

# 混凝土面板堆石坝

Concrete Face Rockfill Dams

能源部、水利部水利水电规划设计总院  
中国电力企业联合会科技工作部  
长江葛洲坝工程局施工科学研究所

傅志安 凤家骥 主编



华中理工大学出版社

# 混凝土面板堆石坝

能源部、水利部水利水电规划设计总院  
中国电力企业联合会科技工作部  
长江葛洲坝工程局施工科学研究所

傅志安 凤家骥 主编

华中理工大学出版社

---

## 内 容 提 要

混凝土面板堆石坝是近年来迅速发展的一种水利水电筑坝技术。本书系统地介绍了这项技术在理论和实践方面的新发展,全面总结了近年来国内、外混凝土面板堆石坝的研究和应用成果。全书共分12章,包括混凝土面板堆石坝的材料性质、设计理论和计算方法、施工方法与工艺、原型监测等部分。书中还附有国内、外工程实例。本书是为从事水利水电工程设计、施工和运行管理工作的技术人员编写的一部具有较高学术价值和参考价值的专著,并可作为技术干部知识更新的培训教材,亦可供有关专业院校的师生参考。

21115/31 25

### 混 凝 土 面 板 堆 石 坝

主 编 傅志安 凤家骥

责任编辑 刘继宁 钟小珉

\*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌 喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 22.75 字数: 572千字

1993年5月第1版 1993年5月第1次印刷

印数: 1—3 500

ISBN 7-5609-0835-7/TV·3

定价: 29.00元

(鄂)新登字第10号

## 《混凝土面板堆石坝》编委会名单

主    审：纪云生  蒋国澄  邴凤山  
主    编：傅志安  夙家骥  
副主编：李春敏  孙玉琳  李允中  司洪洋  
编    委：(以姓氏笔划为序)  
          夙家骥  卢立生  司洪洋  阮以弘  
          孙永娟  孙玉琳  刘建国  李允中  
          李良福  李  新  李春敏  吴  哲  
          汤跃超  沈迪森  张江南  周世明  
          金诚和  费骥鸣  傅志安  
执行编委：吴  哲

# 序

混凝土面板堆石坝是近二三十年内发展起来的一种坝型。和常规的粘土心墙堆石坝相比，它具有不少明显的优点：断面较小，材料较易取得，施工方便，导流简易和工期短、造价低等。可以说，它代表了一种极有前途的新坝型，从而引起了国际坝工界的普遍重视。

我国水利建设任务艰巨，水电资源独步全球，亟待加速开发，坝工建设正方兴未艾。但在高坝中采用土石坝的比例较小。这里有历史和认识上的因素，也确实存在修建高土石坝时面临的一些困难，例如导流流量巨大，雨季较长，缺乏合适的防渗土料以及坝体断面过大等。混凝土面板堆石坝的问世，恰好在这些方面提供了解决的途径。因此，这种坝型在我国得到迅速发展和广泛采用，并将在今后坝工建设中成为具有很强竞争力的坝型，决不是偶然的。

在我国大力推广这种坝型的过程中，我们曾广泛地学习国际先进经验，出版过许多译文集和资料汇编，同时在国内也开展了大量研究、试验和监测反馈工作，并将它列为国家“七五”科技攻关项目，有许多设计、科研、建设单位和高等院校都参加了工作，取得了可贵的和有特色的成果。第一批混凝土面板坝的建成，更使人们取得了大量的经验和教训。在这样的基础上，系统地整理出版一本论述混凝土面板堆石坝技术的专著，以求全面总结经验、迎接更大的建设高潮是极为必要的。

本书是中国水力发电工程学会混凝土面板堆石坝专业委员会和中国水利学会施工专业委员会面板堆石坝学组协助能源部、水利部水利水电规划设计总院、中国电力企业联合会科技工作部、长江葛洲坝工程局施工科学研究所组织国内专家们集体编写的。执笔同志均参加过实际工程的设计、施工或科研工作，具有实践经验。全书不仅对混凝土面板堆石坝的各个领域——包括材料特性、设计、分析计算、基础处理及防渗、施工和监测都作了较全面的介绍，而且提供了很多国内外的工程经验，所以极富实用价值。书中又着重介绍了国内的建设经验和科研成果，因此它又是一本具有中国特色的专著。我相信，本书的出版将对我国面板坝的推广和发展起到良好的作用。

我国的混凝土面板堆石坝技术虽然发展很快，但由于这种坝本身具有十分复杂的结构，在许多领域中还未能从必然王国走向自由王国，在某些问题上专家们也尚有不同见解。因此，今后我们还将面临许多挑战，继续研究的任务仍然艰巨。例如，如何确定碾压堆石体的更合理的本构模型、测定其参数；如何更精确地进行坝体在施工期和运行期中的静动力及变形分析，做好止水设计；预测坝体在强烈震动后的形态及稳定性；如何快速大面积浇筑面板而防止开裂；如何在较软弱的地基上设计和修建混凝土面板堆石坝以及在建设特高（200m及以上量级）混凝土面板堆石坝中的问题等等。这些问题都不是在一次攻关中能彻底解决的，我们期待着中国的坝工界能通过研究和实践取得更多的突破，使我国混凝土面板堆石坝技术能跃居国际领先水平。我谨以此致意于本书的编者和读者。

能源部水电总工程师  
国务院学位委员会委员  
中国科学院学部委员  
中国水力发电工程学会副理事长  
中国大坝委员会副主席

潘家铮

1993年1月12日于北京

# 前 言

近年来在世界坝工建设中，混凝土面板堆石坝发展很快。这种堆石坝具有工程量小、安全性好、可简化导流、施工方便、工期短、造价低等优点，已受到坝工建设者的重视，其设计方法和施工技术日臻完善。在过去的 20 余年中，世界上已建成了大量这一类型的坝，大都表现出良好的运行性状。我国现代混凝土面板堆石坝的研究和应用始于 80 年代中期。在“七五”期间，混凝土面板堆石坝筑坝技术作为国家重点科技攻关项目之一，进行了大量的研究和试验。从研究和应用情况来看，混凝土面板堆石坝已成为有很强竞争力和良好发展前景的一项筑坝新技术。近年来，国内外发表的有关混凝土面板堆石坝的文章与汇编虽然不少，但缺乏较系统的专著。

本书的目的是通过系统介绍混凝土面板堆石坝的研究、设计和施工技术，推动这项新技术在水利水电工程中的广泛应用。书中同时介绍了一些基本概念、材料性质和理论计算等，目的是使这项技术水平能够达到一个新水平，为进一步研究开发准备条件。

本书在编写过程中广泛收集了国内外混凝土面板堆石坝的建设经验和研究成果，特别是我国建成的首批面板堆石坝的实践经验和国家“七五”科技攻关的研究成果，并援引了《混凝土面板堆石坝设计导则》和《混凝土面板堆石坝施工规范（送审稿）》的有关内容。为使本书有较强的实用性，还引用了国内外混凝土面板堆石坝工程设计和施工的大量图表和有关数据等资料。本书的初稿曾作为面板堆石坝技术培训班教材，受到好评，后经编委们多次修改补充，得以正式成书。

本书第 1、9 章由傅志安（中国水利水电工程总公司水利水电施工新技术开发服务中心）执笔，第 2、12 章由司洪洋（南京水利科学研究所）执笔，第 3、4、5、6 章由凤家骥（新疆八一农学院）执笔，第 7 章由金诚和（水利部水工程咨询中心）执笔，第 8 章由阮以弘（长江葛洲坝工程局施工科学研究所）执笔，第 10 章由吴哲（长江葛洲坝工程局施工科学研究所）执笔，第 11 章由李良福（长江葛洲坝工程局施工科学研究所）执笔。全书由编委审订，主编傅志安、凤家骥统稿。最后，经纪云生、蒋国澄、邴凤山审定。

本书引用了国内、外大量的文献、资料、设计图纸和科研成果，这是有关作者辛勤劳动的果实，他们为我国面板坝的发展做出了贡献，也正因此，才使本书能付诸出版并满足有关读者的基本要求。在本书的编写过程中，也得到了有关专家的大力支持，在此，仅向他们表示衷心的感谢！

本书是能源部科技司委托水利水电规划设计总院、中国电力企业联合会科技工作部和长江葛洲坝工程局施工科学研究所组织编写的。在编写过程中，得到了中国水利水电工程总公司水利水电施工新技术开发服务中心、中国水力发电学会混凝土面板堆石坝专业委员会、中国水利学会施工专业委员会面板堆石坝学组及新疆八一农学院等单位的支持，在此一并致谢！

我们诚恳地希望读者对书中的缺点和错误批评指正。

编 者

1992 年 10 月

# 目 录

<b>第 1 章 概论</b> .....	(1)
1.1 引 言 .....	(1)
1.2 混凝土面板堆石坝的发展 .....	(1)
1.2.1 初期(1850~1940 年) .....	(2)
1.2.2 过渡期(1940~1965 年) .....	(3)
1.2.3 现阶段(1965 年至今) .....	(3)
1.2.4 面板坝在我国的研究和应用.....	(4)
1.3 混凝土面板堆石坝的特点 .....	(6)
1.3.1 安全可靠方面.....	(6)
1.3.2 施工和经济性方面.....	(9)
1.3.3 运行维修方面 .....	(10)
1.4 混凝土面板堆石坝的适用性与坝址选择.....	(11)
1.4.1 面板坝的适用性 .....	(11)
1.4.2 面板坝的坝址选择 .....	(13)
<b>第 2 章 堆石坝料的工程性质</b> .....	(15)
2.1 引言.....	(15)
2.2 堆石的岩石性质.....	(15)
2.3 堆石的物理性质.....	(17)
2.3.1 比重 .....	(17)
2.3.2 孔隙比 .....	(18)
2.3.3 颗粒形状 .....	(18)
2.3.4 颗粒级配 .....	(19)
2.3.5 颗粒破碎率 .....	(20)
2.4 堆石的工程分类.....	(21)
2.4.1 马萨尔分类法 .....	(22)
2.4.2 《土工试验规程(SD 128-84)》分类法.....	(22)
2.5 堆石的抗剪强度性质.....	(23)
2.5.1 堆石抗剪强度的试验仪器及方法 .....	(24)
2.5.2 堆石的抗剪强度 .....	(28)
2.5.3 堆石的剪胀性 .....	(34)
2.5.4 堆石的抗剪强度机理 .....	(35)
2.6 堆石的压缩变形性质.....	(36)
2.6.1 堆石压缩试验的仪器与方法 .....	(37)



2.6.2	堆石的压缩变形 .....	(38)
2.6.3	面板堆石坝的压缩模量 .....	(43)
2.7	堆石的应力应变性质 .....	(46)
2.7.1	堆石试验的应力应变关系性状 .....	(46)
2.7.2	堆石的本构模型 .....	(49)
2.8	堆石的压实性 .....	(57)
2.8.1	堆石压实的机理 .....	(57)
2.8.2	堆石压实的影响因素 .....	(58)
<b>第3章</b>	<b>坝体轮廓规划与堆石体设计 .....</b>	<b>(59)</b>
3.1	引言 .....	(59)
3.2	坝体剖面规划 .....	(59)
3.2.1	防浪墙及高程 .....	(59)
3.2.2	坝顶宽度 .....	(60)
3.2.3	坝坡 .....	(61)
3.2.4	堆石坝体材料分区 .....	(62)
3.3	垫层区设计 .....	(64)
3.3.1	垫层设计思想发展的回顾 .....	(64)
3.3.2	垫层料的选择 .....	(66)
3.3.3	垫层尺寸的设计 .....	(69)
3.3.4	垫层表面的保护措施 .....	(70)
3.3.5	天生桥一级坝垫层设计实例 .....	(70)
3.4	主堆石区设计 .....	(73)
3.4.1	主堆石区坝料选择 .....	(73)
3.4.2	主堆石区设计 .....	(77)
3.4.3	关于软岩筑坝问题 .....	(78)
3.5	堆石区材料分区设计实例 .....	(78)
3.5.1	株树桥面板坝 .....	(78)
3.5.2	关门山面板坝 .....	(79)
3.5.3	小干沟面板坝 .....	(80)
3.5.4	龙溪面板坝 .....	(81)
3.5.5	利斯面板坝 .....	(82)
3.5.6	澳大利亚塔斯马尼亚水电局(HEC)设计导则坝体分区 .....	(84)
3.6	坝料填筑标准的设计 .....	(85)
3.6.1	确定填筑标准应考虑的因素 .....	(85)
3.6.2	填筑标准的设计 .....	(86)
<b>第4章</b>	<b>防渗结构与地基防渗设计 .....</b>	<b>(90)</b>
4.1	引言 .....	(90)
4.2	趾板与趾板地基 .....	(90)
4.2.1	趾板的体型与定线 .....	(90)
4.2.2	趾板的布置形式 .....	(92)
4.2.3	趾板的配筋、接缝及插筋 .....	(97)

4.2.4	趾板基础 .....	(98)
4.3	堆石体地基处理 .....	(101)
4.4	混凝土面板设计 .....	(103)
4.4.1	面板的分缝 .....	(104)
4.4.2	面板的厚度 .....	(107)
4.4.3	面板的配筋 .....	(108)
4.4.4	面板混凝土设计 .....	(110)
4.4.5	关于面板裂缝问题 .....	(111)
4.5	面板接缝设计 .....	(114)
4.5.1	面板接缝的结构及止水设计 .....	(114)
4.5.2	几座已建面板坝的接缝变形和漏水情况 .....	(120)
4.5.3	面板接缝止水材料基本性能 .....	(122)
4.6	在覆盖层上建造混凝土面板堆石坝 .....	(126)
4.6.1	查明地基性质,控制地基变形 .....	(127)
4.6.2	采用垂直防渗,降低渗漏损失 .....	(128)
4.6.3	采用表面柔性止水,适应坝体地基变形 .....	(129)
4.6.4	增加面板柔性,提高抗裂能力 .....	(130)
4.6.5	建造在覆盖层上的柯柯亚面板坝 .....	(131)
4.7	溢流混凝土面板堆石坝 .....	(133)
<b>第5章</b>	<b>面板坝计算 .....</b>	<b>(137)</b>
5.1	引言 .....	(137)
5.2	面板堆石坝坝坡稳定分析 .....	(137)
5.2.1	坝坡稳定分析的极限平衡法 .....	(137)
5.2.2	堆石坝体稳定分析的非线性圆弧法 .....	(138)
5.3	面板坝变形估算 .....	(139)
5.3.1	面板坝沉降估算 .....	(140)
5.3.2	面板最大挠度的估算 .....	(142)
5.4	面板坝应力应变分析 .....	(142)
5.4.1	计算模型 .....	(142)
5.4.2	关于面板坝应力应变分析的讨论 .....	(144)
5.5	考虑堆石料流变的模型和非线性有限元分析 .....	(146)
5.5.1	堆石体变形的数学模型——流变模型 .....	(146)
5.5.2	堆石体与岸坡接触的数学模型 .....	(147)
5.5.3	分析步骤 .....	(148)
5.5.4	应用实例 .....	(149)
5.6	面板坝渗漏估算 .....	(151)
5.6.1	通过上游面板裂缝的渗漏估算 .....	(151)
5.6.2	用数值法估算缝隙渗漏 .....	(152)
<b>第6章</b>	<b>抗震设计 .....</b>	<b>(153)</b>
6.1	引言 .....	(153)

6.2	堆石坝的地震反应 .....	(154)
6.2.1	一些工程受震实例 .....	(154)
6.2.2	面板堆石坝模型动力试验 .....	(157)
6.2.3	面板坝地震破坏形态 .....	(158)
6.3	混凝土面板堆石坝动力分析计算 .....	(159)
6.3.1	动力分析方法概述 .....	(159)
6.3.2	我国对面板坝地震反应分析的研究成果 .....	(162)
6.4	面板堆石坝地震稳定性粗估方法 .....	(166)
6.4.1	计算实例之一:英菲尔尼罗坝 .....	(168)
6.4.2	计算实例之二:科高蒂坝 .....	(169)
6.5	面板堆石坝地震永久变形的估算 .....	(169)
6.5.1	滑动体位移分析的基本公式 .....	(170)
6.5.2	永久水平位移的粗估方法 .....	(171)
6.5.3	坝顶震陷率的估算 .....	(174)
6.6	抗震措施 .....	(174)
<b>第7章</b>	<b>施工导流与渡汛 .....</b>	<b>(176)</b>
7.1	引言 .....	(176)
7.2	导流与渡汛设计的影响因素与标准 .....	(176)
7.2.1	影响导流与渡汛设计的因素 .....	(176)
7.2.2	导流与渡汛设计标准 .....	(178)
7.3	施工导流方式 .....	(180)
7.3.1	导流方式的类型 .....	(180)
7.3.2	导流方式的选择 .....	(181)
7.4	围堰 .....	(182)
7.4.1	围堰设计的基本要求 .....	(182)
7.4.2	围堰的类型与选择 .....	(183)
7.4.3	混凝土围堰 .....	(184)
7.4.4	土石围堰 .....	(185)
7.5	混凝土面板堆石坝的施工期渡汛 .....	(185)
7.5.1	坝体临时挡水渡汛 .....	(186)
7.5.2	坝体过流渡汛 .....	(186)
7.5.3	坝体过水的防护设计 .....	(187)
7.6	工程实例分析 .....	(193)
7.6.1	马琴托土坝和默奇松坝的施工导流与渡汛 .....	(193)
7.6.2	阿里亚坝的施工导流与渡汛 .....	(196)
7.6.3	西北口坝的施工导流与渡汛 .....	(197)
7.6.4	关门山坝的施工导流与渡汛 .....	(198)
<b>第8章</b>	<b>坝基处理 .....</b>	<b>(200)</b>
8.1	引言 .....	(200)
8.2	趾板地基处理 .....	(201)

8.2.1	趾板的地基开挖·····	(201)
8.2.2	开挖边坡的控制·····	(202)
8.2.3	施工排水·····	(202)
8.2.4	趾板地基的表层处理·····	(202)
8.2.5	趾板基础灌浆·····	(203)
8.3	堆石体地基的开挖与处理·····	(210)
8.3.1	堆石体地基的地质特征·····	(210)
8.3.2	河床段的处理·····	(210)
8.3.3	岸坡段的开挖与处理·····	(211)
<b>第9章</b>	<b>坝料开采·····</b>	<b>(212)</b>
9.1	引言·····	(212)
9.2	料场复查·····	(212)
9.2.1	料场复查的意义·····	(212)
9.2.2	料场复查的内容·····	(212)
9.3	料场规划·····	(213)
9.3.1	料场规划的原则·····	(213)
9.3.2	开采区规划·····	(215)
9.3.3	场地布置·····	(216)
9.3.4	坝料开采的进度·····	(218)
9.3.5	坝料开采方式·····	(219)
9.3.6	开采工艺与机械设备配套·····	(219)
9.4	石料开采控制爆破·····	(220)
9.4.1	石料开采控制爆破的设计思想·····	(220)
9.4.2	地质条件与爆破效果的关系·····	(220)
9.4.3	石料开采控制爆破的参数设计·····	(223)
9.4.4	微差爆破技术·····	(229)
9.4.5	挤压爆破技术·····	(231)
9.4.6	起爆网络设计·····	(232)
9.4.7	爆破石料颗粒组成的预测·····	(233)
9.5	石料开采爆破施工与质量控制·····	(233)
9.5.1	钻孔作业及其质量控制·····	(234)
9.5.2	装药及其质量控制·····	(235)
9.5.3	料场的质量控制·····	(235)
9.5.4	石料开采爆破试验·····	(236)
9.5.5	石料开采爆破实例·····	(236)
9.6	坝料开采洞室爆破·····	(237)
9.6.1	洞室爆破适用条件 and 设计原则·····	(237)
9.6.2	影响爆破效果的主要因素及控制途径·····	(238)
9.6.3	药包布置·····	(239)
9.7	垫层料的制备·····	(241)
9.7.1	破碎和掺配法制备·····	(241)
9.7.2	微差挤压爆破法制备·····	(243)

9.7.3 利用砂砾石料作垫层料	(243)
------------------	-------

## **第10章 坝体填筑 (244)**

10.1 引言	(244)
10.2 筑坝材料的运输与填筑工艺	(244)
10.2.1 坝体填筑机械化施工组织的原则	(244)
10.2.2 坝料运输	(245)
10.2.3 坝面作业	(247)
10.2.4 坝料铺填	(248)
10.3 堆石的压实	(249)
10.3.1 堆石振动压实的原理	(250)
10.3.2 振动压实机械的类型	(250)
10.3.3 振动碾的工作性能与参数	(251)
10.3.4 碾压机械的选择	(254)
10.3.5 堆石性质和工艺参数对压实效果的影响	(255)
10.4 碾压试验与填筑参数的确定	(256)
10.4.1 碾压试验的目的和准备工作	(256)
10.4.2 碾压试验的方法及步骤	(257)
10.4.3 碾压参数的选定	(259)
10.5 坝体填筑强度与填筑规划	(260)
10.5.1 堆石坝体的填筑强度	(260)
10.5.2 坝体的填筑规划	(261)
10.5.3 临时施工坡道	(262)
10.5.4 工程实例	(262)
10.6 坝体分区填筑	(264)
10.6.1 坝体分区填筑的要求	(264)
10.6.2 垫层坡面的修整和斜坡碾压	(265)
10.6.3 下游护坡	(266)
10.6.4 开挖料的利用	(268)
10.7 垫层坡面防护	(269)
10.7.1 垫层坡面防护的作用与要求	(269)
10.7.2 垫层坡面防护的方法	(270)
10.7.3 坝面及岸坡排水	(272)
10.8 坝体填筑的质量检验与控制	(272)
10.8.1 质量检查与控制的目的	(272)
10.8.2 坝体填筑质量控制的内容	(273)
10.8.3 坝体填筑质量的检查方法与控制标准	(273)
10.8.4 坝体填筑密实度的检测方法	(273)

## **第11章 趾板与面板的施工 (278)**

11.1 引言	(278)
11.2 趾板施工	(278)
11.2.1 趾板的施工程序	(278)

11.2.2	趾板混凝土浇筑	(279)
11.3	面板施工方案	(280)
11.3.1	面板施工的分期	(280)
11.3.2	面板混凝土浇筑方案	(280)
11.3.3	面板混凝土输送方式	(281)
11.3.4	面板混凝土的运输要求	(282)
11.3.5	面板钢筋的架设方式	(282)
11.4	面板施工机具和设备	(283)
11.4.1	面板施工机具及其布置	(283)
11.4.2	滑动模板的组成	(283)
11.4.3	滑动模板的设计要点	(287)
11.5	面板混凝土性能和配合比设计	(288)
11.5.1	面板混凝土性能要求和配合比设计原则	(288)
11.5.2	材料特性对面板混凝土的影响	(289)
11.5.3	影响面板混凝土配合比的参数及其选择	(290)
11.5.4	工程实例	(292)
11.6	面板滑模施工工艺	(293)
11.6.1	轨道与侧模安装	(293)
11.6.2	钢筋网架设	(293)
11.6.3	滑动模板的吊装与溜槽的布置	(294)
11.6.4	模板的滑升与混凝土的浇筑	(294)
11.6.5	周边三角块的滑模	(295)
11.6.6	冬雨季施工	(296)
11.6.7	面板混凝土的养护	(296)
11.7	面板施工质量控制及抗裂措施	(297)
11.7.1	首批面板坝的经验和教训	(297)
11.7.2	株树桥坝面板施工质量控制和抗裂措施	(299)
11.8	面板接缝止水施工	(302)
11.8.1	面板接缝止水的施工要求	(302)
11.8.2	金属止水片的施工	(303)
11.8.3	橡胶(或塑料)止水带的施工	(304)
11.8.4	嵌缝填料的施工	(304)
<b>第 12 章</b>	<b>原型监测</b>	<b>(307)</b>
12.1	引言	(307)
12.2	面板坝的监测项目与特点	(308)
12.2.1	面板坝的监测项目	(308)
12.2.2	面板坝的监测特点	(309)
12.3	监测仪器	(310)
12.3.1	水管式沉降仪	(310)
12.3.2	钢丝水平位移计	(310)
12.3.3	测斜仪	(311)
12.3.4	测缝计	(312)

12.3.5	孔隙水压力计 .....	(313)
12.3.6	土压力计 .....	(313)
12.3.7	应变计 .....	(313)
12.4	监测测点的布置 .....	(313)
12.4.1	测点布置考虑的因素与条件 .....	(314)
12.4.2	测点布置方法 .....	(316)
12.4.3	测点布置举例 .....	(316)
12.5	监测仪器埋设与监测技术 .....	(320)
12.5.1	堆石坝的仪器埋设 .....	(320)
12.5.2	混凝土面板的仪器埋设 .....	(322)
12.5.3	监测技术 .....	(324)
12.6	动态监测 .....	(326)
12.6.1	动态监测仪器 .....	(327)
12.6.2	动态监测布置 .....	(327)
12.7	监测资料的整理与分析 .....	(328)
12.7.1	监测资料整理的步骤 .....	(328)
12.7.2	监测资料曲线化的类型 .....	(329)
12.7.3	监测资料的整编与分析 .....	(332)
12.8	面板坝的监测性态 .....	(334)
12.8.1	堆石坝体的变形 .....	(334)
12.8.2	面板的挠曲变形 .....	(335)
12.8.3	周边缝的变位 .....	(336)
12.8.4	渗漏量 .....	(336)
12.8.5	面板的应变状态 .....	(337)
12.8.6	我国工程监测实例 .....	(337)
	<b>参考文献 .....</b>	<b>(341)</b>

# 第1章 概 论

## 1.1 引言

混凝土面板堆石坝是以堆石体为支承结构，并在其上游表面设置混凝土面板为防渗结构的一种堆石坝，常简称为“面板堆石坝”或“面板坝”。它仍属土石坝范畴，其结构如图 1-1 所示。

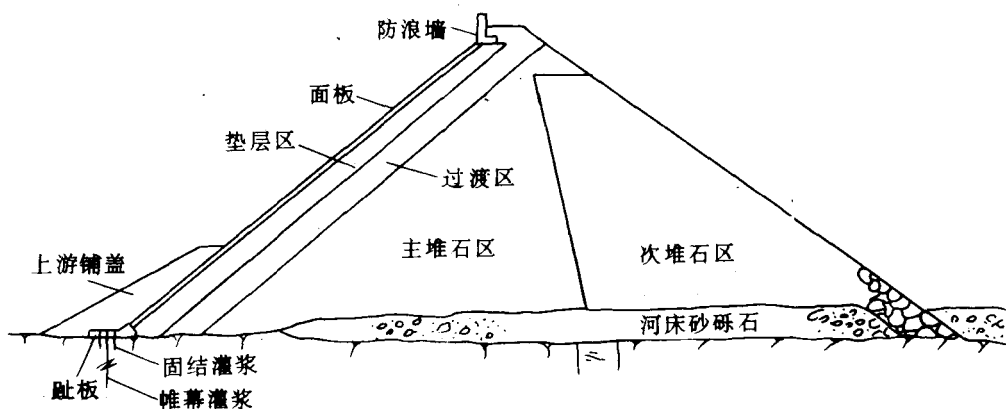


图 1-1 典型混凝土面板堆石坝的结构型式

如何降低工程造价和缩短建设周期，一直是水资源开发与利用中的重大课题之一，日益为工程界所重视。混凝土面板堆石坝的开发和应用正是这一课题成果的体现。这种坝型与传统土石坝相比具有安全性好、工程量小、施工方便、导流简化、工期短、造价低等一系列优点，在国际上已成为本世纪 70~80 年代坝工建设的里程碑，成为许多工程的首选坝型。目前世界上已建成坝高 50m 以上的混凝土面板堆石坝达百余座（坝高大于 100m 的坝见表 1-1），巴西阿里亚（Foz do Areia）坝，坝高 160m，其库容  $6.1 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，装机 2500MW，堆石方量达  $1.4 \times 10^7 \text{ m}^3$ ，工期仅 3 年。在建的墨西哥阿瓜密尔巴（Aguaamilpa）坝，坝高 190m，装机达 5000MW。我国混凝土面板堆石坝起步于本世纪 80 年代中期，目前已建成的有 12 座（表 1-2），在建的有 20 余座（表 1-3），规划设计中的坝高在 50m 以上者初步统计有 50 余座。专家们预测，到下个世纪，在坝高和数量方面，我国混凝土面板堆石坝均将处于世界前列。

## 1.2 混凝土面板堆石坝的发展

面板坝的发展大致经历了三个阶段：19 世纪及 20 世纪早期为抛填堆石阶段；随后，自



表 1-1 世界上坝高大于 100m 的混凝土面板堆石坝

名 称	国家	建成年代	坝高 (m)
阿瓜密尔巴 (Aguamilpa)	墨西哥	在建	190
天生桥一级	中国	在建	178
阿里亚 (Fozdo Areia)	巴西	1980	160
新国库 (New Exchequer)	美国	1966	150
墨索柯拉 (Messochora)	希腊	在建	150
萨尔瓦兴娜 (Salvajina)	哥伦比亚	1985	148
塞格雷多 (Segredo)	巴西	在建	145
安奇卡亚 (Alto Anchicaya)	哥伦比亚	1974	140
辛戈 (Xingo)	巴西	在建	140
阿尔维达 (Al Wehadh)	约旦	在建	135
柯马尼 (Koman)	阿尔巴尼亚	1986	133
考兰 (Khao Laem)	泰国	1984	130
格里拉斯 (Golillas)	哥伦比亚	1978	127
希拉塔 (Cirata)	印度尼西亚	1987	125
谢罗罗 (Shiroro)	尼日利亚	1984	125
利斯 (Reece)	澳大利亚	1986	122
尼维里 (Neveri)	委内瑞拉	1981	115
帕拉迪拉 (Paradela)	葡萄牙	1955	112
塞沙那 (Cethana)	澳大利亚	1971	110
白云	中国	在建	110
福蒂那 (Fortuna)	巴拿马	1989	105
盐泉 (Salt Spring)	美国	1931	100

1940年开始的20年内,是由抛填堆石向碾压堆石发展的过渡阶段,在此期间出现了土质心墙堆石坝;1965年以后为现阶段,这一阶段主要是碾压堆石为特征,同时在坝体结构、施工技术上有很大进步,所筑大坝也越来越高。

### 1.2.1 初期(1850~1940年)

面板堆石坝在世界筑坝史上出现较早。据记载,最早出现在美国西部,如1869年建成了高12.5m的查托伍斯(Chatowarth)坝,1895年建成高54m的莫伦(Morena)坝,1925年建成高84m的狄克斯河(Dix River)坝,1931年建成高100m的盐泉(Salt Spring)坝等。这些坝的出现与当时的采矿和淘金业有关,矿业需要用水,矿工熟悉爆破技术,于是这种坝型应运而生。最初曾以木面板防渗,后来为混凝土面板所取代,以承受更高的水压力。由于当时堆石的施工方法均采用抛石填筑,辅以高压水枪冲实的简单压实工艺,堆石体很不密实,沉降和水平位移量较大。据统计,施工期的沉降量一般为坝高的5%,竣工后在水荷载和自重作用下,沉降量可达坝高的1%~2%。

抛石填筑一般仅适用于坝高小于70m的混凝土面板堆石坝。随着坝高的增加,沉降变形亦随之增大,混凝土面板难以承受更大的变形,从而导致严重的开裂和大量的漏水。如美国的盐泉坝,当时是世界上最高的堆石坝,蓄水后面板发生严重裂缝和渗漏,致使多年不能正常运用。由于上述问题的出现,使人们对混凝土面板堆石坝的安全可靠性产生了怀疑,以致