

电厂钢结构支撑架焊缝缺陷无损检测技术研究

黄汇桔

中国电建集团四川工程有限公司 四川 成都 610051

【摘要】：电厂钢结构支撑架长期处于高温交变荷载工况，焊缝易产生隐蔽缺陷，常规检测存在漏检问题。本文梳理该类焊缝检测特点与行业技术要求，研究弹性波、超声波两类无损检测实操工艺，依托厂区实测样本对比检出效果，构建分层组合检测方案，规范完整现场检测流程并配套全过程质量管控措施。整套工艺适配厂区高空粉尘作业环境，可提升焊缝缺陷识别精度，为电厂钢结构检修提供实操依据。

【关键词】：电厂钢结构；焊缝缺陷；无损检测

DOI:10.12417/2811-0528.26.19.051

引言

电厂钢结构支撑节点焊缝持续承受复合应力，高温积灰环境加剧内部微缺陷生成，单一检测技术无法兼顾筛查效率与定量精度，存在安全管控短板。现有检测工艺缺少贴合电厂现场工况的标准化操作体系。本文以钢支架焊缝无损检测为研究对象，对比两类核心检测技术，搭建标准化作业流程与质量保障机制，为厂区钢结构安全运维提供可行技术方案。

1 电厂钢支架焊缝检测特点与技术要求

高温烟气、水汽侵蚀与交变荷载的叠加作用构成电厂钢结构支撑架的核心服役环境，支撑节点焊缝持续承受拉剪复合应力作用，结构表面极易附着煤灰锈蚀堆积层。高空狭窄的作业空间对检测工作形成多重限制，设备支架母材普遍采用低合金高强度钢材质，结构内部易产生未焊透、夹渣、微裂纹等隐蔽缺陷，常规表面检测方式无法穿透构件表层识别深层内部损伤^[1]。电力行业设备检修规范对该类焊缝无损检测工作设定专属标准，检测设备需具备耐高温、抗电磁干扰的基础性能，检测灵敏度需满足毫米级微小缺陷识别需求。结构承载等级可作为缺陷分级判定的核心依据，能够有效区分对结构承载力无影响的轻微瑕疵，以及可能引发结构断裂失效的危险性缺陷。现场检测工作需同步留存环境参数与母材焊接工艺相关数据，支撑后续缺陷定量评定工作开展，形成适配电厂钢支架焊缝的专属检测约束标准，为弹性波与超声波检测技术的现场落地应用划定执行规范。

2 钢支架焊缝无损检测核心技术

2.1 弹性波法焊缝缺陷检测技术

弹性波法依托介质力学传导特性的差异化特征，完成电厂钢支架焊缝内部缺陷的识别判定。检测作业选取中心频率25kHz压电式激发传感器与同规格接收传感器，参照DL/T 820-2014标准打磨焊缝两侧母材表层，彻底清理厚度超

0.12mm的锈蚀、煤灰覆盖层，保障传感器与钢材表面充分耦合贴合。传感器沿焊缝纵向每50mm完成一组收发布设，人工敲击激励生成的弹性波可在完整母材内部匀速传播，标准波速稳定保持5820m/s。夹渣、未焊透、裂纹等内部缺陷会改变弹性波原有传播路径，引发波形反射与散射现象，接收端采集的时域波形会出现幅值衰减、传播延时等异常特征。同步采集三组平行波形数据，可削弱厂区电磁环境带来的检测干扰，波形偏移量可用于测算缺陷埋藏深度，单段焊缝检测作业可控制在12min内。原始波形数据储存后可导入专用解析软件，精准勾勒缺陷实际分布范围，无需大面积打磨处理焊缝余高，适配电厂高空狭小支架节点的快速初筛作业场景。

2.2 超声波法焊缝缺陷检测技术

超声波法是实现钢支架焊缝缺陷精准定量检测的核心技术手段，检测作业参照GB/T 11345-2013规范选用2.5MHz斜探头，支架母材20至40mm的厚度区间可对应调整探头折射角度。CSK-IA标准试块可完成设备声速、零点偏移、灵敏度三项核心参数校准，焊缝两侧均匀涂刷工业耦合剂后，探头沿焊缝长度方向以150mm/min的恒定速度锯齿扫查^[2]。设备屏幕出现稳定连续的反射波峰可判定缺陷位置，声程读数能够换算缺陷水平距离、埋藏深度及延伸长度。厚度32mm的承重支架主焊缝可实现1mm微小内部裂纹识别，不同波形特征可区分气孔、夹渣、未熔合三类常见焊缝缺陷。可疑检测区域需完成四次重复扫查并记录峰值数据，精准标记缺陷在焊缝横截面的分布位置，弥补弹性波法无法精准量化缺陷尺寸的技术短板，多用于弹性波初筛后高危焊缝的深度复核与精准评定。

2.3 焊缝无损检测技术对比验证与辅助补充手段

弹性波与超声波检测数据的横向对比分析依托厂区12组同规格支架焊缝检测样本开展，厂区2024年度钢结构检修检测台账数据显示，弹性波法缺陷检出覆盖率可达86%，超声波法缺陷检出覆盖率可达99%。两类技术可构建层级化搭配检测

体系,大范围支架焊缝初筛工作由弹性波法完成,初筛标记的高危检测点位依靠超声波设备实现精准定量检测。检测数据差值超出 0.8mm 时可引入磁粉检测完成辅助核验,黑色磁悬液可精准识别焊缝表面开口裂纹,规避深部缺陷与表面损伤判定数据出现偏差。缺陷判定台账可同步收录两类检测技术的波形图谱、尺寸参数、现场工况等核心信息,高温、高空、多粉尘厂区环境下的检测误差可通过数据对比分析明确成因,传感器布设间距、探头扫查速度等实操参数可结合分析结果优化调整,最终形成的组合检测工艺适配电厂钢结构支撑架焊缝检测工况,平衡现场作业效率与缺陷评定精度,解决单一检测技术存在的漏检、误判问题。

3 电厂钢支架焊缝无损检测实施流程与质量保障

3.1 焊缝检测实施流程

支架焊缝检测作业正式开展前,工作人员完整调取设备原始图纸、焊接工艺卡与年度荷载监测记录,逐项核对母材厚度、焊缝坡口形式、设备设计承载等级等核心基础参数,同时对焊缝两侧检测区域进行表层处理,彻底清理厚度超 0.1 mm 的积灰、锈蚀覆盖层,保证传感器与钢材耦合效果,针对高空作业区域搭设承重 2 kN 的专用高空作业平台,划分独立安全操作区间,规避高空坠物、人员失稳风险,预留足够操作空间完成探头往复扫查。现场检测优先依托弹性波设备完成整段支架焊缝全域初筛,全程记录波形变化并清晰标记波形异常点位,完成初筛后切换超声波设备对全部可疑区域开展往复精细化扫查,每一处标记点位留存不少于 4 组原始波形数据,降低单次采集带来的数据误差。全部现场检测作业完成后,波形文件导入专用解析软件完成缺陷深度、长度的精准测算,对照 DL/T 820-2014 分级标准界定损伤危险等级。现场环境温度、空气粉尘浓度等工况数据同步记录,各类检测影像、数值资料整合汇总后编制标准化检测报告,明确标注各处缺陷坐标、尺寸及安全评定结论,最终归档交付电厂设备运维部门留存。见图 1



图 1 电厂钢支架焊缝无损检测作业流程图

3.2 焊缝无损检测全过程质量保障措施

检测设备探头、传感器每 72 小时依托标准试块完成校准作业,校准偏差严格控制在 0.5mm 范围内,全部校准数据录入电厂 2025 年无损检测仪器管理台账。现场作业落实双人复核作业模式,初检完成后所有高危焊缝需由持有二级无损检测资质的技术人员完成二次扫查,复检覆盖比例不低于 30%。高温作业环境下设备连续运行 40 分钟需暂停作业 10 分钟,规避高温环境引发的探头灵敏度衰减问题,耐高温耦合剂的选用可避免高温挥发导致的耦合效果下降。每日作业收尾阶段统一整理全部原始波形数据,逐项核对设备参数、环境记录、缺陷标注等信息,消除人工操作、设备运行波动引发的数据误差。检测人员结合厂区支架历年缺陷典型案例开展常态化实操复盘,持续优化扫查速度、传感器布设间距等实操参数,持续提升焊缝缺陷检出与定量评定精准度^[3]。

4 结语

本文结合电厂特殊厂区条件,明确钢支架焊缝检测技术标准,建立弹性波粗筛搭配超声波精检的组合检测模式,完善从前期准备到报告归档的完整作业流程,配套仪器校准、双人复检等质控手段。实测数据表明组合检测可大幅降低误检漏检概率,适配高空高温作业场景,后续可扩充试验样本,持续优化检测参数提升缺陷评定准确度。

参考文献:

- [1] 魏璟.钢结构焊缝缺陷无损检测技术应用[J].住宅与房地产,2025(23):110-112.
- [2] 陈玲珠,吴小立,李向民,肖顺,石昊.钢结构错边焊缝内部缺陷检测试验研究[J].施工技术(中英文),2025,54(21):37-4178.
- [3] 尚帅.建筑钢结构焊缝无损检测系统设计[J].建材技术与应用,2025(4):107-110.