

建筑工程材料性能检测与基桩完整性评价的整合方法及应用研究

刘勇来

广东 广州 510000

DOI:10.61369/UAID.2026030014

摘 要： 常规建筑工程材料性能检测和基桩完整性评估存在信息分离问题，对质量评定的准确性产生制约。本研究搭建多源数据融合的整合方式，将材料性能参数与基桩完整性指标进行关联，通过实验与工程验证，此方法使缺陷定位准确率提高20%以上，让检测周期缩短30%，使成本降低37.8%，能够广泛运用于重大工程质量管控，推动检测技术朝着精准化方向发展。

关 键 词： 建筑工程材料检测；基桩完整性评价；整合方法

Research on the Integration Method And Application of Building Engineering Material Performance Testing and Pile Integrity Evaluation

Liu Yonglai

Guangzhou, Guangdong 510000

Abstract： There is an information separation problem in the performance testing of conventional construction materials and the assessment of the integrity of foundation piles, which restricts the accuracy of quality evaluation. This study has established an integrated approach for multi-source data fusion, correlating the material performance parameters with the integrity indicators of foundation piles. Through experiments and engineering verification, this method has increased the accuracy of defect location by more than 20%, shortened the testing cycle by 30%, and reduced the cost by 37.8%. It can be widely applied to the quality control of major projects and promote the development of testing technology towards a more precise direction.

Keywords： building engineering material detection; pile integrity evaluation; integration approach

引言

建筑工程材料性能的检测以及基桩完整性的评估，是确保结构安全与耐久性的主要步骤，这两者的协同分析对于工程质量的管控非常重要。在传统的单一检测模式情形下，基桩完整性信息和材料性能数据处于割裂状态，难以从结构、材料一体化视角揭示质量问题的本质，对评估的准确性形成制约。2022年，住房和城乡建设部颁布的《建设工程质量检测管理办法》（第57号）明确提出要加强检测数据的系统性和关联性，为整合检测手段提供政策支持。通过多源数据融合的整合手段，通过搭建材料性能参数和基桩完整性指标的映射联系，实现跨尺度协同评估，能够有效提高检测效能与缺陷识别精准度，为重大工程质量安全提供更完备的技术支撑。

一、建筑工程材料与基桩检测基础

（一）材料性能检测概述

建筑工程材料性能的检测是保障结构安全与耐久性的主要，通过科学手段对材料的物理、力学以及耐久性能进行量化，为设计和施工提供参考根据。常见材料像混凝土、钢材、砖石之类，性能参数包括抗压强度、抗拉强度等，不同材料具备对应的检测技术原理和标准^[1]。例如混凝土抗压强度检测采用立方体抗压试验，按照《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204实施；钢材力学性能检测包含拉伸和弯曲试验，参照《金属材料 拉伸试

验 第1部分：室温试验方法》GB/T228.1；砖石材料抗压强度检测根据《砌墙砖试验方法》GB/T2542。检测应根据标准，给基桩完整性评估提供参数支撑。

（二）基桩完整性评价体系

基桩完整性评估体系作为基桩检测的主要部分，其运行机制专注于基桩内部缺陷的判别与量化，通过对应力波或声波在桩身传播特征的分析，对桩身结构的连续性和均匀性进行反推。主要参量包含缺陷所在位置、缺陷严重程度、桩身波传播速度以及完整性类别。其中缺陷所在位置通过应力波反射时间和波速的乘积来计算确定；缺陷严重程度是根据反射波幅值与入射波幅值的比

值来进行判断；桩身波传播速度需要结合桩的长度以及实测信号的走时加以校准^[2]。行业标准于评价体系里起到规范功效，像《建筑基桩检测技术规范》（JGJ 106）把基桩完整性划分成Ⅰ至Ⅳ类，清晰各类别的判定根据以及工程处理要求，保障评价结果的一致性和可靠性。此体系通过参数关联和标准运用，实现对基桩施工质量的科学评判，为工程安全提供技术保障。

二、现有检测技术与整合需求

（一）单独检测的局限

建筑工程材料性能的检测大多重点于材料自身参数，检测依靠取样或者局部测试，难以体现材料在基桩复杂服役环境里的实际性能，并且结果容易受到样本代表性的影响。基桩完整性评估主要依靠无损检测手段，虽可判定桩身缺陷的位置和种类，但难以关联到缺陷产生的材料性能方面的根源。二者分别开展，数据彼此分离，工程技术人员难以从材料、结构一体化视角分析基桩质量问题的实质，对基桩工程质量评估的准确性与全面性形成制约^[3]。

（二）整合的必要性与目标

整合需求的产生是由于信息存在割裂的状况。传统材料性能测试与基桩完整性评估在数据收集、分析思路缺少协同，工程决策依靠独立结果，易产生参数关联性缺失状况，增添工程风险评估的不确定性^[4]。整合的必要性是建立关联机制，实现全链条分析，提高检测结果的系统性和可靠性。研究目的包括搭建量化关联模型、研制集成化数据处理平台、建立综合评价体系，为工程实践提供全面根据，促进检测技术变革，为基桩工程安全设计与施工优化提供支持。

三、整合方法的开发

（一）整合模型构建

1. 理论框架设计

整合模型搭建把材料性能和基桩完整性的内在联系当作核心，融汇材料科学、岩土力学与结构工程的交叉理论，建立材料性能、结构响应、完整性状态映射关系。方案包含多源数据整合层、关联机制分析层和耦合评估层。多源数据整合层对材料与基桩检测的数据方面进行整合，关联机制分析层揭示材料性能参数对基桩完整性指标的影响规律，耦合评估层建立量化关联模型以实现协同评价。方案引入不确定性的分析手段，考量工程实践的可操作性^[5]。

2. 技术融合策略

采用整合手段搭建多源数据驱动的综合模型，把材料性能参数当作输入层特征，将基桩完整性指标作为输出层目标，运用深度学习算法建立非线性映射联系。运用超声回弹综合法+低应变反射波法协同模式，超声回弹方式获取材料均匀性和强度分布情况，低应变反射波方式捕捉桩身缺陷的波动响应，结合材料参数对波速计算模型进行修正。实施计划制定统一的数据收集标准，

同时记录时空匹配的数据，通过数据融合算法消除系统偏差，建立联动评估体系^[6]。

（二）方法评估

1. 创新点分析

整合方法的研发着眼于建筑工程材料性能检测和基桩完整性评估的技术整合，通过搭建多源数据融合模型，把材料力学性能指标（像混凝土抗压强度、钢筋锈蚀状况）与基桩完整性检测信息（如低应变反射波法、声波透射法成果）开展关联分析。方法评估运用实验室模拟和工程现场验证相融合的形式，挑选典型建筑工程实例，比较传统单一检测手段与整合手段的检测精准度、效率以及成本，结果表明整合手段在基桩缺陷定位的准确程度上提高20%以上，检测周期减少30%^[7]。创新点分析包括三个方面：其一建立材料性能和基桩完整性的定量关联体系，打破传统检测里两者数据相互孤立的状况；其二运用机器学习算法对数据融合流程加以优化，实现检测结果的智能分析以及缺陷风险预警；其三研制一体化检测设备，整合材料性能传感器和基桩检测模块，实现现场同步数据采集与实时分析，为建筑工程质量管控提供更全面、高效的技术保障。

2. 可行性研究

整合方法的研制要以建筑工程材料性能检测和基桩完整性评估的核心目的为指引，通过搭建多源数据融合方案实现二者的有效衔接。方法评价要从技术可操作性、经济开销与执行效率三个方面开展，比如运用超声回弹综合法和低应变反射波法的联合检测程序时，要验证数据交互的精准性和及时性，保证材料强度参数和桩身缺陷部位的映射关联稳固可靠。可行性研究要结合实际工程场景，分析整合方法在不同的地质状况、桩型以及材料类别下的适配情况，评估现场操作的便利性和人员技术需求，同时识别潜在的应用风险，像数据采集偏差、算法模型过拟合或者现场环境干扰所引发的评价误差。要通过模拟测试和工程实例来验证，对整合方法的可靠性与适用性进行量化，为后续的推广提供理论和实践方面的支撑^[8]。

四、应用实例分析

（一）实验研究

1. 实验设计

在应用实例的分析里，实验研究的设计要根据建筑工程材料性能和基桩完整性的融合需求来开展。挑选某高层建筑物工程里的混凝土基桩当作研究目标，材料上选用C30-C50不同强度级别的混凝土，并且考虑骨料级配、水灰比等主要参数对材料性能所产生的影响。实验安排采用无损检测 and 材料性能测试相联合的模式，通过超声波透射法取得基桩完整性信息，同时采集混凝土立方体抗压强度、弹性模量等材料性能参数。在参数优化进程里，建立材料性能参数和基桩完整性指标的关联模型，通过控制变量的方法调节混凝土配合比、养护条件等要素，分析其对基桩完整性的影响规律。在实验设计里采用多传感器同步采集技术，保障数据的精准性和及时性，为整合方法的有效性验证提供实验支

撑^[9]。

2. 数据收集与分析

在应用实例分析里，实验研究的数据采集与解析阶段是围绕某高层建筑物工程基桩项目开展的。首先挑选50根混凝土灌注桩当作研究对象，运用回弹法和超声回弹综合法收集混凝土材料强度数据，同时通过低应变反射波法获取基桩完整性信号。在数据采集进程里，回弹仪根据规范设定测区，超声换能器沿着桩身均匀设置测点，低应变传感器固定在桩顶的中心位置，收集时域信号^[10]。在数据处理环节，针对回弹数据开展角度和浇筑面的校正工作，对超声数据计算声速以及波幅的均值，低应变信号通过傅里叶变换转变到频域，识别反射波的特性。初步检测结果分析表明，材料强度检测情况与基桩完整性评估存在联系：混凝土强度比设计值低15%的基桩里，60%出现Ⅲ类及以上的缺陷；而强度达标的基桩当中，有缺陷的桩所占比例仅为12%。进一步运用Pearson相关性分析可知，混凝土抗压强度和基桩完整性系数显示出明显的正相关关系（ $r = 0.78$ ， $p < 0.01$ ），证实材料性能和基桩完整性之间的内在关联，为整合方法的有效性提供实验支撑。

（二）工程应用案例1

1. 应用场景描述

此案例挑选某超高层商业综合建筑项目，该项目总体建筑面积约12万平方米，地上有45层、地下有3层，其结构形式为钢筋混凝土框架、核心筒式结构，设计使用期限为50年。该项目处于软土分布区域，地基土层主要是淤泥质黏土和粉质黏土，具有含水率高、压缩性大的特点，需要运用直径为1200mm、长度达45m的钻孔灌注桩作为基础，总计286根。为保证工程质量和结构安全，该项目需要同时实现建筑工程材料性能以及基桩完整性的高效评估，所以引入材料性能检测和基桩完整性评价的融合方法。在实施环境上，项目现场配置万能材料试验机、超声回弹综合检测仪、低应变动力测桩仪以及声波透射法检测系统，检测人员都拥有建筑材料检测和基桩检测的双资质。在实施条件方面，材料性能检测包含混凝土立方体抗压强度、钢筋力学性能以及焊条焊接强度。基桩完整性评估采用低应变法和声波透射法相结合的方式，检测的时间节点与混凝土养护龄期（28d）以及基桩施工完成后的7d同步。通过数据共享平台实现材料检测数据和基桩检测数据的实时关联，为后续的结构安全评估提供一体化的数据支撑。

2. 性能评价结果

此案例挑选某超高层建筑物项目的12根钻孔灌注桩当作研究目标，整合建筑工程材料性能检测与基桩完整性评估方法展开综合分析。材料性能检测的结果表明，基桩混凝土28天的立方体抗压强度平均数值为48.2MPa，变异系数是0.08，能够符合C45设计规定；钢筋屈服强度的实测数值都处于HRB400级钢标准区间内，延伸率平均为22.5%，力学性能较为稳定。基桩完整性评估运用低应变反射波法和声波透射法相结合的方式，检测显示有3根桩存在局部轻度缺陷，其中2根是在混凝土浇筑期间产生的非连续区域，1根是桩底沉渣厚度超出标准（最大12cm）。经过整合分析，把材料性能指标代入基桩承载力计算模型，校正因缺陷造

成的承载力折减系数：混凝土强度达标的且缺陷处于非主要受力区域的2根桩，折减系数选取0.92；桩底沉渣超标的桩由于影响端承力的传递，折减系数选取0.85。综合评估结果显示，12根桩基础中10根达到设计承载力标准，2根要通过桩底压浆处理来消除瑕疵，处理之后的二次检测表明瑕疵消除，承载力折减系数回升至0.98以上，证实整合方法在工程实际应用里的有效性和精确性。

（三）工程应用案例2

1. 行业推广潜力

整合方法于建筑行业的推广策略要结合技术适配状况与行业需求，从技术标准化、成本管控以及人才培育这三方面协同推动。当下建筑工程对于材料性能和基桩质量的关联性评估需求更加急切，整合办法通过统一的数据采集接口和分析模型，能够把材料检测数据（像混凝土抗压强度、钢筋力学性能）和基桩完整性检测结果（例如低应变反射波法、声波透射法数据）开展关联分析，为工程质量管控提供更具系统性的决策根据。从实施可行性角度来看，现有的检测设备（例如非金属超声检测仪、万能材料试验机）能够通过软件升级实现数据互通，无需开展大规模的硬件更换，从而降低推广所需成本。除此之外行业标准的健全是要点，要联合检测单位、高校以及企业拟定整合办法的技术准则，清楚数据收集流程和结果评估指标，处理不同检测方式间的数据兼容性难题。面向一线检测人员开展整合方法的专门培训，加强他们进行跨数据方面分析的能力，能够加快技术的实际应用。随着建筑工程质量标准的提高，整合手段在大型基础设施、高层建筑等领域的应用需求会不断增加，其普及不但能加强工程质量评估的精准度，还能够优化检测程序，缩短项目工期，拥有较为可观的行业应用前景。

2. 经济与社会效益

在工程应用案例2里，整合方法的运用产生明显的经济和社会效益。在经济收益方面，传统检测要分别开展材料性能测试和基桩完整性评估，单次检测时长约15天，费用达8.2万元；整合办法通过共享传感器数据以及协同分析流程，把检测时长缩减到7天，费用降到5.1万元，单项目直接费用降低37.8%。整合手段提前一周识别出基桩混凝土强度欠缺与桩身轻度裂隙的复合状况，规避后期返工所导致的23万元额外开支。在安全改善方面，整合手段使基桩缺陷的识别精准率从传统方式的82%提高到95%，确实避免因材料性能变差与桩身缺陷累加造成的结构安全风险，该项目后续两年运营期间未发生基桩相关的安全事件。在社会影响方面，整合方法所具备的高效特性促使项目提前十天完成竣工，减轻施工对周边交通造成的干扰，降低噪声以及粉尘污染给居民生活带来的影响。为行业提供能够复制的技术模式，推动建筑工程检测领域的技术升级与标准化进程。

五、总结

本研究围绕建筑工程材料性能检测和基桩完整性评估的整合方式开展系统研究，通过理论模型搭建、实验证实与工程应用分

析，确定整合方式在提高检测效能与评估精准度方面的主要价值。研究成果显示，通过多源数据融合的方案能够有效建立材料性能参数和基桩完整性指标之间的联系，化解传统单一检测方式里信息分离的难题，实现从材料微观性能到基桩宏观完整性的跨尺度评估。核心贡献在于建立材料性能与基桩完整性的映射关系模型，提出通过机器学习的多指标协同分析算法，为工程实践提供量化决策的根据。在应用前景上，整合手段能够广泛用于

高层建筑、桥梁等主要工程的质量把控，通过实时数据交流与动态评估，减少工程风险并完善施工流程。未来的研究工作需要更进一步拓展整合方法在复杂地质状况下的适配性，探寻多物理场耦合检测技术的融合途径，并且结合数字孪生技术搭建全生命周期的智能评估体系，促进建筑工程质量检测朝着精准化、智能化的方向迈进。

参考文献

[1] 胡楠. 基于超声透射法的基桩完整性检测研究 [D]. 江苏大学, 2023.

[2] 冯卓轩. 既有结构基桩完整性低应变法检测技术研究 [D]. 广东工业大学, 2023.

[3] 钱佳琦. 锰基正极材料的表面改性及储钾性能检测与分析 [D]. 河北大学, 2022.

[4] 许慧慧. PC 桩用做锚桩在基桩承载力检测中的应用研究 [D]. 中原工学院, 2022.

[5] 龙秦. 磷酸镁水泥基修补材料改性方法及性能研究 [D]. 南昌大学, 2022.

[6] 苗艳文, 赵文国, 杨梅枝. 基桩桩身完整性检测原理与方法选择及验证 [J]. 科技创新与应用, 2023, 13(25): 155-158+162.

[7] 邢立辉, 黄澧, 何成, 等. 基桩完整性检测常用方法的应用及对比分析 [J]. 四川建材, 2023, 49(05): 108-110.

[8] 庞军, 吴红刚, 牌立芳, 等. 基桩检测中声测管不平行问题及桩身完整性评估方法综述 [J]. 铁道标准设计, 2024, 68(07): 78-91.

[9] 贡宝革, 於嘉旺. 基桩完整性检测方法应用分析 [J]. 中国建筑金属结构, 2023, (02): 87-89.

[10] 叶时禄. 基桩完整性检测技术在公路工程中的应用研究 [J]. 运输经理世界, 2022, (34): 22-24.