

超声回弹综合法检测混凝土强度影响因素研究

张星星 420923198706010090

摘要

超声回弹综合法是当前混凝土强度无损检测领域应用最广泛的方法之一，相较于单一回弹法或超声法，其结合了两种方法的优势，能够有效提高混凝土强度检测的精度与可靠性。本文在梳理超声回弹综合法检测原理的基础上，系统分析了原材料性质、构件特征、环境条件以及操作流程四个维度对检测结果的影响，针对各类影响因素提出对应的控制措施，为进一步提升该方法在工程检测中的应用准确性提供参考。研究表明，骨料粒径、含水率、碳化深度、构件尺寸及测试温度是影响检测结果的核心因素，在实际检测中通过针对性控制可将检测误差控制在规范允许范围内。

关键词：超声回弹综合法；混凝土强度；无损检测；影响因素

一、引言

混凝土是当前土木工程领域用量最大的结构材料，其强度直接决定了建筑结构的承载能力与使用寿命，因此混凝土强度检测是工程质量验收与既有结构安全性评估的核心环节。传统钻芯取样法属于有损检测，不仅会对结构造成局部损伤，检测周期长、成本高，难以满足大面积工程批量检测的需求。无损检测方法凭借非破坏性、操作便捷、可批量检测的优势逐步成为工程检测的主流选择，其中超声回弹综合法通过同时测试混凝土表面回弹值与内部超声波传播速度，结合二者与抗压强度的相关关系推算强度，弥补了单一回弹法仅反映表面硬度、单一超声法易受材料内部孔隙影响的缺陷，检测精度显著高于单一方法，被我国现行检测规范列为优先选用的无损检测方法。

尽管超声回弹综合法的理论体系与应用规范已经较为成熟，但在实际工程检测中，受多种现场因素的干扰，检测结果往往会出现一定偏差，甚至出现误判，影响工程质量评定结果。因此，系统梳理该方法检测过程中的各类影响因素，明确不同因素对检测结果的影响规律，对提升检测结果准确性、保障工程质量安全具有重要的现实意义。

二、超声回弹综合法检测原理

超声回弹综合法的检测原理建立在两个基本物理关系基础上：第一，混凝土的表面回弹值与抗压强度存在正相关关系，混凝土强度越高，表面硬度越大，回弹仪弹击后的回弹值也就越高，单一回弹法正是利用这一关系推算混凝土强度，但回弹值仅能反映混凝土表层约 30mm 深度范围内的硬度，无法体现内部混凝土的强度状况，当混凝土存在内外强度差异时，检测结果会出现较大偏差。第二，超声波在混凝土中的传播速度与混凝土的密实度存在正相关关系，混凝土强度越高，内部孔隙越少、密实度越好，超声波传播速度越快，因此可通过声速推算混凝土强度，但单一超声法受骨料品种、内部缺陷的影响较大，对于低强度混凝土的检测分辨力较差。

超声回弹综合法将回弹值与声速两个参数结合，建立 $f_{cu} = \alpha \cdot v^{\beta} \cdot R^{\gamma}$ 的强度推算公式，其中 f_{cu} 为推算的混凝土抗压强度， v 为超声波声速， R 为平均回弹值， α 、 β 、 γ 为通过试验标定的经验系数。

三、主要影响因素分析

1. 原材料与配合比因素

第一，骨料粒径与品种。粗骨料是混凝土的核心组成部分，其粒径大小直接影响超声波的传播路径，骨料的声速远高于水泥石，当粗骨料粒径较大时，超声波更容易沿骨料传播，导致测得的声速偏高，最终推算的混凝土强度也会偏高。相关试验表明，当粗骨料最大粒径从 20mm 增加到 40mm 时，相同强度等级混凝土测得的声速会提高约 3%~5%，推算强度偏差可达到 10%左右。

第二，混凝土含水率。混凝土内部孔隙中的含水率对超声波声速影响显著，水的声速约为 1450m/s，远高于空气的 340m/s，因此含水率越高，混凝土整体声速越高，会导致推算强度偏高。试验数据显示，干燥状态混凝土的声速比饱和状态低约 10%~12%，对应的推算强度偏差可达到 15%以上。

第三，碳化深度。混凝土碳化是表层水泥石中的氢氧化钙与空气中二氧化碳反应生成碳酸钙的过程，碳化会提高混凝土表层硬度，导致回弹值增大，进而使推算强度偏高。当碳化深度超过 2mm 时，对回弹值的影响已经较为明显，若结构使用年限较长，碳化深度达到 5mm 以上，未修正的回弹值会使推算强度比实际强度高 10%~20%。

2. 构件自身特征因素

第一，构件尺寸与厚度。超声检测对被测构件的厚度有一定要求，当构件厚度小于 100mm 时，超声波的侧面扩散损失较大，会导致声速测量值偏低，进而使推算强度偏低。而对于大体积混凝土构件，内部温度与湿度分布不均匀，表层与内部强度存在差异，也会影响检测结果的准确性。

第二，混凝土表面平整度。回弹测试要求被测表面平整清洁，若表面存在浮浆、蜂窝、麻面或者不平整，会导致回弹仪弹击时能量损失异常，测得的回弹值偏低，最终推算强度偏低。实际工程中，部分构件拆模后表面处理不到位，检测前未进行打磨处理，会导致回弹值偏差达到 5~10 个点，强度偏差超过 15%。

3. 环境与操作因素

第一，环境温度。温度对超声波声速有显著影响，当环境温度在 5~30℃ 范围内时，温度对声速的影响较小，偏差在 2% 以内，但当温度低于 0℃ 时，混凝土内部孔隙中的水分结冰，声速会大幅提高，导致推算强度偏高 10% 以上；当温度高于 40℃ 时，混凝土内部水分蒸发，声速降低，会导致推算强度偏低。因此规范要求检测应在温度 4~40℃ 范围内进行，超出范围需要进行温度修正。

第二，操作不规范。操作不规范是导致检测结果偏差的人为因素，常见问题包括：回弹仪未定期标定，弹击角度不符合要求，测点重复布置，超声换能器耦合不良，声时测量零点修正错误等。

四、控制措施与建议

针对上述各类影响因素，在实际检测过程中可采取以下控制措施：第一，检测前充分了解工程原材料与配合比情况，对于粗骨料粒径大于 40mm 或者骨料品种特殊的情况，应优先通过钻芯法对测强曲线进行修正，避免经验公式带来的系统偏差。第二，检测前对被测构件表面进行清理打磨，存在明显不平整或浮浆的部位不得作为检测区，准确测量每个检测区的碳化深度，按照规范要求碳化修正。第三，合理布置测点，避开钢筋密集区，测点与钢筋的距离不小于 30mm，对于厚度小于 100mm 的构件，采用对测法时进行厚度修正。第四，选择合适的检测环境温度，冬季检测注意避免结冰，夏季高温检测做好温度修正，检测含水率差异较大的构件时，标注含水率状况并进行相应修正。

五、结论

超声回弹综合法检测混凝土强度的精度受原材料性质、构件特征、环境条件与操作流程等多方面因素的影响，其中骨料粒径、碳化深度、含水率、温度是影响最大的核心因素，各类因素通过改变回弹值或声速的测量结果，最终导致强度推算结果出现偏差。在实际检测过程中，只要充分认识各类因素的影响规律，严格按照规范要求做好预处理、修正与质量控制，就可以有效降低各类因素的影响，将检测误差控制在允许范围内，保障检测结果的准确性，为工程质量评定提供可靠依据。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规范: CECS 02:2005[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [2] 吴新璇. 混凝土无损检测技术手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [3] 吴佳晔, 杨永清, 杨茜. 混凝土强度无损检测影响因素分析[J]. 工程质量, 2018, 36(5): 42-46.