

YUXI SHANQU YUDIBA JIANSHE XIANGGUAN JISHU YANJIU

豫西山区淤地坝建设 相关技术研究

王国重 屈建钢 双 瑞 主编



黄河水利出版社

豫西山区淤地坝建设相关 技术研究

王国重 屈建钢 双 瑞 编著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内 容 提 要

本书是在对河南省已建淤地坝调查、分析、总结的基础上编写的,希望能对今后大规模的淤地坝建设起到指导作用。本书共分9章,主要包括:豫西山区淤地坝概述、小流域淤地坝 ^{137}Cs 示踪研究、流域坡面土壤侵蚀强度估算及影响因素、淤地坝泥沙淤积信息研究、淤地坝建设技术、坝系规划、淤地坝减蚀效益分析、淤地坝的管护技术、今后的研究方向。

本书可供水土保持、水文水资源、水利工程方面的技术及管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

豫西山区淤地坝建设相关技术研究/王国重, 屈建钢, 双瑞编著. —郑州: 黄河水利出版社, 2013.9

ISBN 978-7-5509-0548-1

I. ①豫… II. ①王… ②屈… ③双… III. ①山区—水土保持—坝地—建设—研究—河南省 IV. ①S157.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第222883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、0371-66022620(传真)

E-mail: hhlscbs@126.com

承印单位: 河南新华印刷集团有限公司

开本: 850 mm×1 168 mm 1/32

印张: 4.875

字数: 140千字

版次: 2013年9月第1版

印数: 1—1 000

印次: 2013年9月第1次印刷

定价: 15.00元

前 言

淤地坝是黄土高原地区治理水土流失的主要工程措施,被誉为全国水利建设的“亮点工程”。作为黄土高原组成部分的豫西山区也陆续修建了一些淤地坝,收到了很好的效果。本书是以河南省已建淤地坝为基础编写的,在调查、分析的基础上,查阅了大量资料,结合国内外一些学者的研究成果,也有自身的经验和体会。以核素 ^{137}Cs 示踪土壤侵蚀是当前国内外研究的热点,本书中用 ^{137}Cs 示踪来揭示淤地坝泥沙淤积机制、流域坡面土壤侵蚀强度,确定淤地坝泥沙淤积时间和流域泥沙来源,为小流域的综合治理提供依据;本书还突出了地方特色,对豫西山区坝系的规划、不同类型淤地坝的建设、管护方式进行了总结。本书以河南省开展的几个与淤地坝相关的课题为依托,结合工程实践,丰富了黄土高原地区淤地坝的研究内容;此外,本书注重科学性、实用性和先进性,体系完整,内容精练,文字表达通畅,所附图力求准确、直观。

本书的编写分工如下:第一章至第五章、第九章由黄河水文水资源科学研究院王国重编写,第六章、第七章由河南省水土保持监督监测总站双瑞编写,第八章由河南省水土保持监督监测总站屈建钢编写,全书由王国重统稿。在本书编写过程中,得到了河南省水利厅水土保持处贾爱卿、黄河上中游管理局赵邦元的帮助,在此表示感谢。并对所有为本书出版给予支持和帮助的单位和个人表示衷心的感谢!

由于作者水平有限,加之时间关系,书中难免有些错误,不当之处敬请指正。

作 者

2013 年 5 月

序

黄土高原是世界上水土流失最严重的地区之一，也是黄河水患的症结所在。大量泥沙随着洪水涌入河道不断沉积，不仅抬升下游河床，使黄河多次泛滥、改道，造成干旱、洪涝灾害频发，严重影响农业发展和粮食安全，而且破坏生态环境，时刻威胁着中下游人民的生命和财产安全。在长期的生产实践中，人们发明了淤地坝，它可以防洪拦沙、解决人畜用水问题，同时淤坝成地、培肥土壤，更易于增加粮食产量。此外，淤地坝还可以抬高沟床，稳定沟坡，降低沟道的侵蚀基准，有效地缓解沟道侵蚀和重力侵蚀。

豫西山区是黄土高原的一部分，为了解决人畜饮水问题、治理水土流失、发展农村经济，自 20 世纪 80 年代以来，陆续兴建了大量以淤地坝、蓄水池、水窖为主要形式的集雨工程。在典型工程调查中，发现淤地坝的作用是巨大的，因此有必要对沟道水沙输移规律和侵蚀机制进行研究，预测其水土流失发展趋势，探索坝系优化建设的关键技术和符合市场经济规律的坝系运行管理模式，为该地区今后大规模的淤地坝建设服务。

自 2000 年以来，河南省水土保持监督监测总站一直关注省内的淤地坝建设，先后开展了“豫西山区雨水集蓄利用技术研究及工程示范”、“豫西黄土区淤地坝建设关键技术研究”等研究课题，并配合省相关部门进行了淤地坝安全检查工作。

本书根据近年在淤地坝调查、研究工作中的一些经验、体会，并借鉴吸收众多学者的研究成果编写而成。在编写过程中，作者收集了大量的素材并对一些常用技术进行了详细介绍和总结，希望此书会对豫西山区乃至全省今后大规模的淤地坝建设起到借鉴和指导作用。

张永刚

2013 年 5 月

目 录

序

谷来勋

第 1 章 豫西山区淤地坝概述	(1)
1.1 豫西山区水土保持工程措施的发展状况	(1)
1.2 淤地坝的作用	(6)
1.3 豫西山区淤地坝建设状况	(7)
第 2 章 小流域淤地坝 ^{137}Cs 示踪研究	(11)
2.1 ^{137}Cs 的来源及其特性	(11)
2.2 ^{137}Cs 示踪土壤侵蚀的基本原理、研究方法	(12)
2.3 ^{137}Cs 示踪土壤侵蚀及淤地坝减蚀机制的国内外研究进展	(18)
2.4 研究目的与研究内容	(24)
2.5 贾寨川流域概况	(25)
2.6 土壤颗粒中 ^{137}Cs 的分布特征	(32)
2.7 核素 ^{137}Cs 在土壤剖面中的分布规律	(33)
2.8 小流域坡面 ^{137}Cs 含量的分异特征	(36)
第 3 章 流域坡面土壤侵蚀强度估算及影响因素	(43)
3.1 示踪估算土壤侵蚀的 ^{137}Cs 模型	(43)
3.2 研究区 ^{137}Cs 侵蚀产沙的分布特征	(53)
第 4 章 淤地坝泥沙淤积信息研究	(64)
4.1 淤地坝旋回淤积层样品的采集	(64)
4.2 淤地坝各旋回淤积层的泥沙颗粒分析	(66)
4.3 淤地坝泥沙旋回淤积剖面中 ^{137}Cs 含量分布规律	(71)
4.4 淤地坝泥沙淤积时间的界定	(71)
4.5 小流域次降雨侵蚀产沙模型与数据拟合	(76)
4.6 ^{137}Cs 示踪小流域侵蚀泥沙来源和侵蚀强度的演变	(82)

第 5 章 淤地坝建设技术·····	(88)
5.1 均质土坝·····	(88)
5.2 重力坝·····	(90)
5.3 拱 坝·····	(93)
5.4 淤地坝加固技术·····	(98)
第 6 章 坝系规划·····	(102)
6.1 坝系相对稳定理论研究进展·····	(102)
6.2 豫西山区坝系规划·····	(104)
第 7 章 淤地坝减蚀效益分析·····	(115)
7.1 淤地坝减蚀量的计算·····	(115)
7.2 淤地坝减洪量的计算·····	(118)
7.3 淤地坝拦沙减蚀作用与效益·····	(119)
7.4 砚瓦河小流域坝系效益分析·····	(120)
第 8 章 淤地坝的管护技术·····	(123)
8.1 淤地坝管理遵循的原则·····	(123)
8.2 豫西山区淤地坝的主要管理形式·····	(123)
8.3 存在的问题及对策·····	(126)
第 9 章 今后的研究方向·····	(129)
9.1 坝系相对稳定理论及坝系规划、设计理论的研究·····	(129)
9.2 节水生态型淤地坝的结构设计研究·····	(130)
9.3 筑坝新技术、新工艺和沟道综合治理技术的研究及推广·····	(131)
9.4 淤地坝监测与效益评价技术、参与式坝系管护机制研究·····	(131)
参考文献·····	(133)
后 记·····	(148)

第 1 章 豫西山区淤地坝概述

1.1 豫西山区水土保持工程措施的发展状况

豫西山区是黄土高原的一部分,其范围涉及郑州、洛阳、三门峡、焦作、济源 5 个市的 25 个县(市、区),总面积 2.72 万 km^2 。区域地势西高东低,自西向东由中山、低山、丘陵过渡到平原,山区面积占总面积的 50%以上,丘陵面积占总面积的 30%以上,平原和平地面积仅占总面积的 10%~15%。豫西山区地貌类型主要有黄土塬区、黄土丘陵区、土石山区 3 种类型。该区水土流失面积 1.68 万 km^2 , 占总土地面积的 62%,侵蚀类型以沟蚀、面蚀为主,其中强度以上侵蚀面积占总面积的 36%,年输沙量 6 500 万 t,是河南省水土流失最严重、生态环境最脆弱的地区。此外,侵蚀模数大于 5 000 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{年})$ 的多沙区,面积为 6 049.81 km^2 ,主要分布在黄河沿岸地区及伊洛河下游沿岸地区,是入黄泥沙的主要来源地。

该区属大陆性季风气候,冬春季节寒冷干燥多风沙,夏秋季节炎热多暴雨。多年平均气温 12~14 $^{\circ}\text{C}$, 多年平均降水量 500~800 mm, 降水年季变化很大,丰水年的降水量为枯水年的 3~4 倍,汛期(6~9 月)降水量占年降水量的 60%以上,且暴雨多、雨强大,是水土流失产生的主要因素。此外,该区人均水资源量和亩^①均水资源量都低于全国平均水平,属水资源紧缺地区,最大限度地利用雨水资源是当地水土保持及生态环境建设的必由之路。

为了解决人畜饮水、治理水土流失、发展农村经济,20 世纪 80 年代以来,该区以小流域为单元,兴建了大量以淤地坝、蓄水池、水窖为

① 1 亩=1/15 hm^2 。

主要形式的集雨工程,对降落在山坡坡面、沟道内的雨水和出露的山泉溪流分别采用相应的开发模式,形成了一套较为成熟的技术体系,实现了雨水资源的水土保持利用,如图 1-1 所示。



图 1-1 豫西山区雨水资源的水土保持利用模式

雨水资源集蓄利用可分为被动利用和主动利用,后者与前者的区别主要在于强调对雨水资源的调蓄利用。雨水的被动利用,是指通过一定的工程措施(如梯田)营造田间集水面、改进耕作措施,实现降水的就地拦蓄入渗,提高水分利用效率。豫西山区主要是通过修建梯田工程,改变微地形来达到这一目的的。

豫西山区存在着大量的坡耕地,降落在坡面上的雨水,径流流速往往较大,不仅破坏坡面,而且难以滞留,即使渗入土壤中的水分也大部分以壤中流的形式很快从坡脚渗出。针对这一特点,一般采用雨水就地拦蓄入渗利用或者雨水叠加利用的方式。当地大量的试验表明:在相同条件下,水平梯田对坡面雨水资源的拦蓄率和利用率都明显高于坡耕

地。因而，应在条件适宜的山丘地区大力推广梯田技术，通过坡改梯工程，实现对雨水资源的就地利用。隔坡梯田可以实现雨水的叠加利用，大量的对比监测资料表明：隔坡梯田的保水效果比水平梯田平均高出7%~11%，比坡耕地平均高出66%~118%。所以，在人均耕地不太紧缺的地方，应大力修建隔坡梯田。

雨水的主动利用，是指通过一定的工程措施，将汇流面上的雨水径流汇集在蓄水设施中再进行利用，是就地拦蓄入渗的进一步延伸和拓展，在水土保持中具有更积极的作用和意义。该区集蓄坡面雨水最常见的措施是修建蓄水池和水窖，其既可以把坡面产生的径流引向急需用水的异地，又便于存储。其工作原理是将小流域坡面作为集流场，自身作为贮水体，以用水对象为终点，三者组成统一的雨水集蓄利用系统，这样既解决了当地的坡面土壤冲刷问题，又使坡面的雨水资源得到利用。

经坡面地表径流、壤中流而汇入沟道内的雨水，将形成小流域洪水，对沟床产生水力侵蚀。为防止和减轻这种侵蚀，最有效的办法是修建小型集流坝，既可以利用小流域洪水资源，又具有削峰、拦沙功效，综合效益十分显著。布坝密度、蓄水规模、坝高与库容的关系是集流坝系修筑的关键参数，经调查统计，该区三种不同类型地貌中，这三个关键参数的经验值如表 1-1 所示。

表 1-1 豫西山区不同地貌类型区集流坝关键参数的经验值

类型区	布坝密度(座/km ²)	蓄水规模(m ³ /座)	坝高(H)与库容(V)的关系
土石山区	0.5~0.6	5 000~10 000	$V=33 H^{2.55}$
黄土塬区	0.6~0.75	10 000~25 000	$V=113 H^{2.34}$
黄土丘陵区	0.6~0.75	10 000~25 000	$V=113 H^{2.34}$

该区集流坝的常见形式主要有三种：淤地坝、截潜流坝、人字闸。淤地坝是集流坝的主要形式，一般选取地质条件好、口小肚大、集水面

积适宜之处筑坝，土石山区选择砌石重力坝和拱坝，黄土丘陵区 and 黄土塬区以土坝为宜；豫西一带的塬区及丘陵区多为河流冲积形成的潜水区，沟道含水层较厚且埋深较浅，岩性多为中粗砂和卵砾石，透水性好，因此在河床地面以下修建截潜流坝就是一种明智的选择，这类坝不影响河道行洪，淤积少，无须专人看管，易于就地取材且使用寿命长，水源充沛，利于补给，而且可以净化水质；人字闸属小型挡水坝，是一种半固定式的蓄水闸门，适宜于山区小泉小水的拦蓄，有利于水资源的充分利用、净化环境、改善流域小气候。

另外，该地区岩层隙水、土壤渗水等形成的小山泉一般较多，此类小山泉出流距离短，大多无污染，水质良好，含沙率极低。近年来，豫西各地为解决人畜饮水困难问题，对山泉溪流进行了较大规模的开发。在泉水出露处建一小型蓄水池，之后埋管或修渠通往用水地区。若用水户较分散，则在管道沿线依据用户分布情况再布设若干个蓄水池或水窖以调蓄来水。

雨水资源的水土保持利用工程收到了巨大的效益。据统计，到 2002 年年底，豫西黄土区已建成各类集流坝 2.44 万座，水窖 11.25 万座，坡改梯 572 万亩，如表 1-2 所示。这些集雨工程年均可集蓄雨水 23.8 亿 m^3 ，拦沙 9 883 万 t，效益十分巨大。其中，水平梯田面积较大，其蓄水量 16.6 亿 m^3 ，占 69.7%，较坝、池、窖蓄水效益显著，但随着坝、池、窖工程技术与推广力度的不断加大，其效益会越来越突出。

表 1-2 豫西山区集雨工程的水保效益

工程类别	数量	定额		效益	
		蓄水	拦沙	蓄水 (万 m^3 /年)	拦沙 (万 t/年)
集流坝	24 400 座	23 100 m^3 /(年·座)	1 607 t/(年·座)	56 364	3 921
蓄水池	23 100 座	6 000 m^3 /(年·座)	833 t/(年·座)	13 860	1 924

续表 1-2

工程类别	数量	定额		效益	
		蓄水	拦沙	蓄水 (万 m ³ /年)	拦沙 (万 t/年)
水窖	112 500 座	180 m ³ /(年·座)	3 t/(年·座)	2 025	34
坡改梯	572 万亩	290 m ³ /(年·亩)	7 t/(年·亩)	165 880	4 004
合 计				238 129	9 883

在集雨工程的基础上,在该区大力推广节水灌溉技术,如非充分灌溉、低压管道、喷灌、滴灌等,可带来巨大的经济效益。表 1-2 中的集流坝全部作为集雨节灌工程,蓄水池中的 40%和水窖中的 60%作为集雨节灌工程,其余作为人畜吃水工程,梯田纳入集雨节灌面积中,则豫西山区集雨节灌工程年均增加节灌面积 558.7 万亩,年均增产粮食 9.1 亿 kg,年均增加效益 10.9 亿元,如表 1-3 所示。

表 1-3 豫西山区集雨节灌工程的年直接增产效益

工程类别	数量 (座)	年均蓄水量 (万 m ³)	节灌面积 (万亩)	增产定额 (kg/亩)	增产粮食 (万 kg)	增加效益 (万元)
集流坝	24 400	56 364	498.8	162.8	81 205	97 446
蓄水池	9 240	5 544	49.1	162.8	7 993	9 592
水窖	67 500	1 215	10.8	162.8	1 758	2 110
合计		63 123	558.7		90 956	109 148

集雨节灌工程除能拦沙蓄水、实现经济效益外,还可以获得丰厚的社会效益和生态效益。黄土高原国土整治方略的核心是“全部降雨就地入渗拦蓄”,该区雨水集蓄利用正是这一方略的具体体现。推广先进的

耕作技术、坡改梯等生态保护措施,可以合理开发利用水土资源、有效减少毁林开荒,有利于水土保持和改善农村生态环境。修建蓄水池、集流坝、水窖等小型水利工程后,不仅能有效地拦蓄径流,削减洪峰,减少了洪水危害,而且拦蓄雨水就地入渗,减轻了对土壤的冲刷侵蚀,解决了生活用水问题,防止了水土流失;通过实施节水灌溉、秋水春用,提高了农业灌溉用水的保证率、土地的使用效率和林草成活率,变被动抗旱为主动抗旱,增强了抗旱能力,提高了作物产量,有利于恢复植被。这些措施不仅从源头上减轻了自然灾害,而且促进了山区生产、生活、生态的良性循环,为山区农民脱贫致富奔小康开辟了新的途径。

1.2 淤地坝的作用

“沟里筑道坝,拦泥又收粮”,这是黄土高原地区群众对淤地坝作用的形象总结。淤地坝也被他们誉为流域下游的“保护神”、解决温饱的“粮食囤”和改善环境生态的“基石”。

豫西山区的试验表明:分别采取工程、林草、耕作三种措施对该区小流域进行治理,工程措施的效益要显著高于林草和耕作措施,因此在进行小流域开发治理时,要坚持把以淤地坝、水窖、蓄水池、谷坊等集雨工程形式作为第一措施。在典型工程调查中发现:在雨水集蓄工程中,淤地坝系在防洪拦沙效果和解决人畜用水、提高水资源的利用率方面较其他工程显著,而且能淤坝成地,改善土壤的理化性质,提高土壤肥力,使土壤肥沃,更易于增加粮食产量。研究发现:坝阶地与其上游的斜坡地相比,磷、钾、全氮、全磷、速效氮和有机质含量分别高出 1.36、0.97、1.54、1.23、1.41、1.8 倍,同时细粒含量增加 8%~9%,黏粒含量增加 10%~13%,土壤毛管持水量增加 5%~6%,饱和含水量增加 8%~9%,土壤的保水性和肥力大大提高,作物的生长条件比梯田更加适宜,产量水平更高。

所以,今后工作的重点是:研究淤地坝系沟道水沙输移规律和侵蚀机制,预测其水土流失发展趋势,探索坝系优化建设的关键技术和符合

市场经济规律的坝系运行管理模式，为淤地坝系的规划、设计、管理、维护提供依据。

1.3 豫西山区淤地坝建设状况

1.3.1 淤地坝的分布与安全分类

据统计，截至 2008 年年底，豫西山区共建设淤地坝 2 037 座，其中骨干坝 178 座，中型坝 290 座，小型坝 1 569 座，主要分布在三门峡、洛阳、郑州、济源和焦作，如表 1-4 所示。

表 1-4 豫西山区淤地坝分布状况

地名	淤地坝数量（座）			
	合计	骨干坝	中型坝	小型坝
三门峡	785	54	44	687
洛阳	762	86	193	483
郑州	322	24	34	264
济源	137	11	12	114
焦作	31	3	7	21
合计	2 037	178	290	1 569

按照黄河上中游管理局《关于黄土高原淤地坝安全大检查有关问题的补充通知》（黄淤办发[2009]1 号）中淤地坝安全分类，在这 468 座中型以上淤地坝中，一、二类坝为 247 座，三、四、五类坝为 221 座（其中 100 万 m³ 以上的骨干坝 22 座），具体情况见表 1-5。

表 1-5 豫西山区中型以上淤地坝安全分类

类别	中型坝		骨干坝		合计	
一	100	133	97	114	197	247
二	33		17		50	
三	48	157	23	64	71	221
四	34		21		55	
五	75		20		95	
合计	290		178		468	

1.3.2 工程存在的安全隐患

通过对 468 座中型以上淤地坝（其中骨干坝 178 座、中型坝 290 座）的排查，发现其中 242 座存在安全隐患（其中骨干坝 80 座、中型坝 162 座），占 51.71%（其中骨干坝 44.94%、中型坝 55.86%）。具体安全隐患情况见表 1-6。

表 1-6 豫西黄土区中型以上淤地坝安全状况

淤地坝 类型	小 计	无安全隐患 淤地坝数量 (座)	存在安全隐患淤地坝数量(座)				
			坝体	放水 建筑物	溢洪道	下游有人口或 重要设施	其 他
骨干坝	178	98	44	28	51	23	3
中型坝	290	128	82	58	124	48	1
合计	468	226	126	86	175	71	4

调查发现：坝体出现的安全隐患一般表现为坝体裂缝、坝体单薄、坝坡过陡及坝高不足等；放水建筑物的问题一般是进口堵塞、平卧管深陷断裂等；溢洪道的安全隐患多为无衬砌引起的坍塌堵塞、冲毁等现象，个别淤地坝需新开挖溢洪道。调研中还发现：2000 年以后建的黄河水土保持生态工程项目区和小流域坝系项目的淤地坝防汛标准、运行情况及现状大多较好，很少有安全隐患。2000 年以前建的淤地坝多为当地群众自发修建，无正规设计，主要技术指标达不到规范要求；主要由当地群众、民工施工，施工不规范，工程质量较差，安全隐患较多。

1.3.3 工程安全隐患的处理方案

根据不同情况，病险坝的处理方案主要有以下几类：①对防洪能力不足的坝，采用加高大坝或增设、拓宽溢洪道的方案来处理；②对坝体单薄或坝坡过陡的坝，采取培厚加固坝体的措施；③对有裂缝和渗漏现象的坝，采用灌浆的方式来处理；④对放水建筑物损坏的坝，采用维修的处理方案；⑤对溢洪道过水能力不足、冲刷严重、淤积堵塞严重的坝，采用扩大过水断面、衬砌、清淤等方案进行处理。

据统计，该区目前投资 2 688 万元正在对 5 座骨干坝进行除险加固，还需加高加固的淤地坝有 165 座，需增设溢洪道的有 9 座，需衬砌、维修溢洪道及放水建筑物的有 175 座，需采用增设排洪渠、灌浆防渗等其他处理方案的有 14 座，估算工程量合计 223 万 m³，估算投资 9 020 万元。具体情况见表 1-7。

表 1-7 目前进行的淤地坝除险加固工程所需的投资

坝类	数量及投资	加高加固	增设溢洪道	维修溢洪道及放水建筑物	增设排洪渠	其他方案	小计
骨干坝	数量(座)	36	4	58	20	7	125
	估算工程量(万 m ³)	60	3	17	2	24	106
	估算投资(万元)	1 950	191	2 383	182	471	5 177

续表 1-7

坝类	数量及投资	加高加固	增设溢洪道	维修溢洪道及放水建筑物	增设排洪渠	其他方案	小计
中型坝	数量(座)	125	34	117	87	7	370
	估算工程量(万 m ³)	81	4	7	1	24	117
	估算投资(万元)	1 488	407	1 350	280	318	3 843
合计	数量(座)	161	38	175	107	14	495
	估算工程量(万 m ³)	141	7	24	3	48	223
	估算投资(万元)	3 438	598	3 733	462	789	9 020