

# 超声检测在钢结构内部缺陷识别中的精度分析与优化

胡平

重庆标测检测技术有限公司 重庆 400000

**【摘要】**：超声检测是钢结构内部缺陷识别的核心技术，当前其精度受检测设备性能、钢结构自身特性及环境干扰等因素影响，存在缺陷误判、漏判等问题，易引发工程安全隐患。为提升识别精度与稳定性，本文结合钢结构典型缺陷类型及超声检测适配性，针对性采用检测参数优化、检测技术改进、检测流程规范三种策略，通过合理设定探头参数、引入多频及相控阵超声技术、规范全流程管控，有效弥补了现有检测不足。研究表明，该系列优化策略可精准适配不同类型钢结构缺陷识别需求，显著提升缺陷识别的准确性与稳定性，为钢结构工程安全运维提供可靠技术支持。

**【关键词】**：超声检测；钢结构；内部缺陷；精度优化；缺陷识别

DOI:10.12417/2811-0528.26.12.018

## 引言

钢结构凭借强度高、跨度大、施工便捷等优势，广泛应用于桥梁、厂房、起重设备等各类工程领域，其内部缺陷直接影响结构承载能力与服役安全性，缺陷识别的精准度成为工程安全管控的关键。超声检测作为无损检测领域的核心技术，因穿透性强、灵敏度高、无损伤等特点，成为钢结构内部缺陷识别的主流手段。但在实际工程应用中，受设备性能、结构特性、环境干扰及操作流程等多种因素影响，超声检测精度易出现波动，难以全面、准确识别各类复杂缺陷，制约了钢结构安全运维水平的提升。基于此，开展超声检测在钢结构内部缺陷识别中的精度分析与优化研究，对提升缺陷识别准确性、防范工程安全隐患具有重要的工程实践意义。

## 1 超声检测在钢结构内部缺陷识别中的精度现状及问题分析

### 1.1 钢结构内部典型缺陷类型及超声检测适配性

钢结构内部常见缺陷包含焊接缺陷、材质缺陷与疲劳缺陷，焊接类缺陷出现频次最高，具体涉及未焊透、未熔合、气孔、裂纹及夹渣等形式，材质缺陷多呈现为成分不均、缩孔、疏松等形态，疲劳缺陷多由微观裂纹延展形成宏观损伤。超声检测具备穿透性能优良、探测敏感度高、无人体危害等特点，可完成多数钢结构内部缺陷的判别，各类缺陷与该检测方式的匹配程度各不相同。面状缺陷在声波传播方向垂直条件下回波特征明显，可精准判定缺陷轮廓，体积型缺陷受自身形态与尺度影响易造成声波散射衰减，检测匹配度偏低，成分不均类缺陷依靠声速变动完成间接判定，检测精度易受材料自身特性波动干扰。

### 1.2 超声检测在钢结构缺陷识别中的精度影响因素

超声检测对钢结构缺陷的判定精度受多重条件共同作用，

各类因素彼此关联，直接左右缺陷辨识的精准度与可信程度。检测装置固有性能为核心影响条件，超声探头频率、晶片规格及耦合介质特性的差别，可造成声波传输效能与回波获取效果存在差异，高频探头可辨识细微缺陷却穿透能力有限，易受构件厚度制约，耦合介质适配性不足会引发声波能量耗散，致使信号弱化<sup>[1]</sup>。钢结构材质与构造特征同样作用于检测精度，不同材质声阻抗区别可改变声波传输速率，复杂节点、厚壁构件及应力集中部位易引发声波折射与散射，干扰缺陷信号判别。现场环境扰动亦会产生影响，温度变化可改变声波传输速度，环境粉尘与振动会降低探头与构件贴合效果，影响检测信号的稳定与准确。

### 1.3 超声检测精度不足引发的工程隐患及问题表征

超声检测精度不足会直接造成钢结构内部缺陷的误判、漏判，在实际工程中形成难以察觉的安全隐患。微小裂纹、未焊透、内部夹杂等缺陷因检测分辨率不足、信号衰减或界面干扰无法被准确识别，缺陷位置、尺寸、走向的判定偏差会导致结构受力状态被错误评估，关键受力部位的隐患持续存在且不断扩展<sup>[2]</sup>。在桥梁、厂房、起重设备等重载钢结构体系中，缺陷漏判会使结构在长期荷载、振动及环境侵蚀作用下发生损伤累积，局部应力集中加剧，逐步出现结构刚度下降、变形增大等问题。部分工程中因检测精度偏低导致返修不及时、补强不到位，构件在服役过程中突发开裂、失稳，不仅影响结构正常使用功能，还可能引发设备停运、结构损毁等安全事故，同时造成工程维护成本大幅增加，后期整改难度显著提升。

## 2 超声检测在钢结构内部缺陷识别中的精度优化策略

### 2.1 检测参数优化提升钢结构缺陷识别精度

检测参数的科学设定是改善钢结构内部缺陷辨识精准度

的关键步骤，应依据材料属性、构件截面尺寸及潜在缺陷形态开展适配调整。探头频率选取需平衡探测深度与分辨能力，厚壁构件可选用 2-5MHz 低频探头，保障超声信号有效穿透并降低能量损耗，防止频率偏低造成缺陷特征辨识不清，薄壁构件与细微缺陷检测可采用 5-10MHz 高频探头，强化缺陷轮廓辨识效果。探头布设角度需贴合焊缝、螺栓节点等关键区域分布特征，实施多方位扫查，规避角度偏差引发的缺陷遗漏。超声耦合介质选用与涂布厚度需规范管控，优选耦合性能优良、信号损耗较低的专用介质，涂布厚度控制在 0.5-1mm 区间，保障探头与构件表面紧密接触，降低界面反射造成的信号损失，增强缺陷辨识可靠性。

## 2.2 检测技术改进适配钢结构复杂缺陷识别

针对钢结构内部裂纹、气孔、夹渣等复杂缺陷的形态不规则、分布零散、尺寸差异大等问题，可通过多频超声检测技术改进实现精准适配，采用不同频率的超声探头组合（如图 1 所示），高频探头用于识别微小裂纹等精细缺陷，低频探头用于穿透较厚钢结构构件，捕捉深层隐藏缺陷，有效弥补单一频率探头在缺陷识别中的局限性。优化超声波传播路径设计，结合钢结构构件的截面形状、焊缝分布等结构特点，调整探头角度与检测路径，减少超声波在构件内部的反射、折射干扰，提升缺陷信号的传输效率与清晰度<sup>[3]</sup>。引入相控阵超声检测技术，通过电子控制探头阵列的声束方向与聚焦深度，实现对复杂缺陷的多角度、全方位扫描，精准捕捉缺陷的边界、尺寸及空间位置信息，同时搭配信号增强算法，过滤检测过程中的环境噪声与构件本身的杂波干扰，进一步提升复杂缺陷识别的精准度，适配不同工况下钢结构内部复杂缺陷的识别需求。

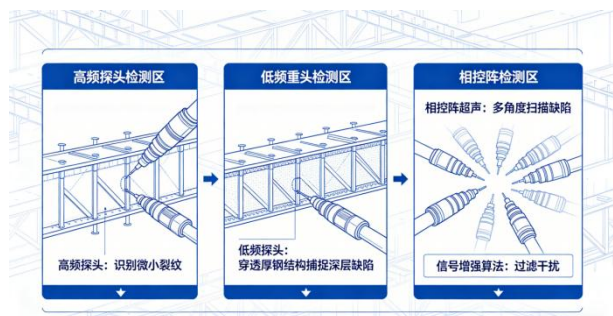


图 1 钢结构多频超声与相控阵检测技术原理示意图

## 参考文献:

- [1] 高慧,唐灿.超声检测技术在建筑钢结构焊缝无损检测中的应用[J].中国建筑金属结构,2021,(05):92-93.
- [2] 李晨,赵伟,郑刚兵.高强螺栓内部缺陷的相控阵超声检测技术研究[J].机电产品开发与创新,2025,38(01):192-195.
- [3] 于清凯,张克,张亮,等.锻件内部缺陷的超声检测能力验证设计与分析[J].物理测试,2024,42(03):54-58.

## 2.3 检测流程规范保障钢结构缺陷识别精度稳定性

检测流程的标准化与规范化是维系钢结构内部缺陷超声识别精度稳定性的核心支撑，需贯穿检测全流程各环节。检测前需对检测设备进行全面校准，严格按照设备操作规程调试探头频率、耦合剂黏度等核心参数，确保设备处于最佳工作状态，同时对钢结构检测区域进行彻底清理，去除表面锈蚀、涂层及杂物，避免干扰超声信号传输。检测过程中需严格遵循预设的检测路径，控制探头移动速度与耦合压力保持均匀一致，根据钢结构构件厚度、材质特性合理调整检测灵敏度，对疑似缺陷区域进行多方向、多角度重复扫查，避免漏检或误判。检测后需规范记录检测数据，包括缺陷位置、尺寸、反射波幅值等关键信息，建立完整的检测档案，为后续精度复核与缺陷评估提供可靠依据，通过全流程规范管控，最大限度降低人为操作与环境因素对检测精度的影响，保障识别结果的稳定性与一致性。

## 3 结语

超声检测是判别钢结构内部缺陷的关键技术，检测成效直接关系工程结构安全与使用周期，实际应用中易受设备条件、构件特征、外部环境等因素影响，出现缺陷误判漏判等情况，给工程运行带来潜在风险。结合各类干扰因素优化检测参数、革新检测方法、统一检测操作规范，可提升缺陷识别效果与可靠程度，满足多样复杂场景下钢结构缺陷判别要求。健全超声检测精度优化机制，推进技术迭代创新，可充分释放该项技术应用价值，控制工程安全隐患与后期运维投入，为钢结构工程安全稳定运行提供技术保障，助力行业检测工作向标准化、精细化方向迈进。