

Research on Non destructive Methods for Quality Inspection and Identification of Reinforced Concrete Structure Engineering

Haixiang Xu

Changshu Suchang Engineering Quality Inspection Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu, 215000, China

Abstract

The quality of reinforced concrete structures is closely related to the service life of buildings and the overall structural safety of buildings. Especially for reinforced concrete structures with a service life of more than 20 years, the structural strength is greatly weakened, and serious steel corrosion occurs in local areas. If traditional destructive detection and identification methods such as core drilling and pull-out are used, not only will the destructive nature be strong and the detection focus not be prominent, but it will also be difficult to achieve in-situ continuous monitoring, resulting in significant deviations in the detection and identification results. Non destructive testing techniques such as ultrasonic rebound comprehensive method, geological radar detection method, and infrared thermal imaging method are widely used in the field of quality inspection of reinforced concrete structures due to their advantages of high accuracy, wide range, fast speed, and no damage. This article combines examples to analyze the application advantages of non-destructive testing and identification methods, aiming to provide theoretical and practical references for the intelligent upgrading and innovative development of non-destructive methods for quality testing and identification of reinforced concrete structures.

Keywords

reinforced concrete; Engineering quality; Testing and identification; Non destructive; Application advantages

钢筋混凝土结构工程质量检测鉴定的非破坏性方法研究

徐海香

常熟市苏常工程质量检测有限公司, 中国·江苏·苏州 215000

摘 要

钢筋混凝土结构质量与建筑物使用寿命及建筑整体结构安全密切相关, 尤其对服役年限超过20年以上的钢筋混凝土结构来说, 结构强度大幅削弱, 局部区域出现严重的钢筋锈蚀现象, 如果采用钻芯法、拔出法等传统的破坏性检测鉴定方法, 不仅破坏性强、检测重点不突出, 并且很难实现原位连续监测, 导致检测鉴定结果出现较大偏差。而超声回弹综合法、地质雷达探测法、红外热成像法等非破坏性检测技术以其精度高、范围广、速度快、无损伤等优势而被广泛应用钢筋混凝土结构质量检测领域。本文结合实例, 针对非破坏性检测鉴定方法的应用优势予以分析, 旨在为钢筋混凝土结构工程质量检测鉴定的非破坏性方法的智能升级与创新提供理论借鉴与实践参考。

关键词

钢筋混凝土; 工程质量; 检测鉴定; 非破坏性; 应用优势

1 引言

钢筋混凝土作为桥梁建筑、房屋建筑重要的结构性材料, 其质量检测鉴定环节至关重要, 过去, 在采取破坏性检测方法时, 由于取样损耗大, 很容易破坏混凝土结构的局部稳定性, 继而埋下安全风险隐患。为此, 近年来, 随着钢筋混凝土结构数量的逐年递增, 传统的破坏性检测方法已逐步被非破坏性检测方法所取代, 并且这种方法在减少工程加固成本、保障钢筋混凝土结构安全、延长建筑使用寿命等方面体现的应用价值越加明显。

2 钢筋混凝土结构工程质量检测鉴定常用的非破坏性方法

2.1 超声回弹综合法

超声回弹综合法以“回弹值”和“超声波速”两个核心参数为突破口, 在不破坏钢筋混凝土整体结构的情况下间接测算出混凝土的抗压强度, 目前, 在钢筋混凝土结构工程质量检测鉴定领域, 超声回弹综合法的实际应用率达到 50% 以上。在检测鉴定环节, 技术人员利用回弹仪冲击混凝土结构表面, 回弹值与表面硬度呈线性关系, 超声波则在混凝土内部通过反射与折射作用识别孔洞、裂缝等缺陷。首先, 需要选择被测区域, 通常情况下, 测区数量不得低于 10 个, 每个测区的面积为 200mm×200mm, 如果被测物尺寸较小, 截面宽度在 300mm 以下, 可以将测区数量减少

【作者简介】徐海香 (1981-), 男, 中国江苏苏州人, 本科, 工程师, 从事既有建筑结构检测及鉴定研究。

至 5 个，但是每个测区的测点数量需要适当增加。其次，在确定测区之后，对钢筋混凝土结构表面进行除杂去污处理，确保被测物裸露出新鲜混凝土骨料。检测过程中，每个测区进行 16 次回弹测试，剔除 3 个最大值与 3 个最小值后取平均值作为该测区回弹值^[1]。超声波检测环节应当在测区相对两面布置换能器，采用“对测法”采集 3 组波速数据，取平均值作为该测区波速，然后将回弹值与波速代入回归方程，根据测区碳化深度对测定值予以修正，以获得精准的强度值。不同强度等级的混凝土，其检测误差要求也有所差别：C20-C40 混凝土的误差范围 ±5%-±8%，C40-C60 混凝土的误差范围 ±8%-±12%，C60 以上高强混凝土的误差超 ±15%。在实际应用当中，超声回弹综合法多适用于框架梁、柱、楼板等大面积平面构件的强度检查。

2.2 地质雷达探测法

地质雷达探测通过发射高频电磁波穿透钢筋混凝土表层，然后借助于电磁波在钢筋-混凝土、空气-混凝土、裂缝-混凝土等不同介质界面的反射差异，对混凝土内部空洞、裂缝进行精准定位。相比于超声回弹综合法，地质雷达探测能够准确识别混凝土内部钢筋的分布情况，特别在检测建筑楼板、墙板等薄壁构件质量时，这种方法得到大面积推广和应用。电磁波在混凝土结构内部传播时，如果遇到介电常数差异较大的介质界面，雷达主机的发射天线将快速捕捉反射波，然后通过对反射波传播时间、幅值强度、波形特征的分析，判定被测目标的尺寸、深度、性质。尺寸判定以雷达图像当中“连续双曲线特征”为主，双曲线顶点与钢筋正上方位置相对应，顶点间距与钢筋间距相对应，反射波幅值与钢筋直径呈正比关系，直径每增加 1mm，幅值提升 8%-10%。

深度计算根据下面的数学公式求得：

$$h = v \cdot t/2 \tag{1}$$

在公式(1)中，v 代表电磁波在混凝土中的传播速度，一般介于 0.15-0.18m/ns 之间。

而空洞、裂缝等缺陷的识别，通常以反射波形为判定依据。波形如果杂乱不连续，空洞尺寸越大，反射波持续时间越长。如果按照频率划分，主要包括低频、中频与高频雷达三种，低频雷达最大穿透深度可达 500mm 甚至更高，但是分辨率极低，为此更适合于厚墙、梁柱等截面构件厚度较大的深层缺陷检测。中频雷达的频率介于 500-1000MHz 之间，穿透深度为 150-300mm，多用于检测楼板、普通墙体的钢筋混凝土结构质量。而高频雷达穿透能力弱，分辨率高，识别被测物的表层缺陷，具有较高的精准度，为此，多在建筑楼板、墙板等区域适用^[2]。

2.3 红外热成像法

红外热成像法主要是利用红外热像仪监测钢筋混凝土结构表面的温度场分布情况，并将监测结果转化成为可视化热像图，以达到快速识别隐蔽缺陷的目的。这种方法多用于建筑屋面、地下室底板等区域的缺陷排查，检测效率达到 200-300 m²/h。混凝土属于热传导介质，健康区域密度均匀，导热系数稳定，约为 1.5W/(m·K)，表面温度均匀分布。如果混凝土结构出现空鼓缺陷，导热系统迅速下降至 0.026W/(m·K) 左右，热传导通道严重受阻，继而形成温度异常区，而检测效果与昼夜温差存在密切关联，只有在环境温度差 > 5℃ 或者 “> 300W/ m²” 的条件下，才能提高缺陷识别精准度，热像图特征才更加明显和清晰。红外热成像法的主要应用场景与检测精度如表 1 所示。

表 1：红外热成像法的主要应用场景与检测精度

缺陷类型	检测最佳时段	温差阈值 (ΔT)	最小可识别尺寸	检测精度 (与钻孔对比)	主要适用场景
屋面渗漏	晴天午后 2-4 点 (日照最强)	ΔT < -1.5 (低温区)	长度 ≥ 300m, 宽度 ≥ 50mm	定位准确率 92%, 渗漏路 径匹配度 88%	平屋面、坡屋面防水层渗漏 检测
墙面空鼓	晴天上午 10-12 点 (温度上升期)	ΔT > 2℃ (高温区)	面积 ≥ 0.1m ² (约 300mm × 300mm)	定位准确率 89%, 尺寸误 差 ≤ 10%	内墙抹灰层、外墙保温层空 鼓排查

3 钢筋混凝土结构工程质量非破坏性检测鉴定方法的局限性

3.1 检测结果易受干扰

外界环境条件及被检测对象的表面状态很容易对检测结构造成干扰，其中，超声回弹综合法依赖于声波在检测结构内部的传播速度与回弹仪测得的表面硬度推算抗压强度，一旦外界环境温度低于 -4℃ 或高于 40℃，声波传播速度便会出现较大波动，如果被检测结构表面存在浮浆、起砂、油污，或者碳化层厚度达到 6mm 以上，回弹值的波动幅度明显增加，以至于最终的检测结果与实际值的偏差可达 15% 以上。地质雷达探测法主要借助于高频电磁波与接收的反射信号判定被检测结构的质量缺陷，而反射信号易受外界电磁波干扰，容易出现杂波，检测精度大打折扣。而红外热成

像法主要通过热像图呈现钢筋混凝土结构存在的质量缺陷，检测过程中容易受到环境温度、光照条件的影响出现较大偏差。比如检测时间段处于正午高温时段，或者受到强光直射，混凝土结构的内部缺陷容易被温差所掩盖，而难以形成清晰的热像特征。如果被检测结构表面附着灰尘等污垢，将直接改变结构表面的热导效率，在这种情况下，很容易将表面污染区判定为内部空鼓缺陷。

3.2 容易出现检测盲区

非破坏性检测方法容易出现死角，而难以覆盖钢筋混凝土结构全域，其中，超声回弹综合法依赖于声波穿透力，但是，在 C30-C50 的普通强度的混凝土中，声波传播深度均在 500mm 以下，仅仅反映检测点周围 300-500mm 范围内的混凝土质量，如果检测对象为 800mm 以上的楼板，则无

法获取更深一层的强度值,也难以检测出钢筋的锈蚀程度及力学性能。地质雷达探测法的检测深度与电磁波频率成反比,深度越浅,频率越高,分辨率越高,而随着检测深度的增加,检测分辨率随之降低,以常规的雷达探头为例,电磁波频率在 500MHz-1.5GHz 之间,在钢筋混凝土中的有效探测深度通常在 0.5-3m 之间,当深度超过 2m 以后,分辨率明显下降,以至于无法区分直径小于 12mm 的钢筋或者宽度小于 2mm 的裂缝。而红外热成像法主要通过结构表面温度变化判定内部缺陷,检测深度受混凝土热传导效率限制,一般情况下,内部空鼓、空洞等缺陷的检测深度在 100mm 以下,深层渗漏的检测深度在 200mm 以下,如果缺陷深度超过 300mm,热像图无明显特征,也无法检测出该区域的质量缺陷^[3]。

3.3 检测结果主观性强

非破坏性方法检测钢筋混凝土结构工程质量,虽然可以将《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204 等标准作为参考判定依据,但是,在解读检测数据时,多依赖于检测人员的主观判断,针对同一个检测点,不同人员给出的判定结果存在明显差异。以超声回弹综合法为例,检测人员在解读检测结果时,往往根据混凝土强度等级、碳化深度、构件类型选择对应的回弹-超声综合修正公式,而一些服役年限超过 20 年的建筑,其混凝土老化、风化现象严重,规范当中的修正公式并未将此类情况纳入其中,这种情况下,检测人员只能凭借自身经验调整修正系数,而调整幅度并没有统一标准,导致推算结果出现较大偏差,最大偏差可达到 20%。而采用红外热成像法判定钢筋混凝土结构的质量缺陷时,主要依赖于热像图中“温度异常区域”予以识别,但是,关于温度异常的界定却没有统一参照标准,检测人员凭借自身经验排除环境影响因素时,很容易将一些“假缺陷”判定为“真缺陷”,比如建筑外墙体向阳面的局部高温区域,在阳光直射的情况下极易出现误判,导致检测精度受到严重影响。

4 非破坏性检测方法的应用案例

4.1 检测对象

本次检测对象为某市 2005 年建成的综合办公楼,该建筑为 7 层框架结构,总建筑面积约 9200 m²,框架梁、柱的设计混凝土强度等级为 C30,服役期间未经历地震、火灾等重大灾害,但是却经过三次改造,即 2010 年将 3-4 层改造为档案存储区,新增了密集架集中荷载、2014 年新增了保温层荷载,对屋面进行了防水改造、2021 年加装了 6 部分体式空调外机,空调外机支架固定于框架梁侧面。

4.2 检测过程

此次针对钢筋混凝土结构质量进行检测时,回弹仪选

用型号为 HT225-A 的中型回弹仪,超声波检测仪选用型号为 ZBL-U520 的双通道超声波检测仪,配套 50kHz 径向换能器探头,辅助检测工具为精度为 0.01mm 碳化深度测量仪及耦合剂等。布置测区时,框架柱的每根柱沿高度方向布置 4 个测区,分别位于柱根 0.5m、1.5m、2.5m、3.5m 的位置,每个测区面积 200mm×200mm。框架梁的每根梁在跨中、梁端各布置 2 个测区,每块楼板在四角与中心各布置 1 个测区,最终共布置测区 486 个。回弹测试阶段,每个测区弹击 16 个点,相邻点间距≥30mm,

每个测区剔除 3 个最大值与 3 个最小值后,取剩余 10 个值的平均值作为该测区的原始回弹值。超声测试阶段,在测区两侧对应位置涂抹耦合剂,厚度约 2-3mm,确保探头与表面紧密贴合,然后将发射探头与接收探头分别对准测区中心点,保持两点连线与构件轴线平行,记录两探头间距,如果某测区声速值明显低于同构件其他测区,需调整探头位置重新测试。

4.3 检测结果

现场检测发现:3-4 层框架梁表面仅可见空调支架钻孔,并无明显裂缝或疏松,但检测发现该区域 5 个测区的强度推定值为 25.2-26.8Mpa,而设计混凝土强度等级为 C30,检测结果仅为设计值的 84%-89%,且声速值比其他区域低 7%-9%,判定为局部强度不足。检测屋面楼板结构质量时发现 2 处细微裂缝,判定为表层非结构性裂缝,无需进行钻芯取样等破损检测。由此得出以下结论:该建筑 82% 的构件强度推定值满足设计要求,其中 C30 构件≥25.5MPa, C25 构件≥21.25MPa,18% 的构件存在局部强度不足或密实度不均,整体结构安全性等级评定为 B 级,但是,该建筑可继续使用,仅需要后续的针对性维护即可。

5 结语

综上,超声回弹综合法、雷达探测法、红外热成像法等非破坏性方法,在检测钢筋混凝土结构质量时虽然存在一定的局限性,然而在实际应用过程中,与传统的钻芯法相比,其检测精度与效率得到明显改善,随着物联网技术、人工智能技术持续迭代升级,非破坏性检测技术的智能化、标准化水平也将实现新的跨越,这就为钢筋混凝土结构质量的精准评估提供了强大的技术支撑。

参考文献

- [1] 俞金江.某大型钢筋混凝土工程项目质量检测效果分析[J].工程建设与设计,2024,(08):216-218.
- [2] 李兴卫.钢筋混凝土结构检测及混凝土质量通病原因分析与措施[J].建筑技术开发,2022,49(15):153-156.
- [3] 刘军.某住宅项目钢筋质量问题的结构检测与处理研究[J].安徽建筑,2021,28(09):240-241.