

液压启闭机活塞杆锈蚀原因分析及技术措施

雷 闯 张 昊

南水北调中线信息科技有限公司 北京 100000

摘 要: 液压启闭机活塞杆锈蚀问题严重影响设备运行稳定性与使用寿命。本文分析活塞杆锈蚀相关基础特征,从材质与表面处理、工作环境、工作运行与维护、设计与安装等方面剖析锈蚀原因,针对性提出材质与表面处理优化、工作环境防护、运行与维护优化、设计与安装改进等防控技术措施,并阐述锈蚀隐患排查与分级处理、长效防控机制构建、技术升级与创新应用等治理与后续保障路径,为解决活塞杆锈蚀问题提供全面参考。

关键词: 液压启闭机; 活塞杆; 锈蚀原因; 防控措施; 长效保障

引言: 液压启闭机作为水利工程关键设备,其活塞杆的可靠运行至关重要。活塞杆长期处于复杂恶劣环境,承受多种载荷作用,极易发生锈蚀现象。锈蚀不仅会破坏活塞杆表面结构,降低力学性能,还会影响液压启闭机的伸缩传动与力的传递功能,导致设备运行不稳定,增加维护成本,甚至引发安全事故。深入分析活塞杆锈蚀原因,采取有效防控措施,构建长效保障机制,对保障液压启闭机安全稳定运行、延长设备使用寿命、提高水利工程效益具有重要意义。

1 液压启闭机活塞杆锈蚀相关基础特征

1.1 活塞杆结构与材质特性

活塞杆核心结构组成以杆体为核心承载构件,搭配端部连接结构、密封配合段及导向段,各结构协同作用实现液压启闭机的伸缩传动与力的传递功能,结构设计需兼顾力学强度与密封适配要求,为后续抗锈蚀性能奠定坚实结构基础^[1]。常用材质以高强度合金结构钢为主,45号钢、2Cr13不锈钢及304不锈钢是工程中应用较为广泛的类型,这类材质具备优良的力学强度与一定韧性,理化特性中耐腐蚀性差异主要源于合金元素配比不同,碳含量与铬、镍等合金元素比例需严格控制,以此平衡力学性能与防腐能力,满足液压启闭机长期运行的使用需求。表面处理工艺核心要求围绕提升耐腐蚀性与表面硬度展开,镀铬、氮化及热喷涂是主流处理方式,处理过程需严格控制表面粗糙度指标,确保涂层或镀层厚度均匀、与基材结合紧密,避免出现孔隙、裂纹等质量缺陷,保障表面防护层能有效隔绝各类腐蚀介质侵蚀。

1.2 活塞杆的工作环境与受力特点

工作介质对活塞杆的影响集中体现在液压油的纯度与理化性能,液压油中混入的水分、机械杂质及氧化产物会破坏表面防护层的完整性,加速杆体锈蚀进程,合格液压油需具备良好的润滑性、抗氧性及抗乳化性,通

过形成稳定油膜减少对活塞杆表面的侵蚀作用。户外及水下工作环境特征呈现明显复杂性与腐蚀性,户外环境湿度波动较大,易受雨雪、露水及大气中二氧化硫等有害气体侵蚀,水下环境则存在水体盐分、微生物及各类杂质等腐蚀因子,长期暴露会持续作用于活塞杆表面,破坏表面钝化膜,诱发锈蚀现象。工作过程中的受力状态呈现周期性变化,主要承受轴向拉力与压力,同时伴随一定侧向力,往复运动过程中与密封件产生持续摩擦损耗,易导致表面防护层磨脱脱落,受力集中部位还可能出现微小裂纹,为腐蚀介质侵入提供通道,间接加剧锈蚀发展,影响活塞杆运行稳定性与使用寿命。

2 液压启闭机活塞杆锈蚀原因分析

2.1 材质与表面处理相关原因

材质自身耐腐蚀性能不足源于选材环节的不合理,部分活塞杆选用普通碳钢替代耐蚀合金钢材,这类材质缺乏足够合金元素支撑,无法在表面形成稳定致密的钝化膜,难以抵御各类腐蚀介质的长期侵蚀,易发生氧化锈蚀^[2]。表面处理工艺缺陷体现在处理流程的不规范,镀铬、氮化等核心工艺中温度控制偏差、镀层厚度不均,或钝化处理不彻底,导致表面防护层存在孔隙、裂纹等质量隐患,为腐蚀介质侵入杆体基材提供通道,加速锈蚀进程。表面涂层破损与老化是长期运行过程中必然出现的问题,涂层在活塞杆往复摩擦、环境侵蚀双重作用下逐渐失去完整性,老化后韧性下降、附着力降低,无法继续发挥隔绝腐蚀介质的防护作用,进而引发杆体表面锈蚀。

2.2 工作环境相关原因

水介质侵蚀是活塞杆锈蚀的主要诱因,淡水含有的溶解氧会引发吸氧腐蚀,破坏杆体表面防护层;海水高盐特性会加速电化学腐蚀反应,显著降低杆体耐蚀性能;污水中的酸碱物质、重金属离子则会直接侵蚀杆体材质,破坏表面钝化膜,加剧锈蚀程度。大气环境腐蚀与温湿

度变化、污染物含量密切相关,高湿度环境易形成冷凝水附着在杆体表面,温度波动会加速防护层老化失效,大气中二氧化硫、粉尘等污染物附着后,会形成局部腐蚀环境,持续破坏杆体表面完整性。环境中杂质附着与侵蚀多源于户外作业场景,粉尘、泥沙等杂质附着后,与表面水分结合形成污垢,长期堆积会阻碍防护层发挥作用,同时杂质摩擦会磨损表面涂层,间接为腐蚀介质侵入创造条件。

2.3 工作运行与维护相关原因

液压介质污染与劣化主要由外界杂质混入、油液长期使用氧化导致,污染后的液压油携带水分、金属碎屑等物质,会在活塞杆往复运动中磨损表面防护层,劣化油液的抗腐性能大幅下降,无法有效保护杆体表面。润滑不足与润滑介质不当会加剧活塞杆与密封件的摩擦损耗,导致表面涂层磨损脱落,润滑介质选型不符合会与杆体材质、防护层发生化学反应,破坏表面完整性,诱发锈蚀。日常维护不及时或方法不当,会使表面附着的污染物、腐蚀介质长期堆积,维护过程中操作不规范还会划伤表面防护层,为锈蚀提供起始点。运行过程中的机械损伤多来自往复运动中的摩擦、碰撞,或异物卡阻导致的表面划伤,损伤部位防护性能下降,成为腐蚀介质优先侵入的区域,逐步扩大锈蚀范围。

2.4 设计与安装相关原因

结构设计存在防护漏洞,主要是未设置有效的防尘、防水防护装置,或防护结构设计不符合工况需求,无法有效隔绝环境中的腐蚀介质与杂质,导致活塞杆直接暴露在恶劣环境中,加速锈蚀发生。安装精度不足导致应力集中,安装过程中定位偏差、连接部位不平整,使活塞杆运行时受力不均,应力集中部位易出现微小裂纹,腐蚀介质可通过裂纹侵入杆体内部,引发内部锈蚀与表面锈蚀叠加。密封结构设计不合理,密封件选型与活塞杆表面适配性差,或密封结构间隙过大,导致液压介质泄漏、外界杂质侵入,同时密封件与杆体过度摩擦会磨损表面防护层,间接诱发锈蚀,影响活塞杆运行稳定性。

3 液压启闭机活塞杆锈蚀防控技术措施

3.1 材质与表面处理优化措施

耐腐蚀材质选型优化需结合活塞杆工作环境与受力载荷要求,优先选用耐蚀合金钢材,合理调控合金元素配比,提升材质表面钝化膜的稳定性与致密性,强化抵御各类腐蚀介质侵蚀的能力,摒弃普通碳钢等耐蚀性能薄弱的材质选型^[3]。表面处理工艺升级侧重流程标准化管控,严格把控镀铬、氮化等核心工艺的温度、时间参数,保障镀层厚度均匀一致,完善钝化处理环节,减少表面

防护层出现孔隙、裂纹等质量隐患,提升防护层与杆体基材的结合力及整体致密性。表面涂层防护强化可采用高性能防腐涂层材料,优化涂层施工工艺参数,提升涂层附着力与抗老化韧性,延缓涂层老化失效速度,定期检查涂层表面状态,对轻微破损部位及时修补,保障涂层持续发挥隔绝腐蚀介质的防护作用。

3.2 工作环境防护措施

水介质隔离与净化需结合实际运行工况制定针对性方案,设置高效水介质隔离装置,阻断淡水、海水、污水与活塞杆表面的直接接触,对不可避免接触的水介质进行多级过滤净化,去除其中酸碱物质、重金属离子等有害腐蚀因子,降低水介质侵蚀风险。户外防护装置设置需适配户外复杂作业环境,安装专用防尘、防水防护结构,减少雨雪、露水及大气中污染物与活塞杆表面的接触频次,减轻环境侵蚀对表面防护层的破坏。环境杂质清理与防控需建立规范化常态化清理机制,及时清除活塞杆表面附着的粉尘、泥沙等杂质,避免杂质与表面凝结水分结合形成污垢堆积,减少杂质摩擦对表面防护层的磨损,从源头遏制锈蚀隐患滋生。

3.3 运行与维护优化措施

液压介质净化与定期更换需配套高效过滤设备,持续清除液压油中混入的水分、金属碎屑等杂质,根据油液使用时长、运行工况及劣化程度,规范执行油液更换作业,确保液压油始终保持良好的润滑性、抗氧化性与抗腐性能。科学润滑体系构建需结合活塞杆运行负荷与频率,选用与杆体材质、表面防护层适配的润滑介质,确定合理的润滑周期与用量,避免润滑不足或润滑介质选型不当引发的表面磨损。日常维护流程规范需明确具体维护内容与操作标准,及时清理表面附着的污染物与腐蚀介质,规范操作流程,避免维护过程中划伤表面防护层。机械损伤预防与及时处理需加强运行过程中的巡检力度,及时排查摩擦、碰撞及异物卡阻等潜在隐患,对已出现的表面划伤等损伤,及时采用适配技术修复处理,防止损伤部位成为锈蚀起始点并逐步扩大。

3.4 设计与安装改进措施

防护结构设计优化需弥补原有设计存在的防护漏洞,结合活塞杆具体工作环境特点,设计适配性强的防尘、防水防护结构,有效隔绝环境中腐蚀介质与杂质,避免活塞杆直接暴露在恶劣工况下^[4]。安装精度控制与校准需严格遵循设备安装规范,精准控制定位偏差,减少连接部位不平整等问题,确保活塞杆运行过程中受力均匀,降低应力集中现象,避免杆体产生微小裂纹。密封结构改进与完善需选用与活塞杆表面适配性优良的密封件,优化

密封结构设计,减小密封间隙,有效防止液压介质泄漏与外界杂质侵入,同时降低密封件与杆体表面的摩擦损耗,保护表面防护层的完整性,保障防护效果持续稳定。

4 活塞杆锈蚀治理与后续保障路径

4.1 锈蚀隐患排查与分级处理

锈蚀程度排查方法需结合无损检测技术与目视检测手段,采用超声波检测、磁粉检测等专业方法,精准检测杆体表面及内部锈蚀情况,配合目视观察表面色泽、破损状态,全面掌握锈蚀分布范围与严重程度,为分级处理提供精准依据。不同锈蚀等级处理流程需遵循分级管控原则,针对轻微锈蚀、中度锈蚀、重度锈蚀制定差异化处理方案,明确各等级处理的操作标准与先后顺序,避免处理不彻底或过度处理造成的资源浪费与杆体损伤。锈蚀部位修复技术需根据锈蚀等级与部位特性选用适配方法,轻微锈蚀可通过打磨、抛光去除锈蚀层后重新进行表面防护处理,中度锈蚀需清理锈蚀层并对损伤部位进行补焊、修整,重度锈蚀需评估杆体强度,必要时进行更换处理,确保修复后杆体性能满足运行要求。

4.2 长效防控机制构建

常态化排查与监测机制需明确排查周期、监测指标与责任主体,定期开展活塞杆锈蚀隐患排查,采用专业监测设备实时跟踪表面状态与腐蚀速率,建立排查监测档案,及时发现潜在锈蚀隐患并提前干预。维护责任与流程明确需划分各级维护职责,细化维护操作流程,明确维护内容、时间节点与操作标准,避免维护工作流于形式,确保各项维护措施落地执行。防护措施定期检查与更新需定期对表面防护层、防护装置、密封结构等进行全面检查,及时发现防护失效、老化等问题,根据技术发展与工况变化,更新防护材料与防护方式,保障防护措施持续有效,从根本上降低锈蚀发生概率。

4.3 技术升级与创新应用

新型耐腐蚀技术应用可引入纳米涂层、陶瓷涂层等新型防护技术,这类技术具备更优异的耐腐蚀性与耐磨

性,能有效提升活塞杆表面防护能力,延长使用寿命,适配恶劣工作环境对防护性能的更高要求^[5]。智能化监测技术融入可采用物联网、传感器等技术,构建智能化监测系统,实现对活塞杆锈蚀状态、运行工况的实时监测与数据采集,通过数据分析预判锈蚀发展趋势,为防控措施调整提供科学依据。适配不同工况的防护方案优化需结合户外、水下、污水等不同工作场景的腐蚀特点,针对性调整材质选型、表面处理方式与防护装置设计,优化防护方案的适配性,确保在各类工况下都能发挥良好的锈蚀防控效果,提升活塞杆运行稳定性。

结束语

液压启闭机活塞杆锈蚀问题是一个涉及多方面的复杂课题。通过对锈蚀原因的深入剖析,采取材质与表面处理优化、工作环境防护、运行与维护优化、设计与安装改进等一系列防控技术措施,能够有效降低活塞杆锈蚀风险,提高其抗腐蚀能力。同时,锈蚀隐患排查与分级处理、长效防控机制构建以及技术升级与创新应用等治理与后续保障路径的实施,可进一步确保活塞杆长期稳定运行。持续关注活塞杆锈蚀问题,不断优化防控策略,对保障水利工程安全高效运行具有不可忽视的作用。

参考文献

- [1]周益,余德沙,毛延翩,等.液压启闭机油缸锈蚀原因分析与修复研究[J].水电站机电技术,2021,44(1):60-63.
- [2]万刚,朱思思,何凯,等.液压启闭机活塞杆检测机器人结构设计与动力学分析[J].自动化技术与应用,2023,42(5):12-15.
- [3]古文倩,耿红磊,孔垂雨,等.水利水电工程液压启闭机陶瓷活塞杆涂层破坏分析[J].水电站机电技术,2023,46(11):72-74.
- [4]王雪丽,史侠.液压启闭机补油纠偏创新设计[J].机械工程与自动化,2025,54(6):188-189,192.
- [5]蔡俊智.船闸液压启闭机日常维护及常见故障处理[J].模具制造,2025,25(12):249-251.