

主体结构混凝土强度检测中钻芯法与回弹法结果差异分析

朱强 赵慷慨

山东中任工程检测有限公司 山东 临沂 276000

【摘要】：混凝土强度是保证建筑主体结构安全的重要指标，回弹法和钻芯法是目前工程现场应用最广泛的强度检测方法，两者检测原理和适用场景存在较大差别，在实际检测过程中常常会出现结果偏差的问题，从而影响到工程质量判定的准确性。本文主要研究主体结构混凝土强度检测工作，先对钻芯法和回弹法的基本原理和应用特点进行阐述，再从检测本质、混凝土材料性能、现场操作、仪器环境、数据处理五个方面，对两种方法结果差异的主要原因进行分析，总结工程实践中常见的差异规律，针对差异给出修正方法和检测质量控制措施，最后通过实际工程案例检验分析结论。研究结果表明，两种方法结果的差别主要由原理性差异造成，并且受到诸多外界因素的叠加影响，经由规范操作、联合检测、源头控制等途径可以有效地减小偏差，从而达成对混凝土强度的准确判定，给工程检测实操和质量验收赋予可信的参照。

【关键词】：主体结构混凝土；强度检测；钻芯法；回弹法；结果差异

DOI:10.12417/2705-0998.26.04.004

引言

混凝土强度直接影响结构的承载能力、耐久性、使用寿命，也是工程竣工验收、质量复核、隐患排查的必检项目。目前我国建筑工程现场混凝土强度检测，回弹法和钻芯法是应用最广的两种技术手段，两者在检测原理、操作方式、适用场景上存在本质区别，在实际检测中经常会出现结果不一致或者偏差较大的情况，如果不能准确分析差异原因、合理判定结果，很容易造成工程质量误判，要么过度加固造成成本浪费，要么忽略强度隐患引发结构风险。回弹法属于无损检测技术，具有操作方便、检测速度快、成本低、不破坏结构本体等优点，适合于批量构件的快速普查和初步筛选，钻芯法属于破损检测技术，通过截取混凝土芯样直接测定抗压强度，结果准确直观，是争议检测结果的主要参考依据，但是存在损伤结构、操作复杂、周期长、成本高的缺点，多用于局部复核和异常强度点位的验证。本文根据工程检测实操经验，对两种方法结果差异的主要原因和典型规律进行分析，提出有针对性的差异修正和质量控制措施，为建筑主体结构混凝土强度准确检测、合理判定提供参考。

1 钻芯法与回弹法的核心原理及应用特点

1.1 回弹法检测原理与应用特点

回弹法的核心检测逻辑就是利用混凝土表面硬度和抗压强度的相关性，用回弹仪内部重锤的弹击力度来冲击混凝土结构表面，得到回弹值后结合碳化深度，代入对应的测强曲线换算，间接推定混凝土强度。该方法只对混凝土表层 20mm 到 30mm 的部位进行检测，不会破坏结构的整体性，检测时不需要大型设备，单人就可以完成批量构件的检测，适用于新建工程主体结构批量验收、既有建筑结构强度初步排查等场景。

但是回弹法的缺点十分明显，检测结果高度依赖混凝土表面状况，表层浮浆、起砂、蜂窝、麻面、碳化、含水率等都会

直接影响回弹值的准确性；同时测强曲线的适用性也会对结果产生影响，通用测强曲线和工程专用曲线之间的差异，会进一步加大检测误差，只能反映结构表层强度，不能反映混凝土内部实体真实强度水平。

1.2 钻芯法检测原理与应用特点

钻芯法是用专用钻芯机在结构混凝土待测部位截取标准芯样，经切割、磨平加工后，用压力试验机直接进行抗压强度试验，得到的是混凝土芯样的真实抗压强度，不需要间接换算，是目前混凝土强度检测中可信度最高的方法之一，也是回弹法检测结果异常时的法定验证手段。该方法检测结果可以反映混凝土内部和表层的整体性能，受到表面缺陷的影响很小，检测精度高，但是操作要求严格，取样位置不能避开钢筋、预埋件、施工缝、应力集中区，芯样尺寸、高径比、端面平整度必须符合规范要求，否则会导致测试偏差；钻芯取样会对结构造成局部破损，取样后要及时修补，检测周期长、成本高，不适用于大范围批量检测，只适合于局部点位复核、强度争议判定、重要构件精准检测等场景。

2 两种检测方法结果差异的核心成因

2.1 检测原理与测试范围的本质差异

这是两种方法结果不同根本原因。回弹法只能检测混凝土表面的硬度，通过表面硬度来间接推算强度，属于间接检测；钻芯法检测的是芯样的实体抗压强度，属于直接检测，两者测试对象和判定逻辑完全不同。混凝土结构在浇筑、养护过程中，表层和内部的密实度、水化程度、缺陷分布存在差异，表层容易受到外界环境的影响，内部比较稳定，因此表层和内部的性能不同，导致两种方法的检测结果不能完全重合。混凝土浇筑时易出现表层泌水、浮浆聚集现象，表层砂浆含量高、骨料分布少，强度低，内部骨料均匀、密实度高，强度高，此时回弹法测值会小于钻芯法；如果混凝土表层长时间暴露在空气中发

生碳化,碳化层硬度增大,回弹值虚高,远远大于内部真实强度,此时回弹法测值会高于钻芯法,产生较大的误差。

2.2 混凝土自身材料与施工养护因素

混凝土原材料、配合比、施工工艺、养护条件是造成两种方法结果差异的主要原因,直接影响表层和内部的强度差别。原材料方面,水泥品种、骨料粒径和级配、外加剂种类都会影响混凝土表层和内部的强度发展规律,大粒径骨料集中处回弹法测点如果落在骨料上,回弹值会偏高,落在砂浆区则偏低,测值离散性大,而钻芯法取样包含骨料和砂浆整体,结果更均衡。

配合比上,坍落度过大时,混凝土浇筑后表层富浆、内部离析,表层强度远低于内部,回弹法结果明显偏低;养护条件影响更大,规范养护的混凝土表层和内部水化充分,强度差小,两种方法结果接近;养护不到位时,表层失水快、水化不充分,出现起砂、粉化,回弹值大幅降低,内部强度受影响小,钻芯法结果更接近真实值;另外不同的模板类型也会对表层产生影响,铝模板成型的混凝土表面密实度高、碳化速度快,木模板成型的混凝土表面孔隙多、碳化慢,也会造成两种方法结果的差异。

2.3 现场操作规范性差异

现场操作不规范是人为造成结果差异的主要原因,两种方法的操作细节都会影响检测数据。回弹法操作时,测点位置随意,没有避开表面缺陷和应力集中区,表面浮浆未清理干净,回弹仪未垂直于检测面,碳化深度测量不准确,都会造成回弹值失真;碳化深度测量时酚酞试剂涂抹不均、测量点位偏差等都会影响强度修正系数,从而造成推定强度偏差。钻芯法操作时取样位置不正确、钻取速度过快造成芯样开裂、芯样加工不符合规范要求,都会使强度测值偏低。规范要求芯样高径比控制在1左右,端面平整度、垂直度要达标,加工后端面不平整会带来偏心受力,抗压试验时强度测值远低于真实值;取样时损伤芯样内部结构,也会使芯样抗压强度下降,造成钻芯法结果和回弹法出现异常偏差。

2.4 仪器设备与环境因素影响

仪器设备的精度、校准状态和现场检测环境都会使两种方法的结果出现较大的差别。回弹仪是计量器具,需要定期校准,如果长期使用没有进行校准,弹击力、回弹值读数就会出现误差,从而造成检测数据的失真;钻芯机、压力试验机未定期标定,钻芯机转速不稳定、试验机加载速度不符合规范,也会导致芯样取样质量及抗压测试结果受到影响。环境因素上温度、湿度、混凝土龄期对于两种方法的影响程度不一样。混凝土表面湿度过高时,回弹仪弹击后回弹值偏小,钻芯法受湿度影响小;低温下混凝土强度发展慢,表层和内部强度发展不同步,差异增大;混凝土龄期不足或者超期,回弹法测强曲线的适配

性下降,偏差明显增大,钻芯法直接测试强度,受龄期换算的影响更小,结果更稳定。

2.5 数据处理与换算方法差异

回弹法要依靠测强曲线把回弹值、碳化深度换算成强度推定值,换算时存在诸多误差,而钻芯法直接测定强度,没有换算过程,误差来源单一,这也是结果差异的原因之一。目前工程中常用的回弹测强曲线分为通用曲线和专用曲线,通用曲线适用于常规原材料和配合比的混凝土,如果工程所用混凝土原材料特殊、配合比差异大,通用曲线的适配性很差,推定强度偏差可达10%以上;专用曲线是根据工程实际原材料、配合比标定的曲线,偏差小,但是大多数工程没有提前标定,直接使用通用曲线,进一步扩大了与钻芯法结果的差距。

回弹法强度推定要剔除异常值、计算平均值和推定值,数据处理过程复杂,人为处理数据的偏差也会导致结果的偏差;钻芯法数据处理只需要根据芯样抗压强度和规范要求来评定,流程简单,人为干扰因素少,结果更客观。

3 两种检测方法结果差异的典型规律

根据大量的工程检测案例可知,回弹法和钻芯法结果之间存在一定的规律性,了解这些规律可以迅速找到原因,为结果判定提供依据。第一种情况为混凝土表面质量好、碳化深度小、养护规范时,两种方法的结果相近,误差控制在5%之内,属于正常浮动;第二种情况为混凝土表层碳化严重、表面密实度高,回弹法测值虚高,结果普遍大于钻芯法,偏差达10%至20%;第三种情况为混凝土表层浮浆厚、起砂、养护不到位,回弹法测值偏低,结果明显小于钻芯法,是工程中最常见的一种情况;第四种情况为大骨料、高强混凝土中,回弹法测值离散性大,结果忽高忽低,钻芯法结果稳定,两者之间偏差没有固定规律,但是钻芯法可信度更高;第五种情况是检测操作不规范、仪器未校准时,两种方法的结果无法确定,偏差幅度随机,需要重新检测。

4 结果差异修正与检测质量管控对策

4.1 规范现场检测操作,减少人为偏差

回弹法检测前将混凝土表面浮浆、污渍、缺陷清理干净,选择平整、密实的部位布置测点,垂直于检测面测量回弹值,规范测量碳化深度,保证每一步操作符合现行规范要求;钻芯法检测前准确确定取样位置,避开钢筋、预埋件和施工缝,控制钻芯速度,保证芯样的完整,加工时严格控制芯样尺寸、端面平整度和垂直度,防止操作不当造成结果偏差。

4.2 优化回弹测强曲线,提升换算精度

大型工程、重点工程应提前根据本工程混凝土原材料、配合比制作同条件养护试块,标定专用回弹测强曲线,替代通用曲线,大幅度降低回弹法强度推定偏差;中小型工程如果不能

标定专用曲线，可以结合本地工程经验选用区域适配性强的测强曲线，同时结合碳化深度、表面状态进行精准修正，缩小与钻芯法结果的差距。

4.3 采用联合检测模式，合理判定结果

创建回弹法普查和钻芯法复核相结合的联合检测方式，批量构件检测先用回弹法快速筛查，标出强度异常、离散性大的点位，再用钻芯法对异常点位做精确复核，最后以钻芯法检测结果为强度判定的主要依据；对于重要主体构件，可以直接采用钻芯法检测，保证结果准确，防止单一方法检测出现误判。

4.4 强化仪器校准与人员培训

定期对回弹仪、钻芯机、压力试验机等检测设备进行计量校准，保证设备精度满足规范要求，防止因为设备失准而造成检测偏差；加强检测人员的培训工作，提高人员对规范的掌握程度以及操作的规范性，明确两种方法操作要点、差异原因及数据处理要求，减少人为操作和数据处理造成的误差。

4.5 严控混凝土施工养护质量

从源头上缩小表层和内部强度的差别，控制混凝土配合比，控制坍落度，防止大坍落度造成表层富浆；规范混凝土振

捣工艺，防止离析、泌水；加强结构养护，保证养护时间和养护条件，减少表层起砂、粉化、碳化过快等现象，提高混凝土整体均匀性，从根本上降低两种方法的结果差异。

5 结论

主体结构混凝土强度检测中，钻芯法和回弹法结果的差别，是由检测原理、混凝土自身性能、操作规范、仪器环境、数据处理等多方面因素共同造成的，其中检测原理本质上的不同以及混凝土表层和内部性能的不同，是造成这种差异的主要原因。两种方法各有利弊，回弹法适合批量无损普查，钻芯法适合局部精准复核，不存在绝对的优劣之分，关键是合理选择、规范操作、联合判定。工程检测时，不需要刻意追求两种方法的结果完全一致，而是要按照规范实操流程、优化测强曲线、加强设备校准、严格控制施工养护质量，减小人为和环境造成的误差；建立联合检测机制，以回弹法快速筛查为基础，钻芯法精准复核为核心，客观分析差异原因，合理判定混凝土强度，既可以提高检测效率，又可以保证检测结果的可靠性，为主体结构工程质量验收、安全评定提供可靠的技术支持，有效避免质量误判的风险。

参考文献：

- [1] 王斌.住宅建筑工程主体结构混凝土强度检测探讨[J].居舍,2025,(34):51-54.
- [2] 朱建川.住宅建筑工程主体结构质量检测技术实践探索[J].居舍,2025,(32):161-164.
- [3] 俞家敏.房建主体结构混凝土强度的无损检测试验[J].建材发展导向,2025,23(18):106-108.
- [4] 黄文俊.建筑工程主体结构混凝土强度检测研究[J].中国房地产业,2025,(25):186-189.
- [5] 牛付虎.住宅建筑工程主体结构质量检测技术实践探索[J].中国建筑金属结构,2025,24(10):19-21.