

成桂俊 译 张成恭 校

[美] E. E. 瓦尔斯特龙 著

大坝与水库地质

DAMS, DAM FOUNDATIONS,
AND RESERVOIR SITES

成都科技大学出版社

大坝与水库地质

〔美〕 E. E. 瓦尔斯特龙 著

戚筱俊 译 张威恭 校

成都科技大学出版社

内 容 简 介

本书总结了大坝与水库建设的经验，阐述了水利工程技术
人员应掌握的地质学基本知识，并扼要介绍了美国进行水利
工程地质勘察的基本方法，以及大坝基础处理的工程地质方
法。

本书深入浅出，联系实际，适于水利水电工程各专业的师
生、工程技术人员、管理干部、培训班或函授班学员参考。

DAMS, DAM FOUNDATIONS, AND RESERVOIR SITES

(美) E. E. 瓦尔斯特龙

大坝与水库地质

戚筱俊 译 张威恭 校

成都科技大学出版社出版、发行
四川省新华书店经销
成都科技大学印刷厂印刷

开本：787×1092 1/32 印张：7.3125
1988年7月第1版 1988年9月第1次印刷
印数：1—700册 字数：164千字

ISBN7-5616-0244-8/TV·2 定价：2.95元

译者的话

本书作者是一位从事美国水利工程建设地质学家（美国科罗拉多大学教授），根据他多年的生产实践经验，总结了美国水利水电工程中主要的工程地质问题，扼要地介绍了美国处理水利工程地质问题的原则和方法。

本书从基础地质开始介绍，联系工程地质条件对各种坝型及水库做了简要评述，对构成坝基和库址的基本物质组成（造岩矿物和各类岩石）做了系统介绍，又把河谷的成因、类型与地质构造的关系，以及地下水渗透体的分析研究方法与水工建筑有机地联系在一起，写得深入浅出，通俗易懂。本书系统性及专业性均较强，具有教科书的特色，与我国水利水电工程院校的“工程地质”课程教学大纲基本相符，明确地写出了水工及地质技术人员应该掌握的基础地质知识。

本书还扼要地介绍了美国水利水电工程中地质勘察工作的各种方法及适用性，对坝和水库的地质勘察步骤、方法、布局、资料整编及应用，特别对国内外普遍重视的新技术，如地球物理勘探、遥感技术的应用、赤平投影方法的应用、岩石物理力学性质的试验及野外渗透试验等，都做了介绍和评论。这些对了解美国水利工程地质勘察的基本情况颇为有益。此外，作者还收集了有典型意义的实例，作了地质分析，提出了不良地质基础的处理方法，如坝基的加固和防渗处理方法等。这些都是水利水电工程中，勘察、设计、施工及管理人员不可缺少的基本工程地质知识。本书适于水利水

电工程各专业及工程地质专业的师生或工程技术人员参考。

本书原名为“Dams, Dam Foundations, and Reservoir Sites”，根据全书基本内容及我国习惯改为“大坝与水库地质”，并对其中有关部分内容做了适当删改和节译。书中的计量单位，原为英制，根据我国规定已改为国际单位。

本书在译校及出版工作中，曾得到张咸恭、彭阜南、沈之良、曾浩然、黄鼎成、高原、陈历鸿、林贵昌等同志，以及成都科技大学出版社的同志们的大力支持和热诚帮助，在此一并致谢。由于译者水平有限、时间仓促，不当之处诚请读者批评指正。

译 者

序

早期建成的坝多半是低水头的土石结构，用于拦蓄和控制水流为农业服务。而今，遍布全球大大小小的堤坝和水库正为蓬勃发展的科学技术及现代文明做出贡献。

在坝的建设历史中，失事的坝已有数百个，如果把小型堤坝也计算在内，恐怕也有几千个以上。但大多数的堤坝事故并没有可靠的记载，这种事故引起下游洪水泛滥而造成的损失范围也没有精确的记录，故对坝或水库失事而造成的灾难，加以认真仔细地研究是有益的。究其失事原因，不外因坝的结构或其基础的缺陷所致。

世界上很多地区，特别是人口众多的工业区，绝大多数地质条件良好的坝址已被利用。有些地址，常因坝基地质条件有缺陷，或库区地质条件不好，而需在工程设计之前及施工中，使用先进的地质科学方法和工程方法进行精心勘察和研究，以保证可靠蓄水和方便分流，以便在水库一旦失事时，使人民的的生活和工作所受的损失最小。

坝址和库区的地基，不可避免地随着时间的变化而缓慢演变。一些灾害，如地震、滑坡、意外的洪水，其持续时间是短暂的，尽管预测水平在不断改进，然而仍常常是难以预知的。

在坝、水库及其地基的工作年限内，为保证最大限度的安全，应进行经常的监测，这不仅是建坝的工程技术人员责任，也是水文、地球物理、地质以及岩土力学人员的任务。

本书从地质学角度出发，主要研究以下几部分内容：

1. 地质学及地球物理学的理论与实践，以及它们在坝址和水库勘察中的应用；
2. 在大坝建设过程中，为保证大坝安全的正常施工程序；
3. 大坝建成以及水库蓄水以后，对地质作用和基础的特性给予评价。

E. E. 瓦尔斯特龙

目 录

译者的话

序

第一章 大坝和水库

- 一、 坝的类型..... (2)
- 二、 水库的种类和用途..... (7)
- 三、 坝和水库的安全..... (9)

第二章 岩石和松散沉积层

- 一、 矿物成分..... (10)
- 二、 岩石的成因类型..... (14)
- 三、 火成岩..... (16)
- 四、 沉积岩..... (19)
- 五、 变质岩..... (21)
- 六、 岩石的风化..... (22)
- 七、 松散沉积层..... (24)
- 八、 岩石的强度..... (26)

第三章 河谷的侵蚀与堆积

- 一、 流水的侵蚀、搬运和沉积作用..... (34)
- 二、 侵蚀谷的河床型式和断面..... (37)
- 三、 河谷阶地..... (41)
- 四、 河谷斜坡的稳定性与斜坡的破坏..... (44)
- 五、 软弱岩石的剪切破坏..... (45)
- 六、 陡壁峡谷中的重力滑塌..... (50)
- 七、 河谷中的阻塞..... (52)

第四章 非均质岩石河谷

- 一、 非均质岩石..... (54)
- 二、 水平岩层河谷..... (55)
- 三、 褶皱岩层中的河谷..... (57)
- 四、 岩石的断裂..... (62)
- 五、 褶皱伴生的断裂..... (69)
- 六、 断裂岩石中的河谷..... (71)
- 七、 非均质基岩中的河谷斜坡..... (74)

第五章 均质岩石的水文地质

一、	水文地质常用术语	(80)
二、	岩基渗流	(86)
三、	均质岩体中的潜水流	(92)
四、	水库斜坡地带的地下水	(94)
第六章 非均质岩石的水文地质		
一、	非均质河谷的松散沉积物	(99)
二、	松散沉积物的渗透性	(105)
三、	坝下渗流	(107)
四、	非均质基岩的渗透性	(109)
五、	水库蓄水后的岸坡稳定性	(114)
第七章 可溶性岩石的水文地质		
一、	均质可溶性岩石的水文地质	(117)
二、	非均质可溶性岩石的水文地质	(125)
三、	可溶性岩石地区的地貌	(126)
第八章 坝基力学		
一、	应力与应变	(134)
二、	有侧限压力的强度效应	(138)
三、	坝基应力	(144)
四、	坝基破坏的力学机理和地质条件	(148)
五、	坝基岩石的强度及地应力	(152)
第九章 坝址和库区的工程地质勘察		
一、	水利工程地质勘察的目的和要求	(157)
二、	工程地质勘察中遥感图像的应用	(158)
三、	极射赤平投影及等面积网图示法	(159)
四、	钻探工作	(163)
五、	地震法勘探	(173)
六、	电阻率法勘探	(182)
七、	地震调查	(190)
八、	施工阶段和施工后的工程地质工作	(192)
第十章 大坝地基处理		
一、	地基开挖	(194)
二、	松散沉积层上的坝基处理	(195)
三、	基岩的灌浆工作	(197)
四、	坝基排水	(216)
五、	锚杆和钢锚索加固	(216)

第一章 大坝和水库

大地上有许多自然盆地所形成的湖泊，以及人类用坝建成的水库。这些大坝和水库虽可兴利除害，但对下游地区来说却存在着潜在的威胁。本世纪前，大多数坝是低水头的，而且设计和用途也很简单。随着电力、民用、工业和灌溉用水，以及防洪等综合利用的需要，便建成了大量的又高又复杂的大坝。使得建筑物的安全已成为首要的因素，这不仅对一些老的，而且对新建的坝也是一样，都需要进行大量的勘察和检查。

人口稠密的地区，特别是工业发达区，大多数优良的坝址和库址已被利用，而剩下的坝、库址由于种种原因是比较差的。但是，这些地区仍需要增加灌溉、生活以及发电用水或防洪等，这样即使面临着日益增长的技术困难，也不得不条件较差的地区进行水库建设。对于已有的集水和分流系统的改建、抽水蓄能装置的建设、以及发展潮汐蓄水发电等，都是很现实的问题。

工程师和地质学家已逐渐认识到，在他们从事的与大型水库和坝的建设密切相关的工作中，其社会责任感比自尊心更为重要。现在需要强调保证工程的长期安全，要求工程师和地质学家在规划、设计及施工工作中密切合作，因在水利工程下游生活和工作的人们非常需要最可靠的安全保证。对于已建成的坝和水库，也需要经常检查它们的基础是否会随时间而发生蠕变和毁坏，甚至导致灾难性的后果。

一、坝的类型

坝的分类方法很多，常用的方法是根据筑坝材料和结构型式进行分类，见表 1-1。

表 1-1 坝的类型

1. 土石坝
 - a. 均质坝—全用大体相同的均质天然材料建成。
 - b. 非均质坝—坝体用性质差异大的材料分区建成。
2. 混凝土拱坝
 - a. 简单的拱坝和双曲拱坝；
 - b. 连拱坝和复式双曲拱坝。
3. 混凝土重力坝和重力拱坝
4. 混凝土支墩坝
5. 由上述几种形式组合而成的坝

1. 土石坝

在土石坝的建筑中，一系列天然建筑材料被广泛采用。关键在于可供施工用的当地材料的数量和类别，较大型的土石坝一般采用非均质材料和多种型式结构，砂砾石料一般需经过机械的或水的分选，按不同的级配备料。石料的来源也很广泛，包括从河流漂石层、冰川漂砾、山麓堆积以及采石场等地采选出来。兴建土石坝，不仅要坝基进行地质勘察，还需调查天然建筑材料和进行土力学试验。

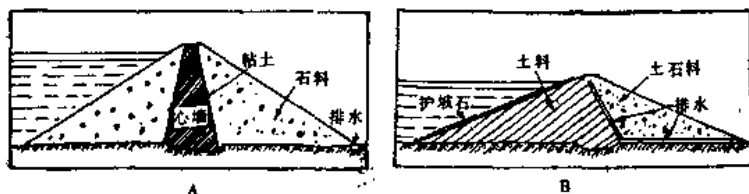
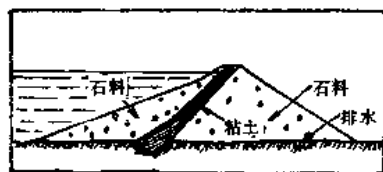


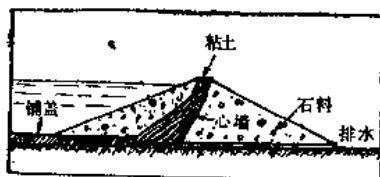
图 1-1 几种土石坝的断面

A. 对称的粘土心墙堆石坝

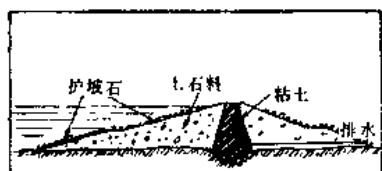
B. 土石混合坝；



C. 粘土斜心墙堆石坝；



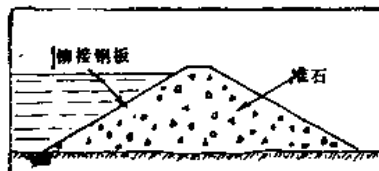
D. 堆石坝，粘土斜心墙联结上游铺盖，以防止或减少坝下渗漏；



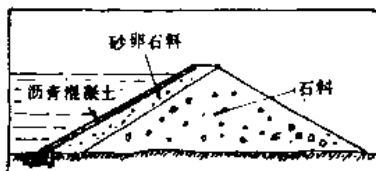
E. 粘土心墙土石坝；



F. 钢筋混凝土面板堆石坝；



G. 用柳接钢板镶面的堆石坝；



H. 沥青混凝土面板堆石坝。

对非均质坝来说，重要的组成部分是防渗铺盖或心墙，通常是用当地粘土构成。当缺少粘土时，坝体填筑可用碎石、未经分选的卵石或砾石，这时，防渗墙一般用混凝土或沥青混凝土建造。如筑坝地区的天然不透水材料不适用时，土石坝可做成堆石坝或土石混合坝，其防渗层可用混凝土、沥青混凝土或柳接钢板做面板。

坝身或坝下的渗流控制，一般要求在坝下或坝内设置疏松材料的排水体。

从松软的河流沉积层或冰积层到高强度的沉积岩、结晶的火成岩及变质岩都可建造土石坝，因为土石坝要求的地基承压比混凝土坝小得多。土石坝在施工中及完工后，由于荷载应力较小，其沉降一般也不很严重，加以土石坝能适应较小的变形，因而不容易破坏。

2. 混凝土拱坝和双曲拱坝

拱坝和双曲拱坝的建造要通过复杂的设计和应力分析才能实现。这些坝是薄的曲线结构，通常由钢筋或预应力钢筋混凝土构成。其所需的骨料总量比重力坝及重力拱坝少得多，但坝基及其两岸的基岩的支撑力或抗荷载力必须很高。拱坝通常建筑在窄而深的山区峡谷中，筑坝材料的数量和质量显得特别重要。有些地区，两岸拱座部位的岩石不合适，往往需要开挖或用混凝土填补成人工支墩台座。

拱坝有两种类型：拱坝和双曲拱坝。其所采用的曲线有圆弧、椭圆及抛物线等。有些拱坝建造时采用两个或几个连续拱或园穹，称谓“连拱坝”或“多园穹坝”。

对拱坝和双曲拱坝的工程分析中，假设两种主要的变位或位移影响坝和它的拱座。在某些情况下，由于坝下渗流所产生的扬压力以及悬臂梁作用，拱身上游面水压力将使坝圈绕着坝基而转动。另外，水库水压力趋于使拱压平并使拱圈推向下游面，这样在坝身内将产生水平应力，并传递到两岸拱座。承受水库荷载推力的基岩拱座部分，称推力座(thrust block)。这种推力座必须足够坚固，才能抵抗各种

作用在它上面的外力，而不致发生破坏或明显的位移。此外，在寒冷气候地区，水库表面形成的冰还会产生冰压力，在地震活动地区，还必须考虑到与地震有关的振动能量和坝的相互作用。

拱坝的几种断面形式可见图 1-2。

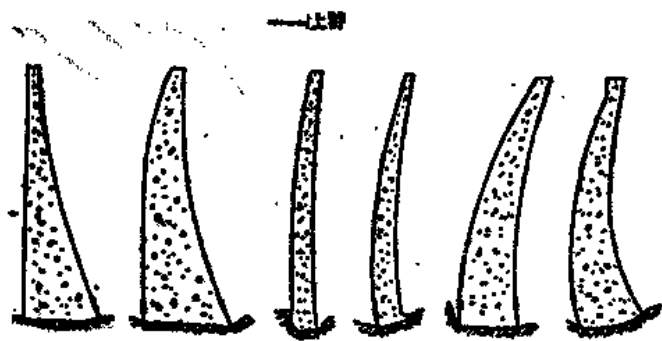


图 1-2 拱坝的几种断面示意图

3. 混凝土重力坝和重力拱坝

混凝土重力坝的横断面是平底的，它的重心很低，不需两岸的支撑坝就能独立站住。重力坝的混凝土方量与其它类型的混凝土坝相比工程量最大，因而造价很高。

重力坝和重力拱坝的坝址选择是根据对水文、地形，特别是地质条件综合研究以后才确定的。一个好的坝址，通常是在河谷中埋藏不深的均一结构岩体，以达到坝基及两岸支座对基岩坚固致密程度的要求。

在混凝土重力坝或重力拱坝的施工中，有一项重要的因素应予考虑，这就是在不太远的距离内有提供足够的混凝土骨料的产地，以适应混凝土拌合的需要，而这些骨料可取之于松散的沉积物，也可取自采石场。

重力坝最简单的一种型式是坝顶为直的。根据河谷地形的形态和基础的地质条件，有时可建造成重力拱坝，这种坝具有重力坝体积大和重心低的有利条件，又具有拱坝固有特性的优点。重力拱坝要求建筑在坚硬岩石之上，对两岸支座地基的要求，比单纯的重力坝的要求也更严格。

重力坝及重力拱坝的一些横断面型式，如图 1-3 所示。

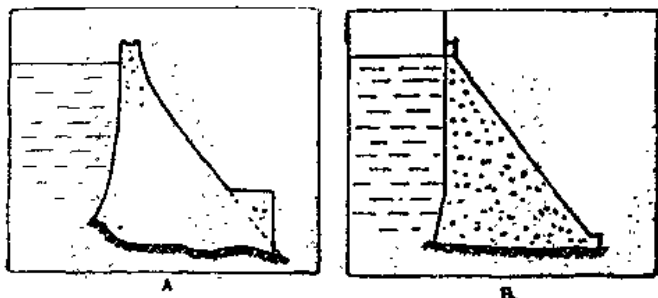
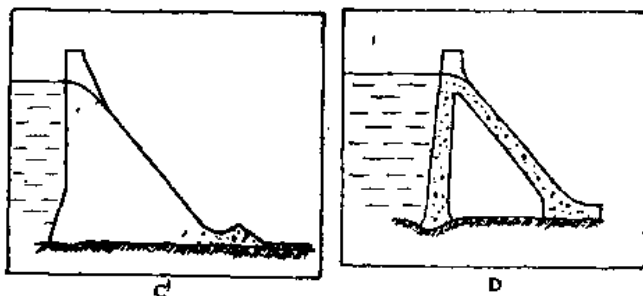


图 1-3 混凝土重力坝及重力拱坝的一些典型断面。

- A. 美国内华达~亚利桑那州的 Hoover 坝，坝高约 221 米；
B. 美国田纳西州的 Fontana 坝，坝高 137 米；



- C. 日本的 Sakuma 坝，坝高 140 米；
D. 保加利亚的 Topolintza 坝，空心重力坝，坝高 85 米。

4. 混凝土平板坝和支墩坝

在某一地区，如果混凝土坝或土石坝填筑所需用的砂砾

料是有限的，而其地基的岩石强度又是中等到高等的话，那么在坝型选择时，支墩坝这种类型的坝，将比其他坝型优越。支墩坝的横断面与重力坝相似，但上游面的坝坡比较平缓。支墩坝中的钢筋混凝土平板，是用倾向上游的一块块垂直于支墩的板做成的，支墩的厚度和间距应有足够的力量，以支撑混凝土板在水库水压力作用下的荷载。

图 1-4 例举了一种典型的支墩坝的横断面。

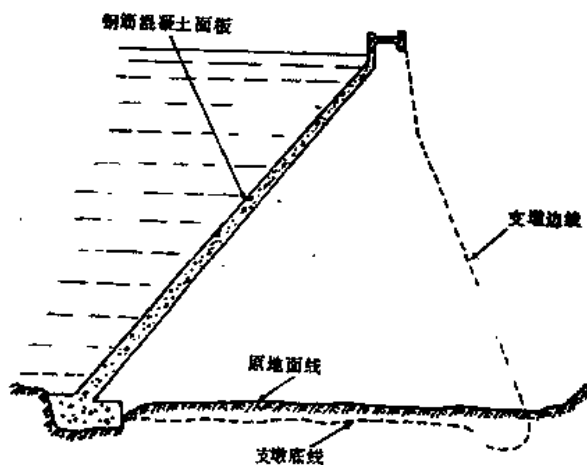


图 1-4 混凝土平板坝及支墩坝的断面。

二、水库的种类和用途

根据水库所在地点不同，可把水库分成多种类型，最常见的类型是位于河谷中的坝后水库。为了发电的需要可沿着海岸线兴建蓄存潮汐的水库；还有为了城市需要或其他用途的人工开挖水库（这种类型的水库，开挖的土石方一般就用

以建筑土石堤坝，即在水库的周围进行围筑）；还有一些为拦蓄地下水流的地下水库。

水库及与之相互关连的大坝，往往是为多种目的服务的，这包括对电力的需要，灌溉用水的贮放，工业及城市供水，疗养及旅游事业以及控制洪水等用途。水库有时还用做蓄存和控制河水进行航运，蓄存污水和来自工矿企业的废水。还有一些情况，如热电站和热核电站需要大量的冷却用水等都是水库兴建的目的。

随着对电力的需要的不断增长，许多国家正致力于最大限度地利用水电设施，泵蓄水库（抽水蓄能水库）也正着手兴建。这一发展趋势要求对有势能的坝址和库址重新设计。历史上是利用在一定水头下的水力来发电，这需要把水蓄在水库之中。只有少数水力发电站是顺着较大的河流兴建的，它们有稳定的水力资源，能够常年发电。但在许多地区利用水库贮水发电，仅能承担间歇性的尖峰负荷，而最大的电力需求量仍需来自其他稳定的电力能源。

在电能消耗的循环之中，当系统总供电量超过需要量时，则多余的电能可被转换成低价值的电力势能，以备在间歇性的高峰负荷时使用。当然，势能的问题涉及到装置内的蓄水高度，其标高要比水力发电厂高些。如采用水泵蓄水方法，则不论是连续使用发电，或为其它用途而分水引用的发电水库，都称为泵蓄水库。

利用泵蓄水库进行水力发电有两种系统布置。

在一种系统中，上面的水库的来水量是由上游径流及下游的水泵站补给的；下面的水库水泵站所用的电力是当地火电站或附近的电力网供给的。当高峰负荷需要电时，上面水