

回弹法在建筑混凝土主体结构检测中的应用

文 / 刘畅 安庆市九华工程质量检测有限公司

摘要：现代建筑工程领域中，以混凝土为核心建筑材料的建筑强度对建筑主体结构安全性和稳定性有着直接影响。精确地对混凝土强度进行检测就成了保证建筑质量至关重要的一环。回弹法具有操作简单，费用低廉和对结构损伤少的优点，被广泛地应用于建筑混凝土主体结构的检测。深入探讨回弹法的基本原理，适用条件和应用流程，对促进建筑工程质量检测水平的提高具有重要意义。文章将对回弹法检测建筑混凝土主体结构的有关要点进行详细说明，其目的是为工程实际提供理论支持和技术借鉴，促进建筑行业良性发展。

关键词：建筑混凝土；回弹法；主体结构检测；应用

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.16.009

引言

在建筑行业繁荣发展的今天，各种建筑项目层出不穷，建筑结构也变得越来越复杂多变。在建筑主体结构中，混凝土是主体材料，质量把控是重中之重。回弹法是检测混凝土强度的常用方法，它可以快速地得到混凝土的强度信息而不会对结构造成损伤。但是回弹法检测结果会受到很多因素的影响，如果使用不当很容易造成检测误差。为了保证回弹法测试结果的准确性和可靠性，发挥回弹法在建筑混凝土主体结构测试中的应用效果，需要对回弹法做全面而深入地研究。本研究以回弹法为核心，对其在建筑项目中的实际应用进行了全面的分析。

一、回弹法的基本原理

(一) 回弹法的工作机制原理

在回弹仪的支持下，回弹法开始了测试工作。回弹

仪的内部结构精密，其核心部件主要由弹击拉簧，弹击锤和弹击杆组成。在开始探测的时候，弹击拉簧提前储能并在一瞬间释放能量，带动弹击锤在指定的轨道上高速移动，弹击锤在弹击杆的作用下猛烈地撞击到混凝土表面^[1]。在这种撞击中能量经历了复杂的变换。混凝土表面吸收了弹击锤一部分动能用以克服其表面阻力并引起混凝土内部结构微小形变，这一部分能被热能和声能耗散掉。且余能驱动弹击锤向后反弹。回弹仪利用精巧设计的机械测量装置或高级电子感应系统对弹击锤的回弹距离进行精确测量，并将该距离最后用回弹值直观地显示出来。从微观的角度观察，混凝土表面的微观构造，例如骨料的分布和水泥石的紧密度等，都会对弹击能量的吸收和回弹产生影响，这进一步决定了回弹值的大小（如图1回弹法的工作机制原理）。

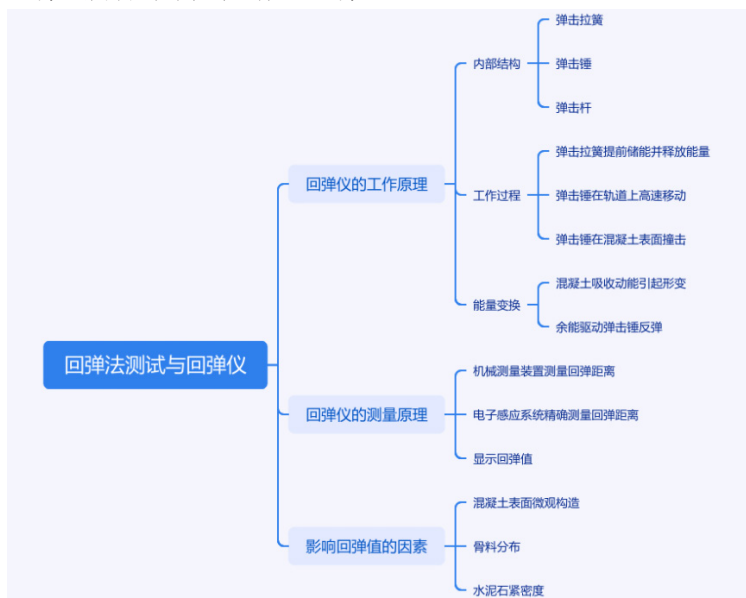


图1 回弹法的工作机制原理

(二) 混凝土强度与回弹值的关联原理

混凝土强度和回弹值有着密切而又错综复杂的内在联系。通常在混凝土常规强度范围内，混凝土内部结构随强度逐渐增加越来越密实。水泥水化反应在继续，水泥石和骨料结合得越来越紧密，孔隙率明显减小。这一内部结构优化，使混凝土表面硬度也得到了相应提高^[2]。回弹仪在弹击过程中，因其表面硬度较大，混凝土对弹击锤能量的

吸收量较小，弹击锤能保留较大的能量供回弹使用，因此回弹值较大。但是，这一关系并不是一个单纯的线性对应。混凝土的不同配合比，如水泥的使用量、骨料的种类和级配的不同，会影响混凝土内部结构的形成过程，进而影响回弹值和强度之间的关系。另外，混凝土龄期是一个关键影响因素，混凝土在早期龄期强度提高较快，内部结构变化很大，回弹值和强度之间对应关系不够稳定；强度的发

展随龄期的增加而趋于平稳，两者之间的关系比较稳定。实际使用时，需要对上述因素进行充分的考虑，以便根据回弹值来精确地推测混凝土的强度。

(三) 能量转化机制

从能量转化的角度对回弹法的基本原理进行了分析，弹击锤参与弹击时动能的传递和消耗。弹击锤通过弹击拉簧的作用，使混凝土表面受到特定初始动能的冲击。这时，利用动能的一部分引起混凝土表面的局部变形以克服混凝土中颗粒之间的摩擦力和破坏微小孔隙结构，这一部分能被混凝土所吸收而转化成热能及其他形式的能。其余不消耗动能，使弹击锤反弹。当混凝土强度较高时，内部结构对弹击锤撞击的抵抗能力较强，所吸收的能量比较小，弹击锤反弹所承载的能量较大，反弹值也较大。该过程满足能量守恒定律：弹击锤初始动能作用于混凝土时根据其性质分配能量。

(四) 强度推算依据

大量的试验数据和工程实践证明混凝土的强度和回弹值之间有具体的对应关系。尽管这并不是一个严格的线性关系，但在特定的强度范围内，混凝土的强度增加与其回弹值的增加是正相关的。通过大量检测混凝土在不同强度等级，配合比和养护情况下回弹情况，结合抗

压强度测试结果可以建立混凝土强度和回弹值之间测强曲线。实际工程检测时，当检测人员得到混凝土回弹值之后，根据已经确立的测强曲线就可以反演混凝土强度。测强曲线是根据统计学原理建立起来的，它是通过分析和处理大量有代表性混凝土样本数据来确定回弹值和强度间数学关系^[3]。

二、回弹法的适用条件

(一) 混凝土表面状态要求

混凝土需要满足适宜的养护龄期和正常的养护条件才能使回弹法测试结果可靠。通常规定回弹法测试的混凝土龄期为7d-1000d。如果养护时间太短，水泥的水化反应将不会完全进行，这将导致混凝土的强度没有得到充分的发展，表面硬度也会变得不稳定，因此回弹值不能代表最终的强度。养护龄期太长，混凝土会由于碳化和侵蚀等环境因素的作用而使表面性能发生变化，从而影响回弹值和强度之间的关系。在良好的养护环境下，例如合适的温度和湿度，可以确保混凝土的强度稳定增长，从而确保回弹检测的结果是可信的；温度过高，过干，过湿或者冻融循环的恶劣养护条件都会使混凝土的内部结构和性质发生变化，检测的精度下降（如图2混凝土表面状态要求）。



图 2 混凝土表面状态要求

(二) 环境温度的限定范围

环境温度对于回弹法的检测有明显的影响。当温度过高时，混凝土内水分蒸发迅速、表面变干、硬度变大、回弹值变大，导致强度误判。温度过低会使混凝土中的水冻结，冰晶扩张损伤内部结构，表面硬度下降，回弹值较低。根据有关规范，回弹法测试环境温度以-4℃-40℃为宜。超过这个范围就需要进行温度修正措施，或者在合适的温度下进行探测。比如在夏季高温时段的高温天气，可以选择早、晚气温较低的时间进行测试，也可以先将混凝土表面洒水冷却后再进行测试，根据气温修正公式来修正回弹值；在冬季气温较低的情况下，可以在混凝土表面进行

保温处理，当气温恢复到合适的范围后再进行测试。

(三) 对混凝土类型的适用性

回弹法多用于普通混凝土抗压强度的测试。对轻骨料混凝土，钢纤维混凝土和高强高性能混凝土这些特殊种类的混凝土来说，因其内部结构和骨料特性的不同而不同于一般混凝土，回弹值和强度之间的关系比较复杂，采用普通回弹法直接测试精度较低。轻骨料混凝土具有较低的密度和强度，其回弹值受到骨料的显著影响，这与普通混凝土的测强曲线存在差异。钢纤维对混凝土内部应力分布的强化作用会改变回弹值和强度的相关性。高强度高性能混凝土的内部构造非常紧凑，其表面的硬

度与其强度之间的关系与通常的规律有所偏离。在对特殊类型的混凝土进行检测的时候,需要根据混凝土的特点设置专门的测强曲线或者与超声法,钻芯法以及其他的检测方法相结合来对混凝土的强度进行全面的评价^[4]。

三、回弹法在建筑混凝土主体结构检测中的应用过程

(一) 精准校准仪器设备,保障检测数据精准可靠

回弹仪是回弹法测试的核心装置,它的性能是否稳定准确直接关系到测试结果是否可信。使用前要进行严格校准和保养必不可少。选择回弹仪类型时,依据混凝土强度等级,普通混凝土(强度等级一般低于C60)适配中型回弹仪,其冲击动能标准值为2.207J,能有效反映普通混凝土表面硬度与强度关联;而高强混凝土(强度等级大于等于C60)由于内部结构致密,需重型回弹仪,以更大冲击动能精准探测其强度特性。钢砧的校准是至关重要的一步,在洛氏硬度HRC范围为58-62的钢砧上,回弹仪的率定必须严格控制在 80 ± 2 的范围内,以确保仪器的冲击能量输出是准确的。定期检修时,需要使用高精度量具对弹击拉簧的工作长度和弹击锤的冲击长度等主要参数进行检测,以确保零件的性能稳定。根据回弹仪校准证书上的角度修正值进行回弹数据校准,以满足水平、垂直和倾斜三种检测角度要求;当环境温度超过标准温度(20°C)后,通过仪器内置或者标准规范规定的温度修正曲线进行回弹值修正以排除外界因素的干扰,确保不同检测情况下数据的准确性^[5]。

在某大型商业综合体项目(该项目的总建筑面积高达25万平方米,包括多幢高层建筑和裙楼在内)中,检测人员严格执行回弹仪校准流程。用中型回弹仪率定钢砧之前,第一次率定的结果是78,小于规范的范围。技术人员随即将回弹仪整体拆解排查,结果弹击拉簧由于长时间的使用而产生疲劳,弹性系数下降,造成弹击能量的缺失。立即更换了满足国家标准要求的新型弹击拉簧和对仪器关键参数进行了重新标定。再一次对钢砧进行率定后回弹值趋于稳定为81,符合标准要求。在随后不同建筑部位的混凝土检测中,对于裙楼屋面梁这样的水平构件根据校准证书校正水平方向弹击角度;夏季高温时段环境温度达到35°C,根据温度修正曲线修正实测回弹值。采用仪器精准校准和多因素修正等方法,将工程混凝土强度测试数据离散性限制在最小范围内,从而为工程结构安全评估工作提供扎实的数据支持,保障工程的顺利进行。

(二) 科学规划检测区域,确保样本全面具有代表

为了确保回弹法检测结果的准确性,科学地规划检测区域是至关重要的基础,并且必须严格按照《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23-2011)以及其他相关标准来操作。不同建筑部位和构件的受力特性,施工工艺各不相同,全面覆盖检测是极其关键的。柱体是承受上部结构荷载的主要竖向承重构件之一,需要在不同层位的柱体中合理布设测区;梁传递的荷载是水平向的,跨中和支座上的力比较复杂,要着重考虑。每个构件的测区数量应根据构件的尺寸、其重要性和结构特性来确定,通常不应少于10个。在选择测区的位置时,应避免选择应力集中的区域,如柱牛腿或梁端加密区,因为这些区域的受力情况较为复杂,其回弹值并不能完全代表构件的整体强

度。混凝土的表面状况对于回弹值有明显的影响,应选择平坦,结实而不存在蜂窝和麻面缺陷的地方。同时考虑在混凝土浇筑过程中,由于振捣,骨料分布的影响,混凝土内部结构在不同浇筑方向上存在差别,检测面需要结合实际进行选取。碳化深度会随着时间和环境的改变而改变,对于回弹值的校正是必不可少的,需要准确确定。

某高层住宅楼工程地面30层,采用框架-剪力墙结构体系。检测人员依据建筑结构图纸,深入现场,对实际建设情况进行全面勘查,从而制定出周密的检测区域计划。在每层检测中,严格按照科学配比,随机挑选三根柱、三道梁、两面墙以及两块板。对于柱构件,为避开箍筋加密区域,在柱身中间及上下端分别精心设置三个测区。梁构件里,测区均匀分布在跨中以及距离支座1/3跨度的关键位置,确保检测数据能精准反映梁的性能。墙和板则采用网格状布点方式,全方位保证测区分布均匀,无检测盲点。探测过程中,借助先进的钢筋探测仪对钢筋进行精确定位。通过这种方式,有效避免在钢筋密集区进行弹击,保证检测结果不受干扰。在检测混凝土碳化深度时,采用酚酞酒精试剂法,经多次测量,得出碳化深度平均值为1.5mm。此外,考虑到构件浇筑方向的影响,若梁为水平浇筑,在计算回弹值时,严格依据相关规范,对浇筑面进行合理修正。经过一系列科学规划以及对多因素的综合考量,本工程所选取的检测样本,全面且精准地体现了混凝土在不同构件、不同位置处的强度状况,为客观、可靠地评价工程质量提供了坚实依据。

结语

总之回弹法对建筑混凝土主体结构的检测是很有价值的。通过对仪器设备进行精准校准,可确保检测数据准确可靠;对检测区域进行科学的规划可以使得检测样本具有综合性和代表性。同时阐明了回弹法基本原理,适用条件等,可有助于检测人员更深入地运用这种方法。回弹法虽然有其局限性,如受到很多因素的影响,对于特殊混凝土的检测准确性有限等等,但是只要在的工程当中严格遵守规范进行操作,通过与其他检测手段的综合评估,我们可以显著提高混凝土强度检测的精确度,从而为建筑项目的质量提供坚实的支撑,并确保建筑主体结构的稳定性和安全性。

参考文献

- [1] 李金泰,李明京,郑秋格.回弹法在建筑混凝土主体结构检测中的应用分析[J].砖瓦,2025,(03):61-63+67.
- [2] 黄喜强.建筑工程质量监督中的主体结构检测技术[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(07):92-94.
- [3] 张宗国.回弹法在建筑混凝土主体结构检测中的应用分析[J].佛山陶瓷,2024,34(10):72-74.
- [4] 郭慧琳.钻芯法与回弹法在建筑混凝土结构检测中应用探讨[J].产品可靠性报告,2024,(08):110-111.
- [5] 徐婷.回弹法在建筑混凝土主体结构检测中应用[J].中国水泥,2024,(06):81-83.

作者简介:刘畅,1988年6月,男,汉,安徽省安庆市人,本科,工程师,研究方向建筑工程检测。