

建筑结构加固设计

吕西林 主编

科学出版社

312
4

建筑结构加固设计

吕西林 主编



科学出版社

2001

内 容 简 介

本书主要阐述了建筑结构加固设计的基本理论和实用方法。全书共五章。第一章介绍了建筑结构加固的意义、加固工作的程序以及加固设计的原则。第二章介绍了建筑结构的检测方法及建筑物可靠性的鉴定方法。第三、四、五章分别介绍了混凝土结构、砌体结构、木结构的加固设计方法和施工要点,并给出了几种不同类型的结构加固设计实例。

本书可作为土建类专业继续教育的自学用书,亦可供从事建筑结构设计、施工和科研的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑结构加固设计/吕西林主编;金国芳等编. -北京:科学出版社,2001
ISBN 7-03-008861-1

I. 建… I. ①吕… ②金… III. 建筑结构-结构加固-结构设计
IV. TU318

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 49104 号

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

北京双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2001 年 2 月第 1 版 * 开本: 787×1092 1/16
2001 年 7 月第二次印刷 印张: 9 1/4
印数: 3 001—5 000 字数: 208 000

定价: 20.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<环伟>)

前 言

建筑结构的维护、修复和加固是城市建设和管理的重要内容,也是物业管理工程技术人员和结构工程师所经常遇到的问题。本书是作者多年来在大量工程实践中根据结构分析和设计的基本原理,创造性地应用各类结构设计规范、结构鉴定和加固设计规程的结晶,并吸收了国内外的最新研究成果。

本书从建筑结构加固工作的规律和程序出发,循序渐进地介绍了结构加固工作的重要性,建筑结构的材料、变形和损伤等检测方法,建筑物可靠性鉴定方法,各类结构物的加固设计方法和施工要点,以及部分工程结构的加固设计和施工实例,既突出结构加固的概念设计,又注重加固施工的工艺设计,既强调理论计算,也重视加固构造措施的介绍。

本书可供掌握了结构设计概念、具有结构材料和结构力学知识并了解结构施工技术的工程技术人员和土建类院校的师生使用。

参加本书编写的人员有吕西林(第一章和第二章部分内容)、金国芳(第二章部分内容和第五章)、李思明(第三章)、周德源(第四章)。全书由吕西林修改定稿。杨震、阮永辉、向黎明、梁丛中绘制了书中的插图。

由于水平所限,书中难免有不足之处,欢迎读者批评指正。

目 录

前言

第一章 绪论	1
1.1 建筑结构加固的意义	1
1.2 建筑结构加固的程序	1
1.3 建筑结构加固设计的原则	2
第二章 建筑结构的检测与鉴定	4
2.1 概述	4
2.2 结构材料的力学性能检测	6
2.3 混凝土构件中钢筋配置情况的检测	18
2.4 结构及构件变形的检测	21
2.5 结构可靠性鉴定评级	24
第三章 混凝土结构的加固设计	35
3.1 概述	35
3.2 混凝土梁、板的加固	35
3.3 混凝土柱的加固	78
3.4 混凝土屋架的加固	90
第四章 砌体结构的加固设计	101
4.1 概述	101
4.2 墙体裂缝的修复与补强	101
4.3 墙体承载力不足时的加固	102
4.4 砖柱承载力不足时的加固	110
4.5 窗间墙的加固	112
4.6 加强砌体结构整体性的加固	112
4.7 加强砌体房屋构件间连接的加固方法	119
第五章 木结构的加固设计	122
5.1 概述	122
5.2 木梁的加固	126
5.3 木屋架的加固	128
5.4 木柱的加固	132
5.5 其他木构件的加固	133
5.6 木结构房屋的抗震加固	134
参考文献	140

第一章 绪 论

1.1 建筑结构加固的意义

20 世纪 80 年代以前,建筑结构加固工作的重点主要是对旧房进行鉴定和加固,而从 90 年代中期以来,旧房和新房都存在着鉴定和加固的问题,因此对建筑结构进行鉴定和加固的工作越来越多,特别是在房地产业大发展、居民购买住房增多的情况下,许多房屋质量纠纷的解决办法之一(技术上),就是对房屋进行鉴定和加固。有时对房屋质量的检测和鉴定结果,也成为各级政府部门处理房产纠纷的重要依据。

一般来说,在下列情况下要对建筑进行鉴定和加固:

1) 由于使用不当、年久失修、结构有损伤破坏、不能满足目前使用要求或安全度不足时,要进行鉴定和加固。

2) 由于设计或施工中发生差错引起工程质量事故时,对原结构要进行鉴定或加固。这种情况在新建工程和已建成投入使用的工程中都可能遇到。

3) 由于灾害性事件的影响结构产生开裂和破坏时,需要对原结构进行鉴定和加固(例如地震、台风和火灾等影响后)。

4) 对一些重要的历史性建筑、有纪念意义的建筑需要进行保护时,要对结构进行鉴定和加固。

5) 当对建筑物进行改建、扩建和加层时,需对原结构进行鉴定和加固。

6) 在对建筑物进行装修中需对结构构件布置有重大改变而影响原结构受力体系时,应对结构进行鉴定和加固。

7) 当在已有建筑附近有深大基坑开挖,并且这种开挖会引起土体位移进而会对基坑周围的已有建筑产生有害影响时,应对这些建筑进行鉴定和加固。这也是确保基坑周围已有建筑的安全、确保基坑工程和新建工程顺利进行的重要措施之一。

1.2 建筑结构加固的程序

(1) 结构材料力学性能的检测。

收集原有的设计和施工资料,特别是竣工和验收资料。当对结构材料的强度有怀疑时,应进行结构材料力学性能的检测,以获得实际材料的强度。

(2) 结构完损性和安全性的鉴定。

完损性主要是指建筑结构目前的破损状态,安全性主要是指构件和结构的安全程度。评定完损性等级主要是为维修和加固提供依据,主要以外观检查为主。

鉴定安全性主要是为构件和结构的加固提供依据,主要是以内力分析和截面验算为主。

(3) 结构加固方案的制订。

有了完损性评价结果和安全性鉴定结果后,就可以制订具体的加固方案。这时应综合考虑多种因素,最主要的是建筑物的使用要求和可能的加固施工条件。

(4) 结构加固施工图设计。

要根据加固方案进行施工图设计,要特别注意加强新老结构之间的连接,保证协同工作,并注意被加固结构在施工期间的安全。

(5) 施工过程中的检查和施工后的验收。

设计人员要经常去现场了解施工情况,解决施工过程中的问题,特别是旧结构与图纸上不符合时更应及时到现场了解情况。施工后的验收也很重要,要像新建工程一样对待。必要时,在加固施工完成后也可以进行一些现场实测,这对比较重要的工程和有影响的工程是非常有必要的。

1.3 建筑结构加固设计的原则

(1) 构件的加固与结构体系的加固。

毫无疑问,当某些构件不满足安全度要求时必须进行加固,但结构体系的加固往往会被忽视。例如个别构件加固后引起刚度和强度分布情况的变化,应从整个结构体系安全的角度来考虑。还有,结构构件之间连接的加固对结构整体性的影响也是很大的。

(2) 局部加固与整体加固。

当对个别构件加固后不影响整个结构体系的受力性能时,可以进行局部加固,例如设备爆炸引起个别梁板的破坏,这时只要将受破坏的梁板加固到原有抗力就可以了。当结构整体不满足要求时,例如当结构在地震作用下的侧向变形不满足要求时,宜对结构整体进行加固。

(3) 临时加固与永久加固。

临时加固的要求可以降低一些,永久加固的要求应高一些。

(4) 抗震加固设计时需要特别考虑的问题。

1) 结构的刚度和强度分布要均匀,避免出现新的薄弱层。

2) 竖向受力构件要连续,保证传力路线明确。

3) 由于加固后使结构自振特性改变而引起地震作用的加大。

4) 增设构件或加强原有构件,均要考虑减少整个结构扭转效应的可能性。

5) 加强薄弱部位的抗震构造。

6) 要使结构的受力状态更加合理,防止构件发生脆性破坏,消除不利于抗震的强梁弱柱、强构件弱节点等受力状态。

7) 要考虑建设场地的影响,针对建筑的场地条件的具体情况,加固后的结构要选择地震反应较小的结构体系,避免加固后地震作用的增加超过结构抗震能力的提高。这是因为,根据震害经验和抗震分析的基本理论,在坚硬场地上刚度较大结构的地震反应较大,在软弱场地上刚度较小柔性较大的结构地震反应较大。因此在抗震加固设计中要利用这一概念,通过调整结构的刚度来改变结构的地震作用,以达到满足设计要求的目。

8) 采用抗震新技术进行加固。采用比较成熟的抗震加固新技术可以从总体上改善结

构的抗震性能,提高结构的抗震能力,应大力提倡。美国和日本在这方面已进行了大量的工作,国内也有一些工程在进行这方面的探索。在这一方面目前可以应用的技术和措施有:基础隔震(包括层间隔震),增设抗震耗能支撑或抗震耗能剪力墙,采用主动控制或混合控制技术。采用抗震新技术进行加固时要注意:①要采用经过正式鉴定的技术;②要由专业人员对原结构进行认真仔细的研究,结合具体情况确定采用哪项新技术;③要便于在工程中实施,满足现场施工的要求。

第二章 建筑结构的检测与鉴定

一般来说,在对现有建筑物进行加固设计前,为避免加固设计的盲目性,同时也为加固设计提供技术依据,需要对现有建筑物进行可靠性鉴定。

2.1 概 述

2.1.1 建筑物可靠性鉴定的基本概念

结构可靠性是指结构在规定的时间内、在规定的条件下完成预定功能的能力,它包括安全性、适用性和耐久性,当以概率来度量时称为结构可靠度。

安全性:结构在正常施工和使用条件下承受可能出现的各种作用的能力,以及在偶然事件发生时和发生后仍保持必要的整体稳定性的能力。

适用性:结构在正常使用条件下满足预定使用功能的能力。

耐久性:结构在正常维护条件下随时间变化而仍满足预定功能的能力。

建筑物可靠性鉴定是指对现有建筑物上的作用、结构抗力及其相互关系进行检测、试验和综合分析,评估其结构的实际可靠性。

2.1.2 建筑物的鉴定方法

1. 传统经验法

建筑物可靠性鉴定过去主要采用传统经验法,传统经验法的特点是以个人或少数鉴定人员的经验和知识为主进行鉴定的,也就是依靠有经验的技术人员进行现场检测和必要的复算,然后凭其个人的知识和经验给出评判结果。由于没有统一的标准,有时的鉴定结论会因人而异,尤其是对一些结构较复杂的工程。

2. 实用鉴定法

随着科学技术的发展,建筑物的鉴定方法也在不断更新和完善,结构可靠性理论已引入建筑结构的鉴定中,我国在这方面也已取得一定的成绩,经过多年的努力,已编制了一些现有建筑物可靠性鉴定的标准。下面列举的是我国已编制的现有建筑物鉴定的国家或行业的标准和规程:

《工业厂房可靠性鉴定标准》(GBJ 144-90)

《钢铁工业建(构)筑物可靠性鉴定规程》(YBJ 219-89)

《民用建筑可靠性鉴定标准》(报批稿)(GB 50292-1999)

《钢结构检测评定及加固技术规程》(YB 9257-96)

《危险房屋鉴定标准》(JGJ 125-99)

《建筑抗震鉴定标准》(GB 50023-95)

《工业构筑物抗震鉴定标准》(GBJ 117-89)

建筑物可靠性鉴定目前是采用实用鉴定法,该方法是在传统经验法的基础上发展起

来的一种较科学的鉴定评判方法。这种鉴定方法的特点是要求鉴定人员根据鉴定目的进行详细的检查、分析,再按照现行的鉴定标准(上面列举的有关鉴定标准)下结论。实用鉴定法的工作程序如图 2.1 所示。

下面就实用鉴定法鉴定建筑物工作程序中的有关内容作简单介绍。

(1) 初步调查工作内容。

初步调查时,除对原设计图、竣工图等有关原始资料与实物初步核对、检查和分析外,还应对建筑结构使用条件作调查。使用条件的调查应包括结构上的作用、使用环境和使用历史三部分内容。

1) 结构上的作用调查,主要是确定结构验算所用的荷载和荷载效应,其调查可按表 2.1 的要求进行。

表 2.1 结构上的作用调查

项 目	调 查 细 目
永久作用	1. 结构构件、建筑构配件、固定设备等自重 2. 预应力、土压力、水压力、地基变形等作用
可变作用	1. 屋面及楼面活荷载 2. 屋面积灰 3. 吊车荷载 4. 风荷载 5. 雪、冰荷载 6. 温度作用 7. 振动冲击及其他动荷载
偶然作用	1. 地震 2. 撞击爆炸事故 3. 火灾
其他作用	建筑物周围的深基坑开挖等

调查时应根据当地和现场实际情况按国家现行标准《建筑结构荷载规范》的规定取值,如果遇到荷载规范中未作规定或特殊情况时应按《建筑结构设计统一标准》中规定的原则确定。

2) 建筑结构使用环境调查。

气象条件: 建筑物的方位、风玫瑰图、降雨量、大气湿度、温度等。

工业环境: 液相腐蚀、气相腐蚀、高温、潮湿等对房屋结构的影响。

地理环境: 地形、地貌、地质构造、周围建筑群等对房屋结构的影响等。

3) 使用历史。

主要调查建筑物的使用情况如超载、受灾、受侵蚀等,特别要注意因使用要求改变而产生的荷载变化史。

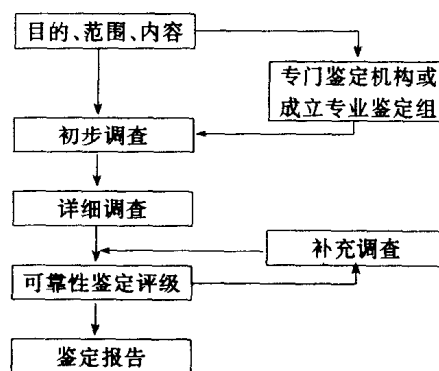


图 2.1 实用鉴定法鉴定建筑物的工作程序

(2) 详细调查工作内容。

1) 结构布置、支撑系统、圈梁布置、结构构件、结构构造和连接构造的检查。

2) 地基基础的检查,必要时开挖检查或进行试验。

3) 结构上的作用、作用效应及作用效应组合的调查分析,必要时进行实测统计。

4) 结构材料性能和几何参数的检测与分析,结构构件的计算分析、现场实测,必要时进行结构试验。

5) 建筑物结构功能及建筑构造的检查。

结构材料性能检测结果的精度直接影响结构鉴定的可靠程度,材料性能的检测是可靠性鉴定的基础。结构材料性能的检测将在本章 2.2 节中作介绍。有关混凝土、钢材及砌体结构或构件验算的规定见本章 2.5.1 节。

(3) 可靠性鉴定评级。

实用鉴定法中可靠性鉴定评级有下述两种方法:

1) 建筑结构可靠性鉴定评级法。

2) 建筑物完损鉴定评级法。

这两种方法将在本章 2.5.1 和 2.5.2 节中作简单介绍。

3. 特殊地区或特殊使用环境下建筑物的鉴定方法

现有建筑物在下述几方面存在较大的差别:

1) 建造年代:有千余年前的古建筑、近代的保护建筑,也有竣工不久即出工程事故的建筑物等。

2) 所处的地区:有建在地震区的,也有建在湿陷性黄土区、膨胀土区、地下采掘区等。

3) 所处的使用环境:有的建筑物处于腐蚀环境(如长期处在酸性公害环境下和含二氧化碳的环境下或强碱条件下)中的,也有长期处于高温条件(结构表面温度高于 100°C ,有生产热源且结构表面温度经常高于 60°C 的钢筋混凝土结构和受高温的钢结构等)和处于振动环境下的。

鉴于上述因素,对于建造在这些特殊地区和特殊使用环境下的建筑物,在鉴定时应按有关行业、地方标准或规程来综合鉴定。

我国是一个多地震的国家,现有建筑物特别是在 1976 年以前建造的建筑物的相当一部分未考虑抗震设防。为了减轻地震灾害,减少损失,使所鉴定的建筑物在遭遇到相当于抗震设防烈度的地震影响时,仍具有一定的安全储备而不致倒塌,所以鉴定建造在地震区的建筑物时尚应符合抗震鉴定标准的有关规定。

2.2 结构材料的力学性能检测

在对建筑物进行可靠性鉴定时必然要使用建筑结构材料的力学性能参数,这些参数可以通过查阅建筑物的竣工资料得到,但大多数情况下应通过现场检测来确定。对现有建筑物进行现场检测通常可以为解决下列问题提供基本的依据:1) 分析结构产生破损或破坏的原因;2) 评定结构的现有承载能力;3) 决策与优化结构处理及加固方案;4) 推断结构损坏发展的趋势和结构使用寿命;5) 推断加固处理后结构的使用寿命。

结构性能的检测是可靠性鉴定工作中的重要环节。检测工作包括的内容比较多,一般

有结构材料的力学性能检测、结构的构造措施检测、结构构件尺寸和钢筋位置及直径的检测、结构及构件的开裂和变形情况检测等。

现有结构中使用的材料主要有混凝土、钢材(钢筋)、砖石砌体和木材等。本节主要对常用结构材料混凝土、钢材和砌体的检测方法作一介绍。

2.2.1 混凝土材料

对现有建筑物中混凝土材料的强度检测,一般情况下均采用非破损检测技术。非破损检测技术是指在不破坏混凝土内部结构和使用性能的情况下,利用声、光、热、电磁和射线等方法测定有关混凝土性能方面的物理量,推定混凝土强度、缺陷等。回弹法和超声波法是典型的非破损测试方法。而测定混凝土强度的局部破损检测方法如钻芯法、拔出法等,由于所造成的局部损伤仅在混凝土表面或者在构件的一个很小的范围内,对结构的整体性能没有影响,不会危及结构的安全,所以也将其归入非破损检测范围。

非破损检测与常规的标准试块破坏试验方法相比,具有下列特点:1)不破坏构件或建筑物的结构,不影响其使用性能,且简便快速;2)可大面积直接在结构混凝土上作全面检测,能比较真实地反映混凝土的质量和强度;3)能获得破坏试验不能获得的信息,例如能检测内部孔洞、疏松、开裂、不均匀性、表面烧伤、冻害及化学腐蚀等;4)适用性强,对新建工程和现有建筑物都能应用;5)可进行连续测试和重复测试,使测试结构具有良好的可比性;6)由于是间接检测,检测结果的精度要差一些。

国内目前在混凝土材料质量和力学性能检测方面所用的非破损检测技术有五种,并有相应的技术标准,以下作一简介。

1. 回弹法检测混凝土抗压强度

回弹法是用一弹簧驱动的重锤,通过弹击杆(传力杆),弹击混凝土表面并测出重锤被反弹回来的距离,以回弹值(反弹距离与弹簧初始长度之比)作为与强度相关的指标,来推定混凝土强度的一种方法。

我国自20世纪50年代中期开始采用回弹法测定现场混凝土抗压强度。1963年召开了“回弹仪检验混凝土强度和构件试验方法技术交流会”,并于1966年3月出版了《混凝土强度的回弹仪检验技术》一书,对回弹法的推广应用起了促进作用。60年代初,我国开始自行生产回弹仪,并开始推广应用。但由于对各种影响因素研究不够,并无统一的技术标准,因而使用混乱,误差较大。1978年,国家建设委员会将混凝土无损检测技术研究列入了建筑科学发展计划,并组成了全国性的协作研究组,从而对回弹仪的仪器性能、影响因素、测试技术、数据处理方法及强度推算方法等进行了系统研究,提出了适合于我国地区特点的回弹仪标准状态及“回弹值-碳化深度-强度”相关关系,提高了回弹法的测试精度和适应性。1985年颁布了《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》,1989年该规程又进行了修订,修订后的规程为行业标准:《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》。现在回弹法已成为我国应用最广泛的非破损检测方法之一。

《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》适用于采用中型回弹仪对工程结构中普通混凝土抗压强度的检测工作。该技术规程中对回弹仪提出了有关的技术要求和检验及保养方法,并规定了应采用的检测技术、回弹值测量以及碳化深度值测量的方法,对回弹值的计算、测强曲线的采用和混凝土强度的计算都做了规定,为了便于从事建筑结构工程的技

术人员正确使用该技术规程,现将有关检测过程说明如下。

(1) 检测准备。

凡需要用回弹法检测的混凝土结构或构件往往是缺少同样条件下的试块或标准试块数量不足、试块的质量缺乏代表性、试块的试压结果不符合现行技术标准所规定的要求,并对该结果持有怀疑。所以检测应全面地、正确地了解被测结构或构件的情况。

检测前,一般需要了解工程名称,设计、施工和建设单位名称,结构或构件名称,外形尺寸、数量及混凝土设计强度等级,水泥品种、安定性、标号、厂名,砂、石种类、粒径,外加剂或掺合料品种、掺量,施工时材料计量情况等,模板、浇筑及养护情况等,成型日期,配筋及预应力情况,结构或构件所处环境条件及存在的问题。其中以了解水泥的安定性合格与否最为重要,若水泥的安定性不合格,则不能采用回弹法检测。

一般检测混凝土结构或构件有两种方法,视测试要求而择之。一种是逐个检测被测结构或构件,另一种是抽样检测。

逐个检测方法主要用于对混凝土质量和强度有怀疑的独立结构(如现浇整体的壳体、烟囱、水塔、隧道、连续墙等)、单独构件(如结构物中的柱、梁、屋架、板、基础等)和有明显质量问题的某些结构或构件。

抽样检测主要用于在相同的生产工艺条件下强度等级相同、原材料和配合比基本一致且龄期相近的混凝土结构或构件。被检测的试样应随机抽取不少于同类结构或构件总数的 30%,还要求测区总数不少于 100 个。具体的抽样方法,一般由建设单位、施工单位及检测单位共同商定。

(2) 检测方法。

了解了被检测的混凝土结构或构件情况后,需要在构件上选择及布置测区。所谓“测区”系指每一试样的测试区域。每一测区相当于该试样同条件混凝土的一组试块。行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》规定,取一个结构或构件混凝土作为评定混凝土强度的最小单元,至少取 10 个测区。但对长度小于 3m、高度低于 0.6m 的结构或构件,其测区数量可适当减少,但不应少于 5 个。测区的大小以能容纳 16 个回弹测点为宜。测区表面应清洁、平整、干燥,不应有接缝、饰面层、粉刷层、浮浆、油垢、蜂窝麻面等。必要时可采用砂轮清除表面杂物和不平整处。测区宜均匀布置在构件或结构的检测面上,相邻测区间距不宜过大,当混凝土浇筑质量比较均匀时可酌情增大间距,但不宜大于 2m;构件或结构的受力部位及易产生缺陷部位(如梁与柱相接的节点处)需布置测区;测区应优先考虑布置在混凝土浇筑的侧面(与混凝土浇筑方向相垂直的贴模板的一面),如不能满足这一要求时,可选在混凝土浇筑的表面或底面;测区须避开位于混凝土内保护层附近设置的钢筋和预埋铁件。对于体积小、刚度差以及测试部位的厚度小于 100mm 的构件,应设置支撑加以固定,以防止构件在回弹时产生开裂。

按上述方法选取试样和布置测区后,先测量回弹值。测试时回弹仪应始终与侧面相垂直,并不得打在水孔和外露石子上。每一测区的两个侧面用回弹仪各弹击 8 点,如一个测区只有一个侧面,则需测 16 点。同一测点只允许弹击一次,测点宜在侧面范围内均匀分布,每一测点的回弹值读数准确至一度,相邻两测点的净距一般不小于 20mm,测点距构件边缘或外露钢筋、铁件的间距不得小于 30mm。

回弹完后即测量构件的碳化深度,用合适的工具在测区表面形成直径为 15mm 的孔

洞,清除洞中的粉末和碎屑后(注意不能用液体冲洗孔洞),并立即用1%的酚酞酒精溶液滴在混凝土孔洞内壁的边缘处,用碳化深度测量仪或其他工具测量自测面表面至深部不变色边缘处与测面相垂直的距离1~2次,该距离即为该测区的碳化深度值,准确至0.5mm。

一般一个测区选择1~3处测量混凝土的碳化深度值,当相邻测区的混凝土质量或回弹值与它基本相同时,那么该测区的碳化深度值也可代表相邻测区的碳化深度值。一般应选不少于构件的30%测区数测量碳化深度值。

(3) 回弹数据处理。

当回弹仪在水平方向测试混凝土浇筑侧面时,应从每一测区的16个回弹值中剔除其中3个最大值和3个最小值,取余下的10个回弹值的平均值作为该测区的平均回弹值,取一位小数。

由于回弹法测强曲线是根据回弹仪水平方向测试混凝土试件侧面的试验数据计算得出的,因此当测试中无法满足上述条件时需对测得的回弹值进行修正。

(4) 根据回弹数据确定混凝土的强度。

一般情况下可从《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》中给出的“测区混凝土强度换算表”,根据回弹值和碳化深度值查出测区混凝土的强度换算值,再按《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》中的公式算出混凝土强度推定值。但应注意,当混凝土强度高于50MPa或低于10MPa时,本《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》给出的测强表就不适用了。

2. 超声法检测混凝土缺陷

混凝土超声检测是混凝土非破损检测技术中的一个重要方法。采用超声脉冲波(以下简称“超声波”)检测结构混凝土缺陷的基本依据是,利用脉冲波在技术条件相同(指混凝土的原材料、配合比、龄期和测试距离一致)的混凝土中传播的时间(或速度)、接收波的振幅和频率等声学参数的相对变化,来判定混凝土的缺陷。1) 因为超声波传播速度的快慢与混凝土的密实程度有直接关系,对于原材料、配合比、龄期及测试距离一定的混凝土来说,声速高则混凝土密实,相反则混凝土不密实。有孔洞或裂缝存在,就会破坏混凝土的整体性,超声波只能绕过孔洞或裂缝传播到接收转换器,因此,传播的路程增大,测得的声时必然偏长或声速降低。2) 由于空气的声阻抗率远小于混凝土的声阻抗率,超声脉冲波在混凝土中传播时遇到蜂窝、孔洞或裂缝等缺陷,便在缺陷界面发生反射和散射,声能被衰减,其中频率较高的成分衰减更快,因此接收信号的波幅明显降低,频率明显减小或者频率谱中高频成分明显减少。3) 经缺陷反射或绕过缺陷传播的超声脉冲波信号与直达波信号之间存在声程和相位差,叠加后互相干扰,致使接收信号的波形发生畸变。根据上述原理,可以利用混凝土声学参数测量值和相对变化综合分析、判别其缺陷的位置和范围,或者估算缺陷的尺寸。

利用超声波检测混凝土缺陷时,一般根据被测结构或构件的形状、尺寸及所处环境确定具体测试方法。常用的测试方法可分为以下几种:

(1) 平面测试(用厚度振动式换能器)。

1) 对测法:一对发射(T)和接收(R)换能器分别置于被测结构相互平行的两个表面,且两个换能器的轴线位于同一直线上。

2) 斜测法:一对发射和接收换能器分别置于被测结构的两个表面,但两个换能器的轴线不在同一直线上。

3) 单面平测法:一对发射和接收换能器置于被测结构同一表面上进行测试。

(2) 钻孔测试(采用径向振动式换能器)。

1) 孔中对测:一对换能器分别置于两个对应钻孔中,位于同一高度进行测试。

2) 孔中斜测:一对换能器分别置于两个对应钻孔中,不在同一高度而是在保持一定高程差的条件下进行测试。

3) 孔中平测:一对换能器置于同一钻孔中,以一定的高程差同步移动进行测试。

厚度振动式换能器常置于结构表面进行各种方式的测试,而径向振动式换能器则置于钻孔中进行对测和斜测。

超声波检测时需要专门的仪器和有经验、懂技术的检测人员,此方法可以检测混凝土中的裂缝分布和深度,可以检测混凝土的不密实区和孔洞,可以检测两次浇筑的混凝土之间结合面的质量,可以检测混凝土表面损伤层的厚度,可以检测大体积混凝土的匀质性。在一定的条件下,还可以检测混凝土钻孔灌注桩的质量。

我国已于 1990 年颁布了《超声法检测混凝土缺陷技术规程》,在该规程中,对超声检测设备、检测技术、各种应用情况下(浅裂缝检测、深裂缝检测、不密实性和空洞检测、混凝土结合面质量检测、表面损伤层检测、匀质性检测)的检测方法都做了详细的规定,为统一检测程序和判定依据、提高检测结果的可靠性提供了保证。

3. 超声回弹综合法检测混凝土强度

结构混凝土强度的综合法检测,就是采用两种或两种以上的单一方法或参数综合测试混凝土强度的方法。由于综合法比单一测试法误差小和适用范围广,因此在混凝土的质量控制与检测中的应用愈来愈多。一般来说,在合理选择各种单一方法组合的前提下,所采用的非破损测试方法越多,混凝土强度的测试精度也越高。

超声回弹综合法测定混凝土强度,是指采用超声仪和回弹仪,在结构混凝土同一测区分别测量声时值和回弹值 R ,然后利用已建立起来的测强公式推算该测区混凝土强度 f_{cu} 的一种方法。与单一超声法和回弹法相比,综合法具有以下特点:

(1) 减少龄期和含水率的影响。

混凝土的声速值除受粗骨料的影响外,还受混凝土的龄期和含水率等因素的影响。而回弹值除受表面状态的影响外,也受混凝土的龄期和含水率的影响。然而,混凝土的龄期和含水率对其声速和回弹值的影响有着本质的不同。混凝土含水率大、超声的声速偏高,而回弹值则偏低;混凝土的龄期长,超声声速的增长率下降,而回弹值则因混凝土硬化(或碳化)程度增大而提高。因此,二者综合起来测定混凝土强度就可以部分减少龄期和含水率的影响。

(2) 相互弥补两种方法的不足。

一个物理参数只能从某一方面在一定范围内反映混凝土的力学性能,超过一定范围,它可能不很敏感或者不起作用。例如回弹值 R 主要以表层砂浆的弹性性能来反映混凝土的强度,当混凝土强度较低、塑性变形较大时这种反映就不太敏感。当构件截面尺寸较大或内外质量有较大差异时,它就很难反映结构的实际强度。超声声速是以整个截面的动弹性来反映混凝土强度,而强度较高的混凝土,弹性指标变化幅度小,其相应声速随强度变

化的幅度也不大,其微小变化往往被测试误差所掩盖。所以,对于强度高于 35MPa 的混凝土,其超声波的声速 V 与被测混凝土强度 f_{cu} 的相关性较差。采用超声法和回弹法综合测定混凝土强度,既可以内外结合,又能在较低或较高的强度区间相互弥补各自的不足,能够较全面地反映混凝土的实际质量。

(3) 提高测试精度。

由于综合法能减小一些因素的影响程度,较全面地反映整体混凝土的质量,所以对于提高非破损检测混凝土强度的精度,具有明显的效果。

超声回弹综合法测定混凝土强度是 1966 年罗马尼亚建筑及建筑经济科学研究院首次提出的,并编制了有关技术规程,曾受到各国科技工作者的重视。1976 年我国引进了这一方法,在结合我国具体情况的基础上,许多科研单位进行了大量的试验,近 10 余年来曾完成了多项科研成果,在结构混凝土工程的质量检测中已获得了广泛的推广应用。1988 年由中国工程建设标准委员会批准了我国第一本《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》,为进一步推广应用这一方法提供了重要依据。

《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》适用于以中型回弹仪、低频超声仪按综合法检测建筑物和构筑物中的普通混凝土抗压强度值。该规程中对回弹仪提出了技术要求以及检验、操作和维护方法;对超声波检测仪和换能器提出了技术要求,对超声仪器检验、操作和维护作出了具体规定;对测区回弹值及声速值的测量与计算也作了详细的规定;对被检测混凝土强度的推定方法也作出了具体规定。在该规程的附录中还给出了建立专用或地区混凝土强度曲线的基本要求、测区混凝土强度与声速和回弹值的换算表等。同前述的其他检测方法相同,超声回弹综合法检测混凝土强度时需要专门的技术人员操作仪器和提供检测报告,但结构鉴定和加固设计人员应对检测过程和数据的来源进行一定的了解,以便正确地使用这些数据。

综合法检测混凝土强度技术,实质上就是超声法和回弹法两种单一测强方法的综合运用,因此,有关检测方法及相关规定与前述的单一方法相同。例如在检测前,应做好资料准备和对被测结构或构件有详细的了解,对测区的分布应进行详细规划,在测区的测试与计算方面与前述的单一测试方法基本相同。在推算混凝土强度时,应根据所获得的超声声速值和回弹值等参数,按已确定的综合法相关曲线,进行测区混凝土强度的计算或查表确定测区混凝土的强度。与前述的其他非破损检测方法相同,综合法既可用于检测施工过程中的结构混凝土强度,也可用于检测已建成工程中老年混凝土的强度值。

4. 钻芯法检测混凝土强度

钻芯法是利用专用钻机从结构混凝土中钻取芯样,并用专门的设备对芯样进行加工,在试验机上对芯样进行破损试验以检验混凝土强度或根据芯样的外观情况来观察混凝土内部质量的方法。由于它对结构混凝土仅造成局部损伤,因此是一种半破损的现场检测方法。利用钻芯法检测混凝土抗压强度,无需进行某种物理量与强度之间的换算,普遍认为它是一种直观、可靠和准确的方法,但由于在检测时总会对结构混凝土造成局部损伤,而且成本较高,因此大量取芯往往受到一定的限制。因而,近年来国内外都主张把钻芯法与其他非破损检测法综合使用,一方面利用非破损法可以大量测试而不损伤结构的特点,另一方面又可利用局部破损的钻芯法提高非破损测强的精度,使两者相辅相成。

用钻芯法检测混凝土的强度、裂缝、接缝、分层、孔洞或离析等缺陷,具有直观、精度高

等特点,因而广泛应用于工业与民用建筑、水工大坝、桥梁、公路、机场跑道等混凝土结构或构筑物的质量检测。在正常施工的情况下,混凝土结构应按《钢筋混凝土工程施工及验收规范》的要求,制作立方体标准养护试块进行混凝土强度的评定验收。只有在下列情况下才有必要进行钻取芯样检测其强度,并作为处理混凝土质量事故的主要技术依据:1)对立方体试块的抗压强度产生怀疑;2)混凝土结构因水泥、砂石质量较差或因施工、养护不良发生了质量事故;3)混凝土结构中被检测部位的表层与内部质量有明显的差异,或构件遭受过化学腐蚀、火灾、硬化期间遭受冻害;4)使用多年的老混凝土结构,当构件表面粗糙难以用回弹法和超声法进行检测时;5)需要检测某些结构或构件的厚度者,例如机场跑道测厚和楼板测厚等。

用钻芯法检测混凝土质量和强度具有直观、可靠、精度高和应用广的特点,它也有一定的局限性,主要表现在以下几个方面:1)钻芯时对结构造成局部损伤,因而对于钻芯位置的选取及钻芯数量等均受到一定限制,而且它所代表的区域也是有限的;2)钻芯机及芯样加工配套机具与非破损测试仪器相比比较笨重,携带不方便,测试成本也较高;3)钻芯后的孔洞需要修补,尤其当钻断钢筋时更增加了修补工作的困难。

在中国工程建设标准化协会标准《钻芯法检测混凝土强度技术规程》中,对钻取芯样及芯样加工的主要设备和仪器都有详细的要求;对芯样钻取的部位、芯样的数量和尺寸、钻取芯样的方法、芯样的加工和抗压强度试验都做出了具体的规定,同时也给出了不同尺寸的芯样混凝土强度计算公式和换算方法。采用钻芯法检测混凝土强度时,应有专业人员操作,并严格按此技术规程确定混凝土的强度,特别是在分析事故原因时严格按国家有关的技术规程进行检测就显得特别重要。

5. 用后装拔出法检测混凝土强度

后装拔出法是指在已硬化的混凝土表面钻孔、磨槽、嵌入锚固件并安装拔出仪进行拔出试验,测定极限拔出力,根据预先建立的拔出力与混凝土强度之间的相关关系检测混凝土强度的微破损检测方法,它具有测试结果可靠、适用范围广等特点。被检测的混凝土强度不应低于 10.0MPa。

拔出法可以分为两类:一类是预埋拔出法;另一类是后装拔出法。预埋拔出法适合于混凝土质量的现场控制,例如决定拆除模板或加置荷载的适当时间,在冷却塔混凝土施工过程中确定拆模时间最为普遍,决定施加或放松预应力的适当时间,决定吊装、运输构件的适当时间,决定停止湿热养护或冬季施工时停止保温的适当时间等。预埋拔出法在北欧、北美等许多国家得到了迅速的推广应用。而在我国,则更多地使用后装拔出法,即在已硬化的混凝土上钻孔,然后再锚入锚固件进行拔出试验。采用这种方法时只要避开钢筋或铁件的位置,在已硬化的新旧混凝土的各种构件上都可以使用,特别是当现场缺少混凝土强度的有关试验资料时是非常有效的一种检测手段。由于后装拔出法适应性较强,检测结果的可靠性较高,已成为许多国家关注和研究的现场混凝土检测方法之一。我国对后装拔出法进行了 10 多年的研究,已制订了全国性的标准《后装拔出法检测混凝土强度技术规程》。

后装拔出法试验时的操作步骤如图 2.2 所示,它由钻孔、磨槽、安装锚固件、安装拔出仪进行拔出试验等几步组成。后装拔出法试验方法与拔出仪的种类和拔出仪的锚固件及