

# 房建工程主体结构检测技术研究

文 / 肖德华 深圳市中贺工程检测有限公司

**摘要：**主体结构的质量直接关系到房屋建筑的安全性、稳定性，做好主体结构检测是保证房屋建筑长久、安全使用的关键。本文以房建工程为研究对象，围绕主体结构钢筋、楼板、混凝土的检测技术展开探讨。首先阐述了房建工程主体结构的构成，从安全性评估、结构性能评价和维护决策三方面阐述检测开展的必要性。然后，阐述房建工程中应用的三类关键检测技术：以电磁波技术原理为基础的测定仪进行钢筋保护层厚度检测、电磁设备和探头的组合进行楼板厚度检测、回弹法+钻芯法的组合方式进行房屋建筑混凝土强度检测，并结合工程实例提供了各类检测的数量分布与实施规范。

**关键词：**工程；主体结构；检测技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.042

## 引言

钢筋混凝土是现代房屋建筑的主要建筑材料，形成的楼板、梁柱、墙体等主体结构具有较强的韧性、强度、稳定性，可以有效提升建筑的安全性和使用寿命<sup>[1]</sup>。检测是把握房屋主体结构实际状态、发现安全隐患的重要技术手段，也是房建工程的重要保障措施。

### 一、房建工程主体结构以及检测必要性

#### （一）房建工程主体结构

主体结构是房屋建筑的核心承重、传力体系的构件组合，主要包括地基、墙体、梁柱、楼板、屋顶等主要构件。这些构件之间通过合理的方式连接，承担建筑物自身的重量和各种荷载。主体结构的质量直接关系到房屋建筑的安全性、使用寿命，做好检测和评估工作，是保证房屋建筑长久、安全使用的关键。

#### （二）主体结构检测必要性

##### 1. 安全性评估

房建工程主体结构的安全性评估，是通过科学的技术和仪器设备对主体结构的承重构件、连接节点进行检查测试，确定主体结构的承重能力、材料性能、结构完整性、使用寿命，评估主体结构的安全性。安全性评估是识别房建工程主体结构潜在缺陷、损伤等隐藏风险的主要方式，可以及时发现问题、及时处理安全隐患。

##### 2. 结构性能评价

结构性能评价过程，需要对主体结构的力学特性、构件几何尺寸、构件连接方式、结构刚度分布、结构对外界荷载响应等方面进行系统的检测，用于分析主体结构是否满足工程设计规范，是否满足工程使用要求，是否需要通过加固、改造、拆除来保证房建工程的安全性和功能性。

##### 3. 维护决策依据

主体结构检测是获取房建工程维护决策的重要前提和依据，是深入评估主体结构稳定性、力学性能的重要途径。主体结构检测结果，是房建工程维护决策者获取安全性、

使用寿命、安全隐患等直观信息的重要数据来源，也是制定针对房屋主体结构维护方案、加固措施的依据。

## 二、房建工程主体结构检测技术

### （一）钢筋保护层厚度检测技术

#### 1. 非破损检测技术

在不破坏钢筋保护层、不影响结构完整性和使用功能的前提下，检测钢筋保护层厚度可用的技术，属于非破损检测技术。常见的钢筋保护层厚度非破损检测技术包括电磁波检测、超声波检测、X射线检测、红外成像检测等<sup>[2]</sup>。

电磁波检测利用了电磁感应定律，当电磁波穿过混凝土时，钢筋作为导体产生涡流场，导致电磁波幅值衰减与相位偏移。通过检测仪器记录衰减系数（单位 dB/cm），换算保护层厚度。检测时需考虑混凝土含水率影响，含水率每增加 5%，检测误差会增大 3%-5%，需在仪器中输入湿度修正系数。

超声波检测利用的是纵波反射法。当声波在钢筋界面发生反射，通过计算声波传播时间差（ $\Delta t$ ）与波速（ $v=3200-4000\text{m/s}$ ，随混凝土强度提高而增大），得出保护层厚度（ $h=v \times \Delta t / 2$ ）。对于钢筋间距 $\leq 100\text{mm}$ 的密集区域，需采用高频探头（500kHz）避免信号叠加干扰。

X射线检测是利用了X射线穿透物质时的衰减特性。钢筋对X射线的吸收率是混凝土的3-4倍，所以通过检测对象的成像灰度值差异可以定位钢筋。检测前需计算安全距离，即辐射剂量率 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$ 的区域，操作人员还需佩戴剂量计，保证检测过程的人身安全。

红外成像检测依据的时斯特藩-玻尔兹曼定律，设备将辐射强度转化为电信号，生成温度分布图像。保护层厚度不足或破损区域会暴露钢筋，导致局部温度升高。红外热像仪通过捕捉这些温度差异生成热图，帮助识别保护层厚度和状态。

几种非破损检测技术的特点、检测范围、适用情况如下表所示：

表 1 非破损检测技术在钢筋保护层厚度检测中的特征和应用

非破损检测技术	检测深度 mm	检测精确度 mm	特点	应用场景
电磁波	0-200	±2	检测速度快、适用范围广、操作简单	钢筋定位与深度检测
超声波	0-500	±5	穿透力强	检测多层结构、厚重混凝土中钢筋保护层厚度
X 射线	0-700	±1	识别细小缺陷、高分辨率图像	密集钢筋 + 高密度混凝土的深度检测
红外成像	表层	±10	快速、大面积检测温度变化	检测保护层均匀性和裂缝

钢筋保护层厚度测定仪是工程中常用的检测设备，工作原理是应用电磁波检测确定钢筋在混凝土中的位置、布筋情况。测定仪具备自动检测、数据存储、数据输出功能，符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》（GB50204 - 2015）对钢筋保护层测定仪的要求。

2. 非破损检测技术应用

当全部检测的合格率达到 90% 以上，可判断钢筋保护层厚度检测合格；当检验合格率在 80% 到 90% 之间，不小于 80%，需要再抽取相同数量的构件做复核检验。只有当初次检验和复核的总合格率达到 90% 以上时，才能判定钢筋保护层的厚度检测结果为合格。抽样构件检测数据需对比《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204-2015 附录 E. 0. 4 中规定，抽检结果不应在规范最大允许偏差的 1.5 倍以外。

钢筋保护层厚度测定仪应用前需要进行校准，方法是：检测前用标准试块校准仪器，根据已知保护层的厚度选择 20mm、50mm 或 100mm 厚的标准试块；当标准试块的厚度检测误差超过 ±1mm 时，说明仪器设备需要重新校准标定。对复杂区域钢筋保护层厚度的检测，需采用“电磁波初测 + 超声波验证”等多技术组合方式，电磁波快速定位钢筋大致位置进行初测，超声波对初测不合格的构件进行精确测量。多技术协同检验可以提升检验过程效率和检验结果精度，比如房建工程项目中用测定仪对 200 个测点进行初测，合格率 88%。超声波对不合格的 24 个点位进行复测，发现其中 12 个点位初测未通过的原因是点位的骨料颗粒度过大，引起了电磁波异常，真实检测通过率为 94%。

(二) 楼板厚度检测技术

1. 电磁检测技术原理

楼板厚度与房屋建筑的安全性、保温隔热效果、隔音降噪效果有密切关系。为了准确测量房屋建筑中楼板的厚度，需要检测人员应用电磁检测仪、水准仪等工具准确获取楼板厚度。电磁检测仪通过发射线圈产生交变磁场，接收线圈感应磁场强度变化，当发射与接收探头对准时，磁场耦合最强，仪器显示厚度值。电磁检测仪的精度容易受到钢筋的干扰，当探头与钢筋距离 ≤ 10mm 时，误差可以达到 ±3mm 及以上，在钢筋密集区的适用性较差。

《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204-2015 中，楼板的厚度允许偏差值 -5mm ~ +10mm。当楼板抽样构件的检验合格率达到 80%，可判断工程楼板厚度检测合格；当检验合格率在 70% 到 80% 之间，不小于 70%，需要再抽取相同数量的构件做复核检验。只有当初次检验和复核的总合格率达到 80% 以上时，才可以判定房建工程的楼板厚度合格。

2. 检测操作过程优化

现场检测时，主机和接收探头在楼板的顶面一侧，发射探头在底面一侧，两侧均顶紧的情况下，发射探头在区域范围内反复移动，通过主机确定信号较强的部分，确定主要检测区域。一次扫描时，接收探头沿着预定的线路 L1 向信号值增大的方向移动，寻找信号峰值 P1 点。P1 点也应当是发射探头向 L1 做垂线的垂点。二次扫描时，以 P1 点为垂点做 L1 的垂线，接收探头沿着垂线 L2 移动。当接收探头与发射探头相交时，信号值最大，也是楼板厚度的测量结果。每一块楼板在 3 个点测量厚度，取平均值，允许偏差在 -5mm 到 10mm 区间内即合格。

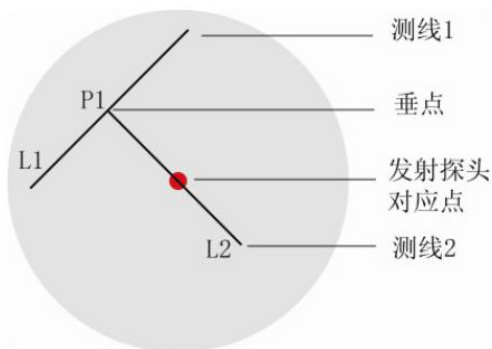


图 1 检测路线示意图

要想提高楼板厚度检测数据的代表性，可以优化检测扫描的路径，沿着“Z”字形进行扫描，覆盖楼板四角和中心区域，在每平方米的范围设置 1 个检测点；也可以关注检测区域的环境温度，做好温度补偿。环境温度每变化 10℃，电磁信号传播速度变化 2%。检测时需记录环境温度，代入公式  $h=h_0 \times (1+0.002 \times \Delta t)$  进行修正，其中  $h_0$  实测值， $\Delta t$  是温差。

(三) 混凝土强度检测技术

混凝土是房屋建筑工程的主要施工材料，也是工程

主体结构的重要组成。混凝土强度直接关系到房屋本身的安全系数、稳定性、承重能力、使用寿命。检测人员可通过检测技术把握混凝土结构的荷载，把握混凝土结构的强度和是否存在裂缝等安全隐患，精确监督工程施工质量，准确提出主体结构加固、维护措施。

1. 常见检测技术

①回弹法。回弹法的工作原理基于混凝土表面硬度与强度之间的相关性，混凝土的强度越高，其内部结构越致密，表面硬度也越大。即当回弹仪的弹击杆以一定的能量撞击混凝土表面时，弹击杆会因混凝土的反作用力而回弹，回弹的距离（即回弹值）与混凝土表面的硬度相关。回弹仪弹击后的回弹值就越大，说明混凝土的表面硬度越大，说明混凝土的强度越高；反之，回弹值越小，表面硬度越小，强度越低。市面上的回弹检测仪有轻型、中型、重型之分。轻型回弹仪的弹击能量较小为 0.735J，适用于薄壁构件、小型预制构件等表面较薄弱的混凝土检测；中型回弹仪在房建工程检测中最常用，弹击能量为 2.207J，主要用来对 C10-C60 区间的混凝土进行检测；重型回弹仪的弹击能量更大，达到 3.207J，适用于强度较高 C60-C80 或表面较坚硬的混凝土。

②钻芯法。钻芯法在混凝土强度检测技术中，属于直接获取检测对象、检测结果可靠的微破损检测方法。检测人员需要利用专用钻机，从房屋主体结构的混凝土中通过钻取芯样的方式获取样本，通过压力机进行抗压试验，直接在芯样破坏时获取混凝土的实际强度，可用于验证回弹法等非破损检测技术的检测结果。专用钻机的取样直径通常为 100mm、150mm 等，高度与直径比一般为 1:1，芯样能直接反映混凝土内的密实度、骨料分布和缺陷；芯样端面平整度误差需控制在 0.1mm 以内，用硫磺胶泥补平时补平材料的厚度应不大于 5mm；芯样直径与高度比严格控制在 1:1，偏差超过 ±2mm 的芯样不可使用，需作废处理；芯样在压力试验机上以 0.5-1.0MPa/s 的速率进行匀速加载，当芯样上出现纵向裂缝时，记录最大破坏荷载，可以计算混凝土的抗压强度。

2. 检测技术应用

采用回弹 - 取芯法的局部破损检测方法，按国家现行有关标准的规定进行。取芯法检测混凝土强度的操作过程和细节，应满足《钻芯法检测混凝土强度技术规程》JGJ/T 384-2016 中的内容要求。检测混凝土强度的推定值上下限区间公式如下图所示：

$$\text{上限值 } f_{cu,e1} = f_{cu,cor,m} - k_1 S_{cor} \quad (3.2.2-1)$$

$$\text{下限值 } f_{cu,e2} = f_{cu,cor,m} - k_2 S_{cor} \quad (3.2.2-2)$$

$$\text{平均值 } f_{cu,cor,m} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,cor,i}}{n} \quad (3.2.2-3)$$

$$\text{标准差 } S_{cor} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cu,cor,i} - f_{cu,cor,m})^2}{n-1}} \quad (3.2.2-4)$$

式中  $f_{cu,cor,m}$ ——芯样试件的混凝土抗压强度平均值(MPa),精确至 0.1MPa;  
 $f_{cu,cor,i}$ ——单个芯样试件的混凝土抗压强度值(MPa),精确至 0.1MPa;  
 $f_{cu,e1}$ ——混凝土抗压强度推定上限值(MPa),精确至 0.1MPa;  
 $f_{cu,e2}$ ——混凝土抗压强度推定下限值(MPa),精确至 0.1MPa;  
 $k_1, k_2$ ——推定区间上限值系数和下限值系数,按附录 B 查得;  
 $S_{cor}$ ——芯样试件抗压强度样本的标准差(MPa),精确至 0.1MPa。

回弹 - 取芯法强度检测的操作过程和细节，应符合《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204-2015 附录 D 规定；每个构件应按《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23-2011 标准进行检测，完成标准中关于“不少于 5 个测区”的回弹检测要求，获取符合标准的检测值。当三个芯样的抗压强度算术平均值不低于混凝土强度等级值设计要求的 88%，可以判定强度检测合格；或当最小值不低于该要求的 80%，也可以判定为强度检测合格。

3. 回弹 - 钻芯法协同技术

“回弹普查 + 钻芯标定”的技术组合协同模式，可以有效提高对混凝土强度的检测效率、提高检测结果精度，降低检测误差。回弹值与芯样强度的线性回归方程时  $f_{cu} = \alpha \times R + \beta$ ，其中  $\alpha$ 、 $\beta$  都是回归系数，使检测误差控制在 ±5% 以内。

(四) 检测技术的协同应用机制

检测技术应用过程中需重视技术之间的互补，比如电磁波检测钢筋位置后，据此确定钻芯法取样点，避开钢筋提高强度检测效率和精度。回弹法检测混凝土强度时，结合楼板厚度数据修正厚度对回弹值的影响，比如楼板厚度低于 100mm 时，进行回弹检测时，回弹值需提高 2-3 个单位。

结语

综上，房建工程主体结构检测是保障建筑安全、可靠运行的关键环节。本文通过对钢筋保护层厚度、楼板厚度及混凝土强度检测技术的具体应用分析，验证了非破损检测与微破损检测技术在实际工程中的有效性。非破损检测技术具有高效、便捷、无损伤的优势，适合进行大面积初步筛查；微破损技术虽然会对房屋主体结构造成局部、轻微破损，但检测结果更直观、更精准，可以为非破损检测结果提供精准验证依据，有效提高主体结构检测的效率和精度。

参考文献

[1] 杨晓岚. 混凝土强度无损检测技术在建筑中的应用分析 [J]. 佛山陶瓷, 2025, (04): 103-105.  
 [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, (02): 111-113.