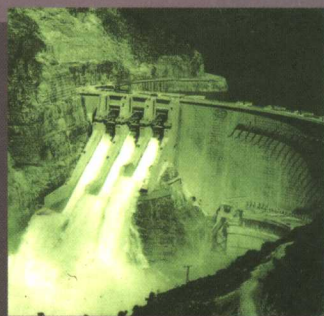
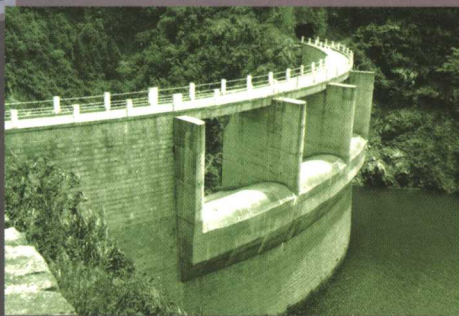


混凝土拱坝 基础处理工程技术



蒋锁红 著



科学出版社
www.sciencep.com

混凝土拱坝基础处理 工程技术

蒋锁红 著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书结合《混凝土拱坝设计规范》(SD145-85)的修订,对近年来混凝土拱坝基础处理技术的研究成果进行总结与回顾,同时尽可能吸收国外的研究成果,以便为以后新建的拱坝设计施工提供参考。本书内容翔实,资料丰富,是国内第一本系统介绍国内外拱坝工程基础处理技术的专著。

本书可供水利水电行业广大工程技术人员及相关专业的高校教师、研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土拱坝基础处理工程技术/蒋锁红著. —北京:科学出版社,2005
ISBN 7-03-015221-2

I . 混 … II . 蒋 … III . 混凝土坝:拱坝—坝基—地基处理
IV . TV642.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 023610 号

责任编辑:童安齐 何舒民/责任校对:刘彦妮
责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 6 月第 一 版 开本: B5(720×1000)
2005 年 6 月第一次印刷 印张: 19 1/4
印数: 1—1 000 字数: 374 000

定价: 48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(新欣))

销售部电话: 010-62136131 编辑部电话: 010-62137026(BA03)

谨以此书献给那些
默默奋战在祖国水电战线上的建设者

序

近 30 年来,我国相继建成了一批高拱坝,并在复杂地质条件下高拱坝的建设方面积累了宝贵的经验。本书的作者长期从事拱坝基础处理的设计、施工与科研工作,结合《混凝土拱坝设计规范》(SD145-85)的修订,对我国混凝土拱坝基础处理技术进行了全面、系统的总结,同时也吸收和参考了部分国外工程的资料,完成了《混凝土拱坝基础处理工程技术》一书。该书从拱坝建基面的确定、坝基开挖技术、坝肩抗滑稳定分析、固结灌浆、坝基防渗与排水、坝基软弱岩层处理、地质力学模型试验、岩溶处理等方面,介绍了已建工程面临的主要基础处理问题和对这些问题所进行过的研究工作,以及基础处理的设计方案和主要的施工措施、方法等。书中收集了大量的资料,不仅对今后拱坝的设计和施工提供了重要的参考,而且对拱坝基础处理技术方面难题的研究解决,提供了十分难得的技术资料。

随着计算技术的不断发展,拱坝体型设计、优化的理论和方法已日臻完善和成熟,而拱坝基础处理的理论方面仍然进展缓慢。由于拱坝基础处理分析所要研究的对象是复杂的天然岩体,限于目前的地质勘探测试技术和岩体力学的发展水平,给基础处理的研究和设计带来极大困难,主要表现在以下几个方面:①计算模型选取的不确定性。由于岩体结构的不连续性,一般采用均质连续介质的弹性或弹塑性理论均不能正确揭示岩体内部真实的受力性态,从而无法判定其准确的破坏机制。②计算参数的不确定性。对岩体物理力学性质的了解,只能通过有限的勘测试验手段,在选定的点或区段内进行,试验所取得的参数,除了参数本身因试验条件等带来的误差外,还存在试验点的代表性问题。由于岩体不连续结构面的千变万化,把从有限点或区段测定的数据推论到整体,必然产生一定的误差。此外,由于岩体特性的不连续性,致使现场原位试验资料十分离散,数据处理时又增加了人为的误差,最终参数取值的误差大小主要取决于地质工程师的经验和水平,所以设计工程师尚无法获得较为精确的物理力学参数。③计算荷载的不确定性。尽管许多工程都开展了大量的科研工作,但目前拱坝的基础处理设计仍然更多地要依赖工程经验,基础处理设计与其说是一门技术,更不如说是一门艺术。优秀的、有经验的工程师凭借着对拱坝基础地质条件的了解与掌握,制定出经济合理的技术方案,不仅能确保拱坝正常运行的安全,而且还能节约大量的工程投资。相反,如果基础处理方案存在缺陷,则不仅浪费大量工程投资,而且会对工程安全留下隐患。实践表明,拱坝的安全将主要取决于基础处理的设计、施工方案技术的合理性。

该书有以下特点:①内容全面,资料翔实、丰富,实用性强。②具有较高的工程

价值和一定的学术价值。

目前,我国有一批高拱坝正在或即将进行建设,所面临的基础处理问题也会越来越复杂,基础处理技术将面临巨大的考验。该书由科学出版社出版,是我国拱坝界的一件好事,该书必将对我国拱坝基础处理的设计、施工与研究工作起到积极的推动作用。

周仕垣

2004年12月1日

前 言

本书从拱坝建基面的确定、坝基开挖、固结灌浆、坝基防渗与排水、坝基软弱夹层的处理、岩溶处理几个方面对拱坝基础处理技术进行了初步的总结。应该说,坝工技术发展到今天,其计算理论和方法正在逐步走向成熟,但是不可否认的是,坝工技术仍然是一门技术加经验的科学,而且在很大程度上还依赖于经验。很明显,人们之所以能够满怀信心地建设大坝,主要是许多在结构上与之类似的坝已经建成,而且运行情况良好。因此对以往的工程经验和教训进行认真总结,是十分必要的,不仅可以为拱坝设计规范的修订提供参考,而且对将要建设的工程有重要的借鉴意义。

尽管我们在一些十分复杂地质条件下建成了一批高坝,但是就拱坝基础处理的研究方法和工程处理措施而言,仍然进展缓慢。随着我国水利水电建设事业的发展,高坝大库越来越多,拱坝建设中所面临的基础处理问题也会越来越复杂。要很好地解决这些问题,必须加大技术研究的力度,要在拱坝基础处理的设计理论和研究方法上、在工程处理的措施上不断创新,更多地采用新方法、新技术、新材料、新结构和新工艺。

本书的编写中参考了大量的未发表的资料,在此向相关的专家、学者、工程技术人员表示感谢。本书的编写中还参考了西北勘测设计研究院已故的林景铭总工程师遗留下的大量资料,在此向其夫人苏凤玉高级工程师及子女林鹏博士和林红女士表示感谢。

本书编写中得到了西北勘测设计研究院秦湘总工程师和我的老师周维垣教授的指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

本书的出版得到了富源电力集团股份有限公司的大力支持,特此致谢。

目 录

序

前言

第 1 章 概述	1
1.1 基础处理的目的	1
1.1.1 拱坝基础的定义	1
1.1.2 基础处理的主要目的	2
1.2 基础处理设计的指导思想	3
1.2.1 基本原则	3
1.2.2 设计依据	3
1.3 基础处理技术进展	3
主要参考文献	4
第 2 章 建基面确定与坝基岩体开挖	5
2.1 建基面岩体的利用标准	5
2.1.1 坝基岩体利用情况回顾	5
2.1.2 国外坝基岩体利用要求	8
2.1.3 拱坝建基面优化	9
2.2 建基面确定的工程实例	10
2.2.1 二滩拱坝建基面确定 ^[7]	10
2.2.2 龙羊峡拱坝建基面的确定 ^[8]	13
2.2.3 拉西瓦拱坝建基面的确定 ^[9,10]	14
2.2.4 小湾拱坝坝基岩体力学参数	18
2.2.5 锦屏一级拱坝坝基岩体力学参数	18
2.2.6 两个重力坝建基面确定的实例	18
2.2.7 国内部分拱坝工程建基面确定	20
2.3 坝基开挖形状	20
2.4 坝基开挖工程实例	23
2.4.1 乌江渡拱形重力坝坝基开挖 ^[16]	23
2.4.2 龙羊峡重力拱坝坝基开挖 ^[16]	25
2.4.3 东江双曲拱坝坝基开挖 ^[17]	26
2.4.4 紧水滩双曲拱坝坝基开挖 ^[18]	29
2.4.5 东风双曲拱坝坝基开挖 ^[19]	30
2.4.6 李家峡双曲拱坝坝基开挖 ^[20]	32

2.4.7 二滩双曲拱坝坝基开挖 ^[21]	34
2.4.8 国外拱坝建基面开挖实例 ^[22]	36
2.5 开挖爆破对建基面岩体质量的影响	38
2.6 坝基开挖与边坡问题	40
2.6.1 坝基开挖中的边坡问题	40
2.6.2 李家峡坝基开挖边坡变形监测与分析 ^[30]	42
2.6.3 坝肩高边坡加固优化设计 ^[31]	51
2.7 小结	55
主要参考文献	56
第3章 拱坝坝肩稳定分析	58
3.1 概述	58
3.2 拱坝坝肩稳定计算方法	59
3.2.1 刚体极限平衡法	59
3.2.2 有限元法	64
3.3 拱坝坝肩稳定分析准则	67
3.3.1 国外拱坝坝肩稳定分析准则	67
3.3.2 我国拱坝坝肩稳定分析准则 ^[1]	72
3.3.3 抗剪强度指标取值 ^[1,9~11]	72
3.4 拱坝坝肩抗滑稳定计算工程实例	75
3.4.1 东江双曲拱坝	75
3.4.2 乌江渡拱形重力坝 ^[13]	79
3.4.3 紧水滩双曲拱坝	81
3.4.4 二滩双曲拱坝(初步设计中间阶段成果)	85
3.4.5 李家峡双曲拱坝 ^[18~20]	89
3.4.6 白山重力拱坝 ^[23]	98
3.4.7 龙羊峡重力拱坝 ^[24]	100
3.4.8 拉西瓦双曲拱坝 ^[25]	105
3.5 从 Malpasset 事故原因分析看拱坝坝肩稳定	111
3.5.1 概述	111
3.5.2 工程概况 ^[26,27]	112
3.5.3 破坏过程初步分析	112
3.5.4 弹性稳定复核	114
3.5.5 坝肩抗滑稳定	114
3.5.6 拱坝失事破坏过程分析	115
3.5.7 Malpasset 坝的破坏小结	117
3.6 小结	117
主要参考文献	118
第4章 固结灌浆与坝基处理	120

4.1 固结灌浆在坝基处理中的作用	120
4.1.1 固结灌浆的目的及分类	120
4.1.2 固结灌浆效果的评价	121
4.2 固结灌浆孔布置范围	124
4.2.1 国内拱坝工程固结灌浆的范围和布置 ^[7]	124
4.2.2 国外拱坝工程固结灌浆孔的范围和布置	127
4.3 固结灌浆工艺技术	129
4.3.1 灌浆方法	129
4.3.2 灌浆段长及压力	130
4.3.3 浆液水灰比及变浆条件	132
4.4 固结灌浆浆液材料	135
4.4.1 固结灌浆浆液材料选择的基本原则	135
4.4.2 常用注浆材料	136
4.4.3 外加剂 ^[13]	138
4.5 固结灌浆现场试验	139
4.6 李家峡河床坝基高压固结灌浆设计与实施	140
4.6.1 概述	140
4.6.2 高压灌浆设计 ^[17]	141
4.6.3 高压挤密灌浆施工 ^[9]	143
4.6.4 灌浆效果分析	145
4.6.5 小结	146
4.7 二滩坝基固结灌浆设计	147
4.7.1 地质概况	147
4.7.2 固结灌浆现场试验	147
4.7.3 固结灌浆设计	149
4.8 无盖重固结灌浆工艺技术及工程应用	152
4.8.1 无盖重灌浆技术在二滩拱坝坝基处理中的应用 ^[18]	152
4.8.2 无盖重灌浆在三峡工程基础处理中的应用 ^[19]	158
4.9 接触灌浆	162
主要参考文献	163
第5章 坝基防渗与排水	164
5.1 坝基灌浆帷幕作用及标准的研究	164
5.1.1 帷幕作用模型试验研究成果	164
5.1.2 坝基渗流计算	165
5.1.3 灌浆帷幕防渗标准的研究成果	166
5.1.4 帷幕原型观测成果	168
5.1.5 小结	170
5.2 灌浆帷幕的设计与实施	170

5.2.1	灌浆孔的布置	170
5.2.2	帷幕灌浆的实施	171
5.3	帷幕灌浆工程实例	172
5.3.1	乌江渡重力拱坝帷幕灌浆设计与实施 ^[4]	172
5.3.2	白山重力拱坝帷幕灌浆设计与实施 ^[5]	175
5.3.3	龙羊峡重力拱坝帷幕灌浆设计与实施 ^[6]	175
5.3.4	李家峡双曲拱坝帷幕灌浆设计与实施 ^[7,8]	177
5.3.5	二滩双曲拱坝帷幕灌浆设计与实施 ^[9]	178
5.3.6	小结	179
5.4	坝基排水幕的作用	179
5.4.1	理论研究成果	179
5.4.2	工程实例	179
5.5	灌浆帷幕和排水幕的联合作用	184
	主要参考文献	184
第6章	坝基软弱夹层处理	185
6.1	软弱夹层的研究现状	185
6.1.1	软弱夹层的分类	185
6.1.2	断层交会破碎带的类型 ^[1,2]	187
6.1.3	断层岩研究的现状 ^[3]	189
6.1.4	活断层研究 ^[4]	192
6.2	软弱夹层对拱坝结构影响的研究	193
6.2.1	软弱夹层在坝基的分布类型与主要研究内容	193
6.2.2	软弱夹层对拱坝结构影响的研究实例	194
6.3	软弱夹层的工程处理措施	211
6.3.1	常用的软弱夹层处理工程措施	211
6.3.2	软弱夹层处理的工程实例	212
6.4	小结	222
	主要参考文献	223
第7章	地质力学模型试验	224
7.1	概述	224
7.2	地质力学模型试验技术	224
7.2.1	模型相似性要求	224
7.2.2	地质条件模拟	226
7.2.3	模型材料	227
7.2.4	模型试验范围模拟	228
7.2.5	荷载及加载方式模拟	229
7.2.6	模型试验的量测技术	229
7.3	李家峡拱坝地质力学模型试验研究	230

7.3.1 概述	230
7.3.2 模型设计	230
7.3.3 测量仪器布置	232
7.3.4 试验成果及分析	233
7.4 二滩拱坝地质力学模型试验研究	239
7.4.1 概述	239
7.4.2 模型设计	240
7.4.3 量测仪器布置	242
7.4.4 试验成果及分析	243
7.5 东风双曲拱坝地质力学模型试验研究	246
7.5.1 概述	246
7.5.2 模型设计	246
7.5.3 量测仪器布置	248
7.5.4 试验成果及分析	248
7.6 拉西瓦双曲拱坝地质力学模型试验研究	252
7.6.1 概述	252
7.6.2 模型设计	252
7.6.3 模型试验装置	255
7.6.4 试验成果及初步分析	256
7.6.5 拱坝坝基的整体稳定分析	265
7.6.6 拉西瓦拱坝的超载安全度	266
7.6.7 试验结论	266
7.7 小湾双曲拱坝地质力学模型试验研究	267
7.7.1 概述	267
7.7.2 模型设计	267
7.7.3 量测仪器布置	269
7.7.4 试验成果及分析	269
7.7.5 试验结论	271
7.8 锦屏一级双曲拱坝地质力学模型试验研究	271
7.8.1 概述	271
7.8.2 模型设计	271
7.8.3 量测仪器布置	273
7.8.4 试验成果及分析	273
7.8.5 试验结论	275
7.9 对模型试验超载安全系数的讨论	275
主要参考文献	276
第8章 喀斯特(岩溶)地区拱坝的防渗处理	277
8.1 岩溶发育特征	278
8.1.1 岩石的化学成分对溶蚀的影响	278

8.1.2	岩石的结构与构造对溶蚀的影响	278
8.1.3	相对隔水层	279
8.1.4	岩溶的地质发展史	279
8.1.5	地形地貌对岩溶发育的影响	280
8.1.6	地下水对岩溶发育的影响	281
8.1.7	岩溶的地质雷达探测 ^[3]	282
8.1.8	小结	282
8.2	岩溶地区拱坝坝基帷幕设计与实施	283
8.2.1	防渗帷幕长度及端点的确定	283
8.2.2	防渗帷幕的深度及其类型	284
8.2.3	防渗帷幕的结构设计	285
8.3	岩溶地区拱坝防渗处理实例	286
8.4	小结	290
	主要参考文献	291

第 1 章 概 述

众所周知,大坝的多数事故(约 60%)都起因于坝基破坏,只有少数事故(40%)与坝体自身的安全度不足或其他因素(超标洪水、运行管理事故、战争、滑坡等)有关。所以基础处理对于建筑物的安全具有十分关键的作用,同时也会影响到工程的总投资。然而,在工程设计中,大部分精力往往都被放在坝体设计上,而对基础的关注则要少一些。随着拱坝越建越高,面临的地质条件也会越来越复杂,对基础处理的要求会越来越高,因此应加强基础处理技术的研究。

按照著名的岩石力学专家缪勒教授的观点,应将坝体体型设计与基础处理设计两者有机地结合起来,全面衡量其经济性,优秀的设计者是把岩体作为一种建筑材料或建筑物的一部分来通盘考虑的。

1.1 基础处理的目的

1.1.1 拱坝基础的定义

尽管“基础”一词的涵义大家似乎都理解,但目前有关规范中并未对“基础”一词给出明确的定义,为了深入理解基础处理的目的,有必要对基础一词的定义进行初步探讨。

文献[1]认为应将“基础”一词理解为“与建筑物产生相互作用的地质区域(包括岸边结合部、岸坡、山坡),该区域内的应力应变和渗透状况随建筑物的修建和运行而发生改变”。这种改变包括应力场、温度场、水文场、物质场(渗流带走)的变化,基本上是对“基础”下了一个定义。

文献[2]认为“将建筑物底下扩大的这一部分称为基础,而将承受由基础传来荷载的土层(或岩层)称为地基”。“经过人工处理而达到设计要求的地基称为人工地基,不需处理而直接采用的地基称为天然地基”。“为了保证建筑物的安全,地基应同时满足两个基本要求:

- (1) 地基应具有足够的强度,在荷载作用下不致因地基失稳而破坏。
- (2) 地基不能产生过大的变形而影响建筑物的安全与正常使用。”此外,要保证地基基础具有足够的可靠性。

可见,水工建筑物对“基础”的定义与工民建的“地基”的定义有相近之处,两者均为承载结构,但水工建筑物基础一词的涵义更广一些。

参考以上对“基础”的定义,初步将拱坝基础定义为:与拱坝相互作用的地质区域,该区域内的应力、变位和渗流状况将随拱坝的施工和运行而发生变化,包括坝基岩体一定深度、拱坝建基面上下游边坡一定范围等。

1.1.2 基础处理的主要目的

目前,对基础处理的目的的提法也不统一,如文献[1]要求,设计水工建筑物基础时,应当采取措施为:

- (1) 保证建筑物在整个施工和运行期中的可靠性、耐久性和经济性。
- (2) 保证基础承载能力和建筑物的稳定性,保证建筑物及其基础的使用寿命。
- (3) 保证减小位移、改善建筑物-基础体系的应力应变状态。
- (4) 降低扬压力和渗漏量。

文献[3]提出混凝土重力坝坝基处理的目的是:

- (1) 增加基岩强度,提高弹性模量,使岩体均匀,以满足承载能力和减少不均匀沉陷的要求。
- (2) 使基础有足够的抗渗性以满足渗透稳定的要求。
- (3) 减小坝基扬压力以满足抗滑稳定。
- (4) 控制渗漏量在规定的范围以内,以减小水量损失和足够的耐久性,并防止基岩性质在水的长期作用下发生恶化。

在文献[4]提出混凝土重力坝的基础经处理后应满足下列要求:

- (1) 应具有足够的强度,以承受坝体的压力。
- (2) 具有足够的整体性和均匀性,以满足坝体抗滑稳定和减少不均匀沉陷。
- (3) 具有足够的抗渗性,以满足渗透稳定、控制渗流量的要求。
- (4) 具有足够的耐久性,以防止岩体性质在水的长期作用下发生恶化。

而原规范^[5]则提出,混凝土拱坝的地基经处理后应达到下列要求:

- (1) 具有足够的整体性和稳定性,保证抗滑安全。
- (2) 具有足够的强度和刚度,能承受拱坝传来的力和各种荷载,不发生不能容许的变形。
- (3) 具有足够的抗渗性和有利的渗流场,满足渗透稳定要求,降低渗透压力。
- (4) 具有足够的耐久性,以免在水的长期作用下恶化。
- (5) 坝体和接触面的形状适宜,避免不利的应力分布。

以上各种提法大同小异,大致包括了以下几个方面:一是强度和稳定;二是刚度要求;三是抗渗性和扬压力要求;四是耐久性要求。综合提出拱坝基础处理的主要目的如下:

- (1) 保证建筑物在整个施工期和运行期的可靠性、耐久性和经济性。

- (2) 保证坝基的承载能力和坝肩抗滑稳定满足要求。
- (3) 保证坝基所需的刚度,改善大坝和基础的应力和变位状态。
- (4) 控制渗漏量,降低扬压力。

1.2 基础处理设计的指导思想

1.2.1 基本原则

基础处理设计的基本原则是:运行安全、技术先进、经济合理。

1.2.2 设计依据

基础处理的设计依据包括:

(1) 工程地质和水文地质的勘察研究资料,包括区域地质构造、物理力学和渗透特性、地下水位及其补给和排泄范围。

工程地质因素对基础处理及大坝安全的影响是巨大的,按缪勒教授的定义,地质资料“靠不住的丰富”还不能为建造安全的水工建筑物提供可靠性。地质研究工作需要的不是勘测的数量,而是勘测工作要有一个正确的方向。由于对勘测工作的目的性不够明确,常常遇到一些“地质上的意外”,如果在施工过程中发现了这些“意外”,就会延误工期,增加施工费用,如前苏联的克拉斯诺亚尔斯克水电站、美国的丹尼尔约翰逊坝等。如果水利枢纽运行后出现这类“地质上的意外”,就可能成为工程失事的原因。因此,对坝基不良性能揭示的不充分,将是影响工程安全的主要因素。

决定水工建筑物安全的主要地质因素是岩体的结构特性:有无软弱结构(大断层、软弱夹层)的不利方向面。软弱结构面的性状包括其规模、强度、分布,岩体的断裂结构面才是岩体工程的灵魂^[6],大坝的许多破坏事故都与岩体结构面有关,如意大利的格列诺坝、法国的马尔帕塞坝等。

- (2) 坝址区的地震烈度。
- (3) 相似工程地质条件下修建建筑物的经验。
- (4) 拱坝的基本特征资料(包括坝体结构、施工程序、作用荷载、运行条件等)。
- (5) 施工条件。

1.3 基础处理技术进展

近年来拱坝基础处理技术进展主要有以下几个方面:

- (1) 建基面正在由过去的定性确定逐步向定量确定过渡^[7]。
- (2) 断层破碎带,如乌江渡、龙羊峡、李家峡^[8]等的处理技术日趋成熟。
- (3) 在帷幕灌浆中,灌浆工艺和灌浆材料也有所发展^[9~11]。
- (4) 高边坡加固技术有了较大的提高。
- (5) 高坝建基面的保护问题得到重视。

主要参考文献

- [1] 水工建筑物基础(СНП2.02.02-85). 电力工业部昆明勘测设计研究院,1996,5
- [2] 郭继武等. 建筑物地基基础(按新规范). 北京:高等教育出版社,1996,12
- [3] 苗琴生. 混凝土重力坝坝基处理. 水利水电勘测设计标准化,2000,2~3
- [4] 混凝土重力坝设计规范(DL 5108-1999). 北京:中国电力出版社,2000,7
- [5] 混凝土拱坝设计规范(SD145-85). 北京:中国水利电力出版社,1985
- [6] 彭进夫,赖春芳. 对法国马尔帕塞坝失事的认识. 西北水电,2001,3
- [7] 王文德等. 用定量分析确定临江大坝建基高程. 水力发电,1992,4
- [8] 蒋锁红,白俊光,梁万林等. 李家峡河床坝基高压灌浆的设计与实施. 西北水电,1999,12
- [9] 国内拱坝基础处理调查报告. 安徽省水利水电勘测设计研究院
- [10] 高钟璞. 国内外基础处理技术的现状. 基础处理技术,1988
- [11] 郭玉花,肖田元. 国外超细水泥灌浆及其应用. 水力发电,1988,6