



已有建(构)筑物现场检测技术



周明华 编著

东南大学土木工程系

1995年10月

内容简介

本书是东南大学建筑结构工程专业为《建筑结构试验》课程新编写的补充教材。书中较全面地介绍了目前国内外有关建(构)筑物现场检测的常用技术和最新技术。内容包括结构材料力学性能的测定方法;结构的非破损和半破损检测方法;砌体结构的现场检测新方法;火灾后的建(构)筑物现场检测技术;砼结构耐久性现场检测技术;结构的现场鉴定性荷载试验和建(构)筑物由动荷载引起的振动实测等。

本教材可供工科院校土木结构专业学生使用,也可供从事房屋安全鉴定和加固、改造设计的专业人员以及从事房屋维修、改造的施工技术人员参考。还可作为在职人员的专业培训教材使用。

前言

本书是在1986年东南大学土木系林圣华老师生前编写出版的“结构试验”教材和1982年湖南大学等编写出版的高等学校统编教材“建筑结构试验”的基础上,为适应学科内容的发展,弥补原教材的不足之处而编写的补充教材。

为适应我国大量现有建(构)筑物急待进行可靠性检测鉴定和维修、改造的要求,作者在1989年曾编写了“已建建筑物结构砼强度检验”一书,作为“建筑结构试验”课程的补充教材,在本校使用了四届学生。由于教材内容新,并以建(构)筑物结构砼强度现场检测技术为主,实用性和针对性强,当时在国内这样的教材几乎很少,所以获得了较好的教学效果。

近年来由于国家新规范的相继颁布,以及试验方法标准、工业厂房可靠性鉴定标准,危险房屋鉴定标准和有关检测技术规程的制定和实施,为了与这些新颁布的规范、标准和规程相协调,并结合我校工程结构可靠性鉴定与加固中心近2~3年的工程实践,对原有补充教材的内容作了大幅度变动和更新,并将原有书名改为“已有建(构)筑物现场检测技术”。书中内容基本上反映了目前建(构)筑物现场检测的常用技术和最新技术概貌。

作者编写本书的目的,除了希望能作为高等院校土木工程类学生必修或选修教材使用以外,还希望能为广大从事房屋安全鉴定、工程质量检测 and 监理人员提供一本既反映我国实际情况和现有技术水平,又便于实际应用的参考资料。同时,亦可作为在职人员进行专业培训的教材和读物。

在编写和修改过程中,参考并引用了冶金部建筑科学研究院、中国建筑科院研究院、哈尔滨建筑工程学院、湖南大学、同济大学、四川省建筑科学研究院等兄弟单位的最新研究成果和有关资料,以及国外的(如:丹麦、日本、美国、英国等)最新检测技术文献。在内容的按排上,本校“工程结构可靠性鉴定与加固中心”主任黄兴斌教授进行了具体指点,并从百忙中对本书的初稿作了认真审阅,提出了许多宝贵意见,使笔者得以修改和更正。本校结构试验室的同仁们为笔者提供了不少工程实测资料,对提高本教材的实践性作出了有益的帮助,为此,向他们一一表示衷心的感谢。

由于笔者水平有限,对新颁布的规范、标准和技术规程可能理解不深,书中难免出现错误或一定存在不少问题。笔者本着抛砖引玉,望读者在使用本教材时多提宝贵意见,以便进一步修改和提高。同时,也希望读者在阅读本教材时能得到有益的启发和帮助,本人一定感到欣慰。

笔者

1993. 1于东南大学

目 录

绪 论	1
第一章 结构材料的力学性能测量方法	6
§ 1.1 概 述	6
§ 1.2 试验方法对材料强度指标的影响	7
§ 1.3 砼材料的力学性能测定方法	10
§ 1.4 钢材力学性能测定方法	16
§ 1.5 砖石砌体力学性能的测定方法	21
第二章 建筑结构的非破损检测技术	27
§ 2.1 概 述	27
§ 2.2 回弹法检测结构砼强度	27
§ 2.3 超声法检测结构砼强度、裂缝和缺陷	46
§ 2.4 超声一回弹综合法测定砼强度	50
§ 2.5 钢结构的非破损检测技术	55
第三章 结构砼的半破损检测技术	58
§ 3.1 概 述	58
§ 3.2 贯入阻力法	58
§ 3.3 剥离法	59
§ 3.4 拔出法	60
§ 3.5 钻芯取芯法	68
第四章 砌体结构的现场检测技术	85
§ 4.1 概 述	85
§ 4.2 现场切取试样检测法	85
§ 4.3 砌体结构的现场原位测定法	87
第五章 火灾后建(构)筑物的现场检测	91
§ 5.1 概 述	91
§ 5.2 检查和确定火灾温度	91
§ 5.3 建筑结构的外观检查和现场检验	97
§ 5.4 火灾温度对建筑结构的材料力学性能影响	99
§ 5.5 火灾后对建筑结构烧损程度的评定	103

第六章	砼结构的耐久性检测技术	106
§ 6.1	概 述	106
§ 6.2	砼结构的耐久性破坏机理及破坏实例	108
§ 6.3	砼结构的耐久性现场检测方法	113
附 录	永 砼中氯离子含量测定方法	118

第七章	已建建筑结构的现场荷载试验	123
§ 7.1	概 述	123
§ 7.2	荷载试验前的考察工作和基本要求	124
§ 7.3	结构性能检验项目和检验指标	125
§ 7.4	已建建筑结构或构件的现场荷载试验方法	135

第八章	已建建(构)筑物可靠性鉴定方法与鉴定程序	154
§ 8.1	概 述	154
§ 8.2	已建建(构)筑物可靠性鉴定的基本方法	155
§ 8.3	已建建(构)筑物鉴定的基本内容和基本工作程序	157
§ 8.4	已建建(构)筑物的使用条件调查	158
§ 8.5	已建建(构)筑物的可靠性检验评定标准	160

第九章	建(构)筑物由动荷载引起的振动实测	162
§ 9.1	概述	162
§ 9.2	振动量测仪器	163
9.2.1	测振仪器的基本原理	163
9.2.2	常用的几种测振仪器	167
9.2.3	测振仪器的配套与标定	170
§ 9.3	建(构)物受振动影响的现场实测方法	171
9.3.1	现场实测引起建(构)筑物振动的主振源方法	171
9.3.2	现场实测结构物在实际动荷载作用下的动力反应与评定方法	173

绪 论

一、建(构)筑物可靠性检验与鉴定的必要性

建(构)筑物的可靠性检验与鉴定,其目的是通过检测手段和科学分析,评估其继续使用的寿命。

由于建(构)筑物在长期自然环境和环境作用下将逐渐损伤,以至丧失其使用功能,这是一个不可逆转的客观过程。如果及时采取有效措施,则将可以延长这个过程,即延长其使用寿命。那么应如何采取有效措施?

在建(构)筑物的可靠检验中,为了揭示影响结构可靠性的各种因素,国内外作了大量结构隐患和事故调查。分析研究后表明,由于设计、施工和使用上的众多原因,都会使结构在基准期内(一般为50年)过早损坏或出现事故。因此,及时地进行实际建(构)筑物工作状态的检验是必不可少的,也就是说要经常地注意对结构物的全面情况作出调查和检测,其中包括必须时对使用条件下结构状态的实测和试验。将结构或构件在各种作用下的实际反应值与设计计算值作出综合比较分析,从而正确地判断结构的实际工作特性。确定能否继续使用?或维修加固后再继续使用。

结构实际工作特性是衡量结构实际工作状态与计算值接近程度的主要标准。如果实测值大于计算值,说明一些不利因素在设计假定中没有考虑,因此应查明结构在使用中的薄弱环节,提出改善结构形式和提高结构可靠性和耐久性的各种措施和建议。如果实测值小于计算值,说明结构有潜力,可在后期使用中通过改造加以利用,发挥其在建设中的作用。

当今世界上经济发达国家的工程建设大致经历三个阶段:大规模新建;新建与维修改造并重;部分新建并重点转向旧建筑物的维修改造,并使其进一步现代化。七十至八十年代,世界各国开始重视旧建筑物的维修改造业在建设中的重要作用。国际工程界也开始把研究的注意力转向旧建筑物的可靠性鉴定评估及加固技术方面。例如,1988年在丹麦,1989年在美国召开了一系列讨论建筑物耐久性和重新评估建筑结构可靠性的国际会议。由此可见,建(构)筑物可靠性鉴定与加固技术的研究和开发应用已成为当前的一种发展趋势。

目前我国正处于这一转变中,冶金建筑业最先觉察到这一形势,率先做了大量开拓性工作。在工程实践中开展了对旧建筑物的现场调查和现场检测和可靠性鉴定,以及旧建筑物的特殊维修改造技术和现场检测技术的科学研究,均获得了较大成功,取得了较好的经济效果。

应该看到,在我国现有建(构)筑物的可靠性检验鉴定和加固以及维修和改造问题更为突出。据国家有关部门统计,截至1988年底,我国城镇共约52.6亿平方米建筑物中,60年代前建造的接近50%,约有25亿平方米,须分期分批进行检验、鉴定和加固,其中有10亿平方米急待维修、加固和改造后才能正常使用。由于我国人口多,经济基础差,生活水平较低,大量的危、破房屋仍在使用中。据不完全统计,1989年底仅全国各大城市的危、破房已达3亿平方米以上。另据全国23个百万以上人口的城市危房率统计,最严

重的危房率达11.2%。可见情况极为严重，其治理已到刻不容缓的地步。

特别需要指出的是，工业建筑的危破房屋问题更为严重，在工厂连续生产的掩盖下，建筑结构中的潜伏危险，随时都可能导致重大事故。据统计，建国以来仅钢铁企业就发生重大厂房倒塌事故35起。据专家预测，建国初期，大跃进时期与文革期间的一大批工业建筑，由于设计、施工和使用中存在着各种各样问题，致使使用寿命大大缩短。尤其是工业建筑的屋盖系统和露天结构物在目前和今后十年里可能有相当大的一个比例数需要维修、加固或更换后，才能继续正常使用。

造成建（构）筑物存在上述问题的主要原因有：

1、超期使用

建（构）筑物经过几十年的使用，有的已经超过设计基准期而发生不同程度的老化、变形或损伤；相当多的建筑物已步入老龄和正常退役期。

2、设计原因

由于左的路线对设计的影响，危害极大。建国初期至文革期间尤为突出，1955年前后片面强调增产节约，追求节省三大材料（钢材、水泥、木材），造成结构安全度普遍偏低。文革中许多设计单位为了赶时髦，片面追求推广不合理的新结构，而使一大批建筑物设计安全度严重不足，造成隐患，大大缩短了使用寿命。

3、施工原因

1958年至1960年大跃进期间，片面追求高速度，不重视施工质量，而造成大量缺陷和隐患，现在开始逐步暴露出来，对建筑物的安全使用造成严重威胁。例如北京十大建筑之一的工人体育馆，冬季施工在混凝土中掺加氯盐，致使钢筋严重锈蚀，混凝土大面积开裂，现在已全面进行了加固。

近10年来，随着改革开放，基建规模的不断扩大，最引人关注的是低素质的乡镇建筑队伍大量拥入城市，违纪施工，偷工减料，造成工程质量严重低劣。据1988年全国调查表明，房屋建筑工程质量合格率不到50%。在施工中或刚竣工就出现严重质量事故的现象在全国屡见不鲜。所有这些都给建筑物正常使用留下了大量隐患。

4、管理和使用上的原因

恶劣的使用环境，如高温、潮湿、腐蚀、超载、疲劳等，以及缺乏对建筑物的科学管理和经常性维护，而加速了建筑物的早衰和破损。例如，南京某机动车辆厂铸工车间的屋面作为露天仓库使用，堆放大量铸铁件，达到每平方米8~10KN，超出设计荷载的4~5倍，而使屋面梁出现大量斜裂缝和垂直裂缝，十分危险。

5、建筑物遭受地震、水、火、风等灾害的破坏日益突出

我国是多自然灾害的国家。不仅有三分之二的大城市处于地震区，历次地震都在不同程度地对建筑物造成损坏，而且水灾、风灾年年不断，仅风灾平均每年损坏房屋30多万间，每年水灾对房屋损坏的数字更难以准确统计，仅1991年，江苏灾区就倒塌房屋57万多间，损坏房屋80多万间，安徽灾区倒塌房屋110多万间。随着国民经济的发展和城市化进程的加速，人口和建筑群进一步密集，建筑物的火灾概率大增。据有关方面统计，我国平均每年发生火灾6万多起，其中建筑物火灾占60%左右。这些偶然事件的发生，使很多建

建筑物受到严重损伤。

6、由于检查鉴定、加固、改造不当，造成建筑物不安全，甚至发生严重事故

这主要是对原有建筑物结构状况、地基状况缺乏了解，又未进行认真的现场检测和可靠性鉴定，而盲目对建筑物进行加固、改造。例如文革期间，安徽蚌埠卷烟厂一幢三层建筑物加层为四层，由于地基承载力不够，而发生整幢房屋倒塌，当场砸死36人的惨重事故。还有加固、改造时选用的结构形式或对节点构造处理不当，而导致不安全。例如，1989年2月16日大连重型机器厂计量楼会议室（加层）屋盖倒塌，使正在会议室参加会议的270人中，当场砸死42人，重伤73人，发生事故的主要原因是屋盖钢梁出平面失稳和梁端搁置点局部承压不够所致。

近几年由于改革开放，为发展经济而大量引进国外新技术和先进设备，甚至整个生产线，但是现有工业建筑和设施已完全不能适应现代化工业生产的需要。新建又没有那么多钱，迫使决策者们把注意力转向对已有企业的技术改造，以节省大量基建投资。据一些统计资料，改造比新建可节省投资40%，缩短工期50%，收回投资的速度比新建厂房快3~4倍。显然产生的经济效益是相当可观的。

同样，对民用建筑进行技术改造的要求，在我国也日益迫切。我国目前无房、缺房和不方便户仍达20%以上，为缓解这一矛盾，抓好原有旧房的加层改造，显然是一个很好的途径。据调查，我国城市现有房屋中，约有20~30%具备加层改造条件，这是一个很大的潜力。加层不仅可以节省投资，也可不再征用土地。这对解决住房困难和日益紧张的城市用地矛盾也有重要的现实意义。

综上所述，不论是建筑物的先天不足，还是后天管理不善或使用不当；不论是为抗御灾害所需进行的加固，还是为灾后所需进行的修复；不论是为适应新的使用要求而对建筑物实施的改造，还是为建筑物进入中老年期而需进行的正常维修，都需要对建筑物进行必要的现场检测和试验，并对其可靠性作出科学的评估后，才有可能对建筑物实施正确的管理、维护、加固或改造，延长其使用寿命，以满足新的使用要求。

二、必须重视建（构）筑物现场检测技术的研究和发展

（一）建（构）筑物现场检测技术的现状及对建筑结构可靠性鉴定的重要影响

众所周知，建筑结构在使用中应具有足够的承载力、刚度、抗裂度以及局部和整体稳定性，以满足安全、适用和耐久性即可靠性的要求。由此而对已有建（构）筑物进行现场检测和试验的主要目的有以下几方面：

1、建（构）筑物超过设计使用基准期或改变使用条件，对结构的可靠性不确定时而又必须进行的现场检测和试验，为其有效地利用剩余使用寿命提供科学依据。

2、施工中发生质量事故，或使用中遭受灾害时，对结构性能的降低情况作出评估，为事故处理和加固提供必要依据；

3、为旧建筑物周期性维护或维修而所需进行的正常检查测试或试验。

4、为采用新方法设计或采用新材料、新工艺施工的重要工程竣工后的验证和可靠性评

定。

5、对重大工程和预制厂成批生产的主要承重构件所需进行的质量抽样检验或试验，以防患于未然。

因此，通过科学的检测结果来分析评定结构或构件的可靠性是已有建（构）筑物现场检测手段的主要目的。从多年的工程实践应该看到，对已有建（构）筑物的现场检测和可靠性鉴定，由于各方面的不定因素太多，如何做到准确无误，现场检测技术水平将起至关重要的作用。

当前对具体结构或构件的检测主要是用物理方法来研究它的基本性能，即用专门的仪器设备和计算分析方法来定量及衡量结构或结构材料的主要反应。

现场检测和试验的手段及方法很多，各自的特点和适用条件也不相同。目前还没有统一的方法可以针对不同的结构类型及不同的检测目的而能提供可靠数据的方法。所以在具体工程实践时，如何选择检测方法、仪表和设备，应根据结构的历史情况、损伤程度和检测目的及要求，按照国家有关技术标准，从经济、速度、试验结果的可靠程度和对原有结构可能造成的损坏程度等诸多因素作出综合比较后再确定。

目前，对已有建（构）筑物的检测试验方法，主要有非破损法、半破损法和荷载试验法三种。非破损法和半破损法主要用于结构材料的性能和结构缺陷的检测等，而荷载试验法则多用于整体结构或构件的承载力测定。

常用的非破损法有回弹法、超声法、超声—回弹综合测定法等；半破损法有贯入阻力法（又称弹击法）、拔出法、钻孔取芯法等；荷载试验法有结构原位荷载试验法、结构解体（分离构件）试验法等，这些方法的分类、适用范围、可靠程度等详见下列方法选用比较表。

结构的荷载试验法及其试验结果能直接对结构的承载力提供数据，但这种方法不经济，而且往往受到条件限制不容易做到，所以不可盲目采用，最好与其它方法相结合进行。对于结构的原位荷载试验，应考虑相邻构件的影响，同时应有严密的保护措施。结构解体试验时，分离构件应在可靠防护下进行，对结构造成的损伤应尽快修复。必须指出，现场荷载试验除非在特殊需要的情况下，尽量避免做破坏试验。

结构的非破坏和半破损检测法，是在不破坏整体结构或构件及其使用性能的情况下，来检测结构或构件的材料性质或所存在的缺陷，从而对结构或构件的质量状况作出定量描述。

（二）必须重视建（构）筑物检测技术的研究和发展

对结构性能状况的宏观调查和现场检测是进行可靠性鉴定的基础。只有取得了可靠的检测数据，可靠性鉴定才有充分的科学依据，然而，凡是需要检测的实际结构总存在着许多不定性因素，需要检测的内容越来越多，再由于现有检测方法的局限性，能否获得可靠的数据，确实有一定的难度。

因此，一方面要继续研究和发展能提供可靠数据的并且现代化的现场检验方法和测试新技术，例如砼的无损检测新技术，钢结构焊缝探伤新技术和残余应力测定技术，砼和钢材在负荷条件下的力学性能测定技术，砌体的非破损检测新技术，测定材料腐蚀的新技术等。另一方面要着重完善现有的检测方法，并组织对这些方法进行专家评估和论证。这样，才能为

建(构)筑物现场检测和试验方法选用比较表

试验方法	适用范围	破坏情况	代表性	可靠性	主要限制条件
破坏荷载试验	构件承载力	构件破坏	优	高	必须从结构上分离出构件, 试验条件应与计算条件一致
超载试验	结构或构件在使用荷载下的性能	一般不破坏 但也有可能破坏	优	高	构件宜从结构上取出, 试验条件应与计算条件一致, 与做原位结构试验时, 应考虑相邻构件的影响
钻孔取芯法 (挖取标准试样)	结构混凝土强度, 砖砌体强度等	局部损坏 (应修补)	良	高	取样位置和在结构上的分布有限制和要求, 应在次要受力部位, 并有代表性
拔出法	结构混凝土强度	结构表层损坏 (应修补)	接近表面	中	最小边距和构件厚度有限制
超声波法	结构混凝土强度, 密实度, 缺陷, 钢结构焊缝质量检验	无损伤	优	中	应做对比试验, 被测表面要处理
表面硬度法 (回弹法)	结构混凝土强度, 钢结构材料强度	无损伤	表面	低	混凝土表面要测碳化深度
化学分析法	结构混凝土质量配合比, 水泥含量, 腐蚀程度, 钢材化学成份等	微破损	优	中	应有计划, 分布取样最好与取芯法结合进行

建(构)筑物的可靠性鉴定提供准确可靠的, 经过广泛认可的有效方法。

同时还应研制测试方便、重量轻、快速、精度高、成本低的新仪器和新设备。

第一章 结构材料的力学性能测定方法

§ 1—1 概 述

一个结构或构件的受力和变形特点,除受荷载等外界因素影响外,还要取决于组成这个结构和构件的材料内部抵抗外力的性能。可见,建筑材料的性能直接影响结构或构件的质量。因此对于结构材料性能的检验与测定是结构试验中的一个重要组成部分。特别是充分了解材料的力学性能,对于在结构试验前或试验过程中正确估计结构的承载能力和实际工作状况,以及在试验后整理试验数据、处理试验结果等工作中都具有非常重要的意义。

在结构试验中按照结构或构件材料性质的不同,必须测定相应的一些基本的数据,如混凝土的抗压强度,钢材的屈服强度和抗拉极限强度,砖石砌体的抗压强度等,在科学研究性的试验中为了了解材料的荷载变形、应力应变关系,材料的弹性模量通常也属于最基本的数据之一而必须加以测定的,有时根据试验研究的要求,尚须测定混凝土材料的抗拉强度以及各种材料的应力应变曲线等有关数据。

在测定材料各种力学性能时,应该按照国家标准或部颁标准所规定的标准试验方法进行。对于试件的形状、尺寸加工工艺及试验加荷、测量方法等都要符合规定的统一标准,由这种标准试件试验得出相应的强度,称为“标准强度”。作为比较各种材料性能的相对指标,同时也把测定所得的其它数据(如弹性模量)作为用于结构试验资料整理分析或对该项试验理论分析的有关参数。

在结构试验中测定材料力学性能的方法有直接试验法与间接试验法两种:

一、直接试验法是最普通和最根本的测定方法,它是把材料按规定做成标准试件,然后在试验机上用标准试验方法加荷试验进行测定,这时要求制作试件的材料应该尽可能与结构试件的工作情况相同,对钢筋混凝土结构来说,应该使它们的材料、级配、龄期、养护条件和加荷速度等保持一致。同时必须注意,如果采用的试件尺寸和试验方法有别于标准试件时,则应将试验结果按规定换算到标准试件的结果,也即是对材料的试验结果进行修正,这种方法对于科学研究性试验是完全可以满足的,就是在制作结构构件的同时,留出足够组数的标准试件,配合试验研究工作的需要,测定相应的参数。

对于已有建(构)筑物的鉴定性试验,由于结构材料的力学性能随时间而发生变化,为判断结构目前实有承载能力时常常需要直接检验结构各部位的材料性能,这时就要求直接从结构构件上挖取材料制作标准或非标准的试件,通过加荷直接进行测定,这就是目前国内外发展较快并被广泛采用的半破损法。虽然这种方法有很多缺点,因为要在结构构件上挖取试件时必须损伤结构本身,如果为了减少损伤对结构的危害程度而挖取结构上比较不重要的部位(如连续梁弯矩为零的截面或构件中和轴附近,桁架另杆或靠跨中腹杆等),但这样所

得的试件对结构的材料强度同样有足够的代表性，和直接性。对于被挖过试件的构件必需进行补损措施。近年来对于钢筋混凝土构件或结构，很多情况下都采用取芯试件来测定其强度，所以，对于已有建筑结构鉴定时，直接测定法中的半破损法已得到国内外专家的高度重视和广泛应用，我国已制定了“取芯法评定结构混凝土强度的技术规程”。半破损法常用的有拉拔法和取芯法。后面将详细介绍。

二、间接测定法也称为非破坏试验方法。它不需要从结构构件上取下试件，而是采用某种专用设备或仪器，直接测量与材料强度有关的另一物理量，如硬度、密度等，不要破坏试件，通过理论关系或经验公式就可以间接测得材料的力学性能，并能直接鉴定结构构件的质量可靠性。

这种间接测定的方法自五十年代开始在国际上逐渐应用，比较多的用于建筑物现场检验，但由于仪器设备质量精度限制，测定的可靠性与准确性较差，在研究性试验中很少应用。但近二十年来，在国际上由于基础工业、电子技术、固体物理学等的发展与应用，出现了有足够精度，性能良好的仪器设备，许多国家已较为普遍地应用于对建筑材料，结构性能质量方面的检验。非破坏试验已经发展成为一项专门的新型测试技术。

§ 1—2 试验方法对材料强度指标的影响

长期以来人们通过生产实践和科学试验发现试验方法对材料强度指标有着一定的影响，特别是试件的外形尺寸和试验加荷速度（即试验进行的持续时间）对试验结果的影响尤为显著。对于同一种材料，仅仅由于试验方法与试验条件不同，就会得出不同的强度指标。这说明人们对于这种物理现象的认识还有待于进行步的深化，世界各国都相应的制定了适用于本国情况的材料试验规定，主要是在试件尺寸、形状、试验加荷方法、速度等方面加以统一，以建立起材料的各种强度指标相互比较的基准。我国从1974年开始，由国家建委组织国内有关高等院校和研究单位，对致进行了比较系统的研究，并制定了“混凝土力学性能标准试验方法”〈GBJ 81—85〉作为国家标准。

对于混凝土这类非均匀材料，它的强度尚与材料本身的组成（骨料的级配、粒径和水泥比等）、制作工艺（搅拌、振捣、成型、养护等）以及周围环境，材料龄期等多种因素有关。在进行材料的力学性能试验时，更须加以注意。下面我们就混凝土材料来作进一步说明。

一、试件尺寸与试件形状的影响

在国际上各国混凝土材料强度测定用的试件经常有立方体和圆柱体两种，试验用的立方体试件有 $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}$ ， $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$ 及 $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$ 三种，相应于这类试件在测定混凝土轴心受压强度的则用 h/a 为一定比例的棱柱体试件（ h 为试件的高度， a 为试件的边长），较多选用的有 $h/a=3$ 的 $10 \times 10 \times 30 \text{ cm}$ 和 $15 \times 15 \times 45 \text{ cm}$ 两种，如采用圆柱体试件时，则常用尺寸为 $h/a=2$ （ h 为圆柱体高度， a 为圆柱体直径），即为 $10 \times 20 \text{ cm}$ 和 $15 \times 30 \text{ cm}$ 的圆柱体试件。

长期以来，我国的材料试验和钢筋混凝土结构设计与施工规范中都规定混凝土的标准试

件的规格是边长 20cm 的立方体。在钢筋混凝土生产发展中的初期，由于结构截面尺寸一般较大，所以骨料的粒径也较大，因此采用较大尺寸的标准试件在当时是合理的。如在水工建筑中由于是大体积混凝土，曾采用了 $30 \times 30 \times 30$ cm 的立方体试件，针对随着混凝土强度的不断提高，结构构件截面尺寸的日益减小，并较多地应用小粒径骨料，为了减少材料的消耗量和试验操作的劳动强度，以及解决由于高强度混凝土的出现继续规定采用大尺寸的标准试件时，许多试验机的吨位不能满足试验要求的实际情况，现行国家标准《GBJ 81—85》规定，采用 $15 \times 15 \times 15$ cm 立方体试块作为混凝土强度的标准试件。

随着材料试件尺寸的缩小，在试验中出现了混凝土强度有系统地稍有提高的现象，一般情况下，截面较小而高度较低的试件得出的抗压强度偏高，这可归结为试验方法和材料自身的原因等两个方面的因素，试验方法问题可解释为试验机压板对试件承压面的摩擦力所起的箍紧作用。由于受压面积与周长的比值不同而影响程度不一，对小试件的作用比对大试件要大。材料自身的原因是由于内部缺陷（裂缝）的分布，表面和内部硬化程度的差异在不同大小的试件中起不同影响，试件尺寸的增大而增加。表 1—1 列出按我国试验研究结果不同立方体试件抗压强度的比较值。

表 1—1

试 验 尺 寸	强度比值	换算系数
$15 \times 15 \times 15$ cm	1.00	1.0
$10 \times 10 \times 10$ cm	1.05	0.95

为此如果当采用非标准试件进行试验时，必须将试验结果按表 1—1 所列换算系数进行修正。

表 1—2 为国际材料结构试验研究协会（RILEM）混凝土委员会提出的试件尺寸影响的数据资料。

二、试验加荷速度的影响

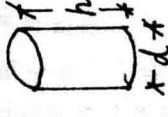
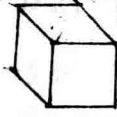
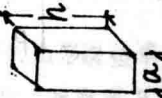
在测定材料力学性能试验时，加荷速度愈快，试件的强度和弹性模量就相应提高，但在一般常用的加荷速度范围内，它对试件强度的影响甚小，而对变形影响就要大一些。

混凝土抗压强度试件中，当加荷速度使截面应力变化从每秒 0.25 MPa 提高到每秒 0.7 MPa 时，根据多数试验结果得出，抗压强度指标可增长 9%。如果加荷速度放慢，则抗压强度将显著降低。因此，现行国家标准《普通混凝土力学性能试验方法》（GBJ 81—85），参照国际标准（ISO 4012）的规定，将立方体试块抗压试验的加荷速度控制在 $0.3 \sim 0.8 \text{ MPa}$ 范围以内，为了对强度等级不同的混凝土有所区别，标准规定：混凝土强度等级低于 C30 时，取每秒 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$ ，混凝土等级高于或等于 C30 时，取每秒钟 $0.5 \sim 0.8 \text{ MPa}$ 。

在测定混凝土弹性模量时，加荷的方法很多，各个方法间的差别较大，如有的采用一次连续加荷，有的采用多次加荷，也有的在正式试验前先反复加卸荷载进行试件对中等，这样得出的弹性模量数值可差别 10% 左右。试件的抗压极限变形更由于徐变影响在不同加荷速度下有

很大的区别。例如当加荷速度从每分钟0.2MPa降低到0.012MPa时，抗压极限变形可增长为原有变形的三倍。

表 1-2

试件形状尺寸	混凝土强度比值	强度换算系数
圆柱体 15×30cm 10×20cm  h:d=2	100 103(100~106)	1.00 0.97(0.94~1.00)
立方体  10×10×10cm 15×15×15cm 20×20×20cm 30×30×30cm	125(110~140) 125(110~140) 125(110~140) 112(110~125)	0.80(0.70~0.90) 0.80(0.70~0.90) 0.80(0.70~0.90) 0.90(0.80~1.00)
棱柱体 15×15×45cm 20×20×60cm  h:a=3	95(80~110) 95(80~110)	1.05(0.9~1.20) 1.05(0.9~1.20)

注：① 混凝土强度取圆柱体15×30cm为100。
② 括号内数字是可能波动的界限。用以考虑混凝土搅拌、试验条件及由此引起的强度分散性。

§ 1—3 混凝土材料的力学性能测定方法

一、混凝土立方抗压强度试验

混凝土的强度为混凝土混合物硬化后的主要性质之一，而立方抗压强度又是混凝土强度的主要指标。

为测定混凝土的立方抗压强度，按我国现行标准 $15 \times 15 \times 15\text{cm}$ 立方体试件，在标准养护 28 天后进行抗压试验，依所得的强度 (MPa) 划分混凝土的强度等级。

《GBJ 81—85》标准规定：试件成型方法分为“标准成型”和“与构件同条件成型”两种。当测定混凝土力学性能标准试验值时，采用标准成型方法，确定混凝土强度等级，当测定构件的实际强度时，采用“与构件同条件成型”方法，以确定混凝土实际强度等级。

测定立方抗压强度试验以三个同时制作，相同条件养护的试件为一组，这些试件应与结构构件同时制作，材料即取自与结构构件同一批混凝土。对于生产性试验往往是在预制构件厂生产构件时同批混凝土中统一考虑。如有特殊需要时必须事前与之联系。对于每一个科学研究用的试验结构构件，一般应留取二组到三组立方体试件，其中一组用以测定 28 天的强度，以确定混凝土的强度等级。一组用来测定结构试验时的混凝土实际强度等级，如有第三组则留作备用，有时尚应按照实际需要增加预留试件的组数，如果试件数量较少不能满足上述要求时，则必须保证材料试件试验时间与结构构件试验的时间相适应，则可用一般的经验公式来推算求得 28 天强度。

在试验前必须精确测量立方体试件的棱边长度（精确至 1 mm），试件受力面积按试件与试验机压板上下接触面的平均值计算。

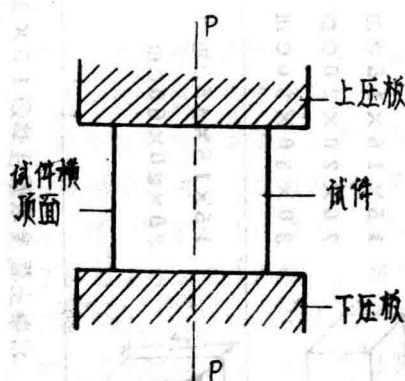


图 1—1 混凝土抗压试验装置示意图

试验时压力方向与试件捣固方向相垂直（即以混凝土试件浇筑时的侧面为受压面），见

图1-1混凝土抗压试验装置示意图,试件应准确地放置于试验机下压板的中心,以便试件受压时不致发生偏心并以每秒0.3~0.8MPa的速度连续均匀地加荷,当试件在做破坏前开始迅速变形时,停止调整试验机的油门,直至试件破坏为止。

混凝土立方抗压强度按下式计算:

$$f_{cu} = \frac{P}{A} \text{ MPa} \quad (1-1)$$

式中: f_{cu} ——混凝土立方抗压极限强度(MPa)

P——试件破坏荷载(N)

A——混凝土试件受压面积(mm²)

计算结果精确至0.1MPa。

以三个试件试验结果的算术平均值,作为该组混凝土立方抗压强度。如果三个试件中的最小试验结果小于其余二个中的较小值的80%时,则混凝土立方抗压强度以二个较大试验结果的算术平均值计算。

如果采用非标准的其它尺寸的试件,则试验结果应按表1-2乘以规定的换算系数,进行修正。

二、混凝土的抗拉强度试验

混凝土试件在轴心拉伸情况下的极限抗拉强度是结构设计中确定混凝土抗裂度的一项重要指标,有时也通过混凝土的轴心抗拉强度间接地衡量混凝土的其它力学性能指标,例如混凝土的冲切强度,混凝土与钢筋的粘结强度等,过去常用的试验方法有轴拉法和劈裂法两种。现行国家标准(GBJ81-85)规定劈裂抗拉法为标准试验方法。

(GBJ81-85)标准规定:劈裂法采用15×15×15cm立方体标准试件,同时也允许使用边长10cm的立方体做非标准试件。

立方体试件作劈裂试验时,我们在试件二个相对表面的中线上加上一个均匀分布的压力(图1-2)则在试件的坚直平面产生了均匀分布的拉应力,引起试件的劈裂,根据劈裂产生时试件上作用压力即可推算出混凝土试件的抗拉强度。

劈裂试验采用三个立方体试件为一组,试验前先检查试件规格及形状,其相对两个表面应相互平行,表面倾斜偏差不能超过0.5mm并且没有蜂窝等缺陷。

试验时试件的受力面应平行于浇注时的试件顶面,并在试件高度的1/2处,试验前应先于试件的1/2高度处用直尺画出受力面的四条迹线,量出每两条相对的线长,取其平均值,定出试件的平均边长a。

在试件受压面中心上下各放置一直径为75mm的弧形钢垫条,尺寸为长150mm,宽50mm,厚20mm,在钢垫条上放置一宽为15~20mm,厚度为3~4mm,长150mm的木质三合板或硬质纤维板作垫层,不允许重复使用,使之与试件中心线重合,当试件受压时,压力通过垫条成一直线均匀传递到试件上(图1-3)直至试件劈裂破坏。加荷速度见表1-3。

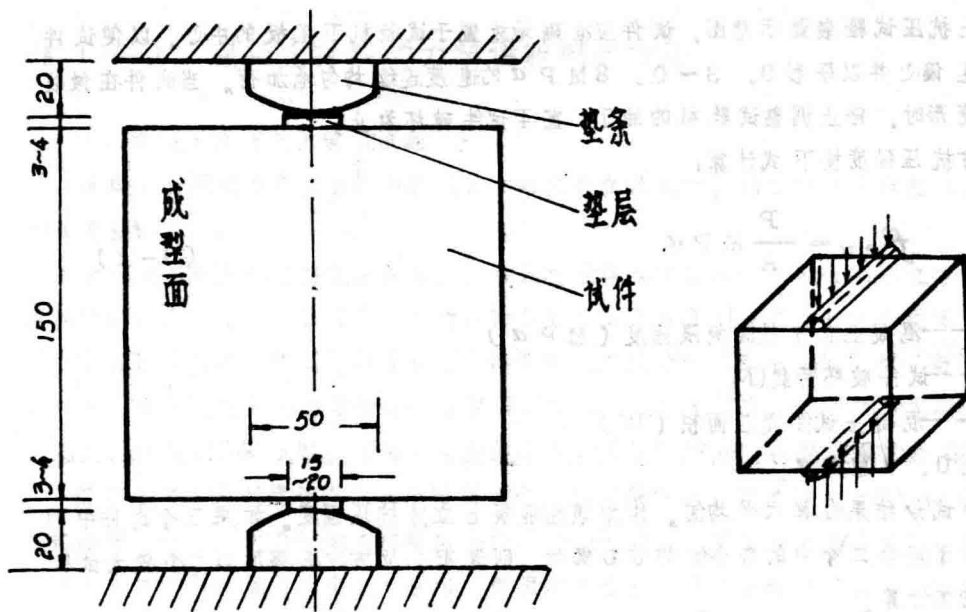


图 1-2 混凝土抗拉劈裂试验装置及受力示意图

表 1-3

试件尺寸	加荷速度 N/s
$10 \times 10 \times 10 \text{ cm}$	800—1200
$15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$	1600—2400

劈裂抗拉强度按下式计算:

$$f_t = \frac{2P}{\pi a^2} = 0.637 \frac{P}{a^2} \text{ MPa} \quad (1-2)$$

式中: f_t ——混凝土抗拉极限强度 (MPa)

P ——试件破坏时最大荷载 (N)

a ——立方体试件的边长 (mm)

计算结果精确至 0.1 MPa。

取三个试件的试验结果平均值定出该组试件的抗拉强度。如果小于其余二个中较小值的 80% 时, 则以三个较大试验结果的算术平均值计算。

三、混凝土轴心 (棱柱体) 抗压强度试验

在实际结构中受压的柱子不是立方体而是棱柱体。所以用棱柱体试件比立方体试件能更好地反映混凝土的抗压强度, 这就是称之为轴心或棱柱体抗压强度。

混凝土短柱的轴心抗压强度 f_c 与立方体抗压强度 f_{cu} 不同在于棱柱体试件的强度不受试验机压板与试件承压面之间摩擦力所产生的箍紧作用的影响。