

Н. Н. 罗扎诺夫主编  
水利部 黄河水利委员会科技情报站译  
电力部

# 土石坝



ПЛОТИНЫ  
ИЗ ГРУНТОВЫХ  
МАТЕРИАЛОВ

水利电力出版社

# 土 石 坝

〔苏〕H. H. 罗扎诺夫 主编

水 利  
电力部 黄河水利委员会科技情报站 译

水 利 电 力 出 版 社

# 土 石 坝

〔苏〕H. H. 罗扎诺夫主编

水利电力部黄河水利委员会科技情报站 译

责任编辑 徐 华

•  
水利电力出版社出版

（北京三里河路6号）

河南省虞城县印刷厂印刷

•  
787×1092毫米 32开本 11.875印张 260千字

1986年6月第一版 第一次印刷

印数 0001—6000册 定价2.75元

书号 15143·5839

内 部 发 行

## 内 容 提 要

本书系统分析和综合阐述了苏联国内、外土石坝的设计、施工经验。探讨了不同气候和工程地质条件下现代土石坝的结构及其计算方法。介绍了土石料性质的最新试验成果，包括实验室的和许多大型水利枢纽施工现场的试验成果。对各类土石坝建设中的材料选择与施工方法提出了建议。研究了此类大坝损坏与失事的原因及改建与修复的方法。

本书可供有关设计、施工和运行管理单位的工程技术人员阅读。也可供有关大专院校师生参考。

## 译 者 的 话

土石坝在坝工建设中有着悠久的历史，七十年代以来成为世界上发展最快的一种坝型。苏联的土石坝近年来发展很快，世界上最高的两座土石坝：努列克（坝高300 m）和罗贡（坝高325 m）即在苏联。本书是苏联最新出版的土石坝参考书，它系统分析、综合阐述了苏联国内外近代土石坝的设计、施工经验，在苏联水利界获得了较高的评价。我们希望通过本书的翻译、出版能对我国土石坝建设有所贡献。

全书共分十章。参加译校的同志有：前言、第一章由王佩萸译，徐锐校；第二、三章由尹秀珍译，王佩萸校；第四、五章由王留荣译，陆德福、王佩萸校；第六章由王基柱译，王佩萸校；第七、八、九章由陆德福译，王留荣校；第十章由王佩萸译，徐锐校。

全书由王佩萸、王留荣负责统稿和总校，最后由顾淦臣教授定稿。

## 前 言

苏共26大及5月、11月（1982年）和7月（1983年）几次中央全会的决议均指出，进一步加快水利建设，保证水资源综合利用，满足发电、灌溉、供水、航运、渔业的需求，以及保护水源不致枯竭，是发展国民经济最重要的任务之一。为实现这一任务，必须采用最先进、最经济的建筑结构及施工方法，而要达到这一目的，专家们必须广泛了解现代水工技术的新成就。

近年来在世界坝工建设中，土石坝发展最快。苏联已建成的土石坝有：明格乔乌尔、萨尔桑格、吉萨拉克、维柳依、塔利玛德让、依佐比利涅、恰尔瓦克、努列克等；正在建设的有：科雷姆、罗贡等。国外近年来也建成了大量结构新颖的土石坝。

设计和建造这种重要的，有时是前所未有的巨大工程，要求对土石料的性质进行广泛的科学研究（包括实验室的和施工现场的），对新的计算方法进行研究。现在，在这些研究方面及对这类建筑物的可靠性、经济性的计算论证方面，均已积累了丰富的经验；解决了不同条件下大坝的施工工艺和土石料填筑质量控制的各种问题；对已建成的大坝也积累了大量的原型观测资料。此外，也有了由于设计、施工中对某些因素考虑不够而造成土石坝损坏、失事的实例。

本书对苏联国内外土石坝设计与施工的最新经验进行了概括和阐述。

科技硕士И. С.莫依谢耶夫在评论本书时提出了宝贵的意见，对此作者表示衷心感谢。

# 目 录

## 译者的话

## 前 言

第一章 土石坝概论	1
第一节 对土石坝的基本要求	1
第二节 土石坝的型式和分类	2
第三节 土石坝建设的发展	6
第四节 土石坝的优缺点	14
第五节 对坝基的要求	16
第六节 坝址和坝型选择	18
第二章 对土料的基本要求	23
第一节 碾压土坝的筑坝材料	23
第二节 土石坝和堆石坝支撑棱体的建筑材料	25
第三节 防渗体(干填)材料	32
第四节 冲填式坝的筑坝材料	37
第五节 水中填土筑坝材料	38
第六节 反滤层和排水带的材料	40
第七节 护坡材料	40
第三章 土石料的物理力学特性及其测定方法	42
第一节 概论	42
第二节 土的主要物理性质	43
第三节 土的分类指标	47
第四节 土的矿物成分和化学成分	53
第五节 土的膨胀、收缩和湿陷性	57
第六节 土的压缩性	58



第七节	粘性土的孔隙压力	69
第八节	土的抗剪强度	72
第九节	粘性土的抗拉强度和变形	80
第十节	土的渗透性	83
第十一节	土的设计特性选择	85
第四章	土石坝的构造	88
第一节	坝体外形轮廓	88
第二节	防渗设施	92
第三节	排水设施	111
第四节	护坡	118
第五章	土石坝的计算	127
第一节	坝顶高程计算	127
第二节	护坡计算	135
第三节	渗流计算	141
第四节	孔隙压力计算	152
第五节	土体变形预估	157
第六节	坝坡稳定计算	163
第七节	反滤料级配选择	178
第八节	应力应变状态计算	183
第六章	坝基处理及坝基防渗帷幕	188
第一节	坝体与坝基及混凝土建筑物的连接	188
第二节	坝基处理及地基加固	193
第三节	岩基的防渗帷幕和固结灌浆	196
第四节	非岩基的防渗设施	205
第五节	坝基排水	222
第七章	土石坝的施工	227
第一节	填筑式坝施工	227
第二节	抛投式堆石的施工特点	251
第三节	冲填式坝施工特点	252
第四节	水中填土坝的施工特点	262

第五节	冬季大坝施工特点	268
第八章	特殊条件下的土石坝施工	272
第一节	流水中抛石筑坝和通过未完建坝体泄洪	272
第二节	滤水坝和溢流坝	285
第三节	永久冻土区筑坝	288
第四节	定向爆破筑坝	310
第九章	坝体原型观测	320
第一节	概 论	320
第二节	原型观测的种类和使用的观测仪器	322
第三节	对观测仪器的要求及其在坝体内 布置的基本原则	340
第十章	坝的破坏和失事以及 提高大坝可靠性的途径	345
第一节	概 况	345
第二节	坝体和坝基的集中渗流	346
第三节	坝顶过水	350
第四节	坝体变形、坝坡滑塌及防渗体裂缝	352
第五节	护坡损坏	360
第六节	提高土石坝可靠性的主要途径	362
	参考文献	365

# 第一章 土石坝概论

## 第一节 对土石坝的基本要求

土石坝是应用最广的壅水建筑物，是许多不同用途的水利枢纽的组成部分，广泛应用于水利土壤改良、工业与民用供水及尾矿工程。这类建筑物的主体由细粒土（粘土、砂土）、卵砾块碎石料或人工石料筑成。

卵砾块碎石料指天然的或人工的土石料，粒径大于2mm的结晶岩或水成岩颗粒含量按重量计在50%以上。天然卵砾块碎石料的主要成分是：冲积的和坡积的块石碎石、岩屑、漂石、卵石、砾石等，它们常呈冲积锥的形式存在。人工土石料则包括岩体爆破产生的石块及机械轧制的碎石。

用人工土石料筑坝始于近代。冶金企业的矿渣、焦化厂选煤后的废料等均属于这类材料。

对土石坝的基本要求：

- 1) 坝的坡度应使建筑物及其基础在施工和运行期间，在各种力及一切可能的荷载组合的作用下确保稳定；
- 2) 坝坡和坝顶应有护面，以防波浪、冰块和大气的作  
用；
- 3) 坝体及其各结构和坝基在施工、运行期间的变形应  
不致破坏建筑物的正常工作；
- 4) 大坝设计的渗流量不超过允许的极限值；
- 5) 排水设施应保证汇集、排出渗流水，防止坝体、坝  
基出现渗透变形。

土石坝通常是非溢流的，另设专门的溢流建筑物，如：施工、运行期的泄洪洞，排水孔及取水建筑。极个别情况下，特

殊结构的土石坝才允许顶部过水。

## 第二节 土石坝的型式和分类

按主体建筑物所用的材料分，有细粒土料坝（用均一的或几种渗透性低的细粒土筑成）和卵砾块碎石料坝。

细粒土料坝按施工方法分，有填筑、冲填和半冲填式。

填筑式土坝施工可用分层干填加机械碾压，或水中倒土。

冲填式土坝采用水力机械化施工，即采土、运土和堆土均借水力完成。

半冲填式土坝系部分碾压，部分冲填（中央区或下游坝壳）。

填筑式土坝按其横断面和基础防渗设施结构，以及施工方法的不同，还可作进一步的细分（表1-1，图1-2）。

冲填式土坝按其横断面结构及施工方法亦可进一步细分（表1-2，图1-3，图1-4）。

表 1-1 填筑式土坝的种类

分类标志	种 类
1、按坝体结构 (图 1-1)	1) 均质坝 2) 非均质坝 3) 非土料斜墙坝 4) 土料斜墙坝 5) 塑性心墙坝 6) 刚性心墙坝(隔墙, 板桩)
2、按坝基防渗结构 (图 1-2)	1) 铺盖 2) 截水槽 3) 灌浆帷幕 4) 防渗墙(隔墙、板桩)
3、按施工方法	1) 机械碾压 2) 无机机械碾压(进占法干填、水中填土、定向爆破)

注 图 1-2 中的坝基防渗结构可用于图 1-1 所列的各种填筑式土坝。

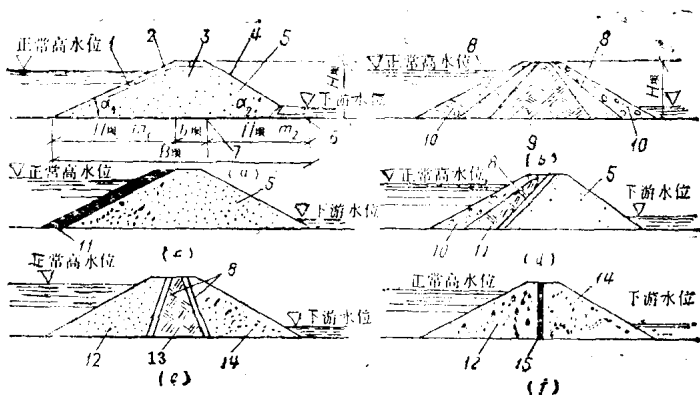


图 1-1 填筑式土坝的种类

(a) 均质土坝；(b) 非均质土坝；(c) 非土料斜墙坝；(d) 土料斜墙坝；(e) 塑性心墙坝；(f) 刚性心墙坝

1、4—上游坡、下游坡；2—护坡；3—坝顶；5—坝体；6—滤水坝趾；7—坝底；8—过渡段；9、12、14—中央部分和上、下游坝壳；

10—保护层；11—斜墙；13—塑性心墙；15—刚性心墙； $b$  坝—坝顶宽，

$B$  坝—坝底宽， $H$  坝—坝高， $m_1 = ctg\alpha_1$ ； $m_2 = ctg\alpha_2$

表 1-2

冲填式土坝的种类

土坝种类	筑坝方法(图 1-4)
1, 均质坝(无心墙) (图 1-3 a、b)	坝体横断面(通过修筑围堤)强制形成, 或泥浆(从一侧或两侧坝坡)自由漫流形成
2、非均质坝(有心墙或有中央细砂区) (图 1-3, c、d、)	坝体横断面强制形成, 双侧冲填, 经泥浆池沉淀

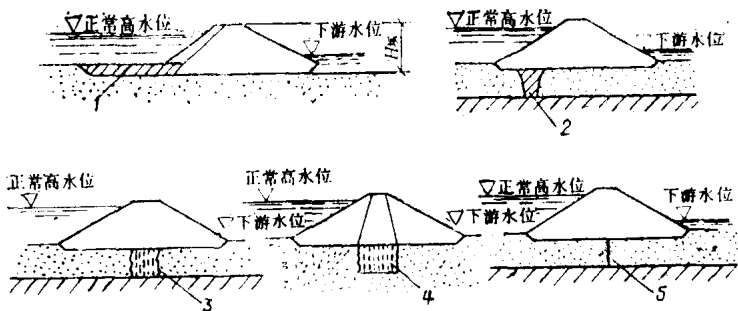


图 1-2 基础防渗结构

1—铺盖；2—截水槽；3—灌浆帷幕；4—悬挂式灌浆帷幕；5—防渗墙

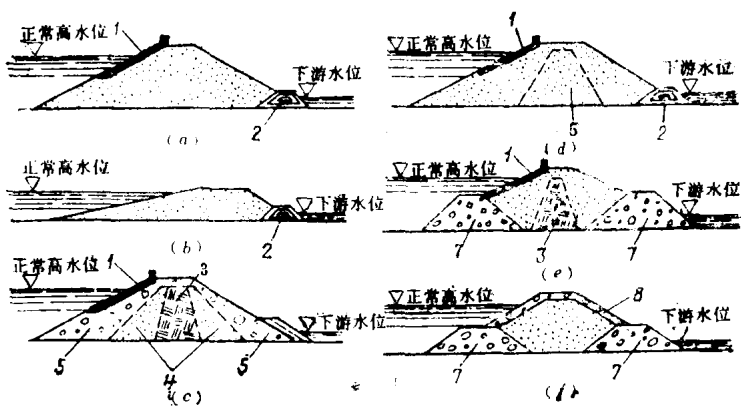


图 1-3 冲填式土坝种类

(a)、(b) 均质坝；(c)、(d) 非均质坝；(e)、(f) 部分为碾压体的均质或非均质冲填坝

1—上游护坡；2—滤水坝趾；3—心墙；4、5—过渡层及两侧坝壳；

6—中央细砂区；7—堆石棱体；8—块石压重

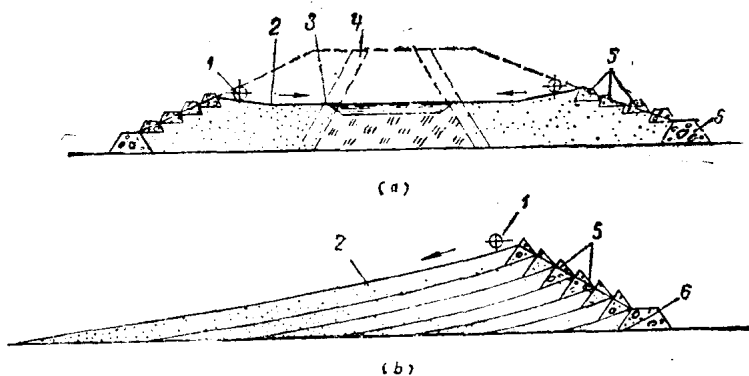


图 1-4 冲填坝施工示意图

(a) 双侧冲填的非均质心墙坝, (b) 单侧冲填的均质坝, 泥浆向  
上游坡自由漫流

1—泥浆分配管; 2—冲填坡; 3—沉淀池边界; 4—心墙边界;  
5—围堤; 6—二期围堤

卵砾块碎石料坝按其筑坝材料和坝体横断面结构分类有: 采用非土料防渗设施(斜墙、心墙)的堆石坝(图1-5)和采用土料防渗设施(斜墙、心墙)的土石坝(图1-6)。\*。必须注意, 堆石坝一词虽然实质上表示建筑物的施工方法, 但这里却指所有采用非土料防渗体和卵砾块碎石支承棱体的坝, 不问其施工方法如何(从高处抛石或是卵砾块碎石料分薄层填筑, 机械压实)。因此, 在技术书籍中有时称为石料坝。

土石坝的心墙可以做成垂直的或倾斜的。斜心墙与斜墙的区别是: 心墙与下游水平面所成的角度大于下游坝壳料的天然休止角, 因此心墙与下游坝壳应同时施工; 斜墙的倾角

\* 还有一种干砌石坝 [12], 它在苏联应用并不广泛。

不大于下游坝壳料的天然休止角，故斜墙的施工与下游坝壳无关，可略错后。

斜墙或心墙均有厚、薄两种；底部厚度（斜墙以与上游面垂直的法线计算）小于 $1/2$ 水头者（ $B \leq 0.5H$ ）称作薄型。

斜墙和心墙的尺寸大大超过防渗强度的要求时（如以土代替部分卵砾块碎石料在经济上是合理的），称为上游和中央防渗体。

有时还有土石坝与砾石（碎石）土坝之分。石料通常指各种卵砾块碎石料。

按施工方法分有碾压式和非碾压式。碾压坝有的采用薄层填筑，然后用专门的机械压实，面上洒水或不洒水；有的采用抛石，用水枪冲实。非碾压的坝有水力冲填（例如砾卵石以泥浆形式上坝），定向爆破坝，水中倒土以及不经专门碾压的堆石或抛石。

按高度分，有低坝（水头20 m以下）、中坝（水头20~70 m）、高坝（水头70~150 m）和超高坝（水头150 m以上）。

### 第三节 土石坝建设的发展

土石坝是最古老的水工建筑物。早在公元前许多世纪，印度、埃及和其它国家已建成一些著名的土坝。

在九至十三世纪，由于修建水磨和渔塘等，土坝开始在俄罗斯得到推广。到十七世纪，特别是十八世纪，当水力不仅用于磨面，而且还能满足手工业和工业，主要是采矿工业的需求时，土坝建设又得到进一步发展。当时，在乌拉尔、阿



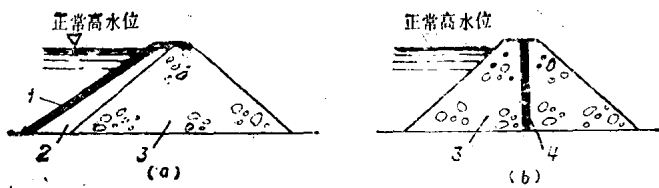


图 1-5 堆石坝坝型

(a) 非土料斜墙坝；(b) 非土料心墙坝  
 1—非土料斜墙；2—斜墙下砌石；3—卵砾块碎石；4—心墙

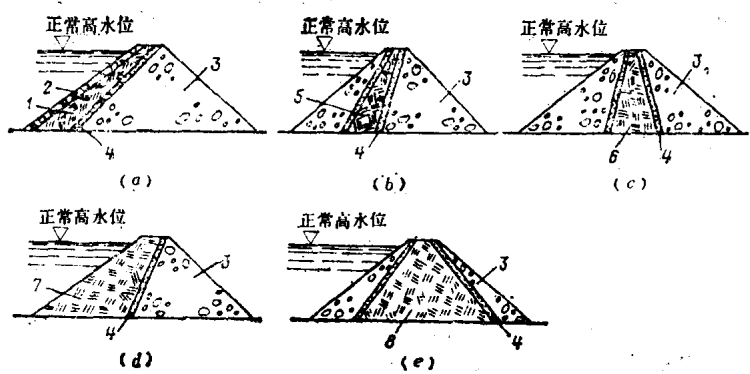


图 1-6 土石坝坝型

(a) 土料斜墙式；(b) 斜心墙式；(c) 直心墙式；(d) 上游防渗体式；(e) 中央防渗体式  
 1—土料斜墙；2—保护层；3—卵砾块碎石；4—反滤层（过渡段）；  
 5—斜心墙；6—直心墙；7、8—上游和中央防渗体

尔泰、卡累利亚、外贝加尔和俄罗斯中部地区修建了200余座工业用坝。其中，1787年由俄罗斯水工专家K.Д.弗罗洛夫