

新世纪土木工程系列教材

# 土木工程结构 试验与检测

刘明 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

新世纪土木工程系列教材

# 土木工程结构 试验与检测

刘明 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS



## 内 容 提 要

本书是“新世纪土木工程系列教材”之一,按照《建筑结构试验》教学大纲的要求编写而成。内容包括:结构试验设计、加载设备与试验装置、量测仪器与数据采集系统、静力试验、动力试验、结构检测、地基及桩基础检测、桥梁结构试验与检测、路基路面现场检测等。本书在阐述传统试验方法的基础上,介绍了国内外最新发展的试验理论及方法,注意理论与实践相结合,在阐明结构试验基本原理的基础上,重点介绍试验方法与技能,内容精炼,重点突出,适应性强。

本书可供高等学校土木工程专业本科生、研究生作为教材使用,也可供从事工程结构的专业技术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

土木工程结构试验与检测/刘明主编. —北京:高等教育出版社,2008.1

ISBN 978-7-04-022680-5

I.土… II.刘… III.土木工程—建筑结构—结构试验—高等学校—教材 IV.TU317

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第182467号

策划编辑 赵湘慧 责任编辑 葛心 封面设计 王 睢 责任绘图 杜晓丹  
版式设计 王艳红 责任校对 朱惠芳 责任印制 宋克学

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100011  
总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16  
印 张 19  
字 数 460 000

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2008年1月第1版  
印 次 2008年1月第1次印刷  
定 价 25.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 22680-00

# 教育部高等教育出版社土建类系列教材

## 郑重声明

### 编辑委员会委员名单

主任委员：沈蒲生(湖南大学)

副主任委员：(按姓氏笔画排序)

白国良(西安建筑科技大学)

邹超英(哈尔滨工业大学)

周绪红(兰州大学)

强士中(西南交通大学)

委 员：(按姓氏笔画排序)

卫 军(华中科技大学)

王清湘(大连理工大学)

江见鲸(清华大学)

刘 明(沈阳建筑大学)

张印阁(东北林业大学)

吴胜兴(河海大学)

杨和礼(武汉大学)

周 云(广州大学)

梁兴文(西安建筑科技大学)

焦兆平(广州大学)

霍 达(北京工业大学)

王 健(北京建筑工程学院)

叶志明(上海大学)

关宝树(西南交通大学)

朱彦鹏(兰州理工大学)

张家良(辽宁工学院)

沙爱民(长安大学)

尚守平(湖南大学)

赵明华(湖南大学)

黄醒春(上海交通大学)

廖红建(西安交通大学)

## 郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail: dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

## 出版者的话

新世纪土木工程系列教材是我社组织编写出版的“大土木”范畴的专业系列教材。1998年教育部颁布了新修订的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，新专业目录中土建类土木工程专业覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等8个专业。1999年各高校已按新的专业目录招生。开设土木工程专业的各院校把近年来在教育思想与教学观念、教学内容与课程体系、教学方法与教学手段等方面取得的改革成果固化到教学计划和人才培养过程中，设计了从教学思想到教学模式等一系列教学改革方案。大家在教学实践中体会到：专业、课程教学改革必然引起相应的教材改革。我社从1999年开始进行土木工程专业系列教材的策划工作，并于2000年成立了“教育部高等教育出版社土建类系列教材编委会”。

我们编辑出版土木工程系列教材的指导思想是：

1. 紧密结合人才培养模式改革，根据拓宽专业基础、提高综合素质、增强创新能力的要求，调整学生的知识结构。

2. 从各院校调整土建类各专业教学计划出发，加强基础课程到专业课程的有机沟通，用系统的观点和方法建立新的课程体系结构，包括对课程的整合与集成，组织和建设专业核心课程，成套成系列地推出土木工程系列教材。

3. 各门课程教材要具有与本门学科发展相适应的学科水平，以科技进步和社会发展的最新成果充实、更新教材内容，贯彻理论联系实际的原则。

4. 要正确处理继承、借鉴和创新的关系，不能简单地以传统和现代划线，决定取舍，而应根据教学要求进行取舍。继承、借鉴历史和国外的经验，注意研究结合我国的现实情况，择善而从，消化创新。

5. 随着高新技术、特别是数字化和网络化技术的发展，在土木工程系列教材建设中，要充分考虑文字教材与音像、电子、网络教材的综合发展，发挥综合媒体在教学中的优势，提高教学效率。在开发研制教学软件的同时，要注意使文字教材与先进的软件接轨，明确不同形式教材之间的关系是相辅相成、相互补充的。

6. 坚持质量第一。图书是特殊的商品，教材是特殊的图书。教材质量的优劣直接影响教学质量和教学秩序，最终影响学校人才培养的质量。教材不仅具有传播知识、服务教育、积累文化的功能，也是沟通作者、编辑、读者的桥梁，一定程度上还代表着国家学术文化或学校教学、科研水平。因此，遴选作者、审订教材、贯彻国家标准和规范等方面需严格把关。

为了实现本套教材的指导思想,我们组建了由有丰富的教学经验、有较高的学术水平和学术声望的教师组成的编委会,由编委会研究提出土木工程系列教材的选题及其基础内容与编审原则,并推荐作者。

我们出版本系列教材,旨在为新世纪的土木工程专业学生提供一套经过整合优化的比较系统的专业系列教材,以期我国的土木工程专业教材建设贡献自己的一份力量。

本系列教材第1版出版之后,在教学实践基础上,将组织修订出版第2版、第3版,希望在不断修订过程中更新内容、消除疏漏,更加适应教学需要。

本系列教材的编写大纲和初稿、修订稿都经过了编委会的审阅,以求教材质量更臻完善。如有疏漏之处,请读者批评指正!

高等教育出版社  
建筑与力学分社

2006年3月



# 前 言

根据教育部颁布的《普通高等学校本科专业目录和专业介绍》，土建类本科设置了土木工程专业，覆盖了原来建筑工程和交通土建工程等8个专业。本书紧密结合人才培养模式，使课程的教学内容符合土木工程专业的教学计划和课程教学大纲的规定，在编写过程中，力求涵盖土木工程各学科领域，并反映科学技术的最新发现和最新成就。本书增加了光纤量测技术、结构现场检测、地基及桩基础检测、桥梁结构试验与检测、路基路面现场检测等新内容，并力求体现内容精炼、份量适当、主次分清、重点突出、文字简明、语言通俗的特点。

本书由沈阳建筑大学刘明任主编，沈阳建筑大学张淑清、大连理工大学王苏岩任副主编，郑州大学孙增寿，福州大学胡昌斌、姜绍飞，沈阳建筑大学贾连光、张德海、王强、杨建华、杨明炜、刘艳艳、陈昕等参加编写。大连理工大学黄承逵教授审阅了全部书稿并提出了许多宝贵的意见，在此深表感谢。特别感谢宋钢兵教授(Department of Mechanical Engineering, University of Houston)和李时女士(Xilinx inc)对书稿中英文部分的审阅。

本书可作为土木工程专业基础技术课教材，也可供从事各类工程结构与施工的工程技术人员参考。

在本书编写过程中，引用参考了一些公开出版的教材和文献，特此向作者表示谢意。

由于作者的学识和水平有限，书中不当之处，敬请读者批评指正。

编 者  
2007年8月



# 目 录

## Contents

### 第1章 绪论

#### CHAPTER 1 INTRODUCTION

1.1 结构试验与检测分类(CLASSIFICATION OF STRUCTURE TESTING AND INSPECTION) .....	2
1.2 结构试验技术的新发展(NEW DEVELOPMENT IN TESTING TECHNOLOGY) .....	7
1.3 课程内容与学习方法(COURSE CONTENT AND LEARNING METHOD) .....	8
本章小结(SUMMARY) .....	9
思考题(THINKING QUESTIONS) .....	9

### 第2章 结构试验设计

#### CHAPTER 2 STRUCTURE TEST DESIGN

2.1 研究性试验(TESTING FOR RESEARCH) .....	11
2.2 检验性试验(TESTING FOR VERIFICATION) .....	17
本章小结(SUMMARY) .....	18
思考题(THINKING QUESTIONS) .....	18

### 第3章 加载设备与试验装置

#### CHAPTER 3 LOADING EQUIPMENT AND TEST SETUP

3.1 重物加载(DEAD LOADING) .....	20
3.2 气压加载(AIR LOADING) .....	21
3.3 机械机具加载(MECHANICAL LOADING) .....	22
3.4 液压加载(HYDRAULIC LOADING) .....	22
3.5 动力加载法(DYNAMIC LOADING) .....	26
3.6 试验台座与支承装置(TEST SUPPORT AND REACTION SETUP) .....	30
本章小结(SUMMARY) .....	37
思考题(THINKING QUESTIONS) .....	38

### 第4章 量测仪器与数据采集系统

#### CHAPTER 4 INSTRUMENTATION AND DATA ACQUISITION SYSTEM

4.1 概述(INTRODUCTION) .....	41
----------------------------	----

4.2 应变量测 (STRAIN MEASUREMENT) .....	43
4.3 位移量测 (DISPLACEMENT MEASUREMENT) .....	48
4.4 力值量测 (FORCE MEASUREMENT) .....	54
4.5 裂缝观测 (OBSERVATION AND MEASUREMENT OF CRACK) .....	56
4.6 温度量测 (TEMPERATURE MEASUREMENT) .....	57
4.7 振动参数的量测 (DYNAMIC PROPERTIES MEASUREMENT) .....	58
4.8 数据采集系统 (DATA ACQUISITION SYSTEM) .....	65
本章小结 (SUMMARY) .....	67
思考题 (THINKING QUESTIONS) .....	67

## 第5章 静力试验

### CHAPTER 5 STATIC TESTING

5.1 单调静力荷载试验 (MONOTONIC STATIC LOADING TESTING) .....	69
5.2 拟静力试验 (PSEUDO-STATIC TESTING) .....	76
5.3 拟动力试验 (PSEUDO-DYNAMIC TESTING) .....	83
5.4 数据整理方法 (DATA INTERPRETATION METHOD) .....	87
本章小结 (SUMMARY) .....	98
思考题 (THINKING QUESTIONS) .....	98

## 第6章 动力试验

### CHAPTER 6 DYNAMIC TESTING

6.1 动荷载的特性试验 (DYNAMIC LOAD PROPERTIES TESTING) .....	101
6.2 结构动力特性试验 (DYNAMIC PROPERTIES TESTING FOR STRUCTURE) .....	104
6.3 结构动力反应试验 (STRUCTURE DYNAMIC RESPONSE TESTING) .....	113
6.4 模拟地震振动台试验 (SHAKING TABLE TESTING) .....	116
6.5 风洞试验 (WIND TUNNEL TESTING) .....	121
6.6 结构疲劳试验 (STRUCTURAL FATIGUE TESTING) .....	123
6.7 振动信号处理及分析 (INTERPRETATION AND ANALYSIS OF VIBRATION SIGNAL) .....	126
本章小结 (SUMMARY) .....	140
思考题 (THINKING QUESTIONS) .....	140

## 第7章 结构检测

### CHAPTER 7 STRUCTURAL INSPECTION

7.1 结构检测的方法 (STRUCTURE INSPECTION METHOD) .....	142
7.2 混凝土结构的检测 (CONCRETE STRUCTURE INSPECTION) .....	149
7.3 砌体结构的检测 (MASONRY STRUCTURE INSPECTION) .....	165
7.4 钢结构的检测 (STEEL STRUCTURE INSPECTION) .....	179
本章小结 (SUMMARY) .....	182
思考题 (THINKING QUESTIONS) .....	182

## 第8章 地基及桩基础检测

### CHAPTER 8 INSPECTION OF GROUNDS AND PILE FOUNDATION

8.1 地基承载力的检测(INSPECTION OF GROUND BEARING CAPACITY) .....	184
8.2 桩基静载试验(PILE FOUNDATION STATIC LOADING TESTING) .....	189
8.3 桩基动力检测(PILE FOUNDATION DYNAMIC INSPECTION) .....	196
本章小结(SUMMARY) .....	202
思考题(THINKING QUESTIONS) .....	203

## 第9章 桥梁结构试验与检测

### CHAPTER 9 TESTING AND INSPECTION OF BRIDGE STRUCTURE

9.1 桥梁结构静载试验(BRIDGE STRUCTURE STATIC TESTING) .....	205
9.2 桥梁结构动载试验(BRIDGE STRUCTURE DYNAMIC TESTING) .....	217
9.3 桥梁检查与评估(BRIDGE INSPECTION AND EVALUATION) .....	223
本章小结(SUMMARY) .....	231
思考题(THINKING QUESTIONS) .....	231

## 第10章 路基路面现场检测

### CHAPTER 10 FIELD TESTING OF SUBGRADE AND PAVEMENT

10.1 路面使用性能检测(PAVEMENT PERFORMANCE INSPECTION) .....	233
10.2 路基路面质量控制参数现场检测(FIELD INSPECTION OF QUALITY CONTROL PARAMETER OF PAVEMENT AND SUBGRADE) .....	264
本章小结(SUMMARY) .....	281
思考题(THINKING QUESTIONS) .....	281

### 附录 A 结构模型设计

APPENDIX A STRUCTURE MODEL DESIGN .....	282
---	-----

### 附录 B 应变片粘贴技术

APPENDIX B TECHNOLOGY OF BONDING RESISTANCE GAUGE .....	286
---	-----

### 参考文献

REFERENCES .....	288
------------------	-----

# 第1章 绪论

## Chapter 1 Introduction

### 目录 Contents

1.1 结构试验与检测分类(classification of structure testing and inspection) .....	2
1.1.1 结构试验(structure testing) .....	2
1.1.2 结构检测(structure inspection) .....	6
1.2 结构试验技术的新发展(new development in testing technology) .....	7
1.2.1 先进的大型和超大型试验装备(large and super-large advanced testing equipment) .....	7
1.2.2 现代测试技术(modern testing technology) .....	7
1.2.3 计算机技术的应用(application of computer technology) .....	8
1.2.4 基于网络的结构试验技术(structural testing technology based on internet) .....	8
1.3 课程内容与学习方法(course content and learning method) .....	8
1.3.1 课程内容(course content) .....	8
1.3.2 学习方法(learning method) .....	9
本章小结(summary) .....	9
思考题(thinking questions) .....	9



结构试验与检测是一项科学实践性很强的活动,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及验证实体结构的受力性能、承载力和可靠性的重要手段。

## 1.1 结构试验与检测分类(classification of structure testing and inspection)

### 1.1.1 结构试验(structure testing)

结构试验是在结构物或试验对象(杆件、构件、子结构或其模型)上,利用设备仪器为工具,以各种试验技术为手段,在施加各种作用(荷载、机械扰动力、模拟的地震作用、风力、温度、变形……)的工况下,通过量测与试验对象工作性能有关的各种参数(应变、变形、振幅、频率……)和试验对象的实际破坏形态,来评定试验对象的刚度、抗裂度、裂缝状态、强度、承载力、稳定和耗能能力等,并用以检验和发展结构的计算理论。

根据不同的试验目的、荷载性质、试验对象、试验场合、构件破坏与否、荷载作用时间等不同因素进行分类。可分为研究性试验和检验性试验、静力试验和动力试验、实体(原型)试验和模型试验、实验室试验和现场试验、破坏性试验和非破坏性试验,以及短期荷载试验和长期荷载试验。

#### 1. 研究性试验和检验性试验(research testing and verification testing)

根据试验目的,可以分为研究性试验和检验性试验。

##### (1) 研究性试验

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的某一理论,或验证各种科学的判断、推理、假设及概念的正确性,或者是为了创造某种新型结构体系及其计算理论,而系统地进行的试验研究。

研究性试验的试验对象即试验结构试件(简称试件),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几个方面的问题。

① 验证结构计算理论的假定。在结构设计中,人们经常为了计算上的方便,对结构构件的计算图式和本构关系作出某些简化的假定。其本构关系就是通过试验建立起来的。

② 为制订设计规范提供依据。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,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试验依据。

##### (2) 检验性试验

检验性试验对象一般是真实的结构或构件,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,并对检验结果作出技术结论。这类试验常应用在以下几方面。

① 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(如网架节点、特种桥梁、高耸桅杆和焊接构件等)均应进行严格的质量检验。

② 检验结构工程质量,确定工程结构的可靠性。对新建结构,特别是某些重要性结构或采用新材料、新工艺及新设计计算理论而设计建造的结构物或构筑物,在建成后需进行总体的结构性能检验,以综合评价其结构设计及施工质量的可靠性。

## 2. 静力试验和动力试验(static testing and dynamic testing)

根据试验的荷载性质,可分为静力试验和动力试验两大类。

### (1) 静力试验

静力试验是结构试验中最常见的试验。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。

单调静力荷载试验是指试验荷载逐渐单调增加到结构破坏或预定的状态目标,研究结构受力性能的试验。

拟静力试验也称低周期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。

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。由于这种试验是用静力方式进行的而不是在振动过程中完成的,故称拟动力试验。

### (2) 动力试验

研究动荷载的特性、结构的动力特性及结构在不同性质动荷载作用下的动力反应试验,如研究铁路或公路桥梁的振动特性、工业厂房中的吊车梁的疲劳强度与疲劳寿命、大跨结构和高耸结构在风荷载作用下的动力问题。结构动力试验主要包括动荷载特性试验、结构的动力特性试验、结构的动力反应试验、模拟地震振动台试验、风洞试验和结构疲劳试验等。

#### 1) 动荷载的特性试验

动荷载的特性试验主要包括测动荷载自身参数和主振源的测定试验。

动荷载的特性包括作用力的大小、方向、频率及其作用规律等。通常采用直接测定法、间接测定法和比较测定法。

直接测定法是直接测定动荷载本身参数以确定其特性。

间接测定法是把要测定动力的机器安装在有足够弹性变形的专用结构上,先进行结构的静力和动力特性的测定(可采用突加或突卸荷载法),确定结构的刚度和惯性力矩、自振频率、阻尼比及已知简谐外力作用下的振幅。然后,开动机器用仪器测定并记录结构的振动情况,根据所测数据来确定动力机器的特性。

比较测定法是通过比较振源的承载结构(楼板、框架或基础)在已知动荷载作用下的振动情况和在待测振源作用下的振动情况,进而得出动荷载的特性。

结构发生振动,其主振源并不总是显而易见的,这时主振源的测定可以通过下述一些试验方法来测定。当工业厂房内有多台动力机械设备时,可以逐个开动,观察结构在每个振源影响下的振动情况,从中找出主振源,但是这种方法往往由于影响生产而不便实现。也可以分析实测振动波形,根据不同振源将会引起不同规律的强迫振动这一特点,来间接判定振源的某些性质,作为探测主振源的参考依据。

## 2) 结构动力特性试验

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,也可以在实验室对模型结构进行动力特性试验。

## 3) 结构的动力反应试验

结构的动力反应试验是测定结构在实际工作时的振动参数(振幅、频率)及性状,如动力机器作用下厂房结构的振动、在移动荷载作用下桥梁的振动、地震时建筑结构的动力反应(强震观测)等。量测得到的这些资料,用来研究结构的工作是否正常、安全,存在何种问题,薄弱环节在何处。

## 4) 模拟地震振动台试验

地震对结构的作用是由于地面运动而引起的一种惯性力。模拟地震振动台试验是通过振动台对结构输入正弦波或地震波,可以再现各种形式地震波输入后的结构反应和地震震害发生的过程,观测试验结构在相应各个阶段的力学性能,进行随机振动分析,使人们对地震破坏作用进行深入的研究。

由于目前的理论和数值分析方法还不能完全解决结构非线性地震响应的计算,通过振动台模型试验,研究新型结构计算理论的正确性,有助于力学计算模型的建立。因此,振动台试验常常成为必要的“结构试验分析方法”。

## 5) 风洞试验

为了系统地研究风力对各种结构的作用,除了实测试验之外,还采用缩小模型或相似模型在专门的试验装置内模拟风力试验,即风洞试验。工程结构风洞实验装置是一种能够产生和控制气流,以模拟建筑或桥梁等结构物周围的空气流动,并可量测气流对结构的作用,以及观察有关物理现象的一种管状空气动力学试验设备。

## 6) 疲劳试验

结构疲劳试验的目的就是要了解在重复荷载作用下结构的性能及变化规律。结构构件疲劳试验一般均在专门的疲劳试验机上进行,大部分采用电液伺服疲劳试验机或电磁脉冲千斤顶施加重复或反复荷载,也有的采用偏心轮式振动设备加载。对结构构件的疲劳试验大多采用等幅匀速脉动荷载,借以模拟结构构件在使用阶段不断反复加载和卸载的受力状态。

除上述几种典型的结构动力试验外,在工程实践和科学研究中,还有强迫振动试验、冲击碰撞试验等结构动力试验。

### 3. 实体试验和模型试验(prototype testing and model testing)

根据试验对象的不同,可以分为实体试验和模型试验。

#### (1) 实体试验

实体试验的试验对象一般是实际结构或构件,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观测和了解。

#### (2) 模型试验

模型是仿照原型(真实结构)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。模型的设计制作及试验是根据相似理论,用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(或称比例荷载),使模型受力后重演原型的实际工况,最后按照相似理论由模型试验结果推算实际结构的性能。

### 4. 实验室试验和现场试验(laboratory testing and field testing)

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。近年来,我国大专院校和科研机构建造许多大型结构实验室,为进行模型试验和足尺结构的整体试验提供了比较理想的条件。实验室试验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

现场试验是指在生产和施工现场进行的试验。与实验室试验相比,由于客观环境条件的影响,加载方法和量测方法受到了一定的限制。所以应选择适当的检测试验方法以提高试验的准确度。

### 5. 非破坏性试验和破坏性试验(non-destructive testing and structural destructive testing)

根据结构或构件破坏与否,可以分为非破坏性试验和破坏性试验。

#### (1) 非破坏性试验

非破坏性试验有使用性能检验和承载力检验。检验的对象可以是实际的结构或构件,也可以是足尺的模型。

通过使用性能检验以证实结构或构件在规定荷载的作用下不出现过大的变形和损伤。承载力检验用于证实结构或构件的设计承载力。

#### (2) 结构破坏性试验

破坏性试验的目的是为了掌握试验结构或构件由弹性阶段进入塑性阶段甚至破坏阶段时的结构性能和破坏形态等试验资料,常用于确定结构或模型的实际承载力。

实际上,实体结构的破坏性试验,不论在费用上还是在方法上都存在一些具体的问题,特别



是在结构进入破坏阶段后试验是比较困难的。因此,破坏性试验的对象一般均以模型结构或构件为对象,也可以是足尺的模型或不再使用的结构或构件。

## 6. 短期荷载试验和长期荷载试验(short term loading testing and long term loading testing)

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

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,一般情况下,都是采用短期荷载试验,即荷载从零开始一直施加到结构破坏或到某阶段进行卸载,荷载作用时间短。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,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。

## 1.1.2 结构检测(structure inspection)

结构检测是为评定结构工程的质量或鉴定既有结构的性能等所实施的检测工作。结构检测的含义应是广义的,不应单纯局限于仪器量测的数据。检测包括检查和测试。前者一般是指利用目测了解结构或构件的外观情况,如结构是否有裂缝,基础是否有沉降,混凝土结构表面是否存在蜂窝、麻面,钢结构焊缝是否存在夹渣、气泡,连接构件是否松动等,主要是进行定性判别;后者是指通过工具或仪器测量了解结构构件的力学性能和几何特征。对观察到的情况要详细记录,对测量的数据要做好原始记录,并对原始记录进行必要的统计和计算。

结构检测可分为结构工程质量的检测和既有结构性能的检测。

### 1. 结构工程质量的检测(structure quality inspection)

结构工程质量的检测目的在于控制新建结构在施工过程中可能出现的质量问题,处理工程质量事故,评估新结构、新材料和新工艺的应用等。当遇到下列情况之一时,应进行结构工程质量的检测。

- ① 涉及结构安全的试块、试件及有关材料检验数量不足。
- ② 对施工质量的抽样检测结果达不到设计要求。
- ③ 对施工质量有怀疑或争议,需要通过检测进一步分析结构的可靠性。
- ④ 发生工程事故,需要通过检测分析事故的原因及对结构可靠性的影响。

### 2. 既有结构性能的检测(existing structure quality inspection)

既有结构性能的检测目的在于评估既有结构的安全性和可靠性,为结构的改造和加固处理提供依据。检测对象为已建成并投入使用的结构。当其遇到下列情况之一时,应对其现状缺陷