

混凝土结构钢筋保护层厚度的无损检测技术研究

庞树山

重庆中研检验检测认证有限公司 重庆 400000

【摘要】：钢筋保护层厚度直接影响混凝土结构耐久性、裂缝发展和钢筋锈蚀风险，电磁感应法和雷达法为现场无损检测提供了主要技术路径。本文分析现浇构件保护层分布、钢筋排布干扰、检测目的、测区布置和信号判读关系，提出构件类型识别、仪器校准、网格化扫描、密筋区复测和异常测点验证相结合的检测组织方法。保护层厚度检测不能只依赖单次仪器读数，应把钢筋轴线、混凝土表面状态、相邻钢筋耦合和验收指标共同纳入结果解释。

【关键词】：混凝土结构；钢筋保护层；无损检测；电磁感应法；雷达法

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.021

引言

混凝土结构中钢筋保护层承担隔离水分、氯离子、二氧化碳和火灾温度作用的屏障功能，也决定钢筋与混凝土之间受力传递的边界。保护层偏薄会加速钢筋锈蚀，偏厚则削弱裂缝控制效果。现场检测常面对梁柱节点、板底、剪力墙边缘构件和预制叠合层等复杂部位，钢筋间距、箍筋弯钩、混凝土含水状态和表面粗糙度都会改变仪器响应。无损检测的技术重点，是把仪器读数转化为可追溯、可复测、可评价的厚度判断。

1 混凝土结构保护层检测对象特征

1.1 现浇混凝土构件保护层分布状态

现浇构件的保护层厚度受模板定位、垫块刚度、钢筋绑扎和振捣扰动影响，同一构件表面常出现局部偏差和钢筋轴线偏斜。检测前应先区分受力主筋、分布筋和箍筋所在检测面，避开蜂窝、修补层、明显露筋和厚抹灰层，否则仪器读数会混入非结构层厚度^[1]。钢筋保护层检测标准把保护层厚度和钢筋间距列为同一类现场检测内容，说明厚度读数必须建立在钢筋位置识别之上。保护层厚度的局部分布可见图1。

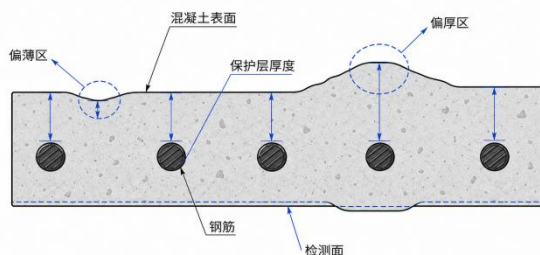


图1 混凝土结构保护层厚度分布示意

图1中，蓝色箭头从检测面指向钢筋外缘，偏薄区对应表面局部凹陷，偏厚区对应表面凸起，说明同一构件内保护层厚度并非均一值；检测时若只取单点读数，容易把局部施工偏差

误判为整段构件状态。

1.2 钢筋排布密度造成的电磁扰动

电磁感应法依靠钢筋对探头磁场的扰动确定位置和埋深，单根钢筋轴线清晰时，峰值点与保护层厚度读数较稳定；当梁端箍筋加密、板负筋叠置或柱角纵筋距离较近时，相邻钢筋会改变磁场分布，使峰值变宽、读数偏浅或出现双峰。雷达法通过反射波识别钢筋位置，对深埋或多层钢筋更敏感，但混凝土含水率、骨料级配和表面耦合状态会影响波速取值^[2]。两类方法不宜简单互相替代，应按测区钢筋密度决定主测方法和复测比例。以深中通道工程超厚型保护层检测对比数据为例，针对65~105mm厚度范围，电磁感应法读数随埋深增加衰减显著，而雷达法通过介电常数校正后与钻芯验证值的偏差控制在 $\pm 3\text{mm}$ 以内，验证了雷达法在厚保护层检测中的优势。

1.3 保护层厚度偏差引起的耐久风险

保护层偏差的工程后果不只表现为验收不合格。板底保护层过薄会缩短碳化前沿到达钢筋表面的时间，潮湿环境下还会提高钢筋锈蚀概率；梁侧和柱角保护层偏厚，则可能削弱受拉钢筋到构件边缘的裂缝控制效果。钢筋位置、混凝土裂缝和耐久性在既有结构评估中相互牵连，偏差位置、构件受力区域和环境暴露条件应共同进入检测结论，避免平均厚度掩盖危险测点。

2 钢筋保护层检测目的及测区方案

2.1 保护层厚度无损检测目的

保护层厚度无损检测的直接目的，是确认钢筋实际位置是否满足设计和验收要求，并为耐久性评价、加固设计或质量争议处理提供依据。新建工程侧重抽样验收和偏差统计，既有结构侧重定位钢筋、识别薄弱区和减少破损验证范围^[3]。验收检测应保证批量代表性，维修评估应侧重缺陷附近局部厚度，避免判定口径不一致。

2.2 现场测区布置适配的仪器参数

现场测区布置应先依据设计图纸或钢筋探测初扫确定主筋方向，再沿垂直主筋方向布置扫描线。电磁感应探头在每条测线上的移动速度要稳定，读数峰值附近可反向慢扫确认轴线；密筋区、厚保护层区和读数波动区宜设置雷达复测线，以排除相邻钢筋耦合造成的误判。仪器校准应使用与检测对象厚度范围接近的试块，零点漂移、探头垫块厚度和表面粗糙度修正须在同一测区内保持一致。测区、主筋方向和复测线的相互位置可见图2。

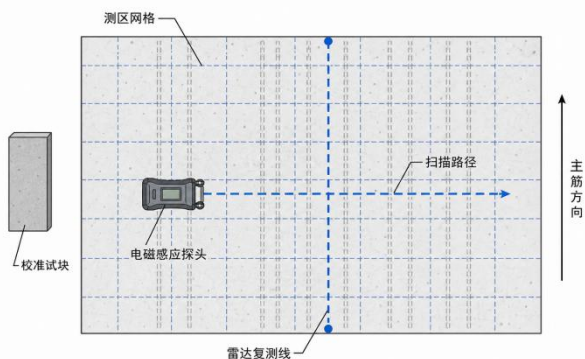


图2 钢筋保护层无损检测测区布置示意

图2中，扫描路径与主筋方向近似垂直，电磁感应探头沿网格逐线移动，雷达复测线穿过钢筋相对密集的区域；这种布置能把常规读数、密筋干扰位置和校准试块检查放入同一测区，减少漏测和重复测线造成的读数漂移。

3 钢筋保护层无损检测信号分析

3.1 单筋区域保护层厚度读数误差

单筋区域的读数误差主要来自探头中心线偏离钢筋轴线、表面不平整和钢筋直径输入错误。检测时可先以横向扫描确定峰值位置，再沿钢筋方向短距离复扫，若相邻测点厚度变化过大，应检查混凝土表面是否存在砂浆找平层或局部剔凿修补^[4]。厚度读数宜以同一测点重复测量的稳定值为基础，再结合构件保护层设计值和允许偏差判断；测区类型、保护层厚度/mm、归一化信号强度、主要干扰来源和结果判读重点共同构成读数解释表头。不同测区的关键参数见表1。

表1 不同测区保护层厚度检测情景参数

测区类型	保护层厚度/mm	归一化信号强度	主要干扰来源	结果判读重点	建议复测间距/mm
单筋区	20	1	钢筋轴线定位偏差	确认探头中心线同钢筋轴线重合	120
单筋区	40	0.66	混凝土表面平整度	比较相邻测点厚度变化	100
单筋区	60	0.43	埋深增加造成信号衰减	检查仪器量程和读数稳定性	80
密筋区	20	0.88	相邻钢筋磁场耦合	降低单点读数权重	100
密筋区	40	0.49	多根钢筋回波叠加	结合雷达复测线定位	70
密筋区	60	0.27	深埋和密筋共同遮蔽	判定是否需要局部验证	50

3.2 密筋区域检测回波衰减特征

密筋区域的信号衰减不等于保护层突然增厚。箍筋、负筋和构造筋距离过近时，电磁感应峰值可能被相邻钢筋拉宽，雷达反射波也可能发生叠加，使同一埋深呈现更低的归一化响应。参数化数组中，保护层取20mm、30mm、40mm、50mm、60mm五个厚度点，单筋区响应依次为1、0.82、0.66、0.53、0.43，密筋区为0.88、0.66、0.49、0.36、0.27。检测解释应把测区类型、厚度梯度和信号强弱共同读取，不能把低响应直接等同于不合格厚度。两类测区的信号衰减趋势可见图3。

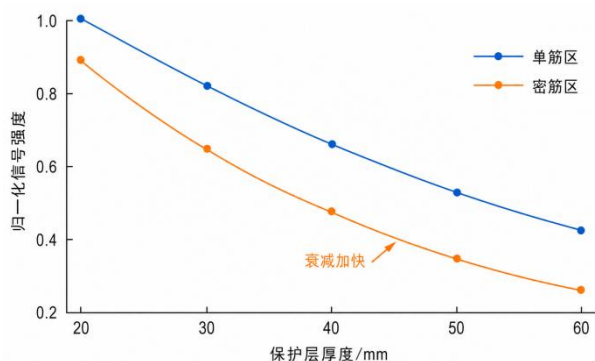


图3 保护层厚度与检测信号响应关系

图3中，保护层厚度由20mm增至60mm时，单筋区归一

化信号强度由1降至0.43,密筋区由0.88降至0.27;橙色曲线始终低于蓝色曲线,表明相邻钢筋会压低有效响应并放大厚度读数的不确定性。

3.3 异常测点检测信号离散状态

异常测点通常表现为同一位置重复读数离散、邻近测线峰值不连续或雷达图像中反射界面断裂。处理顺序应先检查探头贴合、表面含水和扫描方向,再扩大测区寻找同一根钢筋的连续轨迹;若异常仍集中在受力关键部位,可选取少量点位采用雷达复测或局部开凿直接验证。最终结果应同时给出异常测点位置、复测方法和可接受的解释边界,使检测结论能够服务结构耐久性评价,而不是停留在仪器读数罗列。某泵站出水侧水下墙因施工中出现局部涨模,电磁感应法在涨模区域读数异常

偏低。检测组未就此定论,而是融合探地雷达进行复测,最终确认涨模导致局部保护层实际偏厚,而非钢筋保护层不足。若仅依赖电磁感应法单次读数,将误判为保护层厚度不合格,造成不必要的加固处理。

4 结语

混凝土结构钢筋保护层厚度的无损检测应从构件类型、钢筋排布和检测目的出发,先确定主筋方向和测区边界,再选择电磁感应法、雷达法或少量直接验证。单筋区侧重探头定位与读数稳定,密筋区关注钢筋耦合与回波衰减。检测结论只有同时说明厚度数值、测区条件、复测依据和耐久风险位置,才能为施工验收、既有结构评估和后续维护提供可靠依据。

参考文献:

- [1] 向飞,李香霖,邱少冬,等.混凝土结构实体钢筋保护层厚度的电磁感应检测技术应用[J].水泥,2025,(10):137-140.
- [2] 杨菊鹏.结构混凝土钢筋保护层厚度检测技术的应用研究[J].中国建材,2025,(2):111-113.
- [3] 马季.混凝土结构改造加固技术研究与应用分析[J].建筑技术开发,2026,53(8):18-21.
- [4] 吴明坤,程运良,赵丙磊.建筑混凝土结构裂缝成因及防控技术[J].四川水泥,2026,(8):122-124.