

# 甲醇净化生产中罗茨鼓风机典型故障分析与防控对策

郭 梁

山西焦化集团有限公司 山西 临汾 041600

**摘要:** 罗茨鼓风机是甲醇净化生产的核心动力设备,其运行可靠性直接影响装置安全、稳定与高效运行。针对甲醇净化工艺介质含甲醇蒸汽、工况波动大、启停频繁、易乳化污染的特殊工况,系统分析罗茨鼓风机在该场景下的机械、电气及工艺故障,重点围绕轴承过热失效、同步齿轮磨损断齿、转子摩擦抱死、密封泄漏、振动噪声异常、电机过载六大典型问题,从设备选型、介质特性、安装调试、操作维护等维度揭示故障机理。结合山西焦化集团有限公司34万吨/年焦炉煤气制甲醇装置运行实践,构建预防性维护+状态监测+规范操作+应急处置一体化防控体系,风机非计划停车率显著降低。研究可为甲醇生产企业风机长周期稳定运行提供技术支撑,降低非计划停车,提升装置本质安全水平。

**关键词:** 甲醇净化;罗茨鼓风机;故障诊断;轴承失效;预防性维护;状态监测

## 引言

甲醇是重要的基础化工原料与清洁能源产品,焦炉煤气制甲醇已成为焦化企业延伸产业链、提升附加值的主流工艺。山西焦化集团有限公司建成并稳定运行34万吨/年焦炉煤气制甲醇装置,净化单元作为甲醇生产的核心环节,承担焦炉煤气的脱硫、转化,为后续合成工序提供合格的原料气。

罗茨鼓风机因强制输气、流量稳定、压力适应性强等优势,为焦炉煤气的输送提供动力。受焦炉煤气杂质多、工况波动大、装置启停频繁等因素影响,罗茨鼓风机常出现润滑乳化、热膨胀不均、密封失效、转子摩擦等问题,故障率高于常规工况。设备故障易导致工序中断、产品质量波动,严重时引发系统联锁停车,造成经济损失与安全风险。

现有罗茨鼓风机故障研究多针对通用工况,结合山西焦化34万吨/年焦炉煤气制甲醇净化现场的针对性分析较少。为此,本文立足生产实际,系统梳理罗茨鼓风机典型故障、精准诊断成因并提出防控方案,为装置长期安稳运行提供技术支撑。

## 1 罗茨鼓风机的工作原理与结构特点

### 1.1 工作原理

罗茨鼓风机是一种容积式回转风机。其核心部件是一对同步反向旋转的“8”字形(或渐开线形)转子。这两个转子被精密地安装在平行的主、从动轴上,并通过一对高精度同步齿轮保持严格的啮合间隙。当电机驱动主动轴旋转时,通过同步齿轮带动从动轴作同步反向旋转。在旋转过程中,转子与机壳内壁之间形成封闭的“V”形工作腔。随着转子的转动,工作腔的容积由进口

侧向出口侧逐渐减小,从而将气体从低压区强制推送到高压区,实现气体的增压与输送。

### 1.2 结构特点

其核心结构特点包括:(1)强制输气:流量与转速成正比,受排气压力波动影响小,适配净化系统稳定输气需求。(2)内部无压缩:气体仅在机内输送,压缩发生于出口背压端,结构简单、维护便捷。(3)精密间隙配合:转子之间、转子与机壳之间的间隙通常只有0.2-1.0mm。这个微小的间隙是保证风机高效、低噪运行的关键,也是其最脆弱、最容易因各种原因而失效的部位。(4)同步齿轮驱动:同步齿轮确保两转子永不接触,其自身的精度和润滑状态直接决定了整机的运行平稳性。正是这些结构特点,使得罗茨鼓风机在面对生产系统中的复杂介质和工况时,表现出独特的故障敏感性。

## 2 甲醇净化生产中罗茨鼓风机常见故障分析

### 2.1 轴承过热与早期失效

故障现象为轴承箱温度异常升高轴承温度超过75℃为异常,超过85℃需做紧急停机处理,伴随有尖锐的异响,严重时导致轴承烧毁、抱轴,迫使风机紧急停机。成因包括:(1)润滑不良:这是首要原因。油品选型不当、油位异常、被粉尘、焦油、水分污染,油膜破坏;焦炉煤气中杂质通过轴封渗入轴承箱,加速润滑失效<sup>[1]</sup>。(2)冷却不足:部分大型罗茨风机轴承箱带有水冷夹套。若冷却水堵塞、流量不足或水温过高,无法及时带走摩擦热,同样会引起轴承温升。(3)安装不当:轴承安装时若敲击不当造成损伤,或轴承座与端盖的配合过盈量不合适,都会导致轴承游隙异常,增加摩擦阻力。(4)负载过大:系统背压异常升高(如出口管线堵塞、

阀门误关)或吸入负压过大,都会使风机负载剧增,传递到轴承上的径向和轴向力也随之增大,超出其承载能力。(5)对中不良:风机与电机的联轴器对中精度超差,会产生附加的交变载荷,加速轴承疲劳失效。

## 2.2 同步齿轮磨损、点蚀与断齿

故障现象为运行中出现周期性的“咔哒”声或金属撞击声,振动加剧,严重时齿轮断齿,导致转子瞬间失去同步而猛烈碰撞,造成灾难性损坏。成因包括:(1)润滑失效:齿轮箱内的润滑油同样面临被甲醇、水分污染的风险。一旦油品劣化,齿轮啮合面间的油膜破裂,金属直接接触,产生胶合、点蚀和剧烈磨损。(2)超负荷运行:与轴承类似,系统异常导致的超负荷会使齿轮承受远超设计值的扭矩,引发疲劳断裂。(3)材质与热处理缺陷:制造过程中齿轮材料内部存在夹杂、疏松,或热处理(如渗碳、淬火)不均匀,硬度不达标,会显著降低其抗冲击和耐磨性能。

## 2.3 转子摩擦、刮壳与抱死

故障现象为风机发出刺耳的金属摩擦声,电流急剧飙升,机体剧烈振动,短时间内被迫跳停。解体后可见转子表面有严重的划痕、熔焊痕迹,甚至与机壳“焊”在一起。成因包括:(1)热膨胀不均:开停车、负荷波动、暖机不足导致转子与机壳受热不均,精密间隙消失。(2)异物卡阻:吸入的颗粒物、结焦物或内部脱落的积碳卡在转子与机壳之间,强行挤压导致摩擦。(3)同步齿轮失效:如前所述,一旦同步齿轮出现问题,两转子失去同步,必然发生猛烈碰撞。(4)基础沉降或变形:长期运行后,风机基础可能发生不均匀沉降,或者机壳因腐蚀、应力等原因发生微小变形,破坏了原有的几何精度。(5)反转:罗茨风机严禁反转。若在带压状态下错误启动或因出口止回阀失效导致气体倒流,强大的反向扭矩会使转子反向旋转,极易与机壳发生干涉。

## 2.4 密封泄漏

一是轴端密封泄漏,润滑油沿轴向外甩出(漏油),或焦炉煤气沿轴向内渗入轴承箱(漏气)。二是O型圈密封泄漏,机壳结合面处有气体或油渍渗出,导致风机效率下降,内部压力场紊乱<sup>[2]</sup>。成因包括:(1)密封件老化失效:高温、焦炉煤气杂质环境导致橡胶、PTFE密封件溶胀、硬化、龟裂。(2)轴颈磨损:轴颈粗糙度差、划痕加速密封唇口磨损,形成泄漏通道。(3)安装不当:密封件安装时被划伤、扭曲,或弹簧预紧力调整不当,都会影响其初始密封效果。(4)压差过大:当风机进出口压差远超设计值时,会对密封件产生巨大的推力,可能导致其被“吹开”或变形失效。

## 2.5 振动与噪声异常

故障现象为机体振动值(mm/s RMS)超标,地脚螺栓松动,连接管线共振,伴随有不规则的轰鸣、啸叫或冲击声。成因包括:(1)转子不平衡:转子表面积聚了不均匀的污垢(如焦油、杂质),或叶片受到不均匀冲刷,破坏了动平衡。(2)联轴器不对中:安装偏差引发附加振动。(3)基础刚度不足:基础设计不合理或灌浆不实,导致风机在运行中产生晃动。(4)喘振或堵塞:入口过滤堵塞、出口压力不稳诱发异常振动。(5)轴承或齿轮早期损伤:轴承滚道或齿轮齿面出现微小的点蚀、剥落,会在特定频率上产生特征振动信号。

## 2.6 电机过载跳闸

故障现象为运行电流持续高于额定值,触发过载保护继电器动作,导致停机。成因包括:(1)系统阻力增大:出口管线阀门开度不足、后路设备(如脱硫塔)堵塞、背压升高,导致风机实际工作点右移,功率需求激增。(2)吸入条件恶化:入口过滤器堵塞、入口管线过长或弯头过多,造成吸入真空度过高,同样会增加风机负荷。(3)内部机械摩擦:如前述的转子轻微摩擦、轴承损坏等,会额外消耗功率。(4)电压过低:电网电压偏低时,为维持输出功率,电机电流会相应增大。

## 3 故障处理与预防策略

结合山西焦化34万吨/年焦炉煤气制甲醇装置生产经验,建立“以防为主、防治结合”的全流程管理体系。

### 3.1 预防性维护体系

#### 3.1.1 严格介质管理

(1)强化入口过滤:在风机入口前设置高精度过滤器(如自洁式过滤器),并建立定期检查、清洗或更换的制度。对于可能携带液滴的工况,应在入口前增设高效气液分离器。(2)控制气体组分与温湿度:控制入口温度稳定,配套伴热与保温,避免焦油等杂质冷凝结垢。

#### 3.1.2 精细化润滑管理

(1)选用专用油品:必须使用风机制造商推荐的、具有优良抗乳化性、抗氧化性和防锈性的合成润滑油。严禁混用不同品牌或型号的润滑油。(2)定期油品检测:建立润滑油定期取样分析制度(如每季度一次),检测粘度、水分含量、酸值、颗粒度等关键指标,做到按质换油<sup>[1]</sup>。(3)规范加油操作:严格按照油标尺控制油位,加注润滑油做到“三级过滤”。

#### 3.1.3 规范操作规程

(1)严格执行启停程序:启动前必须全开出口旁路阀或放空阀,确保风机在零负荷或低负荷下启动。待运行平稳后再缓慢关闭旁路,加载至正常工况。停车时反

之。(2)充分暖机:在寒冷季节或长时间停机后启动,应进行充分的盘车和低速暖机,使各部件均匀受热膨胀。(3)禁止反转:在出口管线上必须安装可靠的止回阀,并定期检查其灵活性。

#### 3.1.4 定期检查与保养

(1)日常巡检:每班记录进出口压力、温度、轴承温度、振动、声音、电流,异常立即处置。(2)定期维护:根据运行小时数,制定大、中、小的维护计划。

### 3.2 状态监测与故障诊断(Condition-Based Maintenance, CBM)

引入先进的状态监测技术,可以实现故障的早期预警。(1)振动监测:在轴承座上安装振动传感器,进行连续在线监测或定期离线点检。通过分析振动频谱,可以准确判断是不平衡、不对中、轴承损伤还是齿轮故障。(2)温度监测:使用红外测温仪或安装温度传感器,实时监控轴承和润滑油的温度趋势。(3)油液分析:如前所述,是判断润滑系统健康状况和内部磨损情况的有效手段<sup>[4]</sup>。(4)声发射/超声波检测:可用于早期发现微小的泄漏或内部摩擦。通过建立设备健康档案,将各项监测数据进行趋势分析,可以在故障萌芽阶段就采取干预措施,避免突发性停机。

#### 3.3 应急处理措施

一旦发生故障,应遵循以下原则进行处理:(1)紧急停机与备机切换:现场设置备用鼓风机,出现轴承高温、剧烈振动、异常声响等严重故障时,立即启动备用鼓风机并入生产系统运行,再对故障机执行紧急停机操作,确保生产不中断。(2)隔离与泄压:停机后,迅速关闭进出口阀门,对风机进行隔离,并打开放空阀泄

压。(3)故障诊断:组织专业技术人员进行详细检查,必要时进行解体,准确判断故障部位和原因。切忌在未查明原因的情况下盲目复位重启。(4)修复与验证:根据诊断结果进行针对性修复。修复完成后,必须进行严格的单机试车(包括空载和负载),确认各项参数正常后,方可投入系统运行。

### 4 结语

山西焦化34万吨/年焦炉煤气制甲醇装置净化单元中,罗茨鼓风机以焦炉煤气为主要输送介质,设备故障由介质含粉尘与焦油、工况波动、操作维护、安装质量多因素耦合引发。构建“预防为主、监测预警、规范操作、应急保障”一体化管理体系,是实现风机长周期稳定运行的核心。通过源头介质净化、润滑精细化管理、操作标准化、状态智能监测,可推动设备管理从被动维修向主动预测维护转变,显著降低故障发生率与非计划停车次数,为装置长满安稳优运行提供保障。未来可进一步结合焦炉煤气工况,研发新型密封材料、智能自适应润滑系统、大数据健康预测模型,持续提升装置本质安全与运行效率。

### 参考文献

- [1]张庆祥.罗茨鼓风机常见故障识别与处理技术研究[J].石化技术,2025,32(01):389-390+322.
- [2]高秉伟,慕显文,刘书清.罗茨鼓风机常见故障及性能优化改进措施[J].中氮肥,2025,(01):49-52.
- [3]杨超.罗茨鼓风机故障诊断与处理方法[J].设备管理与维修,2023,(12):101-103.
- [4]江旭昌.罗茨鼓风机几个极易混淆的技术问题分析[J].新世纪水泥导报,2024,30(06):47-53.