

建筑工程检测中钢筋保护层检测技术

张学良 杨丽云

内蒙古万方工程技术服务有限公司 内蒙古 包头 014000

摘要：钢筋保护层是保障钢筋混凝土结构安全性与耐久性的关键环节，其检测质量直接影响结构评估准确性。现有检测技术分为非破损与破损两类，虽在工程中广泛应用，但存在精度易受干扰、复杂场景适应性不足、技术协同性差等问题。本文梳理钢筋保护层检测技术的核心原理与应用要点，分析各类技术的适用场景及局限，探讨检测过程中的质量控制方法。结合现存技术瓶颈，提出智能化升级、多技术融合等发展方向，为优化钢筋保护层检测方案、提升检测结果可靠性提供参考，助力工程结构质量管控。

关键词：建筑工程；钢筋保护层；检测技术；质量控制；发展趋势

引言：钢筋混凝土结构在建筑工程中应用广泛，钢筋保护层的施工质量及厚度达标与否，直接决定结构抗腐蚀能力、力学性能与使用寿命。长期使用中，保护层缺陷易引发钢筋锈蚀、混凝土开裂，威胁结构安全。精准检测是质量把控核心，但材料特性、结构形态及环境因素均会干扰检测效果，现有技术难适配复杂场景，精度与效率难以兼顾。基于此，本文分析该技术理论与应用要点，剖析现存问题并展望趋势，为工程实践提供科学指导。

1 钢筋保护层基础理论概述

1.1 钢筋保护层的核心功能

钢筋保护层的核心功能体现在防护、力学协同及耐久性保障三个维度。（1）防护功能是基础，混凝土层可隔绝空气中的水分、二氧化碳及腐蚀性介质，避免钢筋发生锈蚀，防止锈蚀产物体积膨胀导致混凝土开裂、剥离，进而破坏结构完整性。（2）力学协同功能是关键，保护层可确保钢筋与混凝土形成整体受力体系，通过粘结作用传递应力，使钢筋充分发挥抗拉性能，避免钢筋因局部受力集中而提前失效。最后，耐久性保障功能是延伸，合理的保护层厚度能降低环境因素对结构内部的侵蚀速度，延长钢筋混凝土结构的使用寿命，减少后期维护成本。（3）保护层还能对钢筋起到一定的固定作用，避免施工及使用过程中钢筋位置偏移，保证结构设计受力性能的实现。

1.2 影响钢筋保护层检测的关键因素

钢筋保护层检测结果的准确性受多重因素影响，主要可归纳为材料特性、结构条件及检测环境三类。（1）材料特性方面，混凝土的含水率、密实度、骨料粒径及杂质含量会影响检测信号的传递，如高含水率混凝土可能增强电磁信号衰减，粗骨料集中区域易导致检测数

据偏差；混凝土中若含有磁性物质，还会干扰电磁感应类检测仪器的读数。（2）结构条件方面，钢筋的分布密度、间距、公称直径及走向会相互干扰检测信号，相邻钢筋间距过小时易出现信号叠加，导致保护层厚度误判；钢筋接头、绑丝等局部构造也会影响检测点位的信号稳定性。（3）检测环境方面，检测面的平整度、清洁度直接影响探头与构件的贴合度，表面浮浆、油污会削弱信号强度；环境温度、电磁干扰则会影响仪器的正常工作精度，尤其电磁环境复杂区域需做好抗干扰措施^[1]。

2 钢筋保护层主要检测技术及原理

2.1 非破损检测技术（主流技术）

2.1.1 电磁感应法

电磁感应法是钢筋保护层非破损检测中最常用、最成熟的技术之一，其核心原理基于电磁感应现象。检测仪器由发射线圈和接收线圈组成，发射线圈通以交变电流后，会在周围产生交变磁场；当磁场作用于混凝土内部的钢筋时，钢筋会因电磁感应产生涡流，涡流又会形成反向的二次磁场，该二次磁场会干扰原始磁场，导致接收线圈的感应电动势发生变化。仪器通过检测感应电动势的变化量，结合电磁感应理论和标定曲线，可快速计算出钢筋的位置及保护层厚度。该技术适用于多数混凝土构件，不受混凝土表面湿度、平整度的轻微影响，检测效率较高。实际应用中，其检测范围通常为0~200毫米，对保护层厚度在10~100毫米范围内的构件，检测精度可控制在±1毫米。同时，该技术可识别钢筋直径，适配直径6~50毫米的常见建筑钢筋，满足大部分工程检测需求^[2]。

2.1.2 雷达探测法

雷达探测法基于电磁波反射原理，通过向混凝土内部发射高频电磁波，利用电磁波在不同介质界面的反射

特性实现钢筋定位和保护层厚度检测。混凝土、钢筋作为不同的介质，其介电常数存在显著差异，电磁波传播至混凝土与钢筋的界面时，会发生反射、折射和衰减，未被反射的电磁波则继续向深处传播，直至能量耗尽。检测仪器的天线负责发射和接收电磁波信号，通过记录信号的传播时间、幅值和波形变化，结合电磁波在混凝土中的传播速度（通常为 $1.0 \times 10^8 \sim 1.5 \times 10^8$ 米/秒），可计算出反射界面与混凝土表面的距离，即钢筋保护层厚度。该技术的优势的是可同时检测多个钢筋的分布情况，还能识别混凝土内部空洞、裂缝等缺陷，检测深度可达500毫米。但受混凝土内部骨料粒径、含湿量影响较大，需在检测前进行现场标定，确保检测精度。

2.1.3 超声波法

超声波法检测钢筋保护层厚度，核心是利用超声波在混凝土中的传播速度和衰减特性与钢筋存在的关联性。超声波在均匀混凝土中传播时，速度稳定、衰减较小；当传播路径中遇到钢筋时，钢筋的高密度、高弹性模量会使超声波传播速度加快，同时能量衰减加剧，仪器通过捕捉这种速度和衰减的变化，可确定钢筋位置及保护层厚度。该技术通常采用双探头法，两个探头分别负责发射和接收超声波，通过调整探头间距，记录超声波传播的声时和幅值数据，结合预设的混凝土超声参数模型，推算保护层厚度。超声波法适用于保护层厚度较大（大于50毫米）的厚重构件，检测声时精度可达0.1微秒，能有效弥补电磁感应法在厚保护层检测中的不足^[3]。但该技术对操作手法要求较高，探头耦合剂的涂抹均匀性、探头与混凝土表面的贴合度，都会影响检测结果的稳定性，需由专业人员操作。

2.2 破损检测技术（辅助验证技术）

破损检测技术通过对混凝土构件局部破损、直接暴露钢筋来精确测量保护层厚度，因会破坏结构表面完整性，无法大面积应用，仅作为非破损检测的辅助手段，多用于非破损检测结果存疑、数据异常或需校准检测精度的场景，其核心优势是结果直观准确，不受混凝土内部介质干扰，堪称该领域检测的“基准方法”。常用技术主要为钻芯法和剔凿法。钻芯法借助专用钻芯机，在检测位置钻取直径50~100毫米的混凝土芯样，通过芯样直接观察钢筋位置，用卡尺测量芯样表面至钢筋表面的距离即为保护层厚度。操作时需严控钻芯深度避免损伤钢筋，检测后需修补钻孔以恢复构件外观与整体性。剔凿法则采用小型工具在检测点轻凿混凝土表面，逐步剥离至钢筋暴露，用直尺测量剥离面到钢筋表面的距离获取数据。操作中需控制力度，防止对钢筋及周边混凝土

造成二次损伤，检测范围通常控制在50×50毫米以内，检测后用修补砂浆填补剔凿部位。破损检测精度可达 ± 0.5 毫米，能为非破损检测结果提供精准校准依据。实际应用中多采用“非破损大面积普查+破损定点验证”的组合方式，融合两种技术优势，实现钢筋保护层厚度的精准检测，为结构质量评估提供可靠支撑。

3 钢筋保护层检测技术的应用要点与质量控制

3.1 检测前准备工作

检测前准备工作的核心是为检测工作提供基础保障，主要包括仪器校准、构件预处理及资料研读。（1）仪器校准方面，需根据检测构件的混凝土特性，对检测仪器进行预热与调零，电磁感应类仪器调零时探头需远离金属物体，雷达仪需校准电磁波传播速度，超声波仪需标定传播时间基准值；若采用附加垫块检测超薄保护层，垫块需表面平整、无电磁干扰，厚度偏差不大于0.1mm，并在检测后扣除垫块厚度。（2）构件预处理方面，需清理检测面的浮浆、油污、疏松层及装饰层，确保检测面平整干燥，必要时采用打磨工具处理表面凸起部位，保证探头与检测面紧密贴合。（3）资料研读方面，需收集构件设计图纸，明确钢筋的公称直径、分布间距、设计保护层厚度等参数，避免检测时因对钢筋布置不了解导致点位选择不合理。

3.2 检测过程操作要点

检测过程操作需规范有序，结合不同检测技术的特点控制操作细节。（1）非破损检测时，电磁感应法探头需沿构件表面匀速移动，直至仪器显示信号最强或保护层厚度值最小时，标记钢筋轴线位置，沿轴线两侧非接头、非绑丝区域选取检测点；每处检测点需重复测量2次，探头移动方向与钢筋轴线垂直。（2）雷达探测法需保持探头与检测面垂直，移动速度均匀，避免探头晃动，同时记录检测轨迹，确保信号连续完整。超声波法探头需涂抹耦合剂，保证与检测面良好耦合，探头间距根据构件厚度合理设置，避免间距过小导致信号叠加。（3）破损检测时，钻孔或剔凿需避开钢筋本体，防止损伤钢筋，暴露钢筋后需清理表面浮渣，确保测量点位准确，测量完成后及时用同强度等级修补材料封堵破损部位。检测过程中需避开雨水、强电磁等恶劣环境，避免环境因素干扰检测信号^[4]。

3.3 检测数据处理与精度把控

检测数据处理需遵循科学规范的原则，减少误差，确保精度。（1）对于非破损检测数据，同一检测点两次测量值偏差不大于1mm时，取平均值作为最终结果，精确至1mm；偏差大于1mm时，需查明原因重新检测，仍

不满足要求时更换仪器或采用破损检测验证。对于破损检测数据,需多次测量钢筋不同截面的保护层厚度,取平均值消除测量误差,测量结果精确至0.1mm。数据整理时,需剔除异常数据,异常数据判定需结合设计值与检测环境,对偏差超出允许范围的数据,需标注位置并分析原因。(2)精度把控方面,需控制系统误差与随机误差,系统误差可通过仪器校准、规范操作消除,随机误差可通过增加检测点位数量、重复测量降低。对检测数据进行统计分析,确保合格点率满足检测要求,为结构质量评估提供可靠依据。

3.4 检测过程常见问题及应对措施

检测过程中常见问题主要包括信号干扰、数据离散、检测面不适及仪器故障四类,需针对性采取应对措施。(1)信号干扰问题,多由相邻钢筋、磁性杂质或外部电磁环境导致,应对时可通过加密检测点位、调整仪器量程避开干扰源,电磁环境复杂区域可采用屏蔽措施,钢筋密集区域可结合雷达探测法与电磁感应法交叉验证。(2)数据离散问题,源于操作不规范、检测面不平整或混凝土均匀性差,需规范探头移动速度与贴合度,重新处理检测面,对混凝土均匀性差的构件增加检测点位数量。(3)检测面不适问题,如表面凹凸不平、有装饰层,需提前打磨平整、清除装饰层,超薄保护层检测采用专用垫块辅助,避免探头与钢筋直接接触。(4)仪器故障问题,需在检测前检查仪器状态,携带备用设备与配件,检测中若出现仪器漂移,及时停机校准,确保仪器正常工作^[5]。

4 钢筋保护层检测技术现存问题及发展趋势

4.1 现存问题

钢筋保护层检测精度易受多重因素干扰,混凝土内部骨料分布不均、金属预埋件等会造成信号失真,老旧设备灵敏度衰减、新设备校准偏差也会扩大测量误差,且不同检测方法结果缺乏统一比对标准,可靠性欠佳。同时,检测方法适用性存在明显局限,传统破坏性检测仅适用于局部,难以适配大规模检测需求,电磁感应法易受含铁杂质影响,雷达波法在钢筋密集区信号干扰严重,红外热成像法对温湿度敏感,单一方法均无法覆盖

各类场景。人员与设备成本形成制约,复杂技术对操作人员专业度要求高,操作不当或信号解读偏差会影响结果准确性,高端设备购置、维护及校准成本高且更新换代快,经济压力限制了技术普及。

4.2 发展趋势

钢筋保护层检测技术正朝着智能化方向升级,通过融合大数据、AI算法与传感器技术,实现检测数据实时采集、自动校正与分析,有效提升异常识别效率,降低人为误差,推动检测向自动化、精准化转型。多技术融合应用成为重要方向,整合各类检测方法优势构建互补体系,弥补单一技术短板,同时结合物联网与云计算搭建数据管理平台,实现检测全过程动态管控。设备与成本优化同步推进,深耕核心零部件自主研发,提升设备便携性与稳定性以降低制造成本,通过技术迭代简化操作流程,减少人员培训投入,助力先进检测技术广泛落地普及。

结束语:钢筋保护层检测技术是保障钢筋混凝土结构质量的重要支撑,其水平直接关系到工程安全评估与运维决策的科学性。本文从技术原理、应用控制及发展方向入手,系统梳理该技术,明确规范操作与技术融合对提升检测质量的关键意义。解决检测精度、适应性等现存问题,需依托智能化技术与多学科融合突破。未来,随着检测设备与标准体系完善,技术将更高效精准。本文期望为工程检测人员提供参考,推动该技术创新应用与行业进步。

参考文献

- [1]张伟.钢筋保护层检测技术在建筑工程实体检测中的运用探析[J].安徽建筑,2022,29(9):152-153.
- [2]林晶.电磁法在高配筋率结构混凝土钢筋保护层厚度测试中的应用[J].江西建材,2024,(09):87-89+95.
- [3]苏文木.建筑工程实体检测中钢筋保护层检测技术分析[J].江西建材,2021(5):24-25.
- [4]许云聪.混凝土结构钢筋保护层厚度检测及质量控制措施研究[J].工程技术研究,2024,9(17):70-72.
- [5]黄海超.混凝土钢筋保护层检测影响因素及处理方法研究[J].中国高新科技,2022,(20):41-42+45.