

高压电机常见故障与检修技术分析

张 栋

(阳城国际发电有限责任公司, 山西 晋城 048102)

摘要 高压电机是工业生产的核心动力设备, 广泛用于电力、冶金等领域, 其运行稳定性直接影响生产系统作业与效益。本文围绕高压电机故障与检修展开研究, 首先概述电气、机械、绝缘系统、冷却系统四类常见故障类型及表现、诱因; 接着分析电气参数检测、振动与噪声分析等故障诊断技术原理与应用场景; 随后阐述检修技术与流程, 包括常规检修及电气、机械、绝缘系统专项检修方法; 最后提出四项故障预防与维护策略, 以期为全生命周期管理提供参考。研究结果表明, 精准诊断、规范检修与主动维护可降低故障发生率, 延长设备寿命, 保障工业生产稳定运行。

关键词 高压电机; 故障诊断; 检修技术; 绝缘系统

中图分类号: TM3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.32.030

0 引言

随着工业生产智能化转型加快, 高压电机对运行可靠性和能效水平要求不断提高, 其故障诊断和检修工作成为设备管理体系的重要环节。高压电机结构复杂, 故障诱因有多因素耦合特点, 如电磁力波动引起机械振动、环境湿度和粉尘导致绝缘性能下降、润滑系统失效造成部件磨损等, 而且部分早期故障隐蔽性强、发展速度快, 传统检修方式难以精准识别和及时处理。因此, 系统整理高压电机典型故障类型, 优化检修流程和技术方法, 提高故障诊断精度和修复效率, 是推动工业设备安全运维体系升级的关键。

1 高压电机常见故障类型概述

1.1 电气故障

电气故障是高压电机常见故障类型, 发生于电气回路与导电部件, 诱因有部件老化、接触不良、参数异常等。定子绕组故障是核心形式, 有匝间、相间、对地短路, 分别由绕组绝缘破损、端部绝缘老化或异物进入、绝缘层击穿或受潮导致, 会使电流骤增、绕组过热, 严重时烧毁电机。转子故障包括断条与集电环故障, 断条因焊接缺陷或负载冲击, 造成转速下降、振动加剧; 集电环故障表现为表面磨损等, 影响电机出力。励磁系统故障多见于同步高压电机, 表现为励磁电压异常等, 诱因是元件损坏、绝缘老化, 易导致失步^[1]。

1.2 机械故障

机械故障集中于机械传动与支撑部件, 与安装精度等相关, 初期表现为振动与噪声异常, 不处理会致

部件损坏。轴承故障高发, 如滚动轴承磨损等, 因润滑问题或安装不当, 使电机端盖温度升高、有振动噪声。联轴器故障表现为错位、元件损坏, 因安装偏差或负载冲击, 造成传动失衡、整机振动。转轴故障有弯曲、磨损与裂纹, 分别因过载或受力不均、配合间隙大、材料疲劳或冲击载荷, 影响电机稳定性。

1.3 绝缘系统故障

绝缘系统保障高压电机耐受高电压, 性能劣化会引发电气故障, 成因与温度等相关。绝缘老化是渐进性故障, 由长期运行温升导致, 使绝缘电阻降低等, 不处理会发展为绝缘击穿。绝缘击穿是突发性故障, 分为电击穿与热击穿, 电击穿因局部电场集中, 热击穿因过载或冷却失效。绝缘受潮常见于潮湿环境或冷却泄漏电机, 降低绝缘电阻、加速老化, 雨季或停用重启时高发^[2]。

1.4 冷却系统故障

高压电机运行产热, 冷却系统维持温度, 故障会致电机过热、诱发绝缘老化与部件损坏。风冷系统故障有风扇损坏、风道堵塞、风罩破损, 分别因振动或轴承失效、粉尘油污堆积、风罩损坏, 使电机温度升高。水冷系统故障包括管路堵塞、泄漏、水泵失效, 因水质不佳、管道腐蚀、水泵故障, 减少冷却水流量或中断循环, 大型高压电机更常见、威胁更大。

2 高压电机故障诊断方法与技术

2.1 电气参数检测

电气参数检测通过测量电机电气性能指标判断电气与绝缘系统健康状态, 是高压电机故障诊断的基础

方法。常用检测参数有绕组直流电阻、绝缘电阻与介质损耗因数。

1. 绕组直流电阻测量用直流电桥法, 对比三相绕组直流电阻偏差判断故障, 正常偏差不超 2%, 电阻偏小可能匝间短路, 偏大可能接头松动或导线断裂。

2. 绝缘电阻测量用兆欧表, 不同电压等级电机有不同绝缘电阻标准, 绝缘电阻降低表明受潮或老化。

3. 介质损耗因数, $\tan \delta$ 测量用介损测试仪, 评估绝缘老化程度, $\tan \delta$ 值大说明损耗严重, 随温度升高急剧增大可能有局部缺陷或受潮。

2.2 振动与噪声分析

振动与噪声分析通过采集电机振动与噪声信号, 结合频谱分析技术识别机械故障, 不同机械故障产生特定频率振动与噪声, 可据此定位故障部位。振动信号用压电式振动传感器采集, 安装于关键部位, 采集加速度、速度信号, 经频谱分析仪转换分析故障类型, 如轴承外圈故障、转子不平衡、联轴器错位有对应特征频率峰值。噪声分析作为补充, 正常电机运行噪声为连续平稳低频噪声, 出现尖锐高频或周期性噪声可能对应不同故障。

2.3 温度监测技术

温度监测技术通过检测电机关键部位温度判断是否过热, 是预防绝缘老化与部件损坏的重要手段, 分为接触式与非接触式测温。

1. 接触式用热电偶或铂电阻传感器, 安装于定子绕组、轴承、铁芯等部位, 定子绕组温度是核心指标, 绕组或轴承温度异常可能对应冷却系统故障、负载过载、润滑不良或轴承磨损等问题。

2. 非接触式用红外测温仪或红外热像仪, 适用于不便安装传感器部位, 红外热像仪可显示局部过热区域, 如定子绕组某槽位温度高可能短路, 铁芯局部过热可能硅钢片绝缘损坏^[3]。

2.4 在线监测系统应用

在线监测系统实时采集电机多维度运行数据, 实现故障连续监测与早期预警, 避免停机影响生产, 捕捉瞬时故障信号, 适用于关键生产环节高压电机。其核心组成包括传感器模块、数据采集单元、通信单元与后台分析软件。

传感器模块全面采集运行参数, 数据采集单元处理信号, 通信单元上传数据, 后台软件用机器学习算法分析数据, 参数超阈值自动报警并提示故障类型, 如发现定子绕组温度升高、电流波动或局部放电信号增强, 会判断风险并推送建议或预警。

3 高压电机检修技术与流程

3.1 常规检修项目

常规检修是日常维护基础, 包括设备清洁、部件紧固与润滑维护, 与定期巡检同步, 预防故障、维持运行。设备清洁先断电, 拆除风罩、端盖, 用压缩空气吹扫, 顽固污渍用中性清洁剂擦拭, 确保无残留。冷却系统疏通风道、清除杂物、清洗水管、除水垢。部件紧固检查地脚、端盖、引出线接头螺栓, 按规定力矩紧固; 控制集电环与碳刷连接螺栓力矩。润滑维护针对轴承, 选合适油脂, 定期补充或更换, 清除旧油脂, 填充量为 $1/2 \sim 2/3$ ^[4]。

3.2 电气系统检修

电气系统检修针对定子绕组、转子与励磁系统故障, 恢复导通性与绝缘性, 结合检测定位故障、选检修方法。定子绕组故障先确定类型, 匝间短路查找短路点、处理后浸漆干燥; 相间或对地短路且范围大则重绕绕组, 完成后试验。转子断条定位后, 铸铝转子加热浇铸, 铜条转子更换焊接, 修复后动平衡试验。励磁系统检查变压器、整流装置与绕组, 故障后更换元件或绕组, 修复后测试电阻。

3.3 机械部件检修

机械部件检修针对轴承、联轴器与转轴故障, 恢复传动稳定性与精度, 结合振动与拆解检查选方案。轴承检修拆除端盖取出轴承, 损坏则更换, 加热套装, 调整游隙并测试。联轴器检修检查同轴度, 偏差大调整设备或更换元件, 本体损坏更换, 确保配合间隙。转轴检修测量轴颈尺寸, 磨损小镀铬修复, 磨损大或有裂纹焊接修复, 修复后动平衡试验。

3.4 绝缘系统修复

绝缘系统修复针对绝缘老化、击穿与受潮故障, 恢复绝缘性能。结合检测与评估选择合适的修复技术, 常用绝缘干燥、局部修补与绕组重绕。绝缘干燥适用于受潮故障, 根据受潮程度选干燥方式: 轻度受潮适用热风干燥法, 温度 $50 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$, 持续 $24 \sim 48 \text{ h}$ 吹绕组表面; 重度受潮适用真空干燥法, 真空度不低于 0.09 MPa , 温度 $60 \sim 70 \text{ }^\circ\text{C}$ 。干燥时定期测绝缘电阻, 稳定且达标则完成。绝缘局部修补适用于局部击穿或老化故障, 先清除故障处老化材料并打磨, 再包裹多层绝缘材料并用胶黏合, 修补后做局部耐压试验, 电压为额定 1.5 倍。绕组重绕适用于整体老化或大面积击穿故障, 先记录绕制参数并拆除旧绕组, 清理铁芯槽后铺设新槽绝缘, 按原参数绕制新绕组嵌入槽内, 最后端部整形、绑扎并浸漆干燥, 采用真空压力浸漆法, 压力 $0.3 \sim 0.5 \text{ MPa}$ 。

重绕后做绝缘电阻、介损与耐压试验,确保达标。

4 高压电机故障预防与维护策略

4.1 定期巡检策略

定期巡检通过周期性检查电机运行状态,早期发现潜在故障,是高压电机维护的基础措施,需根据电机重要程度与运行环境制定差异化的巡检周期与内容。日常巡检每日进行1次,由现场运维人员执行,检查内容包括电机外观,是否存在漏油、渗油、运行声音,是否平稳无异常噪声、表面温度,采用红外测温仪测量轴承、机座温度、电流电压,通过电流表、电压表观察三相电流电压是否平衡,并记录巡检数据,若发现温度超过限值或电流偏差过大,需立即停机排查。月度全面巡检每月进行1次,由技术人员执行,除日常巡检内容外,还要增加电气参数检测,测量绝缘电阻、绕组直流电阻、振动检测,测量轴承部位振动速度、冷却系统检查,清理风道、检查冷却水压力,若绝缘电阻降低或振动超标,需制定专项检修计划。年度深度巡检每年进行1次,结合电机停机保养执行,包括解体检查,检查轴承磨损状态、转子与定子气隙、介损测试、局部放电检测、动平衡试验,全面评估电机健康状态,根据检测结果制定下一年度的维护与检修计划^[5]。

4.2 油液与润滑管理策略

油液与润滑管理直接影响机械部件的使用寿命,核心是确保轴承润滑油脂与冷却系统油液,若油液的性能符合要求,需从油液选型、更换周期与油质检测三个方面制定管理措施。油液选型需根据电机部件类型与运行条件确定,轴承润滑油脂需选择高温稳定性好、抗磨性能强的产品,如转速3 000 r/min的电机选用46号合成锂基润滑脂,冷却系统油液需选择导热系数高、黏度适宜的产品,如矿物型导热油,避免因油液选型不当导致部件磨损或散热效率下降。油液更换周期需根据运行时间与油液性能确定,轴承润滑油脂的更换周期通常为2 000~3 000 h,或每6个月,冷却系统油液的更换周期通常为8 000~10 000 h,或每2年,若电机运行环境粉尘多、温度高,需缩短更换周期,如缩短20%~30%。油质检测需定期采集油液样本,检测油液的关键指标,轴承润滑油脂需检测黏度、水分含量,应不超过0.1%与杂质含量,颗粒度应不超过NAS8级,冷却系统油液需检测导热系数、闪点与酸值,酸值应不超过0.1 mg KOH/g,若检测指标超标,需立即更换油液,并排查油液劣化的原因,如冷却系统泄漏、密封不良。

4.3 负载管理策略

负载波动和过载是导致高压电机电气故障和机械故障的重要原因。负载管理策略通过让电机负载在合理范围内,来防止负载冲击对电机造成损害,要从负载监测、过载保护和负载均衡三个方面开展。负载监测要在电机电源回路安装电流监测设备,如智能电流表、电流传感器,以此实时监测电机运行电流。在正常情况下,运行电流不应超过额定电流的110%。若电流持续超过额定电流,要排查负载设备是否有卡滞、过载情况,及时调整负载。同时,要记录电机负载变化趋势,若负载长期处于额定电流的80%以下,可评估是否要更换小容量电机,以提高能源利用效率。过载保护要在电机控制系统中设置过载保护设备,如热继电器、过载跳闸回路。当电机电流超过额定电流的120%且持续时间超过设定值,如10 s,保护设备会自动切断电机电源,防止电机长期过载致使绕组过热。

5 结束语

在工业生产转向智能化和高效化的重要时期,高压电机是核心动力设备,其运行可靠性直接关系到生产系统的稳定性和综合效益,对设备运维体系的技术水平和管理能力提出更高要求。准确的故障诊断是预测风险和阻止故障发展的前提,规范的检修技术是恢复设备性能和延长使用寿命的核心,主动的维护策略是实现设备全生命周期高效管理和降低运维成本的关键。通过多维度诊断技术的共同使用、检修流程的标准化实施和维护策略的动态改进,不仅能有效减少高压电机故障发生,还能为工业领域建立安全、高效、低碳的设备运行体系提供技术保障,帮助生产系统从被动维修转向主动预防,为工业高质量发展提供坚实的设备基础,推动设备运维工作向更具前瞻性和系统性的现代化管理模式发展。

参考文献:

- [1] 刘立灿.高压电机绕组常见绝缘故障及处理[J].冶金动力,2023(01):1-3,34.
- [2] 刘斌斌.高压电机常见故障与检修技术分析[J].光源与照明,2021(08):76-78.
- [3] 宫磊.高压电机常见故障的分析与现场检修方法研究[J].应用能源技术,2021(06):6-8.
- [4] 张文栋.高压电机故障分析及处理措施[J].南方农机,2020,51(15):211-212.
- [5] 梁金泽.高压电机常见故障分析及处理方法[J].中国设备工程,2020(03):239-240.