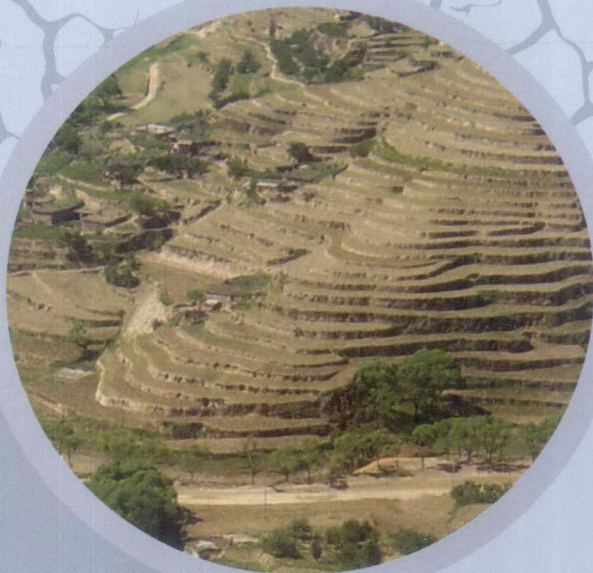




普通高等教育“十二五”规划教材  
高等学校水土保持与荒漠化防治特色专业建设教材

# 水土保持工程学

张胜利 吴祥云 主编



科学出版社

普通高等教育“十二五”规划教材  
高等学校水土保持与荒漠化防治特色专业建设教材

# 水土保持工程学

张胜利 吴祥云 主编

科学出版社

北京

**普通高等教育“十二五”规划教材**  
**高等学校水土保持与荒漠化防治特色专业建设教材**  
**编写指导委员会**

**总顾问：**唐克丽（国际欧亚科学院院士；中国科学院水利部水土保持研究所，研究员）

**顾问：**（按姓氏笔画排序）

王立祥（西北农林科技大学，教授）

王幼民（西北农林科技大学，教授）

朱太芳（陕西省水土保持局，教授级高级工程师）

朱金兆（教育部高等学校环境生态类教学指导委员会主任，教授）

刘秉正（西北农林科技大学，教授）

余新晓（中国水土保持学会教育工作委员会主任，教授）

张广军（西北农林科技大学，教授）

张康健（西北农林科技大学，教授）

陈存及（福建农林大学，教授）

**主任：**吴发启（西北农林科技大学资源环境学院，教授）

**副主任：**王进鑫（西北农林科技大学资源环境学院，教授）

刘国彬（中国科学院水利部水土保持研究所，研究员）

张洪江（北京林业大学水土保持学院，教授）

李占斌（国家旱地农业与土壤侵蚀实验室，教授）

**委员：**（按姓氏笔画排序）

王立（甘肃农业大学林学院，教授）

王健（西北农林科技大学资源环境学院，副教授）

王曰鑫（山西农业大学林学院，教授）

王占礼（中国科学院水利部水土保持研究所，研究员）

王克勤（西南林业大学环境科学与工程学院，教授）

方沛南（江苏省水利水电勘测设计研究院，高级工程师）

史东梅（西南大学资源环境学院，教授）

史志华 (华中农业大学资源与环境学院, 教授)  
吕家珑 (西北农林科技大学资源环境学院, 教授)  
朱首军 (西北农林科技大学资源环境学院, 副教授)  
刘霞 (山东农业大学林学院, 教授)  
刘增文 (西北农林科技大学资源环境学院, 教授)  
孙向阳 (北京林业大学水土保持学院, 教授)  
李凯荣 (西北农林科技大学资源环境学院, 教授)  
吴丁丁 (南昌工程学院水利与生态工程学院, 教授)  
吴祥云 (辽宁工程技术大学资源与环境工程学院, 教授)  
宋松柏 (西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 教授)  
张光灿 (山东农业大学林学院, 教授)  
张丽萍 (浙江大学环境与资源学院, 教授)  
张胜利 (西北农林科技大学资源环境学院, 副教授)  
陈祥伟 (东北林业大学林学院, 教授)  
范昊明 (沈阳农业大学水利学院, 副教授)  
郑子成 (四川农业大学资源环境学院, 副教授)  
郑粉莉 (西北农林科技大学国际学院, 研究员)  
屈建军 (中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 研究员)  
孟凯 (黑龙江大学农业资源与环境学院, 教授)  
耿增超 (西北农林科技大学资源环境学院, 教授)  
郭索彦 (水利部水土保持监测中心, 高级工程师)  
高永 (内蒙古农业大学生态环境学院, 教授)  
黄炎和 (福建农林大学资源与环境学院, 教授)  
廖超英 (西北农林科技大学资源环境学院, 教授)  
戴全厚 (贵州大学林学院, 教授)

## 《水土保持工程学》编写人员

**主 编** 张胜利 吴祥云

**副主编** 段喜明 郑子成 许 丽

**编 委** (按姓氏笔画排序)

吕 刚 许 丽 杨文利 吴祥云 何淑琴

张胜利 武 敏 郑子成 段喜明

**主 审** 崔云鹏

## 序

我国水土保持教学可以追溯到 20 世纪的 40 年代，而系统的专业教育则始于 20 世纪五六十年代。目前在高等教育系统中，开设水土保持与荒漠化防治本科专业的院校已增加到了 20 所。这无疑对我国水土保持与荒漠化防治事业的发展做出了很大贡献。但由于水土保持既是一门边缘交叉学科，又是一门综合性很强的应用技术学科，因而各院校的教育培养目标、教学方案与课程体系及各门课程的教学内容，都存在着一定的差别。虽然已展现出了百花齐放的局面，但对教学管理和人才规格的衡量等造成了一定的困难。为了解决这一矛盾，并继续保持各院校的教学优势，就得在骨干课程上进行统一与规范。

21 世纪初，中华人民共和国教育部启动了进一步提高本科专业教学质量的“质量工程”。西北农林科技大学资源环境学院水土保持系的全体教师有幸获批了“高等学校水土保持与荒漠化防治特色专业建设”的项目。他们结合专业特点与社会需求，在全国开展了较大范围的调查研究，初步确定了本专业的骨干课程，并以其中的专业基础课与专业课为对象，组织了全国百余名教师、研究人员和工程技术人员联合编写《土壤侵蚀学》等 10 余本教材，这套教材既充分吸纳了水土保持学科已有的成果，又反映了学科发展的现状与趋势；既注重理论教学，又考虑到了学生动手能力的培养；既注重了课程的内涵，又考虑了课程的系统组合，并减少了课程内容的重叠。可以说，它对实现学生厚基础、宽口径、强能力和高素质的培养很有帮助。

当前，防治水土流失与荒漠化已成为我国的一项基本国策，既是实现生态良性循环的主要内容，又是社会经济可持续发展的重要基础。因此，建设型人才的培养与训练至关重要。希望这套教材能为专业建设型人才的培养和水土保持与荒漠化防治高等教育做出应有的贡献。同时，也衷心祝愿我国水土保持与荒漠化防治的高等教学更为完善。

国际欧亚科学院院士

中国科学院水利部水土保持研究所研究员

唐克明

2010 年 12 月 10 日

## 前 言

水土流失是我国最严重的生态环境问题之一，近年来，随着经济的快速发展，工程建设导致的水土流失无疑使这一问题更加严峻。为应对这一变化，水土保持工程措施也有了新的发展。本书的编写正是体现这一发展变化。

本书共分6章。第一章在介绍小流域坡面水土流失防治工程措施类型和适用条件的基础上，详细介绍主要工程措施设计的原理与方法。第二章首先介绍边坡坡面防护工程的类型、适用条件和结构形式，较陡边坡削坡开级的形式和防护措施，然后重点介绍防治边坡失稳的工程措施——挡土墙的布置原则、设计方法及其施工注意事项，并对滑坡防治的措施和方法作了简要介绍。第三章在对小流域沟道水土保持工程措施类型、形式和适用条件介绍的基础上，重点对淤地坝及小型水库的布置、设计原理、方法进行叙述，同时还对水坠坝的特点及设计作简要介绍，最后还补充了沟道拦渣工程的基本知识。第四章在介绍泥石流的概念及其特征参数估算方法的基础上，重点介绍泥石流拦砂坝的设计原理、方法及其消能防冲工。第五章介绍洪沙利用工程的组成和设计，还就河道特征和河道整治工程、改河造地工程设计作简要介绍。第六章对主要水土保持工程措施施工放线及其关键部位施工方法、要点及注意事项进行介绍。

本书绪论部分由张胜利编写；第一章第一节由许丽编写，第二节由何淑琴编写；第二章第一节、第二节、第四节由张胜利编写，第三节由武敏编写；第三章第一节、第二节由许丽编写，第三节、第五节、第六节由段喜明编写，第四节、第九节由吕刚编写，第七节由杨文利编写，第八节由张胜利编写；第四章由郑子成编写；第五章第一节、第二节、第四节由张胜利编写，第三节由吴祥云编写；第六章由吴祥云编写。本书由张胜利统稿，崔云鹏审稿。

我国国土辽阔，各地气候、地形、土壤、植被、社会经济发展水平等差异较大，防治水土流失所采取的工程措施侧重点不尽相同，具体措施也有变化。在本书编写过程中，编写人员在充分保留广适性经典内容的同时，力求增补一些新的实用性强的内容，并注重与国家最新规范的统一，但囿于知识水平和实践经验的限制，疏漏之处在所难免，敬请各位读者批评指正，以便今后进一步修改、完善。

张胜利

2011年9月

# 目 录

序

前言

绪论	1
第一节 水土流失与水土保持工程学	1
一、水土流失	1
二、水土保持与水土保持工程学	2
第二节 水土保持工程学发展简况	4
一、我国水土保持工程发展历史	4
二、梯田工程发展简况	5
三、我国黄土高原独特的水土保持工程措施	5
四、美国、日本治理沟壑的主要措施	5
第一章 流域坡面治理工程	6
第一节 坡面治理工程措施的类型及其适用条件	6
一、梯田	6
二、地埂、截水沟	8
三、水簸箕、截水坑	8
四、蓄水池、水窖	9
五、水平阶、水平沟、鱼鳞坑	9
六、山边沟	11
第二节 坡面治理工程措施设计	11
一、水平梯田	11
二、隔坡梯田	15
三、坡式梯田	17
四、坡面蓄水工程	19
五、截水沟和排水沟	23
第二章 边坡防护工程	25
第一节 坡面防护工程	25
一、植物防护	25
二、坡面夯实	26
三、干砌石防护	26
四、浆砌石护坡	26
五、浆砌石骨架护坡	28
六、浆砌石护墙	28
第二节 削坡开级	31
一、土质坡面	31



二、石质坡面 .....	32
三、削坡后坡面与坡脚的防护 .....	32
四、均质土边坡稳定性验算 .....	32
第三节 挡土墙 .....	33
一、挡土墙布置原则 .....	33
二、挡土墙设计 .....	34
三、设计、施工注意事项 .....	38
第四节 滑坡及其防治 .....	39
一、滑坡勘察 .....	39
二、滑坡预防 .....	39
三、滑坡整治 .....	40
第三章 流域沟道治理工程 .....	46
第一节 沟头防护工程 .....	46
一、形式及适用条件 .....	46
二、工程设计 .....	49
第二节 谷坊工程 .....	52
一、类型及适用条件 .....	53
二、谷坊设计 .....	56
第三节 淤地坝工程 .....	59
一、淤地坝的概念 .....	59
二、枢纽工程的组成 .....	59
三、分级及设计洪水标准 .....	61
四、坝址选择 .....	61
五、枢纽工程布置 .....	62
六、坝高、库容及淤地面积的确定 .....	62
七、调洪计算 .....	66
第四节 土坝设计 .....	69
一、土坝分类及坝型选择 .....	69
二、筑坝土料选择 .....	70
三、土坝断面结构构造及尺寸拟定 .....	71
四、土坝稳定分析计算 .....	73
五、土坝分期加高设计问题 .....	73
第五节 淤地坝溢洪道设计 .....	74
一、位置选择 .....	74
二、布置形式 .....	75
三、水力计算 .....	75
四、溢洪道结构设计 .....	80
第六节 淤地坝放水工程设计 .....	82
一、组成形式及作用 .....	82
二、工程布设 .....	84
三、水力计算 .....	84

四、工程结构设计 .....	87
第七节 小型水库 .....	90
一、在沟壑治理中的作用 .....	90
二、组成、工程规模、等级及设计标准 .....	91
三、库址选择 .....	92
四、坝系中水库库容确定 .....	92
五、沟道中的独立水库库容确定 .....	92
六、水库防洪规划 .....	97
七、坝型选择 .....	99
八、土坝设计 .....	99
九、浆砌石重力坝设计 .....	103
十、浆砌石拱坝 .....	105
第八节 水坠坝 .....	107
一、水坠坝的特点 .....	107
二、坝体固结的基本原理 .....	107
三、水坠坝的设计 .....	108
第九节 拦渣工程 .....	116
一、拦渣坝设计 .....	116
二、挡渣墙设计 .....	118
三、拦渣堤设计 .....	120
第四章 泥石流防治工程 .....	122
第一节 泥石流流速和流量的计算 .....	122
一、概述 .....	122
二、泥石流流速和流量估算 .....	124
第二节 泥石流拦砂坝设计 .....	129
一、泥石流防治工程类型及防治标准 .....	129
二、拦砂坝的类型及适用条件 .....	130
三、拦砂坝的库容及坝高设计 .....	134
四、浆砌石拦砂坝的抗滑稳定计算 .....	136
五、坝基强度计算 .....	140
六、坝顶溢流口尺寸确定 .....	140
第三节 拦砂坝坝下消能防冲工设计 .....	141
一、消能防冲工的作用 .....	141
二、泥石流对拦砂坝的作用特点 .....	141
三、消能防冲工的形式及基本尺寸确定 .....	142
第五章 洪沙资源利用和河道整治工程 .....	146
第一节 洪沙资源利用 .....	146
一、洪沙利用方式 .....	146
二、洪沙利用工程组成 .....	146
三、工程设计 .....	147
四、利用洪沙淤灌农田和治碱改土技术 .....	150



第二节 水力治沙·····	152
一、引水拉沙造田·····	152
二、引水拉沙治河造田·····	153
三、引水拉沙修渠·····	155
四、引水拉沙筑坝·····	156
第三节 河道整治工程·····	156
一、河道一般特性·····	156
二、河道整治方法及工程类型·····	157
三、河道新断面设计·····	158
四、整治工程设计·····	159
第四节 改河造地工程·····	160
一、改河造地类型·····	160
二、改河造地建筑物设计·····	162
三、垫土造地·····	163
<b>第六章 水土保持工程施工·····</b>	<b>164</b>
第一节 施工前的准备工作·····	164
一、建立施工组织机构·····	164
二、编制施工计划与施工顺序·····	164
三、施工场地布设·····	166
四、施工场地处理·····	166
五、备料·····	166
第二节 施工测量放线·····	167
一、土坝施工放线·····	167
二、溢洪道、放水建筑物基础开挖施工放线·····	169
第三节 碾压式土坝施工·····	169
一、料场的选择·····	169
二、土料开挖与运输·····	170
三、铺土与压实·····	170
第四节 水坠坝施工·····	175
一、施工前准备工作·····	175
二、坝基与岸坡处理·····	176
三、坝体冲填·····	177
四、排水措施·····	179
五、水坠坝冬季施工·····	180
第五节 土坝坝坡防护施工·····	180
第六节 放水建筑物和溢洪道施工要点·····	181
一、放水建筑物施工·····	181
二、溢洪道施工·····	181
第七节 安全施工注意问题·····	182
<b>参考文献·····</b>	<b>183</b>

## 第一节 水土流失与水土保持工程学

### 一、水土流失

水土流失 (soil erosion and water loss) 是指“在水力、风力、重力及冻融等自然营力和人类活动作用下, 水土资源和土地生产能力的破坏和损失, 包括土地表层侵蚀及水的损失。”土壤侵蚀 (soil erosion) 的定义为: 在水力、风力、冻融、重力等自然营力和人类活动作用下, 土壤或其他地面组成物质被破坏、剥蚀、搬运和沉积的过程。土壤侵蚀可分为地质侵蚀和加速侵蚀两类。地质侵蚀又称为正常侵蚀或自然侵蚀 (natural erosion), 指在不受人为影响的自然环境中发生的土壤侵蚀。自从地球形成以后, 自然侵蚀过程总是在发生着。加速侵蚀是指受人为影响的侵蚀过程, 诸如陡坡开荒、不合理利用土地、乱砍滥伐森林、采矿修路和各项建设随意弃土弃渣而造成的水土流失等。

水土流失是全球性的问题, 不仅我国存在, 世界上许多国家都存在, 不过因自然条件和治理情况的不同, 有的国家或地区轻微, 有的严重, 绝对不流失的地区较少。从土壤侵蚀方式看, 有的国家或地区以水蚀 (water erosion) 为主, 有的以风蚀 (wind erosion) 为主, 有的二者兼有, 还有部分国家和地区重力侵蚀较严重。据联合国开发署估计, 单是由于土壤侵蚀, 全世界每年要失去可耕地 500~700 万  $\text{hm}^2$ , 而且还有可能上升。

中国是世界上水土流失最严重的国家之一。根据水利部第二次土壤侵蚀遥感调查结果, 全国土壤侵蚀面积达 356 万  $\text{km}^2$ , 约占陆地国土面积的 37%, 其中水蚀面积 165 万  $\text{km}^2$ , 风蚀面积 191 万  $\text{km}^2$ , 在水蚀、风蚀面积中, 水蚀风蚀交错面积 26 万  $\text{km}^2$ 。此外, 还有冻融侵蚀面积 127 万  $\text{km}^2$ 。据估算, 因土壤侵蚀造成的经济损失每年在 100 亿元以上。西北黄土高原是中国土壤侵蚀最严重的地区, 在其 62.68 万  $\text{km}^2$  的总面积中, 水土流失面积约 43 万  $\text{km}^2$ , 占总面积的 68.6%; 水土流失严重的达 28 万  $\text{km}^2$ , 占总面积的 45%。侵蚀严重的部位, 土壤侵蚀模数高达 20000~30000 $\text{t}/\text{km}^2$ , 沟壑密度 6~8 $\text{km}/\text{km}^2$ , 国土面积的 30%~50% 成为沟壑, 高者则达 60% 以上。每年冲入黄河三门峡以下的泥沙达 16 亿 t, 相当于冲走 540 万亩 (1 亩 = 666.7 $\text{m}^2$ ) 耕地的耕作层。不仅如此, 我国北方干旱和半干旱地区沙漠化也日趋严重, 沙漠化土地平均每年扩大 2100 $\text{km}^2$ , 有将近 1/3 的国土面积和 4 亿以上的人口受到风沙的威胁, 沙尘暴频发, 造成的灾害巨大, 如 1993 年发生在甘肃、宁夏、内蒙古阿拉善盟的一次特强沙尘暴波及方圆 500 $\text{km}^2$  以上, 造成直接经济损失 6.4 亿元, 300 余人伤亡。

美国的水土流失也比较严重, 在干旱的 1933~1934 年, 美国连续两次发生毁灭性大沙尘暴 (即黑风暴), 吹走了耕地表土的 1/4~1/2, 导致大量耕地弃耕。美国水土流失遍布 50 个州, 其中西部 17 个州尤为严重, 年土壤侵蚀速度达 2500~3000 $\text{t}/\text{km}^2$ , 个别地区甚至超过 10000 $\text{t}/\text{km}^2$ 。美国年均土壤流失量约 50 亿 t, 其中水蚀 40 亿 t, 风蚀 10 亿 t。40% 的侵蚀来自坡耕地, 25% 来自河道、河岸侵蚀, 25% 来自林地、城市用地和道路, 10% 来自牧场和草地。流失土壤有 3/4 淤积在河道, 只有 1/4 输入海洋。据美国有关专家估算, 每年水土流失造成的经济损失达 30~60 亿美元。



日本国土面积 37 万  $\text{km}^2$ ，约 70% 以上为丘陵山地，坡度小于  $15^\circ$  的平原仅有 27%。由于火山、地震等地质构造运动频发，导致山地岩石破碎，加之山高坡陡，降雨量大，暴雨多，山洪灾害（崩塌、滑坡、泥石流）时有发生。第二次世界大战后，由于森林遭到严重破坏，灾害加剧。日本每年从山坡上冲下的泥土量达到 2 亿  $\text{m}^3$ ，土壤冲蚀量  $780\text{m}^3/(\text{km}^2 \cdot \text{年})$ ，个别地方地面冲蚀厚度达 10cm（如阿苏火山山坡及天龙川流域）。

20 世纪 50 年代后期，前苏联由于盲目开荒引发严重土壤侵蚀，黑风暴多次席卷新垦区。据前苏联《农业科学通报》报道，土壤侵蚀面积占到农田地的 1/3，每年水土流失量约 18 亿 t，欧洲部分以水蚀为主，约有 50 万  $\text{km}^2$ ，东部以风蚀为主，约有 45 万  $\text{km}^2$ ，在中亚和外高加索还有山洪泥石流。1973 年 7 月，哈萨克斯坦共和国首都阿拉木图几乎被泥石流冲毁。

19 世纪 40 年代，澳大利亚大量移民，毁林扩牧、毁草经农和开矿，引起严重水土流失。20 世纪 20 年代红土尘暴席卷各州，进一步加剧了水土流失。

印度各地均存在不同强度和类型的土壤侵蚀，全国年均土壤侵蚀强度约  $1650\text{t}/\text{km}^2$ ，相当于每年流失 1mm 深的土壤，远高于全国土壤侵蚀允许值  $450\sim 1120\text{t}/\text{km}^2$ 。印度每年因土壤侵蚀而流失的土壤和水分分别达到 53.36 亿 t 和 180 亿  $\text{m}^3$ ，其中 175 万  $\text{km}^2$  的土地需要采取相应的水土保持措施。

## 二、水土保持与水土保持工程学

### （一）水土保持

水土保持 (soil and water conservation) 是防治水土流失，保护、改良与合理利用水土资源，维护和提高土地生产力，减轻洪水、干旱和风沙灾害，以利于充分发挥水、土资源的生态效益、经济效益和社会效益，建立良好生态环境的综合性科学技术。

### （二）水土保持工程学

水土保持措施 (soil and water conservation measures) 是为防治水土流失，保护、改良与合理利用水土资源，改善生态环境所采取的工程、植物和耕作等技术措施与管理措施的总称。在水土流失综合防治中，水土保持措施主要有三大类，分别是水土保持工程措施 (engineering measures of soil and water conservation)、水土保持林草措施 (vegetable measures of soil and water conservation) 和水土保持耕作措施 (agriculture measures of water and soil conservation)。

水土保持工程学 (soil and water conservation engineering) 是一门科学，专门研究防治土壤侵蚀，保护与合理开发利用水土资源而兴建的治坡、治沟、治沙、治滩等工程措施的规划和设计等内容。

水土保持工程的作用，是通过工程措施来改变小地形（如坡改梯、引水拉沙等），拦蓄地表径流，增加土壤入渗，防止地面再度侵蚀，改善农业生产条件，充分利用光、热、水土资源，建立良好生态环境，达到减少或防止土壤侵蚀、合理开发和利用水土资源的目的。

水土保持涉及的范围非常广泛。目前，对水土保持工程措施尚无较为科学、系统的分类方法。习惯上，从小流域综合治理的角度看，水土保持工程一般包括坡面治理工程、沟道治理工程、河流护岸工程、水力综合治沙工程等。此外，随着经济发展，工程建设无论是规模还是密度均不断增大，产生的水土流失对环境等的危害也越来越严重，特别是公路和铁路建设、采矿等开挖形成的边坡和弃土弃渣，如不进行整治和处理，不仅水土流失严重，危害环境，而且对



工程自身运营和人民生命财产安全均构成威胁,因此,对其进行整治和处理的工程措施,如边坡防护工程、拦渣坝、拦渣堤等,也逐渐成为水土保持工程的重要组成部分。

**1. 坡面治理工程** 坡面治理工程(slope treatment for erosion control)有坡改梯工程(如水平梯田、条田、坡式梯田、隔坡梯田等)、蓄水工程(蓄水池、水窖)、坡面截留和排水工程(截水沟、鱼鳞坑、水簸箕、水平阶、水平沟、山边沟等)及坡面道路工程等。

1) 坡改梯工程 主要改变坡面小地形,变坡地为平地(水平梯田),截短径流流程,拦蓄径流,减少土壤侵蚀,提高土壤肥力,增加农作物产量。

2) 蓄水工程 主要用以拦蓄山坡、村庄、场院、道路、农田的降雨径流,减轻土壤冲刷,为农田灌溉、人畜用水提供水源。

3) 坡面截流和排水工程 在北方超渗产流区,截流工程的作用在于拦截坡面来水,使雨水在截水沟、鱼鳞坑、水平阶、水平沟等富集叠加,增加土壤水分,提高造林成活率,减轻土壤冲刷;在南方蓄满产流区,坡面截流和排水工程如山边沟,意在分散径流,防止农田冲刷和崩岗的发展。

4) 坡面道路工程 坡地修成梯田后,地面被梯坎截断,人畜通行受阻,这时需修筑上山和通往农田的道路,以利耕种和收获。

**2. 沟道治理工程** 沟道治理工程(gully erosion control works)主要布设在干、支、毛沟的沟头及沟床中,包括沟头防护工程、谷坊工程、淤地坝工程、山塘水库等小型蓄水工程、引洪漫地工程、山洪与泥石流排导工程,以及沟壑水资源利用工程等。此外,为处理工程建设所产生的弃土弃渣和滑坡泥石流土石体,一些沟道内还设有拦渣坝、拦砂坝等工程措施。

1) 沟头防护工程 主要用于防止沟头溯源侵蚀。黄土高原不少地方沟头溯源侵蚀仍十分活跃,导致沟壑面积不断扩大,严重蚕食土地资源。例如,宁夏固原县沟头年均伸延速度达6.78m,其中最严重的赵新庄沟达15.7m,12年蚕食耕地1hm<sup>2</sup>,全县每年被蚕食耕地333.3~400.0hm<sup>2</sup>。

2) 谷坊工程 主要用于巩固或抬高沟床的侵蚀基准,减缓流速,制止沟床下切,沟岸扩展,拦蓄径流泥沙,为沟床上的林草繁殖创造良好的生态环境。谷坊有土谷坊、石谷坊和柳谷坊等。

3) 淤地坝工程 是修建于水土流失区干、支沟道中的坝工建筑物。其作用是拦泥淤地,控制沟床下切和沟岸扩张,合理利用水沙资源。坝地水肥条件优越,是很好的基本农田。黄河流域最早的淤地坝是由天然塌方形成。明隆庆三年(1569年),陕西省子洲县裴家湾乡王家圪洞,因山体滑坡,壅塞沟道,形成天然聚淤,坝高62m,淤成坝地53.3hm<sup>2</sup>,坝地连年丰收,每公顷产量达3750kg。人工修筑淤地坝,有资料可考的,是在明万历年间(1573~1619年),建于山西汾西县,距今已有400多年的历史。

4) 拦砂坝工程 主要建于发生泥石流的沟道中,用于拦蓄泥石流固体物质与径流,减轻泥石流对下游的危害。

5) 山塘水库工程 常建于沟道和山冲等径流汇集处,拦蓄坡、沟洪水、泥沙和承纳农田排水,调节径流、洪水,还可满足灌溉及人畜饮水要求。

6) 引洪漫地工程 是指为引导山洪、坡洪、路洪、村洪、沟洪和河洪漫淤农田而修建的拦洪坝、引洪渠、分洪闸、田间蓄洪围堤等工程的总称。洪水中含有大量细土、粘粒和牲畜粪便等有机养分,可改良土壤结构,提高土壤肥力。

7) 山洪与泥石流排导工程 主要用于防止山洪泥石流的危害,保护村庄、道路、工矿企业及其生产安全。

在黄土高原地区,许多沟道中常有泉水,可将其汇聚,然后用于灌溉或解决居民点人畜用



水, 为此而修建的工程即为沟壑水资源利用工程。

**3. 河流护岸工程** 河流护岸工程 (bank protection works) 是防治山区河道 (沟道) 河岸冲刷及塌岸扩张的重要措施, 可分为护岸堤与导流堤两类, 护岸堤起防止山洪横向侵蚀的作用, 导流堤起改变洪水流向的作用。

**4. 水力综合治沙工程** 水力综合治沙, 是以水为动力改造利用沙漠、开发土地资源的一种方法, 是对沙区进行综合治理的措施之一。在沙区, 利用河流、海子 (湖泊)、水库的水源, 自然引水或机械抽水冲拉沙丘, 将沙挟带到人们需要的位置的措施, 叫引水拉沙。用这种方法造田, 叫引水拉沙造田; 用来筑坝, 叫引水拉沙筑坝; 用来修渠, 叫引水拉沙修渠; 用来筑堤, 叫引水拉沙筑堤。

陕西榆林地区府谷、神木、榆林、横山、靖边、定边紧靠毛乌素沙地南缘, 有 1.76 万  $\text{km}^2$  沙化土地。经过多年引水拉沙改造荒沙、荒滩等, 有效遏制了沙漠南侵的势头, 实现了人进沙退, 沙区自然面貌和生态环境发生了巨大变化, 为资源开发和经济持续发展创造了条件。

实践证明, 在小流域水土流失综合治理过程中, 只有将工程措施与生物措施、农业耕作措施等科学配置, 方能取得较好的效益。

**5. 边坡防护工程** 边坡防护工程 (slope stabilization project) 既包括坡面防护, 也包括坡体防护。坡面防护措施主要有植物防护、坡面夯实、浆砌石护坡、骨架护坡等。坡体防护是指因坡度较陡、高度较大, 为增加边坡的稳定性或防治滑坡而采取的一系列措施, 如削坡开级、挡土墙、抗滑桩及排水措施等。

## 第二节 水土保持工程学发展简况

### 一、我国水土保持工程发展历史

水土保持工程和其他技术科学一样, 是人类实践经验的科学总结。

早在奴隶社会时期, 黄河流域就有大禹“平治水土”的传说。从距今 3000 多年前的西周, 到春秋战国、秦、汉、魏、晋, 随着农业生产的发展, 逐步提出了合理利用土地的要求, 并采用了蓄水保土、保护山林和在缓坡平整土地等保持水土的措施。唐、宋以后, 进一步创造了在塬坡及丘陵坡地修筑梯田和在沟壑中筑坝拦泥淤地等措施; 一些干旱地区, 群众还创造了水窖、涝池、山塘等小型拦蓄工程。

《左传》记载, 鲁襄公二十五年 (公元前 548 年), 楚国蔣掩在《庀赋》中, 对不同类型土地, 提出了不同利用方式和征收赋税的原则。《商君记》记载, 先王时代, 有“任地待役之律”, 即一个地区各类土地的利用, 要有一定的比例。具体要求是: 山林占十分之一, 湖沼占十分之一, 溪流占十分之一, 城镇道路占十分之一, 恶田占十分之二, 良田占十分之四。这种利用土地的原则, 开创了我国及世界合理利用土地规划之先河。黄河流域是我国文化的发祥地, 早在 4000 多年前, 后稷就开始采用耨田法; 到商代, 伊尹创造了区田法; 西汉时, 农官赵过把耨田种植等技术进一步发展为代田法, 并将其推广到河南、山西、陕西及甘肃东部一带, 比一般耕田法增产 25%~50%。

周朝时, 在平原下湿地开发“沟洫”, 起到蓄水保土、减轻土壤冲刷的作用。开沟取土时, 培土于沟上或沟下, 就形成了沟坡式坡式梯田。沟洫的发展与梯田的产生和发展有较密切的联系。沟洫留下地埂, 田面虽未水平, 但从上至下, 台阶分明, 初步显现出梯田的雏形。在我国水

土流失地区,梯田是极为重要的基本农田,始见于南宋范成大(公元1126~1193年)的《骞鸾录》:“出庙三十里,至仰山,缘山腹乔松之磴甚危,岭阪之上皆禾田,层层而上至顶,名梯田”。

## 二、梯田工程发展简况

水平梯田几乎与农业一样古老,广泛分布于世界许多地区,如北非、地中海沿岸、中美洲及亚洲等地,法国、日本、印度、菲律宾、韩国等均有数量不等的梯田。秘鲁安第斯山地区保存有2500年以上的水平梯田。水平梯田是我国年代久远的水土保持方法,举世闻名,我国台湾的水平梯田修筑技术,初由大陆农人传入,主要用于水稻栽培;20世纪上半叶则曾在蔗园、茶园和桑园推广,现今仍是台湾的主要水土保持措施,占全省水土保持工作量的50%以上。

19世纪中叶,美国曾盛行欧洲传入的山边沟。20世纪初期,在威斯康星州开展水平梯田试验研究,并在若干地区应用,后因其修筑费工,又碍耕作,且不利施工机械化,决定扬弃。现在,美国坡耕地治理的工程措施主要为宽垅水平梯田、地埂、隔坡梯田和垄沟区田等。

波多黎各分布有内斜式水平梯田,日本主要为外斜式水平梯田。

## 三、我国黄土高原独特的水土保持工程措施

淤地坝是黄河流域群众独创的水土保持工程措施。地处黄土高原的山西汾西县修筑淤地坝已有400余年的历史,洪洞、赵城(旧县名)等县的部分坝地已有100多年的历史,且集中连片,实现了沟地川台化,至今一直发挥着增产、减沙的作用。

引洪漫地在我国黄土高原地区也有悠久的历史。陕西省富平县赵老峪的引洪漫地起源于战国时的秦国,距今已有2300多年,它使“地土高燥的穷乡僻壤”变成“土润而腴”的肥沃良田。相传赵老峪的东宫渠为秦朝大将王翦所修,大水峪的李贤渠开设于明朝万历年间,距今也有400多年的历史。富平县赵老峪与定边县八里河、礼泉县赵镇、泾阳县冶峪河,合称陕西四大古老引洪灌区。内蒙古境内的大黑河引洪漫地工程,在清代的200多年时间内,先后修建了四条引洪渠,每条可引洪漫地万亩(1亩=666.7m<sup>2</sup>)以上,共发展引洪漫地数万亩。

## 四、美国、日本治理沟壑的主要措施

美国在治理沟壑时,采取的水土保持措施主要有以下几种:

1) 草皮排水道 就是对田间原有的天然水道修整种草,排水道适宜集水面积为0.6~0.8km<sup>2</sup>,否则草皮难以稳定。

在西欧和东欧一些国家(如罗马尼亚),草皮排水道也得到广泛应用。

2) 封沟育林种草 封沟、禁止放牧是治理中、小沟壑最简单和最经济的方法之一。

3) 沟头防护 在沟头地形合适部位修建土坝,在坝的迎水面坡脚处设竖管型井式排水,竖管顶端高程以保证坝上可形成稳定比降为准,竖管连接到卧管上,卧管则穿过坝体至其背水坡坝脚处,水流从卧管出口排出。

4) 削坡填沟 利用推土机将沟岸的土推入沟中,种植草皮。

5) 坝库工程 对大、中型沟道,可于沟中修建坝库工程,坝库设有溢洪道,采用25年或100年一遇洪水设计标准。

日本由于火山、地震等地质构造运动,岩石破碎,加之山高坡陡,降雨量大,常发生山洪、泥石流等“土砂灾害”,因而多采用钢板桩上焊接钢丝网,并在网上喷水泥砂浆,固结护坡;在沟道中,常修建砌石、钢构式和混凝土拦砂坝,拦截泥石流,日本称其为砂防工程。



# 第一章 流域坡面治理工程

我国山区、丘陵区面积约占全国国土面积的 2/3，坡面面积较大，其中不少为坡耕地，水土流失严重。坡面既是山区、丘陵区农林牧业生产集中之地，又是沟道泥沙和径流的起源地，因此加强坡面治理具有重要意义。坡面治理在控制水土流失的同时，还可改善生产用地的水土条件，促进农林牧业发展，并可为沟道治理奠定基础。

坡面治理工程措施主要有梯田、拦水沟埂、山坡截流沟、水簸箕、截水坑、蓄水池、水窖（旱井）、水平沟、水平阶、鱼鳞坑、山边沟等。其主要作用在于使坡耕地变为梯田，提高作物产量；改变小地形就地蓄水拦沙，减少坡面径流，增加坡面生产用地土壤水分；将未能就地拦蓄的径流引入小型蓄水工程，充分利用水资源；减少坡面侵蚀泥沙汇入沟道，降低泥沙对下游的危害。

## 第一节 坡面治理工程措施的类型及其适用条件

### 一、梯田

梯田（terrace）是在坡地上沿等高线修筑的水平阶式或坡式断面的田地，是山区、丘陵区常见的一种基本农田，由于地块顺坡按等高线排列呈阶梯状而得名。

梯田的修筑不但历史悠久，而且数量大，分布广。我国是世界上最早修筑梯田的国家之一，距今约有 3000 多年，目前我国有水平梯田约 2670 万  $\text{hm}^2$ 。除我国外，世界上其他国家，如奥地利、澳大利亚、意大利、法国、加拿大、美国、日本等，都有不同类型数量较大的梯田，以亚洲最多。

#### （一）梯田的作用

梯田是坡面上基本的水土保持工程措施，对减少坡面径流和土壤侵蚀、增加田面降水蓄渗、改良土壤、增加产量、改善农业生产条件和生态环境等都具有很大作用。

根据陕西省水土保持局实测资料，坡地修成水平梯田和水平埝地后，可拦蓄 70%~95% 的径流，90%~100% 的侵蚀泥沙。修筑标准高、质量好的梯田可以拦蓄全部流失土壤，且年年发挥作用，效益非常显著。坡地改为  $3^\circ$  以下的缓坡地或水平梯田，一次可以拦蓄降雨 70~100mm。

内蒙古喀喇沁旗小牛群乡狮子沟试验站多年观测表明，梯田年平均拦截天然降水  $3525\text{m}^3/\text{hm}^2$ ，比坡地多拦蓄近 100mm 的降水。

此外，修建梯田对提高土壤肥力也具有明显的效果。研究表明，在四川盆地中部丘陵区，土壤有机质含量，坡地仅为 0.69%，梯田则为 1.70%，比坡地高 146.4%；土壤全氮含量，坡地仅为 0.06%，梯田为 0.11%，比坡地高 83.3%。

梯田的作用可归纳如下：

（1）减缓坡面坡度，缩短坡长，拦截径流和泥沙。梯田一般可以拦截径流 70% 以上，泥