

装配式建筑节点连接质量的超声波无损检测

张雪盈 方紫琳

天津泰达人才有限公司 天津 300000

【摘要】：装配式建筑节点连接质量直接决定整体结构的承载能力与抗震性能，隐蔽节点人工排查难度较大。超声波无损检测依托声波在不同介质中的传播、反射及透射规律识别被测对象内部状态，适配此类检测场景。核心内容包括不同结构特性节点的检测方法选型、核心检测参数的校准优化、缺陷与超声波信号对应关系的梳理，同时明确标准化检测流程、量化质量判定标准，结合破坏性检测结果完成检测精度验证与误差来源分析。

【关键词】：装配式建筑节点；超声波无损检测；连接质量检测；缺陷判定

DOI:10.12417/2705-0998.26.05.060

引言

装配式建筑工业化建造模式的普及，对预制构件节点连接的可靠性提出了更高要求。节点作为衔接不同预制构件的核心结构，其连接质量直接决定建筑整体的承载能力与抗震性能，是贯穿建筑全生命周期的核心安全管控要点。当前装配式建筑节点多为隐蔽式结构，传统人工排查方式难以精准识别内部缺陷，破坏性检测不仅会损伤构件结构，也无法实现全点位覆盖，难以适配规模化工程的检测需求。围绕超声波无损检测在装配式建筑节点检测场景的应用路径展开系统研究，可为节点连接质量的高效精准评估提供可落地的技术参考，也能为相关工程检测标准的完善提供理论支撑。

1 装配式建筑节点连接与超声波无损检测的理论基础

装配式建筑节点是衔接不同预制构件的核心结构，当前常用的节点形式囊括套筒灌浆连接、浆锚搭接以及螺栓连接等类别，其连接质量直接决定整体结构的承载能力以及抗震性能，是影响装配式建筑全生命周期安全的核心要素。超声波无损检测的基本原理是依托声波在不同介质中的传播、反射以及透射规律，对被测对象的内部状态进行识别。该检测技术具备非破坏性、高精度以及实时性三类核心特性，无需对节点结构造成损伤即可完成检测工作，还能有效捕捉节点内部的细微异常状态。鉴于装配式节点多为隐蔽性结构，人工排查的难度较大，把超声波无损检测当作节点连接质量评估的技术手段，契合装配式建筑的检测场景需求，能为后续的技术参数优化以及效果验证工作提供稳定的理论支撑。

2 装配式建筑节点连接质量超声波检测的关键技术与参数优化

2.1 装配式建筑节点连接的超声波检测方法

选择针对套筒灌浆连接、浆锚搭接以及螺栓连接三类常见装配式建筑节点，首先梳理三类主流超声波检测方法的核心原理。脉冲反射法依靠声波遇介质分界面产生的回波信号识别异常，穿透法借助声波穿过被测对象后的能量衰减判断内部状

态，衍射时差法依托缺陷端点的衍射波信号完成缺陷定位。在此基础上对比三类方法的适用场景以及优缺点，脉冲反射法适宜检测浅表层缺陷，操作难度低但对内部微小缺陷的识别灵敏度不足，穿透法对内部密集型缺陷的辨识度更高但无法精准定位缺陷深度，衍射时差法的检测精度更高但对构件表面平整度的要求也更高。最终结合不同节点的结构特性确定检测方案，套筒、浆锚这类内部构造复杂的隐蔽节点选用衍射时差法搭配脉冲反射法的组合方案，螺栓连接节点优先选用穿透法，为后续参数设置提供稳定依据。

2.2 超声波检测参数的优化与校准

首先梳理影响节点缺陷识别精度的三类核心检测参数，探头频率、耦合剂类型以及检测角度。探头频率越高，声波的分辨率越强但传播过程中的衰减幅度也越大，耦合剂的声阻抗特性直接决定声波传递到被测构件的效率，检测角度的偏差会直接导致回波信号产生偏移，最终影响缺陷判定的准确性。借助对照实验开展参数变化与信号质量的关联分析，明确不同参数阈值下的信号失真概率。在此基础上提出针对不同节点类型的参数校准方案，套筒灌浆连接节点选用 2.5MHz 至 5MHz 的探头，选用凡士林作为耦合剂，检测角度控制在 0 至 15 度范围内，浆锚搭接节点适当提升探头频率，螺栓连接节点优先选用黏度更低的耦合剂，最大程度保证检测结果的准确性以及一致性。

2.3 节点连接缺陷的超声波信号特征分析

首先总结装配式建筑节点常见的四类缺陷类型，灌浆不饱满、空洞、裂缝以及钢筋错位。逐一分析各类缺陷对应的超声波信号特征，灌浆不饱满会导致首波幅值出现明显衰减，声波传播时间明显延长，空洞缺陷会产生独立的高幅值反射波，频谱上会出现明显的低频偏移特征，裂缝缺陷的衍射波信号特征明显，反射波的相位会产生反转，钢筋错位会导致声波传播路径出现偏移，首波的出现时间会产生无规律的波动。把上述缺陷与信号的对应关系进行系统整理之后，建立标准化的缺陷信号特征库，为后续的连接质量判定工作提供基础的数据支

撑,也能为一线检测人员的信号识别工作提供稳定的参考依据。

2.4 超声波检测流程的优化与现场应用注意事项

在开展装配式建筑节点连接质量的超声波检测前,需完成两项核心准备工作:一是对检测设备进行全面校准,包括探头灵敏度的调试、声波传播速度的标定,确保设备输出数据的准确性;二是结合节点的结构特点与施工图纸,确定合理的测点布置方案,通常需在节点的关键受力部位及易出现缺陷的区域(如灌浆套筒两端、钢筋连接节点处)设置足够数量的测点,以覆盖可能存在的缺陷类型。检测过程中,操作人员需注意耦合剂的选择与涂抹方式,优先选用黏度适中、声阻抗匹配度高的耦合剂,涂抹时应保证探头与构件表面的充分接触,避免因耦合不良导致信号失真;同时,探头的移动应保持匀速且轨迹连贯,避免在同一测点反复停留造成数据冗余,对于复杂节点结构可采用多角度检测方式,从不同方向发射声波以获取更全面的信号信息,当构件表面存在浮浆或锈蚀时需先进行表面清理,确保检测面平整干净防止杂质影响声波正常传播;检测后获取的原始信号需进行初步噪声过滤处理,可采用小波变换或滤波算法去除环境干扰带来的杂波,再提取信号中的关键特征参数如首波幅值、传播时间、反射波相位等,为后续缺陷识别提供清晰的信号基础;此外,检测人员需具备扎实的专业知识与丰富的现场经验,能够快速识别信号中的异常特征,并根据实际情况调整检测参数,确保检测结果的可靠性。

3 装配式建筑节点连接质量超声波检测的应用流程与效果评估

3.1 装配式建筑节点连接质量的超声波检测流程设计

先结合预制构件的出厂标识以及施工图纸,开展对应节点的定位与标记工作,再清理节点检测区域的浮浆以及污渍,把检测面的平整度调整到契合检测要求的状态,同时对选用的检测设备进行开机校验,排除设备自身故障对检测结果的干扰。检测实施环节要根据节点的结构类型规划探头的移动路径,套筒以及浆锚搭接节点要沿着套筒排布方向进行匀速扫查,螺栓连接节点要沿着螺栓的轴向以及径向两个方向开展扫查。扫查过程中要保持探头以及构件表面的贴合度稳定,同时同步完成超声波信号的采集工作,每一个检测点位的信号采集次数不低于三次,保证采集信号的有效性。后期处理环节先运用基础的滤波算法开展采集信号的降噪工作,剔除信号中的环境干扰波,再对照已经建立的缺陷信号特征库开展缺陷识别工作,同时做好对应的检测记录。整个流程的各个环节都要明确固定的操作规范,还要设置对应的质量控制要点,保证不同检测人员开展同点位检测时,所得结果的可重复性以及可靠性。

3.2 节点连接质量的超声波检测判定标准构建

结合缺陷的信号特征以及节点的结构安全要求,制定量化

的判定指标,先明确不同缺陷类型对应的大小、位置以及严重程度阈值,灌浆不饱满的判定要结合首波幅值衰减比例以及声波传播时间的延长幅度设置分级阈值,空洞以及裂缝缺陷的判定要结合反射波的幅值以及衍射波的特征设置对应的尺寸阈值,钢筋错位的判定要结合首波出现时间的波动幅度设置对应的偏移阈值。建立多维度的质量评级体系,将节点连接质量划分为合格、不合格以及需整改三个等级,缺陷的大小以及位置未超出安全阈值的节点判定为合格,缺陷已经影响节点承载能力的判定为不合格,缺陷的相关参数处于阈值临界区间的判定为需整改。基于现行的行业规范以及实际工程的应用需求,对各项判定指标以及评级规则进行调整优化,形成具备普适性的科学判定标准,标准的制定过程要兼顾检测效率以及判定精度的要求,保证其可以直接应用于一线的检测工作场景。

3.3 超声波检测在节点连接质量评估中的效果验证

借助破坏性检测的结果,开展超声波检测结果的准确性验证工作,选取同批次的节点样本,先完成超声波检测工作,再对相同点位开展钻芯取样等破坏性检测,比对两类检测方式所得的缺陷类型以及参数的匹配程度,验证超声波检测的精度。开展检测误差的来源分析工作,逐一梳理耦合效果、探头角度偏移、表面平整度不足等因素对检测结果的影响程度,针对不同的误差来源提出对应的改进措施,耦合效果不佳的要调整耦合剂的涂覆厚度,探头角度偏移的要在扫查过程中增设角度校准环节,表面平整度不足的要在前期准备环节增加打磨工序。总结超声波检测在实际工程应用中的优势以及局限性,其优势主要囊括非破坏性、检测效率高、可覆盖全部检测点位,局限性主要为对过于微小的内部缺陷识别灵敏度有限,相关结论可以为超声波检测技术在装配式建筑节点检测场景的推广应用提供稳定的参考依据。

3.4 超声波检测技术在装配式建筑节点

现场应用的操作规范与场景适配在实际工程现场开展超声波检测时,需结合节点类型与现场环境制定针对性操作流程,首先要明确检测区域的范围与重点,例如预制梁-柱节点需聚焦钢筋套筒连接部位、叠合板拼缝处需关注混凝土结合面的密实性,操作人员需提前熟悉节点设计图纸与构造细节,确保检测点位覆盖关键受力区域与易出现缺陷的部位;其次要优化现场检测的准备工作,除常规的设备校准、耦合剂选择外,还需考虑现场光照、温度等环境因素对检测过程的影响,比如在高温环境下需缩短耦合剂的涂覆与检测间隔时间,避免耦合剂过快干燥影响声波传导效果,在潮湿环境中则需对检测表面进行简单的干燥处理,防止水分干扰声波信号的准确性;此外,针对不同节点类型的检测方法需灵活调整,例如对于隐蔽性较强的节点内部缺陷,可采用多角度扫查与不同频率探头组合的方式提高缺陷识别的全面性,对于大面积的节点表面可采用网格状扫查路径确保无遗漏,同时要做好检测过程的记录工作,

包括检测时间、点位坐标、设备参数等信息，便于后续结果的追溯与分析；另外，现场检测人员需具备专业的操作技能与经验，能够根据声波信号的变化及时判断缺陷的性质与位置，遇到复杂情况时需与设计人员或结构工程师沟通确认，确保检测结果的可靠性与有效性，这些操作规范的落实能进一步提升超声波检测在装配式建筑节点质量评估中的应用价值。

4 结语

超声波无损检测在装配式建筑节点连接质量评估中的应

用，可在不损伤构件结构的前提下完成内部缺陷的精准识别，适配隐蔽性节点的检测需求。从检测方法选型、参数优化到流程搭建、标准制定的全链条梳理，可有效降低各类操作因素带来的检测误差，提升检测结果的一致性与可重复性。后续可针对微小内部缺陷识别灵敏度不足的局限性展开进一步技术优化，逐步拓宽该技术的适用场景，为装配式建筑的全生命周期安全管控提供更稳定的技术支撑。

参考文献：

- [1] 楼子豪,王克俭,牛余雷,黄翰哲,马梓煜.HTPB基浇注PBX替代材料固化度超声测量方法研究[J].化工新型材料,2025,53(03):188-191+196.
- [2] 史进.考虑灵敏度的建筑钢结构焊缝超声波检测研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(22):7-9.
- [3] 曹小龙.钢结构焊缝超声波损伤检测研究[J].中国建筑金属结构,2025,24(22):4-6.
- [4] 赵勇,杨淑欣,范成坤,时晓,戚鹏超,徐益博.超声波检测蠕墨铸铁件蠕化率影响因素浅论[J].中国铸造装备与技术,2025,60(06):128-134.
- [5] 沈辉,王广荣.海洋船舶工程建造中不等厚对接超声波探伤[J].船舶物资与市场,2025,33(11):45-48.
- [6] 虞爱平,张露,伍经纬,刘岩.基于参数偏差的半灌浆套筒力学性能试验研究[J].建筑结构,2025,55(11):62-69.