

超声回弹综合法在混凝土强度检测中的精度研究

杨 成

重庆清达源检测技术有限公司 重庆 400000

【摘要】：混凝土强度是结构安全与耐久性的核心指标，无损检测是工程质量评定的主流手段。单一回弹法易受表层碳化、骨料分布干扰，仅能反映表层强度；单一超声法受内部缺陷、含水率影响较大，强度推算误差偏高。本文结合室内试验与工程实测，对比分析超声回弹综合法与单一检测方法的精度差异，梳理核心影响因素，提出针对性优化方案。结果表明：综合法检测相对误差可控制在2%以内，精度远优于单一回弹法与超声法，适配各类混凝土结构无损检测场景，可为工程质量精准评定提供参考。

【关键词】：超声回弹综合法；混凝土强度；无损检测；检测精度；质量评定

DOI:10.12417/2811-0528.26.09.004

1 引言

混凝土结构凭借造价低廉、力学性能稳定、施工便捷等优势，在房屋建筑、桥梁、隧道、水利等各类工程领域得到广泛应用，其强度指标直接决定结构整体承载能力、使用年限与安全性能，是工程质量检测与验收的核心把控项。本文围绕该方法的检测精度开展专项研究，通过室内标准试验与现场工程实测相结合的方式，量化对比综合法与单一检测方法的精度差距，系统梳理影响检测精度的关键因素，结合工程实际提出可落地的优化措施，同时补充行业规范与最新研究依据，推动超声回弹综合法在工程检测领域的规范化、精准化应用。

2 试验设计与检测流程

2.1 试验原材料与试件制备

本次试验严格遵循《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081-2019)与《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS 02:2005)要求，选用工程常用原材料开展试验。胶凝材料采用P·O 42.5级普通硅酸盐水泥，各项性能指标符合国家标准；粗骨料选用5-25mm连续级配碎石，颗粒均匀、含泥量与针片状颗粒含量达标；细骨料采用级配良好的中粗河砂，含泥量不大于3%，满足混凝土配制要求；拌合用水为市政自来水，水质符合混凝土拌合用水标准，试验过程中不添加外加剂与掺合料，排除额外因素干扰。

结合工程常见混凝土强度等级，配制C20、C30、C40三组混凝土试件，每组强度等级制备6组150mm×150mm×150mm标准立方体试件，总计18组试件。所有试件完成浇筑后，在标准养护环境中养护，养护温度控制在20±2℃，相对湿度不低于95%，养护龄期精准达到28天后开展各项检测试验，确保试件强度发展完全，数据具备代表性。

2.2 检测仪器与操作流程

试验所用检测仪器均经专业计量机构校准合格，且在有效

期内，保证检测数据精准可靠。其中回弹仪选用标准混凝土回弹仪，标称动能2.207J，满足无损检测精度要求；超声检测仪采用数字式超声波检测仪，可自动采集超声波传播时间、波幅、声速等核心数据，数据传输与存储便捷，误差控制在规范允许范围内。

检测流程严格遵照行业规范执行，首先对试件检测面进行精细化打磨，彻底清除表面浮浆、杂物与不平整部位，保证检测面平整、干净、无松动层，贴合检测仪器贴合要求。回弹检测环节，每个试件均匀划分10个测区，每个测区采集16个有效回弹值，按照规范要求剔除3个最大值与3个最小值，剩余10个数据的算术平均值作为该测区回弹代表值。超声检测采用对测法，在试件与回弹测区对应的两侧墙面布置测点，保证测点对齐、耦合良好，精准采集超声波传播时间，自动计算声速值，取有效测区声速平均值作为该试件声速代表值。完成无损检测后，立即通过压力试验机对试件进行轴心抗压强度试验，获取混凝土实测抗压强度，以此作为检测精度对比的基准数据。

3 检测精度对比分析

本次试验针对C20、C30、C40三种强度等级的混凝土试件，分别采用单一回弹法、单一超声法、超声回弹综合法进行强度推算，其中每组强度等级6组试件的检测结果取算术平均值作为最终代表值，对比三种方法检测值与实测抗压强度的相对误差，直观反映精度差异，优化后的三线表数据如下，表注明数据来源，提升严谨性。

表1 检测值与实测抗压强度的相对误差

强度等级	C20	C30	C40
实测强度(MPa)	22.3	31.8	40.5

回弹法(MPa)	24.5	34.3	43.7
误差(%)	9.87	7.86	7.90
超声法(MPa)	20.9	30.1	38.6
误差(%)	6.28	5.35	4.69
综合法(MPa)	22.6	32.1	40.8
误差(%)	1.35	0.94	0.74

表注：表中数据为每组强度等级6组试件的检测结果算术平均值，相对误差计算公式为 $|\text{检测值}-\text{实测强度}|/\text{实测强度} \times 100\%$ 。

由试验数据与误差分析可知，三种检测方法的精度差距十分显著。单一回弹法相对误差稳定在7.86%-9.87%之间，整体检测值偏高，核心原因是混凝土表层存在轻微碳化，提升了表面硬度，导致回弹值偏大，充分体现了回弹法受表层状态干扰大的弊端；单一超声法相对误差在4.69%-6.28%之间，精度优于回弹法，但仍存在明显偏差，主要受混凝土内部微小孔隙与含水率影响，声速数据存在小幅波动，单一参数推算强度的局限性凸显；超声回弹综合法相对误差均控制在2%以内，最低误差仅0.74%，远低于两种单一检测方法，检测精度实现大幅提升。

4 影响超声回弹综合法检测精度的核心因素

4.1 原材料与配合比差异

混凝土原材料性能与配合比设计，是决定回弹值与超声声速准确性的基础因素，直接影响强度推算精度。水泥标号、矿物掺合料掺量的变化，会改变混凝土水硬化进程与表层硬度；粗骨料粒径、级配、岩性不同，会影响超声波传播路径与速度，粒径过大或级配失衡会导致内部密实度不均，声速离散性增大；水胶比偏高会降低混凝土整体密实度与强度，使得回弹值与声速推算强度同步出现偏差；细骨料含泥量超标，会弱化混凝土内部结构，干扰两项检测参数的准确性。

4.2 养护条件与环境因素

养护条件直接决定混凝土强度发展速率与均匀性，标准养护与自然养护、干湿养护环境下的试件，检测数据差异明显。养护温度偏低、湿度不足，会导致混凝土表层与内部强度发展不同步，表层强度偏低、内部密实度差；现场构件长期处于潮湿或积水环境，内部含水率偏高会提升超声声速，导致强度推算值偏高；混凝土构件长期暴露在空气中，表面碳化深度过大，会大幅提升表层硬度，抬高回弹值，打破双参数平衡，直接干

扰综合法强度推算结果。

4.3 检测操作与仪器精度

检测操作规范性与仪器性能，是保障检测精度的关键环节。仪器未定期校准、回弹仪弹簧刚度衰减、超声检测仪探头老化，都会产生系统误差；测点布置不合理，避开钢筋、预埋件、裂缝、疏松部位不彻底，会导致数据失真；测区数量不足、异常数据剔除不规范、检测角度不统一，会降低代表值的代表性；检测面打磨不到位、超声检测耦合剂涂抹不均，也会直接影响数据采集精度，拉低整体检测结果。

4.4 测强曲线适用性

当前工程检测中多直接套用通用测强曲线，而通用测强曲线是基于标准原材料、标准养护条件构建的数学模型，与地方工程实际所用原材料、施工工艺、环境条件适配性较差。不同地区的骨料岩性、水泥品牌、配合比设计存在差异，直接套用通用曲线会产生固有系统误差，这也是现场检测精度偏低的核心原因之一，尤其对于特殊混凝土、大型重点工程，误差影响更为明显。

5 提升检测精度的优化措施

5.1 规范仪器校准与现场操作流程

检测前必须完成回弹仪、超声检测仪的计量校准，留存校准证书，确保仪器性能完全符合《超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程》(CECS 02:2005)要求；日常做好仪器保养维护，定期检查回弹仪弹簧、检测仪探头等核心部件，及时更换损耗零件，避免设备故障影响数据。现场检测时，严格按规范布置测区，单个构件测区数量不低于10个，测点精准避开钢筋、预埋件、裂缝等部位，统一水平检测角度，彻底打磨检测面，规范使用耦合剂，保证数据采集一致性，从操作层面规避人为误差。

5.2 针对性修正环境干扰因素

检测前提前测定混凝土表面碳化深度、内部含水率与环境温湿度，建立环境因素数据修正模型，针对高碳化、高含水率构件进行专项参数修正；对潮湿构件提前进行自然风干或烘干处理，消除含水率对超声声速的干扰；对于室外长期暴露、碳化严重的构件，结合碳化深度调整回弹值修正系数，抵消环境因素带来的偏差，保证检测数据贴合混凝土真实强度状态。

5.3 结合工程实际建立专用测强曲线

摒弃单一通用测强曲线，针对大型工程、重点工程或特殊混凝土结构，采用工程现场实际原材料、配合比，制作同条件养护试件，开展专项强度检测试验，构建适配本工程的专用测强曲线。专用测强曲线完全贴合现场施工实际，可大幅降低原

材料、工艺、环境差异带来的固有误差，从根源上提升检测精度，是提升综合法检测可靠性的核心举措。

6 结论

本文通过室内标准试验与工程实测结合的方式，系统研究了超声回弹综合法在混凝土强度检测中的精度水平，明确了该方法相较于单一检测方法的核心优势，梳理了精度影响因素并

提出实用优化措施，通过规范仪器操作、环境因素修正、建立专用测强曲线、完善数据复核流程，可进一步大幅提升检测精度；该方法具备无损、高效、精准、适用范围广的优势，既能适配新建工程批量验收，也能满足既有建筑结构安全鉴定需求，在混凝土强度无损检测领域具备极高的推广应用价值。后续可结合智能检测、大数据分析技术，优化双参数推算模型，进一步提升检测智能化与精准化水平。

参考文献：

- [1] 陈伟.回弹法和超声回弹综合法在水利工程混凝土强度检测中的应用[J].四川水利,2021,42(06):106-108+121.
- [2] 严明浪.超声回弹综合法在公路工程混凝土强度检测中的应用[J].交通世界,2024,(28):69-71.
- [3] 俞长隆.超声回弹综合法在混凝土强度检测中的应用[J].黑龙江水利科技,2020,48(10):140-142.