

火电机组汽动给水泵密封水渗漏故障排查与优化改进

周晶水

江西赣能股份有限公司丰城发电厂 江西 宜春 331100

摘要: 汽动给水泵作为火电机组给水系统的核心运转设备,其配套密封水系统的运行稳定性直接关联机组整体给水链路的安全状态。本文围绕火电厂1000MW机组汽动给水泵密封水系统的结构逻辑与运行特性展开梳理,结合现场实际运行场景拆解渗漏故障的各类诱发路径,同步搭建分层递进的故障排查体系,从构件性能、装配工艺、管路改良、运维模式四个维度提出适配性优化方向,为电厂现场处理同类故障提供可落地的实操思路。

关键词: 汽动给水泵; 密封水渗漏; 故障排查; 密封性能优化; 火电机组运维

引言: 火电机组长期处于连续高负荷运转状态,汽动给水泵的轴端密封工况始终伴随高温高压介质的持续冲击,机组启停或负荷突变时,密封水渗漏问题是现场运维环节的常见困扰。这类故障不仅会造成介质非必要损耗,严重时密封水被吸入给水泵润滑油侧,造成汽泵润滑油箱进水,或润滑油被吸出至密封水,甚至触发机组给水链路的异常告警。不少现场运维人员处理渗漏问题时,容易陷入单点排查的误区,难以从根源上阻断故障反复出现的可能。围绕密封水系统的全链路特性展开梳理,搭建系统化的排查与优化路径,具备很强的现场实操参考价值。

1 汽动给水泵密封水系统结构与工作机理

1.1 密封水系统整体组成结构

汽动给水泵密封水系统是保障机组给水设备稳定运行的核心辅助系统,整体依托给水泵本体布局配套布设。系统主要由密封水供给管路、调压构件、过滤装置、轴端密封组件及回流管路组成,各部件协同配合,构成供水、稳压、密封、回水的闭环运行体系^[1]。其中,供给管路负责输送洁净密封水源,过滤装置有效拦截水中杂质,避免硬质颗粒磨损密封构件;调压构件稳定管路水压,保证密封工况平稳;轴端密封组件为核心防护结构,阻隔泵体内高压介质外渗;回流管路收集泄压后的密封水,实现介质循环利用。

1.2 密封水系统介质流通原理

系统以外部洁净水源为供给源头,持续向给水泵轴端输送稳压水体。水体进入管路后,首先经过滤装置完成净化,再通过调压装置调节压力至设备适配工况。稳压后的密封水送入泵体轴端密封腔,充分填充密封结构内部间隙,在密封腔内形成稳定水膜,依托管路与泵体的压力差平衡泵内介质压力。多余密封水经回流管路回收,完成不间断循环流通。

1.3 轴端密封结构运行机理

轴端密封结构是隔离泵体内外介质、控制密封水渗漏的核心部件,布置于转轴与泵体的衔接关键位置。给水泵高速运转时,密封结构通过动静部件的精密配合,精准控制配合间隙。密封水持续填充动静环微小缝隙,借助水体张力与压力形成防护水膜,隔绝泵内高温高压给水,杜绝介质沿转轴缝隙渗漏。该结构可随设备运行负荷自适应调整间隙状态,适配不同工况的压力波动,通过精密结构配合与稳定水膜的双重防护,彻底规避设备运转过程中的介质泄漏风险。

1.4 密封水系统联动运行逻辑

密封水系统并非独立运行,与给水泵主机、稳压系统、水循环系统深度联动。设备启动前,密封水系统提前建压、建立水膜,为主机启动提供前置密封防护;主机升负荷阶段,系统随泵体压力变化微调供水压力,稳定密封压差;设备稳态运行时,系统保持流量、压力参数恒定,持续维持密封效能;设备停运时,系统延时关停,防止压力回落引发介质倒渗。全时段联动调控模式可适配设备启停、变负荷等各类工况,全程保障密封系统高效、稳定投运。

2 汽动给水泵密封水渗漏故障诱因分析

2.1 密封构件本体老化磨损诱因

汽动给水泵长期处于高速运转状态,轴端动静密封环、密封垫片等核心构件会持续承受摩擦损耗。密封构件多为非金属材料,长期接触高温高压水体后,材质性能会逐步衰减。表面精密结构出现细微划痕、形变以及硬化开裂等问题,破坏原有密封间隙的精度^[2]。构件老化属于持续性损耗过程,初期故障特征不够明显,长期运行后渗漏问题会逐步加重,影响整体密封结构的密闭性能。

2.2 系统装配偏差引发的渗漏隐患

设备检修与回装阶段的装配精度,直接影响密封系

统的运行稳定性。转轴同轴度偏差、密封环安装错位、紧固螺栓受力不均等装配问题,都会改变密封结构的间隙尺度。规范安装要求密封构件保持平整贴合的安装状态,装配偏差会造成局部间隙过大或结构挤压变形。部分安装工序存在精细化程度不足的问题,构件对位不准、压紧余量不合理,都会和设备持续运行中转化为显性渗漏隐患。

2.3 管路及附件形变失效诱因

密封水供给管路、回流管路、接头阀门等附属构件,长期承受介质压力与温度变化的交替作用。金属管路会产生轻微热胀冷缩形变,反复形变积累会造成接口松动、焊缝微裂等问题。管路内部压力冲击会加速垫片、密封圈等小件构件的疲劳失效,降低接口位置的密闭能力。部分管路布设位置靠近高温设备,长期处于高温环境会加速附件材质老化,出现硬化、松弛等现象。各类管路附件的性能衰减,都会破坏系统整体密闭性,成为密封水渗漏的重要诱因。

2.4 机组运行工况波动诱发渗漏问题

火电机组日常运行中,负荷升降、启停切换都会带来系统压力与温度的动态变化。工况变动阶段,密封水系统水压会出现频繁升降,腔体内部压差处于不稳定状态。压力突变会对密封结构形成冲击,扰动稳定水膜的成型状态,短时破坏密封屏障的完整性。机组低负荷运行时,系统供水参数偏低,密封水膜厚度不足,密闭防护能力会出现小幅下降。机组高负荷运行时,泵体内介质压力陡增,超出常规密封承压范围。频繁的工况变动会反复冲击密封体系,加速各类隐患暴露,诱发不同程度的密封水渗漏问题。

2.5 汽动给水泵密封水回水系统固有设计缺陷

国内多数火电机组汽动给水泵密封水回水系统为简化管路布置、提升介质输送效率,普遍采用密封水回水依次经水封组件、电动/气动隔离阀接入凝汽器的布置方案,依托凝汽器内部真空环境实现密封水回水的快速疏放。水封装置可稳定密封水回水侧与凝汽器间压差,维持两侧压力工况动态平衡,同时隔绝管路泄漏气流,规避机组真空恶化问题。但现场实际工况运行表明,负荷大幅扰动工况下,密封水回水电动阀启闭响应速率无法匹配回水流量瞬时变化速率,难以同步维持回水管道与凝汽器真空的压力平衡状态,引发回水管道压力大幅周期性波动,进而造成密封水供水流量失稳。机组升负荷过程中,密封水管路易形成正压工况,回水流通受阻、出现滞流现象,溢流槽积水无法及时疏排,介质易窜入汽动给水泵轴封润滑油腔;机组快速降负荷工况下,密封水管路易形成高负压,回水管道易出现抽空失压,强

负压会抽吸轴封润滑油进入回水管道,最终造成汽动给水泵油箱油位异常下降,润滑油泄漏进入凝汽器内部。

3 汽动给水泵密封水渗漏系统性排查思路与方法

3.1 渗漏故障点位分层排查逻辑

汽动给水泵密封水渗漏点位分布具备分散性、隐蔽性特点,分层排查可以规避盲目检修带来的疏漏问题。整体排查遵循由外至内、由表及里的基础逻辑,逐步缩小故障排查范围。优先检查设备外部可视结构,快速定位表层、管路接口等显性渗漏点位。再推进至设备中层衔接结构,核查泵体端盖、密封腔体衔接位置的密闭状态^[3]。最后聚焦设备内部核心密封构件,排查隐蔽位置的结构破损与间隙异常。

3.2 密封构件密封性专项排查方式

密封构件是渗漏故障的核心高发部位,专项排查聚焦轴端动静密封环、密封垫片、弹性密封件等关键部件。停机解体状态下,细致检查构件表面磨损、开裂、硬化、变形等物理缺陷,记录构件间隙尺寸与标准参数的偏差情况。核查密封构件表面平整度,观察精密接触面是否存在划痕、锈蚀等影响密闭效果的问题。针对复用构件,重点排查长期运行产生的疲劳损伤,判断材质性能衰减程度。

3.3 管路连接与承压部位排查流程

密封水管路及承压附件的排查以整体密闭性核验为核心重点。对供水、回流整条管路开展全覆盖检查,重点观测管路焊缝、法兰接口、阀门接头等薄弱位置。排查管路本体是否存在形变、锈蚀、微裂纹等结构损伤,核验法兰紧固状态与垫片完好程度。针对长期承受压力冲击的承压点位,检查接口紧固力度是否均匀,排查垫片老化松弛、焊缝细微开裂等不易察觉的问题。

3.4 系统运行参数匹配性排查思路

运行参数异常是诱发密封渗漏的隐形因素,参数排查依托机组常态运行状态开展核验工作。持续监测密封水系统供水压力、腔体压差、介质流量等关键参数,对比设备标准运行参数区间。观察机组负荷变动过程中参数的波动幅度,识别压力骤升骤降、参数偏移等异常情况。核查密封水压力与泵体内部介质压力的匹配程度,判断压差数值是否可以维持稳定密封水膜。

3.5 密封水回水系统优化改造,隔绝凝汽器真空对回水工况的扰动

于凝汽器底部零米区域增设密封水集水箱,集水箱汇集的密封水回水经由气动调节阀接入凝汽器汽相空间;原有密封水回水管道完整保留,实现两种回水收集模式可无扰切换。集水箱调节阀前端配套电动截止阀,

水箱低液位工况下可关断该阀门,密封水介质经由水箱溢流管路外排。主调节管路阀前装设电动隔离阀、阀后增设手动隔断阀,配套旁路手动阀组,满足气动调节阀

离线检修需求。集水箱装设三套液位监测装置,箱体顶部布置真空破坏管路,规避水箱低液位时内部形成高真空工况。如图1所示。

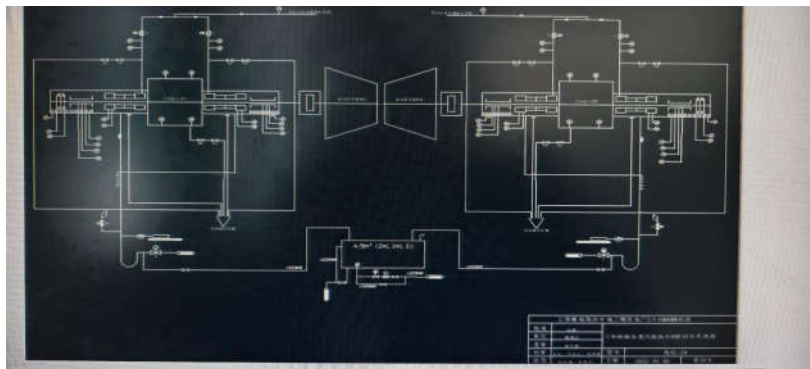


图1 密封水回水优化系统布置示意图

4 汽动给水泵密封水系统优化改进策略

4.1 密封核心构件选材与结构优化

密封核心构件的性能水平,直接决定汽动给水泵密封水系统的防渗漏能力。针对传统构件易磨损、易老化的短板,可通过更新材质类型提升结构稳定性^[4]。优先选用耐温性、耐磨性更强的复合密封材料,抵御高温高压水体带来的持续侵蚀与摩擦损耗。结合设备运行工况调整密封环结构形式,优化动静环接触端面的平整度与精密程度,细化密封间隙的控制标准。改进密封垫片的整体结构,提升形变回弹能力,适应设备运行中的轻微振动与微量形变。

4.2 系统装配工艺标准化优化

装配精度不足是现场渗漏隐患的主要来源之一,标准化工艺可以有效规避人为装配带来的精度偏差。梳理密封系统回装的全流程工序,统一各构件的对位标准与压紧流程。规范螺栓紧固顺序与紧固力度,让密封端面受力均匀,杜绝局部缝隙偏大的情况。细化转轴同轴度校正流程,严格控制装配误差范围,避免运转过程中密封构件偏磨。完善装配前的构件检查流程,提前筛查变形、损伤部件,杜绝不合格构件直接装机使用。

4.3 管路及辅助附件结构改良

管路与附件的结构稳定性,关系密封水系统长期运行的密闭效果。针对管路热胀冷缩引发的松动开裂问题,优化管路支撑固定方式,削弱设备振动对接口位置的持续影响。更换老旧、性能衰减的法兰垫片与密封小件,统一适配高压耐高温的密封配件。改良局部应力集中的管路段落,调整管路走向,降低介质压力波动带来的冲击损耗。强化焊缝、接头等薄弱位置的结构强度,提升管路整体抗形变能力。

4.4 系统运行与运维管控模式优化

合理的运行操作方式与完善的运维管理模式,能够有效延缓密封构件老化速度,规避工况异常引发的各类渗漏隐患。机组升降负荷过程中,采用精细化操作模式,平缓调控系统压力与温度的变化幅度,避免参数剧烈波动破坏轴端密封水膜的稳定状态。建立覆盖机组全运行周期的常态化巡检机制,重点关注轴端密封、管路接口、焊缝阀门等渗漏高发位置,及时捕捉渗水、表层潮湿等早期异常信号。完善密封水系统参数监测机制,持续跟踪腔体压差、介质流量、供水压力等关键数据,发现参数偏移时及时调整矫正。

结束语

整套密封水系统的防渗漏优化,从来不是单一构件的局部调整,而是覆盖设备装配、运行调控、日常维护全流程的系统性工作。从结构特性出发梳理渗漏的各类诱发逻辑,用分层递进的排查思路精准定位故障根源,再通过多维度的优化措施补齐系统短板,就能有效降低密封水渗漏的发生概率,让汽动给水泵始终保持平稳可靠的运行状态,为火电机组的连续稳定运转筑牢底层支撑。

参考文献

- [1]谢晔航,赵悦涵,彭龙龙.汽动给水泵轴系振动响应抑制关键部件研究[J].船舶标准化工程师,2026,59(1):57-60,65.
- [2]张康.汽动给水泵振动危害与处理研析[J].电力设备管理,2025(10):126-128.
- [3]赵悦涵,谢晔航,闫佳佳.某型汽动给水泵轴系动力学特性优化[J].机电设备,2025,42(5):70-74.
- [4]王奎星,邸嘉鹏,张智儒,等.某电厂汽动给水泵振动异常诊断及处理[J].设备管理与维修,2025(5):138-141.