

“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

黄河中游多沙粗沙区 水沙变化原因及发展趋势

张胜利 李 倬 赵文林 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

黄河中游多沙粗沙区水沙变化 原因及发展趋势

张胜利 李 倬 赵文林 等编著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书系“八五”国家重点科技攻关项目“黄河治理与水资源开发利用”之“多沙粗沙区水沙变化原因分析及发展趋势预测”专题研究成果的总结。主要包括：多沙粗沙区自然环境特征及社会经济概况；重点支流无定河、皇甫川、三川河、窟野河及黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因分析；2000年~2020年多沙粗沙区水沙变化趋势预测。本书可供水土保持、河流泥沙、生态环境、水利工程等方面的专业科技工作者、高等院校师生以及有关部门的技术人员参考。

“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

黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因及发展趋势

张胜利 李 倬 赵文林 等编著

责任编辑：吕洪予

责任校对：何新华

责任印制：常红昕

出版发行：黄河水利出版社

地址：河南省郑州市顺河路黄委会综合楼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年第4月 第1版

印 次：1998年4月 郑州第1次印刷

印 张：12.875

印 数：1-1 000

字 数：300千字

ISBN 7-80621-151-9/TV·110

定价：43.20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 龚时旻 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,并广泛开展了国际交流合作。

“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

黄河中游多沙粗沙区主要是指黄河河口镇至龙门区间与北洛河上游、泾河上游等地区，面积约 13 万 km^2 。这里暴雨多、洪水大、含沙量高、泥沙颗粒粗，是黄河中游洪水及粗泥沙集中来源区。分析表明，该地区洪水出现几率只有黄河下游洪水几率的 10% 左右，但造成黄河下游泥沙淤积量却占下游总淤积量的 40% ~ 60%。因此，控制和减少该地区的洪水、泥沙，特别是粗泥沙，是黄河下游防洪减淤的根本途径。

黄河中游多沙粗沙区，资源丰富，生产潜力巨大。国家已将地处多沙粗沙区的晋、陕、蒙接壤地区列为国家能源重点开发区，在这里将建成我国最大的能源重化工基地。能源开发给当地社会经济的发展带来了良好机遇，但矿区开发及相应的配套建设又不可避免地加重了水土流失。研究水沙变化原因及发展趋势，对该地区水土流失的防治和改善这一地区的生态环境，指导这一地区的开发建设和人类活动是极其重要的。

新中国成立以来，黄河流域开展了大规模水土保持工作，成绩斐然。随着水土保持工作的开展和治黄规划工作的需要，曾多次进行了黄河流域水土保持减水减沙效益的研究，在暴雨产流产沙规律和水利水保措施减水减沙效益的研究方面取得了丰硕成果。由于降雨过程的多变性、水利水保措施的多样性以及地面物质形态结构的复杂性，致使水沙过程复杂多变，水土保持减水减沙效益仍是一个争论较大的问题。

鉴于以上原因，“八五”国家重点科技攻关项目“黄河治理与水资源开发利用”又将“多沙粗沙区水沙变化原因分析及发展趋势预测”列为专题，进行攻关研究。专题研究采用重点研究和面上研究相结合的方法，以分析 80 年代以来水沙变化原因为中心内容，预测 2000 年~2020 年水沙变化趋势，为黄河治理开发宏观决策提供科学依据。参与研究的 11 个单位近百名科技人员经过 3 年的共同努力，取得了许多新进展，被水利部组织的专家鉴定为“整体上达到国际先进水平”。

本书是在“多沙粗沙区水沙变化原因分析及发展趋势预测”研究报告基础上，经编著人员进行补充、修改后，由张胜利汇总统稿而成的。面对黄河水沙变化这样一个情况十分复杂、攻关难度很大的课题，“八五”期间实际研究时间只有 3 年，特别是一些新情况、新问题等还在不断发生和发展，尚有许多问题有待深化研究，再加之我们水平所限，不足之处在所难免，竭诚欢迎读者批评指正。

张胜利

1997 年 10 月

本研究专题承担单位及人员

专 题 名 称	多沙粗沙区水沙变化原因分析及发展趋势预测				
承 担 单 位	黄委会黄河水利科学研究院、黄委会黄河上中游管理局、黄委会水文局、清华大学、南京大学、河海大学、西安理工大学、陕西省水土保持勘测规划研究所、山西省水利厅水土保持局、水利部西北水利科学研究所、黄委会黄河中游水文水资源局				
专 题 负 责 人	张胜利	李 倬	赵文林		
主要完成人员	张胜利	李 倬	赵文林	徐建华	谢树楠
	尹国康	汤立群	李占斌	时明立	高建翎
	张经济	王 宏	胡建军	李世明	冉大川
	王云璋	戴明英	刘明云	白志刚	李 鹏
	张钧平				

本书编著人员

张胜利（主编）、李 倬（副主编）、赵文林（副主编）、
尹国康、徐建华、谢树楠、时明立、冉大川

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 研究的意义及前期研究基础	(1)
第二节 研究的主要内容及其进展	(2)
第二章 黄河中游多沙粗沙区自然环境特征及社会经济概况	(6)
第一节 自然环境特征	(6)
第二节 社会经济概况	(27)
第三节 治理现状	(30)
第三章 无定河流域水沙变化原因分析	(35)
第一节 流域概况	(35)
第二节 无定河水沙变化原因分析	(39)
第三节 岔巴沟流域水沙变化原因分析	(59)
第四节 大理河流域水沙变化原因分析	(63)
第五节 主要认识	(76)
第四章 黄甫川流域水沙变化原因分析	(78)
第一节 流域概况	(78)
第二节 水沙变化原因分析——水文法	(82)
第三节 水沙变化原因分析——水保法	(99)
第四节 研究结论	(102)
第五章 三川河流域水沙变化原因分析	(108)
第一节 流域概况	(108)
第二节 流域降雨量、径流量及沙量变化	(110)
第三节 天然状态产水量、产沙量计算方法	(115)
第四节 80 年代水沙变化原因分析	(117)
第六章 窟野河水沙变化原因分析	(125)
第一节 流域概况	(125)
第二节 水沙变化原因分析	(128)
第七章 黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因分析	(142)
第一节 水沙变化原因分析——水文法	(142)
第二节 水沙变化原因分析——水保法	(160)
第三节 计算方法评价及计算成果合理性分析	(177)
第八章 2000 年~2020 年多沙粗沙区水沙变化发展趋势预测	(179)
第一节 水沙变化现状及发展趋势的基本认识	(179)
第二节 2000 年~2020 年多沙粗沙区水沙变化趋势预测	(180)

第一章 绪 论

第一节 研究的意义及前期研究基础

黄河水沙变化研究,关系治黄全局,是正确评估水利水保措施减少入黄水沙量,全面认识黄河水资源开发利用对水沙条件影响,做好长期水土保持规划、水资源开发利用规划和流域治理开发规划的一项重要工作。这项研究对黄河干支流枢纽工程规划设计运用、中游治理、下游防洪减淤、水资源开发利用、改善生态环境等都具有重要意义,同时也有利于促进水土保持学科在理论和应用上的发展,在防治水土流失和治黄工作中具有广阔的应用前景。

70年代以来,尤其是80年代,黄河水沙来量显著减少,给黄河治理和水资源开发利用带来了一系列新问题,其中比较突出的有三个:一是水资源问题。随着来水量的减少,黄河下游断流时间不断增加,断流河段向上延伸,水资源供需矛盾非常突出,严重影响工农业生产和人民生活。二是防洪问题。水沙来量的大幅度减少,给黄河下游水沙过程及河道特性带来严重影响。由于年水量大量减少,洪峰流量减少,来沙量减少的幅度不及水量减少的幅度,加上三门峡水库“蓄清排浑”运用,全年泥沙集中到汛期进入下游,致使黄河下游高含沙量小洪水发生机遇增多,河道的输沙能力降低,下游河道仍发生严重淤积,而且绝大部分淤积在主槽内,造成河道主槽萎缩,排洪能力降低。但遇到中游较大暴雨,泥沙来量又可能激增,使下游河道在多年“平安无事”的情况下,突然有一两年淤积极快,水位急剧上升,加剧黄河下游防洪紧张局面。三是宏观决策问题。黄河水沙变化规律不清,水沙变化原因若明若暗,直接或间接地影响着决策者的决心,影响着水利、水土保持的投资方向和投资力度,甚至影响到黄河治理方向。鉴于此,80年代中后期进行了大规模黄河水沙变化研究。

1987年,水利部拨专款设立了“黄河水沙变化研究基金”,以上游和中游支流为重点进行了第一期黄河水沙变化研究,编印了5卷《黄河水沙变化研究论文集》,在暴雨产流产沙规律及水利水保措施减水减沙效益分析方面,提出了一批新成果。

1988年7月~1992年12月,国家自然科学基金重大项目“黄河流域环境演变与水沙运行规律研究”,着重研究了历史时期黄河流域环境演变与水沙变化关系、黄河流域侵蚀产沙规律及水土保持减沙效益、黄河下游水沙变化与河床演变、黄河流域社会经济活动和自然环境演变趋势及整治方向等问题,出版了《黄河流域环境演变与水沙运行规律研究》、《历史时期黄河流域环境变迁与水沙变化关系》、《黄河流域的侵蚀与径流泥沙变化》、《黄河干流水沙变化与河床演变》等4本专著和8集研究论文集。

1987年8月~1992年12月,黄委会黄河流域水保科研基金安排了“黄河中游多沙粗沙区水土保持减水减沙效益及水沙变化趋势研究”,以20多条多沙粗沙支流为重点,

提出了 50 余篇研究报告，出版了《水土保持减水减沙效益计算方法》一书。

黄河水沙变化的规律和原因，是非常复杂的。纵观以前的研究工作，虽然在不同阶段都取得了很大进展，但仍存在以下主要不足之处：一是对水土保持的减沙作用，存在很大分歧；二是水沙变化的原因不够明晰；三是计算方法不统一、欠严密；四是水保措施实有面积和减沙指标存在较大差别；五是基本资料不全，基本数据欠准确，难以进行精确定量分析。因此，研究成果之间差异较大，尚不能作为治黄宏观决策的依据。鉴于以上问题，“八五”国家重点科技攻关项目“黄河治理与水资源开发利用”又将“多沙粗沙区水沙变化原因分析及发展趋势预测”列为专题，进行攻关研究。

第二节 研究的主要内容及其进展

研究中采取重点研究和面上研究相结合的方法，以分析 80 年代以来黄河中游多沙粗沙区水沙变化原因为中心内容，预测 2000 年~2020 年水沙变化趋势，为黄河治理开发宏观决策提供科学依据。主要研究内容列于图 1-1。经过 11 个参加单位近百名科技人员 3 年的攻关研究，取得了以下主要进展。

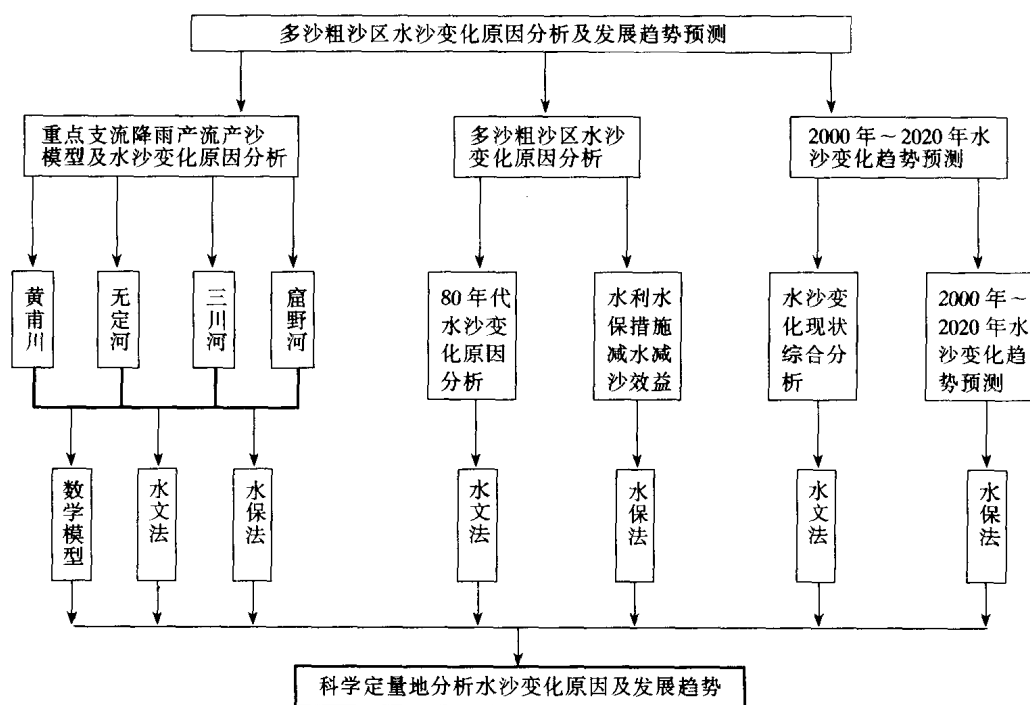


图 1-1 研究内容框图

一、基本资料的收集、整理和核实

由于影响水沙变化的因素十分复杂，因此基本资料的精度和可靠性对水沙变化研究是至关重要的。在研究中，首先进行了大量的基本资料收集、整理和核实工作。

降雨是影响水沙变化的一个重要因素。在降雨资料的处理方面主要进行了两方面的工作,一是从降雨特性对水沙变化影响出发,统计整理了各种特征降雨量,如年内最大1日降雨量、年内最大30日降雨量、汛期降雨量、年降雨量、有效降雨量、有效雨强、次暴雨量等;二是将基准时段和水沙变化时段降雨资料精度统一起来,通过绘制大量降雨量等值线图,对50年代、60年代降雨资料偏少、精度偏低的基准时段的降雨量资料进行了插补延长。在此基础上,对降雨时空分布规律及其对产流产沙的影响进行了分析。目前,从宏观分析来看,降雨资料已具有一定精度,但从高强度暴雨侵蚀产沙分析来看,对降雨资料仍需再进行一些较深入的统计分析和研究工作。

水利水保措施是影响水沙变化的另一个重要因素。研究中,通过大量勘测调查,基本上弄清了陕北地区淤地坝数量、质量等基本情况;采用彩红外航片对比判读,落实水利水保措施数量,提高了统计精度;在对水土保持措施进行典型调查基础上,核对了面上水土保持统计资料,获得了黄河中游各主要支流各年代末水土保持措施保存面积资料,为今后研究提供了基础资料。但也应看到,水利水保措施数量、质量等的调查落实,历来是一项十分复杂而困难的工作,它不仅受统计和调查方法的限制,还受许多人为因素的影响,它不仅是空间变量,而且是时间变量,浩繁的工作量影响着资料精度;同时,水利水保措施蓄水拦沙能力随着时间的变化尚缺乏定量评价的指标。

从总体来看,水文资料较水保资料精度要高一些,无定河、三川河乃至河口镇至龙门区间的基本资料已达一定精度,可以作为宏观定量分析的基础。

二、计算方法

计算方法是水沙变化研究的关键,有理论基础且能反映客观实际的计算方法,不仅决定着计算结果的精度,而且直接关系到研究成果的可信度。本次研究在计算方法方面取得了较大进展。

(一) 暴雨产流产沙数学模型

在数学模型方面,针对不同流域研制了暴雨产流产沙数学模型,并实现了在重点多沙粗沙支流水沙变化原因分析中的应用。

其主要优点是:①在时间上划小计算时段,在空间上划分为单元流域,较好地反映了降雨和下垫面时空分布不均匀的特性。②模型的建立以泥沙动力学及水文地理学、地貌学原理为依据,具有较好的理论基础,物理概念清楚,成因性较强。③模型参数较少,易于率定,适用面较广,可用于下垫面条件较相似流域的径流泥沙模拟及中小流域水土保持减水减沙效益的计算。④模型计算结果较合理,有一定精度。

但数学模型中也存在着一些应进一步探讨的问题:①模型对降雨和下垫面资料要求较高,有些参数还难以准确确定,限制着模型的推广应用。②模型如何反映多种产沙机制还有待深入研究。③模型验证结果中还存在一定的累积误差,存在着模型的经验性带来的局限性。

(二) 水文统计模型

水文统计模型主要是按水文统计相关关系建立的降雨产流产沙模型。研究中,对统计模型作了较大改进,主要表现在:对建立模型所依据的基准时段的降雨资料进行了插

补延长；模型模拟精度进一步量化，提出了判别模拟精度的总量误差、相关系数和拟合均方误三个标准，提高了模拟精度；计算时段进一步细化；改进了水沙计算模式。水文统计模型比较直观、简单，计算也较方便，在目前水文资料精度情况下，对于大面积水沙变化计算仍是一种有效的方法。但水文统计模型存在的问题也是显而易见的。首先，建立模型所依据的基准期资料较少，精度偏低，虽经插补或展延，但插补或展延本身存在误差，这些误差必然会带到计算结果中；其次，黄河中游支流河道一般具有“小水淤、大水冲”的特点，80年代以来，暴雨洪水偏少，侵蚀泥沙可能会在河（沟）道中暂时滞留，致使沟口实测输沙量可能偏小，因而在计算人类活动减沙量时，可能造成计算结果偏大现象；再次，模型以有效降雨量和有效雨强为主要参数，计算时段以月为单位，而暴雨产沙往往是在几小时内形成的，因而对暴雨产流产沙反映不够。以上问题可能是造成用水文统计模型计算的人类活动减沙量偏大的主要原因。

（三）水保法

本次研究在水保法方面取得的主要进展是首次应用了坡面措施“以洪算沙”的方法，这在一定程度上克服了传统水保法的某些缺陷。传统水保法是以各单项措施的数量乘以各自的减水减沙指标计算减水减沙效益的。这种方法存在的问题是：将小区观测资料移用到大、中流域时，存在着人为指定性；各项措施分项计算逐项相加难以反映产流产沙过程中有机的内在关系。“以洪算沙”方法的出发点是，泥沙绝大部分来自洪水，洪水径流在不同面积、不同时段小区上存在比较稳定的规律性，同时，在未治理情况下，流域的洪水径流与泥沙有良好的相关关系，只要能较准确地计算减洪量，便可利用洪水径流与泥沙的良好相关关系计算减沙量。

为实现“以洪算沙”，首先以径流小区观测资料为基础，建立了坡面措施减洪指标体系，然后进行了小区到大流域的转化，这种转化包括三方面：①以洪量频率作为联系小区与流域的纽带，消除不同系列水文周期影响；②将小区与流域年洪量水平比较，进行水平改正，消除地区差异；③建立流域洪量与面积关系，将小区径流资料视为 1km^2 以下点资料，建立坡面措施小区推流域的减洪指标计算关系，消除点面差异。这种方法考虑了点面不同系列水文周期性和地区洪量水平的差异，又有具有可操作性的点面修正方法，理论性较强，可综合给出历年不同流域坡面措施减洪指标值，改进了传统方法的人为指定性，取得了较大进展。

但也应指出，坡面措施“以洪算沙”方法是“八五”攻关提出的新方法，还不够成熟，如何建立流域各项措施减洪指标体系，哪些措施的拦洪量应该参与“以洪算沙”等，还应在实践中不断完善。此外，水保法计算所依赖的水保措施数量、质量等多为调查资料，很难做到准确无误。同时，计算时主要考虑了梯田、坝地、林、草等治理措施，对耕作措施以及天然植被恢复、种植业提高植被度等的蓄水拦沙基本上没有考虑；淤地坝拦沙减蚀计算本身存在一定误差，而且扣除 20% 左右的推移质和人工填土量又缺乏实测资料，可能使计算的水土保持减水减沙效益偏小。另外，自然和人为破坏增水增沙的负效益又难以准确估算，存在着水土保持减水减沙效益估算偏大因素。因此，水土保持减水减沙效益的正确估算还有待深入研究。

三、人类活动减水减沙效益及水沙变化原因分析

大量分析计算表明, 水利水保措施已经为黄河减少了泥沙。本次研究采用水文法和水土保持法计算结果为: 与基准期相比, 80 年代多沙粗沙区年均减水总量 35 亿 m^3 , 其中人类活动影响的减水量 14 亿 $\text{m}^3 \sim 15$ 亿 m^3 , 占 40% 左右, 降雨变化影响占 60% 左右; 80 年代多沙粗沙区年均减沙总量 7.4 亿 t, 其中人类活动影响的减沙量 3.1 亿 t (水土保持法) 和 3.95 亿 t (水文法), 分别占总减沙量的 42% 和 53%, 因降雨变化影响的减沙量分别占 58% (水土保持法) 和 47% (水文法)。这些成果目前已基本得到共识, 可供宏观规划参考应用。

四、水沙变化发展趋势预测

水沙变化发展趋势预测是一项非常重要而又十分困难的工作。研究中, 采用水文法和水土保持法相结合的方法, 考虑丰水年和枯水年及不同治理程度等因素, 对 2000 年和 2020 年多沙粗沙区水沙变化趋势进行了分析预测, 提出了预测成果, 取得了明显进展。在水文法预测中, 建立了降雨预测模型和产流产沙预测模型, 用以计算不同水平年的天然径流量和输沙量; 在水保法预测中, 首先制订出了不同规划水平年的治理规划, 并根据未来的可能情况, 对水土保持法加以改进, 用以估算不同规划水平年水利水保措施减水减沙量。在此基础上, 从水文法预测的天然径流量、输沙量中减去用水保法预测的水利水保措施减水减沙量, 使得预测条件下的径流量、输沙量。预测结果表明, 2020 年水平遇丰水年多沙粗沙区天然径流量可达 105 亿 m^3 , 输沙量可达 20 亿 t; 按现状治理速度 (1%) 翻一番的治理速度 (2%) 规划治理, 遇丰水年水利水保措施减水量为 46 亿 m^3 , 减沙量约为 6.7 亿 t; 预测条件下的入黄水量为 59 亿 m^3 , 入黄沙量仍达 13.3 亿 t。可以看出, 多沙粗沙区泥沙问题仍然很严重。因此, 在巩固和提高现有减水减沙水平的基础上, 今后应加大投资力度, 加速治理。必须指出的是, 水沙变化趋势预测由于受多种不确定因素影响, 今后仍应考虑多种可能条件, 进行深入研究。

第二章 黄河中游多沙粗沙区自然环境特征及社会经济概况

第一节 自然环境特征

黄河中游多沙粗沙区地处黄土高原干旱、半干旱地区, 主要指河口镇至龙门区间(以下简称河龙区间)及北洛河上游、泾河上游等地区(图 2-1)。这里黄土层深厚, 土质疏松, 地形破碎, 沟壑纵横, 植被稀少, 而且暴雨集中, 强度很大, 水土流失特别严重, 是黄河中游洪水及粗泥沙集中来源区。研究表明, 该地区洪水出现几率只有黄河下游洪水几率的 10%, 但造成黄河下游泥沙淤积量却占下游总淤积量的 40%~60%。因此, 控制和减少该地区的洪水、泥沙, 特别是粗颗粒泥沙, 是黄河下游防洪减淤的根本途径。

多沙粗沙区总面积 12.95 万 km^2 , 侵蚀模数大于 $5\,000\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 的面积达 8.63 万 km^2 。其中, 河口镇至龙门区间 11.16 万 km^2 , 侵蚀模数大于 $5\,000\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 的面积 6.93 万 km^2 ; 北洛河上游(刘家河以上)流域面积 7 325 km^2 , 侵蚀模数大于 $5\,000\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 的面积 6 500 km^2 ; 马莲河西川庆阳以上流域面积 10 603 km^2 , 侵蚀模数大于 $5\,000\text{t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 的面积 10 488 km^2 。全区涉及陕西、山西、甘肃及内蒙古 4 省(区) 61 县(旗、市), 总人口 750 多万。

一、区域特征

(一) 干支流概况

黄河干流河口镇至龙门河段, 长 725 km, 处于晋陕峡谷之中, 谷坡陡峻, 谷道狭窄, 除河曲、府谷两宽河谷段外, 其余河段宽度多为 400 m~600 m, 河谷切割于陕北盆地东部边缘地区, 大部分河段由二叠纪、三叠纪砂、页岩组成, 仅万家寨和龙门附近有石灰岩出露。该河段河床堆积物较薄。从干流河势来看, 本河段可分为河口镇至府谷、府谷至吴堡、吴堡至龙门三大段。

河口镇至府谷河段, 河长 206.5 km, 区间面积 18 073 km^2 , 支流测站控制面积 10 517 km^2 , 未控面积 7 556 km^2 , 其中河口镇至喇嘛湾河段河道宽浅平缓, 两岸有川地。喇嘛湾以下进入万家寨峡谷, 至龙口河道又放宽, 水流分散, 沙洲林立, 一直延伸到河曲城关, 自河曲河道穿峡谷至天桥电站。

府谷至吴堡河段, 河长 241.7 km, 区间面积 29 475 km^2 , 支流测站控制面积 22 974 km^2 , 未控面积 6 501 km^2 。本河段在府谷上下游河道展宽, 并有孤山川汇入, 河床因淤积缓慢抬高。据府谷附近的历史洪水调查, 黄甫川每发生大洪水, 黄河干流就有所淤积。据调查, 1950 年~1972 年, 府谷附近河床升高 1 m~2 m。自天桥电站建成后, 由

于天桥水库拦沙作用,坝下游发生冲刷,府谷断面在同流量($1\,000\text{m}^3/\text{s}$)下水位下降3m左右(1973年~1986年)^[1]。自孤山川河口以下河道又穿行峡谷之间,行至吴堡。本河段河道陡峻,河床比降7.5‰。

由于支流在大洪水时挟带大量泥沙和块石进入黄河,因而在干流河道上形成许多磧滩,如肖木磧(白云沟)、川口磧(岚漪河)、迷糊磧(迷糊沟)、软米磧(蔚汾河)、罗峪口磧(窟野河)、秃尾磧(秃尾河)、佳芦磧(佳芦河)、荷叶磧(楼底河)和大同磧(湫水河)等。

吴堡至龙门河段,河长276.9km,区间面积64 038km²,支流测站控制面积52 377 km²,未控面积11 661km²。本河段河道穿行峡谷之间,河谷宽度在300m至500m之间,平均比降9.3‰。

黄河干流河口镇至龙门河段支流水系十分发达,流域面积逾1 000km²直汇黄河的支流就有21条之多(图2-1)。处于黄河左岸的有浑河、杨家川、偏关河、县川河、朱家川、岚漪河、蔚汾河、湫水河、三川河、屈产河、昕水河;在右岸的有黄甫川、孤山川、窟野河、秃尾河、佳芦河、无定河、清涧河、延河、汾川河和仕望川。这些支流绝大部分发育于黄土丘陵沟壑区,坡陡流急,一遇暴雨,洪水泥沙奔腾而下,是黄河洪水泥沙,特别是粗颗粒泥沙的重要来源区。由于这些支流洪水含沙量特高,不少支流都曾出现过淤堵黄河的事件。如1979年8月10日,黄甫川洪峰流量达4 960m³/s,最大含沙量高达1 400kg/m³,8月12日洪峰流量5 990m³/s,相应最大含沙量达1 280kg/m³,在此期间黄河干流河曲水文站流量1 890m³/s~3 120m³/s,天桥水库末端淤积,并顶托干流,产生回水,使石梯子、上庄水位站的水位升高0.5m~1.5m,淤积向上延伸至距坝27.7km处。1981年7月~8月,黄甫川连续发生5次洪水,最大含沙量均大于1 100 kg/m³,7月21日洪峰流量5 120m³/s,最大含沙量1 220kg/m³;8月6日洪峰流量1 150m³/s,最大含沙量1 280kg/m³,使石梯子左股河槽淤塞,石梯子、上庄水位站水位上升1m~2m。1982年7月29日至8月8日,黄甫川出现3次含沙量大于1 000kg/m³的洪水,也对干流产生顶托,使石梯子水位站断面淤高约2m,同流量水位升高1m~1.5m。1977年8月1日、2日,孤山川降雨144mm,发生最大流量10 300m³/s洪水,最大含沙量817kg/m³,洪水入黄河后形成沙坝,黄河来水受到严重顶托,致使府谷水文站水位提高1.9m,回水范围达6km。1976年8月2日,窟野河上游降雨248mm,最大洪峰流量14 000m³/s,洪水输沙量1.76亿t,占本站年输沙量的61%,洪水入黄后将大量块石、煤炭、卵石等“抛掷”到黄河对岸,迫使黄河回水12km。

北洛河刘家河以上,为北洛河河源区,流域面积7 325km²,其来水量占淤头来水量的26.8%,而来沙量却占淤头来沙量的83.1%,是北洛河主要泥沙来源区。该区域属黄土丘陵沟壑区,植被稀少,水土流失严重。马莲河西川庆阳以上,流域面积10 603 km²,多年平均径流量2.106亿m³,占张家山站多年平均径流量的11.47%,多年平均输沙量0.817亿t,占张家山站多年平均输沙量的33.97%,是马莲河的主要产沙区。因此,北洛河刘家河以上和马莲河西川庆阳以上,也列入研究范围。

(二) 地质地貌概况

研究区地质地貌条件复杂多样,对产流产沙特性的地域分异产生了重要的影响,大