

无损检测技术在混凝土结构检测中的应用研究

文 / 彭 盛 广东环达工程检测有限公司

摘要：本文通过某办公楼现浇钢筋混凝土框架结构的工程案例，采用回弹法检测混凝土抗压强度，发现二层框架柱、屋面框架梁等构件强度未达标；运用超声波检测识别出楼板 1250mm 裂缝（宽 0.3 ~ 0.6mm）及 7 处内部空洞 / 不密实现象；结合电磁感应法完成钢筋参数验证。基于检测结果，采用增大截面法处理柱端空洞缺陷，粘贴碳纤维布加固梁、板构件裂缝及损伤层，为加固方案制定提供科学依据，提升混凝土结构改造工程的安全性与经济性。

关键词：无损检测技术；混凝土结构检测；超声波检测；加固技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.21.120

引言

混凝土结构作为建筑工程的核心组成部分，其安全性与耐久性直接影响建筑整体性能，传统检测方法多依赖破损取样，存在检测范围有限、易对结构造成二次损伤等问题，难以满足现代工程对高效精准检测的需求。无损检测技术凭借非破坏性、高分辨率及全场检测优势，已成为混凝土结构质量评估的关键手段。本文以超声波检测、电磁感应法、回弹法为研究对象，系统分析各技术的检测原理、设备构成及数据处理方法，结合实际工程案例其在混凝土强度、裂缝、内部缺陷及钢筋参数检测中的应用效果，并基于检测结果提出增大截面法、粘贴纤维复合材料等针对性加固方案，旨在为混凝土结构检测与加固工程提供技术参考，推动无损检测技术在建筑工程领域的规范化应用。

一、无损检测技术概述

（一）超声波检测

检测过程中使用的超声波检测仪主要由主机与换能器两部分构成，主机内部集成触发器、脉冲发生器、计时电路、放大器及显示装置等核心组件（图 1），发射与接收换能器则通过信号线与主机连接，共同完成超声脉冲的发射、接收及信号处理^[1]。测试时采用单面平测法，将发射换能器固定于某一测点，接收换能器沿混凝土表面依次移动至不同测距位置，分别记录对应间距下的声时参数与换能器内边缘距离。通过对多组测点数据的分析区分超声波在损伤层与正常混凝土层中的传播特性，进而绘制“时—距”坐标图，图中转折点前后的直线段分别对应损伤层与未损伤层的传播规律^[2]。结合回归分析方法，计算两段直线的回归方程，最终通过方程参数确定损伤层厚度的具体数值。

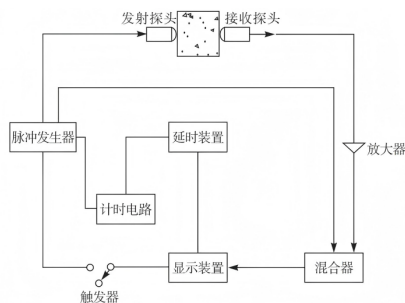


图 1 超声波检测仪构造

（二）电磁感应法

电磁感应法作为钢筋参数检测的常用手段，其工作原理基于电磁波与钢筋的电磁相互作用（图 2）。

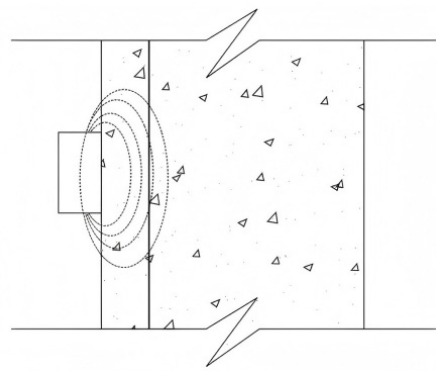


图 2 电磁感应法原理

在检测过程中，仪器中的信号发射模块会向混凝土构件内部发射脉冲形式的电磁波，当电磁波传播至钢筋所在位置时会在钢筋内部产生二次电场，并随之形成感应磁场，经过仪器配备的接收模块捕获后将其转化为可供分析的数字信号。通过深入剖析数字信号中磁场梯度变化特征准确推算出钢筋的具体位置、直径尺寸、间距间隔及保护层厚度等关键参数^[3]。该方法依赖钢筋扫描仪等专用设备，实际操作中需先收集工程设计与施工资料，预估钢筋位置以避免凿除混凝土时损伤钢筋，检测结果需结合钻孔或凿刻验证，其中验证比例不低于 30% 且连续取样段数不少于 3 个，以保证数据的可靠性。

（三）回弹法

回弹法是基于材料表面硬度与内部强度存在相关性的原理，通过测量混凝土、砂浆等脆性材料表面回弹值来间接推算其抗压强度的无损检测方法，该方法利用回弹仪中的弹簧驱动重锤，通过弹击杆弹击材料表面，重锤回弹的距离与初始弹击能量的比值即为回弹值。检测时需按照规范要求选择测区，每个测区通常布置 16 个测点，去除 3 个最大值和 3 个最小值后取平均值作为该测区的回弹代表值。当回弹仪非水平方向弹击或检测面非混凝土浇筑侧面时需要进行角度修正、表面粗糙或潮湿时进行测试面修正及碳化深度修正（通过酚酞试剂测定碳化层厚度，根据碳化深度对回弹值进行强度换算调

整)^[4]。回弹法的适用于普通混凝土结构或构件的抗压强度检测,不适用于表层与内部质量差异较大或内部存在空洞、裂缝的构件,其检测结果需结合钻芯法等其他方法进行验证或校准。该方法操作简便、快速经济、对结构无损伤,在建筑结构现场检测中应用广泛。

二、案例分析

(一) 工程概况

某办公楼为现浇钢筋混凝土框架结构,主体5层,总高度约19.1m。该建筑结构设计使用年限50年,结构

安全等级二级。为进行改造升级,需对该混凝土结构建筑进行检测,并对检测出的问题进行加固处理。

(二) 混凝土抗压强度检测

为全面掌握受检框架结构各构件混凝土的实际强度,检测工作依据《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T23-2011)及《民用建筑可靠性鉴定标准》(GB50292-2015)展开,采用回弹仪对各层框架柱、框架梁及楼板的构件表面进行检测,每个构件均选取多个测点以保证数据代表性,检测结果见图3所示。

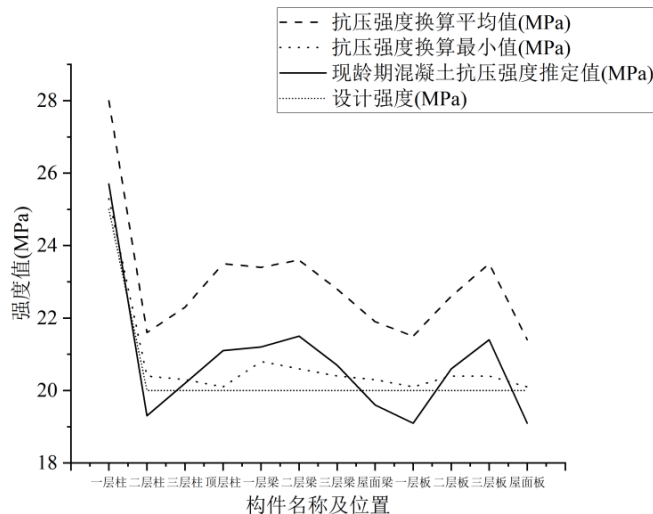


图3 混凝土抗压强度检测结果

从检测结果来看,不同位置构件的混凝土强度存在差异:二层框架柱、屋面框架梁、一层楼板及屋面板的现龄期混凝土抗压强度推定值未达到原设计强度等级,其中二层框架柱推定值低于C20的标准,屋面框架梁、一层楼板、屋面板均未满足C20设计要求,需在后续加固工程中针对这些构件采取相应的补强措施。

(三) 混凝土缺陷检测

1. 裂缝检测

混凝土裂缝检测时采用超声波检测仪全面扫描楼板构件,检测过程中通过调整换能器间距与角度保证声波信号能有效穿透构件,现场需重点检测二层楼板区域,仪器显示该区域存在一条明显的声波异常带,结合波形分析与现场标记,确认该裂缝长度约1250mm,宽度范围在0.3mm~0.6mm之间,裂缝走向与楼板受力钢筋方向

呈45°夹角,未贯通楼板上下表面,两端延伸至梁边100mm处停止。通过对裂缝周边混凝土进行回弹法强度复核,未发现强度异常衰减现象。

2. 密实度与空洞检测

混凝土密实度及空洞检测采用超声波对测法与斜测法组合方案,在结构各关键部位共选取30个测点,覆盖一层柱(A-E列)、三层柱(A-E列)、二层梁(A-E列)、屋面梁(A-E列)、二层板(A-E列)及三层板(A-E列)。检测数据经整理后显示,混凝土声速平均值为3.9km/s,标准差2.6km/s,其中C2测点(二层梁)声速3.6km/s、D2测点(三层柱)声速3.5km/s、C3测点(二层梁)声速2.8km/s等7个测点声速显著低于平均值,判定为内部存在空洞或不密实现象。具体检测结果如表1所示:

表1 超声波检测结果(km/s)

测点	1 一层柱	2 三层柱	3 二层梁	4 屋面梁	5 二层板	6 三层板
A	4.1	4	4.1	4.1	4.1	4
B	4.1	4	3.8	4.1	4	4
C	4	3.6	2.8	3.7	4	4.1
D	4	3.5	3.1	3.7	4.1	4.2
E	4.1	4	4	4	4.1	4.1

3. 结合面质量检测

新旧混凝土结合面质量检测聚焦于结构改造中新增构件与原结构的连接部位,检测前对结合面两侧500mm范围内混凝土表面进行打磨处理,采用超声波穿透法测

试时分别在结合面区域及相邻正常混凝土区域布置3组对比测点,每组测点重复测试3次取平均值。结果显示,结合面处混凝土声速为4.0km/s,正常混凝土区域声速

为 4.1km/s，二者相对偏差 2.1%，声波波形未出现明显畸变或反射峰，表明结合面处混凝土界面过渡区密实，未存在分层、气泡等缺陷。

4. 表面损伤层检测

混凝土表面损伤层检测采用单面平测法，测试前铲除构件表面 20mm 厚碳化层及饰面层，露出新鲜混凝土表面并采用砂轮打磨平整。在 100mm×100mm 测试区域内，按 30mm 间距布置 6 个测点，依次记录测距 30mm、60mm、90mm、120mm、150mm、180mm 对应的声时值。数据处理时通过绘制“时—距”曲线，发现测距 120mm 处出现明显转折点，转折点前损伤层直线方程斜率为 0.025mm/μs，转折点前未损伤层直线方程斜率为 0.018mm/μs，计算得出损伤层厚度为 50mm。对该区域进行局部凿除验证，发现损伤层混凝土呈疏松状，骨料与水泥浆体粘结力下降，实测损伤深度与计算结果一致。

三、基于无损检测结果的加固技术

(一) 增大截面加固法

在本工程检测中，首层框架柱存在柱端混凝土脱落问题，经现场凿除装修层检查发现，脱落区域混凝土内部混入砖块，导致局部结构不密实，形成明显空洞缺陷。针对这一情况，加固施工前需彻底处理缺陷区域，采用人工配合电镐剔除柱端上下各 500mm 的疏松混凝土，直至露出新鲜、密实的结构基层，将截面尺寸扩大至原柱尺寸的 1.2 倍。处理过程中同步清理残留的砖块及杂物，并用高压空气吹净表面浮尘，保证基层平整干燥，施工详图见图 4 所示。

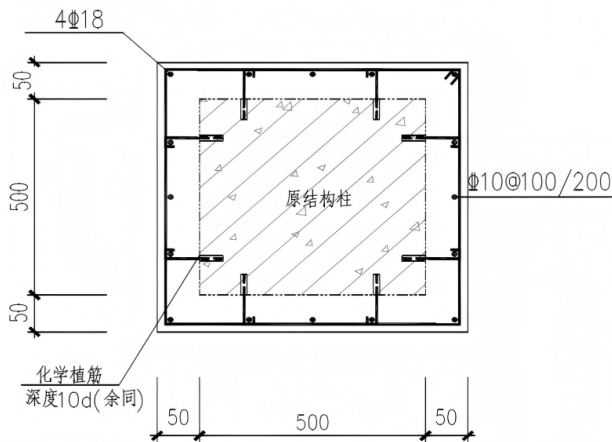


图 4 增大截面加固法施工

加固施工分为四个关键环节：首先进行基面处理，对剔除后的混凝土表面进行凿毛处理，深度控制在 5~10mm 来增加新旧混凝土间的粘结力；随后按设计安装纵向受力钢筋，与原柱纵筋采用双面搭接焊连接，焊接完成后检查钢筋的外观，确保无夹渣、咬边等缺陷；模板安装采用 18mm 厚多层板，板缝粘贴海绵条密封；最后浇筑自密实微膨胀混凝土，通过灌浆机从柱底向上连续灌注，浇筑完成后覆盖薄膜并洒水养护，养护周期不少于 14 天。

(二) 粘贴纤维复合材料加固法

框架梁及楼板检测发现，部分构件存在混凝土强度未达标、表面裂缝及损伤层等问题，屋面框架梁抗压强度未达到设计要求，二层楼板存在未贯通裂缝，屋面板表面损伤层厚度较大。针对上述缺陷采用粘贴碳纤维布进行加固处理，施工前对构件表面进行预处理，采用环氧树脂压力灌注修补宽度大于 0.2mm 的裂缝，小于 0.2mm 的裂缝直接涂刷封闭胶；表面损伤层采用砂轮打磨去除，直至露出坚实混凝土基层，打磨后用丙酮擦拭表面油污及浮灰。

基层处理完成后采用滚筒均匀涂刷底胶，厚度控制在 0.2~0.3mm，待底胶完全固化后进行下一步操作；粘贴碳纤维布时先在基层表面涂刷浸渍树脂，随即铺贴碳纤维布，采用橡胶滚筒沿纤维方向反复滚压，保证树脂充分浸润纤维布且没有产生气泡；多层粘贴时需在每层铺贴完成后检查粘结质量，合格后方可进行下一层施工；最后进行保护层施工，在碳纤维布表面涂刷环氧树脂，随即撒布石英砂，待固化后采用 20mm 厚水泥砂浆进行抹面。

结语

根据以上对无损检测技术在混凝土结构检测中应用的系统分析，可得出以下结论：

(1) 超声波检测、电磁感应法与回弹法等无损检测技术的综合应用，能全面揭示混凝土结构的质量缺陷。通过工程案例验证，超声波技术可精准定位 1250mm 长度的裂缝及 50mm 厚度的损伤层，电磁感应法能有效识别钢筋参数异常，回弹法则可快速评估混凝土表面强度，三种方法协同使用可全方位检测混凝土的内部缺陷到表层性能。

(2) 基于无损检测结果制定的加固方案具有显著针对性，针对框架柱空洞缺陷采用增大截面法，通过扩大 1.2 倍截面尺寸并灌注自密实混凝土解决局部不密实问题；梁、板构件的裂缝与强度不足问题则采用粘贴碳纤维布技术，经环氧树脂灌注与多层粘贴工艺处理后，提升了结构的承载力，从而验证了“检测—诊断—加固”技术路径的科学性。

参考文献

[1] 顾渊. 混凝土结构缺陷中红外热成像无损检测技术的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2025, (13): 196-198.

[2] 郑秋格, 张梅荣, 李金泰. 混凝土结构缺陷超声波无损检测技术研究[J]. 砖瓦, 2025, (02): 132-134+138.

[3] 徐新. 主体结构混凝土强度无损检测技术研究[J]. 住宅与房地产, 2024, (32): 53-56.

[4] 严浩, 贾凤刚. 大体积混凝土建筑结构早期裂缝扩展检测研究[J]. 中国建筑金属结构, 2025, (12): 40-42.

作者简介: 彭盛(1994.10--), 男, 广东高州人, 本科, 助理工程师, 主要研究方向: 建筑工程检测。