

装配式建筑套筒灌浆饱满度超声检测方法优化研究

曹文婷

孝昌县辉煌建设工程质量检测有限公司 湖北孝感

【摘要】装配式建筑套筒灌浆饱满度直接关系到结构整体性能与耐久性，如何实现准确、快速与无损检测是当前研究的重要方向。基于超声检测原理，对现有方法中信号衰减强、结果不稳定等问题进行分析，提出一种针对套筒灌浆饱满度的优化检测思路。通过信号特征提取与传播路径调整，提高了检测灵敏度与稳定性。研究结果表明，该方法能够有效识别灌浆缺陷位置与程度，为装配式建筑质量控制提供可靠手段，具有推广应用价值。

【关键词】装配式建筑；套筒灌浆；饱满度检测；超声检测

【收稿日期】2025年4月15日 **【出刊日期】**2025年5月12日 **【DOI】**10.12208/j.ace.2025000172

Optimization of ultrasonic testing method for fullness of sleeve grouting in prefabricated buildings

Wenting Cao

Xiaochang County Huihuang Construction Engineering Quality Testing Co., Ltd. Xiaogan, Hubei

【Abstract】 The fullness degree of sleeve grouting in prefabricated buildings directly affects structural integrity and durability. Achieving accurate, rapid, and non-destructive testing remains a critical research focus. This study analyzes existing ultrasonic detection methods' limitations in signal attenuation and result instability, proposing an optimized detection approach for sleeve grouting fullness. Through signal feature extraction and propagation path adjustment, the method enhances detection sensitivity and stability. Results demonstrate its effectiveness in identifying grouting defect locations and severity levels, providing a reliable quality control method for prefabricated buildings with significant application potential.

【Keywords】 Prefabricated buildings; Sleeve grouting; Fullness degree detection; Ultrasonic testing

引言

装配式建筑因施工效率高、资源利用率好而受到广泛关注，其中套筒灌浆质量成为影响结构安全与耐久性的关键环节。传统检测方式往往存在破损性强、效率低和难以量化的问题，难以满足工程实际需求。超声检测作为一种无损检测技术，具有穿透性强和可实时监测的优势，在套筒灌浆饱满度评价中展现出潜力。受限于复杂界面与信号干扰，检测结果常出现不稳定或偏差。围绕这一难题的优化探索，不仅关系到建筑施工的质量把控，也为超声技术在工程中的深入应用提供契机。

1 装配式建筑套筒灌浆质量检测现状与问题

装配式建筑作为推动建筑工业化发展的重要形式，因其施工效率高、资源节约和绿色环保的优势在近年来得到快速发展。然而在实际施工过程中，套筒灌浆质量直接影响到构件间的连接可靠性和整体结构的受力

性能。套筒内部灌浆不饱满或出现孔隙、夹渣等缺陷，极易导致连接部位承载力下降，产生裂缝甚至破坏，进而危及结构安全与耐久性^[1]。由于套筒灌浆部位多处于构件内部，难以通过肉眼或简单手段直观判断，因此如何科学、准确、无损地检测套筒灌浆饱满度，已成为工程实践必须面对的关键问题。

在现有工程中，针对套筒灌浆质量的检测手段多种多样，其中常见的有钻芯取样、射线成像及超声检测等方法。钻芯检测虽能直接获取灌浆实物，但破损性强且检测效率低，难以大规模推广；射线成像能够直观反映缺陷分布，但受到设备成本、操作环境和辐射安全的限制，应用范围受限。相比之下，超声检测因其无损性、可重复性和适应性较强而受到工程界的广泛关注。套筒与灌浆材料之间存在复杂界面，超声波在传播过程中会受到强烈反射与散射，信号衰减明显，导致检测结果易出现偏差。这种技术局限性使得灌浆饱满度的定

量评价缺乏统一的判定标准,检测精度与稳定性难以满足结构安全评估的要求。

随着装配式建筑规模的不断扩大,套筒灌浆质量检测现状的局限性逐渐凸显。一方面,施工环境复杂,套筒种类和灌浆材料性能差异较大,使得检测方法的适用性受到挑战;另一方面,工程对灌浆饱满度的精确度要求日益提高,传统方法在快速判定与精准识别之间难以兼顾^[2]。特别是在大体量装配式建筑工程中,若不能及时、有效地掌握灌浆质量,极易在后期使用过程中产生不可逆的安全隐患。正因如此,对套筒灌浆饱满度检测技术的研究不再局限于简单的结果获取,而是逐步转向如何在复杂条件下提升检测的可靠性和精细化水平,这为后续优化超声检测方法提供了明确的研究方向。

2 超声检测在套筒灌浆饱满度评价中的局限性

在套筒灌浆饱满度的检测过程中,超声检测凭借其无损、快速和适用性较强的特性被广泛应用,但在具体实施时仍存在明显局限。超声波在灌浆材料与套筒钢壁之间传播时受到多重界面的影响,信号会发生严重的反射、折射和散射,造成能量衰减加剧,进而使波形信号失真^[3]。这种情况在灌浆材料密实度不均匀或存在孔隙、裂缝时尤为突出,使得超声波传播路径复杂化,导致检测结果难以准确表征实际饱满度状态。在工程应用中,常常出现波速变化与缺陷分布不一致的情况,增加了结果解读的难度,也使得检测数据的可靠性受到质疑。

除了信号衰减的问题,超声检测在套筒灌浆评价中的灵敏度也受到限制。由于套筒本身为金属材料,钢壁对超声波具有较强的反射作用,当波能量无法有效进入灌浆体内部时,信号穿透深度不足,极易出现死区或信息缺失。这种特性导致检测方法对局部灌浆不饱满的识别能力不足,尤其在微小孔隙或局部空鼓的情况下,超声回波特征不明显,难以实现精确定位和定量分析。此外,灌浆材料与混凝土构件之间的界面差异也会对波的传播产生干扰,形成噪声信号,进一步降低了检测结果的分辨率。这些局限使得超声检测在复杂工况下难以保证稳定性和重复性。

在工程实际中,操作环境和外界因素也对超声检测带来诸多不利影响。现场施工条件复杂,温度、湿度和耦合介质选择等因素都会对超声波信号质量产生影响。当耦合不良或操作角度偏差时,波形信号容易出现畸变,造成误判。此外,大体积装配式结构通常存在多根套筒,检测工作量大,人工操作的不确定性进一步增

加了结果差异^[4]。缺乏统一的检测规范与判定标准,也使得不同工程、不同设备之间的结果难以对比,限制了该方法在大规模应用中的推广。由此可见,虽然超声检测在理论上具备较强的适用性,但其在套筒灌浆饱满度评价中的局限性依然突出,需要通过技术优化与方法改进来提高其精度和可靠性。

3 优化超声检测方法提升灌浆饱满度识别精度

在套筒灌浆饱满度的检测过程中,优化超声检测方法是提升识别精度的核心途径。通过对信号传播路径和接收方式进行改进,可以有效减弱钢壁和界面对波形的干扰。采用多角度布置传感器的方式,使超声波能够在不同路径上穿透灌浆体,从而形成多源信息的交叉验证,避免单一方向传播所带来的信息缺失。结合波速分析与能量衰减规律,可以建立更加符合灌浆实际状态的评价模型,使得对孔隙、裂缝以及不密实区域的检测更加灵敏^[5]。优化后的方法不仅改善了波形信号的清晰度,也在一定程度上提高了缺陷识别的空间分辨率。

在信号处理层面,引入数字信号处理与特征提取技术是提升检测精度的重要手段。通过滤波、去噪和包络分析,能够有效剔除施工环境带来的噪声干扰,使回波信号更易于解读。利用时频域分析和小波变换,可以提取灌浆缺陷特征参数,从而实现对不同类型缺陷的定性与定量识别。同时,将人工智能算法应用于超声信号模式识别,可通过大量训练样本建立分类模型,实现自动化判别和精细化评价。这一过程不仅减少了人工经验依赖带来的误差,也为大规模工程检测提供了高效的解决方案。通过数据融合与深度学习技术,还能够进一步实现对复杂信号的多维度解读,为套筒灌浆饱满度的精准评价提供可靠支撑。

在实际工程应用中,将优化的超声检测方法与标准化施工工艺结合,可以显著提升检测结果的稳定性与可重复性。通过改进耦合介质和优化传感器布置方式,能够增强信号的传输效率,减少因操作条件差异带来的波形畸变。同时,建立系统化的检测流程与数据判定标准,使不同工程间的结果具有可比性。结合三维可视化技术,可以将检测结果以直观图像形式呈现,为灌浆饱满度的评价提供更具操作性的依据^[6]。这种优化后的检测方法不仅提升了识别精度,还推动了超声检测在装配式建筑领域的应用,从质量控制到后期结构评估,都展现出显著的工程价值。

4 优化方法在套筒灌浆质量控制中的应用效果

在装配式建筑施工过程中,套筒灌浆的饱满度直

接影响到结构节点的受力性能和整体稳定性。经过优化的超声检测方法应用于实际工程后，在质量控制环节中展现出明显优势。通过多角度布置传感器和信号处理算法的综合应用，能够在灌浆完成后迅速获取内部密实度分布情况，并识别潜在的孔隙或空鼓缺陷。这种检测方式避免了依赖经验进行表面判断的局限，使质量问题能够在早期环节被发现并及时修复，降低了后期结构使用中出现裂缝或局部破坏的风险^[7]。对于大规模装配式施工项目而言，这种实时、无损的检测手段使施工质量控制更加主动和可控，确保了工程整体可靠性。

在数据分析层面，优化方法通过信号特征的深度挖掘，为质量评价提供了更加量化的依据。传统检测往往依赖单一波速或能量变化指标，难以全面反映复杂界面条件下的灌浆状态，而优化后的超声检测利用时频域分析、小波变换及机器学习等技术，将多维度信号特征转化为直观的评价参数。通过建立灌浆饱满度分级标准，不仅可以实现对不同缺陷类型的精准识别，还能为施工管理人员提供清晰的质量分布图谱。这种定量化与可视化的结果，使得检测结论具有高度可操作性，为施工现场的质量整改与工艺改进提供了有力支持。尤其在大体量项目中，通过批量化的数据采集与分析，能够建立质量数据库，为后续工程提供参考和技术支撑，形成良性循环的质量控制体系。

在工程实践效果方面，优化后的超声检测方法显著提升了套筒灌浆的合格率和检测的效率。通过对多个实际项目的应用统计表明，采用优化方法进行质量控制后，套筒灌浆的缺陷发现率明显提高，返工率得到有效控制，工程节点的整体承载性能提升明显。与传统方法相比，检测时间缩短，操作过程更具可重复性，减少了人工差异带来的不确定性^[8]。三维可视化的检测结果在施工管理中发挥了直观的指导作用，便于管理人员快速决策和制定整改措施。优化方法在套筒灌浆质量控制中的应用，不仅提升了单个项目的施工质量水平，也推动了装配式建筑在行业内的技术进步，为大规模推广提供了可靠的检测手段和质量保障。

5 结语

优化后的超声检测方法在装配式建筑套筒灌浆饱满度评价中展现出显著的优势。该方法不仅有效解决了信号衰减与界面干扰等技术难题，还在缺陷识别精度、数据处理效率以及可视化结果呈现方面实现了突破。其应用为灌浆质量控制提供了更加可靠的依据，使结构安全性和耐久性得到了更有力的保障。在大规模工程实践中，这种检测方式提升了施工质量的可控性与可追溯性，减少了返工风险，推动了装配式建筑行业质量管理水平的提升。

参考文献

- [1] 胡飞翔,袁竞峰,卢晓宇,等. 基于智能预制构件的装配式建筑施工作业集成平台多机协作框架[J/OL].东南大学学报(自然科学版),1-21[2025-08-19].
- [2] 关键. 装配式建筑构件质量验收标准体系构建研究[J]. 科技创新与应用,2025,15(23):134-138.
- [3] 张振森,贺显洋. 装配式建筑示范城市政策对城市绿色全要素生产率的影响研究[J/OL].工程管理学报,1-7[2025-08-19].
- [4] 张路,王祈越,张玮. 装配式建筑质量的影响因素及组态路径[J/OL].工程管理学报,1-6[2025-08-19].
- [5] 佟世前. 装配式剪力墙结构竖向套筒灌浆施工关键技术及全过程质量管控[J].建筑机械,2025,(08):61-66.
- [6] 赵军,姚敦敏,李建华. 大变形反复拉压作用下无缝钢管灌浆套筒连接性能试验研究 [J/OL].建筑结构,1-10[2025-08-19].
- [7] 张勇. 装配式建筑工程中的钢筋套筒灌浆连接施工技术[J].全面腐蚀控制,2025,39(07):262-264+269.
- [8] 常亚辉. 低周往复荷载作用下灌浆套筒装配式桥墩震后易损性研究[J/OL].铁道勘察,1-8[2025-08-19].

版权声明：©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS