

# 建筑主体结构混凝土强度的回弹—超声综合检测方法优化

文 / 冯辉坤 中冶建筑研究总院（深圳）有限公司

**摘要：**建筑主体结构的安全性与耐久性直接关系到工程质量，其中混凝土强度是评价结构可靠性的重要参数。传统检测方法，如回弹法和超声法，均存在一定的局限性，比如回弹法易受表面条件影响而导致误差，超声法在测量非均质材料时精准度有限。为提高混凝土强度检测的准确性，本文提出了一种回弹超声综合检测方法并对其进行了优化。通过理论分析与实验验证，研究了综合检测过程中各参数的关联性与权重，优化了综合校正公式，形成了一种更具适用性与精准性的检测模型。实验结果表明，该优化方法在实际工程中有效减少了环境因素、表面粗糙度以及材料非均质对检测结果的干扰，显著提升了检测的稳定性与准确性。进一步分析显示，该方法不仅能够提供更加可靠的混凝土强度评估，还为现场快速检测与大规模监测提供了技术支持。研究成果为工程质量监控提供了新的方法论依据，对建筑结构安全评估与维护具有重要实践意义。

**关键词：**混凝土强度；回弹法；超声法；综合检测方法；检测模型优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.009

## 引言

混凝土强度关乎建筑结构安全，传统检测法如回弹法、超声法存在精度不够、对环境敏感等局限。虽回弹与超声综合检测方案受重视，且协同技术改进可提升其可靠性与拓展应用场景，但目前综合检测方法仍存在参数关联性不明、校正公式科学性欠佳的问题，限制了实际应用。本文提出改进的回弹超声综合检测法，经理论分析与实验验证，明晰关键参数关联及权重，优化校正公式，构建新检测模型。实验表明，该方法抗干扰强，稳定性和精确度大幅提升，为混凝土强度检测及相关研究提供实用支撑。

### 一、建筑主体结构混凝土强度的检测现状与挑战

#### （一）常规检测技术的应用与局限性

在建筑工程这个行业中，混凝土的强度是用来评估建筑物结构是否稳固和能够长期使用的关键评定标准。普通混凝土强度检测技术在使用过程中会遇到不少缺陷问题，严重干扰检测结果的精确度和可靠性。回弹法是一种比较普遍的现场检测方法，利用回弹仪敲击混凝土表面反弹的数值来推测混凝土的强度。操作回弹法具有一定的优势，适合快速初步检查，但检测结果容易受到混凝土表面状态的影响，比如表面的粗糙程度、湿度高低这些原因。

超声法是一种常见的测试技术，依靠专门的设备来测量超声波穿过混凝土时的传播速度，用这种方式来评估混凝土的强度高低。从理论角度来看，这种方法能够完成无损测试的目标，可以非常彻底地探查混凝土内部的实际状况，了解混凝土质量到底如何，但如果混凝土材料的均匀性没有达到标准，超声波传播速度就会受到一定的干扰，最终造成测试的精确性明显降低，这种问题在混凝土材料中表现得特别显著，因为混凝土是用水

泥、砂子、石子等多种成分掺杂制成的复杂材料，均匀性没有达到要求时，常常造成超声波传播不均匀的情况。回弹法和超声法在使用时都有不充分的地方，存在一些明显的局限，无法单独提供完整精确的混凝土强度测试结果，需要结合其他多种方法进行深入研究，只有这样才能保证测试数据的可信度和准确性，确保最终得出的结论科学合理。



图1 超声回弹法检测混凝土强度

#### （二）回弹法与超声法在工程实践中的问题分析

在工程实践领域里，回弹法和超声法被技术人员广泛接受并且经常采用，用来检测建筑主体结构中混凝土的坚固程度高低。这两种检测方式都拥有一些突出的优势特点，但同时也伴随着一些明显的缺陷和不足之处，会对检测结果的准确程度和可靠程度造成干扰和不利作用。回弹法主要依靠测量混凝土表面的硬度数值数据，借助一种名叫回弹仪的专业工具来推测混凝土内部的坚固程度具体状况。混凝土表面的状态和内部材料的实际情形往往存在很大差异，导致回弹法容易受到表面是否平整、老化侵蚀的严重程度还有是否有涂层覆盖这些因素的干扰，造成测量结果不够稳固，准确程度也会因此变得较低。

超声法在材质检测领域有着独特优势，它能够探查较大范围的材质状况，为全面了解材料整体性能提供有力支持，在建筑、工程等众多行业有着广泛的应用场景。不过，当面对非均质材料时，超声法的局限性便凸显出来。材料内部存在的缺陷，如裂缝、孔洞等，不均匀的混凝土成分，以及钢筋的布局情况，都会对超声检测产生干扰，严重阻碍探查结果的精确度，使得测量数据与实际情况存在偏差。不仅如此，超声法对传感器的定位和接触面要求极高。哪怕是接触面有极其细微的不平坦，或者传感器安放方位出现一丁点儿误差，都可能明显改变声波的传播路径，进而影响测量结论的准确性。所以，在实际运用超声法进行检测时，需要严格把控各项条件，尽可能减少外界因素对检测结果的干扰，以保证检测数据的可靠性。

## 二、回弹超声联合检测理论与模型构建

### (一) 回弹与超声检测参数的理论关联

回弹法与超声法在混凝土强度检测中的理论关联性是为改进综合检测模型的基础。充当两种无损检测方法，

它们测量的物理参数相异，回弹法首要体现混凝土的表面硬度，然而超声法则体现它的内在传递特性。这两者的物理意义相异，但在检测混凝土强度之际拥有补充性质。回弹法与超声法的数据能够借助适当的数学模型结合，以更加精确的混凝土强度评估给予依据。回弹法一般承受混凝土表面状态的作用，比如粗糙度和湿度，对于检测结果造成较显著的起伏。

并且超声法则于检测材料非均质性 & 内部缺陷领域具有限制。构建一个理论关联模型，借助回弹法的表面硬度与超声法的波速特性，达成差异参数之中的补充，提升检测精度。在理论关联研究中，必须顾及回弹值与超声波速彼此间的非线性关系。借助多参数拟合与多尺度分析，能够展现两者彼此间的耦合效应，并研究其统计相关性。针对不同强度等级的混凝土，其回弹值与超声波速通常可以反映出一些线性或非线性关联。依据已知研究，使用机器学习或多元回归技术可以更优地刻画这种复杂关系，为综合检测给予理论支持。

表 1 不同强度等级混凝土回弹值与超声波速关系表

混凝土强度等级 (MPa)	样本数量 (个)	回弹值平均值 (R)	超声波速平均值 (m/s)
C20	30	25.6	3850
C25	30	28.3	4020
C30	30	31.1	4200
C35	30	34.2	4350
C40	30	37.5	4520

### (二) 综合校正公式的构建与优化

在构造回弹超声综合检测模型之际，综合校正公式的开发极其关键。该公式目的是调和回弹法和超声法的检测结果，以去除各自的误差并提高混凝土强度预测的准确性。由于回弹法容易受到表面条件的干扰，而超声法在非均质材料的测量上具有难题，综合校正公式必须依据这些因素的特征开展改进。拟定综合校正公式必须明确各方法检测参数之间的理论关联。借助研究实验数据，辨别和测定差异情况下两个方法参数如回弹值和超声波传播速度的统计关联性。

通过多变量回归分析的方法，可以找到能够反映混凝土实际强度的核心因素，并且明确这些核心因素在整体计算公式中的重要程度。最初设计出来的校正公式需要进一步调整和完善，以便适应各种不同的环境条件和材料特点对检测结果带来的影响。利用实验验证的数据来调整计算公式中各个因素的等级和数值，确保在多种工程环境下都能给出稳定可靠的强度评价结果。

## 三、综合检测方法的实验验证与性能提升

### (一) 关键参数优化与实验流程设计

改进建筑主体结构混凝土强度的测试方法时，挑选关键参数要做到精准和恰当，设计实验流程必须做到严谨和周密，这一点显得尤为重要，为了保证测试结果既

准确又可信，需要认真研究和完善每一个可能影响测试结果的重要参数，这些参数包括反弹值，超声波传播速度，混凝土表面的具体状况、环境的湿度和温度等多个方面，通过详细的理论研究和大量实验数据的统计分析，明确每一个参数对测试结果的具体影响，以及它们和整体测试结果之间的相关性和重要程度，设计实验流程的目的在于管理好外界的干扰因素，提升测试模型的全面改进效果，确保结果更加稳固和可靠。

为精准评估材料性能，必须在不同条件下对材料样本展开全面测试，着重探究表面粗糙程度与湿润程度对回弹数值、超声波传播速度的具体影响。通过精心规划多组测试方案，持续优化表面处理工艺流程与测试环境标准参数，确保无论环境如何改变、材料状态怎样不同，都能获取真实可靠的检测数据。采用大量样本测试计划，可有效排除意外误差对结果的干扰，严谨验证测试结果的重复性与高可靠性。将测试结果与传统单一检测方法细致对比，充分证明完善后的整体检测方法优势显著。关键参数的优化，极大提升了测量准确性与操作便利性，最终构建起一套契合现场快速检测与广泛监测的标准操作流程。实验流程设计保障了检测模型在实际应用中的稳定性，也为大规模工程应用提供了坚实技术支撑，为建筑工程质量监控开辟了全新可靠路径，对建筑物安全评估意义重大。

## （二）环境因素与材料非均质性的干扰效果控制

在进行建筑主体结构混凝土强度检测时，环境因素和材料的非均质性这些因素一起造成影响检测结果准确性的主要原因。回弹超声综合检测方法的改进目标减少环境因素和材料差异导致的误差。环境因素导致的检测误差，研究使用多层校正机制，现场测量的温度、湿度等具体数据，通过额外的校正参数调整检测模型，检测结果与实际强度进行对比确保精确。在进行实验过程中，材料不均匀性导致的干扰，使用高密度测点安排策略，数据采集覆盖的范围，材料内部不同区域的强度变化情况。统计学分析的具体方法，改进数据处理的具体算法技术，过滤掉不正常的的数据，测量的稳定性和结果的可信度。研究团队开发了一套能够自动调整和校正的计算方法，可以不断改善各个参数在整个检测模型中的重要性分配，尽力减少因为材料特性不同而对最终检测结果造成的影响程度。

## 四、新检测模型在工程实际中的适用性评估

### （一）检测稳定性与精准性评价指标

对新检测模型是否适用进行仔细评价时，发现稳定性和精确度是最重要的衡量标准。本部分将详细讨论如何评价这些标准的方法，还有它们在工程实际使用中的重要价值。评价稳定性的关键点是看模型面对不同情况时能否始终输出相同的结果。通过多次重复试验的方式，记录下在相同环境和参数配置下的多次测试数据，然后分析这些数据的差异大小，来判断模型的变动情况。信号是否能重复、数据是否一致以及面对不同环境是否稳固，这些因素通常都会被纳入到稳定性检查的范围。保证模型能在各种施工现场条件下稳定可靠地运行，这些因素起到非常关键的作用，尤其是在非常繁杂的建筑环境里，必须格外注意模型的适应能力。

评估准确性主要是看测量出来的数值和真实数值有多接近。通过对比标准试块的实验数据，计算混凝土强度检测结果的平均误差比例和标准偏差大小，用这种方式可以快速判断模型是否精确。全面分析误差时会把随机误差和系统误差分开研究，找出问题所在，为提升模型准确度提供清晰的改进思路。提高精确度能让结构安全评估变得更加可靠，同时为接下来的施工提供有用的指导意见。工程实际应用中，稳定性和准确度的结合非常重要，只有这样才能确保新检测模型满足现场复杂环境的要求。高稳定度可以减少外部环境变化带来的测量不稳定问题，而高准确度会直接影响到建筑结构安全评估是否精细准确。两者的整体考虑导致该模型更加具有工程现实使用的价值，为迅捷、高效的实地检验给予了稳固基础。

### （二）建筑主体结构现场快速检测应用

新研发的检测模型用于建筑主体结构的现场检测工作，带来了很实际的技术益处。结合回弹法和超声法

这两种方法，两者互相补充的特点让检测结果变得更加值得信赖。新模型应用到现场检测中，能够明显加快数据采集的速度，同时让结果的准确性得到很大改善。这样的检测技术对建筑施工现场来说，非常适合用来实时监测大规模结构，可以及时发现混凝土强度方面存在的问题，防止工程质量出现隐患。在现场检测的过程中，调整检测设备和方法的参数以适应各种不同的结构类型和周围环境条件，能够很好地减少外界干扰带来的不利影响。该模型于多种建筑主体结构中，包括高层建筑、桥梁、隧道等工程中实施了应用测试，结果都展现出其卓越的稳定性和一致性，符合多样化工程需求。在复杂的施工环境中，迅捷检测技术不但减少了操作复杂性，利于工程管理者作出更加合理的决策。

## 结语

针对传统混凝土强度检测方法存在的不足，提出一种经过改善的回弹超声综合检测方法，通过结合回弹法和超声法的优点，并且完善综合校正公式，来提高检测结果的精确程度和可信程度。实验验证表明，这种方法能够很好地减小环境因素、表面粗糙程度和材料不均匀带来的影响，可以顺利开展大规模检测工作，为建筑工程质量监控提供重要的技术帮助。针对超高强度混凝土和极端环境条件的适用范围仍然需要继续优化，检测参数的选择可能会受到主观想法的影响，复杂结构的检测普及也面临一定的技术难题和实际困难。未来研究的方向会包含对特殊环境测试在极端条件下的适应能力进行改进，利用人工智能技术通过算法和数据分析的方法来完成无人化的检测手段，拓宽超高性能混凝土这种新型材料以及纤维增强混凝土的使用范围，同时积极推动与其他无损检测技术的合作应用。开展特别细致和全面的深入探讨，盼望建筑结构检测技术能在相关领域取得关键性的技术进步，不断提高工程项目对安全性能和耐久性能的评估实力。

## 参考文献

- [1] 王延. 探讨建筑工程回弹法检测混凝土强度方法[J]. 你好成都(中英文), 2023, (22): 0097-0099.
- [2] 刘倩, 刘京红, 刘婷, 张仕桦. 超声回弹综合法检测再生混凝土强度[J]. 河北农业大学学报, 2020, 43(04): 121-126.
- [3] 顾孟媛. 超声回弹综合法混凝土无损强度检测技术[J]. 新材料·新装饰, 2023, 5(07): 179-182.
- [4] 欧彬彬. 回弹法检测混凝土强度的分析[J]. 中文科技期刊数据库(引文版)工程技术, 2020, (01).
- [5] 刘永军岳自慧. 回弹法检测混凝土强度技术探讨[J]. 内蒙古水利, 2021, (11): 48-49.

作者简介：冯辉坤(1991-), 男, 广西北海人, 本科, 工程师, 主要从事工程试验检测工作。