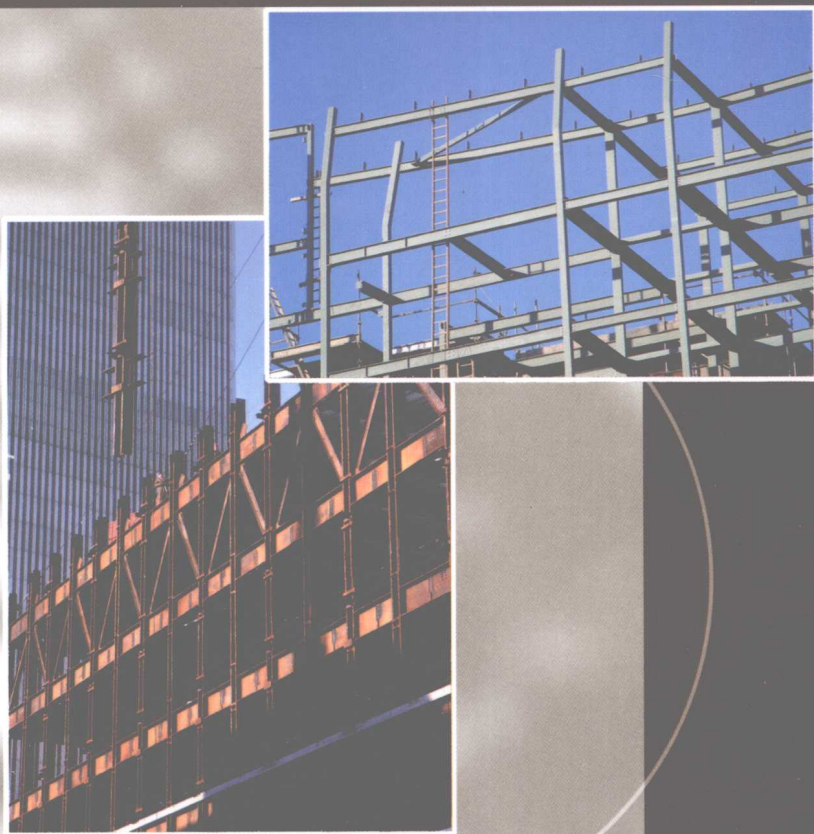




普通高等学校土木工程专业新编系列教材

土木工程结构试验

王军文 刘志勇 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等学校土木工程专业新编系列教材

土木工程结构试验

王军文 刘志勇 主编

中国铁道出版社

2008年·北京

内 容 简 介

本书根据土木工程专业教学要求编写,以结构试验的基本原理和基本知识为重点,注重理论和实践相结合,使学生全面掌握结构试验的基本方法和技能,以适应土木工程结构设计、施工、检测鉴定和科学研究工作的需要。

本书主要讲述结构试验荷载及加载技术,量测技术,模型试验,混凝土无损检测技术,预应力混凝土结构试验检测,钢结构试验检测,桥梁支座试验检测、基桩检测、桥梁静载试验和动载试验。

本书为高等学校土木工程专业教学用书,也可供其他相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

土木工程结构试验/王军文主编. —北京:中国铁道出版社,2008.12

(普通高等学校土木工程专业新编系列教材)

ISBN 978-7-113-09023-4

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(2008)第 142468 号

书 名: 土木工程结构试验

作 者: 王军文 刘志勇 主编

策划编辑: 李丽娟

责任编辑: 李丽娟 电话: (010)51873135

封面设计: 薛小卉

责任校对: 张玉华

责任印制: 金洪泽 陆 宁

出版发行: 中国铁道出版社(100054 北京市宣武区右安门西街8号)

印 刷: 北京市彩桥印刷有限责任公司

版 次: 2008年12月第1版 2008年12月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 15.75 字数: 400千

印 数: 1~3 000册

书 号: ISBN 978-7-113-09023-4/TU·942

定 价: 30.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电(010)51873170, 路电(021)73170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010)63549504, 路电(021)73187

前 言

本书是根据土木工程专业教学要求编写的,编写时以结构试验的基本原理和基本知识为重点,注重理论和实践相结合,使学生全面掌握结构试验的基本方法和技能,以适应土木工程结构设计、施工、检测鉴定和科学研究工作的需要。

结构试验是高校土木工程专业的一门专业技术基础课,是研究和发 展土木工程新结构、新材料、新工艺以及检验结构分析和设计理论的重要手段,在结构工程科学研究和技术创新等方面起着重要的作用。目前,结构试验已经成为土木工程专业学生必修的一门专业课程。结构试验教材已出现很多版本,随着结构试验技术的不断发展,实际工程结构中出现了很多新材料、新结构、新的施工工艺以及新的试验设备,这就要求我们要采用新的结构试验测试技术,才能适应工程实际需要。但是能够适应新的工程检测需要的教材不是很多,基于此,编者根据多年教学体会和工程实践的经验,汲取较为先进成熟的试验测试技术成果,参阅国内外有关教材和参考书,组织编写了一本适合本科生、研究生教学需要的教材。

本书由石家庄铁道学院土木工程分院结构实验室长期从事结构试验教学的老师编写。全书共分 11 章,其中第 1、2、3、5 章由刘志勇编写,第 4、6、11 章由王军文编写,第 7、9 章由牛润明编写,第 8、10 章由林玉森编写,全书由王军文统稿,由王海良教授主审。

本书在编写过程中得到了石家庄铁道学院有关领导的关怀和帮助,在此表示深深感谢!

书末列出了主要参考文献,供读者参考。参考文献甚多,未能一一列出,敬请作者见谅,在此也一并表示感谢!

由于编者学术水平和实践经验有限,读者在使用过程中,若发现书中有错误或不妥之处,敬请批评指正。

编 者

2008 年 5 月

目 录

第一章 结构试验概论	1
第一节 结构试验的概念.....	1
第二节 结构试验的一般过程.....	7
复习思考题	10
第二章 结构试验荷载及加载技术	11
第一节 结构试验荷载	11
第二节 结构试验的加载技术	15
复习思考题	29
第三章 结构试验量测技术	30
第一节 概 述	30
第二节 量测仪表基本概念及其主要技术指标	31
第三节 应变(力)测量	34
第四节 位移与变形测量	48
第五节 力值测量仪器	51
第六节 裂缝与温度测定	53
第七节 索力测量	55
第八节 振动测量仪器	57
复习思考题	64
第四章 结构模型试验	65
第一节 概 述	65
第二节 模型试验的相似理论基础	66
第三节 模型的分类	74
第四节 模型设计	75
第五节 动力模型设计	84
第六节 模型材料与选用	86
复习思考题	88
第五章 混凝土无损检测技术	89
第一节 概 述	89
第二节 回弹法检测混凝土强度	91
第三节 超声法检测混凝土强度	96
第四节 超声-回弹综合法检测混凝土强度	98
第五节 超声法检测混凝土缺陷.....	100

第六节	局部破损检测方法	111
第七节	混凝土内钢筋位置和钢筋锈蚀的检测技术	114
	复习思考题	115
第六章	预应力混凝土结构试验检测	116
第一节	预应力混凝土结构基本知识	116
第二节	预应力锚具、夹具及连接器检测	120
第三节	张拉设备校验	130
第四节	后张预应力混凝土梁孔道摩阻测试	135
第五节	成品梁试验	138
	复习思考题	143
第七章	钢结构试验检测	144
第一节	构件焊接质量检验	144
第二节	焊后成品的检验	145
第三节	钢材焊缝无损探伤	146
第四节	高强螺栓及组合件力学性能试验	149
第五节	漆膜厚度现场检测	151
	复习思考题	152
第八章	桥梁支座和伸缩缝装置试验检测	153
第一节	桥梁支座检测	153
第二节	桥梁伸缩装置检测	167
	复习思考题	172
第九章	基桩的完整性检测及承载力评定	173
第一节	桩的基本知识	173
第二节	基桩低应变完整性检测	175
第三节	基桩高应变承载力检测	182
第四节	基桩的竖向静载抗压试验	187
第五节	基桩的竖向抗拔静载试验	192
第六节	基桩的水平静载试验	195
	复习思考题	198
第十章	桥梁结构静载试验	199
第一节	桥梁荷载试验的目的及主要内容	199
第二节	试验方案与实施	202
第三节	测点设置与观测	206
第四节	加载试验的控制与安全措施	210
第五节	静载试验数据整理	211
第六节	加载试验成果分析与评定	213
第七节	静载试验报告编写	215
	复习思考题	216
第十一章	桥梁结构动载试验	217

第一节	概 述	217
第二节	桥梁结构动力特性的测试	219
第三节	桥梁结构动力反应的测定	227
第四节	工程结构疲劳试验	231
第五节	动测数据的整理、分析与评价	234
第六节	动载试验报告编写	241
	复习思考题	242
	参考文献	243

第一章

结构试验概论

第一节 结构试验的概念

“结构试验”是土木工程专业的一门专业技术基础课,主要介绍结构试验的理论和方法。通过这门课的学习,可以掌握结构试验的基本原理,了解结构试验的仪器、仪表和试验设备,在结构试验中进一步认识结构性能并培养学生进行结构试验的能力。

它的任务是基于结构基本原理,使用各种仪器仪表和试验设备,通过有计划地对结构物受载后的性能进行观测,对测量参数(位移、应力、振幅、频率等)进行分析,达到对结构物的工作性能作出评价,对其承载能力作出正确估计,并为验证和发展结构的计算理论提供依据的目的。

例 1 钢筋混凝土简支梁静载试验,如图 1-1 所示。钢筋混凝土简支梁在静力集中荷载作用下,可以通过测量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、刚度和抗裂性能。

例 2 刚架承受水平荷载的动力试验,如图 1-2 所示。当一个框架承受水平的动力荷载时,同样可以测得结构的自振频率、阻尼系数、振幅和动应变等参数,进而研究结构的动力特性和结构承受动力荷载的动力反应。

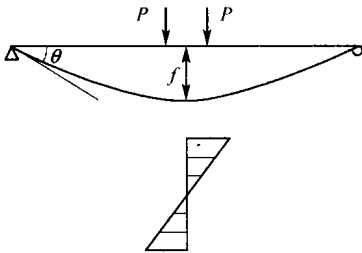


图 1-1 钢筋混凝土简支梁静载试验

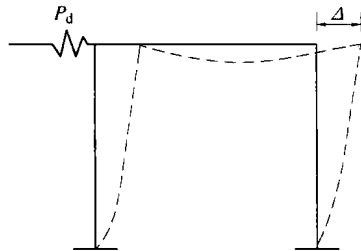


图 1-2 刚架承受水平荷载的动力试验

例 3 结构抗震性能试验。在结构抗震研究中,经常让结构承受低周反复荷载作用,测量反映结构应力与应变关系的滞回曲线,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。

一、结构试验的作用

1. 结构试验是发展结构理论的重要途径

如受弯构件断面应力分布问题,由材料力学可知,截面中性轴以上受压、以下受拉。早在 17 世纪初期,著名科学家伽利略首先研究材料的强度问题,提出过许多正确的理论,但他在

1638年出版的著作中,也曾错误地认为受弯梁的断面应力是均匀受拉的。过了46年,法国物理学家马里奥托和德国数学家兼哲学家莱布尼兹对这个假说提出了修正,认为应力分布是不均匀的,而是按三角形分布的。后来虎克和伯努里又建立了平面假定。1713年法国人巴朗进一步提出了中和层理论,认为受弯梁断面上的应力以中和层为界,一边受压,另一边受拉。由于当时无法验证,仍未被人们所接受。

直到1767年,法国科学家容格密里的路标试验才证明了中和层理论。当时容格密里在没有任何量测仪器的情况下,首次用简单的试验,令人信服地验证了断面上压应力的存在。他在一根简支木梁的跨中,沿上缘受压区开槽,槽的方向与梁轴垂直。槽内塞入木垫块,然后进行抗弯试验。

结果表明,这根梁的承载力丝毫不低于整体未开槽的木梁,而且塞入槽内的木块在荷载作用下无法取出,显然只有上部纤维承受压应力才可能有这样的结果。当时的科学家们给这次试验以很高的评价,将它誉为“路标试验”(图1-3),因为它总结了人们100多年来的探索成果,像十字路口的路标一样,给人们指明了进一步发展结构强度计算理论的正确方向和方法。

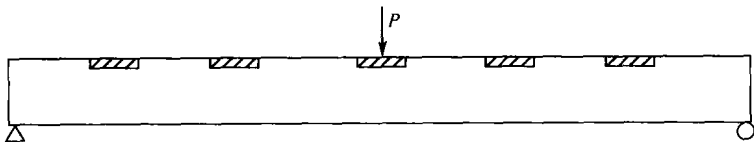


图1-3 路标试验

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,而用试验方法验证这个公式,则又经过了20多年,才由法国科学院另一位院士阿莫列恩完成。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出,不仅对于验证理论,而且在选择正确的研究方法上,试验技术起了重要的作用。结构理论的发展与结构试验是紧密地联系在一起的。

2. 结构试验是发现结构设计问题的主要手段

人们对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使用的需要,出现了异型截面柱,如:T形、H形、十形截面柱。在未作试验研究之前,设计者认为矩形截面柱与异型截面柱在受力特性方面没有区别,其区别就是两者的截面形状不同,因而误认为柱子的受力特性与其截面的形状无关。而经过试验证明,柱子的受力特性与截面形状有很大的关系,矩形截面柱的破坏属于拉压型破坏,而异型截面柱的破坏属于剪切型破坏。所以异型截面柱与矩形截面柱在受力性能方面有着本质的区别。

3. 结构试验是验证结构理论的主要方法

从简单的受弯构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加以证实。

近年来,计算方法的发展、计算机的普及等为用数学模型方法对结构进行计算分析创造了条件,使结构试验不再是研究和发展结构理论的唯一途径,但由于实际结构的复杂性和现场的局限性,试验仍是研究结构理论及其计算方法的主要手段(特别是对钢筋混凝土结构的塑性阶段性能、徐变性能以及钢结构的疲劳、稳定性等方面的研究都离不开结构试验)。

4. 结构试验是结构质量鉴定的直接方式

对于已建的结构工程,不论是某一具体结构构件还是结构整体,也不论是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。如:灾害后的结构工程、事故后的建筑工程。

5. 结构试验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健康发展,需要制定一系列的技术规范和技术标准,这些规范和标准的制定都离不开结构试验的成果。

二、结构试验的分类

结构试验可以根据试验的目的、试验的对象、试件的破坏与否、试验时间的长短、加载的性质及试验的场地的不同分为很多种。

1. 按试验目的分类

在实际工作中,根据不同的试验目的,结构试验可归纳为两大类。

(1) 科学研究性试验

科学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某一理论或各种科学的判断、推理、假说及概念的正确性,以及提供设计依据,或者是为了创造某种新型结构体系及其计算理论,系统地进行的试验研究。

研究性试验的试验对象即试件或试验结构,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。该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的。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,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。由于科学研究性试验是对模型进行试验,故多为破坏性试验。这类试验通常研究以下几个方面内容:

1) 验证结构设计计算理论的各种假定。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简化的假定。如在构件静力和动力分析中本构关系的模型化,完全是通过试验加以确定的。

2) 为制定设计规范提供依据。我国现行的各种结构设计规范除了总结已有的大量科学试验的成果和经验外,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建立起来的。

3) 发展新的设计理论,改进设计计算方法。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,可以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优势。

4) 为发展和推广新结构、新材料、新工艺提供理论和实践的依据。随着土木工程科学和基本建设的发展,新结构、新材料和新工艺不断涌现。如钢筋混凝土结构中各种新结构体系的应用,钢-混组合结构,轻型钢结构的设计推广,升板、滑模施工工艺的发展以及大跨度结构、高耸结构、超高层建筑与特种结构的设计及施工工艺的发展,都离不开科学试验。一种新材料的应用,一种新型结构的设计或新工艺的实施,往往需要多次的工程实践与科学试验,即从实践到认识、再从认识到实践的多次反复,从而积累经验,使设计计算理论不断改进和完善。

(2) 生产鉴定性试验

生产鉴定性试验是非探索性的,一般是在比较成熟的设计理论基础上进行,其目的是通过试验来检验结构构件是否符合设计规范及施工验收规范的要求,并对检验结果做出技术结论。生产鉴定性试验大多是对某个具体结构实体进行试验,例如真型试验和足尺试验,属于非破坏性试验。此类试验经常解决以下问题:

1) 鉴定结构设计和施工质量的可靠程度。对于一些比较重要的结构与工程,除了在设计阶段进行必要而大量的试验研究以外,在实际结构建成以后仍需进行鉴定性试验,如大跨桥梁结构要求进行荷载试验。这种试验可以综合地鉴定结构设计和施工质量的可靠程度。

2) 为工程改建或加固判断结构的实际承载能力。旧的结构扩建或进行加固,单凭计算难以得到确切结论时,常需要通过试验确定结构的实际承载能力。旧结构缺少设计计算书和图纸资料时,在需要改变结构实际工作条件的情况下进行结构试验更为必要。

3) 为处理工程事故提供技术依据。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(施工质量事故、结构过度变形和严重开裂等)的危险结构,也往往有必要进行详细的检验。

4) 检验结构可靠性,估算结构剩余寿命。已建服役结构随着建造年代和使用时间的延长,逐渐出现不同程度的老化现象,有的到了老龄期、退化期和更换期,有的则到了危险期。为了保证服役结构的安全使用,尽可能地延长它的使用寿命和防止结构破坏、倒塌等重大事故的发生,国内外对结构的使用寿命,特别是对使用寿命中的剩余期限,即剩余寿命特别关注。通过对已建结构进行观察、检测和分析普查后,按可靠性鉴定规程评定结构的安全等级,由此推断其可靠性和估计其剩余寿命。可靠性鉴定大多数是采用非破损检测的试验方法。

5) 鉴定预制构件产品的质量。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,通过少量的试件试验,来推断成批产品的质量。在桥梁建设中,预制梁在架设之前,为了保证其质量安全,经常抽出一批梁进行静载试验。

2. 按试验对象分类

(1) 真型试验

真型试验的试验对象是实际结构或是按实际结构足尺复制的结构或构件。

对于实物试验一般均用于生产鉴定性试验,例如一些桥梁通车前的静、动载试验,单片梁试验等均作为一种非破坏性的现场试验,属于生产鉴定性试验。

在真型试验中另一类就是足尺结构或构件的试验。以往对构件的足尺试验做得较多,事实上试验对象就是一片梁、一块板或一榀屋架之类的实物构件,它可以在试验室内进行,也可以在现场进行。

(2) 模型试验

进行真型试验由于投资大、周期长、测量精度受环境因素的影响,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研究探讨时,可以对比真型结构小的模型进行试验。

模型是仿照原型并按照一定比例关系复制而成的试验代表物,是具有实际结构的全部或部分特征、但尺寸却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,用适当的比例尺和相似材料制成的与真型几何

相似的试验对象,在模型上施加相似力系使模型受力后重演真型结构的实际工作,最后按照相似理论由模型试验结果推算实际结构的工作,为此这类模型要求有比较严格的模拟条件,即要求做到几何相似、力学相似和材料相似等等。模型试验一般多用于科学研究性试验。

(3) 小构件试验

小构件试验是结构试验常用的形式之一,它有别于模型试验。采用小构件试验,不依靠相似理论,无须考虑相似比例对试验结果的影响,即试验不要求满足严格的相似条件,只是用试验结果与理论计算进行对比校核的方式来研究结构性能,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。

3. 按荷载性质分类

(1) 静力试验

静力试验是结构试验中最常见的基本试验。因为大部分土木工程结构在使用时所承受的荷载以静荷载为主,一般可以通过重物或各种类型的加载设备来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。结构抗震是以静力的方式模拟地震作用的试验,它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试验,为了区别于一般静力单调加载试验,故称之为“低周反复静力加载试验”,也有称之为“拟静力试验”或“伪静力试验”。

近几年又发展了一种拟动力试验方法,即计算机联机试验。通过计算机和电液伺服加载系统联机对足尺或大比例的结构模型按实际的反应位移进行加载,使试验更接近于实际结构动力反应的真实情况,是在伪静力试验基础上发展起来的一种加载方法。

静力试验的最大优点是加载设备比较简单,操作比较容易;缺点是不能反映荷载作用下的应变速率对结构性能的影响,特别是结构在非线性阶段的试验控制,静力试验是无法完成的。

(2) 动力试验

动力试验是指动力加载设备直接对结构或构件施加动力荷载的试验。对实际工作中主要承受动荷载的结构构件,为了了解其在动荷载作用下的工作性能,需要通过动力加载设备直接对结构进行动力加载试验。如桥涵结构在运输车辆作用下的疲劳性能和动力特性问题,高层建筑和高耸构筑物(电视塔、烟囱等)在风荷载和地震荷载作用下的抗震性能问题等,其加载设备和测试手段要比静力试验复杂得多。

4. 按试验时间长短分类

(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、时间和解决问题的步骤,不得不大量采用短期荷载试验。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,与结构的实际工作有一定差别。所以严格地说,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的限制所产生的影响,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以称为持久试验,它将连续进行

几个月或几年时间,通过试验获得结构变形随时间的变化规律。

5. 按试件破坏与否分类

通常来说,科学研究性试验多为破坏性试验,生产鉴定性试验多为非破坏性试验。但在某些情况下为了达到预定的试验目的,往往需要进行破坏性试验,以掌握试验结构由弹性阶段进入塑性阶段甚至破坏阶段时的结构行为、破坏形态等试验资料。实际上,原型结构的破坏试验,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的试验是比较困难的。因此,破坏试验一般均以模型结构为对象,在实验室内进行,以便较为方便可行地进行加载、控制、量测、分析,从而总结出具有普遍意义的规律,推广应用于原型结构。

6. 按试验场地分类

(1) 实验室试验

实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,试验结果也具有较高的准确度。实验室试验没有外界环境的干扰因素,适于研究性试验,其对象可以是真型,也可以是模型,尤其是近年来大型实验室的建设,为开展足尺结构的整体试验提供了比较理想的条件。

但是土木工程中有许多试验项目仅在实验室内是无法完成的,只有通过现场实测才能获得实际结构的各项性能指标。例如许多大型桥梁成桥验收以及旧桥的加固,只有通过现场实桥试验,才能获取实际结构的许多性能参数,室内试验无法代替。

(2) 现场试验

现场试验多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,试验对象是正在使用的已建结构或即将投入使用的新结构。例如单片梁的静载试验、成桥通车试验等。现场试验与室内试验相比,由于受到客观环境条件的影响,不宜使用高精度的仪器设备进行观测,且试验方法也比较简单,试验精度较差。

三、我国结构试验的发展简史

解放前,我国处于半殖民地半封建社会,科学技术极端落后,根本没有土木工程结构试验这门学科。解放后,土木工程结构试验和其他学科一样获得了迅速发展,建立了一大批各种规模的结构实验室,拥有一支实力雄厚的专业技术队伍,具有一定数量的现代化仪器设备,并积累了丰富的试验技术经验。

目前,随着智能仪器的出现、计算机和终端设备的广泛使用、各种试验设备自动化水平的提高,越来越先进的试验手段会不断涌现。

四、结构试验技术的发展

现代科学技术的不断发展,为结构试验技术水平的提高创造了物质条件。同样,高水平的结构试验技术又促进了结构工程学科的不断发展和创新。现代结构试验技术和相关的理论及方法在以下几个方面发展迅速。

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。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混凝土柱或钢柱的破坏性试验。

2. 基于网络的远程协同结构试验技术

互联网的飞速发展,为我们展现了一个崭新的世界。当外科手术专家通过互联网进行远程外科手术时,基于网络的远程结构试验体系也正在形成,20世纪末,美国国家科学基金会投入巨资建设“远程地震模拟网络”,希望通过远程网络将各个结构实验室联系起来,利用网络传输试验数据和试验控制信息,网络上各站点(结构实验室)在统一协调下进行联机结构试验,共享设备资源和信息资源,实现所谓的“无墙实验室”。我国也在积极开展这一领域的研究工作,并开始进行网络联机结构抗震试验。基于网络的远程协同结构试验集合结构工程、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渗透、交叉、融合的特点。

3. 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。利用微电子技术,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”。如新型光纤传感器已开始应用于大型工程结构健康诊断与监控。另一方面,测试仪器的性能也得到极大的改进,特别是与计算机技术结合,数据采集技术发展迅速。

4. 计算机与结构试验

特别值得一提的是大型试验设备的计算机控制技术和结构性能的计算机仿真技术。比如,电液伺服加载控制系统于20世纪末就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、快速的试验任务。以大型有限元分析软件为标志的结构分析技术也极大地促进了结构试验的发展。试验前,通过计算机分析预测结构性能、制订试验方案;试验后,通过计算机仿真,结合试验数据,对结构性能作出完整的描述。

五、结构试验课程的特点

结构试验是一门综合性很强的课程,它常常以直观的方式给出结构性能,但必须综合运用各方面的知识,全面掌握结构试验技术,才能准确理解结构受力的本质,提高结构理论水平。这就要求我们,首先掌握专业基础课的知识,如材料力学、结构力学、弹性力学、砌体结构、混凝土结构、钢结构理论等内容,其次了解仪器设备的基本原理和使用方法,如掌握电工、电子、化学、物理、机械、液压等方面的知识,对理解结构试验的方法很有好处。

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,必须完成相关的结构和构件试验,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。

第二节 结构试验的一般过程

不管进行什么性质的试验,其一般过程可分为四个阶段:结构试验规划设计、结构试验准备、结构试验实施和结构试验资料整理分析并提出试验结论。各阶段的难易程度视试验规模大小的不同而异。其中制定试验规划设计阶段最为重要,关系到整个试验的成败。日本东京大学梅村魁教授在其《结构试验与结构设计》一书中,把这一阶段称为“结构试验设计”。它们之间的关系如图1-4所示。

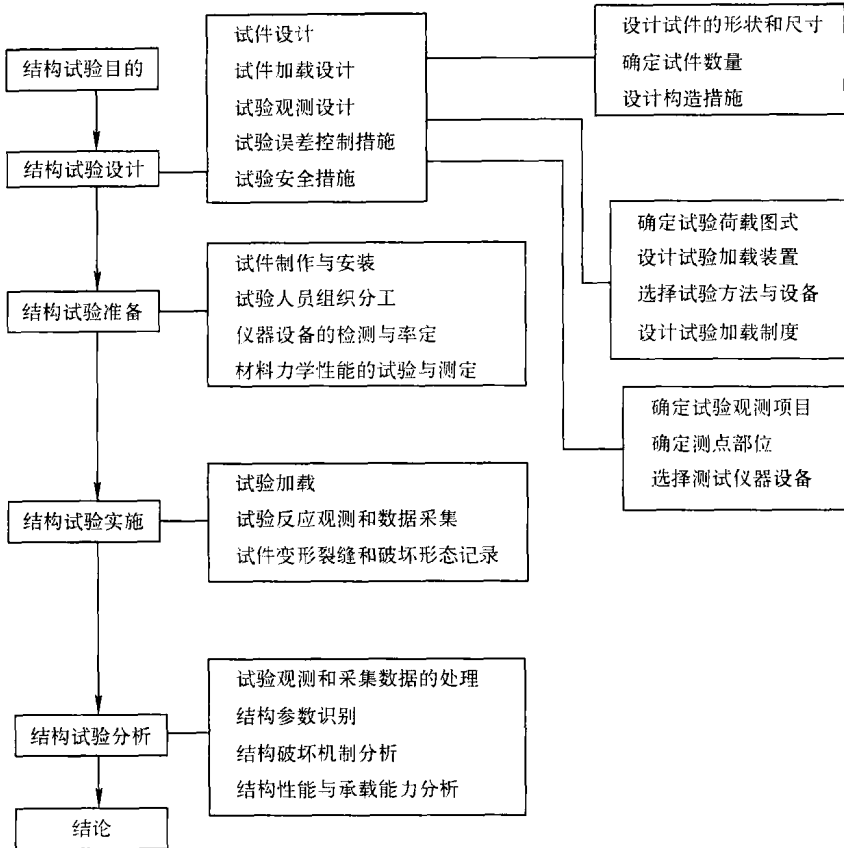


图 1-4 结构试验设计总框图

一、试验规划设计阶段

结构试验是一项细致复杂的工作,必须严格认真对待,任何疏忽大意都会影响试验结果或试验的正常进行,甚至导致试验失败或危及人身安全。因此在试验之前,需对整个试验作出规划。下面以研究性试验为例,说明规划阶段主要做哪些工作。

1. 研究试验目的、了解试验任务、搜集有关资料、确定试验方法等。
2. 确定试验的性质和规模。
3. 确定试验参数、试件的外形及尺寸。
4. 进行试件的设计与制作。
5. 确定加载方法和设计支承系统。
6. 选定量测项目及量测方法。
7. 根据具体情况写出试验大纲。试验大纲是指导整个试验的技术文件,主要包括以下内容:

(1) 试验项目来源,即试验任务产生的原因、渠道和性质。

(2) 试验的目的。即通过试验最后得到的数据,如破坏荷载值,设计荷载下的内力分布、挠度曲线、荷载—变形曲线等,弄清楚试验研究目的,确定试验目标。

(3) 试件设计要求。包括试件设计的依据及理论分析过程,试件的种类、形状、数量、尺

寸,施工图设计和施工要求,还包括试件制作要求,如试件原材料、制作工艺、制作精度等。

(4)辅助试验的内容。包括辅助试验的目的、数量,试件的种类、数量和尺寸,试件的制作要求和试验方法等,如材料力学试验、材料鉴定试验。

(5)试件的安装与就位。包括试件的支座装置、保证侧向稳定装置等。

(6)加载方法。包括荷载数量及种类、加载装置、加载图式、加载程序。

(7)量测要求。包括观测项目,测点布置,仪表的选择与标定,仪表的布置图(安装位置、安装方法、仪表名称及编号),量测顺序规定和补偿仪表的位置等。

(8)安全措施(安全装置、脚手架及技术安全规定等)。

(9)耗资预算和仪表的清单。

(10)试验进度计划。

(11)试验组织管理(严密组织、人员分工明确)。

二、试验准备阶段

试验准备阶段的工作占全部试验的1/3以上,直接影响试验结果的准确程度,有时还关系到试验能否顺利进行。试验准备阶段控制和把握好几个主要环节(例如试件的制作和安装就位,设备仪表的安装、调试和率定等)是极为重要的。试验准备阶段的主要工作有:

1.试件的制作。试验研究者应亲自参加试件制作,以便掌握有关试件质量的第一手资料,试件尺寸要保证足够的精度。在制作试件时还应注意材性试样的留取,试样必须能代表试验结构的材性。

材性试件必须按试验大纲上规划的试件编号进行编号,以免不同组别的试件混淆。在制作试件的过程中应作施工记录日志,注明试件日期、原材料情况,这些原始资料都是最后分析试验结果不可缺少的参考资料。

2.试件的尺寸与质量检查。包括试件尺寸和缺陷的检查,应作详细记录,纳入原始资料。

3.试件的安装与就位。试件的支承条件应力求与计算简图一致。一切支承零件均应进行强度验算并使其安全储备大于试验结构可能有的最大安全储备。

4.安装加载设备。加载设备的安装应满足“既稳又准找方便,有强有刚求安全”的要求。即就位要稳固、准确、方便,固定设备的支承系统要有一定的强度、刚度和安全度。

5.设备仪表的率定。对测力计及一切量测仪表均应按技术规定要求进行率定,各仪器仪表的率定记录应纳入试验原始记录中,误差超过规定标准的仪表不得使用。

6.做辅助试验。辅助试验多半在加载阶段之前进行,以取得试件材料的实际强度,便于对加载设备和仪器仪表的量程等作进一步的验算。但对一些试验周期长的大型结构试验或试件组别很多的系统试验,为使材性试件与试验结构的龄期尽可能一致,辅助试验也常常和正式试验同时穿插进行。

7.仪表的安装、连线调试。

8.记录表格的设计准备。

9.通过计算结构内力进行判断和控制加载(加载应力估计)。

三、试验实施阶段

这是整个试验过程的中心环节,应按照规定加载顺序和量测顺序进行。

1. 确定基本加载方案,如破坏与否、试验周期的长短等。
2. 荷载图式的选择,如集中荷载还是均布荷载。
3. 加载顺序的确定,如直接加载还是分级加载,按几个循环进行。
4. 观测注意点和测点布置。

观测时应注意:首先观测试件的整体工作状态、整体工作变形能反映出整体工作面貌,而后观测局部的变化。

测点布置:要满足试验要求,便于操作和测读,数据准确等。

四、结构试验分析阶段

1. 数据整理阶段:整理原始测试资料,进行数据分析。

任何一个试验研究项目,都应有一份详细的原始试验数据记录,连同试验过程中的试件外观变化观察记录、仪表设备标定数据记录、材料力学性能试验结果、试验过程中各阶段的工作日志等,经查实后收集完整,不得丢失。

对于试验量测数据记录及记录曲线,应由负责记录人签名,不能随便涂改,以保证数据的真实性和可靠性。

2. 数据处理总结和试验结论:对试验现象和规律作出解释,试验结果和理论值比较,分析产生差异的原因,并得出结论,写出试验总结报告,提出新问题和进一步研究计划。

复习思考题

- 1-1 简述结构试验的任务及作用。
- 1-2 何为路标试验?
- 1-3 结构试验如何分类?
- 1-4 简述我国结构试验的发展。
- 1-5 科学研究性试验与生产鉴定性试验的区别是什么?
- 1-6 简述结构试验的一般程序及其主要内容。为什么说试验规划阶段最为重要?