

混凝土结构检测技术与质量评估研究

彭东生

湖北至源检测技术有限公司, 湖北 宜昌 443200

[摘要]对于各类建筑工程建设来说,混凝土结构的应用非常广泛,直接影响着工程的安全及寿命问题,本文对混凝土结构常见的质量问题进行了系统的阐述并重点对无损检测、半破损检测以及传感监测三种检测方法的原理、优势以及适用范围等问题进行了详细的探讨,最后提出了如何提高检测水平以及质量评价的方法等。结论表明单一的检测手段很难对混凝土结构的质量进行全面客观地反映出来,采取多种检测手段加以融合能够提升最终得到的结果可信度,在完善标准体系的同时也要加快信息化建设和强化对整个过程中的质量把控,才能真正达到优化混凝土结构工程质量的目的。

[关键词]混凝土结构;检测技术;质量评估;无损检测;全过程控制

DOI: 10.33142/ect.v4i3.19422

中图分类号: TU755.7

文献标识码: A

Research on Testing Technology and Quality Evaluation of Concrete Structures

PENG Dongsheng

Hubei Zhiyuan Testing Technology Co., Ltd., Yichang, Hubei, 443200, China

Abstract: For various types of construction projects, the application of concrete structures is very extensive, which directly affects the safety and service life of the project. This article systematically expounds the common quality problems of concrete structures and focuses on the principles, advantages, and applicability of non-destructive testing, semi destructive testing, and inductive monitoring methods. Finally, it proposes methods to improve the detection level and quality evaluation. The conclusion shows that a single detection method is difficult to comprehensively and objectively reflect the quality of concrete structures. Integrating multiple detection methods can improve the credibility of the final results. While improving the standard system, it is also necessary to accelerate information construction and strengthen quality control throughout the entire process in order to truly achieve the goal of optimizing the quality of concrete structure engineering.

Keywords: concrete structures; testing technology; quality evaluation; non-destructive testing; whole process control

引言

混凝土结构由于自身良好的可塑性、高强度和持久性能,在当前的建筑行业中被普遍采用为最主要的结构类型,但是由温度效应、湿差效应、荷载作用和浇筑质量等多种原因导致的裂缝、蜂窝麻面、钢筋锈蚀等问题仍然会导致建筑物发生安全事故,从而对人们的生命财产带来隐患,虽然近几年我国建筑工程质量水平不断提高,但是建设工程的质量事故发生率仍然居高不下,因此对工程质量事故进行正确的分析并运用有效的检测方法是很有意义的事情。混凝土结构的质量检测经历了破坏式检测技术发展成为现阶段无损检测技术的变化过程。传统的检测手段如钻芯取芯精度高但是会导致结构受损,而传感技术和信号处理技术的进步使得回弹法、超声法、雷达探测等无损检测手段越来越完善,使结构的质量评价有了更多的可能性,但是每一种检测方法都有其不足之处,怎样针对具体的工程项目选用合适的检测方式并建立合理的评价体系是目前亟待解决的问题。

1 混凝土结构常见质量问题分析

混凝土结构在施工及使用中,由于材料、工艺、环境

等各方面的原因,会出现不同形式质量缺陷问题。其中混凝土强度不足就是较为常见的一种问题,主要表现就是实际强度低于设计强度值的要求,其原因主要有配合比不合理、原材料不合格、振捣不够密实、养护不到位等;而在混凝土中也会产生裂缝的问题,裂缝又可以分为荷载裂缝和变形裂缝两大类,前者主要是由结构所承受的荷载而引起的,后者是因为温度的变化、收缩、不均匀沉降等因素造成的。某超高层建筑的混凝土梁开裂事件就说明了混凝土出现开裂现象不仅仅会影响建筑物外观,而且会引起内部钢筋生锈的现象,减少了建筑物使用寿命,严重的还会导致结构破坏。除了抗压强度以及开裂以外,混凝土的表面质量也不容忽视,一些常见的表面质量问题有蜂窝、麻面、孔洞、露筋等,这些质量问题是与模板支设、钢筋绑扎、浇筑过程等因素有关。钢筋腐蚀是对混凝土建筑物耐久性影响最大的因素之一,氯离子腐蚀、碱-骨料反应会引起钢筋表面氧化层脱落,造成钢筋锈蚀。依据《混凝土结构工程施工质量验收规范》规定,钢筋混凝土用砂中氯离子的质量百分比不得超过 0.03%,而预应力混凝土用砂中氯离子的质量百分比不得超过 0.01%。此外内部空洞或

者不密实部位也是混凝土存在的常见病害,由于内部空洞或者不密实部位往往不容易从表面上被观察出来,一般要用超声波等无损检测的方法才能找到它在哪里存在着这样的情况。混凝土结构问题产生的原因通常是多种因素共同作用的结果,有建筑材料、设计、施工、环境等众多方面的综合因素造成。

2 混凝土结构检测技术研究

2.1 无损检测技术

无损检测技术就是在不对结构造成损害的情况下,运用物理或者化学的方法得到混凝土内部的质量信息的技术。回弹法是最常用的无损检测混凝土强度的一种方法,是基于回弹仪敲击混凝土表面之后的回弹数值,在此之前已经建立了相应的测强度曲线进行估算。回弹法的操作简单快捷,但是容易受到混凝土表面状况及碳化程度的影响;超声法是基于超声波穿过混凝土时的速度与混凝土密实程度和弹性模量有关的理论,可以对混凝土中的孔洞大小、裂缝深度、均匀性等信息进行测量。超声-回弹联合法综合利用了上述两个方法的优点,可以提升检测结果的准确性,降低各自的不足之处带来的误差。超声波 CT、冲击弹性波法可用于测定混凝土内部缺陷及构件厚度^[1]。探地雷达利用发射高频率电磁脉冲回波信号来确定钢筋的位置、保护层厚度及是否存在内部空洞;冲击弹性波经常被用来检测桥梁的预应力管道注浆饱满程度,它是根据弹性波在介质中传播状况来进行判断管道内填充物状态。最近几年,红外热成像也开始被应用到对混凝土结构进行检查上,通过对结构表面温度场变化进行观察可以辨别出内部的缺陷和漏点等。

2.2 半破损检测技术

半破损检测技术位于无损检测与全破损检测之间,利用部分破坏得到重要信息,尽可能地降低其对整个构件的影响。钻芯法最具有代表性的一种半破损检测方法,以采取的混凝土芯样做压碎实验的方法可以直接得到被检构件的实际抗压强度,芯样制作要符合标准规范的要求,在取芯的位置要注意避开重要的部位,在检验完之后要对钻孔处做好修补工作。钻芯法的结果很直观可靠,一般用作检验无损检测的结果。化学测试法用来测定混凝土中的氯

离子含量以及碳化程度,取样的方式应该规范合理,化学测定时的过程也要严格操作。氯离子含量分析对于评估钢筋腐蚀程度有极大的价值,而碳化深度直接影响着混凝土对钢筋的保护性能。半破损检测能够兼顾准确度以及结构安全性,适用于一些比较重要的建筑物或者是桥梁隧道等结构完整性非常高的地方。实际运用时半破损检测和无损检测相配合,能够相互补充增加准确性,比如先用回弹法或者超声波检测大面积筛查可疑位置,然后对这些区域进行钻孔取样检查,这样既保证了检测水平又减少了工作量及对结构的影响程度。

2.3 传感监测技术

传感检测方法是开展混凝土结构长周期健康监测的方法之一,它的基本原理是在结构内部或者表面安装上相应的传感器来实时采集结构上的应力、应变、温度等相关参数的变化情况,光纤传感检测由于具有良好的屏蔽性能,防腐蚀能力,较高的灵敏度及能够进行分布式检测等特点,被广泛应用在大型桥梁、隧道、大坝等基础设施监测中,分布式光纤传感器可以沿着光缆长度方向上对某一点上的应变与温度值进行连续性的监测,有利于及时察觉到出现的问题以及分析研究其损伤的发展历程状况,压电传感器是基于正反向压电效应工作的,既可以接收结构振动信息也可以对结构进行激励使结构产生振动,在结构健康监测当中兼有感知与激振双重作用。声发射监控法是通过混凝土开裂时产生的弹跳波信号进行监测,来实时监测及预测损伤状况的发展。声发射信号跟混凝土裂纹扩展紧密相关,其能量参数、b 值等都是评价损伤的程度的重要标准,当 b 值迅速下降就意味着结构已达到屈服状态,这可以起到警报作用^[2]。传统的无损检测手段只能用于检测缺陷方面,缺少了实时监测以及对于建筑结构稳定性状况评价的能力,但是传感器检测则能对建筑结构性能发展的全过程进行长期追踪,为及时修理以及防止可能出现的坍塌提供了依据。

2.4 检测技术的适用性与对比分析

各种检测方法有各自不同的理论基础、特性以及使用环境,在具体工程项目中应结合检测目标、构件类型、花费成本等进行考虑选用。表 1 对比了常见的几种常用混凝土结构检测技术。

表 1 常用混凝土结构检测技术对比

技术分类	具体方法	检测参数	损伤程度	主要优点	局限性	适用场景
无损检测	回弹法	强度	无损伤	操作简便、速度快、成本低	精度受表面状态影响	大面积普查、强度推定
无损检测	超声法	强度、缺陷、均匀性	无损伤	可测内部缺陷、适用性强	需耦合剂、对钢筋敏感	裂缝深度、内部空洞检测
无损检测	雷达法	钢筋位置、保护层厚度	无损伤	成像直观、检测速度快	设备昂贵、信号解释复杂	钢筋分布、内部缺陷探测
半破损	钻芯法	强度	局部损伤	结果直观可靠	对结构有损伤、修复成本高	结果验证、关键部位检测
半破损	化学分析	氯离子、碳化深度	微损伤	精度高、判断耐久性	取样要求高、分析周期长	耐久性评估、锈蚀风险判断
传感监测	光纤传感	应变、温度	无损伤	分布式测量、抗干扰	成本高、系统复杂	长期监测、大型基础设施
传感监测	声发射	裂缝发展	无损伤	实时监测、敏感性高	易受噪声干扰	损伤演化跟踪、预警

表 2 混凝土结构施工及检测关键控制节点

控制阶段	关键控制指标	检测技术手段	质量评定标准	不合格处置措施
原材料进场	水泥强度、氯离子含量、砂石级配	材料复验、化学分析	GB 50204、GB 55008	退货处理、重新检验
配合比设计	水灰比、坍落度、含气量	试配试验、工作性检测	设计文件、配合比通知单	调整配合比、重新试配
施工浇筑	坍落度、浇筑连续性、振捣质量	现场检测、旁站监督	施工方案、验收规范	停工整改、缺陷修补
养护管理	养护温度、湿度、养护时间	温度监测、现场检查	养护方案、技术规程	延长养护、加强保温保湿
结构验收	强度、碳化深度、钢筋保护层	回弹法、钻芯法、雷达法	GB 50204、设计要求	加固处理、设计复核
运维监测	裂缝发展、钢筋锈蚀、变形	声发射、光纤传感、定期检测	监测方案、评估标准	维修加固、应急处理

3 提高混凝土结构检测与质量评估水平的措施

3.1 完善检测标准与规范体系

健全的检测标准及规章制度是确保检测工程质量以及检测结果准确性的重要条件。现阶段我国已经形成了比较完整的混凝土结构检测标准框架,《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204)、《混凝土结构通用规范》(GB 55008)等相关标准都对结构的实体检测做出了具体的规定,要求钢筋连接前的工艺试验检测内容应当包含单项拉伸极限抗拉强度、残余变形等指标。但是由于科技发展速度较快,一些标准出现了较为陈旧的情况,应及时进行完善更新。另外也要增强各项标准制度的一致性,防止出现针对同一个检测项目不同标准有不同的规定的情况发生。

3.2 提高检测技术应用水平

提升测试技术水平,需对测试的技术手段、实施步骤以及数据分析等几方面进行考虑。检测计划要针对工程的具体情况 & 检测目标合理安排,正确选取测试的方式以及抽检的比例,防止无针对性地进行检测或者过度检测的现象发生。在混凝土浇筑过程中禁止往混凝土拌合料中随意添加水,混凝土浇筑完成后必须按规定做好早期的养护工作,在拆模时也要达到相应的规范标准。测试仪器仪表的精准度以及稳定性对于测试的结果有着直接的影响作用,需要经常性的进行校准保养来保证测试仪器仪表能够处于良好的使用状况之中。钢筋焊接之前要依照相应的规定做好工艺性的实验,试验合格之后才能够开展钢筋焊接的作业过程,钢筋机械连接工艺性能检验项目应包含单项拉伸极限抗拉强度和残余变形等两项指标。

3.3 加强检测人员专业能力建设

检验人员技术水平高低直接影响到检验的质量好坏,在现下一些施工现场试验人员未经过岗前培训,不懂如何正确配制养护试验样品,不懂得相关国家标准的规定,使试验样品制备不符合规定、保养不到位等一系列问题的发生严重妨碍了检测结果的可信度。所以应该建立健全检验人员教育培训考核制度,检验人员必须持证上岗,并定期接受再教育及能力考核^[3],对于施工单位的试验人员也应该进行相应的教育和培训,让其熟悉并了解到预拌砼试样的采集、成型、养护方面的国家标准规定。与此同时,测试单位应当建立健全自身质量保证体系,在试验对比试验,

盲测等方法来考查操作人员的能力水平,保证其检测结果的正确性以及可信度。

3.4 推动信息化与智能化发展

信息技术化和智能化是混凝土结构检测以及质量评定的重要发展趋势。现浇混凝土供应商要及时把生产过程中产生的数据、试验检测的数据向质量管理系统上传并对其上传的数据的真实性、准确性负责。检测报告要由信息管理系统自动生成具有防伪标签的质量合格证明文件以便现场验收。二维码的作用就是质量追踪,检测报告缺少二维码或者是二维码内容不符合要求的不能作为工程技术档案资料使用。对于检测智能的技术而言,应用深度学习的图像识别技术可以自动检测出混凝土中的裂纹并通过计算机视觉图像分析的方法来计算裂纹宽度、长度以及分布情况等。无人机装有高清摄像机、红外热像仪等装置可以对高层建筑物以及大型桥梁等进行及时有效的巡查,在不易接触到的地方取得检测所需的数据,使用了人工智能后检测会向着自动化检测的方向进步。

3.5 强化全过程质量控制

全面质量管理是保证混凝土结构工程品质的基础,必须在原材料、施工过程直至检测验收等所有方面做到严格把控。商品混凝土供应商单位要健全完善的原材料采购制度以及对原材料的使用和检测记录台帐,做到对原材料的质量来源进行追根溯源。采购原材料时要检查产品的型式试验报告、出厂试验报告单、产品质量合格证等相关凭证材料并坚持“先检验,后使用”的规定^[4];如果遇到混凝土结构工程施工质量问题,则要严格按照相关规范进行处置处理,返修和补强的构件要有返修前后的记录并留痕照片。表 2 总结了混凝土结构工程施工与检测重点控制点。

4 结语

混凝土结构检测技术和质量鉴定是保证工程质量的重要内容。文章通过系统地对混凝土结构常见的质量问题进行了剖析,并详细介绍了无损检测技术、破损检测技术和传感监测三大类检测技术的基本原理、特点以及适用范围。研究发现每种检测技术都有各自的特点,单独一种检测方式很难对整个结构进行全面的判断,所以在检测过程中应结合具体情况采用多种检测方式相配合,从而取

长补短。提高混凝土结构检测及质量鉴定能力应该从健全标准体系、加强技术的应用、加强人才队伍建设、推进信息化及智能化建设、加强全生命周期质量管理等方面着手进行改进。随着传感及 AI 等技术的发展,对混凝土结构进行监测以及质量评定会朝着智能化、实时、精确化发展,从而给工程质量、结构安全性带来更好的技术支持。

[参考文献]

[1]李亚洲.基于无损检测技术的混凝土结构材料内部缺陷识别与质量评估[J].产品可靠性报告,2025(12):70-71.

[2]姚菊香.基于无损检测技术的水利工程混凝土结构质量评估方法[J].中国品牌与防伪,2025(8):197-199.

[3]刘镇伟.基于无损检测技术的混凝土结构路桥施工工程质量评估[J].中国水泥,2025(12):103-106.

[4]洪武林.钢筋混凝土现浇结构现场质量检测技术分析[J].低碳世界,2025,15(8):88-90.

作者简介:彭东生(1988.9—),毕业院校:三峡大学,所学专业:土木工程,当前就职单位:湖北至源检测技术有限公司,职务:外检部长,职称级别:中级。