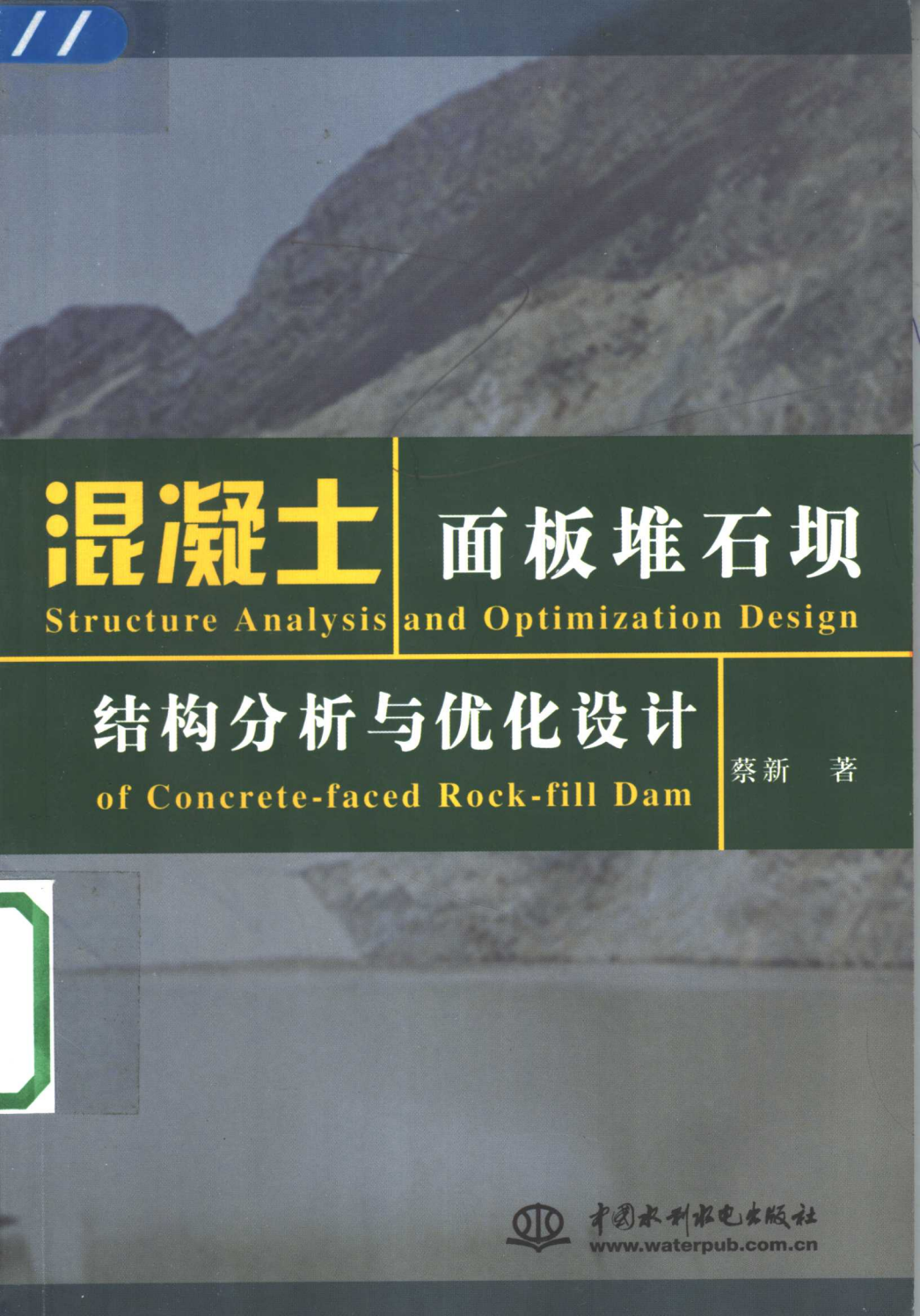




混凝土 面板堆石坝

Structure Analysis and Optimization Design

结构分析与优化设计
of Concrete-faced Rock-fill Dam

蔡新 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

南京水利科学研究院出版基金资助

混凝土面板堆石坝 结构分析与优化设计

蔡新 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书在介绍国内外混凝土面板堆石坝的发展以及设计研究现状的基础上,重点阐述了混凝土面板堆石坝确定性结构分析和优化设计的理论和方法、位移反分析及信息化施工预报的方法、不确定性稳定分析和不确定性优化设计的理论和方法,并进行了工程实例的分析和研究。

本书可供从事水利水电工程设计、施工和运行管理的工程技术人员参考,也可作为高等学校水利、土木、工程力学等专业本科生、研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土面板堆石坝结构分析与优化设计 / 蔡新著.

北京:中国水利水电出版社,2005

ISBN 7-5084-3415-3

I. 混... II. 蔡... III. ①混凝土面板堆石坝—结构分析②混凝土面板堆石坝—设计—最佳化
IV. TV641.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 135891 号

书 名	混凝土面板堆石坝结构分析与优化设计
作 者	蔡新 著
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (营销中心) 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
经 售	
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	850mm×1168mm 32 开本 4.375 印张 118 千字
版 次	2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—3000 册
定 价	13.80 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

混凝土面板堆石坝是水工结构中的重要坝型之一。作为当地材料坝,因其具有的众多优点而受到广泛关注,特别在近30年来发展较快、应用较广,并逐渐成为有较强竞争力和发展前景的坝型。全世界已建成的该类坝型大多运行状态良好。我国自“七五”以来,以西北口混凝土面板堆石坝为例,进行了混凝土面板堆石坝的研究和实践,取得了一定的工程经验,但也有该坝型溃坝及严重破坏、不能正常运行的沉痛教训。总体上,混凝土面板堆石坝的设计尚处于理论研究的初级阶段和实践的探索阶段。为提高设计质量、设计水平和设计效率,更好地挖掘潜力,节省材料,并实现设计自动化,首先必须了解大坝在各种情况下的工作性态,其次对如何求得安全可靠、经济合理的设计方案进行研究。

本书在系统阐述混凝土面板堆石坝的发展过程和设计研究现状的基础上,针对其本身的结构特点、受力特点及工程安全、经济、适用的要求,着重研究了以下几个方面的问题:

(1) 混凝土面板堆石坝的确定性分析与优化。系统介绍了混凝土面板堆石坝稳定分析和有限元静动力分析方法,建立了合适的优化设计数学模型,引入区间数学方法进行优化设计研究,并和数学规划方法研究成果进行了对比分析,取得了很好的效果。

(2) 混凝土面板堆石坝的反分析与信息化施工。首先对混凝土面板堆石坝材料参数进行敏感性分析,在此基础上根据实测的位移资料,建立混凝土面板堆石坝反演分析模型,并进行大坝施工期和运行期工作性态的信息化预报,从而指导施工填筑和蓄水运行,确保工程安全。

(3) 混凝土面板堆石坝的不确定性稳定分析。探讨了混凝土面板堆石坝结构设计中存在的不确定性因素,阐述了广义可靠性的概念和结构模糊随机可靠性分析的理论与方法,将模糊随机可靠性分析理论应用于混凝土面板堆石坝的稳定分析中,建立了混凝土面板堆石坝坝坡稳定的模糊随机可靠性分析的数学模型。根据模型的特点,引入遗传优化新算法寻找最小可靠指标。

(4) 混凝土面板堆石坝的不确定性优化设计。根据混凝土面板堆石坝结构设计问题中目标函数和约束条件所具有的不确定性性质,阐述了结构模糊随机优化设计的理论和方法。将模糊随机优化设计理论引入到混凝土面板堆石坝结构设计中,建立了混凝土面板堆石坝模糊随机优化设计的数学模型,并采用满足度法求解,得出了安全可靠和经济合理的设计方案。

(5) 对梅溪覆盖层地基上混凝土面板堆石坝和成屏一级混凝土面板堆石坝工程实例进行了分析和优化设计研究,得到了具有重要参考价值的合理可信的研究成果。

本书是在笔者的博士生导师吴中如院士和王德信教授的悉心指导下完成的,是笔者 10 多年来研究混凝土面板堆石坝项目的部分科研成果的总结。参加本书研究工作的还有郭兴文、杨建贵、方忠强等,胡群革、张媛也给予了大力支持和协助,在此对他们的工作表示衷心的感谢。同时,还要感谢南京水利科学研究院珠江院士、河海大学顾淦臣教授、殷宗泽教授在笔者学习、研究过程中给予的指导和帮助。

本书在定稿出版过程中得到国家级名师、清华大学博士生导师范钦珊教授以及河海大学博士生导师顾冲时教授的关心和帮助,特此致谢。

限于作者水平及研究的深度,书中难免存在不妥和谬误之处,恳请读者批评指正。

蔡 新

2005 年 6 月于南京

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 国内外混凝土面板堆石坝的发展	1
第二节 混凝土面板堆石坝的设计研究现状	4
第三节 技术路线与主要内容	9
第二章 混凝土面板堆石坝确定性分析与优化设计	13
第一节 混凝土面板堆石坝的稳定分析	13
第二节 混凝土面板堆石坝的有限元分析	17
第三节 混凝土面板堆石坝的优化设计	38
第四节 梅溪混凝土面板堆石坝区间优化设计	49
第五节 小结	54
第三章 混凝土面板堆石坝反分析及信息化预报	55
第一节 混凝土面板堆石坝材料参数的敏感性分析	55
第二节 混凝土面板堆石坝的位移反分析与信息化施工	57
第三节 成屏混凝土面板堆石坝的反分析及信息化预报	63
第四节 小结	71
第四章 混凝土面板堆石坝不确定性稳定分析	72
第一节 混凝土面板堆石坝设计中的不确定性因素	72
第二节 广义可靠度的概念	77
第三节 结构的可靠度	81
第四节 结构的模糊随机可靠度	83
第五节 混凝土面板堆石坝稳定模糊随机可靠性分析	89
第六节 加速遗传算法寻找最小可靠指标	95

第七节	成屏混凝土面板堆石坝不确定性稳定分析	98
第八节	小结	103
第五章	混凝土面板堆石坝不确定性优化设计	104
第一节	普通模糊约束的结构优化设计	104
第二节	模糊荷载作用下的结构优化设计	106
第三节	混凝土面板堆石坝广义模糊优化设计	107
第四节	成屏混凝土面板堆石坝不确定性优化设计	112
第五节	小结	118
第六章	总结与展望	119
第一节	总结	119
第二节	展望	121
主要参考文献		123

第一章 绪 论

第一节 国内外混凝土面板堆石坝的发展

混凝土面板堆石坝是以堆石为受力主体、上游混凝土面板为防渗主体的一种堆石坝，常简称为面板堆石坝或面板坝。现代混凝土面板堆石坝具有断面小、安全性能好、对地基要求低、可简化导流、施工方便、工期短、受气候影响较小、造价低等诸多优点，日益受到坝工界的重视，并成为有较强竞争力的坝型。

混凝土面板堆石坝的发展大致经历了三个阶段：①早期（1870~1940年），抛填堆石阶段；②过渡期（1940~1970年），由抛填堆石向碾压堆石发展；③现代阶段（1970年后），以碾压堆石为主体特征，同时在坝体结构及施工技术上有很大的改进，并向高坝发展。

堆石坝是在1870~1900年间于美国加利福尼亚发展起来的。在加利福尼亚塞拉山的水力淘金矿山上需要蓄水备淘金使用，而当地适于筑坝的材料是岩石和树木，从而促使抛填堆石坝的兴起。塞拉山上第一座坝为木面板抛填堆石坝，后来逐渐过渡到采用混凝土作防渗面板，并于1895年在加利福尼亚修建了第一座采用混凝土面板的堆石坝。1900年后，混凝土面板坝基本上成为一种典型的堆石坝。1925年，美国肯塔基建成高84m的Dix River坝；1931年，美国加利福尼亚建成高100m的Salt Spring坝。因当时堆石的施工方法均采用抛石填筑，辅以高压水枪充实的简单压实工艺，堆石体的密实度很差，变形模量较低，因而沉降量和水平位移均较大。施工期坝体沉降量一般为坝高的5%，竣工后在水荷载作用下的沉降量可达坝高的1%~2%。这样大

的变形使得混凝土面板开裂,引起渗漏。

20 世纪 40 年代,随着筑坝高度的增加,刚性混凝土面板不能适应抛填堆石体的大变形而开裂,从而导致较大渗漏量的问题日益严重,因此,混凝土面板堆石坝未能推广普及。后来设计者把研究和实践的重点转移到以土料作为防渗体的堆石坝上来。土料具有很好的柔性,能适应堆石的变形。随着土力学理论、心墙施工及地基处理技术的发展,使抛填堆石的土心墙坝和土斜墙坝获得发展,并逐渐代替了抛填的混凝土面板堆石坝。土质防渗体在堆石坝中的应用,使土坝施工中的薄层碾压技术逐步应用到堆石坝施工中。如 1958 年建成的 Quoich 坝,坝高 38m,堆石体每层厚度 60cm,先用 10t 平碾压平,后用 3.5t 振动碾振动压实的方式填筑,其后观测到的施工期最大沉降仅 1.9cm,表现出良好的性态。

20 世纪 60 年代以后,随着大型振动碾的出现和应用,以及对土质心墙坝中碾压堆石低压缩量的认识的提高,混凝土面板堆石坝出现了转机。1964 年在爱丁堡召开的国际大坝会议上讨论了高堆石坝专题,并发表了介绍塞尼斯山、高阿斯旺等十几座心墙堆石坝的论文,这些堆石坝通常采用推土机或气胎碾压实,较新的坝开始使用 10t 振动碾,并正式设计碾压式混凝土面板堆石坝。讨论得出的结论是:振动平碾压实的堆石使高混凝土面板堆石坝成为可行。采用振动碾薄层碾压堆石,使堆石坝对填筑料的要求放宽,而堆石坝体的密实度和变形模量却大大增加。坝体变形进一步减小,面板工作状况大为改善。新埃克斯切克坝作为最后一座抛填混凝土面板堆石坝,结束了抛填堆石坝的历史。60 年代后期出现了一批混凝土面板堆石坝,如卡宾溪坝(1966)、彼特拉斯坝(1967)、法台斯坝(1967)、袋鼠溪坝(1968)、平达利坝(1969)及塞沙那坝(1971)等。彼特拉斯坝开始对每一条块面板进行连续浇筑,袋鼠溪坝开始有了使用软岩石的经验,塞沙那坝的一些设计特性以后成为标准的实践模式。随后,1980 年巴西建成高 160m 的阿利亚(Areia)坝,1985 年哥伦比亚建

成高 148m 的萨尔瓦金娜 (Salvajina) 坝, 1993 年墨西哥建成高 187m 的阿瓜密尔帕 (Aguamilpa) 坝。目前面板坝已发展到 200m 级, 如马来西亚的巴昆坝 (205m)、菲律宾的阿布鲁坝 (234m)、老挝的南俄Ⅲ坝 (220m) 等。

我国面板坝的建设起步较晚, 最早的抛填式混凝土面板堆石坝是猫跳河二级百花水电站大坝, 坝高 48.7m, 1966 年建成。以后还修建过南山、三渡溪等这种类型坝, 坝高均不超过 50m, 但没有得到发展。1982 年建成的新疆柯柯亚坝, 坝高 41.5m, 是混凝土面板砂砾石坝。

1985 年, 我国开始建设现代碾压式混凝土面板堆石坝。最早开工建设的是西北口水库大坝, 坝高 95m。最早建成的是关门山水库大坝, 坝高 58.5m, 1988 年建成, 运行情况良好。到 1992 年底, 已建成 18 座 (坝高在 50m 以上的 10 座)。其中, 浙江成屏一级水电站面板坝坝高 74.6m, 于 1989 年建成, 目前运行情况良好。设计时曾就三种坝型进行过比较, 面板坝方案比混凝土重力坝节省约 16.1%, 且工期短。在此期间进行了大量的试验研究和分析研究工作, 积累了较为丰富的实践经验, 制定了设计导则和施工技术规范, 在全国积极推广。1992 年底正在施工的有 19 座, 其中坝高 50m 以上的有 14 座, 最高的天生桥一级大坝高达 178m。还有一些面板坝, 如洪家渡坝 (高 182.3m)、乌鲁瓦提坝 (高 135m)、紫坪铺坝 (高 159m) 等已完成最终设计并动工兴建。正在规划设计的超过 200m 级的坝有水布垭坝 (高 234m) 等。目前, 在规划、设计、施工、运行管理等方面, 均取得了长足的进步。

现代面板坝的发展呈现了以下几个方面的特点: ①堆石体采用振动碾薄层碾压填筑, 从而提高了坝体的密实度, 减小了变形, 且现场开挖料和料场开采石料、爆破料、砂砾石均可上坝; ②面板垫层及其材料的粒径、级配优选, 碾压和保护得到很好的研究, 为面板提供了良好的支撑; ③混凝土面板的厚度趋于减薄, 一般采用 $d = 0.3 + 0.003H$ (H 为坝高, 单位为 m); ④重

视面板接缝和周边接缝止水结构的设计改进,使接缝能适应较大变形而不漏水;⑤用混凝土趾板作为面板的基座,以平面趾板锚固于岩基,其下进行固结灌浆和帷幕灌浆,使坝顶防浪墙、面板、趾板、灌浆帷幕组成完整、有效的防渗体系;⑥设计工作仍以经验为主,加强了试验研究和原型观测;⑦对特殊自然条件(如寒冷地区、覆盖层基础等)进行研究,取得了这些条件下建造面板坝的经验。

第二节 混凝土面板堆石坝的设计研究现状

近 20 年来,国内外对混凝土面板堆石坝进行了较多的研究和总结。1985 年,美国土木工程师协会举行了该坝型的学术研讨会,研究讨论了各国碾压式混凝土面板堆石坝的设计、施工和运行;1987 年, Cooke 和 Sherard 在 ASCE 专辑上对混凝土面板堆石坝又进行了总结和讨论;1991 年和 1992 年,英国《Water Power and Dam Construction》出版了两期混凝土面板堆石坝专辑,报道了近期修建的面板坝;1993 年,在北京举行的国际高土石坝学术研讨会上,介绍了几乎所有已建主要混凝土面板堆石坝的设计、施工和运行情况;1995 年,中国召开了“中国混凝土面板坝十年”学术研讨会,总结了我国面板坝建设的研究与实践;2000 年,在北京又举行了混凝土面板堆石坝国际学术研讨会。

随着混凝土面板堆石坝的发展和坝工界认识的不断提高,该坝型的设计也在逐步走向成熟,特别是世界上已建成了几座较高的面板堆石坝,如澳大利亚的 Cethana 坝、巴西的 Foz do Areia 坝、哥伦比亚的 Alto Anchicaya 坝等,且运行情况良好,曾使人们对面板堆石坝的认识和设计水平的提高起过重要的作用,也积累了一定的工程经验。但也有该坝型溃坝和严重破坏、不能正常运行的沉痛教训。如哥伦比亚格里拉斯面板坝,由于周边缝止水结构的严重破坏,水库不能正常运行,迫使放空库水进

行修补；中国西北口坝的面板严重开裂；中国沟后砂砾石面板坝溃坝等。所以，该坝型总体上仍处于理论研究的初级阶段和实践的探索阶段。目前对其的研究主要是结构的数值分析、坝料的试验研究、现场试验及原型观测等方面的探讨，尚无成熟的设计理论。

一、试验研究

现代混凝土面板堆石坝，尽管其密实度和变形模量较早期面板坝有很大提高，但变形仍是其主要问题；特别是高坝及直接建造在覆盖层地基上的坝。坝料的试验研究主要是对其变形特性的研究，在满足坝体各部位及整体安全的基础上充分利用各种堆石坝料，并对坝体剖面进行合理分区，降低工程造价与投资。试验大体上包括压缩试验、三轴试验等。如 Sowers G. F. (1965) 和 Fumagalli E. (1969) 等人研究了堆石坝的侧限压缩试验性质，并取得了一些有益的认识。Charles J. A. (1976) 进行了堆石单轴压缩试验，并在此基础上根据弹性理论对堆石坝的变形进行了研究。Marsal R. J. (1973) 对堆石坝在平面应变条件下的变形特性进行了试验研究。Charles J. A. (1980) 和张启岳 (1982) 等人分别进行了堆石三轴试验，均得出了堆石的强度包线不符合摩尔—库仑破坏准则的结论。由于室内试验受粒径限制和现场情况不一致的影响，需进行现场试验。现场试验主要是对坝料的密度、变形模量、渗透性及抗剪强度进行研究，并弥补室内试验很难反映的现场碾压的效果。通过试验研究，了解坝料的物理力学性能，从而最大限度地减小坝体堆石料的变形量，改善面板与周边缝的工作状态，确保大坝安全。

二、数值分析

堆石坝结构数值分析理论和方法的研究主要是进行大坝稳定及应力应变性态等方面的研究。碾压式堆石坝一般不存在整体稳定问题，只有当坝体岩基或覆盖层中存在平缓浅层软弱滑动面或

层间错动带时才像混凝土坝一样作整体抗滑稳定校核。现代面板堆石坝坝坡一般比松散抛填堆石的天然休止角坡比(1:1.3)要缓,且小于碾压堆石抗剪强度 45° ,一般不存在边坡稳定问题。SDJ218—84《碾压式土石坝设计规范》规定采用条分法进行边坡稳定校核,也有学者提出基于坝料不同破坏准则进行稳定分析。

现代面板堆石坝坝体变形、周边缝和面板缝的变位、面板应力变形是设计中必须考虑的重要内容。1967年,Clough R. W. 和 Woodward R. J. 首先用有限元法进行土坝应力应变分析,并模拟了分级加载的施工过程。特别是1968年Wilkins对澳大利亚Cethana坝进行了有限元分析,从此有限元法成为土石坝及现代面板坝应力应变分析的重要手段。数值分析的研究主要集中于对堆石材料、混凝土面板、面板与垫层的接触面、接缝(周边缝、面板缝)等关键因素本构模型的合理反映,以及对施工填筑和蓄水过程的仿真模拟,以尽可能准确地描述该坝型的实际工作性态。目前,国内外许多学者仍致力于以数学、力学模型正确解释坝体的应力应变规律。

三、优化设计研究

工程结构设计是建立结构方案的过程。随着计算机软硬件的飞速发展,借助于计算机,利用数学、力学等方法对工程结构进行最优化设计得到了广泛的应用。结构优化设计与传统设计均遵循相似的设计原则和设计过程,不同的是传统设计缺乏安全经济性等衡量标准,而最优化设计是在明确结构的经济性与安全性等指标的前提下,结合计算机辅助设计,实现分析计算、设计、出图等全过程自动化,提高了设计效率和质量。

面板坝设计经过近40年的发展,已经取得了较多的成功经验和失败教训,如何提高设计效率 and 设计质量、更好地挖掘潜力、节省坝料并实现设计的自动化,目前研究得很少。顾浩、王德信(1994)对岩基上面板堆石坝断面优化设计进行了初步研

究, 郭兴文、王德信(1998)对覆盖层地基上面板堆石坝断面进行过优化设计的探讨。此外, 尚未见其他类似研究的报道。上述研究基于大坝在各工况条件下的稳定和坝体的应力位移等关键指标, 着重于对面板坝的坝坡及坝料的合理分区进行探讨, 从而充分利用当地材料, 使开挖料等均可上坝, 减少料场材料的用量, 节约投资。技术路线是: 结构分析采用非线性有限元法, 堆石材料的本构模型为非线性, 并充分模拟大坝分级碾压填筑的施工过程和蓄水过程。目前, 工程结构优化设计正处于不断地研究、发展和应用阶段, 除了较为成熟的数学规划法和准则法外, 近年来又涌现出了具有较好适用性和收敛性的仿生学方法, 如模拟退火方法、遗传算法、神经网络算法等, 数学工作者还研究应用了区间数学分析的方法。这些方法的出现较好地解决了工程优化问题中需要全局最优解的问题。

四、反分析研究

在混凝土面板堆石坝断面结构组成中, 堆石体(主堆石和次堆石)约占99%, 因此堆石体的变形决定了大坝的变形, 并直接影响混凝土面板的应力和变形, 从而对周边接缝、面板缝的结构型式和设置产生决定作用。由于堆石体材料本身力学特性的复杂性及受试验条件的限制, 堆石体材料的应力应变关系很难准确确定; 堆石料的力学计算参数由试验获得, 试验条件与实际工作状态的差异使得参数具有不确定性。选择合适的计算模型和计算参数是研究了解和准确把握面板坝的稳定及其各部位的应力、位移工作性态的必要依据。因此, 研究参数的敏感性并利用实测资料反演实际工作状态下的材料参数有重要的现实意义。它不仅能准确地反映和预报面板坝的真实工作性态, 也指导面板坝的分级碾压填筑的信息化施工过程和蓄水过程, 并确保工程的安全。

岩土工程反分析就是利用量测到的建筑物信息(如位移、应力、应变、孔压等), 通过确定的模型进行材料参数的推求。利用反分析手段, 获取地下结构、基坑、边坡、大坝等结构的材料

参数（参数辨识）和本构模型（模型辨识）等。位移是描述物体受力变形性状的一个重要物理量，在工程监测中，岩土体的位移便于测量且精度较高，所以，研究人员开始对由位移测值来反演岩体的各力学性质参数（主要是初始地应力场、弹性模量、泊松比、内摩擦角和凝聚力等）的方法和理论进行探讨，取得了不少有价值的成果，并已应用于工程实践中。因此，岩土工程中的参数识别常用位移构造目标函数的位移反分析法。

岩土工程反分析思想最早可追溯到 Terzaghi 于 1946 年在修建隧道工程中提出的观测设计法。在隧洞修建的早期，反演方法取得了较快的发展。意大利的 Gioda、日本的 Sakurai 和 Kristen 等相继用数值方法和解析方法开展了研究和应用。中国学者在岩土工程的参数和地应力推求方面的应用研究约开始于 20 世纪 80 年代，如杨志法、王建宇、刘允芬、郑颖人等用反分析方法对不同的问题进行了研究。在反分析问题的研究中，数学、力学领域的研究人员主要研究算法，而岩土工程和工程地质领域的研究人员则侧重于模型和边界条件的研究。

位移反分析中应用最多的算法是最优化方法，目前已有许多优化算法可解决非线性规划问题，但尚无一种算法能在各种情况下都使用。适合于岩土工程反分析的优化方法已有：单纯形加速法、Rosenbrock 法、拟梯度法、鲍威尔法、混合罚函数法等。位移反分析主要是为确定实际工程中岩土体材料参数问题而提出来的，弹性问题位移反分析研究较早，方法较完善，且以有限元位移反分析为主。例如，中国科学院地质所杨志法提出了图谱位移反分析法，同济大学提出了用有限元法进行力法位移反分析等。为准确反映工程实际的需要，位移反分析已逐渐发展到弹塑性模型、粘弹性模型。例如，朱维申等用粘弹性理论进行了位移反分析的拟合计算，孙钧等用分步全局优化的方法来反演非线性逆问题的初始地应力场及岩性参数等。目前非线性反分析有了一定的发展，且多为直接法。例如，意大利的 Gioda 首先用单纯形法进行弹性反分析，中国科学院地质所用黄金分割法、抛物线

法、单纯形法进行了直接法位移反分析。在水工结构工程领域的反分析研究还相对较少,本书用直接法位移反分析对面板堆石坝的坝料参数进行研究。

五、不确定性分析研究

事物的内在属性及其表现有其确定性,这是经典数学研究的对象。事物还存在不同程度的不确定性,如随机性和模糊性。由于因果关系的缺陷或不明确形成事物的随机性,由于定义或评定标准不明确造成事物的模糊性,这些不确定性需借助于统计数学和模糊数学理论来研究。

工程结构考虑随机性的可靠度分析和考虑模糊性的分析与设计已有不少开创性的研究成果,这些不确定性及其对工程结构的影响也逐渐被人们认识和接受,但在水工结构领域的研究还较少,特别是在混凝土面板堆石坝设计中考虑不确定因素的研究尚未见报道。和其他工程设计一样,面板坝结构设计中除参数外还存在其他不确定性因素,如设计优劣标准、荷载、计算模型等,它们既具有随机性,又具有模糊性,而这些因素又直接影响着面板坝工程的安全性和经济性。正确处理这些不确定性信息,将为提高工程设计的质量和水平、充分发挥坝料作用、降低工程造价、提高大坝的安全可靠性起到重大的作用。

第三节 技术路线与主要内容

一、技术路线

混凝土面板堆石坝是水工结构中的重要坝型之一。作为当地材料坝,因其具有的众多优点而受到广泛关注,特别是近30年来发展较快、应用较广,并逐渐成为有较强竞争力和发展前景的坝型。全世界已建成的该类坝型大多运行状态良好。中国自“七五”以来,以西北口混凝土面板堆石坝为例进行了该坝型的深入

研究和实践,取得了一定的工程经验。但也有该坝型溃坝及严重破坏、不能正常运行的沉痛教训。总体上,混凝土面板堆石坝的设计尚处于经验阶段。根据混凝土面板堆石坝工程安全、经济、适用的要求,目前该坝型在其结构的静动力正反分析、结构的安全可靠性分析和优化设计、结构的不确定性分析与设计等方面难度较大,同时具有重要理论意义与实用价值的课题需要进一步深入研究和总结。本书正是在这种背景下,结合水利部重点项目“高混凝土面板砂砾石坝关键技术研究”和“覆盖层上筑混凝土面板坝关键技术研究”,进行面板堆石坝的结构分析与优化设计的深入研究,提出了该坝型具有重要理论意义和参考应用价值的分析设计理论和方法。

本书全面总结了面板坝结构分析和设计的研究现状,系统阐述了面板坝的稳定分析和应力应变分析确定性分析方法、断面优化设计模型及其数学规划法的求解方法,研究了采用区间数学分析法解决面板堆石坝优化设计问题的理论和方法。优化设计的目的是解决面板坝工程经济方面的要求;然后在确定性分析的基础上研究大坝参数的反分析和信息化施工预报的方法,从而解决面板坝工程安全方面的要求;根据面板坝设计中普遍存在的模糊性、随机性不确定性因素,研究大坝在模糊随机条件下的稳定性及其断面的不确定性优化设计,使设计方案更准确地符合实际情况,挖掘更大的潜力,在保证工程安全的前提下,同时考虑到将来运行维护的要求,使工程达到最经济和最适用。

二、主要内容

本书根据面板坝工程安全、经济和适用的要求,围绕面板坝结构分析与优化设计进行研究。总结了面板坝设计研究的现状,研究了面板坝确定性分析与确定性优化设计、参数反分析与信息化预报,以及不确定性稳定分析与不确定性优化设计。试图在前人研究的基础上,不断提高对该坝型的认识,从而提高设计质量、设计水平和设计效率。