

水工钢筋混凝土 结构实验和理论

SHUIGONG GANGJIN HUNNINGTU

JIEGOU SHIYAN HE LILUN

陈进 黄薇 著



长江出版社

TV332

1

2005

水工钢筋混凝土 结构实验和理论

SHUIGONG GANGJIN HUNNINGTU

JIEGOU SHIYAN HE LILUN

陈进 黄薇 著



图书在版编目(CIP)数据

水工钢筋混凝土结构实验和理论/陈进,黄薇著.

武汉:长江出版社,2004

ISBN 7-80708-007-8

I. 水… II. ①陈…②黄… III. 水工结构—钢筋混凝土结构—结构试验 IV. TV332-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 106427 号

水工钢筋混凝土结构实验和理论

陈 进 黄 薇 著

责任编辑:赵 冕

技术编辑:王秀忠

装帧设计:刘斯佳

责任校对:李海振

出版发行:长江出版社

地 址:武汉市汉口解放大道 1863 号

邮 编:430010

E-mail: cjpub@vip.sina.com

电 话: (027)82927763(总编室)

(027)82926806(市场营销部)

经 销:各地新华书店

印 刷:武汉中远印务有限公司

规 格:880mm×1230mm 1/32

10.875 印张 260 千字

版 次:2005 年 1 月第 1 版

2005 年 1 月第 1 次印刷

印 数:0001—3000 册

ISBN 7-80708-007-8/TV · 2

定 价:36.00 元

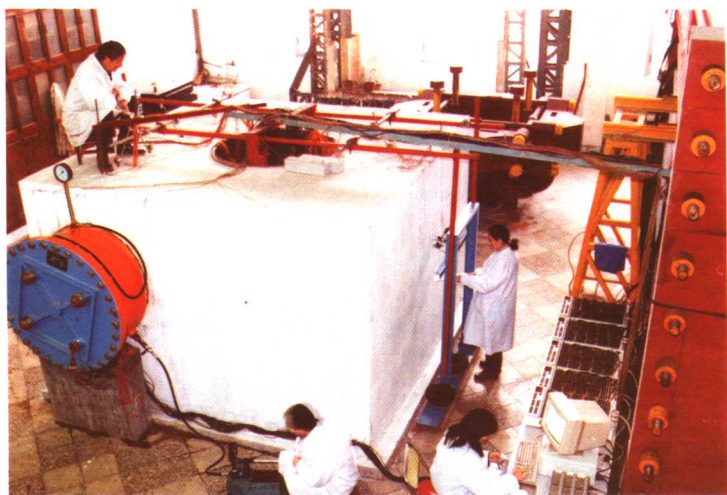
(版权所有 翻版必究 印装有误 负责调换)



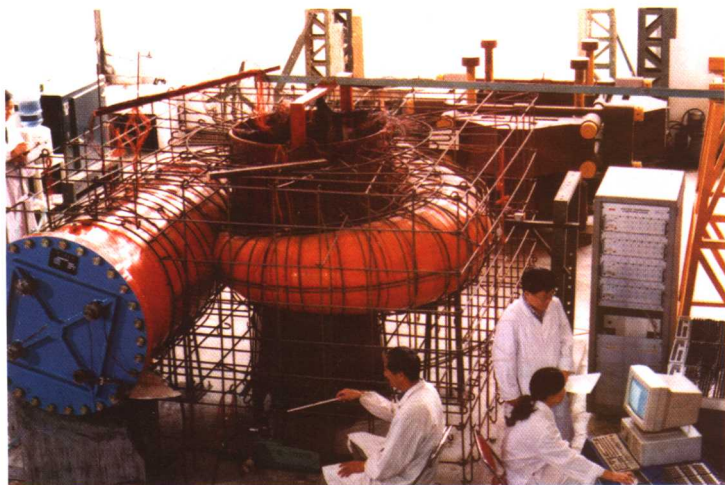
三峡溢流坝深孔孔口结构模型试验(大比尺)



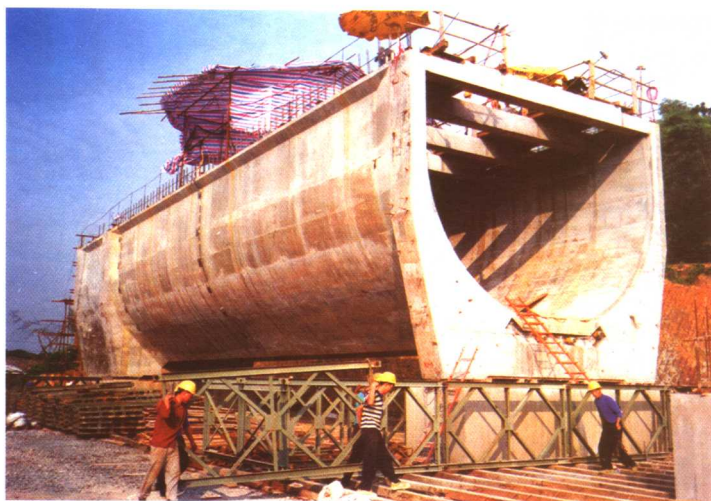
投入运行的深孔正在泄洪



三峡电站背管结构模型试验



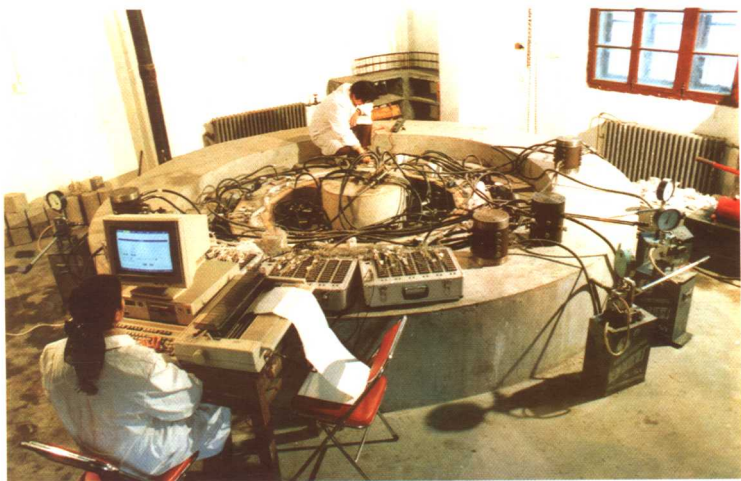
三峡电站背管钢蜗壳充水加压试验



东深输水工程双向预应力渡槽现场试验模型



东深输水工程双向预应力渡槽预应力测点布置



南水北调中线工程穿黄隧洞结构模型试验



南水北调中线工程刁河渡槽结构模型试验

序

结构模型试验和理论分析是工程师用来研究和设计建筑物的两个主要手段。在早年,由于受到分析技术和手段的限制,模型试验在结构设计中起着重要作用。例如,欧洲各国在上世纪早期设计拱坝时,主要就依靠模型试验,了解其应力分布和变形性态,法国还利用模型试验设计建造了外形十分优美和复杂的水坝,获得很大成功。

在电脑问世和数值计算技术迅猛发展后,数值分析发挥着越来越重要的作用。结构模型试验也确实存在周期长、费用大、不灵活和相似性及模拟技术等方面的问题,以至有的专家认为模型试验将逐步退出舞台,完全由数值分析取代。

其实,事物总是一分为二的。数值计算确实具有很多优点,今后无疑将是结构设计的主要手段,但在一定时期内,模型试验仍不失为重要的补充手段,其技术仍将会有不断的发展。特别对于水工建筑物,不仅有許多大体积非杆件结构,其体型和受力状态较为复杂,不能用简单、成熟的内力计算方法分析,而且像混凝土这类材料在复杂应力状态下的本构关系与破坏准则也非常复杂,尚无定论,而这正是要使计算结果反映结构真实特性的先决条件。对于钢筋混凝土这类结构要做精确的分析还存在难点。所以,模型试验仍然是复杂水工结构分析的重要方法之一。

本书作者们通过三峡枢纽和南水北调等工程中一些重要结构的模型试验(有些试验规模之大和复杂在国内外都少见),详细分析了结构受力状态和承载能力,为工程设计和建设提供了重要依据,而且从大量实践中总结了复杂水工结构的受力特性(如混凝土的受拉劲化效应、结构试验的尺寸效应、混凝土抗拉强度所起的具体作用、钢筋混凝土开裂后的特性等),为今后改进水工结构设计方法和修订相应规范提供了重要的资料。另外,作者们还总结了结构试验的理论和技術,可供同行们参考。

总之,作者们结合大型水利工程的实践,总结了他们进行水工钢筋混凝土结构试验的经验,并对非杆件结构的受力特征和配筋计算等理论问题进行了探索,提出了有价值的建议,对今后改进和完善水工结构设计理论有重要参考价值。另一方面,这些试验成果也为有限元等数值计算提供了验证实例,可以促进数值分析的发展。从这些方面来看,本书是一本有价值的学术著作,故略志数语为序。

潘家铮

2004年8月

前 言

《水工钢筋混凝土结构的实验和理论》的写作目的,一是总结长江科学院 20 年来为三峡和南水北调等大型水利工程所做的主要钢筋混凝土结构试验成果,为工程的设计、施工和安全运行提供依据;二是通过这些试验,总结一些试验技术,可供从事结构试验的技术人员参考;三是通过这些试验,使我们对水工结构中非杆件混凝土结构特性有一些新的认识,这些认识可以为今后改进非杆件结构设计理论和方法提供参考;四是试验成果可以为有限元等数值分析建立本构关系并为验证计算成果提供实例。

本书第 1 章主要介绍钢筋混凝土结构的发展历程、水工结构特点、结构设计方法及结构试验的作用;第 2 章主要介绍结构试验的理论和试验技术;第 3 章主要介绍混凝土的材料性能、混凝土和钢筋混凝土的结构特性;第 4 章主要介绍钢筋混凝土和钢纤维混凝土单向拉伸试验和简支梁试验,分析钢筋混凝土在单向和简单受力状态下的特性;第 5 章介绍三峡溢流坝深孔孔口结构试验;第 6 章介绍三峡水电站蜗壳结构试验;第 7 章介绍三峡电站背管结构试验;第 8 章介绍现场结构试验实例—东深输水工程双向预应力渡槽试验;第 9 章介绍南水北调中线工程中穿黄隧洞、刁河渡槽和漳河渡槽等结构试验;第 10 章主要介绍原型观测和有限元分析等其他分析方法成果;第 11 章根据试验和其他分析方法的成果,对非杆件结构配筋理论和方法进行探讨;第 12 章以三峡深孔为实例,讨论孔口

结构配筋计算和安全度。

本书在撰写过程中,得到了有关单位、专家以及同志们的支持和帮助。书中主要模型试验都是在长江科学院材料结构所完成的,得到了长江科学院领导和各部门的大力支持,其中深孔结构模型、计算和理论分析得到了清华大学潘家铮院士、王光纶教授、段云岭教授和李庆斌教授等的指导和帮助;单向拉伸应力应变全曲线试验是在清华大学国家重点实验室—高坝结构实验室完成的;武汉大学马善定教授、长江委设计院陈际唐教授级高工对许多模型试验进行了指导;第7章三峡电站背管中的大比尺试验引用了原武汉水利电力大学和葛洲坝水利工程学院的试验成果^[47];第8章东深输水工程双向预应力渡槽试验得到了以符志远教授级高工为首的长江委设计院的大力支持;第9章南水北调工程结构模型试验^{[48]~[51]}是引用长江科学院材料结构所结构二室马迁教授级高工、何英杰高工和张述琴工程师等同志的成果;长江科学院材料结构所结构一室的姜晓兰高工、张杰工程师、孙绍文工程师、柳弢助工和程卫帅助工等同志参加了许多试验工作,在此表示感谢。

本书的出版得到了长江科学院出版基金的资助。同时,在本书的出版过程中长江出版社的编辑和审校专家们付出了辛勤的劳动,在此一并致谢。

限于作者的学术水平和分析能力,书中的错误或不足之处在所难免,敬请专家和读者批评指正。

陈 进 黄 薇

2004年7月30日于长江科学院

目 录

第 1 章 引言	1
1 钢筋混凝土结构的发展历程	1
1.1 第一阶段	1
1.2 第二阶段	2
1.3 第三阶段	3
1.4 第四阶段	5
2 水工钢筋混凝土的特点	8
2.1 混凝土结构的优缺点	8
2.2 水工混凝土结构的特点	10
3 设计理论的发展状态	11
3.1 容许应力设计法	11
3.2 破损阶段法	11
3.3 极限状态设计法	12
3.4 功能设计方法	12
4 结构实验的作用	13
第 2 章 结构试验的理论及技术	14
1 结构试验的目的和分类	14
2 相似原理	15
2.1 单值相似条件	15
2.2 相似定理	15

2.3	基本相似判据	15
2.4	钢筋混凝土模型的相似要求	16
3	结构试验的步骤	17
4	结构模型试验的关键技术	17
4.1	结构试验的模型设计	17
4.2	模型材料选择	18
4.3	结构试验的加载	19
4.4	结构试验的测量	21
4.5	模型制作及试验	22
4.6	试验成果的整理	23
5	结构试验成果的应用	24
第3章 钢筋混凝土的结构特性		25
1	混凝土材料的主要性能	25
1.1	抗压强度	25
1.2	抗拉强度	26
1.3	抗剪强度	26
1.4	与时间的关系	27
1.5	非弹性特性	27
1.6	混凝土的多轴性能	28
2	钢筋混凝土结构特性的定义和影响	29
2.1	定义	29
2.2	结构特性对建筑物的影响	30
3	几种主要的结构特性	31
3.1	尺寸效应	31
3.2	施工条件	33
3.3	加载路径与受力状态	34
3.4	结构形式和边界条件	34

4 钢筋混凝土的结构特性	34
4.1 混凝土开裂应变	35
4.2 混凝土裂缝间距和裂缝宽度	37
5 小结	42
第4章 单向拉伸试验和简支梁试验	43
1 常规钢筋混凝土单向拉伸试验	43
1.1 试验准备	43
1.2 试验成果	45
1.3 几点认识	47
2 钢纤维混凝土单向拉伸全曲线试验	47
2.1 试验准备	47
2.2 试验成果	48
2.3 几点认识	50
3 单轴试件钢筋与混凝土受力关系	51
4 常规混凝土梁试验	52
4.1 模型准备	52
4.2 试验成果	53
5 钢纤维混凝土梁试验	57
5.1 模型准备	57
5.2 试验成果	58
5.3 钢纤维混凝土梁与常规混凝土梁比较	62
6 小结	65
第5章 三峡大坝深孔结构试验	66
1 小比尺模型试验	67
1.1 模型准备	67
1.2 试验成果	69

1.3 几点认识	76
2 大比尺孔口结构试验	78
2.1 模型设计	78
2.2 模型制作及关键试验技术	85
2.3 试验成果	89
2.4 几点认识	110
3 小结	111
第 6 章 三峡厂房蜗壳充水打压方案结构模型试验	113
1 概述	113
2 主要研究内容	114
3 模型设计	114
3.1 相似关系	114
3.2 边界条件选择	115
3.3 模型材料	115
3.4 模型制作	116
4 加荷设计及量测设计	118
5 试验成果	119
5.1 混凝土浇筑前的蜗壳应力	120
5.2 混凝土浇筑后的蜗壳应力	120
5.3 钢筋应力规律	121
5.4 混凝土应变和开裂特征	121
5.5 位移成果	123
5.6 蜗壳与混凝土之间分载规律探讨	124
5.7 蜗壳与外包混凝土的接触关系	126
6 小结	126

第 7 章 三峡电站钢筋混凝土压力管道结构模型试验 128

- 1 钢纤维混凝土结构模型试验 128
 - 1.1 概述 128
 - 1.2 研究方案和试验条件 130
 - 1.3 模型钢纤维混凝土材料性能 132
 - 1.4 试验成果 132
 - 1.5 非线性有限元计算成果 142
 - 1.6 小结 145
- 2 钢衬钢筋混凝土大比尺平面结构模型试验 146
 - 2.1 主要目的及内容 146
 - 2.2 模型设计与制作 146
 - 2.3 模型加载装置及模型测试 150
 - 2.4 试验成果 152
 - 2.5 小结和建议 159

第 8 章 东深工程 U 形薄壳预应力**渡槽现场结构试验** 161

- 1 概述 161
- 2 主要研究内容 162
- 3 模型设计 162
 - 3.1 结构特性 162
 - 3.2 模型参数 164
 - 3.3 基本资料 165
- 4 量测系统 165
 - 4.1 断面和部位 165
 - 4.2 测量方法 168

5	试验程序	171
5.1	试验方案	171
5.2	测量步骤	171
5.3	试验加载程序	172
6	试验成果	172
6.1	横向无粘结锚索张拉与摩阻系数	172
6.2	纵向有粘结钢绞线张拉与局部偏差影响系数	174
6.3	槽身混凝土应力测试与分析	176
7	小结	183
第9章 南水北调中线工程结构试验		186
1	穿黄隧洞衬砌结构整环模型试验	186
1.1	概述	186
1.2	主要内容	186
1.3	模型材料	187
1.4	加载系统和量测系统	189
1.5	试验成果分析	190
1.6	小结	207
2	穿黄隧洞 1:1 管片接头仿真模型试验	208
2.1	概述	208
2.2	主要内容	209
2.3	模型设计	211
2.4	试验成果分析	216
3	刁河板梁式渡槽材料仿真结构模型试验	222
3.1	目的	222
3.2	基本内容及参数	223
3.3	模型设计	224
3.4	加载系统	225