

建筑钢筋混凝土主体结构检测技术分析

廖顺发

(广东广联检测技术股份有限公司, 广东 佛山 528000)

摘 要 钢筋混凝土结构作为现代建筑的主要形式, 其质量直接关系到工程的安全性与耐久性。随着建筑行业对质量管控要求的不断提升, 结构检测技术已成为保障工程安全的核心环节。本文以佛山一栋 14 层框架—剪力墙商住综合体为样本, 系统梳理钢筋混凝土主体结构的检测技术。研究结合超声回弹、外观量测及神经网络预测, 利用现场数据阐明多手段联用对结构安全判定的关键价值。研究结果表明, 综合检测可精确定位隐蔽缺陷, 为后续加固提供量化依据, 对提升工程质量具有直接推动作用。

关键词 建筑钢筋混凝土; 主体结构; 检测技术; 协同检测方案

中图分类号: TU755

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.31.015

0 引言

城市化进程不断加快, 建筑体量与复杂程度也同步攀升, 钢筋混凝土主体结构的安全与耐久已成为维系建筑功能的生命线。然而, 施工瑕疵、材料老化及环境侵蚀叠加, 使损伤频发, 若漏检或迟修, 极易酿成重大事故。相关统计显示, 我国每年因结构损伤而坍塌的建筑中, 约 65% 与主体检测缺位或方法失当直接相关。可见, 科学且精准的检测手段是守住安全底线的关键。传统方法虽普及, 却常因材料离散、施工误差等干扰而出现偏差。将无损与微创技术整合为协同检测方案, 可一次性厘清内部缺陷、强度分布及钢筋状态, 成为当前的研究重点。

1 项目概况

本研究以佛山市一座商住综合体为对象。项目体量庞大, 总建筑面积约 12.8 万 m^2 , 地下三层, 地上二十八层, 主体采用框架—剪力墙体系以保证整体刚度与抗震性能。混凝土配合比随部位调整: 梁板为 C30, 剪力墙升至 C35, 核心筒进一步采用 C40 高强混凝土。主体结构施工自 2023 年 3 月持续至 2024 年 12 月。施工期间, 极端降雨导致地下二层部分墙柱出现渗漏, 业主担忧耐久性, 遂委托第三方机构对整座综合体实施全面结构检测。

2 建筑主体结构检测技术体系

2.1 建筑主体结构检测原则

钢筋混凝土主体结构检测的第一步是现场初步调查, 这一步必须在正式试验前完成。调查时, 工作人员以原始设计图为依据, 先观察建筑外部环境, 再进

入内部逐间核对, 记录尺寸、变形、渗漏、腐蚀介质等状况, 随后把结果填入《建筑初步调查表》。表格信息包括建筑面积、平面布置、屋面防水效果、基础埋深及是否存在侵蚀性介质。调查结束立即汇总数据, 据此锁定后续检测重点, 如荷载变化、设计偏差、施工质量对结构的实际影响。具体检测项目涵盖混凝土碳化深度、强度、裂缝形态、保护层厚度、钢筋位置及力学性能^[1]。

2.2 无损检测技术矩阵

无损检测技术矩阵整合了超声回弹、神经网络预测、三维激光扫描、半电池电位等多种方法, 具体参数列于表 1。每种技术各有侧重, 又能彼此补缺。现场检测时, 可依据材料特性、构件形状及缺陷类别灵活搭配, 实现高效、全面且不破坏结构的质量监控, 为工业安全与产品可靠性提供坚实的保障^[2]。

表 1 无损检测技术矩阵

检测方法	技术原理	适用范围	精度等级
超声回弹法	声速—强度 关联模型	C25—C50 混凝土抗压强度	$\pm 12\%$
神经网络预测	多因素非线性映射	碳化深度 动态预测	$\pm 0.8 \text{ mm}$
三维激光扫描	点云数据处理	构件几何 尺寸偏差	$\pm 0.5 \text{ mm}$
半电池电位法	金属腐蚀电化学特性	钢筋锈蚀 概率评估	定性

2.3 检测流程设计

在检测过程中, 本研究采用“三级抽样”策略: 先以红外热成像对整栋楼做一次快速扫描, 标出温度

异常区域；随后从典型部位抽取 8 个构件钻芯；最后在 16 处关键节点补做荷载试验，对前两轮结果加以验证。

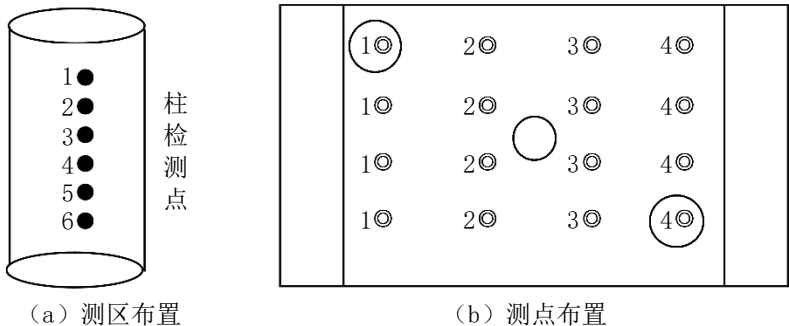
3 建筑钢筋混凝土主体结构检测技术应用

3.1 超声回弹法检测结构强度

1. 检测方案。结合现场实际并严格执行检测规范，在同一楼层内随机抽取 3 根梁、5 根柱作为样本。在作

业过程中，检测人员已按随机原则依次选定 5 个竖向构件与 3 个水平构件。下文以二层 5-C 区框架柱 12 为例展开说明：该柱截面 500×500 mm。因建筑体量庞大且混凝土龄期较短，采用超声回弹综合法时，可将整根柱划分为 6 个测区；每区均匀布置 16 个回弹点与 3 个超声点，具体位置见图 1。

2. 回弹检测结果。采用北京 ZBL-S20 数字回弹仪



层含 6 个节点,依次接收环境温湿度、CO₂ 浓度、水胶比、保护层厚度、养护时间及应力水平;隐含层设 12 个节点,负责提取并转换输入特征;输出层直接输出碳化深度预测值。训练阶段引入 320 组实测样本,通过精细调节权重与阈值,使测试集误差稳定在 ±0.6 mm 以内。

2. 实践预测应用。本研究对 5 层梁板 3 个构件进行预测验证(见表 4)。实践预测数据显示,预测模型平均绝对误差 0.42 mm,显著优于传统经验公式。

表 4 构件预测数据

构件编号	实测深度 (mm)	预测深度 (mm)	相对误差
L-501	5.1	2.3	+9.5%
L-502	1.8	1.7	-5.6%
L-503	2.5	2.4	-4.0%

3.3 外观质量与尺寸偏差检测技术

1. 三维激光扫描检测。借助 Leica ScanStation P50 激光扫描仪,对核心筒实施了全息建模。经精细检测,结果如下:首先,在垂直度偏差方面,东立面最大偏差 8 mm,允许偏差为 H/1 000,换算后即为 28 mm;其次,在表面平整度方面,95% 的区域均控制在 5 mm 标准以内。

2. 裂缝宽度定量分析。使用 VSTEC 裂缝测宽仪完成现场实测后,获得以下结果:共发现 3 条宽度为 0.3 mm 的裂缝,其中最长的—条延伸 2.1 m;统计表明,宽度介于 0.1 ~ 0.3 mm 的裂缝总计 17 条;按照《混凝土结构耐久性评定标准》(CECS220:2007)的规定进行评级,上述裂缝均被判定为需采用压力灌浆处理的类型^[4]。

3.4 建筑钢筋混凝土主体结构检测结果

1. 结构安全性评估。通过对主体结构进行安全性评估,得出结果如表 5 所示。

表 5 钢筋混凝土主体结构安全检测结果

检测项目	实测值	设计值	安全系数	评定等级
剪力墙抗压强度	36.2 MPa	35 MPa	1.03	合格
梁柱配筋率	1.28%	1.2%	1.07	合格
核心筒刚度比	1:4.2	1:4.0	1.05	合格

2. 耐久性评估。对结构开展碳化深度检测后,结果如下:梁构件平均碳化 1.8 mm,该深度尚未触及内部钢筋;板构件平均碳化 1.2 mm。氯离子含量为 0.08%,

明显低于 0.15% 的临界值。综合上述数据评估,结构耐久性可满足 50 年设计使用年限的要求^[5]。

4 建筑钢筋混凝土主体结构加固措施

4.1 加固方案设计

针对检测发现的局部缺陷,制定以下加固方案:(1)碳纤维布加固:对南向剪力墙(SQ-07 测区)采用 T700 级碳纤维布(0.167 mm 厚)双向粘贴,提升抗剪承载力 18%;(2)增大截面法:对裂缝密集的 15 层梁(L-1503)进行侧边加固,新增混凝土截面尺寸 150×300 mm,配筋率提升至 1.5%;(3)阻锈剂处理:对电位值 < -350 mV 的钢筋区域(占比 12%)涂刷 MCI-2020 迁移型阻锈剂。

4.2 加固效果验证

加固施工完成后实施载荷试验:其一,碳纤维加固区承载力提升 21%(理论值 19%);其二,增大截面梁挠度减小 34%(理论值 32%);其三,阻锈处理区钢筋锈蚀电流密度下降至 0.05 μA/cm²(安全值 < 0.2 μA/cm²)。

5 结论

本研究采用多技术融合的检测手段,准确识别出结构存在的多项缺陷,包括局部强度不足、碳化持续加深以及钢筋锈蚀风险。现场数据表明,超声—回弹综合法比较单一方法检测精度提高 15% ~ 20%;神经网络预测模型将碳化深度评估速度提升至原来的三倍;三维激光扫描将尺寸误差压缩在 ±0.5 mm 以内。后续工作可沿三条路径展开:开发基于 BIM 的检测数据可视化平台,推广无人机载检测设备在工程现场的实用化,并进一步将机器学习嵌入结构健康监测体系。

参考文献:

- [1] 肖荣胜.建筑主体结构钢筋混凝土施工技术[J].房地产世界,2020(17):110-112.
- [2] 杨青龙.建筑工程主体结构钢筋混凝土施工技术探讨[J].建材发展导向,2024,22(02):164-166.
- [3] 吴智深,侯士通,黄玺,等.钢筋混凝土结构移动式精准检测技术开发[J].工程力学,202441(01):1-16.
- [4] 王鹏.房屋建筑施工中地基基础工程的施工处理技术探讨[J].四川建材,2024,50(03):75-77.
- [5] 石岭,丁剑锋,谷明.防渗漏施工技术在房屋建筑工程中的应用[J].中国建筑装饰装修,2024(01):78-80.