

国家示范院校重点建设专业

水利水电建筑工程专业课程改革系列教材

土坝设计与施工

◎ 主 编 潘孝兵
◎ 副主编 吴长春 雷金松
◎ 主 审 王本法

11.2
)



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

国家示范院校重点建设专业

水利水电建筑工程专业课程改革系列教材

土坝设计与施工

- ◎ 主 编 潘孝兵
- ◎ 副主编 吴长春 雷金松
- ◎ 主 审 王本法

2



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材为国家示范院校重点建设专业——水利水电建筑工程专业的系列教材之一，由安徽水利水电职业技术学院专业教师联合安徽水利建筑工程安装总公司的有关专业技术骨干，以安徽省及华东区域已建、在建、病险水库加固的水利枢纽工程为载体，以专业核心能力（水利工程设计与施工能力）训练为目的而编写的。本教材内容包括：土石坝设计与施工的相关资料收集；枢纽布置与工程等别的确定；土石坝设计；溢洪道设计；土石坝施工等项目。每个项目由设计或施工方法及案例构成，供学生在学习完理论知识的情况下加强实践性训练。

本教材适用于水利水电建筑工程、水利工程、城市水利、治河与防洪等专业，并可用于成人专科学校以及普通本科院校的高等职业技术学院同类专业教学，还可供水利水电工程技术人员参考。

图书在版编目（C I P）数据

土坝设计与施工 / 潘孝兵主编. — 北京：中国水利水电出版社，2010.3

（国家示范院校重点建设专业、水利水电建筑工程专业课程改革系列教材）

ISBN 978-7-5084-7325-3

I. ①土… II. ①潘… III. ①土坝—设计—高等学校：技术学校—教材②土坝—工程施工—高等学校：技术学校—教材 IV. ①TV641.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第039968号

书 名	国家示范院校重点建设专业 水利水电建筑工程专业课程改革系列教材 土坝设计与施工
作 者	主 编 潘孝兵 副主编 吴长春 雷金松 主 审 王本法
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市地矿印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 8印张 195千字
版 次	2010年3月第1版 2010年3月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	17.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本教材是国家示范院校重点建设专业——水利水电建筑工程专业的课程改革成果之一。本教材根据改革实施方案和课程改革的基本思想,根据专业教学计划配套编制而成。通过分析土坝设计与施工的工作过程,结合岗位要求和职业标准,将原学科体系进行重构成专业体系;通过五个实训单元(包括若干个案例),把土坝设计与施工中所需要的知识、能力和素质进行强化,该学习领域共 150 学时(约 5 周)。

本教材在编写过程中,突出了“以就业为导向、以岗位为依据、以能力为本位”的思想。每一项目由设计或施工方法及案例构成,供学生在学习完理论知识的情况下,加强实践性学习,提高对理论知识的理解。

本教材由安徽水利水电职业技术学院潘孝兵主编并统稿,由安徽水利建筑工程安装总公司第一分公司王本法主审。具体编写分工如下:安徽水利建筑工程安装总公司雷金松编写项目 1,安徽水利水电职业技术学院潘孝兵编写项目 3,安徽水利水电职业技术学院关水平编写项目 4,安徽水利水电职业技术学院朱英明编写项目 2,安徽水利水电职业技术学院吴长春编写项目 5。

在本教材编写过程中,专业建设团队的各位领导(学校专业带头人及企业施工技术总工)和全体老师提出了许多宝贵意见,学院及教务处领导也给予了大力支持,同时得到安徽省水利建筑安装总公司的积极参与和大力帮助,在此表示最诚挚的感谢。

本教材在编写中引用了部分规范、专业文献和资料,恕未在书中一一注明。在此,向有关作者表示诚挚的谢意。

本教材的内容体系是专业改革建设中的一次尝试,同时限于作者水平,编写时间较紧,不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编者

2010 年 1 月

前言

项目 1 土石坝设计与施工的相关资料收集	1
项目 2 枢纽布置与工程等别的确定	3
2.1 工程等别、建筑物级别的确定	3
2.2 坝址与坝型的选择、枢纽布置	4
项目 3 土石坝设计	6
3.1 土石坝剖面设计	6
3.1.1 坝体剖面尺寸确定	6
3.1.2 土石坝构造	9
3.2 土石坝渗流分析	16
3.2.1 渗流的分析的目的、方法及计算情况	16
3.2.2 渗流分析的水力学法	17
3.2.3 渗流分析的手绘流网法（主要介绍流网的特性与应用）	22
3.2.4 土石坝的渗透变形及其防止措施	24
3.3 土石坝稳定分析	30
3.3.1 概述	30
3.3.2 荷载组合及稳定安全系数的标准	30
3.3.3 稳定分析方法	33
3.4 土石坝地基处理	41
3.4.1 砂砾石地基处理	41
3.4.2 细砂地基处理	45
3.4.3 软黏土和黄土地基处理	45
3.4.4 土石坝与坝基、岸坡及其他建筑物的连接	45
3.5 绘制设计图、整理设计报告	46
3.5.1 枢纽概况及工程目的	46
3.5.2 设计基本资料	47
3.5.3 设计任务及基本要求	48
3.6 考核内容与要求	49
3.6.1 考核总体要求	49
3.6.2 项目考核实施方案	49

4.2.2 溢洪道设计	52
4.2.3 溢洪道设计	52
4.2.4 溢洪道设计	52
4.3 溢洪道细部构造	52
4.3.1 正槽溢洪道各组成部分的设计	52
4.3.2 侧槽溢洪道	56
4.4 非常溢洪道	56
4.4.1 漫流式	56
4.4.2 自溃式	56
4.5 绘制设计图、整理设计报告	59
4.6 考核内容与要求	59
项目 5 土石坝施工	61
5.1 施工导流方案的选择	61
5.1.1 施工导流方法	61
5.1.2 导流建筑物	63
5.1.3 导流方案的选择	67
5.2 施工期水流控制	69
5.2.1 截流施工	69
5.2.2 施工排水	72
5.2.3 施工度汛及后期水流控制	74
5.3 土料的开采与运输	76
5.3.1 土方开挖	76
5.3.2 土方运输	81
5.4 碾压式土石坝施工	82
5.4.1 料场规划	82
5.4.2 坝面作业施工组织	83
5.4.3 施工质量控制及检查	92
5.4.4 土方工程冬、雨期施工措施和安全措施	92
5.5 面板堆石坝施工	96
5.5.1 趾板施工	96
5.5.2 堆石填筑	97
5.5.3 面板施工	97
5.6 土石坝施工质量控制	98
5.6.1 料场的质量检查和控制	99
5.6.2 坝面的质量检查和控制	99
5.7 施工进度计划编制与资源使用计划	100
5.7.1 进度计划概述	101
5.7.2 施工总进度计划的编制	101

5.7.3 资源需要量使用计划	103
5.8 施工总体布置	106
5.8.1 施工总布置内容及布置原则	107
5.8.2 施工总平面的布置	107
5.8.3 施工总布置的优化及设计成果	108
5.9 考核内容与要求	111
附图	112
附图1 定杨水库枢纽地形图	112
附图2 定杨水库地质剖面图	113
附图3 定杨水库枢纽布置图	114
附图4 大坝设计标准断面图 (1/3)	115
附图5 大坝防渗加固布置图	116
附图6 大坝细部构造	117
附图7 溢洪道布置图	118
附图8 溢洪道布置图 (纵剖面图)	119
参考文献	120

项目 1 土石坝设计与施工的相关资料收集

知识与技能要求：熟悉土石坝设计与施工资料收集的内容和要求。

水工建筑物相对其他建筑物较为复杂，它除受使用要求和地质条件的限制外，还受到地形、建筑材料、水文、气象、防洪要求、渗流等因素的影响，土石坝设计与施工前要收集与之有关的全部资料。

(1) 建筑物的设计要求：兴利要求和除害要求，如发电、灌溉、给水和防洪要求等。

(2) 地形、地质资料：包括坝址的位置、当地的地形图；坝址的地质构造（如断层、岩层走向、岩层稳定性）、地基承载力、渗漏情况等。

(3) 水文、气象资料：建筑物的控制的流域面积、年降雨量、河流的洪峰流量、流域内年平均气温、多年平均最大风速等。

(4) 建筑材料：建筑物需要的材料储量、性质、位置和运距等。

(5) 相关建筑材料的市场价格。

工程实例：定杨水库设计资料收集

1. 工程设计要求

定杨水库位于某县范岗乡定杨村境内，属淮河流域池河水系桑涧河上游。水库集水面积 9.44km^2 ，总库容约 418万 m^3 。

定杨水库是一座以农业灌溉为主，兼防洪、养殖等综合利用的小（1）型水库。其承担的主要任务是：

(1) 灌溉效益：定杨水库主要灌溉定杨村、吴陶、杨东、杨西、前王等七个村民组及范岗村部分村民组。水库灌区设计灌溉面积 0.4万亩 。

(2) 防洪效益：水库下游为定杨村、范岗村数个村民组，以及合蚌公路和几条重要的通信光缆，水库下游保护耕地 0.6万亩 ，人口 0.23万 。定杨水库防洪任务十分重要，通过滞洪削峰作用，保障了下游劳武和桑涧两座水库安全运行，可以适当减轻池河防洪压力。

水库枢纽工程拟由大坝、正常溢洪道和南、北 2 座放水涵洞等组成。

2. 地形、地质资料

(1) 定杨水库枢纽地形图见附图 DY/SG—01。河槽偏右岸，在河流的右岸山坡有一山凹口。

(2) 定杨水库坝址地质条件如下。勘察所揭示坝基由：

1) 层重粉质壤土 (Q_4^1)，局部夹杂中粉质壤土，灰~青灰色，软塑~软可塑，湿~饱和，属中偏高压缩性土，主要分布在老河道附近，层厚 $0.9\sim 3.0\text{m}$ ，平均厚度 1.45m ；层底分布高程 $80.64\sim 84.49\text{m}$ 。

2) 层重粉质壤土 (Q_3^1)，局部夹杂粉质黏土或中粉质壤土，含铁锰质、钙质结核，灰黄色~棕黄色，可塑~硬可塑，湿；属低压缩性土。本层分布较广，底部有一层砾质黏土层，主要含砾砂、砾石、铁锰质、钙质结核，从上到下含量逐渐变大，最高含量达



30%以上,最大粒径达 30mm 左右,灰黄~棕黄色,硬塑,湿,属低压缩性土。厚度不等,一般 0.3~0.5m。

3) 层中生界白垩系上统响导铺组 (K_2X^2) 细砂岩,上部全风化,棕褐、棕黄色,呈土夹碎石状,新鲜岩石属硬质岩石。

除右岸山坡局部有 3m 风化漏水岩层外坝基不存在特殊土引起的工程地质问题,工程地质条件较好。

定杨水库地质剖面图见附图 DY/SG-02。

3. 水文、气象资料

定杨水库地处北亚热带湿润季风气候,气候较温和,无霜期长,雨量适中,梅雨季节明显,日照充足,四季分明,严冬期短,气候条件较优越。历年最高气温 41°C ,最低气温 -14.6°C ,多年平均气温 14.8°C ,1 月份最低月平均气温为 1.9°C ,7、8 月份最高,月平均为 27.8°C 。

定杨水库建库前后均无任何实测径流资料,参考附近流域水库资料根据水量平衡推算的年径流深成果,求得定杨水库多年平均年径流深为 175mm,多年平均年径流系数为 0.2,多年平均年径流量为 165 万 m^3 。

由于定杨水库无实测洪水资料,附近也没有可引用的实测洪水资料,现根据《水利水电设计洪水计算规范》(SL 44-2006)的有关规定,采用暴雨资料间接推求设计洪水。

定杨水库设计洪水标准采用主要建筑物为 50 年一遇洪水设计,500 年一遇洪水校核;消能防冲设施为 20 年一遇洪水设计。水库正常蓄水位为 91.20m,设计洪水位为 92.11m,校核洪水位为 92.63m。

4. 建筑材料

坝址 1km 范围内壤土储量丰富,土料渗透系数为 $1.26 \times 10^{-3} \text{cm/s}$;砂砾料和块石可从右岸山坡开采。

5. 相关建筑材料的市场价格

相关建筑材料的市场价格由建设方在编制预算时提供。

项目 2 枢纽布置与工程等级的确定

2.1 工程等级、建筑物级别的确定

知识与技能要求：了解工程分等分级的意义；掌握工程分等分级的方法。

1. 水利水电工程等级划分

根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252—2000)的规定，水利水电工程根据其工程规模、效益以及在国民经济中的重要性，划分为I、II、III、IV、V五等，适用于不同地区、不同条件下建设的防洪、灌溉、发电、供水和治涝等水利水电工程，见表 2.1。

表 2.1 水利水电工程分等指标

工程等级	工程规模	水库总库容 (亿 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 (万亩)	治涝面积 (万亩)	灌溉面积 (万亩)	供水对象 重要性	装机容量 (万 kW)
I	大(1)型	≥10	特别重要	≥500	≥200	≥150	特别重要	≥120
II	大(2)型	10~1.0	重要	500~100	200~60	150~50	重要	120~30
III	中型	1.0~0.10	中等	100~30	60~15	50~5	中等	30~5
IV	小(1)型	0.1~0.01	一般	30~5	15~3	5~0.5	一般	5~1
V	小(2)型	0.01~0.001		<5	<3	<0.5		<1

对于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的最高等别确定。

2. 水工建筑物的级别

水利水电工程中水工建筑物的级别，反映了工程对水工建筑物的技术要求和安全要求。应根据所属工程的等别及其在工程中的作用和重要性分析确定。

(1) 永久性水工建筑物级别。水利水电工程的永久性水工建筑物的级别应该根据建筑物所在工程的等别，以及建筑物的重要性确定为五级，分别为 1 级、2 级、3 级、4 级、5 级，见表 2.2。

表 2.2 永久性水工建筑物级别

工程等级	主要建筑物	次要建筑物	工程等级	主要建筑物	次要建筑物
I	1	3	IV	4	5
II	2	3	V	5	5
III	3	4			

堤防工程水工建筑物的级别，应按照《堤防工程设计规范》(GB 50286—98)确定。

(2) 临时性水工建筑物级别。对于临时性水工建筑物的级别，按表 2.3 确定。对于同时分属于不同级别的临时性水工建筑物，其级别应按照其中最高级别确定。但对于 3 级临



时性水工建筑物，符合该级别规定的指标不得少于两项。

表 2.3

临时性水工建筑物级别

级别	保护对象	失 事 后 果	使用年限 (年)	临时性水工建筑物规模	
				高度 (m)	库容 (亿 m 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、交通干线或影响总工期及第一台(批)机组发电,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

(3) 水工建筑物级别的提高。

1) 对于 2~5 级的永久性水工建筑物,若失事后造成巨大损失,或者对水利水电工程造成十分严重影响的,经过论证并报主管部门批准,其级别可提高一级;2 级或 3 级挡水建筑物,如果坝高超过规定的指标,其级别可提高一级,但洪水标准不予提高;当永久性水工建筑物基础的工程地质条件复杂时,其基础设计参数不易准确确定,或者采用新型结构,对于 2~5 级的建筑物,其级别可以提高一级,但洪水标准不予提高。

2) 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以提高一级。

(4) 水工建筑物级别的降低。对于失事后造成损失不大的水利水电工程,其 1~4 级主要永久性水工建筑物的级别,经过论证并报主管部门批准,可降低一级。

工程实例:定杨水库枢纽布置与工程等别的确定

1. 枢纽工程设计标准

定杨水库总库容 418 万 m³,水库灌区设计灌溉面积 0.4 万亩,最大坝高 10m 左右。根据《防洪标准》(GB 20201-94)和《水利水电工程等级划分及洪水标准》(见表 2.1、表 2.2),定杨水库属小(1)型水库,工程等别为Ⅳ等,主要永久建筑物级别为 4 级。定杨水库设计标准采用 50 年一遇洪水标准设计、500 年一遇洪水标准校核。

2. 消能防冲设计标准

根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252-2000),定杨水库溢洪道消能防冲建筑物的洪水标准按 20 年一遇洪水设计。

2.2 坝址与坝型的选择、枢纽布置

知识与技能要求:了解影响土坝坝址、坝型选择的因素;熟悉枢纽布置的基本要求。

坝址的选择要考虑工程量的大小、设计与施工的难度、交通和枢纽建筑物的布置是否合理等因素;坝型的选择要考虑地形地质条件、建筑材料储量、施工条件等因素;枢纽布置尽量使建筑物运行合理,同时考虑建筑物的工程量及运行管理方便。



1. 坝址的选择

工程量方面,首先要选择地质条件好的地方,以降低地基处理的难度,减少地基处理的工程量;再考虑坝轴线的长短,以减少建筑材料的施工方量。

从设计与施工的难度考虑,应选择适合建设结构简单的水工建筑物(如均质土坝)的坝址,使工程设计简单、施工方便、工期短。

交通方面,尽量使新修的道路短,且少架桥梁,使建筑材料和设备的运输方便。

枢纽建筑物的布置方面,选择坝址时应考虑挡水建筑物、泄水建筑物、取水建筑物和专门建筑物都能布置合理,相互不产生大的影响,且各自的工程量较小。土坝枢纽特别要考虑河岸溢洪道的布置,最好能布置开敞式正槽溢洪道。

2. 坝型的选择

地形方面,土石坝对地形的适应性强,可以建在任何地形条件下。如果是拱坝,就要求是深而窄的U形或V形河谷。

地质方面,石坝对地质的适应性也很强,可以建在除淤泥地基以外的任何地形条件下。如果是重力坝或拱坝,就要求建在新鲜的或微风化的岩石地基上。

建筑材料储量,筑坝材料的储量一般是坝体需求的2~2.5倍以上。黏性土(土壤最好)丰富时适宜建均质坝,砂砾石丰富时适宜建心墙或斜墙坝,只有石料时适宜建堆石面板坝或混凝土坝。

3. 枢纽布置

土坝枢纽建筑物包括土坝、河岸溢洪道和取水建筑物,它们的相对位置要求是使建筑物之间相互不产生大的影响。如溢洪道进出口远离土坝坝脚,以防堆坝体产生冲刷;取水建筑物远离溢洪道布置,最好分别布置在左右岸,在引水时不受溢洪道的影响,同时取水口还应远离流向水库的河谷,以免受到河流泥沙的淤塞。

为了方便枢纽建筑物的运行管理,各个枢纽建筑物应相对集中布置。

工程实例:定杨水库坝址与坝型的选择、枢纽布置

1. 坝址的选择

根据定杨水库的地形与地质资料,初拟的坝轴线地质条件较好,坝轴线短,右岸的山凹口有利于溢洪道的布置,取水建筑物可采用坝下涵管布置在左右岸,施工场地开阔,交通条件好,是理想的坝轴线。

2. 坝型的选择

坝轴线上,除右岸山坡局部有3m风化漏水岩层外坝基不存在特殊土引起的工程地质问题,工程地质条件较好;坝址1km范围内壤土储量丰富,土料渗透系数为 1.26×10^{-3} cm/s;砂砾料和块石可从右岸山坡开采,可以建均质土坝。另外,均质土坝结构简单、施工方便、工期短。确定采用均质土坝,考虑筑坝土料渗透系数较大,经初步验算,渗流量较大,均质坝坝体成型后在轴线方向用黏土井柱形成一道防渗体。

3. 枢纽布置

定杨水库的正常溢洪道位于大坝南端(右岸)的山凹口处,采用开敞式正槽溢洪道工程量较小;南放水涵位于大坝南端,坐落于岩基上,底板高程在死水位以下;北涵位于大坝北侧,底板高程高于死水位1m,灌溉左岸高处农田。枢纽建筑物之间相互不影响且较集中。

定杨水库枢纽布置见附图DY/SG-03。

项目3 土石坝设计

3.1 土石坝剖面设计

知识与技能要求：掌握土坝剖面尺寸和构造拟定的方法；能进行土坝剖面尺寸和构造拟定。

土石坝的基本剖面根据坝高、坝的等级、坝型、筑坝材料、坝基、施工以及运行条件等，参照现有工程的实践经验初步拟定，然后通过渗流和稳定分析，最终确定合理的剖面形状。由于土石坝的基本剖面是梯形，所以土石坝剖面的基本尺寸主要包括：坝顶高程、坝顶宽、上下游坝坡、坝顶构造尺寸、坝体防渗排水及反滤层构造尺寸、坝面（坡）排水构造尺寸等。

3.1.1 坝体剖面尺寸确定

1. 坝顶高程确定

坝顶高程等于正常运用和非常运用的静水位加相应的超高。

$$y=R+e+A \quad (3-1)$$

$$e=\frac{Kv_0^2D}{2gH_m}\cos\beta \quad (3-2)$$

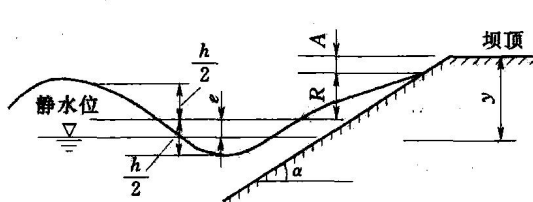


图 3.1 坝顶超高计算图

式中：y 为坝顶超高（m）；R 为最大波浪在坝坡上的爬高（m）；e 为最大风壅水面高度，即风壅水面超出原库水位高度的最大值（m）；H_m 为坝前水域平均水深（m）；K 为综合摩阻系数，其值变化在 1.5×10⁻⁶~5.0×10⁻⁶ 之间，计算时一般取 K=3.6×

10⁻⁶；β 为风向与水域中线（或坝轴线法线）的夹角，（°）；v₀、D 为水面以上 10m 处 10min 的多年最大风速（m/s）平均值和吹程（km）；A 为安全加高（m）。

表 3.1

安全加高 A

单位：m

坝的级别		1	2	3	4、5
设计		1.50	1.00	0.70	0.50
校核	山区、丘陵区	0.70	0.50	0.40	0.30
	平原、滨海区	1.00	0.70	0.50	0.30

波浪爬高。波浪沿建筑物坡面爬升的垂直高度（由风壅水面算起）称为波浪爬高，如图 3.1 中 R 所示。它与坝前的波浪要素（波高和波长）、坝坡坡度、坡面糙率、坝前水深、风速等因素有关。波浪爬高 R 的计算，土石坝设计规范推荐采用蒲田试验站的公式，其具体计算方法如下：

（1）平均爬高 R_m。



当坝坡系数 $m=1.5\sim 5.0$ 时,

$$R_m = \frac{K_\Delta K_w}{\sqrt{1+m^2}} \sqrt{h_m L_m} \quad (3-3)$$

当 $m \leq 1.25$ 时,

$$R_m = K_\Delta K_w R_0 h_m \quad (3-4)$$

式中: R_0 为无风情况下, 平均波高 $h_m=1.0\text{m}$ 时, 光滑不透水护面 ($K_\Delta=1$) 的爬高值; K_Δ 为斜坡的糙率渗透性系数, 根据护面的类型查表 3.2; m 为单坡的坡度系数, 若单坡坡角为 α , 则 $m=\text{ctg}\alpha$; K_w 为经验系数, 按表 3.3 确定; h_m 、 L_m 为平均波高和波长 (m)。

当 $1.25 < m < 1.5$ 时, 可由 $m=1.25$ 和 $m=1.5$ 的直线内插。

表 3.2 糙率渗透性系数 K_Δ

护面类型	K_Δ	护面类型	K_Δ
光滑不透水护面 (沥青混凝土)	1.0	砌石护面	0.75~0.80
混凝土板护面	0.9	抛填两层块石 (不透水基础)	0.60~0.65
草皮护面	0.85	抛填两层块石 (透水基础)	0.50~0.55

表 3.3 经验系数 K_w

$\frac{v_0}{\sqrt{gH_m}}$	≤ 1	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	> 5.0
K_w	1	1.02	1.08	1.16	1.22	1.25	1.28	1.33

蒲田试验站的波高和波长计算:

平均波高 h_m 用式 (3-5) 计算:

$$\frac{gh_m}{v_0^2} = 0.13 \text{th} \left[0.7 \left(\frac{gH_m}{v_0^2} \right)^{0.7} \right] \text{th} \left\{ \frac{0.0018 \left(\frac{gD}{v_0^2} \right)^{0.45}}{0.13 \text{th} \left[0.7 \left(\frac{gH_m}{v_0^2} \right)^{0.7} \right]} \right\} \quad (3-5)$$

式中: 符号意义同前。

1) 平均周期

$$T_m = 4.438 h_m^{0.5} \quad (3-6)$$

2) 平均波长 L_m 。

当 $H_m/L_m \geq 0.5$ 时, 称为深水波,

$$L_m = \frac{gT_m^2}{2\pi} \quad (3-7)$$

当 $H_m/L_m < 0.5$ 时,

$$L_m = \frac{gT_m^2}{2\pi} \text{th} \frac{2\pi H}{L_m} \quad (3-8)$$

式中: H 为坝迎水面前水深 (m)。

(2) 设计爬高 R 。不同累计频率的爬高 R_P 与 R_m 的比, 可根据爬高统计分布表 3.4 确定。设计爬高值按建筑物的级别而定, 对 I、II、III 级土石坝取累计频率 $P=1\%$ 的爬高值 $R_{1\%}$; 对 IV、V 级坝 $P=5\%$ 的 $R_{5\%}$ 。



表 3.4

爬高统计分布 (R_p/R_m 值)

$P(\%)$ h_m/H_m	0.1	1	2	4	5	10	14	20	30	50
<0.1	2.66	2.23	2.07	1.90	1.84	1.64	1.54	1.39	1.22	0.96
0.1~0.3	2.44	2.08	1.94	1.80	1.75	1.57	1.48	1.36	1.21	0.97
>0.3	2.13	1.86	1.76	1.65	1.61	1.48	1.42	1.31	1.19	0.99

当风向与坝轴线的法线成一夹角 β 时, 波浪爬高应乘以折减系数 K_β , 其值由表 3.5 确定。

表 3.5

斜向坡折减系数 K_β

$\beta(^{\circ})$	0	10	20	30	40	50	60
K_β	1	0.98	0.96	0.92	0.87	0.82	0.76

坝顶高程等于水库静水位与超高之和, 应分别按以下四种情况进行计算: ①设计洪水位+正常运用情况的坝顶超高; ②正常蓄水位+正常运用情况的坝顶超高; ③校核洪水位+非常运用情况的坝顶超高; ④正常蓄水位+非常运用情况的坝顶超高+地震安全加高, 然后取其中最大值为坝顶高程。

坝顶设防浪墙时, 超高值 y 是指静水位与墙顶的高差。

应该指出: 坝顶高程是坝顶沉降稳定后的数值, 竣工时的坝顶高程还应有足够的预留沉降值。对施工质量良好的土石坝, 坝顶沉降值约为坝高的 1%。

2. 坝顶宽度确定

坝顶宽度应根据构造、施工、运行和抗震等因素确定。如无特殊在求, 高坝可选用 10~15m, 中、低坝可选用 5~10m, 5 级土坝坝顶宽度最小可为 4m。同时, 坝顶宽度必须充分考虑心墙或斜墙顶部及反滤层、保护层的构造需要。

3. 坝坡拟定

土石坝坝坡坡度对坝体稳定及工程量大小均起重要作用。坝坡坡度选择一般遵循以下规律:

(1) 上游坝坡长期处于水下饱和状态, 水库水位也可能快速下降, 为了保持坝坡稳定上游坝坡常比下游坝坡为缓, 但堆石坝上、下游坝坡坡率的差别要比砂土料为小。

(2) 土质防渗体斜墙坝上游坝坡的稳定受斜墙土料特性的控制, 所以斜墙的上游坝坡一般较心墙坝为缓。而心墙坝, 特别是厚心墙坝的下游坝坡, 因其稳定性受心墙土料特性的影响, 一般较斜墙坝为缓。

(3) 黏性土料的稳定坝坡为一曲面, 上部坡陡, 下部坡缓, 所以用黏性土料做成的坝坡, 常沿高度分成数段, 每段 10~30m, 从上而下逐渐放缓, 相邻坡率差值取 0.25 或 0.5, 砂土和堆石的稳定坝坡为一平面, 可采用均一坡率。由于地震荷载一般沿坝高呈非均匀分布, 所以, 砂土和石料有时也做成变坡形式。

(4) 由粉土、砂、轻壤土修建的均质坝, 透水性较大, 为了保持渗流稳定, 一般要求适当放缓下游坝坡。



(5) 当坝基或坝体土料沿坝轴线分布不一致时, 应分段采用不同坡率, 在各段间设过渡区, 在坝坡缓慢变化。

土石坝的坝坡初选一般参照已有工程的实践经验拟定 (见表 3.6)。

表 3.6 坝 坡 经 检 尺 寸

类 型		上 游 坝 坡	下 游 坝 坡
土 坝 (坝高, m)	<10	1:2.00~1:2.50	1:1.50~1:2.00
	10~20	1:2.25~1:2.75	1:2.00~1:2.50
	20~30	1:2.50~1:3.00	1:2.25~1:2.75
	>30	1:3.00~1:3.50	1:2.5~1:3.00
分 区 坝	心 墙 坝	堆石 (坝壳)	1:1.7~1:2.7
		土料 (坝壳)	1:1.5~1:2.5
	斜 墙 坝		1:2~1:3.0
人工材料面板坝		石质比心墙坝缓 0.2; 土质缓 0.5	取值比心墙坝可适当偏陡
		1:1.4~1:1.7	1:1.30~1:1.40 (堆石) 1:1.50~1:1.60 (卵石)

碾压式土石坝上下游坝坡常沿高程每隔 10~30m 设置一条马道, 其宽度不小于 1.5m, 用以拦截雨水, 防止冲刷坝面, 同时也兼作交通、检修和观测之用, 还有利用于坝坡稳定。马道一般设在坡度变化处。碾压堆石坝下游坝坡常设 1~2 条马道。土质防渗体分区坝和均质坝上游坡宜少设马道。非土质防渗体面板坝上游不宜设马道。

3.1.2 土石坝构造

1. 坝顶构造

坝顶一般都做护面, 护面的材料可采用碎石、单层砌石、沥青或混凝土, IV 级以下的坝也可以采用草皮护面。如有公路交通要求, 还应满足公路路面的有关规定。

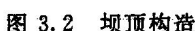
坝顶上游侧常设防浪墙, 防浪墙应坚固而不透水, 可用混凝土或浆砌石修建。墙基要与坝体防渗体可靠的连接起来, 以防高水位时漏水。防浪墙的高度一般为 1.0~1.2m。下游侧宜设缘石。为了排除雨水, 坝顶应做成向一侧或两侧倾斜的横向坡度, 坡度宜采用 2%~3%。对于有防浪墙的坝顶, 则宜采用单向向下游倾斜的横坡。在坝顶下游侧设纵向排水沟, 将汇集的雨水经坝面排水沟排至下游 (见图 3.2)。

2. 防渗体

设置防渗设施的目的是: 减少通过坝体和坝基的渗流量; 降低浸润线增加下游坝坡的稳定性; 降低渗透坡降防止渗透变形。土坝的防渗措施应包括坝体防渗、坝基防渗及坝身与坝基、岸坡及其他建筑物连接处的防渗。防渗体主要是心墙、斜墙、铺盖、截水墙等, 它的结构和尺寸应能满足防渗、构造、施工和管理方面的要求。

(1) 黏性土心墙。心墙一般布置在坝体中部, 有时稍偏上游并略为倾斜, 以便于和坝顶的防浪墙相连接; 并可使心墙后的坝壳先期施工, 得到充分地先期沉降, 以避免或减少裂缝。

心墙顶部水平厚度一般不小于 3m, 以便于机械化施工。由于心墙多为黏性土, 材料的抗剪强度低, 施工质量受气候的影响大, 一般不宜做肥厚的心墙。心墙厚度常根据土壤的允许渗透坡降而定, 有时也应考虑降低下游浸润线的需要。《碾压式土石坝设计规范》



1—心墙；2—斜墙；3—回填土；4—路面

规定心墙底部厚度不宜小于作用水头的 $1/4$ 。黏土心墙两侧边坡多在 $1:0.15 \sim 1:0.3$ 之间,有些肥大心墙 $1:0.4 \sim 1:0.5$ 。心墙的顶部应高出设计洪水位 $0.3 \sim 0.6\text{m}$,且不低于校核水位,当有可靠的防浪墙时,心墙顶部高程也不应低于设计洪水位。心墙顶与坝顶之间应设有保护层,厚度不小于该地区的冰冻或干燥深度,同时按结构要求不宜小于 1m 。心墙与坝壳之间应设置过渡层,过渡层的结构虽比反滤层的要求低一些,但也应采用级配良好的、抗风化的细粒石料和砂砾石料,以使整个坝体内应力传递均匀,并保证坝壳的排水效果良好。心墙与地基和两岸必须有可靠的连接。岩石地基上的心墙(见图 3.3),一般还要设混凝土垫座,或修建 $1 \sim 3$ 道混凝土齿墙。齿墙的高度约 $1.5 \sim 2.0\text{m}$,切入岩基的深度常为 $0.2 \sim 0.5\text{m}$,有时还要在下部进行帷幕灌浆。

当坝下有涵管穿过时，要把涵管放在坚固的地基上或垫座上，将心墙适当加厚，并认真填筑密实以确保安全。

(2) 黏土斜墙。黏土斜墙的构造除外型外,其他均与心墙类似。顶厚(指与斜墙上游坡面垂直的厚度)也不宜小于3m。为保证抗渗稳定,底厚不宜小于作用水头的1/5。墙顶应



1—黏土牆；2—墊座；3—混凝土齒牆；4—帷幕灌漿

高出设计洪水位 $0.6 \sim 0.8\text{m}$ ，且不低于校核水位。同样，如有可靠的防浪墙，斜墙顶部也不应低于设计洪水位。为防止斜墙因弯曲、沉降而断裂，其厚度应比仅按渗透稳定条件确定的数值为大。斜墙顶部和上游坡都必须设保护层，以防冲刷、冰冻和干裂。保护层常用砂、砾石、卵石或碎石等砌成，厚度不得小于冰冻和干燥深度，一般用 $2 \sim 3\text{m}$ 。斜墙及保护层的坡度取决于土坝稳定计算