



中等职业教育国家规划教材
全国中等职业教育教材审定委员会审定

水工建筑物

农业水利技术专业

主编 王自忠



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为全国中等职业教育农业水利技术专业的通用教材。全书包括基本知识、土石坝、河岸溢洪道、水闸、渠系建筑物等内容。

本书除适用于农业水利技术专业教学外,也可供中等职业学校水利类其它专业师生和基层水利技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水工建筑物/王自忠主编. —北京:中国水利水电出版社, 2002

中等职业教育国家规划教材

ISBN 7-5084-1330-X

I. 水… II. 王… III. 水工建筑物-专业学校-教材 IV. TV6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 097135 号

书 名	中等职业教育国家规划教材 水工建筑物 (农业水利技术专业)
作 者	主编 王自忠
出版、发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sale@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 7.5 印张 178 千字
版 次	2003 年 1 月第一版 2003 年 1 月第一次印刷
印 数	0001—3100 册
定 价	10.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

中等职业教育国家规划教材

出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标和保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2002 年 10 月

前 言

本书是按照教育部《面向 21 世纪教育振兴行动计划》提出的“职业教育课程改革和教材建设规划”的要求，以中等职业学校农业水利技术专业教学指导方案为依据组织编写的，是重点建设专业主干专业课程的国家规划教材。

《水工建筑物》是中等职业学校农业水利技术专业的一门主干专业课。要求学生了解农业水利技术人员所必需的一般水工建筑物的概念、工作特点、型式及构造、掌握小型水工建筑物的基本设计方法，初步具有一般小型水工建筑物的设计能力。它内容多、涉及面广、实践性强。因此在编写过程中力求做到：围绕专业培养目标，体现中等职业教育特点，不刻求学科系统性、完整性、突出针对性、实用性，尽量采用国家现行的规程、规范，适当反映本学科新知识、新技术和今后发展方向。

参加本教材编写的有山西水利职业技术学院王自忠（第一、二、三章）；安徽水利水电职业技术学院关水平（第四章）；山东水利高级技校王美芬（第五章）。全书由山西水利职业技术学院王自忠主编，第一、二、三章插图由山西水利职业技术学院王瑞红、白继中绘制。在编写过程中得到山西水利职业技术学院岳延兵、王伟福、谢彩绒的大力支持和帮助，在此表示感谢。

本书经全国中等职业教育教材审定委员会审定，由华中科技大学张勇传院士担任责任主审，武汉大学教授周素真、副教授夏富洲审稿，中国水利水电出版社另聘四川农业大学水利水电学院岳江林主审了全稿，提出了许多宝贵的修改意见，在此一并表示感谢。

对于本书存在的错误和不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2002 年 8 月

出版说明	
前 言	
第一章 基本知识	1
第一节 我国的水资源和水利事业	1
第二节 水利枢纽和水工建筑物	2
第三节 水利工程的基本建设程序	5
第二章 土石坝	6
第一节 概述	6
第二节 土石坝的剖面尺寸与构造	8
第三节 土石坝的渗流计算	13
第四节 土石坝的稳定计算	16
第五节 土石坝的筑坝材料	20
第六节 土石坝的地基处理	21
第七节 坝下涵管	23
第八节 渗流的电拟法实验	37
第三章 河岸式溢洪道	39
第一节 概述	39
第二节 正槽式溢洪道	40
第三节 侧槽式溢洪道	47
第四节 挑流消能演示	48
第四章 水闸	49
第一节 概述	49
第二节 水闸水力计算和防渗设计	52
第三节 闸室的布置和构造	66
第四节 闸室的稳定验算和结构计算	68
第五节 两岸连接建筑物	73
第六节 闸门与启闭机	74
第五章 渠系建筑物	79
第一节 概述	79
第二节 渡槽	80

第三节	农桥	89
第四节	涵洞与倒虹吸管	97
第五节	跌水与陡坡	104
参考文献		110

第一章 基本知识

第一节 我国的水资源和水利事业

一、我国的水资源及其特点

我国水资源年均总量为 28124 亿 m^3 ，居世界第六位。由于我国人口众多，人均水资源量仅有 2163.4 m^3 ，相当于世界人均占有量的 1/4，列世界第 121 位，是世界上水资源贫乏的国家之一。

我国的水能资源十分丰富，理论蕴藏量为 6.76 亿 kW，相应年发电量为 59200 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，其中可开发部分为 3.78 亿 kW，相应年发电量为 19200 亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ ，均居世界首位。

由于我国幅员辽阔，自然条件相差悬殊，水资源在地区上和时间上的分配很不均匀，总趋势是由东南沿海向西北内陆递减，这是与降水量的分布相一致的。例如：我国南方各省的平均年降水量都在 1500mm 以上，而西北某些地方却只有 50mm，而且降水在年内及年际的分配也很不均衡。每年约 70% 的降水集中在夏秋季的三四个月，并多以暴雨形式出现，其他月份则干旱少雨。丰水年与枯水年的水量悬殊，有时可以相差 10 倍。所以容易形成水旱灾害。

我国水资源的地区分布与人口、耕地布局不相适应。例如：黄、淮、海三大流域，地表水资源只占全国的 5.25%，而耕地面积却占全国的 35.9%；这是北方地区用水紧张的一个原因。

我国多数河流含沙量较高。黄河平均含沙量为 37 kg/m^3 ，海河为 10 kg/m^3 ，辽河为 5 kg/m^3 ，长江为 1.2 kg/m^3 。在水土流失严重的地区，其数值更高，而且很多河流已遭到不同程度的污染。

二、我国的水利事业

中国治水历史悠久。传说中大禹治水的功绩是古代人民长期治水综合成果的体现。4000 多年前的引黄灌溉、商周的农田沟洫、春秋战国时期的大规模渠系工程、战国后期的都江堰引水灌溉工程，以及历经数代开凿的全长 1700km，连接钱塘江、长江、淮河、黄河、海河五大水系的京杭大运河，都是中国古代劳动人民在水利建设上的伟大创造。

新中国成立以后，我国的水利事业取得了举世瞩目的成就。到 1998 年，全国累计^①修建加固堤防 26 万 km；建成 8.5 万多座水库，其中大型水库 403 座，中型水库 2653 座，小型水库近 8.2 万座，总库容达 4924 亿 m^3 ；有效灌溉面积达到 5300 万 hm^2 ，其中井灌面积达 1470 万 hm^2 ，节水灌溉面积达 1520 万 hm^2 ；除涝面积达 2068 万 hm^2 ；盐碱耕地改良面积达 565 万 hm^2 ；累计治理水土流失面积 78 万 km^2 ；形成了 5800 亿 m^3 的年供水能

① 统计数据均不含台湾省和香港、澳门地区。

力；解决了农村 2.1 亿人、1.3 亿头牲畜的饮水困难；水电总装机容量达 6400 万 kW，年发电量 2080 亿 kW·h。水利对抗御水旱灾害、保障工农业生产和人民生命财产安全、促进国民经济发展、维护社会稳定，都发挥了重要作用。

第二节 水利枢纽和水工建筑物

一、水利枢纽

为了综合利用水资源，对自然界的地表水和地下水进行控制和合理调配，以达到兴利除害的目的（防洪、灌溉、发电、供水、航运等）而修建的工程，称为水利工程。水利工程中的各种建筑物称为水工建筑物，而由不同的水工建筑物组成的综合体称为水利枢纽。

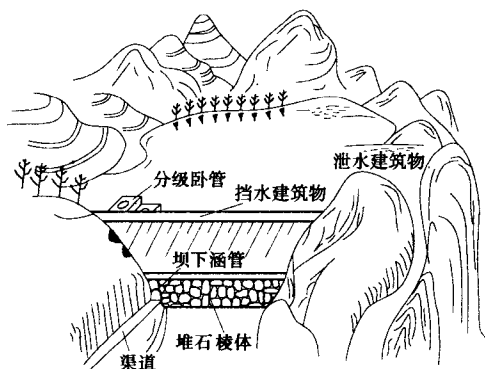


图 1-1 小型水库示意图

如图 1-1 是一小型水库工程，枢纽主要由挡水建筑物（土坝）、泄水建筑物（溢洪道）、取水建筑物（坝下涵管）三个主要部分组成，通常称为水库的“三大件”。挡水建筑物用以截断水流，抬高水位，形成水库；泄水建筑物是水库的“太平门”，用以宣泄库内多余洪水确保枢纽安全；取水建筑物用以引水灌溉、发电等。

水利枢纽的作用可以是单一的，但多数是综合利用的水利枢纽。枢纽正常运行中各部门之间对水的要求有所不同。如防洪部门希望汛前降低水位加大防洪库容，而兴利部门则希望扩大兴利库容而不愿汛前过多降低水位；水力发电只是利用水的能量而不消耗水量，发电后的水仍可用于农业灌溉或工业供水，但发电、灌溉和供水的用水时间不一定一致。因此在进行水利枢纽设计时，应使上述矛盾能得到合理解决，以做到降低工程造价，满足国民经济各部门的需要。

二、水工建筑物的分类

（一）按建筑物作用分类

- （1）挡水建筑物 用以拦截水流、抬高水位或形成水库，如各种闸、坝和堤防等。
- （2）泄水建筑物 用以从水库或渠道中泄出多余的水量，以保证工程安全，如各种溢洪道、泄洪隧洞和泄水闸等。
- （3）取水建筑物 用以从水库或河流引取各种用水，如取水隧洞、坝下取水涵管、进水闸等。
- （4）输水建筑物 用以将水输送到用水地点，如渠道、输水隧洞、渡槽等。
- （5）河道整治建筑物 为加固河岸，整治河道等目的而修建的水工建筑物，如丁坝、顺坝、导流堤、护岸等。
- （6）专门建筑物 为某种特定的单一目标而专设的水工建筑物，如船闸、鱼道、筏道等。

(二) 按建筑物使用期限分类

(1) 永久性建筑物 是指枢纽工程运行期间使用的建筑物。根据其重要性又分为主要建筑物和次要建筑物。前者是指失事后将造成下游灾害或严重影响工程效益的建筑物,如坝、水闸、泄洪建筑物、电站厂房等。后者是指失事后不造成下游灾害或对工程效益影响不大并易于修复的建筑物,如挡土墙、护岸、导流墙等。

(2) 临时性建筑物 是指枢纽工程施工期间使用的建筑物,如导流建筑物、施工围堰等。

三、水工建筑物的特点

由于水的作用和影响,与其它建筑物相比,水工建筑物有以下特点。

1. 工作条件复杂

水工建筑物经常承受着水的作用,产生各种作用力,对其工作条件不利。挡水建筑物承受着一定的水平静水压力、风浪压力、地震动水压力、冰压力、浮力以及渗流产生的渗透压力,对建筑物的稳定性影响极大,水流渗入建筑物内部及地基中,还可能产生侵蚀和渗透破坏;泄水建筑物的过水部分,还承受着水流的动水压力,高速水流还可能对建筑物产生空蚀、振动以及对河床产生冲刷。由于水的某些作用力难以用计算方法确定,所以进行大中型水工建筑物设计时,往往按理论和经验拟定建筑物的尺寸、构造和外形后,还须借助模型试验进行验证和修改,并在实际工程上进行观测研究,以提高设计理论。

2. 施工条件复杂

在河床中修筑建筑物,需要解决施工导流的问题,避免建筑物基坑及施工设施被洪水淹没。根据河道情况,在施工期还要保证航运和木材浮运不致中断。要进行很深的地基开挖和复杂的地基处理,常需水下施工。因此,水工建筑物的施工比陆地上的土木工程复杂得多。再加上工程量庞大,要在较短时间内完成,故需要采用先进的施工技术、大型施工机械和科学的施工组织与管理体制。

3. 对国民经济的影响巨大

一个综合性的大型蓄水枢纽,不仅可以免除洪水灾害,还可发电、改良航道、变沙漠为良田、调节当地气候、美化周围环境。举世闻名的长江三峡工程建成后,将使三峡下游五省一市免受洪水灾害,将充足的电力输送到华中、华东、华北的城市和农村,并获得灌溉航运之利。但是,如果处理不当,也可能产生消极影响。如建水库后,不仅导致大量移民和迁建;还可能引起库区周围地下水位的变化,直接影响工农业生产,甚至影响生态环境,大型水库还可能诱发地震。拦蓄巨大水量的挡水建筑物万一失事,将会给下游带来巨大的灾害,其损失远远超过建筑物本身的价值,并使以该水利枢纽为基础而建立起来的经济事业处于瘫痪状态。因此,水工建筑物设计工作必须充分重视勘测、试验和研究分析工作,以高度负责的精神,精心设计、精心施工、加强管理,确保工程安全。

四、水利枢纽的分等和水工建筑物的分级

为了保证水利水电工程及其下游(或保护区)人民生命财产的安全和工程效益的正常发挥,根据我国社会主义经济发展水平,《水利水电工程等级划分及洪水标准 SL252—2000》规定:水利水电工程的等别,应根据其工程规模、效益及在国民经济中的重要性划分为五等,如表 1-1 所示;水利水电工程的永久性水工建筑物的级别应根据其所在工程

的等别和建筑物的重要性分为 5 级，如表 1-2 所示。

对综合利用的水利水电工程，当按各综合利用项目的分等指标确定的等别不同时，其工程等别应按其中最高等别确定。

失事后损失巨大或影响十分严重的水利水电工程的 2~5 级主要永久性水工建筑物，经过论证并报主管部门批准，可提高一级；失事后造成损失不大的水利水电工程的 1~4 级主要永久性水工建筑物，经过论证并报主管部门批准，可降低一级。

水库大坝按表 1-2 规定为 2 级、3 级的永久性水工建筑物，如坝高超过表 1-3 指标，其级别可提高一级，但洪水标准可不提高。

当永久性水工建筑物基础的工程地质条件复杂或采用新型结构时，对 2~5 级建筑物可提高一级设计，但洪水标准不予提高。

水利水电工程施工期使用的临时性挡水和泄水建筑物的级别，应根据保护对象的重要性、失事后果、使用年限和临时性建筑物规模，按表 1-4 确定。

表 1-1 水利水电工程分等指标

工程等别	工程规模	水库总库容 (10 ⁸ m ³)	防 洪		治涝	灌溉	供水	发电
			保护城镇及工矿企业的重要性	保护农田面积 (10 ⁴ 亩)	治涝面积 (10 ⁴ 亩)	灌溉面积 (10 ⁴ 亩)	供水对象重要性	装机容量 (10 ⁴ kW)
一	大(1)型	≥10	特别重要	>500	≥200	>150	特别重要	≥120
二	大(2)型	10~1.0	重要	500~100	200~60	150~50	重要	120~30
三	中型	1.0~0.10	中等	100~30	60~15	50~5	中等	30~5
四	小(1)型	0.10~0.01	一般	30~5	15~3	5~0.5	一般	5~1
五	小(2)型	0.01~0.001		<5	<3	<0.5		<1

注 1. 总库容指水库最高水位以下的静库容。
2. 治涝面积和灌溉面积均为设计面积。

表 1-2 永久性水工建筑物级别

工程等别	主要建筑物	次要建筑物
一	1	3
二	2	3
三	3	4
四	4	5
五	5	5

表 1-3 水库大坝提级指标

坝 型	级 别	
	2	3
	坝 高 (m)	
土石坝	90	70
混凝土坝、浆砌石坝	130	100

当临时性水工建筑物根据表 1-4 指标分属不同级别时，其级别应按其中最高级别确定。但对 3 级临时性水工建筑物，符合该级别规定的指标不得小于两项。

利用临时性水工建筑物挡水发电、通航时，经过技术经济论证，3 级以下临时性水工建筑物的级别可提高一级。

表 1-4

临时性水工建筑物级别

级别	保护对象	失 事 后 果	使用年限	临时性水工建筑物规模	
				高度(m)	库容(10^8m^3)
3	有特殊要求的 1级永久性水工 建筑物	淹没重要城镇、工矿企业、交通干线或推迟总工期及 第一台(批)机组发电,造成重大灾害和损失	>3	>50	>1.0
4	1、2级永久性 水工建筑物	淹没一般城镇、工矿企业、或影响工程总工期及第一 台(批)机组发电而造成较大经济损失	3~1.5	50~15	1.0~0.1
5	3、4级永久性 水工建筑物	淹没基坑、但对总工期及第一台(批)机组发电影响 不大,经济损失较小	<1.5	<15	<0.1

第三节 水利工程的基本建设程序

水利工程投资大,建设周期长,影响范围广,牵涉因素多,受自然条件影响大,因此,必须严格按一定程序并分阶段进行。水利工程基本建设程序,一般划分为流域规划、可行性研究报告、初步设计、技术施工设计和施工几个工作阶段。

首先要进行流域规划,对流域开发做出正确的宏观决策。流域规划要全面考虑水利资源和自然条件,考虑人民生活和工农业生产除害兴利的需要,考虑水利工程对社会和自然环境的影响,要求投入最小,效益最大。流域规划完成后,应编写出报告,经国家规定的审批部门批准后实施。

可行性研究报告阶段的主要任务是,明确工程综合利用的规模和要求;选定坝址;初选基本坝型和枢纽布置方式;拟定工程建筑物等级及设计标准;基本选定水库正常蓄水位及装机规模;初拟各主要技术参数;初选施工导流方式及主要施工方法,规划施工总体布置,提出施工控制进度,估算工程总投资及总工期;提出环境影响初步评价及技术经济评价;做出工程兴建的必要性及经济合理性的论证。根据可行性研究报告拟定设计任务书。

初步设计阶段的主要任务是,根据批准的设计任务书,对可行性研究报告阶段的水文规划和地质勘测成果进行复核和补充;对枢纽及建筑物位置以及布置方式和主要参数作进一步论证,据以确定工程规模、坝轴线、坝型及枢纽布置、主要建筑物的结构形式和控制性尺寸及高程、水电站机组、机型、装机容量和主要机电设备;提出施工导流及度汛方案、主体工程的施工方案及主要技术措施、施工总进度和总平面布置;编制库区淹没处理及移民安置规划;确定工程量及工程概算;提出管理设计及环境保护措施设计。

技术施工设计阶段的主要任务是,在初步设计的基础上进行地基及结构的详细设计,定出所有建筑物的详细尺寸及构造;提出施工、制造和安装的技术要求;绘制施工图;提出各单项工程及大型临时设施(包括施工辅助企业)的施工组织设计。在施工过程中,可根据现场实际情况对设计进行修改或补充。

上述设计阶段,对于规模较小、重要性较低的工程,可减少、合并一部分设计内容。例如,对小型工程,可将可行性研究报告与初步设计阶段合并,内容也可从简。

设计经批准,项目列入年度计划后,组织工程施工。工程建成后,进行验收,交付使用。

第二章 土 石 坝

第一节 概 述

一、土石坝的特点

土石坝是利用当地土石料填筑而成的一种挡水坝，故又称当地材料坝。土石坝之所以被广泛采用，是因为它具有以下优点：①就地取材，可节省大量水泥、钢材和木材；②适应地基变形的能力强，对地基要求比混凝土坝低；③施工技术较简单，工序少，便于机械化快速施工；④结构简单，便于管理、维修、加高和扩建。土石坝也存在着一些缺点，如：①坝顶一般不能溢流，需另设溢洪道；②施工导流不如混凝土坝方便；③当采用粘性土料填筑时受气候条件的影响较大。

土石坝坝体主要由土料、砂砾、石渣、石料等散粒体构成，为使其安全有效地工作，在设计、施工和运行中必须满足以下的要求：①坝体和坝基在各种可能工作条件下都必须稳定；②经过坝体和坝基的渗流既不能造成水库水量的过多损失，又不致引起坝体和坝基的渗透变形；③不允许洪水漫顶过坝造成事故；④应防止波浪淘刷、暴雨冲刷和冰冻等的破坏作用；⑤要避免发生危害性的裂缝。

二、土石坝的类型

土石坝按施工方法可分为：碾压式土石坝、水力冲填坝和水中倒土坝三种。本章主要讲述应用最多的碾压式土石坝。

碾压式土石坝是将土石料按设计要求分层填筑碾压而成。小型碾压式土石坝，可采用均质土坝、土质防渗体土石坝、人工防渗体土石坝和过水土石坝等型式。

(1) 均质土坝 坝体基本上由一种透水性较小的土料（壤土、砂壤土等）填筑而成，如图 2-1 所示。这种坝型土料单一，施工方便，便于质量控制，较适宜于非专业性施工队伍施工。因此当坝址附近有性质适宜、数量足够的土料时，宜优先采用。

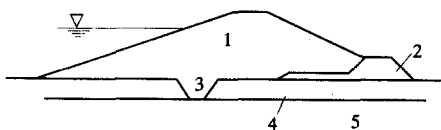


图 2-1 均质土坝

1—均质土；2—坝趾排水体；3—截水槽；
4—覆盖层；5—不透水地基

(2) 土质防渗体土石坝 以防渗性较好的土石料做防渗体，坝体其余部分用透水料（砂、砂砾料或堆石料）填筑。其中，防渗体位于坝体中部或稍向上游倾斜的，称为心墙土石坝 [图 2-2 (a)] 或斜心墙土石坝；防渗体位于坝体上游的，称为斜墙土石坝 [图 2-2 (b)]。土质斜墙的上游也可设置较厚的砂砾石层或堆石层。

在粘性土较少、而砂、石料较多的地方，可采用这种坝型。土质斜墙坝与心墙坝相比，斜墙与坝壳之间施工干扰较小，防渗效果也较好，但粘土用量和坝体总工程量一般比心墙坝大些，并且其抗震性能和对不均匀沉陷的适应性也不如心墙坝好。

(3) 人工防渗体土石坝 当坝址附近缺少合适防渗土料而又有充足石、砂料时,可采用钢筋混凝土、沥青混凝土、土工膜等人工材料作防渗体,坝体其余部分由砂砾料或堆石填筑。防渗体可位于坝上游面、中间或中间偏上游(图 2-3)。常见的坝型有钢筋混凝土面板坝、沥青混凝土面板坝、沥青混凝土心墙坝和土工膜防渗土石坝。

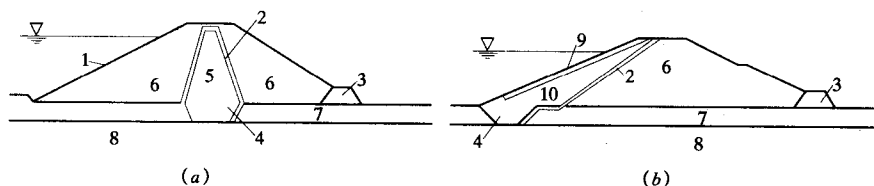


图 2-2 土质防渗体土石坝

(a) 心墙土石坝; (b) 斜墙土石坝

1—块石护坡; 2—反滤层; 3—坝趾排水体; 4—截水槽; 5—土质心墙; 6—砂砾料或堆石; 7—覆盖层; 8—不透水地基; 9—斜墙保护层; 10—土质斜墙

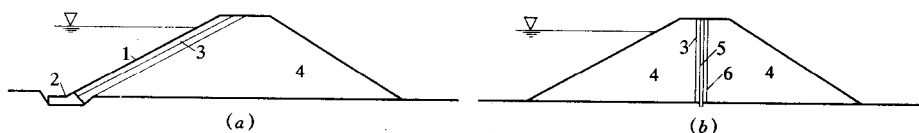


图 2-3 人工防渗体土石坝

(a) 面板堆石坝; (b) 心墙土石坝

1—人工防渗材料面板; 2—趾板; 3—垫层及过渡区;
4—堆石或砂砾料; 5—人工防渗材料心墙; 6—垫层

近二三十年来,由于采用振动碾压堆石,使得混凝土面板堆石坝获得很大发展。面板坝坝体较小,运用安全,施工维修也较方便,在地质条件较好,又有适宜石料的情况下,防渗面板坝是一种经济安全的坝型。

由于刚性心墙与两侧填土的弹性模量相差较大,地震时两者的变形差较大,易于引起振动破坏。因此,在设计烈度为 7 度及 7 度以上的地震区不宜修建刚性心墙坝。

随着人工合成材料的发展,用土工膜的土石坝逐渐兴起。土工膜不仅防渗性能好,而且具有质量轻、柔性好、强度高、耐磨、施工简便等优点。土工膜最常见的破坏是被硬物刺穿,针对这种情况,目前工程中采用的多为由土工织物和土工膜在工厂加工复合而成的复合土工膜。这种整体结构改善了单一土工膜的工程特性(如抗拉强度、顶破及穿刺强度、摩擦特性等),简化了施工程序,因而复合土工膜是用于土石坝防渗的理想材料。

(4) 过水土石坝(图 2-4) 按坝体主要材料的不同可分为过水堆石坝和过水土坝。当坝址没有适宜的地形地质条件布置岸边溢洪道时,在单宽流量不大、消能可靠的条件下,经过技术经济比较后,小型水库工程可以采用过水土石坝解决泄洪问题。

过水土石坝坝顶过流时的工作条件比较复杂,因为当坝较高、流量较大、流速超过一定值时,面板所受的负压(脉动压力)增大,如面板不平会引起较大的动水压力,将直接影响溢流护面的稳定性,并可能危及坝的安全。因此,必须慎重对待。

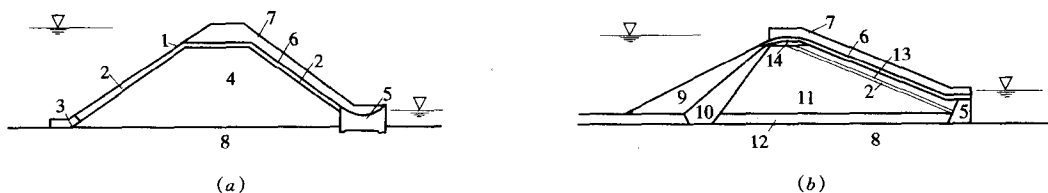


图 2-4 过水土石坝

(a) 过水堆石坝；(b) 过水土坝

1—混凝土防渗斜墙；2—垫层；3—趾板；4—堆石；5—混凝土墩；6—混凝土溢流面板；7—导流墙；
8—岩石地基；9—保护层；10—土质斜墙；11—砂砾料；12—覆盖层；13—干砌块石；14—堰体

第二节 土石坝的剖面尺寸与构造

一、土石坝的剖面尺寸拟定

土石坝的剖面尺寸主要是指：坝坡大小、坝顶宽度和坝顶高程。

(一) 坝坡

土石坝的坝坡取决于坝型、坝高、坝体和坝基材料的性质、坝体所承受的荷载以及坝的施工情况和运用条件等因素。设计中可类比已建工程的经验初拟坝坡，再进行坝坡稳定计算，使确定的坝坡满足稳定要求。

一般情况下，上游坝坡经常浸在水中，工作条件不利，所以当上下游坝坡采用同一种土料时，上游坝坡比下游坝坡缓。心墙坝上下游坝壳多采用强度较高的非粘性土填筑，所以坝坡一般比均质坝陡。塑性斜墙坝上游坝坡较缓，下游坡则和心墙坝相仿。地基条件好、土料碾压密实的，坝坡可以陡些，反之则应放缓。当坝高大于 10~13m 时，可分级采用不同的坡度，对于粘性土料占坝体大部分的土坝，一般坝坡为上陡下缓，而对于非粘性土占坝体大部分的土坝，可采用一个坡度。在变坡处可根据需要确定是否设置马道，其宽度不小于 1.0m，每级马道的高差可采用 8~12m。

初拟坝坡时，可参考表 2-1 数据，砂性土取较陡值，粘性土取较缓值。

表 2-1 土坝坝坡比参考值

坝高 (m)	<10	10~20	20~30
上游坝坡	1:2.00~1:2.50	1:2.25~1:2.75	1:2.50~1:3.00
下游坝坡	1:1.50~1:2.00	1:2.00~1:2.50	1:2.25~1:2.75

(二) 坝顶宽度

当坝顶有交通要求时，路面宽度宜按公路标准确定，否则可根据施工和运行检修时设备通行的要求及构造要求确定。坝高小于 30m 的低坝坝顶宽度可采用 3~6m。

(三) 坝顶高程

坝顶高程应在水库静水位（正常运用情况或非常运用情况）以上，并必须有足够的超

高。坝顶超高按下式确定

$$Y = R + e + A \quad (2-1)$$

$$R = 3.2K_{\Delta}(2h_l)\operatorname{tg}\alpha$$

$$2h_l = 0.0166v^{5/4}D^{1/3}$$

式中 Y ——坝顶在静水位以上的超高, m;
 R ——风浪沿着坝坡的最大爬高, m, 波浪爬高的计算, 以采用莆田试验站公式为宜, 详见土石坝设计规范, 对小型水库工程, 可用上述经验公式计算;
 e ——风壅水面高度, 即风壅水面超出原库水位的高度, 小型土石坝 e 值很小, 通常忽略不计;
 A ——安全加高, m, 按表 2-2 采用;
 K_{Δ} ——坝坡的糙率渗透性系数, 沥青混凝土护面取 1.0, 混凝土板护面取 0.9, 砌石护面取 0.75~0.80, 抛石护坡取 0.50~0.65;
 $2h_l$ ——波高, m;
 α ——静水位处坝的坡角, ($^{\circ}$);
 v ——库水位上空 10m 处的风速, m/s, 正常运用条件下采用多年平均最大风速的 1.5 倍, 非常运用条件下采用多年平均最大风速;
 D ——计算风区长度, km, 取坝前沿至对岸的最大直线距离, 但以 5 倍平均水面宽度为限。

本式适用于 $v < 20\text{m/s}$, $D < 20\text{km}$ 的情况。

坝顶高程应分别按以下情况计算, 取其

最大值: ①正常蓄水位或设计洪水位加正常运用情况的坝顶超高; ②校核洪水位加非常运用情况的坝顶超高; ③正常蓄水位加非常运用情况的坝顶超高加地震涌浪高。

表 2-2 安全加高 A

运用情况	坝 的 等 级			
	I	II	III	IV、V
正常	1.5	1.0	0.7	0.5
非常	0.7	0.5	0.4	0.3

在地震区, 地震涌浪高度可根据设计烈

度和坝前水深采用 0.5~1.0m。竣工时的坝顶高程应预留沉降量。沉降量应根据坝基和坝体材料的性质通过计算或类比确定。因地震时会引起附加沉降, 故在地震区可适当加大预留沉降量。

当坝顶上游侧设有稳定、坚固、不透水且与坝的防渗体紧密结合的防浪墙时, 可利用防浪墙抵御风浪, 坝顶超高可改为对防浪墙顶的要求。但在正常运用情况下, 坝顶应高出静水位至少 0.5m; 在非常情况下, 坝顶应不低于静水位。防浪墙高度 (坝顶以上部分) 可采用 1.0~1.2m。

二、土石坝的构造

(一) 坝顶构造

坝顶一般都做护面, 可采用碎石, 砂砾石或铺渣油, 以防雨水冲刷。如作交通用, 则应满足道路的设计要求。

在坝顶上游侧可以设置防浪墙。防浪墙可采用浆砌石或混凝土预制块砌筑, 应有足够

的坚固性，且底部应与防渗体紧密结合，墙身应设置伸缩缝。混凝土面板堆石坝的防浪墙一般兼有挡水作用，故伸缩缝内应设止水。在坝顶下游侧宜设置路缘石，结合坝顶排水，路缘石应设置排水口。坝顶路面可向上、下游分别倾斜 2%~3%，当设防浪墙时，只向下游倾斜。如有条件，可在坝顶上游侧设置照明设备（图 2-5）。

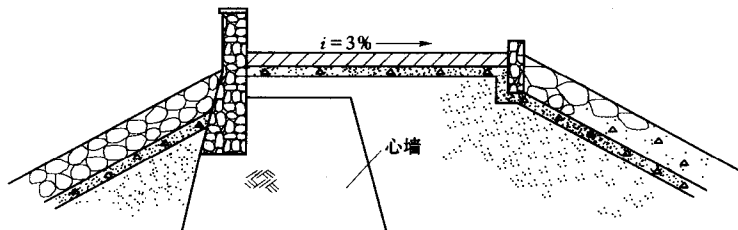


图 2-5 坝顶构造（单位：m）

（二）防渗体

设置防渗体的目的是：减少通过坝体和坝基的渗漏量，降低浸润线（坝体内渗流的水面线叫浸润线，如图 2-6 所示），以增加下游坝坡的稳定性；降低渗透坡降以防止渗透变形。土石坝的防渗措施应包括坝体防渗、坝基防渗及坝体与坝基、岸坡及其他建筑物连接的接触防渗。下面仅介绍坝体防渗，后两部分放在本章第六节中阐述。

均质坝因坝体土料透水性较小，本身就是一个防渗体。除均质坝外，一般土石坝均应设置专门的坝体防渗体。



图 2-6 浸润线

（1）土质防渗体 为防止库水越过防渗体，所以土质防渗体（土质心墙或斜墙）顶部高程应高出正常运用的静水位 0.3m 以上。非常运用情况应不低于非常运用的静水位，如防渗体

顶部与防浪墙紧密连接，可不受此限，但此时防渗体顶部不应低于正常运用的静水位。土质防渗体自上而下逐渐加厚，顶部宽度按构造和施工要求确定，且不宜小于 1.5m；底部厚度根据允许渗透坡降确定（允许渗透坡降：轻壤土为 2~4，壤土为 3~5，粘土为 5~7），但不得小于 3.0m。土质心墙、斜墙的顶部及土质斜墙的上游均应设砂性土保护层。其厚度应大于冻结和干燥深度，一般不小于 1.0m。防渗体两侧应设反滤层或过渡层。

（2）土工膜 在岩土工程中用于防渗的合成材料称为土工膜。为保护土工膜免遭损坏，应在土工膜上面铺设保护层，其下设置支持层。保护层分面层和垫层。面层应防御风浪淘刷，垫层应保护土工膜不被刺破。保护层的厚度应能保护土工膜不受紫外线的辐射。支持层的作用是使土工膜受力均匀，免受局部集中应力而破坏，支持层应采用透水材料填筑，能通畅排除通过土工膜的渗水。防渗土工膜应与坝基、岸坡或其他混凝土建筑物形成封闭的防渗系统，应做好周边缝的处理，其结构尺寸应能满足渗透坡降和变形的要求。

（三）坝体排水设施

坝体排水设施的作用是排除坝体渗水，降低浸润线及孔隙压力，防止坝坡冻胀破坏与渗透变形，增加下游坝坡的稳定性。常见的形式有以下几种：

(1) 棱体排水 [图 2-7 (a)] 适用于下游有水的情况, 其顶部高程应超出下游最高水位 0.5m 以上, 同时应保证坝体浸润线与坝面的最小距离大于本地区的冻结深度。棱体内坡可取 1:1.0, 外坡取 1:1.5 或更缓, 棱体顶宽应满足施工和观测需要, 不宜小于 1.0m。这种排水设备能降低浸润线, 防止坝坡冻胀和渗透变形, 保护下游坝脚不受尾水冲刷, 且有支持坝体稳定的作用, 比较可靠, 但石料用量较大。土石坝的河槽部分常用这种排水体。

(2) 贴坡排水 [图 2-7 (b)] 顶部应高出浸润线逸出点 1.5m 以上, 且应使坝体浸润线在冻结深度以下。排水设备的厚度应大于冻结深度, 其下部与坝脚排水沟相接。这种排水设备不能降低浸润线, 但用料较少, 便于检修, 能防止浸润线逸出点以下坝坡产生渗透变形, 适用于浸润线较低的坝和下游无水的中小型土石坝。

(3) 坝内排水 [图 2-7 (c)] 包括褥垫排水、竖向排水、网状排水等。这种排水设备适用于下游无水的情况, 排水体深入坝体内部, 能有效地降低浸润线。其缺点是石料用量较多, 造价高, 检修困难, 与坝体施工干扰大。坝内排水往往是由几种排水结合起来使用的, 如褥垫排水和竖向排水结合, 褥垫排水与水平排水及竖向排水结合等。

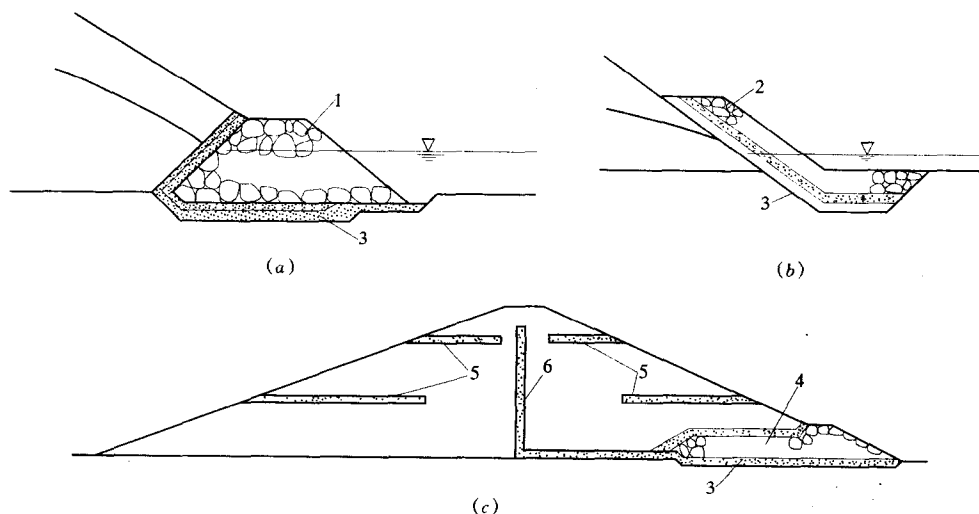


图 2-7 坝体排水

(a) 堆石棱体排水; (b) 贴坡排水; (c) 坝内排水

1—堆石; 2—干砌石; 3—反滤层; 4—褥垫排水; 5—水平排水; 6—竖向排水

(四) 护坡及坝面排水

(1) 护坡 上游护坡可采用抛石、干砌石、浆砌石、混凝土块(板)或沥青混凝土, 其中以干砌块石护坡最常用。根据风浪大小, 干砌石护坡可采用单层砌石或双层砌石, 单层砌石厚约 0.3~0.5m, 双层砌石厚约 0.4~0.6m, 下面铺设 0.15~0.25m 厚的碎石或砾石垫层。护坡范围: 上至坝顶, 下至水库最低水位 1.5m 以下, 不高的坝常护至坝底。在马道及坡脚应设置基座以增加稳定性 (图 2-8)。

下游护坡可采用草皮、碎石或块石等, 其中草皮护坡是最经济的形式之一。下游坝面