

建筑工程检测中钢筋保护层检测技术

王希龙

宁波市新铭建设工程测试有限公司 浙江 宁波 315020

摘要：建筑工程检测中，钢筋保护层检测技术至关重要。该技术主要用于评估钢筋保护层的厚度和质量，确保建筑结构的安全与稳定。传统方法如敲击法、超声波法存在局限性，而新兴技术如红外线热像法、微波法正逐步引入。检测时需遵循规范，选择合适方法，确保结果准确。针对特殊情况，需灵活调整检测技术，以保障检测全面性和准确性，推动建筑工程实体检测高效开展。

关键词：建筑工程检测；钢筋保护层；检测技术

引言：建筑工程的质量安全离不开对钢筋保护层的严格检测。钢筋保护层作为混凝土结构的重要组成部分，其厚度及完整性直接影响到结构的承载力和耐久性。随着技术的进步，钢筋保护层检测技术不断创新发展，旨在提高检测精度与效率。本文综述了当前主流的检测技术，分析其原理、特点及适用性，旨在为建筑工程检测提供理论指导与实践参考，促进工程质量的全面提升。

1 钢筋保护层厚度检测的基本原理

1.1 钢筋保护层的作用与重要性

钢筋保护层是混凝土结构中包裹在钢筋外围的混凝土层，其作用关键且不可替代。（1）保护钢筋免受外界侵蚀。外界环境中的水分、氧气、腐蚀性介质等若直接接触钢筋，会引发钢筋锈蚀，导致其截面削弱、力学性能下降。而保护层能像一道屏障，阻隔这些侵蚀因素，延缓钢筋锈蚀进程，保障结构的耐久性。（2）保证钢筋与混凝土的粘结力。钢筋与混凝土能协同工作，依赖于两者之间的粘结力传递应力。保护层为这种粘结力提供了必要条件，若厚度不足，会削弱粘结性能，使钢筋易发生滑移，影响结构的承载能力和整体性。

1.2 检测原理

（1）电磁感应法原理：基于电磁感应现象，检测装置的发射线圈产生交变电磁场，当电磁场作用于混凝土中的钢筋时，会在钢筋内激发感生电流，感生电流又会产生二次交变电磁场。接收线圈接收二次电磁场信号，通过分析信号的强弱、相位等特征，可确定钢筋的位置，并根据电磁场衰减规律计算出保护层厚度。（2）雷达法原理：雷达发射天线向混凝土内部发射高频电磁波，电磁波在传播过程中遇到钢筋等不同介质界面时会发生反射。接收天线接收反射波，根据反射波的传播时间、幅度等信息，结合电磁波在混凝土中的传播速度，

可分析得出钢筋的位置和保护层厚度。（3）局部破损法原理：通过人工凿开或机械钻透混凝土保护层，使钢筋直接暴露，然后使用尺子等工具直接测量钢筋表面与混凝土表面之间的距离，从而得到保护层厚度。该方法直观准确，但会对结构造成局部损伤，通常用于验证其他检测方法的结果^[1]。

2 建筑工程检测中钢筋保护层厚度检测的具体方法

2.1 非破损检测方法

（1）电磁感应法的操作步骤与注意事项：操作步骤分为准备、检测、数据记录三步。准备阶段需清理构件表面杂物，根据钢筋直径预设仪器参数；检测时将探头平稳放置于测点，缓慢移动至信号峰值位置（即钢筋正上方），读取保护层厚度值；同一测点重复测量3次，取平均值记录。注意事项包括：避开金属预埋件干扰，检测区域混凝土表面平整度误差需 $\leq 5\text{mm}$ ；当钢筋间距 $< 100\text{mm}$ 时，需采用网格布点法避免信号叠加；环境温度超出 $-10^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ 时，应采取保温措施防止仪器精度下降。（2）雷达法的操作步骤与适用范围：操作步骤为仪器校准、扫描检测、数据解析。校准需采用标准试块（已知保护层厚度）调整雷达波速参数；检测时将天线沿构件轴线匀速移动（速度 $\leq 50\text{mm/s}$ ），连续采集反射波信号；通过专业软件对波形图分析，确定钢筋位置及保护层厚度。适用范围包括：大体积混凝土构件（如梁柱）、钢筋密集区域检测，尤其适用于电磁感应法易受干扰的场景（如含金属骨料混凝土），但不适用于表面有金属装饰层的构件^[2]。（3）非破损法的优缺点分析：优点为操作便捷、不损伤结构、可大面积检测，效率可达局部破损法的5~10倍；缺点是受混凝土密实度、钢筋锈蚀程度影响较大，误差可能达 $\pm 10\%$ ，对直径 $< 8\text{mm}$ 的钢筋检测精度较低。

2.2 局部破损检测方法

(1) 凿开法或钻透法的操作步骤与修补措施: 凿开法步骤: 用冲击钻在测点处钻直径 $\leq 10\text{mm}$ 的孔洞, 深度略大于预估保护层厚度, 再用小凿子轻轻剔除周边混凝土, 直至钢筋暴露; 用卡尺测量钢筋表面至构件表面距离后, 采用高一强度等级的微膨胀混凝土填充孔洞, 表面抹平养护7天。钻透法适用于薄构件(如楼板), 用金刚石钻头垂直钻孔(直径 $\leq 8\text{mm}$), 直接测量孔内钢筋深度, 修补时采用结构胶填充钻孔并打磨平整。修补需确保填充材料与原混凝土粘结牢固, 修补面积不小于破损面积的1.5倍。(2) 局部破损法的适用条件与限制: 适用条件包括: 非破损法检测结果存疑时的验证、重要构件的精准检测(如桥梁支座处)、需测定钢筋锈蚀状态的场景。限制为: 不得在构件受力主筋区域密集布点(单构件破损点 ≤ 3 处); 严禁在预应力筋附近采用该方法, 避免引发结构安全隐患; 对装饰面层复杂的构件, 修补后可能影响外观。

2.3 方法选择与校准

(1) 根据构件特点选择合适的检测方法: 对梁、柱等主要受力构件, 优先采用电磁感应法结合雷达法复核; 对楼板、墙板等薄壁构件, 可单独使用电磁感应法; 对有防水要求的构件(如水池壁), 严禁采用局部破损法, 应选用雷达法; 对历史建筑构件, 需采用非破损法避免结构损伤。(2) 非破损法与局部破损法的结合使用与校准方法: 结合使用时, 先通过非破损法划定疑似不合格区域(如保护层厚度偏差 $> 5\text{mm}$ 的测点), 再在该区域选取20%的测点采用局部破损法验证。校准方法为: 以局部破损法实测值为基准, 对非破损法数据进行修正, 当两者偏差 $> 3\text{mm}$ 时, 需调整仪器参数重新检测; 对批量构件检测, 应每检测50个测点至少选取1个测点进行破损校准, 确保整体误差控制在 $\pm 5\%$ 以内^[3]。

3 建筑工程检测中钢筋保护层厚度检测的应用实践

3.1 检测方案的编制与实施

(1) 检测构件的选取原则与数量要求: 选取原则需兼顾代表性与关键性, 优先覆盖框架梁、柱、剪力墙等主要受力构件, 以及施工难度大、易出现偏差的部位(如梁柱节点、悬挑构件根部)。对外观存在蜂窝、麻面或尺寸偏差的构件, 应列为必检对象。数量要求执行抽样标准: 同一结构类型构件, 抽检比例不低于20%, 且单体工程抽检总数不少于15个; 对预应力构件、抗震关键部位构件, 抽检比例提高至30%, 确保关键区域无遗漏。(2) 检测部位的选取与代表性分析: 检测部位需避开预埋件、管线及构件边缘(距边缘 $\geq 150\text{mm}$), 优先选择构件受力较均匀的中段区域(如梁跨中1/3段、板中

央区域)。每个构件布设3-5个检测截面, 每个截面按梅花形分布5-6个测点, 覆盖钢筋排布的不同区域(如受力筋、分布筋位置)。代表性分析需验证测点是否反映构件整体状态, 若同一构件内测点偏差超过20mm, 应增加2个截面复核, 避免局部异常数据影响整体判断。

3.2 检测结果的处理与分析

(1) 检测数据的记录与整理: 记录内容应包含构件编号、测点坐标、钢筋直径、实测厚度、检测方法及环境温度、湿度等参数。数据整理采用分类统计法, 按构件类型汇总, 计算每个构件的平均值、极差及合格率; 对非破损法与局部破损法的结果进行对比, 标注偏差超5mm的测点并分析原因(如钢筋移位、混凝土浇筑不实)。数据需附测点布置图及原始记录照片, 采用电子表格存档, 确保可追溯性。(2) 检测结果的判定与合格标准: 依据《混凝土结构工程施工质量验收规范》判定, 主控项目中, 梁、柱类构件保护层厚度允许偏差为 $\pm 10\text{mm}$, 板、墙类构件为 $\pm 8\text{mm}$; 一般项目中, 同一构件不合格点数量不得超过总测点的15%, 且最大偏差不超过允许值的1.5倍(如梁类构件不超过15mm)。若不合格点集中在钢筋锚固区、受力最大截面等关键部位, 即使数量未超标, 仍需判定为不合格^[4]。

3.3 不合格问题的处理措施

(1) 针对不合格点的处理建议: 对单点偏差超标的非关键部位(如板边缘), 若偏差 $\leq 15\text{mm}$ 且不影响耐久性, 可采取观察使用, 每半年监测一次钢筋锈蚀情况; 对偏差 $> 15\text{mm}$ 或位于关键区域的测点, 需进行加固处理: 保护层过薄时, 采用环氧树脂砂浆加厚(厚度 $\geq 25\text{mm}$) 并涂刷阻锈剂; 保护层过厚时, 若影响构件截面尺寸, 需凿除多余混凝土(深度 $\leq 60\text{mm}$), 用高一强度等级细石混凝土修补。(2) 改进施工质量的措施与建议: 施工中应优化钢筋定位工艺, 采用定型支架(间距 $\leq 1.2\text{m}$) 固定钢筋, 避免浇筑时移位; 模板安装时设置同强度等级垫块(每平方米不少于5块), 确保垫块与钢筋、模板紧密贴合。针对常见问题(如板底钢筋下沉), 建议浇筑前增加钢筋间距复核, 浇筑时禁止振捣棒直接冲击钢筋骨架。同时加强施工人员培训, 明确不同构件的保护层厚度要求, 建立“钢筋安装-模板验收-浇筑旁站”三级检查制度, 从源头减少不合格项。

4 钢筋保护层厚度检测技术的发展与挑战

4.1 检测技术的进步

(1) 新技术、新仪器的研发与应用: 近年来, 多频电磁感应仪实现了对不同直径钢筋(6-32mm)的自动识别, 检测深度提升至150mm; 三维雷达系统通过多天

线阵列扫描,可生成钢筋分布立体模型,解决了传统雷达平面扫描的局限性。此外,无人机搭载检测设备的应用,实现了高空构件(如桥梁悬臂板)的无接触检测;便携式光谱分析仪结合电磁感应技术,能同时测定混凝土碳化深度与保护层厚度,减少了检测工序。(2)检测精度与效率的提高:新型仪器通过温度补偿算法,将环境温度影响导致的误差控制在 $\pm 2\text{mm}$ 以内;动态跟踪技术使探头移动速度提升至 100mm/s ,检测效率较传统设备提高3倍。数据处理方面,AI算法可自动识别钢筋信号峰值,剔除干扰数据,单点检测时间缩短至0.5秒,批量检测时的数据分析效率提升80%以上。

4.2 面临的挑战与问题

(1)复杂结构中的检测难度:在钢筋密集区(如梁柱节点,钢筋间距 $< 50\text{mm}$),电磁信号易叠加,导致保护层厚度误判率达20%;在异形构件(如曲面墙板、弧形梁)表面,探头贴合度不足,检测偏差可达 $\pm 15\text{mm}$ 。此外,高温环境($> 60^\circ\text{C}$)下混凝土介电常数变化,会使雷达波速测算误差增大,影响检测精度。(2)检测误差的来源与控制方法:误差来源包括仪器校准偏差(占比30%)、混凝土不均匀性(25%)、操作手法差异(20%)等。控制方法需从三方面着手:仪器每检测500个测点需用标准试块校准;对混凝土强度等级 $> \text{C60}$ 的构件,采用修正系数调整检测值;推行标准化操作流程,要求检测人员通过误差模拟考核方可上岗。

4.3 发展趋势与展望

(1)智能化、自动化检测技术的发展方向:未来将实现机器人自动巡检,结合BIM模型定位检测点,通过机械臂携带多传感器(电磁、雷达、红外)同步采集数

据。AI系统可实时分析数据并生成检测报告,甚至预测保护层厚度随时间的变化趋势。此外,无线传感网络的应用,能实现大型结构(如超高层楼板)的长期在线监测,及时预警保护层损伤。(2)检测标准的统一与国际化趋势:国内正推动《混凝土结构钢筋保护层检测技术规程》与ISO13822标准的对接,统一检测方法术语与精度要求。国际间的比对试验(如中欧联合试块检测项目)增多,促进了检测数据的互认。未来有望建立基于大数据的全球检测数据库,为不同地域、气候条件下的保护层检测提供参考标准,推动技术规范的国际化融合。

结束语

综上所述,钢筋保护层检测技术作为建筑工程质量保障的关键一环,经历了从传统到现代、从粗放到精细的转变,其重要性日益凸显。随着技术的不断进步和创新,检测手段日益多样化、智能化,不仅提高了检测精度,也极大地提升了工作效率。展望未来,钢筋保护层检测技术将持续优化升级,为建筑工程的安全稳定提供更加坚实的技术支撑,助力建筑行业迈向更高水平的发展阶段。

参考文献

- [1]黄国栋.建筑工程钢筋检测技术要点分析[J].广东建材,2023,39(03):46-48.
- [2]季长征,孙建东,李仰贤,赵晶,刘松石.钢筋保护层厚度检测、评定与案例分析[J].建材世界,2023,44(01):60-63.
- [3]周红海.建筑工程检测中钢筋保护层检测技术的应用分析[J].工程技术研究,2023,8(03):225-227.
- [4]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(09):152-153.