

HUANGHE DUOSHA CUSHAQU DIANXING LIUYU

CIBAOYU CHANHONG CHANSHA YUBAO YANJIU

黄河多沙粗沙区典型流域 次暴雨产洪产沙预报研究

李世明 马骏 许珂艳 刘龙庆 陈鸿 著



黄河水利出版社

黄河多沙粗沙区典型流域 次暴雨产洪产沙预报研究

李世明 马 骏 许珂艳 刘龙庆 陈 鸿 著

黄河水利出版社

· 郑 州 ·

内 容 提 要

“黄河多沙粗沙区典型流域次暴雨产洪产沙预报研究”是水利部公益性研究项目和黄河水利委员会治黄专项资助研究成果。其主要任务是依据典型流域的次暴雨产洪产沙条件,对时段产洪量和产沙量作出定量预报,并在此基础上,开发出实用的作业预报系统。本书内容实用,是黄河中游典型流域产洪产沙预报模型及其预报系统开发的有益尝试,输入条件修改后,可直接在其他相似流域应用。

本书可供从事防汛、水文情报预报以及水土保持工作的专业人员使用,也可供从事相关专业研究的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄河多沙粗沙区典型流域次暴雨产洪产沙预报研究/
李世明等著. —郑州:黄河水利出版社,2014. 5
ISBN 978 - 7 - 5509 - 0804 - 8

I. ①黄… II. ①李… III. ①黄河 - 流域 - 暴雨洪水 - 水文预报 - 研究②黄河 - 流域 - 河流泥沙 - 水文预报 - 研究 IV. ①P331.1②TV152

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 101680 号

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:hhslcbs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:15.25

字数:352 千字

版次:2014 年 5 月第 1 版

定价:48.00 元

印数:1—1 000

印次:2014 年 5 月第 1 次印刷

前 言

本专著为水利部公益性行业科研专项“黄土高原多沙粗沙区产水产沙数学模型研究与应用(200701035)”的第二专题“黄河多沙粗沙区典型小流域次暴雨产洪产沙经验模型及作业预报系统研究”和黄河水利委员会治黄专项“黄土高原水土流失数学模型(第一期)研发(黄水保[200651])”的第三课题“黄河多沙粗沙区典型小流域次暴雨产沙经验模型研究”的资助研究成果。本课题分为四个专题:专题一为“岔巴沟流域产洪产沙分析及试验”,由黄河水利委员会中游水文水资源局陈鸿负责,主要完成人有马文进、王秀兰、郭银、罗荣华、陈国华、马兴平、马文军、邵玉梅等;专题二为“黄河多沙粗沙区典型小流域次暴雨产洪模型研究”,由黄河水利委员会水文局信息中心许珂艳负责,主要完成人有马骏、狄艳艳、王秀兰、刘龙庆、范国庆、史玉品、郭卫宁、颜亦琪等;专题三为“黄河多沙粗沙区典型小流域次暴雨产沙模型研究”,由黄河水利委员会水文局信息中心马骏负责,主要完成人有狄艳艳、许珂艳、刘龙庆、范国庆、郭卫宁、颜亦琪、史玉品等;专题四为“水情报讯站网集合报讯及预报系统研制”,由黄河水利委员会水文局信息中心刘龙庆和郑州星睿水利设备有限公司刘春耕负责,主要完成人有狄艳艳、范国庆、史玉品、郭卫宁、颜亦琪等。

黄河中游及其所在的黄土高原地区,位于我国内陆干旱半干旱地区,是黄河泥沙的主要来源区。随着国家经济的发展和开发重点向西部地区的转移,黄河中游地区已经成为全国重要的煤炭、有色金属和石油化工基地。该区域地域辽阔,光热与土地资源丰富,发展潜力很大。黄河中游及其所在的黄土高原地区社会经济在飞速的发展,面临前所未有的发展机遇的同时,也面临巨大的挑战。黄河中游海拔在 1 000 ~ 2 000 m,为黄土地貌,水土流失严重。降水历时短、强度大,形成的洪水径流峰高量小、陡涨陡落,为暴雨洪水,危害较大。

河口镇至河南郑州桃花峪的黄河中游,汇入的较大支流有 30 条,是黄土高原产生洪水和泥沙的主要区域。河口镇至禹门口是黄河干流上最长的一段连续峡谷,河段内支流绝大部分流经水土流失严重的黄土丘陵沟壑区,是黄河泥沙特别是粗泥沙的主要来源,全河多年年平均输沙量 16 亿 t,其中 9 亿 t 来源于此区间;该河段水力资源也很丰富,是黄河上第二大水电基地,峡谷下段有著名的壶口瀑布。禹门口至三门峡区间,黄河流经汾渭地堑,河谷展宽,其中禹门口至潼关(简称小北干流),河长 132.5 km,河道宽浅散乱,冲淤变化剧烈;河段内有汾河、渭河两大支流相继汇入,也是黄河下游泥沙主要来源区之一,多年年平均来沙量 5.5 亿 t。三门峡至桃花峪区间,小浪底以上是黄河的最后一段峡谷,出峡谷后逐步进入平原地区。

黄河中游流经黄土高原,大量泥沙输入黄河,淤高下游河床,是黄河水利工程和下游河道水患严重而又难以治理的症结所在。

本课题由黄河水利委员会水文局信息中心、黄河水利委员会中游水文水资源局和郑

州星睿水利设备有限公司等有关单位共同完成。各个专题于2008年立项,2011年初完成,实际工作时间仅有三年。各专题充分地收集和利用前人的成果、报告、资料等,根据研究的需要,并对黄河中游的重点地区进行了野外考察和试验研究。在收集和分析大量资料的基础上,完成了各个专题研究报告,并于2011年在郑州通过验收。

水文预报是防洪减灾等一切决策的前提和侦察兵。产洪、产沙和含沙量预报的准确与否是调度决策的关键。利用现代技术开展支流或典型流域的产洪、产沙和含沙量预报,根据洪水和含沙量过程情况,为支流治理和工程调度、小北干流放淤试验和调水调沙等提供服务;开展流域产洪、产沙和含沙量预报,并根据不同洪水、泥沙来源及其粗细,为水库工程保持“长久库容”的优化调度服务,为“洪水资源化”及其优化调度应用服务,为有计划地开展“淤滩刷槽”的洪水调度应用服务;开展产洪、产沙和含沙量预报,并根据洪水泥沙总量情况,评价水土保持措施在各种不同降水条件下的作用和效益。因此可以看出,在黄河中游黄土高原地区开展产沙和含沙量预报是黄河治理开发的需要,具有重要的实用意义、应用前景和科学意义。

本专著由课题研究报告改编而成。主要执笔人为李世明、马骏、许珂艳、刘龙庆、陈鸿。全书由李世明统稿。

在本次研究中,先后得到了许多单位和专家的支持和指导,项目组专家薛松贵、汪习军、徐宗学、蔡崇法、寇怀忠、时明立、余欣、汪自力等人对研究内容和技术路线提出了宝贵意见,翟家瑞、姚文艺、杨勤科、雷廷武、王玲、赵卫民、张留柱等专家对部分成果多次提出了宝贵的修改意见,在此一并表示感谢!

暴雨洪水和泥沙问题是黄河中游黄土高原地区未来环境和社会经济发展的重要制约因素,流域产洪、产沙预报是一项紧迫而艰巨的研究课题,需要不断地结合作业预报实践,进行研究和总结,特别是产沙过程、含沙量和产沙量预报等问题,关系到黄河治理与区域社会经济的可持续发展,是作业预报研究的重点,也是当地生态环境保护和水土保持工程建设的关键问题。本专著就黄河中游黄土高原地区的典型支流次暴雨产洪、产沙特性、产洪过程及模型建立、产沙过程及模型建立、实时报讯站水情集合采集和产洪、产沙预报系统开发与作业应用等重点问题进行了较深入研究,取得了一定的进展,但需要研究的问题还很多,部分问题的分析和研究也不够完善,加之编著人员的水平所限,时间仓促,不当之处敬请读者批评指正!

编者

2013年1月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 研究背景及意义	(1)
1.2 国内外研究现状	(2)
1.3 研究目标和内容	(5)
1.4 研究方法及技术路线	(6)
第2章 典型流域概况	(8)
2.1 流域概况	(8)
2.2 地形地貌	(9)
2.3 流域站网分布	(10)
第3章 流域降水、径流、泥沙特征	(12)
3.1 降水特征	(12)
3.2 径流量	(14)
3.3 输沙量	(15)
第4章 流域次降水特性分析	(16)
4.1 雨量站点	(16)
4.2 次降雨特性	(17)
4.3 雨量站代表性分析	(30)
第5章 流域产洪分析及预报模型建立	(34)
5.1 洪水的选取	(34)
5.2 洪水特性	(36)
5.3 暴雨产洪分析	(45)
5.4 产洪机制成果综述	(49)
5.5 次暴雨产洪驱动力因子分析	(59)
5.6 产洪预报模型	(62)
5.7 预报模型率定与检验	(65)
第6章 流域产沙分析及预报模型建立	(75)
6.1 次洪水的泥沙特性分析	(75)
6.2 产沙过程	(77)
6.3 产沙模拟	(78)
6.4 黄土高原区产沙模型分析	(80)
6.5 产沙预报	(84)

第7章 实时报讯软件设计及开发	(100)
7.1 设计依据及设计原则	(100)
7.2 软件开发工具和运行环境	(100)
7.3 软件需求分析及系统结构	(100)
7.4 水情编码一般标定	(103)
7.5 容错处理	(108)
7.6 软件类型	(109)
7.7 系统数据库表结构	(113)
7.8 相关通信技术	(116)
第8章 用户指南	(121)
8.1 概述	(121)
8.2 水情信息接收系统	(122)
8.3 水情信息发送系统	(128)
第9章 实时水情编译软件	(131)
9.1 软件环境及结构	(131)
9.2 软件概述	(132)
9.3 设计与实现	(133)
第10章 典型流域次暴雨产洪产沙预报系统	(141)
10.1 系统建设	(141)
10.2 系统结构	(141)
10.3 系统功能	(142)
10.4 系统软硬件环境	(143)
10.5 数据库设计及数据流程	(144)
10.6 预报系统介绍	(149)
10.7 系统主要功能	(149)
第11章 预报系统应用	(156)
11.1 降水观测及其信息采集	(156)
11.2 水位观测及其信息采集	(165)
11.3 流量观测及其信息采集	(183)
11.4 泥沙观测及其信息采集	(199)
11.5 实时水情信息采集与预报应用	(212)
参考文献	(217)

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景及意义

黄河多沙粗沙区位于黄土高原干旱半干旱地区,即河口镇至龙门区间及北洛河、泾河上游等区域。多沙粗沙区是黄河泥沙尤其是粗泥沙的主要来源区,虽然面积仅为 7.86 万 km^2 ,只占黄河流域中游总面积的 23%,而由这里进入黄河的泥沙量却占整个中游地区输沙量的 70%,淤积在黄河下游河道内粒径大于 0.05 mm 的粗沙占淤积量的 86%。因此,重点加快多沙粗沙区治理,对于有效减少进入黄河的沙量,减缓黄河下游河道淤积是非常重要的。多年来,我国对多沙粗沙区开展了一定规模的治理,使得由该区进入黄河的沙量自 20 世纪 70 年代以来有明显减少。《全国水利发展“十一五”规划》进一步提出到 2020 年全国新增治理水土流失面积 50 万 km^2 ,并明确以黄河多沙粗沙区为重点区域,以小流域为单元,以淤地坝建设为重点,进行综合治理。《黄河近期重点治理开发规划》提出的近期治理开发重点之一就是在黄土高原水土保持生态建设中以多沙粗沙区为重点,尽快减少入黄泥沙,并新增黄土高原综合治理水土流失面积 121 万 km^2 ,其中多沙粗沙区规划治理面积 15.5 万 km^2 ,平均每年减少入黄泥沙 5 亿 t 作为未来十年黄土高原治理的目标。黄土高原水土流失治理直接关系到黄河治理开发和实现我国生态环境建设总体目标的大局,是黄河治理的根本措施。

黄土高原不仅是世界上水土流失极其严重的地区之一,而且由于黄土高原尤其是多沙粗沙区自然环境与社会环境非常复杂,产沙地层多样、侵蚀类型多且相互耦合,流域系统能耗过程的非线性特征非常突出,侵蚀过程对地貌边界条件和动力条件的变化反映敏感,因而其水土流失规律也是极其复杂的。要实现有效的治理目标,迫切需要在流域水土流失机理和规律的研究上取得重大突破,必须要有一个优化黄土高原水土流失治理方案、预测水土流失发展趋势的技术手段。然而,目前关于黄土高原水土流失的很多规律还未被人们所认识,仍没有建立起可以在黄土高原尤其是多沙粗沙区使用的土壤流失数学模型,在流域规划、设计方案优化,水土保持综合治理的减水减沙效益评价,黄河水沙调控体系运行参数的获取以及水土保持管理方面仍缺乏先进的科技手段,直接制约了黄土高原多沙粗沙区水土流失治理的纵深发展。目前,世界上很多国家都使用美国“通用土壤流失方程(USLE)”的技术手段,然而该技术唯在我国黄土高原不能用,因为黄土高原地形比国外的复杂得多,现有模型反映不了该区的水土流失规律,不能模拟陡坡侵蚀环境和预测沟道侵蚀量,不能优化淤地坝等类型的水土保持工程措施布设方案等,同时,国内也没有现成可用的模型。为满足黄土高原水土保持生态建设和黄河治理的国家迫切需求,必须研发我国具有自主知识产权的黄土高原土壤流失模型。因此,开展黄土高原多沙粗沙

区水产沙模型研究与应用工作,为黄土高原多沙粗沙区流域综合治理规划设计提供技术手段,为水土保持减水减沙效益评价提供科学方法,为黄土高原多沙粗沙区水土保持综合管理提供科学依据,具有显著的应用价值。

2006 年水利部提出的“水利科技发展研究报告”在水环境与水域生态系统修复领域提出的战略研究重点与重大课题中,将建立预报复杂地形条件下的土壤侵蚀预报模型,为水土保持决策提供技术工具作为“水土保持”主题研究的一项主要科学问题;在长江、黄河开发治理与生态保护领域的重大课题中,将黄土高原分布式产洪产沙模型作为主要科学问题之一,是我国水利科技发展的优先方向。

本项目利用实体模型试验、野外试验观测、GIS 技术开发应用和理论推演的综合方法,以地貌、水文、泥沙和水土保持等学科的基本理论为支撑,从解决黄土高原水土流失过程及其模拟技术问题出发,探索沟道侵蚀规律与模拟、次暴雨计算方法、坡面径流输沙能力等基本问题,并以对黄河下游泥沙淤积贡献最大的多沙粗沙区为重点,以黄土高原多沙粗沙区代表流域为研究对象,研发具有自主知识产权的黄土高原多沙粗沙区典型流域产洪产沙经验模型和分布式流域产洪产沙机理模型,并实现典型流域次暴雨产洪产沙过程的作业预报,研究成果不仅可以为开展典型流域为单元的综合治理规划、设计和治理效益评价提供科技支撑,同时,该项目研究对创新我国水文预报研究、促进复杂环境下土壤流失模拟预报技术发展具有一定的科学意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外模型研究

1954 年美国农业部农业研究局在印第安纳州普度大学(Purdue University)建立了国家径流和土壤流失数据中心,进行全国径流和土壤流失资料的汇总、整理,以便更进一步的深入分析。Smith 和 Wischmeier 利用中心收集的 10 000 多个小区的年径流和土壤流失基础资料,研制出了通用土壤流失方程(USLE),出版了美国第一个官方版的 USLE 手册,并且运用 USLE 和风蚀方程每 5 年进行一次全国土壤侵蚀状况定量调查。USLE 用 6 个因子的乘积形式量化了土壤侵蚀,这 6 个因子分别是降雨侵蚀力、土壤可蚀性、坡度、坡长、覆盖和管理、水土保持措施,USLE 中的“通用”意味着该预估模型不同于其雏形的区域预报模型。

USLE 可预报在一定的土地利用和经营条件下,一定坡度的耕地上片蚀和细沟侵蚀的长期平均土壤流失量,对于在一个地区的水土保持规划中做出选用什么方法的决策是很有用的,其应用领域包括城市泥沙控制、公路侵蚀控制、重新使用的矿地和荒地环境保护、小流域河流排水区域非点源污染控制和经济分析等。但是,USLE 的应用也存在着许多缺陷,在使用中有不少限制条件。首先,模型应用的边界条件必须可靠,而且有足够的资料能准确估计模型中包含的各个因子。比如,该模型的资料参数是根据美国东部 2/3

地区的情况得出的,而且只限于可耕种条件下的坡度(一般为3%~18%)和低蒙脱石土壤,坡长不超过120 m;不能计算来自沟壑、河岸和河床侵蚀的泥沙量;对于非均一的大流域,各因子值比较难定,虽然有计算大流域平均因子的方法,可简化计算程序,但这是以降低精度为代价的;在超出USLE率定的资料范围时,外延误差出现的概率将增大;USLE预估的是小流域长期平均产沙量。

随着水土保持、农业生产和环境保护的发展,生产实践急需一个能对次暴雨土壤流失评价的模型,为此,美国农业部又组织专家对USLE模型进行第三次改进,并于1997年以农业手册第703号发布了USLE模型的第三版,称为“修改的通用土壤流失方程(RUSLE)”,可用于对次暴雨的土壤流失进行评估。近年来又对RUSLE进行了较大改进。与此同时,不少国家在引进应用USLE过程中,都根据各自国家的侵蚀环境条件,对USLE作过一些有益的改进。

1.2.2 国内经验模型研究现状

黄土高原是我国土壤侵蚀最为严重的地区之一,因此对该地区土壤侵蚀规律研究开展的最早也最多。我国对经验模型的研究起始于1941年建立天水水土保持科学试验站后的20世纪50年代。1953年刘善建提出了估算农地年土壤侵蚀量的经验方程式,这被认为是我国第一个土壤侵蚀预报模型。其后相继根据径流小区试验观测的资料,经统计分析建立了侵蚀量与坡长、坡度、降雨的关系。

江忠善等(1980)根据黄土高原地区10个小流域(集水面积 $0.18 \sim 187 \text{ km}^2$)资料,建立了流域次暴雨产沙公式。选择的主要参数有流域坡度、土壤可蚀性因子、植被作用系数;但模型没有区分坡面侵蚀与流域侵蚀,以及泥沙输移过程。随后,他考虑到坡面侵蚀与沟间侵蚀的差异,以及黄土高原地区浅沟侵蚀的发育,进一步提出了沟间地的次降雨侵蚀产沙量经验公式。

刘宝元以USLE为蓝本,利用黄土丘陵沟壑区径流小区的实测资料,建立了中国土壤流失预估方程。

近年来,国内所建的土壤侵蚀经验模型广泛应用了GIS与遥感技术。基本方法是利用遥感技术和地理信息系统技术提取出所需因子,用回归分析的方法建立侵蚀计算公式,最后利用GIS的图形运算显示计算结果。这些模型的不同之处在于模型中所考虑的影响因素不同。

参照洪水预报方法,可用线性系统理论研制预报流域产沙的模型。早在1943年,约翰森首先导出了悬移质含沙量分布曲线(SCD),在已知流量过程线和涨水时的悬移质含沙量测验资料的情况下,可应用该分布曲线计算流域悬移质产沙量,该方法称作单位线法。后来,随着线性系统理论的发展和完善,人们对预报流域产洪产沙量单位线法不断进行了改进,提出了泥沙单位线(USG)的概念,并定义USG为流域上单位泥沙的过程分布。1978年Williams提出了瞬时泥沙单位线(IUSG)的概念,其基本假定是含沙量 S 随有效降雨呈线性变化,IUSG是洪水预报中瞬间单位线(IUH)和悬移质含沙量分布曲线(SCD)之

积。

樊尔兰通过对陕北黄土丘陵沟壑区岔巴沟支流刘家沟流域暴雨、产洪和产沙资料的分析,得到了产沙与地面径流的相关方程,以及瞬时输沙单位线滞时 m_A 与平均产沙强度 I_{kp} 的相关方程。后来,牟金泽、孟庆枚等也利用单位线法建立了产沙量经验预报模型,用于描述黄土丘陵沟壑区小流域输沙过程。

随着计算机技术的快速发展,随机分析的方法也在土壤侵蚀预测中得到了应用。随机模型是从已知基本事件分布中推导出一些过程的典型结果,如可以利用降雨的概率分布来产生综合的径流系列,然后用输沙方程计算流域产沙量。其优点是可以解决产沙量的时间分布,能为物理成因模型的建立提供有关结论,为流域产沙机理研究提供有关依据;缺点是需要长系列的降雨、径流、产沙过程资料。

作为预报的另一种形式——人工神经网络技术目前在侵蚀产沙预报中也得到了应用。人工神经网络是在研究生物神经系统的启示下发展起来的一种信息处理方法。

由于人工神经网络预报的方法仍属于经验预报范畴,需要大量的历史资料对所建立的网络进行训练和检验,否则就难以保证模型的精度,因而历史观测资料的范围和数量仍为此预报方法精度的制约因素。另外,这些预报方程建立得是否合理,也成为人工神经网络预报方法进展的一个重要制约条件。当然,随着人工神经网络技术、计算机技术发展及人们对侵蚀产沙规律认识的不断加深,这类预报方法仍会有很大的发展前景和应用空间。

总的来说,自 20 世纪 70 年代以来,具有物理成因的侵蚀产沙模型发展较快,土壤侵蚀模型的框架结构都已比较成熟。但是,对侵蚀产沙过程的机理和数学表达研究的深度仍远远不够,这可能是当前机理模型存在的最大问题。也正由此,目前还没有一个机理模型的研发可以达到推广应用的程度。应当指出的是,由于国外土壤侵蚀主要发生在缓坡上,而我国在大于 15° 的陡坡耕地上仍有严重的土壤侵蚀,加上沟蚀严重,因此我国流域土壤侵蚀模型的研发不能照搬国外的模型。另外,由于目前 GIS 技术本身存在的问题,诸如数据的精度和可得性尚无法满足需要,缺少时间概念,GIS 和产洪产沙模型紧密集成的技术条件要求苛刻等,使模型在作业预报方面仍存在很大的障碍。

近期在揭示流域坡面—沟道系统耦合侵蚀产沙关系的基础上,对分布式土壤流失评价预测机理模型进行了研究。建立了坡面土壤流失模型和小流域分布式土壤流失模型,其中分布式小流域土壤流失评价预测数学模型包括产汇流模型和产输沙模型,并借助于开发空间分析技术,实现了产汇流模型与产输沙模型的紧密耦合。分布式小流域产汇流模型基于超渗产流原理,采用 Horton 下渗方程,以洪水预报理论,根据黄土丘陵沟壑区特殊的侵蚀地貌,将流域划分为梁峁坡、沟坡和沟槽三部分,以此作为分布式小流域产沙模型的侵蚀产沙计算单元,由能量平衡原理分别建立其侵蚀产沙的计算公式,然后以分布式产汇流模型为基础进行耦合求解。输沙过程中采用时段滞后演算法分别对各个时段进行演算,求得流域出口断面总的产洪量及产沙量。

1.2.3 需要进一步研究的问题

随着江河治理、流域管理、生态保护和国土整治等生产实践发展的需要,国内外关于

水土流失数学模型的研究不断得到相关科技人员和管理者的重视。

然而,就国内外产洪产沙数学模型的总体发展水平来说,仍存在不少关键技术问题需要进一步研究解决。

(1) 实用的“黑箱式”产洪产沙预报方法对沟道重力侵蚀和坡沟系统侵蚀过程的试验观测、机理揭示和规律探讨都还很不够,从而难以建立起相应的数学模拟方法和模拟方程,大大制约了具有物理成因的水动力学模型或机理模型的进展。因此,为研发出实用的、可推广的黄土高原水土流失数学模型,应深入开展黄土高原沟道重力侵蚀研究,揭示沟道侵蚀产沙机理以及与坡面侵蚀的耦合作用关系,探索次洪水泥沙输移规律。

(2) 机理模型不能反映黄土高原产流产沙规律。第一,模型多为坡面侵蚀模型,不能模拟沟道重力侵蚀过程,缺乏对坡面—沟道侵蚀耦合关系的模拟;第二,模型产流模式基本上为蓄满产流,而黄土高原绝大部分地区尤其是多沙粗沙区为超渗产流模式,因此模型难以满足产洪产沙计算的精度要求;第三,模型模拟的对象多为坡度 10° 左右的缓坡地,而黄土高原大部分地区的梁峁坡坡度多为 $20^{\circ} \sim 30^{\circ}$,陡坡和缓坡的侵蚀规律有极大差异。正确的技术途径应当是在借鉴模型先进技术的基础上,从解决黄土高原水土流失过程认知等关键性问题出发,开发出适合我国黄土高原侵蚀规律的产洪产沙模型。

(3) 已建的经验模型大多为坡面水土流失模型,而流域模型较少且以小流域模型为主,同时多是建模者基于所掌握的研究区域(流域)实测资料情况确定的,推广应用的局限性较大,通用性较差;还没有可以有效实用于生产实践的作业模型,尤其是对机理模型的研究较晚,基本上处于探索阶段。另外,土壤侵蚀模型的核心控制方程大多选用径流、泥沙侵蚀方程,对土壤侵蚀因子统一、系统的观测和研究比较缺乏,使得各模型的可推广性降低,更缺少能有效模拟重力侵蚀的控制方程。这些不仅制约了模型的推广应用,也制约了模型研究的进展。

(4) 流域洪水资源化、防洪减灾和水利枢纽的调控,均需求次暴雨产洪产沙的实时预报,需要在较短的预见期内预测出洪水泥沙的参数。而目前的作业预报系统大多仅用于提供干流洪水的演进参数,还缺乏将降水、产汇流、产输沙系统搭建于作业预报平台上,使模型的应用功能受到限制。此外,实测输入信息不足与不准也是成功应用产洪产沙模型的最大障碍。

1.3 研究目标和内容

研究目标为:以水文学、泥沙运动力学的理论为指导,利用 3S 技术,分析次暴雨产洪产沙规律,建立基于 GIS 的黄土高原多沙粗沙区以流域为模拟单元的产洪产沙模型和小流域分布式模型,开发出实用的作业预报系统,预测多沙粗沙区典型支流产洪产沙量和产洪产沙分布过程,为黄土高原多沙粗沙区典型流域的水土流失预测、产洪产沙预报提供科学依据。

研究内容如下:

(1) 现有代表性产水产沙模型分析。

为充分吸收现有成果的成功经验,借鉴建模思路和方法,首先在广泛收集资料的基础上,对现有代表性产水产沙数学模型进行分析,综合分析各模型的优缺点,提出可借鉴的内容或方法。

(2) 基于 GIS 的分布式典型流域产洪产沙数学模型研究。

以黄河多沙粗沙区典型流域为研究对象,根据野外试验观测,结合土壤侵蚀模型试验研究,分析流域产洪产沙规律,构建具有紧密耦合的水文模块、产沙模块的产洪产沙模型。

(3) 研发典型流域次暴雨产洪产沙作业预报模型。

以 GIS 为平台,开发典型流域次暴雨产洪产沙作业预报系统。作业预报系统与实时雨水数据库相连,进行作业预报数据处理和实时作业预报。

(4) 模型率定、验证与应用。

依据实测资料对模型参数进行率定和调整,使计算结果与实测结果基本接近,同时要注意模型参数本身的物理意义,率定的参数值应满足参数的物理机制。在模型率定基础上,对预报模型进行验证。在建立模型核心组件基础上,进行应用示范,包括构建分布式典型流域产洪产沙信息系统、流域水沙过程实时预报系统等在内的各类示范应用系统。

1.4 研究方法及技术路线

(1) 参考国内外有关文献,把握水土流失数学模型研究发展情况,分析现有代表性的水土流失数学模型特点,在广泛咨询和讨论的基础上,确立拟建模型的总体框架,并编制模型概要设计。

(2) 收集典型流域降雨、地形地貌、土壤、水土保持措施、产水产沙资料,对现有部分代表性的国内外模型进行验证与分析,评价其优缺点,提出可借鉴的经验。

(3) 以地理信息系统为平台,建立流域的数字模型及其他相关数据库。

(4) 采用超渗产流模式,分析坡面、沟道、流域侵蚀特性,完善产洪产沙模型。模型计算所需要因子由地理信息系统提供,然后考虑产洪产沙关系,构建分布式产洪产沙模型,以便更有利于实现产洪产沙的紧密耦合模拟,并根据实测资料进行模型参数率定和模型验证。

(5) 以具有丰富观测资料且具有水土流失环境代表性的典型流域作为模型验证的对象,对模型的模拟精度进行检验和评价。黄土高原多沙粗沙区典型流域产洪产沙数学模型研究采用的技术路线见图 1-1。

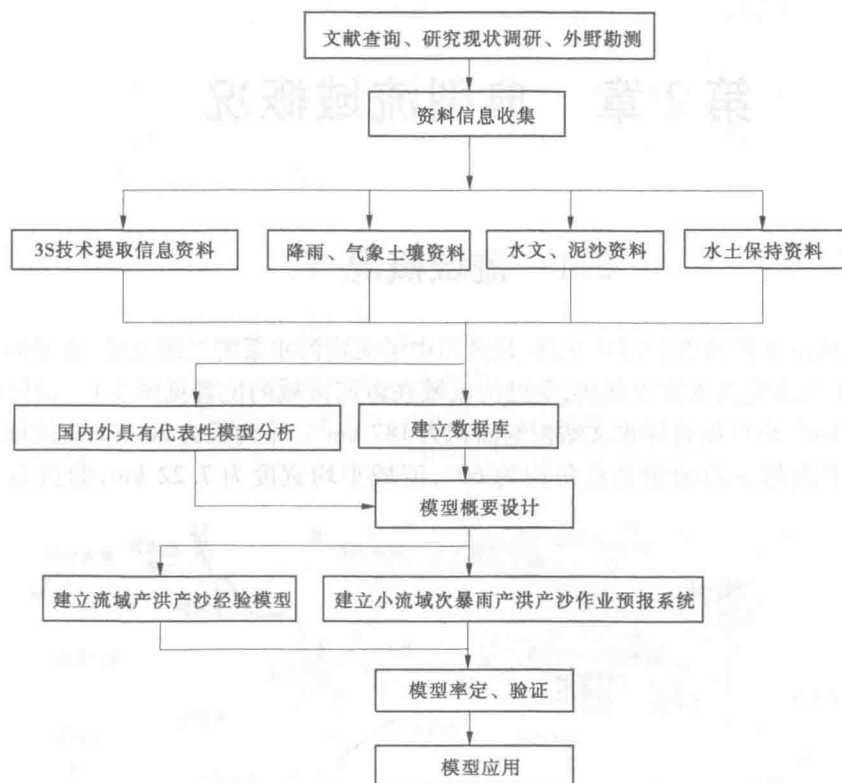


图 1-1 产洪产沙数学模型研发技术路线图

第2章 典型流域概况

2.1 流域概况

岔巴沟流域位于陕西省子洲县北部,是黄河中游无定河水系的二级支流,在子洲县城西约4 km处汇入无定河支流大理河,岔巴沟流域在黄河流域的位置见图2-1。岔巴沟流域面积为205 km²,出口站曹坪水文站控制面积为187 km²。干沟长为26.5 km,流域形状基本为矩形,干沟与支沟的相会夹角约为60°,流域平均宽度为7.22 km,曲折系数为



图2-1 岔巴沟流域及曹坪水文站位置

1.15, 沟道密度为 1.05 km/km^2 。该流域位于黄河中游主要泥沙来源区, 在气候(降雨)和地质地貌等下垫面条件上具有广泛的区域代表性。

岔巴沟流域的沟网由主沟岔巴沟和 11 条较大一级支沟组成, 其中在其左岸从下游至上游依次分布着麻地沟等 7 条一级支沟, 右岸从下游至上游依次分布着马家沟等 4 条一级支沟。河道及水系分布见图 2-2。

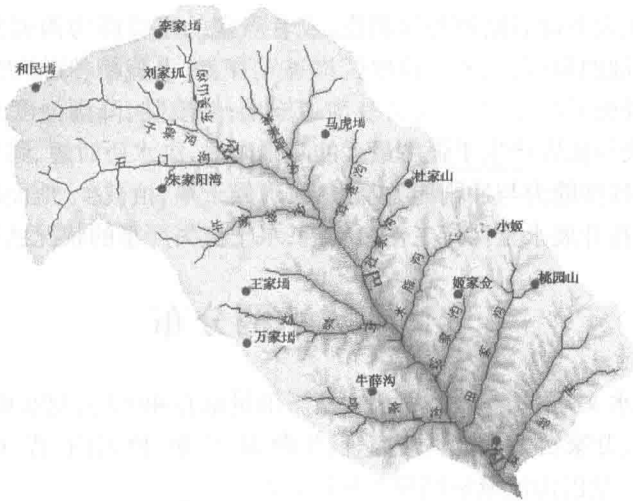


图 2-2 岔巴沟流域河道及水系分布

按照国际上通用的斯揣拉 (Strahler) 河流分级标准, 岔巴沟在黄河流域属 4 级河流。

2.2 地形地貌

本地区属于鄂尔多斯地台, 白垩纪以前, 地台只有过缓慢的上升、下降运动, 白垩纪以后, 由于燕山和喜马拉雅山运动的影响, 地台发生了轻微的褶皱。第四纪初期开始, 在地台上沉积了大量的黄土, 形成了现代的黄土高原, 地层组成由老至新为基岩、老黄土、新黄土。

按地貌形态可划分两大类: ①河谷阶地区; ②黄土丘陵沟谷区, 其又分两个亚区, 即梁地沟谷区和崩地沟谷区。此外, 尚有崩塌、滑坡、假喀斯特、黄土柱等特殊的地貌景观。流域上游以梁地沟谷区为主, 下游以崩地沟谷区为主, 中游是二者皆有。干沟两岸及一级支沟的沟头一般都有较开阔的平地, 而二级支沟的沟头切割很深, 沿沟道两岸近似垂直, 垂直节理发育, 崩塌严重。本地区的地貌特点是: 侵蚀严重, 沟谷发育, 整个沟谷被大小沟道切割得支离破碎, 构成千沟万壑。地面坡度变化复杂, 且不连续, 同一崩、梁的各个方向及同一方向的上、中、下游各坡面坡度变化都很急剧, 其特点是沟谷坡面在干沟的两岸多陡峭, 一般大于 60° , 干沟上游及大的支沟则稍缓, 为 $45^\circ \sim 60^\circ$, 在沟头及支沟的上部则减至 $30^\circ \sim 45^\circ$; 崩梁坡面在赤梁顶部坡度平缓, 为 $5^\circ \sim 10^\circ$, 梁的两侧坡度较陡, 赤腰上部较陡,

下部则较缓,变化范围为 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。

本地区土壤侵蚀的现象主要有片蚀、沟蚀、崩塌、潜蚀、滑坡等 5 种。有单个分布在坡度较大的山坡上的,亦有成群成片密布在陡壁上的,或布满赤梁腰部。新黄土质地疏松,暴雨之中受湿下陷,大量滑落于沟谷之中,滑塌土方有时竟达千余立方米,有时堵住沟谷,形成 2 m 深的堰塞池。在沟道的头部,雨水顺着黄土节理汇集,形成很深的陷穴(假喀斯特)。陷穴附近的地表径流均汇入其中,使之逐渐加大、加深,其上部直径一般均在 5 m 以上,下部较小。陷穴下部有暗道与沟相连,或者陷穴的出口即为沟道头部,土壤侵蚀极其严重。其土壤侵蚀的原因,主要是该地区沟谷发育、黄土疏松、胶结力弱、颗粒细小、黏性很差,坡面和沟谷极易产生泥沙,又易被沟道输出;坡度陡、降雨强度大、黄土吸水能力强,因此形成的地表径流皆产生于强度最大的降雨时段,洪水历时短、强度大,形成的坡面漫流及沟道汇流的挟沙能力与冲刷能力都很大;气候干旱、植被少、地面缺乏保护;坡地耕作及放牧不合理。在开展水土保持工作多年后,水土流失严重的状况已有所改变。

2.3 流域站网分布

流域内现设有水文站 1 个,即曹坪水文站。雨量站有和民塬、刘家塬、朱家阳湾、李家塬、马虎塬、杜家山、万家塬、王家塬、姬家金、牛薛沟、小姬、桃园山、曹坪 13 站,雨量站网密度为 $16 \text{ km}^2/\text{站}$ 。岔巴沟流域站网分布见图 2-3。

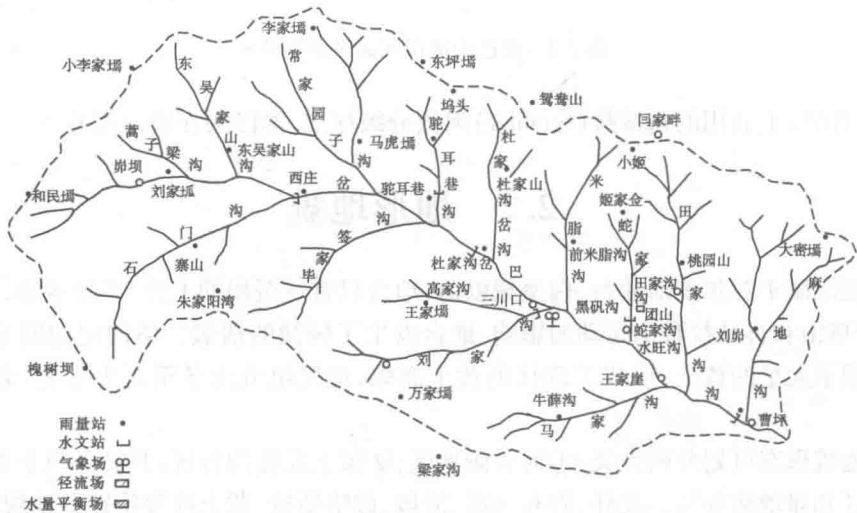


图 2-3 岔巴沟流域站网分布

曹坪水文站设立于 1958 年 8 月,集水面积 187 km^2 ,位于陕西省子洲县城关镇曹坪村,处于东经 $109^{\circ}59'$ 、北纬 $37^{\circ}39'$,距岔巴沟河口 2.2 km。曹坪水文站是国家基本水文站,按区域代表原则布设,控制岔巴沟的水沙量变化,为三类精度流量站、三类精度泥沙站,汛期驻站测验,非汛期简化测验。该站测验河段基本顺直,在其上、下游均有弯道。河床系沙砾石组成,冲淤变化不大,两岸为黄土。基本水尺断面下游 500 m 左岸有麻地沟汇