

建筑混凝土回弹法实体检测技术研究

文 / 黄 涌 广西壮族自治区建筑工程质量检测中心有限公司

摘要：本文深入研究了建筑混凝土回弹法实体检测技术。详细阐述了回弹法的基本原理、回弹仪的构造分类及校验维护；全面分析了建筑混凝土回弹法实体检测过程的要点，包括检测前的准备、测区布置、回弹值测量和碳化深度测量；对检测结果的分析与判定进行了深入探讨，涵盖回弹值的修正、混凝土强度的推定以及检测结果的处理。通过对这些方面的研究，旨在提高回弹法检测建筑混凝土强度的准确性和可靠性，为建筑工程质量评估提供有力支持。

关键词：建筑混凝土；回弹法；实体检测；强度推定

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.22.028

引言

大数据使采购管理发生颠覆性变化，实现采购需求预测精准化、供应商选择评价科学化、采购成本控制精细化等，和采购人员能力升级系统化都显示了大数据所具有的重要价值。企业主动应用大数据策略可以深入挖掘采购数据的潜力、优化采购流程、提高决策质量、提高供应链竞争力。今后随着大数据技术的不断创新，大数据技术在采购领域也会得到更广泛和更深入的运用，企业只有跟随潮流，不断地探索和实践，才能够依靠大数据对采购管理的赋能作用，在激烈的市场竞争中获得可持续发展和效益跃升。

一、回弹法基本原理与回弹仪

(一) 回弹法的基本原理

回弹法就是根据混凝土抗压强度与表面硬度间存在着相关关系，推定其强度大小的检测方法。它的基本原理是利用回弹仪中的弹击拉簧带动仪器中的弹击重锤在中心导杆作用下产生一定冲击能量对混凝土表面进行弹击。弹击锤撞击混凝土表面后会被弹回，所测重锤弹回距离和弹簧初始长度的比值就是弹击锤弹回值。由于混凝土表面硬度与其回弹值之间存在着一定的比例关系，同时混凝土表面硬度与其抗压强度有关，因此可以根据回弹值结合碳化深度反推混凝土抗压强度。比如回弹值越大，表明混凝土的表面硬度越大，一般表示它的抗压强度比较大。在真实的应用场景中，需要大量的实验数据来精确地建立回弹值、碳化深度与混凝土的抗压强度之间的测强关系，这样可以增强预测结果的可信度。

(二) 回弹仪的构造与分类

回弹仪是检测建筑结构或构件普通混凝土抗压强度的非破损检测仪器，其构造精密，主要由冲杆、弹簧、套筒、指针、刻度尺、钩子、锤等部件组成。以混凝土检测常用的N型回弹仪为例，实测时，用弹击杆顶压混凝土结构表面，弹击杆被压进机壳内，弹击拉簧被拉伸，使连接弹击拉簧的弹击锤获得恒定的冲击能量。弹击锤是核心部件，为直径15.3mm、总长225mm的钢制部件。脱钩杆也是重要组成，一端有活动关节，另一端与弹击锤接触。刚性杆端部上方有扇形刻度盘，边缘有游标。回弹仪的

分类多样，常见型号有L型、N型、P型、M型等，不同型号适用于不同的检测需求和场景，共同为建筑工程质量检测提供了有力支持。

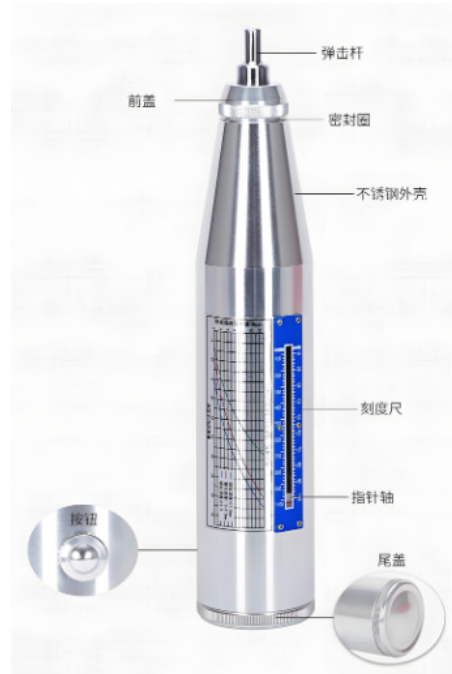


图1 某品牌回弹仪示意图

(三) 回弹仪的校验与维护

回弹仪的校验与维护对保障其准确性和稳定性至关重要。校验分为一般性率定和标准状态校正，一般性率定是经常性的，在标称动能 $\leq 2.207\text{J}$ 的回弹仪校验中，采用GZ16型钢砧对仪器整机技术状况作一般性检验，可在弹击2000次左右或3个月进行一次，若频繁测试或一次测试工程量大、连续数天检测，则每天使用前后可率定；标准状态校正涉及回弹仪整机内部装配关系或性能变化，不宜频繁进行，需对仪器全面检查和调整。维护方面，回弹仪用完后应及时放入包装套或仪器盒内，防止灰尘进入；使用一段时间要进行擦拭净化，但不能改变仪器各零部件和整机的装配关系；仪器示值系统，特别是指针滑块，一般不拆卸，指针轴不涂油脂以保持摩擦力恒定，以此提高回弹法测强精度。

二、建筑混凝土回弹法实体检测过程要点

(一) 检测前的准备工作

建筑混凝土回弹法检测前的准备工作至关重要，关乎检测结果的准确性与可靠性。要收集混凝土的设计强度等级、配合比、浇筑日期、养护情况等资料，了解建筑物的设计文件、施工图纸、施工记录、竣工资料等，对建筑物有全面了解，做到底数清、情况明，便于检测时的放矢。对于仪器，需检查回弹仪外观是否完好，指针是否灵活，率定值是否在 80 ± 2 的范围内，同时准备好碳化深度测量仪、酚酞酒精溶液等检测工具，并确保检测设备和工具完好无损且经过校准或检定，保证检测结果准确。检测面应清洁、平整、干燥，若不平整可用砂轮打磨，避免疏松层、浮浆、油垢、蜂窝、麻面等影响检测。若遇化工、高空等特殊建筑或场所，需委托方提供单位安全管理相关预防或应对措施，保障检测人员安全。提前与检测人员约定现场检测时间，受检单位要保证实际安装的设备规格型号、数量与设备清单及检验报告一致，安排好项目技术负责人和现场安装、调试人员携带工具配合检测。

(二) 测区布置

建筑混凝土回弹法检测中，测区布置科学合理与否直接影响检测结果的准确性和代表性。测区应均匀地布置在可测面上，相邻两测区的间距要控制在 2 米以内，且测区离构件端部或施工缝边缘的距离不宜过近或过远。

对于一般构件，测区数不宜少于 10 个，且测区面积不宜大于 0.04 平方米。在条件允许时，测区优先布置在构件的两个对称测面上，若无法实现，也可布置在同一可测面上并均匀分布。

测点布置也有严格要求，每个测区需布置 16 个测点。测点宜布置在混凝土均匀、表面光洁、无局部缺陷的地方，两测点间混凝土应是均匀或比较均匀的，在异常区内要布置足够的测点，就如同岩石超声波参数测定仪测区布置中测点的布置原则，测点需处于均匀介质区域才能保证检测的准确性。

测区表面应为混凝土原浆面，要清洁、平整，不应有疏松层、浮浆、油垢、涂层以及蜂窝、麻面等情况，否则会影响回弹值的准确性。对弹击时产生颤动的薄壁、小型构件应进行固定，避免因构件颤动影响检测结果。同时，测区应标有清晰的编号，并宜在记录纸上绘制测区布置示意图和描述外观质量情况，以便后续对检测数据进行准确分析和处理。此外，在构件的重要部位及薄弱部位必须布置测区，并且要避免预埋件，这样才能全面、准确地检测混凝土的强度情况。

(三) 回弹值测量

回弹值测量是建筑混凝土回弹法检测中的关键步骤，其测量结果的准确性直接影响到对混凝土强度的评估。在一个测区内，需按照规定均匀分布弹击点，通常为 16 个点。测量时，要确保回弹仪的轴线始终垂直于检测面，缓慢施压，待仪器脱钩冲击后，准确读取并记录回弹值。

测定回弹值时，取连续向下弹击三次的稳定回弹值的平均值，同时，率定试验应在室温为 $5 \sim 35^{\circ}\text{C}$ 的条件下进行。

在测量过程中，要仔细观察弹击点的情况，剔除明显异常值，例如打在石子或气孔上的值，因为这些异常值不能真实反映混凝土的实际情况。将剩余点的平均值作为该测区的回弹值。从该测区的 16 个回弹值中，去除 3 个最大值和 3 个最小值，余下的 10 个回弹值用于计算测区平均回弹值，计算公式为 $R_m = (\sum R_i) / 10$ ，其中 R_m 表示测区平均回弹值，精确至 1； R_i 代表第 i 个测点的回弹值。

为了得到准确的回弹值，还可以采取一些特殊的操作方法。比如可将机芯拿到仪器外再加修正量的方法进行测量，将弹击锤与挂钩挂上，一手将弹簧拉伸到露出弹击杆的冲击面，用游标卡尺测量弹击锤与弹击杆碰撞面间的距离为 $+0.10 \sim 0.306\text{mm}$ ，此数为标准长度 75 ± 0.3 ，加上压缩簧、弹击拉簧叠加在缓冲弹簧上并使其变形的修正量，重复上述操作过程便可得到所需要的测点回弹值。回弹值测量工作需要检测人员具备严谨的态度和熟练的操作技能，以确保测量结果的可靠性，为后续混凝土强度的准确评定提供坚实基础。

(四) 碳化深度测量

碳化深度测量是建筑混凝土回弹法实体检测中的重要环节，其测量结果会影响混凝土强度的推定。测量时，可采用适当工具在测区表面形成直径约 15mm 的孔洞，深度要大于混凝土的碳化深度。接着，应采用浓度为 1% 的酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁的边缘处，当已碳化与未碳化界线清楚时，再用深度测量工具测量已碳化与未碳化混凝土交界面到混凝土表面的垂直距离。

测量工具不同，操作略有差异。使用碳化深度测量仪时，挪动仪器位置使触针靠近孔洞壁，让触针上下移动直至停留在碳化与未碳化层的界线处，当触针停留到孔洞壁被测深度时，指针在刻度尺上指示的刻度即为碳化深度值，读数精确至 0.25 或 0.5 毫米。若使用混凝土碳化深度测定尺，可调整测针使其对准碳化与未碳化的分界线，然后锁紧，此时体 I 上端面对标准尺上刻线的读数即为测出的碳化深度值。

为保证测量结果的准确性，测量不应少于 3 次，最后取其平均值。此外，还有金相显微镜法、薄膜裂解法、磨痕法、电子微探分析法、硬度计法和压痕法等测量碳化深度的方法，但在建筑混凝土回弹法检测中，现场多采用上述较为简便的测量方式。

三、检测结果分析与判定

(一) 回弹值的修正

回弹值的修正对于准确推定混凝土强度至关重要，其涉及多个方面且有相应的规则和方法。在实际检测中，回弹仪的弹击方向和测试面的不同会使回弹值产生偏差，因此需要进行修正。

若回弹仪非水平方向检测混凝土浇筑侧面，要进行角度修正。当向下 -90° 时，计算公式为 $R(-90^{\circ})$ 修

正) = 5.015 - 0.049R (实测)。若回弹仪为非水平方向且测试面为混凝土的非浇筑侧面, 应先进行角度修正, 再进行浇筑面修正。当检测混凝土表面时, 计算公式为 R (表面修正) = 4.5 - 0.1R (实测), 混凝土修正后回弹值 $R = R$ (实测) + R (-90° 修正) + R (表面修正)。

在确定混凝土回弹值时, 一个测区通常要进行 16 次弹击, 去除最大和最小的 3 个数, 取中间 10 个数的平均值作为初始读数, 然后对该初始读数进行角度和浇筑面的修正, 修正后的数值通过查表得出对应的强度值。例如, 测得的平均值是 40, 进行角度修正后的数是 36, 若后续还需进行浇筑面修正, 应使用角度修正后的 36 再进行修正。

若使用泵送混凝土, 还需进行泵送修正以得出最终强度值。需要注意的是, 泵送混凝土不宜进行角度修正, 且回弹法仅适用于 10-60MPa 的强度区间。当出现低于

10MPa 的情况时, 强度评定为 < 10MPa; 对于大于 60MPa 的情况, 则以最小值评定。在批量评定时, 如果属于同类构件, 具有相同的龄期、配比和施工工艺, 则可以按相同批次进行检测。

(二) 混凝土强度的推定

混凝土强度的推定是建筑工程质量检测的重要环节, 常用方法有回弹法和钻芯修正法等。回弹法推定混凝土强度时, 先获取回弹值, 若不是水平回弹需先查表修正, 再根据碳化深度查表得出强度换算值。若有 10 个强度换算值, 可计算其平方和减去 (平均值的平方) × 10, 然后除以 9, 再开方得出标准差。

钻芯修正法推定强度则涉及推定区间强度的上下限值计算, 公式为 $\mu_1 = m + ks$ 和 $\mu_2 = m - ks$, 其中 μ_1 、 μ_2 分别为推定区间强度的上限值和下限值, m 为样本强度均值, k 为推定系数, s 为样本标准差。

表 1 混凝土强度推定及统计评定数据统计示意

序号	回弹值	碳化深度 (mm)	强度换算值 (MPa)	样本强度均值 (MPa)	标准差 (MPa)	推定区间上限值 (MPa)	推定区间下限值 (MPa)
1	38	2.0	32.5	/	/	/	/
2	40	2.5	35.0	/	/	/	/
3	36	1.5	30.0	/	/	/	/

(三) 检测结果的判定与处理

检测结果的判定与处理是确保检测准确性和可靠性的关键环节, 关乎建筑工程质量和安全。当检测结果出来后, 首先要进行初步调查, 涵盖检验过程中涉及的所有因素, 如人员操作是否规范、样品是否符合要求、仪器设备是否正常、试剂是否有效等, 以此确定检测过程是否存在问题, 所有行动措施都应有记录并追踪至完成状态。

检测项目复核人需对结果进行确认, 对可能的原因进行客观及时的评估。若检测结果出现异常值和邻近判定值, 可考虑使用不同的测量方法或分析技术重新测试, 确认是否为实验误差或分析过程中出现的错误; 也可通过统计分析和回归分析来确认是否为真实异常数据。

对于检测结果, 需进行严格审核, 审核内容包括检测过程的合规性、结果的准确性等, 确保结果无误后方可发布。若确认无误后进行复检, 复检结果方为有效; 若复检合格, 则判断该结果为合格, 否则按首次检验不合格处理。例如, 若因仪器设备停机、人为差错、系统适用性不合格、样品 (或溶液) 异常等产生的数据或事件导致检测结果异常, 需针对性解决。

若检测结果显示混凝土强度不满足规范和设计要求, 必须将检测结果报告给设计单位, 由其重新进行验算, 以确定工程部位的安全性。施工单位需将试块不合格报告、实体检测报告、构件设计图纸等资料提交设计单位, 申请安全性评估, 进而根据实体强度检测结果制定处理方案。同时, 实验室负责人要指导调查, 决定是否组织根本原因分析, 并上报调查记录。

结语

回弹法作为建筑混凝土实体检测的常用技术, 在建

筑工程质量控制中发挥着重要作用。它基于混凝土表面硬度与强度的相关性, 操作简便、成本较低, 能快速获取检测数据, 为工程质量评估提供了有效依据。然而, 回弹法也存在一定局限性, 如受混凝土内部缺陷、龄期、环境因素以及特殊类型混凝土等影响, 可能导致检测结果出现偏差。为提高回弹法检测的准确性和可靠性, 需严格遵循检测流程, 做好检测前准备, 合理布置测区, 准确测量回弹值和碳化深度, 并对检测结果进行科学修正和分析。同时, 可结合钻芯取样等其他检测方法进行综合评估, 以弥补回弹法的不足。随着建筑行业的发展和技术的进步, 回弹法也需不断改进和完善, 加强与其他检测技术的融合, 提升其在复杂工程环境下的适应性, 为建筑工程质量安全提供更有力的保障。

参考文献

[1] 雷周, 周佰祥, 曹忠露, 等. 卵石混凝土回弹法专用测强曲线的研究 [J]. 中国港湾建设, 2023, 43(4): 65-69.

[2] 汪杰, 梁月华, 蔡润, 等. 高钎型高炉渣混凝土回弹法地区测强曲线试验研究 [J]. 钢铁钎钎, 2023, 44(2): 118-123.

[3] 陈勇, 唐秋琴, 唐晓锋. 回弹法在建筑工程混凝土结构质量检测中的应用研究 [J]. 2025(4): 169-171.

[4] 黄玉涛. 土木工程混凝土回弹法质量检测技术探究 [J]. 中文科技期刊数据库 (引文版) 工程技术, 2024(003): 000.

[5] 叶途捷. 关于回弹法检测技术在混凝土结构中的分析 [J]. 2023.

[6] 郭浩. 建筑工程混凝土强度检测中回弹法的应用研究 [J]. 现代工程科技, 2025(9).