

水煤浆泵机械密封日常维护的实用管控方法

闫路冯康

陕西神渭煤炭管道运输有限责任公司 陕西 西安 717199

摘要: 水煤浆泵机械密封是输送高浓度煤浆的核心动密封装置,其运行可靠性直接决定气化装置连续运转周期。由于介质含固量高、磨蚀性强、工况参数波动频繁,机械密封泄漏问题长期困扰设备管理领域。本文从机械密封失效机理出发,系统梳理了冲洗方案选择、辅助系统参数调控、启停操作规范及日常巡检要点等实用管控方法。通过优化冲洗液压力与流量匹配、规范隔离液品质管理、建立密封面状态趋势评估等手段,可有效延长机械密封平均寿命。所述方法已在工业装置上得到验证,对同类浆料输送泵的机械密封管理具有参考价值。

关键词: 水煤浆泵;机械密封;辅助系统;冲洗方案;日常维护

引言: 水煤浆泵机械密封面临高浓度、高磨蚀性介质与高压工况的多重挑战,固体颗粒侵入、端面润滑不良及密封圈老化导致泄漏故障频发,直接影响气化装置稳定运行。现有研究偏重结构与材料,日常维护的系统性方法较少。本文立足现场实践,从冲洗方案、辅助系统、操作规范和状态监测四方面提出实用管控方法。

1 水煤浆泵机械密封的工作条件与失效机理

1.1 机械密封在水煤浆泵中的结构形式

水煤浆泵普遍采用单端面或双端面机械密封结构,高压工况下多选用双端面密封并配备隔离液系统,以改善润滑条件并阻隔浆料侵入。双端面密封由靠近介质侧的内密封和靠近大气侧的外密封组成,两级之间充注隔离液,压力通常高于泵腔压力,形成正压隔离以阻止煤浆颗粒进入端面。密封端面材质以碳化硅配碳化硅或碳化硅配硬质合金为主,辅助密封圈选用氟橡胶或全氟醚橡胶。正常工况下密封端面依靠流体动压效应维持极薄液膜,实现非接触或半接触运行。但水煤浆介质特殊,密封端面润滑状态远不如清水工况稳定,固体颗粒侵入是密封快速失效的根本原因。

1.2 密封失效的主要模式与原因

水煤浆泵机械密封失效可归纳为三类。磨粒磨损导致的端面失效占比最高,煤颗粒进入端面后形成三体磨粒磨损,硬质颗粒不断刮削密封面,端面间隙急剧增大导致泄漏,是密封面临的首要问题。辅助密封圈失效中,O形圈长期处于弱碱性和较高温度环境,发生溶胀、硬化或压缩永久变形,失去弹性后无法维持密封比压。密封端面热裂与变形方面,隔离液或冲洗不足时摩擦热无法及时散出,温度升高引起端面热变形甚至热裂纹^[1]。此外,泵轴轴向窜动过大、压盖螺栓预紧力不均匀等安装因素同样显著缩短密封寿命。

1.3 工况波动对密封寿命的影响

水煤浆泵实际运行工况并非恒定,负荷调整、液位波动及管线切换均会引起出口压力和流量变化,密封腔压力反复波动使端面液膜厚度改变,稳定性被破坏时即发生干摩擦。启停泵过程最为恶劣,启动瞬间端面处于边界润滑甚至干摩擦状态,若辅助系统未先于主泵启动,密封面将直接受损。现场统计表明超过40%的机械密封失效发生在启停操作后的较短时间内,工况波动是诱使密封早期失效的重要外部因素。因此日常维护不仅在于密封件本身,更在于对运行工况和操作习惯的系统化管控。

2 冲洗方案选择与辅助系统管控

2.1 冲洗方案适用性对比

API 682标准对不同冲洗方案的适用性有明确划分。Plan 32从外部注入清洁冲洗液稀释煤浆并带走摩擦热,降低磨粒浓度效果直接,但冲洗液进入介质后改变煤浆浓度,需配套分离设备处理,系统复杂且运行成本高。Plan 54通过外供隔离液循环系统向密封端面提供洁净润滑液,隔离液压力高于密封腔压力,适用于含固体颗粒介质的高压工况,是水煤浆泵双端面密封的主流配置。Plan 62为急冷方案,在密封大气侧通入蒸汽或氮气防止浆料积聚,可作为辅助措施但不适于独立使用。综合比较,水煤浆泵推荐以Plan 54为主方案,配合隔离液循环冷却系统,必要时辅以Plan 62急冷蒸汽封堵大气侧泄漏。

2.2 隔离液参数管控要点

Plan 54方案的效果取决于隔离液系统的精细化管控。隔离液压力应始终高于密封腔压力,压差值宜控制在0.2~0.5MPa,过小无法阻止煤浆颗粒侵入端面,过大会增加内密封背压、导致密封面过度压紧而恶化润滑。隔离液温度宜控制在40~60℃,温度过低粘度增大影响

液膜形成,温度过高加速O形圈老化与介质汽化。隔离液应选用与煤浆兼容性好、粘度适中的洁净液体,常用工艺凝液或专用密封油,切忌使用会与煤浆发生絮凝反应的介质。隔离液罐液位宜维持在60%~80%,液位过低导致循环泵吸入不畅、压力波动,液位过高则缓冲容积不足、温度控制困难。上述参数应纳入日常巡检记录表,每班至少抄录一次并核对是否处于正常范围^[2]。

2.3 冲洗管线与过滤器维护

冲洗管线及过滤器的畅通是辅助系统正常运行的基本保障。隔离液循环管线上的过滤器用于拦截循环液中夹带的杂质颗粒,过滤器压差应每班检查一次,超差时切换至备用过滤器并清洗或更换滤芯,清洗后需检查滤网有无破损,安装复位并排气后方可投入运行。密封冲洗管线入口处的节流孔板需定期检查孔径磨损情况,孔径因冲蚀扩大后改变冲洗液流量分配,可能导致密封腔冲洗不足或循环量偏离设计值。建议每半年对冲洗管线进行一次全面检查,包括管线壁厚测量、接头密封性检验及孔板尺寸复核,确保辅助系统各环节无隐患运行。

3 密封日常巡检与操作规范

3.1 日常巡检的五个关键检查点

机械密封日常巡检应做到“看、听、摸、测、记”五位一体。“看”即观察密封腔附近有无浆料渗漏痕迹,包括压盖与泵体结合面、冲洗管线接头及隔离液罐液位是否正常下降,泄漏早期信号多为微量渗出。“听”即借助听诊棒监听密封腔有无异常摩擦声,正常运行声音平稳连续,周期性尖锐噪声可能预示端面干摩擦或轴承损坏。“摸”即用手背快速触及密封腔体感知温度变化,局部温升往往是冲洗不良或端面摩擦加剧的预兆。“测”即使用测温枪和测振仪每班次定量测量密封腔温度和泵轴振动值,温度突升或振动突变须立即排查。“记”即将观测和测量结果如实记入运行日志,形成连续趋势数据。五步巡检法技术门槛不高,但需在岗人员保持责任心与问题敏感度。

3.2 正确启停操作程序

启停操作是密封维护中极易被忽视但极为重要的环节。启动前须先启动隔离液循环系统,确认压力、温度、流量均达正常指标后,方可启动主泵电机,隔离液系统至少提前运行5分钟,使密封端面充分建立润滑液膜。主泵启动时应关闭出口阀门或保持极小开度,待转速稳定后再缓慢开启出口阀加载,加载速率控制在每分钟出口压力升高不超过0.3MPa。停泵时先将出口阀门逐渐关小至约10%开度,再切断主泵电机电源,待泵完全停止转动后方可停止隔离液系统。“先辅后主、缓启缓

停”的原则必须写入操作规程并以醒目标识悬挂于操作现场,减少因操作不当造成的密封意外损坏。

3.3 密封泄漏的等级判断与处置

密封泄漏的处置策略应根据泄漏等级区别对待。微量渗漏表现为密封腔外侧有少量液珠渗出但未形成连续滴落,通常源于端面正常磨合或辅助密封圈微渗,在不影响安全和环保的前提下可加强监控、暂不停泵检修。轻微滴漏表现为每分钟数滴连续滴落,应优先排查隔离液压力和温度是否正常,若辅助系统参数无误后泄漏仍持续,需评估是否在最近检修窗口内安排更换^[3]。大量泄漏表现为浆料呈线状或喷溅状外泄,须果断启动紧急停泵程序,隔离设备并泄压后处理,不宜强行维持运行。每次泄漏事件均应详细记录泄漏形式、持续时间、处理措施及拆检结果,便于积累数据并制定针对性预防措施。

4 密封件配套管理与维护协同

4.1 密封端面材质与O形圈的维护选配

水煤浆泵检修更换密封件过程中,摩擦副与O形圈材质选型直接决定密封实际使用周期。碳化硅为密封端面主流材料,常压烧结碳化硅致密性更强,抗煤粉冲蚀能力优于反应烧结碳化硅。介质硬质颗粒占比高时,碳化硅搭配硬质合金摩擦副耐磨效果更佳,但对冲洗润滑系统稳定性要求更高。运行压力低于4.0MPa、检修频次高的机组可选用反应烧结碳化硅压缩备件开支;高压连续运行工况优先采用常压烧结碳化硅,磨损严重工况升级碳化硅硬质合金配对。O形圈需同时满足耐温、耐煤浆弱碱腐蚀需求,三元乙丙橡胶适配绝大多数常规工况;氟橡胶耐高温优势明显,但耐碱性能不足;全氟醚橡胶综合性能最优,仅高温、高腐蚀极端工况选用。

4.2 备件库存与更换台账管理

密封备件标准化管理是设备长效运维的重要支撑。库存储备上限参照同型号密封年度消耗量的1.2~1.5倍设定,兼顾检修供应与备件积压老化问题。新密封件入库前完成外观、摩擦副检验,按材质、生产批次分区存放。为每台水煤浆泵建立独立密封更换台账,完整登记更换时间、累计运行时长、失效类型、备件批次信息,依托长期数据统计该厂区工况下密封平均使用寿命。运维人员定期梳理台账数据,对临近服役周期的密封提前标记,依托装置计划性检修完成更换,有效规避备件储备不足、突发密封泄漏引发的非计划停机,实现预防性维护。

5 密封可靠运行的综合保障

5.1 基于巡检数据的趋势预判

日常巡检数据的系统记录并不仅仅是完成填表任

务,而是预判密封失效、实现预知性维修的核心基础。将每班次记录的密封腔温度、隔离液消耗量、泵体振动值等数据按时间序列绘制成趋势曲线,可以使密封运行状态的演变过程变得直观可辨。温度曲线呈现持续爬升且斜率不断加大时,提示密封端面润滑状态正在持续恶化,可能的原因是隔离液流量不足或端面磨损加剧;隔离液消耗量逐日稳步增加,说明内密封泄漏量正在逐步扩大,隔离液正向泵腔内的渗漏速度已经超出正常范围;振动值的突然跃升或持续增大,往往对应着密封端面异常接触或轴承系统出现早期损伤。将日常巡检数据转化为趋势判断的依据,从而将事后抢修转变为预知性维修,是日常维护工作中技术含量最高也最有价值的工作方法^[4]。

5.2 维修人员操作规范与日常维护意识

维修安装质量的优劣对密封最终寿命的影响程度,往往不亚于密封件本身的质量水平。同一台泵在不同维修人员手中,密封安装后的运行寿命可能相差一倍以上,这种差异的根源主要来自密封压盖螺栓紧固顺序与力矩控制的规范性、O形圈安装时润滑剂涂抹是否到位以及密封端面清洁程度等操作细节。上述任何一个环节出现疏忽,都可能在密封投入运行的初期就埋下早期失效的隐患。企业应建立标准化的密封安装作业指导书,将每一步操作的技术要求以文字和图示相结合的方式予以明确,使不同技能水平的维修人员都能够按照统一标准执行操作。定期组织维修人员进行专项技能培训和实操考核,考核内容应涵盖密封拆装操作的规范流程以及对关键安装参数的掌握程度。仅凭一两次集中培训不足以使操作者养成正确的操作习惯,应将密封安装质量纳入维修人员的绩效考核指标体系,通过每次检修后跟踪统计密封的实际运行寿命来反向评估安装质量的优劣,在团队内部形成重视安装细节、追求操作规范的良性反馈机制。

5.3 日常维护向工艺端的延伸关注

密封日常维护的视野不应局限于设备本体,煤浆制备环节的品质管控对密封运行寿命同样具有深远影响,这一点在现场维护中常常被忽视。当煤浆粒度分布不合

理或含大颗粒杂质超标时,即使隔离液系统的各项运行参数均处于正常范围,密封端面仍可能因固体颗粒的持续侵入而遭受加速磨损。将加强煤浆制备环节的筛分和除杂管理、保证入泵煤浆最大粒径不超过泵制造商规定的限值,是降低密封端面磨粒磨损损害的根本性措施。另外,煤浆槽搅拌器的正常运行状态和煤浆浓度的稳定控制同样不可掉以轻心——搅拌不良将直接导致煤浆分层或颗粒沉降,设备开机瞬间高浓度浆块直接冲击密封端面,其冲击破坏力远大于正常工况下的渐进式颗粒磨损。因此设备维护人员应当与工艺操作人员建立常态化的联动沟通机制,主动了解煤浆制备环节的工况波动和异常情况,在工艺条件发生较大变化时提前做好密封运行状态的重点关注和应急处置预案准备,从源头降低密封端面承受的非正常损伤风险。

结束语

水煤浆泵机械密封的日常维护是一项系统性的精细化管理工作,而非单一的零部件更换操作。本文从密封失效机理出发,围绕冲洗方案选择、辅助系统管控、巡检操作规范、备件管理及趋势评估等多个维度梳理了实用方法,基本覆盖了现场维护的主要环节。文中所述各项措施的共同特点在于投入成本低、实施门槛低,但需要对维护人员持续强化规范意识和数据意识。设备管理人员应结合自身装置的具体工况,因地制宜地将文中方法转化为可执行、可量化的内部管控标准,在持续实践中不断迭代完善,逐步建立适合本单位的机械密封全生命周期维护体系。

参考文献

- [1]史洁莲.水煤浆气化装置的设备和管道布置方式探讨[J].硫磷设计与粉体工程,2022,168(3):28-31.
- [2]伍林.激冷水泵机械密封泄漏原因分析及改进措施[J].机械管理开发,2025,40(10):230-231,234.
- [3]王明兰,于伟然,张颖.水煤浆气化装置的优化改造及探讨[J].流程工业,2023(7):40-42.
- [4]陈景辉,张志伟.酸泵机械密封失效原因分析及改造措施探究[J].机械管理开发,2024,39(8):184-186,189.