

黄河流域水沙变化情势 分析与评价

姚文艺 徐建华 冉大川 等著



黄河水利出版社

黄河流域水沙变化情势 分析与评价

姚文艺 徐建华 冉大川 等著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书通过大量野外调研查勘、实测资料分析、数学模型模拟等方法,在以往有关黄河水沙变化研究成果基础上,对黄河中游干流主要断面和主要入黄支流 1997 ~ 2006 年水沙的时空变化特点、暴雨洪水泥沙关系变化规律、水沙变化成因等进行了系统研究,并分析了上中游大型灌区引水、水库调节和矿藏开采等典型人类活动对黄河径流泥沙的影响程度,核对了水利水土保持措施量等基础数据,探讨了水沙变化评价理论与方法,阐明了 1997 ~ 2006 年人类活动对黄河水沙过程的影响程度和未来 30 a 黄河水沙变化情势,并对未来 50 a 黄河水沙变化情势进行了展望,为黄河治理开发与管理的决策提供科学依据。

本书可供水利、水土保持、水资源、地理、泥沙、环境、农业等领域的科技工作者、大专院校师生和流域管理者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河流域水沙变化情势分析与评价/姚文艺等著. —郑州:黄河水利出版社,2011.11

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0141 - 4

I. ①黄… II. ①姚… III. ①黄河流域 - 含沙水流 - 变化 - 研究 IV. ①TV152

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 234103 号

组稿编辑:王路平 电话:0371 - 66022212 E-mail:hhsllwp@126.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsllcbs@126.com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:20.75

字数:480 千字

版次:2011 年 11 月第 1 版

印数:1—1 000

印次:2011 年 11 月第 1 次印刷

定价:90.00 元

前言

水少沙多、水沙关系不协调是黄河水沙条件的基本特征,由此所引起的河床淤积抬高、河势游荡不定及库容淤积致使水库兴利指标降低等诸多问题是黄河治理开发的难点。水沙条件不仅影响冲积性河道的冲淤发展趋势,更为重要的是,关系到防洪、水沙资源利用、水库运用等流域治理开发与管理的各个方面。

自20世纪80年代以来,黄河水沙条件发生了明显变化,并引起一系列新的问题,如河道萎缩、“二级悬河”加剧、断流频繁发生等。黄河流域水沙条件的变化引起了多方的关注。水利部曾于1987年专门设立黄河水沙变化研究基金,对黄河水沙变化这一主题开展专项资助研究。与此同时,国家自然科学基金、“八五”国家重点科技攻关计划、黄河水利委员会(以下简称黄委)黄河流域水土保持科研基金等也设立专题研究黄河水沙变化问题。另外,在黄河流域治理开发与管理的一些规划、设计项目中,也对黄河水沙变化的某些方面进行了研究。1996年水利部黄河水沙变化研究基金会又启动了第二期项目,对1996年以前的水沙变化进行了系统评价。在该期研究的汇总阶段,对各家成果进行了系统的比较、分析,较完整地提出了一套1950年以来黄河上中游“不同区域、不同历史时段的水沙变化、水利水土保持综合治理措施减水减沙作用”等关键技术特征值,并对黄河水沙变化特性取得了重要认识。这些成果在黄河治理开发与管理中起到了重要作用,在大型水利工程设计、运用方式制定及其他重大黄河治理活动中得到了广泛引用。

20世纪90年代后期以来,由于黄河流域降水总体上呈持续偏枯之势,退耕还林还草、淤地坝建设等水土保持治理力度逐渐加大,煤矿开采、交通设施建设等人类活动显著加剧,加之黄河河源区生态环境遭到一定程度破坏等,诸多因素对黄河水沙带来了新的显著影响。据资料分析,2000~2006年与1970~1999年相比,黄河上中游地区降水量减少2.8%~9.8%,天然径流量减少13.4%~24.7%,实测径流量减少得更多,减幅达19.0%~44.7%;实测输沙量也出现锐减,如黄河中游龙门、华县、河津、淤头四站的输沙量约为多年平均值的1/3。近年来黄河水沙出现的新变化再次成为人们关注的热点。如果不清楚近年来黄河水沙变化的程度和原因,就难以科学制定新形势下黄河治理开发与管理的决策和方案。因此,迫切需要对黄河近期水沙发生的新变化进行跟踪分析,对近年水沙变化的原因进行系统的研究,这是黄河治理开发与管理中迫切需要解决的重大课题。对此,国家给予了高度重视,2006年科技部在“十一五”国家科技支撑计划重点项目“黄河健康修复关键技术研究”(2006BAB06B)中专门列出“黄河流域水沙变化情势评价研究”课题(2006BAB06B01),并于2007年启动开展了关于近期黄河水沙变化的专项研究。



本书是在对“黄河流域水沙变化情势评价研究”成果系统总结的基础上,经过补充和提炼而成的。本书的研究宗旨是在 1950 ~ 1996 年黄河水沙变化研究成果的基础上,通过对黄河流域主要产水产沙区来水来沙变化的原因剖析,阐明 1997 ~ 2006 年人类活动对黄河水沙过程的影响程度和未来 30 a 黄河水沙变化情势,并对未来 50 a 水沙变化情势进行展望。根据研究目标,设置 6 项研究内容,包括“黄河中游水沙变化特点及成因分析”、“人类活动对入黄径流影响程度分析”、“人类活动对洪水泥沙的影响分析”、“人类活动对产流产沙影响的评价方法研究”、“基于 GIS 的多沙粗沙区典型支流水土流失数学模型”和“黄河流域水沙变化趋势分析”,从而系统分析黄河水沙变化特点,剖析人类活动对黄河 1997 ~ 2006 年水沙变化的影响程度,探讨水利水土保持(简称水利水保)措施对暴雨洪水泥沙的作用,预测未来黄河水沙变化的情势,为黄河治理开发与管理的决策提供科学依据。

为便于同水利部黄河水沙变化研究基金项目等以往的研究成果衔接和比较,本书采用的水利水保措施减水减沙效益计算方法及指标选取方法与水利部黄河水沙变化研究基金第二期项目相一致。同时,仍以 1970 年作为水土保持治理发挥效益的水沙系列年分界点。研究中对水沙系列变化分界点的确定问题也作了探讨,但暂未应用其成果。另外需要说明的是,目前,对水利水保措施“减水减沙效益”的提法还有不同看法,但为便于同水利部黄河水沙变化研究基金第二期项目研究成果衔接,本书仍采用此提法表述水利水保措施对水沙变化的影响效应。

黄委黄河水利科学研究院、黄委水文局作为课题的承担单位,组织了黄委黄河上中游管理局、北京师范大学、河南大学、西北大学和中国水利水电科学研究院等单位的有关科研人员联合攻关,自 2007 年历时 2 a 多,对近期黄河水沙变化与成因以及未来变化趋势进行了研究。全体研究人员通过共同努力,充分发挥多学科交叉、多单位协作的优势,取得了系统的科学研究成果,基本上达到了认识变化程度、弄清变化原因、预测展望变化趋势的预期目标。

通过研究,系统核查了 1997 ~ 2006 年黄河中游水土保持措施基础资料;总结了黄河流域水沙变化特点,分析了变化规律,包括径流量、输沙量、洪水、泥沙级配和降雨径流关系等;从气候、生态变化等方面的相互作用,剖析了河源区水量变化原因及产流机制的变化;提出了气候、人类活动对入黄径流量和泥沙量变化的影响程度;基本搞清了干流水库调节和主要灌区引水对干流水沙量、洪水过程的影响;初步分析了暴雨洪水对水利水保措施的响应关系;探索了基于 GIS 技术的人类活动对产流产沙影响的识别评价方法;利用多种方法预测分析了黄河流域水沙变化趋势等,为黄河治理开发与管理的决策提供了新的科学依据和丰富的资料。黄河水沙变化影响因素众多,并且黄河水沙变化与这些因素之间往往呈现为非线性的响应关系。因此,还有很多问题需要继续研究和探讨,尤其是在全球气候变化的背景下,随着人类活动的不断增强以及生态环境的变迁,黄河水沙还会出现一些新情况、新变化,黄河水沙变化研究将是一个长久的课题。

本项研究紧密结合黄河治理开发与管理的重大科技需求,其部分研究成果已经在近期开展的黄河流域综合治理规划修编等工作中得到参考应用。研究成果将对黄河水沙调控技术研究、黄河泥沙空间配置模式研究、黄河中游地区淤地坝建设、黄河流域生态修复

和封禁治理措施实施、黄河中游多沙粗沙区粗泥沙控制技术研究等具有直接的技术支撑作用,具有很大的推广价值。另外,提出的水沙系列突变点判别方法、人类活动对产流产沙影响的评价方法,建立的分布式水土流失评价预测模型,对 SWAT 模型产流机制的改进以及坡面径流输沙规律研究等成果,对于丰富水沙变化研究领域的科学内容和促进其理论发展必将起到积极的作用,对促进水利科技进步具有积极意义。

本项研究得到了项目首席专家、黄委副总工程师刘晓燕教授级高级工程师的大力支持和指导,并得到了咨询专家陈效国、黄自强、翟家瑞、邓盛明、洪尚池、熊贵枢、李世滢、张胜利、戴明英、曾茂林等教授的指导;另外,陈志恺、庞进武、薛松贵、汪习军、李景宗等专家对本项研究也提出了指导性意见和建议,其他还有不少专家都给予了帮助,在此一并致以衷心的感谢!参加研究的人员达 200 余人,该成果是全体研究人员的心血结晶,主要完成人包括:姚文艺、徐建华、冉大川、张晓华、王富贵、张学成、时明立、李勉、史学建、王玲、陈江南、王玲玲、蒋晓辉、申震洲、李晓宇、左仲国、张会敏、喻权刚、尚红霞、郑艳爽、刘汉虎、黄福贵、吴永红、高亚军、杨二、秦奋、杨勤科、王金花、徐宗学、李锐、韩志刚、赵海滨、林银平、李雪梅、畅俊杰、何兴照、张敏、彭红、马安利、杨向辉、李智慧、王志勇、杨春霞、谷晓伟、肖培青、王云璋、程磊、罗睿、侯素珍、汤立群、陈界仁、王乃芹、付新峰、管新建、鲍宏喆、金双彦、李焯、张胜利、戴明英、罗玉丽、胡亚伟、郭玉涛、马红斌、左卫广、高际萍、勾兆莉、王卫红、梁剑辉、曹炜、鲁承阳、潘启民、毕慈芬、曾茂林、崔培、任立新、王昌高、何宏谋、邢昱、杨涛、刘咏梅、赵芳芳、米艳娇、刘兆飞、孙维营、杨吉山、谢红霞、蔡大应、宋根鑫、何丽、王兵、武晓林、董雪娜、曹惠提、邱淑会、严国民、王略、孙赞盈、杨汉颖、张娟、李萍、赵帮元、马宁、卞艳丽、侯爱中、李文红、刘平乐、田捷、邵璇、李莉、黄静等。

由于研究时间有限,加之黄河水沙变化问题的复杂性,有不少问题还有待于进一步深入研究。例如,人类活动对产流产沙影响的评价方法、减水减沙效益计算理论与方法、水土流失评价预测模型、人类活动对洪水泥沙的影响,以及水土保持生态建设对产流机制的影响等都是前沿性的科学问题,需要继续攻关研究。

作 者

2010 年 5 月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 研究目的与意义	(1)
1.2 研究现状	(3)
1.3 研究内容和预期目标	(11)
1.4 技术路线	(11)
参考文献	(14)
第2章 黄河水沙变化分析基础数据核实与评价	(16)
2.1 水土保持措施数量核查方法	(16)
2.2 水土保持措施数量核查结果	(24)
2.3 水利措施数量调查统计结果	(42)
参考文献	(43)
第3章 黄河近期水沙变化特点	(44)
3.1 黄河流域水沙来源	(44)
3.2 降水变化特点	(46)
3.3 径流量及降水径流关系变化特点	(56)
3.4 洪水变化特点	(61)
3.5 输沙量及泥沙级配变化特点	(65)
3.6 小 结	(78)
参考文献	(79)
第4章 河源区径流变化成因分析	(80)
4.1 河源区自然概况	(80)
4.2 河源区生态环境变化特点	(84)
4.3 河源区近期径流变化特点	(88)
4.4 河源区径流变化原因分析	(94)
4.5 小 结	(96)
参考文献	(97)



第5章 黄河中游水沙变化成因分析	(98)
5.1 水沙变化成因分析方法	(98)
5.2 黄河中游水沙变化及其原因分析	(119)
5.3 小 结	(136)
参考文献	(137)
第6章 河龙区间支流洪水泥沙变化分析	(139)
6.1 暴雨洪水泥沙资料处理方法	(139)
6.2 暴雨洪水泥沙变化分析方法	(143)
6.3 暴雨洪水泥沙变化分析	(149)
6.4 典型支流及干流典型站洪水泥沙变化特点分析	(159)
6.5 小 结	(168)
参考文献	(169)
第7章 典型人类活动对黄河径流泥沙影响分析	(170)
7.1 上中游引黄灌区引水对径流泥沙影响分析	(170)
7.2 干流水库调节对其下游径流泥沙影响分析	(196)
7.3 典型支流煤矿开采对水循环的影响分析	(202)
7.4 小 结	(217)
参考文献	(218)
第8章 黄河上中游水沙变化趋势分析	(219)
8.1 分析方法	(219)
8.2 基于天然径流量序列重建的径流量变化趋势分析	(219)
8.3 基于分布式产流产沙数学模型的水沙变化趋势分析	(236)
8.4 基于“水保法”的水沙变化趋势分析	(253)
8.5 黄河上中游水沙变化趋势综合分析	(264)
8.6 小 结	(266)
参考文献	(267)
第9章 水沙变化评价理论与方法研究	(269)
9.1 坡面水力产沙关键过程研究	(269)
9.2 水沙系列突变点划分方法研究	(281)
9.3 水土流失评价预测数学模型	(291)
9.4 基于下垫面抗蚀力的评价方法研究	(296)
9.5 小 结	(313)
参考文献	(314)
第10章 结 语	(316)
10.1 取得的主要研究成果	(316)
10.2 应用前景展望与建议	(322)

第 1 章

绪 论

1.1 研究目的与意义

黄河是一条多泥沙河流,其河床冲淤演变对流域来水来沙有着高阶的非线性响应关系。一定的水沙量及其过程是维系黄河健康的基本物质条件,也是首要的动力因子。随着流域水利建设的不断发展和水土保持工作的深入开展、水资源开发利用程度的持续提高以及水文气象的变化,黄河水沙情势不断改变,特别是自 20 世纪 80 年代中期以来,水沙数量明显减少,水沙关系也发生很大调整,并由此给黄河治理和水资源开发利用带来一系列新问题。例如,径流量大幅度减少和水沙关系更为不协调,引起黄河下游河槽严重萎缩、悬河和“二级悬河”加剧、排洪输沙能力降低等^[1],不仅极大地威胁到防洪安全,而且严重制约了黄河下游及相关区域经济社会的可持续发展,为黄河治理带来极大压力。

河流健康状况主要取决于气候和下垫面因素的变化。不同的气候和下垫面条件,将在河流水系中形成不同的水沙条件(包括流量、水沙关系、含沙量、水位等)和河床边界条件,进而深刻地影响河流的河型、河性和断面形态等河流特征和以河流为依托的生态系统,即气候、下垫面对河流健康的影响最终体现于河流水沙过程和水沙约束条件的变化。因此,要实现人类与黄河的和谐相处,必须研究解决的问题是:在流域人类活动干预下,黄河流域水沙到底发生了什么变化,变化程度有多大,水沙关系有什么调整,变化原因是什么,变化的趋势如何等。这些都是实现人类与黄河和谐相处的关键性控制指标。

为进一步开发黄河水利资源,建立和完善黄河水沙调控工程体系和防洪工程体系,在黄河干流需要陆续兴建一些大型水利工程。在工程的规划、可行性研究和设计等阶段,均必须对当前及未来的来水来沙条件进行分析,为这些工程的规划、设计提供相关参数,确定出相应于一定设计系列下的水量、沙量和一定设计标准下的洪水径流量等重要指标,以确定工程规模、制定工程运行方式等。为解决黄河下游河道萎缩问题,黄委从 2002 年已开始通过调水调沙等措施对进入下游河道的水沙进行调控,并取得了一定成效。水沙调控多项指标的确定是建立在对未来水沙变化情势分析基础之上的,例如黄河下游河槽到底至少应满足排泄多大平滩流量,每年调控进入下游河道的径流量、泥沙量至少应有多少,未来水沙条件能否满足黄河健康的要求等,这些都是急需回答的问题。可以说,水沙



变化情势是进行黄河治理规划和确定治理方案的重要依据。离开了黄河水沙变化条件分析,治黄诸多重大决策将成为无本之木、无源之水。

为研究黄河的水沙变化问题,水利部曾于1987年成立了“水利部黄河水沙变化研究基金会”,先后分两期对1996年以前的黄河水沙变化情况进行了研究。与此同时,国家自然科学基金、“八五”国家重点科技攻关计划、黄委黄河流域水土保持科研基金等也设立专门项目对20世纪90年代中期以前的黄河水沙变化问题开展研究。近年来,随着黄河流域经济社会的快速发展和水土保持生态建设的大力推进,人类活动不断加剧,加之在全球气候变化的背景下,流域下垫面和降雨等水文要素进一步发生变化,从而引起黄河流域水沙发生新的变化。但由于对近期的黄河水沙变化特点和原因以及黄河水沙变化情势未开展系统研究,一些问题还不清楚。例如,近年来黄土高原水土保持生态建设的减沙效果如何,水利水保措施在近十年的减沙量是否仍为3亿t,黄河中游水利水保措施对洪水泥沙的影响程度如何,黄土高原水土保持综合治理措施的减沙潜力有多大等。如果不能准确把握这些问题,不了解黄河水沙变化的原因所在,也就不能判断黄河水沙的变化趋势,从而就难以科学地制定黄河流域水土保持治理方案。黄河流域近期水沙变化程度和原因以及未来的变化趋势,已为多方所关注。为满足新时期黄河治理开发与管理的决策需求,为实现修复黄河健康的重大实践需求,必须对近年来黄河流域在日趋强烈的人类活动作用下水沙变化的新情况、新趋势进行分析,并预测出今后相当长一个时期内水沙变化的情势,这是治黄的迫切需求。

开展黄河流域水沙变化趋势研究也是我国水利科技发展的重要内容之一。水利部制定的《水利科技发展规划(2001~2015年)》把水资源演变规律的变化作为未来15a水利科技发展方向与优先领域之一。水利科技发展战略研究课题组提出的《水利科技发展战略研究报告》将变化环境下的黄河水沙变化趋势研究作为一项战略重点与重大课题。《国家中长期科技发展规划纲要(2006~2020年)》也把水资源优化配置与综合开发利用列为优先主题,并指出要重点研究长江、黄河等重大江河综合治理及南水北调等跨流域重大水利工程治理开发的关键技术等,这些问题的研究均涉及水沙变化情势预测分析等内容。由此可见,开展黄河流域水沙变化情势研究也是我国水利科技发展的重大需求。

基于黄河治理开发与管理重大决策和我国水利科技发展对黄河流域水沙变化情势研究的迫切需求,国家给予了高度重视,2006年科技部在“十一五”国家科技支撑计划重点项目“黄河健康修复关键技术研究”(2006BAB06B)中专门列出“黄河流域水沙变化情势评价研究”课题(2006BAB06B01),对近期黄河水沙变化进行专项研究。

本项研究以黄河健康修复这一重大命题作为出发点,量化说明人类活动对现状水沙过程的影响程度,分析近期水沙变化原因,评价黄土高原水土保持措施减水减沙效益,预测未来黄河水沙变化情势,为黄河治理开发与管理提供科技支撑作为攻关目的。

流域产流产沙是在降水动力输入激发下,流域下垫面系统对其作出响应的结果。从水文学意义上说,气候—降水—下垫面—产流产沙构成了流域的水文系统。降水是气候的复杂响应函数,气候的小幅波动可引起降水的显著变化,而作为降水的承受体,流域下垫面又是由地质地貌、被覆、人类建筑物等多因素构成的水文边界复杂系统。因此,流域产水产沙具有非线性、不确定性的特征,是一个具有关系、状态、特性的能量转化过程和物

质输移过程,这一过程显然与降雨、下垫面之间有着复杂的响应关系。因而,对流域水沙变化成因的研究需要应用复杂性科学的理论和方法,确定黄河流域水文系统各要素之间相互作用和影响的定性定量关系,进行气候—降水、降水—下垫面、产流—产沙、水沙输移等多层次综合集成,建立评判预测模型。由此,不仅可以为黄河治理开发与管理提供水沙变化指示参数和预测工具,而且将使基于水文学的复杂性科学研究获得更为丰富的内容。人类活动对流域水文系统在一定程度上是可以起到明显扰动作用的。例如,人类活动不仅可以直接改变流域地表水循环过程,而且诸如开矿等地下活动还可以对地下水循环过程产生影响^[2],甚至大范围的植被建设可以使局地气候发生某种程度的改变。实际上,人类活动对流域水文系统,包括地下水文地质系统的干扰是人为作用对这些系统过程的再调控,其调控程度又不可能是无限的,具有一定的限度和阈值。然而目前关于人类活动对流域产水产沙影响的评价方法并未得到很好解决,尤其是关于人类活动对地下水循环影响的定性定量评估更是缺乏理论探讨和方法研究。而黄河健康修复指标的确定,尤其是黄土高原水土流失治理目标的制定,都需要建立在评价人类活动对产水产沙的影响作用及其程度基础之上。因此,研究人类活动对流域水文系统的干扰作用和评价方法,分析黄土高原水土保持综合治理措施的减沙作用,可以直接为黄河健康修复、开展黄土高原水土流失治理等治黄生产实践提供重要的科学参数和方法。同时,可望在人类活动对流域水文系统调控作用及其评价方面得到理论和方法上的创新与提高。利用复杂性科学方法,基于系统观点和调控理论,从流域复杂非线性水文过程角度出发,根据气候—降水—下垫面—产流产沙等复杂的多层次多系统响应关系,以认识黄河流域水沙变化情势为出发点,剖析黄河流域水沙变化原因,识别人类活动对径流泥沙过程的影响作用及程度,评估黄土高原水土保持治理作用,建立黄河水沙变化评价方法和预测模型,预测未来黄河水沙变化趋势,对于实现黄河健康修复目标,保障黄河流域经济社会可持续发展有着极大意义,并且可使我国在以人类活动对流域水文系统干扰程度识别的评价预测为内容的复杂性科学研究领域居于国际领先行列。

1.2 研究现状

关于黄河水沙变化研究的课题较多,从研究项目类型来说,主要有专项基金研究、其他相关专题研究两大类。

1.2.1 专项基金研究

专项基金研究项目主要有水利部黄河水沙变化研究基金第一期、第二期项目(分别简称水沙变化基金1、水沙变化基金2)^[3,4],黄委黄河流域水土保持科研基金第一期、第二期和第三期课题(分别简称黄委水保基金一期、黄委水保基金二期和黄委水保基金三期)^[5-7],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”(简称自然科学基金)^[8-10]，“八五”国家重点科技攻关计划项目“黄河中游多沙粗沙区治理研究”(简称“八五”国家攻关)^[11,12]，“九五”国家重点科技攻关计划项目“黄河中下游水资源开发利用及河道减淤清淤关键技术研究”等。这些项目的主要特点是开展规模大,研究历



时长,参加单位和人员多,研究范围广,包括了黄河流域各区域和干流、支流的降雨与水沙变化特征,水土保持措施的减水减沙作用,水库调节的影响,主要冲积性河道的反馈调整等,涉及流域水沙变化的各个方面,研究的内容主要集中于对黄河上中游水土保持措施减水减沙作用的计算与分析。可以说,这些项目对1996年以前黄河水沙变化的研究是较为系统和深入的。其中,“九五”国家重点科技攻关计划项目子专题“小浪底水库初期运用入库水沙预测研究”在分析20世纪90年代黄河水沙变化特点的基础上,研究了黄河水沙的变化趋势,预测了小浪底水库运用初期15 a可能出现的水沙条件,并推荐了入库水沙系列。

水利部黄河水沙变化研究基金第一期、第二期项目对黄河水沙变化的研究更为系统和全面。如第一期项目列设了58个研究专题,直接参加研究的人员达150余人,取得的成果主要包括:进一步研究了黄河流域水沙特性,重点分析了黄河上中游主要支流泥沙来源、水沙变化及其发生原因和发展趋势等,认识了流域水沙时空分布的特点;对平原区河道和控制性水库产生的影响作了初步估计;研究了水沙变化的机理,逐步建立了分析计算方法,包括“水文法”、“水保法”等。第二期项目除继续深化研究1970~1989年黄河水沙变化情况外,重点研究了1990~1996年的黄河水沙变化情况,对1970~1996年黄河上中游水利水保措施减水减沙作用进行了较为深入细致的成因分析,提出了新的认识。例如,以20世纪50~60年代作为计算的基准期,确定出1970~1996年龙门、河津、张家山、淤头和咸阳等5站控制区域水利水保措施年均减沙量为3.075亿t;分析了河道萎缩、主槽淤积的主要原因;首次提出了黄河中游水利水保工程对洪水的定性分析成果;通过建立黄河中游小区水土保持坡面措施减洪指标体系→降雨量同频率对应→“以洪算沙”模型,初步解决了由小区坡面措施减洪指标体系推求流域坡面措施减洪指标体系的尺度转换问题,该尺度转换研究的突破点为“一体系”和“一模型”,即“坡面措施减洪指标体系”和“以洪算沙统计模型”^[13];改进了传统的“成因分析法”(或称“水保法”);提出了计算流域产流产沙的分布式模型等。由黄河水利出版社出版的《黄河水沙变化研究》第一卷、第二卷就是对水利部黄河水沙变化研究基金第一期、第二期项目研究成果的系统总结^[3,4]。但是,该阶段对黄河上游水土保持措施的减水减沙作用缺少研究;对暴雨洪水泥沙变化研究相对不够深入;计算方法也有待进一步改进和提高,其精度距生产的要求尚有一定距离;对预报今后黄河水沙变化的发展趋势也未给出较为可信的数据等。

“定性上存在共识,定量上存在差异”是上述专项基金研究课题的共同点。个别研究成果的定量数据差异还比较大(见表1-1),给治黄生产实践的应用带来了较大困难。由表1-1可以看出,对于同一区域,不同研究项目利用同样方法计算同一时段的减沙量可以相差数倍。例如,对于黄河中游河口镇—龙门区间(简称河龙区间),由水利部黄河水沙变化研究基金项目利用“水保法”计算的20世纪80年代平均减沙量为3.45亿t/a,而由“八五”国家重点科技攻关计划项目计算的相应时段的减沙量则为1.662亿t/a,前者是后者的2倍多。这两个项目计算相同时段的泾河、北洛河、渭河和汾河的减沙量相差更甚,前者为1.483亿~2.386亿t/a,而后者仅为0.461亿t/a,前者比后者大2.2~4.2倍。

表 1-1 黄河上中游减沙计算成果比较

(单位:亿 t/a)

区段	年代 (20 世纪)	水沙变化基金				黄委 水保基金		自然 科学基金		“八五”国家 攻关	
		水文法	水保法 1	水保法 2	总报告	水文法	水保法	水文法	水保法	水文法	水保法
河口镇 以上	50				1.534						
	60				0.998						
	70				1.246			0.46	0.613	0.46	0.46
	80				0.695			0.46	0.59	0.46	0.46
河龙 区间 1	50				0.140						0.028
	60				0.776		1.299				0.477
	70	2.363	2.338	1.916	1.916	2.08	2.135	2.594	1.579	2.339	2.354
	80	3.842	3.662	3.239	3.239	1.449	1.635	3.198	1.342	2.601	1.662
河龙 区间 2	70	2.259	2.313	2.369							
	80	3.962	2.199	2.201							
	90	3.163	2.738	2.941							
泾洛 渭汾 1	50				0.327						0.062
	60				1.052						0.620
	70	1.436	1.754	1.723	1.436	1.461	1.574	0.727	1.085	0.699	1.472
	80	2.127	1.483	2.386	2.127	1.032	0.884	1.140	0.405	0.329	0.461
	1969 年 以前				0.904						
泾洛 渭汾 2	70				1.696						
	80				1.566						
	90				1.540						
河潼 区间	50				0.467						0.648
	60				1.828						1.097
	70	3.799	4.092	3.639	3.352	3.541	3.712	3.321	2.664	3.366	3.426
	80	6.019	5.145	5.625	3.366	2.481	2.520	4.337	1.747	2.808	2.123
龙华 河湫	50				2.000						0.648
	60				2.828						1.557
	70				4.598	4.001	4.17	3.781	3.556	3.826	3.886
	80				7.061	2.940	2.98	4.797	2.397	3.268	2.583

注:河龙区间 1、泾洛渭汾 1 为“水沙变化基金 1”研究成果;河龙区间 2、泾洛渭汾 2 为“水沙变化基金 2”研究成果。

泾洛渭汾指泾河、北洛河、渭河和汾河四条支流,河潼区间指河口镇—潼关区间,龙华河湫指龙门、华县、天津、猓头四站。表中数据来自文献[3-5]及文献[14];水保法 1 为“水沙变化基金 1”各课题计算结果,水保法 2 为“水沙变化基金 2”中“黄河流域水土保持减沙作用”(高博文等)课题计算结果^[3]。



即使同一个项目,利用不同方法计算的减沙量相差也很明显。例如,对于20世纪80年代河龙区间,国家自然科学基金项目利用“水文法”、“水保法”计算的减沙量分别为3.198亿 t/a 和1.342亿 t/a ,后者较前者小近60%。之所以出现如此大的差异,影响因素很多,其中,就“水保法”而言,对措施量的统计来源或统计方法、减水减沙指标的选择等有所不同就是主要因素之一。由表1-2、表1-3可以看出,所列4个项目在确定措施量时,其方法有按完成面积的,有按统计面积的,也有取实有面积或保存面积的;减水减沙指标的确定方法更是不一,有调查分析的,有按小区推算的,也有取其他相关研究成果的,而且,有取用减洪指标的,也有取用减水指标的,等等;选用减水减沙指标时,有考虑降水条件的,有不考虑降水条件的,也有取用单一年平均值的;另外,就水沙变化基金研究项目而言,第一期与第二期的一些支流的研究范围也不一样。例如,第二期项目对渭河研究的范围为除泾河张家山以上外的流域,包括石川河、清峪河等支流,面积合计为63 282 km^2 ,而第一期项目分析的范围为咸阳以上流域,面积只有46 827 km^2 。因此,这也是引起计算结果不一致,难以对比分析的原因之一。因而,方法的不统一,必然造成所确定的减水减沙指标不同,计算结果的差异也就不可避免了。不少研究者对这些差异分别从基础数据、计算方法、时段选择、样本确定等方面都先后作过一些分析,对于取得统一认识起到了一定的参考作用^[14-26]。至于对这些方法不统一所引起计算结果差异的定量评价则是一件非常复杂和困难的事,有待今后继续研究。

1.2.2 其他相关专题研究

黄委及其所属有关单位也曾设立了一些专项对黄河水沙变化问题进行研究,如治黄专项“黄河水沙变化及趋势分析”,治黄基金项目“黄河水沙变化及其对河道冲淤、洪水演进的影响”、“80年代黄河水沙特性与河道冲淤演变”,黄委黄河上中游管理局“八五”重点课题“黄河中游河口镇至龙门区间水土保持措施减洪减沙效益研究”,黄河防汛科技项目“人类活动和气候变化对黄河中游水资源的影响”,黄委黄河流域第二次水资源规划工作中水资源评价部分等。这些项目开展规模相对较小,主要是针对流域某一区域和水沙条件中某些问题进行研究的,但研究较为深入。此外,在一些专题会议上,对黄河水沙变化的某些方面也开展了一些研究和讨论,如2004年12月中国水利学会、黄河研究会联合举办的“黄河源区径流及生态变化研讨会”等^[27]。总之,可以将这类研究分为两种:一种是比较宏观,要求高度概括黄河水沙基本特点和发展趋势,但研究深度有限;另一种是侧重于生产需要,局限性较大,对成因揭示不够。

综上所述,通过近年的研究,现在基本搞清了20世纪50年代以后黄河水沙变化的历史过程;分析了干流、区间和各主要流水沙变化特点及其成因,其中对1950~1996年黄河水沙变化原因有了基本认识;宏观预测了未来黄河水沙变化趋势。但黄河河情在不断变化,新问题在不断出现,需要对进入21世纪以来黄河水沙变化的新特点进行跟踪研究,需要对1997~2006年黄河水沙变化原因进行量化分析,从而系统分析黄河水沙变化特点,剖析人类活动对黄河1997~2006年水沙变化的影响程度,探讨水利水保措施对暴雨洪水泥沙的作用,预测未来黄河水沙变化的情势,为黄河治理开发与管理的决策提供科学依据。

表 1-2 “水沙变化基金 1”确定的减水减沙指标

流域	研究者	措施量及处理方法		减水减沙指标分级及其方法				分类单元	质量分级
		措施量类别	折减系数	指标来源	指标值	百分数	天然模数		
三川河	王广任等	完成面积	✓	减水指标参考山西省水保所资料	减水指标✓	✓		流域	
蔚汾河	王广任等	完成面积	✓	减水指标参考山西省水保所资料	减水指标✓	✓		流域	
岚漪河	王广任等	完成面积	✓	减水指标参考山西省水保所资料	减水指标✓	✓		流域	
湫水河	王广任等	完成面积		研究提出	✓			不同部位	
汾 河	王广任等	实有面积		由减水减沙效益计算成果和相应措施面积推算					
皇甫川	焦恩泽	统计面积		采用陕北地区的平均指标	✓			流域	
孤山川	焦恩泽	统计面积		由实际调查数据确定	✓			流域	
秃尾河	焦恩泽	统计面积		采用陕北地区的平均指标	✓			流域	
窟野河	焦恩泽等	统计面积		采用陕北地区的平均指标	✓			流域	
无定河	惠养瑜等	实有面积	✓	根据小区试验结果,合理性分析后确定		✓	✓	类型区	✓
延 河	惠养瑜等	统计面积	✓	根据小区试验结果,合理性分析后确定		✓	✓	类型区	✓
浑 河	姜乃森等	完成面积	✓	根据山西省各项水保措施的减水减沙指标,结合当地实际情况确定	✓			流域	
偏关河	姜乃森等	完成面积		根据山西省各项水保措施的减水减沙指标,结合当地实际情况确定	✓			流域	



续表 1-2

流域	研究者	减水减沙指标分级及其方法					
		措施量及处理方法	指标来源	指标值	百分数	天然模数	分类单元
朱家川	姜乃森等	完成面积	根据山西省各项水保措施的减水减沙指标,结合当地实际情况确定	✓			流域
县川河	曹文洪等	保存面积	根据山西省各项水保措施的减水减沙指标,结合当地实际情况确定	✓			流域
渭 河	唐先海等	统计面积	✓ 流域拦泥保土定额	✓	小区✓		流域
泾 河	唐先海等	统计面积	✓ 根据南小河流侵蚀模数、保土率和折减系数,结合流域情况而定;并提出流域蓄水定额、蓄水率	蓄水指标✓	✓	✓	流域
北洛河	陈景梁等	统计面积	✓ 减水指标据水保站资料、延河指标和本流域实际确定;拦沙效率为试验小区资料		✓	✓	类型区
祖厉河	谢玉亭等	统计面积	确定净面积指标;小区推大区进行折减;引入兼容系数,对折减后指标加以扩大;同时考虑坡面综合治理对减轻沟蚀的影响而定	✓			流域
湟 水	时明立等	统计面积	根据《青海省东部黄土高原水土保持规划》提供的资料及调查确定	✓			流域
洮 河	方学敏	统计面积	根据黄河流域水土保持减水减沙效益计算方法中甘肃省指标,并结合地方资料确定		✓	✓	流域
清水河	左仲国	统计面积	当地调查数据	✓			流域

注:“✓”表示有表头所列的该项内容,下同。

表 1-3 其他项目减水减沙指标的确定情况

项目	流域	措施量及处理方法		减水减沙指标分级及其方法						降水 条件
		措施量 类别	折减 系数	指标来源	指标值	百分数	天然 模数	分类 单元	质量 分级	
黄委 水保 基金 一期	窟野河	实有面积		减洪减沙定额	√			类型区		丰平枯
	浑河、偏关河、朱家川、岚漪河、蔚汾河、湫水河、清凉寺沟、三川河、屈产河、昕水河、清水河	实有面积		参照小区观测资料,结合流域水保措施质量确定		√	√	流域		
	皇甫川、孤山川、秃尾河、佳芦河	统计面积		由减水减沙效益曲线查得		√	√	流域		
	无定河、清涧河、延河、仕望川	统计面积		直接给出减洪减沙效益百分数,并考虑措施质量和不同降水条件		√	√	流域	√	
	北洛河	统计面积	√	参照小区观测资料,结合流域水保措施质量确定		√	√	流域	丰平枯	
	泾河	实有面积		参照小区观测资料,结合流域水保措施质量确定		√	√	流域	丰平枯	
	渭河	实有面积		根据天水水保站小区观测资料,结合流域水保措施质量确定		√	√	流域	丰平枯	
	汾河	实有面积		参照小区观测资料,结合流域水保措施质量确定		√	√	流域	丰平枯	