

回弹法在建筑主体结构检测中的应用研究

赵文渝, 何松鸣

广东汇建检测鉴定有限公司, 广东 广州

收稿日期: 2025年11月1日; 录用日期: 2025年11月22日; 发布日期: 2025年12月3日

摘要

回弹法作为一种经典的非破损检测方法, 因其设备简单、操作便捷、检测效率高且成本低廉, 在工程现场得到了广泛应用。本文首先阐述了回弹法的基本原理与技术特点, 详细分析了其检测流程, 包括测区布置、回弹值测量、碳化深度测量及强度换算等关键环节。其次, 深入探讨了影响回弹法检测精度的主要因素, 如原材料、浇筑养护工艺、碳化深度、测试角度与浇筑面等, 并提出了相应的修正与控制措施。通过结合具体工程实例, 验证了回弹法在实际应用中的有效性, 并分析了其存在的局限性。最后, 对回弹法与其他检测方法(如钻芯法、超声法)的综合应用进行了展望, 强调了其在现代建筑结构检测与鉴定中不可替代的地位及未来发展趋势。

关键词

回弹法, 主体结构, 混凝土强度, 非破损检测, 碳化深度

Application Research of Rebound Method in the Detection of Building Main Structures

Wenyu Zhao, Songming He

Guangdong Huijian Testing and Appraisal Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

Received: November 1, 2025; accepted: November 22, 2025; published: December 3, 2025

Abstract

As a classic non-destructive testing method, the Rebound Method has been widely used in engineering sites due to its simple equipment, convenient operation, high testing efficiency and low cost. This paper first elaborates on the basic principles and technical characteristics of the Rebound Method, and analyzes its testing process in detail, including key links such as test area layout, rebound value measurement, carbonation depth measurement and strength conversion. Secondly, it deeply discusses the main factors affecting the testing accuracy of the Rebound Method, such as raw materials,

pouring and curing processes, carbonation depth, testing angle and pouring surface, and proposes corresponding correction and control measures. Combined with specific engineering examples, the effectiveness of the Rebound Method in practical applications is verified, and its existing limitations are analyzed. Finally, the prospect of the comprehensive application of the Rebound Method with other testing methods (such as the Core Drilling Method and the Ultrasonic Method) is put forward, emphasizing its irreplaceable position in modern building structure testing and appraisal as well as its future development trends.

Keywords

Rebound Method, Main Structure, Concrete Strength, Non-Destructive Testing (NDT), Carbonation Depth

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

回弹法基于混凝土表面硬度与强度之间的相关性, 通过测量重锤反弹的距离(回弹值)来推定混凝土的抗压强度, 和其他无损检测方法相比, 回弹法操作简便、实时性强, 适用于大范围检测, 特别适用于工程建设中的质量控制与后期维护检查[1]。但是, 回弹法在工程实践应用中, 容易受到原材料与配合比、浇筑与养护工艺、碳化深度、测试角度与表面湿度、仪器设备自身质量等多种因素的影响, 依然存在一些不足。因此, 相关人员应当加大回弹法在建筑主体结构检测中的应用研究, 确保各项检测细节的规范性, 最大程度减小各类因素对回弹检测的不良影响。本文旨在系统梳理回弹法在建筑主体结构检测中的应用, 深入分析其技术原理、操作要点、影响因素及控制措施, 并结合工程实践, 探讨其适用性与局限性, 以期为提升工程质量检测水平提供理论参考与实践指导。

2. 回弹法的基本原理与技术特点

2.1. 基本原理

回弹法的物理本质是能量守恒定律与冲击动力学原理的结合。其核心设备——回弹仪, 内部包含一个被压缩的弹簧和与之连接的重锤(冲击锤)。检测时, 对回弹仪施加压力, 使弹簧积蓄弹性势能。当弹簧释放时, 驱动重锤以一定的动能撞击混凝土表面。在撞击瞬间, 混凝土表面发生局部弹性变形与塑性变形, 一部分动能被混凝土吸收, 用于产生塑性变形功, 另一部分动能则转化为使重锤回弹的弹性势能。混凝土表面硬度越高, 塑性变形越小, 吸收的能量越少, 重锤回弹的距离就越远, 即回弹值越大。通过大量试验研究, 可以建立混凝土表面回弹值与其标准立方体抗压强度之间的相关关系曲线, 即测强曲线。现场检测时, 通过测量回弹值, 即可利用已建立的测强曲线推定混凝土的强度。

2.2. 技术特点

回弹法之所以能在工程实践中长盛不衰, 主要源于其检测过程对结构实体无损伤, 不影响结构的安全与使用功能[2]。仪器轻巧, 便于携带, 操作易于掌握, 检测人员经过基本培训即可上岗。单点检测时间短, 可在短时间内完成大面积的普查工作, 效率极高。设备购置和维护费用低, 检测过程中无需复杂的辅助材料和设施, 综合成本低。在同一测点进行重复测试, 结果具有较好的一致性。同时, 受限于回

弹仪作用机理, 回弹法反映的是混凝土表面的硬度, 其推定强度实质上是“表面强度”, 无法直接探测混凝土内部的质量状况, 如内部孔洞、离析等。检测结果受混凝土原材料、配合比、养护条件、碳化深度、测试角度、浇筑面等诸多因素影响, 需进行一系列修正, 否则精度难以保证[3]。相较于钻芯法, 回弹法的推定精度稍逊, 通常用于强度的初步筛查和批量评估, 在对强度有争议或要求精确评定时, 需采用其他方法进行验证[4]。

3. 回弹法在主体结构检测中的实施流程

回弹法在混凝土主体结构中的检测实施流程如图 1 所示。

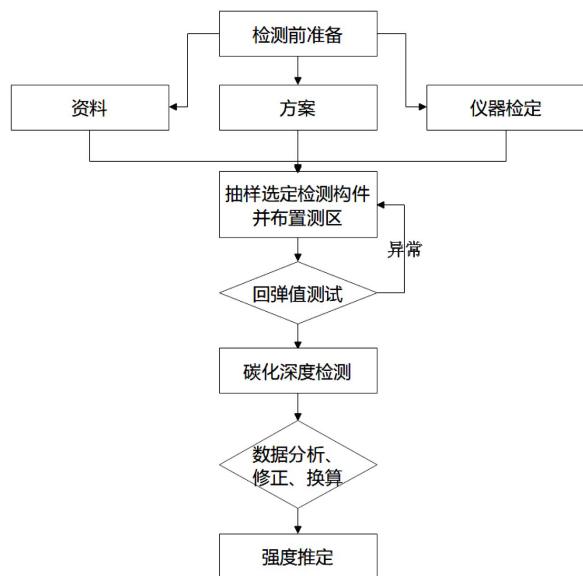


Figure 1. Implementation process

图 1. 实施流程

3.1. 检测前准备

- (1) 资料收集: 收集工程名称、结构类型、设计强度等级、原材料信息、配合比、浇筑与养护记录等。
- (2) 仪器检定: 回弹仪必须在检定有效期内使用。检测前, 应在标准钢砧上进行率定试验, 其率定值应符合规程要求(一般为 80 ± 2)。
- (3) 测区布置: 根据检测目的和结构特点, 选取具有代表性的构件(如梁、板、柱、墙)。每个构件上的测区数不宜少于 10 个, 相邻两测区的间距不宜大于 2 m。测区宜选在混凝土浇筑侧面, 面积约为 0.04 m² (200 mm × 200 mm), 表面应清洁、平整、干燥, 不应有疏松层、浮浆、油污及蜂窝麻面。

3.2. 回弹值测量

- (1) 测试操作: 将回弹仪的弹击杆垂直顶住混凝土测区表面, 缓慢均匀施压, 待弹击锤脱钩冲击后, 读取指针指示的回弹值。
- (2) 测点布置: 每个测区读取 16 个回弹值。测点应在测区范围内均匀分布, 相邻两测点的净距一般不小于 20 mm, 测点距构件边缘或外露钢筋、预埋件的距离不小于 30 mm。
- (3) 数据记录: 准确记录每一个回弹值, 剔除 16 个值中的 3 个最大值和 3 个最小值, 取余下 10 个回弹值的平均值作为该测区的平均回弹值。

3.3. 碳化深度测量

- (1) 钻孔: 在测区位置, 用合适的工具钻一个直径约 15 mm 的孔洞, 深度应大于混凝土的碳化深度。
- (2) 清理: 用皮老虎或毛刷彻底清除孔洞内的粉末和碎屑, 不得用水擦洗。
- (3) 测试: 将浓度为 1%~2% 的酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁。碳化部分混凝土不变色, 而未碳化部分会变成紫红色。
- (4) 测量: 用专用测量工具测量混凝土表面至变色与不变色交界处的垂直距离多次, 取其平均值作为该测区的碳化深度值, 精确至 0.5 mm。

3.4. 混凝土强度推定

将测得的平均回弹值和碳化深度值, 代入统一测强曲线或地区、专用测强曲线公式中, 计算得出该测区的混凝土强度换算值。然后, 根据所有测区的强度换算值, 计算其平均值和标准差, 最终按照规程规定的公式推定该构件或该批构件的混凝土强度推定值[5]。

4. 影响回弹法检测精度的因素及控制措施

影响回弹法在混凝土主体结构检测中的精度因素及控制措施(见表 1)。

Table 1. Factors and control measures affecting the accuracy of rebound method detection

表 1. 影响回弹法检测精度的因素及控制措施

影响因素	控制措施
原材料与配合比	优先采用专用或地区测强曲线
浇筑与养护工艺	优先检测混凝土浇筑侧面, 当条件限制无法检测侧面时, 需对顶面或底面的回弹值进行角度和浇筑面修正
碳化深度	严格按照规程测量碳化深度, 并据此对回弹值或强度换算值进行修正
测试角度	根据规程对测得的平均回弹值进行角度修正
表面湿度	检测时应尽量选择结构处于干燥状态时进行, 并避开雨后或潮湿环境

4.1. 影响因素

(1) 原材料与配合比

水泥品种、骨料种类与粒径、外加剂等都会影响混凝土的表面硬度与强度之间的关系。例如, 采用高硬度骨料(如石英岩)的混凝土, 其回弹值会偏高, 可能导致强度推定值虚高[6]。

(2) 浇筑与养护工艺

浇筑面的不同(侧面、底面、顶面)以及养护条件(湿度、温度、龄期)对混凝土表面硬度有显著影响。通常, 浇筑底面因水分和气泡上浮, 表面较为疏松, 回弹值偏低; 而顶面因水分蒸发快, 易产生浮浆, 强度可能不均。标准养护的混凝土强度发展充分, 而养护不良(尤其是早期失水)的混凝土表面强度会显著降低。

(3) 碳化深度

碳化使混凝土表面生成坚硬且不可溶的碳酸钙, 硬度大幅提高。有研究表明, 对于碳化深度达 6 mm 的混凝土, 若不进行修正, 其推定强度可能比实际强度高出 20% 以上[7]。

(4) 测试角度与表面湿度

回弹仪弹击方向与水平面的夹角不同, 会因重锤自重的影响而导致回弹值变化。此外, 混凝土表面的湿度状态也会影响测试结果, 湿混凝土表面回弹值通常低于干燥表面[8]。

4.2. 控制措施

在条件允许时, 优先采用专用或地区测强曲线, 这些曲线考虑了本地常用材料和配合比的影响, 能有效提高推定精度。规范要求优先检测混凝土浇筑侧面。当条件限制无法检测侧面时, 需对顶面或底面的回弹值进行角度和浇筑面修正。必须严格按照规程测量碳化深度, 并据此对回弹值或强度换算值进行修正, 这是保证结果准确的关键步骤。当测试角度非水平时, 需根据规程对测得的平均回弹值进行角度修正。检测时应尽量选择结构处于干燥状态时进行, 并避开雨后或潮湿环境[3]。

5. 工程实例分析

为验证回弹法的实际应用效果, 选取某市一栋已建成 10 年的办公楼框架柱进行强度检测。该办公楼为钢筋混凝土框架结构, 设计强度等级为 C30。为评估其当前结构安全性, 需对主体结构混凝土强度进行检测。采用回弹法对随机选取的 20 根框架柱进行普查。每根柱子布置 10 个测区, 严格按照 JGJ/T 23-2011 规程进行回弹值测量和碳化深度测量。测得各柱的平均碳化深度在 3.0 mm 至 5.5 mm 之间。根据统一测强曲线, 计算各测区强度换算值。经计算, 该批构件混凝土强度推定值为 31.5 MPa。为验证回弹法结果的可靠性, 在其中 3 根柱子上采用钻芯法进行对比。钻取芯样经加工、试验后, 其抗压强度平均值分别为 30.5 MPa、31.7 MPa 和 31.1 MPa, 平均值为 31.1 MPa。

综合上述, 回弹法推定结果(31.5 MPa)与钻芯法结果(31.1 MPa)基本吻合。这表明, 在严格按照规程操作、充分考虑碳化深度等影响因素并进行正确修正后, 回弹法能够较为准确地推定混凝土强度, 其结果可以作为结构安全性评定的可靠依据[9]。

6. 回弹法与其他检测方法的综合应用

鉴于回弹法的局限性, 在实际工程中, 尤其是在争议仲裁或重要结构鉴定中, 常将其与其他检测方法结合使用, 形成优势互补。回弹 - 钻芯综合法这是最常用且最权威的综合方法。先用回弹法进行大面积普查, 找出强度可疑区域, 再在可疑区域用钻芯法进行精确验证。此法既保证了检测效率, 又确保了关键部位结果的准确性, 是《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T 50784-2013)推荐的做法。超声 - 回弹综合法: 超声波在混凝土中的传播速度与其弹性模量、密实度有关, 能反映内部缺陷。而回弹法反映表面硬度。将两种方法结合, 可以建立“声速 - 回弹值 - 强度”的综合关系, 能更全面地评估混凝土的强度与均匀性, 减少单一方法因影响因素带来的不确定性, 显著提高推定精度[10]。回弹 - 拔出法/贯入法: 对于表层强度与内部强度差异较大的构件(如严重碳化或遭受冻融破坏), 可采用微破损的拔出法或贯入法进行辅助判定, 以校准回弹法的测试结果。

7. 结语与展望

回弹法作为一种成熟、高效的非破损检测技术, 在建筑主体结构混凝土强度的现场检测中扮演着不可或缺的重要角色。对其基本原理、操作流程、影响因素及控制措施的深入研究, 可以得出以下结论: 回弹法设备简单、操作便捷、经济高效, 非常适用于对结构混凝土强度进行大面积的快速筛查和批量评估, 是工程质量控制的重要手段。检测结果的准确性高度依赖于操作的规范性和对影响因素的正确处理, 特别是碳化深度的测量与修正、测试面与角度的选择与修正是保证精度的核心环节。回弹法反映的是混凝土的表面特性, 存在一定的局限性, 其推定强度不能完全等同于标准抗压强度。在用于严格的结构安全性评定时, 应充分认识其适用条件。通过与钻芯法、超声法等其他检测技术相结合, 可以形成更科学、更可靠的检测体系, 为建筑结构的鉴定、加固与改造提供更精准的数据支持[2]。

随着工程检测技术方法的不断迭代更新, 回弹法将呈现以下发展趋势: 一是智能化与数字化, 集成

传感器、GPS 和无线传输技术的智能回弹仪将实现数据的自动采集、处理和远程传输,最大程度减少人为操作误差和记录错误;二是数据分析的深化,利用大数据和人工智能技术,对海量检测数据进行分析,建立更精确、适应性更广的智能测量模型;三是多技术融合的常态化,回弹法将更深度地与红外热像、地质雷达等无损检测技术融合,实现对混凝土强度、缺陷、钢筋配置等多参数的一体化综合诊断。总之,回弹法将继续以其独特优势,在保障建筑工程质量与安全的事业中发挥重要作用。

参考文献

- [1] 高子豪. 回弹法在建筑混凝土主体结构检测中的应用研究[J]. 工程技术, 2025(9): 71-74.
- [2] 涂启华, 雷建国, 唐平, 吴福成. 混凝土抗压强度回弹法在建筑结构检测与鉴定工作中的应用[J]. 广东土木与建筑, 2022, 29(5): 108-111.
- [3] 张荣成, 顾祥林. 影响回弹法检测混凝土强度准确性的因素分析[J]. 施工技术, 2017, 46(15): 112-115.
- [4] 许道益. 建筑主体结构检测中钻芯法与回弹法的实际应用研究[J]. 建筑工程技术与设计, 2021(5): 1937.
- [5] 赵少华. 回弹法在建筑主体结构检测中应用研究[J]. 中国建筑金属结构, 2023, 22(7): 19-21.
- [6] 吴佳雄, 林维正. 混凝土无损检测技术研究进展[J]. 建筑材料学报, 2019, 22(1): 1-10.
- [7] 王赫, 徐志胜. 建筑工程质量检测与评定手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [8] 朱开文. 回弹法在建筑主体结构检测中的应用分析[J]. 中国厨卫, 2024, 23(11): 106-108.
- [9] 李曙光, 刘卫东. 超声回弹综合法在既有建筑混凝土强度检测中的应用研究[J]. 工业建筑, 2020, 50(S1): 890-893.
- [10] 赵羽, 高小旺. 建筑结构检测鉴定与加固手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.