

“八五”国家重点科技攻关项目
“黄河治理与水资源开发利用”系列专著

泥沙对黄河水质影响及 重点河段水污染控制

赵沛伦 申献辰 夏 军 李清浮 高 宏 张曙光 等编著



黄河水利出版社

“八五”国家重点科技攻关项目
“黄河治理与水资源开发利用”系列专著

泥沙对黄河水质影响及 重点河段水污染控制

赵沛伦 申献辰 夏 军 等编著
李清浮 高 宏 张曙光

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是“黄河治理与水资源开发利用”项目的一个专题研究成果,是环境科学领域的一本专著。根据黄河多沙对水质影响巨大的特点以及重要水源地黄河三门峡至花园口河段水污染状况,进行了以下主要内容的研究工作:泥沙对黄河重金属、有毒有机物和 COD 等的影响;泥沙同重金属和有毒有机物相互作用的水质模拟;用环境化学和环境生物学相结合的方法,研究了多泥沙河流的水质标准和评价方法;对黄河三门峡至花园口河段水污染状况,进行了化学、生物学、有毒有机物和放射性水平的评价,同时进行了清、浑水污染水平与特点的对比分析;采用灰色系统预测方法,预测了三门峡至花园口区间 2000 年、2010 年的废污水和 COD 排放量,并对不同含沙量、流量和排污削减量条件下,两个水平年该河段水污染发展趋势进行了预测;运用确定性大系统递减排控制理论与河流水污染最优递阶控制的灰色模型相结合的方法,建立了黄河三门峡至花园口段和洛河 COD 污染控制的大系统优化模型,模型中考虑了黄河多沙这一突出影响因子。本项研究成果,丰富和发展了我国的环境科学,对多沙河流的水资源保护和环境保护,具有重要的推广价值。本书可供从事水资源和环境科学的科技工作者及决策部门参阅,也可作有关大专院校师生参考用书。

“八五”国家重点科技攻关项目

“黄河治理与水资源开发利用”系列专著

泥沙对黄河水质影响及重点河段水污染控制

赵沛伦 申献辰 夏 军 等编著
李清浮 高 宏 张曙光

责任编辑:邵志峰

责任校对:何新华

责任印制:温红建

出版发行:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合大楼 12 层

邮编:450003

印 刷:黄河水利委员会印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

版 别:1998 年 10 月 第 1 版

印 次:1998 年 10 月郑州第 1 次印刷

印 张:13.75

印 数:1—1500

字 数:318 千字

ISBN 7-80621-155-1/TV·114

定价:44.00 元

“八五”国家重点科技攻关项目
“黄河治理与水资源开发利用”系列专著
编 审 委 员 会

主 任 严克强

副主任 董哲仁 陈效国 庄景林

顾 问 徐乾清 龚时旸 吴致尧

委 员 (以姓氏笔画为序)

龙毓骞 朱兰琴 许红波 祁建华

华绍祖 庄景林 严克强 李文学

李春敏 沈国衣 陆亚洲 陈志恺

陈效国 陈霁巍 张启舜 张良弼

府仁寿 姚传江 徐明权 席家治

董保华 董哲仁 潘贤娣 戴定忠

序

黄河流域是中华民族的发祥地,黄河哺育了中国灿烂的古代文明。黄河流域自然资源十分丰富,是我国最大的能源和重化工基地,宁、蒙、汾渭河和黄淮海平原是我国主要的粮棉基地,流域经济发展前景广阔。但是,黄河流域水资源匮乏,人均水资源占有量仅为全国人均的四分之一,单位耕地面积水资源量不足全国的五分之一。近几年来,黄河下游在枯水季节常常出现断流,且断流时间逐年加长,断流河段逐年延伸,给下游沿黄地区的工农业生产和生态环境造成了不良影响。据有关部门的调查统计,1991年~1996年年均造成工农业产值损失30多亿元,其中1995年达70多亿元。

黄河流域降雨时空分布极不均匀,全年降雨量的60%~70%集中在6月~9月份,极易产生洪水。黄河又是世界上泥沙含量最高的大河,河道泥沙淤积形成了下游“地上悬河”,洪水灾害十分频繁。据统计,从先秦时期到民国年间的2500多年中,黄河下游决口1600多次,改道26次,基本上是三年两决口,百年一改道,每次决口和改道都给中华民族带来了极其深重的灾难。

新中国成立以来,人民治黄事业取得了举世瞩目的成就,确保了黄河的岁岁安澜,但是由于黄河流域自然地理环境脆弱,黄河的洪水仍是国家的心腹之患,治理开发任务仍十分艰巨。全国人大七届四次会议通过的《国民经济和社会发展“八五”计划和十年规划纲要》,把黄河治理开发和防洪列为重点,体现了中共中央和国务院对治黄的重视。

当前我国改革开放和社会主义现代化建设已进入一个新的发展阶段。黄河的治理开发,事关我国经济发展的大局。为使我国经济发展实现三步走的目标,治黄作为水利工作的重要组成部分,就必须贯彻落实好“科教兴国”、“科教兴水”和可持续发展战略。黄河的出路在于科技进步。

“黄河治理与水资源开发利用”被列为“八五”国家重点科技攻关项目,既表明了国家对治黄工作的高度重视,也显示出黄河问题的高难度和复杂性。这次科技攻关中广大科研人员深入黄河两岸调查研究,收集了大量的实测资料,在认真汲取以往成果和经验的基础上开展科研试验工作,取得了新的进展和突破,科研成果为黄河的治理与开发提供了大量的科学依据和决策支持。应该说这些成果是集此次科技攻关之大成,是治黄几十年经验总结的集中体现,是广大治黄科技工作者智慧的结晶。

这次出版的项目和专题的系列专著,其目的就是把这些成果推荐给读者,并期望得以推广应用,以提高治黄工作的整体水平,加速流域治理和经济发展的步伐,取得更大的经济、社会和环境效益。

毋庸置疑,黄河问题是很复杂的。黄河自身因水沙的变化而处于不断的变化之中,在其发展过程中还会不断出现新情况和新问题,现已取得的成果只是人们现阶段的认识,要彻底解决黄河问题,还有一段很长的路要走,可以说是任重而道远。我们应当继续加强现场观测、试验和研究工作,探索黄河的规律,不断提高科技水平,充分推广应用新的科技成果,使黄河的治理开发工作不断取得新成就。

严克强

1997年7月17日

总 前 言

新中国成立以来,对黄河治理开发进行了大量的科学研究工作。50年代,曾组织各方面力量对全流域进行了大规模综合考察和科学试验研究,在此基础上编制了“黄河综合利用规划技术经济报告”,为黄河的全面治理开发做出了贡献。60年代,围绕三门峡水利枢纽工程改建和改变运用方式,开展了水库淤积、河道演变规律、河道整治工程和防洪等方面的试验研究。70年代,开展了三门峡水库运用泥沙问题基本经验总结、高含沙水流特性研究和水坠坝技术试验推广。80年代,开展了黄土高原地区综合治理、黄河流域环境变迁和水沙变化、水资源利用、引黄灌区泥沙处理和黄河防洪工程技术等方面的试验研究工作。几十年来的治黄研究工作,取得了一大批具有国际先进水平的成果,形成了一支多学科、高水平的科研队伍,并广泛开展了国际合作交流。

“七五”后期,水利部和中国科学院提出的关于加强黄河综合治理与开发研究工作的建议,得到国务院主要领导的高度重视,在各方面专家充分论证的基础上,国家科委把“黄河治理与水资源开发利用”列为“八五”国家重点科技攻关项目,由水利部、中国科学院和地质矿产部作为项目主持部门,组织有关科技人员进行跨部门、多学科联合攻关。经过充分论证,项目分解为7个课题、22个专题和92个子专题分别开展工作。经过近4年的卓越工作,取得了辉煌的成绩,经专家鉴定委员会对成果的全面鉴定,22个专题中有2个专题成果总体达到国际领先水平,8个专题成果总体达到国际先进水平、部分达到国际领先水平,9个专题成果总体达到国际先进水平,3个专题成果总体达到国内领先水平、部分达到国际先进水平,项目通过了国家科委组织的验收。攻关成果应用所创造的经济、社会和环境效益是长期的和巨大的,其影响也将是深远的。

为了使已取得的成果在黄河治理和开发中发挥更大的作用,并在实践中不断深化,给后人留下一份宝贵的科学财富,水利部有关部门决定编辑出版这套系列专著,其中包括20册专题专著和1册项目综合专著。专题专著由原专题负责人组织编写,对原专题报告进行提炼和深化,其主要编写人员与专题研究人员不尽相同。综合专著由“黄河治理与水资源开发利用”系列专著编审委员会组织专人编写。本丛书因篇幅较大,编审委员会难以逐篇审定,故责成专著主要编写人分别请部分顾问和委员审稿。

由于编辑出版整个过程时间仓促,加之水平有限,难免有不足和错误之处,敬请批评指正。

“黄河治理与水资源开发利用”

系列专著编审委员会

1997年9月

前 言

“泥沙对黄河水质影响及重点河段水污染控制的研究”，是“八五”国家重点科技攻关项目“黄河治理与水资源开发利用”中的一个专题，由黄河水资源保护科学研究所与水利部水质试验研究中心及武汉水利电力大学合作共同完成。

黄河含沙量高，输沙量大，居世界大江大河之最。泥沙对黄河水质影响巨大，成为黄河居首的天然污染物，同时又对人为排入黄河的众多污染物（特别是重金属、有毒有机物和放射性核素）具有显著的吸附效应而成为污染物的载体，从而呈现为泥沙对黄河水质影响具有突出的“两重性”的特点。本专题的重点在于通过实验研究，揭示泥沙对黄河水质影响的机理和规律，为多沙河流的水质监测、评价、预测，以及水污染的控制与防治，提供必需的又至关重要的有关科学依据，以适应黄河水资源开发利用和保护工作的需要。

黄河三门峡—花园口（以下简称“三花”）河段，是向下游灌区和沿岸城镇以及京津地区供水的重要水源地，划定为集中式生活饮用水水源地二级保护区，因此确定水质按国家地面水环境质量标准Ⅲ类进行控制和管理，以保证饮水安全，同时也满足和适应农灌和渔业用水的要求。可是与日剧增的废污水和污染物，已使区间支流水质严重恶化，水质和水环境的安全遭到破坏；而区间干流水污染也明显加重，时有超Ⅲ类标准的现象，水质和水环境安全得不到保证。因而需要结合黄河多沙的特点，在全面摸清区间河段水污染状况和进行水质评价的基础上，有针对性地进行水污染发展趋势预测和优化控制研究，提出水污染控制对策和建议，已是当务之急，以便为河段水污染防治规划与水环境保护管理、决策，提供科学依据。

泥沙对水质的影响，已成为河流污染研究的重要内容，近十余年来，美、英和我国等少数国家都先后做过一些研究工作，主要有泥沙元素本底值，土壤与河流沉积物本底值的地球化学相关性，泥沙吸附重金属的机理，泥沙对重金属迁移转化规律的影响，用水生物确定江河和海洋沉积物的毒性，泥沙对鱼类重金属元素毒性效应影响，河流中水相和沉积物（泥沙）之间有机物分配理论的研究，近年美国 EPA 推出的可以模拟泥沙同重金属、有毒有机物相互作用的水质模型 WASP4 等。以上研究基本上多局限在模拟研究、机理和一般规律研究、实验室研究，还不能适应和满足多沙河流污染控制和水资源保护管理的实用要求。

由于泥沙对黄河水质影响巨大而复杂，这就决定了黄河水污染监测、评价、水污染预测与控制的高度复杂性和高难度性，目前国内外尚无全面、系统的经验和方法可资借鉴应用，通过本次攻关研究，揭示和阐明有关机理和规律，同时围绕多泥沙河流的水质标准、水质评价与水污染预测、控制方面存在的一些难题和突出问题，进行深入研究，摸索方法和经验，以适应黄河水资源保护工作的迫切需要，这也是国内外同类研究工作中最前沿的攻关研究任务。

黄河中下游的现状和特点是：水少、含沙量高，水污染加重，不仅存在水量供需危

机,同时存在水质污染危机。本专题结合黄河泥沙对水质影响巨大的特点以及水污染日趋严重的现状,进行了以下研究:

(1)泥沙对黄河重金属的影响。主要内容有:黄土地区土壤的背景值;黄河泥沙基本理化性质;黄河泥沙重金属分布规律;黄河泥沙对重金属的吸附作用;泥沙吸附重金属的环境风险性分析;黄河泥沙重金属含量预测方法与重金属污染判别方法。

(2)泥沙对黄河不同极性有毒有机物的影响。主要内容有:有毒有机物在黄河水体中的溶解性能及泥沙对有毒有机物在黄河水体中溶解性能的影响;泥沙对有毒有机物辛醇-水分配系数的影响;有毒有机物在黄河泥沙和水两相间的分配规律。其中极性较强的硝基氯苯的环境参数的研究结果,填补了国内这方面研究的空白,而国外研究多为非极性有毒有机物。

(3)泥沙同有毒有机物及重金属相互作用的水质模拟研究。主要内容有:重金属和有毒有机物的特性和环境归宿;有毒有机物的水质模拟方法;有毒物质在黄河小浪底至花园口(以下简称“小花”)段的模拟结果分析。

(4)黄河三花段水污染状况评价。主要内容有:污染源调查与评价;水污染化学、生物学、放射性水平评价;有毒有机物污染状况及水资源可利用情况分析。根据用水功能的要求,还对一些监测项目进行了清、浑水对比监测与分析,以便全面了解多泥沙河流的水质状况与特点。

(5)黄河三花河段水污染发展趋势预测。根据该河段主要是有机污染的特点,选取COD,采用灰色系统预测方法,预测了2000年、2010年废污水量和COD排放量;运用建立的水质模型,针对不同设计流量、设计沙量及不同COD_{Mn}排放量组合条件,对2000年、2010年河段COD_{Mn}污染趋势进行了预测。在预测工作中,既考虑了河段COD_{Mn}背景浓度及河段COD_{Mn}纳入量,又比较充分地考虑了泥沙对河段COD_{Mn}浓度的突出影响。

(6)黄河三花河段及洛河水污染控制的大系统优化模型研究。在2000年、2010年COD_{Mn}预测的基础上,在不同设计流量与含沙量条件下,在国内外首次运用确定性大系统递阶控制理论与河流污染最优递阶控制的灰色模型相结合的方法,建立了黄河三花段及支流洛河COD污染控制的大系统优化模型,对实际应用结果进行了合理性分析。在水污染控制优化模型中,首次考虑到黄河多沙这一突出影响因子。

(7)多泥沙河流水质评价标准和评价方法的研究。这是针对黄河多沙,而国家现行的水质评价标准和评价方法存在着对黄河水质评价的不适应性和局限性,因此,需进行有关研究工作,解决有关难题和特殊问题。为了符合黄河实际,又经得起生态效应的检验,采用河道监测与室内模拟实验结合、化学方法与生物学毒性实验相结合的研究方法。为了探索泥沙对重金属生物毒性的影响,在生物学模拟实验中,采用黄河原水原沙生物模拟实验,与黄河原水原沙加目标毒物生物模拟实验相结合的方法。在此研究基础上,提出了如何制定多泥沙河流水质评价标准和评价方法的新途径,同时提出了黄河泥沙本身重金属污染程度的四级质量标准,有自己的特色和特点。

本专题研究,采用了室内模拟实验与河道监测相结合,微观机理与宏观规律研究结合,环境化学研究与生物毒性、毒理、生态研究相结合,清水研究与浑水研究相结合的方法,所取得的研究成果丰富和发展了我国的环境科学,对多沙河流的水资源保护和环

境保护具有重要的推广应用价值。

本书各章的编写人员：第一章赵沛伦，第二章高宏、暴维英，第三章暴维英，第四章申献辰，第五章李清浮，第六章胡国华，第七章夏军、胡宝清，第八章张曙光。

本书的编著由赵沛伦负责组织，拟定编写大纲，进行全书的修改和统稿。胡国华做了大量的协助工作和编辑工作。

本书的编著工作，得到黄河流域水资源保护局副局长孙学义，副总工、教授级高工邱宝冲，以及黄河水资源保护所教授级高工、原所长高传德，高工、所长连煜等同志的支持和帮助，谨表热忱致谢。

本书疏漏和不妥之处，敬请同仁和读者指正，提出宝贵意见，深表感谢。

赵沛伦

1997年6月

本研究专题承担单位及人员

专 题 名 称	泥沙对黄河水质影响及重点河段水污染控制的研究				
承 担 单 位	黄河水资源保护科学研究所				
专题负责人	赵沛伦				
主要完成人	赵沛伦	申献辰	夏 军	李清浮	高 宏
	张曙光	暴维英	胡宝清	胡国华	胡建和
	高玉岭	李 兰			
主要参加人	冯惠华	廖 明	崔鸿强	李鸿业	祁世莲
	冯荣周	王凤荣	刘玲花	赵玉仙	连 煜
	覃 红	曾令庆	屠凤兰	吴 青	毛荣生
	袁丽华	张军现	刘忻宇	李祥凯	洪 源
	周艳丽	刘晓丽	冯化涛		
报告执笔人	赵沛伦	申献辰	夏 军	李清浮	暴维英
	张曙光	高 宏	胡宝清	胡国华	
顾 问	陈志恺	潘贤娣	吴致尧	龚时旻	

本书编著人员

赵沛伦 申献辰 夏 军 李清浮 高 宏
张曙光 暴维英 胡宝清 胡国华

目 录

第一章 黄河水沙基本特征.....	(1)
第一节 黄河水文.....	(1)
第二节 黄河泥沙.....	(6)
第二章 泥沙对黄河重金属的影响.....	(9)
第一节 黄河泥沙基本理化性质.....	(9)
第二节 黄河中游土壤元素	(11)
第三节 黄河泥沙重金属分布规律	(16)
第四节 黄河泥沙对重金属吸附作用的研究	(23)
第五节 黄河泥沙重金属含量预测与污染判别方法	(30)
第三章 泥沙对黄河有毒有机污染物的影响	(38)
第一节 有毒有机化合物污染研究现状	(38)
第二节 有毒有机物的环境特性	(40)
第三节 有毒有机物在黄河水中的溶解性	(42)
第四节 对硝基氯苯的辛醇-水分配系数及影响因素	(46)
第五节 黄河泥沙对有毒有机物吸附特性的研究	(49)
第四章 泥沙同有毒有机物和重金属相互作用的水质模拟研究	(55)
第一节 水质模拟模型概述	(55)
第二节 模拟目标污染物的性质和环境归宿	(57)
第三节 目标物的转化机制及其模拟方法	(64)
第四节 黄河中游有毒物质同泥沙相互作用的水质模型	(68)
第五节 水质模型的率定和检验方法	(76)
第六节 对硝基氯苯和重金属在黄河小花段的模拟结果分析	(85)
第五章 黄河三花区间水污染状况	(89)
第一节 黄河三花区间概况	(89)
第二节 污染源调查与评价	(91)
第三节 水污染现状评价	(98)
第六章 黄河三花河段水污染发展趋势预测.....	(125)
第一节 污染源发展趋势预测.....	(125)
第二节 水质预测模型识别及参数估计.....	(132)
第三节 水质预测.....	(137)
第七章 黄河三花段及洛河水污染控制的大系统优化模型.....	(142)
第一节 河流水污染控制问题.....	(142)
第二节 确定性大系统递阶控制理论方法.....	(144)

第三节	河流水污染最优递阶控制的灰色系统模型·····	(145)
第四节	黄河三花段及洛河水污染控制的应用与分析·····	(148)
第八章	多泥沙河流水质评价标准和评价方法的研究·····	(169)
第一节	国内外沉积物化学及其基准研究的现状及趋势·····	(169)
第二节	我国现行地面水环境标准在多泥沙河流中的执行情况·····	(170)
第三节	多泥沙河流水质评价标准的研究·····	(173)
第四节	多泥沙河流水质评价方法的研究·····	(198)

第一章 黄河水沙基本特征

黄河是我国西北、华北地区的重要水资源，对流域和下游流域外受益区的经济和社会发展具有十分重要的意义和作用。流域面积 75 万 km^2 ，干流河道全长 5 464km。按流域面积仅次于长江，是我国第二条大河；按年径流量，依次排在长江、珠江、松辽之后，是我国第四条大河。

随着流域经济和社会发展，排入黄河水系的废污水和污染物质与日剧增，废污水携带的污染物进入黄河干流后，对水体造成的污染程度、污染特点、污染规律以及污染物的迁移转化和归宿等，均与黄河干支流的流量、含沙量、流速、径流的时空分布规律以及水化学特征等密切相关。

黄河是世界上著名的多泥沙河流。泥沙对黄河水环境和水质影响巨大，而且这种影响具有两重性的特点。首先，泥沙是黄河最主要的面污染源的产物，来源面广、量大，而且对水体带来的是物理、化学、生物等方面的污染，对水质和水生生态环境造成的影响是十分显著的，在水污染物总量中占相当大的权重，特别是造成的悬浮物污染和有机物污染十分突出。按地面水水环境质量监测和评价的要求，必须对含沙浑水中的泥沙进行化学全消解，以备对重金属元素进行全量分析测定，由此测得的结果势必大大提高水体重金属的污染含量，得出高含沙期严重超标的结论。

其次，在黄河特定的水化学条件下以及高含沙量和特定的泥沙理化特性条件下，进入水体的由废污水携带的众多种类污染物中（不外乎一般有机物和有毒有机物、重金属类和其它无机类化合物、放射性物质等），大部分或绝大部分可被泥沙吸附，这种吸附效应的程度和强度与河流泥沙含量和颗粒级配密切相关，泥沙吸附的过程，是污染物在水—沙两相间按一定的规律不断分配或再分配的过程。泥沙吸附污染物的结果，有利于改善清水（生活和工业用水为去除泥沙后的清水）的水质状况。由于泥沙吸附效应，易被吸附的污染物质在水相中的浓度变化、毒性效应、迁移转化过程等，必然受河流泥沙含量、时空分布、颗粒级配、冲淤输送过程的影响与主宰性的控制。

黄河多沙和泥沙对黄河水质影响具有两重性的显著特点，确实给黄河水资源保护工作带来一系列特有的问题和困难，因此必须继续进行深入系统的研究加以解决，同时在黄河水质监测、评价、预测和污染控制与防治工作中，必须充分考虑黄河多沙的特点和泥沙对黄河水质的影响，以适应黄河水资源保护工作的需要。

第一节 黄河水文

一、黄河天然年径流量及地区分布

据 1919 年～1975 年资料统计，黄河河口利津站的多年平均天然径流量为 580.2 亿

m³。兰州站平均年径流量为 322.6 亿 m³，兰州至河口镇区间为 -10 亿 m³，河口镇至龙门区间为 72.5 亿 m³，龙门至三门峡区间为 113.3 亿 m³，三门峡至花园口区间为 60.8 亿 m³，花园口站为 559.2 亿 m³，花园口至黄河口区间为 21.0 亿 m³，分别占全河年平均径流量的 55.6%、-1.7%、12.5%、19.5%、10.5%、96.4%、3.6%（见表 1-1）。黄河流域外的闭流区还有河川径流 3 亿 m³。

表 1-1 黄河天然年径流地区分布表（1919 年~1975 年 56 年系列）

站名和区间名	控制面积		平均年径流量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	占全河 (%)	年径流深 (mm)
	(km ²)	占全河			
兰州	222 551	29.6	322.6	55.6	145.0
兰州至河口镇区间	163 415	21.7	-10.0	-1.7	
河口镇至龙门区间	111 586	14.8	72.5	12.5	65.1
龙门至三门峡区间	190 869	25.4	113.3	19.5	59.4
三门峡至花园口区间	41 616	5.5	60.8	10.5	146.1
花园口	730 036	97.1	559.2	96.4	76.7
花园口至黄河口区间	22 407	3.0	21.0	3.6	93.7
黄河河口	752 443	100.0	580.2	100.0	77.1

兰州站控制面积虽仅占全流域面积的 29.6%，但其年平均径流量却占全河的 55.6%，是黄河水量的主要来源区。

二、黄河流域干支流主要站年径流特征值

黄河流域干支流主要站年径流特征值见表 1-2。

表 1-2 黄河流域干支流主要站年径流特征值表（1919 年~1975 年 56 年系列）

河名	站名	控制面积 ($\times 10^4 \text{km}^2$)	实测年均径流量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)	天然年平均径流量 ($\times 10^8 \text{m}^3$)					天然年径流 C_v
				年平均	最大	最小	$p=50\%$	$p=70\%$	
黄河	贵德	13.4	202.0	202.8	326.2	101.7	201.8	164.8	0.22
黄河	兰州	22.3	315.3	322.6	515.1	165.5	314.4	267.7	0.22
黄河	河口镇	38.6	247.4	312.6	541.7	160.2	295.6	260.5	0.23
黄河	龙门	49.8	319.1	385.1	652.6	196.6	377.1	313.6	0.22
黄河	三门峡	68.8	418.5	498.4	770.2	239.7	477.4	411.8	0.24
黄河	花园口	73.0	469.8	559.2	938.7	273.5	537.2	463.7	0.25
汾河	河津	3.9	15.6	20.1	41.8	7.8	18.3	13.3	0.41
北洛河	猗头	2.5	7.0	7.6	18.5	3.7	6.4	5.1	0.42
渭河	华县	10.6	80.1	87.4	194.2	30.0	84.0	61.5	0.39
洛河	黑石关	1.9	33.7	35.9	88.0	7.3	34.0	25.7	0.41
沁河	小董	1.3	13.4	15.1	31.8	4.6	14.0	9.3	0.49

三、黄河水文特点

(一)水少沙多、含沙量高

降水是黄河流域水量的主要来源。90%以上的流域面积处于半湿润半干旱地区,降水量明显偏小,因而径流量也显著偏小。

黄河流经地域辽阔但水土流失极其严重的黄土高原地区,使黄河成为世界罕见的多泥沙河流。据实测资料统计,1919年~1985年,平均每年进入黄河下游(指三门峡、黑石关、小董三站之和)的水量为468亿 m^3 ,沙量为16.3亿t,平均含沙量为 $34.9\text{kg}/\text{m}^3$,与国内外多泥沙河流相比,其沙量之多,含沙量之高,是绝无仅有的。

(二)水沙地区来源不平衡

据1919年~1985年统计资料,上游流域面积占全流域的51%,而来沙量仅占进入下游实测总沙量的9%;中游河口镇至龙门区间,流域面积占15%,来水量占15%,而来沙量却占到56%;龙门至三门峡区间,流域面积占25%,来水量占22%,来沙量占34%;三门峡以下的洛河和沁河来水量占11%,而来沙量仅占2%。从1984年~1993年最近10年来水量、来沙量统计结果,也充分显示了黄河水沙地区来源的不平衡性,见表1-3。

表 1-3 1984年~1993年黄河水量沙量来源统计表

河 段	流域面积 (km^2)	项 目	水量 ($\times 10^9\text{m}^3$)			沙量 ($\times 10^8\text{t}$)			含沙量 (kg/m^3)		
			汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期	全年	汛期	非汛期	全年
河口镇 以上	361 640	总 量	88	93	181	0.57	0.13	0.7	6.5	1.4	3.9
		占三黑小%	58	58	58	5.29	14	5.98			
河龙 区间	132 830	总 量	17	21	38	4	0.6	4.6	235.3	28.6	121.1
		占三黑小%	11	13	12	37	64	39			
泾、北 洛渭河	13 518	总 量	42	29	71	6	0.197	6	147.6	6.9	90.1
		占三黑小%	28	18	23	58	21	55			
伊洛沁	30 000	总 量	5	17	22	0.009	0.003	0.012	1.8	0.2	0.5
		占三黑小%	3	11	7.05	0.08	0.32	0.10			
三黑小	715 270	总 量	152	160	312	10.8	0.93	11.7	70.9	5.8	37.5
		占三黑小%	100	100	100	100	100	100			

注 三黑小指干流三门峡站、支流洛河黑石关站和沁河小董站。

由此可见,上游是黄河水量的主要来源区,中游是黄河泥沙的主要来源区,具有水沙异源的特点。

(三)来水来沙在时间分布上的不平衡

由于降水年内分布不均匀,导致黄河干流水沙的年内分配也很不均匀。汛期(7月~10月)水量占年水量的60%左右,沙量占年沙量85%以上。汛期沙量又集中于几场暴

雨洪水,如干流三门峡站最大5天沙量占年沙量的31%,而水量仅占年水量的4.4%。支流沙量集中的程度更甚于干流,如无定河川口站最大5天沙量占年沙量的42%,窟野河占75%。一些支流常有 $1\,000\text{kg}/\text{m}^3 \sim 1\,500\text{kg}/\text{m}^3$ 高含沙洪水出现,干流龙门、三门峡、小浪底三站也出现大于 $900\text{kg}/\text{m}^3$ 的高含沙量洪水。

黄河干支流主要站近10年(1984年~1993年)汛期、非汛期水沙量分布见表1-4。

表 1-4 1984 年~1993 年各站平均含沙量 (单位: kg/m^3)

站 名	全 年	汛 期	非汛期	汛期/非汛期
小 川	1.04	0.73	1.31	0.56
兰 州	1.45	2.16	0.90	2.39
头道拐	3.90	6.28	1.68	3.74
龙 门	23.4	43.7	5.85	7.47
潼 关	40.0	68.8	11.33	6.07
三门峡	45.2	87.0	3.67	23.70
花园口	30.3	33.3	6.97	4.78
冻 口	33.7	54.1	5.28	10.25
河 津	5.01	7.18	1.95	3.68
华 县	8.62	14.8	2.52	5.87
黑石关	0.57	1.85	0.20	9.03

(四)水沙量的年际变化大

黄河水沙量年际变化极为显著,而且泥沙的年际变化比径流变化大得多。干流站年最大最小输沙量的比值在4倍~14倍之间,支流站这一比值变化更大,如窟野河竟高达56倍。三门峡站1919年~1990年时段内最大最小年径流量之比为3.2,最大与最小输沙量之比为13.5,年沙量的变幅显著大于年水量的变幅。

由于存在水沙异源的特点,水量沙量的年际变化不一定同步,水量最大的年份沙量并不一定最大,沙量最大的年份水量也不一定最大,水峰、沙峰也往往不同步,致使河道的冲淤变化异常复杂。水沙搭配的情况,取决于暴雨的落区。如丰水多沙年(1937)三门峡水量659亿 m^3 ,沙量26.2亿t;丰水枯沙年(1983)水量524亿 m^3 ,沙量9.25亿t;枯水多沙年(1977)水量327亿 m^3 ,沙量20.8亿t;枯水少沙年(1928)水量202亿 m^3 ,沙量4.88亿t。

(五)黄河的枯水径流^[1]

黄河河川径流自有实测资料以来,出现过两次较长时期的连续枯水段。第一段出现在1922年~1932年,长达11年,兰州和三门峡站年平均径流量仅为长系列的75%,最小年径流量仅为多年平均的50%左右,流域内普遍发生比较严重的旱灾。第二段出现在1969年~1974年连续6年,兰州和三门峡站年平均径流量为长系列的88%,流域中中游