.5	
Yb	142	偏态	3.3	2.0	2.9	1.5	1.8	2.9	4.4	2.9	1.8—4.4	
Lu	142	偏态	0.48	0.28	0.43	1.5	0.30	0.42	0.66	0.42	0.30—0.66	

表 18-2-4 长江水系稀有稀土元素背景值排列顺序

背景值范围	原水中元素顺序	过滤水中元素顺序
$n \times 10^2$	Sr	Sr
$n \times 10$	Ba	Ba
n	Rb	
$n \times 10^{-1}$	U, Ce, Nd, La, Sb	Rb, U, Ce, Sb
$n \times 10^{-2}$	Sm, Cs, Th, Sc, Yb, Eu	Nd, La, Cs, Sm
$n \times 10^{-3}$	Tb, Lu	Yb, Yh, Sc, Eu, Tb, Lu

二、河水中元素的赋存状态差异明显

不同元素在溶解态和悬浮态之间的分配有较大差别,长江水系的平均结果是:

溶解态占 70% 以上者,有 Sr、Ba、Sb、U

溶解态占 50%—70% 者,有 Rb、Cs、Tb、Lu

溶解态占 30%—50% 者,有 Eu、Yb

溶解态在 30% 以下者,有 Sc、Th、La、Ce、Nd、Sm

各支流水系间有一定差别,差异最大的是长江河源区,其分配如下:

溶解态占 65%—85% 者,有 Sr、U

溶解态占 10%—30% 者,有 Ba、Sb

溶解态在 10% 以下者,有 Rb、Cs、Sc、Th 和 10 种稀土元素。

三、沉积物稀有稀土放射性元素间存在相关性

表 18 2 5 列出了世界及其他一些河湖沉积物稀有稀土和放射性元素的含量水平和平均值,通过比较可以看出长江水系河流沉积物除 U、Ce、Sm 偏高外,其他元素没有明显的差异,属于正常范围,但各环境单元它们的背景值水平有明显的差异,如 Rb 和 Cs, Rb 的平均含量为 99mg/kg, Cs 为 6.0mg/kg。在主要水系单元中的含量列在表 18-2-6。从表 18-2-6 可以看出它们在各水系单元中的含量有明显的变化,但 Rb/Cs 值变化不大。

Rb 和 Cs 是碱金属元素,在沉积物中 Rb 和 Cs 有强烈的分散性,不能形成独立的矿物,在泥质沉积物或含粘土矿物成分较多的沉积物中 Rb 和 Cs 含量较高,因为 Rb 和 Cs 是被吸附而沉积下来的。洞庭湖水系和鄱阳湖水系中 Rb 的含量分别为 170mg/kg 和 160mg/kg; Cs 的含量分别为 8.5mg/kg 和 10.6mg/kg,比全水系背景值高 50%,这两水系沉积物中矿物组成主要是粘土矿物,来源于流域土壤的流失。鄱阳湖水系江西全南陂头镇和大余长云里电站 Rb 分别为 330mg/kg 和 410mg/kg; Cs 均为 21mg/kg,比全水系 Rb 和 Cs 背景值高 3.6 倍,洞庭湖水系湖南西河桂阳和湖南城步西岩 Rb 和 Cs 含量为全水系背景值 3—3.5 倍,这些点均是 Rb 和 Cs 高背景区。各分水系中 Rb/Cs 比值差异不大,说明 Rb 和 Cs 的沉积行为相似。Rb 和 Cs 是同一族元素,地球化学性质相似,在本水系 9 个分水系中 Rb 和 Cs 的分布具有很好的相关性,它们的分布符合:

$$C_{Cs} = 0.37 + 0.055C_{Rb} \quad r = 0.89$$

又如 Sr 和 Ba(表 19-2-7):

Sr 和 Ba 是碱土金属,它广泛分布在各河流沉积物中。本水系沉积物中 Sr 和 Ba 的背景值分别为 250mg/kg 和 460mg/kg。各分水系沉积物中 Sr 和 Ba 含量见表 19-2-7。为了

比较起见表中还列出对照点干流区 Sr 和 Ba 的含量。金沙江中下游 Sr 含量为最高,达 600mg/kg,是全水系背景值 2.4 倍。云南金罗水库 Sr 含量为 880mg/kg,是全水系背景值 3.5 倍,这是 Sr 的高背景区。洞庭湖水系与鄱阳湖水系中 Sr 含量较低,约 100mg/kg,接近干流区的含量。Sr 的含量与各分水系中沉积岩组成有关,一般含碳酸盐较多的沉积岩中 Sr 含量高,因为锶的重碳酸盐可以通过失去 CO_2 产生沉淀。洞庭湖水系与鄱阳湖水系沉积岩中泥质岩、页岩成分较多, Sr 含量较低。本水系沉积物中 Sr 含量接近世界沉积物的 Sr 含量平均值和黄浦江中 Sr 含量,比密执安湖沉积物高。

Ba 的分布与 Sr 不一致,以汉水和长江中下游巢湖一带含量为最高,达 820mg/kg,是全水系 Ba 背景值的 2.0 倍。这与河水补给区的岩性有关。汉水和长江中下游河水补给区以砂岩和板岩为主,则河水中 Ba 高,沉积物中 Ba 也高。相应河水补给区以花岗岩为主时则 Ba 含量较低。汉水房县、神农架公路溢洪道 Ba 的含量高达 2800mg/kg,接近全水系背景值 5—6 倍,这是 Ba 的高背景区。长江中下游巢湖一带 Ba 含量为 700—1000mg/kg,为全水系背景值 1.5—2.0 倍。本水系沉积物中 Ba 含量接近于世界沉积物的 Ba 平均值,也与海洋沉积物冲绳海槽中 Ba 含量接近。

放射性元素 U 和 Th:

U 和 Th 是天然放射性元素,在沉积物中 U 和 Th 分布较分散,长江水系沉积物中 U 平均含量为 3.5mg/kg; Th 为 13mg/kg; Th/U 比值为 3.7。各分水系 U 和 Th 的含量及 Th/U 比值见表 18-2-8,鄱阳湖水系 U 和 Th 的含量较高,接近于全水系背景值的 2 倍。江西省富有放射性 U 和 Th 矿,如广昌盱江镇、遂川藻村及大余长云里电站 U 含量约 26mg/kg; Th 含量约 100mg/kg, U 和 Th 是全水系背景值的 5—8 倍。各分水系沉积物中 Th/U 比值比较恒定, U^{4+} 和 Th^{4+} 是类质同象, U 和 Th 之间具有很好的相关性。各水系中 U 和 Th 的含量分布符合下列关系式:

$$C_{\text{Th}} = -0.10 + 3.8C_{\text{U}} \quad r = 0.95$$

U 和 Cs 也有很好的相关性

$$C_{\text{U}} = 0.373 + 0.53C_{\text{Cs}} \quad r = 0.89$$

与国内外河流(湖)和海洋沉积物比较,长江水系 U 和 Th 的含量与世界沉积物平均值及黄浦江沉积物较接近,比美国密执安湖沉积物高,也比东海大陆架及冲绳海槽海洋沉积物高。

稀土元素 La、Ce、Nd、Sm、Eu、Tb、Yb 和 Lu:

长江水系沉积物中除了 Eu 外其余 7 个稀土元素均具有很好的相关性,7 个稀土元素之间有 21 个呈相关关系(表 18-2-9),其中 14 个 r 在 0.90—0.98,另外 7 个在 0.80—0.90 之间。在河流沉积物中 Eu 的组成有亏损,各种沉积物中 Eu 的亏损程度不一致,这与沉积物的沉积年代有关。近代沉积物 Eu 亏损严重。因此 Eu 与其他稀土元素之间相关性极差。

沉积物中稀土元素分布通常用球粒陨石标准化的值相对于原子序数作图来表示。所谓标准化,即把沉积物中各个稀土元素的浓度除以球粒陨石中相应元素的浓度,然后将比值对应于稀土元素的原子序数作图,横坐标表示原子序数递增的 15 种稀土元素,纵坐标(对数坐标)表示标准化的比值。由此得出稀土元素的分布曲线。本水系沉积物中稀土元素相对于 9 个球粒陨石(由 L. Haskin 提出)的分布曲线列于图 18-2-1。为了比较起见还列

上世界沉积物平均值的分布曲线。两者较相近,轻稀土元素 La—Eu 曲线段较陡,重稀土元素 Gd—Lu 曲线段平缓, Eu 还呈负异常。各分水系沉积物中稀土元素分布曲线也基本相似,差别在于 Eu 的负异常程度不一致,鄱阳湖水系中 Eu 亏损最大,其沉积年代较近。

表 18-2-5 河流(湖)及海洋沉积物中元素含量 mg/kg

水系元素	黄浦江	松花江	美国密执安湖	东海大陆架	冲绳海槽	世界河流沉积物平均值	长江水系
Rb	110	103	85	102	110	135	99
Cs	7.6	6.0	2.9	8.0	7.4	4.2	6.0
Sr	240	—	132	200	—	320	245
Ba	296	690	490	570	510	400	460
U	3.1	—	2.3	2.0	1.9	3.1	3.5
Th	14.5	11	5.8	13	11	9.6	13
Sc	14	12	6.6	11	13	10	9.0
Sb	2.4	1.1	1.1	1.8	1.7	1.2	1.1
La	42	41	23	46	27	41	47
Ce	73	82	48	73	62	83	87
Nd	45	44	—	41	34	32	43
Sm	6.8	5.4	3.7	6.2	3.6	3.4	7.1
Eu	1.1	1.5	0.8	1.4	1.2	1.2	1.3
Tb	0.79	1.0	0.5	0.77	0.69	1.0	1.0
Yb	3.1	3.0	1.7	2.9	2.5	3.6	2.9
Lu	0.40	0.44	0.20	0.36	0.36	0.70	0.42

表 18-2-6 沉积物中 Rb 和 Cs 含量 mg/kg

区 域	Rb	Cs	Rb/Cs
河 源 区	88	6.3	15.9
金沙江中下游	73	4.6	16.6
岷—沱 江	78	4.7	25.6
嘉 陵 江	100	3.9	19.1
乌 江—赤水	88	4.9	20.0
洞庭湖水系	170	8.5	15.9
汉 水	81	5.1	15.1
鄱阳湖水系	160	10.6	15.9
长江中下游	137	8.6	16.5
干 流 区	95	5.9	16.1
全 水 系	99	99	16.1

表 18-2-7 沉积物中 Sr 和 Ba 含量 mg/kg

区 域	Sr	Ba
河 源 区	300	440
金沙江中下游	600	440
岷—沱 江	370	420
嘉 陵 江	400	500
乌 江—赤水	170	420
洞庭湖水系	120	560

续表

区 域	Sr	Ba
汉 水	430	820
鄱阳湖水系	100	490
长江中下游	190	830
干 流 区	140	540
全 水 系	250	460

表 18-2-8 沉积物中 U、Th 含量

mg/kg

区 域	U	Th	Th/U
河 源 区	3.4	11	3.2
金沙江中下游	3.2	10	3.1
岷—沱 江	2.4	10	4.2
嘉 陵 江	2.2	4.5	2.1
乌 江—赤 水	3.8	14	3.7
洞庭湖水系	3.9	14	3.6
汉 水	3.4	14	4.1
鄱阳湖水系	6.9	24	3.5
长江中下游	4.6	19	4.1
干 流 区	3.4	12	3.5
全 水 系	3.5	13	3.7

表 18-2-9 稀土元素之间相关系数

	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu
La								
Ce	0.98							
Nd	0.92	0.87						
Sm	0.95	0.95	0.91					
Eu	0.35	0.37	0.49	0.55				
Tb	0.97	0.97	0.91	0.85	0.34			
Yb	0.97	0.94	0.93	0.88	0.25	0.98		
Lu	0.88	0.79	0.90	0.82	0.25	0.84	0.92	

表 18-2-10 沉积物中稀土元素含量

mg/kg

区 域	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Σ REE	Σ LREE	Σ HREE
河 源 区	44	76	40	6.4	1.3	1.0	3.1	0.48	200	177	23.5
金沙江中下游	51	94	50	9.3	2.1	1.0	2.9	0.47	242	219	23.4
岷—沱 江	41	71	31	5.6	1.3	0.8	2.2	0.38	174	156	18.1
嘉 陵 江	41	72	25	6.0	1.1	0.7	2.2	0.35	171	154	17.2
乌江—赤水	49	97	41	7.5	1.4	1.1	3.0	0.39	231	208	23.1

续表

区 域	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Σ_{REE}	Σ_{LREE}	Σ_{HREE}
洞庭湖水系	42	65	40	5.3	1.1	0.8	2.6	0.42	180	162	18.2
汉 水	47	90	42	7.0	1.7	1.1	2.8	0.37	220	198	22.3
鄱阳湖水系	76	151	67	12.0	1.5	1.8	5.0	0.66	363	324	39.2
长江中下游	54	108	45	7.9	1.5	1.2	3.4	0.43	255	228	26.7
干 流 区	48	87	41	7.2	1.4	1.0	2.7	0.39	223	201	22.0
全 水 系	47	87	43	7.1	1.3	1.0	2.9	0.42	218	196	22.2

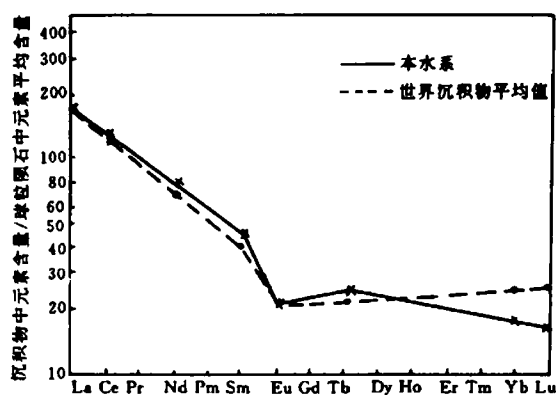


图 18-2-1 长江水系沉积物中稀土元素分布曲线

表 18-2-11 沉积物的粒径对背景值影响

mg/kg

元 素	沉积物(A)	<63 μm 沉积物(B)	B/A 比值
La	24	44	1.83
Ce	39	76	1.95
Nd	21	40	1.89
Sm	3.7	6.4	1.73
Eu	0.88	1.34	1.52
Tb	0.53	1.0	1.89
Yb	1.7	3.1	1.83
Lu	0.24	0.48	2.0

第三节 长江水系水环境背景值元素结构组成特征

一、水中元素组成特征

长江水系共有十几条主要一级支流和许多大小湖泊,由于各类水体的成因、所处环境条件的差异,其物质组成也有一定差异,表 18-3-1 中列出长江水系江河水与湖库水中元素总量与溶解态含量序列。可以看出河流水、湖库水中元素总量与溶解态差异,还可以看出元素在不同数量级的分布规律,判断元素分布的合理性。

河流与湖库水比较,Fe、F、Mn、Cu、Zn、As、Co、Ni、Se、Mo、Cd、Hg 等元素含量均在同一数量级上,只有 Cr、V 河水的含量比湖库水高一个数量级,Pb 湖库水比江河水高一个数量级。江河水与湖库水溶解态元素含量比较,除江河水中的 Fe 含量高于湖库水外,其他元素含量亦在一个数量级。因此,河流水与湖库水除个别元素有明显差异外,大部分元素差异较小。

表 18-3-1 长江水系水中元素背景值序列表

		$\mu\text{g/L}$					
类	元 素 型	$n \times 10^2$	$n \times 10$	n	$n \times 10^{-1}$	$n \times 10^{-2}$	$n \times 10^{-3}$
河 流	总 量	Fe Sr F	Mn Ba	Cu Zn As Cr V Rb	Pb Co Ni Se Mo Sb U La Ce Nd	Cd Hg Cs Sc Th Sm Eu Yb	Tb Lu
	溶 解 态	F Sr	Fe Ba	Zn Mn	Cu Pb As Ni Rb U Cr Se Mo V Sb Ce	Cd Hg Co Cs La Nd Sm	Sc Th Eu Tb Yb Lu
湖 库	总 量	Fe F	Mn	Cu Pb Zn As	Co Ni Cr Se Mo V	Cd Hg	
	溶 解 态	F		Zn Mn Fe	Cu Pb Ni As Cr Se Mo V	Cd Co Hg	

河流水中元素含量与溶解态含量比较,总趋势大约 50% 元素原水比过滤水高一个数量级,其他元素虽在同一数量级内,但水中元素总量明显高于溶解态元素含量。元素分布上,原水大约 80% 元素集中在 $n \times 10^{-2} \sim n \mu\text{g/L}$ 数量级范围内,过滤水大约 80% 元素集中在 $n \times 10^{-3} \sim n \times 10^{-1} \mu\text{g/L}$ 数量级范围内。Fe、Mn、Sr、Ba、F 等含量较高,Sc、Th、Eu、Yb、Tb、Lu 等稀土元素含量较低。湖库水测定的 15 元素原水与过滤水比较,大约 40% 元素原水比过滤水高一个数量级,在元素分布上,原水中 70% 元素含量在 $n \times 10^{-1} \sim n \mu\text{g/L}$ 之间,过滤水 73% 元素在 $n \times 10^{-1} \sim n \mu\text{g/L}$ 之间。Fe、F、Mn 元素含量较高,Cd、Co、Hg 较低。

二、沉积物中元素组成特征

将长江水系河流沉积物元素背景值顺序列于表 18-3-2 中。可见湖库细粒沉积物中 Zn、As 含量比河流高一个数量级,其他元素也高于江河沉积物,但均在同一数量级内。湖库沉积物元素含量亦高于河流,这不仅受集水环境的影响,同时亦和湖库有利于微粒沉积有关。

在江河两种沉积物中,元素含量虽在同一数量级内,但细粒沉积物($<63\mu\text{m}$)中元素含量高于沉积物。沉积物的元素含量大部在 $n-n\times 10\text{mg/kg}$,细粒沉积物大部元素含量在 $n\times 10-n\times 10^2\text{mg/kg}$,Fe、Mn、V、Sr、Ba 元素含量较高,Cd、Hg、Lu 元素含量较低。湖库沉积物中,细粒沉积物各元素含量均大于沉积物,其中 Zn、As 高一个数量级。沉积物大部元素含量在 $n-n\times 10^2\text{mg/kg}$,细粒沉积物大部在 $n\times 10-n\times 10^2\text{mg/kg}$,元素背景含量仍是 Fe、Mn、较高,Cd、Hg 较低。

总之,沉积物中元素含量无论是细粒,还是粗粒都比水中含量稳定,而原水与过滤水元素含量差异较大。

表 18-3-2 长江水体沉积物中元素含量序列表

		mg/kg					
类	型	$n\times 10^4$	$n\times 10^2$	$n\times 10$	n	$n\times 10^{-1}$	$n\times 10^{-2}$
河 流	沉积物	Fe	Mn V Sr Ba	Cu Pb Zn Co Ni Cr Rb Th La Nd Ce	As Cs Sb Sm Sc U Eu Yb Tb	Cd Lu	Hg
	细粒沉积物	Fe	Mn V	Cu Pb Zn Co Ni Cr	As	Cd	Hg
湖 库	沉积物	Fe	Mn	Cu Pb Zn Co Ni Cr	As	Cd	Hg
	$<63\mu\text{m}$ 沉积物	Fe	Mn Zn	Cu Pb Co Ni As Cr		Cd	Hg

三、长江水系水体各相中若干元素的相关性

1. 水中元素相关分析

为认识水系内原水、过滤水中各元素之间内在的联系,对长江水系中 Cu、Pb、Zn、Cd、Co、Ni、As、Hg、Cr、Se、Mo、V、Fe、Mn、F 等 15 个元素进行了相关分析,结果表明:原水 Co、Ni、Cr、V、Fe、Mn 等铁族元素之间呈较强的正相关;Cu、Pb、Zn、As 与铁族元素相关性也较好;Cd、Hg、Se、Mo、F 与其它元素相关性不好;Pb 与 Mn 显著性正相关,与 Fe、Mn 呈强相关;Zn 与 Cd 呈显著相关,与 Mn、Fe 强正相关。

过滤水中 Cu 与 Pb、Mo 呈显著正相关,与 Co 强相关;Pb 与 Co 显著性正相关,与 Cd 强相关;总的趋势过滤水亲铜元素之间,铁族元素之间相关性比原水差。

2. 沉积物中元素相关性

沉积物中铁族元素间均呈显著正相关或强相关,亲铜元素 Zn、Pb、Cd 间也呈显著性正相关或强相关。Cu 与 Zn、Co、Ni、Cr、Fe 显著性正相关,与 Mn 强相关;Pb 与 Zn、Cd 呈显著正相关。小于 $63\mu\text{m}$ 细粒沉积物中 Cu 与 Pb、Co 呈显著正相关,与 Zn、Cd、Cr 强相关;Pb 与 Cd 显著性正相关。铁族元素除 Ni 外,Co、Cr、V、Mn、Fe 相关性均较好,Cd 与 Cu、Pb、Zn、相关。Cu 既与 Zn、Pb、Cd 相关,又与铁族元素相关。铁族元素之间,亲铜元素之间相关性较好,Cu 既与铁族元素相关性较好,又与亲铜元素相关性较好。水和沉积物中 As、Hg、Se、Mo、F 与其他元素相关性均不好。亲铜元素与铁族元素在原水中与在沉积物中相关性均较好。

第十九章 长江水系水和沉积物元素含量 与背景值区域分异特征

一、长江水系水中元素含量的区域分异

1. 河水元素背景值区域分异显著

表 19-1-1 列出了长江河源至下游一些水环境单元河水 15 种微量元素的背景值, 综观可以看出长江水系河水从上游向下游河水中元素背景浓度具明显降低的趋向, 特别是金沙江上游及北岸以上, 包括河源区广大地区水系河水元素背景值显著较高, 除 Zn 和 Hg 外越向下游这些元素背景值越低。Fe 是一个标志元素, 河源区至鄱阳湖水系从 1996.24 $\mu\text{g/L}$ 降至 121.85 $\mu\text{g/L}$, 下降一个多数量级, V、Mo、Cr、Pb 等元素下降半个数量级。造成这一特点的主要原因和上游水量和热量不足, 以强烈物理风化为主生态条件不良, 植被覆盖度差, 河流中以悬浮颗粒态迁移的元素数量较丰富有关。

2. 过滤水元素背景值分异趋向不同

从表 19-1-2 列出的长江水系不同环境单元过滤水中元素的背景值可以看出, 不同的元素其分异趋向不同, 其特点是:

1. 多数元素背景值水平河系单元差异明显, 如金沙江中下游及南岸水系环境单元 Cu、Pb、Cd、Co、Ni、Cr、Fe 处于高背景值水平。Zn、Fe 和 Mn 从河源向下游的鄱阳湖水系具明显增加的趋势。Se 在汉水和乌江、赤水中明显偏低。Pb、Cd、As、Co、Se、Mo、V 背景水平从河源到下游鄱阳湖水系环境单元差异不显著, 并有从河源至下游下降的趋势。元素背景值水系单元差异的主要因素是环境单元地质条件和水热条件综合影响的结果。河源和上游地区物理风化作用强, 化学风化弱, 释放出的游离态元素量低, 但河水径流量小, 元素相对丰富, 下游鄱阳湖流域化学风化强烈, 又是花岗岩出露广泛地区, 河水略偏酸或中性, 相对于河源和上游又能存在丰富的游离态元素, 使 Mn 和 Fe 处于高背景值。乌江、赤水流域石灰岩广泛分布, 河水偏碱性, 河水中以游离态存在的元素量相对偏低。Se 在河水中以溶解态迁移为主, 它主要受流域岩石中含量和河流径流量丰富程度的影响。

二、河流沉积物元素背景值区域分异显著

从表 19-1-3 列出的不同环境单元沉积物元素背景值水平, 可看出存在一个明显的高背景值环境单元和一个低背景值环境单元。金沙江中下游及南岸水系沉积物大多数元素, 特别是 Cu、Zn、Co、Ni、Cr、Fe、Mn 都显著高于全水系的平均背景值水平, 是长江水系支流水系单元高背景值水平区。长江下游的鄱阳湖水系河流沉积物大部分元素处于低背景值水平, Fe、Mn、Cr、Ni、Co、As、Cd、Cu 都低于全长江水系这些元素平均背景值水平。其他环境单元沉积物元素的背景值没有上下游单元或区域的差异明显。

对长江水系各主要支流环境单元中元素赋存形态相对数量变化状况的计算表明, 长江水系河水元素赋存形态有一定变化特点。表 19-1-4 中列出了 8 个不同元素的溶解态占河水原水中同种元素的百分数 ($C = B/A \times 100$, A——原水量, B——溶解态量)。

由 C 值可以看出:

表 19-1-1 长江水系不同环境单元河水元素的背景值

水系名称	元素背景值														F
	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Co	Ni	Cr	Se	Mn	Mo	V	Fe	
长江河源	3.010	3.180	6.460	0.046	0.009	3.320	0.940	1.170	12.600	0.170	50.19	0.99	3.58	1996.24	0.19
金沙江上游及北岸	3.53	1.49	7.78	0.074	0.007	1.92	1.34	4.04	4.49	0.21	46.31	0.81	6.24	1806.01	0.13
金沙江中下游及南岸	1.50	1.80	1.45	0.097	0.024	0.59	0.55	0.49	1.15	0.18	23.68	0.39	1.70	354.50	0.12
乌江、赤水	1.27	0.29	3.62	0.015	0.023	0.71	0.16	0.21	1.54	0.11	16.97	0.68	1.49	165.80	0.075
岷江、沱江	0.88	0.46	2.57	0.012	0.030	1.22	0.18	1.30	0.64	0.21	11.28	0.90	2.25	109.00	0.17
汉水	3.25	0.87	3.39	0.018	0.030	1.00	0.11	0.42	0.88	0.054	7.60	0.70	1.05	338.9	0.20
青弋江	0.74	0.44	6.55	0.065	0.006	0.80	0.20	0.59	0.79	0.138	20.99	0.59	1.29	241.53	0.16
鄱阳湖	0.78	0.85	6.21	0.012	0.006	0.85	0.17	0.35	0.82	0.142	16.34	0.16	0.42	121.85	0.15
全水系	1.26	0.71	4.18	0.019	0.023	0.88	0.30	0.61	0.90	0.165	19.31	0.68	1.29	215.50	0.13

表 19-1-2 长江水系不同环境单元过滤水元素的背景值

水系名称	元素背景值														
	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Co	Ni	Cr	Se	Mn	Mo	V	Fe	F
长江河源水系	0.63	0.76	0.68	0.015	0.002	0.86	0.24	0.18	0.26	0.127	2.53	0.72	0.23	12.53	—
金沙江干流及北岸水系	0.74	0.14	0.86	0.021	0.003	1.08	0.26	1.24	0.62	0.190	2.21	0.41	0.96	9.12	0.12
金沙江中下游及南岸水系	0.95	0.65	0.97	0.043	0.014	0.46	0.36	0.31	0.58	0.140	3.52	0.30	0.50	21.03	0.11
乌江、赤水	0.46	0.16	2.30	0.008	0.014	0.28	0.05	0.14	0.55	0.065	3.01	0.52	0.40	4.75	0.08
岷江、沱江	0.39	0.20	1.92	0.006	0.023	0.55	0.08	0.90	0.32	0.170	3.29	0.72	1.80	13.00	0.16
汉水	2.53	0.51	3.08	0.014	0.027	0.73	0.07	0.24	0.50	0.025	2.80	0.53	0.79	8.72	0.18
巢湖	0.68	0.06	1.54	0.024	0.002	1.05	0.07	0.61	0.28	0.114	5.52	0.35	0.87	20.25	0.13
青弋江	0.60	0.08	2.89	0.034	0.004	0.44	0.03	0.40	0.15	0.102	7.71	0.38	0.68	13.29	0.15
鄱阳湖	0.47	0.32	4.81	0.006	0.003	0.60	0.08	0.24	0.71	0.105	7.53	0.13	0.29	24.45	0.13
全水系	0.57	0.23	1.89	0.009	0.016	0.53	0.10	0.37	0.40	0.114	3.99	0.46	0.52	15.36	0.12

1. 在河水中多数较难溶和难溶的微量元素,如 Zn、Cr、Mn、Fe、Rb 等随着从长江河源至下游水量热量越来越丰富,化学风化作用增强,以溶解态存在的元素量也逐渐增加。在河源和上游以干冷为其气候的特征,化学风化作用很弱,这些元素主要以悬浮态存在。进入中下游水系,由于强烈的化学风化作用产物大量进入河流,河水逐渐转化为以溶解态为主。

2. 易水溶性的元素如 Sr、Se、Ce、U 等元素,即使在河源和上游化学风化较弱的地区,也主要以溶解态存在,溶解态元素占其总量大多在 70%—80% 以上。

从长江水系河水、过滤水和沉积物背景值以上分析可以得出如下特征:

(1) 长江水系原水元素的背景值区域分异显著,背景值水平高低变化较大。

(2) 长江水系过滤水元素的背景值也有一定的水系分异,它主要决定于区域气候水热条件所制约的风化作用和地区的岩性以及元素在水中的溶解性。

(3) 沉积物元素背景值水平变化高低较河水小,主要决定于流域的岩性和河水理化性状。

表 19-1-3 长江水系不同环境单元沉积物元素的背景值 mg/kg(Fe 为%)

背景值元素	Cu	Pb	Zn	Cd	Hg	As	Co	Ni	Cr	Mn	Fe
长江河源水系	17.37	10.91	65.28	0.11	0.015	18.06	17.31	21.50	35.96	497.50	1.44
金沙江干流及北岸水系	33.98	16.90	72.30	0.15	0.014	10.35	13.00	38.89	83.71	638.12	3.23
金沙江中下游及南岸水系	101.58	26.16	144.99	0.243	0.033	5.96	30.57	53.87	104.67	861.56	7.13
乌江、赤水	33.65	24.15	104.20	0.103	0.071	7.77	15.05	33.76	78.24	730.00	3.38
岷江、沱江	20.17	18.30	60.25	0.071	0.020	6.28	11.50	23.90	29.25	443.00	2.63
汉水	23.80	21.17	76.82	0.476	0.030	7.11	15.60	31.98	82.32	871.93	3.31
青弋江	14.24	28.06	72.97	0.299	0.021	7.14	10.90	22.18	52.87	540.00	2.91
鄱阳湖	15.90	32.13	75.80	0.144	0.065	7.14	9.13	16.99	34.37	564.91	2.89
全水系	22.00	21.90	73.64	0.159	0.035	7.83	12.29	26.56	52.02	580.0	2.98

表 19-1-4 长江水系元素背景值水系分异状况

项别	水系	河源水系	金沙江中上游及北岸水系	金沙江中下游及南岸水系	乌江、赤水水系	岷江、沱江水系	汉水水系	鄱阳湖水系	全水系(不含干流)	长江干流
Zn	A	6.46	7.78	1.45	3.62	2.57	3.39	6.21	4.18	25.24
	B	0.68	0.86	0.97	2.30	1.92	3.08	4.81	1.89	6.94
	C	10	11	67	64	75	91	77	47	27
	D	65.28	72.30	144.99	104.20	60.25	76.82	75.80	73.64	147.43
Cr	A	12.60	4.49	1.15	1.54	0.64	0.88	0.82	0.90	6.65
	B	0.26	0.62	0.58	0.55	0.32	0.50	0.71	0.40	0.46
	C	2	14	50	36	50	57	86	44	7
	D	35.96	83.71	104.67	78.24	29.25	82.32	34.37	52.02	83.83
Mn	A	50.19	46.31	23.68	16.97	11.28	7.60	16.34	19.31	198.83
	B	2.53	2.21	3.52	3.01	3.29	2.80	7.53	3.99	2.58

续表

项 别 元	水 系	河	源	金沙江中	金沙江中	乌江、	岷江、	汉	鄱阳湖	全水系(不	长江干流
		水	系	上游及北	下游及南	赤水水系	沱江水系	水	水	含干流)	
Mn	C	5	5	15	18	29	37	47	20	1	
	D	497.50	638.12	861.56	730.00	443.00	871.93	564.91	580.00	768.18	
Fe	A	1996.24	1806.01	354.50	165.80	109.00	338.95	121.85	215.50	7281.31	
	B	12.53	9.12	21.03	4.75	13.00	8.72	24.45	15.36	88.16	
	C	0.6	0.5	6	3	12	3	20	8	1.2	
	D	1.44	3.23	7.13	3.38	2.63	3.31	2.89	2.98	4.76	
Rb	A	31		1.8	0.90	1.55	0.76	3.24	1.4		
	B	2.55		0.98	0.59	1.35	0.62	2.89	0.91		
	C	8		54	66	87	82	89	67		
	D	88		73	170	78	81	160	99		
Sr	A	1176		273	463	276	199	37	240		
	B	993		219	415	248	191	34	197		
	C	85		91	96	90	96	92	82		
	D	298		600	170	367	431	100	245		
U	A	1.92		0.55	0.55	0.71	0.66	0.10	0.56		
	B	1.25		0.40	0.47	0.70	0.60	0.08	0.43		
	C	65		73	85	99	91	80	77		
	D	3.1		3.2	3.8	2.4	3.4	6.9	3.5		
Ce	A	10.5		0.80	0.33	0.33	0.38	0.53	0.49		
	B	0.15		0.06	0.07	0.06	0.22	0.14	0.11		
	C	1.4		7.5	21	18	58	26	22		
	D	76		94	97	71	90	151	87		

注: A 为河水, B 为过滤水, C 为 B/A, D 为沉积物。沉积物单位为 mg/kg, 水单位为 $\mu\text{g/L}$ 。

通过 5 年多的调查研究,系统地取得了长江流域 180 万 km^2 内的 300 余条 1—3 级干支流的各类地表水体原水、过滤水、悬浮物、沉积物等各要素中的 Cu、Pb、Zn、Cd 等几十个微量元素背景值,可以看出:

1. 长江流域地表水中元素背景值呈低水平,特别是江河原水中大多数元素低于或接近世界淡水的元素背景值。在河流水中,由于元素的理化性质不同,其过滤水中元素含量(溶解态)占原水中含量(总量)的比重也不同,Fe 在水相以溶解态为主,占 92%;Se、Ni、Hg、Cd、Zn、Cr 等元素溶解态均占 50%以上,Fe、Mn 则主要以悬浮态为主,溶解态不超过 10%。湖库水中元素背景值与江河水无显著差异。由于长江流域地域宽广,环境条件复杂多样,因此元素含量的离散性很大,区域差异明显。而且在不同地区,气候、地质等条件差异,地表水的补给来源也不同,因此造成水中元素背景值存在形态的比例也不同,相当多的元素从河源至中下游,在水相中由以颗粒态为主逐渐转化为以溶解态为主。

2. 沉积物是水体中化学元素存在的比较稳定的场所,是集水区风化物的综合表征。由于长江中上游地区以沉积碎屑岩、砂岩、石灰岩为主,这些岩石风化物微量元素含量低,因此长江水系河流沉积物和细粒沉积物($<63\mu\text{m}$ 粒径)元素背景值均处低含量;而且由于各水域之间环境条件差异较大,使数据离散程度偏大。湖库沉积物同江河沉积物状况类似,但由于湖库处于相对稳定状态,有利细粒沉积物的沉降,因此湖库沉积物中元素背景值相对高于河流沉积物。除了不同岩性、植被、土壤等对沉积物元素背景值影响之外,沉积物粒度对元素含量影响也较明显,对于难溶元素的背景值,随着沉积物粒度减小,元素含量相对增加,而易溶元素则相反。

参 考 文 献

- [1]中国科学院中国自然地理编辑委员会,中国自然地理总论,科学出版社,1985年。
- [2]全国农业区划委员会,中国自然区划概要编写组,中国自然区划概要,科学出版社,1984年。
- [3]中国科学院中国自然地理编辑委员会,中国自然地理地表水,科学出版社,1981。
- [4]汤鸿霄,用水废水化学基础,建筑工业出版社,1979年。
- [5]刘英俊等著,元素地球化学,科学出版社,1984年。
- [6]南京大学地质系编,地球化学,科学出版社,1979年。
- [7]B. A. 科夫达,土壤学原理,科学出版社,1981年。
- [8]A. H. 彼列尔曼,后生地球化学,科学出版社,1975年。
- [9]汤鸿霄等译, W. 斯塔姆等著,水化学(天然水体化学平衡导论),科学出版社,1987年。
- [10]中国科学院地理研究所等编译,地理环境污染与保护译文集,第七集,科学技术文献出版社,1979年。
- [11]中国科学院地理研究所等编译,地理环境污染与保护译文集,第八集,科学技术文献出版社,1980年。
- [12]中国科学院地理研究所等编译,区域环境研究译文集,第一集,中国科学院环境化学研究所出版,1981年。
- [13]水电部长江流域规划办公室水文局,长江流域水资源评价(水资源特征统计表),1986. 5。
- [14]环境中重金属研究文集编辑组编,环境中重金属研究文集,科学出版社,1988年。
- [15]张立成等,中国环境科学学报,6(1),1986。
- [16]钱杏珍等,洞庭湖水系沉积物的地球化学背景值,科学通报, No. 6, 1988。
- [17]张立成等,地理学报, 38(1), 1983年。
- [18]环境科学, 9(1), 1988。
- [19]章申、张立成等编,化学元素水环境背景值研究,测绘出版社,1990。
- [20]长江水环境化学元素系列专著编辑委员会,王立军等著,水环境化学元素研究方法,湖北科学技术出版社,1992。
- [21]郑运昌、袁秀顺,嘉陵江水系水环境背景值研究,成都地图出版社,1991年。
- [22]张立成、章申等,长江河源区水环境地球化学,中国环境科学出版社,1992。
- [23]余中盛等,长江下游典型水域水环境背景值研究,北京青年出版社,1991。
- [24]中国科学院国家计委地理所等,长江水系水环境背景值研究第一册,1990年。
- [25]张立成等,长江水系河水的地球化学特征,地理学报 47(3), 1992。
- [26]water, air and soil pollution, vol 13, No. 1, 1980.
- [27]B. T. Hart, the Role of particulate matter in the Transport and Fate of pollutants, water studies centre chisholm Institute of Technology, Melbourne, 2, 1986.
- [28]Tessler, A. W. G. Campbell and M. Baisson, sequential Extraction procedure for the speciation of Particulate Trace Metals, Analytical chemistry 51(7):844~850, 1979.
- [29]zhang licheng and zhou kezun, the Science of the Total Environment, 125(1992) 391-404 Elsevier science publishers Amsterdam.
- [30]zhang licheng et al, CHINESE GEOGRAPHICAL SCIENCE vol3(3), 264-275, published by science press, 1993.

[General Information]

书名=长江水系水环境化学元素系列专著 (2) 水环境化学元素研究

作者=张立城等著

页数=291

SS号=10394735

出版日期=1996年02月第1版

出版社=中国环境科学出版社

封面

书名

版权

前言

目录

第一章 长江流域的地球化学环境

第一节 长江水系组成

第二节 长江流域的地质环境

第三节 长江流域的地形和地貌特征

第四节 长江流域的气候特征

第五节 长江水系的水文特征

第六节 长江流域的生态环境特征

第七节 长江流域的化学地理特征

第二章 长江水系水环境的地球化学因素

第一节 水环境的温度与溶解氧

第二节 水的pH值

第三节 水的离子组成与浓度

第四节 水的硬度

第五节 水的化学耗氧量

第六节 水的酸、碱缓冲能力与化学稳定性

第三章 长江水系水体元素含量表征及数理统计方法

第一节 水体元素含量表征

第二节 水体环境单元元素含量的表征

第四章 长江河源区水系水体的化学元素

第一节 河源区水系流域环境特征

第二节 河源区水体理化性状及其地球化学特征

第三节 河源区水系水体元素的含量与背景值

第五章 金沙江干流与北岸水系水体中的化学元素

第一节 金沙江干流或北岸水系的环境特征

第二节 水体的理化性状及其地球化学特征

第三节 金沙江干流及北岸水系水体元素含量和背景值

第六章 金沙江南岸水系水体中的化学元素

第一节 金沙江南岸水系的环境特征

第二节 金沙江南岸水系水体的理化性状及其地球化学特征

第三节 金沙江南岸水系水体元素的含量和背景值

第四节 金沙江南岸主要流水系水体元素含量与背景值

第五节 金沙江南岸水系水体稀有稀土和放射性元素的含量和背景值

第七章 乌江水系水体中的化学元素

- 第一节 乌江流域的环境特征
- 第二节 乌江水系水体的理化性状及其地球化学特征
- 第三节 乌江水系水体元素含量与背景值
- 第四节 乌江水系水体稀有、稀土、分散与放射性元素的含量与背景值
- 第八章 赤水水系水体中的化学元素
 - 第一节 赤水水系的环境特征
 - 第二节 赤水水系河水的理化特征
 - 第三节 赤水水系水体元素的含量与背景值
 - 第四节 赤水水系水体稀有、稀土、分散与放射性元素的含量与背景值
- 第九章 清江水系水体中的化学元素
 - 第一节 清江流域的环境特征
 - 第二节 清江水系河水的理化特征
 - 第三节 清江水系水体元素含量与背景值
- 第十章 岷江水系水体中的化学元素
 - 第一节 岷江水系的环境特征
 - 第二节 岷江水系水的理化特征
 - 第三节 岷江水系水体元素含量与背景值
 - 第四节 岷江水系水库水元素的含量
- 第十一章 沱江水系水体中的化学元素
 - 第一节 流域的环境特征
 - 第二节 沱江水系水体的理化特征
 - 第三节 沱江水系水体元素含量与背景值
- 第十二章 嘉陵江水系水体中的化学元素
 - 第一节 嘉陵江水系的环境特征
 - 第二节 嘉陵江水系河水的地球化学特征
 - 第三节 嘉陵江水系水体元素的含量与背景值
- 第十三章 汉江水系水体中的化学元素
 - 第一节 汉江水系的环境特征
 - 第二节 汉水水系河水的理化性状及其地球化学特征
 - 第三节 汉水水系水体元素含量与背景值
- 第十四章 洞庭湖水系水体中的化学元素
 - 第一节 洞庭湖水系的环境特征
 - 第二节 洞庭湖水系水的理化特征
 - 第三节 洞庭湖水系水体元素含量与背景值
- 第十五章 鄱阳湖水系水体中的化学元素
 - 第一节 鄱阳湖水系的环境特征
 - 第二节 鄱阳湖水系水的理化特征
 - 第三节 鄱阳湖水系水体元素含量与背景值

第十六章 长江下游水系水体中的化学元素

第一节 长江下游水系的环境特征

第二节 长江下游水系水的理化特征

第三节 长江下游水系水体元素含量和背景值

第十七章 长江干流水体中的化学元素含量与变化

第一节 长江干流的环境特征

第二节 长江干流水的理化性状及其地球化学特征

第三节 长江干流水体元素含量

第十八章 长江水系水和沉积物元素含量与分布特征

第一节 长江水系水和沉积物与人为影响关系密切的15个微量元素的含量特征

第二节 长江水系水环境中稀有稀土及放射性元素的含量特征

第三节 长江水系水环境背景值元素结构组成特征

第十九章 长江水系水和沉积物元素含量与背景值区域分异特征

参考文献