

黄河水利委员会“十五”重大治黄科技项目

黄土高原沟壑区典型小流域 水土流失规律及水土保持治理效益分析研究

田杏芳 贾泽祥 刘 斌
王鸿斌 吴永红 宫春旺 等 编著



黄河水利出版社

黄河水利委员会“十五”重大治黄科技项目

黄土高原沟壑区典型小流域水土流失规律及 水土保持治理效益分析研究

田杏芳 贾泽祥 刘 斌
王鸿斌 吴永红 宫春旺 等 编著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书根据黄土高原沟壑区南小河口典型小流域和硃瓦川中型流域已有 50 多年的小流域及径流场实测资料,在分析总结黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站已有研究成果的基础上,采用定性和定量分析方法,探讨了黄土高原沟壑区的水土流失规律,对典型小流域水土保持措施蓄水减沙效益进行了分析,并利用地理信息系统(GIS)、 ^{137}Cs 示踪法研究等较为先进的分析计算手段,建立了南小河口流域土壤侵蚀空间数据库,同时对小流域水土流失规律与水土保持效益观测研究工作进行了总结和评价。可供治黄科技人员及水文、气象、环境等专业的教学、生产部门的有关人员阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄土高原沟壑区典型小流域水土流失规律及水土保持治理效益分析研究/田杏芳等编著. —郑州:黄河水利出版社, 2008. 2

ISBN 978 - 7 - 80734 - 352 - 3

I. 黄… II. 田… III. 黄土高原 - 高原沟壑区 - 小流域 - 水土保持 - 综合治理 - 研究 IV. S157. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 016569 号

组稿编辑:雷元静 电话:0371 - 66024764

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:0371 - 66026940

传真:0371 - 66022620

E-mail:hhslebs@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:12.5

插页:4

字数:289 千字

印数:1—1 500

版次:2008 年 2 月第 1 版

印次:2008 年 2 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978 - 7 - 80734 - 352 - 3

定价:35.00 元

前 言

黄河为患,根在泥沙。“维持黄河健康生命”,构筑黄河“三道防线”,其根本措施就是要减少黄土高原的入黄泥沙。如何科学有效地从源头防治水土流失和减少入黄泥沙,至关重要。因此,综合野外和室内研究成果,建立土壤侵蚀模型,进一步实现产沙、汇流和洪水演进的耦合,为黄河水沙调控运行提供科学依据,成为当前水土流失规律试验分析和研究领域面临的一项首要任务。

自 1942 年天水水土保持试验区建立以来,黄土高原先后建立了 45 所水土保持科学试验站(所),各站(所)不同程度地开展了典型小流域径流泥沙观测,其中黄委会在黄土丘陵沟壑区第一副区、第三副区和黄土高原沟壑区分别建立了绥德、天水、西峰三个水土保持科学试验站(以下简称“三站”)。通过 60 多年的定位观测,在小流域及较大流域水土流失因子与规律、降雨与侵蚀产输沙过程、水土流失单项与综合治理措施的拦蓄效益等方面积累了十分丰富的资料,取得了卓有成效的成果,为揭示黄土高原主要类型区水土规律、评价不同水土保持措施的配置与效益、制定水土保持技术标准规范、做好水土保持规划以及促进当地国民经济和社会的可持续发展等提供了强有力的技术支持。

长期以来,黄土高原关于水土流失的定量分析与预报主要是以坡面为研究对象,研究的主要手段是坡面径流泥沙测验小区,区域性的研究一般是以坡面研究结果为基础,通过比例尺变换方式实现的。虽然我国许多专家学者目前采用分区方法进行区域性整体宏观趋势预测探索研究,但对黄土高原来讲还未有成型定论的水土流失和产沙预测预报模型方程。国际上,美国通用土壤流失方程主要是研究分析缓坡水土流失因子,对于深入研究水土流失机理和水土流失措施布局的作用是有限的;欧洲水土流失模型是一个基于物理过程次降雨流域侵蚀模型,它将流域简单地划分为地块与沟道组成系统来研究,显然不适合地形地貌类型十分复杂的黄土高原。

国内专家学者目前对于坡面和小流域层面的研究比较深入,资料积累比较丰富,许多专家设置不同研究条件、考虑不同影响因子、利用不同理论方法建立了许多模型。但相对黄土高原“三站”近 60 年的观测资料来讲,以往的分析研究多局限于非实测流域或短系列的,实测流域长系列、多方法深层次系列化研究并不多,以至于造成径流泥沙观测资料积累不少、分析研究不深、实践经验不少、理论提高不多的局面,使大量观测资料成了“存货”,不能有效地应用到生产实际中去。对不同水土流失类型区、不同下垫面条件、不同降雨条件的土壤侵蚀规律及侵蚀机理尚不完全清晰,流域侵蚀实体模拟的相似性与模型化过程中还有许多理论和技术问题需要研究解决。

因此,统筹考虑“三站”典型小流域径流泥沙观测资料的系统性和整体性,建立黄土高原典型小流域径流泥沙观测基础数据库,筛选确定科学系统的数据处理技术路线,通过不同角度与不同深度归纳、分析、提炼和升华,有效地发挥基础数据的支撑作用,研究、认

识和把握黄土高原不同类型区水土流失规律及不同水土保持措施的配置与效益,是建立黄土高原水土流失和产沙预报模型的重要基础。

“黄土高原沟壑区典型小流域水土流失规律及水土保持治理效益分析研究”是黄委会“十五”重大治黄科技项目。旨在通过对黄土高原沟壑区典型代表南小河沟小流域(流域面积 36.3km²)和砚瓦川中型观测流域(流域面积 371.2km²)已有 50 多年系列的原型观测资料的归纳整理、分析研究,进一步探讨黄土高原沟壑区径流泥沙的来源分布,研究高原沟壑区的泥沙输移特性,对小流域水土流失规律与水土保持效益观测研究工作进行总结和评价,指导今后水土流失规律试验分析和深化研究工作;检验已有资料对原设站目的及当前生态建设的满足程度,进而调整水土流失规律研究重点和方向;优化原型观测站网布局,充实完善观测内容,借助现代化仪器设备改善测验手段,引用新的测验与分析方法提高原始观测资料的精度和利用率,加快水土流失规律研究和认识进程,推动黄土高原水土流失防治工作。同时,为系统总结和分析研究黄土丘陵沟壑区第一副区和第三副区半个多世纪的典型小流域原型观测资料提供借鉴,为利用长系列原型观测资料建立黄土高原水土流失和产沙预报模型提供可持续的技术支撑探求途径。

“黄土高原沟壑区典型小流域水土流失规律及水土保持治理效益分析研究”项目所开展的 analysis 研究,以南小河沟流域 1954~2004 年和砚瓦川流域 1976~2004 年实测资料为基础,进行黄土高原沟壑区水土流失规律的探讨和总结。在资料系列未延长的前提下,不再对已有的研究成果重新进行分析论证,其研究结果也直接引用黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站成果汇编中的分析结果。项目主要研究内容包括:①黄土高原沟壑区典型小流域地面水土流失与影响因素的关系研究;②黄土高原沟壑区典型小流域降雨、径流泥沙来源及洪水输沙规律的分析研究;③采用¹³⁷Cs 示踪技术进行泥沙来源分析;④利用 GIS 建立南小河沟流域土壤侵蚀空间数据库;⑤开展水土保持治理效益的分析评价。根据该项目研究宗旨和研究目标要求,分下列四个专题进行研究。

专题一:黄土高原沟壑区典型小流域水土流失规律分析研究

专题二:黄土高原沟壑区典型小流域水土保持效益分析研究

专题三:南小河沟流域土壤侵蚀空间数据库建立

专题四:黄土高原沟壑区土壤侵蚀及小流域泥沙来源¹³⁷Cs 研究

各专题的负责人及参加人员如下。

第一专题:由宫春旺、柏跃勤负责,主要参加人员为:常文哲、许小梅、刘平乐、张志萍、寇权、史玲芳、张丽、宋静、刘海燕、杜新源、李江虹。

第二专题:由罗全华、王志雄负责,主要参加人员为:常文哲、许小梅、张西宁、曹树旻、麻宗荣、罗广治、李垚林、耿永红。

第三专题:由王鸿斌负责,主要参加人员为:喻权刚、赵帮元、张西宁、刘海燕、杜新源、金剑。

第四专题:由吴永红负责,主要参加人员为:曹树旻、王志雄、魏永红、罗广治、耿永红、王建峰、金剑。

“黄土高原沟壑区典型小流域水土流失规律及水土保持治理效益分析研究”项目的开展,不仅对全面认识黄土高原水土流失规律、正确评价水土保持治理效益、促进黄土高

原生态环境的综合整治、实现“河床不抬高”的总体目标具有重要的现实意义,也将为黄河大面积的水沙变化分析提供基础资料与理论支持,对治黄研究和宏观决策、对正确认识黄土高原地区水土保持在黄河治理与减少入黄泥沙中的地位和作用,产生重要和深远的影响。

本项目在研究过程中得到了黄委会刘晓燕副总工程师、国际合作与科技局张建中处长的大力支持,黄河上中游管理局郑新民副局长、何兴照副局长,中科院、水利部水土保持科学研究所江忠善研究员、穆兴民研究员、王占礼研究员,黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站毛效嗣站长、赵安成副站长、张虎林副站长、宋尚智高级工程师等均给予了热忱的技术指导和帮助。本项目分析所依据的资料是黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站建站 50 多年来的水土流失原型观测资料,许多职工为此付出了毕生的精力和心血,在此一并表示诚挚感谢。

本书是在上述研究成果的基础上编写而成的,各章节编写人员是:第 1 章由田杏芳、宫春旺、常文哲编写;第 2 章由冉大川、刘斌编写;第 3 章由刘斌、宫春旺编写;第 4 章由刘斌、贾泽祥编写;第 5 章由刘斌、许小梅编写;第 6 章由吴永红、金剑、王志雄编写;第 7 章由王鸿斌、金剑、罗全华编写;第 8 章由刘斌、罗全华、王志雄编写;第 9 章由贾泽祥、田杏芳、刘斌编写。

由于我们的水平有限,书中难免有欠妥和错误之处,敬请读者批评指正。

编著者

2007 年 10 月

目 录

前 言

第 1 章 研究小流域(南小河沟流域和砚瓦川流域)概况	(1)
1.1 自然概况	(2)
1.2 社会经济情况	(3)
1.3 水土流失概况和治理现状	(4)
第 2 章 研究小流域已有研究成果概述	(7)
2.1 黄土高原沟壑区的径流泥沙来源研究	(7)
2.2 杨家沟沟谷林木的减沙机理和林木固沟减蚀作用研究	(7)
2.3 “三道防线”和“四个生态经济带”的综合治理模式研究	(8)
2.4 坡面产沙与降雨侵蚀力、地面坡度之间的关系研究	(9)
2.5 黄土高原沟壑区塬面土壤侵蚀研究	(9)
2.6 水土保持措施对小流域地表径流的影响研究	(10)
2.7 铯-137(^{137}Cs)土壤侵蚀研究	(10)
2.8 森林对径流泥沙的影响研究	(10)
第 3 章 水土流失观测站网布设及降雨、径流、泥沙资料的统计	(12)
3.1 雨量站	(12)
3.2 径流泥沙测站	(18)
3.3 径流场	(20)
第 4 章 典型小流域地面水土流失与影响因素关系研究	(23)
4.1 降雨因素对水土流失的影响研究	(23)
4.2 地形因素与水土流失的关系研究	(38)
4.3 林草植被因素对水土流失的影响	(43)
4.4 小结	(54)
第 5 章 黄土高原沟壑区典型小流域水沙基本特性	(57)
5.1 降雨基本特性	(57)
5.2 径流泥沙基本特性	(64)
5.3 流域降雨产流产沙规律分析	(70)
5.4 小结	(79)
第 6 章 小流域泥沙来源 ^{137}Cs 分析研究	(82)
6.1 坡面土壤侵蚀研究综述	(82)
6.2 泥沙来源 ^{137}Cs 研究内容	(84)
6.3 试验研究方法	(85)
6.4 试验布设与取样方法	(88)

6.5	样品测试与数据分析	(89)
6.6	¹³⁷ Cs 研究结果	(107)
第7章	利用 GIS 建立南小河沟流域土壤侵蚀空间数据库	(110)
7.1	信息源的选取	(110)
7.2	研究方法	(111)
7.3	信息源的处理	(112)
7.4	卫星影像解译及坡度提取	(116)
7.5	土壤侵蚀数据库的建立	(119)
7.6	小结	(122)
第8章	水土保持治理效益分析评价	(123)
8.1	水土流失治理措施的调查分析	(123)
8.2	水土流失治理对流域产汇流影响变化分析	(130)
8.3	水土保持治理效益分析评价	(145)
8.4	几点认识	(177)
第9章	黄土高原沟壑区典型小流域水土流失观测工作总结与评价	(179)
9.1	水土流失观测站网布设基本情况	(179)
9.2	水土流失观测站网演变及其实践效果	(179)
9.3	观测手段及评价	(182)
9.4	观测资料应用情况及存在的局限性	(183)
9.5	水土流失原型观测的组织与管理	(187)
9.6	建议	(189)
参考文献		(190)

第 1 章 研究小流域(南小河沟流域和 硯瓦川流域)概况

黄河中游黄土高原沟壑区总面积为 2.69 万 km^2 , 水土流失极其严重。为了探索该区域水土流失规律, 寻求保塬固沟、防治水土流失的途径和方法, 分析研究水土保持综合治理和单项措施的减水减沙作用, 黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站(以下简称西峰水保站)1952 年、1975 年分别选定南小河沟和硯瓦川流域作为黄土高原沟壑区的典型代表小流域和中型流域, 进行流域综合治理试验研究。50 多年来, 采取边治理边布设试验进行观测的方法, 取得了大量的观测数据, 为该区防治水土流失和进行流域综合治理提供了科学数据与实践经验。

南小河沟流域位于甘肃省庆阳市西峰区后官寨乡境内, 系泾河支流蒲河左岸的一条支沟, 流域面积 36.3km^2 , 其中十八亩台测站以上控制面积 30.6km^2 。硯瓦川流域位于甘肃省庆阳市西峰区和宁县境内, 系泾河支流马莲河右岸的支沟, 同南小河沟流域东西相邻, 流域总面积 371.2km^2 , 其中硯瓦川测站以上控制面积 329.0km^2 。南小河沟和硯瓦川流域基本情况见表 1-1。

表 1-1 南小河沟和硯瓦川流域基本情况

流域名称		南小河沟	硯瓦川
位置	东经	$107^{\circ}30' \sim 107^{\circ}37'$	$107^{\circ}37' \sim 107^{\circ}55'$
	北纬	$35^{\circ}41' \sim 35^{\circ}44'$	$35^{\circ}31' \sim 35^{\circ}44'$
海拔高度(m)		1 050 ~ 1 423	980 ~ 1 340
主沟长(km)		11.7	35.0
沟道平均比降(%)		2.8	1.29
沟道密度(km/km^2)		1.69	1.59
全流域	总面积(km^2)	36.3	371.2
	塬面(km^2)	20.64	199.4
	占总面积(%)	56.9	53.7
	沟壑(km^2)	15.66	171.8
	占总面积(%)	43.1	46.3
把口站 以上	控制面积(km^2)	30.6	329.0
	塬面(km^2)	20.16	177.0
	占总面积(%)	65.8	53.8
	沟壑(km^2)	10.46	152.0
	占总面积(%)	34.2	46.2

1.1 自然概况

1.1.1 地形地貌

南小河沟和砚瓦川流域地貌主要有塬面、梁峁坡和沟谷三种类型,简称“塬”、“坡”、“沟”,具有典型的黄土高原沟壑区地貌特征。以下以南小河沟流域为例,简要说明其基本特征。

塬面所处相对位置较高,地形宽旷平坦,是黄土高原沟壑区特有的侵蚀地貌形态。塬面上的坡度一般在 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$,是农业生产和村庄的基地,占流域总面积的56.9%,在塬心部位,坡度一般为 1° 以下的占46.2%, $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 的占48.6%, $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 的占5.2%,塬边坡度稍大。

坡是塬与沟谷之间的缓坡地带,从形态和地理年代上说,可视为残存的老沟谷,占流域总面积的15.7%,坡度一般在 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 之间。一部分为农耕坡地,一部分为林地和牧荒地;在未治理的状况下,农耕地一般是老式梯田、坡式梯田和少量的坡耕地与垦荒地。

沟谷即新沟,是由塬面汇集起来的水流向沟谷冲切侵蚀塬边土壤逐渐发育而成,其形状在支沟多呈“V”字形,在主沟多呈“U”字形,侵蚀剧烈、破碎、陡峭,坡度一般在 $40^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 之间,占流域总面积的27.4%。

1.1.2 地质土壤

南小河沟和砚瓦川流域的地质构造比较单一,除下游河谷底部出现白垩纪砂岩层外,其余全部为第四纪黄土所覆盖,总厚度达250m左右。流域主要有以下几种岩层。

(1)砂岩:为流域内土层下面之基岩,在流域中下游沟道内出露,由于长期受水流冲刷,岩层已下切20余米。

(2)黄土状重亚黏土:分布在流域中、下游两侧,黏粒含量52.7%,干容重 $1.7 \sim 1.9 \text{ g/cm}^3$,质地坚硬,抗冲力强。但由于孔隙率小,膨胀系数大,遇到干湿、冷热变化,极易剥落,发生“红土泻溜”现象。

(3)黄土状亚黏土:分布在中游及其两侧支沟沟口的沟谷坡上,黏粒含量33.0%,干容重 $1.6 \sim 1.7 \text{ g/cm}^3$,厚度约60m。

(4)红色黄土:出现在流域上、中、下游的沟坡下部,黏粒含量小于30%,干容重 $1.5 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$,厚度50~100m。

(5)黄土:为流域表层岩层,分布极广,塬面、坡面均为其覆盖,干容重为 1.4 g/cm^3 左右,黏粒含量甚微,土质松软,有明显的孔隙和垂直节理,厚度20~50m。

由于各部位黄土形成的地质年代以及黄土的理化性质、力学特性、颗粒组成、膨胀系数、渗透系数、湿陷性不同,质地不一,抗冲抗蚀能力不一样,所以对土壤侵蚀的影响也各不相同。在流域中侵蚀最严重的部位是沟谷部分,特别是中游沟谷底部,这一部分属于下更新统及中更新统初期,岩体厚度高出河床80m以上,岩层属黄土状重亚黏土,由于质地密实、坚硬,胶体颗粒含量高,透水性差,膨胀系数大,抗蚀能力强,遇水后,表面易于吸水

膨胀,但水分不易进入土体以内,因而在受外界水汽、冷热、冻融、风化作用后,易于干缩湿胀,表层形成鳞片状剥蚀现象,即“红土泻溜”。这种侵蚀很活跃,常年累月进行,冬春最为严重,泻溜体大量堆积在沟谷的坡脚,为泥沙的主要产区,为洪水搬运泥沙创造了极为有利的条件。另一部分属于更新统晚期的冲积层,系黄土状亚黏土和亚沙土组成的二、三级阶地,坡度较陡,一般在 45° 以上,有的地方成悬崖立壁,根部受洪水长期淘冲作用,或受地下水的浸润作用以后,形成大量的崩塌、滑塌现象。另外,在有些地下水活跃的支毛沟上游地方,如遇到连续降雨的影响,沟谷的底部整个形成一种蠕动侵蚀,这种侵蚀,破坏作用极为严重,可以使整个草坡都被滑走,以上这两种侵蚀是沟谷泥沙的主要来源区。

1.1.3 植被

南小河沟和砚瓦川流域塬面为农业生产基地,除村庄、道路旁和部分沟头有小型林带外,无整块大片林带。塬面、坡面的主要农作物为小麦、谷子、玉米、高粱、马铃薯、豆类等。特别是每年7~8月小麦收割后,裸露的田面占50%以上。林草植被主要生长于坡面和沟谷中。

南小河沟流域内无天然林分布,人工栽培的乔木树种主要有刺槐、侧柏、油松、山杏、杨、柳等;灌木树种主要有柠条、紫穗槐等;果树和经济林主要有苹果、杏、梨、葡萄、枣树等。人工种草以紫花苜蓿为主,天然草以冰草、白羊草、马牙草、艾蒿、稗草、穿叶眼子等天然群落为主。流域内经过多年的水土保持综合治理,现已形成以刺槐、侧柏、油松、山杏、沙棘等为主的人工植物群落。截至2004年底,南小河沟流域内有人工林 982.1hm^2 ,人工种草 94.7hm^2 ,占流域总面积的29.7%。

砚瓦川流域主要在塬面沟边营造有小型林带,在沟坡、沟底栽植有小片幼林,主要树种有杨、柳、刺槐、山杏、臭椿等。在部分较缓的坡地上修了窄台田,营造了以苹果、梨、核桃为主的山地果园。沟坡上草地较多,主要以马芽草、白草、本氏羽茅、冰草、蒿类等为主,6~9月生长繁茂,植被覆盖度一般在60%左右。截至2004年,在砚瓦川流域内有人工林地 $10\,295\text{hm}^2$,人工草地 $2\,598\text{hm}^2$,占流域总面积的34.8%。

1.1.4 气候特点

根据西峰气象站1937~2004年降雨资料统计分析,多年平均降水量 546.9mm ,年最大降水量 828.2mm (2003年),年最小降水量 309.7mm (1942年)。在多年平均降水量中,5~9月降雨量 420.3mm ,占全年降水量的76.9%;7~9月降雨量 301.1mm ,占全年降水量的55.1%。年均气温 9.3°C ,最高气温 39.6°C ,最低温度 -22.6°C ,最大日温差 23.7°C ,平均无霜期155天,蒸发量 $1\,474.6\text{mm}$,干燥度1.6。

1.2 社会经济情况

1.2.1 南小河沟流域

截至2004年,南小河沟流域内有农业人口12 669人,农村劳动力4 880个,农业人口密

度 350 人/km²,人口自然增长率为 12.0‰。

2004 年底,流域内各业产值 1 841 万元。其中:农业产值 723.5 万元,占 39.3%;林果业产值 85.1 万元,占 4.6%;畜牧业产值 295.5 万元,占 16.1%;工副业产值 736.9 万元,占 40.0%。人均产值 1 453 元,人均纯收入 920 元。

(1)农业:流域内共有各类农耕地 1 793.0hm²,是主要的生产基地。农作物以冬小麦、玉米、糜谷、豆类为主,平均单产 2 642.3kg/hm²,总产量为 377.0 万 kg,农业人均占有粮食 297.6kg;经济作物以胡麻、油菜为主,平均单产 1 555.3kg/hm²,总产 15.6 万 kg,人均占有 13.1kg;瓜菜种植面积为 41.3hm²,总产 30.1 万 kg。

(2)林业:流域内共有各类林地 982.1hm²,乔木林以刺槐为主,分布于梁峁和沟坡,具有较高的生态效益,但经济效益极低。经济林以山杏为主,分布于山坡地段,多为小老头树。果园以苹果为主,主栽品种为红富士和秦冠,经营管理较好,经济效益显著。

(3)牧业:流域内共有牧草地面积 833.57hm²,其中人工草地 94.7hm²。据调查,人工草地每年可产干草 6 300kg/hm²,荒草地每年可产干草 1 200kg/hm²。现有各类大牲畜 685 头,猪 1 410 头,羊 2 631 只。

1.2.2 砚瓦川流域

截至 2004 年底,砚瓦川流域共有 19 110 户,87 904 人,32 524 个劳力。共有耕地 14 810hm²,人均耕地约 0.17hm²,人口密度 267 人/km²。粮食单产 2 925 kg/hm²,总产 4 332 万 kg,分别是 1980 年的 1.3 倍和 1.08 倍。农、林、牧、副等各业年总产值 11 040.2 万元,人均产值 1 255.9 元,年人均纯收入 690 元。

1.3 水土流失概况和治理现状

1.3.1 水土流失概况

南小河流域和砚瓦川流域属典型的黄土高原沟壑区,土壤侵蚀的成因可以分两大类:一种是水蚀,这种侵蚀以水力作用为主,如雨滴的击溅,水力冲刷搬运等;另一种是重力侵蚀,这种侵蚀以重力作用为主,如崩塌、滑塌、泻溜等。

塬面的土壤侵蚀形式主要是降雨溅蚀、面蚀、细沟侵蚀、局部冲沟侵蚀。塬面径流通过农田低凹的集流槽汇集起来并进入道路和胡同,再流入沟头。塬面径流下沟后,沟头前进,沟岸扩张,沟床下切,蚕食塬面,危害极大。梁峁坡面水土流失较轻,不论是水还是沙都不占重要比例,侵蚀的主要形式是面蚀和沟蚀,径流一般集聚为小股流分散下沟。沟谷是侵蚀最剧烈的部位,重力侵蚀严重,侵蚀形式自上而下主要是崩塌、滑塌、红土泻溜以及沟床下切等。

黄土高原沟壑区水土流失所造成的危害主要表现在:一是由于塬面径流下沟,促使沟头的溯源侵蚀向塬心发展,破坏农田、蚕食道路,危及村庄安全,同时泥沙下泄后给下游水利工程正常运行和安全带来不利影响,如坝库淤积加快、渠道局部冲毁、道路中断等;二是大量的表层水土流失,降低了土壤肥力;三是破坏了土地完整性,使得土地支离破碎,造成

耕作管理困难。

1.3.2 治理现状

南小河沟流域的水土保持工作是从1951年开始的,在1951年到1954年期间,水保措施多偏重于工程措施(主要工程为淤地坝、土谷坊、柳谷坊,塬面上为地边埂),自1954年以后才开始了农、林、牧、水等综合性的治理工作^①。总体来看,南小河沟流域较大的治理可分为以下五个阶段^[1]。

第一阶段为1951~1959年:南小河沟的治理处于探索试验时期。1954年和1956年两次制定南小河沟流域水土保持规划,明确黄土高原沟壑区的治理方向是保塬固沟,利用沟壑造林种草、建果园,发展农业生产。具体的治理措施是在塬面布设三道防线:第一道是农田防线,主要措施是深耕、苜蓿带、水簸箕、地边埂,达到就地拦泥蓄水;第二道是村庄道路防线,主要措施是有涝池、水窖(旱井)、蓄水埝,节节蓄水,分段控制;第三道是沟头、沟边防线,主要措施是修建沟边埂和沟头防护工程,做到塬面水不下沟。沟壑治理措施是新修水平梯田、试办山地果园、营造护坡林、苜蓿坡等;在主沟沟谷中建成十八亩台骨干工程,支毛沟底修建土谷坊、柳谷坊和沟地防冲林。从塬面到沟谷的治理原则是从当地生产、群众生活出发,因地制宜,因害设防,基本达到水不出塬,泥不下沟。但是治理塬面采用的地边埂、水簸箕等只是过渡措施,没有彻底解决水土流失问题。沟壑里林牧矛盾、林权、管护等问题没有解决,在1958~1959年刮共产风及1960~1962年3年困难时期,除国家试验场地的中游沟谷保存93.3hm²林地外,其他林木基本全部遭到毁坏。

第二阶段为1964~1969年:在流域的塬面上,开始试搞水平条田,不少大队、生产队开始建立山地果园,国家试验场地的中游沟谷,由于修建塘坝,初步形成沟地川台化。各支毛沟的林木,因常抚育且严看管,生长良好,经济效益和水土保持效益明显。

第三阶段为1970~1979年:在中央“北农”会议和延安水土保持会议的推动下,塬面上大面积兴修水平条田,大搞以杨树为主的四旁植树造林,利用废胡同、涝池、土坑等营造小片林田,塬面初步形成林网田,沟壑中办起了许多林场,山地果园得到大面积推广。在上游主沟道兴修周家嘴治沟骨干工程。这一阶段,塬面治理方向正确,效果显著,但沟壑中由于林牧矛盾问题没有得到妥善解决,林草发展缓慢。

第四阶段为1980~2000年:中共十一届三中全会以后,农村实行了包产到户,土地使用权归农民所有,国家开始从计划经济走向商品经济,对水保投资也开始从面上投资逐步转向分项目集中投资,分流域分片集中治理阶段。这一时期国家投资处于下降趋势,流域治理面积变化不大,甚至有的地方有所减少,但从总体来说,这一阶段由于治理所取得的经济效益同群众利益挂钩,群众治理积极性增强,各种措施的质量提高,局部发展较快,整个流域处于长期稳定的不均衡发展时期(或局部发展时期)。这一时期存在的问题是土地承包以后,部分林草地被开垦种地,造成林草面积下降;20世纪60年代修筑的沟道工程大部分淤满,失去功能,再加上管护工作跟不上,沟道治理工作整体发展缓慢。

① 南小河沟典型流域水土保持综合治理效益研究报告. 黄河水利委员会西峰水土保持科学试验站,1961年5月。

第五阶段为 2001 ~ 2004 年:2001 年随着黄河水土保持生态工程齐家川示范区项目的实施,南小河沟的治理又迎来了一个新高潮,到 2004 年底,短短 4 年中南小河沟流域共完成治理面积 641.7hm²,其中兴修梯田 15.9hm²,营造各类水保林 622.4hm²,人工种草 3.4hm²,建成谷坊 159 道,沟头防护 7 处,水窖 1 055 眼,涝池 15 个。

截至 2004 年底,南小河沟流域梯、林、草、坝四项水土保持措施共完成治理面积 1 131.7hm²,占流域总面积的 31.2%。其中兴修梯田 44.2hm²,淤成坝地 10.7hm²,营造各类水保林 928.1hm²,人工种草 94.7hm²,建成治沟骨干工程 3 座,淤地坝 12 座,谷坊 297 道,沟头防护工程 16 处,水窖 2 203 眼,涝池 105 个。

硃瓦川流域从 20 世纪 50 年代开始也有零星治理,但治理速度不是很快。进入 70 年代后,在中央“北农”会议和延安水土保持会议的推动下,流域的治理才进入一个较快的发展阶段。1975 年当地政府成立了硃瓦川流域治理指挥部,开始对硃瓦川流域集中开展治理工作,修建了宁县瓦斜乡的庆丰沟水库(控制面积 12km²,库容 70 万 m³)和西峰什社乡的老院沟水库(控制面积 21km²,库容 87 万 m³)。到 1977 年,新修水平梯田 273hm²、水平条田 2 551hm²、淤成坝地 4.67hm²、造林 1 868hm²、种草 1 447hm²。进入 80 年代,随着农村实行包产到户,土地使用权归农民所有,流域治理面积变化不大,有的地方治理面积有所减少。此后国家对水保投资也开始转向分项目集中投资,分流域分片集中治理阶段。1994 年,黄土高原世界银行贷款马莲河流域治理项目实施,这是当地政府首次引进外资进行流域综合治理,使得流域治理步伐大大加快,该项目在硃瓦川流域实施面积 44.1km²,到 2001 年,共新修水平梯田 315.9hm²、果园 159.1hm²、造林 922.6hm²、种草 494.3hm²。2001 年黄河水土保持生态工程齐家川示范区项目在硃瓦川流域开展大规模的治理,项目区总面积 166.57km²,通过 5 年的建设,完成治沟骨干工程 5 座,修建梯田 1 074.4hm²,营造乔木林 1 887.8hm²、灌木林 414.44hm²、经济林 56.53hm²、果园 315.26hm²、防护林 53.32hm²,种草 725.46hm²,使项目区新增综合治理面积达 5 030.24hm²。修建土谷坊 1 029 道,沟头防护 55 处,集流场 13 处,水窖 1 948 眼。

截至 2004 年,硃瓦川流域梯、林、草、坝四项水土保持措施共完成治理面积 22 263.1hm²,占流域总面积的 60.0%。其中兴修梯田 9 358.6hm²,淤成坝地 12.3hm²,营造各类水保林 10 294.7hm²,人工种草 2 597.5hm²,建成淤地坝 11 座、谷坊 1 226 道、沟头防护 147 处、水窖 3 626 眼、涝池 261 个。

第2章 研究小流域已有研究成果概述

西峰水保站自1951年建站至今,已有57年的发展历史。自1954年开始,在黄土高原沟壑区的南小河沟流域开展水土流失规律研究;1956~1962年进行了子午岭林区(合水川和党家川)森林对径流泥沙的影响研究,1975年又选定砚瓦川流域作为中型观测流域进行水土流失规律的观测研究。所取得的主要成果有以下几方面^[1~4]①。

2.1 黄土高原沟壑区的径流泥沙来源研究

自1954年开始,在黄土高原沟壑区的南小河沟流域,选定治理的杨家沟和非治理的董庄沟作为对比,进行水土流失规律及水土保持措施的拦蓄效益研究。通过50多年的研究表明:黄土高原沟壑区的径流主要来自于塬面,泥沙来自沟谷,塬水下沟和沟谷重力侵蚀是这一地区水土流失的主要特征。以南小河沟流域为例(见表2-1),其塬面径流占流域总量的67.4%,泥沙占流域总量的12.3%,其中村庄、道路是主要产区,径流占塬面部位的87.2%,泥沙占塬面部位的92.2%;坡面径流占流域总量的8.6%,泥沙占流域总量的1.4%;沟谷部位径流占流域总量的24.0%,泥沙占流域总量的86.3%。在沟谷中沟床和红土泻溜部分是泥沙的主产区,占沟谷部位的96.0%,占流域总量的83.0%。

根据董庄沟实测资料进行分析,塬水下沟对本流域泥沙来量的影响很大,冲刷模数增加1.26~1.49倍,所增加的泥沙总量占流域泥沙总量的76.8%~77.9%。反之,塬水未下沟,流域泥沙量则大量减少。

南小河沟流域重力侵蚀面积占流域总面积的9.1%,重力侵蚀产沙量占流域总产沙量的57.5%。

对南小河沟流域淤地坝减轻沟蚀作用进行的观测研究结果表明:由于局部沟段坝地的固沟作用,使小流域的沟蚀量减轻了16.2%。研究发现,水土保持坡面治理措施实施后也有明显减轻沟蚀的作用。经对南小河沟流域内的杨家沟、董庄沟两条支沟对比观测,塬面水不下沟比水下沟减轻沟蚀30%~70%。

2.2 杨家沟沟谷林木的减沙机理和林木固沟减蚀作用研究

李倬高级工程师通过对南小河沟流域杨家沟沟谷林木的减沙机理和林木固沟减蚀作用的研究,发现因林地面积占流域面积的40%,且主要集中于沟谷,因而其减沙效益高达92.6%,而且在特大暴雨中同样能发挥显著而稳定的减沙作用;根据杨家沟和董庄沟各自

① 冉大川,黄委会西峰水土保持科学试验站水土流失规律研究成就综述,2004年10月。

表 2-1 南小河沟流域(十八亩台以上)治理前汛期不同地类径流泥沙来量

部位	土地类型	面积 (km ²)	径流(1955~1974年平均)				泥沙(1955~1974年平均)			
			模数 (m ³ /km ²)	数量 (m ³)	占部位 (%)	占总 (%)	模数 (t/km ²)	数量 (t)	占部位 (%)	占总 (%)
塬	农地	16.89	1 320	22 300	12.0	67.4	76	1 280	7.8	12.3
	庄院	0.888	89 140	79 160	42.7		8 288	7 400	45.1	
	道路	0.928	89 020	82 610	44.5		8 287	7 690	47.1	
	人工草地	1.009	257	259	0.1		0	0	0	
	其他	0.443	2 912	1 290	0.7		0	0	0	
	小计	20.16	9 206	185 600	100.0		810	16 370	100.0	
坡	农地	0.200	14 200	2 840	11.9	8.6	1 300	260	13.5	1.4
	荒草地	2.505	1 146	2 870	12.1		8	20	1.0	
	其他	0.195	92 670	18 070	76.0		8 462	1 650	85.5	
	小计	2.90	8 200	23 780	100.0		666	1 930	100.0	
沟	农地	0.254	13 620	3 460	5.2	24.0	1 299	330	0.3	86.3
	荒草地	5.275	1 012	5 340	8.1		8	40	0	
	立崖	0.948	5 116	4 850	7.4		4 198	3 980	3.5	
	泻溜	0.898	37 100	33 320	50.5		85 040	76 370	66.5	
	沟床	0.185	102 800	19 010	28.8		184 700	34 170	29.7	
	小计	7.56	8 716	65 980	100.0		15 200	114 900	100.0	
总计		30.62	8 994	275 400	—	100	4 350	133 200	—	100

的输沙率—流量关系对比分析,杨家沟林木固沟减蚀量占总减沙量的 27%;1958~1965 年因杨家沟减洪作用 45.9%,可以实现减沙效益 63%。据此提出,在黄土高塬沟壑区小流域综合治理工作中,不必遵循自上而下的塬、坡、沟治理顺序,可以先治沟——以林木固沟为重点和先行,适地适树,营造密植速生林,快速减沙。

2.3 “三道防线”和“四个生态经济带”的综合治理模式研究

针对黄土高塬沟壑区径流泥沙来源的自然规律,提出了“保塬固沟”的治理方针,并

在实践中总结提出了“三道防线”和“四个生态经济带”的综合治理模式,在黄土高原沟壑区得到了广泛应用。

“三道防线”综合治理模式即“塬面修建条田和沟头防护工程;沟坡整地造林,发展果园,种植牧草;沟道修建拦蓄工程,营造防冲林”。“四个生态经济带”即“塬面农业生态经济带,塬边林果生态经济带,沟坡草灌生态经济带,沟底水利生态经济带”。该治理模式在泾河流域推广后,取得了显著的蓄水保土效益。采取“三道防线”治理模式所建立的南小河流域综合治理典型,根据 1955~1974 年的观测资料对比分析,治理程度达 58%,多年平均拦蓄径流效益 55.6%,拦蓄泥沙效益 97.2%,其中土坝和土谷坊等工程措施拦沙量占总拦沙量的 82.3%;粮食产量提高了两倍,木材蓄积量达 $12\,400\text{m}^3$ 。

流域内的杨家沟是以林草措施为主综合治理支毛沟的典型,林草覆盖率在 80% 以上,拦蓄径流效益 57.9%,拦蓄泥沙效益 81.3%。这一典型已在甘肃省庆阳地区 140 多条小流域和部分大、中流域中推广,面积达 $8\,400\text{km}^2$ 。

1987 年,针对黄土高原沟壑区径流泥沙来源的自然规律,在砚瓦川流域进行了农林牧生态结构优化模式实验研究,提出了“四个生态经济带”的综合治理模式。该模式视小流域为开放的生态经济系统,按照“把既具有相同的经济发展方向,又具有类似的生态环境问题而需要改造的地带划分为同一条生态经济带”的原则和方法,将小流域生态经济系统划分为“塬面农业生态经济带,塬边林果生态经济带,沟坡草灌生态经济带,沟底水利生态经济带”。该治理模式突出强调经济效益、生态效益和拦泥蓄水效益三者兼顾,明确提出“要把小流域综合治理同发展农村商品经济相结合,积极为当地经济发展服务”,寻求和探索了既有利于自然生态环境改善,又有利于生产经济发展的合理途径,引进和开发了一些生态经济型治理措施。

2.4 坡面产沙与降雨侵蚀力、地面坡度之间的关系研究

1990 年,中国科学院、水利部西北水土保持研究所江忠善研究员等根据西峰水保站径流场观测资料分析,得到该区无植被农闲地单位面积产沙量 $W_s(\text{kg}/\text{m}^2)$ 与降雨侵蚀力 $R(\text{kg} \cdot \text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{mm} \cdot \text{min}))$ 、地面坡度 $S(\text{度})$ 之间的关系式为:

$$W_s = 3.27 \times 10^{-5} R^{1.57} \cdot S^{1.06} \quad (2-1)$$

2.5 黄土高原沟壑区塬面土壤侵蚀研究

在黄土高原沟壑区进行塬面土壤侵蚀研究,建立土壤侵蚀的数学模型,单靠观测天然降雨造成的水土流失,周期太长,尤其是对稀有频率暴雨很难观测到,必须借助人工模拟降雨试验的方法,以快速获得相关资料。西峰水保站于 1984 年开始进行人工模拟降雨的设备研制工作,历时 6 年。在黄土高原沟壑区塬面土壤侵蚀研究(历时 9 年)中,共布设各种因子小区 40 个。首先进行了南小河流域天然降雨特性分析、土壤入渗试验、土壤含水量—雨强—侵蚀量关系研究和土壤理化特性的研究;其次进行了植被、地形、土壤可蚀性、土壤含水量及允许流失量的研究,取得了一批相当有价值的阶段性研究成果。