

SIMPLIFIED SERIES OF
CIVIL ENGINEERING

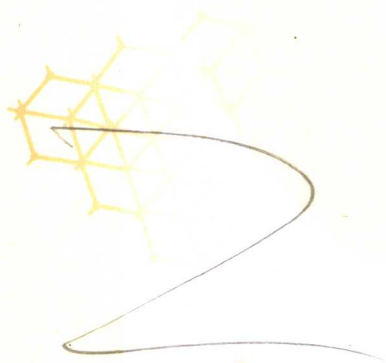
清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

周维垣 林鹏 杨若琼 杨强 著

简明土木工程系列专辑

高拱坝地质力学 模型试验方法与应用



中国水利水电出版社 
www.waterpub.com.cn

知识产权出版社 
www.cnipr.com

TV642. 4/2

2008

Simplified Series of Civil Engineering

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

周维垣 林鹏 杨若琼 杨强 著

简明土木工程系列专辑

高拱坝地质力学 模型试验方法与应用

中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

知识产权出版社

www.cnipr.com



内容提要

本书系“简明土木工程系列专辑”中的一本。本书反映了拱坝地质力学模型试验的最新理论和技术,主要针对高拱坝结构试验所需要的材料试验理论、材料相似理论、数据测量理论以及模型的测量技术的应用进行了介绍,具有很强的实际指导意义。在传统的拱坝模型试验分析拱坝稳定、应力等问题的基础上,本书增加了基于模型试验成果的拱坝整体稳定评价准则介绍。本书对李家峡、二滩、拉西瓦、溪洛渡、锦屏等实际高拱坝的整体地质模型试验进行了详细介绍,其目的在于总结模型试验的工程意义与作用。

本书可为从事水工结构技术的设计施工及试验人员提供有益帮助,他们可以了解通过物理模型解决重大工程问题的途径以及了解试验理论方法等。

选题策划: 阳 森 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip.sina.com; z_baolin@263.net

责任编辑: 阳 森 张宝林

文字编辑: 彭天放

图书在版编目(CIP)数据

高拱坝地质力学模型试验方法与应用 / 周维垣等著.

北京: 中国水利水电出版社: 知识产权出版社, 2008

(简明土木工程系列专辑 / 崔京浩主编)

ISBN 978-7-5084-5225-8

I. 高… II. 周… III. 拱坝—地质力学—模型试验—研究 IV. TV642.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 001404 号

简明土木工程系列专辑

高拱坝地质力学模型试验方法与应用

周维垣 林鹏 杨若琼 杨强 著

中国水利水电出版社 出版发行 (北京市西城区三里河路 6 号; 电话: 010-68331835 68357319)
知识产权出版社 (北京市海淀区马甸南村 1 号; 电话: 010-82005070)

北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

中国水利水电出版社微机排版中心排版

北京市兴怀印刷厂印刷

850mm×1168mm 32 开 7 印张 188 千字 1 插页

2008 年 3 月第 1 版 2008 年 3 月第 1 次印刷

印数: 0001—3100 册

定价: 18.00 元

ISBN 978-7-5084-5225-8

版权所有 侵权必究

如有印装质量问题, 可寄中国水利水电出版社营销中心调换

(邮政编码 100044, 电子邮件: sales@waterpub.com.cn)

清华大学土木工程系组编

简明土木工程系列专辑

编 委 会

名誉主编 陈肇元 袁 驷

主 编 崔京浩

副主编 石永久 宋二祥

编 委 (按汉语拼音排序)

陈永灿 胡和平 金 峰 李庆斌

刘洪玉 钱稼茹 王志浩 王忠静

武晓峰 辛克贵 阳 森 杨 强

余锡平 张建民 张建平

编 辑 办 公 室

主 任 阳 森

成 员 张宝林 彭天赦 莫 莉

张 冰 邹艳芳

总 序

国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程（Civil Engineering）是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术”。土木工程是一个专业覆盖面极广的一级学科。

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的。“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程（Military Engineering）而诞生的，它是指除了服务于战争设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称，后来这个界定就不那么明确了。按照学科划分，地下防护工程、航天发射塔架等设施也都属于土木工程的范畴。

土木工程是国家的基础产业和支柱产业，是开发和吸纳我国劳动力资源的一个重要平台，由于它投入大、带动的行业多，对国民经济的消长具有举足轻重的作用。改革开放后，我国国民经济持续高涨，土建行业的贡献率达到 1/3；近年来，我国固定资产的投入接近甚至超过 GDP 总量的 50%，其中绝大多数都与土建行业有关。随着城市化的发展，这一趋势还将继续呈现增长的势头。

相对于机械工程等传统学科而言，土木工程诞生得更早，其发展及演变历史更为古老。同时，它又是一个生命力极强的学科，它强大的生命力源于人类生活乃至生存对它的依赖，甚至可以毫不夸张地说，只要有人类存在，土木工程就有着强大的社会需求和广阔的发展空间。

随着技术的进步和时代的发展，土木工程不断注入新鲜血液，呈现出勃勃生机。其中工程材料的变革和力学理论的发展起

着最为重要的推动作用。现代土木工程早已不是传统意义上的砖瓦灰砂石，而是由新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法武装起来的为众多领域和行业不可或缺的大型综合性学科，一个古老而又年轻的学科。

综上所述，土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编写一套集新颖性、实用性和科学性为一体的“简明系列专辑”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

清华大学土木工程系是清华大学建校后成立最早的科系之一，历史悠久，实力也比较雄厚，有较强的社会影响和较广泛的社会联系，组编一套“简明土木工程系列专辑”，既是应尽的责任也是一份贡献，但面对土木工程这样一个覆盖面极广的一级学科，我们组编实际起两个作用：其一是组织工作，组织广大兄弟院校及设计施工部门的专家和学者们编写；其二是保证质量的作用，我们有一个较为完善的专家库，必要时请专家审阅、定稿。

简明土木工程系列专辑包括以下几层含义：简明，就是避免不必要的理论证明和繁琐的公式推导，采用简洁明快的表述方法，图文并茂，深入浅出，浅显易懂；系列，指不是一本书而是一套书，这套书力争囊括土木工程涵盖的各个次级学科和专业；专辑，就是以某个特定内容编辑成册的图书，每本书的内容可以是某种结构的分析与计算，某个设计施工方法，一种安装工艺流程，某种监测判定手段，一个特定的行业标准，等等，均可独立成册。

这套丛书不称其为“手册”而命名为“系列专辑”，原因之一是一些特定专题不易用手册的方法编写；原因之二是传统的手册往往“大而全”，书厚且涉及的技术领域多，而任何一个工程技术人员在某一个阶段所从事的具体工作又是针对性很强的，将几个专业甚至一个项目的某个阶段集中在一本“大而全”的手册势必造成携带、查阅上的不方便，加之图书的成本过高，编写机构臃肿，组织协调困难，出书及再版周期过长，以致很难反映现

代技术飞速发展、标准规范规程更新速度太快的现实。考虑到这些弊端，这套系列专辑采用小开本，在选题上尽量划分得细一些，视专业、行业、工种甚至流程的不同，能独立成册的绝不合二为一，每本书原则上只讨论一个专题，根据专题的性质和特点有的书名仍冠以“手册”两字。

这套系列专辑的编写严格贯彻“新颖性、实用性、科学性”三大原则。

新颖性，就是充分反映有关新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法，老的、过时的、已退出市场的一律不要。体现强劲的时代风貌。

实用性，就是避免不必要的说理和冗长的论述，尽可能从实用的角度用简洁的语言以及数据、表格、曲线图形式来表述；深入浅出，让人一看就懂，一懂能用；不是手册，胜似手册。

科学性，就是编写内容均有出处，参考文献除国家标准、行业标准、地方标准必须列出以外，尚包括引用的论文、专著、手册及教科书。

这套系列专辑的读者对象是比较宽泛的，它包括大专院校师生，土木工程领域的管理、设计、施工人员，以及具有一定阅读能力的建筑工人。它既可作为土建技术人员随身携带及时查阅的手册，又可选作大专院校、高职高专的教材及专题性教辅材料。

崔京浩

2005年10月于清华园

崔京浩，男，山东淄博人。1960年清华大学土建系毕业，1964年清华大学结构力学研究生毕业，1986~1988年赴挪威皇家科学技术委员会做博士后，从事围岩应力分析的研究。先后发表论文150多篇，编著专业书4本，参加并组织编写巨著《中国土木工程指南》，任编辑办公室主任，并为该书撰写绪论；主持编写由清华大学土木工程系组编的“土木工程新技术丛书”和“简明土木工程系列专辑”，并任主编。曾任清华大学土木系副系主任，现为中国力学学会理事，《工程力学》学报主编，享受国务院特殊津贴。

前 言

当前，在水工设计中为什么还需要做结构模型试验？不是已经有了高速、高精度的数值模拟技术吗？这是当前工程设计中遇到的迫切需要回答的。然而，清华大学水利系脆性结构实验室的成长发展过程，可以清晰地说明这个问题。

1956年，当时的苏联专家高尔竞柯来到清华大学，建议成立水工结构实验室，目的在于研究坝工结构的应力与稳定，这在当时的中国来说还是第一次。水工结构实验室建成后，首先给广东流溪河做了拱坝试验，主要是研究大坝的水力特性，到1958年“大跃进”时期，实验室又先后开展了轻石浆混凝土材料拱坝模型试验和陈村拱坝结构模型试验，目的在于研究大坝的应力分布规律。

20世纪60年代后，清华大学承担了密云水库和青石岭水库的设计。青石岭拱坝坝高125m，地基复杂，当时这成为了设计人员无法计算的难题，清华大学水利系针对此提出了模型试验方法，自此翻开了关于模拟复杂地基上修建拱坝的研究新篇章，并派人到意大利 Bergamo ISMES 学习，开始了地质力学模型试验。

“文化大革命”后，1978年面临高坝上马，实验室先后与当时的西北勘测设计研究院和成都勘测设计研究院协作，开始了龙羊峡重力拱坝、李家峡拱坝及二滩高拱坝的整体稳定和基础处理研究，从多方面研究大坝和地基的稳定。此后，我国高拱坝建设一般都需要进行稳定模型试验，要回答稳定安全度和地基处理的合理性，而这些即使应用高精度大规模计算也是难以奏效的。例如，当前世界的高拱坝英古里坝、锦屏一级坝、溪洛渡坝和小湾坝等都做了地质力学模型试验，以回答工程设计中的问题。

多年来，清华大学水利系的老师们从无到有，从试验技术理

论到实践，进行了艰苦的探索，并对材料试验理论、材料相似理论和数据量测理论等进行了摸索创新，为我国的高坝建设做出了贡献。其试验的成果《高坝水工结构模型试验》曾获得国家科技进步奖二等奖，主要成果也被编入我国水利行业标准《混凝土拱坝设计规范》（SL282—2003）和电力行业标准《混凝土拱坝设计规范》（DL/T5436—2006）。

40多年来，在张光斗先生指导下，参加试验工作的主要有陈兴华、周维垣、杨若琼、王宙、杨强、沈大利、林鹏、刘耀儒等人，他们为试验付出了血汗！配合试验工作的还有刻公瑞、强天驰、赵吉东、黄岩松、刘元高、陈欣等人，以及中国水电顾问集团所属的多个勘测设计研究院的大力支持，在此一并致谢！

本书是在前人相关研究基础上，对我们试验工作的粗浅总结，40多年来工作很难用这么短的篇幅进行描述，详细试验成果可参考相关文献和生产报告，大量深入细致的总结尚有待今后同仁们的努力。

本书的出版希望能激发同行的兴趣，推动我国的高坝地质力学模型试验研究的进一步发展。时间紧迫，书中疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2007年10月于清华园

目 录

总序

前言

第 1 章 概论	1
第 1 节 地质力学模型试验的意义	1
第 2 节 高拱坝地质力学模型试验的特点	2
第 3 节 国内外研究现状及发展趋势	4
第 2 章 拱坝地质力学整体模型试验理论方法	9
第 1 节 模型的相似原理	9
第 2 节 坝肩岩体的模拟	21
第 3 节 模型材料	27
第 4 节 地质模型试验的方法及分类	37
第 5 节 地质力学模型的设计	44
第 6 节 荷载及加载方式模拟	57
第 7 节 非正态模型设计问题	66
第 3 章 地质力学模型中的测量技术	68
第 1 节 概述	68
第 2 节 应力应变测量	80
第 3 节 模型试验误差分析	102
第 4 章 高拱坝地质力学模型试验实例分析	118
第 1 节 李家峡拱坝地质力学模型试验研究	118
第 2 节 二滩拱坝地质力学模型试验研究	130
第 3 节 溪洛渡双曲拱坝二次地质力学模型试验 比较研究	141
第 4 节 锦屏双曲拱坝三次地质模型试验研究	155
第 5 章 国内主要高拱坝整体稳定试验评价准则	189

第 1 节	拱坝整体稳定评价指标的选择 / 190
第 2 节	拱坝整体稳定评价指标的统计方法 / 192
第 3 节	拱坝整体稳定评价指标的统计分析 / 197
第 4 节	有限元计算结果的比较 / 203
参考文献	205
出版者的话	

第 1 章 概论

第 1 节 地质力学模型试验的意义

地质力学模型试验又称为地壳力学模型试验或岩石力学模型试验。以往常把用力学观点来研究地壳构造变化及地壳运动规律的模拟试验称为地质力学模型试验,这种说法从概念上具有广义性、大范围、宏观和定性等特点。而本书所讨论的地质力学模型试验与上述不同,是指能反映出小范围内具体工程地质构造条件的另一类模型试验。

地质力学模型试验研究的对象是工程结构与周围岩体相统一的实体,既可以精确模拟工程结构的特点,也能近似地模拟岩体及层理、节理、断层等地质因素对岩体工程稳定性的影响,是解决水利、交通和采矿等大型岩土工程结构稳定问题的重要手段。

对大型岩土工程结构的研究,主要采用物理模型和数值模型仿真两种方法。在结构物理试验中主要有电测法和光测法。大型结构试验的线弹性和破坏试验主要采用电测法,对高拱坝、地下工程结构等由脆性材料构建的结构,进行地质力学模型试验是电测法的一个重要分支,也是目前国内外广泛使用的一种方法。

尽管随着高性能计算机技术的迅速发展,三维数值模拟仿真(数值试验)方法已广泛应用于高拱坝结构整体稳定分析研究,但由于高拱坝所处的地质环境、地应力条件一般非常复杂,目前很难有效建立与实际相适应的精细网格模型,很难对大坝开裂及破坏全过程进行追踪仿真分析。模型试验在基本满足相似原理的条件下,更能真实地反映坝肩地质构造和工程结构的空间关系,更准确地模拟施工过程和影响;能更直观地展现大坝的破坏全过

程,使研究者更容易从全局上把握工程整体力学特征、变形趋势和稳定性特点,从而对坝型以及附属结构的设计做出相应的优化。因此,地质力学模型试验研究方法在高拱坝的稳定分析研究中仍然是必要的。

随着国内外拱坝建设的复杂程度和拱坝高度的不断增加,引起地质问题的复杂程度日益增加,涉及的问题不是简单的大坝高度增加的量变,而是涉及常规设计原则、方法、手段及判据需要改变的质变过程。当前我国在建的有一大批特高拱坝,如构皮滩(232.5m)、拉西瓦(250m)、溪洛渡(278m)、小湾(294.5m)和锦屏一级(305m)等,随着这些高拱坝的建设,在特高拱坝的地质缺陷处理和稳定分析,多目标设计,地质力学模型试验,以及适用特高拱坝的材料、施工工艺等问题方面不能墨守成规,必须在总结经验教训的基础上有所创新和前进。这些创新研究不仅应体现克服传统物理模型试验与数值方法相比较的弱点,如方案调整不灵活、有尺寸效应、试验难技术度大、费用高、不能模拟渗流和温度效应等,而且要适应新时代的发展,引进新的试验装置,使之更好、更全面、更真实模拟特高拱坝的开裂及基础破坏全过程,为国民经济服务。因此,在当前我国特高拱坝等大型岩土工程建设的高潮阶段,结合实际工程,开展高拱坝地质力学模型试验研究仍然具有重要的科学及工程应用价值。

第2节 高拱坝地质力学模型 试验的特点

运用地质力学模型试验对高拱坝进行试验可分为线弹性应力模型试验和破坏试验两类。线弹性应力模型试验研究高拱坝在正常工作状态下的结构形态,即研究坝体和基础建基面在正常水荷载下的应力分布和变形状态,找出基础的薄弱区域,为加固处理设计提供参考。破坏试验则是通过超载加载或降强加载,或降强和超载联合作用综合加载直至模型破坏,从而研究高拱坝的坝体

或基础的开裂, 扩展机制, 浅层抗滑以及大坝基础的整体安全度。

高拱坝的地质力学模型试验一般需要模拟复杂的地基条件, 模型中除要能模拟出岩体中的断层、破碎带及软弱带, 一些主要节理裂隙组, 有时还包括更小的密集裂隙带, 即Ⅳ级结构面, 如对小湾拱坝左、右坝肩Ⅳ级结构面的模拟。这些模拟不但应能体现出岩体的非均匀、各向异性、非弹性及非连续、多裂隙体等基本力学特征, 而且模型的几何尺寸、边界条件及作用荷载、模拟岩体的模型材料的容重、强度及变形特性等方面, 均须满足相似理论的要求。

高拱坝地质力学模型按照严格的相似条件, 可以在模型上观测到对应一定的荷载如正常水荷载下变形与应变, 这是最基本的模型试验的任务, 借助于地质力学模型的变形, 换算成大坝的原型变形, 从而可以观测到如下的变形:

(1) 水荷载增量加载, 即在大坝上增加一个定量的荷载, 同时观测记录与之对应的变形和坝体的应变, 这是静力的试验结果。

(2) 不断地增加外荷载, 大坝上或坝肩岩体上, 将出现弹性变形、塑性变形以至于流变形变, 都可以通过电阻丝片和位移计测试出来。

根据以上的变形, 就可以预测未来大坝的工作状态:

- (1) 弹性变形、小变形阶段、变形稳定。
- (2) 塑性状态, 对应一定阶段变形稳定。
- (3) 开裂变形状态对应的变形稳定。
- (4) 整体破坏状态变形失稳。

高拱坝地质力学模型可以模拟地质体与混凝土坝体及地应力, 模拟大坝蓄水期的弹性状态, 以及模拟大坝的破坏过程。由于模拟了地质体及混凝土坝体, 故大坝试验可以模拟施工状态, 也可以模拟蓄水状态以及模拟极限状态, 这样就可以模拟多种力学状态, 如小变形、弹性、非线性弹性、塑性屈服、开裂破坏和

流变状态等。

高拱坝地质力学模型试验还可以研究未来大坝的状态，特别是当前理论分析所难以解决的问题：

(1) 在一般高拱坝建造的地基内，多数存在着复杂的地质构造。这些构造，有可能削弱地基刚度使大坝变形过大，因此地质构造对稳定的安全影响应当分析清楚，如高拱坝中的断层如何加强，如何分析它们的影响，如何评价其安全度。这可以通过对坝基岩体的评价分析，得到坝基构造的影响，例如，二滩、拉西瓦、构皮滩、锦屏一级、溪洛渡和小湾等大坝模型，都要求反映大坝基础中的主要断层、夹层对大坝的影响。为此，地质力学模型需要模拟断层及裂隙构造并在连续加载的状态下，比较大坝的变形，从而分析构造带对大坝的变形及超载能力的影响。

(2) 通过模型试验，可以得到大坝结构与结构基础的相互影响，观测大坝开裂破坏与结构基础开裂破坏的相互影响，评价分析坝体与基础连接的薄弱地区的破坏机制，从而对坝基加固方案做出评价。

(3) 模拟大坝及地基中的构造，将模型连续加载直到大坝破坏，如 $6P_0$ 。（即 6 倍正常水载），此时对应大坝破坏。为了提高模型的承载力，对模型中模拟的构造进行加固处理，通过比较超载能力，可以修改并改进加固措施。通过变形开裂的过程，可以观测到模型的开裂破坏顺序，从而可以分析大坝的破坏全过程机制，如破坏出现在地基的某个结构，或出现在大坝的不良设计中，探讨大坝的渐进破坏机制可以为提高大坝的承载力提出具体的优化设计方案。

第 3 节 国内外研究现状及发展趋势

国外在 20 世纪 50 年代就开始将地质力学模型试验运用到拱坝的破坏研究。在 1967 年举行的第九届国际大坝会议及同年举行的国际岩石力学会议上提出了在模型中用材料的块体组合来模

拟多裂隙介质岩体的设想。到了20世纪七八十年代,世界各发达国家如美国、德国、南斯拉夫、瑞典、瑞士、前苏联、日本和意大利等,都曾广泛地开展大坝的模型试验工作,这其中早期比较著名的工作是意大利贝加莫结构与模型试验研究所(ISMES)用地质力学模型对大坝的稳定性进行研究,并给出了很有意义的成果。在南斯拉夫的地质与基础工程学院进行的格兰卡尔沃拱坝的地质力学模型试验规模巨大,试验也十分成功。1979年的地质力学模型国际讨论会就是在贝加莫结构与模型试验研究所召开的,会上分别对地质力学模型试验的理论、技术及在大坝、边坡、洞室等工程领域的应用作了介绍。近几年来由于这些国家建坝高峰已过,他们基本不再开展拱坝的地质力学模型试验。目前国外具有较大规模大坝实验室的有俄罗斯国家水工科学研究所、法国国家水工实验室和印度中央水利水电研究所等。

我国在20世纪50年代中后期,一些科研单位就开展了地质力学模型试验研究。例如,清华大学水利系自1956年在我国首次对广东流溪河拱坝进行结构试验以来,除进行模型材料研究外,一直在进行拱坝坝基和坝肩稳定性的模型试验研究,先后完成了国内龙羊峡重力拱坝模型试验及三维小块体地质力学模型试验,之后研究了二滩、李家峡、紧水滩、东风、小湾、凤滩、铜头、溪洛渡和锦屏一级等拱坝的整体稳定性,大坝超载能力与破坏机理以及基础加固措施的实际效果。对这些拱坝稳定、安全系数的研究成果被编入水利行业标准《混凝土拱坝设计规范》(SL282—2003)和电力行业标准《混凝土拱坝设计规范》(DL/T5436—2006),近年来针对当前一批高拱坝,如,溪洛渡、锦屏、小湾等开展跟踪三维试验研究,在试验规模、试验方法和试验技术方面已经取得了重要成果。最近,长江水利水电科学研究院岩基所对构皮滩、江口双曲等拱坝及三峡高边坡进行了试验研究,他们也以三峡工程为背景作了大量的地质力学模型试验,取得了很多成果。武汉岩土所对三峡工程左岸厂房坝段进行了深层抗滑稳定性物理模拟试验。四川大学近年来采用降低断层、夹层

等结构面的强度方法对国内一些拱坝和高边坡进行了坝肩稳定分析研究。成都理工大学的李天斌也对小湾拱坝坝肩稳定性进行了地质力学模拟研究。

近几年来,随着我国一批特高拱坝的建设,尽管受到了数值计算技术的冲击,但对于这些复杂的特高拱坝工程,按照规范仍需进行地质力学模型试验。随着新的试验方法和试验设备的引入,最近几年来,地质模型试验有加快发展的势头。

目前我国还保留进行大型坝工结构试验的单位主要有:清华大学、四川大学、中国水利水电科学研究院、长江水利水电科学研究院等单位。

我国目前进行的拱坝地质力学模型试验基本采用小块体模拟岩体和地质构造。对于加载技术,国外主要采用千斤顶或小千斤顶群加载,少数采用了千斤顶加分配块系统加载方法。我国模型试验的加载方法多数采用油压千斤顶系统通过分配块或分配梁传递荷载,也有的是采用小千斤顶群方式加载(如长江水利水电科学研究院)或液压囊加载(如前武汉水电学院)。

目前国内加载方法主要原理有超载和降强两种方法,其中超载技术能比较稳定地获得破坏过程的结果,评估大坝整体的安全度。

从以上对目前国内外拱坝的地质力学模型试验方法和技术来看,主要存在以下几个问题:

(1) 模拟比例尺一般较小,对 300m 级的高拱坝一般只能做到 1:250,难以精细地模拟基础Ⅳ结构面对大坝破坏的影响(如小湾拱坝现在要求进行Ⅳ级结构面的模拟,就需要更大比例尺的模型试验)。

(2) 加载方式单一,很难考虑复杂地应力和基础多维受力状态。

(3) 目前进行的高拱坝模型试验一般都采取超载和降强两种方法,很难考虑温度和渗流对大坝及基础的开裂和破坏过程的影响。

(4) 很难对拱坝运行及其开挖全过程进行模拟。