

基于沙棘柔性坝技术的 砒砂岩区小流域水土保持研究

JIYU SHAJI ROUXINGBA JISHU
DE PISHAYANQU XIAOLIUYU SHUITU
BAOCHI YANJIU

杨方社 毕慈芬 著

中国环境出版社

基于沙棘柔性坝技术的砒砂岩区 小流域水土保持研究

杨方社 毕慈芬 著

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

基于沙棘柔性坝技术的砒砂岩区小流域水土保持研究/杨方社, 毕慈芬著. —北京: 中国环境出版社, 2015.3
ISBN 978-7-5111-2264-3

I. ①基… II. ①杨…②毕… III. ①砂岩—小流域—水土保持—研究 IV. ①S157

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 039458 号

出版人 王新程
责任编辑 连 斌 赵楠婕
责任校对 尹 芳
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 编辑管理部
010-67110763 生态(水利水电)图书出版中心
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 11 月第 1 版
印 次 2015 年 11 月第 1 次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 13.00
字 数 250 千字
定 价 39.00 元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载, 侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

黄河的根本问题是泥沙问题，而且主要是粗泥沙问题。黄河粗泥沙主要来自于黄河中上游的多沙粗沙区，而砒砂岩区是多沙粗沙区最为集中的粗泥沙来源区，也是黄土高原最为严重的水土流失区域，被喻为“世界水土流失之最”，亦有“地球环境癌症”之称。沙棘植物柔性坝是利用植物措施治理水土流失、利用自然改造自然的生物工程，是治理小流域沟道泥沙的一种有效措施。小流域是大流域的基本构成单元，大流域系统化的水土流失治理最终要回归到对小流域的水土流失治理上。为了治理砒砂岩区域的土壤侵蚀与水土流失，开展基于沙棘柔性坝技术的砒砂岩区小流域水土保持综合治理研究，提出砒砂岩区小流域水土保持综合治理技术模式，可为沙棘柔性坝在砒砂岩地区的推广、规划与栽植提供理论依据与技术支撑，在理论与实践上具有重要意义。

本研究在前期野外原型与野外水流试验的基础上，结合砒砂岩区小流域推广试验，进行了以下几项研究。第一，分析了基岩产沙区及砒砂岩区的自然地理及环境基本特征，并对该区的基本环境问题、灾害特征进行了简要介绍。第二，分析了砒砂岩区的土壤侵蚀及产流输沙特征，对砒砂岩区沟道输沙机理进行了分析与探讨，初步建立了冻融风化侵蚀模型，并对砒砂岩区土壤侵蚀分类进行了讨论。第三，分析了不同种植参数下，沙棘柔性坝对水流特性的影响，探讨了沙棘植物柔性坝的滞流拦沙作用与机理（内容包括：沙棘柔性坝内水深及流速的纵、横向变化，垂向速度分布与变化以及沙棘柔性坝阻力构成及其无量纲函数形式）。第四，对沙棘植物柔性坝的生态效应进行了分析，包括对砒砂岩沟道土壤的改良效应及对沟道土壤水分的改善效应。第五，讨论了沙棘植物柔性坝坝系系统工程技术，内容包括：沙棘植物柔性坝的规划设计与栽植技术，沙棘植物柔性坝的规划设计原则与方法，沙棘植物柔性坝在不同地形沟道情况下的典型设计与栽植技术等。第六，基于沙棘柔性坝坝系系统工程技术，结合刚性工程，提出了砒砂岩区小流域沟道综合治理技术模式，主要包括：一是就地拦沙的治理思路与技术模式，二是就地持水（即就地蓄水或水土流失）的治理思路与技术模式。第七，对沙棘植物在砒砂岩区水土资源可持续利用中的协调功能进行了探讨，主要包括协调沟

道水、土、沙资源,协调沟与坡生态恢复过程,协调生态与经济的关系,协调人与环境的关系等。最后,对沙棘柔性坝技术及本研究所提出的小流域水土保持综合治理技术模式在砒砂岩区准格尔旗圪秋沟水土保持与生态综合治理推广示范项目中的应用与实践进行了介绍。

野外调查研究与理论分析表明,沙棘是砒砂岩区沟道水土流失治理的先锋树种,具有不可替代性。针对砒砂岩区的具体实际,该区应该坚持以小流域为单元,合理规划,规模治理,坚持在一定配置条件下,以刚柔结合的沙棘柔性坝与淤地坝坝系生态工程为主体,坚持以小流域沟道为主的综合治理技术模式,因地制宜,加强对禁牧区域的管理与力度,进一步加强退耕还林还草政策的实施与落实,积极推进植被建设与恢复,营造生态系统恢复的基本条件,必将能够恢复砒砂岩区的生态系统,改善生态环境。

本书第3章、第4章、第7章、第8章由杨方社、毕慈芬撰写,其余各章节均由杨方社撰写。全书由杨方社统稿,毕慈芬定稿。

砒砂岩区自然地理及其环境较为复杂,由于经济的快速发展,频繁的人类活动,加大了对生态环境的破坏,治理难度依然较大,加之缺乏健全系统的泥沙与野外生态观测网络,资料不甚丰富,虽然针对砒砂岩区的水土流失与治理做了一些工作,但依然还有许多问题未能很好地解决。其他的一些有关问题,还需要在今后大量观测资料的基础上,进一步地深入研究。本书由于编撰时间短,加之作者的水平有限,书中难免有错误与不妥之处,敬请读者批评指正。

作 者

2015年1月于西安

目 录

1	绪 论	1
1.1	黄土高原水土流失及其治理简述	1
1.2	黄河泥沙问题简述	4
1.3	植物滞流拦沙研究简述	9
1.4	沙棘柔性坝简介	13
1.5	沙棘柔性坝及其技术体系的研究意义	16
1.6	主要研究内容	17
2	砒砂岩区自然地理与社会经济概况	19
2.1	自然地理概况	19
2.2	社会经济概况	45
2.3	本章小结	49
3	砒砂岩区自然环境与土壤侵蚀特征	50
3.1	基岩产沙区的地理位置	50
3.2	砒砂岩区自然环境基本特征	51
3.3	土壤侵蚀特征	64
3.4	本章小结	79
4	砒砂岩区产沙特征及输沙机理分析	81
4.1	砒砂岩区产沙特征	81
4.2	砒砂岩区产沙的季节性、年际及年代间变化特征	87
4.3	砒砂岩区沟道输沙机理分析	92
4.4	本章小结	97
5	沙棘柔性坝对水流特性的影响及阻滞机理分析	98
5.1	野外水流试验概况	98
5.2	沙棘柔性坝对水流特性的影响	101
5.3	沙棘柔性坝阻滞作用分析	108
5.4	本章小结	113

6	沙棘柔性坝生态效应分析	114
6.1	沙棘柔性坝对沟道土壤的改良效应.....	114
6.2	沙棘柔性坝对土壤水分的影响.....	129
6.3	沙棘柔性坝营造沟道湿地的潜力分析.....	139
6.4	本章小结	143
7	沙棘柔性坝系统工程技术体系研究——以内蒙古准格尔旗西召沟 流域东一支沟沙棘柔性坝系统工程为例.....	144
7.1	试验区及沙棘植物“柔性坝”坝系简介	144
7.2	沙棘“柔性坝”坝系组成及各部分的内涵和作用	151
7.3	沙棘植物“柔性坝”规划设计与施工（栽植）技术	152
7.4	沙棘植物“柔性坝”试验成果简介	163
7.5	本章小结	166
8	砒砂岩区小流域沟道综合治理技术模式研究	167
8.1	就地拦沙的治理思路及技术模式.....	168
8.2	蓄水持水的治理思路与技术模式.....	170
8.3	沙棘在砒砂岩区水土资源可持续利用中的协调功能.....	174
8.4	几点建议	177
8.5	本章小结	178
9	沙棘柔性坝在小流域沟道综合治理中的应用与实践——以砒砂岩区 准格尔旗圪秋沟生态综合治理为例	179
9.1	项目概况	179
9.2	工程总体布置	183
9.3	造林标准与沙棘柔性坝的应用.....	186
9.4	本章小结	190
10	结 语.....	191
	参考文献.....	193
	致 谢	200

1 绪 论

1.1 黄土高原水土流失及其治理简述

水土资源是人类生存和文明发展的重要物质基础, 是进行农业生产的基本条件。随着人口的增加、经济的发展、文明进程的推进, 人类开始过度开发和利用自然资源, 导致了资源短缺、环境污染加剧、生态环境恶化等一系列问题, 而这些问题的根源就是土壤侵蚀、水土流失及水土资源的严重破坏。

水土流失问题已成为全世界的严重灾害, 是全世界广泛关注的热点问题。由于人类活动的加强以及经济发展的加速, 水土流失已严重地威胁着人类的生存和发展。近些年来, 在世界范围内频繁发生的沙尘暴就是大自然对人类的报复。有关专家指出, “水土流失将成为 21 世纪人类生存与发展面临的头号环境问题”, 必须引起人类的重视, 并加以治理与解决^[1]。据统计, 全世界目前水土流失面积达 25 亿 hm^2 , 占全球耕地、林地和草地总面积的 29%, 据联合国环境规划署估计, 由于土壤侵蚀, 全世界每年可丧失耕地 500 万~700 万 hm^2 , 到 21 世纪末有可能增加到 1 000 万 hm^2 , 严重阻碍了经济的持续发展。水土流失可引发水分损失、土壤损失、土壤养分损失, 导致江河湖库泥沙淤积、干旱洪涝灾害及河流盐碱化、湖泊富营养化等一系列生态灾难。据联合国环境规划署的统计, 全球每年因水土流失而损失的土壤量达 600 亿 t, 如果以土层平均厚度 1 m 计算, 只需 809 年, 全球耕地土壤将侵蚀殆尽。同时, 在全世界土壤总侵蚀量 600 亿 t 中, 除了入海的 240 亿 t 泥沙外, 剩下 300 多亿 t 全部沉积于内陆的江河湖库, 引起一系列的生态灾难。例如, 在非洲, 撒哈拉沙漠的南缘在最近 50 年中, 已有 6 500 万 hm^2 的土地不再适合于农牧业, 变成了荒漠。苏丹在最近 19 年中, 沙漠南移了约 100 km, 印度和巴基斯坦的塔尔沙漠在最近 5 年中, 每年以 8 km 的速度移动, 每年失去 13 000 hm^2 肥沃的土地。南美的阿塔卡马沙漠每年向前推进 1.6~3.2 km。人造地球卫星照片表明, 利比亚沙漠每年以 13 km 的速度向尼罗河三角洲移动。根据中国水利部门的资料, 长江流域每年土壤侵蚀量达 22.4 亿 t, 其中 17.12 亿 t 沉积于江河湖库。土壤养分损失导致土壤贫瘠化和河

流盐碱化、湖泊富营养化^[2]。我国已成为世界上水土流失最严重的国家之一,沙漠化面积还在不断增加,目前已达约 128 万 km^2 , 占国土面积的 13.3%, 仅内蒙古、新疆、青海三省区就有 14.3 万 km^2 的沙漠是 1949 年以后形成的。根据中国科学院 1992 年 12 月通过卫星遥感技术测得的统计数字, 20 世纪 80 年代, 我国发生水土流失的土地就已达 375 万 km^2 之多^[3]。

中国的黄土高原闻名于世, 是中华民族的摇篮, 是华夏五千年文明的发祥地。几千年来, 我们的祖先在黄土高原上创造了举世瞩目的灿烂文明, 说明黄土高原曾是资源丰富、植被茂盛、环境宜人、经济繁荣的地区。随着经济的发展, 人类活动的加强, 享誉世界的黄土高原已今非昔比, 由于它特殊的黄土地貌景观和令人触目惊心的土壤侵蚀与水土流失, 已成为世界水土流失之最。严重的土壤侵蚀与水土流失使黄土高原的自然资源与生态环境日益恶化, 并带来一系列的自然灾害与生态灾难, 社会经济发展滞后缓慢, 已成为制约黄土高原社会经济发展的首要威胁。黄土高原沟壑纵横、土壤侵蚀愈演愈烈, 严重的水土流失给黄河输送了大量泥沙, 大大加重了母亲河——黄河中下游的洪涝灾害, 威胁着黄河的健康生命。曾是几千年来政治、经济和文化中心的黄土高原如今已变成了一个贫困落后的地区, 这引起了中华民族及国际友人的关注^[4-6]。

黄土高原大部分位于宁夏、山西、陕西、甘肃、青海、内蒙古和河南, 有世界上最大的风积黄土地层。这种土壤, 厚度在有些地方超过 100 m, 由于其颗粒细微和不易分离的特性, 因此属高度易水土流失土壤。水土流失常带来严重的后果, 如土地退化、生态环境恶化、土壤含蓄水源能力降低、洪枯比加大、易旱易涝、水旱灾害频繁、耕地面积减少, 沙漠面积不断扩大^[7,8]。几乎所有的水土流失类型和程度在黄土高原均有发生, 黄土高原地区划分为三种类型: 主要暴露于风蚀的地区、风蚀和水蚀双重区以及水蚀区。水蚀及水蚀-风蚀类型的面积占黄土高原地区水土流失总面积的 75%。在 20 世纪 80 年代后期, 年土壤流失超过 5 000 t/km^2 的土地面积达到 21.13 万 km^2 , 大约占黄土高原地区土地总面积的 34%, 涉及省份包括甘肃、陕西和山西, 分别占各水土流失强度总面积的 36%、34% 和 20%。12% 的土地受到严重的水蚀, 每年土壤流失 1 万 t/km^2 , 在 20 世纪 90 年代初, 陕西水土流失强度超过 1 万 t/km^2 的土地面积甚至达到了 73%。几乎所有的研究都表明在过去的几十年间, 遭受水蚀和风蚀的土地显著增加, 大部分研究表明这种增长幅度为 20%~30%^[9]。

黄土高原地区由于水土流失严重, 大量泥沙淤积在黄河下游河床, 形成著名的地上悬河, 严重威胁着黄淮海平原 25 万 km^2 上 1 亿多人口的生命财产安全。全国人大环资委主任曲格平曾指出: “严重的水土流失实际是我们的国土在流失,

在我国众多环境问题中,水土流失是头号环境问题。目前包括长江、黄河等七大流域在内,全国水土流失面积达到 367 万 km^2 , 约占国土总面积的 1/3 以上。我国每年的土壤流失量多达 50 亿 t。加快治理水土流失迫在眉睫,这是关系到经济可持续发展,国家长治久安的根本大计。”

新中国成立以来,为了有效地控制和治理黄土高原水土流失,达到最佳的水土保持效果,在党和政府的领导下,我国人民对黄土高原进行了独一无二的治理,取得了举世瞩目的成就。广大科技工作者为控制黄土高原的水土流失也作出了重要贡献,取得了许多研究成果。到目前为止,我国在黄土高原已经取得了一套完整的较为成熟的水土保持经验,其中的一个创举就是小流域综合治理。这种小流域治理已发挥了巨大效益,主要表现为:①改造了黄土高原土地和自然环境面貌;②提高了土地的生产力,改善了农民的经济生活水平;③减少了泥沙流失。实践证明,小流域综合治理已经成为黄土高原治理的根本措施^[10]。

近年来在该区乃至整个黄土高原地区实施的小流域综合治理成效显著,其主要措施有农业措施、生物措施、工程措施和管理措施,前三种为技术措施,比较广泛采用的农业措施有:等高耕作、垄沟耕作等水土保持耕作法、水平梯田、复式梯田、隔坡梯田等梯田法,主要用于坡面治理;生物措施有:植树、造林、种草、栽植植物篱笆等生物工程法,主要作用在于增加地面植被,增大地表糙率保护坡面与沟道的土壤免受雨滴打击和暴雨径流的冲刷,侧重于坡面与沟道治理;工程措施有山坡防护工程和沟道防护工程,山坡防护工程包括:坡面拦水沟埂、水平沟、水平阶、鱼鳞坑、山坡截流沟、山洪排导工程,主要是通过改变微地形来防止坡面的水土流失,就地拦蓄雨水,沟道防护工程包括:沟头防护工程、谷坊、淤地坝、骨干坝、小型蓄水塘库等,主要用于坡面治理及防止沟头前进、沟床下切和沟岸扩张,减缓沟床纵横比降,调节山洪流量,减少山洪或泥石流的固体物质含量,使其安全排泄;管理措施有:禁牧、封山育林、退耕还林还草等措施。以上的诸多工程措施的具体形式及平面布置在《黄河水土保持志》中有详细的说明。根据黄土丘陵沟壑区的地貌和土壤侵蚀特性,该区可分为梁峁坡、沟谷坡和沟道三部分,在多年小流域治理的实践中已逐步形成了所谓“五道防线”的综合治理模式,即梁峁顶防护体系——防风固土,保护峁顶及其附近地域;梁峁坡防护体系——拦蓄降水、保持水土,把梁峁坡变为农业和生产基地;峁缘线防护体系——拦截梁峁坡防护体系的剩余径流,分割水流,防治溯源侵蚀;沟谷坡防护体系——修建工程,造林种草以削弱产汇流,进一步拦截上段防护体系的剩余径流与削减水流剪力,保土护坡;最后是沟道(底)防护体系——拦截坡面防护体系的剩余径流泥沙,做到土不出沟,水就地拦截入渗,并可形成沟谷湿地,

减少入黄泥沙,变荒沟为坝地、湿地。这样的层层设防、层层拦截,在黄土高原形成了独特的水土保持综合防护体系^[11,12]。姚文艺等^[13]对该区的水土保持综合措施的优化配置进行了研究,提出了颇具建设性的意见,对当前水土保持措施的配置具有重要指导意义。

在黄土丘陵沟壑区的小流域综合治理中,沟道治理是重中之重,沟道治理目的在于防止全流域面积上的径流形成的水、土流向下游河道,以便加重下游河道的灾害。在黄土高原丘陵沟壑区的丘一和丘二副区多为峁状丘陵,沟壑密度极大,主要以谷坊和淤地坝为主要工程措施,在丘三、丘四副区多为梁状丘陵,坡面较完整,除使用谷坊和淤地坝外,还在坡面通过农耕措施(整修坡面、修水平梯田等)和植物措施(植树种草)以减少入沟径流;在丘五副区坡面坡度较缓(大部分低于 15°),丘陵间散布小盆地,侵蚀多沿小盆地上的蚀沟发展,主要治理措施是在小盆地上修筑谷坊或拦沙坝,并沿沟头修建防护围埂林带,拦截径流和防止沟头向前蚀进。虽然坝库控制及大面积的水土保持工程措施在快速蓄水拦沙方面起到了巨大作用,但如今却面临众多问题。①现有坝库蓄水拦沙作用日益衰减,淤地坝水毁增沙严重。随着时间的推移,坝库蓄水拦沙的作用正日益减弱,据调查,主要原因一是大部分骨干工程坝库渗漏严重,有效库容严重淤损,亟待加固、加高,二是淤地坝的水毁垮坝。据调查,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%,为数不少的水库已淤满报废。据陕西省水土保持局淤地坝普查资料表明,截至1993年,陕北地区共建的31924座淤地坝,库容淤损率达77%^[14]。②坝地盐碱,群众难以保收。③缺乏骨干工程,容易造成自上而下的连锁垮坝事件。④病、险坝太多,加固加高难度大。这些问题已引起政府部门、专家学者及广大科技工作者的关注与研究,引起人们的反思,希望寻求一种可持续、可循环发展的生态经济措施。

实践表明,在诸多治理措施中,工程措施是重要治理措施,并非根本治理措施,人们已经意识到只有水土保持植物措施才是标本兼治的最根本措施。

1.2 黄河泥沙问题简述

黄河的症结是泥沙问题,特别是泥沙颗粒大于 0.05 mm 的造床质泥沙。泥沙主要危害黄河中下游河段,如宁蒙河段、龙潼河段和下游河段。由于泥沙淤积,河床不断抬高,沙滩散乱,流路摆动不定,河势千变万化,成为世界上最典型的游荡性河段。不仅使洪水位抬升,严重威胁堤防安全,酿成洪水灾害;而且常常使引水口脱溜,难以达到正常引水。加之水流含沙量既高又粗,常使渠道淤塞、

抽水泵水轮机叶片机械磨损。更使河流不能通航、水资源得不到充分利用,对国民经济发展造成极大的影响^[15]。

从原始社会开始,黄河流域的先祖们,为了生存,在与黄河水旱灾害进行斗争的过程中,就涉及对洪水泥沙控制问题的研究,同时也在积极地寻找解决这一问题的良策。近代李仪祉在悉心研究黄河各方面问题之后,针对我国古代治河偏下游,黄河得不到根治的情况,提出“上中下并重,防洪、航运、灌溉、水电等各项工作都应统筹兼顾”的“治黄”方针^[16]。他主张在西北黄土高原的田间、溪沟、河谷中截留水沙,提倡黄河治理应与当地农、林、牧、副、渔等生产结合起来。“人民治黄”以来,张含英提出治理黄河应全河整体而治的观点,不应只就下游论下游,就中游论中游,而应统筹上、中、下游,主流与支流兼顾,以整个流域为对象,以控制祸害、开发资源、安定社会、发展人民生活为目标^[17]。1953年,王化云提出:黄河治理与其他河流治理相比,主要在于泥沙冲淤问题,治理的基本方针是“蓄水拦沙”,就是把泥沙拦在西北的千沟万壑里。依据这一方针,他提出在黄河干流上从邙山到贵德,修筑二三十个大水库、大电站,在较大的支流上修筑五六百个中型水库,在小支流上及大沟壑里修筑二三百个小水库,同时将水沙与农、林、牧、副、渔等农业经济相结合,全面进行水土流失的治理。通过这样的办法,大小河沟就可变为阶梯式相互衔接的蓄水拦沙库,这样就可把泥沙拦在大西北。1955年7月18日,邓子恢在《关于根治黄河水害和开发黄河水利的综合规划报告》中指出:“我们对于黄河所应采取的方针就是不把水和泥送走,而是对水和泥沙加以控制和利用”。他提出的具体办法是:第一,在黄河干流和支流上修建一系列拦河坝和水库,依靠这些拦河坝和水库,我们可以拦蓄洪水和泥沙、防止水害、调节水量、发展灌溉和航运,更重要的是可以建设一系列不同规模的水电站,获取大量的廉价电力资源;第二,在黄河流域水土流失严重的地区——甘肃、陕西、山西、内蒙古四省(自治区),展开大规模的水土保持工作。这就是说,要保护黄土,使它不受雨水冲刷,拦蓄雨水使它不要流入山沟和下游河流,这样既避免了中游地区的水土流失,也消除了下游水害的根源^[17]。

三门峡水利枢纽是开发黄河水利、控制黄河水害的第一大工程。1964年12月,周恩来总理指出:“总的战略是要把黄河治理好,把水土结合起来解决,使水土资源在黄河上、中、下游都发挥作用,让黄河成为一条有利于生产的河。”1969年6月,在三门峡召开晋、陕、豫、鲁四省治黄会议,研究三门峡工程进一步改建和黄河近期治理问题。会议认为,泥沙是黄河的症结所在,控制中游地区的水土流失是治黄的根本,在一个较长时间内,洪水泥沙对下游仍是一个严重的问题,必须设法加以控制和利用^[17]。

上述治河观点中,均提出或指出治黄应首先从黄河上中游产沙区的治理入手,就是把泥沙拦在产沙区,拦沙的内容有三方面:其一是水土保持,其二是在干支流上修建一系列拦泥库,其三是治沟骨干坝。其具体措施如下:①坡耕地治理技术措施,包括分保土耕作法、沟洫、梯田等。a. 保土耕作法又分为改变微地形的保土耕作法、增加被覆的保土耕作法、改良土壤的保土耕作法。b. 沟洫,是指在坡地上顺等高线布设,除排水外,还兼有蓄水保土的作用,如沟埂梯田(或坡式梯田),后来演变成水平梯田。c. 梯田,把坡地修成水平梯田,其作用在于蓄水保土,改善农作物的生长条件。d. 荒地治理技术措施,分种草育草、造林育林两种。e. 沟壑治理技术措施。其技术措施分为沟头防护、谷坊、淤地坝、保润固沟4种。f. 小型蓄水工程。有水窖、涝池和塘坝、引洪漫地3种。g. 专项治理措施,分为风沙治理、矿区治理、水库上游治理、渠道沿线治理、铁路沿线治理、公路沿线治理6种。②拦泥库措施。a. 1955年《关于根治黄河水害和开发黄河水利的综合规划报告》中提出,为了拦阻三门峡以上支流的泥沙,以保护三门峡水库,需要修建渭河支流葫芦河上的刘家川、泾河上的大佛寺、北洛河上的六里峁、无定河上的镇川堡、延河上的甘谷驿5座大型拦泥库。在其他几条支流上修建5座小型拦泥库。上述提出的拦泥库由于淹没耕地损失大,不适合我国人多地少的情况,后来未能修建。b. 1963年,为了解决三门峡水库的实际淤积问题,又选择了干流上的喷口、泾河上的东庄、北洛河上的南城里修建3座拦泥库方案,运用一段时间后,继续计划修建泾河上的巩家川、北洛河上的永宁山、渭河上的宝鸡峡、无定河上的王家河4座拦泥水库方案,上述提出的拦泥库,因故尚未修建。③修建治沟骨干坝。20世纪80年代,为了配合三门峡水库调水调沙,保持黄河下游河道的稳定和安全,在黄土高原地区,除继续大力开展水土保持综合治理,加强粗泥沙主要来源区治理外,同时要求重点加快治沟骨干坝建设,拦阻泥沙入黄,主要内容是在黄土高原水土流失最严重地区[侵蚀模数 $>5\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$],配合面上的梯田、林草与小沟小坝,在集水面积 $3\sim5\text{ km}^2$ 的支沟内兴建,每坝库容大部分为 $50\text{万}\sim100\text{万 m}^3$,少数在 $100\text{万}\sim200\text{万 m}^3$,个别达 500万 m^3 。作为控制工程,用以提高沟中坝系的防洪标准,同时可以拦泥淤地,既可以增产粮食,又可减少入黄泥沙。据1992年底统计,在建工程400座,完建工程295座,旧坝加固工程101座,这批骨干坝共拦沙2.95亿t,保证下游 $6\,746.7\text{ hm}^2$ 滩坝地安全生产。前期可浇地 $2\,400\text{ hm}^2$,每年增产粮食703.5万kg,后期可淤地 $3\,360\text{ hm}^2$,这是一项成功的“上拦”措施^[17]。

在黄土高原各种土壤流失类型区的坡耕地治理中,保土耕作法、沟洫和梯田发展很快,技术已趋于完善。近年来,随着国家投入增加,人民生活和社会经济

发展水平的提高,甘肃省定西县、内蒙古等干旱地区混凝土衬砌水窖取得长足发展,加之微灌、滴灌技术配合,坡耕地治理成效显著。20 世纪 80 年代以来沟壑中淤地坝、治沟骨干坝也已取得显著成效,然而美中不足的是对千沟万壑、形态各异的支毛沟头除挖排水沟,种植沟头防冲林、柳谷坊外,尚无彻底的控制沟头溯源侵蚀、沟岸扩张的系统控制技术,为此需要进行后续补充研究。黄土高原的泥沙主要产于沟壑,而沟壑中主要集中于支毛沟头。为此,针对集中产沙的基岩产沙区的支毛沟头,需要进行防止土壤侵蚀的水土保持综合技术的后续研究,这已成为 21 世纪黄河泥沙问题和黄土高原生态环境主要研究课题之一。

1965 年,我国著名的泥沙专家钱宁教授根据黄河水利委员会给出的黄河中游粗泥沙输沙模数图(图 1-1)和同一时期的实测悬移质级配资料,得到了黄河中游新黄土中径变化图(图 1-2),由图可知大于 0.05 mm 的粗泥沙主要集中在两个区域内,第一区域为皇甫川至秃尾河等各条支流的中下游地区,粗泥沙输沙模数达 $10\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$;第二区域为无定河中下游,粗泥沙输沙模数在 $6\,000\sim 8\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。通过分析三门峡水库修建前(天然情况下)(1950 年 7 月—1960 年 6 月)黄河下游多年平均来沙及排沙情况,得出:黄河下游的严重淤积主要是粗泥沙来源区的洪水所造成的。这一论断首次说明了造成黄河下游河槽淤积的关键所在,指出了造成黄河下游淤积的主要洪水来源区和关键粒径,明确了黄河中游水土保持工作治理的重点在于多沙粗沙区的水土流失治理,为黄河的治理提供了重要科学依据^[15]。

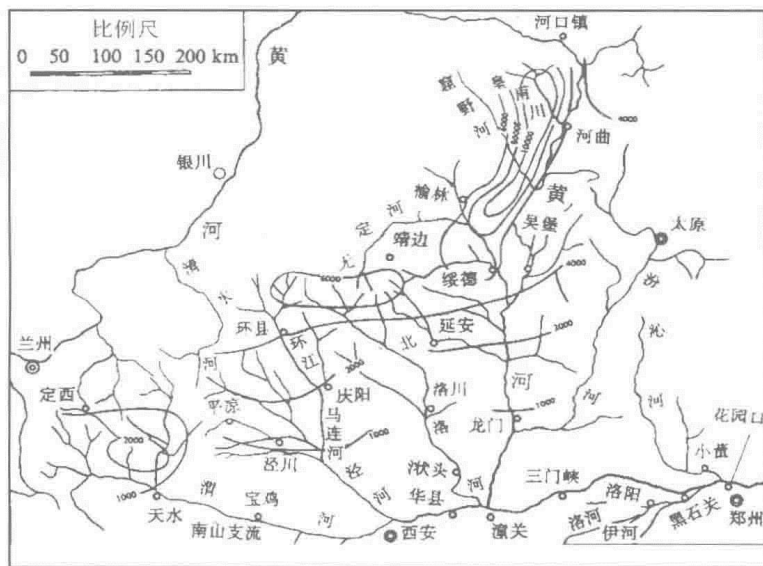


图 1-1 黄河中游粗泥沙输沙模数

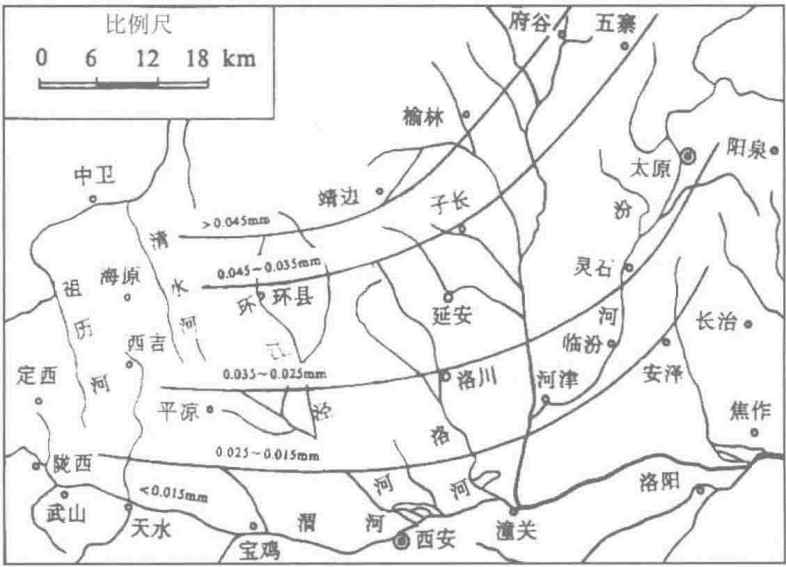


图 1-2 黄河中游新黄土中径变化

1980 年，黄河水利委员会科学研究所麦乔威教授分析了三门峡水库投入正常运行后（1969—1974 年）黄河下游年平均各组泥沙冲淤量，又一次得出：造成黄河下游主槽淤积的主要危害是来自中游多沙粗沙区主要支流的洪水。窟野河、皇甫川、孤山川、秃尾河、佳芦河 5 条支流的流域面积仅 1.76 万 km^2 ，但产沙量达 2.46 亿 t，占龙门站沙量的 32%，其中粗沙量占到 40%；如果再加上无定河、岚漪河、湫水河、清涧河、三川河、昕水河、延河共 12 条支流，其沙量占龙门站沙量的 65%，其中粗沙占 80%。因此，从泥沙角度考虑，应该首先治理最主要的 5 条支流，然后再逐步治理其他 7 条支流。同时，麦乔威教授还给出了不同来源区洪水各组泥沙在不同河段的淤积强度，说明三门峡至高村河段粗沙淤积强度最大，其粗泥沙淤积强度为 $1740\times10^4\text{ t/d}$ ，占全沙淤积强度的 62%。这一成果是在三门峡水库开始投入运行后得出的，与钱宁教授的结论基本一致，说明黄河下游河槽淤积主要是受粗沙来源区洪水的影响，不因三门峡水库的调节而改变^[18]。

清华大学水利系教授张仁^[19]经过研究后也认为，每年输入黄河的大于 0.05 mm 的粗沙占黄河粗沙总量的 50%~60%，这部分粗泥沙主要来源于较为集中的碎屑基岩产沙区。碎屑基岩产沙区虽然仅占黄土高原水土流失面积 45 万 km^2 的 10.6%，但它是黄河中游粗沙的主要来源区，多条黄河一级支流皇甫川、窟野河、十大孔兑（孔兑，蒙古语，指河谷）等皆发源于此。因此，张仁教授也认为

黄河泥沙的治理应首先从多沙粗沙来源区着手。

在几十年研究实践的基础上,黄河水利委员会根据黄河治理和水土保持工作的需要,于1995年就黄河中游多沙粗沙区区域界定进行了专门研究,后于2000年11月23日发表了《关于发布黄河中游多沙粗沙区区域界定成果的通告》,指出:①以粒径大于等于0.05 mm为黄河粗泥沙界限,以年平均输沙模数大于等于5 000 t/km²为多沙区指标,确定黄河中游多沙区面积为11.92万 km²。②采用二重性原则以多年平均输沙模数大于等于5 000 t/km²和粗泥沙侵蚀模数大于1 300 t/km²为多沙粗沙区指标,确定黄河中游多沙粗沙区面积为7.86万 km²,涉及陕西、山西、内蒙古、甘肃和宁夏5省区。该项研究成果中确定的多沙粗沙区的面积和范围可作为黄河泥沙治理的基本依据^[20,21]。

上述研究表明,来自黄河中上游粗沙多沙区粒径大于0.05 mm的粗泥沙始终是黄河下游河槽淤积的有害粒径,从理论和认识上回答了治理粗泥沙来源区的洪水泥沙在治黄中的重要作用。只有从粗泥沙来源区治理入手,才能减少黄河下游河道粗泥沙来源量,从而减缓黄河下游河槽淤积,对增加龙潼河段、三门峡水库、小浪底水库的调节库容和改善黄河中上游水土流失区域的生态环境都十分有利。

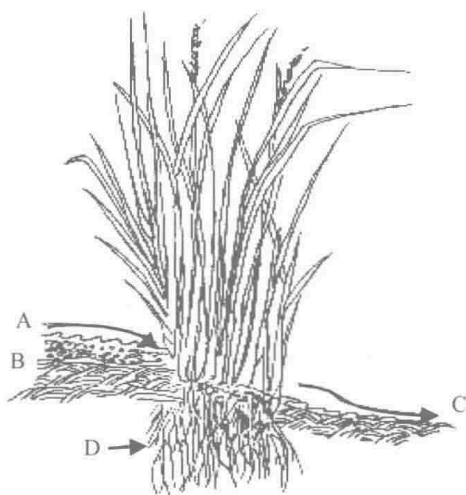
黄河中游是黄河泥沙的产源区,特别是在无定河以上北部支流,处于基岩侵蚀地区。黄河水患主要是洪水和泥沙,且两者具有同步性。如前所述,“人民治黄”以来,在总结几千年的治黄史和近代治河经验的基础上,汲取三门峡水库泥沙淤积治理中的教训,在进行了各种探索性研究工作后,最终提出“上拦下排,两岸分滞”的治黄方针。该方针体现了洪水泥沙在黄河上中下游合理分配的格局,也从总体上明确了黄河上中游泥沙的治理必须首先是以拦沙为主。

1.3 植物滞流拦沙研究简述

国内外研究表明^[22-31],植物措施是治理水土流失与恢复生态的根本之举。植物利用其枝、干、叶可以拦滞水流、阻滞泥沙,营造动植物及微生物的栖息地,最终达到恢复生态的目的。现对国内外的植物滞流拦沙研究简述如下。

1.3.1 国外概况

菲律宾、印度、印度尼西亚、墨西哥、哥伦比亚、泰国、秘鲁、卢旺达、哥斯达黎加、肯尼亚、喀麦隆、苏丹、索马里、突尼斯均进行过植物篱试验、应用和推广,并取得良好效果。在印度南部卡那塔卡州(例如坎德帕特和南格德的村庄里)靠近麦瑟的地方,农民围绕农场保留香根草篱已有一百多年的历史^[32]。



注：香根草的叶和茎在 A 处减缓了携带泥土的径流，使它在 B 处陷下泥土，而水以慢得多的速度继续流下 C 处山坡。香根草海绵似的根系，见 D，把草下深达 3 m 的土地固定住，通过沿等高线形成稠密的地下帘帐。草根防止了缝蚀、沟蚀和道蚀。

图 1-3 香根草

20 世纪 50 年代德国正式创立了“近自然河道治理工程学”，提出河道的整治要符合植物化和生命化的原理。Ruh-Ming Li 和 H.W.Shen^[33]于 70 年代，曾以高等植物的树干（相当于乔木）为例，对其对水流、泥沙和干扰作用进行了试验研究，得到河道中种植高树木后，床面切应力及断面输沙率明显减少的结论。Schlueter 认为近自然治理（near nature control）的目标，首先要满足人类对河流利用的要求，同时要维护或创造河流的生态多样性。Bidner 提出河道整治首先要考虑河道的水力学特性、地貌学特点与河流的自然状况，以权衡河道整治与对生态系统胁迫之间的尺度。Hohnann 把河岸植被视为具有多种小生态环境的多层结构，强调生态多样性在生态治理的重要性，注重工程治理与自然景观的协调性。Hohnann 从维护河溪生态系平衡的观点出发，认为近自然河流治理要减轻人为活动对河流的压力，维持河流环境多样性、物种多样性及其河流生态系统平衡，并逐渐恢复自然状况^[34]。Shoji Fukuoka 调查了水对种有芦苇的岸坡的侵蚀过程，并进行了拉力和侵蚀试验，认为天然植物具有护岸、消浪和防洪作用，可以开发利用^[35]。Lzumi 和 Ikeda^[36]考虑树木对河岸的影响后，由力学平衡关系，求解了砾石河床的稳定宽度，并由此认为，植物越密，稳定河宽越小。这一点与实际观测结果是一致的。Shoji Fukuoka 和 Kohichi Fujita^[37]经对具有植物群作用的河道水位的推求，认为植物对水流作用的最大效果是极大地降低了植物群内的水流流速，部