



黄土高原区沟道壤中流 无动力调节灌溉 综合技术开发与示范

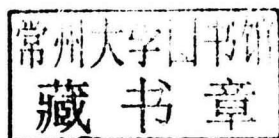
HUANGTU GAOYUANQU GOUDAORANG ZHONGLIU
WUDONGLI TIAOJIE GUANGAI
ZONGHE JISHU KAIFA YU SHIFAN

韩霁昌 著

陕西新华出版传媒集团
 陕西科学技术出版社
Shaanxi Science and Technology Press

黄土高原区沟道壤中流无动力 调节灌溉综合技术开发与示范

韩霁昌 著



陕西新华出版传媒集团
陕西科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

黄土高原区沟道壤中流无动力调节灌溉综合技术开发与
示范 / 韩霁昌著. -- 西安 : 陕西科学技术出版社, 2016.12

ISBN 978- 7- 5369- 6852- 3

I. ①黄… II. ①韩… III. ①黄土高原—灌溉—技术
—介绍 IV. ①S275

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 284563 号

黄土高原区沟道壤中流无动力调节灌溉综合技术开发与示范

出 版 者	陕西新华出版传媒集团 陕西科学技术出版社
	西安北大街 131 号 邮编 710003
	电话 (029) 87211894 传真 (029) 87218236
发 行 者	陕西新华出版传媒集团 陕西科学技术出版社
	电话 (029) 87212206 87260001
印 刷	陕西天地印刷有限公司
规 格	787mm× 1092mm 16 开本
印 张	11
字 数	231 千字
版 次	2016 年 12 月第 1 版
	2016 年 12 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978- 7- 5369- 6852- 3
定 价	40.00

版权所有 翻印必究

序

土地资源是无法替代的重要自然环境资源。它既是环境的组分,又是其他自然环境资源和社会经济资源的载体,是社会经济发展的基础。从系统论观点看,土地的本质是由土地生态系统和土地经济系统在时空上耦合而成的土地生态经济系统,它也是实现可持续发展战略的重要物质基础。因此,土地资源的可持续利用尤为必要。

黄土高原区地形地貌破碎,沟壑纵横,耕地资源不足、质量偏低、生态环境脆弱。为了合理开发利用区域水土资源,实现可持续利用,国家提出了实施治沟造地工程。治沟造地是黄土高原沟谷土地整治的工程治理措施,也是黄土高原历史上群众“打坝淤地”的科学延伸。针对黄土高原水土流失严重、土地细碎化和耕地不足等问题,有必要通过沟道坝系排灌设施建设、荒沟闲置土地开发利用和生态建设为一体的沟道治理新模式,科学地扩展原有耕地,并提升质量,增加作物产量。但工程实施过程中存在水资源开发利用不合理、沟道农田与边坡安全隐患增多等问题,影响治沟造地工程实施的效果。

本书作者认为在黄土高原区沟道治理过程中存在“壤中流”,首次提出了“无动力壤中流调节灌溉”这一概念,同时结合延安市宝塔区南泥湾镇治沟造地工程实践,阐明了壤中流的形成机理,系统地提出了黄土高原区治沟造地无动力壤中流调节灌溉综合技术,该技术体系将有助于解决治沟造地中存在的问题,改善区域生态环境,保障土地资源可持续利用。

本书集治沟造地的理论与实践于一体,很不容易。该书系统全面,整体性强,工程实施案例详实,具有较强的创新性和参考性。书中明确提出黄土高原治沟造地过程中存在“壤中流”,阐述了沟道、沟谷壤中流的概念以及形成机理,通过沟道农田耕层土体有机重构、流域水资源高效利用、生态环境治理与保护等方面的研究和实践,探索了治沟造地沟道壤中流无动力调节灌溉综合技术,并在工程实践中成功应用。本书资料详实、层次清晰、观点鲜明,是一次有益的尝试,为同类型地区治沟造地工程提供了重要的理论依据和工程范例,也为土地整治工程技术人员开展治沟造地、区域环境治理提供了技术参考和指导。

本书适合从事土地工程、生态学、地理学、水文学等领域的专家学者、研究生和管理工作者学习和参考。希望本书能够为治沟造地事业的发展提供理论指导及技术支撑,使更多的专业人士投入到治沟造地理论探索和工程实践中,共同携手,再造山川秀美工程,为我国土地工程研究与实践做出重要贡献。

中国科学院院士



前 言

治沟造地是针对黄土高原区特殊地貌,集坝系建设、旧坝修复、盐碱地改造、荒沟闲置土地开发利用和生态建设为一体的一种沟道治理新模式,通过闸沟造地、打坝修渠、垫沟覆土等主要措施,实现小流域坝系工程提前利用受益,是增良田、保生态、惠民生的系统工程。2011年12月,时任国家副主席习近平做出重要批示:治沟造地是延安市的一项新举措,对于在黄土高原地区增加耕地面积、保障粮食安全、保护生态环境、促进社会主义新农村建设都具有积极意义。2012年9月,国土资源部、财政部联合批复将延安治沟造地列入全国土地整治重大工程予以支持,批复建设规模50余万亩,总投资超过48亿元。

通过对黄土高原侵蚀沟道普查结果显示,黄土高原区侵蚀沟道总数量 6.67×10^5 条,覆盖面积达 $1.87 \times 10^7 \text{ hm}^2$,其中大于1000 m的侵蚀沟道 1.47×10^5 条,这些流域沟道中水资源充沛,土壤肥沃,地势优越,蕴藏着丰富的潜在耕地资源,通过适当的土地整治后十分适宜农业生产。目前开展治沟造地市县的结果显示,项目的实施有效增加了耕地面积、改善了农业生产条件、提高了粮食产量,同时增加了植被覆盖率,形成区域小气候。但是治沟造地工程实施过程中也出现了沟道地下水位过高、农田灌排不畅、次生盐渍化频发、沟道边坡不稳定等问题,影响治沟造地工程的社会、经济、生态效益。

本书针对黄土高原区治沟造地过程中出现的问题,遵循因地制宜原则,提出了利用治沟造地沟道壤中流对农田进行无动力调节灌溉方法,结合灌排一体渠和沟道积水-排洪系统,实现了地表水、壤中流、地下水的协调利用,形成了治沟造地水土资源高效利用技术体系。经连续多年研究和实践,取得了以下几个方面的成果:

(1) 形成治沟造地土体结构普探技术,并以此为基础实施土体有机重构工程,确保沟道农田重构土体满足作物生长需求和可持续利用需求。

(2) 根据黄土高原小流域水资源降雨集中、暴雨频发等时空变化特点,提出灌排一体渠技术,实现对农田地表积水的实时灌排,确保田块“早能灌,涝能排”。

(3) 阐述沟道壤中流的形成机制,提出利用截水沟技术来调节壤中流和地下水位,进而调控农田土壤墒情,实现对农田灌溉的无动力调节。

(4) 运用坡沟综合防护技术对沟道-坡面进行生态安全防护,防止因治沟造地工程的实施引起流域生态环境的退化和破坏。

本书共分为6章,其中第1章主要介绍了研究区沟道特征以及沟道地质水文条件;第2章分析了壤中流的形成机理;第3章讲述了壤中流无动力综合调控与利用,利用壤中流的形成机理,建立了沟道壤中流无动力调节灌溉技术体系,提出了灌排一体渠、截水沟等技术;第4章主要总结了黄土高原沟道农田防护技术,包括工程防护和生态防护;第5章

通过建立模型对沟道水资源进行评价；第6章通过在延安市南泥湾镇九龙泉沟开展的工程实践及示范应用，分析了治沟造地沟道壤中流无动力调节灌溉综合技术产生的应用效果。

本书的撰写过程中，作者吸收和借鉴了前人大量的既有成果，对于引用的资料，本书注明来源出处，但难免有所疏漏，在此谨请各位先学海涵和谅解，对为本书提供指导的专家、学者表示衷心的感谢。本书撰写过程得到了中国科学院地理科学与资源研究所刘彦随研究员和西北农林科技大学王益权教授的指导建议。成生权、李瑞、王军尚、张宏凯、雷宁、罗林涛、张扬、赵磊、李晓明、陈田庆、王欢元、王映月等多位研究员、高级工程师提出了宝贵的意见。另外，以下人员在试验研究、资料整理和示范工程方面做出了大量工作：孙婴婴、张卫华、李娟、雷光宇、雷娜、董起广、刘海伟、袁水龙、刘哲、侯莹、袁延西、朱坤、杨文强、张鹏辉、李建斌、杨静平、邹清祺等多位博士、硕士及工程技术人员，在此一并致谢。

该书出版旨在与广大同仁和读者共享作者在该领域的研究成果和相关学术理念，殷切盼望能够集思广益，共同推动该领域的技术发展水平，服务于我国治沟造地事业。该书作者的观点和相关成果仅是一家之言，也希望读者能够以包容的胸怀分享作者的研究成果。由于本书撰写时间仓促，书中难免有不足之处，敬请批评指正。

编 者

2016年12月

目 录

第一章 黄土高原沟道概况	1
第一节 黄土高原沟道特征	1
一、黄土高原沟道分布特征	1
二、黄土高原沟道自然条件	3
三、黄土高原沟道治理影响因素	6
第二节 黄土高原沟道土体结构	9
一、主要土壤类型	9
二、沟道土层厚度	15
三、地质构造	22
第三节 黄土高原沟道水资源	27
一、地表水资源	27
二、地下水资源	28
三、土壤水资源	30
第四节 黄土高原沟道水文地质条件	33
一、含水层特征	33
二、地下水的补给、径流、排泄	34
三、赋水性特征	34
第二章 黄土高原沟道壤中流形成机理	36
第一节 黄土高原沟道土层基础普探	36
一、踏勘点选取	36
二、现场踏勘	37
三、样品检测	40
第二节 基于普探技术的沟道土体重构	41
一、沟道土层普探	41
二、沟道土体重构	44
第三节 黄土高原沟道土壤水分变化特征	46
一、土壤水分的时间变异性	46
二、土壤水分的空间变异性	48
三、土壤水分的循环与转化	50
第四节 黄土高原沟道壤中流形成机制	50

一、壤中流基本概念	50
二、壤中流模型	51
三、沟道壤中流形成机理分析	53
四、地下水动态	59
第三章 黄土高原沟道壤中流无动力综合调控与利用	60
第一节 黄土高原沟道壤中流的潜在影响	60
一、沟道壤中流对土体结构的影响	60
二、沟道壤中流对土壤养分迁移的影响	61
三、沟道壤中流对边坡径流的影响	62
第二节 黄土高原沟道水资源调控机理	63
一、沟道水资源传统调控机理	63
二、基于壤中流的无动力调控机理	64
第三节 黄土高原沟道水资源传统调控模式	65
一、地表调蓄	65
二、地下调蓄	66
三、非饱和带调蓄	66
第四节 黄土高原沟道壤中流无动力调节灌溉技术体系	67
一、水库	67
二、排洪沟	68
三、截水沟	71
四、灌排两用渠	72
五、沟道壤中流无动力灌溉综合调控技术	75
第四章 黄土高原沟道农田防护	78
第一节 黄土高原沟道农田工程防护	78
一、蓄水工程	78
二、防涝工程	80
三、盐渍化防治工程	81
第二节 黄土高原沟道边坡工程防护	81
一、沟道治理对边坡稳定性的影响	82
二、坡体加固工程	98
三、坡面防护工程	101
第三节 黄土高原沟道生态防护	103
一、农田防护林的作用	104
二、农田防护林树种的选择	104
三、农田防护林的栽植	105
第五章 黄土高原沟道水资源评价与开发	108
第一节 黄土高原沟道水资源对土地生产力的影响	108

一、沟道水资源与土地退化	108
二、沟道水资源在农业生产中的高效利用	109
第二节 黄土高原沟道水资源评价方法	113
一、地表水资源量评价方法	113
二、地下水资源评价方法	115
第三节 黄土高原沟道地下水资源评价模型	117
一、水文地质概念及数学模型	118
二、数值模型	118
第四节 黄土高原沟道水资源开发	119
一、水资源开发利用现状	119
二、水资源供需平衡分析	121
第六章 黄土高原沟道壤中流无动力调节灌溉工程示范与推广	124
第一节 工程概况	124
一、项目来源	124
二、项目建设类型	124
三、项目预算及依据	125
四、项目规划及布局	125
第二节 主体工程实施	129
一、模式分析	129
二、主体工程设计与施工	129
第三节 配套工程实施	135
一、道路	135
二、灌排	136
三、防护	140
第四节 工程成果	147
一、工程量汇总	147
二、工程创新	148
三、工程效益	148
第五节 工程效益评价	149
一、效益评价方法	149
二、效益评价的步骤	151
三、南泥湾九龙泉沟治沟造地项目效益评价	156
参考文献	160

(一) 沟道数量

根据水土保持普查办公室用遥感影像对黄土高原侵蚀沟道普查结果显示，黄土高原区侵蚀沟道总数量 6.67×10^5 条，其中 500~1000 m 的侵蚀沟道 5.2×10^5 条， ≥ 1000 m 的侵蚀沟道 1.47×10^5 条。侵蚀沟道总面积 $1.87 \times 10^7 \text{ hm}^2$ (表 1-1)。

表 1-1 黄土高原侵蚀沟道普查成果分类统计结果

沟道长度 (m)	沟道数量(条)			沟道面积(hm ²)		
	丘陵沟壑区	高原沟壑区	总数	丘陵沟壑区	高原沟壑区	总面积
500~1000	433133	86618	519751	8434387.55	1729665.48	10164053.03
≥ 1000	123292	23676	146968	7237549.19	1319854.1	8557403.29
合计	556425	110294	666719	15671936.74	3049519.58	18721456.32

根据水土保持类型区普查成果进行统计，高原沟壑区侵蚀沟道共 1.10×10^5 条，沟道面积 $3.05 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ；丘陵沟壑区侵蚀沟道共 5.56×10^5 条，沟道面积 $1.57 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。高原沟壑区侵蚀沟道数量相对较少，占普查对象总数量的 16.54%，丘陵沟壑区侵蚀沟道数量较多，占 83.46%；高原沟壑区沟道面积也相对较小，占普查对象总面积的 16.29%，丘陵沟壑区沟道面积较大，占 83.71%。

黄土高原沟壑区是黄土高原的典型地貌，为侵蚀残留面积较大的地区，面积约占黄土高原总面积的 12%。黄土高原沟壑区小流域分布极其密集，通过汇水区可以将土地划分为不同层次的小流域，因此小流域是构成黄土沟壑区的地理结构单元和水土流失单元。黄土高原丘陵沟壑区沟壑纵横、地形复杂，沟壑密度达到 $3.80 \sim 8.05 \text{ km/km}^2$ ，加上该地区生态环境脆弱，暴雨集中、强度大，黄土物质极易受到暴雨、径流的侵蚀(杨萌, 2008)。长期以来由于滥垦、滥伐、滥牧等不合理的土地利用方式，黄土高原地表植被遭到严重破坏，水土流失加剧，居民生活贫困，因而成为中国人地矛盾最为突出的地区之一。陕北黄土高原丘陵沟壑区位于黄土高原中部，区域环境的突出特征是黄土广布，土质松散，地形破碎，90%以上的土地水土流失严重，农业基础薄弱，生产条件差，为我国黄土高原区的典型代表。陕北黄土高原沟壑区区域范围为：北接长城沿线风沙滩地区，东隔黄河与山西相望，西连子午岭与甘肃省毗邻，南面大致以梁山、黄龙山为界与关中平原盆地区相接，总面积 43578 km^2 ，占陕西省全省总面积的 22.2%。本区地貌以黄土丘陵沟壑占主导地位，一般海拔 1000~1400 m。总的地势西北高东南低，较大河流由西北流向东南或向东注入黄河。

(二) 沟道的类型

黄土遭受各种外营力(主要是水力)长期侵蚀切割形成的独特地貌，称为黄土地貌。地面破碎、地势起伏、沟谷深切、坡度陡峻，现代侵蚀强烈是黄土地貌的 4 个特点。沟道众多、类型复杂的黄土高原地区，对沟道进行分类是研究沟道形成发育的基础，只有分析沟道发生发展和演化过程中的相互关系，才能更好地揭示黄土高原地区侵蚀沟发育的规律。根据沟道的发育阶段、规模、纵剖面的形态特征和出现的先后序列，可以将沟道划分为 5 种类型(刘利年, 2004)：①细沟，由坡面上的片流作用形成，在平面上不固定，经耕种等人为作

用可消失,一般不将其作为沟谷的初级阶段;②浅沟,宽度小于 0.5 m,深度为 0.1~0.4 m,长度数米至数十米;③切沟,由浅沟侵蚀扩大加深而成,其深度一般为 0.5~1.5 m,也可达 2.5 m,甚至更深,宽度 2 m 左右,长度比所在的斜坡短,其横断面上游呈 V 形,下游呈 U 形,纵剖面呈阶梯状,有多级跌水陡坎;④冲沟,由切沟继续发展而成,规模较大,宽达 10~20 m,甚至更宽,深 5~10 m,在黄土高原深可达数十米,冲沟长从数十米到数百米不等,沟谷纵比降上游陡,下游缓,总剖面呈阶梯状;⑤坳沟,由冲沟继续发育扩展而成,一般都切到基岩,其形态已具备河谷的部分特征,但发育仍不完整。

(三) 沟道的量纲

黄土高原沟壑区沟道分布形态要素的分类可以按照量纲来分,也可以依据反映沟道信息的空间层面分类。按量纲可分为以下几种:①单长度量纲:各级沟谷的长度,宽度,流域的周长,某级流域内的最大高差等;②面积、长度平方的量纲:各级沟谷的面积,沟间地的面积等;③体积、长度立方的量纲:某种高度地形所具有的体积,各种地貌形态所具有的体积;④两种地貌形态要素之比:沟谷密度,水道频度,地表破碎度;⑤地貌形态的角度地面坡度,水道交汇角等;⑥同种地貌形态要素之比:水道分枝比,沟谷长度比,各种地貌剖面的比降等;⑦地貌形态的级别和数量:各级沟谷的级别、数目,各种地貌形态的数目。按照反映沟谷信息的空间层面分为微观和宏观形态要素。微观形态要素包括沟谷的长度,宽度,流域的周长,各级沟谷的面积,水道交汇角等,它们所描述的是沟谷具体部位的信息特征宏观形态,要素包括沟谷密度,水道频度,地表切割深,地表破碎度等,它们所描述的是一定区域的沟谷宏观特征。

二、黄土高原沟道自然条件

黄土高原沟壑区年降水量为 150~800 mm,且多集中于 6~9 月,其降水总量占全年降水量的 55%~78%,属于典型的大陆季风性气候,冬季寒冷,夏季温暖湿润,雨热同步。地表水和地下水总储量为 685.32 亿 m^3 ,其中地表水量为 350.92 亿 m^3 。光能资源丰富,年总辐射量为 $(50.2\sim67.0) \times 10^4 \text{ J/cm}^2$ 。年平均气温 3.6~14.3℃,其水平分布和垂直分布差异很大。年蒸发量普遍高于实际降水量,蒸发量变动于 1400~2000 mm 之间,其总趋势是南低北高,东低西高(图 1-2)。光能资源丰富,年总辐射量为 $(50.2\sim67.0) \times 10^4 \text{ J/cm}^2$,呈东南向西北递增的趋势。黄土高原地区年均大风(≥ 8 级风,风速 17.2 m/s)日数由北向南递减,北部鄂尔多斯高原中部大于 40 d,阴山山脉和长城沿线为 20~40 d,中部年大风日数为 10~20 d,南部大都小于 10 d。黄土高原地区既有海拔 3500 m 的高山,也有海拔 400~500 m 的平原和盆地,地貌类型复杂,全区一般海拔介于 900~2200 m。

(一) 气温

黄土高原沟道气温年变化、日变化较大,气温年较差 25~31℃,日较差 6.5~16℃。月平均气温变化的基本趋势为自 2 月至 7 月气温逐月上升,自 8 月至翌年 1 月气温逐月下降,以 7 月最高,1 月最低。春季气温多变,各月温度相差 5~7℃,平均日较差温度在 15℃左右,最大可达 28℃;夏季气温差别相对较小,有短暂高温,平均气温在 20℃以上,最高温度可达 30℃;秋季气温迅速下降,各月温度相差 6~8℃,最低气温达 -18~-15℃;冬季平均气温低于 0℃,南北气温差在 2~4℃之间。以延安市为例,气温空间分布趋势为自东向西递

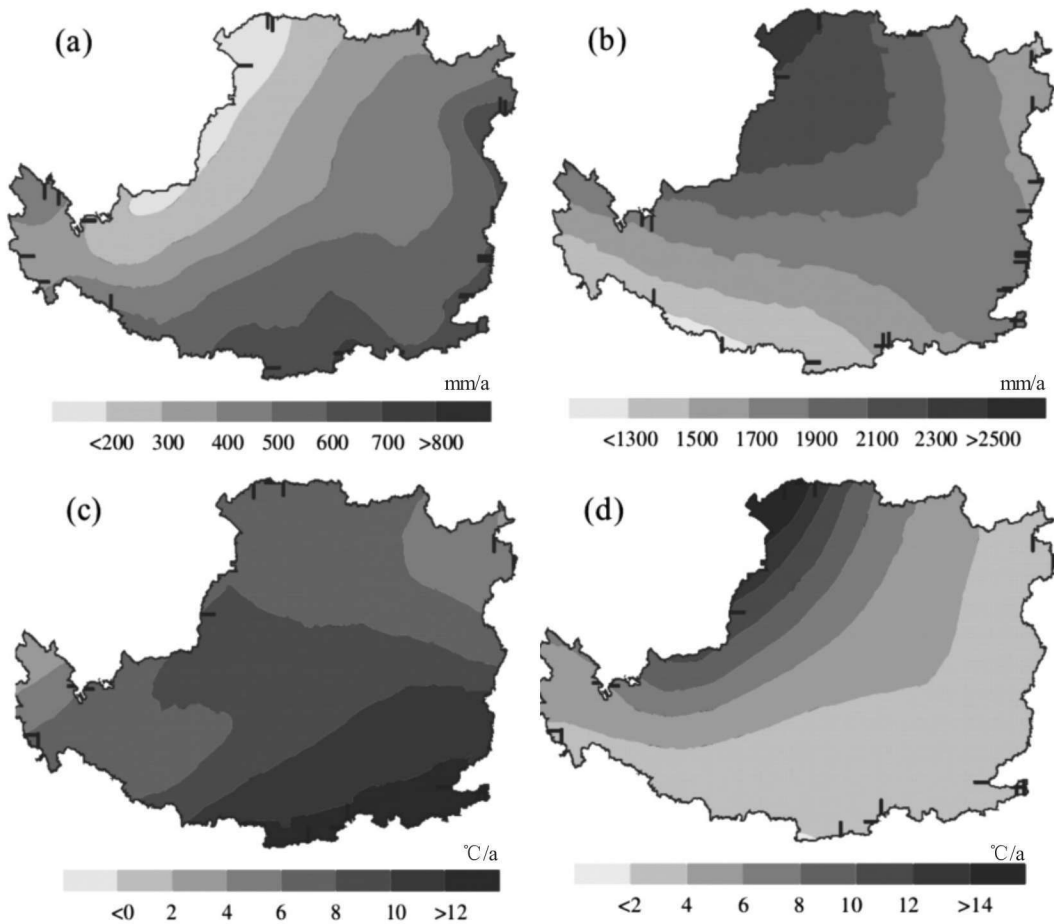


图 1-2 黄土高原年均降水(a)、蒸发量(b)、气温(c)、干燥度(d)分布图

减,等温线大致与经线平行,平均气温最高点位于延川、延长、黄陵和宜川,均在 10℃ 以上,区内绝对最高温度为 34℃,宜川和延川的最高温度接近 40℃,志丹和吴起的最低温度可达 -25℃。

(二) 土壤

黄土高原沟道土壤类型多样,包括褐土、新积土、粗骨土、黄绵土、红土(古土壤)、黑垆土等主要土壤类型。褐土发育在基岩山地,成土母质为砂岩和页岩,淋溶作用较深,底部无明显钙积层,黏化作用明显;新积土是因河流涨水泥沙积石或因人工治河造田垫的新土而形成的土壤;粗骨土是由于山丘地区地形起伏,地面坡度大、切割深,加之风蚀与水蚀较重,土体浅薄,土壤细粒物质易被流失,土体中残留粗骨碎屑物增多,具有显著的粗骨性特征;黄绵土是由黑垆土被侵蚀所露出的新黄土母质演化而成,分布最广;新黄土较疏松,老黄土较紧实,耕性良好,适耕期长;红土是在其上覆盖的新黄土被侵蚀后,在午城黄土上发育而成的古土壤类型,质地黏重细致,遇水泥泞,干时坚硬,水蚀严重,耕性欠佳;黑垆土发育在深厚疏松的黄土母质上,保水保肥,耕性良好。其中,黄绵土的土地肥力和生物及理化性质适宜于农业生产,是治沟造地项目实施时需要考虑的主要土壤类型。

(三) 植被

黄土高原的自然植被具有明显的地带性与非地带性特征。黄土高原从东南到西北，自然植被依次为暖温性森林地带、暖温性森林草原地带、暖温性典型草原地带和暖温性荒漠草原地带，呈森林向草原过渡的总体趋势。区域尺度上，黄土高原植被分布的地带性特征主要是由气候(降水等)因素决定。不同土质、地形部位和坡向的地块，土壤水分状况存在一定差异，适合不同植被群落的生长。因此，黄土高原的植被分布也存在非地带性特征，即土质非地带性、微地貌非地带性和坡向非地带性。黄土高原植被分布的总体特征为植被的地带性分布与非地带性分布两者的自然组合(图 1-3、表 1-2)。黄土高

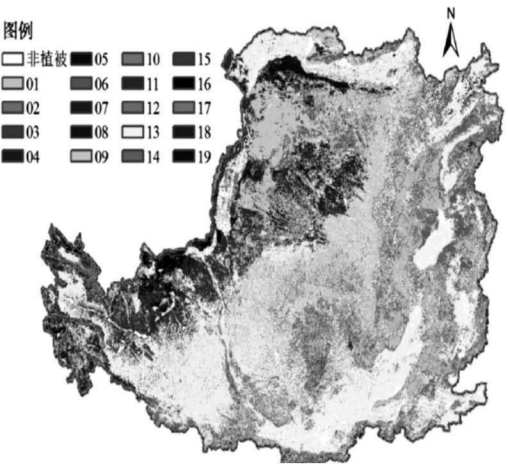


图 1-3 黄土高原植被类型分布图

表 1-2 黄土高原植被类型分级代码

I 级分类	II 级分类	III 级代码	III 级分类	指标
森林	森林	01	落叶阔叶林	自然或半自然植被, $H=3\sim30m$, $C>20\%$, 落叶, 阔叶
		02	常绿针叶林	自然或半自然植被, $H=3\sim30m$, $C>20\%$, 不落叶, 针叶
		03	落叶针叶林	自然或半自然植被, $H=3\sim30m$, $C>20\%$, 落叶, 针叶
		04	针阔混交林	自然或半自然植被, $H=3\sim30m$, $C>20\%$, $25\%<F<75\%$
		05	稀疏林	自然或半自然植被, $H=3\sim30m$, $C=4\%\sim20\%$
	灌木	06	落叶阔叶灌木林	自然或半自然植被, $H=0.3\sim5m$, $C>20\%$, 落叶, 阔叶
		07	稀疏灌木林	自然或半自然植被, $H=0.3\sim5m$, $C=4\%\sim20\%$
草地	草地	08	草甸	自然或半自然植被, $K>1.5$, 土壤水饱和, $H=0.03\sim3m$, $C>20\%$
		09	草原	自然或半自然植被, $K=0.9\sim1.5$, $H=0.03\sim3m$, $C>20\%$
		10	草丛	自然或半自然植被, $K>1.5$, $H=0.03\sim3m$, $C>20\%$
		11	稀疏草地	自然或半自然植被, $H=0.03\sim3m$, $C=4\%\sim20\%$
农田	农田	12	水田	人工植被, 土地扰动, 水生作物, 收割过程
		13	旱地	人工植被, 土地扰动, 旱生作物, 收割过程
		14	乔木园地	人工植被, $H=3\sim30m$, $C>20\%$
		15	灌木园地	人工植被, $H=0.3\sim5m$, $C>20\%$
裸露地	裸地	16	裸岩	自然, 坚硬表面
		17	裸土	自然, 松散表面, 壤质
		18	盐碱地	自然, 松散表面, 高盐分
	沙漠	19	沙漠 / 沙地	自然, 松散表面, 沙质

原沟壑区风力强劲,暴雨频骤,新构造运动活跃。其自然景观具有侵蚀特征,地势起伏,地形破碎,流水切蚀,沟壑纵横,这里坡陡谷深,沟壑下切深,经常看到沟谷中基岩裸露。

天然林主要分布于黄龙、黄陵、富县、甘泉、宜川、洛川等地,占全区有林地的 30%;延安、志丹和安塞南部有小片天然次生林,占全区有林地的 20%;延安、志丹和安塞北部以及子长、延川、延长、吴起等县,残存 3.7 余万 hm^2 灌丛和疏林地。在黄龙山和子午岭林区,生长着古松、古槐、樟子松、云杉、日本落叶松、朝鲜叶松、华山松等珍稀树木。随着退耕还林政策持续推进,人工林遍布整个区域,包括刺槐、柠条、沙棘等主要乔灌木,以及白桦、山杨、辽东栎、油松、侧柏等 46 种乔木树种,还包括杨树、柳树、苹果、梨、核桃、枣、杏、桃、山楂等经济林木。

(四) 地质条件

黄土高原属于华北陆台鄂尔多斯地台的一部分。主要是中生代的沉积岩系,岩层自东向西由老而新,一般作南北或略呈东北走向,岩层一致向西倾斜,倾角极缓,约 $1^\circ \sim 3^\circ$ 左右,附近岩层近于水平,局部地区有轻微波折的现象。鄂尔多斯地台属岩层西缓倾的单斜结构,延安处于单斜构造的东南角,地质构造简单,无大型剧烈的褶皱和断层。在东部单斜层上,有连续小翘曲,呈波浪式由东向西推进排列,宜川至洛川县李家河为第一条台阶带;米脂、延川至宜川县丁盘为第二条台阶带;永坪至富县茶房为第三条台阶带;安塞招安至甘泉老人仓为第四条台阶带;延安由东北向南至崂山处在第三条台阶带,而延安以北和枣园川则主要处于第四条台阶带。

黄土地层结构具有以下特点:地层发育较全,层序完整,标志清晰易辨,区域对比性强,结核层厚度大,延伸远,古土壤层次清晰。具有代表性的黄土地层剖面位于洛川县境内黑木沟:全新世黄土(Q_1)位于剖面顶部,厚 0.8 m。顶部为现代耕作层,其下为全新世黑垆土;马兰黄土(Q_2)厚 8 m,是单层黄土最厚的一层,呈灰黄、浅灰黄色,一般湿陷性黄土,土质疏松,垂直节理发育;离石黄土(Q_3)是土层的主体,厚 73.73 m,有 14 层古土壤层和黄土层。离石黄土中的古土壤层厚度一般都在 1 m 以上。第五古土壤层将离石黄土分为上部和下部。离石黄土呈灰黄色~浅棕色,质地疏松,大孔隙多,垂直节理发育,属于非湿陷性黄土;午城黄土(Q_4)在第 15 黄土层(L_{15}),厚 46.25 m。埋藏风化层类似古土壤,颜色呈棕红色,黄土层厚度多在 1 m 以下。午城黄土由黄土、埋藏风化层和钙质结核层叠路而成,剖面中有 14 层埋藏风化层、20 层黄土层,属于非湿陷性黄土,质地比较坚硬,有“石质黄土”之称。

不同地层的黄土往往具有不同的工程力学特性,成为黄土分层利用、土地整治工程选址和就地选取黏土材料的重要依据,在陕北治沟造地试点实践中便得到应用。红色黏土、午城黄土、离石黄土具有非湿陷性,质地坚硬,结构紧实,土层适宜取土垫实或作为建设设施地基,利于增强造地工程稳定性。另外,全新世黑垆土及耕作土壤上覆表层,保持土壤肥力,合理利用能够减轻土壤层破坏影响植被生长的问题。

三、黄土高原沟道治理影响因素

黄土高原沟道梁峁交错,沟壑纵横,自然生态环境脆弱,是黄河上中游水土流失最为严重的地区之一。黄土具有质地轻、土体疏松、透水性强、易崩解、脱水固结快等特性。黄土

高原地区的人民群众在同水土流失长期斗争的实践中,充分利用黄土特性创造了一种行之有效的水土保持措施——淤地坝,既能拦截泥沙、保持水土,又能淤地造田、增产粮食,至今已有几百年的发展历史。20世纪60年代开始,推广沟道打坝,取得了保持水土和增加耕地方面的一些成效,但是由于技术水平以及对水资源发生规律等认识不足,沟道治理还存在一定的问题。因此,只有理清影响沟道治理的因素,才能有的放矢,科学的进行沟道治理。

(一) 水资源分布不均

黄土高原丘陵沟壑区水资源总体贫乏,但部分沟道水源十分丰富,表现出了较大的空间变异性。同时,区内降水年内分布不均、年际变化大,70%降水主要集中在7~9月份,往往造成旱时无水可用、汛期洪水成灾,有效水资源不足,农业生产主要依靠天然降水,属雨养农业。要破除这些限制因素,亟需实施打坝筑堤、修建排洪渠等工程措施,拦蓄雨水,防洪减灾,兴利除害。

降水在地区上的差别是:年降水量由东南向西北递减,南部秦岭局部地区多年平均降水量可达900 mm以上,而北部内蒙一带多年平均降水量仅100 mm。400 mm降水等值线自东北向西南由中部偏北穿过。该线以南降水逐渐增加,为半湿润、湿润区,是主要农区;线北,降水逐渐稀少,为半干旱、干旱区。该地区年内降雨多集中在6~9月,降水量约占全年降水量的60%以上。加之丰水年与枯水年丰枯比很大,使得该区旱涝灾害频繁发生,特别是旱灾,几乎十年九旱,只是范围大小、灾害程度不同而已。

以延安黄土高原沟壑区域的降水特性来看,其表现出两个极端,大部分降雨日都不产流,产流降雨量多在10 mm以上,本区年产流降雨量为200~250 mm,且主要集中在暴雨期,从而形成河川径流或暴涨或接近断流的两个极端,导致黄土丘陵区旱涝灾害频发,对农业收成可造成2~3成的减产。黄土丘陵区普遍缺少能调蓄径流的大水库,区域水面面积积极少,主要集中在沿河湾地,其他乡镇上只有一些小塘堰,蓄水量都在1万m³以下,仅有的蓄水也因水利工程不配套未能有效的调蓄和利用水资源,因而地表水资源在汛期白白流走,而在旱季人畜饮水都有困难。因此,水资源供需的时间错位问题应被重视,需加强雨季降雨水资源的积蓄,供旱季时使用。另外,在某些沟道内,如宝塔区阳弯沟、九龙泉沟等,蕴藏着丰富的地下水资源,加上小流域气候的调节作用,使得该地区水资源相对丰富,涝渍灾害较多,极易产生壤中流,因此,急需对当地丰富的水资源进行合理调控,解决涝渍灾害、实现水资源的高效利用。

(二) 土地退化与水土流失严重

黄土高原土壤养分失衡的问题一直比较突出,有机肥施用量偏低,而超量使用氮磷肥料,使土壤结构遭到破坏,土壤板结、耕层变浅、保水保肥性能差等现象日趋严重(魏孝荣,2007)。此外,高频度耕作种植也导致土壤有机质减少,局部土壤条件恶化。黄土高原地区以延安市为例,水土流失问题十分突出,延安河流域多年平均输沙量在3亿t以上。延安市约有11%的土地受到水土流失危害,土壤有机质含量以每年2%的速度下降。

在黄土高原丘陵区腹地,黄土厚度大,结构疏松,是黄河中游水土流失最为严重的地区之一。虽然近年来实施的退耕还林工程显著地减缓了水土流失,但该区水土流失问题仍

然较为严重,特别是短时期暴雨容易形成径流洪峰,严重影响沟道坝地的安全。治理水土流失需要沟坡同治,配套建设库、坝、塘、窖等拦蓄雨水设施,在缓坡地和沟谷修筑梯田、坝地或集水沟等,以达到水土保持、农业发展、农民增收的综合目标(陈国良等,1995)。黄土高原丘陵沟壑区剧烈的水土流失,引起区域生态环境恶化,土地资源和土壤质量也由于水土流失变得短缺和贫瘠,黄土高原地区土壤有机质含量、粮食产量低,大部分不到1%,土地生产能力低下,而且土体十分不稳定。在实施治沟造地工程中,部分地区为了片面的追求耕地面积,在陡坡开辟梯田,机械开挖边坡,导致坡面植被破坏严重,稳定性变差,破坏了退耕还林(草)成果,引起了新的水土流失。

(三) 地质灾害频发

作为我国生态环境最为脆弱的地区之一,黄土沟壑地区独特的地质地貌、气象水文、以及土壤植被等条件导致了独特的自然灾害问题。该地区沟壑纵横,水土流失严重,地下水资源匮乏,生态环境脆弱,滑坡与崩塌等地质灾害频繁发生,对社会和人民生命财产造成巨大损失,严重制约了区域经济和社会的可持续发展。截至2003年,陕北黄土沟壑区地质灾害已造成伤亡千余人,损毁窑(房)3万多孔(间),直接经济损失3亿余元。该地区主要地质灾害类型为滑坡、崩塌、不稳定斜坡、地面塌陷、泥石流、地裂缝、地面沉降、黄土湿陷和水土流失,最易发生的是滑坡、崩塌和泥石流。黄土高原沟壑区频频出现的地质灾害使得在黄土高原进行沟道整治刻不容缓,同时也增加了沟道整治的难度。

(四) 农业基础设施薄弱

农田基础配套设施落后、农业生产条件差是制约当前农业与农村可持续发展的主要瓶颈因素,这一状况既不利于土地的集约化经营,也不利于农民的生产增收。当前黄土高原沟道地区农业用地中普遍存在沟道坝地水毁严重、田间道路年久失修、灌排设施不配套、沟道与沟坡生态环境防护措施不到位等突出问题,导致昔日被誉为“保命田”的坝地,如今多数难以耕种,土地利用率高,农作物产量低而不稳,农民收入得不到保障。以延安市为例,2010年农作物播种面积为26.14万 hm^2 ,而2010年末耕地面积为36.13万 hm^2 ,有近三成的耕地未能有效利用起来,耕地利用率和产出率较低。2010年延安市粮食产量仅为261 kg/hm^2 ,远低于363 kg/hm^2 的全国平均水平。然而,沟坝地主要是由坡面表层土壤冲刷下来的淤积洪积土,具有丰富的有机质和较高的土壤肥力,可以建成高产稳产田,具有较大的农业生产潜力。据调查,延安市坝地玉米产量在500~600 kg/hm^2 ,部分高产坝地可达750 kg/hm^2 以上。如何解决黄土高原沟壑区土地利用中面临的水资源匮乏、水土流失严重、农田基础设施薄弱等制约因素,加强农田基本建设和夯实农业发展基础,成为该地区现代农业可持续发展的关键。因此,开展治沟造地土地整治重大工程,修复整治冲垮、废弃坝地和川道地,完善田、坝、渠、路、林等基础设施,落实土壤改良、地力培肥等措施,完善田间灌排沟渠及机井、节水、小型集雨蓄水、机耕道路及桥涵、农田林网等基础设施,改善农业生产条件,提高土地利用率为延安市全面建设国家现代农业示范区的必要举措。

(五) 农村经济发展落后

当前我国已进入城乡转型和区域协调发展的重要时期,实施土地整治重大工程正是破解城乡二元结构,协同推进工业化、城镇化、农业现代化及城乡统筹发展的重要平台。黄

土高原沟壑区长期以来深受道路交通不便、市场发育不良、生态环境脆弱等区域要素的影响,致使经济社会发展较为缓慢,延安市的延川县、延长县、宜川县仍为国家级贫困县,吴起县、安塞县、子长县三县也是刚刚摘掉贫困帽子。虽然 2011 年延安市地区生产总值突破千亿元,人均突破 5200 元,经济总量跃升为全省第五,但经济增长的动力主要来自开采煤炭和油气资源,三次产业结构中工业独大,产业结构不合理,区域发展也不平衡,广大农村地区仍处于贫困落后状态,缺乏特色产业与农村经济生长点,农村空心化问题突出,城乡统筹和区域协调发展的任务相当艰巨。改革开放 30 多年来,工业化、城镇化对农村的带动作用有限,老区人民仍生活在贫困或低收入之中,全面改善农村生产、生活、生态环境势在必行。近年来,黄土高原地区城乡发展转型的特征日益显现,城乡居民的就业结构转变、收入结构和消费结构正在发生明显变化。特别是实施大规模的退耕还林工程带来了“两个转变”,即耕地保护重点由坡面向沟道转变、农业生产由广种薄收向集约高效转变。当前,黄土高原地区城乡发展总体上呈现出“三增、三减”的新局面,即城镇人口增加、粮食单产增加、农民收入增加,而农村人口减少、退耕还林带来的耕地减少、水土流失减少。这一转型局面为该地区以沟道为重点的基本农田建设、土地适度规模经营和现代农业发展创造了有利条件。因此,针对城乡统筹和区域协调发展的紧迫需求,通过深入推进治沟造地重大工程,极大地改善农村生产条件和农民生活环境,推进空心村整治、新农村建设和现代农业发展。

进入 20 世纪 80 年代,推广以小流域为单元的综合治理模式,建设淤地坝、修筑梯田与反坡田,发展水保型生态农业,取得了明显进展和成效。20 世纪 90 年代,国家实施西部大开发战略和退耕还林生态工程建设,传统的淤地坝全面建设模式已不再适宜。延安市以退耕还林为主导的生态建设走在全国前列,实施退耕还林工程以来,已累计退耕还林 60 万 hm^2 , 占全国的 2.5%、全省的 27%, 森林覆盖率达到 45.4%, 区域生态环境质量发生了明显转变。使昔日生态环境恶化的势头得到了有效遏制,山川大地初步实现了由黄变绿的历史性转变。然而,为能稳住退耕还林成果,必须首先让农民拥有足够的口粮田,为配合退耕还林政策,开始探索“沟道整治”模式,从黄土高原沟壑区域实际出发,因地制宜地推进治沟造地,实施填沟造地、坝系修复与建设、坡改梯等土地综合整治措施,提高设计水平和建设标准,兴利除害,拦蓄水资源,防洪除涝排渍,极大地改善土壤耕作条件,优化水土资源配置,在增加耕地面积、提高耕地质量、降低土壤侵蚀、改善生态环境方面,已收到了显著的成效。因此,在总结沟道影响因素的基础上,进一步加快沟道综合整治,创新治沟造地土地整治模式,建设高标准基本农田,对于陕北黄土高原地区巩固退耕还林,保护和改善生态环境,切实改善民生和夯实农村基础,实现人与自然协调发展,具有十分重要的意义。

第二节 黄土高原沟道土体结构

一、主要土壤类型

黄土高原的土壤性质主要为风成黄土,土质疏松、易于侵蚀,且具有明显的地带性特征(图 1-4)。由东南向西北,依次出现褐色土、塬土→黑垆土、黄绵土、灰钙土→栗钙土→