

混凝土结构钢筋保护层厚度检测精度分析

和雪梅

丽江市建设工程质量检测有限公司 云南 丽江 674100

【摘要】：针对混凝土结构钢筋保护层厚度检测中测值受仪器、钢筋布置、混凝土状态和操作过程共同影响的问题，围绕电磁感应法与雷达法的信号响应和误差来源展开分析。检测精度并非由仪器标称性能单独决定，测线定位、相邻钢筋的电磁干扰、含水状态造成的介电差异以及峰值判定都会改变保护层厚度结果。检测时应先依据构件受力方向布设测线，再结合钢筋间距与混凝土状态选择信号判读方式，并以重复测量、异常值识别和误差表达约束结果解释。该分析适用于常规混凝土构件的非破损检测，复杂配筋、潮湿表面和信号重叠部位应单独说明适用限制。

【关键词】：混凝土结构；钢筋保护层；厚度检测；电磁感应法；检测精度

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.045

引言

钢筋保护层厚度既关系钢筋与混凝土之间的粘结条件，也影响钢筋锈蚀起始位置和构件耐久性判断。非破损检测能够在不破坏构件的条件下获得保护层信息，但仪器响应并不只对应保护层这一单一因素，钢筋直径、相邻钢筋间距、混凝土含水状态和表面平整度均可能改变信号形态。若只按仪器读数直接判定厚度，容易把测线偏移、波形重叠或异常峰值误认为构件真实状态。因而，检测精度分析应把测线布设、信号识别、误差来源和结果表达放在同一条技术链上，说明不同检测条件下读数为何发生偏离以及如何限定解释范围。

1 混凝土结构钢筋保护层检测概况

混凝土结构钢筋保护层厚度检测的对象是钢筋外缘至混凝土表面的最短距离，现场获得的是构件内部电磁响应。保护层较薄时，钢筋信号较强，但表层粗糙、骨料分布和邻近钢筋会使响应峰发生偏移；保护层较厚时，信号衰减会放大定位误差^[1]。检测精度由钢筋定位与厚度换算共同决定，不能把仪器屏幕上的单次读数直接等同于结构真实厚度。检测人员需区分梁、板、柱等构件的受力钢筋方向，信号异常处应保留原始波形或扫描轨迹，使判断回到具体测点。

2 钢筋保护层厚度检测方法

2.1 电磁感应法测线定位方法

电磁感应法由发射线圈建立交变磁场，感应电流改变接收线圈响应，仪器据此反演位置和厚度。测线定位是该方法的首要误差环节，测线未与钢筋主方向稳定交叉，扫描曲线的峰值位置就难以对应钢筋轴线。现场按构件边界和钢筋走向划定区域，保持探头姿态和贴合状态一致^[2]。对于钢筋密集或直径差异明显部位，应把单峰响应与连续走向结合起来判断，不能凭单个峰值确定厚度。测线定位稳定后，再将钢筋中心位置与构

件表面距离对应，才能把设备响应转化为具有空间含义的检测结果。图1说明探头响应与测线定位的对应关系。

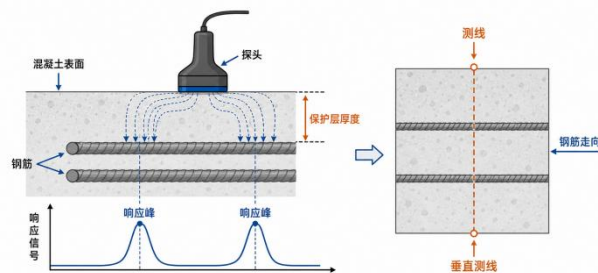


图1 电磁感应法测线定位与钢筋响应示意

图1左侧的保护层厚度箭头以混凝土表面为上端、钢筋顶部为下端，说明厚度判定必须建立在钢筋中心位置可靠识别的基础上；两个响应峰分别对应两根钢筋，表明连续扫描适合确认钢筋走向。右侧垂直测线穿过平行钢筋，测线与钢筋走向的夹角关系明确，可减少沿钢筋方向扫描造成的峰值拖移。

2.2 雷达法现场波形识别

雷达法以高频电磁波在混凝土中的传播和反射为基础，钢筋、空洞及含水界面会形成不同反射特征，扫描结果呈连续剖面或波形变化。钢筋反射往往具有连续双曲线或局部增强特征，杂散反射则可能短距离出现。判读时应先观察反射事件的连续性，再结合相邻剖面确认钢筋走向，再依据介电响应和波形位置估计保护层厚度。潮湿混凝土会改变波速和反射强度，粗糙表面会增加耦合波动，表层管线或金属物也可能形成相似回波，雷达结果宜与电磁感应法的钢筋定位相互参照；两种信号指向不同时，应保留差异及该工况，不宜强行合并为单一厚度结论。

3 钢筋保护层厚度检测结果分析

3.1 检测仪器性能影响测量精度的表现

检测仪器性能直接影响信号采集、钢筋定位和厚度换算,但仪器性能的作用要放到具体构件条件中考察。探头灵敏度不足时,深部钢筋的响应容易被噪声覆盖;量程或分辨能力与目标保护层不匹配时,近表层响应和相邻钢筋响应可能难以分离;设备零点漂移还会使同一测点的读数出现方向一致的偏移^[1]。现场检测前应检查探头贴合、扫描响应和显示稳定性,在同一测区采用一致的操作状态,并分开记录异常波形与正常测点。对于仪器能够识别但难以稳定分离的信号,精度评价应说明不确定性来源,而不能用重复读取的表面一致掩盖设备分辨能力不足。

3.2 钢筋间距密集程度影响检测精度

钢筋间距密集程度决定相邻钢筋响应能否在扫描剖面上清楚分开。间距较大时,单根钢筋的响应形态相对完整,钢筋中心易由连续峰值确定;间距缩小时,相邻钢筋的磁场或雷达反射会相互叠加,峰值可能向两根钢筋之间移动,厚度换算因而出现方向一致的偏差。交叉节点会改变局部响应强度,单向扫描易误判。检测应按配筋方向交叉布线,用连续走向分离峰值,对密集配筋区单独标注信号重叠状态。此类部位应以可辨认的钢筋中心为前提,不能把平滑曲线视为真实结构几何。

3.3 混凝土材料状态影响检测精度

混凝土材料状态会通过介电性质、磁场传播条件和表面耦合状态影响检测响应。含水率变化会改变雷达波速与反射强度,骨料粒径和分布会造成局部散射,蜂窝、孔洞及修补层则可能引入与钢筋反射相近的异常信号。表层金属附着物、钢筋锈蚀和表面不平整也会影响探头定位。因而,精度分析不能只比较不同测点的厚度读数,还应记录构件表面状态、潮湿区域和缺陷分布,联系信号变化与材料条件。状态差异明显区域应分别判读,结论限于相近状态,避免把局部异常外推。

3.4 检测数据处理误差的主要来源

检测数据处理阶段会在测点筛选、峰值定位、异常值处置

和厚度换算处产生误差,而不是只有录入差错。扫描数据若未按构件轴线整理,倾斜测线会被误判为保护层变化;多个响应峰同时出现时,取最高峰、取中心峰或取连续轨迹会得到不同结果;对异常值直接删除,又可能丢失密集配筋或缺陷区域的真实信息。处理时保留扫描顺序,按钢筋走向识别响应并区分异常,说明判定原则。重复测量不一致时,应回查测线、探头姿态和构件状态,不能以平均值替换差异。

3.5 检测精度评价结果的表达方式

检测精度评价结果应同时表达测量对象、比较基准、误差方向和适用条件,不能只给出一个笼统的合格或不合格判断。同一构件可将重复测量与稳定测点对照,观察偏差集中于何种配筋、表面状态或方法;对于两种方法的比对,应分别说明钢筋定位一致性、厚度变化趋势和局部差异位置。以实测保护层厚度 30mm、参照保护层厚度 28mm 为例,绝对误差为 2mm,相对误差按 $2\text{mm} \div 28\text{mm} \times 100\%$ 计算为 7.14%;评价应保留重复性及参照对象。结论应把稳定区域、信号重叠区域和无法可靠判读区域分开表述,使检测精度既反映可用结果,也保留异常条件下的解释边界。保护层厚度偏差可用式(1)统一表达。

$$e = \frac{|h_m - h_r|}{h_r} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中,e为保护层厚度相对误差,单位为%; h_m 为实测保护层厚度,单位为mm; h_r 为参照保护层厚度,单位为mm。该关系中的分子反映厚度偏离方向被绝对值化后的误差幅度,分母把误差放回参照保护层厚度的尺度中;当测线偏移、信号重叠或材料状态变化使 h_m 偏离 h_r 时,e随偏离程度增大。

4 结语

混凝土结构钢筋保护层厚度检测精度取决于测线定位、信号识别、配筋、混凝土状态和数据处理。电磁感应法适合以钢筋连续走向确定测点,雷达法可补充剖面波形与材料状态信息,但密集配筋、潮湿表面及异常反射会削弱单一方法的判定稳定性。结果应回到构件、测线和信号条件,以重复测量、交叉方法和分区表达区分可靠读数与谨慎部位;局部信号无法分离时,应结合验证,不以平均判断替代异常分析。

参考文献:

- [1] 骆骏骅,梁慧超,吴莎莎,等.混凝土结构中钢筋保护层厚度检测能力验证结果分析[J].中国水泥,2023,(S1):209-211.
- [2] 周航.建筑工程钢筋保护层厚度检测的影响因素及优化措施[J].中国房地产业,2026,(18):106-109.
- [3] 齐水平.公路桥梁钢筋保护层厚度检测方法改进方案[J].质量与认证,2026,(5):94-96.DOI:10.16691/j.cnki.10-1214/t.2026.05.020.