

结构试验

检测与鉴定

Structural Tests,
Inspection and Appraiser Techniques
of Civil Engineering

主 编 杨英武
副主编 夏森炜 杨 博 陈忠购 任 斌

 ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社



结构试验检测与鉴定

主 编 杨英武

副主编 夏森炜 杨 博 陈忠购 任 斌

图书在版编目(CIP)数据

结构试验检测与鉴定/杨英武主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2013. 12

ISBN 978-7-308-12472-0

I. ①结… II. ①杨… III. ①建筑结构—结构试验
②建筑结构—检测 IV. ①TU317

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 260604 号

结构试验检测与鉴定

杨英武 主编

责任编辑 何 瑜(wsheyu@163.com)

封面设计 杭州林智广告有限公司

出版发行 浙江大学出版社

(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

排 版 杭州林智广告有限公司

印 刷 杭州杭新印务有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16

印 张 28

字 数 699 千

版 印 次 2013 年 12 月第 1 版 2013 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-308-12472-0

定 价 58.00 元

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社发行部联系方式: (0571) 88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

本书编写人员名单

主 编	杨英武	浙江农林大学土木系
副 主 编	夏森炜	杭州市房屋安全鉴定事务管理中心
	杨 博	浙江农林大学土木系
	陈忠购	浙江农林大学土木系
	任 斌	杭州市房屋安全鉴定事务管理中心

前 言

本书编写过程中以国家现行结构试验、检测与鉴定相关标准为依据,结合领域内最新科研成果,力求反映最新的结构试验、检测理论与技术;同时介绍了既有建筑物在使用期间、改造加固前或工程事故后、司法鉴定等不同目的结构鉴定方法。本书结合土木工程教学大纲,适应土木工程专业人才培养要求,在编写过程中尽量做到概念明确、理论联系实际,在满足土木工程本科教学的同时,兼顾工程结构试验、检测与鉴定的社会服务、实践要求,将结构试验、检测与鉴定有机地结合起来。

本书在参考结构设计、试验、检测、鉴定及加固方面的现行规范、标准和已出版专业书籍基础上,结合作者从事本专业的经验和研究心得,除满足教学大纲外,也涉及了结构试验、检测与鉴定工作中一些专业人员较少涉及,但又非常重要或未来应用会越来越广的领域。如:结合现行建筑结构设计标准,系统介绍了建筑结构振动引起的室内人体舒适度、影响室内精密设备工作的振动检测技术及结果评价、处理方法等。同时,综合各专业规范中同类型试验参数,给出试验检测的具体方法和试验原则。如:综合交通、建筑结构等跨专业规范,系统讲述预应力混凝土结构施工过程中的预应力监测技术,大跨、悬臂结构索力测试技术,基坑施工周边房屋监测等。大规模土木工程建设完成后,如何确定房屋结构的使用安全是一个非常值得关注的问题,本书系统介绍了当前房屋鉴定工作中的各类鉴定内容、方法和评定要求等。如:损坏鉴定、危房鉴定、民用和工业建筑可靠性鉴定、火灾和抗震鉴定。最后,针对当前越来越多的房屋司法鉴定工作,提出了一些原则性的要求。

本书可以作为土木工程专业本科教材,还可作为工程技术研究生或科研人员从事相关工作的参考用书。

本书由杨英武、夏森炜、杨博、陈忠购、任斌共同编写,其中杨英武编写了第1、2、3、4、8章和5、6章部分内容及结构试验附录;夏森炜编写了第5、6、7章,杨博参与编写了第2、8章和结构试验附录,任斌、陈忠购参与编写了第5、6、7章。杨英武对全书进行了统稿和修改工作。

杨英武

2013年7月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 结构检测与鉴定的必要性	1
1.2 结构试验概述	2
1.3 结构检测概述	7
1.4 房屋鉴定概述	11
1.5 本书的特点	16
第 2 章 结构静荷载试验	18
2.1 静荷载试验的规划	18
2.2 静荷载试验目的及试件选择	19
2.3 试验荷载	21
2.4 试验支撑方式与加载装置	30
2.5 加载方式	39
2.6 静载试验测量用仪器仪表	48
2.7 试验测点布置及量测	76
2.8 试验终止及试验安全	78
2.9 结构抗震静力试验	80
第 3 章 结构动力荷载试验	100
3.1 概述	100
3.2 结构动载试验测量系统	102
3.3 结构动载试验加载设备和方法	123
3.4 结构动力特性测试	131
3.5 结构振动量量测	142
3.6 结构振动影响	149
3.7 地震模拟振动台试验	167

第 4 章 结构模型试验	170
4.1 模型试验理论基础	171
4.2 模型设计	179
4.3 模型试验材料及制作要求	186
第 5 章 常用结构检测方法	190
5.1 混凝土结构检测	190
5.2 砌体结构检测	217
5.3 钢结构检测	229
第 6 章 结构变形观测	242
6.1 构件变形观测	242
6.2 结构沉降与倾斜观测	244
6.3 结构水平位移及裂缝观测	247
6.4 基坑施工周边房屋监测	248
第 7 章 房屋鉴定	253
7.1 房屋鉴定的基本要求	253
7.2 房屋完损程度鉴定	260
7.3 房屋危险性鉴定	271
7.4 民用建筑可靠性鉴定	278
7.5 工业建筑可靠性鉴定	309
7.6 火灾后建筑结构鉴定	331
7.7 房屋抗震鉴定	345
7.8 房屋司法鉴定	378
第 8 章 结构试验数据处理和分析	387
8.1 概述	387
8.2 数据的整理与转换	387
8.3 数据的统计分析	391
8.4 试验误差分析	395
8.5 试验结果的表达	397
第 9 章 结构试验附录	409
试验一 电阻应变片灵敏系数的测定	409

试验二	简支或悬臂钢梁动力特性试验	410
试验三	简支钢桁架非破损试验	411
试验四	回弹法检测混凝土抗压强度	415
试验五	超声一回弹综合法检测混凝土强度	417
试验六	钢筋混凝土梁静载试验	420
试验七	钢筋混凝土短柱破坏试验	427
参考文献		431
后 记		437

第 1 章 绪 论

结构试验、检测与鉴定是三个互相联系而又有各自内涵的三个领域。通常,结构试验指的是以建筑结构或构件为对象,在荷载或其他作用下,借助各种仪器设备,通过直接量测或间接计算获得与结构实际工作性能有关的强度、刚度、稳定性、抗裂度、破坏形态等参数,评价结构或构件的承载性能、正常使用性能等。试验结果可用于确定结构对使用要求的符合程度,也可用于检验和发展结构设计计算的新理论。结构检测指依据国家有关建设工程法律法规、工程建设标准和设计文件,为评定建筑结构的质量或鉴定既有建筑结构的性能等,对建设工程的材料性能、构件或结构的实体质量、使用功能等进行测试确定其质量特性的活动。某种程度上结构试验可以是结构检测的一个组成部分。鉴定则是以结构试验或检测结果为依据,结合调查、计算与分析,对建筑结构的安全性、适用性、耐久性以及抗震能力等进行评定。

本书介绍的内容包含结构试验的基本原理与方法,既有建筑结构、构件的试验与检测,房屋建筑的安全、可靠性鉴定及抗震鉴定等。结合最新标准和实践经验,本书中的试验或检测方法、鉴定体系适用于在建或改造建筑工程的质量检测。结构试验基本原理也可为试验研究工作提供参考。

1.1 结构检测与鉴定的必要性

随着国家经济的发展、人民生活水平的提高,一方面需要建造大量的新建筑满足人们需求,另一方面既有建筑结构随着服役时间的增长、使用环境的变化,结构性能逐渐衰退,出现结构使用性或安全性等不能满足新标准的情况。新建建筑工程的质量检查和评定,新的结构计算理论、结构形式、新材料的大量应用,也需要对结构进行必要的试验与检测。此外,既有建筑为改变用途、延长服役期、提高结构安全性、可靠性或抗震性能等级而实施维护与加固处理前,要对结构进行必要的检测与鉴定。如 2008 年汶川地震后,国家有关部门及研究机构总结经验教训,为保障校舍安全,建议提高中小学校舍房屋结构安全和抗震等级。在结构维护或加固处理前,则必须对学校校舍进行房屋可靠性及抗震鉴定等。

一般情况下,当建筑结构出现以下情况时,应进行必要的检测与鉴定:

(1) 新建工程结构质量,通过试验与检测,确认其材料性能、结构裂缝、构件尺寸与构造连接等不能满足施工质量验收规范及设计文件要求。结合试验、检测数据和结论,需要通过计算复核等,确认结构是否满足设计规范的最低安全要求,以确定结构是否能够验收或需要进行一定的加固处理。

(2) 建筑结构施工或既有建筑结构出现质量事故,需要通过检测与鉴定工作,查明事故原因以提出处理方案。

(3) 为保证结构在规定设计使用年限内的正常工作性、正常维护下的耐久性、偶然荷载作用下²⁴整体稳定性,需要对结构进行必要的检测与鉴定。

(4) 建筑结构在使用过程中发现地基基础不均匀沉降引起的结构倾斜与变形、上部结构变形与损伤等,需要通过结构检测与鉴定,查明或确认出现安全隐患的原因、程度,给出必要或急需的处理措施等。

(5) 既有建筑结构改变用途、加层改造、提高安全等级或抗震等级前,对结构进行现状质量检测、结构安全性、可靠性及抗震能力等方面评定,评价加层改造的可行性。

1.2 结构试验概述

1.2.1 结构试验的发展历史

结构试验方法的发展与结构计算分析理论的发展互相促进。新的计算理论需要通过结构试验验证和修正。同样,新的试验方法或新的试验仪器设备的出现,也会促进新的理论研究。

例如受弯梁截面的应力分布问题,1638年,伽利略认为受弯梁截面应力为均匀受拉分布;差不多50年后的1684年,法国物理学家马里奥脱和德国数学家莱布尼兹对均匀受拉提出修正,认为梁截面应力为三角形受拉分布。之后,胡克和伯努利在此基础上又提出平截面假定。到了1713年,法国人巴朗提出受弯梁截面应力分布的中和层概念,即梁截面应力分布以中和层为界,一边为拉应力,另一边为压应力。至此,以上理论和观点仅处于假设阶段,对于受弯梁截面应力的真实分布状态并无试验手段进行验证。直到1767年,法国人容格密里第一次在没有测量仪器的情况下,运用试验方法证明了梁截面上压应力的存在(如图1.2.1)。他把受弯木梁上部受压区纤维切断,按照一定间距割出若干木槽,然后在木槽内塞入木楔。试验发现木梁的承载能力并未因上部木纤维切断而降低,显然,只有梁上部受压而不是受拉才有这种结果。这个现代人看来简单且粗糙的试验,却给当时的研究学者进一步发展结构计算理论指明了方向,此试验也被人们誉为“路标试验”。1821年,法国科学院院士拿维叶从理论上证明了现在所应用的材料力学受弯公式,而相应的试验测量则在二十多年以后才由另外一位科学家A. 莫列恩完成。

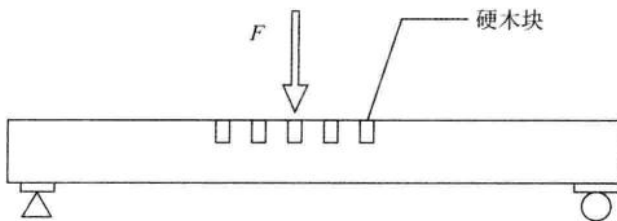


图 1.2.1 容格密里木梁受弯试验

通过试验,也可以获得新的理论。比如1772年,俄国工程师库里宾通过试验获得简单拱形结构支座的水平推力计算公式(如图1.2.2),并通过试验验证了涅瓦河上300m跨木拱桥的建造可行性。系统的应用结构试验方法研究和验证新的结构设计理论、结构工作状态

开始于 19 世纪末、20 世纪初。借助结构试验技术发展和方法改进,人们把建筑技术水平提高到了一个更高的层次。此后的三十年内,结合建筑材料科学进步,人们把建筑结构推向更高、更大跨度的方向。

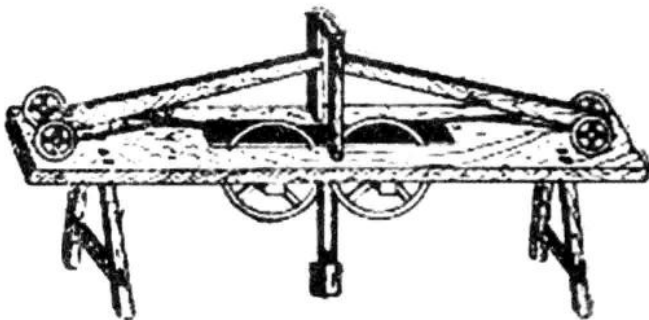


图 1.2.2 库里宾求三铰拱推力的试验装置

20 世纪 50 年代开始,计算机技术和有限元方法的发展以及长期以来结构试验成果的积累,使得运用大型的复杂计算能够解决大量的设计理论问题,结构试验不再是研究和发展结构理论的唯一途径。但一些超高层、大跨度或形状复杂、无设计先例的结构体系,一些材料物理力学属性较为离散的普通钢筋混凝土结构、预应力钢筋混凝土结构、砌体结构及抗震结构设计理论,仍需要进行试验研究以完善设计计算理论。

新中国成立后我国十分重视结构试验,在这方面做了许多工作。1956 年各大学开始设置结构试验课程,各建筑研究机构 and 高等学校也开始建立结构实验室,同时也开始生产一些测试仪器,全国各地开始对结构构件进行试验。从那时起,我国便初步拥有一支既掌握一定试验技术,又具有一定装备的结构试验专业队伍。在直接为生产服务方面和结构工程科学研究方面,对结构的材料性质、基本构件和结构整体工作性能等,进行了大量的以实物或模型为对象的静、动力试验,获得了许多试验成果,提出了符合中国实际情况的设计参数、工艺标准、计算公式、设计理论及施工工艺,为制定各种规范、规程提供了基本依据。

1.2.2 结构试验按照试验目的分类

结构试验可分为研究性试验和鉴定性试验。

研究性试验指的是为科学研究及开发新技术、新材料、新工艺或新的结构形式等目的而进行的探讨结构性能和规律的试验。研究性试验是按照先前详细规划,针对专门为试验设计制造的结构或构件实施。在试验对象的制造上把试验研究的主要问题表现出来,忽略一些对结构影响的次要因素,突出试验研究特性,以便更好地观测试验数据,最终分析总结达到探索理论规律的目的。研究性试验通常解决以下三方面的问题:

(1) 验证结构设计理论的假定。在结构设计中,常对结构计算图式和本构关系作某些简化假定,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。

(2) 提供设计依据。我国现行的各种结构设计规范除总结已有的大量科学试验的成果和经验外,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。对于特种结构,应用理论分析的方法达不到理想的结果时,通过结构试验归纳结

构的计算模式和公式系数,解决工程中的实际问题。

(3) 提供实践经验。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,从而积累资料,使设计计算理论不断改进和完善。

鉴定性试验指的是为检验结构构件是否符合结构设计理论或施工验收规范要求,通过规程规定的试验程序进行试验验证,并对试验结果做出技术结论。鉴定性试验通常解决以下三方面的问题:

(1) 检验或鉴定结构质量。对一些比较重要的结构、构件,建造完成后需要通过试验综合性地鉴定其质量的可靠度。比如,对于预制构件或现场施工的大跨度预应力构件,在出厂安装之前、竣工后投入使用之前,按照相应规范或规程抽样检验,以推断其质量。

(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承载能力,为加固、改建、扩建工程提供数据。

(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,或在建造使用中严重缺陷的结构,往往通过试验和检测,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。

1.2.3 结构试验按照试验对象分类

结构试验可分为原型试验和模型试验。

(1) 原型试验。

结构原型试验对象与实际结构尺寸、材料、制作工艺基本相同,某些情况下甚至模拟对象的服役期间的正常或恶劣环境。我国1953年在长春对25.3m高的酒杯形输电铁塔进行了简单的原型试验,这是新中国成立后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、动荷载试验任务。桥梁结构整体静载试验、移动荷载下的动力特性试验,高层建筑风振试验或结构动力特性试验,工业建筑排架结构的侧向刚度试验,建筑楼屋盖承载力试验,建筑地面变形试验等均在实际结构上实施,均属于原型试验。原型试验中另一类就是足尺结构构件试验。如一根梁、一块板或一榀屋架之类的实物构件,可以在试验室内试验,也可以在现场进行。

随着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,台湾地震工程研究中心2006年选择台湾地区典型的小学教学楼结构进行了原型结构推覆试验(push over test)、反复荷载试验(cyclic loading test)和拟动力试验(pseudo-dynamic test),如图1.2.3所示。通过原型结构破坏性试验,研究结构抗震性能。

原型结构试验投资大,试验周期长,加载荷载值大,系统复杂;不论是鉴定性试验还是研究性试验,都受到很多限制。但其试验结果更真实,更贴近结构工作的实际状况,因此,试验结果的可靠性高。随着经济的发展,国内不少高等院校和研究机构也着手进行大型足尺寸结构的破坏性试验研究。

(2) 模型试验。

当原型试验受各种原因,如技术上或空间存在某些困难或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。模型是原型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。根据相似理论,模型采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,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,这类模型要求有严格的模拟条件。

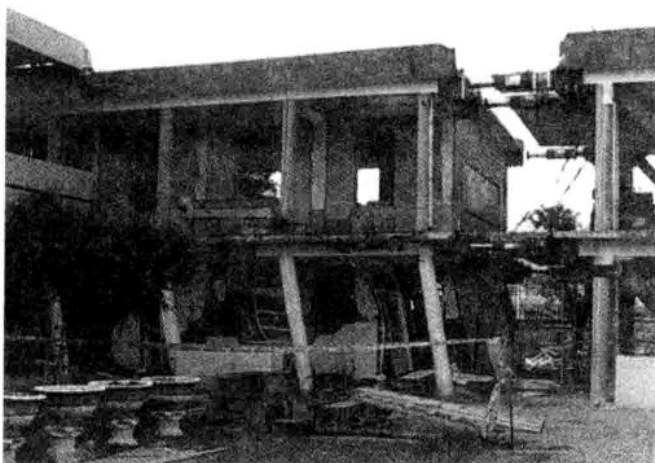


图 1.2.3 台湾小学教学楼结构原型试验

模型试验大多在实验室进行。作为一种研究手段,可以严格控制试验对象的主要参数不受外界条件的干扰或限制。通过有选择的比例相似,忽略次要因素,模型试验有利于在复杂的试验过程中突出主要试验内容,因此有利于发现试验结果的内在联系和规律。相对于原型,结构试验模型一般尺寸都是按比例缩小,因此制造加工方便,可以节约人力和资金。另外,试验还可以用来预测无设计经验、尚未建造的结构性能。当采用计算分析模拟或其他手段不能准确把握此类建筑结构性能时,模型试验成了研究此类问题的重要手段。

1.2.4 结构试验按照荷载性质分类

结构试验可分为静力荷载试验和动力荷载试验。

(1) 静力荷载试验。

静力荷载试验是结构试验中最常见的基本试验。工程设计时,结构受力荷载通常包含恒载和活载,两者均为作用在结构上的静荷载。一般可以通过重力或各种类型的加载设备来模拟设计或实际荷载分布以满足加载要求。通常,静力试验的加载过程是从零开始逐步单调递增至预定目标状态或结构破坏为止。整个试验过程中,结构本身的运动加速度产生的惯性力可以忽略不计。钢筋混凝土结构、砌体结构以及钢结构的承载力设计理论便是通过这种试验方法建立或检验。

近年来由于探索结构抗震性能,通过反复低周期反复荷载试验来实现。在试验中,利用加载系统使结构承受反复变化的荷载或位移作用。试验过程体现了结构在地震作用下的变形历程。但由于加载速度低于结构在地震作用下所经历的变形速度,为区别于一般单调加载试验,称之为低周期反复加载试验,亦称为拟静力或伪静力试验。

拟动力试验是研究地震作用的另外一种静力试验方法。最早于 1969 年提出,在 20 世纪 80 年代中期到 90 年代中期得到新的发展。在试验加载控制方面,有荷载控制、位移控制、力和位移混合控制或交替控制等。目前运用较多的是位移加载控制。对原结构或其模



型进行的拟动力试验,称为全结构拟动力试验;对部分结构或其模型进行的拟动力试验,称为子结构拟动力试验。

拟动力试验是一种联机试验,通过计算机控制加载模拟地震过程。将计算机与加载作动器联机求解结构的动力方程,以模拟地震对结构的作用。进行拟动力试验时,首先计算机输入地震波时程曲线,求解动力方程,计算出结构的初始地震反应位移,通过计算机控制作动器给试验对象施加位移,测得结构在此位移下的恢复力。然后,使用测得的恢复力和下一步地面运动加速度值,求解动力方程计算下一步的结构目标位移,并通过作动器施加在结构上。如此不断循环直至试验结束,就可以得到结构在地震波输入全过程的位移、速度、加速度以及恢复力等信息的时程曲线图,并可由此得到结构的响应滞回曲线来分析结构的抗震性能。

静力试验的最大特点是加载设备相对来说比较简单,荷载可以逐步施加,可在试验过程中详细记录试验数据,同时观察结构状态。其缺点是不能反映应变速率对结构的影响。

(2) 动力荷载试验。

动力荷载试验包含结构疲劳试验、结构动力特性试验、地震模拟振动台试验以及风洞试验等。实际工程结构或构件如厂房吊车荷载对吊车梁的作用、高耸或大跨结构的风致振动、地震对结构的作用均属于结构动力问题。动力荷载试验是利用各种动荷载或动位移加载设备,对结构施加动力作用,通过观察结构在动力作用下的响应,了解结构的动力性能。因此,对于在实际工作中以承受动荷载作用为主要因素的结构或构件,为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。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,且比静力试验复杂得多。

1.2.5 结构试验按照试验时间分类

结构试验可分为短期荷载试验和长期荷载试验。

对于主要承受静力荷载的结构,永久及可变荷载等实际上是长期作用的。但进行结构试验时限于试验条件和试验时间,基于需要解决的问题,实际应用中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达到某阶段后即卸荷,试验过程在几十分钟、几小时或者几天内完成。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,与结构实际工作状态有一定差别。严格来讲这种短期荷载试验并不能代替长期荷载试验。这种由于具体客观因素或技术限制所产生的影响,在分析试验结果时必须加以考虑。

某些试验则必须考虑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要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、突出主要影响因素,经常需要对试验环境严格控制,如保持恒温、恒湿等,一般在室内完成。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状态,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。

此外,结构试验根据试验所处的场地又可分为实验室试验和现场试验等。

1.3 结构检测概述

结构检测包含检查、测量与判定三个过程,其中检查与测量是结构检测的核心内容,判定是目的,需要在检查与测量的基础上完成。如回弹法检测混凝土抗压强度,则是首先检查混凝土状态是否符合规程适用范围,然后按照规程规定方法应用回弹仪进行测量,最后对数据进行分析计算和推定,得到混凝土抗压强度值的过程。

随着人类历史的发展和进步,建筑结构所选用的材料和计算理论的发展,所应用的检测技术也不同。在我国古代,建筑完工后的质量检测大多为肉眼观察或非精确量化的检测方法,因此检测手段比较落后,检验人员的主观因素占很大成分。春秋战国时期的《考工记》、宋代时期的《营造法式》对建筑尺寸和质量要求给出统一规定,《晋书》中记载了工程质量验收方法,大夏国皇帝郝连勃勃建造“统万城”,工程由阿利监工,“阿利性尤工巧,然残忍刻暴,乃蒸土筑城,锥入一寸,即杀作者而并筑之”。另外,也通过物勒工名、哲匠升官的方法保证施工质量。

清末民初,中国由手工业逐渐转向半工业、半手工业社会。除传统的木结构和砌体结构外,上海外滩和广州地区出现了钢筋混凝土结构。我国第一座真正意义上的钢结构大桥红河州屏边人字桥,由法国女工程师鲍尔·波丁于 1907 年所建,桥长 67 米,宽 4.2 米,人字形钢结构大桥在两山绝壁之间。该桥为“桁肋式铰拱钢架桥”,用钢板、槽、角钢、铆钉等纯人工手段连接而成。由于当时的中国无国家标准,其质量检验方法参考外国标准。

建筑结构进行科学检测是保证工程质量的重要措施。新中国成立后,建筑业得到了快速发展,尤其是 20 世纪 70 年代以来,新的检测方法、检测手段不断涌现,国家相关部门根据不同方法制定了相应的检测评价标准。

1.3.1 混凝土结构检测方法

钢筋混凝土结构是目前我国建筑结构的主要结构形式之一。而强度又是混凝土的重要技术指标。具有不同特点的混凝土抗压强度现场检测方法见表 1.3.1。

表 1.3.1 混凝土强度主要检测方法

检测方法	特 点	用 途	限制条件
回弹法	1. 直接在原状混凝土表面上测试; 2. 仪器操作简便,测试结果直观,检测部位无破损; 3. 不适用于表层与内部质量有明显差异或内部存在缺陷的构件检测。	根据混凝土表面硬度、碳化深度,推定抗压强度。	1. 适用温度范围: $-4\sim 40^{\circ}\text{C}$; 2. 适用龄期范围: $14\sim 1000\text{d}$,长龄期可采用钻芯法修正; 3. 抗压强度范围: $10.0\sim 60.0\text{ MPa}$ 。
超声一回弹综合法	1. 综合法检测,测试精度较高; 2. 检测部位无破损; 3. 不适用于遭受冻害、化学侵蚀、火灾、高温等已造成表面疏松、剥落的混凝土。	根据混凝土表面硬度、内部密实性综合推定抗压强度。	1. 适用温度范围: $-4\sim 40^{\circ}\text{C}$; 2. 适用龄期范围: $7\sim 2000\text{d}$,长龄期可采用钻芯法修正; 3. 抗压强度范围: $10.0\sim 70.0\text{ MPa}$ 。

续 表

检测方法	特 点	用 途	限制条件
钻芯法	1. 适用范围广,测试结果直观、准确; 2. 检测部位局部破损。	根据圆柱体芯样强度推定抗压强度。	1. 被检测混凝土强度不大于 80MPa; 2. 标准芯样公称直径 100mm,不得小于 70mm;且不宜小于骨料最大粒径的 3 倍,不得小于骨料最大粒径的 2 倍; 3. 芯样高径比为 0.95~1.05。
拔出法	1. 测试精度高,使用方便,适用范围广; 2. 检测部位微破损。	根据埋件的极限拔出力推定抗压强度。	1. 混凝土强度范围: 10~80MPa; 2. 测试面质量与混凝土内部质量一致。

钢筋混凝土结构的质量不仅与混凝土强度有关,也与其内部钢筋分布有关。因此,有必要准确测量内部钢筋直径、间距以及混凝土保护层厚度。所采用的无损检测方法主要有电磁感应法和雷达法。

电磁感应法是用电磁感应原理检测混凝土结构及构件中钢筋间距、公称直径和混凝土保护层的方法。电磁感应法钢筋探测仪采用电磁感应原理,由振荡器产生的频率和振幅稳定的交流信号输入传感器后激发传感器并在其周围产生交变磁场,当含铁磁的物质靠近传感器时,由于电磁感应而使传感器的输出电压信号发生变化,这一变化信号进入信号处理单元并经放大和模数转换,由单片微机完成数据采集及处理,并可按使用者由键盘输入的具体测定项目要求,在显示器上显示出所测结果。利用电磁感应原理进行结构实体钢筋检测不仅受到相邻钢筋的影响,还受到混凝土骨料、水泥、配合比、钢筋材质的影响。

雷达法是通过发射和接收到的毫微秒级电磁波来检测混凝土结构及构件中钢筋间距、混凝土保护层的方法。探地雷达技术,最早应用于地球物理勘探,如地质调查、古墓遗址探测、工程勘测等。近几年,探地雷达在混凝土结构检测中取得了很好的成果,尤其对于距离表面较深位置的隧道衬砌、建筑地下室底板下层钢筋等,用电磁感应法无法测量的情况下,雷达法有明显的优势。

混凝土缺陷检测,主要采用超声波检测方法。系采用带波形显示的低频超声仪和频率为 20~250kHz 的声波换能器,测量混凝土声速、波幅和主频等声学参数,并根据这些参数及其相对变化分析判断。可用来对混凝土内部空洞、不密实区的位置和范围、裂缝深度、表面损伤层厚度、不同时间浇筑的混凝土结合面质量以及钢管混凝土、灌注桩的缺陷进行检测。

1.3.2 钢结构检测方法

钢结构现场检测主要包含外观质量检测,如钢材表面裂纹、夹渣,焊缝表面焊渣、周边飞溅物,高强螺栓外露丝扣、扭剪型高强度螺栓连接副终拧后,未拧掉梅花头的螺栓数等;钢材及焊缝表面渗透探伤、磁粉探伤、钢材及焊缝内部缺陷的超声波探伤和 X 射线、 γ 射线探伤等无损检测法;高强螺栓连接终拧扭矩、钢结构防火、防腐涂层厚度检测等。

1.3.3 砌体结构检测

砌体结构是我国多层建筑的主要结构形式。由于砌体结构主要由块材(砖、砌块)和黏结材料(砂浆)结合而成,因此,砌体结构检测可分为块材强度、砂浆强度检测和砌体强度检测。

对于新建工程当遇到以下情况时,应进行砌体结构检测:

- (1) 砂浆试块缺乏代表性或试块数量不足;
- (2) 对砖强度或砂浆试块的检验结果有怀疑或争议,需要确定实际的砌体抗压、抗剪强度;
- (3) 发生工程事故或对施工质量有怀疑和争议,需要进一步分析砖、砂浆和砌体的强度。

对于既有建筑物,当进行以下鉴定时,需要进行砌体性能检测:

- (1) 安全鉴定、危房鉴定以及其他应急鉴定;
- (2) 抗震鉴定;
- (3) 建筑大修前的可靠性鉴定;
- (4) 房屋改变用途、改建、加层或扩建前的专门鉴定等。

根据砌体结构自身特点,常用的砌体结构现场检测方法见表 1.3.2。

表 1.3.2 砌体结构现场检测方法

检测方法	特 点	用 途	限制条件
原位轴压法	1. 原位检测,直接在墙体上测试,测试结果综合反映了材料质量和施工质量; 2. 直观性、可比性强; 3. 设备较重; 4. 测部位局部破损。	1. 检测普通砖和多孔砖砌体的抗压强度; 2. 火灾、环境侵蚀后的砌体剩余抗压强度。	1. 槽间砌体每侧的墙体宽度应不小于 1.5m; 2. 同一墙体上的测点数量不宜多于 1 个,宜选在墙体长度方向中部; 3. 限于 240mm 砖墙。
扁顶法	1. 属原位检测,直接在墙体上测试,测试结果综合反映了材料质量和施工质量; 2. 直观性、可比性较强; 3. 扁顶重复使用率较高; 4. 砌体强度较高或轴向变形较大时,难以测出抗压强度; 5. 设备较轻; 6. 检测部位局部破损。	1. 检测普通砖和多孔砖砌体的抗压强度; 2. 测试砌体弹性模量; 3. 测试古建筑和重要建筑的受压工作应力; 4. 火灾、环境侵蚀后的砌体剩余抗压强度。	1. 槽间砌体每侧的墙体宽度应不小于 1.5m; 2. 同一墙体上的测点数量不宜多于 1 个,宜选在墙体长度方向中部。
原位单剪法	1. 属原位检测,直接在墙体上测试,测试结果综合反映了施工质量和砂浆质量; 2. 直观性强; 3. 检测部位局部破损。	检测各种砌体的抗剪强度。	1. 测点选在窗下墙部位,且承受反作用力的墙体应有足够长度; 2. 测点数量不宜太多。