



世纪高等教育土木工程系列规划教材

建筑结构 试验基础

傅军 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪高等教育土木工程系列规划教材

建筑结构试验基础

主 编	傅 军	
参 编	石敦敦	蔡其茅
	崔 旸	黄 晋
主 审	金伟良	



机械工业出版社

本书根据高等院校土木工程专业教学大纲的要求编写, 主要包括绪论、建筑结构试验与检测设备、建筑结构试验设计基础、建筑结构静力试验、建筑结构动力试验、建筑结构试验现场检测技术、建筑结构试验数据处理基础、建筑结构模型试验 8 章内容。本书以建筑结构试验的基本理论和基础知识为重点, 同时介绍了试验的方法与技能, 注重理论与实践相结合, 内容精炼, 重点突出, 适用性强。

本书可供普通高等院校土木工程专业本科生使用, 也可供土木工程专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构试验基础/傅军主编. —北京: 机械工业出版社, 2011. 12
21 世纪高等教育土木工程系列规划教材
ISBN 978 - 7 - 111 - 36510 - 5

I ①建… II ①傅… III. ①建筑结构—结构试验—高等学校—教材
IV. ①TU317

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 238465 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 马军平 责任编辑: 马军平 李 帅

版式设计: 霍永明 责任校对: 闫玥红

封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13.25 印张 · 323 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 36510 - 5

定价: 29.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心 : (010)88361066 门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部 : (010)68326294 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部 : (010)88379649 封面无防伪标均为盗版

读者购书热线: (010)88379203

序

随着 21 世纪国家建设对专业人才的需求，我国工程专门人才培养模式正在向宽口径方向转变，现行的土木工程专业包括建筑工程、交通土建工程、矿井建设、城镇建设等 8 个专业的内容。经过几年的教学改革和教学实践，组织编写一套能真正体现专业大融合、大土木的教材的时机已日臻成熟。

迄今为止，我国高等教育已为经济战线培养了数百万专门人才，为经济的发展作出了巨大贡献。但据 IMD1998 年的调查，我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标世界排名在第 36 位，与我国科技人员总数排名第一的现状形成了极大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员，特别是工程应用型人才供给不足。

科学在于探索客观世界中存在的客观规律，它强调分析，强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学理论和技术手段去改造客观世界的客观活动，所以它强调综合，强调实用性，强调方案的优选。这就要求我们对工程应用型人才和科学研究型人才的培养实施不同的方案，采用不同的教学模式，使用不同的教材。

机械工业出版社为适应高素质、强能力的工程应用型人才培养的需要而组织编写了本套系列教材，目的在于改革传统的高等工程教育教材，结合大土木的专业建设需要，富有特色、有利于应用型人才的培养。本套系列教材的编写原则是：

- 1) 加强基础，确保后劲。在内容安排上，保证学生有较厚实的基础，满足本科教学的基本要求，使学生日后发展具有较强的后劲。

- 2) 突出特色，强化应用。本套系列教材的内容、结构遵循“知识新、结构新、重应用”的方针。教材内容的要求概括为“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通“大土木”教学内容的基础上，挑选出最基本的内容、方法及典型应用实例；“新”指在将本学科前沿的新技术、新成果、新应用、新标

准、新规范纳入教学内容；“广”指在保证本学科教学基本要求前提下，引入与相邻及交叉学科的有关基础知识；“用”指注重基础理论与工程实践的融会贯通，特别是注重对工程实例的分析能力的培养。

3) 抓住重点，合理配套。以土木工程教育的专业基础课、专业课为重点，做好实践教材的同步建设，做好与之配套的电子课件的建设。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国土木工程专业教学质量的提高和应用型人才的培养，必将起到积极作用，为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

— 工見鯨

前 言

建筑结构试验是一门以试验为手段的科学, 研究和发展结构新材料、新工艺、新体系, 为结构的安全使用和设计计算理论的建立提供重要依据。建筑结构试验基础的学习, 其目的是使学生掌握结构试验的基本方法和技能, 熟悉先进的试验仪器设备, 具备一定的试验方法和分析技术, 能针对不同的工程结构类型提出合理的试验设计方案, 最终的目标是培养学生的工程能力。

本书编写的主导思想是: 按照“宽口径土木工程专业培养方案, 注重提高学生综合素质和创新能力, 注重加强学生专业基础知识和基本理论知识结构, 向培养土木工程师从事设计、施工与管理的应用方向拓展”的原则来组织内容, 力求覆盖较全面; 根据目前高校试验教学现状, 采用“少学时”的编写方式, 尽可能融入新近试验和测试成果, 并对学生参加大学生结构设计竞赛等活动进行指导。本书主要内容包括绪论、建筑结构试验与检测设备、建筑结构试验设计基础、建筑结构静力试验、建筑结构动力试验、建筑结构试验检测技术、建筑结构试验数据处理、建筑结构模型试验。本书内容还包括两个附录, 一个是大学生结构设计竞赛的简要介绍, 另一个是某结构试验的完整案例, 供教学参考。

本书由傅军担任主编, 具体编写分工如下: 傅军 (第1, 3, 4章和附录2), 石敦敦 (第5, 8章和附录1), 蔡其茅 (第2章), 崔旸 (第6章), 黄晋 (第7章)。全书由傅军统稿。本书由浙江大学金伟良教授审阅并提出了宝贵意见, 在此深表感谢。教材编写参考了参考文献所列书目中的部分内容, 在此向文献的作者致谢。

由于编者水平有限, 书中难免有不足之处, 恳请读者批评指正。有关意见发至: fujun@zstu.edu.cn。

编 者

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
1.1 建筑结构试验的重要性	1
1.2 建筑结构试验的目的与任务	2
1.3 建筑结构试验的分类	3
1.4 建筑结构试验的发展	7
1.5 建筑结构试验技术相关标准和规程	8
本章小结	8
思考题	8
第2章 建筑结构试验与检测设备	9
2.1 概述	9
2.2 加载设备	9
2.3 应变测量设备	19
2.4 位移与变形测量设备	23
2.5 力的测量设备	26
2.6 裂缝测量仪器	27
2.7 放大器与记录仪	29
2.8 数据采集系统	31
2.9 虚拟仪器	33
2.10 结构现场检测仪器	34
2.11 动力试验的量测仪器	37
2.12 风洞试验简介	42
本章小结	43
思考题	43
第3章 建筑结构试验设计基础	44
3.1 结构试验组织与程序	44
3.2 试件设计	48
3.3 荷载设计	53
3.4 结构动力试验设计	59
3.5 观测量测设计	66
3.6 应变测量	71

3.7 其他参数测量	76
3.8 结构试验与材料力学性能的关系	77
3.9 荷载反力设备	79
3.10 试验大纲和报告	84
本章小结	85
思考题	86
第4章 建筑结构静力试验	87
4.1 概述	87
4.2 受弯构件的试验	87
4.3 压杆和柱的试验	92
4.4 屋架试验	94
4.5 薄壳和网架结构试验	98
4.6 结构性能的检验与评定	102
本章小结	106
思考题	106
第5章 建筑结构动力试验	107
5.1 概述	107
5.2 动荷载的特性试验	108
5.3 结构的动力特性试验	112
5.4 结构的动力反应试验	119
5.5 结构疲劳试验	121
本章小结	124
思考题	124
第6章 建筑结构试验现场检测技术	125
6.1 概述	125
6.2 混凝土结构现场检测技术	126
6.3 砌体结构的现场检测技术	139
6.4 钢结构现场检测技术	149
本章小结	154
思考题	155
第7章 建筑结构试验数据处理基础	156
7.1 概述	156
7.2 结构试验数据的整理和换算	156
7.3 结构试验数据的统计与误差分析	160
7.4 结构试验数据的表达	168
本章小结	176
思考题	176

第 8 章 建筑结构模型试验	177
8.1 概述	177
8.2 模型试验理论基础	178
8.3 模型设计	184
8.4 模型材料与模型制作	187
本章小结	189
思考题	189
附录	190
附录 1 大学生结构设计竞赛简介	190
附录 2 结构试验研究完整案例	193
参考文献	201

第 1 章

绪 论

本章介绍了建筑结构试验的主要内容,通过对建筑结构试验的重要性、任务、分类、发展过程、相关标准等的学习,使学生初步认识建筑结构试验。

1.1 建筑结构试验的重要性

建筑结构试验 (building structure test) 是一项科学性和实践性很强的活动,是研究和发
展工程结构新材料、新体系、新工艺,探索结构设计新理论的重要手段,在工程结构科学研究
和技术革新等方面起着重要的作用。

科学研究理论往往需要在实践中检验。对工程结构而言,要确定材料的力学性能,建立
复杂结构计算理论,验证梁、板、柱等一些单构件的计算方法等,都离不开具体的试验研
究。当今建筑结构的设计方法和设计理论发生了一些变化,广泛应用了计算机,但试验在结
构科研、设计和施工中的地位并没有因此而改变;另外,由于测试技术的发展,迅速提供精
确可靠的试验数据日益受到重视。因此,试验仍是解决建筑结构工程领域科研和设计出现新
问题时必不可少的手段,其原因主要有以下几个方面。

(1) 建筑结构试验是人们认识自然的重要手段 认识的局限性使人们对诸如结构的材
料性能等还缺乏真正透彻的了解。例如,在进行结构动力反应分析时要用到的阻尼比至今不
能用理论分析的方法求得。正是试验手段的应用,拓宽了人们的认识。

(2) 建筑结构试验是发现结构设计问题的重要环节 1940 年 11 月 7 日美国塔可马
(Tacoma) 悬索桥发生垮塌事故,跨度 853m 的大桥在大约 19m/s 的风速 (相当于 8 级风)
下发生剧烈的振动而垮塌。由于经过设计及计算没有发现问题,为了搞清塔可马大桥垮塌的
原因,美国华盛顿大学专门建了一座 12m × 30.5m 吹风口的大型风洞,以 1 : 50 的全桥模型
试验来观测塔可马大桥的风振情况,发现是由于“扭转颤振”造成了桥梁的垮塌。

(3) 建筑结构试验是验证结构理论的有效方法 从比较简单的,如结构受弯杆件截面
应力分布的平截面假定理论、弹性力学平面应力问题中应力集中现象的计算理论,到比较复
杂的,如不能对研究问题建立完善数学模型的结构平面分析理论和结构空间分析理论,以及
隔震减震结构、耗能结构的理论发展都离不开试验这种有效的方法。

(4) 建筑结构试验是建筑结构质量鉴定的直接方式 对于已建的结构工程,无论是灾
后还是事故后,无论是某一具体的结构构件还是结构整体,任何目的的质量鉴定,所采用的
直接方式仍然是结构试验。

(5) 建筑结构试验是制定各类技术规范和技术标准的基础 我国现行的各种结构设计规范总结了已有的大量科学试验的成果和经验。为了设计理论和设计方法的发展,科研机构进行了大量实物和缩尺模型的试验,以及实体建筑物的试验研究,为我国编制各种结构设计规范提供了基本的资料和试验数据。现行规范采用的钢筋混凝土结构构件和砌体结构的计算理论,事实上几乎全部是以试验研究结果为基础的。

(6) 建筑结构试验是自身发展的需要 自动控制系统和电液伺服加载系统在结构试验中的广泛应用,从根本上改变了试验加载的技术:由以前的重力加载逐步改进为液压加载(hydraulic loading),进而过渡到低周反复加载(reversed low cyclic loading)、拟动力加载(pseudo-dynamic loading)及地震模拟随机振动台(earthquake simulation shaking table)加载等。同时,在试验数据的采集和处理方面,实现了量测数据的快速采集、自动化记录和数据自动处理分析等。这些都是建筑结构试验自身发展的产物。

1.2 建筑结构试验的目的与任务

结构在外荷载作用下可能产生各种反应。结构试验的任务就是在结构物或试验对象上,使用仪器设备和工具,采用各种试验技术手段,在荷载或者其他因素作用下,通过量测与结构工作性能有关的各种参数,从强度、刚度、抗裂性以及结构实际破坏形态来判明结构的实际工作性能,估计结构的承载力,确定结构对使用要求的符合程度,并用以检验和发展结构的计算理论。例如:

1) 钢筋混凝土简支梁在静力集中荷载作用下,通过测量梁在不同受力阶段的挠度、角变形、截面上纤维应变和裂缝宽度等参数来分析梁的整个受力过程及结构的承载力、刚度和抗裂性能。

2) 当一个框架承受水平动力荷载作用时,可以从测得结构的自振频率、阻尼系数、振幅和动应变等来研究结构的动力特性和结构承受动力荷载作用下的动力反应。

3) 在结构抗震研究中,经常通过低周反复荷载作用下,由试验所得的应力与应变关系的滞回曲线(hysteresis curve)来分析抗震结构的承载力、刚度、延性、刚度退化和变形能力等。

所以,结构试验的目的是以试验方式测定有关数据,由此反映结构或构件的工作性能、承载能力和相应的安全度,为结构的安全使用和设计理论的建立提供重要依据。具体试验流程可参见图 1-1。

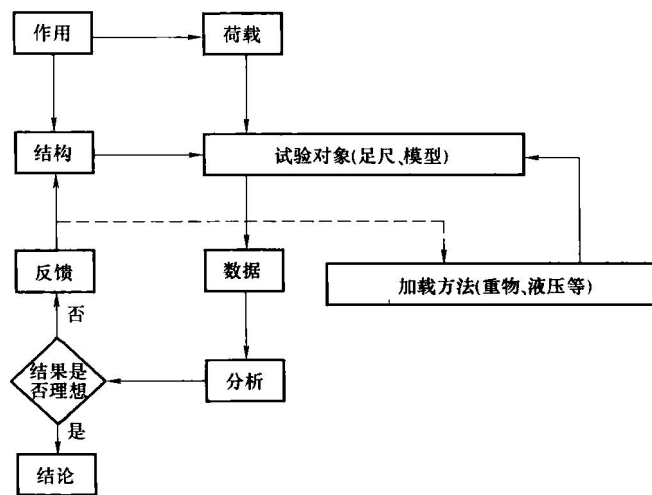


图 1-1 一般建筑结构试验流程

1.3 建筑结构试验的分类

结构试验可按试验目的、试验对象的尺寸、荷载的性质、荷载作用时间的长短、所在场地情况等因素进行分类。

1.3.1 按试验目的分类

按试验目的,结构试验可分为生产性试验、科研性试验和教学性试验。

1. 生产性试验

这类试验具有直接的生产目的,它是以实际建筑物或结构构件为试验鉴定对象,通过试验对具体结构构件作出正确的技术结论,常用来解决以下有关问题。

(1) 综合鉴定重要工程和建筑的设计与施工质量 对于一些比较重要的结构与工程,除了在设计阶段进行大量必要的试验研究外,在实际结构建成后,还要求通过试验综合鉴定其质量的可靠程度。

(2) 对已建结构进行可靠性检验,以推断和估计结构的剩余寿命 国内外对建筑物的使用寿命,尤其对使用寿命中的剩余期限(即剩余寿命)特别关注。通过对已建建筑物的观察、检测和分析普查,按可靠性鉴定规程评定结构所属的安全等级,由此来判断其可靠性,评估其剩余寿命。可靠性鉴定大多采用非破损检测方法。

(3) 工程改建和加固,通过试验判断具体结构的实际承载能力 原有建筑的扩建加层、加固或者由于需要提高建筑抗震设防烈度而进行的加固等,如单凭理论计算得不到分析结论,经常需通过试验确定这些结构的潜在能力。这在缺乏原有结构的设计计算书、图样资料和工程档案而要求改变结构工作条件的情况下更有必要。

(4) 处理受灾结构和工程质量事故,通过试验鉴定提供技术依据 对遭受地震、火灾、爆炸等灾害而受损的结构,或在建造和使用过程中发现有严重缺陷的危险建筑,如施工质量事故、结构过度变形和严重开裂等,必须进行必要的详细检测。

(5) 鉴定预制构件的产品质量 构件厂或现场生产的钢筋混凝土预制构件,在构件出厂或现场安装之前,必须根据抽样试验的科学原则,按照预制构件质量检验评定标准和试验规程,通过一定数量的试件试验,以推断成批产品的质量。

2. 科研性试验

科学研究性试验(science test)的目的是验证结构设计计算的各种假设,通过制定各种设计规范,发展新的设计理论,改进完善设计计算方法,为发展和推广新结构、新材料及新工艺提供理论依据与实践经验。通常解决以下两类问题。

(1) 验证结构计算理论的假定 在结构设计中,为了计算的方便,人们经常要对结构构件的计算图式及其本构关系作某些简化的假定。例如,在较大跨度的钢筋混凝土结构厂房中采用30~36m跨度竖腹杆式的预应力钢筋混凝土空腹桁架(open-web truss)。具体设计中,这类结构的计算图式可假定为多次超静定空腹桁架,也可按双铰拱计算,将所有的竖杆看成是不受力的吊杆,这一般可以通过试验研究来加以验证;在构件的静力和动力分析中,材料本构关系(constitutive relationship)的模型也完全是通过试验加以确定的。

(2) 为发展推广新结构、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,新结构类型、新材料和新工艺不断涌现。从一种新材料的应用到一个新结构的设计和新工艺的施工,往往需要经过多次工程实践与科学试验,即由实践到认识,再由认识到实践的多次反复,从而积累资料,丰富和提高认识,不断改进和完善设计计算理论。

3. 教学性试验

教学性试验的目的是为具体的教学内容提供直观的演示。一般在“建筑结构试验”“混凝土结构设计”“钢结构设计”“工程结构抗震”等课程的教学过程中,实验室人员主动设计若干试验配合教学,给学生以感性认识,并培养其动手能力。根据教学目的,教学性试验分为普通型教学试验、提高型教学实验和创新型教学试验。

1.3.2 按试验对象的尺寸分类

1. 原型试验

原型试验 (prototype test) 的对象是实际结构或者是按实物结构足尺复制的结构或构件。实物试验一般用于生产性试验,如秦山核电站安全壳加压整体性能试验就是一种非破坏性的现场试验。对于工业厂房结构的刚度和变形试验、楼盖承载力试验等都是在实际结构上加载测量的。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荷载测定结构动力特性等均属此类。在原型试验中,另一类是对实际结构构件的试验,试验对象通常就是一根梁、一块板或一榀屋架之类的实物构件,它可以在试验室内进行试验,也可以在现场试验。为了保证测试的精度,防止环境因素对试验的干扰,目前国外已将这类足尺模型试验 (full scale test) 从现场转移到结构试验室内进行,如日本已在室内完成了7层框架结构房屋足尺模型的抗震静力试验。近年来国内大型结构试验室的建设也已经考虑到这类试验的要求。

2. 模型试验

模型 (model) 是仿照原型并按照一定的比例关系复制而成的代表试验物。它具有实际结构的全部或部分特征,大部分结构模型是尺寸比原型小得多的缩尺结构。试验研究需要时也可以制作1:1的足尺模型作为试验对象。由于受投资大、周期长、测量精度不高、环境因素干扰等的影响,进行原型结构试验在经济上或技术上会存在某些困难。人们在结构设计的方案阶段进行初步探索比较或对设计理论和计算方法进行探索研究时,较多地采用比原型结构小的模型进行试验。

模型的设计制作与试验是根据相似理论 (similarity theory),用适当的比例和相似材料制成的与原型相似的试验对象,然后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作状态,最后按照相似理论由模型试验结果推算出实际结构的工作性能。这类模型要求有比较严格的模拟条件,即要做到几何相似、力学相似和材料相似。

3. 小模型试验

小模型试验是结构试验常用的形式之一 (见图1-2)。它只是将原型结构按几何比例缩小制成模型,作为代表物进行试验,再将试验结果与理论计算对比校核,主要用以研究结构的性能,验证设计假定与计算方法的正确性,并认为这些结果所证实的一般规律与计算理论可以推广到实际结构中去。这类试验无须考虑相似比例对试验结果的影响。

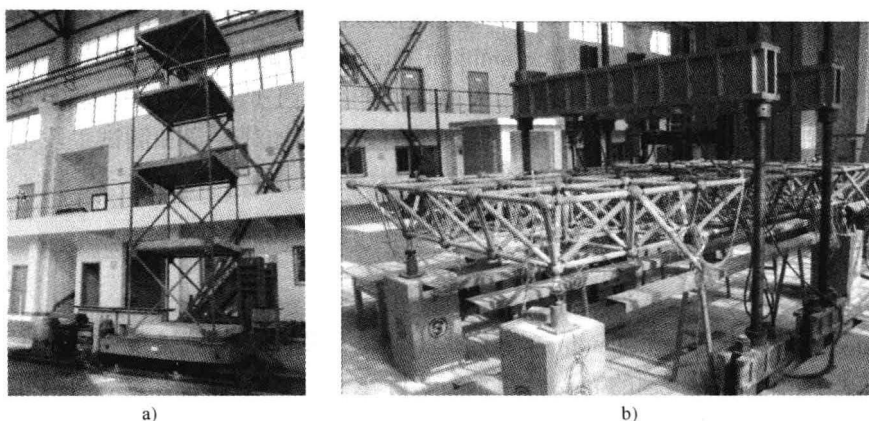


图 1-2 小模型试验图例

a) 高层建筑模型抗震模拟试验 b) 网架结构模型静载试验

1.3.3 按试验荷载的性质分类

1. 结构静力试验

结构静力试验 (static loading test of structure) 是结构试验中最多、也是最常见的基本试验, 因为绝大部分建筑结构在工作中所承受的是静力荷载。在荷载作用下研究结构的承载力、刚度、抗裂性和破坏机理, 一般可以通过重力或各种类型的加载设备来模拟和实现试验加载的要求。

静力试验的加载过程是使荷载从零开始逐步递增, 直到达到试验的某一预定目标或试件破坏为止, 也就是在一个不长的时间段内完成试验加载的全过程, 称这种试验为结构静力单调加载试验。

探索工程结构的抗震性能, 结构抗震试验无疑成为一种重要的手段。结构抗震静力试验是用静力方式模拟地震作用, 它是一种控制荷载或控制变形作用于结构的周期性的反复静力荷载, 为与一般单调加载试验区别, 称之为低周反复静力加载试验 (static loading test of low cycle reverse), 也称伪静力试验 (pseudo static test)。目前国内外结构抗震试验较多集中在这一方面。

静力加载试验 (static loading test) 最大的优点是加载设备相对比较简单, 荷载可以逐步施加, 可以仔细观察结构变形和裂缝的发展, 给人们以最直观的破坏概念。

2. 结构动力试验

结构动力试验 (dynamic test of structure) 就是研究结构在不同性质动力作用下结构动力特性 (dynamic characteristics of structure) 和动力反应 (dynamic effect of structure) 的试验。例如, 研究厂房结构承受起重机 (吊车) 及动力设备作用下的动力特性, 起重机梁 (吊车梁) 的疲劳强度 (fatigue strength) 和疲劳寿命 (fatigue life), 多层厂房由于机器设备上楼后所产生的振动影响, 高层建筑和高耸构筑物在风荷载作用下的动力问题, 结构抗爆炸、抗冲击问题等。在结构抗震性能的研究中, 除了用上述静力加载模拟以外, 更为理想是直接施

加动力荷载进行试验。目前抗震试验 (earthquake resistant test) 一般采用电液伺服加载设备 (electro-hydraulic serve testing equipment) 或地震模拟振动台等设备来进行。对于现场或野外的动力试验, 利用环境随机振动试验 (ambient random excitation test) 测定结构的动力特性模态参数也日益增多。另外, 还可以利用人工爆炸产生人工地震的方法, 甚至直接利用天然地震对结构进行试验。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差别, 并且要比静力试验复杂得多。

1.3.4 按试验时间长短分类

1. 短期荷载试验

短期荷载试验 (short term loading test) 是指结构试验时限于试验条件、试验时间或其他各种因素和基于及时解决问题的需要, 通常对实际承受长期荷载作用的结构构件, 在试验时将荷载从零开始到最后结构破坏或某个阶段进行卸荷的时间总共只有几十分钟、几小时或者几天。当结构受地震、爆炸等特殊荷载作用时, 整个试验加载过程只有几秒甚至是微秒或毫秒级的时间。这种试验实际上是一种瞬态的冲击试验, 属于动力试验的范畴。严格来说, 这种短期荷载试验不能代表长年累月进行的长期荷载试验, 对其中由于具体的客观因素或技术的限制所产生的影响, 必须在试验结果的分析和应用时加以考虑。

2. 长期荷载试验

长期荷载试验 (long term loading test) 是指结构在长期荷载作用下研究结构强度、变形等随时间变化规律的试验, 如混凝土的徐变、预应力结构钢筋的松弛等都需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”, 它可能连续进行几个星期或几年时间, 通过试验以获得结构的变形随时间变化的规律。为保证试验的精度, 要严格控制试验环境, 如保持恒温、恒湿, 防止振动等。所以长期荷载试验一般是在试验室内进行的。如果能在现场对实际工作中的结构构件进行系统、长期的观测, 这对积累和获得数据资料, 对于研究结构的实际工作性能, 进一步完善和发展结构理论将具有更为重要的意义。

1.3.5 按试验场地分类

1. 试验室结构试验

试验室试验 (laboratory structural test) 由于具备良好的工作条件, 可以应用精密和灵敏的仪器设备, 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, 主动减少或消除各种不利因素对试验的影响, 因此适宜于进行研究性试验。其试验的对象可以是原型或模型, 也可以将结构一直试验到破坏。近年来大型结构试验室的建设, 特别是应用计算机控制试验, 为发展足尺结构的整体试验和实现结构试验的自动化提供了更有利的工作条件。

2. 现场结构试验

现场结构试验 (field structural test) 是指在生产或施工现场进行的实际结构的试验, 主要用于生产性试验。试验对象通常是正在生产使用的已建结构或将要投入使用的新结构。由于受客观条件的干扰和影响, 高精度高灵敏度的仪表设备的应用经常会受到限制, 因此试验精度和准确度较差, 特别是由于现场试验中没有试验室所用的固定加载设备和试验装置, 这

给试验进行带来较大的困难。但是,目前应用非破坏检测技术手段进行现场试验,仍然可以获得近乎实际工作状态下的数据资料。

1.4 建筑结构试验的发展

我国结构试验发展的初期,主要是为了适应国民经济恢复时期的需要,对一些改建或扩建工程进行现场静力试验。例如,1953年,长春市对25.3m高的输电铁塔进行了原型结构的检验性试验,是我国第一次规模较大的结构试验。当时由于试验条件简陋,试验手段落后,加载设备是用吊盘内装铁块,作为竖向荷载,水平荷载则用人工绞车施加,铁塔主要杆件的应变只能用机械杠杆引伸仪量测,铁塔的水平变形则用经纬仪观测。

20世纪70年代,结构试验日益成为人们研究结构新体系不可或缺的手段。从确定结构材料的物理力学性能,到验证各种结构构件的受力特点和破坏特征,直至建立一个结构体系的计算理论,都建立在试验研究的基础上。例如,1973年对上海体育馆和南京五台山体育馆进行了网架模型试验(lattice grid model test),为建立网架结构的计算理论和模型试验理论等提供了大量的实测资料。在此之后,在北京、昆明、南宁、兰州等地先后进行了十余次规模较大的足尺结构试验。

我国结构动力试验的工作起步较晚,早期主要是由科学研究机构研制一些小型振动台和激振设备,用它们对建筑物、高炉及水坝等结构模型进行动力试验。随后研制出了脉动测量仪(pulsating measurement apparatus),开始对新安江、小丰满和恒山等地的大型水坝工程实地进行了脉动观察和测量。1960年以后又研制出了我国第一批工程强震加速度计,从此,为研究实际地震作用下的结构性能开辟了新领域。

地震是土木工程结构的一个重要灾害源,我国曾进行过各种结构的抗震试验和减震试验,如钢筋混凝土框架、剪力墙等结构类型的抗震性能试验,砖砌体、砌块结构以及底层框架砖混结构的抗震性能试验,仅在野外进行规模较大的足尺房屋抗震性能破坏试验就有十多次。目前,全国各地进行的各种类型的结构试验日益增多,试验项目不胜枚举,其结果为研究发展抗震计算分析理论和指导工程应用提供了十分丰富的试验资料。

在现代制造业的发展下,大型结构试验设备不断投入使用,加载设备模拟实际受力状态的能力越来越强。例如,大型风洞装置、大型火灾模拟系统、气候模拟系统等的使用,在这方面国外发展较为成熟。

当今测试技术的发展以新型高性能传感器和数据采集技术为主要内容。新材料的运用,特别是半导体材料的研究与开发,促进了传感器的发展,如,“智能传感器”。同时,测试仪器的性能也得到了极大的改进,特别是其与计算机技术的结合,使得数据采集技术发展迅速,实现了量测数据的快速采集、自动化记录和数据自动处理分析等;尤其是计算机控制的多维地震模拟振动台,可以实现地震波的人工再现,模拟地面运动对结构作用的全过程,可以准确、及时、完整地收集并表达荷载与结构行为的各种信息。

目前,结构试验技术正在向智能化、模拟化方向深入发展,不断引入现代科学技术发展的新成果来解决应力、变形、裂缝、内部缺陷及振动的量测问题,与此同时,广泛地开展结构模型试验理论与方法、计算机模拟试验、结构非破损试验技术等研究。

1.5 建筑结构试验技术相关标准和规程

近年来,随着技术法规的不断完善,在对结构进行试验时,试验方法必须遵守相应的规则。我国先后颁布了有关的规范规程,包括:《建筑结构检测技术标准》(GB/T 50344—2004)、《钢结构超声波探伤及质量分级法》(JG/T 203—2007)、《混凝土结构试验方法标准》(GB 50152—1992)、《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010)、《建筑抗震试验方法规程》(JGJ 101—1996)、《早期推定混凝土强度试验方法标准》(JGJ/T 15—2008)、《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》(GB/T 50082—2009)、《砌体基本力学性能试验方法标准(征求意见稿)》(GBJ 129—2011)、《纤维混凝土试验方法标准》(CECS 13—2009)、《建筑砂浆基本性能试验方法标准》(JGJ/T 70—2009)等各个方面的技术标准和规范。对不同类型的结构,也用技术标准的形式规定了检测方法。例如,《建筑工程检测试验技术管理规范》(JGJ 190—2010)、《砌体工程现场检测技术标准》(GB/T 50315—2000)、《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2001)、《钻芯法检测混凝土强度技术规程》(CECS 03—2007)、《超声法检测混凝土缺陷技术规程》(CECS 21—2000)、《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS 02—2005)、《贯入法检测砌体砂浆抗压强度技术规程》(JGJ/T 136—2001)、《钢结构检测评定及加固技术规程》(YB 9257—1996)、《工业建筑可靠性鉴定标准》(GB 50144—2008)、《危险房屋鉴定标准》(JGJ 125—1999)等。

本章小结

1. 建筑结构试验是一项科学性、实践性很强的活动,是研究和发展工程结构新材料、新体系、新工艺以及探索结构设计新理论的重要手段,在工程结构科学研究和技术革新等方面起着重要的作用。

2. 结构试验的任务就是在结构物或试验对象上,使用仪器设备和工具,采用各种试验技术手段,在荷载或其他因素作用下,通过量测与结构工作性能相关的各种参数,从强度、刚度和抗裂性以及结构实际破坏形态来判明结构的实际工作性能,估计结构的承载力,确定结构对使用要求的符合程度,并用以检验和发展结构的计算理论。

3. 按试验目的,结构试验可归纳为生产性试验、科研性试验和教学性试验;按试验对象的尺寸分为原型试验、模型试验和小模型试验;按试验荷载的性质分为结构静力试验和结构动力试验;按试验时间长短分为短期荷载试验和长期荷载试验;按试验场所分为试验室结构试验和现场结构试验。

思考题

- 1-1 建筑结构试验的目的和任务是什么?
- 1-2 建筑结构试验分为哪几类?有何作用?
- 1-3 请自行查找资料,了解建筑结构试验技术的发展。