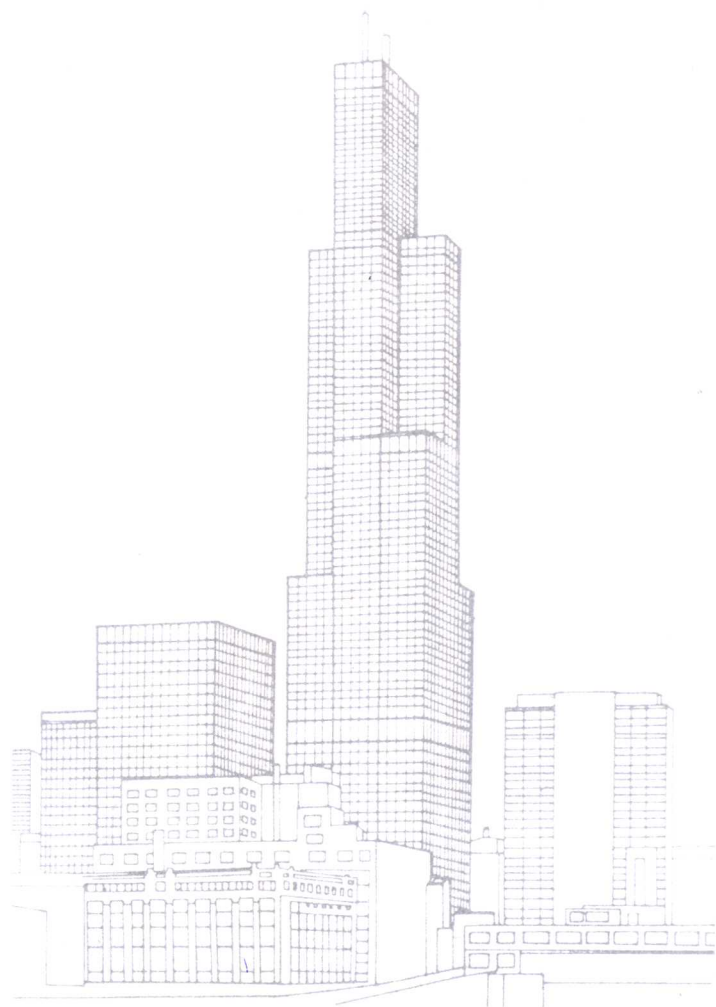


普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

土木工程结构试验

T M G C J G S Y

王天稳 主编



武汉理工大学出版社

WUTP

17
7

普通高等学校土木工程专业新编系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会 审订

土木工程结构试验

主 编 王天稳



武汉理工大学出版社

【内 容 提 要】

本书是根据土木工程专业教学要求编写的专业技术教材,内容包括工程结构试验设计、结构模型设计、工程结构静力试验、工程结构动力试验、工程结构抗震试验、工程结构非破损检测、桥梁现场荷载试验、桩基现场试验和试验数据的统计分析等。

本书可供高等学校土木工程专业和相近专业作为教材使用,也可供结构工程专业研究生、从事工程结构试验和检测的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/王天稳主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2003.7

ISBN 7-5629-1931-3

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(2003)第 034631 号

【主编简介】

王天稳 男,湖北武汉人,1953年6月出生。毕业于武汉水利电力大学,工学硕士。武汉大学土木建筑工程学院教授,工程结构试验室主任。从事钢筋混凝土结构基本理论和应用、土木工程结构试验、工程结构检测与加固的教学和研究工作。主持和参加的“钢筋混凝土梁的受力性能和计算方法”等4项研究课题通过鉴定,其成果已编入相关规范或应用于工程实践;进行工程结构、建筑物现场检测、鉴定和加固20多项;发表科研、教学研究、高校实验室建设和管理研究论文40余篇,其中2篇论文分获湖北省自然科学优秀二、三等奖。

E-mail:wtw628@sina.com

出版者:武汉理工大学出版社(武汉市珞狮路122号 邮编:430070)

印刷者:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

发行者:各地新华书店

开 本:880×1230 1/16

印 张:12.5

字 数:418千字

版 次:2003年7月第1版 2004年7月第2次印刷

书 号:ISBN 7-5629-1931-3/TU·215

印 数:5001—8000册

定 价:19.00元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

普通高等学校土木工程专业新编系列教材 编 审 委 员 会

顾 问:成文山 滕智明 罗福午 魏明钟 李少甫 甘绍焄

施楚贤 白绍良 彭少民 范令惠

主 任:江见鲸 吕西林 高鸣涵

副主任:朱宏亮 李永盛 辛克贵 袁海庆 吴培明 李世蓉

刘立新 赵明华 孙成林

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

于书翰 丰定国 毛鹤琴 王天稳 王社良 邓铁军

白晓红 包世华 田道全 叶献国 江见鲸 吕西林

刘立新 刘长滨 刘永坚 刘伟庆 朱宏亮 朱彦鹏

孙家齐 孙成林 过静君 闵小莹 李永盛 李世蓉

李必瑜 李启令 吴培明 吴炎海 吴炜煜 辛克贵

何铭新 汤康民 陈志源 汪梦甫 张立人 张子新

张建平 邵旭东 罗福午 周 云 赵明华 赵均海

尚守平 杨 平 柳炳康 姚甫昌 胡敏良 俞 晓

桂国庆 顾敏煜 徐茂波 袁海庆 徐 伟 徐礼华

高鸣涵 蒋沧如 彭少民 覃仁辉 雷俊卿 蔡德明

廖 莎 燕柳斌 戴国欣 魏明钟

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德明

出版说明

1998年教育部颁布了高等学校本科专业的专业目录后,1999年全国的高等学校都开始按照新专业目录招生。为解决土木工程专业教材缺乏的燃眉之急,武汉理工大学出版社(原武汉工业大学出版社)于2000年年初率先组织编写了这套“普通高等学校土木工程专业新编系列教材”。经中国土木工程学会教育工作委员会审订并向全国高校推荐,三年来,本套教材已为众多院校选用,并受到了普遍欢迎。其中多种教材荣获教育部全国高等学校优秀教材奖或优秀畅销书奖。截至2002年年底,系列教材中单本销量最高的已接近7万册。这充分说明了系列教材编审委员会关于教材的定位、特色和编写宗旨符合新专业的教学要求,满足了新专业的教学急需。

正如初版的出版说明中所说,本套教材是新专业目录颁布实施后的第一套土木工程专业系列教材,因此,尽管我们的编审者、编辑出版者夙兴夜寐、尽心竭力,不敢稍有懈怠,它仍然还会存在缺点和不足。首先是教材中涉及的各种国家规范问题。教材编写时正值各种规范全面修订,尚未定稿,新规范正式颁布的时间还不能确定,而专业教学对新教材需求的急迫又使编写、出版工作不能等待,因此系列教材中很多涉及到规范的地方只能按照当时基本定稿的新规范内容进行讲解或说明。当各种新的国家规范陆续正式颁布后,本套教材中相关的部分就已按照新规范及时编写了修订稿,准备作为第2版出版。其次,2002年10月,高等学校土木工程专业指导委员会编制的本科教育培养目标、培养方案及课程教学大纲正式公布,各门课程教材的修订有了更明确的方向。第三,初版教材在各院校使用过程中,师生们根据教学实践提出了很多中肯的意见,我们虽然在每本教材重印时进行了局部的修改,但仍感到存在一些问题,需要做较大的修订。因此,系列教材编审委员会决定全面修订、出版全套教材的第2版。根据土木工程专业教学需求,本套系列教材还将增补13种,也与第2版教材同时推出。教材的编审委员会委员也相应地进行了增补和调整。

第2版教材的修订及增补教材的编写仍然秉承编审委员会一贯的宗旨,把教材的质量放在第一位,力求更好地满足课程教学的需要。我们更希望使用教材的师生一如既往,继续关心本套教材,及时反馈各校专业建设和教学改革的信息与要求,多提意见和建议,以便我们及时修订,不断完善和提高,把教材打造成名副其实的精品。

武汉理工大学出版社

2003. 2

前 言

土木工程结构试验是土木工程专业的一门专业技术课程,与材料力学、结构力学、混凝土结构、砌体结构、钢结构、地基基础和桥梁结构等课程直接有关,并涉及物理学、机械与电子测量技术、数理统计分析等内容。因此,学好本课程除要求具备本专业的知识外,还应具有较广泛的技术知识。通过本课程的学习,使学生获得土木工程结构试验方面的基础知识和基本技能,掌握一般工程结构试验规划设计、结构试验、工程检测和鉴定的方法,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。

土木工程结构试验与检测是研究和发展结构计算理论的重要实践,从材料的力学性能到验证由各种材料构成不同类型结构和构件的基本计算方法,以及近年来发展的大量大跨、超高、复杂结构的计算理论,都离不开试验研究。因此,土木工程结构试验在土木工程结构科学研究和技术革新方面起着重要的作用,与结构设计、施工及推动土木工程学科的发展有着密切的关系,已逐步形成一门相对独立的学科,并日益引起科研人员和工程技术人员的关注和重视。

从教材建设方面,与土木工程结构的其他课程相比,不同特色的教材偏少。有些教材涉及土木工程相关学科的试验内容较少,不能适应土木工程专业各学科的要求,需要在内容上进行相应调整和增减。

随着科学技术的进步,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应用,对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。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,这些内容应及时反映在教材中,这也是教材要不断更新的目的。

本教材编写的指导思想是力求涵盖土木工程各学科领域,加强工程结构试验的设计。在编写中将拟静力试验、拟动力试验、模拟地震振动台试验、人工地震模拟试验和天然地震试验合并为工程结构抗震试验,并在原《建筑结构试验》的基础上,增加了土木工程结构试验设计、桥梁现场荷载试验和桩基现场试验等内容。同时力求反映国内外土木工程结构试验方面的新理论、新技术,特别是在测量仪器方面自动化、计算机化的发展。

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,各高校在工程结构试验的授课学时有不尽相同,选用本教材时,可选择部分章节作为本科生使用,部分章节作为研究生使用。

参加本教材编写的有:王天稳(绪论、第1章、第5章、第8章),熊世树(第2章、第6章),周详(第4章、第9章),田仲初(第7章),戴培君(第3章),全书由王天稳担任主编并负责统稿。

全书由孟吉复担任主审。感谢孟吉复教授在百忙之中对全书进行审阅,并提出了宝贵意见。

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

由于编者业务水平有限,编写中必有漏误之处,敬请专家同行和读者批评指正。

编 者

2003年3月

目 录

绪论	(1)
1. 工程结构理论与工程结构试验的关系	(1)
2. 工程结构试验与电算的关系	(1)
3. 工程结构试验的任务	(1)
4. 工程结构试验的分类	(1)
4.1 生产鉴定性试验	(2)
4.2 科学研究性试验	(2)
5. 工程结构试验的一般过程	(2)
5.1 试验规划阶段	(2)
5.2 试验准备阶段	(3)
5.3 试验加载测试阶段	(3)
5.4 试验资料整理分析阶段	(3)
6. 工程结构试验课程的特点	(3)
1 土木工程结构试验设计	(5)
1.1 概述	(5)
1.2 结构试件设计	(6)
1.2.1 试件的形状	(6)
1.2.2 试件尺寸	(7)
1.2.3 试件的数量	(8)
1.3 结构试验荷载设计	(9)
1.3.1 试件的就位形式	(9)
1.3.2 试验的荷载图式	(10)
1.3.3 试验荷载计算	(11)
1.3.4 试验加载程序设计	(11)
1.4 结构试验观测设计	(12)
1.4.1 观测项目的确定	(12)
1.4.2 测点的选择和布置原则	(13)
1.4.3 仪器选择与测读原则	(13)
1.5 试验大纲和试验报告	(14)
1.5.1 结构试验大纲	(14)
1.5.2 试验文件	(14)
1.5.3 试验报告	(15)
本章小结	(15)
2 结构模型设计	(16)
2.1 概述	(16)
2.1.1 缩尺模型	(16)
2.1.2 相似模型	(16)
2.2 模型设计相似原理	(16)
2.2.1 相似常数	(17)
2.2.2 相似原理	(18)

2.3	相似条件的确定方法	(19)
2.3.1	方程式分析法	(19)
2.3.2	量纲分析法	(20)
2.4	结构模型设计	(22)
2.4.1	结构模型设计的程序	(22)
2.4.2	结构静力模型设计	(23)
2.4.3	结构动力模型设计	(24)
2.5	模型材料与模型制作	(25)
2.5.1	模型材料	(25)
2.5.2	模型制作	(26)
	本章小结	(27)
3	工程结构静力试验	(28)
3.1	概述	(28)
3.2	试验荷载系统	(28)
3.2.1	重力加载	(29)
3.2.2	机械力加载	(29)
3.2.3	液压加载	(30)
3.2.4	气压加载	(31)
3.2.5	支座、支墩	(31)
3.2.6	反力架、反力墙	(32)
3.2.7	试验台座	(32)
3.3	试验测量仪器	(33)
3.3.1	应变测量仪器	(34)
3.3.2	其他参数测量仪器	(41)
3.3.3	数据采集系统	(43)
3.4	工程结构试验方法	(44)
3.4.1	试验前的准备	(44)
3.4.2	一般结构构件静力试验	(45)
3.5	试验资料整理与分析	(47)
3.5.1	试验原始资料的整理	(47)
3.5.2	试验结果的表达	(48)
3.5.3	应变测量结果分析	(49)
3.5.4	挠度测量结果计算	(53)
3.5.5	结构性能评定	(53)
	本章小结	(55)
4	工程结构动力试验	(57)
4.1	概述	(57)
4.2	激振设备	(58)
4.2.1	电磁式激振器	(58)
4.2.2	偏心式激振器	(58)
4.2.3	结构疲劳试验机	(59)
4.3	测振仪器	(60)
4.3.1	测振仪器的性能指标	(60)
4.3.2	惯性式测振传感器	(61)
4.3.3	测振放大器	(63)

4.3.4	测振记录仪	(65)
4.4	动参数的测量方法	(66)
4.4.1	动荷载特性的测定	(66)
4.4.2	结构自振特性的测定	(67)
4.4.3	结构动力反应的测定	(70)
4.4.4	结构疲劳试验	(71)
4.5	试验资料处理	(73)
4.5.1	合成波形的谐量分析	(74)
4.5.2	工程结构自振特性的数据处理方法	(75)
4.5.3	相关分析与频谱分析	(79)
	本章小结	(83)
5	工程结构抗震试验	(84)
5.1	概述	(84)
5.1.1	结构抗震试验的特点	(84)
5.1.2	结构抗震试验的内容	(84)
5.1.3	结构抗震试验分类	(85)
5.2	拟静力试验	(85)
5.2.1	加载装置	(86)
5.2.2	加载制度	(86)
5.2.3	钢筋混凝土框架梁柱节点拟静力试验	(87)
5.2.4	试验数据的确定原则和方法	(91)
5.3	拟动力试验	(92)
5.3.1	拟动力试验的设备	(92)
5.3.2	试验步骤	(93)
5.3.3	拟动力试验的特点和局限性	(93)
5.3.4	钢筋混凝土框架足尺结构联机试验	(93)
5.4	模拟地震振动台试验	(96)
5.4.1	模拟地震振动台	(96)
5.4.2	试验加载过程	(97)
5.4.3	试验的观测和动态反应量测	(98)
5.4.4	五层砌块房屋模拟振动台试验实例	(98)
5.5	人工地震模拟试验	(102)
5.5.1	爆破方法	(102)
5.5.2	人工地震模拟试验的动力反应问题	(102)
5.5.3	人工地震模拟试验的量测技术问题	(103)
5.5.4	人工地震模拟试验实例	(104)
5.6	天然地震试验	(106)
	本章小结	(107)
6	结构非破损检测与建筑物可靠性鉴定	(108)
6.1	概述	(108)
6.2	混凝土结构的非破损检测技术	(108)
6.2.1	混凝土强度的非破损检测技术	(108)
6.2.2	混凝土内部缺陷的超声法检测技术	(119)
6.2.3	混凝土内钢筋位置和锈蚀的检测技术	(125)
6.3	钢结构的无损检测技术	(126)

6.3.1	表面硬度法检测钢材强度	(126)
6.3.2	超声法检测钢材和焊缝缺陷	(126)
6.4	砌体结构强度的非破损检测技术	(127)
6.4.1	扁顶法测定砌体抗压强度	(128)
6.4.2	原位单砖双剪法测定砌体抗剪强度	(130)
6.4.3	砌体砂浆强度检测	(131)
6.4.4	砌体结构检测强度推定	(134)
6.5	建筑结构的可靠性鉴定	(134)
6.5.1	鉴定方法	(134)
6.5.2	鉴定分类	(135)
6.5.3	鉴定程序	(135)
	本章小结	(137)
7	桥梁现场荷载试验	(138)
7.1	概述	(138)
7.1.1	一般桥梁检测和现场试验的主要目的	(138)
7.1.2	静载试验的一般程序	(139)
7.2	桥梁试验的基本工作	(140)
7.2.1	试验对象的选择	(140)
7.2.2	试验依据和基本原则	(140)
7.2.3	理论计算与测试内容的确定	(140)
7.2.4	试验荷载工况的确定	(141)
7.2.5	加载方案	(141)
7.2.6	测点布置	(143)
7.2.7	测试仪器设备和专用仪器介绍	(144)
7.3	桥梁现场试验方法	(145)
7.3.1	静载试验	(145)
7.3.2	动载试验	(146)
7.3.3	振动试验	(147)
7.4	试验数据整理分析与评定	(148)
7.4.1	静载试验数据整理分析	(148)
7.4.2	动载试验数据分析与评定	(151)
7.4.3	动力特性试验数据分析与评定	(151)
7.5	桥梁健康监测	(152)
7.6	桥梁现场试验实例	(153)
7.6.1	静载试验实例	(153)
7.6.2	动载试验实例	(155)
	本章小结	(157)
8	桩基现场试验	(159)
8.1	概述	(159)
8.2	单桩垂直静载试验	(160)
8.2.1	试验的目的和意义	(160)
8.2.2	试验加载装置	(160)
8.2.3	试验条件	(160)
8.2.4	试验方法	(161)
8.2.5	试桩的承载力	(162)

8.3	高应变动力检测方法	(163)
8.3.1	锤击贯入试验法	(163)
8.3.2	动力打桩公式法	(164)
8.3.3	静动法	(166)
8.4	低应变动力检测方法	(168)
8.4.1	反射波法	(168)
8.4.2	机械阻抗法	(168)
8.4.3	动力参数法	(171)
	本章小结	(172)
9	试验数据的统计分析	(174)
9.1	概述	(174)
9.2	测量误差	(174)
9.2.1	系统误差	(174)
9.2.2	偶然误差	(175)
9.2.3	过失误差	(175)
9.3	试验数据整理依据	(175)
9.3.1	偶然误差的分布	(175)
9.3.2	误差的传递	(176)
9.4	试验误差的计算	(178)
9.4.1	偶然误差的计算	(178)
9.4.2	过失误差的剔出	(181)
9.4.3	系统误差的修正	(183)
9.5	一元线性回归分析	(183)
9.5.1	最小二乘法	(183)
9.5.2	直线回归方程的有效性	(185)
9.5.3	直线回归方程的精度	(186)
	本章小结	(187)
	参考文献	(188)

绪 论

实践是检验真理的惟一标准,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。

1. 工程结构理论与工程结构试验的关系

现代科学研究包括理论研究和试验研究,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,前后二百多年的时间,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。

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。

2. 工程结构试验与电算的关系

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,运用数值方法计算时,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中,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、实验应力分析的方法来解决。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,使结构工程学科由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的重要手段。

3. 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,也是惟一的一门独立的试验课程。它的任务是在结构或实验对象上,以仪器设备为工具,利用各种实验技术为手段,在荷载(重力、机械扰动力、地震力、风力……)或其他因素(温度、变形沉降……)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……)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。

4. 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。

4.1 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,通常解决以下问题:

4.1.1 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。

4.1.2 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。

4.1.3 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。

4.2 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,消除一些对结构上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。

4.2.1 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。

4.2.2 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,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。

4.2.3 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。

5. 工程结构试验的一般过程

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。

5.1 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地细致和全面,规划的任何一点疏忽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,了解其在国内外的的发展现状和前景,并通过收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;作好材料性能试验或其他辅助试件的试验;制定试验安全防护措施;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,但需要收集和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定试验计划。

5.2 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繁琐,不仅牵涉面广,而且工作量很大,据估计,准备工作约占全部试验工作量的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 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。

5.3 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,做好本岗工作,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,如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,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。

5.4 试验资料整理分析阶段

通过试验准备和加载试验阶段,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限,制定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。

6. 工程结构试验课程的特点

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,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,勤于亲自动手实验,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亦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、内部缺陷及振动的量测问题;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。

1 土木工程结构试验设计

本章提要

土木工程结构试验设计是试验规划阶段的工作,涉及工程结构试验中的试件设计、试验荷载设计、试验观测设计及试验大纲的编写。土木工程结构试验是一项细致而复杂的工作,任何疏忽大意都会影响试验结果和试验的正常进行,甚至导致试验的失败。因此在试验前对整个工作做出规划,对试件、试验荷载和试验观测进行合理的设计,从而定出试验大纲,为整个试验工作的顺利进行打下良好的基础。

1.1 概 述

土木工程结构试验包括结构试验设计、试验准备、试验实施和试验分析等主要环节,每个环节的工作内容和它们之间的关系如图 1.1 所示。

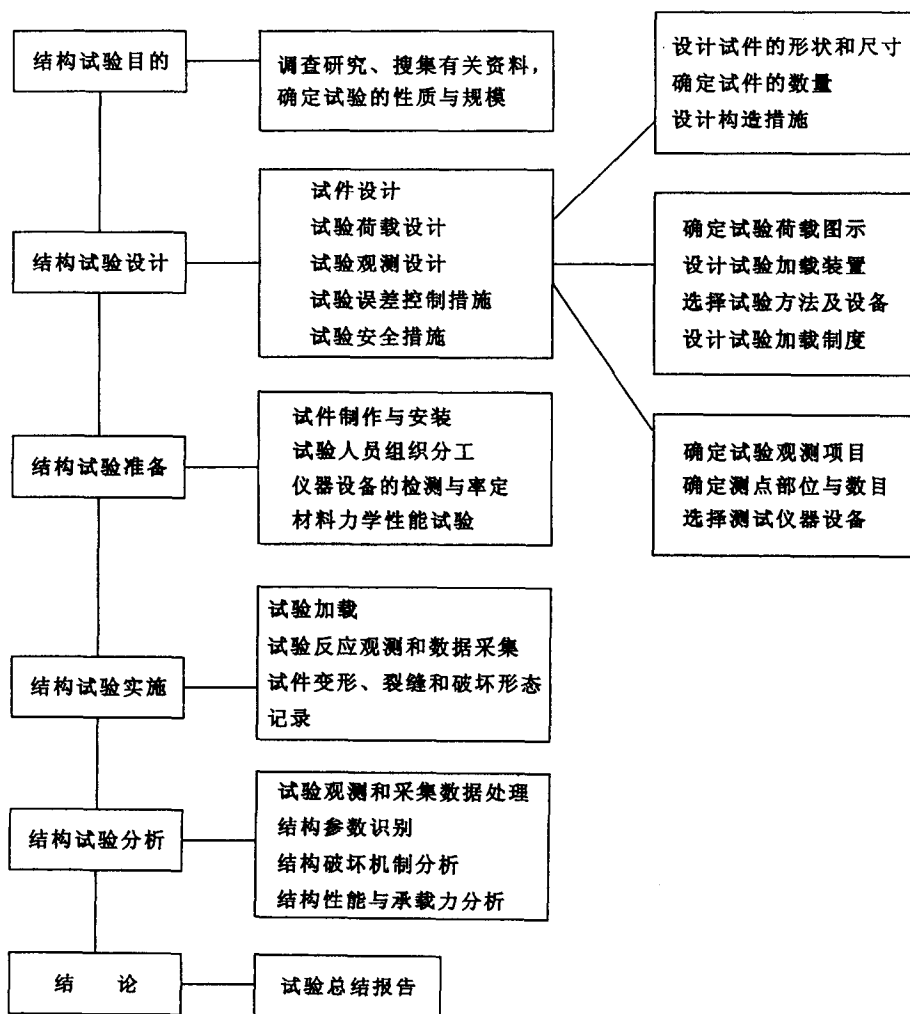


图 1.1 结构试验总框图

土木工程结构试验设计是整个试验中极为重要的并且带有全局性的一项工作,它的主要内容是对所要进行的结构试验工作进行全面的设计与规划,从而使设计的计划与试验大纲能对整个试验起着统管全局和具体指导作用。

在进行结构试验的总体设计时,首先应该反复研究试验的目的,充分了解本项试验研究或生产鉴定的任务要求,因为工程结构试验所具有的规模与所采用的试验方式都是根据试验研究的目的任务要求不同而变化的。试件的设计制作、加荷、量测方法的确定等各个环节不可单独考虑,而必须对各种因素相互联系综合考虑才能使设计结果在实施中最后达到预期目的。

生产鉴定性试验,试件往往是某一具体结构或构件,一般不存在试件设计和制作问题。在进行试验前要收集和研究的原始资料、设计计算书和施工文件等,并应对构件进行实地考察,检查构件的施工质量状况。对于生产使用情况,则需要深入现场向生产者和使用者调查了解;对于受灾损伤的结构,必须了解受灾原因、过程和结构的现状。对于实际调查的结果要认真整理,作为拟定试验方案、进行试验设计的依据。

科学研究性试验,首先根据研究课题,了解其在国内外的发展现状并通过收集和查阅有关文献资料,确定试验的性质与规模;进行试件设计,确定试件形状、尺寸和数量;试件加工制作;确定加载方案和设计加载系统;选定量测项目及量测方法,作好仪器设备的率定;制定试验安全措施;提出试验经费预算、消耗器材数量、规格与试验设备清单;在设计规划基础上提出试验大纲及进度计划。

由于近代仪器设备和测试技术的不断发展,大量新型的加荷设备和测量仪器被使用到土木工程结构试验中,这对试验工作者又提出了新的技术要求。所以在进行试验总体设计时,要求对所使用的仪器设备性能进行综合分析,对试验人员事先组织学习,掌握这方面的知识,以利于试验工作的顺利进行。

1.2 结构试件设计

结构试验中试件的形式和大小与结构试验的目的有关,它可以是真实结构,也可以是其中的某一部分。当不能采用足尺的原型结构进行试验时,也可用缩尺的模型。据调查,全国各大型结构试验室所作结构试验的试件,绝大部分为缩尺的部件,少量为整体模型试件。

采用模型试验可以大大节省材料,减少试验的工作量和缩短试验时间,用缩尺模型作结构试验时,应考虑试验模型与试验结构之间力学性能的相关关系。但是要想通过模型试验的结果来正确推断实际结构的工作,模型设计要做到完全相似往往有困难,此时应根据试验目的设法使主要的试验内容能满足相似条件。有关结构模型设计的内容在第2章中介绍。当然能用原型结构进行试验是较为理想的,但由于原型结构试验规模大,试验设备的容量和费用也大,所以大多数情况下还是采用缩尺的模型试验。基本构件的基本性能试验大都是用缩尺的构件,但它不一定存在缩尺比例的模拟问题,经常是由这类试件试验结果所得的数据,直接作为分析的依据。

试件设计应包括试件形状选择、试件尺寸与数量以及构造措施等。同时还必须满足结构与受力的边界条件、试件的破坏特征、试验加载条件的要求,以最少的试件数量获得最多的试验数据,反映研究的规律以满足研究的目的需要。

1.2.1 试件的形状

试件设计的基本要求,是构造一个与实际受力相一致的应力状态,当从整体结构中取出部分构件单独进行试验时,特别是对在比较复杂的超静定体系中的构件,必须要注意其边界条件的模拟,使其能反映该部分结构构件的实际工作状态。

如图1.2(a)所示,进行水平荷载作用的结构应力分析时,若试验A-A的柱脚、柱头部分时,试件要设计成如图1.2(b)所示;若试验B-B结头部分,试件设计成如图1.2(c);对于梁如设计成如图1.2(f)、(g)那样,则应力状态可与设计目的相一致。

做钢筋混凝土柱的试验研究时,若要探讨其挠曲破坏性能,试件图1.2(h)是足够的,但若做剪切性能的探讨,反弯点附近的应力状态与实际应力情况有所不同。为此,有必要采用图1.2(i)中的反对称加载。

试件设计时,在满足基本要求的情况下,应力求使试验做起来简单,又能得到好的结果。因此,对于梁