

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI



建筑结构 试验与检测

宋 彧 段敬民 主编
闫维明 黄浩华 主审



人民交通出版社

China Communications Press



交通版 高等学校土木工程专业规划教材

JIAOTONGBAN GAODENG XUEXIAO TUMU GONGCHENG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

建筑结构

试验与检测

Jianzhu Jiegou Shiyān Yu Jiāncè

宋 域

段 敏

主编

闫维明

黄浩华

主审



人民交通出版社

China Communications Press

责任编辑：宋 域
封面设计：张 征
出版发行：人民交通出版社
社址：北京市丰台区右安门外大街2号
邮编：100071
电话：(010) 83582338
网址：http://www.ccpicp.com.cn
总经销：北京人民交通出版社
分经销：各地新华书店
印刷：北京人民交通出版社印刷厂
开本：787×1092 1/16
印张：15.75
字数：318千字
版次：2002年8月第1版
印次：2002年8月第1次印刷
书号：ISBN 7-114-02697-4
定价：23.00元

(本书封面贴有防伪标签，刮开涂层，可见防伪码，请读者注意)

内 容 提 要

全书共分九章,第一章绪论,叙述了《建筑结构试验与检测》的概况,引入了 PPIS 的概念;第二章建筑结构试验方案设计,对试验方案设计的基础知识作了介绍;第三章建筑结构试验荷载,介绍了荷载的种类和方法;第四章建筑结构试验测试技术,对测试技术的基础知识作了介绍;第五章建筑结构试验组织,介绍了单调加载的静力试验、伪静力试验、拟动力试验、动力荷载试验、结构动力特性检测以及疲劳试验等内容的基本概念和基本技术;第六章建筑结构试验数据处理,对数据处理的基础知识作了介绍;第七章建筑结构相似模型设计,介绍了扩充后的相似原理和模型设计的基础知识;第八章建筑结构研究试验示例,介绍了三种试验的实施步骤;第九章建筑结构检测技术,对混凝土结构、钢结构和砌体结构的检测技术做了介绍。

本书按照教材格式进行编写,适合于土木工程专业本科教学使用,也可供土木工程类的技术人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构试验与检测 / 宋 戡等主编. — 北京: 人民交通出版社, 2005.9
ISBN 7-114-05697-4

I. 建... II. 宋... III. 建筑结构—结构试验
IV. TU317

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第088406号

书 名: 建筑结构试验与检测

著 作 者: 宋 戡 段敬民

责任编辑: 张征宇 赵瑞琴

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京宝莲鸿图科技有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 12.75

字 数: 318千

版 次: 2005年8月第1版

印 次: 2005年8月第1次印刷

书 号: ISBN7-114-05697-4

印 数: 0001—3000册

定 价: 23.00元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

交通版

高等学校土木工程专业规划教材

编委会

主任委员：阎兴华

副主任委员：张向东 李帼昌 魏连雨 赵 尘

宗 兰 马芹永 段敬民 黄炳生

委 员：彭大文 林继德 张俊平 刘春原

党星海 刘正保 刘华新 丁海平

秘 书 长：张征宇

随着科学技术的迅猛发展、全球经济一体化趋势的进一步加强以及国力竞争的日趋激烈,作为实施“科教兴国”战略重要战线的高等学校,面临着新的机遇与挑战。高等教育战线按照“巩固、深化、提高、发展”的方针,着力提高高等教育的水平和质量,取得了举世瞩目的成就,实现了改革和发展的历史性跨越。

在这个前所未有的发展时期,高等学校的土木类教材建设也取得了很大成绩,出版了许多优秀教材,但在满足不同层次的院校和不同层次的学生需求方面,还存在较大的差距,部分教材尚未能反映最新颁布的规范内容。为了配合高等学校的教学改革和教材建设,体现高等学校在教材建设上的特色和优势,满足高校及社会对土木类专业教材的多层次要求,适应我国国民经济建设的最新形势,人民交通出版社组织了全国二十余所高等学校编写“交通版高等学校土木工程专业规划教材”,并于2004年9月在重庆召开了第一次编写工作会议,确定了教材编写的总体思路,于2004年11月在北京召开了第二次编写工作会议,全面审定了各门教材的编写大纲。在编者和出版社的共同努力下,目前这套规划教材已陆续出版。

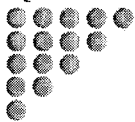
这套教材包括“土木工程概论”、“建筑工程施工”等31门课程,涵盖了土木工程专业的专业基础课和专业课的主要系列课程。这套教材的编写原则是“厚基础、重能力、求创新,以培养应用型人才为主”,强调结合新规范、增大例题、图解等内容的比例并适当反映本学科领域的新发展,力求通俗易懂、图文并茂;其中对专业基础课要求理论体系完整、严密、适度,兼顾各专业方向,应达到教育部和专业教学指导委员会的规定要求;对专业课要体现出“重应用”及“加强创新能力和工程素质培养”的特色,保证知识体系的完整性、准确性、正确性和适应性;专业课教材原则上按课群组划分不同专业方向分别考虑,不在一本教材中体现多专业内容。

反映土木工程领域的最新技术发展、符合我国国情、与现有教材相比具有明显特色是这套教材所力求达到的,在各相关院校及所有编审人员的共同努力下,交通版高等学校土木工程专业规划教材必将对我国高等学校土木工程专业建设起到重要的促进作用。

交通版高等学校土木工程专业规划教材编审委员会

人民交通出版社

2005年8月



一本有益于思维发展的教科书是读者所希望的,而最近几年,书越写越厚的现象比较普遍,有些书内容庞杂、主次模糊,读者难以找到书的主线。如何把教科书写少写精,是教材建设的新课题。

根据目前普通高校学科建设发展的要求,人民交通出版社组织兰州理工大学、河南理工大学、昆明理工大学、南阳理工学院等高校对该课程教学内容在现有若干版本内容的基础上,合编了这本《建筑结构试验与检测》,作为土木工程专业的一门专业技术基础课教材。

坚持以保留经典内容、删除旧内容、吸收新鲜内容为原则。

《建筑结构试验与检测》课程的任务是通过理论和实践教学环节,使学生获得结构试验技术的基础知识和基本技能,掌握试验组织的一般程序,并得到初步的训练和实践。

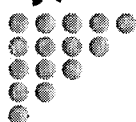
通过多年教学实践与工程实践,对建筑结构试验和工程检测的基本内容有了一些了解,加上同行专家的大力帮助,编写了《建筑结构试验与检测》这本教材。本教材力求突出基本概念、基本原理和基本方法的叙述,并做了几点尝试:

1. 提出了缩尺模型的概念;
2. 引用了 PPIS 循环概念;
3. 突出了方案设计在试验组织中的作用;
4. 把试验技术与试验组织分成两个独立的章节进行编排;
5. 对相似定理进行扩充,重新组织了模型设计的内容;
6. 将学术论文写作格式编入教材。

本教材由宋或主编,第一章~第四章、第五章的第一节~第三节由宋或和张贵文合作编写,第五章的第四节~第六节由段敬民与郭诗惠合作编写,第九章的第一节由王龙编写,第九章的第二节由刘利先编写,第六章~第八章、第九章的第三节由宋或编写。

由于水平有限,编写中难免有漏误之处,敬请专家同行和读者批评指导。

目录 MU LU



第一章 绪论	1
第一节 建筑结构试验与检测的任务	1
第二节 建筑结构试验的分类	3
第三节 建筑结构检测的分类	8
第四节 建筑结构试验与检测的发展	9
第五节 建筑结构试验与检测的组织	10
第二章 建筑结构试验方案设计	15
第一节 概述	15
第二节 试验前期工作方案设计	15
第三节 试验构件方案设计	16
第四节 试验荷载方案设计	22
第五节 试验观测方案设计	24
第三章 建筑结构试验荷载	28
第一节 概述	28
第二节 重力荷载	28
第三节 机械力荷载	30
第四节 电磁荷载	31
第五节 液压荷载	33
第六节 惯性力荷载	37
第七节 气压荷载	40
第八节 人力激振荷载	41
第九节 随机荷载	41
第十节 荷载反力设备	42
第四章 建筑结构试验测试技术	48
第一节 概述	48
第二节 电阻应变片	49
第三节 应变测量	52

第四节	传感器的分类	59
第五节	常用的传感设备	60
第六节	试验记录方法	66
第五章	建筑结构试验组织	70

第一节	单调加载静力试验	70
第二节	伪静力试验	72
第三节	拟动力试验	78
第四节	结构动力特性试验	81
第五节	结构动力荷载试验	91
第六节	结构疲劳试验	92
第六章	建筑结构试验数据处理	95

第一节	概述	95
第二节	数据整理和换算	95
第三节	数据误差分析	96
第四节	数据的表达	103
第五节	学术论文写作格式	109
第七章	建筑结构试验相似模型设计	119

第一节	概述	119
第二节	相似概念	120
第三节	相似原理	122
第四节	量纲分析	126
第五节	模型设计	129
第八章	建筑结构研究试验示例	132

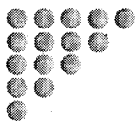
第一节	结构静力试验	132
第二节	结构动力特性试验	136
第三节	结构拟动力试验	139
第九章	建筑结构检测技术	142

第一节	砌体结构检测	142
第二节	钢筋混凝土结构检测	157
第三节	钢结构检测	173

附录 1	检测报告的内容	183
附录 2	阅读参考	185
参考文献		193

第一章 绪 论

DIYIZHANG



第一节 建筑结构试验与检测的任务

《建筑结构试验与检测》是土木工程专业的一门专业技术基础课,其研究对象是建设工程的结构物。这门学科的任务是在试验与检测对象上应用科学的组织程序,使用仪器设备为工具,利用各种试验为手段,在荷载或其他因素作用下,通过量测与结构工作性能有关的各种参数,从强度、刚度和抗裂性以及结构实际破坏形态来判断结构的实际工作性能,估计结构的承载能力,确定结构对使用要求的符合程度或根据现行设计规范来判断结构的施工质量,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,可以通过测得梁在不同受力阶段的挠度、角变位、截面应变和裂缝宽度等参数,来分析梁的整个受力过程以及结构的强度、挠度和抗裂性能。

(2)当一个框架承受水平的动力荷载作用时,同样可以测得结构的自振频率、阻尼系数、振幅和动应变等参量,来研究结构的动力特性和结构承受动力荷载的动力反应。

(3)在结构抗震研究中,经常是通过结构在承受低周反复荷载作用下,由试验所得的应力与变形关系的滞回曲线,为分析抗震结构的强度、刚度、延性、刚度退化、变形能力等提供数据资料。

所以,结构试验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根据的学科。我们从以下几个方面说明结构试验与检测的任务。

1. 是发展结构理论的重要途径

17 世纪初期伽利略(1564 ~ 1642)首先研究材料的强度问题,提出许多正确理论,但在 1638 年出版的著作中,错误地认为受弯梁的断面应力分布是均匀受拉。过了 46 年,法国物理学家马里奥脱和德国数学家兼哲学家莱布尼兹对这个假定提出了修正,认为其应力分布不是均匀的,而是按三角形分布的。后来虎克和伯努里又建立了平面假定。1713 年法国人巴朗进一步提出中和层的理论,认为受弯梁断面上的应力分布以中和层为界,一边受拉,另一边受压。由

于当时无法验证,巴朗的理论不过只是一个假设而已,受弯梁断面上存在压应力的理论仍未被人们接受。

1767年法国科学家容格密里首先用简单的试验方法,令人信服地证明了断面上压应力的存在。他在一根简支梁的跨中,沿上缘受压区开槽,槽的方向与梁轴垂直,槽内塞入硬木垫块。试验证明,这种梁的承载能力丝毫不低于整体的未开槽的木梁。这说明只有上缘受压力,才可能有这样的结果。当时,科学家们对容格密里的这个试验给予极高的评价,誉为“路标试验”,因为它总结了人们100多年来的摸索,像十字路口的路标一样,为人们指出了进一步发展结构强度计算理论的正确方向和方法。

1821年法国科学院院士拿维叶,从理论上推导了现在材料力学中受弯构件断面应力分布的计算公式,又经过了20多年后,才由法国科学院另一位院士阿莫列恩用试验的方法验证这个公式。

人类对这个问题经历了200多年的不断探索,至此才告一段落。从这段漫长的历程中可以看到,不仅对于验证理论,而且在选择正确的研究方法上,试验技术起了重要作用。

2. 是发现结构设计问题的主要手段

人们对于框架矩形截面柱和圆形截面柱的受力特性认识较早,在工程设计中应用最广。建筑设计技术发展到了20世纪80年代,为了满足人们对建筑空间的使用需要,出现了异形截面柱,如“T”型、“L”型和“+”型截面柱。在未做试验研究之前,设计者认为,矩形截面柱和异形截面柱在受力特性方面没有区别,其区别就在于截面形状不同,因而误认为柱子的受力特性与柱截面形式无关。试验证明,柱子的受力特性与柱子截面的形状有很大关系,矩形截面柱的破坏特征属拉压型破坏,异形截面柱破坏特征属剪切型破坏,所以,异型截面柱和矩形截面柱在受力性能方面有本质的区别。

钢筋混凝土剪力撑结构的设计技术已经被人们所掌握,这种新结构的设计思想源于三角形的稳定性,是框架和桁架相互结合的产物。设计者试想把框架的矩形结构通过加斜撑的方式分隔成若干个三角形。最初,有人把这种结构形式叫做框桁结构,设计者第一榀试验研究的结构简图见图1-1。

从计算理论的角度看,这种结构是合理的、可行的,但经过试验研究,才发现图1-1的结构形式是失败的,因为斜撑的拉杆几乎不起作用,不能抵消压杆的竖向分力,整个结构由于两斜撑交点处的框架梁首先出现塑性角而破坏。在试验研究的基础上,经过多次改进,才形成了图1-2的结构形式。

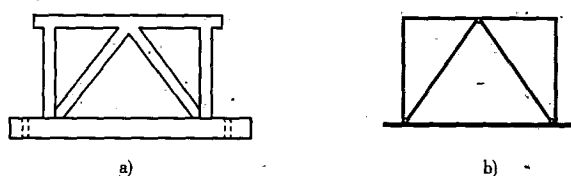


图 1-1 钢筋混凝土剪力撑结构雏形示意图

a) 形状示意简图; b) 结构计算简图

笼式结构是20世纪90年代末出现的一种能够减小地震作用的结构形式,因地震作用的大小与结构平面刚度的大小相关,即结构的平面刚度越大,地震对建筑物的影响也越大,反之则越小。所以,设计者以住宅建筑属小开间建筑这一特点入手,将普通框架结构的大截面梁柱,改变成数量较多的小截面梁柱,并将小梁小柱沿墙的长度方向和高度方向密布,使房间就像笼子一样。将该结构做成1:3的模型,经试验发现,模型的底层有数量不多的斜裂缝,5层~8层几乎没有破坏,顶层墙面有几条斜裂缝,第2层下部混凝土局部被压碎,钢筋屈曲,

破坏程度最严重,第3层下部破坏程度次之。所以,就结构破坏特征而言,笼式结构与普通结构有差异。

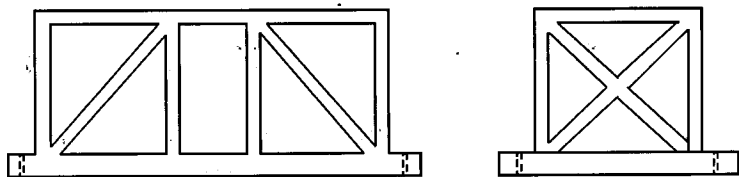


图 1-2 钢筋混凝土剪力撑结构设计示意图

钢管混凝土结构的梁柱连接方式有焊接连接和螺栓连接两大类数十种具体形式,究竟哪一种最优也必须通过试验研究才能确定。

3. 验证结构理论的唯一方法

从最简单的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结构平面分析理论和结构空间分析理论,都可以通过试验方法来加以证实。

隔振结构、消能结构的发展也离不开结构试验。

4. 是结构施工质量鉴定的直接方式

对于已建的结构工程,不论是某一具体的结构构件还是结构整体,也不论进行质量鉴定的目的如何,所采用的直接方式仍是结构试验。比如,灾害后的建筑工程、事故后的建筑工程等。

5. 是制订各类技术规范和技术标准的基础

为了使土木建筑技术能够得到健康的发展,需要制定一系列技术规范和技术标准,土木工程界所用的各类技术规范和技术标准都离不开结构试验成果。

我国现行的各种结构设计规范除了总结已有的大量科学试验的成果和经验以外,为了理论和设计方法的发展,进行了大量钢筋混凝土结构、砖石结构和钢结构的梁、柱、框架、节点、墙板、砌体等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资料与试验数据。事实上现行规范采用的钢筋混凝土结构构件和砖石结构的计算理论,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和改进设计方法上的作用。

第二节 建筑结构试验的分类

结构试验可以按检测目的、荷载性质、检测对象、检测周期、检测场合、检测技术等因素进行分类。

一、生产性试验和科研性试验

1. 生产性试验

这类试验又叫检测,如施工质量检测、桥梁检测等,经常是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对象,经过试验对具体结构作出正确的技术结论。这类试验经常用来解决以下有关问题。

(1)鉴定结构设计和施工的质量可靠程度。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,还要求通过试验综合性地鉴定其质量的可靠程度。

(2)为工程改建或加固判断结构的实际承载能力。对于旧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,这对于缺乏旧有结构的设计计算与图纸资料时,要求改变结构工作条件的情况下更有必要。

(3)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的检验。唐山地震后,为北京农业展览馆主体结构加固的需要,通过环境随机振动试验,采用传递函数谱进行结构模态分析,并通过振动分析获得该结构模态参数。

(4)检验结构可靠性,估算结构剩余寿命。已建结构随着建造年份和使用时间的增长,结构物逐渐出现不同程度的老化现象,有的已到了老龄期、退化期和更换期,有的则到危险期。为了保证已建建筑的安全使用,尽可能地延长它的使用寿命和防止建筑物破坏、倒塌等重大事故的发生,国内外对建筑物的使用寿命,特别是对使用寿命中的剩余期限,即剩余寿命特别关注。通过对已建建筑进行观察、检测和分析普查后,按可靠性鉴定规程评定结构所属的安全等级,由此推断其可靠性和估计其剩余寿命。可靠性鉴定大多数采用非破损检测的试验方法。

(5)鉴定预制构件的质量。对于在构件厂或现场成批生产的钢筋混凝土预制构件,在构件出厂或现场安装之前,必须根据科学抽样试验的原则,按照预制构件质量检验评定标准和试验规程的要求,通过少量试件的试验,推断成批产品的质量。

2. 科研性试验

科学研究性试验的目的在于:①验证结构设计计算的各种假定;②制定各种设计规范;③发展新的设计理论;④改进设计计算方法;⑤为发展和推广新结构、新材料及新工艺提供理论与实践的经验。

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,对结构计算图式和本构关系作某些简化。构件静力和动力分析中的本构关系的模型化,则完全是通过试验加以确定的。

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,升板、滑模施工工艺的发展,以及大跨度结构、高层建筑与特种结构的设计施工等。但是一种新生材料的应用,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。

二、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。静力试验分为结构静力单调加载试验和结构低周反复静力加载试验两种。结构静力单调加载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,我们称它为结构静力单调加载试验。

静力试验的最大优点是加载设备相对来讲比较简单,荷载可以逐步施加,还可以停下来仔细观察结构变形的发展,给人们以最明确、最清晰的破坏概念。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大于实际结构的基本周期。

2. 动力试验

对于那些在实际工作中主要承受动力作用的结构或构件,为了研究结构在施加动力荷载作用下的工作性能,一般要进行结构动力试验。如研究厂房承受吊车及动力设备作用下的动力特性,吊车梁的疲劳强度与疲劳寿命问题;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载作用下的动力问题,结构抗爆炸、抗冲击问题等,特别是结构抗震性能的研究中除了用上述静力加载模拟以外,更为理想的是直接施加动力荷载进行试验。目前抗震动力试验一般用电液伺服加载设备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测定结构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的差别,并且要比静力试验复杂得多。

结构动力试验包括结构动力特性测试试验、结构动力反应测试试验和结构疲劳试验。

三、伪静力试验和拟动力试验

1. 伪静力试验

为了探索结构的抗震性能,在试验室常采用一对使结构能够来回产生变形的水平集中力 P 和 P' 来代替结构地震所产生的力、把水平集中力 P 和 P' 叫做结构试验抗震静力。用图 1-3 所示的方式来模拟地震作用的动力试验,它是一种采用一定的荷载控制或变形控制的周期性反复静力荷载试验,加之试验频率也比较低,为区别于一般单调加载静力试验,称之为低周反复静力加载试验;又因为低周反复静力加载试验是采用静力试验的加载手段来验证结构部分动力性能的试验装置,所以也称之为伪静力试验。目前伪静力试验在国内外结构抗震研究中仍然占有一席之地。

2. 拟动力试验

拟动力试验是模拟的某地震力慢动作作用于试验对象上的过程。在拟动力试验中,首先是通过计算机将实际基底地震加速度转换成作用在结构上的位移以及与该位移相应的加振力 $F(t)$ 。随着地震波加速度时程曲线的变化,作用在结构上的位移和加振力也跟着变化,这样就可以得出在失真情况下某一实际地震波作用后结构连续反应的全过程。

图 1-4 是模拟地震作用的动力试验的示意图。

3. 伪静力试验与拟动力试验的区别

伪静力试验与拟动力试验在荷载确定方法、荷载与时程的关系、测试结果表达方式、荷载性质等方面都存在一定的区别,对比过程详见表 1-1。

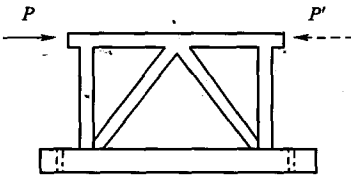


图 1-3 结构伪静力试验示意图

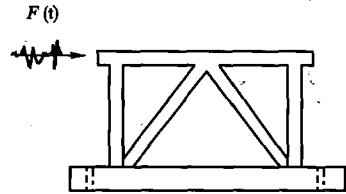


图 1-4 结构拟动力试验示意图

伪静力试验与拟动力试验的比较

表 1-1

序号	伪静力试验	拟动力试验
1	每一步加载目标是已知的	下一步的加载目标是由上一步的测量结果和计算结果通过递推公式得到的,递推公式是建立在被测结构的离散动力方程基础之上的
2	每一步的加载都是单调静力加载,加载与时程没有关系	每一步的加载都是单调静力加载,但加载的全过程是某地震力的慢动作过程,与时程有关系
3	测试结果用滞回曲线表示	测试结果用时程波线和滞回曲线共同表示
4	荷载在本质是静力	荷载在本质是失真的动力
5	试验与分析是两个阶段	试验地过程就是非线性分析的过程

四、真型试验与模型试验

1. 真型试验

真型是实际结构(即原系统)或者是按实物结构足尺复制的结构或构件(即复制品)。

真型试验一般均用于生产性试验,例如秦山核电站安全壳加压整体性的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试验、楼盖承载能力试验等均在实际结构上加载量测,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均属此类。

在真型试验中另一类就是足尺结构或构件的试验,以往一般对构件的足尺试验做得较多,事实上试验对象就是一根梁、一块板或一榀屋架之类的实物构件,它可以在试验室内试验,也可以在现场进行。

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。从 1973 年起,我国各地先后进行的装配整体式框架结构、钢筋混凝土大板结构、砖石结构、中型砌块结构、框架轻板结构等不同开间不同层高的足尺结构试验有 10 多例。其中 1979 年夏季,在上海进行的五层硅酸盐砌块房屋的抗震破坏试验中,通过液压同步加载器加载,在国内足尺结构现场试验中第一次比较理想地测得结构物在低周重复力作用下的特性曲线。在甘肃进行了足尺砌体结构现场爆破震动试验,取得了良好

的试验成果。

2. 模型试验

进行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时,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,可以采用比真型结构缩小的模型进行试验。

为了达到能够试验目的,按照一定的设计条件来模仿原系统,得到原系统的仿制品或复制品,代替原系统来完成试验研究任务。人们把具有原系统全部或部分性能的原系统的仿制品或复制品叫模型。所以,模型就是模拟真型全部性能或部分性能的装置。

3. 模型的分类

模型按照设计理论的不同分为相似模型和缩尺模型两类。两类模型具有以下特点:

(1)设计比例存在个性。相似模型既可以将大体积甚至特大体积缩小,也可以将小体积甚至微观体积放大。相似模型也可以将变化过程极为缓慢的现象加快,或将稍纵即逝的现象放慢。

缩尺模型专指将大尺寸或特大尺寸真型缩小的试验模型。

(2)设计理论存在差异。相似模型与缩尺模型的根本区别在于它们的设计理论不同。

相似模型的设计理论是相似理论,一为相似概念,一为相似原理。

相似是用决定现象的各个单值所对应的相似常数来表示的,现象的各个单值之间是相互约束的,所以单值所对应的相似常数就不是孤立的,它们之间存在着必然的联系。

相似原理由现象相似的性质定理、相似现象中无量纲组合的数量定理与现象相似的判定定理组成,俗称相似三定理。相似理论是一门新学科,20世纪中叶才成熟起来。

缩尺模型没有自己专用的设计理论,其模型与真型的设计理论相同。比如,简支梁的设计内容有支座处的斜截面抗剪强度、跨中的正截面抗弯强度以及跨中最大挠度等。一根简支木梁的缩尺模型就是一根小的简支木梁,其设计内容及计算方法与真型的设计内容及计算方法完全相同。

(3)试验结果分析方法存在区别。相似模型的设计过程主要有:根据任务明确试验的具体目的和要求,选择适当的模型材料。针对任务所研究的对象,用相似理论为依据,确定相似准数。根据试验条件,确定相似常数;绘制模型施工图,设计试验方案,试验方案不受试验设计理论支派,最后根据试验结果建立经验公式。

因为相似模型具有很强的针对性,所以模型试验的结果能够直接推广到真型上去。

缩尺模型的设计过程主要有:根据任务明确试验的具体目的和要求,选择适当的模型材料。根据试验能力,确定几何尺寸;绘制模型施工图,设计试验方案,试验方案直接受试验设计理论支派;比较理论值与试验值,验证理论的正确性,用已经被验证的理论指导实践,或揭示某种现象。

因为缩尺模型在实践中没有一一对应的针对性,所以其试验结果不能直接推广到真型上去,只能作为指导实践的一般理论的验证根据或揭示某种现象的依据。

所以,模型试验按照模型特性的不同可分为相似模型试验和缩尺模型试验两类。

缩尺模型试验是结构试验常用的研究形式之一,它有别于相似模型试验。采用缩尺模型进行试验,不依靠相似理论,无须考虑相似比例对试验结果的影响,即试验不要求满足严格的

相似条件,试验对象就是一个完整的结构或构件,试验结果无须还原,也无法还原,只需用试验的结果与结构原理论的计算值进行对比来研究结构的部分性能,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。

五、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毫秒或微秒级的时速,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,我们在分析试验结果时就必须加以考虑。

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等问题就必须要进行静力荷载的长期试验。这种长期荷载试验也可以称为持久试验,它将连续进行几个月或几年时间,通过试验以获得结构变形随时间变化的规律。

六、试验室试验和现场试验

1. 试验室试验

结构和构件的试验可以在有专门设备的试验室内进行,也可以在现场进行。

试验室试验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,以减少或消除各种不利因素对试验的影响,所以适宜于进行研究性试验。这样有可能突出研究的主要方向,而消除一些对试验结构实际工作有影响的次要因素。

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率,所以试验精度较差。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。

第三节 建筑结构检测的分类

按分部工程来分,有地基工程检测、基础工程检测、主体工程检测、维护结构检测、粉刷工程检测、装修工程检测、防水工程检测、保温工程检测等。

按分项工程来分,依次有地基、基础、梁、板、柱、墙等内容的检测。

按结构材料不同来分,有砌体结构检测、混凝土结构检测、钢结构检测、木结构检测等。

按结构用途不同来分,依次有民用结构、工业结构、桥梁结构检测。

按检测内容不同可以分为几何量检测、物理力学性能检测、化学性能检测等。

按检测技术不同可以分为,无损检测、破损检测、半破损检测、综合法检测等。

无损检测技术在我国迅速发展,这种技术以不破坏结构见长,是工程质量检测的理想手段和首选技术。比如材料强度回弹检测,内部缺陷以及材料强度超声检测,红外线红外成像无损检测技术,雷达检测等等。

破损检测是最直接的检测方式,目前在检测领域仍然具有主导地位。比如用混凝土试块来检测混凝土强度,推出法检测砌体强度,以及单调加载的静力试验、静力试验和动力试验等等。

半破损检测又叫微破损检测,检测时对原结构的局部有一定的破坏。比如钻芯法检测混凝土强度、拔出法检测混凝土强度以及在钢结构或木结构上截样的检测方法等。

第四节 建筑结构试验与检测的发展

1949年前,我国处于半封建半殖民地社会,根本没有结构试验这门学科。1949年后,结构试验和其他科学一样,获得了迅速的发展。现在,我国已建立了一批各种规模的结构试验室,拥有一支实力雄厚的专业技术队伍,并积累了丰富的试验技术经验。

例如在1953年,对长春市25.3m高的酒杯形输电铁塔的原型试验,是我国第一次规模较大的结构试验。试验时,垂直荷载用吊盘施放铁块,水平荷载用人工绞车施加。当时国内尚无电测仪器,用手持式引伸仪及杠杆引伸仪测量应变,用经纬仪观测水平变形。

1956年,各有关大学开始设置结构试验课程,各建筑科学研究机构和高等学校也开始建立结构试验室,同时也开始生产一些测试仪器和设备。

1957年,对武汉长江大桥进行了静力和动力试验,这是我国桥梁建筑史上第一次正规化验收工作。

1959年,北京车站建造时,对中央大厅的35m×35m双曲薄壳进行了静力试验。

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。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抗震试验。

1977年,我国制定了“结构测试技术的研究”的八年规划,为测试技术达到现代化水平奠定了良好的基础。

1996年在基本建设领域引入监理制度,监理公司随之而产生,对基本建设原材料的复试和结构质量的检验工作开始制度化,2000年执行工程质量终身负责制以后,对结构施工质量的检测逐渐步入正轨。

21世纪开始,高科技技术在工程质量检测领域的应用迅速增长。比如自动检测技术、摄像检测技术、数字化探伤技术、红外线成像探测技术、雷达检测技术(探地雷达、混凝土雷达)等等,以及各种类型的结构试验工作,在全国各地日益增多,不胜枚举。

此外,大型结构试验机、模拟地震台、大型起振机、高精度传感器、电液伺服控制加荷系统、信号自动采集与处理系统等各种仪器设备和测试技术的研制,以及大型试验台座的建立,标志着我国结构试验达到一个新的水平。