

黄河

中游近期水沙变化 对人类活动的响应



冉大川 左仲国 吴永红 李雪梅 李智慧 等 著



科学出版社

黄河

中游近期水沙变化 对人类活动的响应



冉大川 左仲国 吴永红 李雪梅 李智慧 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以 1996 年以前黄河中游水沙变化研究成果为基础,通过系统分析黄河中游近期(1997~2006 年)水沙变化特点,剖析了人类活动对黄河中游近期水沙变化的影响程度,分析计算了黄河中游近期水利水土保持综合治理等人类活动的减水减沙作用。主要研究内容包括黄河中游环境特征及近期水沙变化特点、黄河中游水沙变化水文分析、黄河中游水沙变化成因分析、淤地坝拦沙的泥沙级配组成分析、减水减沙计算结果的合理性论证等。同时,对黄河中游近期水沙变化若干重要问题进行了探索研究,包括河龙区间近期水保措施拦减粗泥沙的不同作用、粗泥沙集中来源区拦沙工程的拦沙减淤效果、基于最大减沙效益的水保措施配置比例、生态修复对北洛河流域近期水沙变化的影响、近期治理对典型支流水沙关系的影响、泾河流域淤地坝拦沙对降雨的响应和基于暴雨的水保措施减洪减沙作用、流域减沙效益的尺度效应、晋陕蒙接壤地区生产建设项目对水土流失和水资源的影响评价等。

本书紧密结合黄河治理开发与管理的重大科技需求,可供水土保持、河流泥沙、流域生态环境等研究领域的科技工作者和高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河中游近期水沙变化对人类活动的响应 / 冉大川等著.

—北京:科学出版社,2012

ISBN 978-7-03-033933-1

I. 黄… II. 冉… III. 黄河—中游河段—含沙水流—影响—人类活动—研究 IV. TV152

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 054896 号

责任编辑:李 敏 王 倩 / 责任校对:朱光兰

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012 年 4 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2012 年 4 月第一次印刷 印张:17 插页:2

字数:400 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

黄河是一条多泥沙河流，其河床冲淤演变对流域来水来沙条件有着高阶的非线性响应关系。一定的水沙量及其变化过程是黄河健康维系的基本物质条件，也是首要的动力因子。目前，黄河水资源的开发和综合利用程度在我国各大江河中都是比较高的，黄河治理也取得了巨大成就。然而，随着流域水利建设的不断发展，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和气象水文的变化，黄河中游水沙情势不断改变，近10年来尤为明显。从20世纪90年代后期以来，在黄河流域降水持续偏枯的同时，人类活动的影响也更为强烈，特别是中游水土保持治理力度逐渐加大。随着国家西部大开发战略决策的实施，黄河中游河口镇至龙门区间（简称河龙区间）水土保持生态工程建设全面展开，生态修复和封禁治理试点工作相继开展，黄土高原地区水土保持淤地坝“亮点工程”全面启动。与此同时，煤矿开采、交通设施建设、水资源开发利用等人类对径流泥沙的干扰活动也显著加剧。

在近期（1997~2006年）黄河中游治理速度明显加快、治理标准不断提高的背景下，大规模、高标准的水土保持生态建设和日益强烈的人类干扰活动已经给黄河流域主要产沙区——河龙区间以及泾河、北洛河、渭河（不包括泾河）、汾河等四大支流（简称泾洛渭汾河）的水沙变化带来了新的影响。如果不能准确把握黄河中游近期水沙变化对人类活动的响应等问题，就难以了解黄河水沙变化的原因所在，因而就不能判断未来黄河水沙的变化趋势，更不可能科学地制订黄河中游治理方案和黄河治理的战略措施。同时，如果不清楚近年来黄河水沙变化的程度和原因，也难以科学制订新形势下小浪底水库运用方式与运行方案。因此，迫切需要对黄河近期水沙变化及其原因进行系统分析，这是黄河治理开发与管理中迫切需要解决的重大课题。为此，“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”第一课题“黄河流域水沙变化情势评价研究”（课题编号：2006BAB06B01）和黄河水利委员会小浪底基础研究项目“小浪底水库入库水沙条件分析研究”（项目编号：XLDYX07130）中，同时设立了“黄河中游水沙变化成因分析”专题，旨在剖析1997~2006年黄河中游主要产

沙区的水沙变化及其成因,为制订黄河治理规划和治理方案提供科学依据。项目研究自2006年底开始,2009年底结束,历时3年。黄河水利委员会黄河水利科学研究院、黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站、黄河水利委员会水文局黄河水文水资源科学研究院、山西省水资源研究所、黄河水利委员会黄河上中游管理局等单位发挥各自优势,联合开展了研究。

本研究以重点分析1997~2006年黄河中游河龙区间及泾河、北洛河、渭河、汾河流域入黄径流量、泥沙量以及泥沙级配的变化,定量计算水土保持措施减水减沙量,分析人为因素、自然因素对径流泥沙变化影响的权重和水沙变化成因,分析淤地坝拦沙的泥沙级配组成,进而评价人类活动对入黄径流泥沙的影响程度为研究目标。

本研究是“黄河流域水沙变化情势评价研究”课题和“小浪底水库入库水沙条件分析研究”项目中分量最重的专题,工作量大面宽,堪比水利部第二期水沙基金所有相关专题的工作量,研究工作历尽艰辛。研究范围包括河龙区间以及泾河、北洛河、渭河、汾河等“一区间四河”,研究区域总面积约为28.72万 km^2 ,占黄河中游河口镇至桃花峪总面积的83.5%。本研究涉及黄河中游地区雨量站1176个,水文站83个,仅1997~2006年水文资料收集与处理的工作量就非常巨大,整理完成的数据堪称海量。这些水文资料除了涉及黄河水利委员会管辖的水文站网,还涉及陕西、甘肃、宁夏、内蒙古和山西管辖的水文站网,资料收集的难度非常大。在时间紧、任务重、要求高的情况下,全体研究人员克服了水文、水利、水保等资料收集过程中难以名状的困难,高效、圆满地完成了全部研究任务。本研究共设立7个子专题,子专题第一负责人分别为李雪梅、吴永红、李智慧、毕慈芬、曾茂林、张胜利、戴明英,他们工作尽职尽责。其中,毕慈芬、张胜利、戴明英、曾茂林等教授级高级工程师不顾年高体弱,工作严谨认真,起到了表率作用。“献身、求实、负责”的水利行业精神贯穿研究工作的始终,本项研究成果凝聚着全体研究人员的心血和汗水,也是多年研究积累的进一步提炼和升华。

2008年8月下旬,由本研究负责人带队,组织有关研究人员赴黄河中游地区进行了外业调研和考察。在历时半个月的调研过程中,专题组先后考察了汾河流域、河龙区间西部10条支流和关中灌区,重点考察了皇甫川流域和支沟乌兰沟、乌拉素沟坝系以及西黑岱沟小流域坝系建设,沿途考察了黄河中游粗泥沙集中来源区,补充收集了相关资料。在考察过程中,与山西省水资源研究所、内蒙古自治区鄂尔多斯市准格尔旗水保局和水利局、黄河水利委员会晋陕蒙接壤地区水土保持监督局、陕西省榆林市榆阳区水利水保局、延安市水利水保局、延安市宝塔区水利水保局的有关领导

和专业技术人员进行了广泛交流。在西安市,又先后到陕西省水土保持局、陕西省水利厅、陕西省江河水库管理局、黄河水利委员会黄河上中游管理局水政水资源处、黄河流域水土保持生态环境监测中心等单位座谈交流,收集资料。整个考察累计行程 3200 余公里。在此,谨对以上单位和有关人员在外业调研、考察和资料收集过程中给予的帮助表示衷心地感谢!

本项研究成果提出后,由于多方关注,事关重大,曾经进行过三次技术咨询,先后得到了项目咨询专家刘昌明院士、王浩院士、胡春宏、吴保生、薛松贵、陈效国、黄自强、刘晓燕、张金良、郑新民、李景宗、汪习军、姜乃迁、余欣、洪尚池、熊贵枢等教授的指导。根据咨询意见,本项研究第一负责人认真修改了全部研究报告,反复推敲,经多方论证,数易其稿后方才付梓。在此过程中,不少专家都给予了无私的帮助。尤其是“黄河流域水沙变化情势评价研究”课题和“小浪底水库入库水沙条件分析研究”项目第一负责人、黄河水利委员会黄河水利科学研究院总工程师姚文艺教授级高级工程师,更是从各个方面都给予了热情的指导、鼓励和帮助,并对今后研究提出了重要的指导性意见,在此一并致以诚挚地谢意!

本项研究紧密结合黄河治理开发与管理的重大科技需求,研究成果对黄河水沙调控关键技术、黄河泥沙空间配置模式、黄河中游地区水土保持生态建设、黄河多沙粗沙区粗泥沙控制技术研究等都具有直接的技术支撑作用,为黄河治理开发与管理决策提供了新的科学依据。研究成果丰富了业已开展 20 余年的黄河中游水沙变化研究内容,并已被《黄河流域综合规划》(修编)参考。

由于本项研究范围较大,涉及流域众多,参加研究的人员达 90 余人。主要完成人员有冉大川、左仲国、吴永红、李雪梅、张胜利、戴明英、曾茂林、李智慧、毕慈芬、武晓林、董雪娜、王金花、李文红、刘平乐、张攀、李焯、王昌高、康玲玲、武光明、郝茂成、杨春霞、董飞飞、申震洲、杨一松、张志萍、李莉、孙赞盈、金剑、李江虹、王文辉、罗全华、张西宁、常众、程普云、沈梅、郭宝群、王英顺、蒋钢、肖培青、尚红霞、郑艳爽、孙维营、王兵、林银平、高亚军、柏跃勤、屠新武、王静、陈发中、张芳珠、王志勇、李晓宇、田捷、付延红、刘志勇、任波等。

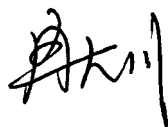
本书是对“黄河中游水沙变化成因分析”专题研究成果和黄河中游近期水沙变化若干重要问题去芜存菁的系统总结和补充提炼,是全体研究人员团结协作、呕心沥血的结晶。全书共分 8 章,具体编写人员为:第 1 章:冉大川、张攀、左仲国、申震洲。第 2 章:2.1 节吴永红、李雪梅;2.2 节曾茂林;2.3 节张胜利;2.4 节戴明英;2.5 节李智慧、武晓林。第 3 章:3.1 节和 3.2 节冉大川、李雪梅;3.3 节李雪梅、冉大川、左仲国;3.4 节

黄河中游近期水沙变化对人类活动的响应

张胜利、戴明英、曾茂林、李智慧、武晓林；3.5 节冉大川、李雪梅；3.6 节李雪梅。第 4 章：4.1 节吴永红、王富贵；4.2 节吴永红、冉大川；4.3 节~4.9 节冉大川、吴永红、张胜利、戴明英、曾茂林、李智慧、武晓林。第 5 章：毕慈芬、左仲国、冉大川、王富贵。第 6 章：6.1 节冉大川、左仲国、吴永红；6.2 节李勇、冉大川、李小平、张晓华；6.3 节冉大川、左仲国；6.4 节张胜利、冉大川；6.5 节冉大川、李雪梅；6.6 节冉大川、申震洲、曾茂林；6.7 节曾茂林、冉大川；6.8 节冉大川；6.9 节张胜利、冉大川。第 7 章：冉大川、左仲国。第 8 章：冉大川。

全书最后由冉大川统稿。

由于研究时间有限，限于作者水平，加之黄河中游近期水沙变化问题的高度复杂性，书中欠妥和不足之处在所难免，竭诚欢迎读者、专家和同仁批评指正，不吝赐教！



2011 年 6 月于郑州

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景	1
1.2 黄河中游近期水土保持概况	2
1.3 黄土高原近期生态变迁	4
1.4 研究目的与意义	6
1.5 研究内容、目标和范围	7
1.5.1 研究内容	7
1.5.2 研究目标	8
1.5.3 研究范围	8
1.6 技术路线	8
1.7 黄河中游水沙变化以往研究综述	9
1.7.1 研究项目综述	10
1.7.2 取得的主要认识	12
1.7.3 研究成果差异简析	13
1.7.4 存在的主要问题	15
第 2 章 黄河中游环境特征及近期水沙变化特点	19
2.1 河龙区间特征及近期水沙变化特点	19
2.1.1 河龙区间环境特征	19
2.1.2 近期水沙变化特点	21
2.1.3 小结	38
2.2 泾河流域特征及近期水沙变化特点	39
2.2.1 泾河流域环境特征	39
2.2.2 近期水沙变化特点	40
2.2.3 “2003. 8. 25”暴雨概况	44
2.3 北洛河流域特征及近期水沙变化特点	45
2.3.1 北洛河流域环境特征	46
2.3.2 近期水沙变化特点	47
2.4 渭河流域特征及近期水沙变化特点	50
2.4.1 渭河流域环境特征	50

黄河中游近期水沙变化对人类活动的响应

2.4.2	近期水沙变化特点	51
2.4.3	2003 年渭河“华西秋雨”简述	62
2.5	汾河流域特征及近期水沙变化特点	63
2.5.1	汾河流域环境特征	63
2.5.2	水利水土保持概况	65
2.5.3	近期水沙变化特点	66
第3章	黄河中游近期水沙变化“水文法”分析	71
3.1	基本概念	71
3.2	计算方法	72
3.2.1	降雨强度对产流产沙的影响机理	72
3.2.2	降雨产流产沙经验模型法	72
3.2.3	降雨影响减水减沙量的计算方法	76
3.2.4	河龙区间未控区减水减沙量的计算方法	76
3.3	河龙区间近期“水文法”计算成果分析	77
3.3.1	有控支流近期减水减沙量计算	77
3.3.2	未控区近期减水减沙量计算	77
3.3.3	河龙区间近期水沙变化水文分析汇总	86
3.4	泾洛渭汾河近期“水文法”计算成果分析	87
3.4.1	泾河	87
3.4.2	北洛河	89
3.4.3	渭河	89
3.4.4	汾河	91
3.5	减水减沙效益的空间分布特点	94
3.5.1	河龙区间西部支流	95
3.5.2	河龙区间东部支流	96
3.5.3	泾洛渭汾河	96
3.6	小结	98
第4章	黄河中游近期水沙变化“水保法”分析	99
4.1	水利水保措施数量核实	99
4.1.1	河龙区间水利水保措施数量核实	99
4.1.2	泾洛渭汾河水利水保措施数量核实	106
4.2	以洪算沙法	111
4.2.1	坡面措施减洪量计算方法	111
4.2.2	“以洪算沙”模型	121
4.3	指标法	123
4.4	淤地坝减洪减沙量计算	128
4.4.1	河龙区间淤地坝减洪减沙量计算方法	128
4.4.2	泾洛渭汾河淤地坝减洪减沙量计算方法	132

4.5	水利措施减水减沙量计算	134
4.5.1	水库减水减沙量计算	134
4.5.2	灌溉减水减沙量计算	135
4.6	河道冲淤量和工业、城镇生活用水量	135
4.6.1	影响河道输沙能力的主要因素分析	135
4.6.2	河道冲淤量计算方法	136
4.6.3	工业、城镇生活用水量	137
4.7	人类活动增洪增沙量	137
4.7.1	陡坡开荒	137
4.7.2	开矿	137
4.7.3	修路	137
4.8	未控区减水减沙量的计算	138
4.9	计算结果分析	138
4.9.1	河龙区间	138
4.9.2	泾洛渭汾河	149
第5章	淤地坝拦沙的泥沙级配组成分析	158
5.1	已有研究综述	158
5.1.1	准格尔旗水利电力局等研究成果	158
5.1.2	刘纯明研究成果	159
5.1.3	徐建华等研究成果	159
5.1.4	毕慈芬等研究成果	159
5.1.5	左仲国等研究成果	160
5.2	取样地点遴选和取样方法	160
5.2.1	皇甫川流域	160
5.2.2	窟野河流域	161
5.2.3	钻孔取样点布设与取样方法	162
5.3	淤地坝拦沙的泥沙级配组成分析	163
5.3.1	钻孔取样基本情况	163
5.3.2	淤地坝拦截粗泥沙百分数排序	165
5.3.3	淤地坝中粗泥沙百分数沿纵向分布规律	167
5.3.4	淤地坝中粗泥沙百分数沿垂线分布规律	168
5.3.5	原生态 $\bar{d}_{50原}$ 与淤地坝 $\bar{d}_{50淤}$ 的关系	168
5.3.6	影响原生态泥沙级配组成的主要因素	170
5.3.7	四种原生态土壤粒径级配组成大小排序	171
5.3.8	各种颜色砒砂岩颗粒级配组成排序	177
5.4	淤地坝“拦粗排细”可行性分析	178
5.4.1	砒砂岩地区土壤侵蚀机理	178
5.4.2	砒砂岩地区暴雨洪水	181

黄河中游近期水沙变化对人类活动的响应

5.4.3 砒砂岩地区营造沟道人工湿地的潜力	183
5.4.4 淤地坝建设对水环境的调节作用	183
5.4.5 相关研究与监测建议	184
5.5 小结	185
第6章 黄河中游近期水沙变化若干重要问题研究	187
6.1 河龙区间近期水保措施拦减粗泥沙不同作用分析	187
6.1.1 近期水利水保措施拦减粗泥沙量分析	187
6.1.2 近期水保措施拦减粗泥沙不同作用分析	190
6.2 粗泥沙集中来源区拦沙工程的拦沙减淤效果	194
6.2.1 不同来源区洪水分组泥沙冲淤特性	194
6.2.2 黄河中游近期拦沙减淤效果	197
6.2.3 《多沙粗沙区拦沙工程规划》拦沙减淤效果	198
6.2.4 小结	201
6.3 基于最大减沙效益的水保措施配置比例分析	201
6.3.1 近期水保措施减洪减沙比例及其变化	202
6.3.2 河龙区间水保措施配置比与减沙比关系分析	204
6.3.3 河龙区间坝地配置比与减沙比分析	205
6.3.4 最大减沙效益对应的水保措施配置比例	206
6.3.5 小结	208
6.4 生态修复对北洛河流域水沙变化的影响分析	208
6.4.1 林率与产流产沙关系	208
6.4.2 小流域生态修复的减水减沙作用分析	210
6.5 近期治理对典型支流水沙关系的影响分析	211
6.5.1 对降雨径流关系及降雨产沙关系的影响	211
6.5.2 对径流泥沙关系的影响	214
6.5.3 小结	216
6.6 泾河流域淤地坝拦沙对降雨的响应分析	216
6.6.1 淤地坝的拦沙减蚀机理	217
6.6.2 淤地坝拦沙量与降雨量关系分析	217
6.6.3 淤地坝拦沙量与洪水量关系分析	220
6.6.4 小结	222
6.7 基于暴雨的水保措施减洪减沙作用分析	222
6.8 减水减沙尺度问题简析	225
6.8.1 淤地坝拦沙量与减蚀量的尺度关系	225
6.8.2 河龙区间减水减沙尺度问题简析	226
6.8.3 泾河流域减沙效益尺度问题简析	229
6.8.4 近期水土保持措施的水文水资源效应	230
6.9 晋陕蒙接壤地区生产建设项目影响评价	231

6.9.1 晋陕蒙接壤地区生产建设项目概况	231
6.9.2 生产建设项目新增水土流失典型调查	231
6.9.3 生产建设项目对水土流失和水资源影响评价	233
第7章 减水减沙计算结果的合理性论证	236
7.1 近期减水减沙总体计算结果	236
7.1.1 “水文法”计算结果	236
7.1.2 “水保法”计算结果	236
7.1.3 河龙区间	236
7.1.4 泾洛渭汾河	237
7.2 降雨影响与综合治理影响	237
7.2.1 河龙区间	239
7.2.2 泾洛渭汾河	239
7.3 近期减水减沙成因	240
7.3.1 水保措施	240
7.3.2 水利措施	243
7.3.3 水利水保措施	244
7.3.4 封禁治理	244
7.3.5 河道冲淤	245
7.3.6 人为新增水土流失	245
7.4 计算结果的合理性论证	245
7.4.1 与“水沙基金”2的对比	245
7.4.2 其他旁证	246
7.4.3 成果合理性分析	248
7.5 研究小结	250
7.5.1 黄河中游地区近期减水减沙结果	250
7.5.2 河龙区间近期减水减沙结果	251
7.5.3 泾洛渭汾河近期减水减沙结果	251
7.5.4 人类活动与降雨变化对近期减水减沙的影响	251
7.5.5 近期水利水土保持措施的减水减沙作用	252
第8章 结论与展望	253
8.1 取得的研究成果	253
8.2 主要研究进展	256
8.3 研究建议与展望	257
参考文献	259

第1章 绪 论

1.1 研究背景

黄河流域黄土高原地区，西起日月山，东至太行山，南靠秦岭，北抵阴山，涉及青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南等七省（自治区），总面积 64 万 km^2 ，其中水土流失面积 45.4 万 km^2 ，占总面积的 70.9%，是我国乃至世界上水土流失最严重、生态环境最脆弱的地区。黄土高原地区水土流失面积中，侵蚀模数大于 5000 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的强度水蚀面积 14.6 万 km^2 ，占黄河中游地区水土流失面积的 32%，占全国同类面积的 39%；侵蚀模数大于 8000 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的极强度水蚀面积 8.5 万 km^2 ，占黄河中游地区水土流失面积的 18.7%，占全国同类面积的 64%；侵蚀模数大于 15 000 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的剧烈水蚀面积 3.67 万 km^2 ，占黄河中游地区水土流失面积的 8%，占全国同类面积的 89%。局部地区的侵蚀模数甚至超过 30 000 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。黄土高原多年平均进入三门峡的泥沙达 16 亿 t，年均含沙量 37.8 kg/m^3 ，居世界各大河流之冠。黄土高原由于自然条件与人类活动的交织作用，形成了严重的水土流失。黄土高原的水土流失具有以下特点：①水土流失面积大、强度高；②形态多样，而沟蚀特别严重；③产沙区域集中；④水土流失的年际和年内季节分布不均；⑤人为破坏新增水土流失十分严重。

黄河中游黄土高原地区水土流失类型多样，成因复杂。黄土丘陵沟壑区、黄土高原塬沟壑区、土石山区、风沙区等主要类型区的水土流失特点各不相同。水蚀、风蚀等相互交融，特别是由于深厚的黄土土层和其明显的垂直节理性，沟道崩塌、滑塌、泻溜等重力侵蚀异常活跃。严重的水土流失不仅造成了该地区的贫困，制约了经济社会的可持续发展，而且加剧了荒漠化的发展和其他灾害的发生，特别是大量泥沙淤积在下游河道，使河床不断抬高，成为地上悬河，大大加剧了洪水威胁。同时，为减轻下游河道淤积，必须保证一定的冲沙用水，客观上又减少了黄河流域的可调水量，加剧了水资源的供需矛盾（黄河水利委员会，2002）。黄河流域水资源利用率已达到 70%，远大于 40% 的国际限制标准。黄河已由过去的“善淤、善决、善徙”转变为“水少、水脏、河悬”。黄河中游 7.86 万 km^2 的多沙粗沙区尤其是 1.88 万 km^2 的粗泥沙集中来源区，水土流失尤为严重，是黄河流域水土保持综合治理的重中之重。

1997 年以来的 10 年间，黄河中游水土保持综合治理力度明显加大，水土保持生态工程建设、生态修复和封禁治理、淤地坝“亮点工程”建设等多种治理手段齐头并进，治理速度明显加快，治理度迅速提高。与此同时，煤矿开采、交通设施建设、水资源开发利用等各种人类活动日益强烈。由于黄河中游下垫面发生了比较明显的变化，由此对黄河中游水沙变化产生了新的影响并带来了一系列新的问题，径流泥沙锐减趋势

更为明显,急需开展研究。为此,“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”第一课题“黄河流域水沙变化情势评价研究”(课题编号:2006BAB06B01)和黄河水利委员会小浪底基础研究项目——“小浪底水库入库水沙条件分析研究”(项目编号:XLDYX07130)中,同时设立了“黄河中游水沙变化成因分析”专题,在以往研究的基础上,对黄河中游近期(1997~2006年)水沙变化继续开展研究。

1.2 黄河中游近期水土保持概况

1997年以来,黄河中游地区水土保持工作进展迅速。特别是江泽民同志作出“再创造一个山川秀美的西北地区”的重要批示以来,黄河中游地区水土保持工作进入了快速发展的新阶段。1997年国家开始实施西部大开发战略;2000年以来黄河中游地区水土保持生态工程建设全面展开,生态修复和封禁治理试点工作相继开展;2003年开始全面启动“亮点工程”——黄土高原地区水土保持淤地坝工程建设。黄河中游地区成为黄土高原和黄河流域水土保持工作大力开展的主战场,以小流域为单元,打坝淤地,植树种草,禁伐封育,退耕还林,实施综合治理,水土流失治理速度明显加快,综合治理工作成效显著,硕果累累。

近期黄河流域水土保持工作以黄河粗泥沙集中来源区和沟道拦沙工程为重点,坚持综合治理与预防监督并进、人工治理与生态自我修复相结合。水土保持综合治理工作继续稳步推进,取得了新的成绩。水土保持措施初步治理面积累计达21万 km^2 。根据有关资料统计,2006年黄河流域共完成水土流失综合治理面积1.238万 km^2 ,其中,建设基本农田140822 hm^2 ,营造乔木林181666 hm^2 、灌木林296517 hm^2 、经济林135114 hm^2 ,人工种草220594 hm^2 ,实施封禁治理263309 hm^2 。全年完成淤地坝建设326座,建成小型水利水保工程38552座(处)。

作为黄河中游地区水土流失最为严重省份之一的陕西省,多沙粗沙区面积4.35万 km^2 ,占黄河中游多沙粗沙区面积7.86万 km^2 的55.3%;粗泥沙集中来源区面积1.504万 km^2 ,占黄河中游粗泥沙集中来源区面积1.88万 km^2 的80%。改革开放30年来累计投入治理资金60亿元,实施综合治理小流域2600多条,累计治理水土流失面积4.5万 km^2 ,年均拦蓄泥沙1.3亿t。建设淤地坝4万座,其中延安、榆林两市共有3.56万座;淤地6.6万 hm^2 ,年增产粮食3亿kg。全省有72个县实施了封山禁牧,封禁面积达到900万亩(折合60万 hm^2),退耕还林面积1528.8万亩(折合101.92万 hm^2),位居全国第一。全省林草覆盖率已由30%提高到45%。

根据黄河中游水土保持委员会原主任委员、陕西省原省长袁纯清(现任中共山西省委书记)2007年9月在宁夏银川召开的黄河中游水土保持委员会第九次会议上所作的工作报告,2003年以来,在党中央、国务院的高度重视和关怀下,在国家有关部委的大力支持下,黄土高原地区水土保持生态建设取得了显著成效,特别是作为全国水利建设“三大亮点”工程之一的淤地坝工程,建设速度加快,成效显著,黄河上中游地区水土流失综合防治工作取得了新的进展。2003~2007年的4年间,国家先后安排

专项资金开展了125条小流域坝系试点工程建设,目前已建成各类淤地坝2995座,其中,骨干坝629座、中小型坝2366座,形成了宁夏聂家河、青海景阳沟、甘肃称钩河、内蒙古西黑岱、陕西碾庄沟、山西康和沟、河南砚瓦河等一批防护体系完善、综合效益好的坝系。这些淤地坝,使3000多平方千米的水土流失面积得到了控制,可蓄滞洪水4亿 m^3 ,拦截泥沙5亿t,淤地8万多亩(折合约5333 hm^2),发展水浇地、保护下游农田10多万亩(折合约6667 hm^2)。黄河中游水土保持委员会第八次会议召开以来的两年间,黄河上中游地区共完成水土流失初步治理面积2.5万 km^2 ,其中,建设基本农田470万亩(折合约31.33万 hm^2),营造水土保持林草2600万亩(折合约173.33万 hm^2),实施生态修复面积4500 km^2 ;黄河水土保持生态工程、国家农业综合开发水土保持工程等重点建设项目取得了新进展,建成了一大批示范工程。水土保持预防监督工作深入开展,完成了涉及10余个行业的300多个大中型开发建设项目的执法督察,大幅度提高了开发建设项目的水土保持方案审批率、监测监理实施率、规定费用收缴率和竣工设施验收率,使水土保持“三同时”制度得到进一步落实,有效遏制了人为的水土流失现象。

长期的水土保持实践经验证明,淤地坝是黄土高原水土流失防治的重要措施,在水土流失治理中具有不可替代的作用;它是快速减少入黄泥沙、减轻黄河下游河道泥沙淤积、实现“河床不抬高”最有效的工程措施,在黄土高原地区小流域治理中对泥沙具有绝对的控制性作用。根据以往研究成果(冉大川等,2000),作为黄河中游多沙粗沙区淤地坝分布最为集中的河口镇至龙门区间(简称河龙区间),1970~1996年淤地坝减沙量占水土保持措施减沙总量的64.7%。1970~1996年,河龙区间淤地坝较多的四条典型支流皇甫川、窟野河、无定河和三川河流域的淤地坝减沙量分别占水土保持措施减沙总量的57.8%、37.2%、62.1%和72.2%。因此,淤地坝是拦减黄河中游泥沙的关键措施和主要工程措施。根据有关资料统计,黄土高原现有10万多座淤地坝,截至2006年年底,黄土高原淤地坝累计拦截入黄泥沙逾210亿t。

黄土高原地区水土流失十分严重,每年输入黄河的泥沙达16亿t。黄土高原土质疏松、沟壑纵横,长度大于0.5km的沟道就有27万多条,入黄泥沙总量的60%以上都来自这些沟道。在长期的治理实践中,当地农民群众创造出了在沟道建设淤地坝的水土保持工程措施。根据调查,一座大型淤地坝平均可拦截泥沙8000t,中型淤地坝平均可拦截泥沙6000t,小型淤地坝平均可拦截泥沙3000t。从2003年起,水利部安排专项资金,启动实施了黄土高原地区水土保持淤地坝试点工程。淤地坝试点工程涉及陕西、甘肃、宁夏、青海、山西、内蒙古等6省(自治区)。到2006年年底,这些省区总共建成各类淤地坝2995座,形成了一批防护体系完善的坝系。根据水利部初步测算,加上早年建设的淤地坝,目前黄土高原的淤地坝已达10万多座。仅2003年以来建设的淤地坝就使3000多平方千米的水土流失面积得到控制,累计蓄滞洪水4亿 m^3 ,拦截泥沙5亿t。

根据国家“十一五”科技支撑计划重点项目第一课题第二专题承担单位黄河水利委员会(简称黄委会)黄河上中游管理局2008年10月30日提供的最新数据,截至2006年年底,黄河中游地区(河龙区间及泾洛渭汾河)水土保持措施累计保存面积1122.33万 hm^2 。其中,梯田累计保存面积285.25万 hm^2 ,林地累计保存面积

595.3 万 hm^2 ，草地累计保存面积 144.0 万 hm^2 ，坝地累计保存面积 13.12 万 hm^2 ，封禁治理累计保存面积 84.66 万 hm^2 ，治理度为 39.1%。

1.3 黄土高原近期生态变迁

退耕还林种草和实施生态修复是黄土高原近期生态变迁的主要影响因素。自 1997 年 8 月江泽民同志发出“再造一个山川秀美的西北地区”的号召以来，国家实行“退耕还林，封山绿化，个体承包，以粮代赈”的政策，大大促进了黄土高原地区的生态环境建设。近年来，退耕还林种草规模很大，进展很快。根据有关资料统计，退耕还林工程自 1999 年开始试点，2002 年全面启动，实施范围涉及 25 个省（自治区、直辖市）和新疆生产建设兵团的 2279 个县（含县级单位）、3200 多万农户、1.24 亿农民。截至 2007 年，已累计完成退耕地造林 1.39 亿亩、荒山荒地造林 2.05 亿亩、封山育林 0.2 亿亩，国家已投资 1300 多亿元。

黄土高原近期生态变迁以陕西省最为明显。陕西省地处黄土高原腹地，西部大开发 10 年来，生态环境有了明显改观，生态状况实现了从“整体恶化、局部好转”向“总体好转、局部良性循环”的历史性转变。陕西省把生态环境建设作为实施西部大开发的切入点，组织实施了退耕还林、天然林保护和“三北”防护林建设等林业重点工程 and 大规模的水土保持生态建设工程，森林覆盖率由 1999 年的 32.55% 提高到现在的 37.26%，是历史上增幅最大、增长最快的时期。退耕还林染绿了陕西版图，2000 年的《陕西遥感植被覆盖图》上陕西北部一片土黄色，2009 年的图上整个陕西基本被绿色覆盖，长城沿线风沙区由 2000 年的黄色变为 2009 年的绿黄色，部分区域变为淡绿色；陕北黄土高原、渭北高原一带由 2000 年的绿黄色变为 2009 年的淡绿色，延安市北部各县（区）现已基本转变为中覆盖度植被，部分区域已成为高覆盖度植被。国家作出退耕还林的重大决策后，延安市在全国率先开展了大规模的退耕还林，全国退耕还林第一县——吴起县通过退耕还林还草，使森林覆盖率由 1997 年的 13.2% 提高到 2009 年的 38.2%，土壤年侵蚀模数由 1.53 万 t/km^2 下降到 0.54 万 t/km^2 。退耕还林使延安市林地面积覆盖率提高了 9 个百分点，水土流失治理程度提高了 25%，生态环境恶化的势头已初步遏制（赵侠，2010）。

生态修复是在特定的区域内，依靠生态系统的自组织和自调控能力的单独作用，或依靠生态系统的自组织和自调控能力与人工调控能力的复合作用，使部分或完全受损的生态系统恢复到相对健康的状态。水土保持生态修复是具有普遍意义的生态修复的一种类型（杨爱民等，2005）。根据黄委会黄河上中游管理局有关资料（梁其春等，2007），1998 年以来，黄河上中游各省（自治区）按照水利部治水新思路，结合黄土高原实际，将水土保持生态修复工作作为生态环境建设的一项重要内容来抓，积极开展生态修复试点工作。2001 年，黄委会在黄河上中游地区启动实施了两期水土保持生态修复试点工程，涉及 7 省（自治区）20 个县（旗），封育保护面积达 1300 km^2 ；2002 年，在总结首批试点经验的基础上，水利部又在黄河上中游 7 省（自治区）22 个县的 6300 km^2 范围内，启动实施了全国水土保持生态修复试点工程。目前黄河上中游 7 省

(自治区)已有54个地(市)、294个县(市、旗)实施封禁保护面积近30万 km^2 ,陕西、青海、宁夏3省(自治区)人民政府发布了实施封山禁牧的决定;山西、内蒙古、甘肃、河南4省(自治区)的36个地(市)、168个县(旗、区)出台了封山禁牧政策。青海省在黄河源区12万 km^2 范围内实施了水土流失预防保护工程。黄河上中游地区的封山禁牧在规模、范围和成效方面取得了历史性突破。

实施生态修复后,修复区灌草萌生的速度明显加快,裸地自然郁闭,植被覆盖度大幅度提高,生态环境明显改善。根据黄河上中游地区24个试点县的监测结果,修复区林草总盖度在60%以上的面积由修复前的297 km^2 增加到1262 km^2 ,林草覆盖度由实施前的27.5%提高到60%,草场每公顷平均产草量由3000kg提高到30000kg。植被由单一类型向复合型、多种群发展。项目区最明显的变化是山变绿、水变清、动物种类数量明显增多。宁夏盐池县和灵武县修复三年后,基本控制了风沙危害,连片的浮沙地和明沙丘基本消失,冬春两季大风弥漫的现象基本得到控制,水土流失强度明显降低。通过封山禁牧、疏林补植、退耕种草、人工抚育等措施,地上生物量、枯落物量明显增加,植被截持降水能力和土壤拦蓄径流能力有了不同程度的提高,水土流失强度明显减弱。

植被的恢复或重建是黄土高原生态环境建设的核心,也是建立一个“山川秀美”的黄土高原的基础。中国科学院地理科学与资源研究所信忠保等通过分析国际广泛使用的美国航空航天局(NASA)全球监测与模型研究组(GIMMS)发布的MVC和比利时佛莱芒技术研究所发布的SPOTVGT两种植被遥感数据,揭示了1981~2006年黄土高原植被覆盖变化情况。研究表明,黄土高原地区植被覆盖经历了以下4个阶段:①1981~1989年植被覆盖持续增加时期;②1990~1998年以小幅波动为特征的相对稳定时期;③1999~2001年植被覆盖迅速下降时期;④2002~2006年植被覆盖迅速上升时期。黄土高原地区植被覆盖变化存在显著的空间差异。内蒙古和宁夏沿黄农业灌溉区和鄂尔多斯退耕还林还草生态恢复区的植被覆盖明显提高,而黄土丘陵沟壑区和六盘山、秦岭北坡等山地森林区的植被覆盖明显退化。从不同的植被类型来看,沙地、草地和耕地的归一化植被指数(NDVI)上升趋势显著,而森林植被的NDVI呈明显的下降趋势。植被覆盖变化是气候变化和人类活动共同作用的结果。黄土高原地区气候变暖在加剧土壤干燥化、抑制夏季植被生长的同时,提高了春、秋季节植被生长活性,延长了植被生长期。黄土高原地区植被覆盖和降水关系密切,降水变化是植被覆盖变化的重要原因。农业生产水平的提高致使农业区NDVI在不断上升,同时,正在黄土高原大规模进行的退耕还林还草工程建设,其生态效应也正在呈现(信忠保等,2007)。

这一研究从另一个角度证明了我国自退耕还林政策试点实施以来,虽然降水量有所下降,但黄土高原的植被覆盖率明显提高,这对退耕还林政策的效果是一个肯定。该研究还表明,气候变化是黄土高原地区植被覆盖时空变化的重要影响因素,但人类活动也是不可忽视的驱动因素之一。这一研究工作的创新之处在于,基于两种遥感植被数据,从气候变化和人类活动两个方面探讨了植被覆盖变化的驱动机制,其研究结果对于理解植被变化对全球气候变化的响应,特别是帮助理解陆地生态系统的动态变化驱动机制有着重要的意义,也对评估当前黄土高原生态植被恢复的效果有一定意义。