

钢结构焊缝超声波检测缺陷识别与评定方法

刘 祥

新疆生产建设兵团建设工程质量检测中心有限责任公司 新疆 乌鲁木齐 830000

【摘 要】：钢结构焊缝内部缺陷会削弱节点承载连续性，超声检测要在不破坏构件的条件下完成缺陷发现、位置判定和质量评定。本文分析焊缝检测对象、扫查区域、探头参数和回波显示特征，梳理缺陷波与根部波、底波的区分关系，并提出以回波幅度、指示长度、缺陷位置和焊缝等级共同约束的评定方法。检测结论只有同时保留声束覆盖、缺陷显示和处置要求，才能为钢结构焊缝验收、复检和返修提供一致依据。

【关键词】：钢结构焊缝；超声检测；缺陷识别；质量评定；无损检测

DOI:10.12417/2811-0528.26.20.057

引言

钢结构节点依靠焊缝把板件、型钢和连接构造转化为连续受力体系，焊缝内部的未熔合、裂纹、夹渣和气孔不一定在外观检查中暴露，却可能在循环荷载、温度应力和安装偏差共同作用下成为局部破坏起点。超声检测（Ultrasonic testing, UT）利用声束在钢材中的传播和反射响应识别内部不连续，适合对中厚板对接焊缝、角焊缝过渡区和熔合线附近缺陷进行现场判定。检测质量受扫查覆盖、探头角度、耦合稳定性、回波解释和验收等级共同影响，评定方法应说明缺陷是否存在、位于何处以及对应何种处置结论。

1 钢结构焊缝超声波检测对象概况

钢结构焊缝超声波检测对象以对接焊缝、全熔透角接焊缝和承受拉弯组合应力的关键连接为主。检测前应核对母材厚度、坡口形式、焊缝余高、热影响区宽度和背面可达性，因为这些条件决定声束能否覆盖根部、熔合线和焊缝中心区域^[1]。板厚较大或背面无法直接扫查时，一次波与二次波要共同覆盖缺陷敏感区；余高过大、飞溅和表面粗糙会降低探头贴合质量，使同一缺陷在不同扫查方向上的回波幅度出现差异。检测对象概况还应包含焊缝受力等级和验收等级，一级焊缝与普通构造焊缝对可接受显示的容忍度不同，缺陷评定不能脱离构件受力位置。

2 钢结构焊缝内部缺陷超声波检测

2.1 钢结构焊缝超声波总体检测方案

总体检测方案先确定检测等级、扫查面、探头类型和记录口径。对接焊缝通常以焊缝两侧母材表面为主要扫查面，斜探头声束从一侧进入钢板后覆盖焊缝根部、坡口熔合线和焊缝金属内部；当构件边界、加劲肋或空间受限导致单侧扫查不足时，应增加反向扫查或补充直探头检测^[2]。仪器校准应完成时基、声速、折射角和灵敏度确认，试块反射体用于把显示幅度与可

比基准相连。根部区域与熔合线位于声束交会和反射路径集中位置，检测方案若忽略这些区域，后续回波识别会失去可靠空间依据。钢结构焊缝超声波扫查几何关系见图1。

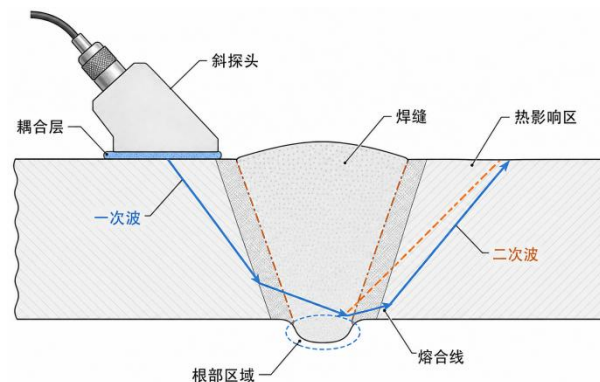


图1 钢结构焊缝超声波扫查几何示意

图1中，一次波直接指向焊缝根部区域，二次波沿板厚反射后覆盖另一侧熔合线，说明检测方案必须同时控制探头位置、入射角和扫查跨距，才能避免根部未焊透或坡口未熔合显示被漏扫。

2.2 布置焊缝扫查基准线和缺陷定位点

扫查基准线应沿焊缝中心线两侧布置，并把板厚、折射角和声程显示转换为可追溯的定位坐标。现场标记不宜只写缺陷距焊缝端部的距离，还应记录探头前沿、扫查方向、声程读数和缺陷埋深判断，避免返修开槽时偏离真实显示位置。焊缝长度较大时，可按构件编号和焊缝分段建立定位点，分段边界与构造节点、加劲肋或安装孔保持对应^[3]。对根部反射、坡口反射和几何棱角反射较多的焊缝，定位点应由两个以上扫查方向相互确认；若同一显示只在单向扫查中出现，缺陷类型应先保持待判状态，而不是直接写成裂纹或未熔合。定位标记还要与焊缝编号、构件方向和返修记录保持一致，使缺陷复查能够回到同一声束路径和同一构造位置。

2.3 配置焊缝斜探头声束入射参数

斜探头参数配置要同时满足覆盖能力和分辨能力。常用折射角可围绕 45°、60°和 70°选择, 厚板根部和坡口熔合线更依赖声束入射角与坡口面的交会关系, 薄板或余高较高部位则更关注近表面盲区和耦合稳定性。频率提高能够改善分辨率, 但钢结构现场焊缝晶粒、表面粗糙度和衰减会放大噪声, 过高频并不一定提高缺陷可信识别。灵敏度设置应在校准试块、距离波幅曲线或等效基准上完成, 现场扫查中若发现底波衰减异常、草状回波增多或耦合层断续, 应先复核表面状态和仪器设置, 再判断缺陷显示。

2.4 焊缝内部缺陷回波现场正式识别

正式识别阶段把始波、缺陷波、根部波和底波分开解释。裂纹和未熔合常表现为方向性较强的尖锐回波, 探头稍作转角或偏移时幅度变化明显; 夹渣和气孔显示可能较宽或呈多点离散, 定位时要结合指示长度和波形连续性判断。缺陷波位于始波与根部波之间并超过门限线时, 还要核对此声程位置是否与焊缝内部不连续相连; 根部波和底波虽然幅度较高, 但此声程位置与构造反射一致, 不能直接等同于缺陷。现场记录应保存最大回波幅度、出现声程、扫查方向和显示长度, 缺少这些要素的识别结论难以进入质量评定。缺陷回波与构造回波的区分关系见图 2。

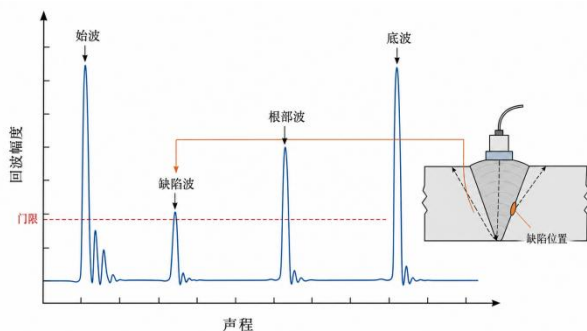


图 2 焊缝缺陷回波识别示意

图 2 中, 缺陷波处在始波与根部波之间并越过门限, 缺陷位置标记落在焊缝内部声束路径上; 根部波和底波虽然幅度更高, 却对应构造反射位置, 现场识别应把声程位置和幅度响应

共同纳入判断。

3 焊缝超声波检测结果的质量评定

3.1 焊缝缺陷回波特征定量检测结果

焊缝缺陷评定不能只写“发现异常回波”, 而要把显示幅度、指示长度、埋藏位置和扫查重复性转化为可比较的检测结果。现场记录可按回波幅度等级、声程区间、指示长度、埋深位置和复扫一致性五类信息组织, 此中指示长度以 mm 记录, 埋深位置以 mm 记录, 复扫一致性按弱、中、强三档描述^[4]。幅度较高但指示长度很短的显示, 可能来自点状气孔或几何反射; 幅度中等但沿焊缝方向连续延伸的显示, 更要关注坡口未熔合或条状夹渣。若主扫方向和复扫方向的声程差异较大, 检测结果应先回到扫查面、探头角度和耦合状态复核, 再进入质量等级评定。

3.2 焊缝缺陷质量等级综合评定

质量等级综合评定把检测结果转化为验收、复检或返修要求, 并限定同一焊缝段处置边界。回波幅度低、指示长度短、位置远离受拉主应力区的显示, 可在满足项目验收等级时记录为可接受显示; 位于熔合线、根部或受拉翼缘关键区的连续显示, 即使幅度不处于最高档, 也应提高评定关注等级。回波幅度、指示长度、缺陷位置和焊缝等级并列输入质量等级判断后, I级显示通常指向验收, II级至III级显示进入复检确认, IV级显示进入返修和评定记录。返修后不宜只复测返修槽口中心, 还应覆盖返修热影响区和两端过渡区, 防止修补过程形成新的未熔合或裂纹显示。

4 结语

钢结构焊缝超声波检测的缺陷识别与评定, 应从检测对象概况、声束覆盖条件和回波显示特征连续展开。检测前明确焊缝类型、板厚、受力等级和扫查可达性, 可以减少根部、熔合线和热影响区漏检; 检测中控制斜探头入射角、耦合状态、扫查基准线和定位点, 能够把缺陷波与根部波、底波、几何反射区分开来; 评定阶段再把回波幅度、指示长度、埋深位置、复扫一致性和焊缝等级共同纳入质量等级判断。验收、复检和返修均应对应可追溯的声程记录、定位标记和评定依据。

参考文献:

- [1] 于沛杉. 超声波检测技术在钢结构焊缝缺陷识别中的应用[J]. 中国房地产业, 2026, (6): 42-45.
- [2] 张先良. 绿色建筑钢结构焊缝超声波检测优化与验收研究[J]. 中国建筑金属结构, 2026, 25(8): 28-30.
- [3] 宋蓓蓓, 张立, 张海鑫. 钢结构焊缝超声波检测技术分析[J]. 世界家苑, 2026, (6): 37-39.
- [4] 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.