

太原重工 WK35 型电铲回转平台焊接修复技术及应用

宋春东 李鹏飞 马志强 赵宇

国能北电胜利能源有限公司 内蒙古 锡林郭勒盟 026000

摘要: 太原重工WK35型电铲是我矿主采设备, 主要承担着煤炭开采与土方剥离任务, 该设备常年在高负荷工况下运行, 今年以来多态电铲出现了回转平台开裂故障, 本文从设备部件结构特性与现场作业实际情况, 系统的开展了关于开裂机理分析、焊接修复工艺优化及焊后热处理技术方面的研究。通过对该平台材料分析, 制定“裂纹彻底清除-精准预热-多层多道焊接-分级缓冷热处理”的一体化修复方案。在方案实施过程中, 针对A633D钢的焊接特性, 重点优化了焊材选择、层间温度控制等关键环节参数, 并增设焊接过程实时监测对应的一系列措施。经过现场6个月的实施运行验证得出的经验, 修复后的回转平台未出二次开裂, 设备出动率较修复前提升23%, 有效降低了因设备故障导致的生产中断损失。该修复技术针对性强、实操性高, 为同类大型矿用设备钢结构的失效修复提供了技术支撑与实操范例。

关键词: WK35型电铲; 回转平台; A633D钢; 焊接修复; 失效分析

引言: 露天煤矿开采的规模化与高效化发展, 推动大型电铲设备向高负荷、大容量方向升级, 太原重工WK35型电铲以55t额定载重量、35m³斗容成为国内露天矿核心采掘装备。回转平台作为电铲的关键承载部件, 承担着上部回转体与下部行走机构的连接功能, 需同步传递挖掘冲击载荷、提升拉力及回转扭矩, 其结构完整性直接决定设备运行安全性与生产连续性。^[1]

2025年4月胜利露天煤矿多台WK35型电铲, 先后出现前回转电机支承座连接焊缝部位出现线性裂纹, 最长裂

纹长度达1500mm, 深度贯穿母材35mm, 严重威胁设备运行安全。经过统计, 此次裂纹故障导致单台电铲平均停机时间长达36小时, 造成了重大损失, 最为直接影响的是经济损失超过了30万元, 如若未能及时有效修复, 可能会引发回转平台整体失效的重大安全事故, 将会对矿山生产秩序造成严重的冲击。本文结合现场实际故障案例经过分析, 从设备结构、开裂原因、修复工艺、效果验证等方面开展了系统性的研究, 形成一套可推广的焊接修复技术体系, 为解决同类设备开裂问题提供技术参考与实践指导。^[2]



图一电铲回转平台开裂位置图

1 WK35型电铲回转平台结构与材料特性

1.1 结构组成

WK35型电铲回转平台采用箱型焊接框架结构, 整体尺寸为8.2m×6.5m×1.8m, 净重约12.5t, 主要由上平台板、下平台板、纵梁、横梁及加强筋板等组成。关键受力区域包括: 回转支承座与平台板焊接区域、提升支承座与

平台板焊接区域、大臂连接耳板与平台板焊接区域, 这些部位焊缝密集、应力集中明显, 是开裂高发区域。^[3]其中前回转电机支承座区域因需承受电机运转产生的振动载荷与挖掘作业传递的复合载荷, 焊缝设计为角接与对接组合形式, 焊接难度较大, 且长期服役后易出现应力叠加现象, 成为本次裂纹故障的主要发生部位。



图二平台开裂WK-35电铲图片

1.2 材料性能

平台主体结构材料选用A633D高强度低合金结构钢,该钢种具有高强度、高韧性及良好的焊接性能,但在焊接过程中对氢含量、焊接应力控制要求严格,若工艺不当易产生冷裂纹,顾需严格控制焊接工艺与预热温度。^[4]经材料性能检测,该钢种屈服强度 $\geq 345\text{MPa}$,抗拉强度可达 $490\text{--}620\text{MPa}$,在 -20°C 环境下的冲击功 $\geq 47\text{J}$,虽能满足露天煤矿低温工况需求,但焊接时热影响区易出现马氏体组织,导致局部硬度升高、韧性下降,若预热不充分或焊后应力释放不彻底,极易诱发延迟裂纹。

2 回转平台开裂原因综合分析

2.1 疲劳损伤累积

电铲日均作业时间长,回转平台不断承受着交变载荷,长期服役后材料疲劳强度下降,裂纹在应力集中部位萌生扩展。结合设备运行记录可知,故障电铲年均作业时间超7500小时,回转平台每完成一次挖掘-回转-卸载循环,就会承受一次周期性交变载荷,长期累积导致材料出现疲劳损伤。通过断面形貌分析,裂纹源区存在明显的疲劳贝纹线,证实疲劳损伤累积是裂纹萌生的核心诱因之一。^[5]

2.2 冲击载荷叠加

挖掘硬岩或大块物料时,该平台受到的瞬时冲击载荷就会增大,导致回转平台纵梁与横梁节点处产生瞬时峰值应力,将超过材料屈服强度,引发裂纹。现场勘查发现,故障发生前期矿区作业面存在大量风化硬岩,电铲频繁进行硬岩挖掘作业,瞬时冲击载荷最高可达设计载荷的1.5倍,远超回转平台常规承载范围,导致应力集中部位出现塑性变形,进而萌生裂纹并快速扩展开来。^[6]

2.3 温度应力作用

露天作业环境温度差大,年温度变化幅度达 60°C 左右,导致回转平台产生周期性热胀冷缩,焊缝与母材热膨胀系数差异引发附加应力。锡林郭勒盟地区冬季极端低温可达 -30°C ,夏季最高温度达 30°C ,温差剧烈变化使回转

平台焊缝部位反复承受拉伸与压缩应力,长期作用下焊缝结合面出现微缝隙,为裂纹萌生提供了通道。同时低温环境下A633D钢塑性下降,进一步降低了材料的抗裂能力。

2.4 腐蚀介质侵蚀

煤矿作业环境中存在煤尘、雨水及设备润滑油脂等腐蚀介质,焊缝区域发生化学腐蚀,成为裂纹萌生的初始位点。

3 焊接修复方案制定与实施

3.1 修复前准备

裂纹精准检测:用超声波与磁粉检测相结合的方法,定位裂纹表面形态及确定内部隐藏裂纹。检测发现裂纹沿前回转电机底座与平台母材焊口开裂贯穿下平台板。

裂纹彻底清除:采用碳弧气刨沿裂纹方向开V型坡口,钝边厚度 3mm ,根部间隙 4mm 。气刨后采用角磨机打磨坡口表面,去除氧化皮、渗碳层及气刨残渣,直至露出金属光泽。

焊接区域清理:清理坡口两侧各 100mm 范围内的油污、铁锈、水分等杂质,确保焊接区域清洁度符合要求。

3.2 焊材与设备选型:

焊材:选用选用E71T-1 $\phi 1.2\text{mm}$ 药芯焊丝。设备:选用ZX7-630型直流逆变弧焊机,采用氧乙炔进行预热,配备红外测温仪实时监测温度。

3.3 焊接实施关键步骤

预热处理:采用氧乙炔对坡口两侧各 100mm 区域进行均匀预热。预热过程中采用环形火焰加热方式,避免局部过热,通过红外测温仪实时监测预热温度,控制预热温度在 $120\text{--}150^\circ\text{C}$,预热范围覆盖坡口两侧各 100mm 区域,确保预热均匀性。预热完成后保温30分钟,使工件温度内外一致,减少焊接过程中的温度梯度,降低焊接应力。

打底焊操作:采用短弧焊接,焊枪与坡口夹角 $30^\circ\text{--}35^\circ$,采用直线运条法,焊接速度均匀,确保根部焊透,无未焊透、气孔等缺陷。打底焊完成后,用角磨机打磨焊缝表面,去除飞溅物与焊渣。焊接电流 $150\text{--}180\text{A}$,焊接电压 $25\text{--}28\text{V}$,焊接速度控制在 $3\text{--}4\text{mm/s}$,采用直流反接方式,确保电弧稳定燃烧。焊接过程中密切观察熔池状态,保证熔池充满坡口根部,避免出现未焊透缺陷。打底焊焊缝厚度控制在 $4\text{--}5\text{mm}$,打磨后确保焊缝表面平整,无焊瘤、夹渣等缺陷。

填充焊操作:采用多层多道焊,每道焊缝完成后及时清理,层间温度低于 80°C 时停止焊接,重新预热至规定温度后再继续。焊接电流调整为 $180\text{--}220\text{A}$,焊接电

压28-32V,每道焊缝宽度控制在8-10mm,厚度控制在3-4mm,相邻焊缝搭接宽度为焊缝宽度的1/3-1/2,避免出现未熔合缺陷。层间清理采用角磨机打磨,去除焊渣与飞溅物,同时采用红外测温仪监测层间温度,确保层间温度在80-150°C范围内,防止因层间温度过低导致冷裂纹产生。

盖面焊操作:余高控制在2-3mm,焊缝宽度比坡口边缘宽2-3mm,避免咬边缺陷。盖面焊完成后,自然冷却至150°C以下再进行后续处理。焊接电流160-190A,焊接电压26-29V,焊接速度3-5mm/s,采用直线运条法并在坡口边缘轻微停顿,确保焊缝与母材平滑过渡,避免出现咬边、未焊满等缺陷。盖面焊完成后,及时清理焊缝表面飞溅物与焊渣,检查焊缝外观质量,若存在表面缺陷需及时返修处理。

4 焊后热处理与质量检测

4.1 焊后热处理工艺

热处理目的:消除焊接残余应力,改善焊缝及热影响区组织,提高焊接接头韧性与抗裂能力。采用局部热处理方式,加热范围为焊缝两侧各150mm,保温温度150°C左右,保温时间2.5h直至自然冷却至室温。

4.2 修复后质量检测

外观检测:焊缝表面平整光滑,无气孔、夹渣、咬边、未焊满等缺陷,焊缝余高2.5mm,宽度均匀,符合二级焊缝要求。

无损检测:MT检测焊缝表面及热影响区,无裂纹等线性缺陷;UT检测焊缝内部,未发现未焊透、夹渣等体

积缺陷,焊缝合格等级达II级。

结束语

WK35型电铲回转平台开裂是力学载荷、焊接制造缺陷、恶劣工况侵蚀及维护管理不当等多个因素共同作用下的结果,其中疲劳损伤累积与应力集中是核心诱因。采用“V型坡口清根+低氢焊材焊接+局部控温热处理”的修复技术路线,通过优化焊接工艺参数,可有效控制焊接缺陷,消除残余应力,确保焊接接头力学性能与母材匹配。修复后的回转平台运行稳定,焊接接头抗裂能力与承载能力满足高负荷作业需求,修复技术具有显著的应用价值与经济效益。

参考文献

- [1]太原重工股份有限公司.WK35型矿用挖掘机技术手册[Z].太原:太原重工股份有限公司,2020.265-280
- [2]李铁民,张勇.大型电铲回转平台结构强度分析与优化[J].煤炭学报,2022,47(S1):312-319.
- [3]王强,刘军.Q690高强度钢焊接接头氢致裂纹敏感性研究[J].焊接学报,2023,44(5):89-96+158.
- [4]GB50205-2020,钢结构工程施工质量验收标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2020.55-60
- [5]赵晓东,陈明.露天矿电铲回转平台焊接修复工艺优化[J].矿山机械,2023,51(8):56-60.
- [6]翟鲜,雒毅华,胡博,等.高温合金焊接修复技术研究进展[J].热加工工艺,2025,54(22):208-218.DOI:10.14158/j.cnki.1001-3814.