



高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

总主编 何若全

土木工程结构试验

TUMU GONGCHENG
JIEGOU SHIYAN

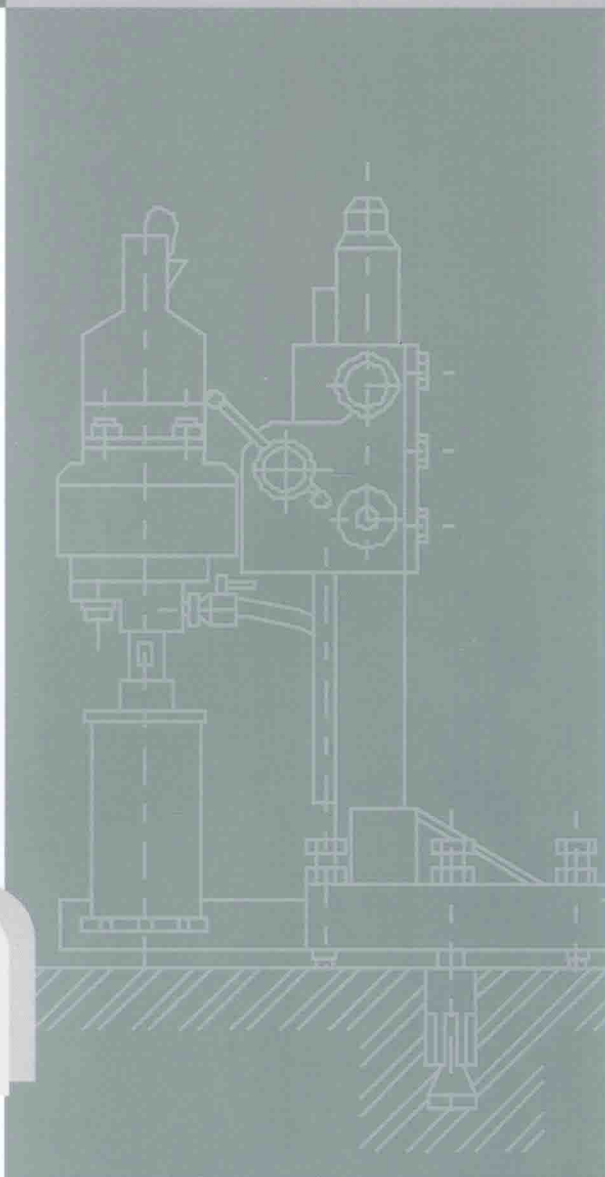
主 编 王社良 赵 祥

主 审 苏三庆



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>





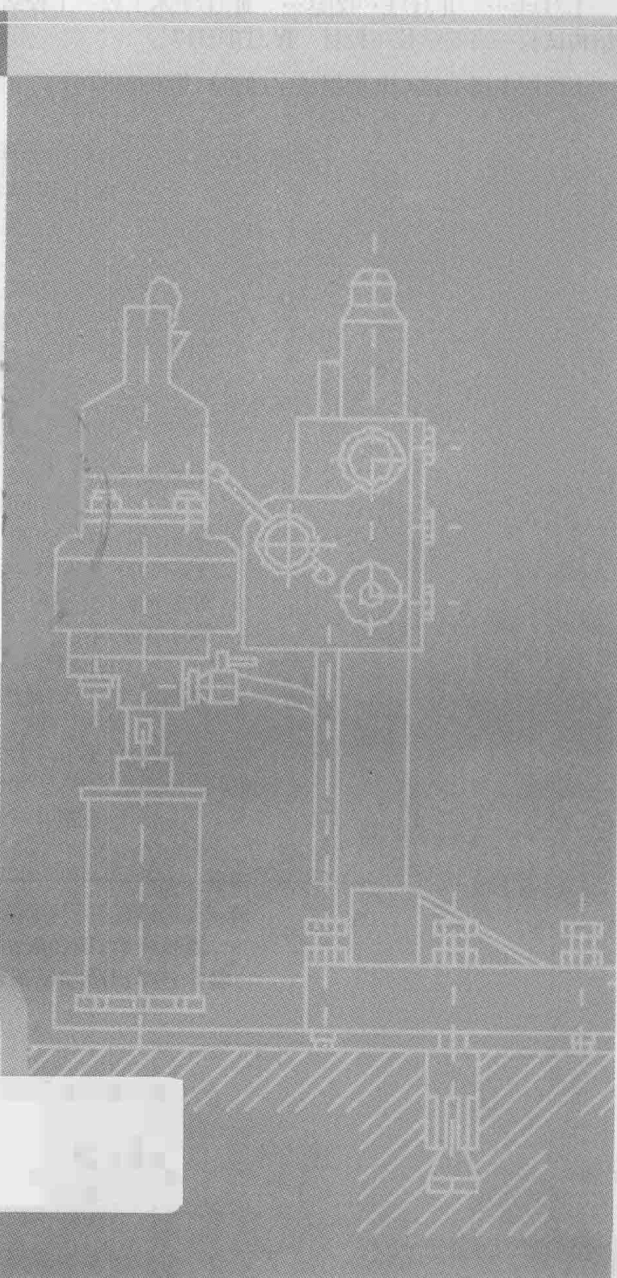
高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材
总主编 何若全

土木工程结构试验

TUMU GONGCHENG
JIEGOU SHIYAN

主 编 王杜良 赵 祥
主 审 苏三庆

重庆大学出版社



内 容 提 要

本书为高等院校土木工程的专业课程教材,内容包括:结构试验概论、结构试验设计、结构试验的荷载和加载设备、结构试验的量测技术、结构静力试验、结构动力试验、结构抗震试验、现场测试、试验的数据处理等。附录为土木工程结构常见试验的技术说明书。

全书按照《高等学校土木工程专业本科生教育培养目标和培养方案及教学大纲》及最新颁布的国家标准和规范编写,每章附有小结、思考题等,便于学生自学和进一步提高。

本书可作为高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材,也可供结构工程、防灾减灾工程专业研究生、从事结构试验的专业人员和有关工程技术人员作为参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程结构试验/王社良,赵祥主编. —重庆:重庆大学出版社,2014.10

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材
ISBN 978-7-5624-7343-5

I. ①土… II. ①王…②赵… III. ①土木工程—工程结构—结构试验—高等学校—教材 IV. ①TU317

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 082482 号

高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材

土木工程结构试验

主 编 王社良 赵 祥

主 审 苏三庆

策划编辑:林青山 王 婷

责任编辑:王 婷 版式设计:莫 西

责任校对:刘 真 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆现代彩色书报印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:15.5 字数:387 千

2014 年 10 月第 1 版 2014 年 10 月第 1 次印刷

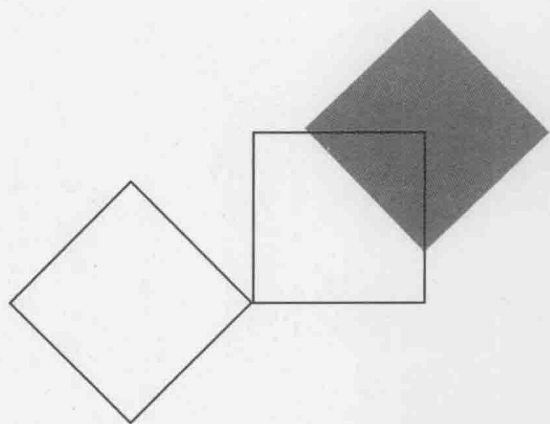
印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-7343-5 定价:29.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究



编委会名单

总 主 编：何若全

副总主编：杜彦良

邹超英

桂国庆

刘汉龙

编 委（按姓氏笔画为序）：

卜建清

王建廷

文国治

向中富

刘尧军

许金良

李建林

张忠苗

周志祥

段树金

袁建新

梁 波

樊 江

王广俊

王雪松

龙天渝

刘 凡

刘俊卿

孙 俊

汪仁和

范存新

郑廷银

施惠生

高 亮

梁兴文

魏庆朝

王连俊

王慧东

代国忠

刘 建

刘新荣

苏小卒

宋宗宇

易思蓉

孟丽军

姜玉松

黄林青

董 军

王社良

仇文革

华建民

刘东燕

刘曙光

李宇峙

张 川

罗 强

柳炳康

姚 刚

崔艳梅

覃 辉

总 序

进入 21 世纪的第二个十年,土木工程专业教育的背景发生了很大的变化。“国家中长期教育改革和发展规划纲要”正式启动,中国工程院和国家教育部倡导的“卓越工程师教育培养计划”开始实施,这些都为高等工程教育的改革指明了方向。截至 2010 年底,我国已有 300 多所大学开设土木工程专业,在校生达 30 多万人,这无疑是世界上该专业在校大学生最多的国家。如何培养面向产业、面向世界、面向未来的合格工程师,是土木工程界一直在思考的问题。

由住房和城乡建设部土建学科教学指导委员会下达的重点课题“高等学校土木工程本科指导性专业规范”的研制,是落实国家工程教育改革战略的一次尝试。“专业规范”为土木工程本科教育提供了一个重要的指导性文件。

由“高等学校土木工程本科指导性专业规范”研制项目负责人何若全教授担任总主编,重庆大学出版社出版的《高等学校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材》力求体现“专业规范”的原则和主要精神,按照土木工程专业本科期间有关知识、能力、素质的要求设计了各教材的内容,同时对大学生增强工程意识、提高实践能力和培养创新精神做了许多有意义的尝试。这套教材的主要特色体现在以下方面:

(1) 系列教材的内容覆盖了“专业规范”要求的所有核心知识点,并且教材之间尽量避免知识的重复;

(2) 系列教材更加贴近工程实际,满足培养应用型人才对知识和动手能力的要求,符合工程教育改革的方向;

(3) 教材主编们大多具有较为丰富的工程实践能力,他们力图通过教材这个重要手段实现“基于问题、基于项目、基于案例”的研究型学习方式。

据悉,本系列教材编委会的部分成员参加了“专业规范”的研究工作,而大部分成员曾为“专业规范”的研制提供了丰富的背景资料。我相信,这套教材的出版将为“专业规范”的推广实施,为土木工程教育事业的健康发展起到积极的作用!

中国工程院院士 哈尔滨工业大学教授

沈世钊

前言

土木工程结构试验是研究和发展土木工程结构新材料、新结构、新施工工艺及检验结构计算分析和设计理论的重要手段,在土木工程结构科学研究和技术创新等方面起着重要作用。通过本课程关于结构试验理论和试验技能的学习,可切实培养学生的科研能力。本书结合结构专业(钢结构、钢筋混凝土结构、砌体结构)知识,独立制订出结构试验加荷方案、测试方案。经试验获得数据后,对试验数据进行处理、分析,最后得出结论。要求学生掌握基本构件检测性试验,包括制订试验方案、分析试验现象、处理试验数据的全过程。

在内容上,本教材完全按照《高等学校土木工程专业本科生教育培养目标和培养方案及教学大纲》的要求编写,结构体系完整,循序渐进,理论与实践结合紧密。

本教材完全按照最新教学大纲,考虑了以往类似教材的不足,把新的试验设备、新的试验方法及最新的设计规范规定引入到各章节中,并克服了以往教材的章后无小结、无习题的缺陷,在每章后均有小结并配有一定数量的思考题,以便于学生对所学知识的巩固和掌握。

本书的特点是内容全面、系统性强,以结构试验的基本理论和基础知识为重点,在主要章节还附有详细的应用实例或试验示例,便于读者理解和掌握结构试验的基本技能,注意理论与实践相结合。本书作为高等院校土木工程本科指导性专业规范配套系列教材,可供高等院校土木工程本科生使用,也可供结构工程、防灾减灾工程专业研究生、从事结构试验的专业人员和有关工程技术人员作为参考用书。

本书第1章由王社良教授(西安建筑科技大学)编写,第2章由赵祥副教授(西安建筑科技大学)编写,第3章由喻磊副教授(西安建筑科技大学)编写,第4章由李彬彬工程师(西安建筑科技大学)编写,第5章由李彬彬工程师(西安建筑科技大学)、侯俊峰讲师(西安科技大学)编写,第6章由喻磊副教授、李彬彬工程师编写,第7章由赵祥副教授编写,第8章由熊二刚副教授(长安大学)、赵祥副教授编写,第9章由侯俊峰讲师编写,全书由王社良教授最终修改定稿。资深教授苏三庆校长(西安建筑科技大学)对全书进行了审阅,并提出了许多宝贵的意见。

本书免费提供了配套的电子课件,包含各章的授课PPT课件、课后思考题参考答案及两套试卷(含答案),放在重庆大学出版社教学资源网上供教师下载(网址:<http://www.cqup.net/edustre>)。

本书在编写过程中参考了大量国内外文献,引用了一些学者的资料,这在本书末的参考文献中已予列出。

由于编者水平有限以及时间仓促,书中不妥之处,敬请读者批评指正。

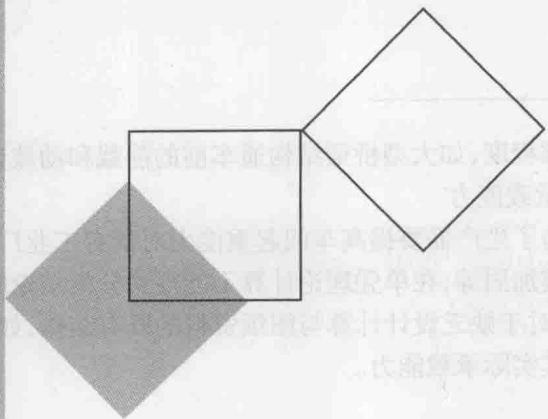
编者
2014年6月

目 录

1 绪论	1
1.1 工程结构试验的目的、任务	1
1.2 工程结构试验的分类	3
1.3 土木工程结构试验的最新进展	5
思考题	7
2 试验设计	8
2.1 工程结构试验的一般程序	8
2.2 工程结构试验的试件设计	10
2.3 工程结构试验的加载方案设计	16
2.4 工程结构试验的量测方案设计	18
2.5 工程结构试验的结论与基本文件	21
思考题	23
3 结构试验的荷载与加载设备	24
3.1 概述	24
3.2 重力加载法	24
3.3 液压加载法	26
3.4 其他加载方法	32
3.5 荷载支承设备和试验台座	34
思考题	40
4 试验的量测技术	41
4.1 概述	41
4.2 测量仪表的分类与性能指标	41
4.3 应变量测	42
4.4 位移量测	56
4.5 力的量测	59

4.6	振动量的量测	60
4.7	裂缝与温度的量测	66
	思考题	69
5	结构静力试验	70
5.1	概述	70
5.2	试验前的准备	71
5.3	加载与量测方案设计	74
5.4	常见结构构件静载试验	78
5.5	量测数据整理	96
5.6	结构性能的评定	107
	思考题	113
6	结构动力试验	114
6.1	概述	114
6.2	工程结构动力特性测试试验	115
6.3	工程结构动力响应试验	120
6.4	工程结构疲劳性能试验	122
6.5	工程结构其他动力荷载试验	126
	思考题	131
7	抗震性能试验	132
7.1	概述	132
7.2	工程结构抗震性能试验方法	132
7.3	工程结构抗震性能的评定	139
	思考题	143
8	现场检测	144
8.1	概述	144
8.2	钢筋混凝土结构的检测试验	145
8.3	砌体结构的检测试验	160
8.4	钢结构的检测试验	173
8.5	工程结构现场检测的新进展	176
	思考题	179
9	试验的数据处理	181
9.1	概述	181
9.2	试验数据的整理和换算	181

9.3 试验数据的统计分析	188
9.4 试验数据的误差分析	191
9.5 信号处理与分析基础	196
思考题	211
附录 试验说明书	212
试验 1 电阻应变片的粘贴	212
试验 2 常用机械式仪表的使用技术	214
试验 3 电阻应变仪测量技术	216
试验 4 钢筋混凝土简支梁受弯破坏试验	220
试验 5 结构动力特性测试技术	222
试验 6 回弹法检测混凝土强度技术	226
试验 7 超声波检测混凝土裂缝深度技术	230
参考文献	234



绪论

工程结构是由工程材料构成的、不同类型的承重构件(如梁、柱、板等)相互连接的各种组合体。在一定的经济条件制约下,要求工程结构在规定的使用期限内和规定的使用条件下安全有效地承受外部及内部形成的各种作用,以满足功能及使用上的要求。为了达到这个目的,设计者必须综合考虑工程结构在整个设计使用年限内如何适应各种可能的风险,如在建造阶段可能产生的各种施工荷载,以及在正常使用阶段可能遭遇的各种外界作用(特别是自然和人为灾害的作用以及在老化阶段可能经历的各种损伤的累积和正常抗力的丧失等)。另外,为了对工程结构进行合理的设计,工程技术人员必须掌握工程结构在上述各种作用下的实际应力和变形状态,了解工程结构各构件实际所具有的强度和安全储备以及刚度和抗裂性能等。

工程结构试验是研究和发展工程结构新材料、新体系、新工艺以及探索工程结构计算分析、设计理论的重要手段;在工程结构科学研究和技术创新等方面起着重要的作用。工程结构试验是工程类各学科专业的技术基础,主要内容应包括工程结构试验的设计、工程结构静力试验和动力试验的加载模拟技术、工程结构试验的量测技术、工程结构试验数据的采集与处理技术以及工程结构的现场检测与评价技术等。

1.1 工程结构试验的目的、任务

1.1.1 工程结构试验的目的

在实际工作中,根据不同类型的试验,工程结构试验的目的有所不同。

1) 生产鉴定性试验

生产鉴定性试验经常具有直接的生产目的,它以实际建筑物或结构构件为试验鉴定的对象,经过试验对具体结构做出正确的技术结论。生产鉴定性试验一般用来解决以下问题:

(1) 对结构设计和施工进行鉴定

对于一些比较重要的工程结构,除在设计阶段进行必要的试验研究外,在实际结构建成以

后,要求通过试验综合性地鉴定质量的可靠程度,如大型桥梁结构通车前的静载和动载试验。

(2) 判断改建和加固工程结构的实际承载能力

对于既有建筑的扩建或加层改造,或为了生产需要提高车间起重能力对既有工业厂房的加固,或由于建筑抗震需要对既有建筑的抗震加固等,在单凭理论计算不能得到分析结论时,经常通过试验确定这些结构的潜在能力。尤其对于缺乏设计计算与图纸资料的既有结构,如要求改变结构工作条件,更有必要通过试验判断其实际承载能力。

(3) 为工程事故鉴定提供技术根据

对于遭受地震、火灾、爆炸等原因而受损的结构或是在建造和使用过程中发现有严重缺陷(如施工质量事故、结构过度变形和严重开裂等)的危险建筑,有必要通过详细的试验研究,鉴定结构受损或存在缺陷的程度,为确定是否加固以及制订加固方案提供技术依据。

(4) 对既有建筑物进行可靠性检验,推断和估计结构的剩余寿命

随着建造年份和使用时间的延长,建筑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,甚至到了危险期。为了保证原结构的安全使用,尽可能地延长它的使用寿命,防止结构破坏、倒塌等重大事故的发生,应对原结构进行观察、检测和分析,按可靠性鉴定标准评定结构的安全等级,由此推断可靠性并估计剩余寿命。可靠性鉴定大多采用非破损检测的试验方法。

(5) 鉴定预制构件产品的质量

在构件厂或现场成批生产的钢筋混凝土预制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,通过少量的试件试验,来推断成批产品的质量。

2) 科学研究性试验

科学研究性试验的目的有以下3个方面:

(1) 验证结构计算理论的假定

在工程结构设计中,为了计算方便,经常需要对结构构件的计算图式和本构关系作某些简化的假定。

(2) 为制定或修订设计规范提供依据

在我国现行的各种工程结构设计规范的制定或修订过程中,除了总结已有大量科学试验的成果和设计以外,为了发展结构理论和改进设计方法,有目的地开展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结构物的试验研究,从而为编制或修订各类结构设计规范提供了基本资料与试验数据。事实上,我国现行规范中所采用的钢筋混凝土结构构件的计算理论几乎全部是以试验研究的直接成果为基础的,这也进一步体现了结构试验学科在发展结构设计和改进结构设计方法上的作用。

(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,许多新结构、新材料和新工艺不断涌现。但是,一种新材料的应用、一个新结构的设计和一种新工艺的施工,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、丰富认识,使设计计算理论不断改进和不断完善。

1.1.2 工程结构试验的任务

工程结构在外荷载作用下可能产生各种反应,通过试验可以测得结构的各种反应,以此判断结构的工作性能。钢筋混凝土简支梁在静力集中荷载作用下,通过测得梁在不同受力阶段的挠度、角变位、截面上纤维应变和裂缝宽度等参数,分析梁的整个受力过程以及结构的强度、刚度和抗裂性能。当一个框架承受水平动力荷载作用时,同样可以通过测得的结构自振频率、阻尼系数、振幅和动应变等参数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。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,由试验测得的应力与变形关系的滞回曲线来分析结构的强度、刚度、延性、刚度退化、变形能力等,以判断结构的抗震能力。

由此可见,工程结构试验的任务就是在工程结构的试验对象(局部或整体、实物或模型)上利用仪器设备和工具,以各种实验技术为手段,在荷载(重力、机械扰动力、地震力、风力等)或其他因素(温度、变形)作用下,通过量测与结构工作性能有关的各种参数(变形、挠度、应变、振幅、频率等),从强度(稳定)、刚度和抗裂性以及结构实际破坏形态等方面判明工程结构的实际工作性能,估计工程结构的承载能力,确定工程结构对使用要求的符合程度,并用以检验和发展工程结构的计算理论。

由工程结构试验的任务可知,工程结构试验就是以实验方法测定结构在各种作用下的相关数据,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的依据。

1.2 工程结构试验的分类

根据工程结构的试验目的,可将工程结构试验分成两大类:生产鉴定性试验和科学研究性试验。然而,工程结构试验也可以根据试验对象的不同、荷载性质的区别、试验持续时间的长短以及试验所在场地等进行分类。各种分类方法概括如下:

1) 根据试验目的进行分类

一般根据试验的目的把工程结构试验归纳为两大类,即生产性试验和科学研究性试验。

2) 根据试验对象进行分类

(1) 真型试验

真型试验的试验对象是实际结构(实物)或者是按实物结构足尺复制的结构或构件。实物试验一般均用于生产鉴定性试验,且一般都是非破坏性的现场试验。例如,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;在高层建筑上直接进行风振测试和通过环境随机振动(即脉动),测定结构动力特性等。

足尺结构或构件的试验一般对构件做得较多,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,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进行全面观测了解。我国各高等院校及科研单位先后开展的装配整体式框架结构、钢筋混凝土大板、砖石结构、

中型砌块、框架轻板、异形柱框架、钢管混凝土框架等结构试验有不少为足尺结构试验。

由于测试要求保证精度,为了防止环境因素对试验的干扰影响,目前国外已经将这类足尺试验结构从现场转移到结构试验室内进行试验,如日本已在室内完成了7层房屋足尺结构的抗震静力试验。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。

由于真型结构试验的投资大、周期长、测量精度受环境因素影响等,实际试验时在物质上或技术上存在很大困难,因此,在结构方案设计阶段进行初步探索比较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很多的模型进行试验。

(2) 模型试验

模型是仿照真型(真实结构)并按照一定比例关系复制而成的试验模型,它具有实际结构的全部或部分特征,是尺寸比真型小得多的缩尺结构。

模型的设计制作与试验是根据相似理论进行的,用适当的比例和相似材料制成与真型几何相似的试验对象,在模型上施加相似力系(或称“比例荷载”),使模型受力后再现真型结构的实际工作状况,最后按照相似理论由模型试验结果推断实际结构的工作。因此,要求模型有比较严格的相似条件,即要求做到几何相似、力学相似和材料相似。

由于严格的相似条件给模型设计和试验带来一定困难,在结构试验中尚有另一类型的模型。这种模型仅是真型结构缩小几何尺寸的试验代表物,将该模型的试验结果与理论计算对比校核,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。这类试验就不一定要满足严格的相似条件了,如在教学试验中通过钢筋混凝土结构受弯构件的小梁试验可以同样说明钢筋混凝土结构正截面的设计计算理论。

3) 根据试验荷载进行分类

(1) 静力试验

静力试验是结构试验中数量最大、最常见的基本试验,因为大部分工程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实现和满足加载要求。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”。

近年来由于探索结构抗震性能的需要,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以静力的方式模拟地震作用的试验,它是一种通过施加控制荷载(或控制变形)作用于结构的周期性的反复静力荷载而进行的试验,为区别于一般静力单调加载试验,称之为“低周反复静力加载试验”,也有称之为“拟静力试验”的。目前,国内外结构抗震试验较多集中在这一方面。静力试验的最大优点是加载设备相对简单,可以逐步施加荷载,还可以停下来仔细观测结构变形的发展,能展现最明确和清晰的破坏概念。在实际工作中,即使是承受动力荷载的结构,在试验过程中为了了解静力荷载下的工作特性,在动力试验之前往往也要先进行静力试验,如结构构件的疲劳试验就是这样。静力试验的缺点是不能反映应变速率对结构性能的影响,特别是在结构抗震试验中,静力试验的结果与任意一次确定性的非线性地震反应相差很远。目前,虽然在抗震静力试验中一种计算机与加载器联机试验系统可以弥补这一缺点,但设备耗资大大增加,而且静力试验的每个加载周期还是远远大于实际结构的基本周期。

(2) 动力试验

动力试验是指通过动力加载设备直接对结构或构件施加动力荷载的试验。对于在实际工

作中主要承受动力作用的荷载或构件,为了了解在动力荷载作用下的工作性能,一般要进行结构动力试验。

4) 根据试验持续时间进行分类

(1) 短期荷载试验

实际上,主要承受静力荷载的结构构件上的荷载大部分是长期作用的。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,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共只有几十分钟、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,这与结构的实际工作有一定差别。对于爆炸、地震等特殊荷载作用时,整个试验加荷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。所以严格地讲,这种短期荷载试验不能代替长年累月进行的长期荷载试验。这种由于具体客观因素或技术限制所产生的影响,在分析试验结果时就必须考虑。

(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)就必须进行静力荷载的长期试验。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。为了保证试验的精度,经常需要对试验环境进行严格控制,如保持恒温恒湿、防止振动等,当然这就必须在试验室内进行。如果能在现场对实际工作中的结构物进行系统、长期的观测,这样积累和获得的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都具有极为重要的意义。

5) 根据试验场地分类

(1) 试验室试验

试验室具有良好的工作条件,可以应用精密和灵敏的仪器设备进行试验,试验结果具有较高的准确度。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,因而适于进行科学研究性试验以突出研究的主要方面,而消除一些对试验结构实际工作有影响的次要因素。试验室试验的对象可以是真型,也可以采用小尺寸的模型,并将结构一直试验到破坏。尤其是近年来大型试验室的建设,为开展足尺结构的整体试验提供了比较理想的条件。

(2) 现场试验

与试验室试验相比,由于客观环境条件的影响,现场试验不宜使用高精度的仪器设备进行观测,进行试验的方法也可能比较简单,所以试验精度和准确度较差。现场试验多数用于解决具体实际问题,所以试验是在生产和施工现场进行的,有时研究或检验的对象就是已经使用或将要使用的结构物。这种试验可以获得结构在实际工作状态下的数据资料。

1.3 土木工程结构试验的最新进展

土木工程结构试验一直是推动结构理论发展的主要手段。现代科学技术的不断进步,为结构试验技术水平的提高创造了良好的加载、数据采集及分析手段,使得现代结构试验技术、相关的理论和方法在以下几个方面得以迅速发展:

1) 先进的大型和超大型试验装备

在现代制造技术的支持下,大型结构试验设备不断投入使用,使加载设备模拟结构实际受力条件的能力越来越强。例如。电液伺服压力试验机的最大加载能力达到 50 000 kN,可以完成实际结构尺寸的高强度混凝土柱或钢柱的破坏性试验。模拟地震振动台由多个独立振动台组成,当振动台排成一行时,可用来模拟桥梁结构遭遇地震作用;若排列成一个方阵,可用来模拟建筑结构遭遇地震作用。复杂多向加载系统可以使结构同时受到轴向压力、两个方向的水平推力和不同方向的扭矩,而且这类系统可以在动力条件下对试验结构反复加载。特别是大型风洞、大型离心机、大型火灾模拟结构试验系统及试验装备的相继投入运行,使科研人员和工程技术人员能够通过结构试验更准确地掌握结构性能,改善结构防灾抗灾能力,发展结构设计理论。

2) 现代测试技术

现代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方向。传感器是信号检测的工具,理想的传感器具有精度高、灵敏度高、抗干扰能力强、测量范围大、体积小、性能可靠等特点,利用微电子技术,可使传感器具有一定的信号处理能力,形成所谓的“智能传感器”;新型光纤传感器可以在上千米范围内以毫米级的精确度确定混凝土结构裂缝的位置;大量程高精度位移传感器可以在 1 000 mm 测量范围内,达到 0.001% 的精度;基于无线通信的智能传感器网络已开始应用于大型工程结构的健康监测。同时,测试仪器的性能也得到了极大的改进,特别是与计算机技术相结合后,数据采集技术发展更为迅速,高速数据采集器的采样频率达到 500 Hz,可以清楚地记录结构经受爆炸或高速冲击时响应信号前沿的瞬态特征,利用计算机存储技术,长时间、大容量数据采集已不存在困难。

3) 计算机技术的应用

计算机已经成为结构试验必不可少的一部分,试验数据的采集、分析和处理都与计算机密切相关。多功能、高精度的大型实验设备(以电液伺服系统为代表)的控制系统于 20 世纪末告别了传统的模拟控制技术,普遍采用计算机控制技术,使试验设备能够完成复杂、高速的试验任务,计算机仿真技术和结构试验的结合也越来越紧密。

4) 基于网络的结构试验技术

互联网的迅速发展,为我们展现了一个崭新的领域,它的应用为结构试验技术的发展提供了新的手段,基于网络的远程结构试验体系也逐步开始形成。20 世纪末,美国国家科学基金会投入巨资建设“远程模拟地震网络”,希望通过远程网络将各个结构实验室联系起来,利用网路传输试验数据和信息资源,实现所谓“无墙实验室”,我国在这一领域也已经开展了许多研究工作,并已经开始进行网路联机结构抗震试验。基于网路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路技术于一体,充分体现了现代科学相互渗透、交叉、融合的特点。

总之,土木工程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、位移、裂缝、内部缺陷及振动的量测问题,此外,也随之广泛地开展结构模拟试验理论与方法研究、计算机模拟试验及结构非破损试验技术的研究等。随着计算机、智能测试仪器和终端设备的广泛应用,以及各种试验设备自动化水平的不断提高,加载设备能力的提升,土木工程试验将具有广阔的发展前景。

本章小结

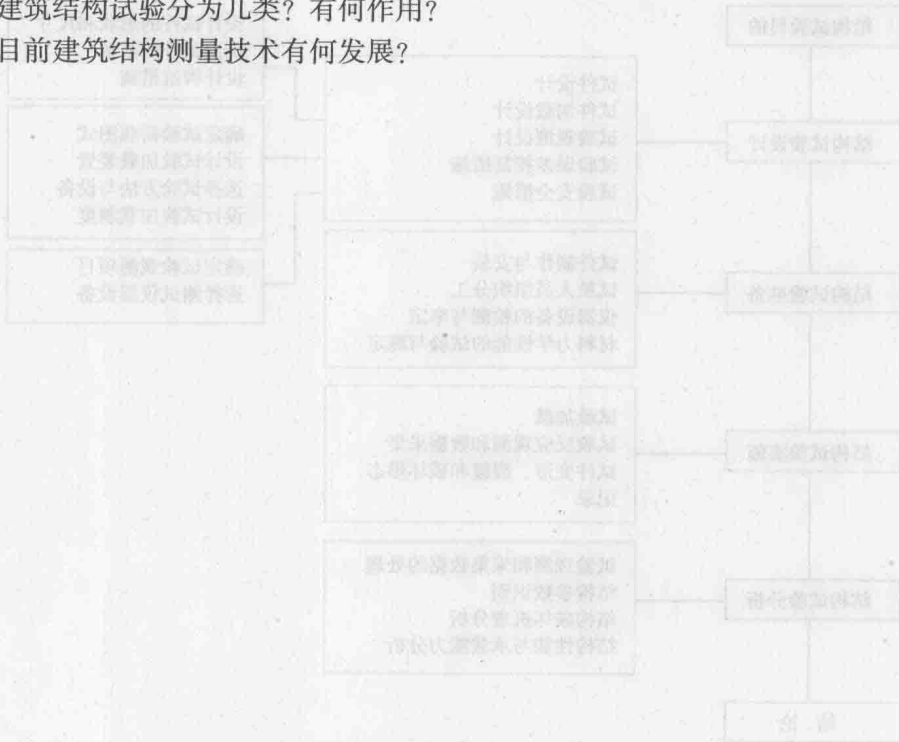
(1) 工程结构试验的任务就是在结构物或试验对象上,使用仪器设备和工具,采用各种实验技术手段,在荷载或其他因素作用下,通过量测与结构工作性能有关的各种参数,从强度、刚度和抗裂性以及结构实际破坏形态来判明结构的实际工作性能,估计结构的承载力,确定结构对使用要求的符合程度,并用以检验和发展结构的计算理论。

(2) 根据不同的试验目的,结构试验可归纳为生产性试验和科研性试验两大类。生产性试验经常具有直接的生产目的,它以实际建筑物或结构构件为试验鉴定对象,经过试验对具体结构构件作出正确的技术结论。科学研究性试验的目的是验证结构设计计算的各种假定,为制定各种设计规范、发展新的设计理论、改进设计计算方法、发展和推广新结构、新材料及新工艺提供理论依据与试验依据。

(3) 结构试验按实验对象的尺寸分为原型试验、模型试验;按试验荷载的性质分为结构静力试验、结构动力试验;按试验时间长短分为短期荷载试验、长期荷载试验;按试验场所分为试验室结构试验、现场结构试验。

思考题

- 1.1 结构试验的任务是什么?
- 1.2 建筑结构试验分为几类?有何作用?
- 1.3 目前建筑结构测量技术有何发展?



2

试验设计

2.1 工程结构试验的一般程序

工程结构试验大致可划分结构试验设计、结构试验准备、结构试验实施和结构试验分析等主要环节,各环节的主要内容和相互关系如图 2.1 所示。

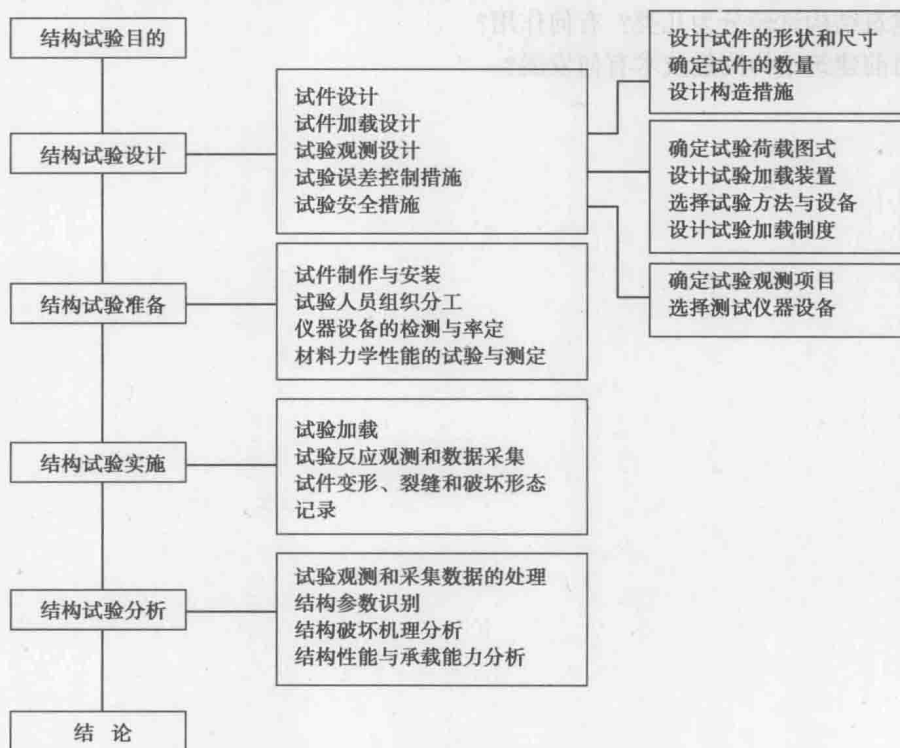


图 2.1 结构试验程序图