

热风快关门改造达成防卡防漏成效探究

石森, 李鹏, 唐林, 姜斌

大唐陕西发电有限公司延安热电厂, 陕西 延安 716000

DOI:10.61369/EPTSM.2026010005

摘 要 : 随着冶金、电力和建材等工业领域向高效化和绿色化转型加速, 热风快关门作为热力输送系统的控制部件, 其运行稳定性十分重要。但该设备长期在高温、高粉尘的恶劣环境下工作, 卡滞、泄漏的问题时有发生, 既提高维护成本, 又会引发安全问题。基于此, 本文结合实际工作经验, 对热风快关门改造达成防卡防漏成效展开探讨与研究, 希望能够为相关人士提供一些工作启发与参考。

关 键 词 : 热风快关门; 改造技术; 防卡滞; 防泄漏; 工业密封

Research on the Effect of Preventing Jamming and Leakage of Hot Air Fast Door Reform

Shi Sen, Li Peng, Tang Lin, Jiang Bin

Datang Shaanxi Power Generation Co., Ltd. Yan 'an Thermal Power Plant, Yan' an, Shaanxi 716000

Abstract : As industries such as metallurgy, power generation, and construction materials accelerate their transition toward high-efficiency and green development, the operational stability of hot air fast shutters—critical control components in thermal transport systems—has become paramount. However, these devices frequently encounter operational challenges like jamming and leakage when operating in harsh environments with prolonged exposure to high temperatures and dust, which not only increase maintenance costs but also pose safety risks. Drawing on practical experience, this paper explores the implementation of anti-jamming and anti-leakage upgrades for hot air fast shutters, aiming to provide actionable insights and references for industry professionals.

Keywords : hot air fast door; renovation technology; anti-sticking; anti-leakage; industrial sealing

引言

冶金、电力、建材等工业领域中, 热风快关门是热力输送系统的组成部分, 在实际运行中, 传统热风快关门普遍存在着卡滞和泄漏两个主要问题, 卡滞主要是由于结构刚性不够、传动机构磨损或者异物干扰造成的问题, 泄漏则是由于密封件老化、间隙不均等原因引起的问题。因此, 研究一种具有普适性与实操性的改造方案, 提高防卡防漏效果, 这对于推动工业热力系统的改进有着重要意义。

一、结构优化, 构建防卡滞的硬件基础

(一) 门体框架刚性强化设计

门体框架的刚性不足, 高温工况下容易发生形变, 造成门体与导轨间隙不均, 产生卡滞, 长时间高温热循环会增大普通型材蠕变特性造成的形变风险。改造要按照设备尺寸、承载负荷、工作温度区间来选用高强度合金型材代替普通钢材, 该种钢材经过调质处理后, 可以明显提升高温下的屈服强度。针对大型热风快关门, 在框架横梁与立柱的关键受力节点处, 增加十字形加强筋, 用埋弧自动焊工艺进行整体焊接, 探伤检查合格后, 防止局部应力集中引起形变^[1]。框架与门体连接处, 使用高强度螺栓和

圆锥定位销配合, 圆锥定位销保证精度配合的同时又方便维修调节。安装时, 用精密仪器进行校准, 严格控制水平度和垂直度的误差, 用垫片做微调使其与导轨贴合, 从安装精度上彻底消除运行干涉的风险。

(二) 运动传动机构的低阻化改造

传动机构是实现门体启闭的关键, 运行阻力会影响动作的流畅性, 磨损、润滑失效是导致卡滞的主要因素, 在粉尘浓度高、启停频繁的工作环境下, 故障率会明显增加。改造要从摩擦副优化和润滑升级两方面系统开展, 把传统的滑动导轨改成滚珠直线导轨, 导轨用高强度轴承钢淬火后加工, 表面硬度和耐磨性得到提升, 依靠滚珠滚动摩擦代替滑动摩擦, 摩擦系数明显下降, 滑

块内部装有防尘密封圈，防护性能增强。齿轮与齿条、链轮与链条等动力传递部位使用高精加工工艺提高齿面精度，减小齿侧间隙。对于润滑问题，设置递进式自动润滑系统，采用高温抗磨润滑脂，通过 PLC 控制按照启闭次数，定时定量为摩擦点加油，避免人工润滑的随机性。传动机构外侧装设全封闭防尘罩，罩体用防腐钢板制作，结合处用弹性密封，完全阻止粉尘进入，满足多粉尘工业工况的要求。

（三）异物防护与疏导结构增设

工业现场的粉尘、颗粒杂物容易进入门体和导轨间隙或者传动机构，是造成突发性卡滞的原因之一，尤其在建材行业水泥窑、冶金行业烧结机等场所，粉尘粒径小、黏性大，很容易造成机构卡堵。改造时，在设备重要部位加装“防护+疏导+清理”三重结构，在门体底部与地面相接处，装上聚氨酯弹性密封裙边，既能挡住地面杂物往上涌，又能凭借弹性形变适应地面细微起伏，不会因为硬性接触而产生卡滞^[2]。在导轨内侧开设纵向疏导槽，槽体采用圆弧过渡，末端连接抽拉式集污盒，使进入导轨的细小杂物顺着槽体流入集污盒，定期清理即可，不会堆积。采用迷宫式密封结构，在传动机构啮合处用迷宫式密封代替传统的密封盖，设置多道密封间隙，依靠多道间隙起到节流的作用，提高了粉尘的阻隔效率，使设备对于恶劣环境具有更好的适应性。

二、密封系统升级，提升防泄漏效果

（一）密封件材质与结构的适配性升级

密封件材质性能及结构设计直接影响密封效果，传统密封件常因为高温老化、磨损过快而导致密封失效，在高温工况下密封件寿命短，增加维修频率和成本。根据热风快关门的工作温度、压力及介质特性，实施材质和结构的双重升级：中低温工况下，采用耐油耐磨的丁腈橡胶密封件；中高温工况下，选用硅橡胶密封件，提高耐高温老化性能；高温工况下，使用全氟醚橡胶密封件，长期耐高温并且抗化学腐蚀。针对结构而言，将传统的单平面密封改为多唇型密封结构，即主唇、副唇、防尘唇，主唇密封核心区域，副唇二次密封，防尘唇阻挡异物，依靠唇形结构的弹性形变来增大与密封面的贴合度，从而显著延长密封寿命^[3]。门体和门框之间使用中空充气式密封条，内部设置有弹性气囊，由电磁阀控制充气和放气，充气时紧密贴合，门体启闭前自动放气，既保证密封性，又降低启闭阻力，达到防泄漏和防卡滞的效果。

（二）间隙补偿与密封面平整化处理

门体与门框、导轨之间存在泄漏通道，设备运行时产生的振动、形变容易造成间隙变大，高温热胀冷缩时间隙波动大，密封性能严重下降。改造应从间隙控制和补偿两方面入手：对密封面进行平整化处理，用数控铣床对门框密封面精铣加工，保证表面粗糙度和平面度精度，对磨损严重的旧设备，先堆焊修复再精铣，保证密封面精度。门体两侧安装可调节不锈钢密封压条，用螺栓与门体连接，可以调节压条和门框之间的贴合力度，从而达到间隙精确控制的目的^[4]。对由于温度变化导致热胀冷缩的间隙变化，设置碟形弹簧弹性补偿机构，碟形弹簧堆叠在一起，安装

在密封件支撑座上，利用碟形弹簧的非线性弹性特性，推动密封件始终与密封面保持接触，自动调节间隙。在门体转角处用橡胶一体成型的密封角件，角件用模压成型工艺，转角弧度和门体完全匹配，替代传统的拼接式密封，彻底消除转角部位的密封间隙，防止局部泄漏。

（三）压力自适应密封结构设计

热风系统内部压力发生波动时，容易破坏密封的稳定性，传统密封结构会因为压力的冲击而出现间隙撑开的情况造成泄漏，泄漏量会明显增大。改造可以加入压力自适应密封设计，依靠系统内压力来提高密封效果的动态性，适应不同的压力工况^[5]。在密封腔室中布置压力感应元件，保证灵敏性，当系统压力增大时，压力推动感应元件使密封件压向密封面，使密封力随系统压力的升高而增大，形成压力自增强密封效应，使得密封质量不受压力波动的影响。对高压工况的热风快关门，在主密封外侧加设环形辅助密封腔，向腔内充入低压惰性气体形成密封气幕，依靠气幕的节流、阻隔作用，阻挡热风从主密封间隙泄漏，降低泄漏量。在密封系统上设置泄漏检测接口，接口接压力变送器、气体分析仪，实时监测密封室内的压力和气体成分，当热风成分或压力出现异常的时候，立即发出泄漏报警信号，便于操作人员及时维护，明显提高密封系统的可靠性。

三、智能控制协同，强化防卡防漏的动态稳定性

（一）运行状态监测与预警系统集成

实时掌握设备运行状态是避免卡滞、泄漏故障的前提，而传统的依靠人工巡检的方式容易出现漏判、误判现象，故障发现时间晚。改造时，在关键部位布置多维度传感器形成智能监测网络，准确抓住故障前兆：在传动机构电机输出端装扭矩传感器，在导轨滑块装振动传感器，扭矩或者振动异常就说明有卡滞前兆，发出一级预警；在密封腔室装温度传感器和压力传感器，通过监控密封面温度变化和间隙压力波动，参数异常就表明密封性能变差，发出二级预警^[6]。将传感器的数据经由总线接入中央控制系统，利用 PLC 和触摸屏构成控制中心，经由定制化编程来达成数据的实时处理和逻辑判断，触摸屏会显示出设备的运行参数，传感器的数据以及故障信息，当发生异常情况的时候，通过声光报警器提示操作人员，而且系统还会自动保存故障数据，存储周期足够长，可以为故障的追溯和分析赋予可靠的依循，做到故障早发觉、早处置。

（二）自适应运行参数调节

不同工况下的热风快关门运行需求存在较大差别，固定运行参数容易造成适配性不足而引发故障，高温工况下的高速启闭会加大密封件磨损^[7]。改造过程中，需要改善控制逻辑，形成基于工况感知的自适应调节策略，依靠温度、压力、粉尘浓度传感器对工况参数实施实时采集，PLC 按照设定的逻辑来自动调节门体启闭速度，在正常工况下采用较快的启闭速度，在恶劣工况下减慢速度以减轻对密封件的冲击，在高粉尘工况下加强传动机构的润滑，保证润滑充分。应用模糊控制算法来建立工况参数与运行

参数之间的匹配模型，该模型包含大量的不同工况下设备运行数据，在设备历史运行数据不断学习、不断优化的基础上，形成控制参数调节机制，进而达到门体精准操作的效果^[8]。当密封面温度持续上升，压力稍有下降时，系统就判定为密封件轻微磨损，进而通过步进电机微调密封压条的压力，无需人工干涉就能保持密封状态，降低由于人为操作失误造成的故障率。

（三）故障自诊断与应急处理模块设计

为应对突发卡滞或者泄漏故障，应当建立诊断、处置、备份三级的故障处理机制，以此来提高设备运行的安全性，防止故障扩大造成次生事故。系统经过传感器数据的多维度对比分析之后，可以自动判定故障的种类和所在的位置，当扭矩传感器检测到瞬时过载并且振动传感器检测到高频振动时，判定为轻微卡滞，此时系统立刻执行反向启闭操作，启闭幅度为50mm，通过冲击力清除导轨内的小异物，如果反向操作之后扭矩依然超标，立刻切断动力输出并锁定门体，发出紧急停机信号，防止强行运行造成传动机构齿轮断裂或者电机烧毁。当密封部位温度和压力出现异常的时候，认为存在泄漏问题，在1秒之内系统会自动切断热风快关门上下游的气动截止阀，形成独立的隔离区，同时打开泄压阀将区域内压力降为0.05MPa以下，避免热风外溢造成的人员被烫伤或者设备被破坏^[9]。应急处理模块有完备的手动干预接口，设独立的手动控制箱，防水防尘，内置急停按钮、手动启闭旋钮和故障复位开关，在自动控制失效时，操作人员可以通过手动控制箱进行应急操作，控制响应时间 ≤ 0.5 秒。系统设置故障联锁功能，当设备出现严重故障的时候，自动对生产线控制系统发出信号，联动生产线降负荷或者局部停机，保证设备在故障状态下处于可控状态。

（四）数据驱动的预测性维护

传统的定期维护模式存在着过度维护或者维护不足问题，过度维护会增加成本，维护不足容易造成突发故障。改造过程中，基于监测系统获取的大数据，形成数据驱动的预测性维护策略，达成维护方式的精准转型，采用边缘计算模块对传感器数据实施即时预处理，抽取扭矩波动系数，密封面温度走向，振动频谱特性这些关键的健康指标，凭借 Python 编程语言塑造 LSTM（长短期记忆网络）预测模型，把之前7天的健康指标数据当作输入，产出今后15天出现故障的几率。当模型预测某项指标故障概率大于60%的时候，系统就自动生成维护工单，维护工单上写明要进行的维护项目，然后通过工业以太网将这些信息传送到设备管理平台^[10]。当预测到传动机构的润滑油劣化率达到70%的时候，工单会提示更换润滑油、清洗润滑管路；当预测到密封件的寿命不足30天时，提示提前购买密封件、安排更换。创建设备数字模型，将实时运行数据和数字模型进行关联，经由三维可视化界面呈现设备内部结构运行状况，这种预测性维护策略可使设备非计划停机时间减少70%以上，维护成本降低40%左右。

四、结束语

热风快关门防卡防漏改造属于系统工程，既要考虑硬件结构的改善，又要考虑密封效果的提升，还要考虑智能控制的配合，从基础的设计、运行的匹配到故障的防范构成完整体系。以工况实际需要为出发点，在改造过程中解决传统设备卡滞、漏油的问题，从而提高设备运行稳定性及能源利用率，推动工业热力系统关键部件的技术更新，为工业高效化、绿色化发展提供支撑。

参考文献

[1] 郭弢, 宋亚磊, 朱晨阳, 等. PE-RT II 热力阀门的特点及应用浅析 [J]. 区域供热, 2025(1): 151-158.
[2] 郭升. 供热阀门内漏检测方法分析及防治措施 [J]. 山西建筑, 2023, 49(5): 119-122.
[3] 万家鑫. 面向气动抓手的磁控形状记忆合金关阀研究 [D]. 南昌工程学院, 2023.
[4] 宋学官, 周威豪, 鄢来强, 等. 流-固-热多物理场耦合作用下安全阀密封性分析 [J]. 流体机械, 2023, 51(10): 24-32.
[5] 乔帆, 杨光, 李业强, 等. 基于仿真计算的城市管网爆管事件关阀策略 [J]. 煤气与热力, 2023, 43(3): V0015.
[6] 王胡, 陈慧如, 任凯. 油化实验室钢瓶防漏阀门控制系统设计 [J]. 设备管理与维修, 2023(18): 28-29.
[7] 刘敏楠. 石油化工装置阀门密封原理及泄漏原因分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024(003): 044.
[8] 王磊, 谈建平, 于新海, 等. 热力耦合作用下阀门高温结构蠕变疲劳损伤研究 [J]. 机电工程, 2023, 40(5): 633-643.
[9] 孙小翔. 电厂热力系统阀门内漏检测研究 [J]. 中国机械, 2024(9).
[10] 刘晶, 李超然, 张建楠, 等. 基于融合驱动的余热阀门控制优化方法 [J]. 热力发电, 2023, 52(10): 176-186.