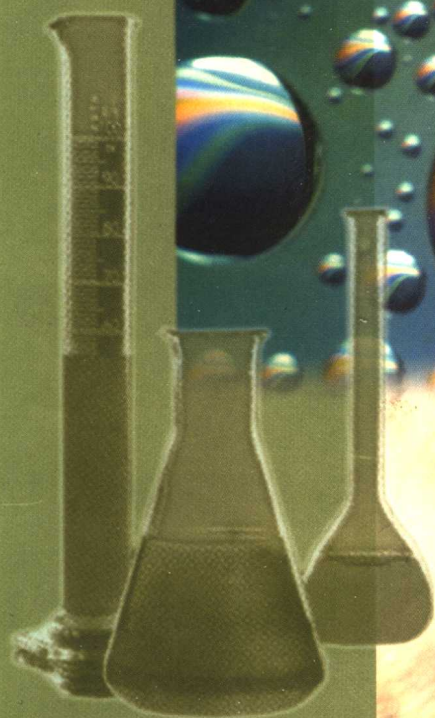


高 宏 暴维英 张曙光 李怡庭 彭 彪 周怀东 等编著

多沙河流污染化学与 生态毒理研究



黄河水利出版社

多沙河流污染化学与生态毒理研究

高 宏 暴维英 张曙光 李怡庭 彭 彪 周怀东等编著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是水利部水资源水文司与美国地质调查局水资源处联合组织的中美合作交流项目的研究成果。内容包括:多泥沙河流水环境特性研究、全国主要水系沉积物元素背景值调查、河流沉降物对重金属污染行为的影响、河流沉降物对氮化物污染行为的影响、长江和黄河沉降物重金属污染判别与评价、河流沉降物对水生生物多样性的影响、河流沉降物对重金属生物有效性的影响、黄河与长江有毒有机物污染调查、河流沉降物对有毒有机物污染行为的影响等。揭示了水中沉降物的理化特性及其与水质的关系,研究了多泥沙河流中有毒有机物和有毒重金属的污染分配状况、赋存状态、迁移转化、降解途径、主要归宿以及污染物对水生生物的有效性和毒性效应,可为多泥沙河流水质监测评价体系的建立、环境中污染物浓度/总量控制的正确实施、多泥沙河流水质评价标准的制定、河流水/沙环境容量的合理开发利用等方面的工作提供技术支持和科学依据。

可供从事水资源、环境保护工作的科技、管理人员及相关专业大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

多沙河流污染化学与生态毒理研究/高宏等编著.
郑州:黄河水利出版社,2001.8
ISBN 7-80621-188-8

I. 多… II. 高… III. ①多沙河流-河流污染-研究-中国②多沙河流-生态-毒理-研究-中国
IV. X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 18673 号

责任编辑:胡志扬
责任校对:杨秀英

封面设计:朱 鹏
责任印制:常红昕

出版发行:黄河水利出版社
地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮编:450003
发行部电话:(0371)6022620
E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

印 刷:黄委会设计院印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16
版 次:2001 年 8 月 第 1 版
印 次:2001 年 8 月 郑州第 1 次印刷

印 张:14.75
印 数:1-1000
字 数:340 千字

定价:28.00 元

前 言

《多沙河流污染化学与生态毒理研究》是依据“水中沉降物化学研究”成果编著而成的。“水中沉降物化学研究”是由中华人民共和国水利部水资源水文司与美国地质调查局水资源处联合主持的合作交流项目。该研究是针对中国大江大河沉降物(包括悬浮沉降物和底部沉降物或简称泥沙)对水质的影响这一国内外普遍关注的问题,而进行的一项多学科研究。其目的在于揭示水中沉降物的理化特性及其与水质的关系;研究多泥沙河流中 toxic 有机物和有毒重金属的污染分配状况、赋存状态、迁移转化、降解途径、主要归宿以及污染物对水生生物的有效性和毒性效应。这一研究成果,为建立适合中国国情的河流水质监测、评价体系,正确实施环境中污染物的浓度或总量控制,制定多泥沙河流的区域性水质标准,合理开发利用河流的水、沙环境容量,提供了有效的方法和重要的科学依据。

在水资源的质和量的定量管理中,提供科学有效的水质监测数据是管好、用好水资源的基础。目前,在地表水资源与水环境质量评价中普遍存在的一个突出问题就是河流沉降物的影响。这是实现地表水资源与水环境科学定量管理亟待解决的关键技术之一。沉降物是河流中大多数污染物质的主要载体,是反映河流污染的最灵敏的指示物。同时,沉降物上赋存的污染物又确实对河流水生生态系统有着一定的毒性效应或不良影响。长期以来,尽管国内外学者对此进行过大量研究,但是,由于研究对象和研究条件的复杂性,至今尚未得出满意的结果,因而,形成了沉降物污染特性研究与实际应用脱节的局面。近年来,由于人类对自然资源的加速开发,导致森林植被遭到破坏、水土流失加剧和固体废弃物排放量的增加,许多河流的沉降物含量也日益增高,沉降物对河流水质的影响更为突出。由于当前我国实行的地面水环境质量标准未对沉降物的影响加以充分的考虑,因此,已在长江、黄河等大江大河上造成了监测和评价结果的混乱,直接影响到水质管理工作的各个环节。为此,水利部水文司环资处组织黄河流域水环境监测中心、长江流域水环境监测中心、水利部水环境监测评价研究中心等单位,共同对这一难题进行攻关研究。

本研究分 6 个子课题开展工作,主要研究内容分别为:

- (1) 长江水体沉降物化学研究;
- (2) 高含沙河流金属污染行为与监测技术研究;
- (3) 黄河水中有毒有机物的类型及其分布研究;
- (4) 沉降物对水中有毒有机物污染化学行为影响研究;
- (5) 河流沉降物对水生生态系统影响、对有毒重金属的生物学转移和有效性影响研究;
- (6) 全国主要江河沉积物背景值调查。

其中(1)由长江流域水环境监测中心负责完成,(2)、(3)、(4)、(5)由黄河流域水环境监测中心负责完成,(6)由水利部水环境监测评价研究中心负责完成。

该项研究的总体设计目标,是解决河流沉降物结合污染物的监测与评价的实际应用技术问题。

在这一设计指导思想下,研究工作从3个方面同时进行:①沉降物重金属污染鉴别与污染化学研究;②有毒有机物污染调查与污染化学研究;③金属、有毒有机物毒性效应的生物学研究。在研究过程中,3方面的研究内容相互交叉,又各有侧重,既独立又相互关联,发挥了各种研究学科的优势,互相弥补局限与不足,使得许多与沉降物有关的复杂的机理性理论成果,通过较简单的方法和途径与实际应用相结合,解决了理论与实际脱节的问题。

该项目在进行期间,曾得到北京大学陈静生教授和徐云麟教授、南京大学许鸥咏教授、中国环境科学研究院金相灿研究员、中国预防医学科学院修瑞琴研究员等人的指导和帮助,在此一并表示感谢。

本书共分九章,其中,前言由暴维英、高宏执笔,第一章由暴维英、冯化涛执笔,第二章由周怀东、李怡庭、冯化涛执笔,第三章由高宏、臧小平、冯化涛、王碧英执笔,第四章由高宏、冯化涛、李怡庭执笔,第五、第六章由张曙光执笔,第七章由暴维英、渠康、彭彪执笔,第八章由暴维英、李春红执笔,第九章由暴维英、高宏执笔。

由于本书涉及的研究项目内容较多,技术难度较大,加上编写人员水平有限,错误与不足之处在所难免,恳请读者多提宝贵意见。

编 者

2000年9月

目 录

前言

第一章 多沙河流水环境特性研究	(1)
第一节 国内外主要河流水量及含沙量	(1)
第二节 我国河流悬浮沉积物的主要理化特性	(3)
第三节 长江水、沙基本特征	(6)
第四节 黄河水、沙基本特征	(12)
第二章 全国主要水系沉积物元素背景值	(28)
第一节 背景值站样点布设	(28)
第二节 沉积物样品的采集与预处理	(29)
第三节 测试参数与分析方法	(29)
第四节 样品测试过程的质量保证	(30)
第五节 数据的数理统计方法	(31)
第六节 沉积物中各元素的背景值	(33)
第三章 沉降物对重金属及氮化物污染行为影响的研究	(54)
第一节 长江沉降物对重金属污染行为的影响	(54)
第二节 黄河沉降物对重金属的吸附与共沉淀	(63)
第三节 沉降物对有毒重金属的迁移和掩埋作用	(71)
第四节 沉降物对河流氮化物污染行为的影响	(75)
第四章 长江黄河沉降物重金属污染判别与评价	(83)
第一节 长江沉降物重金属污染判别与评价	(83)
第二节 黄河沉降物重金属污染判别与评价	(94)
第五章 沉降物对水生生物多样性影响的研究	(99)
第一节 天然河流悬浮颗粒物中的生物相	(99)
第二节 黄河水生生物多样性调查	(100)
第三节 悬浮颗粒物对水生生物多样性的影响	(104)
第六章 沉降物对重金属生物有效性影响的研究	(111)
第一节 悬浮颗粒物对藻类生长、繁殖的物理影响及 重金属毒性效应影响的研究	(111)

第二节	泥沙对大型蚤的重金属毒性效应影响研究	(121)
第三节	泥沙对重金属的生物富集影响研究	(127)
第四节	多泥沙河流中重金属污染物生物监测的敏感生物与敏感指标选择	(140)
第七章	长江黄河有毒有机物种类及其分布的研究	(143)
第一节	长江干流有毒有机物种类及其分布	(143)
第二节	黄河有毒有机物种类及其分布	(162)
第八章	沉降物对有毒有机物污染行为影响的研究	(188)
第一节	河流中有毒有机物的来源及其对环境的危害	(188)
第二节	黄河水中对硝基氯苯溶解度的研究	(192)
第三节	对硝基氯苯的辛醇-水分配系数及其影响因素研究	(195)
第四节	沉降物对有毒有机物吸附与分配的影响	(198)
第五节	对硝基氯苯在黄河水体中挥发行为的研究	(202)
第六节	长江有毒有机物在水体中的生物富集	(204)
第七节	黄河重点河段有毒有机物污染状况调查与研究	(206)
第八节	有毒有机物的污染控制	(221)
第九章	主要研究成果及其应用	(223)
第一节	主要研究成果	(223)
第二节	研究成果在水环境污染控制方面的应用与建议	(224)
主要参考文献		(229)

第一章 多沙河流水环境特性研究

第一节 国内外主要河水量及含沙量

我国江河众多。主要江河有长江、黄河、珠江、松花江、辽河、海河、淮河 7 大水系,另有其他的湖、河,渊源流长、纵横交错,构成庞大的大陆水系。

水资源开发利用,是关系到人类社会生存发展的重大问题,受到各国政府的重视。但是,由于自然、地理、生态环境和人为生产等因素的影响,使我国一些重要河流含沙量有逐年升高的趋势,从而不利于水资源的开发利用。在我国众多水系中,黄河是多泥沙河流的典型代表,多年平均含沙量已达 $37.6\text{kg}/\text{m}^3$,年输沙量 16.8 亿 t,年平均输沙模数 $2\,232.9\text{t}/\text{km}^2$;长江(宜昌站)年平均含沙量 $1.14\text{kg}/\text{m}^3$,嘉陵江平均含沙量 $2.34\text{kg}/\text{m}^3$,也超过了国外的密西西比河、红河、尼罗河和布拉马普特拉河(见表 1-1)。虽然长江流域侵蚀模数大于 $5\,000\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 的面积约 10.8 万 km^2 ,比黄土高原约少 5 万 km^2 ,但是,长江流域的降雨量却比黄土高原多 3~4 倍。据 1952~1986 年多年的统计资料,长江嘉陵江最大含沙量达 $9.41\text{kg}/\text{m}^3$;汉江最大含沙量达 $10.6\text{kg}/\text{m}^3$ 。近几年,长江中上游沿岸滑坡,水土流失造成航道阻塞,含沙量剧增的情况时有报道。因此,如果不采取行之有效的措施,控制水土流失,长江大有成为第二条黄河的可能。淮河(鲁子台、蚌埠站)多年统计资料中年最大含沙量也达 $5.45\text{kg}/\text{m}^3$ 和 $5.64\text{kg}/\text{m}^3$;松花江、珠江多年平均含沙量在 $0.13\sim 0.33\text{kg}/\text{m}^3$ 之间。值得注意的是,我国南方的广东、福建以及东北等地的水土流失也十分严重,有些地区土壤侵蚀虽不及黄土高原,但从土壤侵蚀对土地资源的损害所产生的后果来看,其危害与黄土高原相比,有过之而无不及。广东省南雄盆地的紫红色砂岩分布区,是我国南方该类岩系分布区侵蚀最严重的地区之一,有“红色沙漠”之称,其降雨量比黄土高原大得多,年平均侵蚀量为 $1\,500\text{t}/\text{km}^2$;广东德庆县崩岗侵蚀区的年侵蚀量达 $3\,510\sim 3\,533\text{t}/\text{km}^2$;江西兴国是我国南方又一土壤侵蚀最严重的地区,年侵蚀量为 $7\,000\text{t}/\text{km}^2$ 左右,在崩岗群分布区的年侵蚀量最大可达 $13\,500\text{t}/\text{km}^2$ 以上(赣江上游);广西花岗岩分布区年侵蚀量为 $4\,095\text{t}/\text{km}^2$;四川省遂宁县是全省土壤侵蚀最严重的地区,年侵蚀量约 $8\,000\text{t}/\text{km}^2$;福建河田长汀花岗岩分布区年侵蚀量达 $10\,000\sim 15\,000\text{t}/\text{km}^2$ 。克山县是黑龙江省土壤侵蚀最严重的地区,侵蚀土(黑土)是在黄土状母质上发育而成,根据残留的黑土层厚度推算,其侵蚀量一般为 $5\sim 8\text{mm}/\text{a}$ 。以上大量资料虽未直接表明各河流的含沙量,但从土壤侵蚀、水土流失这一侧面可反映河流的含沙量状况。表 1-2 中为国内外水沙情况较典型河流的水量、沙量统计值。我国河流含沙量总体水平大于国外。

表 1-1

国内外主要河流含沙量比较

河 名	流域面积 (10^4km^2)	年输沙量 (10^8t)	年径流量 (10^8m^3)	平均含沙量 (kg/m^3)	年均输沙模数 (t/km^2)
黄 河	75.24	16.8	580	37.60	2 232.9
长 江	180.55	5.14	9 282	1.14	512
金沙江	48.51	2.40	1 450	1.67	6 580
嘉陵江	15.61	1.57	672	2.34	1 010
恒 河	95.50	14.51	3 710.0	3.92	1 519.4
布拉马普特拉河	66.60	7.26	3 840.0	1.89	1 090.1
密西西比河	323.00	3.12	5 645.0	0.55	96.6
印度河	96.90	4.35	1 750.0	2.49	448.9
伊洛瓦底江	43.00	2.99	4 270.0	0.70	695.3
密苏里河	137.00	2.18	6 160.0	3.54	159.1
科罗拉多河	63.70	1.35	490.0	27.50	211.9
红 河	11.90	1.30	1 230.0	1.06	1 092.4
尼罗河	297.80	1.11	892.0	1.25	37.3

表 1-2

国内外部分水沙情况较典型河流的水量、沙量统计

编 号	国 名	河 名	流域面积 (10^4km^2)	站 名	水 量		沙 量		
					年平均 流 量 (m^3/s)	平 均 年水量 (10^8m^3)	年平均 含沙量 (kg/m^3)	年平均 输沙量 (10^8t)	年平均 输沙模数 (t/km^2)
1	孟加拉国	布拉马普特拉河	66.6	河 口	12 190	3 840	1.89	7.26	1 090
2	孟加拉国	恒 河	95.5	哈丁桥	1 750	3 710	3.92	14.5	1 519
3	巴基斯坦	印度河	96.9	柯特里	5 500	1 750	2.49	4.35	449
4	緬 甸	伊洛瓦底江	43.0	普朗姆	13 550	4 270	0.7	2.99	695
5	美 国	密西西比河	323.0	河 口	17 820	5 645	0.55	3.12	97
6	美 国	科罗拉多河	63.7	大峡谷	155	490	27.5	1.35	212
7	巴 西	亚马孙河	577.0	河 口	181 000	57 100	0.06	3.63	63
8	埃 及	尼罗河	297.8	格弗拉	2 830	892	1.25	1.11	37
9	中 国	长 江	180.6	大 通	29 200	9 282	1.14	5.14	512
10	中 国	黄 河	75.2	陕 县	1 470	580	37.6	16.8	2 233
11	中 国	窟野河	0.9	温家川	24.7	7.8	169	1.32	15 300
12	中 国	泾 河	4.3	张家山	49.2	15.5	172	2.67	6 180
13	中 国	珠 江	33.0	梧 州	7 210	2 270	0.34	0.718	218
14	中 国	永定河	4.9	三家店	45	14.2	44.2	0.82	1 673
15	中 国	洮 河	2.6	红 旗	168	52.8	5.53	0.292	1 144
16	中 国	湟 水	3.3		157	49.4	5.08	0.251	764
17	中 国	清水河	1.4	泉眼山	6.85	2.16	229	0.495	3 419
18	中 国	无定河	3.0	白家川	14.9	4.7	372	1.75	5 783
19	中 国	汾 河	3.9	河 津	76	24.1	15.1	0.365	925
20	中 国	渭 河	13.5	华 县	291	91.9	58.2	5.35	3 970
21	中 国	北洛河	2.7	淤 头	28	8.7	115	0.998	3 709
22	中 国	洛 河	1.9	黑石关	107	33.8	5.41	0.183	969
23	中 国	沁 河	1.4	武 陟	55	17.4	4.12	0.072 3	534
24	中 国	大汶河	0.9	戴村坝	57.7	18.2	1.02	0.018 6	204

第二节 我国河流悬浮沉积物的主要理化特性

一、粒度组成

据陈静生等对我国主要江河沉降物理化特性的研究结果,黑龙江、松花江、黄河、长江、珠江等干、支流 22 条河流的悬浮沉积物中小于 0.002mm 的粘粒含量为 21% ~ 58%。其中,东北地区的河流悬浮沉积物粘粒普遍偏高,大部分河流大于 50%;其次是东南沿海的南方诸河,一般为 45% ~ 50%;界于两地区之间的是华北、华中地区的河流,粘粒含量相对较低,一般低于 45%;黄河为最低,仅为 21% 左右(表 1-3)。黄河悬浮物粘度低的原因显然与其流域内大面积分布着以粉沙为主的黄土性沉积物有关。

表 1-3

我国东部河流悬浮沉积物颗粒组成

%

河 流	采样点	< 0.05mm	< 0.03mm	< 0.01mm	< 0.005mm	< 0.002mm
黑龙江	漠 河	100	89.1	74.1	68.5	58.2
黑龙江	同 江	100	90.1	78.9	71.2	53.6
嫩 江	齐齐哈尔	100	88.9	71.2	59.8	46.5
汤旺河	浩良河	100	89.2	73.6	64.5	58.3
穆稜河	虎 林	100	88.3	79.6	66.7	56.2
松花江	同 江	100	81.9	72.1	61.6	56.3
松花江	哈尔滨(上)	100	84.5	69.8	53.2	49.1
乌苏里江	饶 河	100	79.6	68.2	51.3	44.5
第二松花江	吉林(上)	100	81.7	66.3	57.1	52.3
图们江	图 们	100	82.3	63.2	54.1	47.8
鸭绿江	玉江岛	100	76.9	64.8	56.2	48.5
辽 河	通 辽	100	81.8	66.8	51.3	42.3
滦 河	下板城	100	82.9	61.9	49.4	39.5
黄 河	郑 州	100	76.9	51.3	31.9	21.5
汉 水	沔 阳	100	81.3	56.8	41.9	40.1
长 江	南京(上)	100	86.3	57.8	48.5	39.6
黄浦江	上海(上)	100	79.8	69.8	61.2	48.5
钱塘江	杭 州	100	78.6	64.5	54.3	47.2
赣 江	南 昌	100	81.6	68.5	56.1	45.6
闽 江	福 州	100	76.6	69.8	57.2	49.2
西江	肇庆(上)	100	81.2	70.1	57.3	51.2
东 江	新 塘	100	78.9	68.3	53.5	49.5

二、粘土矿物组成

从各河流悬浮沉积物中的矿物组成来看,主要为蒙脱石(Mon)、伊利石(I)、高岭石(K)、绿泥石、石英、长石等,表 1-4 列出了我国东部 22 条河流悬浮沉积物中的矿物组成。研究表明,其悬浮沉积物中的粘土矿物组成呈现了明显的地带性差异。

(1)蒙脱石的相对含量,总体上从北往南随着纬度的变化,逐渐减少,高岭石的相对含

量逐渐增加,两者比值 M/K 显著下降。

(2)从北往南,粘土矿物组合由 2:1 型矿物为主向 1:1 型矿物为主逐渐演变。这种地带性分异规律,是生物气候条件下悬浮沉积物来源区成土过程演化发展的自然结果。这一结果,与我国东部季风区土壤中粘土矿物的演化规律相吻合。

表 1-4 我国东部河流悬浮沉积物中矿物组分含量 %

河 流	Mon	I	K	M/K	CaCO ₃	Fe(OH) ₃
黑龙江	52.00	32.00	16.00	3.25	0.55	3.93
黑龙江						3.85
嫩 江	54.00	31.00	15.00	8.60		4.11
汤旺河	52.00	32.00	16.00	3.25	1.49	4.17
穆棱河					0.36	3.96
松花江	58.00	27.00	15.00	3.87		3.85
松花江	52.50	33.50	14.00	3.75	0.74	4.46
乌苏里江					1.61	4.14
第二松花江						4.27
图们江	52.00	26.00	22.00	2.36	2.05	4.28
鸭绿江	47.00	30.00	23.00	2.04	3.87	4.37
辽 河	58.00	31.00	11.00	5.37	0.42	4.37
滦 河	59.00	29.00	12.00	4.92	1.80	4.72
黄 河	42.00	28.00	30.00	1.40	13.12	4.66
汉 水					8.09	4.72
长 江	16.00	41.00	43.00	0.37	6.28	4.72
黄浦江	17.00	39.00	44.00	0.39	1.71	5.36
钱塘江	17.00	35.00	48.00	0.35		4.77
赣 江					6.78	5.13
闽 江	18.00	28.00	54.00	0.33	7.49	4.93
西 江	14.00	33.00	53.00	0.26	3.41	5.24
东 江	15.00	27.00	58.00	0.26	2.53	5.42

三、碳酸盐和氢氧化铁

碳酸盐、铁锰氧化物,是悬浮沉积物中另一类重要的组分。这些组分大多数经历了风化淋滤、迁移转化、水解再沉淀等表生地球化学过程,含量虽低,但在吸持和束缚重金属等污染物方面作用是很大的。表 1-4 中已列出了我国 22 条河流悬浮沉积物中碳酸钙和氢氧化铁的含量。从总体来看,从北往南,随着纬度的降低,氢氧化铁的含量明显增加。这与我国东部不同地理地带土壤中,由北往南,沉积物脱硅富铁铝化作用增强的趋势是完全一致的。

CaCO₃ 的含量随纬度变化的规律不如 Fe(OH)₃ 明显。总的情况是,黄河悬浮沉积物 CaCO₃ 含量最高,其次是闽江、长江等河流,东北的河流以及其他南方河流的含量,明显偏低。黄河中 CaCO₃ 含量高,与其部分流域广布在黄土以及处于干旱、半干旱的荒漠、草原地带有关。至于南方部分河流悬浮沉积物中 CaCO₃ 含量偏高,与碳酸盐类沉积岩广泛分布有关。

四、有机质组成特征

我国东部的 22 条河流悬浮沉积物中,有机质含量及组成表现出明显的地带性规律(表 1-5)。

表 1-5 我国东部河流悬浮沉降物中的有机质组成 %

河 流	采样点	Org	H + F	H		F		h		H/F
				A	B	A	B	A	B	
黑龙江	漠 河	5.88	1.54	0.82	14.52	0.72	12.20	4.33	73.77	1.15
黑龙江	同 江	5.23	1.58	0.76	14.46	0.82	15.69	3.66	70.15	0.92
嫩 江	齐齐哈尔	4.37	0.64	0.33	7.44	0.32	7.21	3.72	85.35	1.03
汤旺河	浩良河	6.84	2.84	1.44	21.07	1.40	20.45	3.99	59.48	1.03
穆稜河	虎 林	4.89	0.73	0.32	6.45	0.41	8.39	4.17	85.36	0.77
松花江	同 江	2.78	0.35	0.13	4.68	0.22	7.87	2.43	87.45	0.59
松花江	哈尔滨(上)	3.93	0.93	0.40	10.22	0.53	13.38	3.01	76.40	0.76
乌苏里江	饶 河	3.50	0.74	0.33	9.47	0.41	11.62	2.76	78.92	0.82
第二松花江	吉林(上)	4.03	1.25	0.45	11.19	0.80	19.82	2.78	69.00	0.56
图们江	图 们	2.06	0.62	0.23	11.23	0.39	18.81	1.43	70.10	0.60
鸭绿江	玉江岛	2.63	0.54	0.21	11.36	0.32	17.65	1.23	70.99	0.67
辽 河	通 辽	2.67	0.53	0.24	9.25	0.29	11.01	2.09	79.74	0.84
滦 河	下板城	3.47	0.73	0.30	8.82	0.43	12.68	2.68	78.50	0.70
黄 河	郑 州	0.61	0.13	0.02	3.44	0.11	17.45	0.48	79.11	0.20
汉 水	沔 阳	1.18	0.24	0.08	6.54	0.16	13.91	0.94	79.55	0.47
长 江	南京(上)	1.16	0.24	0.07	5.95	0.17	14.41	0.92	76.91	0.41
黄浦江	上海(上)	3.78	0.23	0.07	1.76	0.16	4.25	3.55	93.96	0.41
钱塘江	杭 州	3.02	0.36	0.10	3.44	0.25	8.40	2.66	88.12	0.41
赣 江	南 昌	5.90	0.44	0.11	1.91	0.33	5.57	5.46	92.52	0.346
闽 江	福 州	6.21	1.03	0.26	4.19	0.78	12.50	5.81	83.35	0.33
西 江	肇庆(上)	2.61	0.37	0.11	3.65	0.25	9.36	2.26	87.01	0.44
东 江	新 塘	3.02	0.34	0.09	3.14	0.24	8.02	2.67	88.66	0.39

注:Org = 有机质总量;H + F = 腐殖酸;H = 胡敏酸;F = 富里酸;h = 胡敏素;A = 悬浮沉积物中相对含量;B = 有机质中相对含量。

(1)有机质总量,在东北地区及南方部分河流悬浮沉积物中的含量,明显高于中部地区的黄河、长江诸河,随纬度的变化呈“V”字形分布。有机质总量的大小,除了受水热条件控制外,还有赖于流域内的植被分布、土壤有机质含量等。黄河悬浮沉积物中有机质含量最低,显然与其植被覆盖率低、土壤松散、水土流失严重有关。至于南方部分河流,如闽江、赣江等河流悬浮沉积物中有机质偏高的原因,很可能是因为其流域植被发育,有机质含量高,悬浮沉积物中有较大量的非腐殖化有机物的缘故。它们的腐殖酸含量并不高的事实,说明了这一点。

(2)与有机质总量的变化趋势不同,河流悬浮沉积物中腐殖酸[包括富里酸(FA)和胡

敏酸(HA)]的含量呈现出北高南低的变化规律,表明水热条件对腐殖酸的形成和积累具有更为重要的作用。

(3)富里酸和胡敏酸是有机质演化过程中两个阶段的产物,前者的总酸度、功能团数量及亲水性等特征都高于后者。从我国东部不同地理地带中两者的比值(H/F)的变化状况看,南方的比值明显高于北方,显示出在南方高温多雨条件下,悬浮沉积物中腐殖质化程度相对比较低的特点。

第三节 长江水、沙基本特征

一、水文基本特征

长江流域地处北温带,气候温暖湿润,雨量丰沛,年径流量很大,下游控制站大通站多年平均径流量达 9 150 亿 m^3 ,占全国江河年径流量 26 140 亿 m^3 的 35%。长江干流主要控制站有屏山、寸滩、宜昌、汉口、大通等,其多年径流量见表 1-6。从表中可知,以大通站多年平均径流量为准,长江主要支流水系径流量为:洞庭湖水系约占 21.2%、鄱阳湖水系占 16.2%、金沙江水系约占 15.8%、岷江水系占 9.8%、嘉陵江水系约占 7.5%、乌江水系和汉水水系各占约 5.6%。

长江流域范围大,各支流流域的自然地理、环境和气候条件差异较大,使长江流域径流有如下特征:

(1)长江干流各测站多年平均径流量的变差系数(C_v)变动范围不大,一般为 0.11 ~ 0.16。从上游屏山站至下游大通站, C_v 值以宜昌站最小,向上向下均递增,反映长江干流径流的稳定性较好。与国内其他河流相比,长江的 C_v 值最小;与国内外大河相比,各站最大与最小流量之比,变幅也最小,如宜昌和汉口约为 26,大通为 15.4。

(2)长江干流年径流量变化有连续数年水量偏丰或偏枯的现象。如在宜昌站 100 多年资料系列中,1903 ~ 1907 年为连续 5 年丰水段,1937 ~ 1944 年和 1956 ~ 1961 年为连续枯水段。

(3)长江流域径流主要由降水形成,因此,干流各测站径流变化与各站所辖区域范围内的降水量时空分布与变化基本一致。长江流域年降水量从鄱阳湖水系的 1 600mm,向西及西北方向,直至长江上游,呈规律性递减,河源及上游金沙江区最小,仅及鄱阳湖水系的一半。与此相应,长江干流大通站最早(6 月份)出现洪峰流量,随后才是汉口站和宜昌站。

二、泥沙理化特征

(一)长江泥沙概况

长江流域产沙量,是流域内水文、气象、植被、土壤、地质、地貌等自然因素和人类活动因素综合作用的结果。长江干流水体含沙量虽然不高,但因水量丰沛,故输沙总量十分可观,在世界大河中仅次于黄河、布拉马普特拉河和恒河,居第 4 位。长江干流来沙以悬移质泥沙为主,推移质泥沙仅占极小的比例。据宜昌、汉口和大通站多年观测资料,这 3 个站推移质输沙量占各站悬移质输沙量的百分数依次是 1.8%、0.8% 和 0.2%,说明推移质

泥沙量占总输沙量的比例很小,且沿程递减趋势较明显。因此,本章以下所述的泥沙,均指悬移质泥沙量。

长江流域产沙量较大的地区,都集中分布在攀枝花以东地区。其中,包括川西岷江及其支流、大渡河下游地区、金沙江下游的川西南和滇东北区域、嘉陵江上游区域,尤以嘉陵江上游两支流产沙量最大。白龙江流域水体含沙量曾达到 $918\text{kg}/\text{m}^3$;西汉水流域多年平均含沙量为 $31.5\text{kg}/\text{m}^3$,最大达 $838\text{kg}/\text{m}^3$ 。攀枝花以东地区面积占长江上游总面积的 48.8%,产沙量占上游区域产沙总量的 94.7%。长江干支流主要测站多年平均输沙量,见表 1-6。

表 1-6 长江流域大通站径流量与输沙量组成

干 支 流		测 站	集水面积 (km^2)	多年径流量 均 值 (10^8m^3)	占大通站 比 率 (%)	多年输沙 量 均 值 (10^4t)	占大通站 比 率 (%)
干 流	金沙江 长 江	屏 山	458 592	1 450	15.8	23 900	51.4
		寸 滩	866 559	3 560	38.9	45 600	98.1
		宜 昌	1 005 501	4 510	49.3	51 400	110.5
		螺 山	1 294 911	6 433	70.3	42 300	90.1
		汉 口	1 488 036	7 522	82.2	42 800	92.0
		大 通	1 705 388	9 150	100.0	46 500	100.0
支 流	岷 江	高 场	135 378	894	9.8	4 950	10.6
	沱 江	李家湾	23 283	130	1.4	1 200	2.6
	嘉陵江	北 碚	156 142	686	7.5	15 700	33.8
	乌 江	武 隆	83 035	508	5.6	3 350	7.2
	洞庭湖水系	城陵矶	257 212	1 936	21.2	3 681	7.9
	汉 水	碾盘山	140 240	517	5.7	3 310	7.1
	鄱阳湖水系	湖 口	162 225	1 480	16.2	1 487	3.2

由表 1-6 可见,干流金沙江屏山站多年平均输沙量为 2.39 亿 t、寸滩站 4.56 亿 t、宜昌站 5.14 亿 t、大通站 4.65 亿 t。长江干流屏山至宜昌区段中,主要接纳岷江、沱江、嘉陵江和乌江输入的泥沙。各支流输沙量占宜昌站百分率依次是:金沙江 46.5%、嘉陵江 30.5%、岷江 9.6%、乌江 6.5%、沱江 2.3%。这表明,长江上游产沙区主要集中在金沙江流域、嘉陵江流域。长江流出三峡后,进入江汉平原,河道明显展宽,河床比降变小,流速变缓,因而泥沙大量沉积,输沙量逐渐变小,至螺山站为 4.23 亿 t;接纳汉水后,输沙量略有增加,汉口站为 4.28 亿 t。到达大通站时,输沙量增大至 4.65 亿 t。长江上游是长江干流悬移质泥沙的主要来源。长江上游干支流输沙量占大通站总沙量的比例是:金沙江占 51.4%、嘉陵江占 33.8%、岷江占 10.6%、乌江占 7.21%、沱江仅占 2.6%。

沙随水来、沙随水走,是长江泥沙运动的规律。长江在 6~10 月的汛期,上游屏山站、寸滩站和宜昌站径流量占全年径流量的 72%~75%,而输沙量却占全年的 90%~96%。汛期,中下游的螺山站、汉口站和大通站的径流量占全年的 62%~65%,而这 3 个站汛期输沙量占全年的比例基本接近,约为 76%。各测站在径流量最大和最小的月份,输沙量

与径流量对应良好,可见长江干流输沙量与径流过程有着密切关系。

长江干流输沙量随年径流量的变化而变化。从多年观测资料可以发现,径流有连续几个丰水年和连续几个偏枯水年交替出现的现象,输沙量亦有连续几个丰沙年和连续几个少沙年的交替现象,但受降雨时空分布和降雨强度的影响,也常出现中水丰沙或中水少沙的年份。

20世纪50年代,长江干流屏山、寸滩、宜昌、汉口和大通5站,年输沙量依次是2.60亿t、5.26亿t、5.19亿t、3.95亿t和4.63亿t;60年代,除寸滩站略有减少外,其他各站都有所增加;70年代,各站输沙量比60年代普遍减少,如大通站70年代输沙量比60年代减少16.7%,比50年代减少8.42%,宜昌站输沙量变化与之基本相同;80年代初期,宜昌站输沙量有增加趋势,但在1984年后,输沙量又随之下降,至1986年,长江处于枯水位,输沙量特小,宜昌站年输沙量下降至3.61亿t。但最近40年来实例资料中的最低值,仍在天然变化幅度之内。

长江三峡水利枢纽运行后期,将对长江干流输沙量及泥沙组成有一定的影响。三峡水库形成后,不仅下泄沙量减少,而且泥沙粒径细化。枯水期下泄流量增大,对下游河道有冲刷作用,随后含沙量虽然会有所回升,但大通站输沙量仍然下降至3.60亿~3.85亿t,比三峡工程兴建前约减少1亿t;对大通站以下的长江干流,尤其对长江口的输沙量和泥沙级配的影响很小,它们将接近天然状况。

(二)泥沙粒径组成

长江干流及主要支流测站多年平均悬移质泥沙级配,见表1-7。其中,缺感潮河段常年观测资料,故选南京江段河床南固5号断面多年观测资料。

表 1-7 长江干流及主要支流悬移质泥沙颗粒级配多年观测值

河 流	测 站	小于某粒径沙重的百分数(%)								平均	中值
		0.007	0.010	0.025	0.050	0.10	0.25	0.50	1.0	粒径	粒径
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	$\bar{D}$ (mm)	D_{50} (mm)
长江干流	屏 山	8.4	11.4	24.6	52.1	77.0	91.0	98.8	100	0.092	0.047
	寸 滩	14.2	20.0	38.8	63.4	85.2	95.6	99.9	100	0.063	0.034
	宜 昌	14.5	22.2	42.0	67.3	88.1	97.2	99.9	100	0.055	0.031
	螺 山	17.4	27.3	50.6	74.0	90.7	98.6	100		0.043	0.024
	汉 口	20.1	28.1	50.7	74.2	92.6	99.6	100		0.039	0.024
	大 通	16.4	26.4	47.9	72.7	94.9	99.4	100		0.038	0.027
	南京(南固5)	35.9	46.1	72.1	88.8	95.9	98.6	99.8	100		0.012 2
岷 江	高 场	10.4	15.6	32.2	48.9	75.3	92.3	99.5	100	0.088	0.051
沱 江	李家湾	16.22	23.0	44.3	68.4	89.1	97.1	99.8	100	0.054	0.029
嘉陵江		16.0	22.3	44.4	70.9	91.9	98.1	99.9	100	0.048	0.028
乌 江	武 隆	18.0	23.8	43.0	69.1	92.4	98.2	99.6	100	0.049	0.030
洞庭湖水系	城陵矶	29.3	40.7	65.2	83.8	96.7	99.8	100		0.027	0.014
汉 水	仙 桃	15.5	20.5	38.1	59.7	82.8	99.0	100		0.057	0.033
鄱阳湖水系	湖 口	-	35.4	60.4	83.8	96.4	99.7	100		0.029	0.018

表中数据说明,长江干流悬移质泥沙以上游江段 3 个测站颗粒较粗,中值(D_{50})粒径为 0.031 ~ 0.047mm,均值粒径($\bar{D}$)为 0.055 ~ 0.092mm;尤以金沙江屏山站颗粒最粗, D_{50} 为 0.047mm, $\bar{D}$ 为 0.092mm。中下游 3 个测站颗粒较细,而且比较接近, D_{50} 为 0.024 ~ 0.027mm, $\bar{D}$ 为 0.038 ~ 0.043mm。感潮河段粒径最细, D_{50} 为 0.012mm。主要支流悬移质泥沙粒径,以岷江最粗, D_{50} 为 0.051mm。洞庭湖水系和鄱阳湖水系最细, D_{50} 为 0.018mm。其他支流居中, D_{50} 为 0.028 ~ 0.033mm。长江干流悬移质泥沙粒径变化有 2 个特点:

(1)泥沙粒径有从上至下沿程变细的趋势。表现在大于 0.1mm 的中细沙粒径百分含量沿程减少,从屏山站到大通站减少了 17.9%,而小于 0.01mm 的细粒沙和粘粒百分含量却增加了 15.0%。

(2)粒径有明显的季节性变化。以宜昌站为例,汛期因降雨集中,地表侵蚀加剧,输沙中细粒组分较高, D_{50} 为 0.030mm。枯季降雨较少,地表径流挟带细粒组分大为减少,河流输沙中有相当部分由河床冲刷补给,级配较多年平均值粗, D_{50} 为 0.041mm。

对长江干流近岸水域 145 个沉积物样品进行筛分的结果表明,近岸水域沉积物样品中,颗粒以中细沙最多(长江干流上中下游各区段沉积物中,0.5 ~ 0.075mm 的径粒占 41% ~ 51%),但各区段沉积物颗粒组成差异较大。上游颗粒最粗,所占比例最大,尤其是大于 2mm 的颗粒占 11.8%。随着江水流动,沉积物颗粒也逐渐变小,大于 0.5mm 的颗粒所占百分率逐渐减少,相应中细沙,尤其是粉沙所占的百分率逐渐增加。若把每个样品中的各粒径重量百分比从大到小累积到大于 80%,计算长江干流近岸水域沉积物中颗粒分布范围,就可发现,上游沉积物颗粒分布为 0.5 ~ 0.04mm 的占 84%,其中在 0.25 ~ 0.075mm 的占 50% 以上;中游沉积颗粒集中分布区间缩小了一半,即分布在小于 0.25mm 的区间,为 0.125 ~ 0.04mm 的占 50% 以上;下游集中分布区间较中游又缩小了一半,即分布在小于 0.125mm 的区间,其中小于 0.075mm 的占 60% 以上。

(三)泥沙矿物组成

长江干流输沙量主要来源于上游区域、汉水流域、洞庭湖水系和鄱阳湖水系,悬移质泥沙矿物组分复杂。这主要与各支流流域矿产、岩性和土壤等因素密切相关。初步鉴定,长江干流悬移质泥沙由 60 余种矿物和近 20 种岩屑组成,其中岩屑以石英、长石为主。宜昌站悬移质泥沙矿物组成,见表 1-8。

从表 1-8 可见,宜昌站上述粒径范围的悬移质泥沙矿物组分均以石英、长石为主。其中,磨蚀作用大、硬度高的石英含量在 0.5 ~ 0.25mm 的粒径中约占 46%,粒径越细,石英含量越低,至 0.05 ~ 0.025mm 粒级时含量仅为 14%;长石含量在 0.05 ~ 0.025mm 粒级时可达 73%,但在较粗粒级中含量反而低;其他矿物成分,如角闪石、云母、碳酸盐、褐铁矿、磁铁矿、帘石类、岩屑等含量一般都不高。

表 1-8

长江宜昌悬移质泥沙矿物组成

%

矿 物	粒 径 级 (mm)			
	0.5 ~ 0.25	0.25 ~ 0.1	0.1 ~ 0.05	0.05 ~ 0.025
石 英	46.32	44.11	35.89	14.18
长 石	17.71	26.87	49.03	73.02
云 母	1.93	1.20	3.40	1.32
角闪石	1.77	2.93	3.82	2.00
辉 石	1.20	0.04		0.02
磁铁矿	1.68	0.31	0.20	0.10
褐铁矿	1.11	0.84	0.48	2.80
碳酸盐	2.42	0.05	0.30	4.17
帘石类	1.97	1.76	0.08	0.90
绿泥石	0.44	痕量	0.20	0.67
锆 石	0.02	0.05	0.02	0.02
磷灰石	0.08	0.02	0.01	0.06
石榴石	0.05	0.04		0.03
钛铁石	0.05			
电气石	0.05	0.09	0.05	0.01
白钛石	0.02	0.01		0.03
其他矿物	0.01	0.01	0.02	0.04
岩 屑	22.58	21.67	6.37	0.29
杂 物	0.59		0.13	0.34
合 计	100.0	100.0	100.0	100.0

长江干流武汉江段河床泥沙矿物组成,见表 1-9。由表可见,武汉江段沉积物仍以石英含量最高,达 50%;长石次之,达 14%。与宜昌江段悬移质泥沙矿物组成相比,宜昌江段悬移质泥沙与武汉江段沉积物主要矿物组成一致,均来源于长江上游地区,但武汉江段沉积物中碳酸盐类含量较高,达 13%;长石含量低于宜昌段悬移质泥沙。其他矿物含量一般较低,差异不大。

表 1-9

长江武汉江段河床泥沙矿物组成

矿 物	石英	长石	云母英	碳酸盐类	粘土类	铁、镁、硅酸盐矿类	铁矿类	白钛石 金红石 钛铁矿 大屑石	磷灰石	其他	合计
含量(%)	50.57	14.14	2.80	12.71	12.93	1.69	2.78	1.61	0.13	1.01	100.37