

析加深理解；每季度组织一次应急演练，模拟设备故障、人员上线作业违规等场景，提升应急处置能力。

3.2.3 强化培训考核与应用

每月或隔月组织业务知识考试，考试结果与绩效工资、评优评先直接挂钩。建立培训档案，记录人员培训情况和考核成绩，作为晋升、转岗的重要依据。通过以考促学、以训提能，推动驻所联络员熟练掌握规章要求、设备知识和作业技能，提升业务履职水平^[2]。

3.3 健全监管机制，规范作业行为

3.3.1 优化考勤管理方式

采用“面部识别+现场抽查”的考勤模式，依托集团公司门岗已有的面部识别系统，记录驻所联络员上下班打卡情况，所属部门逐月调取数据作为考勤依据；调度所每日开展两次现场抽查，核实在岗状态，杜绝代签、脱岗等问题。考勤结果与个人收入直接挂钩，迟到早退、无故缺勤者按规定扣减绩效工资。

实施考勤管理“三原则”：一是一视同仁，不论所属单位和部门，均由指定部门统一记录考勤，不搞特殊化；二是严格落实，将考勤制度细化到每月、每人、每个岗位，避免制度“挂在墙上、流于形式”；三是赏罚分明，在考勤管理基础上建立配套奖惩机制，强化制度约束力。

3.3.2 加强作业过程监管

建立运统-46登销记复核机制，驻所联络员完成登记后，由调度员进行初步复核，重点检查内容完整性、准确性和规范性，发现错误及时要求更正；每日作业结束后，调度所指定专人进行二次复核，确保台账记录无遗漏、无错误。

在驻所联络员固定工作区域安装监控摄像头，实时监控工作状态，重点防范工作期间饮酒等与工作无关的行为，监控数据保存3个月，便于后续检查和责任追溯。定期开展专项检查和不定期暗访，及时发现和纠正违规作业行为。

3.3.3 明确管理责任主体

成立由调度所牵头，各设备管理单位、安全监察部门参与的联合管理小组，明确各方职责：调度所负责日常作业指导、现场监督和业务考核；设备管理单位负责人员招聘、薪酬发放和职称晋升；安全监察部门负责安全监督和违规查处。定期召开联合管理会议，通报管理情况，解决突出问题，形成管理合力。

3.4 完善奖惩制度，强化激励约束

3.4.1 建立多元化激励机制

设立“优秀驻所联络员”“业务标兵”“应急处置先进个人”等荣誉称号，对获奖人员给予奖金奖励，并在薪酬调整、晋升中予以倾斜；将业务考核结果与绩效工资直接挂钩，考核优秀者绩效工资上浮20%-30%。

加强精神激励和人文关怀，对表现突出的人员在集团公司内部通报表扬，颁发荣誉证书；建立谈心谈话制度，定期了解人员工作困难和思想动态，帮助解决实际问题；改善工作和生活条件，配备必要的休息设施和办公用品，每年

组织一次健康体检和团建活动，增强职业认同感和队伍凝聚力。

3.4.2 强化违规约束与处罚

加大对违规违纪行为的处罚力度：对考勤违规、登销记错误等一般违规行为，予以通报批评、扣减绩效工资，并强制参加专项培训；对工作期间饮酒、擅离职守等严重违规行为，予以记过处分、绩效降级；对引发安全责任事故的，依法依规追究相关责任，直至取消驻所联络员资格、解除劳动合同。

调度所会同相关业务部门，按月、按工种统计驻所联络员的作业情况和考勤情况，对存在明显错误和不良影响的，签发安全问题责任通知书，明确奖惩措施，由所在单位严格执行，确保制度落地见效^[3]。

3.5 推进信息化建设，提升管理效能

3.5.1 升级电子登销记系统

不断升级电子登销记系统，全面替代传统手工登记，不断推进使用语音转化文字登销记方式，使登销记过程更加迅速、便捷、准确，系统内置运统-46填记模板和规范用语，自动提示必填项，对错误信息实时预警；支持数据自动校验和作业过程追溯，保存登记记录和修改痕迹，便于后续检查和责任认定，减少填写错误，提升作业效率。

3.5.2 搭建信息化管理平台

开发集考勤管理、培训学习、作业登记、考核奖惩等功能于一体的管理平台，实现信息共享和实时监控。考勤管理模块对接面部识别系统，自动生成考勤报表；培训学习模块提供线上课程和考试题库，支持在线学习和考核；考核奖惩模块记录人员作业表现和奖惩情况，生成个人考核档案，为管理决策提供数据支撑。

4 结语

高速铁路驻所联络员是保障高铁安全高效运营的重要力量，其日常管理水平直接关系到铁路运输安全和效率。当前驻所联络员管理存在人员结构失衡、业务能力不足、监管机制松散、奖惩制度不完善等突出问题，需通过系统性优化加以解决。随着高速铁路的持续发展和技术装备的不断升级，驻所联络员的工作内容和要求将不断变化，管理工作也需动态调整和持续优化。未来，应建立管理效果评估机制，定期总结经验、发现问题，不断完善管理制度和措施，持续提升驻所联络员管理水平，为我国高速铁路高质量发展筑牢安全防线。

参考文献

- [1] 张贵忠,施威. 面向全生命周期的高速铁路桥梁精细化建造技术[J].中国铁路,2025,(11):28-36.
- [2] 张彦景,邢建华. 铁路机务运用中的人员培训与安全意识提升[J].运输经理世界,2024,(08):160-162.
- [3] 江家梁. 铁路工作人员上道安全管理系统研究[D].北京交通大学,2023.

Influence of Process Parameters on Welding Quality of Rail Flash Welding and Its Optimization

Dong Huang

Datong Track Maintenance Section, Datong Railway Co., Ltd., Datong, Shanxi, 037005, China

Abstract

As the preferred method for seamless track connections, rail flash butt welding is governed by the coordinated effects of multiple process parameters. This study synthesizes relevant field operation guidelines, domestic and international research findings, and industry standards to systematically analyze critical parameters influencing the mechanical properties and microstructure of welded joints. The paper further elucidates the mechanisms by which rail flash butt welding parameters affect welding quality, and proposes actionable optimization strategies for practical implementation.

Keywords

Rail; Flash welding; Process parameters; Welding quality; Influence; Optimization

铁路钢轨闪光焊工艺参数对焊接质量的影响及其优化

黄栋

大秦铁路股份有限公司大同工务段, 中国·山西 大同 037005

摘要

钢轨闪光对接焊作为无缝线路现场连接的首选方法, 其焊接质量受多类工艺参数协同作用制约。本文在吸纳相关现场作业指导细则的基础上, 结合国内外研究与行业标准, 对影响焊接接头力学性能与金相组织的关键参数进行归纳与分析, 现就铁路钢轨闪光焊工艺参数对焊接质量影响的作用机理展开剖析, 随后提出可落地实施的参数优化方案, 以供参考。

关键词

铁路钢轨; 闪光焊; 工艺参数; 焊接质量; 影响; 优化

1 引言

闪光对接焊为一种以电阻—挤压结合形式实现长输铁路焊接的现场对接技术, 其工艺核心为在控制间隙与夹持条件下以交替放电与轴向挤压力促使轨端金属熔融并形成冶金结合。该法在轨道施工中具有自动化高、焊口冶金结合好、生产节拍短等工程优势, 因此被广泛用于无缝线路的在线焊接与长期维护^[1]。中国轨道施工依托移动箱式焊装置, 实施对轨定位、端面平整、除锈与搭接量预置、空载参数确认、放电期与顶锻期节律控制以及焊后感应正火和精磨等工序链, 形成一套现场可执行的作业流程。

2 铁路钢轨闪光焊工艺参数对焊接质量的影响

2.1 电能输入节律与放电—顶锻时序对熔敛与组织的影响

闪光焊过程中电能输入以放电(闪光)阶段与顶锻阶

段交替实现, 放电阶段以瞬时电流使接触界面产生局部熔敛, 顶锻阶段以轴向挤压力破除氧化物与夹渣并完成金属冶金结合。这一节律决定了熔池形成速率、熔敛深度与熔合区温度场演化, 从而直接影响焊缝冶金连续性与焊缝中心线的组织演变。过度或不足的放电能量会导致两类典型缺陷: 能量过大时, 熔敛过深与局部过热引起热影响区晶粒长大、奥氏体化区宽化及潜在回火脆化; 能量不足时, 未能有效形成连续熔敛面, 易致未焊透、夹渣残留或沿熔合线分布的氧化物夹杂。顶锻动作的力学幅度与频率则影响熔渣挤出效率及界面间金属流动形态, 不当的顶锻节律会导致剩余熔渣滞留、局部密实度不足或焊缝断面不规则。电能节律与顶锻配合还决定热影响区(HAZ)的最大温度与冷却梯度, 从而影响焊缝与母材的显微硬度分布与力学性能一致性。因此, 放电电流曲线、放电时长、顶锻起始时机与挤压力幅度构成了决定焊接金相与力学指标的首要工艺变量。

2.2 焊接热输入与顶锻量对接头金相场与硬度梯度的影响

焊接热输入决定焊态区及热影响区的能量累积程度, 热输入过高会显著拓展热影响区宽度并因冷却速率变化造

【作者简介】黄栋(1981—), 男, 中国天津人, 本科, 助理工程师, 从事钢轨焊接研究。

成回火带与淬火带的不均匀分布,从而在纵断面上形成宽而缓的硬度曲线,可能降低接头韧性并增大裂纹敏感性;相反,热输入过低会使焊缝熔化不足或内部未焊透,导致夹杂、气孔及结合面缺陷。顶锻量作为固态成形与金属流动的直接驱动,既可消除部分熔渣与夹杂物并细化晶粒,又可能在顶锻过猛时引入过度塑性流动使焊缝组织粗化或产生局部冷裂纹^[2]。实验与工程观测表明,随着顶锻量的增加,硬度差异先增大后趋于平缓,而热影响区宽度总体呈减小趋势,这提示在保证熔敷与致密化的前提下,需要对热输入与顶锻量实现协同匹配以获得均匀硬度场与满足力学性能的接头。

2.3 感应正火温度与喷风冷却曲线对显微组织与表层硬度的影响

感应正火的加热峰值温度与喷风触发时机、喷风强度及终止温度共同决定焊缝与热影响区相变路径。若峰值加热至 880~920°C 但喷风冷却过猛或终冷温度控制不当,局部冷速可能超过贝氏体/马氏体转变临界值,形成高硬马氏体层,从而导致表层硬度异常升高并降低接头冲击韧性;反之,喷风不足或正火温度过低会使回火不充分,维持过软的珠光体股。现场箱式焊工序中,要求轨头加热最高温度控制与喷风前踏面最低温度的配合以避免过烧或欠回火,实际作业中通过手持红外测温与定时喷风工艺来控制温度曲线,从而控制显微组织相成分与纵向硬度剖面。工艺稳定性直接影响后续探伤判定与服役性能。

2.4 端面几何、搭接量与拨弯控制对焊后变形与残余应力的影响

接头端面斜度、端面平整度与尖点尺寸决定初始熔敷与成形的接触一致性,若端面斜度超标或搭接量(ΔLd)计算不当,会导致顶锻后表面偏置、轨头工作侧错边或轨顶中段上拱,从而形成不利的局部应力集中与外形缺陷。拨弯与搭接量还直接关系到焊接前后的锁定轨温拉伸量与起拱引起的长度增量,不当的拨弯控制在顶锻与冷却过程中易产生回弹与残余应力梯度,进而影响探伤结果与长期疲劳裂纹增长。现场通过严格测量端面斜度($\leq 0.6\text{mm}$)和按公式计算拨弯量,并配合轨距杆与垫块布置来控制焊前几何状态,这些做法对降低焊后修磨量与探伤不合格率具有直接作用^[3]。

3 铁路钢轨闪光焊工艺参数对焊接质量影响的优化

3.1 电能节律与顶锻时序的程序化控制与闭环校正

为确保放电—顶锻节律对熔敛形貌与热影响区组织的可重复性,应在箱式焊作业中建立细化的工艺档案与核查流程,依据不同牌号钢轨及环境温度条件,制定放电电流、放电时长与放电次数的标定表,要求现场焊工在焊前逐项核对并记录,以减少凭经验调整的随意性。其次,对顶锻工序实施力一位移同步监测,现场在顶锻机构上布置荷重传感器与位移测杆以获得挤压力波形与轴向位移曲线,操作人员据

此判定顶锻起始、峰值与回程是否满足工艺窗,若出现峰值偏移或行程不足应暂停并按规程复位后重焊,同时对传感器每班校验并保留校验记录,且应规定顶锻峰值与行程的容许上下限以便快速判定。第三,在放电与顶锻之间采用温度与接触电阻的直接量测作为闭环依据,建议在轨端侧布置热电偶并采集接触电阻读数,由现场读值指导后续顶锻时机及第二阶段能量投放的人工微调,以把握熔敛深度与熔渣挤出效率,设备热偶位置与电阻取样点应在作业指导书中列明并定期复核,读数若连续偏离设定窗应按程序回溯原因并停工检修。第四,施工现场必须建立详尽的焊口工艺档案制度,按焊口记录放电参数、顶锻力位、热电偶温度曲线与探伤结果,并通过班组交接与周期性统计将探伤缺陷类型与过程参数关联,以实现参数修正并建立定期回顾机制,由工程师与班组每月汇总解析参数与探伤不合格案例,形成改进措施并更新作业指导书,此外应保存代表性焊口的金相与硬度试样以便开展实验室对比分析。整个过程要求将箱式焊现场操作要点写入交接清单并作为日常培训内容,确保焊工熟悉放电—顶锻节律判定方法与异常处理流程。

3.2 针对热输入与顶锻量的优化

为确保焊缝致密与热影响区可控,铁路钢轨闪光焊工艺参数中须针对热输入与顶锻量予以优化,具体为:首先需建立以钢轨材质与环境温度分级的能量区间并将其转化为可执行的作业参数库,参数项包括能量积分、放电持续时长与顶锻位移三项,所有参数应以表格形式固化并在班前交底。第一,正交试验设计与参数标定。选取代表性轨材与三档环境温度作为试验因子,采用正交布置并以超声探伤缺陷率、纵向硬度剖面与金相晶粒尺寸为响应指标,逐步缩减因子空间直至找到能量—顶锻配对的稳态窗,该窗即用于现场初始投用,试验过程须记录焊接曲线与顶锻触发时刻以便回溯验证。第二,现场 A/B 对照验证。在同一轨段内并行施焊两套参数方案,分别统计当天探伤合格率、返工次数与精磨量,比较结果应用非参数检验以确认统计学显著性,若优化组显示持续优势则逐步放大应用范围并修正参数库。第三,关键判定指标与停焊规则。将峰值电流、能量积分与顶锻前后能量变化率定义为三项关键判定指标,并为每项设定上下限阈值;当任一指标超限应立即停止后续焊接并进行端面复核与局部重焊,判定流程以书面记录为准并纳入焊缝档案^[4]。第四,迭代更新与物证留存。建立参数—质量数据库,按季度汇总试验与现场数据,采用回归分析修正参数窗;所有焊缝应留存焊接曲线、温度记录与探伤报告,必要时进行硬度剖面与断口力学试验以补充数据库,逐步将优化成果固化为班组操作规程。

3.3 针对感应正火温度与喷风曲线的工艺闭环控制

为在箱式焊现场实现感应正火与喷风的可复现控制,提出四项工程化细则以供班组执行与管理。第一,温度曲线模板与测点布设:依据钢轨牌号与环境温度编制三段式曲