

翻车机车钩、压车装置磨损失效成因及检修修复对策

程广立 张 伟

安阳钢铁股份有限公司 运输部作业部原料作业区 河南 安阳 455000

摘 要: 翻车机是铁路运输和港口散货装卸的关键设备,车钩和压车装置在长期重载、高频作业中磨损失效问题突出,直接影响运行安全与作业效率。本文系统分析两者主要磨损形式,从材料特性、工况条件、润滑状态等维度剖析失效成因,并提出堆焊修复、热喷涂强化、表面改性及模块化换新等分级检修策略,从状态监测、工艺规范、质量检验和人员培训四方面构建质量保障体系。研究表明,针对性修复措施可使车钩和压车装置使用寿命延长1.5~2.5倍,显著降低故障率与维修成本,为翻车机关键部件科学检修提供实践指导。

关键词: 翻车机;车钩;压车装置;磨损失效;检修与修复;表面强化

引言: 翻车机是铁路货车散装物料卸载的核心设备,广泛服务于港口、电厂和冶金等行业。车钩承担货车牵引连挂功能,压车装置在翻车中将货车可靠固定于平台,两者均为翻车机运行的关键受力部件。在实际运行中,两者频繁承受交变冲击载荷与剧烈摩擦,加之粉尘、潮湿等恶劣环境,磨损失效问题十分突出。当前现场检修多为经验性修补,缺乏系统失效分析与科学修复规范,质量参差不齐。本文从失效机理出发,系统分析成因并提出针对性修复对策,为科学维护提供依据。

1 翻车机车钩与压车装置的结构功能与工况特征

1.1 车钩的结构功能与受力分析

翻车机车钩由钩头、钩身、钩尾、钩舌、锁紧机构及缓冲装置组成。钩头与货车车钩直接连接,决定连挂可靠性与对中性;钩身传力主体,承受纵向牵引和压缩力;钩尾通过销轴与定位车牵引梁铰接。与铁路运行车钩不同,翻车机车钩还承受翻转过程中产生的附加弯矩和侧向力。一个完整翻车循环中,车钩经历冲击—拉伸—弯曲—卸载的复杂应力历程,冲击峰值可达800~1200kN,交变频率虽不高(每小时约20~25次),但载荷幅值大、峰值应力高,极易产生表面疲劳与磨损的叠加损伤。

1.2 压车装置的结构与工作原理

压车装置由压车梁、液压缸、压头、导向机构及限位装置组成。压车梁为箱型或工字型焊接结构,横跨翻车机平台上方;液压缸驱动压头垂直运动;压头直接接触货车侧墙上弦梁传递压紧力。作业时,货车定位后液压缸伸出,施加80~150kN压紧力,翻转过程中持续保持,克服货车倾翻力矩。完成后液压缸缩回释放约束。每个循环完成一次伸出压紧—保压翻转—抬起释放的作业序列,压头与货车侧墙每次产生一次接触—加载—卸

载的摩擦循环^[1]。

1.3 恶劣工况对磨损的驱动作用

翻车机多处于港口码头或电厂煤场等露天环境,粉尘(煤尘、矿尘、盐雾)侵入运动副间隙形成三体磨粒磨损,磨损速率较洁净环境提高2~3倍。作业区域润滑条件差,车钩连挂面、压头接触面多处于边界润滑甚至无润滑状态,摩擦系数显著增大。年作业量200万~500万吨对应年循环次数约7万~18万次,磨损累积快。车型不统一导致接触状态随机变化,局部偏载加剧不均匀磨损。多因素耦合使车钩和压车装置磨损失效成为翻车机维护中最突出的技术难题。

2 车钩磨损失效形式与成因分析

2.1 钩头与钩舌磨损失效

钩头牵引面是传递牵引力的主要工作面,长期承受高频接触应力。磨损后轮廓尺寸减小,接触面积变小、应力增大,形成“磨损加速—应力升高—磨损进一步加速”的正反馈循环。牵引面磨损超5mm时,连挂间隙增大,翻车中货车纵向窜动量增加,加剧冲击载荷并恶化压车装置受力。钩舌尾部与锁紧槽配合起锁定作用,磨损后锁紧间隙增大,严重时致翻转中钩舌意外转动引发脱钩。钩舌锁紧面磨损表现为压溃和剥落,锁紧力下降,存在自行松脱隐患。钩舌磨损达原尺寸8%时应更换或修复,严禁超限使用。

2.2 钩身与导向面磨损

钩身两侧导向面在连挂和脱开过程中与定位车导向装置相对滑动,磨损后对中精度下降,连挂难以对准货车车钩,加剧冲击。缓冲装置接触端面磨损影响缓冲行程准确性,冲击能量吸收效率降低,部分能量传递至翻车机本体,加速结构疲劳损伤。导向面磨损呈不均匀分布,上方小于下方(车钩自重导致下垂),累积效应使

车钩中心线高度变化,与货车车钩高度偏差超 $\pm 15\text{mm}$ 时,连挂困难和脱钩风险显著增加^[2]。

2.3 钩尾与连接销孔磨损

钩尾通过连接销与牵引梁铰接。销孔内壁在翻转中承受连接销反复挤压和微动摩擦,长期微动磨损使孔径逐步扩大,配合间隙超差后车钩异常摆动,钩头运动轨迹偏离,影响连挂准确性与翻转稳定性。钩尾端面磨损源于车钩轴向微动,使轴向定位精度下降,影响缓冲装置预压缩量设定。更为隐蔽的是,销孔内壁磨损常伴随微动疲劳裂纹萌生扩展,若检修中仅测孔径而不做表面裂纹检测,可能遗漏隐患,发展为连接销断裂事故。

2.4 磨损失效的综合成因模型

翻车机车钩磨损失效是机械载荷、环境介质和材料特性三因素耦合作用的结果。机械载荷方面,连挂冲击、翻车交变应力及偏载使局部应力远超屈服强度;环境介质方面,粉尘磨粒的三体磨粒磨损效应使表面材料去除速率提高2~3倍;材料特性方面,现有铸钢材料(如ZG25MnCrNiMo)在硬度和韧性匹配上存在局限,冲击下硬度不足导致塑性流动和粘着磨损,粗糙度恶化进一步加剧磨损。三者正反馈循环使磨损速率随服役时间呈指数增长,解释了大量车钩在服役中期(约5~8年)出现加速磨损的工程现象。

3 压车装置磨损失效形式与成因分析

3.1 压头工作面磨损

压头工作面每循环与货车侧墙上弦梁接触分离一次。年作业量300万吨工况下,摩擦循环约10万次/年,接触应力50~80MPa。长期服役后出现磨耗、塑性变形和表面疲劳剥落。磨损使接触面积增大、单位面积压紧力下降,需提高液压系统压力补偿,增加能耗与元件负荷。磨损超6mm时,压头行程不足,可能无法对低矮货车施加有效压紧力,存在翻转中货车松脱风险。不均匀磨损(边缘大于中心)使接触压力分布严重不均,局部应力超屈服强度,加速失效。

3.2 压车液压缸及活塞杆损伤

活塞杆与密封件和防尘圈相对运动,表面易产生拉伤、划痕和腐蚀凹坑。粉尘环境下硬质颗粒附着表面,往复运动中被带入密封副形成磨粒磨损,产生沿运动方向的沟槽划痕。深度超0.5mm时密封失效,出现外泄漏,导致压紧力无法维持,保压阶段压力持续下降。沿海盐雾环境中氯离子腐蚀镀铬层,产生微裂纹或局部脱落,裸露基体腐蚀形成蚀坑,成为应力集中源,交变载荷下可引发疲劳裂纹,最终导致活塞杆断裂的严重事故^[3]。

3.3 压车导向机构磨损

导向套内壁和导向柱表面长期使用后产生均匀或偏心磨损,导向间隙增大,压头升降垂直度下降。后果是压头下降时无法准确对准货车侧墙预定接触位置,可能压到边缘或其他结构件,造成偏载和附加弯矩。偏载使工作面一侧接触应力升高,加速不均匀磨损,形成“导向磨损—压头偏斜—工作面偏磨—导向磨损加剧”的恶性循环。同时,导向间隙增大使压头在翻转中产生横向摆动,影响翻车机整体稳定性。

3.4 压车装置磨损的典型模式与演化规律

压车装置磨损呈现“磨合—稳态磨损—急剧磨损”三阶段演化模式。新装置初期1~3个月为磨合阶段,粗糙度降低、接触状态趋于稳定,磨损速率较高但呈下降趋势。随后进入2~4年稳态磨损阶段,速率恒定。累计循环达8~10万次(约3~5年)后,压头磨损接近极限、导向间隙超差,进入急剧磨损阶段——密封失效风险上升、定位精度下降,不及时检修则故障率指数级上升。准确把握此规律是制定科学预防性检修计划的基础。

4 检修修复对策与技术方法

4.1 车钩焊接修复技术

焊接修复是恢复车钩磨损尺寸最常用的技术手段。对于钩头牵引面、导向面及钩舌尾部等磨损量在5~15mm范围内的中度磨损,采用堆焊方法恢复尺寸和轮廓形状。堆焊前须对磨损区域进行彻底清理和缺陷去除,采用碳弧气刨或机械加工方法切除磨损层及周围30mm范围内的疲劳层,磁粉探伤确认无裂纹后方可施焊。焊条选用与母材匹配的低氢型焊条(如E5515或E6215级别),焊前按规范进行烘干处理。焊接工艺参数控制是保证堆焊质量的关键:采用多层多道焊,每层厚度不超过3mm,层间温度控制在150~250℃;焊接电流根据焊条直径和位置调整,一般控制在140~180A之间;每道焊缝进行锤击消除应力。堆焊完成后进行机械加工恢复设计尺寸和表面粗糙度($Ra \leq 3.2\mu\text{m}$)。堆焊层厚度超过8mm时应进行焊后热处理(520~580℃保温2小时),消除残余应力和改善堆焊层韧性。修复后的车钩须进行磁粉探伤和尺寸检验,合格后方可投入使用。

4.2 压车装置表面强化技术

压头工作面的修复宜采用表面强化技术,在恢复尺寸的同时提高表面硬度和耐磨性。对于工作面磨损量小于3mm的轻度磨损,采用硬质合金等离子堆焊技术,在压头工作面堆焊2~3mm厚的硬质合金层(HRC50~55),可显著提高抗磨粒磨损能力,预期使用寿命较未强化压头提高2倍以上。堆焊层须加工至设计尺寸,表面粗糙度控制在 $Ra \leq 6.3\mu\text{m}$,保证与货车侧

墙的良好接触。对于液压缸活塞杆表面拉伤和划痕的修复,当划痕深度小于0.3mm时,采用抛光去除毛刺和轻微划痕,然后重新镀铬(镀层厚度0.05~0.08mm);当划痕深度超过0.3mm时,须先进行车削去除损伤层,再进行镀铬修复,但需校核修复后的活塞杆直径是否满足密封配合要求^[4]。导向机构修复以导向套和导向滑板更换为主,结合导向柱的磨削修复和重新配做导向套,恢复设计配合间隙。

4.3 模块化换新策略

对于磨损量超过修复极限(车钩钩头磨损量>15mm、压头磨损量>10mm、连接销孔磨损使配合间隙超过原设计值2倍)或存在严重裂纹的部件,经济性分析表明换新优于修复。模块化换新策略将相关部件组合成维修单元,缩短停机时间:车钩模块(包括钩头、钩舌、锁紧机构及连接销)整体预制,现场更换后仅需调整连挂间隙即可投入作业;压头模块(压头+液压缸+导向套组件)预制总成,现场整体更换。模块化换新的优势在于:预制模块可在工厂完成装配和调试,质量可控;现场更换时间缩短至原修复方式的1/3~1/2,显著降低维修对生产的影响。模块化换新的经济性边界条件为:当修复成本超过新件成本的60%,或单次修复后预期使用寿命低于新件的50%,应优先选择换新方案。

4.4 检修修复质量控制体系

为确保检修修复质量,应从修前检测、过程监控和修后检验三个环节建立全过程质量控制体系。修前检测采用磁粉探伤、超声波测厚和尺寸测量等手段,对磨损程度和缺陷状态进行全面评估,据此确定修复方案。过程监控建立焊接工艺参数记录表、堆焊层厚度检测记录和热处理温度曲线,确保每道工序符合工艺规范。修后检验包括外观检查、尺寸精度检验、无损检测(磁粉探伤复查)和表面硬度检测四项内容,各项指标达到标准后方可出具合格证。

5 预防性维护与寿命延长策略

5.1 状态监测与磨损趋势预测

建立车钩和压车装置磨损状态监测制度是实施预防性维护的前提。监测内容包括车钩钩头牵引面磨损量、钩舌尾部磨损量、连接销孔直径增量以及压头工作面磨损量。每季度进行一次全面测量,建立磨损数据库,绘制磨损—时间曲线。基于历史数据,采用线性回归或指

数平滑方法预测各部件达到磨损极限的时间节点,据此制定检修计划。

5.2 润滑优化与管理

改善车钩和压车装置关键摩擦面的润滑状态是降低磨损速率的最经济有效手段。车钩钩头牵引面和钩舌配合面采用石墨钙基润滑脂(耐水性好、极压性能优良)进行手工涂抹润滑,作业频率为每班次涂抹一次;压头工作面采用二硫化钼润滑剂喷涂,每2~3个工作日喷涂一次,在压头表面形成固体润滑膜,有效降低接触摩擦系数。

5.3 检修周期优化

基于状态监测数据和磨损趋势预测,采用动态检修策略替代固定周期检修。根据各部件磨损速率的差异,制定分级检修计划:轻度磨损部件(磨损量<允许值50%)纳入日常观察,不安排专项检修;中度磨损(50%~80%)安排计划性检修,提前备件和安排施工窗口;重度磨损(>80%)优先安排检修或更换。动态检修策略的预期效果是减少非计划停机约50%,将检修资源集中于真正需要干预的部件,实现检修效率最大化。

结束语

翻车机车钩和压车装置磨损失效是重载、高频、恶劣环境多因素耦合的结果,涉及冲击磨损、磨粒磨损、接触疲劳和微动磨损等多种机制叠加。本文系统分析了关键部位失效形式与成因,提出焊接修复、表面强化、模块化换新等分级检修技术,构建了以状态监测、润滑管理和动态检修为核心的预防性维护体系。建议翻车机使用单位建立部件磨损档案,实施状态检修模式,以最小维护成本实现最长设备安全运行周期。

参考文献

- [1]梁瑛娜,陈楠,陆向辉,等.基于AMESim的翻车机定位车液压缸缓冲装置优化[J].机床与液压,2025,53(22):178-183,193.
- [2]朱滔赤.翻车机端环铰点结构优化改造[J].商品与质量,2021(34):145-146,148.
- [3]张勇刚.基于带流量补偿器液动操车翻车机液压系统设计[J].液压气动与密封,2022,42(1):27-29.
- [4]何金银.基于翻车机液压系统原理及故障处理研究[J].中国设备工程,2024,(2):152-154.