



住建部高等学校土木工程学科专业指导委员会卓越专项教改成果  
高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

Civil Engineering Structural Test

# 土木工程结构试验

· 平台课课程群 ·

主编 王天稳

主审 卢亦焱



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

014033077

TU317-43

19

住建部高等学校土木工程学科专业指导委员会卓越专项教改成果  
高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

# 土木工程结构试验

主 编 王天稳  
主 审 卢亦焱  
企业支持 中国建筑第三工程局有限公司



TU317-43

19



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社



北航

C1721325

14033072

图书在版编目(CIP)数据

土木工程结构试验/王天稳主编. —武汉:武汉大学出版社,2014.3  
高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材  
ISBN 978-7-307-12400-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 306885 号

王天稳 编 主  
余亦舟 审 主  
荆州市鸿盛印务有限公司 印 支业金



责任编辑:余 梦      责任校对:谢守琪      装帧设计:吴 极

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)  
(电子邮件:whu\_publish@163.com 网址:www.stmpress.cn)

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司  
开本:880×1230 1/16      印张:17.5      字数:573千字  
版次:2014年3月第1版      2014年3月第1次印刷  
ISBN 978-7-307-12400-4      定价:36.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

# 高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划系列规划教材

## 学术委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:周创兵

副主任委员:方志 叶列平 何若全 沙爱民 范峰 周铁军 魏庆朝

委员:王辉 叶燎原 朱大勇 朱宏平 刘泉声 孙伟民 易思蓉

周云 赵宪忠 赵艳林 姜忻良 彭立敏 程桦 靖洪文

## 编审委员会名单

(按姓氏笔画排名)

主任委员:李国强

副主任委员:白国良 刘伯权 李正良 余志武 邹超英 徐礼华 高波

委员:丁克伟 丁建国 马昆林 王成 王湛 王媛 王薇

王广俊 王天稳 王曰国 王月明 王文顺 王代玉 王汝恒

王孟钧 王起才 王晓光 王清标 王震宇 牛荻涛 方俊

龙广成 申爱国 付钢 付厚利 冯鹏 曲成平 吕平

朱彦鹏 任伟新 华建民 刘小明 刘庆潭 刘素梅 刘新荣

刘殿忠 闫小青 祁皓 许伟 许程洁 许婷华 阮波

杜咏 李波 李斌 李东平 李远富 李炎锋 李耀庄

杨杨 杨志勇 杨淑娟 吴昊 吴明 吴轶 吴涛

何亚伯 何旭辉 余锋 冷伍明 汪梦甫 宋固全 张红

张纯 张飞涟 张向京 张运良 张学富 张晋元 张望喜

陈辉华 邵永松 岳健广 周天华 郑史雄 郑俊杰 胡世阳

侯建国 姜清辉 娄平 袁广林 桂国庆 贾连光 夏元友

夏军武 钱晓倩 高飞 高玮 郭东军 唐柏鉴 黄华

黄声享 曹平周 康明 阎奇武 董军 蒋刚 韩峰

韩庆华 舒兴平 童小东 童华炜 曾珂 雷宏刚 廖莎

廖海黎 缪宇宁 黎冰 戴公连 戴国亮 魏丽敏

## 出版技术支持

(按姓氏笔画排名)

项目团队:王睿 白立华 曲生伟 蔡巍



## 特别提示

教学实践表明,有效地利用数字化教学资源,对于学生学习能力以及问题意识的培养乃至怀疑精神的塑造具有重要意义。

通过对数字化教学资源的选取与利用,学生的学习从以教师主讲的单向指导的模式而成为一次建设性、发现性的学习,从被动学习而成为主动学习,由教师传播知识而到学生自己重新创造知识。这无疑是锻炼和提高学生的信息素养的大好机会,也是检验其学习能力、学习收获的最佳方式和途径之一。


本系列教材在相关编写人员的配合下,将逐步配备基本数字教学资源,其主要内容包括:

### 课程教学指导文件

- (1)课程教学大纲;
- (2)课程理论与实践教学时数;
- (3)课程教学日历:授课内容、授课时间、作业布置;
- (4)课程教学讲义、PowerPoint 电子教案。

### 课程教学延伸学习资源

- (1)课程教学参考案例集:计算例题、设计例题、工程实例等;
- (2)课程教学参考图片集:原理图、外观图、设计图等;
- (3)课程教学试题库:思考题、练习题、模拟试卷及参考解答;
- (4)课程实践教学(实习、实验、试验)指导文件;
- (5)课程设计(大作业)教学指导文件,以及典型设计范例;
- (6)专业培养方向毕业设计教学指导文件,以及典型设计范例;
- (7)相关参考文献:产业政策、技术标准、专利文献、学术论文、研究报告等。

 本书基本数字教学资源及读者信息反馈表请登录 [www.stmpress.cn](http://www.stmpress.cn) 下载,欢迎您对本书提出宝贵意见。

清华大学出版社

(含插图及光盘)

清华大学出版社 北京 2010 年 1 月

# 前 言

本教材是根据高等学校土木工程专业卓越工程师教育培养计划的要求编写的,其特点是在学习土木工程结构试验基本原理、技术和方法的基础上,加强实践能力和创新能力的培养。在每章前给出内容提要、能力要求,每章后给出典型的工程实例、案例分析、知识归纳和独立思考等内容,使学生在课程学习时理论联系实际,并结合不同试验技术、技能的实际操作和训练,培养学生解决实际工程问题的能力。

“土木工程结构试验”是土木工程专业的一门专业技术课程,是研究土木工程结构新材料、新结构、新施工工艺及检验结构计算和设计理论的重要手段,在土木工程结构科学研究和创新等方面起着重要作用。通过本课程的学习,使学生获得土木工程结构方面的基本知识和基本技能,掌握一般工程结构试验规划设计、结构试验、工程结构检测和建筑物鉴定的方法,以及根据试验结果作出正确的分析和结论的能力,为今后从事科学研究和工程检测打下良好的基础。

随着科学技术的进步,土木工程结构试验理论和技术不断发展,特别是电子技术和计算机的发展和运用,在土木工程结构试验仪器设备和试验自动化方面起到了巨大的推动作用。由于土木工程结构试验逐步走向仪器设备小型化、测试高精度化、试验过程和数据分析自动化,使土木工程结构试验的发展产生了根本的变化。本教材编写的指导思想是力求涵盖土木工程各学科领域,使学生了解土木工程相关学科的试验技术和内容,特别是计算机在试验控制和处理技术方面的应用等,力求反映国内外土木工程结构试验方面的新理论、新技术,特别是在测量仪器自动化、计算机化等方面的发展,使学生了解土木工程结构试验理论、技术的发展和趋势。

随着形势的发展和学科建设的需要,土木工程专业的课程不断调整,各高校在土木工程结构试验的授课学时上不尽相同,选用本教材时,可选择部分章节作为本科生教学内容,部分章节作为研究生教学内容。

本书的作者编写分工如下:武汉大学王天稳(概论);武汉大学李杉(第1章、第5章);三峡大学徐港(第2章、第9章);吉林大学王伯昕(第3章、第7章、第8章);北京工业大学陈适才(第4章、第6章)。全书由王天稳担任主编,陈适才担任副主编,由王天稳、陈适才负责统稿。

全书由武汉大学卢亦焱教授担任主审,感谢卢教授在百忙之中对全书进行审阅,并提出了宝贵意见。

在本书编写过程中,中国建筑第三工程局有限公司提出了很多宝贵意见,在此表示感谢。

本书在编写过程中参考了国内同行的相关著作、教材、论文和试验资料,也参考了仪器设备生产厂家的资料和说明书,在此表示感谢。

由于编者业务水平有限,编写中难免有漏误之处,敬请读者批评指正,以便及时修正。

编 者

2013年11月

# 目 录

0 概论	(1)	1.7 试验大纲及基本文件	(17)
0.1 土木工程结构试验在科学中的作用与地位	(2)	1.7.1 结构试验大纲	(17)
0.2 土木工程结构试验的任务	(2)	1.7.2 试验基本文件	(18)
0.3 土木工程结构试验的分类	(3)	案例分析	(20)
0.3.1 生产鉴定性试验	(3)	知识归纳	(20)
0.3.2 科学研究性试验	(3)	独立思考	(20)
0.4 土木工程结构试验的一般过程	(4)	参考文献	(21)
0.4.1 试验规划阶段	(4)	2 土木工程结构静载试验	(22)
0.4.2 试验准备阶段	(4)	2.1 概述	(23)
0.4.3 试验加载测试阶段	(4)	2.2 试验加载系统	(23)
0.4.4 试验资料整理分析阶段	(5)	2.2.1 重力加载法	(24)
0.5 土木工程结构试验课程的学习方法	(5)	2.2.2 机械力加载法	(26)
知识归纳	(5)	2.2.3 液压加载法	(26)
独立思考	(6)	2.2.4 气压加载法	(28)
参考文献	(6)	2.2.5 加载辅助设备	(28)
1 土木工程结构试验设计	(7)	2.3 试验量测仪器	(31)
1.1 概述	(8)	2.3.1 量测仪器的基本组成	(32)
1.2 结构试验设计的一般程序	(8)	2.3.2 量测仪器的工作原理	(32)
1.2.1 科学研究性试验	(9)	2.3.3 量测仪器的主要性能指标	(32)
1.2.2 生产鉴定性试验	(9)	2.3.4 量测仪器的选用原则	(33)
1.3 结构试验试件设计	(9)	2.3.5 仪器的率定	(33)
1.3.1 试件形状	(9)	2.3.6 应变量测	(33)
1.3.2 试件尺寸	(10)	2.3.7 位移量测	(40)
1.3.3 试件数量	(10)	2.3.8 力值量测	(42)
1.4 结构试验荷载设计	(11)	2.3.9 裂缝观察	(44)
1.4.1 试件就位形式	(11)	2.3.10 数据采集系统	(45)
1.4.2 试验的荷载图式	(12)	2.4 工程结构试验方法	(47)
1.4.3 试验荷载	(13)	2.4.1 试验前的准备	(47)
1.4.4 试验装置	(13)	2.4.2 加载方案	(48)
1.4.5 试验加载制度	(14)	2.4.3 量测方案	(49)
1.5 结构试验观测设计	(15)	2.4.4 一般结构构件静力试验	(50)
1.5.1 观测项目的确定	(15)	2.5 试验资料整理	(54)
1.5.2 测点的选择和布置原则	(15)	2.5.1 试验原始资料的整理	(54)
1.5.3 仪器选择与测读原则	(16)	2.5.2 试验结果的表达	(54)
1.6 安全措施	(17)	2.5.3 应变量测结果	(56)
		2.5.4 挠度测量结果计算	(60)



2.6 结构性能的评定 .....	(61)	4.3.1 模拟地震振动台 .....	(109)
2.6.1 结构、构件承载力评定 .....	(61)	4.3.2 试验加载过程 .....	(110)
2.6.2 结构挠度评定 .....	(63)	4.3.3 试验的观测和动态反应量测 .....	(111)
2.6.3 结构抗裂性评定 .....	(63)	4.4 人工地震模拟试验 .....	(111)
2.6.4 构件结构性能评定 .....	(63)	4.4.1 爆破方法 .....	(111)
案例分析 .....	(65)	4.4.2 人工地震模拟试验的动力反应 问题 .....	(112)
知识归纳 .....	(66)	4.4.3 人工地震模拟试验的量测技术 问题 .....	(112)
独立思考 .....	(66)	4.5 天然地震试验 .....	(113)
参考文献 .....	(67)	案例分析 .....	(120)
<b>3 土木工程结构动力试验 .....</b>	<b>(68)</b>	知识归纳 .....	(126)
3.1 概述 .....	(69)	独立思考 .....	(127)
3.2 动载试验荷载模拟 .....	(70)	参考文献 .....	(127)
3.2.1 电磁式激振器 .....	(70)	<b>5 结构检测与建筑物可靠性鉴定 .....</b>	<b>(128)</b>
3.2.2 偏心式激振器 .....	(71)	5.1 概述 .....	(129)
3.2.3 结构疲劳试验机 .....	(72)	5.2 结构检测的一般程序 .....	(129)
3.3 动载试验量测仪器 .....	(72)	5.3 混凝土结构检测 .....	(131)
3.3.1 测振仪器的性能指标 .....	(73)	5.3.1 原材料性能 .....	(131)
3.3.2 惯性式测振传感器 .....	(73)	5.3.2 混凝土强度检测 .....	(131)
3.3.3 测振放大器 .....	(75)	5.3.3 混凝土构件外观质量与缺陷 检测 .....	(142)
3.3.4 测振记录仪 .....	(77)	5.3.4 尺寸与偏差检测 .....	(147)
3.4 动参数的测量 .....	(78)	5.3.5 变形和损伤 .....	(147)
3.4.1 动荷载特性的测定 .....	(78)	5.3.6 混凝土结构钢筋检测 .....	(148)
3.4.2 结构自振特性的测定 .....	(80)	5.4 钢结构检测 .....	(150)
3.4.3 结构动力反应的测定 .....	(83)	5.4.1 钢材外观质量检测 .....	(150)
3.4.4 结构疲劳试验 .....	(84)	5.4.2 尺寸偏差检测 .....	(150)
3.5 振动信号处理及分析 .....	(87)	5.4.3 连接构造和腐蚀检查 .....	(151)
3.5.1 合成波形的谐量分析 .....	(87)	5.4.4 钢材力学性能检测 .....	(151)
3.5.2 工程结构自振特性的数据处理 方法 .....	(89)	5.4.5 钢材与焊缝缺陷检测 .....	(152)
3.5.3 相关分析与频谱分析 .....	(93)	5.5 砌体结构检测 .....	(153)
案例分析 .....	(97)	5.5.1 砌筑块材检测 .....	(155)
知识归纳 .....	(99)	5.5.2 砌筑砂浆检测 .....	(157)
独立思考 .....	(99)	5.5.3 砌体强度检测 .....	(160)
参考文献 .....	(99)	5.5.4 砌筑质量与构造 .....	(166)
<b>4 工程结构抗震试验 .....</b>	<b>(100)</b>	5.5.5 变形与损伤 .....	(167)
4.1 概述 .....	(101)	5.6 建筑结构可靠性鉴定 .....	(167)
4.1.1 结构抗震试验的特点 .....	(101)	5.6.1 结构可靠性鉴定的特点 .....	(167)
4.1.2 结构抗震试验方法分类 .....	(101)	5.6.2 结构可靠性鉴定的一般程序 .....	(168)
4.2 结构抗震静力试验 .....	(102)	5.6.3 子项的分级标准和评级方法 .....	(168)
4.2.1 拟静力试验 .....	(102)	5.6.4 项目的分级标准和评级方法 .....	(169)
4.2.2 拟动力试验 .....	(107)	5.6.5 单元综合鉴定评级 .....	(169)
4.3 模拟地震振动台试验 .....	(109)		



案例分析 .....	(172)	8.1.1 缩尺模型 .....	(220)
知识归纳 .....	(172)	8.1.2 相似模型 .....	(220)
独立思考 .....	(172)	8.1.3 结构模型试验的特点 .....	(221)
参考文献 .....	(173)	8.2 模型设计相似原理 .....	(221)
<b>6 桥梁现场荷载试验</b> .....	(174)	8.2.1 相似常数 .....	(222)
6.1 概述 .....	(175)	8.2.2 相似原理 .....	(223)
6.2 桥梁结构静载试验 .....	(175)	8.2.3 相似条件的确定方法 .....	(224)
6.2.1 桥梁静载试验的任务 .....	(175)	8.3 结构模型设计 .....	(228)
6.2.2 桥梁静载试验准备 .....	(176)	8.3.1 结构模型设计的程序 .....	(228)
6.2.3 桥梁静载试验方案设计 .....	(176)	8.3.2 结构静力模型设计 .....	(229)
6.2.4 试验结果分析与评定 .....	(181)	8.3.3 结构动力模型设计 .....	(230)
6.3 桥梁结构动载试验 .....	(183)	8.4 模型材料与模型制作 .....	(231)
6.3.1 桥梁动载试验的任务 .....	(183)	8.4.1 模型材料 .....	(231)
6.3.2 桥梁动载试验方案设计 .....	(183)	8.4.2 模型制作 .....	(233)
6.3.3 试验结果分析与评定 .....	(185)	8.4.3 结构模型试验应注意的问题 .....	(233)
6.4 桥梁健康监测 .....	(186)	案例分析 .....	(235)
案例分析 .....	(192)	知识归纳 .....	(236)
知识归纳 .....	(195)	独立思考 .....	(236)
独立思考 .....	(196)	参考文献 .....	(236)
参考文献 .....	(196)	<b>9 结构试验的数据处理</b> .....	(237)
<b>7 桩基现场试验</b> .....	(197)	9.1 概述 .....	(238)
7.1 概述 .....	(198)	9.2 试验误差 .....	(238)
7.2 桩基静载试验 .....	(199)	9.2.1 系统误差 .....	(238)
7.2.1 试验目的和意义 .....	(199)	9.2.2 随机误差 .....	(239)
7.2.2 试验加载与量测装置 .....	(200)	9.2.3 粗大误差 .....	(239)
7.2.3 试桩制作要求 .....	(201)	9.3 试验数据整理依据 .....	(239)
7.2.4 单桩竖向静载试验方法 .....	(201)	9.3.1 正态分布的规律 .....	(240)
7.2.5 试验数据处理 .....	(202)	9.3.2 分布参数的估计 .....	(240)
7.3 桩基动力检测 .....	(204)	9.3.3 偶然误差的分布 .....	(243)
7.3.1 锤击贯入试验法 .....	(205)	9.3.4 误差的传递 .....	(244)
7.3.2 动力打桩公式法 .....	(206)	9.4 试验误差的计算 .....	(246)
7.3.3 静动法 .....	(208)	9.4.1 系统误差的修正 .....	(246)
7.4 低应变动力检测方法 .....	(209)	9.4.2 偶然误差的计算 .....	(246)
7.4.1 反射波法 .....	(209)	9.4.3 粗大误差的剔出 .....	(250)
7.4.2 机械阻抗法 .....	(210)	9.5 数据的统计分析 .....	(252)
7.4.3 动力参数法 .....	(213)	9.5.1 表格法 .....	(252)
案例分析 .....	(216)	9.5.2 图像法 .....	(253)
知识归纳 .....	(218)	9.5.3 函数法 .....	(255)
独立思考 .....	(218)	案例分析 .....	(264)
参考文献 .....	(218)	知识归纳 .....	(266)
<b>8 结构模型试验设计</b> .....	(219)	独立思考 .....	(267)
8.1 概述 .....	(220)	参考文献 .....	(267)

# 0

## 概 论

### 课前导读

#### □ 内容提要

本主要包括土木工程结构试验的作用与地位、土木工程结构试验的任务、土木工程结构试验的分类、土木工程结构试验的一般过程和本课程的学习方法。本章的教学重点为土木工程结构试验的分类、土木工程结构试验的一般过程；教学难点为如何掌握本课程的学习方法，为学好本课程打好基础。

#### □ 能力要求

通过本章的学习，学生应明确土木工程结构试验的任务和分类，熟悉土木工程结构试验的一般过程，掌握生产鉴定性试验和科学研究性试验分别解决哪些问题。

## 0.1 土木工程结构试验在科学中的作用与地位 >>>

实践是检验真理的唯一标准,即理论的预言一定要通过实践的检验来证实。在结构理论的发展中,结构试验是最有效的实践检验。

现代科学研究包括理论研究和试验研究两个过程,理论的发展需要试验来验证。受弯梁断面的应力分布的研究,经历了由假设—简单试验—理论分析—试验检验的阶段,前后两百多年的时间,说明了试验在理论发展中的作用和地位。

科学的发展都是以技术的突破为转机的。试验验证理论,而理论的发展又将试验推向更高的阶段,即指导试验。结构试验与结构理论的发展就是这样紧密地联系在一起,相互促进、相互发展的。

理论分析的方法虽然给出了结构应力分析的基本方程式,但在解决实际问题时,采用解析方法常常会遇到计算方面的困难,只能对有限的一些简单问题得出精确解。对于几何形状、边界条件、承受荷载复杂的结构,往往需要进行一些假设,而假设与实际影响的大小,要通过试验来验证。因此,所得结果为近似的,还要用试验验证能否用于实际工程。对于一些三维问题、应力集中和非匀质材料结构,仅靠理论解析方法求解十分困难,有时得不出结果,需要用试验的方法得出计算的公式。

随着电子计算机技术的发展,应用有限元等数值计算方法,使结构应力分析工作得到很大的提高,几乎对所有的计算问题均能求解。但是,数值方法计算,必须在建立正确数学模型的前提下,才能得出精确结果。在土木工程中,对于非匀质材料和某些特种结构的计算,用数值方法求解时,必须用试验方法加以验证或提供必要的参数。

在结构分析中,一方面可以用传统和现代的设计理论、现代的计算技术和方法;另一方面也可用结构试验、试验应力分析的方法。计算机技术的发展,在理论与试验之间提供了一条通过计算建立联系的新途径,使结构工程学科从理论与试验的两极构成变为理论、试验和计算三足鼎立的新学科结构。

计算机技术的发展,给结构试验的发展提供了无限的空间。计算机控制结构试验,使荷载施加、信号采集和数据处理等实现自动化成为可能,使结构试验真正成为一门科学。因此,计算机技术不仅为结构计算理论,也为结构试验技术提供了有利条件,并将成为发展结构理论和解决工程实践问题的重要手段。

## 0.2 土木工程结构试验的任务 >>>

“土木工程结构试验”是土木工程专业的一门专业课程,也是唯一独立的试验课程。它的任务是在结构或试验对象上,以仪器设备为工具,以各种试验技术为手段,在荷载(重力、机械扰动力、地震力、风力等)或其他因素(温度、变形沉降等)作用下,通过测试与结构工作性能有关的各种参数(变形、挠度、位移、应变、振幅、频率等)后进行分析,从而对结构的工作性能作出评价,对结构的承载能力作出正确的估计,并为验证和发展结构的计算理论提供可靠的依据。



## 0.3 土木工程结构试验的分类 >>>

根据不同的试验目的,结构试验可分为生产鉴定性试验和科学研究性试验两大类。

### 0.3.1 生产鉴定性试验

生产鉴定性试验以直接服务于生产为目的。以工程中实际结构构件为对象,通过试验或检测对结构作出技术结论,通常用来解决以下问题。

#### 0.3.1.1 检验或鉴定结构质量

对于一些比较重要的结构,建成后要通过试验,综合性地鉴定其质量的可靠程度。对于成批生产的预制构件或现场施工的其他构件,在出厂或安装之前,要求按照相应的试验规程或指标抽样检验,以推断成批产品的质量。

#### 0.3.1.2 判断结构的实际承载力

当旧建筑进行扩建、加层或改变结构用途时,往往要求通过试验确定旧结构的潜在能力,为加固、改建、扩建工程提供数据,这在缺乏结构的设计计算与图纸资料时更为必要。

#### 0.3.1.3 处理工程事故、提供技术依据

对于遭受火灾、爆炸、地震等原因而损伤的结构,或在建造使用中有严重缺陷的结构,往往要求通过试验和检测,判断结构在受灾破坏后的实际承载能力,为结构的再利用和处理提供技术依据。

### 0.3.2 科学研究性试验

科学研究性试验的目的是为结构的理论计算和研究服务。它按照事先周密考虑的计划来进行,试验的对象是专为试验而设计制造的。在试验设计和进行试验的同时,应突出研究的主要问题,消除一些对结构造成实际影响的次要因素,使试验工作合理,观测数据易于分析和总结,达到理论研究的目的。

#### 0.3.2.1 验证结构设计理论的假定

在结构设计中,为了计算上的方便,人们经常要对结构构件的计算图式和本构关系作某些简化假定,一般可以通过试验来加以验证,满足要求后用于实际工程中的结构计算。在结构静力和动力分析中,本构关系的模型化则完全是通过试验加以确定的。

#### 0.3.2.2 提供设计依据

我国现行的各种结构设计规范除了总结已有的大量科学实验的成果和经验外,为了理论和设计方法的发展,还进行了大量的结构试验以及实体建筑物的试验,为编制和修改结构设计规范提供试验数据。事实上,现行规范用的钢筋混凝土结构和砖石结构的计算理论和公式几乎全部是以试验研究的直接结果为基础的。对于实际工程中处于不同条件下的特种结构,应用理论分析的方法达不到理想的结果时,可用结构试验的方法确定结构的计算模式和公式的系数,解决工程中的实际问题。这些都体现了结构试验在发展设计理论和改进设计方法上的作用。

#### 0.3.2.3 提供实践经验

随着建筑科学和基本建设的发展,新结构、新材料和新工艺不断涌现。一种新材料的应用,一个新结构的设计或一项新工艺的施工,往往要经过多次的工程实践和科学试验,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完善。



## 0.4 土木工程结构试验的一般过程 >>>

土木工程结构试验大致可分为试验规划、试验准备、试验加载测试和试验资料整理分析四个阶段。

### 0.4.1 试验规划阶段

试验规划是指导整个试验工作的纲领性技术文件,因而试验规划的内容应尽可能的细致和全面,规划的任何一点疏忽都可能导致试验的失败。

科学研究性试验的规划,首先应根据研究课题,了解其在国内外的发展现状和前景,并通过搜集和查询有关文献资料,确定试验研究的目的和任务,确定试验的规模和性质;在此基础上决定试件设计的主要组合参数,并根据试验设备的能力确定试件的外形和尺寸;进行试件设计及制作;确定加载方法和设计支承系统;选定量测方法;进行设备和仪表的率定;做好材料性能试验或其他辅助试件的试验;制订试验安全防护措施;提出试验进度和试验技术人员分工;编写材料需用计划,经费开支及预算,试验设备、仪表及附件清算等。

生产鉴定性试验的规划,因为试件往往都是某一具体结构,一般不存在试件设计和制作问题,但需要搜集和研究该试件设计的原始资料,设计计算书和施工文件等,并应对构件进行实地考察,检查结构的设计和施工质量状况,最后根据检查的目的要求制订试验计划。

### 0.4.2 试验准备阶段

试验准备阶段是将规划阶段确定的试件按要求制作安装与就位,将加载设备和测试仪表安装就位,并完成辅助试验工作。试件制作完毕后,要进行实际几何尺寸的测量和外观质量检查,达到设计要求的才能安装就位。加载设备和测试仪表安装就位前,应完成相应的设备调试与仪表标定工作,性能正常的才可正式安装。

辅助试验完成后,要及时整理试验结果并作为结构试验的原始数据,对试验规划阶段确定的加载制度控制指标进行必要的修正。

工程结构试验准备工作十分烦琐,不仅牵涉面广,而且工作量较大。据估计,准备工作占全部试验工作量的1/3以上,试验准备阶段的工作质量直接影响到试验结果的准确程度,有时还关系到试验能否进行到底。

### 0.4.3 试验加载测试阶段

对试件施加外荷载是整个试验工作的中心环节,参加试验的每个工作人员应各就各位,各尽其职,做好本职工作,试验期间,一切工作都要按照试验的程序进行。对试验起控制作用的重要数据,应随时整理和分析,必要时还应跟踪观察其变化情况,并与事先计算的理论数据进行比较,若有反常现象应立即查明原因,排除故障,否则不得继续加载试验。

试验过程中除认真读数和记录外,还必须仔细观察结构的变形,混凝土结构的裂缝出现、走向及宽度,构件的破坏特征等。试件破坏后要绘制破坏特征图,有条件的可拍成录像,作为原始资料保存,以便研究分析时使用。

#### 0.4.4 试验资料整理分析阶段

通过试验准备和试验加载测试阶段,获得了大量数据和有关资料后,一般不能直接回答试验研究所提出的各类问题,必须将数据进行科学的整理、分析和计算,做到去粗取精,去伪存真,最后根据试验数据和资料编写试验报告。

以上各个阶段的工作性质虽有差别,但它们都是相互联系又相互制约的,各阶段的工作没有明显的界线,制订计划时不能只孤立地考虑某一阶段的工作,必须兼顾各个阶段的特点和要求,做出综合性的决策。

### 0.5 土木工程结构试验课程的学习方法 >>>

结构试验是研究试验规律、试验方法、测量技术和数据分析处理的学科,该课程的特点是涉及的知识面广,实践性强,因而在学习方法上值得注意的是:一方面重视相关理论知识和技术的学习,从分散的课本内容中找出相关联的东西,最后形成一个有机的整体;另一方面也必须重视试验环节、试验技术与技能方面的训练,勤于动手实验,才能较好地理解和熟悉所学的试验理论和试验技术,达到掌握这门科学的目的。

结构试验技术的发展,与工程结构实践经验的积累和试验仪器设备及量测技术的发展有着极为密切的关系。由于结构试验应用的日益广泛,目前,几乎每一个重要工程的新结构都要经过规模或大或小的检验后才投入使用。结构设计规范的制定和结构理论的发展也与试验研究紧密联系,另外,近代仪器设备应用到结构试验,为试验工作提供了有效的工具和先进的手段,使整个试验过程实现了自动化。国内科研机构、高等院校及生产单位等新建的结构实验室和科技工作者对结构试验技术的研究,也为结构试验学科的发展在理论上和物质上提供了有利条件。

今后应着重对结构试验的荷载模拟和荷载系统进行研究,逐步提高测量精度;引进先进的技术来解决应力、位移、裂缝、内部缺陷及振动的测量问题;开展结构模型试验理论、方法或结构非破损技术以及结构耐久性的研究等,使结构试验技术达到现代化水平,更好地适应和满足科学发展的需要。

#### 知识归纳

- (1) 工程结构试验与结构理论的发展紧密地联系在一起,相互促进,相互发展。
- (2) 工程结构的试验任务是在结构或试验对象上,以仪器设备为工具,利用各种试验技术,在荷载或其他因素作用下,通过测试与结构工作性能有关的各种参数后进行分析,从而对结构的工作性能作出评价,对结构的承载能力作出正确的估计,并为验证和发展结构的计算理论提供可靠的依据。
- (3) 根据试验目的的不同,结构试验可分为生产鉴定性试验和科学研究性试验两大类。
- (4) 工程结构试验大致可分为试验规划、试验准备、试验加载测试和试验资料整理分析四个阶段。
- (5) 学习中,一方面重视相关理论知识和技术的学习;另一方面也必须重视试验环节、试验技术与技能方面的训练。

## 独立思考

- 0-1 结构试验在结构理论发展中的作用是什么?
- 0-2 土木工程结构试验的任务是什么?
- 0-3 生产鉴定性试验通常解决哪些问题?
- 0-4 工程结构试验大致可分为哪几个阶段?
- 0-5 试验加载测试阶段应注意哪些问题?
- 0-6 在本课程学习中应注意哪些问题?

## 参考文献

- [1] 王天稳. 土木工程结构试验. 3版. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2013.
- [2] 熊仲明, 王社良. 土木工程结构试验. 北京: 中国建筑工业出版社, 2006.

# 土木工程结构试验 设计

## 课前导读

### 内容提要

本章主要从科学研究性试验和生产鉴定性试验两个方面介绍土木工程结构试验设计程序和要求，其内容包括试件设计、试验荷载设计、试验观测设计、试验大纲和试验报告编写。

### 能力要求

通过本章的学习，学生应明确土木工程结构试验的任务和分类，熟悉土木工程结构试验的一般过程，掌握生产鉴定性试验和科学研究性试验分别解决哪些问题。



## 1.1 概 述 >>>

土木工程结构试验可分为科学研究性试验和生产鉴定性试验。这两类试验的本质相似,均是通过试验来解决工程结构遇到的问题,揭示工程结构的本质属性。因此,这两类试验均主要包括试验设计、试验准备、试验实施和试验总结4个环节,这4个环节的主要内容以及相互之间的关系如图1-1所示。

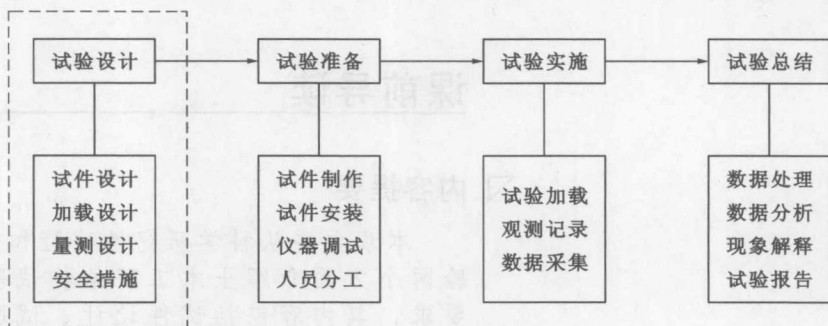


图 1-1 工程结构试验的主要环节

在进行试验设计前,首先必须明确试验的目的,然后进行资料搜集并研读,分析影响试验对象的参数;根据现有条件,初步确定试验的规模、试件的形式和尺寸、加载方法、测量方法和安全措施。经过反复论证合理后,再进行试验设计。工程结构试验设计是一项细致、复杂的工作,必须严肃认真,任何考虑不周都会影响试验结果,都可能导致试验失败,甚至危及人身安全。因此,试验设计要全面周到。并且,要预先估计试验过程中可能出现的情况,做好补救措施。

本章主要围绕科学研究性试验和生产鉴定性试验,阐述两类试验设计的程序和具体要求,包括工程结构试验设计的一般程序、试件设计、加载设计、量测设计、安全措施以及试验进度计划等。

## 1.2 结构试验设计的一般程序 >>>

合理的试验设计是试验成功的一个关键环节。其主要内容是对即将进行的试验工作进行全面规划,使试验设计与试验大纲统管和指导整个试验全局。由于试验任务和要求不同,试验设计必须考虑试验自身的特点与要求,确定合理的试件形状与尺寸,分析加载过程中各阶段试件的力学特征以及受力引起的物理现象;选定适合试件的试验场所、加载系统和量测系统。在此基础上,组织必要的人力物力,同时还需要参加试验的工作人员具有良好的协作精神。最后需要强调的是,试验需要资金的支持,因此,必须针对试验,提出试验经费预算,用最小的耗费达到试验预期的要求,取得最大的试验成果。

在试件设计、荷载设计等方面,科学研究性试验和生产鉴定性试验的试验设计略有不同。本节分别阐述科学研究性试验和生产鉴定性试验的试验设计的一般程序。