

混凝土主体结构回弹法强度检测误差控制分析

姜学平

汕头市工程质量检验检测中心有限公司 广东 汕头 515000

【摘要】：回弹法是混凝土主体结构实体强度现场检测的常用无损方法，具备操作便捷、成本低廉、不损伤结构等优势，但检测过程易受多重因素干扰，产生强度推定误差，影响结构质量判定准确性。本文以混凝土主体结构为研究对象，系统梳理回弹法检测误差的主要来源，从仪器设备、检测操作、混凝土自身特性、外部环境四个维度剖析误差产生机理，结合行业规范与工程实践，提出针对性的误差控制与修正措施，通过工程实例验证控制效果，旨在降低检测误差，提升回弹法检测精度，为混凝土主体结构质量验收与安全鉴定提供可靠技术支撑。

【关键词】：混凝土主体结构；回弹法；强度检测；误差来源；误差控制

DOI:10.12417/2811-0528.26.16.010

1 引言

混凝土主体结构作为建筑工程的核心受力体系，其强度直接关系建筑整体安全性、耐久性与使用年限，实体强度检测是工程质量管控、竣工验收的关键环节。回弹法基于混凝土表面硬度与抗压强度的相关性原理，通过回弹仪检测表面回弹值、测量碳化深度，换算推定混凝土强度，在住宅、公共建筑、桥梁等混凝土主体结构检测中广泛应用。

但在实际工程检测中，回弹法检测结果与混凝土真实抗压强度常存在偏差，误差过大易导致强度误判，轻则延误工程验收，重则埋下结构安全隐患。究其原因，检测仪器未校准、操作流程不规范、混凝土内部缺陷、表面状态差异、环境因素等，均会打破回弹值与强度的对应关系，引发系统误差与随机误差。因此，精准识别误差来源，制定科学有效的控制策略，是提升回弹法检测可靠性的核心。本文结合《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》（JGJ/T 23-2011），全面分析误差成因并提出控制方法，为规范检测作业、降低检测误差提供参考。

2 回弹法检测混凝土强度的基本原理

回弹法检测混凝土强度的核心依据是混凝土表面硬度与立方体抗压强度呈显著正相关，其工作原理依托弹性冲击与能量转换规律。回弹仪内部的弹簧驱动重锤，通过弹击杆冲击混凝土表面，重锤受混凝土反作用力产生回弹，回弹距离通过指针示数转化为回弹值。混凝土密实度越高、抗压强度越大，表面硬度越高，重锤回弹过程中能量损耗越少，回弹值越高；反之，强度偏低、表面疏松的混凝土，回弹值明显降低。

检测时通过测量测区平均回弹值与混凝土碳化深度，代入对应测强曲线，即可换算出混凝土强度推定值。目前工程中采用统一测强曲线、地区测强曲线和专用测强曲线，其中专用测强曲线贴合工程实际材料与工艺，误差最小，而曲线选用不当、

检测参数修正缺失，是引发检测误差的重要因素。

3 混凝土主体结构回弹法检测误差主要来源

3.1 仪器设备误差

回弹仪是检测核心设备，其性能状态直接决定检测数据准确性，该类误差属于系统误差，具有持续性、规律性特点。一是回弹仪未按规定检定或校准，超过检定有效期，内部弹簧弹性衰减、指针摩擦力变化，导致率定值偏离 80 ± 2 的标准范围，回弹值检测出现固定偏差；二是检测前未在标准钢砧上率定，仪器自身误差未及时消除；三是回弹仪长期使用后零部件磨损，冲击能量不稳定，造成回弹值波动，增大检测误差。

3.2 检测操作误差

检测人员操作不规范是引发随机误差的主要原因，贯穿测区布置、测点检测、碳化测量全流程。一是测区布置不合理，未避开混凝土接缝、预埋件、蜂窝麻面、受力集中区域，测区面积、数量不符合规范要求，导致检测样本不具备代表性；二是测点施压角度不规范，未保持回弹仪与混凝土表面垂直，倾斜施压造成回弹值偏低，且未按规程进行角度修正；三是测点间距、边缘距离把控不当，局部疏松区域测点过多，异常数据剔除不规范；四是碳化深度测量误差，孔洞清理不彻底、酚酞溶液浓度不当、测量读数偏差，导致碳化深度取值失真，而碳化深度是强度修正的关键参数，其误差会直接放大强度推定偏差。

3.3 混凝土自身特性误差

混凝土原材料、配合比、施工工艺、养护条件、碳化程度等自身属性，是影响检测精度的核心内在因素。一是原材料差异，采用卵石与碎石骨料、不同品种水泥、粉煤灰掺量过高，会改变混凝土表面硬度与强度的相关性，导致测强曲线适用性

降低；二是配合比不当，水胶比过大、外加剂掺量超标，造成混凝土表面疏松、内部离析，表面硬度无法真实反映内部强度；三是养护不到位，混凝土早期缺水养护、表面碳化过快，碳化深度过大时，表面硬度虚高，回弹值远高于实际强度；四是内部缺陷，混凝土浇筑时振捣不密实，存在蜂窝、空洞，表面与内部强度不一致，回弹法仅检测表面强度，无法反映内部缺陷，产生较大误差。

4 回弹法强度检测误差控制措施

4.1 严控仪器设备质量，消除系统误差

建立回弹仪全生命周期管理机制，回弹仪必须经法定计量机构检定合格，且在检定有效期内使用，检定周期不超过半年。每次检测前，在标准钢砧上进行率定，确保率定值为 80 ± 2 ，不合格仪器严禁使用，及时更换老化弹簧、磨损零部件。长期闲置的回弹仪，使用前重新检定，避免因长期放置导致性能失效。同时，选用符合规范的碳化深度测量工具，保证卡尺精度、酚酞溶液浓度达标，从源头消除仪器设备带来的固定误差。

4.2 规范检测操作流程，减小随机误差

检测人员需经专业培训，持证上岗，严格遵循规程开展作业。测区布置遵循均匀性、代表性原则，单个构件测区数量不少于10个，相邻测区间距不大于2m，测区面积控制在 $200\text{mm}\times 200\text{mm}$ ，避开结构缺陷、预埋件与接缝区域。检测时保持回弹仪垂直于混凝土表面，匀速缓慢施压，杜绝倾斜、快速冲击操作；非水平方向检测、非侧面检测时，严格按规程进行角度与浇筑面修正。每个测区布置16个测点，剔除3个最大值与3个最小值后计算平均值，减少异常数据干扰。碳化深度测量时，孔洞深度、清理程度达标，酚酞溶液均匀喷洒，多次测量取平均值，避免单次读数误差。

5 工程实例验证

某框架结构商业楼，混凝土主体结构柱、梁设计强度等级

为C35，施工完成28d后采用回弹法进行实体强度检测。初次检测时，因仪器未提前率定、部分测区表面未打磨、碳化深度测量偏差，强度推定值在 $30.2\sim 32.5\text{MPa}$ 之间，低于设计强度，误差较大。

针对上述问题，采取误差控制措施：更换经检定合格的回弹仪，检测前完成钢砧率定；全面打磨构件表面，清理浮浆与灰尘；规范测区布置与测点操作，精准测量碳化深度；选用地区测强曲线进行强度换算。重新检测后，各测区强度推定值在 $34.8\sim 36.2\text{MPa}$ 之间，随机抽取3个构件进行钻芯法复核，芯样抗压强度平均值为 35.6MPa ，与回弹法检测结果偏差仅1.7%，误差控制在允许范围内，验证了上述误差控制措施的有效性。

6 结论

混凝土主体结构回弹法强度检测误差主要来源于仪器设备、检测操作、混凝土自身特性与外部环境，四类因素相互叠加，直接影响检测结果的准确性。通过严控仪器检定校准、规范全流程检测操作、优化混凝土施工养护、改善检测环境与表面状态，可有效降低各类误差，将检测偏差控制在合理范围，提升强度推定精度。

为进一步保障检测质量，提出以下建议：一是建立检测人员培训考核机制，强化规范操作意识，杜绝人为误差；二是针对特殊混凝土配合比，提前建立专用测强曲线，提升检测针对性；三是对重要结构构件或检测结果异常部位，采用回弹-钻芯综合检测法，兼顾无损检测便捷性与芯样检测精准性；四是完善检测数据记录与追溯体系，留存检测全过程资料，便于误差分析与质量复核。

回弹法作为混凝土主体结构强度检测的重要手段，只有严格落实全流程误差控制措施，才能充分发挥其技术优势，为工程质量验收、结构安全鉴定提供精准、可靠的依据，保障建筑工程主体结构安全。

参考文献：

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.回弹法检测混凝土抗压强度技术规程(JGJ/T 23-2011)[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [2] 王雪松.混凝土回弹法检测强度误差影响因素及控制措施[J].工程质量,2024,42(05):89-92.
- [3] 刘伟.建筑主体结构混凝土回弹检测误差分析及修正方法[J].建材发展导向,2025(03):143-145.
- [4] 李艳红.混凝土强度回弹检测误差控制技术研究[J].工程技术研究,2024,9(18):136-138.
- [5] 张宏斌.无损检测技术在混凝土主体结构中的应用及误差控制[J].建筑安全,2024,39(07):67-70.