



黄土高原

土壤侵蚀治理的生态环境效应

姚文艺 李占斌 康玲玲 著



科学出版社

www.sciencep.com

国家自然科学基金委员会 • 黄河联合研究基金重点项目 (50239080) 资助
水利部黄河水利委员会

黄土高原 土壤侵蚀 治理的生态环境效应

姚文艺 李占斌 康玲玲 著

学 出 版 社

北 京

内 容 提 要

本书为水土保持方面的专著,共分7章。主要通过室内人工模拟降雨试验、野外定位观测资料分析及勘察调研,研究了流域地貌动态发育过程与侵蚀产沙时空变化特征;探讨了流域降雨侵蚀产沙与地貌形态耦合关系;对黄土高原不同类型区的综合治理措施组合体系进行了总结,提出了各类型区治理模式的内涵,并进一步研究了不同治理模式下的措施优化配置方案;研究了水土保持措施对洪水过程的影响;分析了河道冲淤演变对流域治理的响应关系;从多方面系统地研究了流域治理对农业生态环境因子的影响;结合多家现有有关黄河流域水土保持蓄水减沙这一重要生态环境效应方面的评估计算成果的对比分析,对现行的“水保法”及“水文法”有关计算处理的方法进行了评价,提出了存在的问题和需要进一步研究的课题。

本书可供从事土壤侵蚀与水土保持、泥沙、地理、生态环境、水文、河流地貌等方面的科研工作者和管理者、高等院校有关专业师生及水土保持工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄土高原土壤侵蚀治理的生态环境效应/姚文艺,李占斌,康玲玲著.
—北京:科学出版社,2005

ISBN 7-03-015187-9

I. 黄… II. ①姚… ②李… ③康… III. 黄土高原-土壤侵蚀-治理-生态环境-研究 IV. S157.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 021528 号

责任编辑:李敏 李晓华 李久进 宛楠/责任校对:鲁素
责任印制:钱玉芬/封面设计:高海英

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年 6月第 一 版 开本:B5 (720×1000)

2005年 6月第一次印刷 印张:15 插页:2

印数:1~2000 字数:524 000

定价:45.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

前 言

黄土高原地处我国内陆腹地,严重的水土流失是该地区突出的生态环境问题之一。黄土高原土壤侵蚀剧烈,产沙强度高,多年平均输入黄河的泥沙量约达 16 亿 t,成为黄河泥沙的主要来源区。据 1990 年遥感调查资料,黄土高原地区水土流失面积 45.4 万 km^2 ,占该区总面积 64 万 km^2 的 70.9%。水土流失面积中,侵蚀模数大于 $8\,000\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的极强度水蚀面积达 8.5 万 km^2 ,占全国同类面积的 64%;侵蚀模数大于 $15\,000\text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 的剧烈水蚀面积达 3.67 万 km^2 ,占全国同类面积的 89%。尤其在河口镇至龙门区间、泾河、北洛河上游等多沙粗沙区,面积为 7.86 万 km^2 ,仅占黄土高原水土流失面积的 17%,输沙量却占全河的 63%,粗泥沙量占全河粗泥沙总量的 73%。黄土高原地区严重的水土流失不仅使黄河成为世界上含沙量最高的河流,而且也造成了该地区的贫困,制约了社会经济的可持续发展,同时也恶化了该地区的生态环境。

1987 年由联合国世界环境与发展委员会出版的《我们共同的未来》,1992 年由各国首脑参加的全球环境与发展大会通过的《21 世纪议程》等所确定的中心思想就是向人类警示,“人口、资源、环境与发展(PRED)”已日趋成为当代世界各国所必须应对解决的重大课题。我国政府长期以来一直重视黄土高原主要水土流失区的生态环境治理和经济社会的发展。自 20 世纪 50 年代以来,国家对黄土高原地区先后投入大量的人力、物力,开展水土流失治理和相关的科学研究工作,并取得了相当多的试验观测数据。在实施的西部大开发战略决策中,把生态环境建设放在了突出位置,作为实施西部地区大开发的根本。近年来,进一步明确将黄土高原水土保持作为国家生态环境建设的重点,提出了水土保持生态修复的水土流失和生态环境治理的新思路,并启动实施了黄土高原水土保持生态建设的宏大工程。显然,根据多年来黄土高原水土保持治理的大量观测数据和重点支流地区的试验研究成果,评价和分析黄土高原土壤侵蚀治理的生态环境效应,对进一步促进黄土高原生态环境建设重大实践具有十分重要的意义。同时,流域土壤侵蚀治理的生态环

境效应也是生态学和水土保持学的重要研究领域,因此本书的研究内容所具有的理论意义也是显然的。

从环境科学的角度讲,生态环境是指影响人类与生物生存和发展的一切外界条件的总和。根据河流系统的观点,暴雨洪水过程及河流的冲淤演变是构成河道系统演化的重要因子,这些因子对河流环境的性质往往起着决定性的作用。实际上,暴雨、洪水及河流历来是影响流域系统内植物、动物以及人类等所赖以生存繁衍的重要自然环境因素。因此,本书不仅探讨土壤植被、气候及生物多样性问题,而且还突出地将水土保持治理对流域暴雨洪水及侵蚀产沙、河道冲淤演变等也作为生态环境效应问题加以研究,这也是本书的特点之一。

本书是在国家自然科学基金委员会和水利部黄河水利委员会联合资助的黄河联合研究重点项目“基于气候地貌植被耦合的黄河中游侵蚀过程”(项目批准号 50239080)的研究中,对气候-植被-侵蚀相互作用与耦合关系、坡面-沟道耦合关系及其产沙效应、水土保持减沙效益临界规律等专题的相关研究成果进行整理而成的。另外,还汇集了黄土高原水土保持世界银行贷款项目(项目编号 A3)的部分相关研究成果。本书综合利用理论分析、物理模型试验、勘察调研和定位观测资料分析,将 GIS 技术、地貌学、河流动力学、系统论、水文学、摄影测量及数理统计分析等学科的先进方法和技术有机结合,以黄土高原为对象,系统研究了流域治理的生态环境效应;首次建立起了流域地貌形态演变过程与侵蚀产沙的时空对应关系,并以此为理论基础,依据勘察调研及优化理论,分析研究了黄土高原不同类型区水土保持治理措施配置的基本模式;利用河流动力学的理论与方法研究了流域治理的河流生态环境效应,建立了流域侵蚀产沙与河床演变、水文过程的响应关系。系统分析了流域治理对农业生态环境因子的影响,为综合评价水土保持的社会、经济和生态环境三重效益提供了科学方法及依据。本书首次提出的“流域治理效应与水土保持治理措施类型配置方案有关”和“流域治理的河流生态环境效应”等新概念,以及所建立的流域地貌发育过程与侵蚀产沙的时空效应关系,都具有很高的学术价值,对丰富水土保持学、地貌学、河流动力学等学科内容具有很大的意义。

本书共 7 章。第 1 章绪论,从黄土高原土壤侵蚀的基本特征出发,回顾了黄土高原土壤侵蚀治理的研究成就及存在问题,论述了土壤侵蚀治

理的生态环境效应的概念,阐述了土壤侵蚀治理生态环境效应研究的必要性和重要意义;第2章从流域地貌形态特征的分形量化入手,研究了流域地貌动态发育过程与侵蚀产沙时空变化特征,探讨了流域降雨侵蚀产沙与地貌形态耦合的关系;第3章在广泛调研基础上,遵循社会、经济和生态效益并重的原则,结合小流域综合治理的典型分析,对黄土高原不同类型区水土保持综合治理措施组合模式进行了总结,明确了各类模式的内涵,并提出了不同治理模式下的措施优化配置方案;第4章根据不同流域定位观测资料,研究了水土保持措施对洪水过程和产沙的影响;第5章根据典型流域观测资料分析,探讨了流域治理对河流水动力学特性的影响,研究了流域治理后河道冲淤特性的变化以及水土保持措施减水减沙与河道冲淤之间的耦合关系;第6章依据野外长期定位观测和典型流域调查资料,着重从土壤颗粒级配、土壤含水量、土壤结构、土壤养分含量、土壤酸碱度、温度、湿度及局地气候等方面,系统分析了流域治理对农业生态环境因子的影响,并就流域治理的农业生态环境效应进行了客观评价;第7章在总结现有相关研究成果的基础上,对现行的水土保持蓄水减沙效益计算这一生态环境效应评估方面的“水文法”和“水保法”进行了回顾及分析评价,提出了影响效益计算精度的问题所在和有待于进一步加强研究的方面。

本书写作过程中,课题组成员通力合作,进行了大量的整理分析工作。先后参与该项研究工作的主要成员有姚文艺、李占斌、康玲玲、崔灵周、茹玉英、李鹏、彭乃志、曹文洪、史学建、王秀英、李勉、吴卿、王昌高、李皓冰、王国庆等。在这些项目成员的辛勤工作下才取得了本书的如此丰硕成果。另外,在本书的撰写过程中,还得到了张胜利、曾茂林、王云璋、常茂德、陆中臣、许炯心等专家的指导和帮助,尤其在资料方面给予了很大支持,并对本书的编写提出了宝贵意见,对提高书稿质量大有裨益,在此,作者表示衷心感谢。考虑到全书的系统性,书中参阅了不少参考文献,借此机会,作者向这些文献的作者,包括未能列出参考文献的作者表示衷心感谢。

科学出版社为本书的出版给予了大力协助,编辑人员付出了辛勤劳动。另外,在本书的初稿整理中,黄河水利出版社在编辑方面也给予了很大帮助。在此一并表示最诚挚的感谢!

黄土高原土壤侵蚀治理的生态环境效应研究是水土保持生态建设中的重大课题,书中涉及的一些内容也是我们的初次探索,书中如有不当之处,敬请读者批评和指正。

作 者

2004 年 10 月于郑州

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 黄土高原土壤侵蚀问题	1
1.2 黄土高原土壤侵蚀治理研究进展及存在问题	9
1.3 土壤侵蚀治理生态环境效应的概念.....	11
1.4 土壤侵蚀治理生态环境效应研究的意义.....	11
1.5 本书的主要研究内容及成果	15
参考文献	20
第 2 章 流域地貌形态演变过程的侵蚀产沙响应	23
2.1 流域地貌形态特征的分形量化.....	23
2.2 流域侵蚀试验模型设计与试验方案.....	29
2.3 流域地貌形态发育过程.....	40
2.4 侵蚀产沙与流域地貌形态耦合关系.....	48
2.5 小流域地貌形态与次降雨产沙的耦合关系	67
2.6 小结	86
参考文献	88
第 3 章 黄土高原水土保持措施基本配置模式	89
3.1 措施优化配置的基本思路与工作步骤.....	89
3.2 黄土丘陵沟壑区治理模式.....	91
3.3 黄土高原沟壑区治理模式.....	99
3.4 黄土高原风沙区治理模式	112
3.5 小结	126
参考文献.....	127
第 4 章 流域土壤侵蚀治理的洪水泥沙响应过程	129
4.1 水土保持措施作用下土壤入渗过程及其对产流的影响	129
4.2 流域治理对洪水径流系数的影响	136
4.3 流域治理对洪水过程的影响	141
4.4 流域治理对产沙的影响	153
4.5 小结	160
参考文献.....	162

第 5 章 流域治理对河床演变的影响	163
5.1 概述	163
5.2 减少入黄泥沙的作用	167
5.3 流域治理对河流水动力学特征的影响	168
5.4 流域治理对河床演变的影响	180
5.5 小结	190
参考文献	193
第 6 章 流域治理对农业生态环境因子的影响	194
6.1 改善土壤理化性质,提高土壤肥力	194
6.2 提高林草植被覆盖度,恢复和保护生物多样性	201
6.3 改善局地小气候	203
参考文献	210
第 7 章 流域治理蓄水减沙效益计算方法评价	212
7.1 蓄水减沙效益计算方法简介	212
7.2 黄土高原水土保持蓄水减沙效益研究概况	216
7.3 对“水保法”的分析评价	218
7.4 对“水文法”的分析评价	225
参考文献	231

第 1 章 绪 论

1.1 黄土高原土壤侵蚀问题

1.1.1 黄土高原土壤侵蚀的严重性

黄土高原地质自然环境特殊,其生态环境极为脆弱,人类活动产生的影响非常强烈,产沙地层多样(如黄土、砒砂岩、风成沙等)、侵蚀类型多(如水蚀、风蚀、重力侵蚀等)且相互耦合,流域系统能耗过程的非线性特征十分突出,侵蚀过程对地貌边界条件和动力条件的变化反应非常敏感。因而,不仅其土壤侵蚀产沙规律极其复杂,而且治理难度相当大。可以说,黄土高原侵蚀产沙规律研究是当今世界环境研究中最为复杂和重大的科学问题之一,黄土高原的治理乃为水土保持生态建设中最具有挑战性的课题。

黄河中游是黄河流域的主要产沙区,其最大侵蚀模数可达 $1.9 \text{ 万 t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 以上(图 1-1)。黄土高原位居黄河中游,其中水土流失面积为 45.4 万 km^2 ,占黄土高原总面积的 70% 以上。根据多年资料统计,黄土高原年均产沙量占黄河年输沙

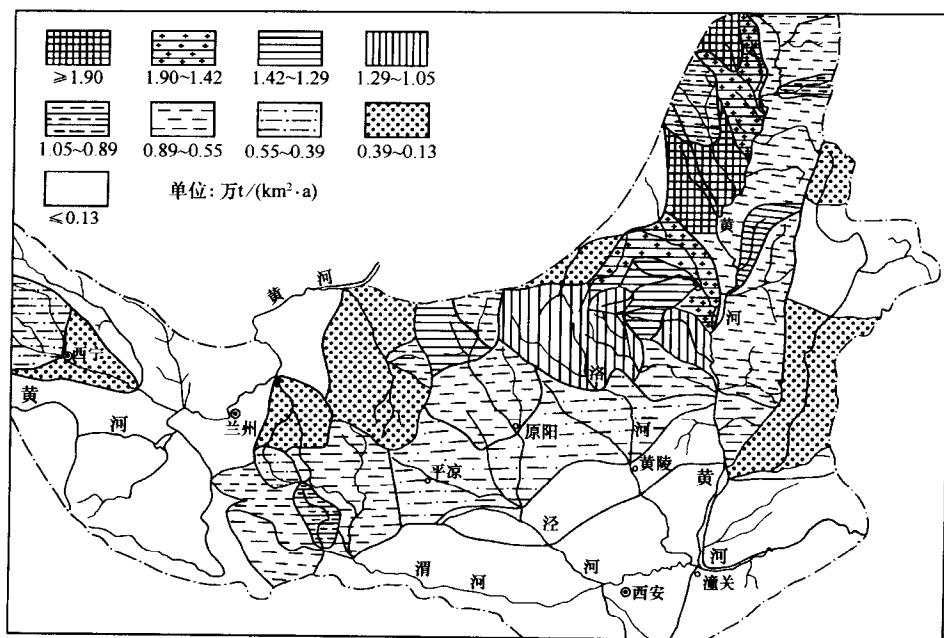


图 1-1 黄河中游侵蚀模数示意图

量 16 亿 t 的 90% 以上,但其产水量仅占黄河径流量的 47% 左右。同时,汛期产沙量占年产沙量的 90% 左右^[1],且产沙主要集中在暴雨洪水期,往往 5~10 天的产沙量就占到全年产沙量的 50%~90%,而汛期的产水量则一般不到年产水量的 60%。由此不仅常常形成黄河高含沙水流,也形成了黄河水沙异源、水沙搭配不合理的突出特征,这也正是造成黄河下游河道严重淤积、行洪能力不断减少、洪水成灾不断增大的重要原因。

黄土高原多沙粗沙区是黄河中游洪水及粗泥沙集中来源区。虽然该区面积仅为 7.86 万 km²,只占黄河中游面积 34.38 万 km² 的 23%,但产沙量却占整个中游地区输沙量的 70%。黄土高原多沙粗沙区主要分布于黄河河口镇至龙门区间、泾河与北洛河上游等地区,涉及陕西、山西、内蒙古自治区、甘肃、宁夏回族自治区 5 省(区)的 44 个县(旗、市),其中,陕西省 4.35 万 km²,占多沙粗沙区总面积的 55.4%;山西省为 1.5 万 km²,占多沙粗沙区总面积的 19.1%;甘肃为 1.05 万 km²,占 13.3%;内蒙古自治区为 0.92 万 km²,占 11.7%;宁夏回族自治区为 0.04 万 km²,占 0.5%。多沙粗沙区生态环境极其脆弱,暴雨多、洪水大、含沙量高、泥沙颗粒粗。研究表明,该区平均每年向黄河干流输沙达 11.82 亿 t,其中粗泥沙 3.19 亿 t,占中游粗泥沙量的 77.2%。该区输沙模数达 15 042 t/(km²·a),特别是粗泥沙(粒径≥0.05mm)的输沙模数达 4 056t/(km²·a)(1954~1969 年系列)。黄河下游河道多年平均淤积的 4 亿 t 泥沙中有近一半为粗泥沙,其中 73% 的粗泥沙来源于多沙粗沙区。进一步研究表明,多沙粗沙区洪水出现概率只有黄河下游洪水概率的 10% 左右,但造成黄河下游河道的淤积量却占下游总淤积量的 40%~60%。因而,该区的侵蚀产沙对黄河下游河床演变的影响非常大。

关于黄土高原多沙粗沙区的治理一直受到社会各界的关注。如早在 20 世纪 60 年代,钱宁等人经过大量调查研究和资料分析认为,黄河下游的淤积物中主要是粒径大于 0.05 mm 的粗泥沙,如果在中游找到粗泥沙产沙区,集中治理这一地区,控制和减少粗泥沙输入下游河道,则可使下游河道的淤积(特别是主槽淤积)得到缓解。

黄土高原的侵蚀产沙不仅造成了严重的农业和生态环境问题,而且也是形成黄河中下游河道河床不断淤积抬高的重要物质来源,是黄河诸多灾害问题的症结所在。黄土高原的侵蚀治理将直接影响到国家社会经济发展的总体布局及进程。为走可持续发展道路,尽快遏制黄土高原严重的环境恶化问题,国家已经把生态环境建设列为西部大开发的首要任务;由国务院批复的《黄河近期重点治理开发规划》也已将黄土高原水土流失治理作为我国水土保持工作的重点。显然,深入开展黄土高原土壤侵蚀与水土保持研究是实现国家社会、经济可持续发展战略的重大需求,也是力求达到黄河“堤防不决口、河道不断流、水质不超标、河床不抬高”,从而实现维持黄河健康生命终极目标的迫切要求。

1.1.2 黄土高原土壤侵蚀基本特征

1. 侵蚀产沙地层多样,侵蚀类型多

由于黄土高原侵蚀环境形成的特殊地质过程^[2],使得其侵蚀产沙地层具有明显的多样性。首先,从土壤类型而言,黄土高原有地带性和非地带性两大类,前者有褐土、黑垆土、栗钙土和灰钙土;后者有黄锦土、风沙土、盐土和碱土等。另外,从黄土地貌而言,可分为塬(包括台塬)、梁和峁。黄土地貌既与黄土堆积前的基地地形有关,同时也是侵蚀的产物,从而决定了黄土高原侵蚀产沙地层的多样性,基主要有黄土、砒砂岩、风成沙、基岩等。

产沙地层的多样性与黄土高原地区复杂的气候条件的综合作用,又形成了黄土高原多种形式的侵蚀类型。从侵蚀力来说,有水力侵蚀、重力侵蚀、风力侵蚀、生物侵蚀以及人类活动侵蚀等;从侵蚀形态来说,有细沟间侵蚀、细沟侵蚀、陷穴侵蚀、沟道侵蚀(包括冲沟、切沟等侵蚀形态)等。而且,这些不同类型的侵蚀往往是相互关联、互相耦合的。

2. 侵蚀产沙时空分布集中

黄土高原侵蚀产沙不仅集中来自多沙粗沙区,具有地区集中的突出性特征,而且产沙过程的集中程度也非常突出。据1969年前10年实测资料分析,黄河中游多沙粗沙区17条主要支流年内最大1日沙量占年沙量的28.9%,最大30日沙量占年沙量的61.5%,汛期(6~9月)沙量占年沙量的97.6%,可见产沙主要集中于汛期。

产沙过程的集中性与年内几场暴雨产沙密切相关。据分析,黄河中游多沙粗沙区5条小流域平均每年降雨81次,其中汛期45次,而引起土壤侵蚀的侵蚀性降雨平均每年只有8次,只占到年降雨次数的9.6%。在次数不多的暴雨中,偶遇大暴雨,就可产生占年沙量80%甚至95%以上的泥沙。这类大暴雨的出现对黄河产沙量的影响往往是很大的。如发生于1943年的一场暴雨,雨区几乎笼罩了整个多沙粗沙区,黄河干流陕县站的洪峰流量达36 000 m³/s,经估算,该年黄河的输沙量竟达70亿t之多。

3. 侵蚀产沙的多变性

黄土高原土壤侵蚀产沙具有突出的空间多变性和时间多变性。

侵蚀产沙在空间上的多变性突出表现在坡面与沟谷坡侵蚀产沙的差异性。根据张信宝等^[19]在清涧河流域赵家沟应用土壤中放射性同位素¹³⁷CS的示踪研究获得的坡沟侵蚀产沙量成果,沟间和沟谷相对产沙量分别为27.3%和72.7%。同样方法,在北洛河周河杨家沟测定结果是,沟间地侵蚀量占29%,沟谷侵蚀量占71%。也就是说,黄土丘陵沟壑区第一副区泥沙主要来自沟谷地。

根据黄河水利委员会(以下简称黄委)西峰、天水、绥德3个水土保持试验站在典型小流域的长期定位观测和调查,重力侵蚀面积占流域面积的百分数(A值)和

重力侵蚀流失量占总流失量的百分数(Q值)分别为:黄土高原沟壑区的西峰南小河沟,A值为9.1%,Q值为57.5%;黄土丘陵沟壑区第一副区的绥德韭园沟,A值为12.9%,Q值为20.2%,可见重力侵蚀的严重性。

侵蚀产沙在时间上的多变性主要表现为在暴雨洪水作用下集中产沙的特点。另外,重力侵蚀产沙具有一定的滞后性,也是形成侵蚀产沙时间多变性的一个主要原因。

1.1.3 黄土高原治理概况

到2000年底黄土高原地区共完成治理面积累计达到18万 km^2 ,治理度达到39%以上。

至2001年仅在黄河中游地区,国家生态环境建设重点县就达到了153个;国家财政预算内专项资金(债券)水土保持项目区有249个县(旗、市);退耕还林还草县84个;全国水土保持生态建设“十百千”工程涉及90个县(旗、市);“保护母亲河行动”也得到实施。四大重点治理区、重点防治工程、黄土高原水土保持世界银行贷款项目、重点支流治理、藉河流域水土保持示范区、小流域综合治理试点和水土保持治沟骨干工程等项目先后实施。通过这些项目的建设,不仅大大增加了治理力度,而且使水土保持措施配置体系的质量和管理水平得到很大提高。据初步统计,“九五”期间完成初步治理面积6万 km^2 ,特别是1998年后每年初步治理面积达到1.25万 km^2 ,2000年达到1.3万 km^2 。

多沙粗沙区是黄河泥沙的主要来源区,同时也是重点治理区。表1-1为多沙粗沙区在不同年份的水土保持措施保存面积。由表1-1可以看出,尽管1992年梯田、造林、种草、坝地保存面积分别为1959年的13.5倍、11.3倍、9.15倍和4.56倍,各项措施合计为1959年的10.8倍,综合治理保存面积达到2.05万 km^2 ,但是,治理程度仍比较低,只有多沙粗沙区面积7.86万 km^2 的26%。

治沟工程是黄河中游多沙粗沙区的重要治理措施,在拦沙造地中起着很大的作用。如淤地坝工程,自20世纪50年代开始陆续修建;20世纪60~70年代修建较多,发展比较快,而在80~90年代修建相对较少;到1998年,多沙粗沙区共建成4.04万座,淤地5.23万 hm^2 ,拦泥23.5亿t,其中吴堡以北修建1.5万座,淤地1.88万 hm^2 ,吴堡以南修建1.6万座,淤地2.12万 hm^2 ;泾洛河上游修建0.94万座,淤地1.20万 hm^2 。对于治沟骨干工程,从1986年启动到1998年共建成792座,控制面积5263 km^2 ,总库容8.87亿 m^3 ,其中拦泥库容5.42亿 m^3 ,已拦泥3.12亿 m^3 。在修建淤地坝、治沟骨干工程的同时,水库和拦泥库也得到发展。如从20世纪50年代开始陆续修建,到1994年全区共完成165座,总库容28.61亿 m^3 ,已淤积库容13.02亿 m^3 。多沙粗沙区水库与拦泥库分布情况如表1-2所示,其中吴堡以北41座;吴堡以南77座,泾河流域与洛河流域47座。

表 1-1 多沙粗沙区水土保持措施保存面积

年份	各类措施保存面积/万 hm ²				
	梯田	造林	种草	坝地	合计
1953	2.6	12.8	2.0	1.6	19.0
1969	10.6	31.4	3.4	3.2	48.6
1979	21.3	77.3	7.3	5.0	110.9
1989	30.2	120.7	16.8	6.4	174.1
1992	35.1	144.4	18.3	7.3	205.1

表 1-2 沟道坝系工程现状分布情况

区 域	吴堡以北	吴堡以南	泾洛河上游
淤地坝/座	15 014	15 779	9 369
治沟骨干工程/座	339	310	83
水库与拦泥库/座	41	77	47

1.1.4 治理经验及存在的主要问题

1.1.4.1 治理经验

1. 坝库控制和大面积水土保持可以在较大支流取得明显减沙作用

从无定河、三川河等国家重点治理支流来看,采取坝库控制和大面积水土保持是可以取得明显减沙效益的。

无定河流域面积 30 261 km²,其中水土流失面积达 23 137 km²,占总面积的 76.46%。该流域分为三个水土流失类型区,其中河源涧区面积 34.54 km²,占全流域面积的 11.4%;风沙区面积 16 446 km²,占 54.3%;黄土丘陵沟壑区面积 10 361 km²,占 34.3%。1983 年列为国家重点治理支流以来,截至 1993 年底累计治理面积 73.25 万 hm²,实有治理程度达 34.81%。截至 1989 年,全流域共修建淤地坝 11 631 座,累计总库容 214 447 万 m³。自 1955 年起,先后共修建 100 万 m³ 以上水库 74 座,其中库容超过 1 000 万 m³ 的水库 29 座,超过 1 亿 m³ 的水库 1 座(新桥水库,库容 2 亿 m³),小型水库 45 座。总库容已达到 148 500 万 m³。基本上形成了大面积水土保持措施治理与坝库控制相结合的治理格局。“八五”国家科技攻关有关黄河项目研究表明,20 世纪 80 年代无定河流域治理减沙效益已达到 67.7%,各项措施减沙情况见表 1-3。

表 1-3 典型流域水利水保措施年均减沙量

河名	坡面措施减沙量/万 t				沟道工程措施减沙量/万 t				人为增沙 /万 t	河道冲淤 /万 t	合计 /万 t	年均 输沙量 /万 t	减沙 效益 /%
	梯田	造林	种草	小计	淤地坝	水库	灌溉	小计					
无定河	771.3	1 340.1	143.6	2 255	6 238	3 481	236	9 955	-1 095	-84.0	11 028	5 268	67.7
三川河	99.7	14.2	12.3	226.2	800.0	74.8	178.5	1 053.3	-71.8	13.1	122.8	963	55.9

2. 坝库是蓄水拦沙的重要措施,保持单位面积库容是关键

多沙粗沙区中小典型流域治理的减水减沙作用分析表明,坝库是蓄水拦沙的重要措施,但保持单位面积库容是关键。如无定河支流大理河流域面积 $3\,906\text{km}^2$,据 1982 年调查统计,该流域修建百万方以上坝库 84 座,百万方以下坝库 3 072 座,总库容达 8 亿 m^3 以上,单位面积库容愈 $20\text{万 m}^3/\text{km}^2$ 。分析计算表明,1971~1980 年平均消减洪水 51.5%,减水 41.1%,减沙 44.7%。另外,由韭园沟、大砭沟、王茂沟的资料表明,坝库单位面积库容在 7 万~10 万 m^3 以上,同时实施了一定的坡面治理,减沙效益都十分明显。可见,保持单位面积库容是减水减沙的关键。

3. 加强坝库建设,进行综合治理,泥沙是可以快速减少的

根据不少支流治理效益分析,泥沙的变化与坝库建设规模有很大关系,坝库的拦沙对流域泥沙的减少起着很大作用。只要能较快地增加库容,泥沙是可以得到快速减少的。

1.1.4.2 存在的问题

1. 现有坝库蓄水作用正在衰减,淤地坝水毁增沙

黄河中游拦沙作用较大的是水库与淤地坝。但是,随着时间的推移,坝库的蓄水拦沙作用将逐渐衰减。

如对清涧河流域水土保持减洪减沙效果分析(表 1-4),包括淤地坝在内的各种水土保持措施面积都是逐渐增加的,但坝地拦沙量则不断减少。而且 20 世纪 80~90 年代水土保持措施的减沙量增长幅度小于 70~80 年代的,其中又以坝地增加最少。随着坝地拦沙容量的减少,淤地坝所起的作用也越来越弱,如 20 世纪 80 年代年均减洪量和减沙量较 70 年代的分别减少 795.4 万 m^3 和 337.8 万 t。尤其是 20 世纪 90 年代后期淤地坝的减洪减沙作用降低更多,达 1 884.7 万 m^3 和 752 万 t,其减洪量和减沙量只有 59.9 万 m^3 和 120.5 万 t,只及 70 年代的 2.2% 和 10.0%。由此可见,20 世纪 90 年代后期淤地坝的减洪作用已相当低。

水库及淤地坝拦蓄洪水泥沙作用降低的原因主要有两方面,一是有效库容的淤损,二是淤地坝的水毁垮坝。如根据调查,目前,多沙粗沙区水库淤损率达 35% 以上,红柳河、芦河水库群库容淤损率达 48.6%,个别水库已淤满报废。据陕西省水土保持局淤地坝普查资料表明,截至 1993 年,陕北地区共建淤地坝 31 924 座,其中 95% 以上是 1979 年以前修建的,1980 以后修建数量很少。这些淤地坝经长期运行,库容淤损率达 77.0%。这些淤地坝不仅拦沙作用大大降低,而且在遭遇超标暴雨洪水时,常造成局部水毁,即使在防御标准内的暴雨洪水,也常因工程质量差、疏于管理等原因出现一定的水毁现象,不少地方淤地坝数量大为减少,如修建淤地坝较多的子洲县,1977 年前修建淤地坝 2 007 座,到 1993 年仅存 968 座,而 1994 年 8 月暴雨又破坏了 821 座,占 1993 年总坝数的 84.8%。另外,根据子长县水利水土保持局 2000 年 8 月调查,1976 年该县的 2 164 座淤地坝,经过建坝、水

毁、再建坝等过程,到1999年保存量为1463座。而2002年7月暴雨破坏85座,现存坝数占1976年总坝数的63.7%,即减少了36.3%。截至1999年,子长县淤地坝总库容为5.3亿 m^3 ,已淤库容4.8亿 m^3 ,占总库容90.6%。可见,淤地坝减少和失效的速度是惊人的。

表1-4 清涧河控制区各年代水利水保措施减洪减沙量计算结果

		20世纪各年代减洪减沙量				
项目	措施	70年代 ①	80年代 ②	90年代 ③	②~①	③~②
措施面积 /hm ²	梯田	6 740	11 927	15 360	5 187	3 433
	造林	7 887	35 370	62 470	27 483	27 100
	种草	447	1 590	2 647	1 143	1 057
	坝地	2 137	3 910	4 654	1 773	744
	合计	17 211	52 797	85 131	32 334	
减洪量 /(万 m^3 /年)	梯田	171	205.5	237	34.5	31.5
	造林	147	522	859.5	375	337.5
	种草	4.5	10.5	15	6	4.5
	坝地	2 740	1 944.6	59.9	-795.4	-1 884.7
	水库	78.8	157.6	162.4	78.8	4.8
合计	3 141.3	2 840.2	1 333.8	-301.1	-1 506.4	
各措施减 洪量占总 量的比例 /%	梯田	5.4	7.2	17.8		
	造林	4.7	18.4	64.4		
	种草	0.1	0.4	1.1		
	坝地	87.2	68.5	4.5		
合计	2.5	5.5	12.2			
减沙量 /(万 t/年)	梯田	102	93	149.3	-9	56.3
	造林	86.3	243	540.8	156.7	297.8
	种草	4.5	9	19.5	4.5	10.5
	坝地	1 210.3	872.5	120.5	-337.8	-752
	水库	55.5	183.6	120	128.1	-63.6
合计	1 458.6	1 401.1	950.1	-57.5	-451	
各措施减 沙量占总 量的比例 /%	梯田	7.0	6.6	15.7		
	造林	5.9	17.3	56.9		
	种草	0.3	0.6	2.1		
	坝地	83.0	62.3	12.7		
合计	3.8	13.1	12.6			

注:90年代数据为1990~1996年。

表1-5为清涧河流域几次淤地坝水毁调查成果。由表1-5可以看出,虽然2002年7月暴雨洪水淤地坝水毁率较前有所减少,但水毁增沙仍较大,冲失坝地占全县总坝地0.3万 hm^2 的12.5%,均较前几次水毁有较大的增加。

随着坝库数量的减少和质量的下,流域整体减水减沙作用将会显著下降。如1994年无定河流域遭遇一次降雨量为90~150 mm的暴雨,该年输沙量逾2亿t,接近治理前产沙水平,这就充分说明了现有水利水土保持措施整体拦沙能力的降

低和在这种情况下暴雨产沙作用的相对增强,呈现出大暴雨较多的丰水年份减水减沙效益较小,而暴雨较少的年份减水减沙效益较大的显著特点。

表 1-5 清涧河流域淤地坝水毁调查表

调查地区	延川县	子长县	子长县
时间	1973 年 8 月 25 日	1975 年 8 月 25 日	2002 年 7 月 4~5 日
降雨量/mm	112.5	167.0	283.0
总坝数/座	7 570	403	1 244
水毁数/座	3 300	121	85
水毁率/%	43.5	30.0	6.8
冲失坝地占水毁坝库内坝地比例/%	15.3	26.0	30.0
冲失坝地占全县坝地比例/%	5.8	5.2	12.5

2. 林草保存率低,梯田破坏严重,减沙作用较小

据调查,黄河流域现有造林保存率仅为 30%左右,种草保存率 5%~100%,对于无定河、三川河、皇甫川等重点治理小流域造林保存率也仅为 66%,种草保存率只有 49%。梯田数量更少,仅占治理面积的 10%左右,而且这些梯田绝大部分是 20 世纪 70 年代以前修建的。据 20 世纪 90 年代初对绥德、吴堡、米脂等县的调查,梯田遭受不同程度破坏的面积达 50%~80%,蓄水保土能力明显下降。据对黄河中游水土保持减沙计算,梯田、林、草减沙效益仅占水土保持效益的 10%~15%。

3. 人为新增水土流失“禁而不止”

黄河中游多沙粗沙区的煤炭、石油、天然气等能源极为丰富,国家已列为重点开发区。近年来的实践证明,多沙粗沙区的能源开发建设所带来的新增水土流失日趋严重,而有发展蔓延之势。据对晋陕蒙接壤地区调查,1986~1999 年由于矿区开发和相应的各类基本建设,造成弃土弃渣总量达 6.15 亿 t,其中开矿 2.88 亿 t,公路、铁路 2.04 亿 t,工业生产产沙 0.52 亿 t,生活垃圾 0.71 亿 t。据 1990~1996 年水文观测资料分析,由于神府东胜矿区开发使乌兰木伦河输沙量年平均增沙 400 万 t,较开矿前相同降雨量的输沙量增加 14.2%,泥沙中数粒径增加 40%,小洪水高含沙情况出现概率增多,开矿后的 1988~1992 年连续 5 年出现含沙量 1 000 kg/m³ 以上高含沙水流。此外,由于人口增长,毁林毁草,陡坡垦种,也造成人为水土流失。据统计,20 世纪 50 年代初期,多沙粗沙区总人口只有 277 万人,到 1998 年增长到 708 万人,增加了 1.5 倍,相应的耕地面积由 92.33 万 hm² 增加到 190.67 万 hm²。在山区、丘陵区,新增耕地大多是由于毁林毁草、陡坡开荒而来的,这势必会造成新的水土流失。

4. 基础研究薄弱,治理规划科技含量低

在治理措施建设方面国家已投入大量资金,流域治理度逐年增加。但是,在水土流失治理的基础研究方面,仍远远落后于水土流失治理实践发展的需求。