

# 建筑工程质量检测中混凝土结构检测技术

岳田田

宁夏建筑科学研究院集团股份有限公司 宁夏 银川 750001

**摘要：**混凝土结构检测是评估建筑安全性与耐久性的核心手段，涵盖无损检测、破损检测、内部缺陷检测及结构性能检测等技术。当前技术正从传统经验判断转向无损检测与数值模拟结合的定量分析，新型传感与智能算法提升了检测精度与效率，但仍存在技术局限、人员素养不足及智能化水平低等问题。通过完善技术体系、加强人员培养、推进智能化发展等对策，可推动检测技术升级，为结构安全评估与维护提供科学依据。

**关键词：**建筑工程；质量检测；混凝土结构检测；技术

## 引言

混凝土结构在建筑工程中应用广泛，其质量直接关系到建筑安全与寿命。随着建筑向复杂化、大型化发展，传统检测技术已难满足需求。新型检测技术虽有突破，但在复杂环境适应性、数据融合等方面仍存挑战。本文围绕混凝土结构检测技术，阐述其现状、问题及对策，旨在为提升检测水平、保障建筑质量提供参考，推动检测技术向精准化、智能化迈进。

### 1 混凝土结构检测概述

混凝土结构检测作为评估建筑安全性与耐久性的核心技术手段，其本质在于通过系统化的技术路径揭示结构内部隐含的缺陷与性能退化规律。这一过程不仅涉及对材料物理力学特性的微观表征，还需结合结构宏观受力状态的动态监测，形成多尺度、多维度的综合评价体系。当前检测技术正逐步突破传统经验性判断的局限，转向基于无损检测与数值模拟相结合的定量分析范式，通过声波透射、回弹法与钻芯取样的协同应用，实现对混凝土强度、裂缝分布及内部空洞等缺陷的精准识别。检测过程中对环境因素的动态响应分析成为提升评估精度的关键环节，温度变化、湿度波动及长期荷载作用下的徐变效应，均可能导致结构性能参数的非线性演变，需要通过建立时空耦合的分析模型予以量化。新型传感技术的引入为结构健康监测提供了实时数据支撑，光纤光栅传感器与压电陶瓷传感器的阵列式布置，可实现对混凝土应变场与应力集中区域的持续追踪，结合机器学习算法对监测数据的智能解读，能够提前预警潜在的结构风险点。结构检测结果的有效性验证依赖于检测方法的交叉校准与现场工况的细致考量，不同检测手段的适用范围与误差特性需要通过对比试验予以明确，避免单一技术手段可能导致的误判。检测技术的创新方向应聚焦于提升复杂结构体系的检测效率，针对异形构件与隐

蔽工程的检测难题，开发具有自适应能力的机器人检测系统，结合三维激光扫描技术构建结构数字化模型，为后续的修复加固方案提供精确的几何参数与性能基准。这种多技术融合的检测框架不仅能够拓展结构性能评估的深度与广度，还能为既有建筑的改造升级与寿命延长提供科学依据，推动混凝土结构工程从被动维修向主动维护的模式转变。

## 2 建筑工程质量检测中混凝土结构检测技术

### 2.1 无损检测技术

(1) 超声波检测技术通过向混凝土内部发射高频声波，利用不同介质界面的反射与折射特性生成波形图谱，结合波速衰减规律与频谱分析可判断混凝土密实度与内部缺陷分布，与红外热成像技术联用能捕捉结构表面温度场异常区域，间接反映内部空洞或裂缝形成的热传导差异，这种多物理场耦合的检测模式可显著提升缺陷定位的空间分辨率。(2) 回弹法基于混凝土表面硬度与强度的相关性建立检测模型，通过改进回弹仪的冲击能量控制机制减少表面碳化层对检测结果的干扰，与电磁感应技术结合可同步获取钢筋保护层厚度信息，消除钢筋分布对回弹值的影响，采用自适应滤波算法对回弹数据进行修正，能有效补偿不同龄期混凝土表面特性变化带来的误差<sup>[1]</sup>。(3) 雷达探测技术借助电磁波在混凝土介质中的传播特性，通过分析反射波的时域与频域特征识别内部钢筋分布及非金属管线位置，结合逆时偏移成像算法可重构结构内部三维缺陷形态，适用于复杂配筋结构的隐蔽工程检测，其非接触式检测特性使其在既有建筑的二次检测中具有独特优势。

### 2.2 破损检测技术

(1) 钻芯取样法通过获取混凝土芯样的物理力学参数直接反映结构实体强度，采用金刚石薄壁钻头配合液压驱动装置可减少取样过程对结构的二次损伤，芯样端

面的精密加工技术能降低抗压试验中的应力集中效应,与无损检测结果进行回归分析可建立区域性的强度修正模型,提升间接检测方法的精度校准效率。(2)拔出试验技术利用特制锚固件嵌入混凝土表层后施加轴向拉力,通过测量极限拔出力与混凝土表层破坏形态评估界面粘结强度,改进型预埋式拔出装置可消除后装式锚固可能产生的应力扰动,结合数字图像相关技术记录拔出过程中的应变分布,能揭示混凝土表层与内部强度梯度变化规律。(3)后装拔出法通过在已硬化混凝土表面钻孔埋入测试组件,施加渐进式荷载监测混凝土的开裂过程与极限承载力,其检测结果与芯样强度的相关性可通过引入修正系数予以优化,适用于评估受火灾或化学侵蚀作用后的混凝土表层性能退化程度,为结构修复范围的确定提供量化依据。

### 2.3 混凝土内部缺陷检测技术

(1)声发射技术通过捕捉混凝土内部裂纹扩展产生的应力波信号,利用传感器阵列的空间定位算法确定缺陷源的三维坐标,结合波形特征分析可区分裂纹的萌生、扩展与稳定阶段,与声速测试联用能构建缺陷区域的声学参数分布图谱,实现对微裂缝发育程度的动态追踪。(2)冲击回波法通过向混凝土表面施加瞬时机机械冲击激发应力波,利用应力波在缺陷界面的反射特性判断内部空洞或分层位置,采用小波变换对回波信号进行时频分析可提高缺陷深度计算的精度,针对大体积混凝土结构开发的多通道同步采集系统,能快速识别温度应力导致的内部微裂纹分布特征。(3)红外热成像技术基于混凝土内部缺陷与完好区域的热传导差异,通过监测结构表面温度场的稳态分布或瞬态响应识别隐蔽缺陷,结合有限元热分析模型可反演缺陷的几何参数与物理属性,在检测混凝土与钢筋界面剥离及预应力管道灌浆不密实等问题上具有独特优势。

### 2.4 结构性能检测技术

(1)静力荷载试验通过分级施加竖向或水平荷载,监测结构构件的位移响应与应变分布规律,采用位移控制加载方式可精确捕捉混凝土开裂与屈服的临界状态,结合光纤传感网络采集的全截面应变数据,能建立荷载-变形关系的精细化计算模型,为结构承载力的复核提供直接依据。(2)动力特性检测利用环境振动或人工激振手段获取结构的固有频率、振型与阻尼比参数,通过模态分析识别结构刚度退化区域与潜在损伤位置,基于运营阶段的振动信号采集可实现对结构性能的长期追踪,结合损伤识别算法能量化评估混凝土结构在交变荷载作用下的累积损伤程度。(3)耐久性检测通过模拟干湿循

环、冻融交替与氯离子渗透等环境作用,评估混凝土的抗渗性、抗冻性与钢筋锈蚀速率,采用电化学阻抗谱技术可表征混凝土保护层的完整性与孔隙结构特征,结合加速老化试验与微观结构观测,能揭示不同环境因素对混凝土材料劣化机理的耦合影响规律<sup>[2]</sup>。

## 3 建筑工程质量检测中混凝土结构检测技术的现存问题与发展对策

### 3.1 现存问题

#### 3.1.1 检测技术局限性明显

现有无损检测技术在复杂环境下的适应性仍存在显著短板,超声波检测在高致密性混凝土中易因波速饱和效应导致缺陷定量精度下降,面对钢筋密集区域时声波反射信号的叠加干扰难以完全消除,使得小尺寸裂缝的识别灵敏度受限。回弹法受混凝土表面状态的影响呈现较强的条件依赖性,碳化深度较大时硬度与强度的相关性模型出现显著偏离,且在高温养护或掺合料改性混凝土中,传统校准曲线的适用性大幅降低。钻芯取样虽能提供直接强度数据,但取样数量的局限性难以反映结构性能的空间变异性,对于大跨度梁体或薄壁构件,取样过程可能引发应力重分布导致新的损伤累积。不同检测方法的结果交叉验证机制尚未形成统一标准,超声波与回弹法对同一缺陷的判定结果常存在数值偏差,缺乏基于多源数据融合的不确定性量化模型,导致检测结论的可靠性评估缺乏科学依据。

#### 3.1.2 检测人员专业素养不足

检测人员对新型复合检测技术的原理认知存在深度不足,在操作光纤光栅传感系统时,往往忽视温度补偿对strain测量精度的影响,导致动态监测数据出现系统性误差。面对复杂结构的检测场景,技术人员对多物理场耦合效应的分析能力欠缺,使用红外热成像技术时未能结合混凝土含水率分布修正热传导模型,使得内部空洞的定位出现厘米级偏差。对检测设备的智能化功能开发不足,多数操作人员仅掌握基本数据采集流程,未能充分利用设备内置的频谱分析模块提取缺陷特征参数,导致大量潜在信息被忽略。在数据解读阶段,过度依赖经验性判据而缺乏对数值模拟结果的整合能力,难以建立检测数据与结构实际性能之间的映射关系,限制了评估结论的深度与广度。

#### 3.1.3 智能化检测水平较低

现有检测设备的自动化数据采集能力尚未实现全流程覆盖,超声波检测仪仍需人工逐点耦合换能器,在大面积检测时,人工操作繁琐,效率极为低下,同时耦合压力难以精准把控,波动较大,进而引入额外误差,影

响检测结果可靠性<sup>[3]</sup>。机器学习算法在检测数据处理方面应用尚浅,多数模型仅能对缺陷做简单分类,未深入结合混凝土材料劣化机理构建预测性分析框架,难以精准预判裂缝扩展速率,无法为结构安全评估提供有力支撑。结构数字化建模与检测数据融合度欠佳,三维激光扫描的点云数据和回弹值、波速等参数未建立空间关联模型,结构性能难以可视化呈现。检测机器人的自主导航能力有限,在异形构件或狭窄空间内易因路径规划不合理导致检测盲区,且缺乏对传感器姿态偏差的实时校正机制,影响数据的空间匹配精度。

### 3.2 发展对策

#### 3.2.1 完善检测技术体系

构建基于多物理场耦合的协同检测框架,通过超声波与电磁感应的同步采集系统,建立混凝土密实度与钢筋锈蚀状态的关联数据库,利用贝叶斯网络算法量化不同检测方法的权重系数,提升缺陷判定的综合可信度。开发适用于特种混凝土的专用检测模型,针对超高性能混凝土的纤维分布特性,优化超声波换能器的频率参数与冲击回波的激发能量,建立纤维体积率与波速衰减的定量关系。建立检测结果的时空校准机制,结合混凝土龄期增长的力学性能演化规律,开发考虑碳化深度与湿度影响的动态修正算法,通过现场同条件试块的长期监测数据不断优化预测模型。推进检测技术的标准化建设,制定多源数据融合的格式规范,明确不同结构类型的检测点布设原则,形成从数据采集到结论输出的全流程质量控制体系。

#### 3.2.2 加强检测人员培养

构建基于数字孪生的沉浸式培训平台,通过虚拟仿真技术模拟复杂结构的检测场景,操作人员可在三维可视化环境中练习光纤传感器的布设方案与数据解读方法,系统实时反馈操作误差对结果的影响程度。建立分层级的技术能力评估体系,初级检测人员侧重设备操作规范性与基础数据处理能力培养,高级技术人员则需掌握多场耦合分析与数值模拟技能,通过实际工程案例的复盘训练提升问题解决能力。开展跨学科知识融合培训,强化材料科学与结构力学的理论基础,使检测人员能够理解纳米掺合料对混凝土微观结构的影响机制,进

而准确解读新型材料的检测信号特征。建立技术交流与成果共享机制,定期组织检测技术创新论坛,鼓励一线人员分享复杂工况下的检测经验,推动形成基于实践数据的技术改进方案。

#### 3.2.3 推进智能化检测发展

研发具有自适应感知能力的检测机器人集群,搭载多模态传感器阵列实现超声波、回弹与电磁信号的同步采集,通过群体智能算法优化检测路径,在复杂结构表面形成无盲区覆盖。构建基于深度学习的缺陷识别模型,利用卷积神经网络对海量超声波波形与红外热像图进行特征提取,结合注意力机制强化对细微裂缝与界面剥离的识别精度,实现检测数据的实时分析与结果输出<sup>[4]</sup>。开发结构性能数字孪生系统,将三维激光扫描的几何模型与传感器实时监测数据进行动态融合,通过有限元模型的在线更新模拟结构在不同荷载条件下的响应特性,为缺陷演化趋势提供预测依据。建立云端检测数据中台,整合不同工程的检测结果形成行业数据库,利用迁移学习算法快速适配新检测场景,通过数据挖掘发现结构性能退化的共性规律,为检测技术的持续迭代提供数据支撑。

#### 结语

综上所述,混凝土结构检测技术在建筑工程质量保障中意义重大。当前技术已形成多方法融合的体系,无损与破损检测互补,智能化技术初显成效。虽存在技术、人员、智能化等问题,但通过针对性对策可逐步解决。未来,需持续创新,推动检测技术与新兴科技深度融合,构建更高效、精准的检测体系,为建筑工程的安全运营与可持续发展奠定坚实基础。

#### 参考文献

- [1]陈积熙.建筑工程质量检测中混凝土检测技术研究[J].模型世界,2024(5):115-117.
- [2]高山.建筑工程质量检测中的混凝土检测技术探究[J].大众标准化,2024(3):163-165.
- [3]孟令迎.建筑工程质量检测中的混凝土检测技术分析[J].居业,2024(4):96-98.
- [4]祝怀涛.建筑工程质量检测中的混凝土检测技术探讨[J].模型世界,2025(10):212-214.