

# 超声波检测在钢结构焊缝质量控制中的应用

王继标 彭艳琴

文山联信建筑工程质量检测有限责任公司 云南 文山 663000

**【摘要】**：钢结构工程对焊缝质量要求严格，内部缺陷的存在直接影响结构安全与耐久性能。超声波检测凭借良好的穿透能力与分辨能力，能够实现对焊缝内部裂纹、气孔、未熔合等缺陷的有效识别。围绕焊缝质量控制需求，分析超声波检测的技术原理、操作流程及其在缺陷判定中的应用方式，探讨检测结果与质量评定之间的关系。通过规范检测参数与评定标准，可提高缺陷识别准确度，增强质量控制的科学性与可操作性，为钢结构工程安全提供可靠保障。

**【关键词】**：超声波检测；钢结构；焊缝质量控制；无损检测；缺陷识别

DOI:10.12417/2811-0528.26.07.099

## 引言

钢结构在工业厂房、高层建筑与桥梁工程中得到广泛应用，焊缝作为结构连接的关键部位，其内部质量直接关系整体受力性能。焊接过程中易产生裂纹、夹渣与未焊透等缺陷，肉眼难以识别，传统检测方式难以满足高标准质量要求。无损检测技术的引入，为焊缝内部质量评定提供了技术支撑。超声波检测因其检测深度大、灵敏度高、适应性强，在工程实践中占据重要地位。围绕焊缝质量控制要求，对该技术的应用方式与控制路径进行系统梳理，有助于提升检测结果的准确性与工程质量管理水平。

## 1 钢结构焊缝质量控制中的关键问题

钢结构焊缝质量控制涉及材料性能、焊接工艺参数及现场施工管理等多方面因素，其中焊缝内部缺陷的隐蔽性成为质量管理中的突出难点。焊接过程中受热输入不均、熔池金属流动状态不稳定以及母材与填充金属匹配度不足等影响，易产生未熔合、未焊透、气孔、夹渣及热裂纹等缺陷。这类缺陷多分布于焊缝内部或熔合线附近，外观检查难以判定，其存在会削弱焊缝截面有效承载面积，改变应力传递路径，诱发应力集中现象。在承受动载荷或交变载荷条件下，微小缺陷可能扩展为贯穿裂纹，导致结构疲劳失效。

工程实践中，部分项目存在焊接工艺评定不充分、层间清理不到位、焊接顺序安排不合理等情况，使焊缝内部质量波动较大<sup>[1]</sup>。质量控制若仅依赖外观检验与简单尺寸测量，难以反映内部连续性与致密程度，无法满足现行规范对结构安全等级的要求。尤其在厚板对接焊缝、大截面构件及重要节点部位，缺陷尺寸与位置直接影响结构极限承载力与稳定性能。因而，如何准确识别焊缝内部不连续性特征，建立与承载性能相对应的评定依据，成为钢结构焊缝质量控制亟待解决的核心问题。

## 2 超声波检测在焊缝缺陷识别中的技术路径

超声波检测在焊缝缺陷识别中的技术路径建立在声波在金属介质中传播与反射规律基础之上。检测过程中，通过换能器将电能转换为高频机械振动，使纵波或横波沿特定入射角进入焊缝区域。当声束在传播过程中遇到界面不连续或声阻抗差异明显的部位时，便产生反射、折射与散射现象，探头接收回波信号并转化为电信号，经仪器放大与处理后形成波形显示。依据回波幅度、传播时间及声程关系，可判定缺陷位置、深度及当量尺寸，从而实现焊缝内部状态的定量分析。

在具体操作环节，探头选型与检测参数设定直接影响识别精度。针对对接焊缝，多采用斜探头进行角度扫查，以保证声束覆盖熔合线及热影响区。对于厚板结构，需合理选择频率范围与晶片尺寸，使声束具有足够穿透能力与分辨能力。检测前应进行标准试块校准，通过调节声程线性、灵敏度及DAC曲线或TCG曲线，使仪器响应满足评定要求。扫查过程中保持耦合状态稳定，按照规定的平行、锯齿或扇形方式移动探头，确保焊缝全截面覆盖，避免漏检区域。

缺陷性质的判别依赖于回波特征综合分析。裂纹类缺陷通常呈现尖锐、幅度较高的反射信号，并伴有明显的方向性变化；未熔合多位于熔合线附近，回波位置相对稳定且具有一定延伸特征；气孔与夹渣则表现为分散或多峰回波形态<sup>[2]</sup>。通过改变探头入射角度与扫查方向，可观察回波动态变化情况，以区分平面型缺陷与体积型缺陷。对疑似缺陷区域进行多次重复扫查与声程换算，有助于提高判读准确度。

在工程应用层面，超声波检测常与焊接工艺控制环节紧密结合。对于重要受力节点，可在焊接完成后进行分阶段检测，对发现的超标缺陷及时采取返修措施。检测数据记录应包含声程值、当量直径及缺陷相对位置，并依据现行规范进行等级评定。对于自动化程度较高的项目，可采用相控阵超声技术，通过多晶片延时聚焦实现声束扫描与成像，提高对复杂结构焊缝

的识别能力。该技术能够在同一探头位置下实现多角度声束控制，形成二维或三维图像，便于缺陷形态分析。

质量控制过程中，还需关注检测环境与操作人员技术水平对结果的影响。表面粗糙度、温度变化及构件几何形状均可能改变声束传播路径。规范操作流程、加强人员培训、建立标准化记录体系，有助于保证检测结果的重复性与可追溯性。通过科学设置检测方案与合理运用数据分析方法，超声波检测能够在焊缝缺陷识别中发挥精准定位与可靠评定的技术优势，为钢结构焊缝质量控制提供有效技术支撑。

### 3 基于检测结果的焊缝质量评定与控制优化

基于超声波检测获取的回波数据与缺陷参数，焊缝质量评定工作需建立在规范标准与结构受力特征相结合的基础之上。检测仪器记录的声程、波幅、当量尺寸及缺陷空间位置，为缺陷等级划分提供量化依据。依据相关钢结构验收规范，对平面型缺陷与体积型缺陷分别设定允许值范围，并结合构件受力类别、结构安全等级及设计应力水平进行综合判定。对于承受动载或低温环境工作的构件，应提高评定等级要求，以控制裂纹扩展风险。通过将检测结果与构件受力分析模型进行比对，可评估缺陷对有效截面削弱程度及应力集中系数的影响，从而实现质量判定的科学化。

检测结果不仅服务于单一焊缝的合格性判别，还可为施工过程控制提供数据反馈。对同一批次焊缝的缺陷类型与分布情况进行统计分析，可识别焊接工艺参数设置中存在的偏差<sup>[3]</sup>。若未熔合缺陷集中于特定坡口形式或焊接位置，说明热输入或焊枪角度控制存在问题；若气孔比例偏高，则需对保护气体纯度、流量及焊材干燥管理进行排查。通过建立检测数据与工艺

变量之间的对应关系，能够实现焊接质量的动态调控，使质量控制从事后检验向过程预控转变。

在质量优化层面，应构建以检测数据为核心的闭环管理机制。检测记录纳入工程质量档案，形成可追溯数据库，为后续维护与结构评估提供基础资料。对经评定为超标的缺陷部位，应制定返修方案并重新检测，确认缺陷消除程度符合规范要求。针对重复出现的缺陷模式，可调整焊接顺序、层间温度控制及电流电压参数，以降低缺陷再发概率。对于重要节点部位，可实施分级检测策略，提高检测频次与覆盖率，增强风险控制能力。

在大型钢结构项目中，可借助信息化手段对检测数据进行整合分析。将超声波检测结果与 BIM 模型结合，标注缺陷位置与等级，实现三维可视化管理。通过数据对比，可评估不同施工阶段质量波动趋势，为施工组织优化提供依据。质量评定工作由单纯的缺陷判定扩展至结构性能评估与施工管理改进层面，使检测成果转化为提升整体工程质量的技术支撑。通过规范评定程序与强化数据应用，焊缝质量控制水平得以持续提升。

### 4 结语

超声波检测在钢结构焊缝质量控制体系中占据重要地位，检测数据为缺陷识别与等级评定提供了量化依据。依托规范化操作与科学评定方法，焊缝内部不连续性能够被准确定位与分析，质量控制由经验判断转向数据支撑。检测结果与工艺改进形成联动机制，有助于降低结构安全隐患，提升工程整体可靠性与耐久性。

### 参考文献：

- [1] 徐能彬.基于多频复合探头的钢结构焊缝超声波无损检测[J].中国建筑金属结构,2025,24(12):55-57.
- [2] 高峰.建筑钢结构焊缝检测中的超声波无损检测[J].城市开发,2025(4):162-164.
- [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.