



TUMU GONGCHENG JIEGOU SHIYAN YU JIANCE



PUTONG GAODENG YUANXIAO  
SHIERWU TUMUGONGCHENG LEI GUIHUA XILIE JIAOCAI  
普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材

# 土木工程结构试验与检测

TUMU GONGCHENG JIEGOU SHIYAN YU JIANCE

赵菊梅 李国庆 编



西南交通大学出版社



PUTONG GAODENG YUANXIAO  
SHIERWU TUMUGONGCHENG LEI GUIHUA XILIE JIAOCAI  
普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材

# 土木工程结构试验与检测

TUMU GONGCHENG JIEGOU SHIYAN YU JIANCE

赵菊梅 李国庆 编

西南交通大学出版社  
· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

土木工程结构试验与检测 / 赵菊梅, 李国庆编. —  
成都: 西南交通大学出版社, 2015.2  
普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材  
ISBN 978-7-5643-3377-5

I. ①土… II. ①赵…②李… III. ①土木工程-工  
程结构-结构试验-高等学校-教材②土木工程-工程结  
构-检测-高等学校-教材 IV. ①TU317

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 204726 号

普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材

土木工程结构试验与检测

赵菊梅 李国庆 编

责任编辑	曾荣兵
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	<a href="http://www.xnjdcbs.com">http://www.xnjdcbs.com</a>
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成 品 尺 寸	185 mm × 260 mm
印 张	13
字 数	323 千
版 次	2015 年 2 月第 1 版
印 次	2015 年 2 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3377-5
定 价	32.00 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材

## 编 委 会

主 任 易思蓉

委 员 (按姓氏笔画排序)

毛 亮	王月明	王玉锁	田文高	田北平
刘蒙蒙	孙吉祥	江 毅	李文渊	李章树
杨 虹	陈一君	陈广斌	周俐俐	范 涛
胡利超	贺丽霞	项 勇	袁 翱	贾 彬
贾媛媛	郭仕群	康 锐	曹 伦	

# 前 言

土木工程结构试验与检测在工业与民用建筑、铁路与公路桥梁、地基基础、大坝等工程结构的施工、运营、灾后鉴定与评估中发挥着越来越重要的作用。在国家重大工程设计、施工前的科研试验阶段，尤其是有新材料、新技术、新结构形式的应用时，都需要进行大量的试验。

土木工程结构试验与检测在施工过程中各个环节的质量控制，以及在火灾、地震、泥石流等发生后对工程结构的安全评估、检测与鉴定、加固等方面均有积极的意义。在工程实际中，做好各环节的试验与检测工作，确保工程质量，也就确保了人们的人身和财产安全；尽可能地减少震中房屋的破坏；做好全寿命期的试验、检测工作，确保桥梁的使用寿命期；做好地基基础的试验与检测工作，确保上部结构的安全使用。尤其是我国正在进行的高速铁路预制梁场的静载试验与地基基础的桩基检测、高层建筑等重大工程的科研和生产中，结构试验与检测伴随着工程的始终。

本书编写的主要目的是，让在校学生较全面地学习土木工程结构试验与检测的基本知识，掌握结构试验与检测的基本技能，并能从中得到启发，综合应用力学、物理、电子、机械等知识解决土木工程结构的试验与检测问题，在实践中不断创新，使该方面的技术向着更便捷、更精确且无损的方向发展，力求确保土木工程结构全寿命期的安全。

本书由西南交通大学峨眉校区赵菊梅、李国庆主编。本书在编写过程中，得到了西南交通大学峨眉校区教材建设项目重点资助，也得到了土木工程系领导的关心和多位同事的协助，在章节的编排和实例方面给出了宝贵的建议和意见，多位学生协助部分文字和数据的编辑录入。也感谢本书的前身讲义在使用过程中同学们提出的宝贵意见和建议。书中某些最新的测试元器件的内容由相关单位提供，在此表示感谢。同时也向本书所引用的参考资料文献的作者表示感谢！

因编者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请专家和读者批评指导。欢迎与编者联系（赵菊梅，Email:zjmlty@163.com），万分感谢！

编 者

2014年12月

# 目 录

第 1 章 概 述 .....	1
1.1 结构试验的重要性 .....	1
1.2 结构试验的目的与任务 .....	2
1.3 结构试验的分类 .....	3
第 2 章 结构试验测量技术 .....	10
2.1 概 述 .....	10
2.2 测量仪表的技术指标 .....	11
2.3 应变测量 .....	14
2.4 位移与变形测量 .....	32
2.5 力的测量 .....	39
2.6 裂缝与温度测量 .....	43
2.7 测振传感器 .....	47
2.8 放大器与记录仪 .....	51
2.9 数据采集系统 .....	52
思考题 .....	55
习 题 .....	55
第 3 章 结构静载试验 .....	57
3.1 概 述 .....	57
3.2 结构静载试验的程序与试验准备工作 .....	58
3.3 试验荷载与加载方案 .....	63
3.4 加载方法与设备 .....	66
3.5 试验观测方案 .....	81
3.6 测试曲线图的绘制 .....	88
3.7 量测数据整理 .....	89
思考题 .....	95
习 题 .....	96
第 4 章 结构动载试验 .....	99
4.1 检测的计划与准备 .....	99
4.2 动参数与测试 .....	100
4.3 结构动载性能评定 .....	113
思考题 .....	115
习 题 .....	116

第 5 章 结构试验模型设计 .....	119
5.1 概 述 .....	119
5.2 模型设计的理论基础 .....	120
5.3 结构模型设计 .....	127
5.4 模型材料与选用 .....	131
思考题 .....	133
习 题 .....	133
第 6 章 结构检测技术 .....	135
6.1 概 述 .....	135
6.2 钢筋混凝土结构现场检测技术 .....	135
6.3 钢结构现场检测技术 .....	160
6.4 砌体结构现场检测技术 .....	165
思考题 .....	170
习 题 .....	171
第 7 章 工程结构试验数据处理 .....	173
7.1 概 述 .....	173
7.2 试验数据整理 .....	173
7.3 数据误差分析 .....	177
7.4 数据的表达 .....	186
参考资料 .....	200

# 第1章 概述

## 1.1 结构试验的重要性

随着我国铁路、公路建设和城市化进程的发展、不断扩大,许多工程建设项目尤其是重大工程项目如高速铁路、地铁工程、水利工程、高层建筑等得到了较大地发展。而“5·12”汶川大地震、2008年雪灾、高层建筑火灾、舟曲泥石流等对房屋、桥梁、隧道、道路、边坡、大坝、水库等造成的灾难性破坏和人员的惨重伤亡,以及杭州地铁车站的事故,让国家和专业人员对防灾减灾的问题越来越重视,更使结构抗震减震、抗风、防火、抵御泥石流破坏等方面的试验研究显得非常重要,以及和此相关的结构、材料、设计、施工、质量鉴定等方面的问题也值得专业人员认真思考和研究。图1-1所示为“5·12”汶川大地震造成的北川桥梁和隧道的破坏,桥梁横向错断,隧道内部有大量的流水。图1-2所示为2009年11月15日15时20分左右杭州地铁风情大道坍塌造成地铁湘湖站坍塌事故。

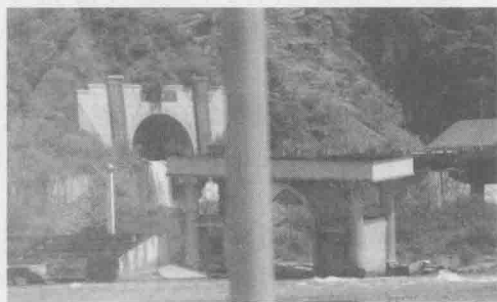


图 1-1 “5·12”汶川大地震导致北川桥梁和隧道破坏



图 1-2 杭州地铁坍塌事件

为尽可能地避免工程事故的发生,并提高结构的安全性和耐久性,通常需要进行大量的结构试验,包括施工中的科学试验研究及施工监控。

当然,结构学科的发展也应该遵循科学研究的规律,即科学研究促进了实验技术的发展,同时实验技术的不断更新也会带动科学向新的方向发展。因此土木工程结构设计理论的完善、施工技术的发展、检测与鉴定新技术的应用等,也需要结构试验及其技术的不断推进和完善。

最早的结构试验是1767年由法国科学家容格密里完成的梁的试验。如图1-3所示,该试验是在简支木梁上缘开槽,槽的方向与梁轴垂直,并用同样大小的硬木块塞入槽内。试验证明了这种木梁的抗弯承载力丝毫不低于未开槽的木梁,从而验证了梁受弯时并非整个断面都受拉,而是上缘受压、下缘受拉。容格密里的这个实验受到当时科学家们的高度评价,给人们指出了进一步发展结构强度计算理论的正确方向和方法,因此被誉为“路标试验”。



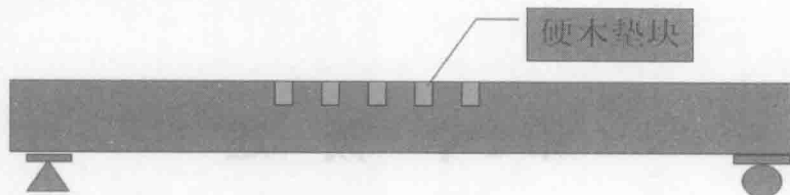


图 1-3 路标试验

关于弯曲梁的理论的一些大胆假说，最早是伽利略于 1638 年提出的截面应力均匀分布；1684 年，德国数学家莱布尼茨提出三角形分布；1713 年，法国巴朗提出中性层分布，认为截面上同时存在拉应力和压应力（该说法如同后来路标试验所验证的一样）。法国科学院院士拿维叶于 1821 年推导出材料力学上的受弯公式： $\sigma = My/I$ 。该理论一直应用至今，为结构的设计与发展作出了卓越贡献。

新中国成立以后，国家对建筑结构试验十分重视。1956 年，各有关高校开始设置建筑结构试验课程，各有关研究机构 and 高等院校也开始建立建筑结构实验室。虽然当时的试验条件和技术水平无法与现在相比，但通过系统的试验研究，为制定我国自己的设计标准、施工验收标准、试验方法标准和结构可靠性鉴定标准，以及我国一些重大工程结构的建设作出了贡献。1953 年完成了长春市 25.3 m 高的杯形输电塔的原型试验，是我国第一次规模较大的结构试验。1957 年，完成了武汉长江大桥的静力和动力试验，这是我国桥梁史上第一次进行的正规化鉴定验收试验。1959 年，北京车站建造时对中央大厅的 35 m × 35 m 双曲薄壳进行了静力试验。1977 年，我国制定了“建筑结构测试技术的研究”的八年规划。

改革开放以后，随着计算机技术的普及、发展，大量的研究者都热衷于研究结构数值计算分析技术与软件开发，一些设计、计算分析的实用软件被成功开发并得到广泛应用，但结构试验研究却一度不被许多研究人员所重视。

同时，我国对教育科技投入也不断增加，许多学者也意识到试验研究的重要性，国家启动的“211 建设”、“985 计划”等都加大了对实验室建设的力度，这些都促成了我国许多高校和相关科研院所加大对结构试验研究的投入，加强对结构工程相关实验室的建设，再加上试验检测技术的日新月异，使得我国结构试验研究的能力与水平得到了很大的提高。

## 1.2 结构试验的目的与任务

结构在外荷载作用下，会产生各种反应。例如，钢筋混凝土简支梁在静力集中荷载作用下，可以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，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。当一个框架承受水平的动荷载作用时，同样可以从测得结构的自振频率、阻尼比、振幅（动位移）和动应变等参数，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。近年来，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，由试验所得的反应力与变形关系的滞回曲线为分析抗震结构的强度、刚度、延性、刚度退化和变形能力等提供数据资料。

由此可见,“结构试验”这门科学的任务就是在结构物或试验对象(实物或模型)上,以仪器设备为工具、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)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……),从强度(稳定)、刚度和抗裂性以及结构实际破坏形态来判断建筑结构的实际工作性能,评估结构的承载能力,确定结构对使用要求的符合程度,检验和发展结构的计算理论。

由结构试验的任务可知,它是以实验方式测定有关数据,由此反映结构或构件的工作性能、承载能力和相应的安全性能,为结构的安全使用和设计理论的发展提供重要的依据。

## 1.3 结构试验的分类

### 1.3.1 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,或者是为了验证某种新材料结构或新型结构体系的可靠性及其计算理论的建立,而进行的系统性试验研究。

研究性试验的试验对象即试件,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的。研究性试验一般都在实验室进行,需要使用专门的加载设备和数据测试系统,以便对试件的变形性能等反应作连续的观察、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。如在构件静力和动力分析中,本构关系的模型化,则完全是通过试验加以确定的。

(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大量科学试验和经验以外,为了理论和设计方法的发展,进行了大量钢筋混凝土结构、砌体结构和钢结构的构件及足尺和缩尺模型的试验以及实体结构物的试验研究,为我国编制各类结构设计规范提供了基本资料与试验数据,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实践经验。随着土木工程科学和基本建设发展的需要,新结构、新材料和新工艺不断涌现。例如,在钢筋混凝土结构中各种新结构体系的应用,钢-混凝土组合结构、轻型钢结构的设计推广,纤维混凝土材料、节能建筑材料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施工等。但是一种新材料

## 土木工程结构试验与检测 TUMUGONGCHENG JIEGOU SHIYAN YU JIANCE

的应用,一种新结构的设计和新工艺的应用,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,再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。图 1-4 就是为研究玄武岩纤维布加固混凝土梁式桥技术进行的模型实验。

### 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结构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。

检验性试验的试验对象一般是真实的结构或构件,这类试验常应用在以下几方面:

(1) 检验结构的质量,说明工程的可靠性。对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) 检验构件或部件的结构性能,判定构件的设计及制作质量。例如,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所要求的指标。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。检验性试验应严格按照有关的检验规程或规定进行。图 1-5 所示为预应力空心板鉴定试验。

(3) 判断旧结构的实际承载力,为改造、扩建工程提供数据。当结构物由于使用功能发生了变化,原有结构物需要加固、改造时(如厂房、桥梁等),往往需要通过试验实测及分析,从而确定原有结构物的实际潜力。

(4) 检验和鉴定已建结构物的可靠性。这类结构一般是指经过几十年的使用,发生过异常变形或局部损伤,继续使用时人们对其安全性及可靠性持有怀疑。鉴定这类结构的性能首先应进行全面的科学调查。调查的方法包括观察、检测和分析。检测手段大多为采用无损检测方法。在调查和分析的基础上评定其所属安全等级,最后推算其可靠性。这类鉴定工作应按照可靠性鉴定规程的有关规定进行。

(5) 为处理工程事故提供依据。对于因遭受地震、水灾、火灾、爆炸而损伤的结构,或在建造期间及使用过程中发生过严重的工程事故,产生了过度变形和裂缝的结构,都要通过试验为加固和修复工作提供依据。

工程结构试验除了上述按试验目的分为生产鉴定性试验和研究性试验以外,还经常以试验对象、荷载性质、试验场合、试验时间等不同因素进行分类。现简述如下:

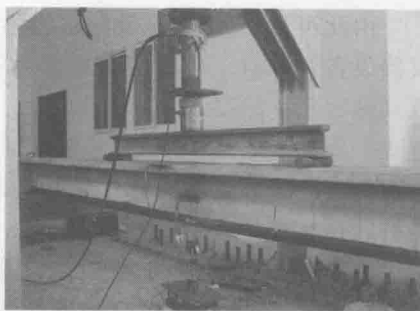


图 1-4 “玄武岩纤维布加固混凝土梁式桥技术研究”模型实验



图 1-5 预应力空心板鉴定

### 1.3.2 按试验对象分类

#### 1. 原型试验

原型试验的试验对象是实际结构或是按实物结构足尺复制的结构或构件。

对于实际结构试验，一般均用于生产鉴定。图 1-6 是西南交通大学负责研发的大断面水下盾构隧道原型结构加载试验系统对南京长江隧道及珠江狮子洋隧道管片衬砌结构进行原型加载试验。

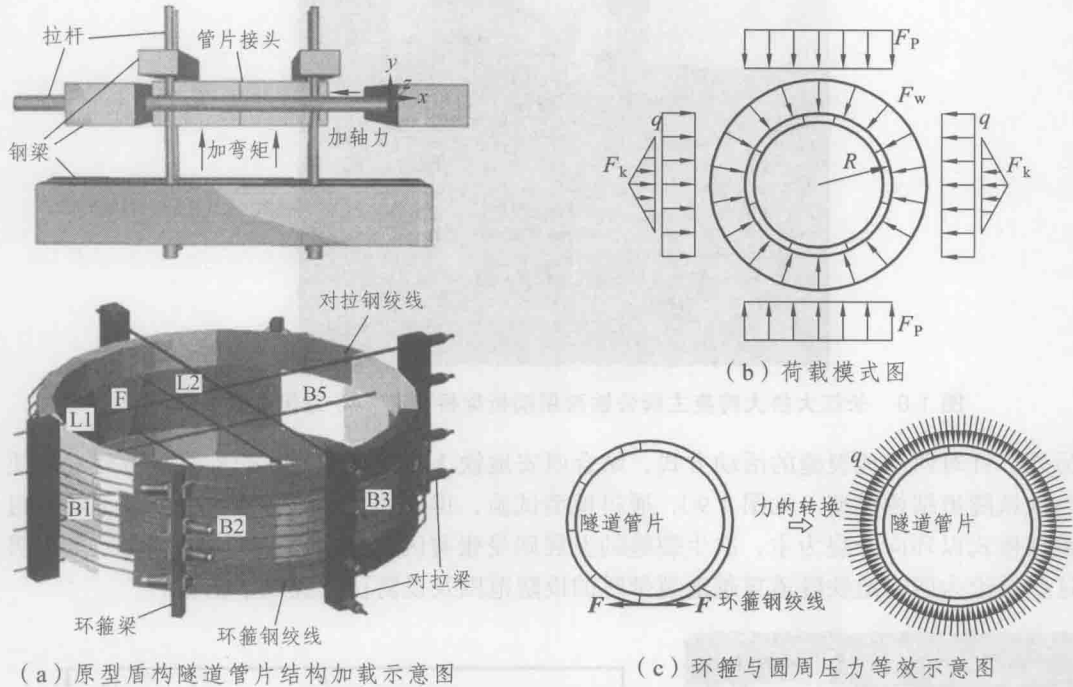


图 1-6 盾构隧道原型结构加载系统

另外，桥梁在运营前的健康检测（包括静载试验动载试验）、楼盖承载能力试验、核电站安全壳加压整体性的试验、工业厂房结构的刚度试验等都在实际结构上加载量测。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均属此类。

在原型试验中，另有一类就是足尺结构或构件的试验，图 1-7 为某滑坡体足尺试验。以往一般对构件的足尺试验做得较多的对象就是一根梁、一块板或一榀屋架之类的实物构件，它可以在试验室内试验，也可以在现场进行。由于工程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性能进行全面观测了解。

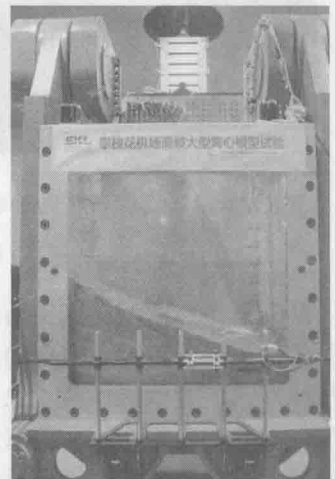


图 1.7 某滑坡大型离心模型试验

## 2. 模型试验

由于进行原型结构试验投资大、周期长、测量精度受环境因素等影响，在经济上或技术上存在一定困难。因此，人们在结构设计的方案阶段进行初步探索比较或对设计理论和计算方法进行科学研究时，可以采用按原型结构缩小的模型进行试验。长江大桥为研究大跨度主跨公铁两用钢桁架桥梁的性能进行了 1:40 缩尺模型试验，如图 1-8 所示。



图 1-8 长江大桥大跨度主跨公铁两用钢桁架桥梁 1:40 缩尺模型试验

另外，针对西安地裂缝的活动方式，结合西安地铁 2 号线的走向，长安大学等建立地质模型与地铁隧道结构模型（见图 1.9），通过模型试验，得到如下结论：地裂缝环境下隧道衬砌的破坏模式以环向开裂为主，次生裂缝的发展则受张剪区的控制，主要成阶梯形、Y 形贯通。这些结论为西安地铁隧道穿越地裂带时的设防范围及设防位置提供了依据。



(a) 地裂缝环境下隧道衬砌破坏



(b) 地裂缝试验模型（单位：cm）

图 1-9 西安地裂缝环境下模型试验

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，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原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），使模型受力后重演原型结构的实际工作，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。目前在试验

室内进行的大量结构试验均属于这一类。

### 1.3.3 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试验方法,因为大部分建筑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形式的加载设备来实现和满足加载要求。静力试验的基本特征是加载速率低,不会引起加速度,以至于不必考虑其影响,其加载过程是从零开始逐步递增,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,即称它为结构静力单调加载试验。图 1-10 所示为某高铁梁厂预制箱梁的静载试验。

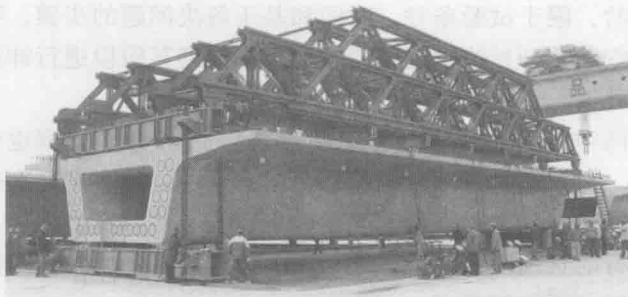


图 1-10 某高铁梁厂预制箱梁的静载试验

近年来,由于探索结构抗震性能,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,为区别于一般单调加载试验,称之为低周反复静力加载试验(或叫作伪静力试验)。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,是加载设备相对来说比较简单,荷载可以逐步施加,还可以停下来仔细观测结构变形的发展,给人们以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先进行静力试验,如结构构件的疲劳试验。

静力试验的缺点,是不能反映应变速率对结构的影响,特别是在结构抗震试验中与任意一次确定性的非线性地震反应相差很远。目前,在抗震静力试验中虽然发展了一种计算机与加载器联机试验系统,可以弥补后一种缺点,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

对于在实际工作中主要承受动力作用的结构或构件,为了了解结构在动力荷载作用下的工作性能,一般要进行结构动力试验,通过动力加载设备直接对结构构件施加动力荷载。如研究高速列车通过高速铁路桥梁、厂房结构承受吊车及动力设备作用下的动力特性,吊车梁的疲劳强度与疲劳寿命问题,多层厂房由于机器设备上楼后所产生的振动影响;又如高层建筑和高耸构筑物(塔桅、烟囱)等在风载作用下的动力问题,结构抗爆炸抗冲击荷载(冲击波)的影响等。特别是结构抗震性能研究更为理想的试验方式即是直接施加动力荷载进行试



## 土木工程结构试验与检测 TUMUGONGCHENG JIEGOU SHIYAN YU JIANCE

验,目前抗震动力试验一般用电液伺服加载设备或地震模拟振动台等设备来进行。对于现场或野外的动力试验,利用环境随机振动试验测定结构动力特性模态参数也日益增多。另外,还可以利用人工爆炸产生人工地震的方法甚至直接利用天然地震对结构进行试验。由于荷载特性的不同,动力试验的加载设备和测试手段也与静力有很大的差别,并且要比静力试验复杂得多。

### 1.3.4 按试验时间分类

按试验时间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,我们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和只有几十分钟、几小时或者几天。

对于承受动载荷的结构,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,整个试验加载过程只有几秒甚至是微秒或毫秒,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。这种因具体客观因素或技术的限制所产生的影响,我们在分析试验结果时必须加以考虑。

#### 2. 长期荷载试验(持久试验)

主要承受静力荷载的结构构件,实际所受荷载是长期作用的。

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、钢筋混凝土受弯构件裂缝的开展与刚度退化等,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甚至于数年,通过试验以获得结构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的控制,如保持恒温恒湿、防止振动影响等,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,则这样积累和获得的数据资料对于研究结构的实际工作,进一步完善和发展工程结构的理论都具有极为重要的意义。

### 1.3.5 按试验场合分类

工程结构和构件的试验可以在有专门设备的试验室内进行,也可以在现场进行。

#### 1. 试验室试验

在试验室内可以获得良好的工作条件,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,以减少或消除各种不利因素对试验的影响,所以适宜于进行研究性试验。这样有可能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。图 1-11 所示为室内进行的混凝土梁的试验。

这种试验可以在原型结构上进行,也可以采用模型试验,并可以将结构一直试验到破坏。尤其近年来发展足尺结构的整体试验,大型试验室为之提供了比较理想的条件,见图 1-12。



图 1-11 混凝土梁的试验

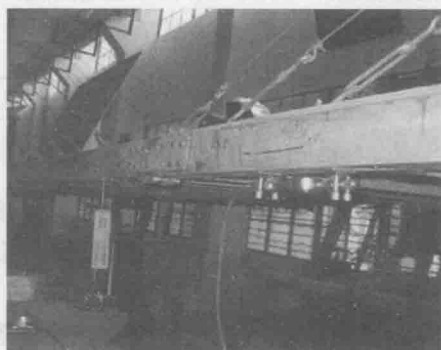


图 1-12 中铁大桥局桥梁科学研究院桥梁模型室内测试

## 2. 现场试验

与室内试验相比，现场试验由于受客观环境条件的影响，使用高精度的仪器设备进行观测有一定的限制，相对而言，进行试验的方法也比较简单，所以试验精度和准确度较差。现场试验多数用以解决生产鉴定性的问题，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，它可以获得近乎完全实际工作状态下的数据资料。图 1-13 所示为某桩基承载力的静载试验。



图 1-13 桩基静载试验



## 第2章 结构试验测量技术

### 2.1 概述

结构试验的测量技术是指通过适当的仪器采用相应的手段，直接或间接地获得结构性能变化的定量数据，从而对结构性能做出正确的评价，达到试验目的。

图 2-1 是土木工程试验测量系统图。

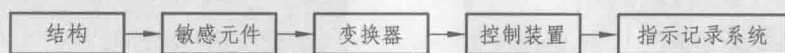


图 2-1 测量系统的组成

其中，敏感元件是和被测结构紧密接触的，如百分表、测力计、应变计等，当结构在荷载作用下变形时，上述敏感元件将会和被测件一起变形，并输出如位移、电压等物理量。

变换器又叫传感器、换能器、转换器等，它的作用是将被测参数转换成电量，并把转换后的信号传送到控制装置中进行处理。根据能量转换形式的不同，又可将传感器分为电阻式、电感式、压电式、光电式、磁电式等。

控制装置的作用是对传感器的输出信号进行测量计算，使之能够在显示器上显示出来。最重要的部分就是放大器，这是一种精度高、稳定性好的微信号高倍放大器。

指示记录系统是用来显示所测数据的，一般分为模拟显示和数字显示两种。前者常以指针或模拟信号表示，例如： $X$ - $Y$ 函数记录仪、磁带记录器；后者用数字形式显示所测数据，是比较先进的指示记录系统。

测量技术的发展体现了从简单到复杂，从单一学科到各学科互相渗透，从低级到高级的过程。随着电子技术的不断发展，结构试验中越来越多地应用电测仪器。它能够将各种试验参数转变为电阻、电容、电压、电感等电量参数，然后加以测量，即为“非电量的电测技术”。目前，测量仪器的发展趋势主要集中在数字化与集成化两个方面，许多新仪器均属声、光、电联合使用的复合式设备。

结构试验的主要测量参数包括外力（支座反力、外荷载）、内力（钢筋的应力、混凝土的拉、压力）、变形（挠度、转角、曲率）、裂缝等。相应的测量仪器包括荷重传感器、电阻应变仪、位移计、电子裂缝观测仪。这些设备按其工作原理可分为：机械式、电测式、光学式、复合式、伺服式；按仪器与试件的位置关系可分为：附着式与手持式、接触式与非接触式、绝对式与相对式；按设备的显示与记录方式又可分为：直读式与自动记录式、模拟式和数字式。