

XIAOLIUYU BAXI
XIANGDUI WENDING YANJIU

小流域坝系 相对稳定研究

史学建 付明胜 左仲国 彭 红 付灵丽 著



黄河水利出版社

小流域坝系相对稳定研究

史学建 付明胜 左仲国 彭 红 付灵丽 著

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书在明确坝系相对稳定的内涵和外延的基础上,提出了较为完善的坝系相对稳定评价方法、标准和指标体系;通过研究坝系相对稳定的形成过程与条件,提出了影响坝系相对稳定的环境因素,相对稳定坝系建设的不同阶段内涵、特征及要求,以及不同阶段的布局方法;并提出了坝系建设效益最大化的建坝顺序,为小流域坝系建设规划提供了理论依据和技术支持。可供从事水土保持、淤地坝规划设计及其相关专业的技术人员及大专院校师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

小流域坝系相对稳定研究/史学建等著. —郑州:黄河·水利出版社,2009.3

ISBN 978 - 7 - 80734 - 569 - 5

I. 小… II. 史… III. 小流域 - 坝地 - 稳定性 - 研究
IV. S157.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 007971 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:13.75

字数:335 千字

印数:1—1 000

版次:2009 年 3 月第 1 版

印次:2009 年 3 月第 1 次印刷

定价:41.00 元

前 言

“黄河为害,根在泥沙”,而泥沙又主要来源于黄土高原地区的千沟万壑。因此,治理沟道就成了解决黄河问题的治本措施。实践证明,坝系建设不仅能够有效拦沙、淤地,而且能改善流域生态环境,是促进黄河长治久安的水土保持生态建设工程。也正是由于它的综合功能,淤地坝工程建设才受到了当地干部群众的极大拥护和支持,通过淤地坝建设使他们看到了新农村建设的希望,认为淤地坝建设是农业设施建设的重要内容,是粮食安全的根本保障,是发展“三高”农业的基础条件,是改善生态环境和发展农村公共事业的唯一措施,是农民增收、农业增产、农村经济发展的有效途径。

然而,由于坝系的“水毁”等问题,使坝系建设出现多次反复。而关于坝系建设理论研究随着坝系建设的反复而断断续续地进行,“黄河中游多沙粗沙区典型小流域坝系相对稳定条件研究”属黄河流域水土保持科学研究重点课题。本课题研究是在“八五”攻关课题和 95-03 黄河流域水土保持科研基金项目“黄土丘陵沟壑区小流域坝系相对稳定及水土资源开发利用研究”的基础上,为了进一步摸清实现坝系相对稳定的条件与坝系形成过程阶段特征对坝系布局和防洪标准的要求,以及多沙粗沙区生态环境对坝系建设的影响,本课题共设置了 4 个专题。

第一专题,坝系相对稳定的概念和评价方法、标准及指标体系研究。通过调研,分析坝系稳定的表现方面,对坝系相对稳定基本概念的内涵与外延进行深入分析并初步作出定义;分析影响坝系相对稳定的主要因子及其相互关系,建立坝系相对稳定的评价方法、标准及指标体系。

第二专题,影响坝系相对稳定环境条件研究。通过调查分析,研究影响和制约小流域坝系相对稳定的各个自然、社会经济因素及其边界条件。

第三专题,坝系相对稳定的工程布局研究。通过调查,研究如何通过调整坝系布局和坝系结构使坝系达到或趋向“相对稳定”,提出小流域坝系布局原则。

第四专题,相对稳定坝系的形成与发展研究。通过典型小流域分析,划分坝系相对稳定的形成与发展阶段,研究提出相对稳定坝系建设的阶段特征及要求。

该课题从 2005 年 2 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。课题组从研究黄河中游多沙粗沙区生态环境与产流产沙特征入手,在总结多沙粗沙区淤地坝作用和坝系研究已有成果的基础上,通过典型小流域坝系调查分析,深化坝系“相对稳定”的理论研究,进一步明确坝系相对稳定的内涵和外延,提出较为完善的坝系相对稳定评价方法、标准和指标体系;研究坝系相对稳定的形成过程与条件,提出影响坝系相对稳定的环境因素;提出黄土高原沟道分级方法及在坝系规划中的应用;提出支持相对稳定坝系布局的理论及应用;提出支持坝系防洪标准的理论并确定其计算方法;提出相对稳定坝系建设的不同阶段内涵、特征及要求,不同阶段的布局方法;提出坝系建设效益最大化的建坝顺序;提出坝系防洪标准遵循的理论依据和计算方法。为小流域坝系结构优化、规划布局以及建设时间安排提供理论依据和技术支持。

本书是在上述4个专题研究成果基础上提炼、编撰而成的。共分8章。第一章,绪论,重点介绍了该课题研究的目的意义、研究方法。第二章,多沙粗沙区环境概述,介绍了研究区域自然环境和经济社会环境。分析了多沙粗沙区暴雨、洪水、泥沙特征和土壤侵蚀特征。第三章,多沙粗沙区淤地坝建设,总结了淤地坝的产生与发展过程,淤地坝建设现状,分析了淤地坝建设的反复过程的原因,总结了淤地坝的建设使农民看到了新农村建设的希望。第四章,坝系相对稳定的概念与评价指标,通过对天然“聚淤”的分析研究,追溯了淤地坝控制流域内的来水来沙与坝地用水用沙在量上的相对平衡理论的形成原理,淤地坝相对稳定含义、原理和形成过程;提出了坝系相对稳定形成过程阶段论,及其各阶段特征和布局要求;进行沟道地貌稳定的理论分析和坝体加高工程量的理论分析,提出坝系相对稳定成立条件和标准。第五章,影响坝系相对稳定的环境条件分析,论述了沟道特征对坝址选择及工程投资效益、布坝密度、坝系结构、相对稳定的影响;分析了洪量模数和侵蚀模数对坝系内单坝的控制面积、布坝密度、坝系相对稳定系数、建坝顺序都会产生重大的影响;阐述了社会经济因素对小流域建设的影响。第六章,淤地坝坝系规划布局及优化,提出了地貌几何数学模型在沟道分级中的应用,介绍了沟道分级成果如何在坝系布局中应用;提出了坝系单元控制论,介绍了单元控制论在坝系布局中的应用。以盐沟小流域坝系规划布局为例,重点介绍了沟道分级方法的应用,坝系单元控制理论的应用及大中小型淤地坝的布设方法,设计的流程、技术路线和技术特点。第七章,提出了GIS技术在坝系布局优化规划中的应用。第八章,总结了项目取得的主要成果以及特点与创新点等。

本课题在研究过程中,得到了黄委水土保持局局长汪习军、教授级高级工程师秦鸿儒等专家的关心和支持。同时,还得到陕西省榆林市、横山县、绥德县、米脂县、靖边县、子洲县,延安市宝塔区、志丹县,山西省离石县、中阳县,内蒙古自治区准格尔旗等市、县(旗、区)水利(水土保持)部门和所调查小流域的干部、群众的大力支持,在此一并表示衷心感谢!

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,在编写过程中难免有偏颇、不足甚至错误之处,敬请读者批评指正。

作 者
2008年8月

目 录

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 研究背景与现状	(1)
第二节 研究内容与方法	(4)
第二章 多沙粗沙区环境	(10)
第一节 多沙粗沙区的提出及范围	(10)
第二节 多沙粗沙区环境概况	(14)
第三节 多沙粗沙区降雨产沙特征	(24)
第三章 多沙粗沙区淤地坝建设	(43)
第一节 淤地坝的产生与发展过程	(43)
第二节 多沙粗沙区淤地坝建设现状	(46)
第三节 淤地坝使农民看到了新农村建设的希望	(56)
第四节 多沙粗沙区坝系发展前景展望	(60)
第四章 坝系相对稳定的概念与评价指标	(74)
第一节 淤地坝相对稳定的概念	(74)
第二节 小流域坝系相对稳定概念及特征	(78)
第三节 坝系相对稳定形成过程的理论分析	(82)
第四节 坝系相对稳定的评价标准	(92)
第五章 影响坝系相对稳定的环境条件分析	(100)
第一节 影响小流域坝系建设的环境因素分析	(100)
第二节 沟道特征对小流域坝系建设的影响	(102)
第三节 水文泥沙特征对小流域坝系建设的影响	(110)
第四节 其他环境要素对小流域坝系建设的影响	(114)
第五节 结论与展望	(118)
第六章 淤地坝坝系规划布局及优化	(121)
第一节 坝系总体布局	(121)
第二节 沟道分级方法的应用及建坝条件分析	(122)
第三节 坝系单元控制理论的应用	(123)
第四节 应用实例——以盐沟小流域为例	(127)
第七章 GIS 技术在坝系布局优化规划中的应用研究	(161)
第一节 理论基础与方法思路	(161)
第二节 数据分析与处理	(166)
第三节 坝系空间布局优化研究	(177)
第四节 优化结果与讨论	(193)

第八章 研究取得的主要成果与结论	(196)
第一节 相对稳定坝系布局的理论研究与应用	(196)
第二节 坝系相对稳定形成过程阶段特征研究	(201)
第三节 影响坝系相对稳定的环境条件研究	(210)

第一章 绪 论

第一节 研究背景与现状

黄河中游严重的水土流失每年向下游河道输送大量泥沙,造成下游河床不断淤积抬高,加剧了洪水威胁,同时造成了水土流失地区土地退化和生态环境的恶化。特别是黄河中游多沙粗沙区,面积仅为 7.86 万 km^2 ,占黄河流域中游总面积的 23%,而进入黄河的沙量却占整个中游地区输沙量的 70%。黄委主任李国英在 2004 年全河工作会议上的报告中提出“维持黄河健康生命”的治河理念,同时还指出关键在于如何解决黄河“水少”、“沙多”和“水沙不平衡”问题,对于“沙多”问题,要在黄土高原地区,特别是对黄河下游淤积影响最为严重的多沙粗沙区,依靠工程手段,大规模修建“淤地坝”,把泥沙拦在黄土高原的千沟万壑之中。

淤地坝不仅拦截大量的泥沙,减少下游河道的淤积,拦截的泥沙又可以淤地造田,提高粮食产量,而且还可以防洪减灾,保护下游安全,解决黄土高原干旱季节的人畜饮水问题,对于优化当地土地利用结构,促进生态环境改善、农业增产、农民增收、农村经济持续发展 and 新农村建设具有重要的意义。

一、研究的背景

淤地坝虽然已有 400 多年的历史,然而关于坝系建设理论研究开始于新中国成立之后,1954 年,在编制黄河综合利用规划时提出了相对平衡理论,设想在支流上修建较大拦泥库,达到水沙平衡,解决黄河泥沙问题。

随后从天然聚淤对洪水泥沙的拦蓄中得到启发,认为当淤地坝达到一定高度、坝地面积与集流面积的比例达到一定数值之后,淤地坝对洪水泥沙长期控制而不致影响坝地作物生长,即洪水泥沙在坝内被利用,达到坝控面积内的产水产沙与流域坝地用水用沙的相对平衡,于 20 世纪 60 年代初提出淤地坝“相对稳定”一词。

1961 年起,黄委绥德水土保持科学试验站(以下简称绥德水保站)在王茂沟流域进行坝地防洪保收试验研究,首先在沟口修建最下一座坝,有了一定的淤地面积后,再在此坝的淤地面末端修第二座坝,形成“上蓄下种”,把防洪、拦泥、生产三者统一起来,收到了较好的效果。并提出坝系规划的原则,即“因地制宜,全面规划,小多成群,大小结合,蓄种相间,轮蓄轮种,计划排淤”;在坝系布设上提出“全面利用,以排为主”和“蓄种相间,蓄排结合”两种形式;在修坝顺序上提出支毛沟由下到上、干沟由上到下或上下结合的办法。

20 世纪 70 年代,主要研究了水坠坝筑坝技术,对筑坝土料、坝坡比、边埂宽度、冲填速度、泥浆浓度、施工期坝体稳定计算、排水措施、经常性观测等进行了试验研究,取得了丰硕

成果。编印了《水坠坝科研成果汇编》1~5集,编制的《水坠坝设计及施工暂行规定》1984年被水电部列为部颁标准,出版《水坠坝》一书。

20世纪70年代末期,在黄土高原地区一些沟道工程治理较好的小流域内,由于建有高坝大库,以库容滞蓄洪水泥沙,即使不设溢洪道,洪水泥沙也能全部拦蓄,没有被冲毁,坝地也能保收,这就为治沟骨干工程建设提供了经验。

1986年国家将治沟骨干工程列为国家基本建设项目,在黄土高原,特别是黄河中游多沙粗沙区,以治沟骨干工程为主体的沟道坝系建设进入了新阶段,坝系规划也日趋完善。一是在上游建设骨干工程控制洪水,下游建设若干座淤地坝淤地生产。二是在各支沟和主沟上游布设骨干坝,在下游建设淤地坝,在有水源的地方建库蓄水,发展灌溉,排水治碱,做到水沙资源全面利用。三是对于较大的流域采取上、中、下游,根据沟道情况,在适当位置选择坝址,修建骨干坝,在骨干坝下游的干沟和各支沟依次筑坝淤地,并在沟岸一侧开挖排洪渠。

20世纪90年代,坝系建设研究进入了一个新阶段。1991年“多沙粗沙区沟道流域淤地坝相对稳定研究”被列为“八五”国家重点科技攻关项目,由黄委牵头,通过典型流域的调查研究,初步提出了坝系相对稳定的含义,并对坝系相对稳定的条件、标准等进行了初步研究。

黄河水利科学研究院曾茂林等提出:“相对稳定是指在一定频率的洪水条件下保证淤地坝的安全,在保收频率洪水下坝地高产稳产,泥沙基本不出沟,充分合理利用水沙资源,维修工程量小。”

方学敏等(1996)通过分析研究,提出了淤地坝相对稳定的防洪标准和坝地保收的标准。用坝地面积与坝控制流域面积之比作为描述淤地坝相对稳定状态的参数,此参数称为相对稳定指标(或者相对稳定系数),用 I 表示。即随着坝地面积的增加,相对稳定指标的数值逐渐增大,当增大到一定程度时,即达到相对稳定阶段,此时的相对稳定指标称为相对稳定临界值,用 I_0 表示。相对稳定临界值的定义为:在一定频率($P=2\%$)的洪水条件下,当坝地淹水深度为允许淹水深度时(如 $\delta=80\text{ cm}$)的坝地面积与流域面积的比值,称为相对稳定临界值。该值可用于判定淤地坝是否达到相对稳定,当 $I\geq I_0$ 时,淤地坝达到相对稳定;当 $I<I_0$ 时,淤地坝没有达到相对稳定。

1996年黄委“九五”科研基金项目“黄土丘陵沟壑区小流域坝系相对稳定及水土资源开发利用研究”课题组以“八五”攻关课题研究成果为基础,补充、完善了坝系相对稳定的含义,提出了新的坝系相对稳定概念和坝系相对稳定形成的条件。对坝系相对稳定有关指标、坝系相对稳定优化规划、坝系水土资源综合利用进行了研究,取得较大进展和有益的成果,同时人们对影响淤地坝建设环境因素的认识进一步加深,并在坝址选择、布坝密度、单坝高度、坝系结构、建坝顺序及安全运行等方面取得了广泛共识,形成了一系列理论和技术。

在此期间,一些学者利用上述标准,对一些已建坝系进行了稳定性分析和判别,也有人根据暴雨和土壤侵蚀模数的地区差异,进一步研究提出黄土高原不同地区淤地坝相对稳定系数的临界值在 $1/10\sim 1/40$ 变动(王英顺,2003)。

二、研究现状

按照过去的一些研究文献,所谓的“相对稳定”有其发展的过程。即在淤地坝不断接受

淤积的情况下,坝地面积不断扩大,当淤积达到一定程度,才有可能保证一定频率的洪水到达坝地时其淹没深度不超过允许值,这时才达到“相对稳定”。这意味着在此之前的淤地坝是不“稳定”的,淤地坝是随着淤积量的增加而逐渐“稳定”的。而实际上相反,淤地坝在建成初期,具有较多的库容可以拦蓄较多的洪水和泥沙,可以抵抗较大的暴雨洪水。随着时间的推移,淤积量增加,库容不断减少,抵御暴雨洪水的能力逐渐减弱,暴雨水毁的可能性增加。很显然,这个意义的“相对稳定”是非常局限的,实际上只是考虑理想条件下或者小流域有限部位或者单坝的水沙“相对平衡”而已。

实际上,许多研究成果并没有严格区分“单坝”和“坝系”而论“相对稳定”,到目前为止,许多文献所提出“相对稳定”的标准仍然是主要针对单个淤地坝的来水来沙与用水用沙的相对平衡。例如,对于小流域坝系,许多研究报告所提的坝地面积是单坝的淤积面积之和。这样,即使坝系淤积总面积与控制面积之比达到单坝相对稳定指标要求,在坝系中的某一些坝,甚至可能是关键的坝并未达到“相对稳定”。因此,将单坝相对稳定的技术指标简单用于评价坝系的相对稳定是不妥当的。

综观已有的坝系相对稳定的研究成果,我们认为还存在以下问题:

第一,由于环境因素对淤地坝建设的影响较为复杂,截至目前,针对影响淤地坝建设的环境因素的系统分析仍然较少,仍然缺乏概括总结和定量研究,还没有将经验理论化,造成推广应用困难。例如,沟道分级方法、支持坝系布局的理论、支持坝系防洪标准的理论等研究得不够。

第二,坝系相对稳定的评价指标过于简单,尽管已经考虑坝系的防洪安全及坝地保收,但是,对坝系减蚀减沙作用等标准并未明确。淤地坝对沟谷发育及侵蚀作用的控制作用缺乏研究。

第三,对坝系相对稳定的发展演化过程的研究不足。坝系相对稳定是一个终极目标,其不同发展阶段具有不同的特点。

第四,从真正“坝系”角度研究坝与坝之间的有关相对稳定的主要技术指标的关系较少,许多评价指标是单坝相对稳定的指标简单移植。

针对小流域坝系相对稳定研究存在的问题,黄委启动了“黄河中游多沙粗沙区典型小流域坝系相对稳定条件研究”项目。本课题研究工作从2005年开始,到2008年结束。在历时4年中,我们在前人研究成果的基础上,运用地貌学、水文学和侵蚀动力学等多学科知识,采用微观尺度和宏观尺度相结合、定量计算和定性分析相结合、理论推导和案例分析相结合的方法,将典型小流域坝系建设的经验理论化、典型坝系形成过程技术化,为小流域坝系的规划和快速稳定发展提供了理论依据和技术支持。

随着小流域坝系建设的深入,仍有越来越多的科学问题需要我们去研究。如:小流域坝系规划中工程规模、布局、配置结构等技术指标的确定方法原则和沟道坝系工程配套问题,坝系防洪问题,以及不同类型小流域沟道侵蚀发生发展规律,特别是坝系相对稳定及其形成条件的研究,涉及小流域坝系是否可以持续减沙及坝地是否可以在更长时间内发挥作用,对于其形成条件及过程研究可以为坝系建设的规划设计提供科学依据。

第二节 研究内容与方法

一、研究内容

(一) 坝系相对稳定的概念和评价方法、标准及指标体系研究

坝系“相对稳定”实际是人们对其稳定性的一种评价,不同目的、不同观点对坝系稳定性的认识是不同的。分析现有研究成果对“坝系相对稳定”的理解与贡献,对其不足之处进行深刻分析与评价,并吸取其精华,特别区分单坝稳定与坝系稳定的区别,在此基础上,根据黄土高原小流域坝系建设的目标,重点调查和分析不同地区天然聚淤与现有坝系的稳定情况、水沙利用及坝地利用情况、坝系对沟道发育的影响,提出“坝系”相对稳定的概念。该专题主要研究以下内容。

1. 坝系相对稳定理论研究

通过实例调研、统计,分析坝系稳定的表现方面,对坝系相对稳定基本概念的内涵与外延进行深入分析,对坝系相对稳定初步作出定义。有望在坝系相对稳定机理、内涵研究上有所突破。

2. 坝系相对稳定成立条件研究

通过对典型坝系的调查,分析影响坝系相对稳定成立条件的主要因子及其相互关系。重点从防洪或工程安全、拦沙作用、减蚀作用、坝地利用与保收等方面,分析坝与坝之间的联系及单坝与坝系的关系,研究不同功能类型的单坝相对稳定与坝系相对稳定的关系,区分不同功能类型的淤地坝在坝系相对稳定中的作用;从工程安全目标、水沙平衡(保收目标)目标、侵蚀控制(减蚀)目标等方面,建立坝系相对稳定的评价方法、标准及指标体系。

(二) 影响坝系相对稳定环境条件研究

在前人研究成果的基础上,通过典型小流域坝系的调查分析,运用地理学、水文学和侵蚀动力学等多学科知识,采用微观尺度和宏观尺度相结合、定量计算和定性分析相结合、理论推导和案例分析相结合的方法,从地理学角度综合分析研究影响和制约小流域相对稳定坝系建设的各个环境因素及其边界条件。

选择不同类型的典型小流域坝系作为研究对象,分析其地质条件、地貌形态(特别是沟道形态)、降雨特征、水文泥沙特征、坡面植被覆盖及坡面水土保持措施与工程稳定、水沙平衡趋势、沟道侵蚀影响以及小流域经济发展情况,分析其对坝系相对稳定的影响。分析提出相关自然要素与社会经济要素对坝系相对稳定制约的边界条件。希望通过本专题研究,探讨出各个要素对淤地坝建设的影响机制,为小流域坝系的规划设计以及黄河中游多沙粗沙区的综合治理提供一定的参考。具体研究内容有:

(1) 沟道特征对坝系建设的影响。讨论沟道特征对淤地坝投资效益及坝址选择的影响及建坝的沟道比降适宜范围;分析沟道特征对布坝密度、坝系结构及淤地坝相对稳定等的影响。

(2) 水文泥沙对坝系建设的影响。在前人研究的基础上,分析了水文泥沙特征对库容、坝高、工程量、布坝密度、布坝顺序及坝系相对稳定临界值的影响。

(3) 黄河中游多沙粗沙区坝系分布情况及其原因分析。收集黄河中游多沙粗沙区自然环境和社会环境资料及现有淤地坝的建设情况,分析影响该区淤地坝建设的主要环境因素

及限制性因素,讨论该区淤地坝建设存在问题并提出意见和建议。

(三) 坝系相对稳定的工程布局研究

该专题的主要研究目标是:通过典型小流域调查,研究如何通过调整坝系布局和坝系结构使坝系达到或趋向“相对稳定”。提出沟道分级理论依据和方法、坝系相对稳定的规划布局理论和方法。相对稳定坝系优化布局研究选择 30 个以上已建和在建典型小流域坝系,从沟道地貌分异规律,对不同类型坝系结构(骨干坝与中小型淤地坝的配置比例)和不同的布局方案,通过不同频率洪水风险分析、泥沙淤积分析、对沟道侵蚀环境的影响及其侵蚀作用分析,进行坝系相对稳定性评价,提出小流域坝系布局原则。重点研究以下内容。

1. 沟道分级方法及在坝系规划中的应用研究

黄土沟道流域的总体地貌结构决定了相应的坝系布设格局。为了寻求小流域的代表性和相似性的衡量指标,需要对小流域的几何形态进行定量分析。只有在充分地考虑了所在流域的地貌结构特点后,才能确立一个合理的坝系布局方案,才能有针对性地选择单功能坝的设置,才能最终实现坝系的相对平衡。所以,小流域沟道地貌的研究是坝系布局研究的基础和先决条件。

因此,只有在小流域地貌研究基础上进行沟道分级,有针对性地选择单功能坝的设置,实现坝系的结构稳定性,才能实现坝系相对稳定。

小流域沟道地貌研究内容主要有以下几个方面:

(1) 确定研究目的着眼于小流域地貌系统中的沟道形成规律。

(2) 确定小流域地貌构成要素。

(3) 分析系统中各要素之间相互联系、相互制约和关系,系统中及系统与环境之间物质和能量的交换过程,给出描述这些关系和过程的数学模型。

(4) 确定小流域不同沟道的治理方向和措施。本专题有望在应用地貌几何定量数学模型进行沟道分级,提出沟道分级理论依据和方法,解决我国在沟道分级中存在的沟道之间没有可比性和不能定量分析等问题;有望能按沟级分别布设不同规模的工程,便于坝系布局走向科学化、规范化。

2. 坝系布局理论与应用研究

在坝系相对稳定研究中,布局理论与应用研究是本项目研究的核心内容,也是本项目要解决的重要问题。本研究的目的是通过坝系布局理论方法的创新,回答如何布局一个相对稳定坝系,其技术、方法和目标是什么等问题,本专题的重点研究内容有:

(1) 相对稳定坝系布局理论研究。相对稳定坝系布局理论的关键是科学地布局控制性骨干工程,有望通过坝系布局理论的研究,解决沟道洪水泥沙科学控制和合理利用问题,使坝系建设向安全稳定、快速形成、高效利用方向发展。通过典型小流域坝系的调查研究,从众多的坝系布局经验中提炼与升华出坝系布局理论和方法。

(2) 效益最大化的建坝顺序研究。效益最大化的建坝顺序研究是本专题重点研究内容,也是实现相对稳定坝系建设的关键技术。其核心是不同沟道部位的骨干坝建设顺序、不同坝型建设顺序,坝系工程对流域地貌结构性稳定的加速形成具有重要的控导作用。

只有解决相对稳定坝系理论,才能使坝系建设前期工作步入科学化、规范化的轨道。

3. 坝系空间布局优化研究

地理信息系统(Geographic Information System, GIS)是近年来迅速发展起来的一门地学

空间数据与计算机相结合的新型空间信息技术,它把现实世界中对象的空间位置和相关属性有机地结合起来,可以满足用户对空间信息的管理,并借助其特有的空间分析功能和可视化表达,进行各种辅助决策。在 GIS 中,真实地形在计算机中的表达用数字高程模型(Digital Elevation Model,DEM),DEM 作为地球空间框架数据的基本内容和其他各种地理信息的载体,是各种地学分析的基础数据,是数字地形模型(Digital Terrain Model,DTM)的一个分支。运用地理信息系统强大的地形表现能力和空间分析功能,可以解决淤地坝规划中传统手工规划的难点,为设计和审批部门提供科学依据,提高设计和审批的效率。随着地理信息系统技术的广泛应用,流域的数字高程模型已成为操作和存储最方便的地形信息,并且经常被用来提取流域的河道网络和分析地形对流域的影响。相应地,主流 GIS 软件也推出了支持水文分析的功能模块。本书就是利用 ArcGIS 系列软件及其 Hydrology 工具,对 DEM 模型进行填洼处理、流向确定、河网生成、集水区域的生成以及流域边界的划分等,进而在等高线图上量测坝高-库容、坝高-工程量、坝高-淤地面积数据。

(四) 相对稳定坝系的形成与发展研究

该专题主要研究目的:通过对典型小流域坝系形成过程的调查分析,总结坝系相对稳定形成过程中的特征、机理及演变规律和条件,划分出坝系相对稳定形成过程中不同阶段之间质的区别、内涵和相互联系,研究提出相对稳定坝系建设的阶段特征及措施要求,为快速、稳定、高效益的坝系建设提供理论依据和技术措施。

选择多沙粗沙区多个已建和在建典型小流域坝系,从时间上分析坝系不同建设阶段的相对稳定特征及其发展过程,并且分析不同地貌部位、不同功能类型淤地坝达到相对稳定的空间演变规律。最后,对于不同类型的坝系,提出效益最大化的建坝时序的安排原则。重点研究内容有:

(1) 坝系相对稳定形成过程阶段划分研究。主要研究坝系相对稳定成立条件,形成机理、过程和阶段的划分及不同阶段的内涵要求,有望在坝系相对稳定理论和形成过程阶段理论、措施要求研究方面有所突破。

(2) 坝系相对稳定防洪标准理论和计算方法研究。主要研究坝系相对稳定防洪标准应遵循的理论,以及承担坝系防洪任务的单坝防洪标准之间的关系,提出坝系防洪标准遵循的理论依据,确定安全坝系防洪标准的计算方法。有望在理论研究和计算方法上有新的突破。

二、研究的方法

针对具体研究内容,分别采用不同研究方法和不同研究手段。

(一) 研究的方法

本研究运用地貌学、水文学和侵蚀动力学等多学科联合攻关的方法,从不同角度、不同方位研究修改和完善坝系相对稳定的概念及评价方法、标准、指标体系。采用“3S”技术和实地典型调查等手段,对小流域基本情况进行调查,研究坝系拦沙与减蚀作用及其变化规律,探讨坝系相对稳定的环境条件、布局条件以及建坝时序,并分析暴雨洪水造成垮坝的风险和坝系工程稳定暴雨洪水标准;运用侵蚀动力学、地貌发育理论和控制论的思维方法,从小流域侵蚀控制角度,分析坝系整体长期稳定的沟道条件。

(二) 研究的技术方案

在指导思想,采用多学科联合攻关的方法,从多角度、全方位研究坝系相对稳定的概

念及评价标准。运用水文学方法,结合现场调查和观测等方法,研究坝系拦沙量及其变化规律,探讨坝系水沙利用及水沙平衡的可能性,并分析暴雨洪水造成垮坝的风险和坝系工程稳定暴雨洪水标准;运用地貌发育理论和控制论的思维方法,从小流域侵蚀控制角度,分析坝系稳定的地形条件和标准;运用社会经济学研究方法,分析坝系相对稳定社会经济可行性。针对具体研究内容,分别采用不同的研究方法和研究手段。

首先,收集和查阅有关文献,充分消化和吸收前人的研究成果,分析其不足与贡献的基础上,注重研究成果的实用性、理论性和综合效益。结合典型小流域坝系的调查,分析坝系工程的稳定性、坝地利用及水沙平衡和沟道发育控制等情况,提出代表意义更加广泛的坝系“相对稳定”概念,确定坝系相对稳定的评价指标和评价标准。

其次,收集坝系建设小流域的大比例尺地形图,结合气候、水文泥沙资料分析,研究坝系拦沙作用和减蚀作用的发展演化过程及趋势;观测不同地质条件、地貌条件和地表覆盖条件下侵蚀发展过程,分析侵蚀减退和坝系水沙平衡的可能性;调查当地经济发展、产业结构、土地利用以及种植习惯等因素与坝地水沙利用及水沙平衡的关系,分析社会经济因素对坝系相对稳定的影响以及维持坝系相对稳定的社会经济可行性。

再次,充分发挥协作单位资料齐全、长期工作在第一线、经验丰富和科研院所技术先进、实力雄厚的优势,开展技术协作,优势互补,联合攻关,提高研究的理论水平和技术水平,争取在技术上有所创新,在理论研究上有新的突破。各项研究内容及其相互联系见图 1-1。

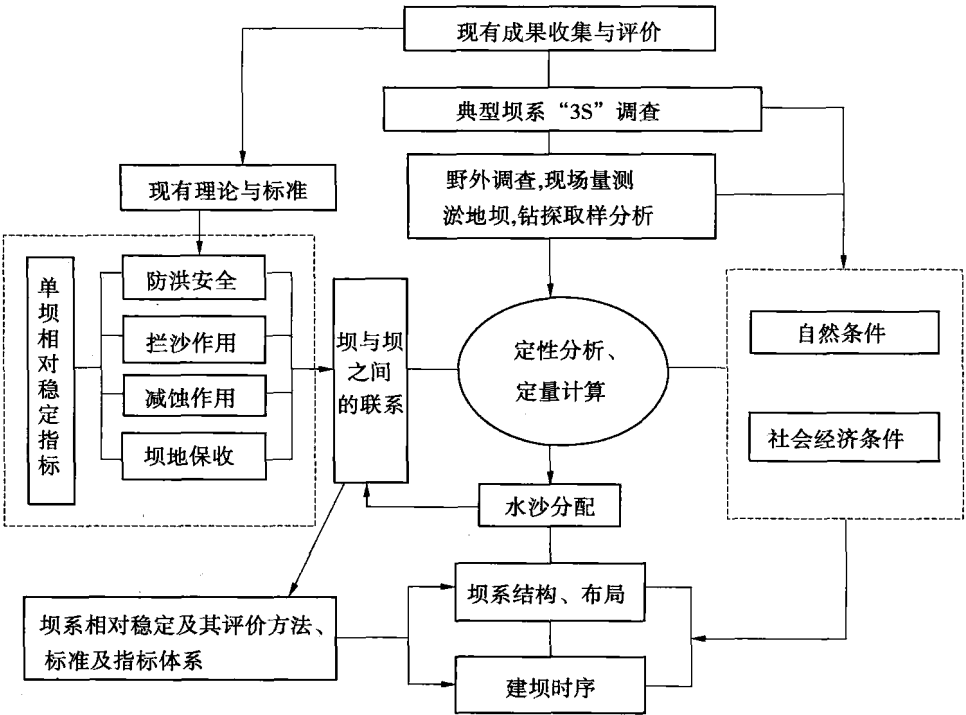


图 1-1 研究技术方案

1. 坝系相对稳定的概念及评价体系研究的技术方案

充分收集和吸取已有研究成果的精华,分析其不足,弄清已有研究成果中相对稳定评价指标的内涵、外延、提出背景、相互关系及其应用条件等。

野外实地调查现有典型坝系工程的稳定情况、坝地利用及水沙平衡、沟道发育控制等情况;研究不同类型的单坝相对稳定与坝系相对稳定的贡献;区分不同功能类型的单坝在整个坝系相对稳定中的作用,提出较为完整坝系相对稳定的内涵与外延。坝系相对稳定概念研究的技术路线见图 1-2。

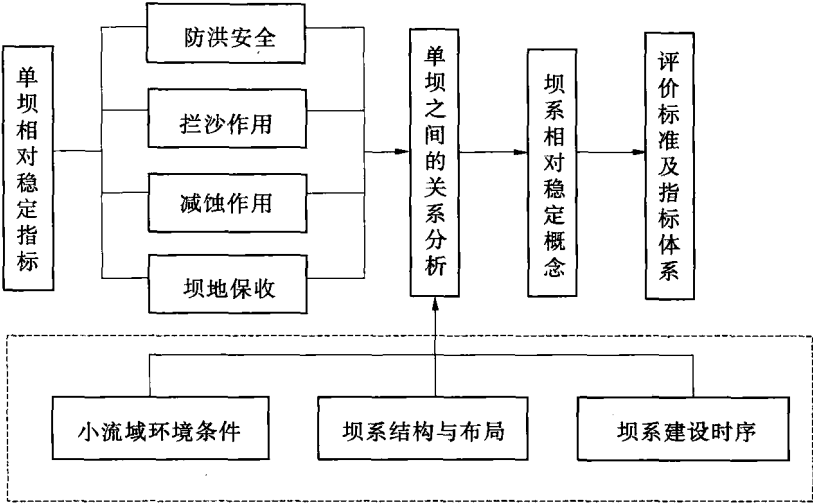


图 1-2 坝系相对稳定概念研究的技术方案示意图

从工程安全目标、拦沙作用、减蚀作用、坝地利用及保收等方面,分析坝与坝之间的关系,最后提出坝系相对稳定的评价方法、标准及指标体系。

2. 影响坝系相对稳定环境条件研究的技术方案

运用“3S”技术与野外实地调查相结合的方法。首先,收集或者购买典型小流域的高分辨率卫星影像、大比例尺地形图、地质图、水文气象资料、人口布局及构成和产业结构等社会经济发展统计数据;然后,运用“3S”技术方法,调查典型小流域地质地貌、土地利用、水土保持坡面措施布局、坝系工程布局等,结合野外典型调查和水文资料分析计算,分析这些因素与坝系工程防洪安全、坝地水沙条件、坝地运行情况及坝地利用的关系,并且分析坝地的减蚀作用及其趋势。坝系相对稳定环境条件研究的技术方案见图 1-3。

3. 相对稳定的坝系布局及形成过程研究的技术方案

采用典型调查、现场观测和对淤地坝进行地质钻探取样等野外方法,结合室内 GIS 空间分析,研究小流域坝系形成过程、淤积情况、坝地利用情况、淤地坝运行情况等;结合地形测量数据(如沟道纵比降)、气候、水文泥沙数据,进行水文学和侵蚀动力学计算,研究坝系拦沙作用和减蚀作用的发展演化过程及趋势。选择不同类型的小流域拟建坝系,通过对不同的坝系结构及布局方案的水文计算、洪水风险分析、淤积分配以及淤地坝对沟道侵蚀环境的影响分析,优选淤地坝配置结构,并对不同类型小流域提出坝系布局原则。

查阅、收集、整理相关研究成果资料和典型小流域坝系建设成果资料,完成典型小流域卫星图像。

开展野外调查和现场观测,结合气候、水文泥沙资料分析,研究典型小流域坝系拦沙作用和减蚀作用的发展演化过程及趋势。调查典型小流域地质条件、地貌条件和地表覆盖条件及其侵蚀发展特征;调查当地经济发展、产业结构、土地利用以及种植习惯等因素与坝地

水沙利用及水沙平衡的关系,分析社会经济因素对坝系相对稳定的影响。

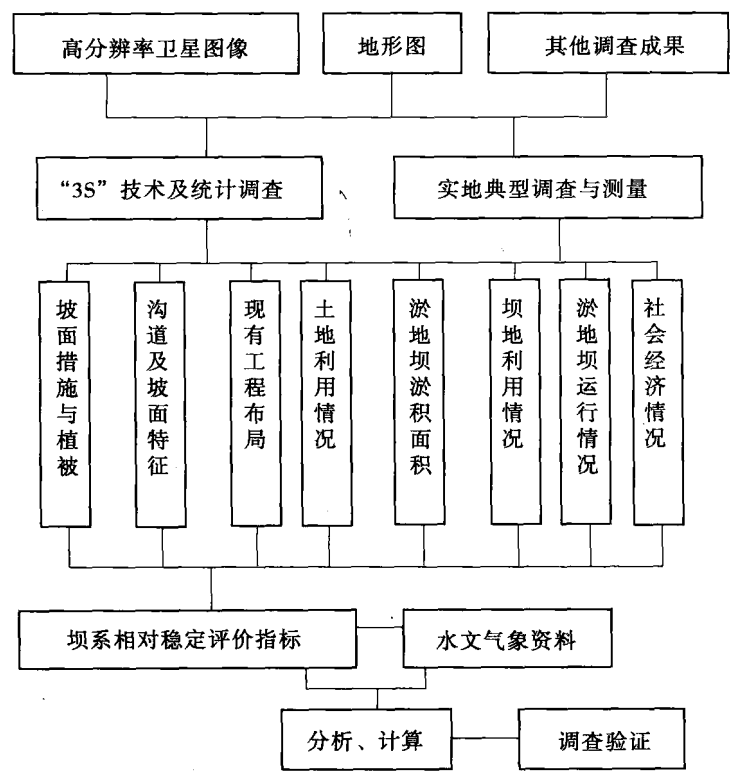


图 1-3 坝系相对稳定环境条件研究的技术方案

参 考 文 献

- [1] 黎汝静,徐名局. 治理黄河的新思路[J]. 科技导报,1995(1):10-12.
- [2] 刘正杰. 黄土高原淤地坝建设现状及其发展对策[J]. 中国水土保持,2003(4):1-3.
- [3] 王英顺,田安民. 黄土高原地区淤地坝试点建设成就与经验[J]. 中国水土保持,2005(12):44-46.
- [4] 石观海,贾绪平. 甘肃省淤地坝建设实践及发展前景[J]. 中国水土保持,2004(1):11-15.
- [5] 陈广宏. 宁夏淤地坝建设的成效与经验[J]. 中国水土保持,2005(4):36-37.
- [6] 张明. 山西省淤地坝建设探讨[J]. 山西水利,2005(4):12-13.

第二章 多沙粗沙区环境

第一节 多沙粗沙区的提出及范围

一、多沙粗沙区的提出

黄土高原地区水土流失面积 45.4 万 km^2 (水蚀面积 33.7 万 km^2 、风蚀面积 11.7 万 km^2), 侵蚀模数大于 8 000 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的极强度侵蚀面积和侵蚀模数大于 15 000 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的剧烈侵蚀面积分别占到全国同类水土流失面积的 64% 和 89%。严重的水土流失形成了黄土高原地区千沟万壑的特殊地形地貌, 不仅造成了当地土地退化、生态环境恶化, 制约了当地经济的发展, 造成了当地人民群众生活贫困; 而且每年向下游河道输送大量泥沙, 导致下游河床不断淤积抬高, 排洪能力减弱, 对洪水调节功能减弱, 加剧了洪水威胁。

黄土高原水土流失强度空间差异明显, 强烈侵蚀区较为集中。研究表明, 黄河河口镇至龙门区间及泾、洛、渭河上游 19.12 万 km^2 的多沙区是黄土高原地区的集中产沙区, 该区域每年输入黄河的泥沙约 13 亿 t , 占黄河多年平均输沙量 16 亿 t 的 80% 以上, 特别是多沙粗沙区, 面积只占河口镇至桃花峪区间的 22.8%, 但产生的泥沙多达 11.82 亿 t , 占中游输沙量的 69.2%, 占全河输沙量的 63%, 产生的粗泥沙达 3.19 亿 t , 占黄河中游粗泥沙量的 77.2%, 占全河粗泥沙总量的 73%。大量泥沙流入黄河, 使黄河水的平均含沙量高达 $35 \text{ kg}/\text{m}^3$, 由于黄土高原严重的水土流失使黄河成为驰名世界的高含沙量河流。这些泥沙中, 平均每年约有 4 亿 t 沉积在下游河床内, 使河床抬高近 10 cm , 经年累月的泥沙淤积, 使现在黄河下游河床平均高出两岸地面 4~6 m , 沿黄地区的城市地面均低于黄河河床, 河南新乡市的地面比黄河河床低 20 m , 开封市的地面比黄河河床低 13 m , 山东济南市的地面比黄河河床低 5 m , 使黄河成为举世闻名的地上“悬河”。目前, 河道泄洪能力大为降低, 洪水威胁的程度逐年加剧, 历史上黄河决口改道并对两岸造成深重灾难, 几乎皆源于此。1996 年 8 月花园口洪峰流量 $7\,600 \text{ m}^3/\text{s}$, 其水位比 1958 年的 $22\,300 \text{ m}^3/\text{s}$ 的大洪水还高 0.91 m , 淹没滩地 22.9 万 hm^2 , 使 107 万人受灾。黄河洪水危害成为中华民族的“心腹之患”, 直接威胁着下游两岸数千万人民的生命财产安全和经济建设、社会发展。同时, 水土流失不仅使水资源利用十分困难, 而且为了把大量泥沙输送入海, 每年汛期要占用输沙水量约 150 亿 m^3 , 使黄河水资源利用受到限制。

因此, 沙龙不缚, 黄河难安。集中力量治理多沙粗沙区, 是有效控制入黄泥沙、改善当地生态环境和促使当地人民脱贫致富的关键。

新中国成立后, 自 20 世纪 50 年代开始, 一批批水利专家和治黄科研工作者, 以科学求实的精神, 竭力探索, 向黄河泥沙淤积这一“顽症”发起冲击。对此, 清华大学教授、中国科学院院士、国际著名泥沙研究专家钱宁曾说过: “治黄离开了治沙将后患无穷”。正是怀着对黄河泥沙重要性的深刻认识, 1959 年的一天, 钱宁教授到黄河下游花园口滩地查看一座