



土坝

· 王毓泰 · 贵州人民出版社



内 容 提 要

《土坝》是一本专业性的读物，附有插图93幅，给广大水利水电建设者及有关专业的师生提供了一本关于土坝设计、施工及管理、养护的完备的小册子。

前 言

土坝主要利用当地的土、石料作为建筑材料，可以节约大量木材、钢材和水泥，是广泛采用的一种坝型。建国以来，我国土坝建设在实践上积累了丰富的经验，在理论上取得了进一步的发展。近年来，国内外学者和工程技术人员发表了较多的论文、专著，有关部门制订了一些规范，这对完善土坝设计、施工和管理作出了有价值的贡献。

我国小水利水电建设正在蓬勃发展。为了适应广大农村水利水电建设工作者的需要，在编写本书时考虑了通俗性、知识性和适用性，同时也适当地反映了科学技术的新成果。编者的认识和经验毕竟是有限的，书中存在的不足之处，恳切希望读者给以批评指正。

编者 1987年8月

目 录

一、概述	(1)
二、土坝的工作条件 and 设计原则	(1)
(一) 土坝的工作条件	(1)
(二) 土坝设计的原则要求	(3)
三、有土坝的水利枢纽	(4)
四、土坝的分类	(6)
五、土坝剖面的基本尺寸	(9)
(一) 坝顶高程	(9)
(二) 坝顶宽度	(11)
(三) 土坝上、下游边坡	(12)
六、土坝的渗流计算	(12)
(一) 渗流的分析方法	(13)
(二) 绕坝渗流计算	(44)
(三) 水库水位下降时向上游渗流问题的探讨	(44)
(四) 土坝的渗透变形和渗流控制	(50)
七、土坝地基的处理	(58)
(一) 岩石地基的防渗处理	(59)
(二) 砂砾石地基的渗流控制	(60)

(三) 细砂和淤泥层地基的处理·····	(74)
(四) 软粘土和黄土地基的处理·····	(76)
八、土坝与地基及其他建筑物的连接·····	(77)
(一) 土坝与地基的连接·····	(77)
(二) 土坝与防渗体的连接·····	(79)
(三) 土坝与混凝土或浆砌石建筑物的连接·····	(81)
九、筑坝土石料的选择和填筑标准的确定·····	(83)
(一) 筑坝土石料的材料·····	(83)
(二) 填筑标准的确定·····	(85)
十、土坝的构造·····	(90)
(一) 土坝的边坡·····	(90)
(二) 防渗体·····	(91)
(三) 坝顶构造·····	(94)
(四) 坝体排水设备·····	(95)
(五) 护坡·····	(100)
(六) 坝面排水·····	(111)
十一、土坝的稳定分析·····	(111)
(一) 抗剪强度指标·····	(112)
(二) 荷载和作用力·····	(113)
(三) 荷载组合·····	(116)
(四) 稳定核算方法·····	(117)
十二、土坝的沉降计算·····	(149)
十三、土坝裂缝的控制·····	(146)
(一) 裂缝的成因·····	(149)
(二) 裂缝的估算·····	(152)
(三) 裂缝的防止和控制·····	(159)

(四) 裂缝处理	(161)
十四、普通结构优化设计	(162)
(一) 土坝剖面的优化设计	(163)
(二) 坝坡稳定核算的优化方法	(165)
十五、结构模糊优化设计	(166)
十六、土坝坝型选择	(172)
十七、河岸溢洪道	(174)
(一) 正槽溢洪道	(174)
(二) 侧槽溢洪道	(193)
十八、土坝的管理和检查观测	(198)
(一) 土坝的管理	(198)
(二) 土坝的检查观测	(199)
(三) 水流的观察和观测	(206)
(四) 土坝的养护和修理	(207)
参考文献	(211)

一、概 述

土坝是用当地材料诸如土、砂、砾石、卵石、风化石碴等填筑的挡水建筑物。我国修建土坝有着悠久的历史，早在公元前600年就在安徽寿县修建土坝。土石坝对地质条件要求较低，几乎可在任何地基上修建；又可就地取材，需用水泥、钢材、木料甚少；施工方法选择的灵活性也大，既能用人工填筑，也可机械化施工；寿命较长，管理简便，加高扩建也较容易。由于以上这些优点，故土坝在我国得到广泛的采用，截至目前为止，已修建了八万余座。土坝是散粒体结构，一般不允许在坝顶溢流，需要在坝外另建溢洪道以宣泄洪水，是其弱点。

本书将对土坝和溢洪道的设计和运行管理加以介绍，重点是碾压土坝。

二、土坝的工作条件 and 设计原则

(一) 土坝的工作条件

1. 渗流的影响 土料有一定的透水性，蓄水后在上、

下游水位差作用下，坝体内将逐渐形成由上游到下游的渗流。渗流的自由面和垂直于坝轴线的剖面之交线称为浸润线，如图4。当坝基或两岸具有透水性时，渗流将经过坝基或绕坝渗向下游，后者称为绕坝渗流。

渗流对土坝的稳定不利，浸润线以下土料的抗剪指标（内摩擦角和粘着力）有所降低，渗流可能导致危害性的渗流变形（管涌和流土），使坝体丧失稳定和沉陷。据统计国内外的土坝失事多为渗流严重引起。

2. 上下游水对土坝的影响 水库中水的波浪将冲刷着上游坝坡土料，大浪可能沿坝坡上爬而翻越坝顶，造成溃决失事。泄水建筑物的回旋水流对下游坝坡也有淘刷作用。

3. 降雨和气温变化的影响 降雨冲刷着坝坡，并且提高了浸润线。严冬季节，暴露在空气中的土料因冻结而膨胀，融化时粘性土又松散而塌滑。酷暑季节，坝体干裂，水流经裂缝将引起破坏。

4. 坝体及地基沉陷变形的影响 在水压和自重作用下，坝体和地基（如为土基）将产生沉陷变形，降低了坝顶高程，或因不均匀沉陷变形而导致坝体产生裂缝。

5. 溢洪道泄水不足的影响 由于水文分析不正确，溢洪道设计泄水能力过小，以致造成洪水漫顶，土料顺水冲走，坝体很容易溃决破坏。这种原因造成土坝失事的在国内外约占30%左右。

6. 坝体与地基连接不可靠的影响 坝体与两岸和河床的连接如不可靠，可能形成漏水通道，致使坝体塌陷而造成失事。

土坝就是在水文气象、水流和地质等不利因素的情况下

工作的。上述六点是在长期土坝建筑和运用实践中以及事故调查分析后总结出来的。我们必须慎重对待这些经验教训，才能采取合理技术措施和提出安全可靠的设计方案。

(二) 土坝设计的原则要求

根据土坝的工作条件并结合经济、施工和运用条件，土坝设计的原则要求介绍如下。

1. 在各种可能的工作条件下以及施工期间，坝体和坝基都应当是稳定的。因此，我们应当设计出合理的坝体剖面尺寸，提出土料的质量要求和采取有效的地基处理。

2. 通过坝体和坝基的渗流应按“上游堵、下游排”的原则采取防渗和排水措施，使渗流逸出处不致产生渗流变形破坏和过多的水库水量损失。

3. 泄洪建筑物的过水能力应能顺畅地宣泄洪水，保证不致坝项漫水，必要时还可加设宣泄特大洪水的临时溢洪道。溢洪道宣泄的洪水不能妨碍土坝的正常运行。

4. 要设计好土坝上、下游边坡的护坡和坝顶结构以防止波浪、暴雨、严寒酷暑对坝体土料的破坏作用。

5. 在充分调查当地土石料的数量、质量和施工条件下，选择与之相适应的坝体剖面 and 构造。

6. 在满足实用的基础上，力求工程量小，经济效益大，并适当注意宏伟美观和简单明朗。

我们只有根据上述的设计原则要求，才能体现土坝这一坝型的特殊优点——充分利用当地材料，经济耐用而寿命长和安全可靠。

三、有土坝的水利枢纽

水利枢纽是在河道上一定地点集中设置的多种水工建筑物的整体。有土坝的水利枢纽主要是由土坝、溢洪道、引水建筑物和水电站等组成的整体（图1）。

枢纽各种建筑物的安排配置称为枢纽布置。地形、地质、水文、河势等自然条件，施工方法与导流方式以及运用整个枢纽发挥效益的要求等是决定各种建筑物型式尺寸和枢纽布置的重要因素。枢纽布置也应考虑施工过程中的临时建筑物与永久建筑物的结合，例如施工围堰与坝体相结合。

枢纽布置方案应满足以下要求：

1. 运用要求 运行方便、安全可靠，能完满地完成枢纽所承担的任务；

2. 技术经济要求 在保证工程质量的前提下，技术可靠，枢纽总造价少，因地制宜，节约三材，尽可能缩短工期，年运转费低；

3. 施工要求 施工导流方便，有通航要求的河道在施工期间不断航，施工场地要开阔，便于布置附属企业和工地内外交通；

4. 美观要求 这要与建筑物的规模和重要性相适应。

为了达到上述要求，我们必须进行可行性研究，对各种可能的枢纽布置方案作调查研究，分析计算，从粗到细，逐步深入地进行比较，选出最合理的方案，如有条件还可作优化设计。

现将具有土坝的水利枢纽布置中应注意的问题阐述于下：

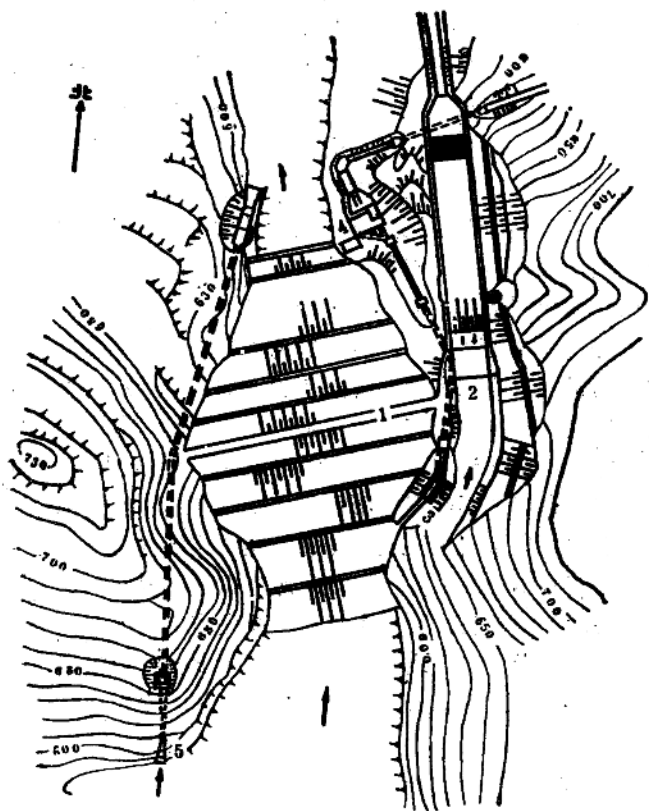


图1 有土坝的水利枢纽（平面图）

- 1—土坝 2—溢洪道 3—引水建筑物
4—水电站 5—输水道

在有土坝的水利枢纽布置中常以土坝为中心统一考虑，全面安排。总的原则是某一建筑物的工作不能妨碍另一建筑物顺利工作，技术可靠，投资额合理。坝轴线在平面上一概取为直线。有时为了将大坝置于良好地基上，可取较长的坝轴线，这虽增加了土石方量，却减少了地基处理费用和确保了大坝安全。溢洪道应与大坝分开，布置在河岸上。这种溢洪道称为河岸溢洪道。溢洪道宜布置在较平的岸坡上。如附近有马鞍形山凹地则是布置溢洪道的好地方。溢洪道上游进口处水流要顺畅，应与土坝保持一定距离，以免进口处的横向水流冲刷坝坡。溢洪道下游出口处的方向应与河流方向一致并远离坝趾和电站厂房，以免危害它们的正常运行。输水道通常采用隧洞和坝下管道两种形式，用于承担发电、灌溉、泄洪、放空水库和导流任务。在布置时可考虑一个输水道兼作泄洪和导流用，或兼作发电、泄洪和导流用。电站的进水口应布置在不受泥沙淤积，不发生横向水流的部位，保证有足够的流量引进机组；电站的尾水应顺畅流出，避免尾水壅高而减小电站水头。电站厂房应布置在岩石地基上。电站厂房的工期较长，故宜布置在能最先施工的部位。电站最好布置在靠近交通干线的那一岸，便于设备的运输和运行管理。总而言之，枢纽布置设计的原则是各个主要建筑物在施工和运行中互相协调，互不干扰，便于运行。

四、土坝的分类

从施工方法来分，土坝可分为：碾压式土坝、水中倒土坝和水力冲填坝。最常用的是碾压式土坝。按土石料在坝体

内的位置可分为以下几种类型（图2）：

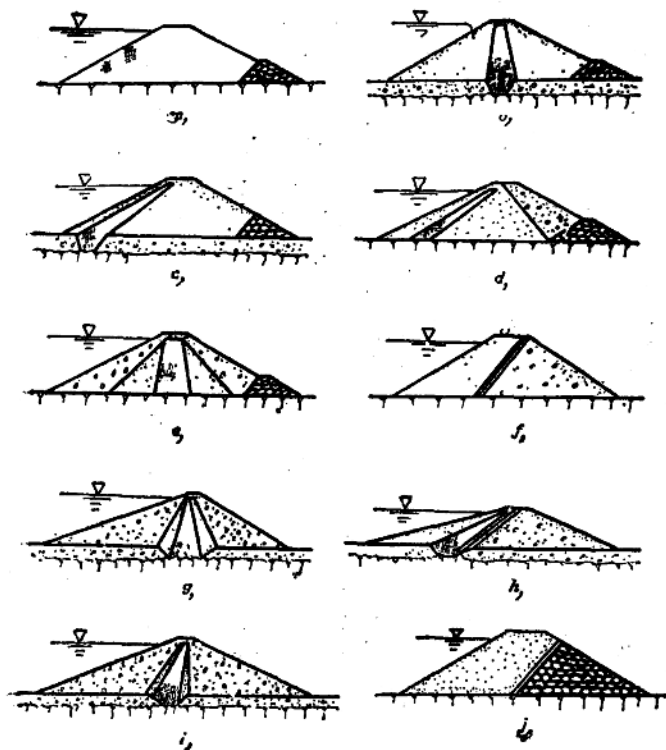


图2 辗压式土坝的类型

a: 均质土坝 b: 塑性心墙坝 c: 塑性斜墙坝 d, e:
多种土质坝 f, g, h, i: 土石混合坝 j: 土石坝

1.均质土坝 又称单种土质坝，坝体材料大部分用较不透水的单一的土料填筑，如图2a。其优点是施工简单。但如土料粘性过大，雨季或冬季施工较为困难。

2.塑性心墙坝 用透水性较大的沙土或砾料作为上下游坝体，以透水性较小的粘性土作为防渗体并设置在剖面的中间部位，如图2 b。其优点是工程量较单种土质坝小些，缺点是施工时要求心墙与坝体同时填筑，干扰大。

3.塑性斜墙坝 上游斜墙用粘性土料作为防渗体，下游坝体用沙性材料填筑，如图2 c。斜墙施工可后于坝体施工，不互相干扰；如在透水地基上修建铺盖时，斜墙与铺盖便于连接，这些是其优点。但因斜墙为粘性土，故上游坡度较缓，总工程量要比心墙坝大些。

4.多种土质坝 当地有多种土料，而其中各自的数量又不是，这时可采用多种土质坝。上游到下游按土料透水性从小到大的顺序，做成斜墙多种土质坝如图2 d；或从内到外以同样的顺序，做成心墙多种土质坝如图2 e。

5.土石混合坝 当地土料不足而石料（包括有效挖方石碴）充分，可做成土石混合坝如图2 f。按塑性防渗体的位置不同可做成心墙土石混合坝如图2 g、斜墙土石混合坝如图或斜心墙土石混合坝如图2 h或斜心墙土石混合坝如图2 i。土料占大部分，石料占小部分的称为土石坝如图2 j。

6.其他坝型 沥青混凝土斜墙土坝近来已逐渐被采用。刚性材料（如混凝土）斜墙坝因不适应坝体的变形，现已少用。混凝土或浆砌石心墙坝也有用的，但为数不多。

五、土坝剖面的基本尺寸

土坝的设计，首先应根据土石料的种类、数量、质量、运距和分布情况以及地基条件，初步选定坝型，之后参考已有的资料或已建成的土坝，拟定坝顶宽度、上下游边坡、防渗体、排水设备以及坝顶高程等土坝的基本尺寸；最后进行稳定核算，如达不到规范要求，须修改剖面尺寸，再进行稳定核算，反复进行直到满足要求为止。现介绍如何拟定坝顶高程、坝顶宽度和上下游边坡的尺寸。防渗体、排水设备和稳定核算等分别在十节和十一节介绍。

(一) 坝顶高程

水库的正常水位和非常水位是由水文水利计算决定的。坝顶高程是由正常（或非常）静水位加上超高定出的。水库静水位以上的超高按下式计算：

$$d = h_a + e + A \quad (1)$$

式中， d ——水库静水位以上的超高（米），如图3。

$$h_a = 0.45 \frac{2h}{n^{0.6}} \operatorname{tg} \theta \quad (2)$$

式中， h_a ——波浪的爬高（米），

n ——坝坡的糙率系数，沥青或混凝土护坡， $n = 0.0155$ ；勾缝或浆砌石护坡， $n = 0.025$ ；干砌石护坡， $n = 0.0275$ ；抛石护坡 $n = 0.035$ ；

$2h$ ——波浪高度，见式（4）；

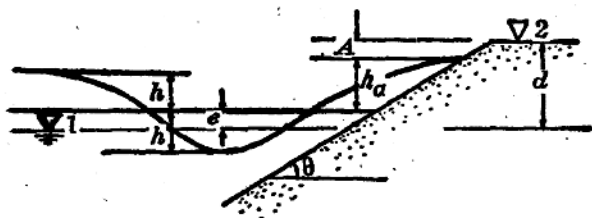


图3 坝顶超高计算图

$\nabla 1$ —静水位 $\nabla 2$ —坝顶高程

θ ——上游边坡线与水平线的夹角。

$$e = \frac{KV^2D}{2gH} \cos \alpha \quad (3)$$

式中， e ——坝前库水位因风浪引起的壅高（米）；

K ——综合摩阻系数，一般可取 3.6×10^{-3} ；

D ——吹程（公里），一般 D 是从坝算起沿着库水面直到对岸的最大直线距离，当水库水面直而狭长时 D 以 5 倍平均水面宽度为限；

H ——坝前水深（米）；

α ——风向与坝轴线的法线方向的夹角。

V ——风速（米/秒）。在正常水位或设计洪水位时，可采用相应洪水期多年平均最大风速的 1.5~2.0 倍；在校核洪水位时，可采用相应洪水期多年平均最大风速。

$$2h = 0.0166 V^{5/4} D^{1/3} \text{ (米)} \quad (4)$$

式中，符号意义同前。

A ——安全加高(米)。正常情况下，Ⅰ级坝为1.5，Ⅱ级1.0，Ⅲ级0.7；Ⅳ、Ⅴ级0.5，非常情况下，Ⅰ级坝为0.7，Ⅱ级0.5，Ⅲ级0.4，Ⅳ、Ⅴ级0.3，如为地震区，另加地震安全加高0.5~1.5米。

土坝竣工后还要沉陷，其值可以计算。施工质量较好的土坝，坝体沉陷值约为坝高的0.2~0.4%。坝顶高程是指沉陷稳定后的数值。

我们应分别按正常设计情况和非常校核情况计算超高 d 值，取用其中较大者。

坝顶高程就是正常静水位、设计洪水或校核洪水位加上超高 d 值，当然取其中最大的坝顶高程，作为采用的坝顶高程，另外再加上预留的沉陷值后，实际上坝顶成为向上拱的弧形。

对小水电来说，土坝坝顶宜设置防浪墙，高约1.2米，其作用是提高防洪能力，不使洪水漫顶，也可设置非常溢洪道，宣泄特大洪水。

(二) 坝顶宽度

影响坝顶宽度的因素很多，主要是构造要求和施工条件，小于100米的坝高 H 可取坝顶宽度 $B = H/10$ 米，但不得少于5米；大于100米的坝高 H 可取坝顶宽度 $B = \sqrt{H}$ ，但不应少于10米。土坝之所以取用这样大的坝顶宽度之另一个原因是考虑防汛抢险时堆放材料和人车来往所需要的场地。如有交通要求，坝顶宽度应按车辆种类和道路等级决定之。