

《水利水电施工》  
丛书



混凝土面板堆石坝  
设计与施工

蒋颁涛 韩正海 李忠定



# 混凝土面板堆石坝 设计与施工

蒋颂涛 韩正海 李忠定

水利电力出版社

## 内 容 提 要

本书较全面地介绍了混凝土面板堆石坝的设计方法及施工工艺,并提供必要的数据及有关资料。书中对于一般土石坝所未曾遇到过的特殊工艺(如斜坡碾压、上游坡的临时防渗加固处理、混凝土面板的滑模施工等)予以更详尽的阐述。对于这种坝型的原型观测及运行管理亦作了简要叙述。

本书收集了近几十年来国外同类坝型的有关信息及国内在建的几座混凝土面板堆石坝的实践经验,反映了这一坝型的国内外最新水平,有广泛的实用价值。

本书可供从事水利水电工程科研、设计及施工技术人员参考,亦可供水利水电专业院校师生阅读。

21668

《水利水电施工》丛书  
**混凝土面板堆石坝设计与施工**  
蒋颂涛 韩正海 李忠定

\*

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 8印张 175千字

1991年1月第一版 1991年1月北京第一次印刷

印数0001—2720册

ISBN 7-120-01182-0/IV·440

定价5.50元

## 序

水是人类生存和社会生产必不可少的物质资源。水利工作的基本任务是除水害、兴水利，开发、利用和保护水资源，为工农业生产和人们的物质、文化生活创造必要的条件。普及水利科学技术知识，让更多的人了解和掌握水利科学技术，也是两个文明建设的内容之一。为此，针对水利战线职工和社会上不同文化程度读者的需要，分层次地编写出版水利科普读物是十分必要的。

为了帮助水利科技人员的知识更新，掌握一些现代科技知识，并使水利科技成果更广泛地得到推广应用，尽快地形成生产力；为了使广大农村水利工作人员，掌握一些实用的水利基础知识，并应用于生产实际；为了总结和宣传我国水利建设的伟大成就和悠久历史，介绍水利在四化建设和人民生活等方面的重要作用，激发广大人民群众和青少年热爱祖国江河、关心水利事业，我们组织编写了七套水利科普丛书。包括：《现代科技》丛书、《水利科技成果》丛书、《水利水电施工》丛书、《小水电技术》丛书、《农村水利技术》丛书、《中国水利史》小丛书、《水与人类》丛书。这些科普丛书将由水利电力出版社陆续出版。

编写和审定这些丛书时，力求做到以思想性和科学性为前提，同时注意通俗性、适用性和趣味性。由于我们工作经验不足。书中可能存在某些不妥和错误之处，敬请广大读者给予批评指正。

中国水利学会科普工作委员会

1984年7月

## 水利科普丛书编审委员会名单

主任委员：史梦熊

副主任委员：董其林

委员（以姓氏笔划为序）

丁联臻	王万治	史梦熊	田 园
李文治	郗凤山	杨启声	张宏全
张林祥	沈埝卿	陈祖安	陈春槐
汪景琦	郑连第	郭之章	赵珂经
茹 智	陶芳轩	谈国良	徐曾衍
蒋元驹	曹述互	曹松润	董其林
颜振元			

## 前 言

混凝土面板堆石坝在土石坝建设中是一种较早的坝型。在50年代以前，国外已经采用这种坝型，例如：1925年在美国建成高度达84.2m迪克斯河（Dix River）坝，1931年在美国建成高度达101m的盐泉（Salt Springs）坝，1955年在葡萄牙建成高度达112m的帕拉迪拉（Paradela）坝等。当时，这些坝均采用抛石填筑坝体，因此不够密实，沉降量较大，即使采用了较厚的钢筋混凝土面板，仍未避免产生裂缝与漏水。到60年代以后，国外逐渐开始采用分层振动碾压堆石的施工方法，使坝体的密实程度显著提高，堆石孔隙率一般可以达到20%~30%左右，减少了堆石体的沉降量与水平位移量，结果，即使采用了较薄的钢筋混凝土面板，也极少出现裂缝，防渗效果较好。由于这一原因，加上其他一些因素，混凝土面板堆石坝又重新在国外兴起，成为当前土石坝建设中的一种重要坝型。例如：在澳大利亚1971年建成高度达110m的塞沙那（Cethana）坝，在哥伦比亚1974年建成高度达140m的安其卡亚（Alto Anchicaya）坝，在巴西1980年建成高度达160m的阿里亚（Foz De Areia）坝等，均取得了成功。

我国的坝工建设，在一定时期内，曾出现了与国外相反的情况，许多已建成或正在规划设计中的高坝工程，大多数均是混凝土坝，较少采用高土石坝。近几年来，国家实行改革开放的政策以后，我们接受了国外的有益经验，已开始积极掌握与推广混凝土面板堆石坝这种坝型，加快我国土石

坝建设进程。目前，据我们初步统计，在国内采用这种坝型的在建和拟建工程，已达20多项。

混凝土面板堆石坝具有坝体断面小、安全性好、施工简便、导流简化、工期短、造价低等优点，比较适合在我国应用。就1988年已建成的辽宁省关门山水库混凝土面板堆石坝（坝高58.5m）来说，充分说明了这些优点是确实存在的。

我们应中国水利学会施工专业委员会要求，接受编写《混凝土面板堆石坝设计与施工》一书，对我们来说，既是尝试，又是一项艰巨任务。在编写过程中，我们始终得到纪云生、蒋元驹同志的关心与指导，在此深致谢意！

由于作者水平所限，书中难免还存在问题与不足之处，敬请各有关部门的专家和同志们给予指正。

作 者

1990年6月

# 目 录

序

前 言

第一章 概述	1
第一节 混凝土面板堆石坝的发展过程及现状	1
第二节 混凝土面板堆石坝的特点	3
第二章 坝址选择及枢纽工程布置	8
第一节 坝址选择	8
第二节 枢纽工程布置	10
第三章 混凝土面板堆石坝设计	15
第一节 设计原则	15
第二节 坝体稳定分析	16
第三节 筑坝堆石料及坝体分区	24
第四节 混凝土面板与趾板设计	42
第五节 面板接缝构造及止水材料	53
第六节 坝基处理	61
第七节 面板坝的变形特性及应力应变分析	63
第八节 面板坝的冰压力问题	73
第四章 混凝土面板堆石坝施工	77
第一节 施工导流	77
第二节 坝基处理	104
第三节 筑坝材料的开采	110
第四节 筑坝材料的运输与填筑	123
第五节 混凝土面板施工	159
第六节 施工质量检查	198



第五章 混凝土面板堆石坝的原型观测与管理 .....	215
第一节 原型观测的目的与内容 .....	215
第二节 观测设备布置 .....	222
第三节 观测成果的整理与分析 .....	227
第四节 混凝土面板堆石坝的管理与缺陷处理 .....	232
附录 国内外部分面板坝资料统计 .....	236
主要参考文献 .....	246

# 第一章 概 述

## 第一节 混凝土面板堆石坝的发展过程及

### 现状

混凝土面板堆石坝是在堆石体上游坡设置混凝土薄板作为防渗体的堆石坝（简称面板坝）。这一坝型在世界筑坝史上出现较早，1910年美国就已建成高42m的雷利(Relief)坝，后来又陆续建成狄克斯河(Dix River)坝、盐泉(Salt Springs)坝等。这些水坝的出现与当时的淘金热及采矿业发展有关，矿业需要水源，矿工熟悉爆破技术，这一坝型自然应运而生。最初曾以木面板防渗，以后随着坝高不断增加，逐渐过渡到采用混凝土面板防渗。不过，这一时期的面板坝都是采用抛填法施工的，即利用栈桥或岸坡自上而下抛填石料，以石料下落势能，并辅以水冲使其密实。当时，对石料要求甚严，以盐泉坝为例，要求石场采出的堆石料必须新鲜、坚硬和完整；还要求有足够的韧性，以便施工时不致因抛填能量较大而导致过分破碎，较大石块的平均重量要求大于2.72 t；该坝还打破以往惯例，使用了部分小径块石，改善堆石级配。当时填筑层的厚度较大，盐泉坝最低一层的抛填厚度为51.9~56.4m，中间层厚22.9m，最上一层厚19.8m。面板下为大块石垫层，每块重量达十几吨。葡萄牙建成的帕拉迪拉(Paradela)坝，抛填层的厚度自下而上分别为30m、8.5m、3.7m，冲填用水量常达堆石体的4倍。尽管设计和施工都做了很大努力，但采用这种方法修建的大

坝，沉陷量还是很大，一般达坝高的1%~2%左右，有时达到坝高的4%。有几座坝因过大的沉陷使面板开裂，从而产生渗漏，影响水库正常蓄水。

由于出现上述渗漏问题，使坝工界对混凝土面板堆石坝的可靠性产生了怀疑，以致在较长一段时间内，这种坝型的发展出现了停滞现象，坝工专家们把研究和实践的重点开始转移到以土料为防渗体的堆石坝上来。因为土料具有一定的柔性，较能适应堆石体的变形。这方面的研究已取得了极为可贵的成果，使土石坝的数量增多了。后来在高坝建设中土石坝所占的比例，由原来的30%增加到60%以上。到目前为止，世界上最高的大坝是苏联的罗贡（Рогун）堆石坝，坝高达325m；而混凝土拱坝最大的高度为272m[苏联的英古里（Ингури）坝]，混凝土重力坝的最大高度为285m[瑞士的大狄克桑（Granda Dixence）坝]。

20世纪60年代以后，随着重型振动碾压机械的出现，使混凝土面板堆石坝又获得了新生。采用薄层填筑，重型振动碾压实的新工艺，使堆石体的密实度有了很大程度的提高，坝的沉陷量大幅度降低，由以往坝高的1%~2%降至0.1%~0.2%左右，这就从根本上改变了混凝土面板的工作条件，面板不再容易出现导致渗漏的裂缝。1956年苏格兰修建的高34m的夸衣奇（Quaich）坝、1963年美国修建的高35m的陶姆·索克（Taum·Sank）坝，采用这种施工方法后，坝体变形较小，运行都很正常。1971年澳大利亚建成高110m的塞沙那（Sethana）坝，以其优异的压实质量著称于世，其坝顶总沉陷量仅有7cm，约为坝高的0.06%。1974年哥伦比亚建成高140m的安奇卡亚（Alto Anchicaya）坝，1980年巴西建成目前世界上最高的（坝高160m）阿里亚

(Foz Do Areia) 坝, 1985年哥伦比亚建成以砂砾石为主体的萨尔瓦兴娜坝(高145m)都取得理想效果。这一系列成功的实践, 把这种坝型推向较为理想的境地, 使其在不断创新、不断改进的基础上大踏步前进。据国外资料不完全统计, 截至1987年止, 国外已建成和正在施工的混凝土面板堆石坝达109座, 其中高度在50m以上者61座, 高度在100m以上者26座。在我国, 这一坝型也正在兴起, 1984年以来, 已有20余座坝采用或拟采用这一坝型。目前, 已建成的有辽宁省的关门山坝(高58.5m), 正在施工的有湖北省西北口坝(高95m)、浙江省成屏坝(高75m)、龙溪坝(高58.9m)及横山大坝加高、湖南省株树桥坝(高78m)、青海省沟后坝(高70m)、小干沟坝(高60m)等9座。关门山坝已于1988年10月建成后蓄水运用, 西北口、成屏、小干沟等坝也将于1~2年内完工。这些工程建设, 将对该坝型在我国的推广应用, 起到积极的作用。

我国在建和拟建的混凝土面板堆石坝, 见表1-1。

## 第二节 混凝土面板堆石坝的特点

如上节所述, 混凝土面板堆石坝在国内外发展如此之快, 绝非偶然, 它是以技术上和经济上的优势得到较快的发展。目前, 国外坝工界已将该坝型列为选择坝型时必须参与比较的坝型之一。在我国, 这一坝型也正在引起坝工专家们的重视。所以如此, 则是由于它具有以下一些特点。

(1) 可以充分利用当地材料筑坝, 大量节省三材和投资。利用当地材料筑坝, 一般都较经济, 而混凝土面板堆石坝在这方面具有更明显的优势。凡建坝地区, 做为这种坝型

表 1-1

我国在建和拟建的

工程阶段	工程名称	所在地(省、区)	坝高(m)	坝长(m)	坝体积(万m <sup>3</sup> )	堆石性质
已建成	关门山 柯柯亚	辽宁 新疆	58.5	184	41	安山岩
			41.5	120	42	砂砾石
在建	西北口 株树桥 成屏一级 沟后 龙溪 小干沟 塔斯特 白杨河 横山加	湖北 湖南 浙江 青海 浙江 青海 新疆 新疆 浙江	95	222	172	白云质灰岩
			78	245	81.8	灰岩, 板岩
			74.6	218	72	凝灰岩, 熔岩
			70	252	90	砂砾石
			58.9	132	28	熔结凝灰岩
			55	93	30	花岗岩, 砂砾石
			43.1	350	41	砂砾石
初设	龙滩 天生桥一级 洪家渡 滩坑 白云湖 黑潘河 双沟 天荒坪 万安山 小松山 沙铺	广西、贵州 贵州 浙江 湖南 陕西 湖北 吉林 浙江 福建 吉林 吉林 浙江	210	730	2100	泥板岩, 砂岩
			180	1178	2760	灰岩, 砂泥岩
			178	490	1021	灰岩
			161	506	952	凝结集块岩, 熔结凝灰岩
			130			砂岩, 石英砂岩
			126	400	500	砂砾石
			123	322	346	灰岩, 硅质岩
			103	299	256	
			上库85.5	453.7	218	熔结凝灰岩
			下库98.5	238.9	141	
			90.5	212	120	
			86.1	290	137.4	
			74.4	253	156.1	
			61.6	172	41.6	熔结凝灰岩
可行性 研究	紫坪铺 吉林台 湾	四川 新疆 江苏	155	736	900	灰岩, 砂页岩
			152	397	1030	凝灰岩, 砾岩
			66.8	648		石英砂岩

注 1. 本表资料主要来源于1987年“全国混凝土面板堆石坝施工技术研讨  
2. 面板厚一栏中“H”为该部位距坝顶高度。

### 混凝土面板堆石坝

上游坡率 1:m	下游坡率 1:m'	面板厚度(m)	面板各向含筋率 (%)	面板面积 (万m <sup>2</sup> )
1.4	1.3	0.3~0.5	0.4	0.82
2	1.5	0.5	0	1.2
1.4	1.4	0.3~0.6	纵0.5横0.4	2.93
1.4	1.7	0.3~0.5	纵0.4横0.35	2.33
1.3	1.3	0.3~0.5	纵0.4横0.3	1.58
1.6	1.5	0.3~0.6	纵0.5横0.3	1.8
1.3	1.3	0.4	0.4	0.71
1.4	1.4	0.3~0.5		
1.6	1.6	0.5		1.8
1.4	1.3	0.3		1.16
1.4	1.4	0.3+0.003H	0.4	16.37
1.4	1.29(1.41)	0.3~0.9	0.5	15.9
1.4	1.4	0.3~1.0	0.5	
1.4	1.25(1.4)	0.3~0.9	纵0.45横0.4	7.8
1.4~1.5	1.3~1.5	0.3+0.0072H	0.5	
1.8	1.8	0.3~0.7	0.5~0.4	
1.4	1.5	0.3~0.74	0.5	4.62
1.41	1.52			
1.4	1.33	0.3~0.53		
1.3	1.4			
1.4				
1.4	1.51			
1.3	1.3	0.3~0.6	1	
1.4	1.5	0.3+0.0031H	0.3	13.6
1.5	1.5	0.3~0.9		
1.4	1.4			

班”，近年可能有所变动；

坝料主体的石料及砂砾料，其储量都比较丰富，而混凝土用量很少。我国在最近一段时期内，钢材、木材及水泥的供应不可能缓和，价格也将不断上涨，因此混凝土面板堆石坝与混凝土重力坝相比，具有一定的优越性。就辽宁省关门山工程而论，混凝土面板坝比原设计混凝土双曲拱坝可节省资金约16%。与其它类型的土石坝相比，因混凝土面板堆石坝坝坡较陡，工程量可节省25%~30%。此外，因不使用粘性土料防渗，还可以节省较多的土地资源。天生桥一级大坝，曾对心墙堆石坝与混凝土面板堆石坝进行比较，后者可节省土石方填筑量达27%，节省资金近8000万元。湖南省株树桥坝，曾对混凝土空腹重力坝、粘土斜墙堆石坝及混凝土面板堆石坝三种坝型进行过比较，若混凝土面板堆石坝的造价为1时，混凝土重力坝为1.21，粘土斜墙堆石坝为1.10。仅就以上数例，也可以看出混凝土面板坝在经济上的优势。

(2) 坝体结构简单，工序间干扰少，便于机械化施工作业。混凝土面板堆石坝由混凝土面板及堆石坝体组成，从施工工序看，高度在100m以下的坝，绝大多数是先将堆石体填筑到顶后，再进行混凝土面板浇筑，亦即大坝施工前一阶段主要是土石方工程，只要施工设备齐全，配合密切，就可以毫无干扰地进行快速施工；施工后期，只有混凝土面板浇筑任务，也可以同样不受干扰地进行。另外，所需施工机械都属混凝土及土石方工程通用机械，为施工创造了便利条件。当然，也会遇到我们过去所不太熟悉的新工艺，如面板大面积滑模施工、坝体斜坡碾压、上游坝坡的固坡与防渗处理等；不过这些难点，经过目前的工程实践，都已经得到初步解决。可以认为，凡参加过一般土石坝施工的队伍，都能圆满地建成高质量的混凝土面板堆石坝。西北口、关门

山、成屏等工地的经验充分地说明了这点。

(3) 施工受气候条件的影晌小, 年工作日数增加, 可使工期加快。堆石坝体施工是控制工期的主要因素, 而气候条件对堆石施工影响很小, 只要石场和坝面施工安排适当, 不论雨季或者冬季均可以进行石料填筑, 因而提高了全年工作日数, 相对地缩短了工期。根据目前已建工程经验, 混凝土面板坝可比一般土石坝缩短工期 1~2 年。

(4) 运行安全, 维修方便。由于分层碾压后的堆石坝体具有良好的抗冲蚀能力, 因此, 即使出现渗漏情况, 也不致危及坝的安全。迄今为止, 国外的混凝土面板堆石坝还没有因渗漏而引起失事的先例。而渗漏对土质防渗体的危害则是不容忽视的, 因为渗透破坏是导致一般土石坝失事的一个重要原因。

起防渗作用的混凝土面板, 位于大坝表面, 即使出现一些裂缝与渗漏, 也比较容易维修和加固。不少工程实践证明, 向位于水下面板渗漏点铺撒粉砂、煤渣等, 可以有效地减少渗漏量; 必要时也可以在面板表层覆盖沥青油毡、橡胶板等, 防止面板渗漏。如出现严重渗漏, 也可放空水库进行全面维修, 经防渗处理后的大坝, 仍能照常运用。



## 第二章 坝址选择及枢纽工程布置

### 第一节 坝 址 选 择

混凝土面板堆石坝的坝址选择原则与其它类型的土石坝类似，其分析研究的重点，是坝址区的地形、地质及施工条件。

#### 一、地 形 条 件

混凝土面板对堆石坝体的沉陷特别敏感。任何较大的不均匀沉陷，都可能导致面板开裂。产生不均匀沉陷的地形因素有二，一是河床部位不平整，坝基范围内存在起伏不平的高地。当地面高低差别较大时，填筑堆石体的厚度变化亦大，因而在自重及水压力作用下的变形也不一样，这种不均匀变形有可能使面板出现裂缝；二是岸坡的变化不规则，有局部陡壁或倒悬体，致使周边缝附近面板产生较大变形，破坏周边缝的止水结构而产生渗漏，因此，在拟定坝轴线时，必须对河床及两岸地形予以充分重视。我国西北口和关门山工程，对两岸陡壁及倒悬，都进行了局部的削坡处理。当然，从国外已建面板坝实例看，各种不同形状的河谷，只要进行适当处理，都可以修建混凝土面板堆石坝。但是，在河床宽而且比较平整、两岸近似直线斜坡的河谷，对该坝型的工作条件将更为有利，如巴西阿里亚坝，尽管大坝产生了较大变形，但对面板却无显著不良影响，多年来运行一直正常。