



住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材

建筑工程结构试验与检测

Civil Engineering

董晓进 李卫青 宗明明

徐奋强 主编
潘金龙 参编
宗 兰 主审

中国建筑工业出版社

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材

建筑工程结构试验与检测

董晓进	李卫青	宗明明	徐奋强	主 编
			潘金龙	参 编
			宗 兰	主 审

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑工程结构试验与检测/徐奋强主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 3

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材. 高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材

ISBN 978-7-112-20425-0

I. ①建… II. ①徐… III. ①建筑结构-检测-高等学校-教材 IV. ①TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 037135 号

本书依据高等院校土木工程专业相关课程教学大纲、国家最新颁布的相关规范、规程进行编写。主要包括: 绪论; 建筑结构试验的加载方法和设备; 建筑结构试验设计; 建筑结构测试技术和量测仪表; 建筑结构静力试验和动测技术; 建筑结构试验现场检测技术; 建筑结构试验科研示例等。全书在编写过程中以建筑结构试验与检测的基本理论为重点, 注重案例分析和图示, 并辅以学习要点和小结, 以期使相关内容具体化、形象化、重点化, 方便读者的学习和理解。

本书可作为高等院校土木工程专业教材, 也可供从事结构试验与检测的工程技术人员参考。

为更好地支持本课程的教学, 本书作者制作了多媒体教学课件, 有需要的读者可以发送邮件至 jiangongkejian@163.com 索取。

责任编辑: 仕 帅 吉万旺 王 跃

责任设计: 韩蒙恩

责任校对: 赵 颖 姜小莲

住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材

建筑工程结构试验与检测

徐奋强 主 编

董晓进 李卫青 宗明明 潘金龙 参 编

宗 兰 主 审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 8 $\frac{1}{4}$ 字数: 204 千字

2017 年 7 月第一版 2017 年 7 月第一次印刷

定价: 22.00 元 (赠课件)

ISBN 978-7-112-20425-0

(29971)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材 编委会成员名单

(按姓氏笔画排序)

顾 问：吕恒林 刘伟庆 吴 刚 金丰年 高玉峰

主 任 委 员：李文虎 沈元勤

副主任委员：华 渊 宗 兰 荀 勇 姜 慧 高延伟

委 员：于清泉 王 跃 王振波 包 华 吉万旺

朱平华 张 华 张三柱 陈 蓓 宣卫红

耿 欧 郭献芳 董 云 裴星洙

出版说明

近年来,我国高等教育教学改革不断深入,高校招生人数逐年增加,对教材的实用性和质量要求越来越高,对教材的品种和数量的需求不断扩大。随着我国建设行业的大发展、大繁荣,高等学校土木工程专业教育也得到迅猛发展。江苏省作为我国土木建筑大省、教育大省,无论是开设土木工程专业的高校数量还是人才培养质量,均走在了全国前列。江苏省各高校土木工程专业教育蓬勃发展,涌现出了许多具有鲜明特色的应用型人才培养模式,为培养适应社会需求的合格土木工程专业人才发挥了引领作用。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会(以下简称江苏分会)是经中国土木工程学会教育工作委员会批准成立的,其宗旨是为了加强江苏省具有土木工程专业的高等院校之间的交流与合作,提高土木工程专业人才培养质量,促进江苏省建设事业的蓬勃发展。中国建筑工业出版社是住房城乡建设部直属出版单位,是专门从事住房城乡建设领域的科技专著、教材、标准规范、职业资格考试用书等的专业科技出版社。作为本套教材出版的组织单位,在教材编审委员会人员组成、教材主参编确定、编写大纲审定、编写要求拟定、计划出版时间以及教材特色体现和出版后的营销宣传等方面都做了精心组织和协调,体现出了其强有力的组织协调能力。

经过反复研讨,《高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材》定位为以普通应用型本科人才培养为主的院校通用课程教材。本套教材主要体现适用性,充分考虑各学校土木工程专业课程开设特点,选择20种专业基础课、专业课组织编写相应教材。本套教材主要特点为:抓住应用型人才培养的主线;编写中采用先引入工程背景再引入知识,在教材中插入工程案例等灵活多样的方式;尽量多用图、表说明,减少篇幅;编写风格统一;体现绿色、节能、环保的理念;注重学生实践能力的培养。同时,本套教材编写过程中既考虑了江苏的地域特色,又兼顾全国,教材出版后力求能满足全国各应用型高校的教学需求。为满足多媒体教学需要,我们要求所有教材在出版时均配有多媒体教学课件。

本套《高等学校土木工程专业应用型人才培养规划教材》是中国建筑工业出版社成套出版区域特色教材的首次尝试,对行业人才培养具有非常重要的意义。今年正值我国“十三五”规划的开局之年,本套教材有幸整体入选《住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材》。我们也期待能够利用本套教材策划出版的成功经验,在其他专业、其他地区组织出版体现区域特色的教材。

希望各学校积极选用本套教材,也欢迎广大读者在使用本套教材过程中提出宝贵意见和建议,以便我们在重印再版时得以改进和完善。

中国土木工程学会教育工作委员会江苏分会

中国建筑工业出版社

2016年12月

前 言

建筑工程结构试验与检测是应用型土木工程专业的专业技术课程，课程与材料力学、结构力学、混凝土结构、钢结构以及砌体结构等课程有直接的关系。同时，由于检测设备的不断发展，课程涉及物理学、电子测量技术、数理统计等相关内容。通过本课程的学习，使学生获得建筑工程结构试验和检测方面的基础知识和基本技能，掌握一般工程结构试验方法和检测方法，以及拥有根据试验检测结果做出正确的分析和结论的能力，为从事科学研究和土木工程检测打下良好的基础。

本教材依据《高等学校土木工程本科指导性专业规范》的要求，结合应用型本科的人才培养特点，确定了编写内容。主要内容包括：绪论；建筑结构试验的加载方法和设备；建筑结构试验设计；建筑结构测试技术和量测仪表；建筑结构静力试验和动测技术；建筑结构试验现场检测技术；建筑结构试验科研示例。在结构试验检测技术上，尽可能采用我国已经成熟的最新技术和标准，以保证技术的先进性。

参加本教材编写的作者有：南京工程学院徐奋强、南京理工大学泰州科技学院董晓进、常州工学院李卫青、三江学院宗明明、南京工业大学浦江学院潘金龙。全书由徐奋强统稿。具体编写分工为：南京工程学院徐奋强（前言、第5章、第7章）；常州工学院李卫青（第1章、第2章）；南京理工大学泰州科技学院董晓进（第3章、第4章）；三江学院宗明明（第6章）；南京工业大学浦江学院潘金龙（附录）。

南京工程学院宗兰教授担任教材主审，并对本书的编写提出了许多宝贵意见，特致谢意。

本教材编写过程中，参考了国内同行的相关论著、试验资料，也参考了已经出版的相关教材，以及试验仪器生产厂家的设备资料和说明书，在此表示感谢。

由于编者业务水平有限，教材编写中如有不妥之处，敬请读者不吝赐教。

编 者

2017年1月

目 录

第1章 绪论	1	2.7 电磁加载法	15
本章要点及学习目标	1	2.8 人激振动加载法	15
1.1 建筑结构试验的任务	1	2.9 环境随机振动激振法	15
1.2 建筑结构试验的目的	1	本章小结	16
1.2.1 生产鉴定性试验	2	思考与练习题	16
1.2.2 科学研究性试验	2	第3章 建筑结构试验设计	17
1.3 建筑结构试验的分类	3	本章要点及学习目标	17
1.3.1 静力试验和动力试验	3	3.1 概述	17
1.3.2 真型试验和模型试验	4	3.1.1 结构试验方案设计	18
1.3.3 短期荷载试验和长期荷载试验	5	3.1.2 结构试验准备	18
1.3.4 实验室试验和现场试验	5	3.1.3 结构试验实施	18
本章小结	6	3.1.4 结构试验分析	19
思考与练习题	6	3.2 结构试验的试件设计	19
第2章 建筑结构试验的加载方法和设备	7	3.2.1 试件形状	19
本章要点及学习目标	7	3.2.2 试件尺寸	19
2.1 概述	7	3.2.3 试件数量	20
2.2 重力加载	7	3.2.4 试件设计中需要注意的问题	22
2.2.1 重力直接加载	7	3.3 结构试验的模型设计	22
2.2.2 重力间接加载	8	3.3.1 相似理论基础	23
2.3 液压加载法	9	3.3.2 模型设计	28
2.3.1 液压千斤顶的工作原理	9	3.3.3 模型的材料、制作与试验	32
2.3.2 静力试验液压加载装置的工作原理	9	3.4 结构试验荷载设计	35
2.3.3 大型结构试验机	10	3.4.1 试验加载图式的选择与设计	35
2.3.4 电液伺服试验加载系统	10	3.4.2 试验加载装置的设计	35
2.3.5 电液伺服振动台	11	3.4.3 结构试验的加载制度	36
2.4 惯性力加载法	12	3.5 结构试验的观测设计	36
2.4.1 初位移法	12	3.5.1 观测项目的确定	36
2.4.2 初速度加载法	13	3.5.2 测点布置设计	36
2.4.3 离心力加载法	13	3.5.3 仪器的选择与测读	37
2.5 机械力加载法	14	本章小结	37
2.6 气压加载法	14	思考与练习题	37
		第4章 建筑结构测试技术和量测仪表	38

本章要点及学习目标	38
4.1 概述	38
4.2 量测仪表的工作原理及分类 ..	38
4.2.1 量测仪表的工作原理	38
4.2.2 量测仪表的技术指标及选用 原则	39
4.2.3 仪器的率定	40
4.3 应变测量仪器	41
4.3.1 电阻应变片（电阻应变片粘贴 技术）	41
4.3.2 电阻应变仪	43
4.3.3 实用电路及其应用	45
4.4 位移测量仪器	47
4.4.1 结构线位移测定	47
4.4.2 结构转动变形测定	48
4.5 力值测量仪器	49
4.5.1 荷载和反力测定	49
4.5.2 拉力和压力测定	49
4.5.3 结构内部应力测定	49
4.6 裂缝及温度测定	50
4.7 振动测量仪器	51
本章小结	53
思考与练习题	53
第5章 建筑结构静力试验和动测 技术	54
本章要点及学习目标	54
5.1 概述	54
5.2 试验前的准备工作	55
5.2.1 调查研究、收集资料	55
5.2.2 制定试验大纲	55
5.2.3 试件准备	56
5.2.4 材料物理力学性能测定	57
5.2.5 试验设备与试验场地的准备 ..	57
5.2.6 试件安装就位	57
5.2.7 加载设备和量测仪器安装	58
5.3 基本构件的单调加载静力 试验	58
5.3.1 受弯构件的试验	58
5.3.2 受压构件的试验	62

5.4 静载试验量测数据的整理和 分析	64
5.5 结构性能的评定	65
5.5.1 结构的承载力检验	66
5.5.2 构件的挠度检验	67
5.5.3 构件的抗裂检验	68
5.5.4 构件裂缝宽度检验	68
5.5.5 构件结构性能评定	68
5.6 结构静力试验实例	69
5.7 结构动力试验	72
5.7.1 概述	72
5.7.2 结构动荷载特性试验	72
5.7.3 结构动力特性试验	72
5.7.4 结构动力反应试验	75
本章小结	77
思考与练习题	77
第6章 建筑结构试验现场检测 技术	78
本章要点及学习目标	78
6.1 建筑结构现场检测的概念与 分类	78
6.2 混凝土结构现场检测技术	79
6.2.1 回弹法	79
6.2.2 超声波法	82
6.2.3 超声回弹综合法	83
6.2.4 钻芯法	86
6.2.5 拔出法	87
6.3 混凝土结构厚度检测	87
6.3.1 电磁衰减法	87
6.3.2 雷达法	88
6.3.3 测试方法对比	89
6.4 混凝土缺陷检测	90
6.5 混凝土的变形特性	91
6.5.1 测试弹性模量的意义	91
6.5.2 测试基本原理	91
6.6 钢筋混凝土结构中钢筋检测 ..	92
6.6.1 钢筋位置与保护层厚度的 检测	92
6.6.2 钢筋锈蚀程度检测	93

6.7 钢结构现场检测技术	93	7.1.4 仪表布置	108
6.7.1 钢材强度测定	94	7.1.5 试件中座、安装及加载	109
6.7.2 连接构造和腐蚀的检查	94	7.1.6 试验结果	109
6.7.3 超声探伤	95	7.2 框筒结构动力分析方法的模型	
6.7.4 磁粉与射线探伤	96	试验研究(试验2)	112
6.8 砌体结构现场检测技术	96	7.2.1 试验目的及试验内容	112
6.8.1 砌体结构的强度检测技术		7.2.2 试件及仪表布量	112
分类	97	7.2.3 试验步骤	112
6.8.2 砌筑块材的检测	98	7.2.4 试验数据处理及结果	113
6.8.3 砂浆强度检测	99	本章小结	114
6.8.4 砂浆强度值的确定	102	思考与练习题	114
6.8.5 砌体强度检测	103	附录 建筑结构试验教学	115
6.8.6 检测数据的处理	104	附录1 静态电阻应变仪和机械仪表	
本章小结	105	的使用方法和试验技术	115
思考与练习题	105	附录2 钢桁架(或钢筋混凝土梁、	
第7章 建筑结构试验科研示例	107	板)的静力试验	117
本章要点及学习目标	107	附录3 共振法测定钢梁动力	
7.1 钢筋混凝土连续梁调幅限值的		特性	119
试验研究(试验1)	107	附录4 混凝土结构的非破损	
7.1.1 试验目的	107	试验技术	120
7.1.2 试件设计	107	参考文献	123
7.1.3 试件制作	108		

第 1 章 绪 论

本章要点及学习目标

本章要点：

本章主要讲述结构试验的任务，建筑结构试验的分类，研究性试验和生产鉴定性试验的区别。其中，结构试验的目的、任务、分类为重点。

学习目标：

通过本章的学习，要求学生掌握建筑结构试验的分类方法，了解结构试验的任务以及研究性试验和生产鉴定性试验的区别。

1.1 建筑结构试验的任务

新的结构理论一定要通过实践的检验来证实，而试验是最有效的措施。新的结构试验技术能够向人们揭示新的事实，提出新的问题，导致新的假设和新学说的出现。国家体育馆“鸟巢”在国内建筑结构上首次使用 Q460 规格的钢材，使用的钢板厚度达到 110mm，科研人员进行了长达半年多的科技攻关，前后 3 次试制终于获得成功，见图 1-1。

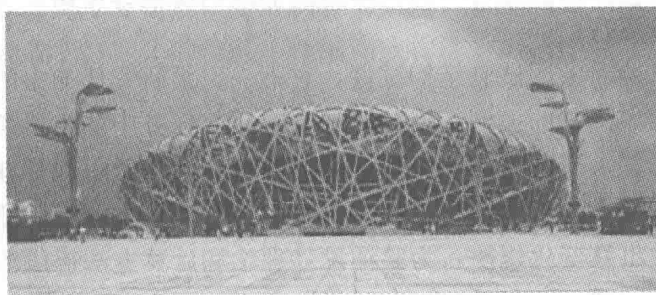


图 1-1 国家体育馆“鸟巢”

结构试验的任务：通过有计划地对结构受荷载以后的性能进行观测，并对其参数进行测量分析以达到对结构的工作性能做出评比，对结构的承载能力做出正确估计，并为验证和发展结构的计算理论提供可靠的依据。

1.2 建筑结构试验的目的

根据试验目的的不同，建筑结构试验可以分为科学研究性试验和生产鉴定性试验。

1.2.1 生产鉴定性试验

生产鉴定性试验其目的是通过试验来检验结构构件是否符合结构设计规范及施工验收规范的要求,并对检验结果做出技术结论。这类试验常应用在以下四个方面:

1. 检验结构工程质量,确定工程结构的可靠性

对于一些比较重要的结构与工程,除在设计阶段进行必要而大量的试验研究外,在实际结构建成以后,要求通过试验综合性地鉴定其质量的可靠程度。

2. 检验预制构件或部件的结构性能,判定预制构件的设计及制作质量

预制构件厂或建设工地生产的预制构件,在出厂或吊装前均应对其承载力、刚度和变形性能进行抽样检验,以确定其结构性能是否满足结构设计和构件检验规程的指标。此外,对某些结构构造较复杂的部件均应进行严格的质量检验。

3. 为工程改建或加固,判断结构的实际承载能力

对于既有建筑的扩建加层或进行加固,在单凭理论计算不能得到分析结论时,经常需通过试验来确定这些结构的潜在能力,这对于缺乏既有结构的设计计算与图纸资料、要求改变结构工作条件的情况更有必要。

4. 为处理工程事故提供技术根据

对于遭受地震、火灾、爆炸等原因而受损的结构,或者在建造和使用过程中发现有严重缺陷的危险性建筑,也往往有必要进行详细地检验。

1.2.2 科学研究性试验

科学研究性试验具有研究、探索和开发的性质,其目的在于验证结构设计某一理论或各种科学的判断、推理、假说及概念的正确性,以及提供设计依据,或者是为了创造某种新型结构体系及其计算理论。

研究性试验的试验对象即试验结构试件,它不一定是研究任务中的具体结构,更多的是经过力学分析后抽象出来的模型。模型必须反映研究任务中的主要参数。因而,研究性试验的试件都是针对某一研究目的而设计和制作。研究性试验一般都在室内进行,需要使用专门的加载设备和数据测试系统,以便对受载试件的变形性能作连续观察、测量和全面的分析研究,从而找出其变化规律,为验证设计理论和计算方法提供依据。这类试验通常研究以下三个方面的问题:

1. 验证结构设计计算的各种假定

结构设计中,人们经常为了计算上的方便,对结构计算因式和本构关系作某些简化。例如构件静力和动力分析中的本构关系的模型化,完全是通过试验加以确定的。

2. 为制定设计规范提供依据

我国现行的各种结构设计规范除了总结已有工程经验以外,还进行了大量结构或构件的模型试验和实体试验的研究,研究性试验为编制各类结构设计规范提供了基本资料与试验数据。事实上,现行规范采用的混凝土结构和砌体结构的计算理论,几乎全部是以试验研究的直接结果为基础的,这也进一步体现了结构试验学科在发展设计理论和改进设计方法上的作用。

3. 为发展和推广新结构、新材料与新工艺提供实践经验

随着建筑科学和基本建设发展的需要,新结构、新材料和新工艺不断涌现。例如在钢筋混凝土结构中各种新钢种的应用,薄壁弯曲轻型钢结构的设计,以及大跨度结构、高层建筑与特种结构的设计施工等。但是一种新型材料的应用,一个新结构的设计和新工艺的施工,往往需要经过多次的工程实践与科学试验,即由实践到认识,由认识到实践的多次反复,从而积累资料,使设计计算理论不断改进和完善。

1.3 建筑结构试验的分类

根据不同的试验目的、荷载性质、试验对象、试验场合、荷载作用时间等不同因素进行分类,可分为静力试验和动力试验、真型试验和模型试验、短期荷载试验和长期荷载试验、试验室试验和现场试验等。

1.3.1 静力试验和动力试验

1. 静力试验

静力试验是结构试验中最常见的基本试验,因为大部分土木工程结构在使用时所承受的荷载以静荷载为主,一般可以通过重物或各种类型的加载设备来实现和满足加载要求。所谓“静力”一般是指试验过程中,结构本身运动的加速度效应(惯性力效应)可以忽略不计。根据试验性质的不同,静力试验可分为单调静力荷载试验、拟静力试验和拟动力试验。

静力试验的加载过程是从零开始逐步递增一直到结构破坏为止,也就是在一个不长的时间段内完成试验加载的全过程,因此,这类试验也称作“结构静力单调加载试验”。

拟静力试验也称低周反复荷载试验或伪静力试验。它是利用加载系统对结构施加逐渐增大的反复作用荷载或交替变化的位移,使结构或构件受力的历程与结构在地震作用下的受力历程基本相似,属于结构抗震试验方法,但其加载速度远低于实际结构在地震作用下所经历的变形速度。

近几年又发展了一种拟动力试验方法,即计算机联机试验。通过计算机和电液伺服加载系统联机对足尺或大比例的结构模型按实际的反应位移进行加载,使试验更接近于实际结构动力反应的真实情况,是在伪静力试验基础上发展起来的一种加载方法。拟动力试验也是一种结构抗震试验方法,是将地震实际反应所产生的惯性力作为荷载加在试验结构上,使结构所产生的非线性力学特征与结构在实际地震动作用下所经历的真实过程完全一致。

静力试验是结构试验中最大量、最常见的基本试验,因为大部分土木工程的结构在工作时所承受的是静力荷载,一般可以通过重力或各种类型的加载设备来实现和满足加载要求。

在实际工作中,对于承受动力荷载的结构,人们为了了解结构在试验过程中静力荷载下的工作特性,在动力试验之前往往也先进行静力试验,结构抗震试验中虽然有计算机与加载器联机试验系统,可以弥补后一种缺点,但设备耗资较大,而且加载周期还是远远大于实际结构的基本周期。

2. 动力试验

动力试验是指动力加载设备直接对结构或构件施加动力荷载的试验。对实际工作中主要承受动荷载的结构构件,为了了解其在动荷载作用下的工作性能,需要通过动力加载设备直接对结构进行动力加载试验,如桥涵结构在运输车辆作用下的疲劳性能和动力特性问题,高层建筑和高耸构筑物在风荷载和地震荷载作用下的抗震性能问题等。

结构的动力特性是进行结构抗震计算、解决结构共振问题及诊断结构累积损伤的基本依据,因而结构动力特性参数的测试是动力试验的最基本内容。

结构的动力特性包括结构的自振频率、阻尼比、振型等参数。这些参数决定于结构的形式、刚度、质量分布、材料特性及构造连接等因素,而与外载无关。通常,采用人工激励法或环境随机激励法使结构产生振动,同时量测并记录结构的速度响应或加速度响应,再通过信号分析得到结构的动力特性参数。动力特性试验的对象以整体结构为主,可以在现场测试实体(原型)结构的动力特性,也可以在试验室对模型结构进行动力特性试验。

由于荷载特性的不同,动力试验的加载设备和测试手段也与静力试验有很大的差别,并且要比静力试验复杂得多。

1.3.2 真型试验和模型试验

根据试验对象的不同,可以分为真型试验和模型试验。

1. 真型试验

真型试验的试验对象一般是实际结构或是按实际结构足尺复制的结构或构件。例如核电站安全壳加压的整体性试验、工业厂房结构的刚度试验、楼盖承载能力试验以及桥梁在移动荷载下的动力特性试验等。另外,在高层建筑上直接进行风振测试和通过环境随机振动测定结构动力特性等也属此类。通过对上述实体结构物的检测和监测,可以对结构的整体性能及结构构造进行全面地观测了解。

由于结构抗震研究的发展,国内外开始重视对结构整体性能的试验研究,因为通过对这类足尺结构物进行试验,可以对结构构造、各构件之间的相互作用、结构的整体刚度以及结构破坏阶段的实际工作等进行全面观测了解。

2. 模型试验

真型结构试验由于投资大、周期长、测量精度受环境因素影响,在物质上或技术上存在某些困难,人们在结构设计的方案阶段进行初步探索或对设计理论计算方法进行探讨研究时,可以用比真型结构缩小的模型进行试验。模型是仿照真型并按照一定比例关系复制而成的试验代表物,它具有实际结构的全部或部分特征,但尺寸却比真型小得多的缩尺结构。图 1-2 为同济大学建筑结构试验室进行的上海中心关键节点模型试验。

模型的设计制作及试验是根据相似理论,用

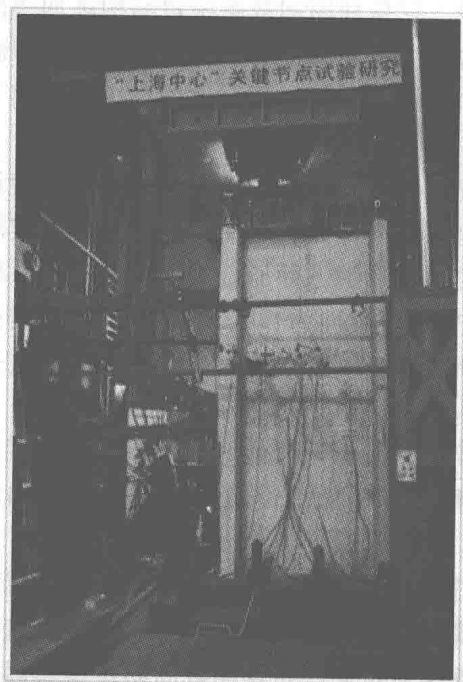


图 1-2 上海中心关键节点试验

适当的比例和相似材料制成与实际结构几何相似的试验对象,在模型上施加相似力系,使模型受力后重演原型结构的实际工况,最后按照相似理论由模型试验结果推算实际结构的性能。为此,这类模型要求有比较严格的模拟条件,即要求做到几何相似、力学相似和材料相似等等。

1.3.3 短期荷载试验和长期荷载试验

按荷载作用时间的长短,结构静力试验又可分为短期荷载试验和长期荷载试验。

1. 短期荷载试验

对于主要承受静力荷载的结构构件实际上荷载经常是长期作用的,但是在进行结构试验时限于试验条件、时间和基于解决问题的步骤,我们不得不大量采用短期荷载试验,即荷载从零开始施加到最后结构破坏或到某阶段进行卸荷的时间总和只有几十分钟、几小时或者几天。

对于承受动荷载的结构,即使是结构的疲劳试验,整个加载过程也仅在几天内完成,与实际工作有一定差别。对于爆炸、地震等特殊荷载作用时,整个试验加载过程只有几秒甚至是微秒或毫秒级的时速,这种试验实际上是一种瞬态的冲击试验。所以严格地讲这种短期荷载试验不能代替长期荷载试验。这种由于具体客观因素或技术的限制所产生的影响,在分析试验结果时必须加以考虑。

2. 长期荷载试验

对于研究结构在长期荷载作用下的性能,如混凝土结构的徐变、预应力结构中钢筋的松弛、混凝土受弯构件的裂缝开展与刚度退化等,就必须要进行静力荷载作用下的长期试验。这种长期荷载试验也可称为持久试验,它将连续进行几个月甚至数年,通过试验以获得结构的变形随时间变化的规律。为了保证试验的精度,经常需要对试验环境有严格的控制,如保持恒温恒湿,防止振动影响等。

近年来兴起的结构健康监测是通过对结构的内力和变形进行长期观测,获取数据,并对结构的运行状态和可能出现的损伤进行监控,也属于长期荷载试验。

1.3.4 实验室试验和现场试验

结构试验按试验场合分为实验室试验和现场试验。

1. 实验室试验

实验室试验是指在有专门设备的实验室内进行的试验。实验室试验由于可以获得良好的工作条件,可以应用精密和灵敏的仪器设备进行试验,具有较高的准确度,甚至可以人为地创造一个适宜的工作环境,突出研究的主要方面,减少或消除各种不利因素对试验的影响,常用于研究性试验。

2. 现场试验

现场试验与室内试验相比,由于客观环境条件的影响,不宜使用高精度的仪器设备来进行观测,相对来看,进行试验的方法也可能比较简单粗糙,试验精度较差。现场试验多数用以解决生产性的问题,所以大量的试验是在生产和施工现场进行,有时研究的对象是已经使用或将要使用的结构物,现场试验也可获得实际工作状态下的数据资料,如图 1-3 现场复合地基静载荷试验所示。



图 1-3 现场复合地基静载荷试验

本章小结

本章系统介绍了结构试验的任务、目的以及分类。学习本章后，应熟悉结构试验的分类方法和依据，如：试验目的、试验对象、试件的破坏与否、试验时间的长短、加载的性质以及试验的场地等。了解结构试验的目的和任务，主要包括：判断结构的实际承载力和极限承载力，验证设计计算方法的准确性，为结构的使用和改进提供数据等。

思考与练习题

- 1-1 建筑结构试验分哪几类？各类试验的目的是什么？
- 1-2 简述土木工程结构试验与检测技术的发展。

第 2 章 建筑结构试验的加载方法和设备

本章要点及学习目标

本章要点：

本章主要介绍静载荷、动载荷中常用的仪器设备及有关的基本知识，其中液压加载法是本章重点。学习本章时应了解结构试验室常用的各种加载设备，掌握各种加载方法的工作原理和适用范围。

学习目标：

了解结构试验室常用的各种加载设备；掌握各种加载方法的工作原理和适用范围。

2.1 概述

试验中产生荷载的方法和加载设备有很多种，正确地选择试验所用的荷载设备和加载方法，对顺利地完试验工作和保证试验的质量，有着很大的影响。

2.2 重力加载

重力加载属于静力加载法，其原理是利用物体本身的重量加于结构上作为荷载。在实验室内可以利用的重物有专门浇铸的标准铸铁砝码、混凝土试块、水箱等；在现场则可就地取材，经常是采用普通的砂、石、砖块等建筑材料，或是钢锭、铸铁、废构件等。重物可以直接加于试验结构或构件上，或者通过杠杆间接加在构件上。

2.2.1 重力直接加载

重物荷载可直接堆放于结构表面形成均布荷载（图 2-1）或置于荷载盘上通过吊杆挂于结构上形成集中荷载。后者多用于现场做屋架试验，此时吊杆与荷载盘的自重应计入第一级荷载。试验荷载可就地取材，可重复使用，针对试验结构或试件的变形而言，可保持

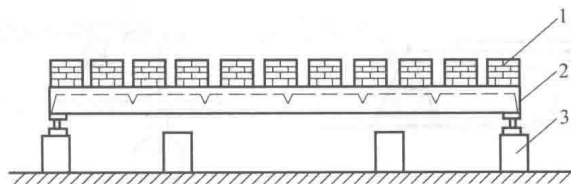


图 2-1 重物直接加载

1—加载重物；2—试件；3—支座

恒载,可分级加载,容易控制;但加载过程中需要花费较大的劳动力,占据较大的空间,安全性差,试验组织难度大。

使用砂石等松散材料、颗粒材料加载时,如果将材料直接堆放于结构表面,将会造成荷载材料本身的起拱,而对结构产生卸荷作用,为此,最好将颗粒材料置于一定容量的无底箱框中,然后叠加于结构之上,在试验构件跨度方向施加的箱框数量不应少于两个。

如果是采用形体较为规则的块状材料加载,如砖石、铸铁块、钢锭等,则要求叠放整齐,每堆重物的宽度不大于 $1/5L$ (L 为试验结构的跨度),堆与堆之间应有一定间隔(约 30~50mm)。如果利用铁块钢锭作为载重时,为了加载的方便与操作安全要求每块重量不大于 20kg。对于利用吊杆荷载盘作为集中荷载时,每个荷载盘必须分开或通过静定的分配梁体系作用于试验的对象上,使结构所受荷载明确。利用砂粒、砖石等材料作为荷载,它们的重度常随大气湿度而发生变化,故荷载值不易恒定,容易使试验的荷载值产生误差。

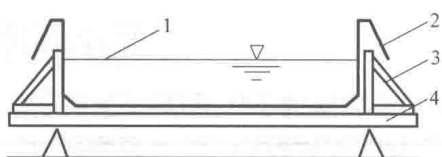


图 2-2 用水加载均布荷载

1—水; 2—防水膜; 3—水箱; 4—试件

利用水作为重力加载用的荷载,是一个简易方便且甚为经济的方案(图 2-2)。水可以盛在水桶内用吊杆作用于结构上,作为集中荷载;也可以采用特殊的盛水装置作为均布荷载直接加于结构表面。在加载时可以利用进水管,卸载时则利用虹吸原理,可以减少大量运输、加载的劳动力。在现场试验水塔、水池、油库等特种结构时,水

是最为理想的试验荷载,它不仅符合结构物的实际使用条件,而且还能检验结构的抗裂、抗渗情况。

2.2.2 重力间接加载

杠杆加载也属于重力加载的一种。当利用重物作为集中荷载时,经常会受到荷载量的限制,因此,利用杠杆原理,将荷重放大作用于结构上。杠杆制作方便,荷载值稳定不变,当结构有变形时,荷载可以保持恒定,对于做持久荷载试验尤为适合,尤其是集中力。杠杆加载的装置根据试验室或现场试验条件的不同,可以有如图 2-3 所示的几种方案。

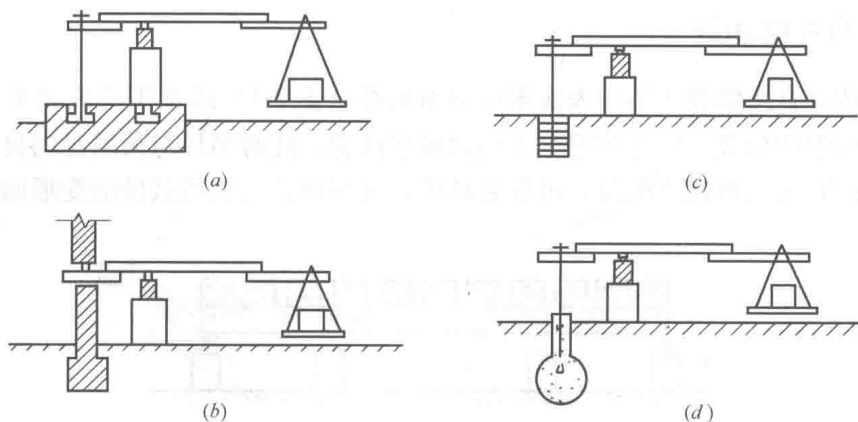


图 2-3 杠杆加载装置

(a) 利用试验台座; (b) 利用墙身; (c) 利用平衡重; (d) 利用桩