

建筑检测中混凝土强度检测技术研究

李龙飞

亳州市建设工程质量检测有限公司, 安徽 亳州 236800

DOI:10.61369/ERA.2026050041

摘 要 : 混凝土强度检查是建筑工程质量把控的重要环节, 直接影响着建筑物的安全性和持久性能, 传统的检测手段包括抗压实验等存在一些弊端, 不能够进行大范围, 即时的观测。而近年来发展起来的一些新的无损检测新技术包括超声波检测、热象仪及激光扫描等等都能实现快捷准确地得到强度信息的目的而不损坏被测物, 以后智能化、混合检测技术和长期在线测量技术将会使检测结果更加精准及时, 对建筑工程的质量安全管控起到很大帮助作用。

关 键 词 : 混凝土强度检测; 非破坏性检测; 声波检测; 红外成像; 激光扫描

Research on Concrete Strength Testing Technology in Architectural Inspection

Li Longfei

Bozhou Construction Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Bozhou, Anhui 236800

Abstract : Concrete strength inspection is a crucial aspect of ensuring construction quality, directly influencing the safety, stability, and durability of buildings. Traditional testing methods, such as compression tests, have certain drawbacks, including the inability to conduct extensive and real-time observations. However, recently developed non-destructive testing techniques, including ultrasonic testing, thermal imaging, and laser scanning, enable the swift and accurate acquisition of strength information without damaging the tested object. In the future, intelligent, hybrid testing techniques, and long-term online measurement technologies will further enhance the accuracy and timeliness of testing results, significantly aiding in the quality and safety control of construction projects.

Keywords : concrete strength testing; non-destructive testing; acoustic testing; infrared imaging; laser scanning

引言

混凝土是建筑工程的主要承重结构材料, 强度是评价建筑物安全性和耐久性的主要指标, 在传统的强度测试中都采用破坏性的测试方式, 既耗时又耗费大量资金, 并会对结构物本身造成一定的损害。而近些年发展的非破损检测技术可以很好的弥补这一不足, 通过对声波、热像仪、三维激光扫描等方式无损地测出混凝土的抗压强度以及存在的病害等问题。新型的无损检测仪器设备和技术的应用, 使建筑检测更加快速便捷的同时也给建筑工程安全管理带来了更加可靠的参考数据。

一、混凝土强度检测的传统方法

(一) 拉伸试验法

拉伸试验法是传统的混凝土强度测试的基本手段, 主要是根据混凝土试块受到拉力所能承受的最大拉应力值作为衡量它的强度大小的标准。一般使用直径10mm 钢筋或特殊拉伸装置对混凝土进行拉伸直至断裂的过程。记录下其能够承受的最大拉应力。此方法的优点是简单易行, 但是由于混凝土自身属于脆性材料, 在拉伸过程中并不能很好的反映出混凝土的抗拉性能, 而且试样的破坏使实验过程中损耗严重。一般情况下混凝土的抗拉强度约为抗压强度的十分之一到十五分之一左右。

(二) 抗压试验法

抗压试验法是使用最广泛的一种试验方法来检测混凝土强

度, 就是将混凝土的试样逐步加载更大的压力, 直到混凝土被破坏, 用试样破坏时的最大压应力即为所测得的混凝土的抗压强度。参考《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010) 规定, 一般情况下, 常用的标准试件是边长150mm×150mm×150mm 的立方体, 而抗压强度一般采用 MPa (兆帕) 来表示, 在常温常湿环境下, 普通混凝土的抗压强度平均值约25MPa ~ 40MPa 之间, 而对于特种混凝土、高强度混凝土等, 其抗压强度能够高达80MPa 以上。压剪试验重复性及准确性较好, 在建筑工程中应用较多。但此法存在的不足之处在于需破坏试件, 耗时长, 不能及时得出强度检验结果, 在现场施工时不易进行^[1]。

(三) 渗透试验法

渗漏试验法是指通过对混凝土在水或其它液体渗透下所产生的变化进行观察从而推算出它的强度的一种测试手段。它的基础

理论就是水泥胶凝体对于水分的渗透能力以及混凝土强度的关系。一般用到的仪器设备是渗透仪，试体要在特定的压力水中放置一定的时间后，测量水分的渗透程度和速度。从实验结果可知，渗透性能较差的混凝土往往有着更高的抗压强度；参考一些文献资料，渗透性能较差的混凝土，在强度测定方面一致性更好，特别是对于高强混凝土而言，渗透度以及渗透速度的大小可以体现出它较好的密实性和耐久性。渗透试验法的优点是它可以测试混凝土的密实度与抗渗性等特点，在各种不同的环境中都适用，比如在水工建筑物中，地下建筑物中等。然而渗透试验对试验条件的要求比较高，而且对于不同龄期混凝土的评价会存在一定的偏差，所以它的应用具有一定的局限性^[2]。

二、新型混凝土强度检测技术

（一）非破坏性声波检测

无损检测声波主要是超声脉冲法（Ultrasonic Pulse Velocity, UPV），它是基于声波在混凝土材料中传播的速度与其材料的弹性模量以及密实程度有密切相关的这种物理特性，用声波传导时间来计算出混凝土强度等级。常用的频率在20~250 kHz之间，纵波波速从3500 m/s到4500 m/s也随着龄期的增长而提高，而低速则常常伴随着高的孔隙率或者裂纹的出现，声波检测可以对混凝土中的缺陷、空洞以及它的裂缝进行定位，适用于对于构件厚度在几百毫米左右时的检测。此法对混凝土内部损伤信号的感知较为敏锐，在声压级、时差及速度同时进行观测则可以得到更为准确地强度估算值，但是其结果还是受到了湿度水平、粗骨料含量以及钢筋反射等等的影响，必须要制定相应的不同配比的校正方程才能达到较高的精度。综合声速和其他无损检测指

标较之于单凭一个变量可以更好的区分出强度等级^[3]。

（二）红外成像技术

红外成像检测技术以混凝土内热量的传递特性为基础，在混凝土结构内部有裂缝、孔隙以及密实度不同等情况下，混凝土表面温度场会发生变化，用高清晰度红外热像仪得到温度场就可以判断内部是否存在缺陷以及推算出结构物强度大小，其探测灵敏度高达0.02℃到0.1℃，适用于大范围结构整体快速扫描及跟踪观察；对厚度较大复杂的几何形状构件红外热成像法有高的空间填充效能，可以做到无接触式的连续检测。温度场的变化趋势配合热传导方程能够分辨出干燥潮湿环境还是结构受力状况，不同含水量的混凝土对应的热效应有不同的特征图谱，根据这个特征就可以划分等级了。此法易受周围温度以及太阳光照的影响较大必须加以补偿与建立温度场模型来减小误差。

（三）激光扫描技术

激光扫描主要应用的是三维激光扫描仪利用光学反射和激光回波信号来对混凝土表面及其内部浅层进行密集型点云采集，通过对点云特征分析以及几何分析和表面粗糙度评价从而推测材料变形情况及微裂缝的发展状况，此方法一般会搭配算法把点云密度（每平米上百万个点以上）同表面残余应力场、微观裂缝宽度等指标相联系，制定出强度评定的方法，全方位扫描可以形成三维强度分布图像，有利于对大体量构件（例如大桥墩台）进行全面的质量检测。激光扫描可以实现亚毫米级的精度，它具有检测速度快、信息直观的特点但是在数据处理方面有较高的要求，需要复杂地进行三维建模以及数据分析等技术的支持才能够完成。激光扫描数据和其他非破坏性指标结合起来有利于增强强度预测的准确性及分辨能力^[4]。如表1所示。

表1 新型检测技术主要参数对比

技术	核心参数	主要输出	优势	局限性
声波检测	频率20~250 kHz; 波速3500~4500 m/s	波速、振幅、 传播时间	内部缺陷敏感， 适用于整体评估	受含水率、钢筋影响， 需要校准曲线
红外成像	分辨率0.02~0.1℃	温度分布热像	快速扫描，非接触实时	受环境影响大，需要温度补偿
激光扫描	点云密度 ≥ 10 ⁶ 点/m ²	三维表面与裂缝数据	高精度三维形态分析	数据处理复杂，主要反映表层状态

三、混凝土强度检测技术的优势与挑战

（一）非破坏性检测技术的优势

无损检测（NDT）的优点是能够在不对混凝土结构造成破坏的情况下得到材料性质参数，用于对在役建筑物以及重要构件进行质量检测。其方法主要有超声波、红外热成像、回弹法、雷达扫描和电阻率等技术，可以同时测出强度、密实度、内伤分布和钢筋布置等多个指标，这综合性能的特点是破坏性测试无法达到的。NDT技术一般只需要几秒钟即可完成采样，符合现场快速测量的要求，在大体量项目比如桥梁、地道、摩天大厦等领域对于综合性的质量检验至关重要。超声波脉冲法、射线方法等能够检测声速还与其强度有关，运用多参数模型可以使得预测更加精准，准确度高达R²为0.95以上，从而减少费用支出。而且不需要

对物体进行打孔破坏，所以NDT能够在较长的时间内进行观测，也可以进行多种龄期检测，使建筑的维修保养以及危险性控制变得更加方便安全^[5]。

（二）技术成本与设备需求

虽然无损检测技术的优势很大，但是设备购买以及保养费用比传统的破坏性的检测方法要高很多。精确超声波、红外测温仪等设备的成本一般在几万到几十万人民币级别；装有光电、声电以及电磁感应器的复杂检测设备会更加昂贵很多。另外为了达到精准的要求必须定时对仪器进行标定和专业维护，这就产生了一些额外费用，同时NDT技术人员也要求很高，需要掌握物理信号处理、仪器校正、数据分析等相关知识技能，这也加大了技术培训和人力资源上的投入。环境因素的影响也会导致仪器读数偏差，须在检测过程中如实登记现场情况并加以修正，才能得到准

确的结果数据。合理地进行成本控制措施就是运用模块化的检测装置与公共化的机械设备平台,使用人工智能软件进行自动化的数据分析从而降低反复性的工作和人为错误^[6]。如图1所示。

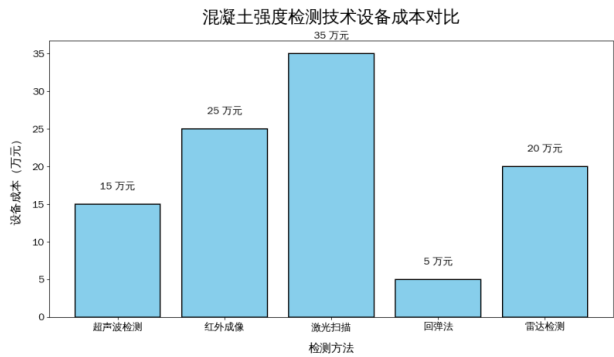


图1 混凝土强度检测技术设备成本对比

（三）数据处理与准确性

非破坏性检测结果精度取决于数据采集与处理技术是否完善。NDT手段一般会得到大量的初始信号数据例如超声脉冲时长、温度差、回弹值等等,需要使用统计工具或者回归方程或者机器学习方法来进行分析从而得到强度估计和状态判断,在实际工作中噪声、环境因素以及材料差异都是造成误差的主要原因。采用非线性建模、数据扩充策略可以大幅地提升预测模型泛化能力和精确度,已经在实际工作中运用的这些算法对训练集、验证集和测试集都达到了 R^2 大于0.95的结果,说明改进数据预处理策略有助于减少偏差。结合多种NDT指标进行分析可以提升对于混凝土强度辨别的准确性降低单个指标带来的误差,但是要构建出基于特定的材料配合比、养护情况及施工现场状况的标准检测数据库仍然是十分重要的环节。

四、混凝土强度检测的未来发展趋势

（一）智能化检测技术

未来的混凝土强度检测会大量采用智能化及自动化设备, AI+IoT+大数据的技术相互配合,达到实时监控以及准确判断的效果,基于IoT的混凝土智能检测系统利用无线传感器进行实时采集回弹值、温度、湿度等原始信息,在经过边缘端运算后再传送到云平台,从而可以做到对混凝土强度指标进行自动化计算及远程操控管理。可使施工现场取样耗时由传统的几十分钟降低到一分钟左右的时段内,工作效率提高五倍以上,而且还能保持检测结果处于标准允许误差范围以内。智能系统以自助式数据上

传及存储支持公司级别数据分析、预警以及质量管理,增强整个工程项目管理力度。此种方式同人工智能模型相融合可以对未来各龄期砼强度发展态势作出估计,给现场提供达到强度的时间节点以及风险提示,增强工程质量检验的合理性^[7]。

（二）多方法融合检测技术

单个检测方法有缺陷,未来发展方向就是多种检测技术的数据集成。结合超声波脉冲速度、应变计、红外热像以及回弹法的数据,利用机器学习算法构建多元数据集成模型,可以极大提高强度测试结果精度。多源数据分析技术可以综合利用各传感器空间和时序上的相关性,使用深度学习模型(神经网络和支持向量机等)得到更加稳定的变量,降低环境和外界干扰所引入的噪音。集成后的模型的预测结果更加准确也更具备鲁棒性,在大跨结构物健康诊断中对早期缺陷预警、应力集中区及结构老化程度判断都十分重要。此多种参数结合的方法已经在工程建设中的传感器网中得以实现,给复杂环境中对混凝土强度预测提供充足的数据支撑。

（三）持续监测与预警系统

不断监测及预警机制将是混凝土强度监测的主要发展途径之一,使用嵌入式的传感器、光纤布喇格光栅(FBG)、压电传感器等装置可以获取建筑物中的应力、温度以及湿度等相关情况的数据信息并即时上传到监测中心来进行跟踪趋势判断, AI算法会即时地判定混凝土的状态并根据监测数据来判断强度下降及隐患问题的发生而及时报警,持续监测方式可以对从混凝土浇筑、养护、使用全周期进行监控,建立生命周期强度预测模型以用于对大跨度桥梁、隧道、核电站等高危工程进行实时性风险管控。另外自动化无人智能化实验室仪器已经投入使用了,在整个过程中完全自动化的设备运行以及实时上传的数据系统有效的减少人工失误,提高了试验结果准确性及可追溯性,为以后的智能化施工和智慧城市的发展打下坚实的基础。

五、结语

混凝土强度检测技术对建筑来说是非常重要的,在实际操作过程中由传统的检测方式转变为无损、智能、自动化的现代技术。新技术例如声波检测法、红外检测法以及激光扫描法等都提升了检测速度并且精度也有了很大的提高,解决了以前无损检测技术不足的问题;以后的无损检测技术的发展趋势是智能化、多种方法结合以及实时化监测等,数据综合及AI数据分析能够做到实时准确的做出结构判定,进而推动建筑行业向着更安全、更高效的方面前进。

参考文献

[1] 雷凯,王明亮,王尚文,等. 简述混凝土强度回弹法检测技术[J]. 中国建筑金属结构, 2022,(01):84-85.
[2] 黄文俊. 建筑工程主体结构混凝土强度检测研究[J]. 中国房地产业, 2025,(25):186-189.
[3] 李生初. 基于最小二乘法的超声回弹法测强曲线试验研究[J]. 建筑结构, 2023,53(S2):1708-1711.
[4] 杨莉莉. 基于钻芯法在建筑工程中混凝土强度检测的技术研究[J]. 建筑与预算, 2024(01):67-69.
[5] 姜立香. 钻芯修正回弹法在混凝土抗压强度检测中的应用[J]. 广东建材, 2024,40(10):48-50.
[6] 彭卫星. 钻芯修正回弹法检测混凝土强度的研究[J]. 工程建设与设计, 2024,.01:189-192.
[7] 何新初,王建强,赵春涛. 基于机器学习的混凝土抗压强度预测发展现状[J]. 工程机械, 2024,55(05):209-215+264.