

黄土高原沟道坝系 相对稳定原理与 工程规划研究

张红武 张欧阳 徐向舟 刘立斌 著

 黄河水利出版社

黄土高原沟道坝系相对稳定原理 与工程规划研究

张红武 张欧阳 徐向舟 刘立斌 著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书通过相似分析及模型试验的验证,提出了沟道坝系模型试验的方法,并从试验的角度研究论述了裸地沟坡模型的降雨产沙特性;研究了黄河下游河道冲淤及河床形态变化对侵蚀产沙区的响应机理;论证了黄土高原典型小流域坝系布局的拦沙效果及其发展规律;论述并运用沟道的自平衡机制,对坝系相对稳定原理进行了理论阐释和深入研究,并通过模型试验研究了淤地坝(系)的相对稳定过程与效应;研究论证了淤地坝拦沙减蚀的力学机理及保持相对稳定的原理。另外,还创造性地提出淤地坝的坝体新结构形式,并对区划黄土高原粗沙粒径进行了理论探索;列举了应用相对稳定原理指导流域坝系建设实例。

本书可供水土保持学、地理学、环境科学、泥沙动力学等专业的研究和管理人员及高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄土高原沟道坝系相对稳定原理与工程规划研究/张红武等著. —郑州:黄河水利出版社,2010.6

ISBN 978 - 7 - 80734 - 573 - 2

I. ①黄… II. ①张… III. ①黄土高原 - 挡水坝 - 水利工程
IV. ①TV64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 066487 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:hhsclbs@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:17

字数:414 千字

印数:1—1 500

版次:2010 年 6 月第 1 版

印次:2010 年 6 月第 1 次印刷

定价:45.00 元

前 言

黄土高原地区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之一,经流水长期强烈侵蚀,逐渐形成千沟万壑、地形支离破碎的特殊自然景观。据 1990 年公布的全国土壤侵蚀遥感普查资料,在黄土高原地区,水土流失面积达 45.4 万 km^2 , 占总土地面积的 71%。水土流失多集中在汛期(6~9 月), 占全年的 60%~90%。黄土高原各典型地区主要侵蚀类型为水蚀及重力侵蚀, 主要侵蚀发生时间为汛期, 主要侵蚀空间分布特征具有垂直分带性。特殊的自然条件是造成黄土高原水土流失的主要原因。

黄土高原强烈的土壤侵蚀, 不仅导致黄土高原地区水土及营养元素流失, 土地日益贫瘠, 耕地数量减少, 自然环境恶化, 造成新的贫困, 而且影响黄河下游河道的防洪安全。从黄土高原侵蚀下来的大量泥沙输送至下游河道造成河床强烈淤积并成为地上悬河, 河势强烈摆动, 洪水威胁日益严重。历史上, 炎黄子孙既得益于黄河与黄土的哺育而生息繁荣, 又受害于黄河与黄土相伴造成的黄河下游河道“善淤、善决、善徙”的特性而治水不止。在历朝历代, 如何制订治黄方略均是治国安邦的决策课题。对黄河治理方略的认识尽管一直存在较大的争议, 但治黄之本在于水土保持的观点已基本形成共识。鉴于水土严重流失区面积仅占黄土高原地区总面积的 20%, 而输入黄河的泥沙却占总入黄沙量的 80% 左右, 故采用现代工程措施拦减泥沙是最容易奏效的。在生物措施难以短期发挥作用且又在自然条件变得极其严酷后很难长期生效的情况下, 只有从基本的流域单元入手, 通过修筑控制性拦沙工程或淤地坝系等工程措施, 改变黄土高原水土严重流失区的侵蚀地理环境, 才是黄河治本之策。淤地坝是修建在水土流失地区各级沟道中的水土保持工程。淤地坝系是以骨干坝为主体、中小型淤地坝相配套并能联合运用的小流域治理工程。这些工程既是治理水土流失、拦减入黄泥沙的最有效措施, 也是改善生态环境、促进流域经济社会可持续发展的重要战略性措施, 对于黄河上、中、下游的治理开发都具有重要意义。

由于黄土高原自然地理环境极为复杂, 多种侵蚀类型交互耦合、产沙地层多样、人类活动剧烈, 进行野外试验观测非常困难, 且因对沟道侵蚀过程的野外试验方法与技术还不成熟等, 因此目前现场试验资料较少且不系统。尤其是设计条件下的技术参数还难以同步测取, 测试结果因没有把握相似关系而难以在定量上对工程实际进行指导, 甚至在定性上出现误导, 显然不能满足对流域治理方案及侵蚀产沙基本规律研究的需要。另外, 对于各项沟道坝系建设方案又难以直接在原型上进行试验比选。正因为如此, 在淤地坝及沟道坝系建设中, 对于诸如坝系总体布局、淤地坝减蚀作用和范围、沟道坝地拦泥减沙效应等关键技术问题, 长期缺乏系统和深入的研究, 急需借助模型试验来揭示土壤侵蚀及沟道重力侵蚀规律, 研究建坝顺序、布坝密度, 以及沟道与坡面产沙的相应关系, 确定合理的坝系布局结构、相对平衡时的合理拦沙库容、坝系分布及相应的坝高等, 以便探讨水土保持措施作用机理并论证优化配置方案, 为坝系建设提供有关参数。正是由于沟道坝系工程规划工作具有特殊性, 一直缺乏成熟的模式可供套用, 因此 2000 年黄河水利委员会(以下简称黄委)第三期水土保持科研基金拨出专款(1999 年立项), 由清华大学承担了“黄土高原沟道坝系相对稳定原理与工

程规划”项目(项目编号 2000-06)的研究。从水利部 2003 年把黄土高原淤地坝建设作为今后一个时期我国水利建设的“三大亮点”工程之一的情况看,该课题的立项显然是有超前性的。也正是由于该项研究工作适应了水土保持工程的实际需要,项目进行过程中同淤地坝建设结合较紧,不仅利用中间成果指导了工程规划,而且促进了本项目自身的研究,加强了成果的实用性。2005 年、2008 年黄委水土保持局及黄委先后组织召开的“黄土高原沟道坝系相对稳定原理与工程规划”成果审查会和验收会上,与会专家都给予了高度评价。

本书出版得到了清华大学水沙科学与水利水电工程国家重点实验室的资助,还得到国家自然科学基金青年基金项目(项目编号 40201008)“流域系统发育演变过程的复杂性及调控机理实验研究”、全国高等院校优秀博士论文作者专项基金项目(项目编号 199935)“黄河治理方略”、国家自然科学基金委员会与水利部联合资助重大项目(项目编号 59890200)“江河泥沙灾害形成机理及其防治研究”的资助。本书引入流域系统的概念,将流域系统的侵蚀产沙、输移和沉积子系统有机联系在一起,先论述了侵蚀产沙子系统——黄土高原的侵蚀产沙特征,然后论述这一系统对输移子系统——黄河下游河道的影响,最后又回到对侵蚀产沙子系统的控制——黄土高原治理,论证以中游黄土高原水土保持为中心的黄河治理方略的正确性。黄土高原水土保持治理的最有效方式是淤地坝系建设,而其关键则是要合理规划,以求坝系相对稳定。

本书主要以模型试验与科学分析相结合的研究手段,以黄土高原沟道侵蚀—环境影响—治理方略为主线,在回顾前人研究成果的基础上,通过归纳分析和模型试验,抓住降雨与侵蚀产沙这对主要矛盾,提出了沟道坝系半比尺模型试验方法;结合黄土高原侵蚀环境背景,通过试验手段揭示了沟坡产流产沙的微观机理,从试验的角度验证了在沟坡系统中,沟道侵蚀量远大于坡面侵蚀量,由此证实在黄土高原的水土保持实践中,通过加强淤地坝等治沟工程建设来控制沟道水土流失的决策是正确的;通过对黄河下游河道冲淤及河床形态变化对侵蚀产沙区不同水沙条件的不同响应机理的研究,论证了根治黄河的策略在于中游水土保持及上、中、下游通盘考虑的合理性;通过研究淤地坝的淤积抬高对上、下游的不同影响机理,表明流域侵蚀产沙的形式和强度与流域侵蚀基准面的高低密切相关,说明了淤地坝拦沙减蚀的力学机理,研究结果表明了淤地坝在水土保持诸措施中对减少进入流域下游泥沙能够起到极其显著作用的最根本原因。以上研究说明了小流域(淤地坝)坝系工程是针对黄土高原严重水土流失地区侵蚀(输沙)特点而修筑的一种针对性极强的沟道治理措施。实验室单坝放水试验和沟道坝系的降雨模拟试验结果都表明,淤地坝(坝系)相对稳定是客观存在的,也是可以实现的;研究还表明,不同的建坝顺序和建坝密度的拦沙效果是不一样的,需要按照规划区域范围的大小不同,选用不同的方法进行规划及合理性评价。

全书由张红武、刘立斌统稿,其中第 1 章由张红武、徐向舟、张欧阳执笔,第 2 章由张红武、徐向舟执笔,第 3 章由张欧阳、徐向舟执笔,第 4 章由张欧阳、张红武执笔,第 5 章由徐向舟、张红武执笔,第 6 章由徐向舟、张红武、刘立斌执笔,第 7 章由徐向舟、刘立斌、张红武执笔,第 8 章由刘立斌执笔,第 9 章由张红武执笔。

沟道侵蚀和淤地坝相对稳定及其基本理论是黄土高原治理的重要理论基础,有很多问题尚处于探索之中,随着研究的不断深入,必将对黄土高原治理理论起到积极的推动作用。作者殷切希望本书的出版能够引起相关人士对黄河治理工作的更大关注和支持,并希望对从事黄河流域治理研究的学者和管理人员有所裨益,共同将黄土高原及黄河治理工作推向

前进。

在本书的研究和写作过程中,得到黄委水土保持局汪习军及长江水利委员会水文局王俊等有关领导的大力支持,特此致以衷心的感谢! 本书研究成果包含多个物理模型试验的研究成果,清华大学钟德钰副研究员、张羽博士、冯顺新博士、董占地工程师等,黄河水利科学研究院马怀宝高级工程师,长江水利委员会水文局许全喜、白亮、周厚芳、童辉及清华大学水木科技研究所张红艺、卜海磊、马怀玉等参加了试验工作及资料整理与分析工作,他们为本书的出版作出了积极的贡献,特此致谢! 黄河水利出版社为本书的出版给予了大力支持,编校人员为此付出了辛勤的劳动,在此表示诚挚的感谢!

由于作者水平有限,书中难免出现谬误和不妥之处,敬请读者批评指正。

张红武

2010 年 2 月

目 录

前 言

第1章 绪 论	(1)
1.1 黄土高原水土流失与治理概况	(1)
1.2 黄河的治本之策	(5)
1.3 沟道坝系相对稳定及工程规划研究进展	(9)
1.4 水土保持研究方法概述	(11)
1.5 研究内容、研究成果及章节安排	(13)
第2章 土壤侵蚀及沟道坝系模型试验方法研究	(18)
2.1 模型试验方法研究现状	(18)
2.2 土壤侵蚀相似原理概述	(22)
2.3 土壤侵蚀模型的特殊性及与河工模型类比	(24)
2.4 土壤侵蚀模型设计方法探索	(28)
2.5 模型试验方法验证	(31)
2.6 讨论与展望	(46)
第3章 黄土高原流域演化与沟坡侵蚀产沙规律	(49)
3.1 流域地貌演化与黄土高原侵蚀阶段	(49)
3.2 黄土高原的土壤侵蚀背景特征	(53)
3.3 黄土高原侵蚀产沙特征	(61)
3.4 流域演化模型试验研究	(70)
3.5 沟坡侵蚀动力过程的模型试验研究	(81)
3.6 基准面变化对侵蚀产沙的影响试验研究	(91)
第4章 黄土高原侵蚀产沙对下游河道的影响	(96)
4.1 黄河流域产水产沙、输移和沉积系统的划分	(96)
4.2 粗沙临界粒径的理论划分	(102)
4.3 黄土高原强烈侵蚀对黄河下游河道冲淤的影响	(108)
4.4 黄土高原强烈侵蚀对黄河下游河床形态调整的影响	(123)
第5章 黄土高原坝系建设的作用和效益	(139)
5.1 黄土高原淤地坝建设情况	(139)
5.2 黄土高原淤地坝的作用	(144)
5.3 淤地坝效益分析计算方法	(147)
5.4 沟道坝系效益分析实例	(151)
第6章 坝系相对稳定原理及试验研究	(160)
6.1 淤地坝的拦沙减蚀机理	(160)
6.2 坝系相对稳定基本原理	(162)

6.3	坝系相对稳定原理的模型试验研究	(164)
6.4	淤地坝新技术与新方法	(174)
第7章	坝系规划及模型试验研究	(177)
7.1	沟道坝系的规划与评价	(177)
7.2	沟道坝系规划模型试验研究	(179)
7.3	不同沟道级别坝系的工程规划方法研究	(185)
第8章	应用相对稳定原理指导流域坝系建设实例	(193)
8.1	韭园沟示范区坝系优化规划布设	(193)
8.2	阳曲坡流域坝系工程建设相对稳定可行性研究	(219)
第9章	结 论	(250)
参考文献		(253)

第1章 绪论

1.1 黄土高原水土流失与治理概况

黄土高原地区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之一,它西起日月山,东至太行山,北界阴山,南抵秦岭、伏牛山。高原由西北向东南倾斜,海拔多在1 000~2 000 m,除许多石质山地外,大部分为厚层黄土覆盖。全地区总土地面积64.2万 km^2 ,涉及青海、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南等省(自治区)50个地(市)、317个县(旗),总人口8 740万人,其中农业人口占79%。经流水长期强烈侵蚀,逐渐形成千沟万壑、地形支离破碎的特殊自然景观。据1990年公布的全国土壤侵蚀遥感普查资料,在黄土高原地区水土流失面积达45.4万 km^2 ,占总土地面积的71%。水土流失多集中在汛期(6~9月),占全年的60%~90%(焦菊英、王万中、郝小品,1999a)。黄土高原各典型地区主要侵蚀类型为水蚀及重力侵蚀,主要侵蚀发生时间为汛期,主要侵蚀空间分布特征具有垂直分带性(王占礼、邵明安,2001),特殊的自然条件是造成黄土高原水土流失的主要原因。

1.1.1 黄土高原水土流失的下垫面条件

黄土高原位于中国地台的西部和祁连山地槽的东部。古地形的基本轮廓是在白垩纪燕山运动以后形成的。高原上主要山脉和河流把高原分隔成三部分:①山西高原。吕梁山以东至太行山西麓,有许多褶皱断块山岭和断陷盆地,山岭多呈北北东走向,主峰海拔均超过2 000 m,山地下部多为黄土覆盖。主要的河谷盆地有太原盆地、临汾盆地、忻县盆地、运城盆地、榆社盆地、寿阳盆地等。②陕甘黄土高原。吕梁山和六盘山(陇山)之间,黄土连续分布,厚度很大,其堆积顶面海拔一般为1 000~1 300 m。地层出露完整,地貌形态多样,是中国黄土自然地理最典型地区。③陇西高原。六盘山以西,高原海拔约2 000 m,黄土厚度逐渐增大,成为波状起伏的岭谷。高原沟间地和沟谷地貌形态迥然有别。沟间地地貌主要类型是塬、梁、峁。沟谷除河流的干支河谷外,还有为数众多的小沟谷。

流域的下垫面性质是影响水土流失的内在条件,包括下垫面的地质、地貌、土壤和植被覆盖等因素。流域下垫面地质地貌的演变主要通过影响径流的汇集过程对径流侵蚀和输沙起作用。流域下垫面土壤的物理、化学性质既影响降雨产流过程,也反映土壤的抗蚀性能。植被种类、覆盖率及分布既影响流域降雨滴溅侵蚀,又影响径流冲刷侵蚀。

黄土高原地区气候条件恶劣,植被稀少,自古即是自然条件极为严酷、水蚀风蚀最为严重的地区之一。土壤及地面组成物质与水土流失的强弱有直接的关系。黄土高原大面积的强烈水土流失,与地表覆盖深厚疏松、垂直节理发育的黄土直接有关。黄土高原是世界上黄土覆盖最深厚、黄土地形最典型的地区,黄土厚度一般为数十米至200 m。该地区70%的地面覆盖了第四纪黄土,黄土主要由粉沙壤土组成,粉沙含量占60%,质地均匀,结构疏松,富含钙质,遇水极易崩解分散,抗蚀力很弱,极易流失。黄土的颗粒组成从北到南逐渐由粗变

细,土壤的黏结力由南向北逐渐减弱,黄土高原的土壤侵蚀模数也就由南向北逐渐加大(刘东生等,1985)。

黄土高原的地貌条件是导致水土流失的另一重要因素。地貌条件中坡度和坡长与侵蚀的关系最为密切。黄土高原沟壑纵横,地面形态具有特殊性,一有径流就会很快汇集成股流。该地区相对高差 100 ~ 200 m,径流从梁峁顶直达沟底,沿程逐渐汇集增大,加上黄土抗冲性弱,容易引起强烈的侵蚀(周佩华,1997),黄土高原的土壤侵蚀严重程度为全国之最。该地区的侵蚀以各种类型的沟蚀为主,根据多年来模拟降雨试验和暴雨后实地测量结果,在片蚀和细沟侵蚀地段,细沟侵蚀量占总侵蚀量的 60% ~ 80%,在浅沟侵蚀地段,浅沟侵蚀量约占总侵蚀量的 50%,沟蚀的强弱主要与土壤抗冲性有关(周佩华、郑世清、吴普特等,1997)。

朱显谟(1994)从黄土高原地区特殊的环境条件入手,反复论证了黄土—土壤结构剖面的形成是在黄土沉积、成壤和成岩三种过程同时同地进行而形成的现象。黄土高原的黄土大体上可以明确为外源沉积,而且主要是风成沉积。黄土颗粒之间常常为点棱接触,互相支架,形成多孔结构,简称“黄土一点棱接触支架式多孔结构”。这一结构解释了黄土高渗透、高蓄水容量以及旁渗性极低和充水后又易湿陷等性能的原因。黄土的侵蚀性能还与土壤的含水量及容重关系密切。由于土壤抗剪力能较好地反映土壤本身抵抗雨滴击打及径流冲刷破坏能力的强弱,所以它可以作为土壤抗蚀力的表征参数(Al-Drrah M M, Bradford J M, 1981, 1982a, 1982b)。研究表明,黄土高原表层土壤抗剪强度起初随含水率增加而缓慢增大,在含水率为 12% ~ 14% 时达到最大,然后迅速减弱;容重对土壤抗剪强度的影响表现为:随容重增大,土壤抗剪强度呈直线趋势较快增大(赵晓光、石辉,2003;李占斌,1996)。

1.1.2 黄土高原水土流失的降雨条件

黄土高原地区大部分属干旱、半干旱地带,空气干燥,云量少,光照充足。年降水量大部分地区在 350 ~ 550 mm,从东南往西北逐步递减,年内分布极不均匀。一般 6 ~ 9 月降雨量占全年总量的 60% ~ 70%,冬春少雨,3 ~ 6 月降雨居中,小于 5 mm 的无效降雨占同期降雨量的 13% ~ 60%,易发生春旱。年际变化也很大,多雨年与少雨年的雨量相差 3 ~ 4 倍。汛期有 50% ~ 60% 的降雨属暴雨型,强度大,历时短,降雨强度大于 1 mm/min、历时几分钟到十几分钟的暴雨就能造成水土流失或洪水灾害(孟庆枚,1996)。根据暴雨的成因和降雨特点,可把黄土高原的暴雨分为三种类型(焦菊英、王万中、郝小品,1999a):A 型暴雨,即由局地强对流条件引起的小范围、短历时、高强度暴雨;B 型暴雨,即由锋面型降雨引起的夹有局地雷暴性质的较大范围、中历时、中强度暴雨;C 型暴雨,即由锋面型降雨引起的大面积、长历时、低强度暴雨。其中 A 型暴雨是引起土壤侵蚀的主要暴雨,其侵蚀性降雨发生的比例占侵蚀性降雨总次数的 52.9%,其侵蚀量占总侵蚀量的 64%,在坡面和沟道中 70% 的极强烈侵蚀量是由 A 型暴雨产生的。A 型暴雨的降雨历时一般在 30 ~ 120 min,最长一般不超过 180 min,最短只有几分钟;最常发生的降雨历时在 60 min 内,主降雨历时大都只有几分钟至二三十分钟。暴雨的雨量为 10 ~ 30 mm,一般不超过 50 mm。从不同时段雨量的集中程度看,最大 10 min 降雨量占总降雨量的 25% ~ 70%,最大 30 min 降雨量占总降雨量的 55% ~ 95%,最大 60 min 降雨量占总降雨量的 85% 以上。因此,黄土高原水土流失的集中度相当高,其土壤侵蚀主要是由少数几次特大暴雨所引起的,许多地方一次暴雨的侵蚀量占全年总

侵蚀量的60%以上,甚至超过90%(周佩华、张学栋、唐克丽,2000)。对于一个地区来说,不仅一年的侵蚀量集中到一二次降雨过程之中,而且多年的侵蚀量也往往决定于几场降雨(焦菊英、王万中、郝小品,1999a)。A型暴雨的雨区面积一般在 500 km^2 以下,中心雨区只有十几平方公里,甚至几平方公里,而且流域空间降雨的均匀性很差,流域降水不均匀系数 η 值一般在0.58左右,有的只有0.2、0.3;面雨量离差系数 C_v 值一般为0.5~0.7,有的超过1.0(焦菊英、王万中、郝小品,1999a)。根据黄土高原暴雨实测资料的面代表性分析,对于局地性降雨来说,按10%误差计算,流域出口站可代表的流域面积为 $15\sim 20\text{ km}^2$;按20%的误差计算,流域出口站可代表的流域面积为 $30\sim 50\text{ km}^2$;流域面积超过 50 km^2 时,流域出口站面雨量的误差程度超过30%(焦菊英、王万忠、郝小品,1999b)。

降雨是发生水力侵蚀的主要外营力。降雨特性(降雨量、降雨强度、雨型以及前期影响雨量等)直接影响侵蚀力的大小。在水力侵蚀最活跃的黄土高原地区,夏秋暴雨频繁,属典型超渗产流区,降雨强度是影响产流产沙的关键因子。能够引起土壤侵蚀的降雨称为侵蚀性降雨。王万忠、焦菊英(1996a)根据陕西省子洲县团山沟3号径流场33次降雨产流产沙的过程变化情况,统计分析不同类型降雨坡面产流过程中的降雨变化及产流产沙过程变化。从产流过程中降雨变化的总体情况看,由于黄土性土壤具有超渗产流的显著特点,因此不论产流发生前降雨量多大、历时多长,关键是触发产流的瞬时降雨强度要达到 0.5 mm/min 左右。彭文英、张科利(2001)通过对陕西省安塞县降雨侵蚀资料的分析得知,引起不同农作物下垫面的侵蚀性起始产流的雨量、雨强差异并不明显,产流产沙主要是在最大30 min时段内、雨强大于 0.4 mm/min 的条件下产生的,它们的差异也主要发生在该时段内。

1.1.3 黄土高原水土流失概况

黄土高原水土流失形式主要有水蚀、风蚀和重力侵蚀。其中水蚀可分为溅蚀、面蚀、细沟侵蚀、切沟侵蚀、冲沟侵蚀。重力侵蚀的主要形式为崩塌、滑坡、泻溜。在水土流失的特点上集中体现在四个方面:一是水土流失面积广。黄土高原地区几乎到处都存在水土流失,其中侵蚀模数大于 $1\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 的水土流失面积 45.5 万 km^2 ,占总面积的70.9%;侵蚀模数大于 $5\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 的强度水土流失面积为 19.1 万 km^2 ,占水土流失面积的42%。二是侵蚀强度大。侵蚀模数大于 $5\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 的强度水蚀面积为 14.65 万 km^2 ,占全国同类面积的38.8%;侵蚀模数大于 $8\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 的极强度水蚀面积为 8.51 万 km^2 ,占全国同类面积的64.1%;侵蚀模数大于 $15\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 的剧烈水蚀面积为 3.67 万 km^2 ,占全国同类面积的89%。三是流失量多。多年平均输入黄河的沙量16亿t,筑成截面为 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的土堤,可绕地球赤道27圈半。水土流失使黄河的平均含沙量高达 35 kg/m^3 ,是长江的29倍。四是产沙地区、时间集中。黄河泥沙主要来自面积为 7.86 万 km^2 的多沙粗沙区,这一地区年均输入黄河泥沙14.6亿t,占黄河年沙量的80%以上。从小流域看,泥沙主要来自于沟道,产沙时间主要集中在汛期(孙太旻、赵家银,2003)。

黄土高原黄土丘陵沟壑区和黄土高原沟壑区是水土流失的主要区域,面积约为 25 万 km^2 ,侵蚀模数一般为 $5\,000\sim 10\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$,少数地区高达 $20\,000\sim 30\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ (孟庆枚,1996)。该地区土地面蚀和沟蚀均十分严重。面蚀以坡耕地为主,一般 $15^\circ\sim 25^\circ$ 的坡耕地,每年每公顷土地流失土壤 $75\sim 100\text{ t}$,土地日趋瘠薄。沟蚀主要发生在沟壑区,该区沟壑面积占30%~40%。黄土丘陵沟壑区的主要特点是地形破碎、千沟万壑, 15° 以上的土地面

积占 50% ~ 70%。该区依据地形地貌差异分为 5 个副区, 1 ~ 2 副区以梁峁状丘陵为主, 3 ~ 5 副区以梁状丘陵为主。1 ~ 2 副区主要分布于陕西、山西、内蒙古 3 省(区), 面积为 9.79 万 km², 沟壑密度 2 ~ 7 km/km², 沟道深度 100 ~ 300 m, 多呈“V”字形, 沟壑面积大。3 ~ 5 副区主要分布于青海、宁夏、甘肃、河南 4 省(区), 面积 12.08 万 km², 沟壑密度 2 ~ 4 km/km²。小流域上游一般为涧地和掌地, 地形较平坦, 沟道较少, 中下游有冲沟。黄土高塬沟壑区主要分布于甘肃东部、陕西延安南部和渭河以北、山西南部等地, 面积 3.27 万 km²。该区地形由塬、坡、沟组成, 塬面宽平, 坡度 1° ~ 3°, 其中甘肃董志塬和陕西洛川塬面积最大、塬面较为完整; 坡陡沟深, 沟壑密度 1 ~ 3 km/km²; 沟道多呈“V”字形, 沟壑面积较小。

黄土高原地区的沟道侵蚀主要表现为沟底下切、沟岸扩张、沟头前进等几种形式。强烈的水土流失, 特别是沟蚀, 把地面切割得支离破碎、千沟万壑。全区长度大于 0.5 km 的沟道达 27 万条, 仅河龙区间(河口镇—龙门)沟长在 0.5 ~ 30 km 的沟道就有 8 万多条(孟庆枚, 1996)。黄土丘陵沟壑区和黄土高塬沟壑区大部分地区沟头每年前进 1 ~ 3 m, 有的地方一次暴雨就使沟头前进 20 ~ 30 m, 甚至达到 100 m 以上。宁夏固原县在 1957 ~ 1977 年的 20 年间, 由于沟蚀, 损失土地 6 666.7 hm² 左右; 甘肃董志塬在近 1 000 年间, 由于沟蚀, 塬面面积减少了一半。

黄土高原的沟壑区是泥沙的主要来源地。据黄河水利委员会研究成果, 黄土丘陵沟壑区沟谷面积占总面积的 45% ~ 55%, 而产沙量却占 50% ~ 70%; 黄土高塬沟壑区沟谷面积占总面积的 30% ~ 40%, 而产沙量却占 85% 以上(孟庆枚, 1996)。多年平均输入黄河泥沙量 20 世纪 50 ~ 70 年代高达 16 亿 t, 经过多年的治理, 进入黄河的泥沙量大幅度减少, 其中水利水保措施减沙量为 3 亿 t, 但 20 世纪 80 年代到 21 世纪初多年平均输入黄河泥沙量仍然高达 7.5 亿 t(孟庆枚, 1996)。严重的水土流失制约了区域经济社会的发展, 大量泥沙入黄, 致使一些水库难以保持有效库容, 对黄河下游防洪安全也构成了极大威胁。因而, 加快黄土高原水土流失的治理步伐, 对于促进我国经济社会的可持续发展, 保障西部大开发的顺利实施和黄河的长治久安, 都有十分重大而深远的意义。

1.1.4 黄土高原水土流失治理概况

黄土高原强烈的土壤侵蚀和水土流失, 不仅使当地生态环境恶化, 地形遭受切割, 地面完整性和生物多样性遭到破坏, 交通阻断, 耕地减少, 土壤大量营养元素流失, 肥力衰退, 土地退化, 农业减产, 贫困加剧, 经济与社会的发展受到影响, 而且还淤积河道, 给黄河下游防洪安全构成了极大威胁, 严重影响水资源的开发利用。黄土高原地区的水土流失有其特殊性, 正确认识与把握水土流失规律和特点, 对于搞好水土流失治理和生态环境建设具有重要意义。

新中国成立后, 黄土高原作为水土保持工作的重点地区, 得到了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与科学研究工作, 已取得了举世瞩目的成就。在许多治理较好的地区和中、小流域, 有效地控制了水土流失, 显著地改变了贫困山区的面貌, 减少了河流泥沙, 保证了黄河安澜, 为促进国民经济持续发展发挥了积极作用。

黄土高原地区人民群众在与水土流失长期斗争的实践中, 总结出了以生物措施、工程措施、农业耕作措施为主要内容的水土保持综合治理措施体系, 成为治理水土流失的有效途径, 对于改善该区的生态环境、促进区域经济发展和减少入黄泥沙起到了积极的作用(孙太

旻、赵家银,2003)。在生物措施建设上,先后开展了人工林、经济林、果园、人工草地建设,主要作用是拦截雨滴,涵养水源,调节地面径流,固结土壤,增加植被,防风固沙,保持水土,解决“三料”(肥料、饲料、燃料),改善小气候,促进农、林、牧、副全面发展。在工程措施建设上,主要有淤地坝、沟头防护工程、谷坊等,主要作用是抬高侵蚀基准面,防止沟底下切、沟岸扩张、沟头前进;拦泥淤地,减少入黄泥沙;蓄水养殖、发展灌溉,解决生活用水;以坝代路,改善交通条件。在农业耕作措施建设上,一是开展了坡面修梯田、条田的治理,主要作用是减缓坡度,截短坡长,改变小地形,变“三跑田”为“三保田”,提高土地生产力,为调整土地利用结构、陡坡退耕还林还草创造条件;二是等高沟垄种植、草田轮作。主要作用是改良土壤,提高透水性及蓄水、保土、保肥能力,增强土壤抗蚀、抗冲能力。同时,还开展了生态修复措施建设,主要是通过实施封育保护措施,利用大自然的自我修复功能,促进植物的健康生长发育,从而达到改善生态环境的目的,目前已显现出了良好的效果。此外,在水土保持分区治理及关键措施配置上,对黄土高原沟壑区、黄土丘陵沟壑区和风沙区等9个不同水土流失类型区,按照各区的不同特点,因地制宜地配置相应的水土保持措施,收到了明显的成效。在黄河上游,为减轻多沙支流突发性洪水对黄河干流的淤积影响,现也有较多举措,科研方面也有一定进展。例如1998年汛后张红武、许雨新等针对内蒙古西柳沟入黄洪水造成的灾害,曾向包钢提出阻截、送导、扩边的处治方案,即:①在沟口上游,用钢筋混凝土杄杈组合坝阻截泥沙、削减入黄洪水流势,同1987年解决寻峪沟洪水对故县水利枢纽影响而设置透水网格坝的原理类同(张红武等,1999);②在交汇口上游侧设置下挑杄杈组合坝,送导入黄泥流并便于干流输送;③在沟口段下游侧扩大支流边岸,拓宽冲积扇范围,缓解干流淤积压力。

淤地坝是黄土高原地区广大人民群众在长期的生产实践和同水土流失的斗争中,探索、创造出来的一种水土保持工程措施,在治理水土流失方面发挥着重要的作用。为提高整个流域的防御能力,实现沟道水沙资源的全面开发和利用,近些年人们逐渐以小流域为单元,在沟道中合理布设骨干坝和中小型淤地坝等沟道工程,从而建成沟道防治体系,即所谓的沟道坝系。半个多世纪来,黄河流域累计建成骨干坝1480余座,总控制面积10041 km²,总库容15.2亿 m³,其中拦泥库容8.48亿 m³。已建成淤地坝11.35万座,淤地32万 hm²,保护川台地1.87万 hm²(孟庆枚,1996)。“八五”期间规划建设14条坝系已具规模,并在防洪、拦泥、淤地、浇灌等方面发挥着巨大的综合效益。根据《黄河近期重点治理开发规划》,近期黄土高原水土保持生态建设将以多沙粗沙区为重点,并把淤地坝的建设作为小流域综合治理的主体工程。2003年,水利部把黄土高原淤地坝建设作为今后一个时期我国水利建设的“亮点工程”之一,组织编制了《黄土高原地区水土保持淤地坝规划》(中华人民共和国水利部,2003),安排专项基金,启动实施了黄土高原地区淤地坝建设工程。按照规划,到2010年,在现有的淤地坝基础上,再建设淤地坝6万座,工程实施区水土流失综合治理程度达到60%;到2015年,建设淤地坝10.7万座,整个黄土高原地区淤地坝建设全面展开;到2020年,建设淤地坝16.3万座,实现黄土高原地区主要入黄支流基本建设成较为完善的沟道坝系,发挥重要的拦沙效益。

1.2 黄河的治本之策

黄河流经中国腹地,炎黄子孙既得益于黄河与黄土的哺育而生息繁荣,又受害于黄河与

黄土相伴造成的黄河下游河道“善淤、善决、善徙”的特性而治水不止。在中华民族的生存发展史中,有很大的篇幅都与黄河治理有关。在历朝历代,如何制订治黄方略均是治国安邦的决策课题。备受后人推崇的最早的治黄成功事例是传说中的大禹治水。他改进了共工和鲧“围堵障水”的做法,采用“疏川导滞”之策,平息了水患。这一传说,实际上是对先民治河的总结(谢鉴衡、赵文林,1996)。从周以后的文献记载中,可证实防御洪水的黄河大堤的雏形远在春秋战国时期以前即已存在。以后诸侯国家兴起,可以组织更多的人力、物力,从一时一地出发,于是在大河两侧出现各自为政甚至以邻为壑的堤防。规模比较大的和比较长的就成为我国早期的长城了。文字记载十分确切的是在西汉汉哀帝即位之初贾让提出的治河三策,是继鲧、禹之后较早提出创见并且见于正史记载的重要治黄方略。贾让当时面对的黄河下游河道“河高出民屋”,已是“地上悬河”,堤防宽窄很不一致,布局更是混乱,所以他主张筑堤治河是治河的下策。治河三策中的上策主张放弃旧有河道,人工改道北流。他认为:“此功一立,河定民安,千载无患,故谓之一策。”中策主张开渠引水,分洪入漳。“此诚富国安民,兴利除害,支数百岁,故谓之中策。”限于当时的社会经济条件,贾让的治河三策均没能切实执行,而东汉王景的宽河行洪之策却得到了大规模实施。王景治河选定行河路线自荥阳东至千乘海口千余里,修渠筑堤,并利用沿河大泽进行放淤,其线路较优,取得了无重大改道变迁的成就,备受后人赞赏。但由于黄河上中游来沙量太大,大量的泥沙淤积在河道,这种安澜只是相对的,后来还是出现了泛滥决口的现象,至少隋唐五代时期比较明显。明代潘季驯提出了“束水攻沙”的治河理论并付诸实践。他主张南北两岸“坚筑堤防”,努力完善堤防系统,如用缕堤束水攻沙,用遥堤约束洪水泛滥,用格堤阻止滩区行洪并促进滩地落淤;为防御大洪水,又修建滚水坝分泄水,并且在当时黄河南流的条件下,充分利用淮河之水,借助洪泽湖的调节能力“蓄清刷黄”。潘季驯治河抓住黄河泥沙淤积的根本问题,值得后人借鉴。因此,在潘季驯之后的明、清治河举措,多遵循他的治河原则,他的治河思想和方法甚至影响至今。虽然“束水攻沙”能提高水流的输沙能力,增大输入海洋的泥沙量,但黄河的淤积量仍然很大,河床继续淤高,泥沙灾害日益积累,以至于1855年发生了铜瓦厢决口改道的剧变。

自4 000多年前的大禹治水以来,历经多少前辈的治河实践,一直未能改变黄河这条泥龙恣意游荡的脾性。据史书记载,2 600多年里黄河泛滥1 500次、改道26次。下游决口泛滥范围,北抵津沽,南达江淮,纵横25万 km^2 。频繁的决口改道,给两岸群众带来了深重的灾难。而今,随着黄河流域人口的急剧增长,社会经济的迅速发展和人类活动强度的大大增加,母亲河的忧患仍然存在。由于黄河流域水资源总量相对较少,但人口众多,用水量大增,因此冲沙入海的水量大大削减,下游河床不断淤积抬高,行洪能力大大减弱。高滩滩面漫水机遇已与1855年铜瓦厢决口前的情况接近,河道已趋于预警高度,悬河形势极为严峻,严重威胁着下游两岸人民生命财产的安全。另外,由于水量剧减,又产生了季节性断流灾害。自1972年以来的27年中就有21年断流,尤其是20世纪90年代,年年出现断流的情形。断流已经影响到依靠黄河供水的城乡生活和工农业生产用水,不仅直接造成重大经济损失,还带来了诸多的生态环境问题(张俊华、张红武、陈书奎等,1999;姚文艺、赵业安、汤立群等,1999),如加重了河口地区土地盐碱化,河口湿地生态系统退化,生物多样性减少,黄河三角洲日渐贫瘠等。黄河断流与洪涝灾害相互交织,黄河安澜中隐伏着危机,治黄事业无比艰巨而又任重道远。特别是随着国民经济的发展和黄河的演变,对黄河治理和开发提出了更高的要求,使治黄面临着许多挑战。如何使治黄事业更为符合客观的自然规律和社会经济规

律,亟待继续探索和奋斗。

对黄河治理方略的认识一直存在较大的争议。如李保如(1984)、徐福龄(1993)、蔡为武(1995)认为,治黄的根本措施是下游河道整治,张光斗(1995)认为这一论断抓住了治黄的关键。而吴以敦、吴致尧、周佩华、吴普特等(1994)认为治黄之本在于水土保持。从流域系统(S. A. Schumm, 1977)的角度看,流域系统的产水产沙子系统通过水沙过程实现与输移子系统的耦合,从而把上中游的产水产沙状况与下游河床地貌形态的演变联系起来。根据钱宁等(1980)、赵业安、潘贤娣(1989)、许炯心(1997)和张欧阳、许炯心、张红武(2002)、张欧阳等(Zhang Ouyang, et al., 2007)的研究成果,黄河下游河道的冲淤和形态调整过程与上、中游的来水来沙条件密切相关,不同水沙条件的洪水不仅决定了下游河道的冲淤状况,还决定了下游河床调整的方向。因此,要最大限度地治理好黄河,还得从中游的水土保持着手,把下游河道的整治与上、中游的水土流失治理结合起来。治黄成败的经验教训及科学研究成果表明,采用“拦、排、放、调、挖,综合治理”等措施,标本兼治,远近结合,可以妥善解决泥沙问题;采取“上拦下排,两岸分滞”的方针,可有效地控制洪水,将两者有机地结合起来,即形成一个防洪减淤的工程体系。显而易见,如此治黄已将黄河作为一个整体来考虑治理对策,人们对黄河的研究与治理实践进入了一个崭新的阶段。昔日千疮百孔的黄河大堤,而今变成了宏伟的“水上长城”,成为海河与淮河的分水岭,在人们的努力下,取得了连续60多年伏秋大汛不决口的奇迹和综合治理开发的丰硕成果,治黄成就举世公认。应该承认,黄河治理开发取得了巨大进展,黄河已开始变成为人们兴利造福的河流。

治黄的根本在于中游的水土流失治理,减少泥沙来量是黄河的治本之策(张红武等, 1999)。经过实践的检验,这是成功的治黄之策。但在中游水土流失治理的看法上也存在一定的分歧。有人认为绿化黄土高原是治理黄河之本,林草不仅保持水土效果显著,而且能长期稳定地发挥作用(朱士光, 1999)。但黄土高原降水量稀少而且集中,大部分地区满足不了植被生长的需求,而且20万~25万aB. P.以来,黄河中游地区内陆湖泊的消亡与黄河的贯通,引起黄土高原河流侵蚀基准面下降,导致冲沟的普遍发育,成为黄土高原水土流失的主要控制因素之一。因此,李容全、邱维理、张亚立等(2005)认为分级分段人为抬高地方侵蚀基准面,应是治理黄土高原地区水土流失的基本方略,这一认识与张红武等提出的治黄方略一致。张红武、张俊华、姚文艺(1997, 1999)认为治理黄河方略必须针对“水少沙多”这一症结进行科学制订。为使黄土高原地区入黄沙量大大减少,应采用现代工程措施,将水土严重流失区整治成一片片错落有致的相对平原,改变其侵蚀地理环境。采取工程措施,加大流域沟道坝系建设,将黄土高原改造成一系列的小平原,利用巨大的拦沙库容,将黄土高原水沙拦截在当地的治黄策略,得到大多数人的认同。

众所周知,黄河难治的症结在于沙多,而沙多的原因是黄土高原地区严重的水土流失。该地区西为祁连山余脉,西北为贺兰山,东至管涔山及太行山,北起阴山,南抵秦岭,共有64万km²,海拔1000~1500m,相对高差100~300m。这是世界上黄土覆盖最深厚、黄土地形最典型的地区。在特殊的边界条件下,中游暴雨是黄土高原土壤强烈侵蚀以及水土严重流失的动力因素,“愈冲愈陡,愈陡愈冲”(谢家泽, 1995),使黄土高原被切割得支离破碎、沟壑纵横,每年来自黄土丘陵沟壑区的泥沙达10亿t左右,土壤侵蚀模数可达20000t/(km²·a),大量泥沙入黄,致使一些水库淤废失效,下游河道不断淤高,防洪压力日趋加重。不少人认为,黄土高原历史上曾经是植被良好的繁荣富庶之地,希望通过植树种

草,改变黄土高原的生态环境,从而达到根治黄河的目的。但是也应认识到,黄河塑造出的华北大平原是中华民族繁衍生息的中心地带,黄河早在远古时期就是一条多沙河流。《左传》引用周诗:“俟河之清,人寿几何”,表明更早的年代黄河已相当浑浊,因为黄河沙多的自然现象应该比这句周诗要早得多。黄河所流经的中游地区,特别是现在界定的严重水土流失区中的大部分地区,自古即是自然条件极为严酷、水蚀风蚀最为严重的地区。这可以《诗经·尔雅·十月之交》为证:“烨蝉震电,不宁不令。百川沸腾,山冢萃崩。高岸为谷,深谷为陵。”该诗生动地描绘了2 000多年前大暴雨后山洪暴发时黄土高原土壤强烈侵蚀的自然景观。再如《禹贡》中所称:“禹别九州,随山浚川。”表明当时黄土高原地区土壤侵蚀已十分严重,大量泥沙入黄,使黄河下游河道淤积日益严重,人们才会产生“随山浚川”,亦即随着山去导滞,疏浚上游河道的设想。原始的或常规的生产方式很难保证植物生长有良好的立地条件,“皮之不存,毛将焉附”,因此也就难以达到具有一定覆盖度的植被状况(张红武、张俊华、姚文艺,1999)。《诗经·大雅·云汉》描述了周宣王时大旱多年的情景:“旱既大甚,滌滌山川,旱魃为虐,如帙如焚。”也就是说,大地旱得好像起火燃烧,山川干涸。因而,对古代黄河中游地区植被状况的估计应该考虑自然气候的制约影响。

对于黄土高原地区的水土保持,必须跳出传统理论框架,采用现代工程措施,如修筑控制性拦沙工程、淤泥坝系及必要的挡土墙,变沟壑为平地;也可采用人工定向爆破等措施,使一座座高耸的峁梁填充沟壑,变坡地为相对平原。同时,辅以必要的生物措施。这些措施把经多年治理如今仅占黄土高原地区总面积约20%,而入黄泥沙却占总入黄泥沙量80%左右的水土严重流失区,改造成一片片错落有致的相对平原(张红武、张俊华、姚文艺,1997)。在这种失去了侵蚀地理环境的“平原”之上,水土流失被遏制,该地貌类型区入黄泥沙可减少70%~80%(实际上入黄泥沙不可能也不需要减少100%,否则将会使下游河道遭受较强的冲刷,特别是给河口三角洲地区带来很大麻烦)。只有从最基本的流域单元入手,通过工程措施改变水土严重流失区的侵蚀地理环境,才是黄河治本之策,而这决非很久之后才可能实现的事情,只要立即动手,分步实施,10多年足矣。在这些具备涵养水源条件的人造“黄土平原”上,再采取相应的生物措施,不远的将来就不难实现“再造山川秀美的西北地区”的宏伟目标。从现有的技术经济条件来说,这完全是可行的,而且面向21世纪我国经济发展向西部战略转移,从社会与生态环境协调的角度讲,这也是十分必要的。

另外,黄河下游地区水资源严重短缺,属长期性、区域性、资源性缺水,而且黄土高原“相对平原”建设拦截了大量泥沙和径流,导致下游更加缺水。因此,治黄还要考虑与外流域调水结合的综合治理方略,不仅把黄河作为一个整体来研究治理对策,而且还把邻近流域作为一个系统加以考虑。缓解黄河下游水资源供需矛盾的根本措施是开源,即从外流域调水济黄,增补黄河有效水资源量,把防洪与用水问题等统筹兼顾,最大限度实现黄淮海平原的水资源优化调配,这是适应发展的长期战略措施。

从黄河治理的角度讲,只有从基本的流域单元入手,通过工程措施(如修筑控制性拦沙工程、淤地坝系等)改变黄土高原水土严重流失区的侵蚀地理环境,才是黄河治本之策(张红武、张俊华、姚文艺,1999)。鉴于水土严重流失区面积仅占黄土高原地区总面积的20%,而入黄泥沙却占总入黄泥沙量的80%左右,故采用淤地坝系等工程措施是容易见效的。由此表明,黄土高原沟道坝系建设是涉及治黄的战略问题。淤地坝既是拦减入黄泥沙最有效的措施,也是退耕还林工程的重要保障措施,对解决农民土地问题,治理区的封育保护、生态修

复,巩固退耕还林成果都具有重要意义。由于黄土高原自然地理环境极为复杂,多种侵蚀类型交互耦合、产沙地层多样、人类活动剧烈,进行野外试验观测非常困难,且因对沟道侵蚀过程的野外观测技术和方法还不成熟等,因此目前现场试验资料较少且不系统,尤其是设计条件下的技术参数还难以同步测取,不能满足对流域治理方案及侵蚀产沙基本规律研究的需要。另外,对于各项沟道坝系建设方案又难以全部在原型上进行试验比选。正因为如此,在淤地坝及沟道坝系建设中,对于诸如坝系总体布局、淤地坝减蚀作用和范围、沟道坝地拦泥减沙效应等关键技术问题,长期缺乏系统和深入的研究,急需借助模型试验来揭示土壤侵蚀及沟道重力侵蚀规律,研究建坝顺序、布坝密度,以及沟道与坡面产沙的相应关系,确定合理的坝系布局结构、相对平衡时的合理拦沙库容、坝系分布及相应的坝高等,甚至利用模型手段预测淤地坝溃坝过程及其对下游的影响或所引起的连锁反应,以便探讨水土保持措施作用机理并论证优化配置方案,为坝系建设提供有关参数。因而,必须利用能够检验沟道坝系不同治理方案优劣的模型试验手段。显然,黄土高原拦沙治理方面的研究成果的可靠性,在很大程度上取决于能否找出合理的试验模拟方法,同时还取决于对沟道坝系拦沙效应的把握程度。通过模型试验研究沟道坝系的拦沙效应,可为小流域淤地坝(系)的规划和设计提供技术支撑,以便淤地坝在黄土高原地区的水土保持综合治理中得到完善和发展,因而在工程实际和学术方面都具有十分重要的意义。

1.3 沟道坝系相对稳定及工程规划研究进展

1.3.1 坝系的相对稳定原理

坝系相对稳定的提法始于20世纪60年代,当时称做“淤地坝的相对平衡”。人们从天然聚淤对洪水泥沙的全拦全蓄、不满不溢现象得到启发,认为当淤地坝达到一定的高度、坝地面积与坝控制流域面积的比例达到一定的数值之后,淤地坝将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消化利用,达到产水产沙与用水用沙的相对平衡。根据极限含沙量的概念,在小流域内减少汛期径流就能有效地控制水土流失(姚文艺等,1999),因而从这一角度讲,通过构建淤地坝系减少径流即可达到拦减泥沙的目的。曾茂林、钱意颖、张胜利、刘立斌等不少专家、学者从淤地坝的发展可以达到相对稳定的设想出发,对坝系的相对稳定做了许多研究。目前的普遍提法是“坝系相对稳定”,主要是为了加强与坝系工程的防洪安全的联系。方学敏总结前人的观点,将坝系相对稳定的含义表述为(方学敏,1995):①坝体的防洪安全。即在特定暴雨洪水频率下,能保证坝系工程的安全。②坝地作物的保收。即在另一特定暴雨洪水频率下,能保证坝地作物不受损失或少受损失。③控制洪水泥沙。即绝大部分的洪水泥沙拦截在坝内,沟道流域的水沙资源能得到充分利用。④后期坝体的加高维修工程量小,群众可以负担。要达到坝系相对稳定,设计淤地坝时必须考虑当地的水文条件(如设计洪量及历时、设计暴雨量及历时等)、所控制小流域的地理条件、地质条件、坝地的面积、所栽培的农作物种类等。据曾茂林、方学敏等(1995)的研究,在百年一遇的暴雨情况下,当坝内水深小于0.8 m、积水时间小于3~7昼夜,或坝地面积与流域面积之比为1/25~1/15时,随着坝地的淤积,定期加高坝体,基本可以达到相对稳定状态。

在坝系相对稳定研究中,把坝系中淤地面积与坝系控制流域面积的比值称为坝系相对