

焦化除尘风机电机常见电气故障诊断与预防措施

段建国

山西焦化股份有限公司 山西 临汾 041600

摘要: 焦化除尘风机电机长期运行于高温、高粉尘、多腐蚀性气体的恶劣工业环境中,其电气故障发生频率高、排查难度大,直接影响除尘系统的可靠性和焦化生产的连续性。本文系统分析了焦化除尘风机电机的主要电气故障类型及成因,包括绕组绝缘故障、轴承电气损伤、变频器引发故障及定转子电气异常等。在此基础上,从感官诊断、仪表检测、振动分析、电流频谱分析等方面论述了故障诊断技术。最后,从设计选型优化、日常维护管理、在线监测与状态检修以及人员培训与管理等层面提出了系统的预防措施。本文旨在为焦化企业除尘风机电机的运行维护与故障管理提供理论依据与工程参考。

关键词: 焦化除尘; 风机电机; 电气故障; 故障诊断; 预防措施

引言

焦化生产中,装煤、推焦等工序产生大量含尘烟气,除尘风机是环保核心设备,其可靠性直接关乎达标排放与生产安全。风机多由高压异步电机驱动,采用变频或工频启动。与一般工业电机不同,焦化除尘风机电机工况极为恶劣:高温、高粉尘、含硫化物及苯系物等腐蚀性气体,且需连续运行,检修窗口有限。多重因素导致电气故障频发,绕组烧毁、轴承损坏、变频器异常跳闸等占非计划停机较大比例。一旦停机,不仅粉尘无组织排放面临环保处罚,更可能因烟气无法抽排危及焦炉安全。因此,深入分析故障机理、掌握有效诊断方法、建立系统预防措施,对保障焦化生产连续性与环保合规性至关重要。

1 焦化除尘风机电机常见电气故障类型及成因分析

焦化除尘风机电机的电气故障表现多样,按故障发生的部位和机理,可归纳为绕组绝缘故障、轴承电气损伤、变频器相关故障以及定转子电气异常四大类。

1.1 绕组绝缘故障

这是后果最严重的故障。焦化环境高温、粉尘、腐蚀性气体并存:散热不良使绕组长期过热,加速绝缘材料热老化;粉尘堵塞风道进一步恶化散热。高压运行下,电场分布不均引发局部放电,初期隐蔽,后期发展为击穿或爬电。腐蚀性气体与潮湿环境分别造成化学腐蚀和绝缘电阻下降,共同导致电机过热、电流不平衡、绝缘电阻降低,严重时匝间短路或对地击穿,烧毁电机。

1.2 轴承电气损伤

表面是机械故障,深层诱因常为电气因素。对于160kW以上变频电机,变频器输出的PWM电压含高次谐波,通过寄生电容耦合形成轴电压。当轴电压超过轴承油膜击穿阈值时,轴电流放电,在滚动体及滚道表面产生电蚀灼点,破坏表面光洁度,导致噪声、振动加剧,轴承失效。焦化高温使润滑脂干涸变质,油膜电阻降低,加剧电蚀^[1]。轴承严重损坏后转子扫膛,可引发绕组接地短路等二次故障。

1.3 变频器引发的电机故障

变频调速在节能的同时带来新的隐患。主要表现为匝间短路(线圈大面积损坏)和局部放电(外观良好但绝缘电阻为零)。损伤机制有三:①IGBT产生的尖峰电压具有陡峭前沿和高调制频率,加剧局部放电危害;②电场超限时介质损耗加剧,温升上升加速老化;③变频制动下的循环交变应力加速绝缘疲劳。此外,变频器自身故障(如IGBT击穿、散热不良、过流过压)也会导致电机异常停机或瞬间承受异常电流。

1.4 定转子其他电气故障

包括绕组接地、断路及转子故障。绕组接地多因绝缘受潮、粉尘形成导电通路或机械损伤,导致外壳带电或漏电保护动作。绕组断路常发生于引出线或内部焊点,使电机缺相运行、电流剧增,易烧毁电机。转子导条断裂或端环开裂在重载频繁启动时偶有发生,表现为启动转矩不足、电流周期性摆动,早期不易发现。

2 焦化除尘风机电机电气故障的诊断方法

2.1 感官诊断与运行参数观察

感官诊断是最直接、最基础的诊断手段,适用于故障的初步定位。在焦化除尘风机日常巡检中,值班人员应通过“听、看、摸”等方法感知电机运行状态。听诊法通过异常噪音初步定位故障,如轴承磨损声、电磁噪声异常增大或运行中出现周期性冲击声等。视觉检查包括观察电流表指示是否平稳、电压是否在额定范围内、电机表面有无过热变色痕迹等。手摸法可在确保安全的前提下感知电机外壳温度分布是否均匀,局部过热点往往指示绕组匝间短路或轴承卡滞。操作人员应定期检查并记录风机轴承温度、振动及噪音,这些运行参数的变化趋势对早期故障识别具有重要意义。

2.2 仪表检测与电气参数测试

仪表检测是电气故障诊断的核心手段,包括绝缘电阻测量、直流电阻测试和接地电阻检测等。绝缘电阻测试应定期进行,使用兆欧表测量绕组对地和绕组相间的绝缘电阻。焦化除尘风机电机在长期运行后,绝缘电阻值往往呈缓慢下降趋势,当数值低于临界值时预示绝缘性能严重劣化。三相绕组直流电阻的平衡性测试可有效检测匝间短路和焊接不良,正常电机的三相直流电阻偏差应控制在一定范围之内。对于变频器驱动电机,在断电后使用万用表电阻档测量变频器输出端 U、V、W 三相间电阻并测试各相对机壳电阻,若某相阻值为零或接近零则判定为短路,对地电阻低于 $5M\Omega$ 即为接地故障。接地电阻检测是保障人员和设备安全的重要环节^[2]。电机机壳接地应可靠,接地电阻需符合安全规范,尤其在焦化厂高粉尘环境中,接地良好可有效防止静电积累和漏电事故。

2.3 振动分析与轴承故障诊断

振动分析法被广泛应用于电机滚动轴承部件的状态监测与故障诊断。对于焦化除尘风机电机,振动信号中蕴含着丰富的故障特征信息。当轴承发生内圈、外圈或滚动体故障时,会在特定频率处出现特征谱线。工程实践中,振动幅值的长期趋势监测比单次测量值更具诊断价值。某焦化企业通过精密点检发现拦焦除尘风机自由端 3 倍频 52Hz 振动幅值达 13.2mm/s,精准判断为轴承跑圈及轴弯曲问题。若电机底脚不平或风机质量不平衡,同样会产生异常振动。干熄焦除尘风机因电机底脚不平 and 风机质量不平衡产生振动,可通过分析振动频谱特征区分振动来源。振动分析不仅能诊断轴承故障,还能发现转子不平衡、轴弯曲、对中不良等机械性缺陷,这些

机械问题若长期存在,将发展成为电气故障的诱因。

2.4 电流频谱分析与定子故障诊断

基于定子电流的诊断方法仍然是电机定子故障诊断的主流。电机定子绕组发生匝间短路或转子断条时,定子电流中会出现特定频率的谐波分量。通过快速傅里叶变换(FFT)对电流信号进行频谱分析,提取故障特征频率,可在电机不停机的条件下实现故障诊断。近年来,基于定子电流信号的诊断技术不断发展,通过正负序 Park 变换提取故障特征指标可有效识别匝间短路。对于焦化除尘风机这类连续运行设备,在线电流监测能够在不中断生产的情况下实现定子绝缘状态的持续评估。

2.5 变频器参数诊断

对于变频调速的除尘风机电机,变频器本身提供的诊断信息同样不容忽视。现代变频器均具备故障自诊断功能,通过故障代码可初步判断过流、过压、过载、接地等故障类型。此外,变频器内部运行参数如直流母线电压、输出电流、IGBT 模块温度等实时值也反映了驱动系统的健康状况。当变频器频繁报出过载或过流故障时,应同步检查电机负载情况和绝缘状态,而非单纯归因于变频器本身故障。

3 焦化除尘风机电机电气故障的预防措施

3.1 设计选型与安装优化

在设计阶段采取预防措施,是最为经济和有效的故障预防途径。针对焦化环境的高温、高粉尘特性,除尘风机电机应选用不低于 F 级的绝缘材料,优先选用 H 级绝缘电机以提供更大的安全裕量。对于变频调速的应用场景,应选用专用变频电机而非普通异步电机,前者在绝缘结构、电磁设计和冷却方式上针对变频器供电条件进行了优化。变频电机在主磁路设计上一般设计成不饱和状态,以适应低频时输出转矩的提升和抑制高次谐波引起的磁路饱和。轴电流防护是变频电机设计的重点^[3]。对于容量超过 160 千瓦的变频电机,应采轴承绝缘措施,即在轴承室或端盖处嵌入绝缘层,阻断轴电流的流通路径。同时,在变频器输出端安装共模滤波器或输出电抗器,可有效抑制 PWM 电压的尖峰幅值和高次谐波含量,降低其对电机绝缘和轴承的电应力。电机底座的安装精度和基础刚度同样不容忽视,底脚不平会引入附加振动应力,加速电气与机械部件的双重劣化。

3.2 日常维护与定期检修

建立科学规范的日常维护体系,是预防电气故障的基础保障。维护工作应从定期巡检、周期性保养和专

项检测三个层面展开。日常巡检应覆盖电机运行温度、振动、电流、噪音等关键指标,操作人员每班次对电机运行状态进行记录,发现异常应及时上报。在周期性保养方面,轴承润滑是重点维护项目。电机轴承应每三个月补充或更换耐高温润滑脂,避免因润滑不足导致摩擦发热加剧和轴电流损伤加重。电机表面及散热风道的清灰工作应根据粉尘积累速度确定周期,保持通风散热通畅。电气连接部位的紧固检查同样重要,每两月应对主电源及控制线路的接线端子进行紧固,防止接触电阻过大引起局部发热。变频器内部清灰应纳入维护计划,对功率单元、电路板、风扇等部件进行细致清灰,保障变频器的散热性能。在专项检测方面,应定期开展绝缘电阻测试和直流电阻平衡性检测。尤其在设备长期停运后重新投运前,必须进行绝缘性能复测。电机解体检修或长期未投用时,空气中水蒸气会在内腔绕组产生凝露,使绝缘电阻下降,可通过向定子绕组通入低压交流电使铜损产生热量实现均匀干燥处理。绝缘电阻的恢复情况是判断电机能否安全投运的关键依据。

3.3 在线监测与状态检修

依靠事后响应的传统故障检测模式局限性日益凸显,此类检测方式无法在故障发生前进行有效预测与预警,依赖人工经验的故障排查处理效率偏低,对隐性、渐变性故障的检测能力不足。在物联网与大数据技术日益成熟的背景下,在线监测与状态检修正成为焦化除尘风机电机故障预防的新方向。通过在电机轴承、绕组、机壳等关键部位部署温度、振动、电流等传感器,可实现电机运行状态的实时采集与智能分析。重点监测参数包括风机轴承温度、电机轴承温度、电机定子温度以及风机振动振幅等,传统做法为这些参数设定固定的报警值,一旦检测数据超过阈值即触发报警或停机^[4]。更为先进的做法是建立基于历史数据的预测性维护模型,通过分析能耗曲线和温度趋势,识别早期效率衰减,预测轴承和绕组的剩余寿命。实践中,已有企业在除尘风机上采用神经网络模型,以轴承温度、电机绕组温度、风机声波值、振动值等作为输入参数,实时计算输出电机电流和转速的偏差值,实现对风机状态的早期异常识别与预警。

3.4 人员培训与管理体系建设

再完善的技术措施最终仍需由人来执行。焦化企业应加强对电气运维人员的专业技能培训,使其熟练掌握

电机故障的感官诊断技能、仪表检测操作方法以及变频器参数的解读能力。培训内容应包括常见故障代码的快速解读、隐蔽性故障的排查逻辑以及应急故障处理流程等。运维人员只有具备扎实的理论功底和丰富的实践经验,才能在故障初现端倪时快速定位原因并采取有效处置措施,避免小故障演变为重大停机事故。同时,应建立健全设备维护档案管理制度,详细记录每次维护内容、检修过程、故障原因及解决措施,通过历史数据分析总结故障规律,持续优化检修策略。在具备条件的情况下,可推广精密点检与振动诊断在设备隐患治理中的应用,强化振动诊断技术在电机运行状态评估中的辅助作用,提前发现转动设备贫油、不平衡等早期隐患,从而变被动抢修为主动预防。

4 结语

焦化除尘风机电机在高温、高粉尘、多腐蚀性气体的恶劣环境下长期连续运行,其电气故障具有多发性、隐蔽性和耦合性等特点。绕组绝缘热老化和电老化是电机烧毁的主要内因,变频器引发的匝间短路和局部放电是变频调速条件下突出的电气故障,轴承电腐蚀则在轴电流作用下加速轴承失效,形成机械—电气复合故障模式。在故障诊断方面,感官诊断和仪表检测是现场处置的快捷手段,振动分析和电流频谱分析为早期故障识别提供了技术支撑。预防措施的构建应贯穿设计、运行和维护的全生命周期:设计阶段优化电机选型和绝缘配置,运行阶段强化日常巡检和周期性保养,维护阶段引入在线监测和智能诊断,管理层面加强人员培训与制度建设。通过多措并举的系统化管理,可显著降低焦化除尘风机电机的电气故障率,保障除尘系统的可靠运行,实现环保达标与生产稳定的双重目标。

参考文献

- [1] 曹述辉. 干熄焦环境除尘风机振动大的原因分析与处理 [J]. 燃料与化工, 2024, 55(5): 72.
- [2] 张官祥, 程建, 李利华, 等. 异步电机匝间短路故障诊断方法综述 [J]. 湘潭大学学报 (自然科学版), 2025, 47(2): 68-86.
- [3] 宋君健, 徐文婧, 高宏洋, 等. 永磁同步电机定子匝间短路故障诊断技术研究 [J]. 微特电机, 2025, 53(11): 31.
- [4] 除尘设备电气技术驱动系统的故障分析与对策 [C]//2025 工程新技术与新方法经验交流会论文集, 重庆, 2025: 1-3.