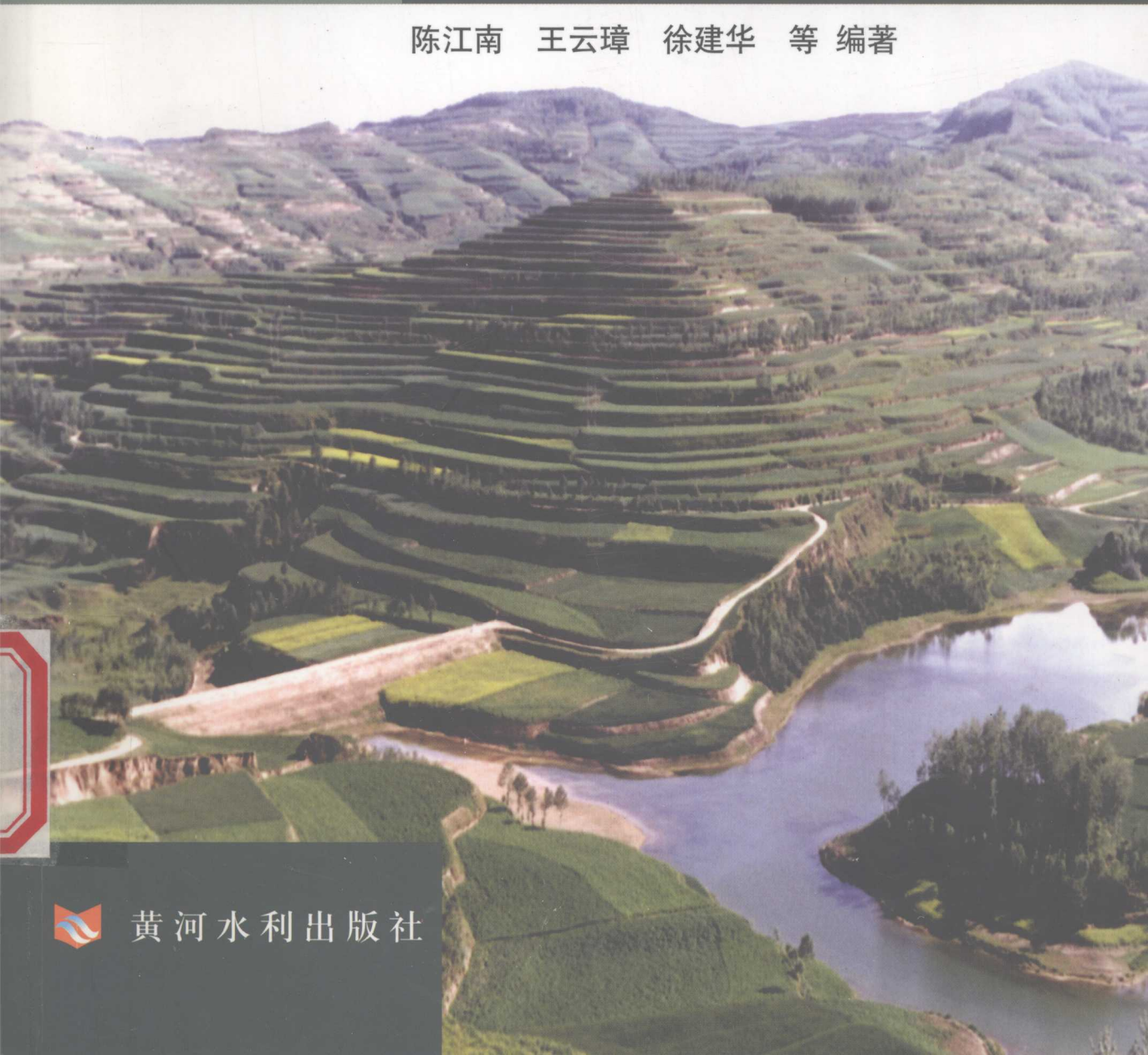


黄河水利委员会水土保持科研基金项目

黄土高原水土保持 对水资源和泥沙影响 评价方法研究

陈江南 王云璋 徐建华 等 编著



黄河水利出版社

黄河水利委员会水土保持科研基金项目

黄土高原水土保持对水资源和 泥沙影响评价方法研究

陈江南 王云璋 徐建华 等 编著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书以现有研究成果为基础,采用典型调查、模拟试验、资料收集、文献查阅、科学总结、深入分析与系统集成相结合的研究方法,以黄土高原产流产沙机制和水土保持措施蓄水拦沙机理研究为切入点,提出了不同类型区和不同降雨条件下的水土保持措施蓄水拦沙指标体系,建立了基于水土保持作用的流域降雨产流模型,初步解决了指标众多、计算结果差别较大、给水土保持措施作用评价带来诸多不便的问题,在黄河流域水土保持规划、效益评价、水沙变化原因分析、大面积水土保持措施实施后的效果预测等方面具有广阔的应用前景,对于合理评价水土保持措施作用、优化水土保持措施布局以及科学开展黄河水土保持生态建设具有重要意义。可供从事水土保持及水文泥沙研究的专业技术人员、治黄科技工作者阅读,也可作为有关大专院校师生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

黄土高原水土保持对水资源和泥沙影响评价方法研究/
陈江南等编著. —郑州:黄河水利出版社,2004.12
黄河流域水土保持科研基金项目
ISBN 7-80621-852-1

I. 黄… II. ① 陈… III. ① 黄土高原-水土保持-影响-黄河-水资源-评价-方法-研究②黄土高原-水土保持-影响-黄河-泥沙-评价-方法-研究
IV. TV882.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 111756 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail: yrcp@public. zz. ha. cn

承印单位:河南第二新华印刷厂

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:18.5

字数:420 千字

印数:1—2 000

版次:2004 年 12 月第 1 版

印次:2004 年 12 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-852-1/TV·377

定价:48.00 元

研究课题完成单位及人员

课 题 名 称	水土保持生态环境建设对黄河水资源和泥沙影响 评价方法研究
主 持 单 位	黄河水利委员会黄河水利科学研究院 黄河水利委员会水文局
主要完成单位	黄河水利委员会黄河水利科学研究院 黄河水利委员会水文局 中国科学院水利部水土保持研究所 西北农林科技大学
项 目 负 责 人	陈江南 王云璋 徐建华
主要完成人员	陈江南 王云璋 徐建华 王国庆 熊维新 康玲玲 穆兴民 吴发启 金双彦 史学建 李雪梅 徐学选 王 健 戴明英 曾茂林 张胜利 彭乃志 李皓冰 杨剑锋 刘立斌 刘志刚 张培德 赵晓光 王志勇 刘红梅 王昌高 荆新爱 高亚军 左仲国 李 勉 吴 卿 杨春霞 陈润梅 陈发中

前 言

“水土保持生态环境建设对黄河水资源和泥沙影响评价方法研究”属第三期黄河流域水土保持科学研究基金攻关课题。课题研究从2000年12月开始,经过课题组成员4年的联合攻关,已取得了许多有价值的成果。课题从研究黄土高原产流产沙机制及水土保持措施对水资源和泥沙影响机理入手,在总结黄土高原水土保持措施蓄水拦沙作用研究已有成果的基础上,通过深入分析研究,提出的黄土高原水土保持蓄水拦沙指标及水沙影响评价模型,为开展黄河水土保持生态建设规划、科学评价水土保持生态建设的作用和效益提供了基本方法,具有较强的针对性和科学性,对实现黄河河道不断流、河床不抬高的战略目标,维持黄河健康生命具有重要意义。

本课题共设置4个专题开展研究,各专题的负责单位及参加人员如下:

第一专题,由黄河水利委员会水文局、西北农林科技大学负责,主要参加人员为:徐建华、吴发启、金双彦、王健等。

第二专题,由黄河水利委员会黄河水利科学研究院负责,主要参加人员为:康玲玲、陈江南、王云璋、曾茂林、戴明英、刘立斌等。

第三专题,由黄河水利委员会黄河水利科学研究院、中国科学院水利部水土保持研究所负责,主要参加人员为:王国庆、穆兴民、徐学选、李雪梅、李皓冰等。

第四专题,由黄河水利委员会黄河水利科学研究院、黄河水利委员会水文局负责,主要参加人员为:史学建、李雪梅、张胜利、彭乃志、杨剑锋等。

在课题研究过程中,自始至终得到了汪习军、时明立、秦鸿儒等专家的悉心指导,黄河水利委员会黄河水利科学研究院、黄河水利委员会水文局、西北农林科技大学、中国科学院水利部水土保持研究所的领导给予了高度关注和大力支持,在此一并表示感谢!

本专著是在“水土保持生态环境建设对黄河水资源和泥沙影响

评价方法研究”课题研究成果的基础上提炼、编撰而成的。各章节的编写人员为：第一章，由陈江南、王云璋、徐建华编写；第二章，第一节由金双彦编写，第二节由吴发启、王健编写，第三节、第四节由金双彦、李雪梅编写，整章由徐建华统稿；第三章，由康玲玲、陈江南编写，由王云璋、戴明英、曾茂林统稿；第四章，第一节、第四节、第六节由王国庆编写，第二节、第五节由李雪梅、王国庆编写，第三节由徐学选、穆兴民编写，整章由王国庆统稿。全书由陈江南、王云璋、徐建华统稿。

由于组织撰写、编辑出版整个过程时间比较仓促，加之水平所限，难免有偏颇、不足之处，敬请读者批评指正。

编著者

2004年8月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 研究背景	(1)
第二节 研究内容与方法	(3)
第三节 研究取得的主要成果与结论	(5)
第四节 研究的特点与创新	(13)
第五节 研究成果的应用前景	(13)
第二章 产流产沙机制及水土保持措施对水资源和泥沙影响机理分析	(14)
第一节 不同类型区产流产沙机理	(14)
第二节 坡面措施蓄水保土机理及作用	(39)
第三节 坝库工程对径流泥沙影响机理	(67)
第四节 水土保持生态建设对水资源的影响	(96)
第五节 小 结	(112)
第三章 水土保持措施蓄水拦沙指标体系的评价与研究	(115)
第一节 蓄水拦沙指标体系的回顾与评价	(116)
第二节 蓄水拦沙指标的分析与确定	(145)
第三节 蓄水拦沙指标体系的建立	(180)
第四节 蓄水拦沙指标在典型流域中的应用	(190)
第五节 主要结论与问题讨论	(208)
第四章 水土保持对径流泥沙影响评价模型研究	(211)
第一节 流域产流产沙数学模型研究概况	(211)
第二节 降雨产流产沙统计模型	(222)
第三节 基于水土保持效应的水保水文模型方法	(245)
第四节 黄河月水文模型及改进的通用土壤侵蚀方程	(263)
第五节 基于填洼理论的水土保持效益评价模型	(274)
第六节 结论与讨论	(283)
参考文献	(285)

第一章 绪 论

黄河是我国的第二大河流,是中华民族摇篮,流域幅员广大,资源丰富。同时,频繁的水旱灾害给两岸人民带来了深重的灾难,被称为“中国之忧患”。

人民治黄 50 多年来,取得了举世瞩目的巨大成就。但由于黄河是世界上最复杂、最难治理的河流,许多自然规律仍未被认知和掌握,黄河存在的三大问题依然十分突出,洪水威胁仍然是国家的心腹之患,水资源供需矛盾日益尖锐,水土流失和生态环境恶化尚未得到有效遏制,严重威胁着沿黄人民生命和财产的安全,制约着流域及沿黄地区的经济社会发展。

黄河治理和开发建设的难点在于水少沙多。下游河道淤积的泥沙主要来源于黄土高原地区(特别是 7.86 万 km^2 的多沙粗沙区),该区水土流失面积高达 45.4 万 km^2 ,约占总土地面积的 71%,每年输入黄河的泥沙量达 16 亿 t,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。新中国成立后,黄土高原地区作为我国水土保持工作的重点地区,得到党和国家的高度重视,在全国率先开展了大规模的水土流失治理活动。50 多年来,黄土高原地区的水土流失治理取得了显著成效。根据观测资料分析,20 世纪 70 年代以来,水土保持措施年均减少入黄泥沙 3 亿 t 左右。毋庸置疑,黄土高原水土保持是一项防治水土流失、改善生态环境、促进当地经济发展的根本措施,并对黄河水资源和泥沙产生重要影响。

为了有效控制黄土高原水土流失,减少洪水泥沙的危害,实现黄河下游“堤防不决口”、“河床不抬高”,谋求黄河长治久安的治本之策,必须及时了解和掌握黄土高原水土保持对水资源和泥沙影响情势,而要获得科学、可信的认识,并以此来指导水土保持规划和流域治理工作,首先必须研究建立一套既反映客观实际又具有理论基础,且便于操作的评价方法。

第一节 研究背景

针对 20 世纪 80 年代以来黄河水沙来量的显著减少,自 1988 年起,水利部第一期黄河水沙变化研究基金、黄河流域第一期水土保持科研基金、国家自然科学基金、国家“八五”重点科技攻关项目、黄河水利委员会黄河上中游管理局“八五”重点攻关项目、水利部第二期水沙变化研究基金等先后立项开展了以黄土高原支流水沙变化为重点的系列研究,取得了丰硕成果。其中,评价水土保持对水资源和泥沙影响的方法大致可区分为水保法和水文法,这两种方法研究的主要进展如下。

一、关于水保法

传统水保法是根据水土保持试验站(所)对各项水土保持措施蓄水拦沙作用的观测资料,按各项措施分项计算后逐项相加,并考虑流域产沙在河(沟)道运行中的冲淤变化以及

人类活动新增水土流失数量等,计算水土保持蓄水拦沙作用的一种方法。这种方法特别强调的是成因,因此水保法也叫成因分析法。该方法的主要优点包括:一是能直观了解在实施各项措施的土地上土壤侵蚀减轻的程度;二是能在一定范围内检验水文法计算结果的合理性;三是不仅能分析计算现状治理措施的蓄水拦沙作用,而且能预测规划治理措施的蓄水拦沙效益。其不足之处有二:一是将小区观测资料移用到大、中流域时,存在人为指定性;二是各项水土保持措施分项计算逐项相加难以反映产流产沙过程中的内在联系。

为了克服传统水保法的上述缺陷,近年来在水保法方面取得的主要进展是提出了坡面措施“以洪算沙”的方法。这种方法的出发点是: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出水土保持措施的减洪量,便可利用洪水径流与泥沙的良好关系计算出减沙量。因此,建立坡面措施减洪指标体系,实现小区到大流域的转化是这种方法的关键。为实现这种转化,首先根据小区观测资料,计算出小区不同洪量频率不同雨量级下各项坡面措施减洪指标,然后再计算出流域坡面措施减洪指标体系,为此需消除时段、点面、地区的差异。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,又具有较合理的点面修正办法,可综合给出历年不同流域坡面措施减洪指标,改进了传统水保法的人为指定性,取得了一定进展。但由于该方法是近期提出的一种新方法,目前还不够成熟,仍存在不少问题,例如,如何建立流域各项措施减洪指标体系,哪些措施的拦洪量参与“以洪算沙”等,特别是将以洪算沙方法运用至沟道工程时还需在实践中不断完善。

二、关于水文法

水文法是利用水文泥沙观测资料分析包括水土保持蓄水拦沙作用在内人类活动影响的一种方法,主要有数学模型和统计模型。

(一)暴雨产流产沙数学模型

近年来,随着实际工作的需要和暴雨产流产沙机制研究的不断深入,我国一些学者针对黄河中游地区开展了大量数学模型的研究,提出了不少暴雨产流产沙数学模型,并在黄河重点多沙粗沙支流水沙变化原因分析中应用。其中代表性数学模型有:清华大学谢树楠等提出的黄河中游暴雨产沙模型,在“八五”攻关中对黄甫川流域水沙变化原因进行了分析,取得了良好结果;河海大学汤立群等提出的产沙过程分散性数学模型,在“八五”攻关中用于大理河水沙变化原因分析也取得了良好结果。这类模型的原理是基于侵蚀力学、泥沙运动力学、水力学、地貌学等基本理论,利用多种数学方法,把侵蚀产沙、水沙汇流及泥沙沉积的物理过程经过一定的简化,以数学形式表达的因变量与自变量之间的关系。其主要进展是:①在时间上划小计算时段,在空间上划分为若干单元流域,较好地反映了降雨和下垫面时空分布不均的特性;②模型的建立具有较好的理论基础,模型结构基本上反映了产流产沙机理,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蓄水拦沙效益计算;④模型计算结果较合理,有一定精度。

这类模型的主要问题是:①模型对降雨和下垫面资料要求较高,有些参数目前还难以

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模型难以分离各种水土保持措施的作用;④存在着模型的经验性带来的局限性问题。

(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,其基本原理是基于对降雨产流产沙基本规律的分析,建立有一定精度的治理前流域产流产沙模型,然后将治理后降雨条件代入还原计算相当于治理前的产流产沙量,再与治理后的实测水沙量比较,从而求得水土保持措施对水沙的影响量。这类模型的主要进展是:①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;②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;③改进了水沙计算模式,细化了计算时段。

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的情况下,对于大面积水沙变化计算不失为一种有效方法。但水文统计模型也存在不少问题:①模型建立所依据的基准期资料较少,精度偏低,虽经插补和展延,但插补和展延本身存在误差,这些误差必然会带到计算结果中去;②黄土高原支流河道一般具有“小水淤、大水冲”的特点,20世纪80年代以来,暴雨洪水偏少,侵蚀泥沙可能会在河道中暂时滞留,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,模型如何反映河道冲淤变化还有待深入研究;③模型一般以月(或汛期)为计算时段,而暴雨产沙往往是在几小时内形成的,模型对于暴雨的产流产沙过程反映不够。

由于问题的复杂性和主客观条件所限,已有研究中用以评价水土保持对水资源和泥沙影响的方法较多地建立在定性分析和数理统计的基础上,尽管具有一定的可操作性,但尚缺乏坚实的物理概念和理论基础,具有区域适用性不强等弊端。因此,从机理分析着手,以实用性和易操作性为原则,以建立一套黄土高原水土保持对水资源和泥沙影响评价方法为研究目的,进而科学、定量地评估水土保持对水资源和泥沙的影响,是做好水土保持生态工程规划和水资源合理开发利用的基础性应用研究。对寻求防治水土流失措施、改善区域生态环境,以及为黄河下游防洪规划和河道整治提供技术支撑等方面都具有十分重要的现实意义。

第二节 研究内容与方法

一、主要研究内容

本课题在分析黄土高原产流产沙机制及水土保持措施对水资源和泥沙影响机理的基础上,以黄土高原典型支流孤山川、无定河、延河、三川河等为主要研究对象,通过系统总结已有评价方法,进行水土保持对水资源和泥沙影响评价方法的开拓性研究,建立具有一定区域适应性和可操作性的水土保持对水资源、泥沙影响的评价指标体系和模型,为黄土高原水土资源规划与管理、水土流失治理效果的评估提供技术支撑。

对已有的水保法、水文法的适用性、局限性、差异及关联进行分析评价;提出适用于不同类型区和不同降水条件下的水土保持措施蓄水拦沙指标体系;建立适用于不同类型区

的水土保持生态建设对水资源和泥沙影响的评价方法。本课题共设置四个专题开展研究,其主要研究内容如下。

(一)黄土高原产流产沙机制及水土保持措施对水资源泥沙影响机理分析

1. 黄土高原不同类型区产流产沙机制研究

以黄土丘陵沟壑区、砒砂岩区和风沙区为重点,分析不同水土流失类型区降水、径流、泥沙间的关系和流域的汇流、输沙特性,研究不同水土流失类型区的产流产沙机制。

2. 不同水土保持措施对水资源、泥沙影响机理分析

分析不同水土流失类型区在水土保持措施实施前、后的降水、径流、输沙过程变化及其相关关系,评判不同水土保持措施对流域产流产沙的影响,研究不同水土保持措施在不同降水条件下对水资源和泥沙的影响机理。

(二)水土保持措施蓄水拦沙指标体系的评价与研究

1. 现有水土保持措施蓄水拦沙指标体系的分析评价

分析现有水土保持措施蓄水拦沙指标体系的适用条件,评判水土保持措施蓄水拦沙指标体系在不同条件下计算的蓄水拦沙效益偏差。

2. 水土保持蓄水拦沙效益评价指标体系研究

在进行现有水土保持措施蓄水拦沙指标体系分析评价基础上,采用对比分析途径,提出不同水土保持措施在不同类型区和不同降水条件下的蓄水拦沙指标。

(三)水土保持措施对水资源泥沙影响评价模型研究

1. 已有的水土保持措施对水沙影响评价模型的分析与评判

分析评价模型的结构、参数体系、适用条件及物理意义;评价模型在水土保持效益计算中的有效性。

2. 水土保持对水资源、泥沙综合影响评价模型研究

在上述分析基础上,根据产汇流及产输沙机制,遴选、改进或建立不同类型区水土保持对水资源、泥沙影响评价模型。

3. 水土保持措施对水资源、泥沙影响评价方法在延河等流域中的应用与检验

利用评价模型和指标体系,评价延河等流域水土保持措施对水资源和泥沙的影响,分析计算成果的合理性,检验水土保持措施蓄水拦沙评价指标体系和评价方法的区域适应性。

二、研究方法

针对课题研究已有的工作基础,主要采用调查研究、科学总结、深入分析与系统集成相结合的研究方法,其中,水土保持措施的蓄水拦沙指标体系和水沙影响评价模型是本次研究的关键,核心技术是建立评价模型,具体采用以下技术路线:

(1)基于水文学、水力学、土壤侵蚀力学与水土保持学原理,研究流域产流产沙的影响机制,分析影响水土保持措施蓄水拦沙指标的因素,探讨不同水土保持措施对水沙的影响机理,利用实测资料,采用对比分析途径,提出各项水土保持措施在不同条件下的蓄水拦沙指标体系。以统计资料、实地抽样调查与遥感图像分析相结合的途径,落实流域治理面积,在此基础上评价各项水土保持措施对水资源和泥沙的影响。

(2)收集整理目前国内外主要的评价模型,深入系统分析模型结构、参数体系、适用条件、物理意义及评价模型在水土保持效益分析中的有效性,在此基础上,遴选、完善或建立适用于不同水土流失类型区的评价模型,应用黄土高原典型支流(如孤山川、延河、三川河等)的资料,评价水土保持措施对水资源和泥沙的影响,完成模型检验。

第三节 研究取得的主要成果与结论

一、黄土高原产流产沙机制及水土保持措施对水资源和泥沙影响机理分析

通过研究,对不同下垫面的产流、产沙特性进行了深入分析,对风沙区、砒砂岩区、黄土丘陵沟壑区、石山林区和黄土林区的降雨、径流、泥沙间的关系进行了探讨;以黄土丘陵沟壑区和黄土高原沟壑区为重点,在调查、收集资料和试验的基础上,对农业耕作措施和梯田蓄水拦沙效应、林草措施对径流及泥沙的影响进行了研究;采用水文法和水保法对水土保持蓄水拦沙作用进行了分析计算,初步分析了坝地间接减蚀作用。

(一)黄土高原不同类型区产流产沙机理探讨

1. 不同下垫面产流特性的几点认识

(1)径流组成。砒砂岩区地表径流比重最大,达 90%,其次是黄土丘陵沟壑区(70%~80%)、黄土林区(50%)和石山林区(30%~50%),风沙区最小(20%以下)。

(2)径流过程。风沙区变幅最小,砒砂岩区和黄土丘陵沟壑区变幅最大,从月径流量最大与最小比值来看,风沙区比值为 10 左右,黄土林区在 20~70 之间,而黄土区和基岩区可以上千或上万。

(3)暴雨径流特性。风沙区暴雨洪水不明显,林区也不十分明显,而黄土区和砒砂岩区暴雨洪水特征十分明显。

(4)洪峰模数($\overline{Q_m}/\sqrt{F}$)。黄土丘陵沟壑区和砒砂岩区 ≥ 20 ,黄土林区和风沙区 < 20 。

2. 不同下垫面产沙特性的几点认识

(1)黄土高原沟壑区沟谷面积只占流域总面积的 40.3%,但侵蚀量却占总侵蚀量的 70.13%,同时其侵蚀模数分别是塬面、塬嘴坡的 10 倍与 2.7 倍。

(2)黄土丘陵沟壑区沟谷坡面积只占流域总面积的 41.5%,但侵蚀量却占总侵蚀量的 69.0%,同时其侵蚀模数分别是梁峁坡、沟谷底的 3.3 倍与 1.2 倍。

(3)风沙区沙丘面积占小流域面积的 93.8%,滩地不仅面积小,而且侵蚀甚微,侵蚀量几乎全部来源于沙丘。

(4)土石山区黄土梁峁面积虽然只占小流域总面积的 35.9%,但它的侵蚀量却占总侵蚀量的 56.6%,同时它的侵蚀模数分别为石质山岭、土石山坡的 5.6 倍与 1.7 倍。

综上所述,说明黄土高原沟壑区和黄土丘陵沟壑区侵蚀量主要来源于沟谷,土石山区侵蚀量主要来源于黄土梁峁。

3. 降雨、径流、输沙关系的几点认识

(1)风沙区的降雨径流尽管存在正相关关系但并不显著,降雨对径流影响的灵敏度不如黄土丘陵沟壑区和砒砂岩区高。降雨与输沙量的相关关系普遍比降雨与径流相关关系

差,但降雨对输沙的影响比对径流的影响要敏感一些。

(2)砒砂岩区降雨径流相关关系比较显著。降雨与泥沙量相关关系不及降雨径流相关关系,但相关关系还比较显著。径流与输沙关系非常显著,直线相关汛期高于全年,并且基本上通过原点。汛期雨量 100mm 以下、年降雨量 200mm 以下基本上不产流,且输沙量很小。

(3)黄土丘陵沟壑区。孤山川流域降雨径流、降雨输沙和径流输沙相关关系都较密切,这可能与孤山川流域雨量站的控制性较好和适度大小的流域面积有关;无定河曹坪以上由于面积太小,很小的降雨波动,便会引起径流与输沙的反映,使得降雨径流和降雨输沙相关关系不很密切。由于黄土丘陵沟壑区属高含沙地区,径流与输沙的相关关系均很显著。

(4)石山林区。三川河流域圪洞降雨径流相关关系还比较明显;陈家湾降雨径流、降雨输沙相关关系非常散乱,径流与输沙间几乎无相关关系。

(5)黄土林区。临镇偏北,降雨径流相关关系正比趋势明显。但大村降雨对径流的影响不太敏感。黄土林区降雨泥沙相关关系更为松散,因不属高含沙地区,因而径流与输沙的相关关系不如北部支流密切。

(二)坡面措施蓄水拦沙机理研究

1. 农业耕作措施蓄水拦沙效应研究

通过收集分析天水、绥德、西峰、淳化、离石等代表站的水土流失资料,确定了各区的产流产沙规律;在分析已有小区资料的基础上,利用人工降雨试验分析了农业耕作措施对土壤结皮、地表糙度的影响,研究分析了黄土坡耕地土壤入渗、坡耕地地表糙度、坡耕地土壤结皮对于坡面的产流产沙的影响;选择黄土高原沟壑区(淳化县)和黄土丘陵沟壑区(安塞县),通过野外人工降雨侵蚀试验,对农业耕作措施应用计算糙率的方法进行了数量化,应用水文学、水力学、统计学原理,总结各种措施下的产流情况,寻求产流侵蚀的降雨临界值,确定临界指标,探讨了黄土高原坡耕地坡面水土流失规律。

2. 梯田蓄水拦沙效应研究

采用人工降雨形式模拟不同频率的雨强,分析了梯田的产流产沙情况。

3. 林草对径流及泥沙的影响研究

开展了塬面防护林、沟坡水土保持林和沟底防冲林蓄水拦沙效益研究。

4. 几点认识

(1)农业耕作措施蓄水保土机理在于改变微地形,增加地表糙度,改善土壤物理性状,强化降雨入渗。其中,在相同的降雨条件下,土壤稳定入渗速率是等高耕作>人工掏挖>人工锄耕>对照直线坡。在黄土高原沟壑区等高耕作与直线坡相比,可提高入渗 67%,人工掏挖可提高入渗 41%,人工锄耕可提高入渗 29%。在黄土丘陵沟壑区等高耕作与直线坡相比,可提高入渗 45%,人工掏挖可提高入渗 22%,人工锄耕可提高入渗 14%。在中小雨强情况下,这种情况更为显著。这是由于中小雨强对土壤表层破坏作用较小,而大雨强破坏作用较大。

(2)在生产实践中,对于坡耕地,单纯从土壤侵蚀角度来讲,小糙度的地表,易于地表径流的形成,降低土壤对水分的下渗。这对于生态环境脆弱的黄土高原地区来说,是极为

不利的。故在生产上,应结合当地降雨和地形等条件,辅以适当措施,加大地表糙度,防止或减缓径流的产生。

(3)在同一坡度上,农业耕作措施延缓了地表产沙的时间,随着时间的变化,最初含沙量变化较大,以后随降雨历时的延长,含沙量基本趋于稳定;在降雨过程中,随着雨强的增加,不同农业耕作措施的地表,含沙量变化愈来愈不明显。这也表明并不是地表糙度越大,含沙量越小,同时也取决于雨强的大小,含沙量总的变化是先增大、后减小、最终趋于稳定,这说明农业耕作措施在一定程度上可减小含沙量。

(4)水平梯田之所以具有较强的水土保持作用,正是因为水平梯田改变了地面坡度和径流系数,缩短了坡长,降水落到田面,冲刷力 $F_{\max} = 0$,即田面超渗雨不具有冲刷土壤的能量,不易形成汇流,直接入渗成为壤中流,从而避免了径流的产生,起到了减蚀的作用,这就是水平梯田减蚀作用的机理所在。另外,坡改梯后,由于精耕细作,改良了梯田的土壤结构,增加了入渗强度,田面上栽培的植物,增加了水流阻力,延长了入渗时间,并且田埂可拦截梯田间距内产生的径流和冲刷的泥沙。

(5)当产流降雨量或汛期雨量增加,水平梯田的蓄水保土效益随之降低;在年产流降雨量小于 125mm 时,水平梯田的蓄水保土效益为 100%,大于 125mm 时,蓄水保土效益分别为 83.1%、79.3%;在汛期雨量小于 350mm 时,水平梯田的蓄水保土效益均为 100%,当汛期降雨量大于 350mm,水平梯田的蓄水保土效益分别为 84.9%和 78.1%。

(6)林草措施的蓄水保土机理在于林冠的截留作用可保护地面免受打击;凋落物具有持水作用,可调节地表径流,增加土壤入渗时间,削减径流动能,加强和增进土壤渗透性;根系对土壤有很好的穿插、缠绕、固结作用,众多的支毛根具有固结、保护阻挡、吸附牵拉作用,可有效提高土壤的抗冲性;植被残败体可以直接进入土壤,提高土壤有机质含量,而土壤抗蚀性直接与土壤有机质含量有关。

(7)林草植被可以有效地提高坡面的蓄水保土效益,其效益均可达 40% 以上,究其原因,可能是与资料的组成有关,自然径流小区的资料多为小降雨资料,其中小降雨资料占到 90% 以上,而小降雨的林草植被的蓄水保土效益较大,这样造成整体蓄水保土效益偏大,其蓄水保土效益还有待进一步研究。

(三)沟壑措施蓄水拦沙机理研究

该研究包括黄河中游淤地坝建设现状、坝库群拦沙机理探讨、淤地坝减蚀作用探讨和淤地坝正负效益讨论四部分内容,重点是水土保持蓄水拦沙作用分析计算,坝地间接减蚀作用分析。

水文法计算的减沙量明显大于水保法计算结果,分析认为主要原因有:水保法考虑的因素有限,如农业耕作措施等未能加以考虑;各种计算方法均存在误差;坝地有间接减蚀作用等。

通过对间接减蚀作用的初步研究认为,黄河中游多沙粗沙区的淤地坝工程不仅直接拦截了大量泥沙,还有明显的间接减蚀作用。通过水文法、水保法对岔巴沟流域不同时段多年平均径流量和输沙量的分析,得出淤地坝间接减蚀作用约为天然产沙量的 20.7%。认为只要坝库不发生水毁,长时期来看,坝地间接减蚀作用是存在的。

几点认识:①淤地坝的淤积覆盖了沟壑,库周悬壁高度变小,从而抬高侵蚀基点,并调

平坝下洪水,减少沟道洪水冲刷,沟壑的侵蚀作用也就大为减少,这就是坝地间接减蚀机理。②根据岔巴沟流域沙量平衡分析,坝地间接减蚀作用约为天然产沙量的 20.7%。③建设坝地时,要充分考虑洪水出路,设计安全的溢洪道,保证坝库安全,这样其间接减蚀作用将是长期的。

二、水土保持措施蓄水拦沙指标体系的评价与研究

1. 对已有指标体系研究成果进行了回顾与分析评价

以梯田、林草和沟道工程为主要措施,分别对水利部第一期黄河水沙变化研究基金项目等五大研究成果中有关的蓄水拦沙指标,以及与其密切相关的水土保持措施数量的确定原则、具体的取值与计算方法、应用范围与条件,以及该研究成果较已有成果的改进和尚存在的问题等方面,进行了较为全面的回顾和分析评价。不仅深化了对以往蓄水拦沙指标体系研究成果的认识,同时也为下一步研究建立新的指标体系奠定了基础。

2. 确定了梯田蓄水拦沙指标

系统地整理了上述几大研究成果中有关梯田的蓄水拦沙指标,并进行了合理性分析,尤其对于那些异常指标既进行了原始资料和统一量纲换算的复核,又与其他同类研究成果进行了对比分析,然后确定对其舍取与否。最后,在综合分析的基础上确定了包括黄土丘陵沟壑区第一、第二、第五副区和黄土高原沟壑区在内,并且考虑不同措施质量和不同降水条件的梯田蓄水拦沙指标。

3. 确定了林草蓄水拦沙指标

在全面整理和分析上述几大研究成果中有关林草蓄水拦沙指标及其计算方法的基础上,采用以径流小区观测资料为基础的综合对比平衡方法和以径流小区实测资料点绘相关曲线的方法,进行不同林草覆盖度和不同降水条件下蓄水拦沙指标的对比与综合分析,最后确定以黄土丘陵沟壑区第一、第二、第五副区和黄土高原沟壑区为主,并考虑措施质量和不同降水条件的林草蓄水拦沙指标。

4. 提出了水土保持耕作措施的蓄水拦沙指标

在水土保持耕作措施蓄水拦沙机理研究的基础上,研究提出了水土保持耕作措施的蓄水拦沙指标,并以孤山川流域为例,根据 1956~1996 年有关资料,计算了水土保持耕作措施的拦沙量。

5. 确定了淤地坝的拦泥指标

系统地回顾了 20 世纪 80 年代以来上述五大研究成果有关淤地坝蓄水(减洪)拦沙的计算方法,以及各项成果用于计算的有关指标,分析评价不同成果在拦泥指标的选用和减洪量计算方法等方面的改进。在深入分析“拦泥指标”的含义和影响因素的基础上,确定了淤地坝(包括单坝和多坝)的拦泥指标。

6. 建立了蓄水拦沙指标体系

在研究确定林草、梯田和沟道工程各单项措施在不同条件下蓄水拦沙指标基础上,分别建立了黄土丘陵沟壑区第一、第二、第五副区和黄土高原沟壑区的水土保持措施蓄水拦沙指标体系。

7. 蓄水拦沙指标体系的应用

根据延河、孤山川和三川河等流域开展水土保持工作的实际情况,以及收集的措施面积和措施质量等级等方面的资料,并在对资料的合理性进行分析以及对部分资料进行修正或插补的基础上,对照上述所建立的水土保持措施蓄水拦沙指标体系的适用范围,选取相应的指标值,并计算了各流域不同年代的蓄水拦沙效益,经与以往研究成果比较,不仅本次研究所确定指标计算的蓄水拦沙总量比较接近流域实际,而且林草、梯田和沟道工程的单项措施效益所占比例也较为合理。

8. 几点认识

(1)在以往研究成果中,针对同一流域除水土保持措施量以外的基本资料数据也存在有较大差异,如流域内不同类型区的分布与面积、不同时期内的年降水量与天然产水产沙量等,这些基本资料直接影响着蓄水拦沙指标的内涵与量值。因此,由于某些基本资料的差异,不仅给本次工作带来难度,无疑也会影响初步建立的指标体系的准确度和合理性。

(2)淤地坝的拦泥指标不仅与淤积厚度有关,而且还受库区淤积形态的影响,而库区的淤积形态和淤积过程又是千变万化的,因此拦泥指标的计算也只能是一个共性的概化和平均,对于具体的计算还需要进行地区边界的验证和修正,尤其是对于多坝的计算,在尚未实现逐坝数字化之前,都只能是平均的综合的模拟,方法仍有待改进。在具体计算中,往往由于实际所能提供的已知条件太少,如何能在极少的已知条件中,又能作出较准确的计算还需要深入研究。

(3)由于资料等原因,本次研究确定的指标体系仅在孤山川、延河和三川河等流域进行了试算,尽管计算所得的成果较为满意,但因受区域的限制,本指标体系是否具有更广泛的适用性,还有待于做进一步的应用与检验。

(4)由于资料、时间和水平的限制,本次研究所建立的蓄水拦沙指标体系,仅限于黄土丘陵沟壑区的第一、第二、第五副区和黄土高原沟壑区,无论是在指标体系的全面、系统性,还是在研究深度和应用可操作性等方面,都存在一定的不足;尤其在措施指标计算成果的集成方面,还有待于进一步研究。

三、水土保持措施对水资源和泥沙影响评价模型研究

1. 摸清了产汇流及产输沙数学模型研究现状

目前已经提出或建立了数以百计的产流计算模型;这些模型的参数多寡不等,结构繁简不一,计算的时空尺度也有较大差别;尽管不同模型描述的产汇流机制不同,但都从定量上重演了径流形成的全部过程,几乎所有模型都可表示为许多节点形成的网络。节点表示流域中的某种蓄量或状态;而节点间的联系则表示水分的转移;因而任一模型都是由水量平衡方程和动力方程组合而成。

国内外对产沙进行定量研究起步相对较晚,产输沙模型之间的结构、用途、表达形式和考虑的产沙因子等方面的差异较大;从模型的结构看,有的模型只是一个考虑了影响产沙因子的简单代数方程式,这种模型表达了产沙因子与产沙量之间的直接关系;而有些模型则是由若干逻辑运算组成,模型结构较为复杂;在产沙因子的选择方面,一些模型只考虑降雨量及其特征或者径流过程的一些特征量对产沙的影响,直接由降雨或径流预报流

域产沙;而近期发展的一些模型则系统考虑了降雨击溅、径流冲刷、径流搬运和沉积的子过程特征,属产汇流和产输沙不同演进阶段的连续模型。

2. 对孤山川流域水沙变化研究成果进行了总结分析

基于现有研究成果,对黄土高原典型支流孤山川流域的水土保持蓄水拦沙效益评价方法及水沙变化原因进行了系统总结分析。结果表明:不同统计模型得出的水土保持效益存在一定差异,而建模所用资料的代表性不足和统计模型本身外延精度不高的缺陷应是引起该差异的主要原因。因此,加强具有物理基础的概念性流域水文模型在水沙变化分析中的应用研究是非常必要的。

3. 分析了水利工程及水土保持措施对产汇流机制的影响

水利工程及水土保持措施的特征及其拦减水沙的机制,可划分为两种类型:①滞蓄型,主要指造林、种草和作物轮种等措施,这些措施如同一个疏密不一但对水又有一定吸附力的筛子,它不仅可拦截一定的降水、改变雨滴的级配,而且可在一定程度上阻滞降水和径流;其主要特征是增加地表被覆、地表糙率和下渗,减少降雨溅蚀,增强土壤抗蚀能力,减少并滞后水沙出流。②拦蓄型,主要包括淤地坝和水库等措施,其主要特征是如同一个水盆,具有一定的容量,以直接拦蓄径流泥沙的方式减少流域输入下游河道的水土流失量,但在特大暴雨情势下,可能因为水量的过剩导致溃坝而引起水沙的急增。

4. 研究了黄土丘陵沟壑区小流域水土保持措施的水文效应

以黄土丘陵沟壑区的两个对比沟插财主沟和羊道沟为研究对象,利用相邻区域横向对比分析法研究了小流域水土保持的水文效应,结果表明:水土保持措施具有较好的拦蓄径流、泥沙的作用,并且可以有效地削减洪峰流量、降低径流含沙量,滞后洪峰出现时间;尽管对降水与径流、泥沙的相关性没有太大改变,但使得降水与径流、泥沙之间的数量关系发生了一定的变化。

5. 确定了水文模型的评价标准和适宜的水沙评价模型

水文模型的评价标准是模型参数优选和模型对比评价的重要指标,参考目前国内外研究成果,选取 Nash 效率标准 EFF 、对数 Nash 效率标准 $LEFF$ 和平均相对误差 $\%MAR$ 为模型的评价标准; EFF 、 $LEFF$ 越接近于 1, $\%MAR$ 越接近于 0,则说明模拟效果越好。

将 PCRASTER 软件、DUFLOW、NAM 模型、黄河月水文模型、改进的土壤流失方程、暴雨产流产沙数学模型分别应用于三川河、孤山川、秃尾河等流域,尽管这些模型均有较好的模拟效果,可以用于水沙变化原因分析,但是不同模型对资料的要求不同,如 PCRASTER 和 DUFLOW 需要较详细的下垫面资料,对于下垫面资料短缺的流域难以运用。采用水文模拟途径分析环境变化对径流、泥沙的影响具有物理成因上的一致性,但该方法要求模型能够计算长系列的水文过程,若计算时段过短(如日、时),则需要资料太多,不但计算繁琐,而且现有资料大多难以满足要求,综合上述考虑,选择月作为水沙变化原因分析的计算时段。

比较分析后,选择黄河月水文模型及改进的土壤流失方程作为水沙评价模型。

6. 分析了降水变化和人类活动对孤山川流域和秃尾河流域径流输沙的影响

采用黄河月水文模型及改进的土壤流失方程作为水沙评价模型,分析了降水变化和人类活动对孤山川、秃尾河两流域径流输沙的影响,结果表明:模型在孤山川流域和秃尾