



普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材

高等学校土木工程学科
专业指导委员会规划教材（按新专业规范编写）

土木工程试验

宋 戡 主编
周新刚 主审

中国建筑工业出版社

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材
(按新专业规范编写)

土 木 工 程 试 验

宋 彧 主编
周新刚 主审

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

土木工程试验/宋彧主编. —北京:中国建筑工业出版社,
2011.6

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材. 高等学校
土木工程学科专业指导委员会规划教材(按新专业规范编写)

ISBN 978-7-112-13293-5

I. ①土… II. ①宋… III. ①土木工程-建筑结构-结构
试验 IV. ①TU317

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 109120 号

本书在编写过程中遵循《土木工程指导性专业规范》的基本原则,对专业规范中提到的知识点做到了完全覆盖。本书共有七部分内容:在第1章绪论中以分类的形式介绍了结构试验几个类型的界定及其各自的特点;在第2章结构试验设计中,主要介绍了 PPIS 循环的概念与应用、试件设计、荷载方案设计以及方案设计;第3章为试验荷载,介绍了几种常见荷载的特点和应用技术;第4章测试技术中以电阻应变片的应用为主线,介绍了应变的测试原理和传感器工作原理;第5章为结构试验类型,介绍了几种试验的荷载图式、荷载制度、试验装置以及组织试验的相关基础知识;第6章为试验测试数据处理;第7章为既有结构物的无损检测,仅仅是桥梁结构试验学科的雏形。附录内容作为给读者的试验设计的例子。

本教材可作为土木工程专业一本、二本、三本以及专科教材,也可供相关工程技术人员参考。

* * *

责任编辑:王 跃 吉万旺

责任设计:陈 旭

责任校对:刘 钰 关 健

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
高等学校土木工程学科专业指导委员会规划教材(按新专业规范编写)

土 木 工 程 试 验

宋 彧 主 编

周新刚 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:12½ 字数:300千字

2011年8月第一版 2011年8月第一次印刷

定价:32.00元(含光盘)

ISBN 978-7-112-13293-5

(20689)

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)

本系列教材编审委员会名单

主 任：李国强

常务副主任：何若全

副 主 任：沈元勤 高延伟

委 员：（按拼音排序）

白国良 房贞政 高延伟 顾祥林 何若全 黄 勇
李国强 李远富 刘 凡 刘伟庆 祁 皓 沈元勤
王 燕 王 跃 熊海贝 阎 石 张永兴 周新刚
朱彦鹏

组 织 单 位：高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社

出版说明

从 2007 年开始高校土木工程学科专业教学指导委员会对全国土木工程专业的教学现状的调研结果显示, 2000 年至今, 全国的土木工程教育情况发生了很大变化, 主要表现在: 一是教学规模不断扩大。据统计, 目前我国有超过 300 余所院校开设了土木工程专业, 但是约有一半是 2000 年以后才开设此专业的, 大众化教育面临许多新的形势和任务; 二是学生的就业岗位发生了很大变化, 土木工程专业本科毕业生中 90% 以上在施工、监理、管理等部门就业, 在高等院校、研究设计单位工作的大学生越来越少; 三是由于用人单位性质不同、规模不同、毕业生岗位不同, 多样化人才的需求愈加明显。《土木工程指导性专业规范》(以下简称《规范》)就是在这种背景下开展研究制定的。

《规范》按照规范性与多样性相结合的原则、拓宽专业口径的原则、规范内容最小化的原则和核心内容最低标准的原则, 对专业基础课提出了明确要求。2009 年 12 月高校土木工程学科专业教学指导委员会和中国建筑工业出版社在厦门召开了《规范》研究及配套教材规划会议, 会上成立了以参与《规范》编制的专家为主要成员的系列教材编审委员会。此后, 通过在全国范围内开展的主编征集工作, 确定了 20 门专业基础课教材的主编, 主编均参与了《规范》的研制, 他们都是各自学校的学科带头人和教学负责人, 都具有丰富的教学经验和教材编写经历。2010 年 4 月又在烟台召开了系列规划教材编写工作会议, 进一步明确了本系列规划教材的定位和编写原则: 规划教材的内容满足建筑工程、道路桥梁工程、地下工程和铁道工程四个主要方向的需要; 满足应用型人才培养要求, 注重工程背景和工程案例的引入; 编写方式具有时代特征, 以学生为主体, 注意 90 后学生的思维习惯、学习方式和特点; 注意系列教材之间尽量不出现不必要的重复等编写原则。为保证教材质量, 系列教材编审委员会还邀请了本领域知名教授对每本教材进行审稿, 对教材是否符合《规范》思想, 定位是否准确, 是否采用新规范、新技术、新材料, 以及内容安排、文字叙述等是否合理进行全方位审读。

本系列规划教材是贯彻《规范》精神、延续教学改革成果的最好实践, 具有很好的社会效益和影响, 住房和城乡建设部已经确定本系列规划教材为《普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材》。在本系列规划教材的编写过程中得到了住房和城乡建设部人事司及主编所在学校和学院的大力支持, 在此一并表示感谢。希望使用本系列规划教材的广大读者提出宝贵意见和建议, 以便我们在规划和出版专业课教材时得以改进和完善。

高等学校土木工程学科专业指导委员会
中国建筑工业出版社
2011 年 6 月

前 言

每一本书都传播着一种文化元素。土木工程结构试验这门学科，从建筑结构试验开始，到桥梁结构荷载试验为止，经过了几十年的发展，已经有了自身独特的文化色彩。

“宽口径”的“大土木”有弊端，有些教材在编写中就遇到了不少困难，特别是标准不一致的问题；尽管编写了“大土木”的教材，可各高校把土木工程专业的学生在大三的前后阶段又分成了不同的专业方向，致使“大土木”的教材谁用谁别扭。

幸好土木工程结构试验中把桥梁结构荷载试验缩写成独立的一节，在体系上没有打乱已经成型的模式或系统，使得这本教材从建筑结构试验的角度保持了应有的完整性和独立性。原来“室外检测技术”作为建筑结构试验测试技术这章里面的一节出现，本教材编写中，为了符合《土木工程指导性专业规范》的要求，将无损检测作为一个知识点突出来。所以，教材中不得不独立一章叫“既有结构物的无损检测”。

其实，建筑结构试验、桥梁结构试验是平行而又独立的两个学科，在部分测试技术的原理上有相同的地方，可结构分析理论的侧重点各自是独立的。还有工程结构检测与鉴定更是内容庞杂的独立学科，把这门学科往结构试验学科里拉也有点勉强。

这本教材特点：（一）重新界定了拟动力试验的概念；（二）把 PPIS 的概念引入到结构试验学科；（三）在试验数据处理一章中用专门一节介绍了学术论文的写作格式；（四）与传统版本比较，这本教材没有把相似模型设计基础知识编写进来。

本教材由宋彧统稿，第 1 章、第 2 章、第 5 章的第 5.1 节～第 5.5 节、第 6 章以及附录的内容由宋彧编写，第 3 章、第 4 章、第 7 章由罗维刚编写，第 5 章的第 5.6、5.7 两节由岳建伟编写。本书由周新刚教授审稿。

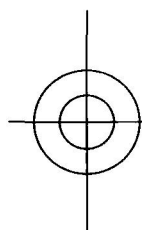
由于水平有限，编写中难免有漏误之处，敬请专家同行和读者批评指导。

目 录

第 1 章 绪论	1	2.2.3 结构试验中的 PPIS 循环	23
本章知识点	1	2.3 前期工作	25
1.1 概述	1	2.3.1 调研	26
1.1.1 结构试验课程的任务	1	2.3.2 确定研究路线	26
1.1.2 结构试验课程的作用和意义	2	2.3.3 其他工作	26
1.1.3 结构试验课程的特点	3	2.4 试验试件设计	27
1.2 结构试验的分类	4	2.4.1 试件形状	27
1.2.1 生产性试验和科研性试验	4	2.4.2 试件尺寸	28
1.2.2 静力试验和动力试验	5	2.4.3 试件数目	29
1.2.3 伪静力试验和拟动力试验	6	2.4.4 试件构造要求设计	32
1.2.4 真型试验与模型试验	8	2.5 试验荷载方案设计	33
1.2.5 短期荷载试验和长期荷载试验	9	2.5.1 荷载设计的一般要求	33
1.2.6 试验室试验和现场(或原位) 试验	9	2.5.2 试验加载装置的设计	34
1.3 结构试验新技术的发展	10	2.5.3 试验荷载设备准备计划	35
1.3.1 超大型试验装备	10	2.6 试验观测方案设计	35
1.3.2 现代测试技术	10	2.6.1 观测项目的确定	35
1.3.3 计算机技术的应用	11	2.6.2 测点的选择与布置	37
1.3.4 基于网络的结构试验技术	11	2.6.3 仪器的选择与测读的原则	38
1.4 土木工程结构试验在我国 发展	11	2.6.4 仪器仪表准备计划	38
1.5 课程内容与学习方法	12	2.7 结构试验的技术性文件	38
1.5.1 课程内容	12	2.7.1 试验大纲	39
1.5.2 学习方法	12	2.7.2 试验记录	39
习题	12	2.7.3 试验报告	40
第 2 章 结构试验设计	13	习题	40
本章知识点	13	第 3 章 土木工程结构试验荷载	41
2.1 概述	13	本章知识点	41
2.1.1 结构试验设计的基本原则	13	3.1 概述	41
2.1.2 结构试验的影响因素	18	3.2 结构静力荷载	42
2.2 设计的程序	20	3.2.1 一般重物荷载	42
2.2.1 意义	20	3.2.2 机械力荷载	43
2.2.2 PPIS 循环	21	3.2.3 液压荷载	44
		3.2.4 车辆静态荷载	47
		3.2.5 气压荷载	49

3.3 结构动力荷载	50	4.5.1 裂缝观测的内容	94
3.3.1 电磁荷载	50	4.5.2 量测开裂的方法	94
3.3.2 冲击加载	52	4.5.3 裂缝宽度量测仪器	95
3.3.3 离心力加载	54	习题	95
3.3.4 直线位移惯性力加载	54	第5章 常见的结构试验类型	97
3.3.5 人力激振荷载	55	本章知识点	97
3.3.6 随机荷载	55	5.1 单调加载静力试验	97
3.3.7 爆炸荷载	56	5.1.1 荷载图式的选择与设计	97
3.3.8 车辆动态荷载	56	5.1.2 试验荷载制度	98
3.4 荷载反力设备	58	5.1.3 试验装置	99
3.4.1 支座	58	5.2 伪静力试验	99
3.4.2 分配梁	59	5.2.1 单向反复加载制度	100
3.4.3 荷载架	60	5.2.2 双向反复加载制度	101
3.4.4 结构试验台座	61	5.2.3 试验装置	102
3.4.5 现场试验的荷载装置	64	5.2.4 几个常用的概念	103
习题	64	5.3 拟动力试验	107
第4章 结构试验测试技术	65	5.3.1 反力墙拟动力试验	107
本章知识点	65	5.3.2 地震模拟振动台试验	110
4.1 概述	65	5.4 结构动力特性试验	112
4.1.1 仪器设备的分类	65	5.4.1 频率	113
4.1.2 仪器仪表的主要技术性能 指标	66	5.4.2 振型	116
4.1.3 结构试验对仪器设备的使用 要求	66	5.4.3 阻尼	118
4.2 应变测量	67	5.4.4 实测中应考虑的问题	121
4.2.1 电阻法	67	5.5 结构动力响应试验	121
4.2.2 其他方法测应变	76	5.5.1 周期性动力响应试验	122
4.3 试验传感设备	77	5.5.2 非周期性动力响应试验	123
4.3.1 荷载传感器	77	5.6 结构疲劳试验	123
4.3.2 线位移传感器	79	5.6.1 疲劳测试项目	124
4.3.3 角位移传感器	80	5.6.2 疲劳测试荷载	124
4.3.4 光纤位移传感器	81	5.6.3 疲劳测试程序	124
4.3.5 温度传感器	83	5.6.4 疲劳试件安装要求	125
4.3.6 测振传感器	85	5.7 桥梁结构原位荷载试验	125
4.4 数据采集系统	92	5.7.1 荷载工况	125
4.4.1 数据采集系统的组成	92	5.7.2 加载分级	127
4.4.2 数据采集系统的分类	92	5.7.3 静载试验测点设置	127
4.4.3 数据采集的过程	93	5.7.4 动载试验测点设置	129
4.5 裂缝量测	93	5.7.5 简支梁桥荷载纵向布置及截面 内力测试举例	131
		习题	132

第 6 章 结构试验数据处理	134	本章知识点	154
本章知识点	134	7.1 砌体结构检测	154
6.1 概述	134	7.1.1 概述	154
6.2 数据整理和换算	134	7.1.2 砌块材性无损检测	157
6.3 数据误差分析	135	7.1.3 砌筑砂浆强度无损检测	158
6.3.1 统计分析的概念	135	7.2 钢筋混凝土结构检测	159
6.3.2 误差的分类	138	7.2.1 概述	159
6.3.3 误差计算	138	7.2.2 混凝土抗压强度检测	159
6.3.4 误差传递	139	7.2.3 混凝土裂缝检测	163
6.3.5 误差的检验	140	7.2.4 混凝土缺陷检测	169
6.4 数据的表达	143	7.2.5 红外线检测技术	171
6.4.1 表格方式	143	7.2.6 雷达波检测技术	172
6.4.2 图像方式	144	7.2.7 混凝土结构钢筋检测	172
6.4.3 函数方式	146	7.3 钢结构检测	173
6.5 学术论文写作格式	150	7.3.1 钢材强度检测	173
6.5.1 试验研究的特点	150	7.3.2 钢材缺陷以及焊接质量无损 检测	174
6.5.2 论文的组成及其功能	150	习题	176
6.5.3 主体的组成及其功能	151	附录 1 检测报告的内容	179
6.5.4 正文的组成及其功能	152	附录 2 结构试验示例	181
6.5.5 论文写作格式小结	153	主要参考文献	188
习题	153		
第 7 章 既有结构物的无损检测	154		



第1章

绪 论

本章知识点

【知识点】简单描述了结构试验课程的任务、意义和特点，详细介绍了结构试验的分类，对结构试验新技术的发展以及课程内容和学习方法也作了扼要的介绍。

【重点】结构试验课程的任务、意义和结构试验的分类。

【难点】伪静力试验和拟动力试验的区别。关键在于如何理解为什么“伪”、“拟”什么这两个问题上。

1.1 概述

1.1.1 结构试验课程的任务

《土木工程结构试验》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对象上应用科学的组织程序，以测试仪器设备为工具，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明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相关规范标准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。

1.1.2 结构试验课程的作用和意义

(1) 是发展结构理论的重要途径

17 世纪初期, 伽利略(1564—1642 年)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, 曾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。后来虎克和伯努利又建立了平面假定。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”形、“L”形和“+”形截面柱。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, 异形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如图 1-1 所示。

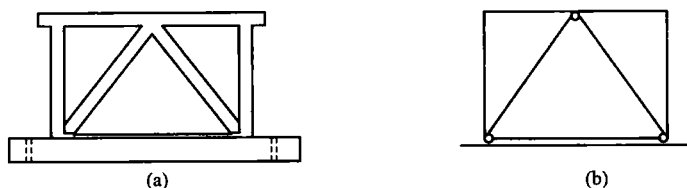


图 1-1 钢筋混凝土剪力撑结构雏形示意图

(a)形状示意简图；(b)结构计算简图

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。

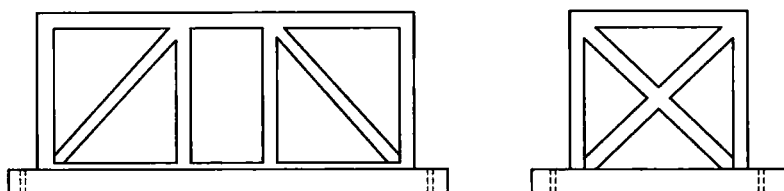


图 1-2 钢筋混凝土剪力撑结构设计示意图

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、数十余种具体形式，究竟哪一种最优也必须通过试验研究才能确定。

(3) 验证结构理论的惟一方法

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) 是制定各类技术规范和技术标准的基础

为了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。

1.1.3 结构试验课程的特点

传统的结构工程科学由建筑材料、结构力学和结构试验组成。随着计算机技术的发展，结构工程科学成为包含了结构理论、结构试验和结构计算等三部分相对完整的科学。结构试验始终是结构工程科学的一个重要组成部分。百余年来，结构试验一直是推动结构理论发展的主要手段。

(1) 多学科交融。结构试验是土木工程专业的一门专业技术基础课,具有多学科交融的特点,这门课程与其他课程有很密切的关系。

首先,它以建筑结构的专业知识为基础。设计一个结构试验,在试验中准确地测量数据、观察试验现象,必须有完整的结构概念,能够对结构性能做出正确的计算。因此,材料力学、结构力学、弹性力学、混凝土结构、砌体结构、钢结构等结构类课程形成本课程的基础。掌握本课程的理论和方法,也将对结构性能和结构理论有更深刻的理解。

其次,结构试验依靠试验加载设备和仪器仪表来进行,了解这些设备和仪器的基本原理和使用方法是本课程一个很重要的环节。掌握机械、液压、电工学、电子学、化学、物理学等方面的知识,对理解结构试验方法是很有好处的。

此外,电子计算机是现代结构试验技术的核心,结构试验中,运用计算机进行试验控制、数据采集、信号分析和误差处理,结构试验技术还涉及自动控制、信号分析、数理统计等课程。基于网络的远程协同结构试验技术集结构工程、地震工程、计算机科学、信息技术和网络技术于一体,充分体现了现代科学技术相互渗透、交叉、融合的特点。

(2) 个性化显著。土木工程产品是非常个性化的,可以说,世界上不存在两个完全相同的工程,也不存在完全相同的结构试验,可见土木工程信息收集具有非常强的随机性、模糊性和不完整性,信息总是非常有限的,在有的情况下有些信息又甚至是多余的。因此,对试验师来说最大的挑战是如何收集和分析必要的充分的信息数据,拥有较强的处理信息和数据的能力。

(3) 有规律可循。结构试验是发现自然规律的一种创新性活动,具有对收集到的信息归纳对比特征,对结构进行鉴定性试验和研究性试验时,试验方法必须遵守一定的规则。近年来,我国先后颁布了《混凝土结构试验方法标准》(GB 50152—92),《建筑抗震试验方法规程》(JGJ 101—1996)等专门技术标准。对不同类型的结构,也用技术标准的形式规定了检测方法。这些与结构试验有关的技术标准或在技术标准中与结构试验有关的规定,有确保试验数据准确,结构安全可靠,统一评价尺度的功能,其作用与结构设计规范相同,在进行结构试验时必须遵守。

(4) 突出实践性。结构试验强调动手能力的训练和培养,是一门实践性很强的课程。学习这门课程,必须完成相关的结构和构件实验,熟悉仪器仪表操作。除掌握常规测试技术外,很多知识是在具体试验中掌握的,要在试验操作中注意体会。

1.2 结构试验的分类

1.2.1 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 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,在要求改变结构工作条件的情况下更有必要。

② 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,为对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。

③ 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、新材料和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。

(3) 生产性试验与科研性试验的区别

前者着重回答是或否,而后者着重寻求影响结构性能的因素、因素之间的关系以及影响规律。

1.2.2 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测结构变形的发展,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荷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。

1.2.3 伪静力试验和拟动力试验

(1) 伪静力试验

伪静力试验就是利用静力试验的装置来研究结构的某些动力性能的手段。

为了探索结构的抗震性能,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

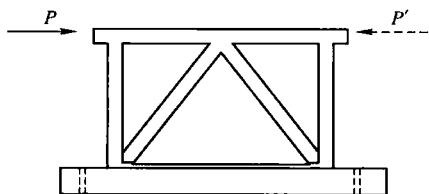


图 1-3 结构伪静力试验示意图

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实验装置,所以也称之为伪静力试验。目前伪静力试验在国内结构抗震研究中仍然占有一席之地。

(2) 拟动力试验

1) 拟动力试验的含义。顾名思义,拟动力试验就是用来模拟结构承受动力作用的试验。在拟动力试验中,首先是通过计算机将震动加速度转换成作用在结构上的位移以及与此位移相应的作用力 $F(t)$ 。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作用力也跟着变化,这样就可以得出在动力模拟状态下结构连续反应的全过程。

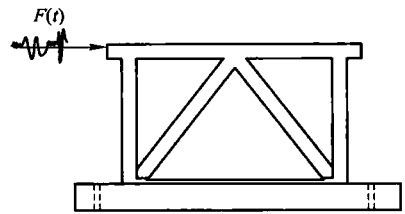
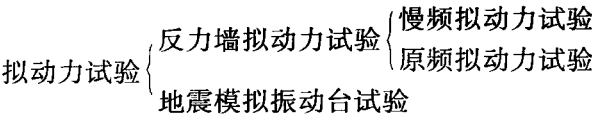


图 1-4 结构拟动力试验示意图

2) 拟动力试验的分类。拟动力试验(图 1-4)可分为地震模拟振动台试验和反力墙拟动力试验两种。而反力墙拟动力试验又分为慢频拟动力试验和原频拟动力试验两种。即



慢频拟动力试验是伪静力试验技术后的结构动力试验技术。就是通过计算机—伺服阀—作动器把某地震频率放慢后施加在试验对象上的试验。其特点之一是通过作动器直接实施作用力于试验对象上,特点之二是放慢了速度的地震过程。

地震模拟振动台试验就是由计算机—伺服阀—作动器—台面把某地震能量缩小,然后通过台面把动荷载施加在试验对象上的试验。其特点之一是通过台面对间接实施动态作用力于试验对象上,特点之二是缩小了能量的地震过程。

原频拟动力试验就是由计算机—伺服阀—作动器把某地震能量缩小后,将动荷载原速(即按原频率)直接施加在试验对象上的试验。与地震模拟振动台相比仅仅是把台面加速运动产生的地震力通过作动器直接作用于试验对象上,这是其特点之一。特点之二是可以保持原有频率,且荷载大。子结构试验多使用原频拟动力方法。

(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。

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	每一步加载目标是试验前假定好的,即是已知的	下一步的加载是根据上一步测量结果经过计算得到的,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	每一步的加载都与时程有关系,即真正体现了力是时间的函数
3	测试结果用滞回曲线表示	测试结果可以是时程波线,也可以整理出滞回曲线
4	荷载在本质是静力	荷载在本质是失真的或模拟的动力

1.2.4 真型试验与模型试验

(1) 真型试验

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。

(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) 模型的分类与特点

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。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。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。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,其设计内容与计算方法和真型的设计内容与计算方法完全相同。