

钢筋混凝土 面板堆石坝

马君寿 编著

GANGJIN

HUNNINGTU

MIANBAN

DUI SHIBA



水利电力出版社

钢筋混凝土面板堆石坝

马君寿 编著

水利电力出版社

内 容 提 要

本书主要阐述了钢筋混凝土面板堆石坝的发展过程、设计技术及发展趋势。全书针对混凝土面板堆石坝勘测、设计、施工、观测及对地基、材料等要求做了比较全面透彻的论述，同时结合典型坝例，对混凝土面板堆石坝的运行状况作出了简明扼要的介绍。特别是本书的最后一章集作者多年的工作经验及自身研究分析成果，对面板堆石坝的技术问题提出了许多非常有价值的建议，不失为本书的精采章节。

钢筋混凝土面板堆石坝

马君寿 编著

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 6印张 132千字

1990年12月第一版 1990年12月北京第一次印刷

印数0001—2640册

ISBN 7-120-01255-X/TV·428

定价4.45元

目 录

第一章	堆石坝的发展过程	1
第一节	概述	1
第二节	第一阶段(1850年~1940年)	4
第三节	第二阶段(1940年~1960年)	6
第四节	第三阶段(1960年~)	7
第二章	设计中的问题及坝基处理	12
第一节	设计中应考虑与解决的一些主要问题	12
第二节	坝基开挖与处理	14
第三章	堆石体设计	19
第一节	堆石体的一些共同特性	19
第二节	堆石体材料	29
第三节	堆石体的分区	30
第四节	垫层设计	32
第五节	过渡区与堆石区的设计	40
第六节	堆石体上下游坡度的设计	44
第七节	堆石体变形的估算	53
第八节	其他具体设计	57
第九节	堆石体的抗震性能	58
第四章	面板、底座与防浪墙设计	61
第一节	混凝土面板设计	61
第二节	混凝土底座设计	75
第三节	周边接缝设计	85
第四节	防浪墙与其他设计	91
第五章	混凝土面板堆石坝的勘测	93
第一节	概述	93

第二节	气象与水文	94
第三节	地质勘测	97
第六章	混凝土面板堆石坝的观测设计	106
第一节	概述	106
第二节	观测项目	107
第三节	渗漏观测	108
第四节	坝体外部观测	111
第五节	地基及堆石体内部观测	114
第六节	面板、底座、伸缩接缝及周边接缝观测	131
第七章	混凝土面板堆石坝的施工	139
第一节	混凝土面板堆石坝的导流	139
第二节	坝基开挖与处理	141
第三节	堆石体材料的开采与堆石体施工	149
第四节	混凝土底座与面板的施工	152
第八章	两座混凝土面板堆石坝的运行情况简介	159
第一节	福兹多埃里阿坝的运行情况	160
第二节	塞萨纳坝的运行情况	165
第九章	技术发展趋势及建议	170
后记	185
参考文献	187

第一章 堆石坝的发展过程

第一节 概 述

堆石坝属于土石坝的范畴，主要用石料抛填或碾压而筑成。坝体由堆石区、防渗体和过渡区三个部分组成，其中堆石区和过渡区又可合称为堆石体。

堆石区一般由大小块石堆筑而成，占堆石体的大部分。块石与块石之间不采用水泥砂浆或水泥石灰砂浆等胶结材料填充，因而块石之间存在有空隙，不相互胶结仅相互接触。堆石区也有采用砂卵石堆筑，这种坝通常被称为砂卵石坝。堆石坝在承受水压力、地震力和其他荷载等作用下，主要依靠堆石区的重量和抗剪强度来保持整个坝体的稳定。

防渗体是用以防止上游库水通过坝体向下游渗漏的结构体。常用的防渗体材料有：土、混凝土、沥青混凝土、钢板和木板等。防渗体一般设置在坝的上游面或坝的中央部分。在坝的上游面用混凝土、沥青混凝土、钢板或木板建成的厚度较小的防渗体，通常称为防渗面板或简称面板；用土料建成的厚度较大的防渗体，称为土斜墙。用上述材料设置在坝体中央部分的防渗体，一般都称为心墙。若土心墙设置在坝体中央部位而向上游倾斜，则称为土斜心墙。各种防渗体都必须横跨整个河床，其底部与河床及两岸的岸坡相连接，若河床内冲积层深厚，土斜墙、土心墙、混凝土或沥青混凝土心墙在河床部分也可与穿过河床冲积层的防渗结构（如混凝土

防渗墙等)相连接,以防止库水通过坝体或坝基冲积层流入下游。

过渡区位于防渗体与堆石区之间。在面板下游的过渡区,一般为高密实度的碾压堆石或干砌块石,用以把作用在面板上的库水压力较均匀地传递给堆石区并缓和堆石区变形对面板的影响。土斜墙下游和土心墙上、下游侧的过渡区称为反滤层,是用以防止斜墙或心墙的土颗粒被渗流带入堆石区的空隙而引起的管涌或流土。

为了减少通过坝基和两岸坝肩的渗漏和防止集中渗流,一般在面板、斜墙或心墙下以及两岸坝肩岩体内设置灌浆帷幕。

一般说来,只要在坝址附近能开采到适用于建筑堆石体的石料,修建堆石坝要比混凝土坝能节省大量水泥。因此,堆石坝特别适合于交通不便、水泥运费昂贵和附近缺乏混凝土天然骨料的坝址。堆石坝对坝地质条件的要求要比混凝土坝为低,可较广泛地适用于地质条件较差的坝址。采用混凝土、沥青混凝土、钢板或木板等建筑防渗体的堆石坝,一般可不用或仅用极少量的土料,即使采用土斜墙或土心墙的堆石坝,所用土料也远比均质土坝为少,因而堆石坝也适宜于多雨或附近缺少土源的地区。加以近年来堆石坝的施工机械日趋发展,可以预见,堆石坝将会被更普遍地采用。

图 1-1 为几种采用不同防渗体堆石坝的代表性剖面示意图,其中(a)、(b)与(c)分别为钢筋混凝土面板堆石坝、土斜墙堆石坝与土心墙堆石坝。

自开始建筑堆石坝以来,随着经验的累积,新型施工机械的制成和投入使用,堆石坝的设计和施工技术以及坝的结构形式,都得到不断的发展。其发展过程可大概分为三个阶段。现简述如下。

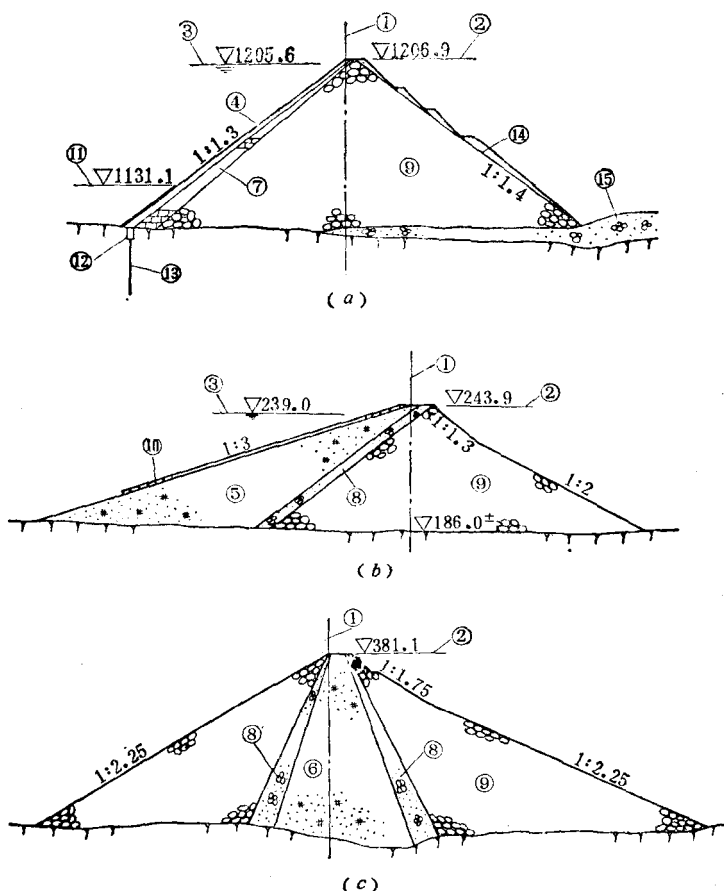


图 1-1 几种采用不同防渗体的堆石坝剖面示意图

(a) 盐泉(Salt Spring)坝; (b) 因兰德(Inland)坝; (c) 斯蒂文斯(Stevens)坝
 ①—坝轴线; ②—坝顶高程(m); ③—最高库水位(m); ④—钢筋混凝土面板; ⑤—土斜墙; ⑥—土心墙; ⑦—干砌块石; ⑧—反滤层; ⑨—堆石区; ⑩—块石护坡; ⑪—木板护面至高程(m); ⑫—混凝土截水墙; ⑬—灌浆帷幕; ⑭—平均坝坡; ⑮—压实的漂砾石

第二节 第一阶段(1850年~1940年)

十九世纪中叶，美国加利福尼亚州的一些金矿区，开始建筑堆石坝。起始时，所建的坝高较低，一般不超过25m，此后至1940年左右约90年间，建筑的堆石坝高度逐渐增加，例如图1-1(a)即为美国于1931年建成的盐泉(Salt Spring)坝，坝高100m。防渗体一般都采用钢筋混凝土面板或木板，也有少数采用沥青混凝土面板、钢面板或钢心墙。

在1940年以前，振动碾尚未问世，故在上述的约90年内，堆石区的施工大都先架设高架栈桥，从栈桥上用自卸卡车或侧卸火车车厢将块石抛掷填筑在堆石区范围内，或自岸坡上高处用自卸卡车将块石倾抛入堆石区，利用块石下落的动力，相互撞击，碰断块石的棱角，使块石与块石间能有较好的接触，以提高其密实度。在盐泉坝所采用的块石抛落高度达50m。施工完成后，施工用栈桥的大部分支架，都被埋留在堆石体内，无法取出。当时对堆石区所用的块石要求很严，如块石应完整无裂缝；石质应坚硬、不易风化或软化；块石材料内碎片和石屑的含量不应超过材料重量的10%；在运输设备允许的条件下，尽可能采用大块石等等。在每层块石抛掷就位后，还要用大量高压水冲射，将碎片石屑等冲入块石间的空隙内，使块石面能与下一次抛掷的块石面直接接触。

在堆石区的上游，一般都设置用人工堆砌或用吊车细致铺筑的毛石过渡区，以支承防渗面板。过渡区石块间的空隙，尽可能用碎石或石片填嵌，使其质量能达到一般干砌块

石的要求，能较坚实地支承面板，将作用于面板上的库水压力较均匀地传递给堆石区，同时可缓和堆石区变形对面板的影响。过渡区的厚度从 1.5m 到 15m 不等，由设计者根据其经验来判断采用。为了便于施工设备能在过渡区的层面上运行，过渡区在垂直于上游坝面方向上的最小厚度，以 3 m 左右较为适宜。

在这时期中所建筑的堆石坝，经常采用钢筋混凝土面板作为防渗体。钢筋混凝土面板一般为一层，但也有采用两层（层间涂刷沥青）复合而成。当钢筋混凝土面板所承受的最大库水压力水头小于 90m 时，面板在顶部的最小厚度一般为 0.3m，其底部最大厚度为承受的最大压力水头的 10%。面板内设置有两向钢筋，每向配筋的含钢率一般均为 0.5%。当面板厚度小于 0.6m 时，两向钢筋都设置在面板厚度的中部。钢筋混凝土面板大都在水平与上下方向上，每隔 9 至 18m 各设有伸缩接缝，使面板较能适应堆石体的变形和防止面板因干缩和水泥水化热而产生的冷缩裂缝。但也有极少数堆石坝的面板，未设伸缩缝而仅有施工缝，使整个面板连成一体。

但上述堆石区的抛填施工方法，一般难以获得所需要的密实度，且变形模量较小，堆石体在库水压力、自重和地震力等的作用下，往往会产生较大的变形，从而使钢筋混凝土面板产生较严重的裂缝；在水库死水位以下的面板如发生裂缝，则因难于修理会造成长期渗漏；木面板虽较能适应堆石体的变形，但在水库死水位以上的面板，由于经常处于干湿交替的状况易于腐烂而需要定期修补或更换；钢面板也存在有受大气和库水的锈蚀等等问题，在这一阶段内，都未能获得较满意的解决。

第三节 第二阶段(1940年~1960年)

自1940至1960年期间,随着土力学、土工试验技术与土壤碾压设备的发展,利用土料作为防渗体的堆石坝,得到了迅速的发展。土防渗体具有较高的塑性,比钢筋混凝土面板易于适应堆石体的变形。只要土料的成分与特性能满足作为防渗体材料的要求,坝址附近土源充足,经过精心设计和严格施工,土防渗体一般都能长期良好地运行。

参阅图1-1(b)可知,土斜墙堆石坝的上游面坡度,主要取决于土斜墙的坝坡稳定要求,必须根据土料特性、坝址区的地震烈度与水库运行条件等,进行坝坡稳定分析来设计选用。在土斜墙的上游面,还需抛置适当厚度的大块石作为护面,以保护土斜墙免受水库风浪的淘刷和其他原因的损毁。土斜墙的厚度,自坝顶向下逐渐增加,其具体厚度则常因土料特性、施工要求与坝高的不同而各有差异。土斜墙的下游过渡区一般为反滤层;反滤层的下游为堆石区。

参阅图1-1(c)可知,土心墙一般被设置在堆石坝的中央部分;也有被设置成从坝顶起略向上游倾斜,称为土斜心墙。土心墙两侧的坡度一般较陡,如水平1:垂直3,但也有较平缓的,视土料特性与土源储量而定。土心墙的上下游侧都设置过渡区,一般均为反滤层,对下游侧反滤层的设计与施工要求都比上游侧为高。过渡区的上、下游分别为上、下游堆石区。由于库水压力全部作用在心墙堆石坝的心墙上游面上,因而主要依靠心墙,下游过渡区和下游堆石区的重量与抗剪强度来保持整个坝体的稳定;所以心墙堆石坝的下游面坡度,一般要比面板堆石坝为缓。

由于土心墙堆石坝比土斜墙堆石坝具有较好的防震性能，因而常被较普遍地采用。特别是高堆石坝采用土心墙的更多。迄今已建成的高土心墙和土斜心墙堆石坝，有高261m奇科森坝、高300m的努列克坝、高235m的奥洛维尔坝和高335m的罗贡坝等，在高度上发展很快。

土心墙和土斜墙堆石坝，也具有以下一些不足之处：

1) 坝址附近须有符合特性要求和储量满足需要的土源。否则，从远处运输土料，将增加造价。

2) 土斜墙堆石坝的上游坝坡和土心墙堆石坝的下游坝坡，一般都要分别比面板堆石坝的上、下游坝坡平缓，因而它们的工程量与造价一般也大于面板堆石坝，且工期也较长。

3) 由于坝体工程量的增加，以及某些情况下，因坝体各部位的施工相互制约而不能全坝面同时填筑，导致工期的相对延长，将使土斜墙和土心墙堆石坝的施工导流，也增加了复杂因素。

4) 在多雨地区，土斜墙和土心墙堆石坝的斜墙与心墙的施工常受雨天的影响，有可能会因此延长工期及增加造价。

5) 反滤层需审慎设计、严格施工，也增加了施工的复杂程度。

第四节 第三阶段(1960年~)

50年代末，堆石坝施工用的振动碾问世，引起堆石坝的设计与施工技术，发生了一次突破性的发展。用振动碾碾压的堆石体，可比以往用抛掷法填筑的堆石体具有更高的密度和更大的变形模量，使堆石体在各种荷载作用下的变形量大幅度降低，而且对石料的要求也可以适当放宽。堆石体变

表 1-1

部 分 混 凝 土

坝 名	国 名	坝 高 (m)
新埃克斯奇格New Excheguer	美 国	150
拉马Rama	南斯拉夫	110
塞萨纳Cethana	澳大利亚	110
奥尔托安奇卡亚Alto Anchicaya	哥伦比亚	140
古莱拉斯Golillas	哥伦比亚	130
福兹多埃里阿Foz do Areia	巴 西	160
尼维里图里米久亚Neveri-Turimiguire	委内瑞拉	115
曼格魯武溪Mangrove Creek (Raised)	澳大利亚	105
谢罗罗Shiroro	尼日利亚	130
亚肯布Yacambu	委内瑞拉	150
赛尔瓦吉娜Salvajina	哥伦比亚	145
库莱姆Khao Laem	泰 国	105
福图娜Fortuna	巴拿马	105
下皮门Lower Pieman	澳大利亚	122
艾塔Ita	巴 西	123
赛格雷杜Segredo	巴 西	145
卡利瓦Kaliwa	菲 律 宾	100
马查丁胡Machadinho	巴 西	121
拉米尔La Miel	哥伦比亚	180
迪奈溪Diney Creek	美 国	115
普撒二级Puza Second Stage	西 班 牙	136
天生桥一级高坝	中 国	180
潘口	中 国	123

注 表中 H 为作用于面板上的库水水头(m)。

面 板 堆 石 坝

建成 年份	坝 坡		石 料 名 称	面 板 厚 度 计 算 公 式 (m)	每 向 配 筋 含 钢 率 (%)	底 座 宽 度 (m)
	上 游	下 游				
1966	1:1.4	1:1.3	变质安山岩	$0.30 + 0.0067H$	0.5	
1967	1:1.3	1:1.4				
1971	1:1.3	1:1.3	石英岩	$0.30 + 0.002H$	0.5	3~5.36
1974	1:1.4	1:1.4	角闪岩	$0.30 + 0.003H$	1.0, 0.5	7.0
1978	1:1.6	1:1.6	砾岩	$0.30 + 0.0037H$	0.4	3.0
1980	1:1.4	1:1.4	玄武岩	$0.30 + 0.00357H$	0.4	4.0~7.5
1981	1:1.4	1:1.5	石灰岩	$0.30 + 0.002H$	0.5	3.5~7.5
1981	1:1.5	1:1.6	泥岩及砂岩	$0.30 + 0.003H$	0.35	4.0
1982	1:1.3	1:1.3	花岗岩	$0.30 + 0.003H$	0.5~0.6	6.0
1982	1:1.5	1:1.5	砾石		0.4	
1985	1:1.5	1:1.5	开挖石碴	$0.30 + 0.003H$	0.4	4~8
1984	1:1.4	1:1.4	石灰岩	$0.30 + 0.003H$	0.5	3.5
1983	1:1.3	1:1.4	安山岩	$0.411 + 0.003H$	0.5	4
1986	1:1.3	1:1.3	辉绿岩	$0.30 + 0.001H$	0.5	3~9
设计中	1:1.3	1:1.3	玄武岩	$0.30 + 0.00334H$	0.4	
施工中	1:1.3	1:1.3	玄武岩		0.3	
设计中						
设计中	1:1.3	1:1.3	玄武岩	$0.30 + 0.0034H$	0.4	
设计中	1:1.5	1:1.5	闪长岩	$0.30 + 0.003H$		
计划中						
计划中	1:1.3	1:1.5				
设计中	1:1.4	1:1.4	石灰岩及部分砂泥岩	$0.30 + 0.0035H$	0.5	6~10
设计中	1:1.4	1:1.5	石灰岩及硅质岩	$0.30 + 0.00375H$		4~7.5

形减小后，又因钢筋混凝土面板堆石坝的面板接缝的止水设施经过改进，使钢筋混凝土面板能适应这种较小的变形而运行良好，从而解决了以往钢筋混凝土面板经常会产生裂缝和漏水的问题；于是以往曾一度被认为是无发展前途的钢筋混凝土面板堆石坝又被重视起来。随着堆石坝观测设备和试验技术的改进，有限元计算方法的创立和滑模在混凝土面板施工中被广泛地采用，钢筋混凝土面板堆石坝的设计与施工又有了新的发展，创造了新型钢筋混凝土面板堆石坝（如图 1-2）。这种新型钢筋混凝土面板堆石坝具有工程量较小、施工较简单、工期较短、造价较低和运行安全等优点，因而在此阶段的二十余年中得到了迅速的发展。表 1-1 列出了自 60 年代以来，已建成和在设计、计划中的部分坝高大于 100m 的新型钢筋混凝土面板堆石坝（在本书中以下均简称为混凝土面板堆石坝）。表中最早建成的新埃克斯奇格（New Exchequer）坝于 1966 年建成。

在表 1-1 所列各坝中，以巴西于 1980 年建成的福兹多埃里阿（Foz do Areia）坝在坝高、设计和施工技术以及运行性能上都是混凝土面板堆石坝的典范。图 1-2 为福坝的典型横剖面图。

新型混凝土面板堆石坝与第一、第二阶段的堆石坝相比，具有以下改进之点：

1) 除了利用振动碾碾压堆石区可获得较高的密实度与较大的变形模量，已如上述外；还可利用振动碾碾压过渡区的面板垫层，代替了以往用人工堆砌或吊车铺设的施工方法，大大简化了施工，加快了施工进度。

2) 采用粒径较小、级配良好的石料，用振动碾碾压过渡区垫层，提高了垫层的密实度与均匀性，而且具有低透水

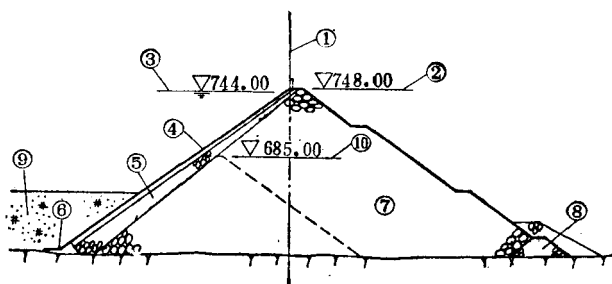


图 1-2 福兹多埃里阿混凝土面板堆石坝典型横剖面图

①—坝轴线；②—坝顶高程(m)；③—库水位(m)；④—钢筋混凝土面板；⑤—垫层(过渡区)；⑥—混凝土底座；⑦—堆石区；⑧—下游围堰；⑨—面板上游回填土料；⑩—第一期汛期导流挡水断面顶高程(m)

性，可起临时挡水的作用。

3) 放宽了对堆石区石料的条件要求。

4) 根据堆石体各部分在库水压力下的受力情况，将堆石区又划分为若干分区；视各分区的受力情况，分别提出对各分区的石料和碾压要求。这样，可使对石料的要求更为合理，并可加快施工，降低造价。

5) 混凝土面板取消了水平向伸缩接缝，改为施工接缝，便于利用滑模连续浇筑，简化了施工，可加快施工进度。

6) 改进了混凝土底座的结构型式，从以往的截水齿槽式底座改为趾板式底座，可避免槽挖，简化施工。

7) 改进了面板与底座间周边接缝和面板上下向伸缩接缝内的止水设施，使能更好地适应周边接缝与伸缩接缝两侧的相对变位，避免止水遭受损坏，减少渗漏。

有关混凝土面板堆石坝的勘测、设计、施工的技术细节与运行情况，将在以下各章中阐述。

第二章 设计中的问题及坝基处理

在河流或河段的水利水电开发规划经审查批准以后，进行某一梯级工程设计的坝址和坝型选择时，就需配合进行一部分初步的勘测、试验工作。在选定坝址和决定采用混凝土面板堆石坝后，还需进一步开展各项有关混凝土面板堆石坝的勘测、试验，为设计收集提供各种基本资料。这些勘测、试验资料，不仅要准确反映自然与客观实际，而且要满足设计的要求。因此，为了阐述与阅读方便起见，本书先介绍有关混凝土面板堆石坝的设计技术问题与坝基处理的要求，然后介绍在勘测试验中应注意与解决的问题。

第一节 设计中应考虑与解决的一些 主要问题

在混凝土面板堆石坝设计中，必须要研究考虑以下一些主要技术问题，并须满足与妥善解决这些问题：

- 1) 整个坝体在库水压力、自重与其他荷载（如地震力等）的作用下，必须保证能具有足够的整体稳定性。
- 2) 坝的上游与下游面坡度，除了应使堆石体具有足够重量和抗剪强度能满足上述第一条的要求外，还须能保证满足上、下游坝坡的自身稳定要求。
- 3) 堆石体在各种荷载作用下，并考虑堆石蠕变特性后所产生的最大变形值，必须要限制在钢筋混凝土面板所能适应的限度以内，以避免面板产生裂缝和引起周边接缝与伸缩