

# 铁路钢轨气压焊接质量控制方法探讨

李胜文

国能朔黄铁路发展有限责任公司原平分公司 山西 忻州 034000

**摘要:** 铁路钢轨焊接质量关乎铁路运输安全稳定。本文首先介绍了钢轨气压焊接原理与特点,此工艺具有接头强度高、变形小、效率高、适应性强等优势。接着分析影响其质量的关键因素,涵盖钢轨材质与端面状况、焊接工艺参数、焊接环境及操作人员技能水平。最后从焊接前准备、过程管控、焊后检测处理以及质量管理体系建立等方面,提出针对性质量控制方法,以提升焊接质量,满足铁路运输高标准,保障线路安全稳定运行。

**关键词:** 铁路焊接钢轨; 气压焊接; 质量控制方法

引言: 铁路钢轨焊接质量关乎铁路运输安全与稳定。钢轨气压焊接凭借接头强度高、耐磨性高、变形小等优势,在无缝线路钢轨焊接中广泛应用。但受钢轨材质、焊接工艺参数、气体质量、环境温度变化及操作人员技能等多因素影响,其焊接质量存在波动,易产生气压焊缺陷。为有效控制钢轨气压焊接质量,满足铁路运输对钢轨焊接的高要求,本文深入探讨钢轨气压焊接原理特点,分析影响质量的关键因素,并提出涵盖焊接前、中、后及质量管理体系等多方面的质量控制方法。

## 1 铁路钢轨气压焊接技术概述

铁路钢轨气压焊接技术是利用气体火焰热量把待焊钢轨端面加热至塑性状态,施加顶锻力使金属原子扩散再结晶实现连接的方法,基本过程有火焰加热、顶锻、保压冷却三个阶段。该技术有诸多优势,接头强度与母材相近,能满足铁路运行要求;焊接变形小,有利于保持钢轨几何尺寸和线路平顺性;适用范围广,可焊接不同材质、规格钢轨。设备简单,便于现场操作<sup>[1]</sup>。其工艺流程包含钢轨端面处理、安装加热器、点火加热、顶锻、保压冷却等步骤。钢轨端面处理要清除氧化皮、油污等杂质,保证平整清洁;安装加热器要确保火焰均匀覆盖且位置准确;点火加热需依据钢轨材质和规格控制温度与时间,让端面达到合适塑性状态;顶锻环节要在加热后迅速施加足够顶锻力,精确控制顶锻力大小和时间;保压冷却阶段要在顶锻后保持压力至接头冷却至室温,防止产生缺陷。整个流程各步骤操作要求和技术参数严格,须按规范执行,任一环节出问题都可能影响焊接质量,进而影响铁路运行安全和钢轨使用寿命,操作人员须具备专业技能和丰富经验,掌握技术原理和流程。

## 2 影响钢轨气压焊接质量的关键因素

### 2.1 钢轨材质与钢轨表面质量状况

其一钢轨材质不同,不同牌号钢轨的碳含量及合金

元素含量不同,导致焊接性存在显著差异,高碳钢轨因碳含量高,在焊接时需严格控制加热温度,若温度过高会出现过热,导致晶粒粗大(粗晶组织),引发脆化现象,降低焊接接头性能;合金钢轨因含有多种合金元素,其焊接冷裂纹敏感性较高,需优化预热工艺,通过合理预热降低焊接应力,防止冷裂纹产生。其二是钢轨表面质量,钢轨端面存在的油污、氧化皮、锈蚀等杂质会阻碍金属在焊接过程中的塑性流动,使金属无法充分融合,增加未焊透、光斑等内部缺陷产生的风险,这些缺陷会严重影响焊接接头的强度和韧性;端面若存在裂纹,在焊接时裂纹可能扩展,导致接头失效。因此,在焊接前必须对钢轨端面进行处理,采用机械打磨或喷砂等方式去除油污、氧化皮和锈蚀等杂质,确保端面清洁度,同时要检测端面表面硬度及平直度,将偏差控制在允许范围内,为焊接过程创造良好条件,保障钢轨气压焊接质量稳定可靠。

### 2.2 焊接工艺参数

预热火焰功率影响钢轨端面加热速度与温度分布,功率过大钢轨端面过烧,破坏材质性能,功率过小则难以达到塑性状态,影响后续焊接质量;加热温度需适中,温度过高使钢轨端面金属过热形成粗晶组织,降低力学性能,易断裂,温度过低则金属塑性变形不充分,原子扩散结合不足,导致接头强度不达标,出现光斑、未焊透等缺陷<sup>[2]</sup>。顶锻力大小决定焊接接头变形与紧密程度,顶锻力过大钢轨变形大,易出现高低接头、旁弯、错位甚至断裂,顶锻力过小则接头结合不紧密,产生未焊透、光斑等内部缺陷,降低可靠性;顶锻速度同样影响质量,速度过快金属流动不充分,填充不均,易产生轨底角塌陷、局部凹陷等外部缺陷,速度过慢加热区域金属温度下降,流动性变差,影响原子结合,产生光斑等内部缺陷。因此,钢轨气压焊接时要精确控制预热火焰功率、

加热温度、顶锻力、顶锻速度等工艺参数，确保焊接质量稳定可靠。

### 2.3 焊接环境

其一是温度，环境温度直接作用于钢轨的预热和冷却速度。低温时，钢轨预热时间需延长，否则焊接接头易因快速冷却产生裂纹，还可能出现粗晶组织等内部缺陷，影响结构稳定性与安全性；高温环境下，钢轨冷却速度加快，会使焊接接头硬度升高、韧性下降，降低接头抗冲击和抗疲劳能力，缩短钢轨使用寿命，还可能引发过热缺陷。其二是湿度，湿度过高时，钢轨端面易产生水汽，焊接过程中这些水汽无法及时排出，会在接头内形成缺陷，破坏接头致密性，降低其力学性能。所以在潮湿环境下进行钢轨气压焊接，必须采取防潮措施，对钢轨端面进行干燥处理<sup>[3]</sup>。其三是风力，对焊接质量的影响同样显著，风力过大会干扰预热火焰的稳定性，使火焰偏离钢轨端面或造成火焰抖动，导致钢轨端面加热不均匀，部分区域温度过高或过低，易产生过烧、过热或光斑等缺陷，影响金属的塑性变形和原子间扩散结合，进而产生各类气压焊缺陷。因此，在有风环境下焊接，要设置挡风装置，如挡风板，保证预热火焰稳定，确保钢轨端面均匀受热，提高钢轨气压焊接质量。

### 2.4 操作人员技能水平

操作人员要深入熟悉钢轨气压焊接原理，知晓气体火焰加热钢轨端面至塑性状态，经顶锻实现原子扩散结合的过程，掌握预热、加热、顶锻、保压各阶段作用要求，明确易产生的内外部缺陷及防控要点。要精通焊接设备操作，清楚部件功能、操作流程与注意事项，能快速准确调节流量并观察其稳定性，保证气体流量正常、设备稳定运行。实际焊接中，钢轨材质规格不同、焊接环境复杂多变，操作人员须具备根据这些因素合理调整焊接工艺参数的能力，依据钢轨化学成分和力学性能确定预热火焰功率、加热温度、顶锻力和顶锻速度等，避免过烧、未焊透、高低接头等缺陷，确保焊接过程稳定、接头质量达标。焊接过程可能出现预热火焰不稳定、加热不均匀、顶锻异常等问题，操作人员要及时察觉，凭借经验知识迅速判断问题根源，及时防控气压焊缺陷，防止问题扩大影响质量。只有操作人员具备扎实专业知识、熟练操作技能和较强问题处理能力，才能保障钢轨气压焊接质量稳定可靠。

## 3 钢轨气压焊接质量控制方法

### 3.1 焊接前准备质量控制

(1) 钢轨选材与检验，严格按设计要求选定材质与规格，对钢轨进行全面严格检验，包括化学成分、力学

性能和表面质量等关键方面，各项指标精准符合标准才具备焊接资格，有缺陷的钢轨坚决不用，从源头保障焊接质量。(2) 钢轨端面处理，采用机械加工或火焰切割等方法精心加工端面，使其平整、垂直，彻底清除表面油污、铁锈和杂质，防止因端面问题产生光斑、未焊透等内部缺陷及错位等外部缺陷，加工后还需打磨提升表面光洁度，为金属良好接触结合创造条件。(3) 焊接设备检查与调试，对钢轨气压焊接设备进行全方位检查，确认部件完好、性能正常，细致调试预热火焰、加热温度、顶锻力等关键工艺参数至最佳焊接状态，避免因设备或参数问题产生过烧、轨底角塌陷等缺陷，保障焊接过程稳定可靠。同时，焊接环境评估也很关键，焊接前全面评估环境，准确掌握温度、湿度和风力等情况，依据不同环境条件及时采取防护措施，如风力大设置挡风装置、温度低对钢轨加热等，最大程度降低环境因素对焊接质量的不利影响，减少各类气压焊缺陷，为高质量实施钢轨气压焊接筑牢基础。

### 3.2 焊接过程质量控制

预热控制环节需依据钢轨材质和规格精确定预热火焰功率与时间，使钢轨端面均匀加热至规定温度，密切留意端面颜色变化，灵活调整火焰高度，避免出现过烧（部分金属达熔化状态）、过热（晶粒粗大）及欠热（产生光斑、未焊透）等缺陷，因过烧无法补救，过热改变材质性能，欠热致焊接质量不达标<sup>[4]</sup>。加热控制环节在钢轨端面达到预热温度后，严格把控加热温度与时间，使金属达到理想塑性状态，借助红外测温仪等实时监测温度，保证各阶段温度符合工艺要求，防止因温度偏差产生过烧、过热、光斑等缺陷影响焊接质量。顶锻控制环节在钢轨端面达到塑性状态后迅速施加顶锻力，顶锻力大小、速度、压力及保压压力需达标且依据钢轨材质规格合理调整，保证接头紧密结合，避免产生未焊透、光斑等内部缺陷及高低接头、旁弯、错位、轨底角塌陷等外部缺陷，观察接头变形情况，防止过大变形或裂纹影响接头强度和稳定性。保压控制环节顶锻完成后保持一定顶锻压力持续一段时间，让接头充分冷却凝固，依据钢轨材质规格科学确定保压时间，确保接头质量稳定，避免冷却不充分导致接头疏松，保障整体焊接质量达高标准，减少缺陷产生。

### 3.3 焊接后检测与处理质量控制

(1) 外观检测，聚焦外部缺陷，查看焊缝表面是否平整，有无裂纹、局部凹陷、高低接头、旁弯、错位，轨底角有无塌陷，将焊缝余高控制在0-2mm，检测焊缝两侧钢轨错边量，偏差不超过0.5mm。(2) 内部缺陷检测，采

用超声波与射线探伤相结合的方式,重点检测光斑、未焊透、过烧、过热(粗晶组织)等。超声波探伤用多探头阵列全断面扫描焊缝,灵敏度符合TB/T 1632标准;射线探伤针对关键或疑似缺陷区域检测,明确缺陷性质尺寸,尤其确认有无过烧。(3)性能验证,包括硬度测试与落锤试验,硬度测试在焊缝及热影响区取样,重点测过热、过烧区域,硬度值为母材90%-110%;落锤试验冲击焊接接头,验证其抗动态载荷能力,重点验证无过烧、粗晶组织等缺陷的接头,结果满足设计要求。(4)缺陷处理,先标记检测出的缺陷,外部缺陷如局部凹陷、高低接头等打磨修复,内部轻微缺陷补焊,过烧缺陷因失去强度、无塑性且极脆,需切除重焊。处理完成后重新进行外观、内部缺陷及性能检测,所有指标均符合标准要求才判定合格,通过全流程闭环控制保障焊接接头质量满足轨道线路运行需求。

### 3.4 质量管理体系建立与运行

建立质量管理体系要结合钢轨气压焊接特点要求,围绕气压焊内外部缺陷防控构建完善体系框架,明确各部门和人员职责权限,避免职责不清、推诿扯皮,同时制定科学合理质量管理方针目标,为焊接质量控制指明方向,从管理层面有效把控质量。质量培训与教育是提升焊接质量关键,需定期组织操作人员开展活动,培训内容涵盖钢轨气压焊接原理、工艺、质量控制方法、相关标准规范以及内外部缺陷识别与防控要点等,通过系统培训增强操作人员质量意识和技能水平,使其在实际操作中严格遵循质量要求,减少人为因素导致的气压焊缺陷<sup>[5]</sup>。质量记录与追溯是质量管理重要依据,要详细准确记录钢轨气压焊接过程各项质量记录,包括钢轨材质检验报告、焊接工艺参数记录、无损检测报告、缺陷处

理记录等,建立完善质量追溯体系,出现气压焊缺陷时能迅速追溯问题环节和原因,及时采取针对性措施处理,防止问题扩大和再次出现。持续改进是推动钢轨气压焊接质量提升动力源泉,要定期全面总结和深入分析钢轨气压焊接质量,梳理内外部缺陷产生原因,找出问题不足,制定并实施切实可行改进措施,通过优化焊接工艺、改进管理方法等持续提高质量,减少缺陷产生,更好地满足铁路运输发展需求。

### 结束语

综上所述,铁路钢轨气压焊接质量关乎铁路运输安全稳定,气压焊缺陷分为外部缺陷和内部缺陷,其中过烧为部分金属达到或接近熔化,失去强度、无塑性且极脆无法补救。从焊接原理特点出发,分析材质、工艺参数、环境、人员等关键因素对质量及缺陷产生影响。通过焊接前准备、过程、后检测处理及质量管理体系建立运行等多方面质量控制方法,可有效防控各类气压焊缺陷、保障焊接质量。需持续关注各环节,不断优化改进,以适应铁路发展需求,为铁路安全高效运行提供坚实支撑。

### 参考文献:

- [1]吕晶,罗国伟,许鑫,等.普速铁路钢轨焊接接头伤损分布特点及规律[J].高速铁路新材料,2024,3(05):83-87.
- [2]范振中,肖良忠,涂占宽,等.高速铁路钢轨现场焊接接头超声检测系统[J].失效分析与预防,2024,19(05):311-318.
- [3]张光明.铝热焊剂性能对钢轨焊接质量的影响研究[J].铁道标准设计,2020,64(03):154-157.
- [4]刘志强.钢轨铝热焊焊接过程实时监测技术应用[J].中国铁路,2021(05):98-102.
- [5]陈建,张文军.铝热焊接技术在地铁线路钢轨焊接中的应用.建筑机械,2025(3):95-98