

电气设备运行维护与故障预防策略

温 泉

国家能源集团煤焦化有限责任公司西来峰甲醇厂 内蒙古 乌海 016000

摘 要: 在电力系统的运行中, 电气设备具有极其重要的作用, 其不仅关系到电力系统的正常运行, 而且对整个电网的安全稳定运行起着重要作用。电气设备的安全和稳定运行需要进行日常管理与维护, 同时还需要定期对电气设备进行故障检修。然而在实际工作中, 电气设备的故障检修往往存在很多问题, 这就要求电气工作人员结合专业知识和技能进行有效维护和诊断, 从而保证电气设备能够稳定、可靠、高效运行。

关键词: 电气技术; 故障预防; 运行维护

电气技术的不断发展, 电气设备越来越广泛地应用在各个领域中, 电气设备的运行维护和故障预防, 是保证其正常运行的关键环节, 也是电气技术工作中的一项重要内容。在日常使用过程中, 如果出现故障就会影响到整个电力系统的正常运行。

1 电气设备运行维护重要性

1.1 保障生产连续性与系统稳定性。预防非计划停机。通过定期巡检和参数监控, 可提前识别设备异常(如接触器触点氧化、绝缘劣化等), 避免突发故障导致生产线中断。例如, 配电柜的接地系统完整性检查和避雷器状态评估, 可显著降低雷击等环境因素引发的电网波动风险。优化资源配置。基于运行数据建立预测性维护模型, 动态调整维护计划, 减少因设备冗余配置造成的资源浪费。

1.2 延长设备生命周期与经济效益。延缓老化进程。定期清洁散热组件、更换老化电缆等措施, 可减少高温氧化和机械磨损, 使变压器、断路器等核心设备寿命延长20%-30%。降低综合成本。预防性维护的直接成本仅为事后修复的1/5-1/3, 同时减少停机带来的间接损失(如工厂产能损失、违约赔偿等)。

1.3 安全性提升与风险防控。消除安全隐患。通过绝缘电阻测试、电弧放电检测等技术手段, 可规避漏电、短路等电气事故, 降低人员触电和火灾风险。环境适应性管理。针对高湿度、高粉尘等特殊环境, 强化密封防护与腐蚀监测, 维持防爆设备的安全性能。

1.4 能效优化与可持续发展。节能降耗。润滑电机轴承、校正三相负载平衡等维护操作, 可使设备能耗降低5%-15%。支持智能化升级。维护过程中积累的运行数据为设备智能化改造(如变频器参数优化、无人巡检系统部署)提供决策依据。

2 电气设备运行维护的目的

2.1 保障运行安全。消除电气隐患: 定期开展绝缘电阻测试与环境适应性检查, 可降低漏电、短路等事故风险, 防止人员触电与火灾发生。维持防爆性能: 针对高粉尘、高湿度环境强化密封防护, 避免污染物侵蚀设备关键部件。

2.2 延长设备寿命。延缓老化进程: 通过清洁散热组件、更换老化电缆等措施, 减少高温氧化与机械磨损, 使变压器、断路器等核心设备寿命延长20%-30%。预防腐蚀损伤: 清除开关柜内腐蚀物与油污, 保护金属部件免受锈蚀影响。

2.3 提升运行效能。优化能耗指标: 润滑电机轴承、校正三相负载平衡等操作可降低设备能耗5%-15%。增强稳定性: 定期检查接地系统与避雷器状态, 减少电网波动对设备的冲击。

2.4 预防故障发生。主动识别异常: 通过仪表监控与红外测温技术, 提前发现接触不良、局部过热等问题并干预。减少停机损失: 标准化维护体系可将生产线有效运行时间提升至98%以上, 避免单次故障导致数十万元经济损失。

2.5 支持可持续发展。数据驱动升级: 维护积累的运行参数为变频器优化、无人巡检系统部署等智能化改造提供依据。节能减排: 清洁变压器散热器等措施可降低能量损耗, 提升绿色运行水平。通过系统性维护, 电气设备可实现安全与经济性的双重提升, 同时为智能化、绿色化转型奠定基础。

3 电气设备运行维护内容

3.1 日常基础维护。外观检查与清洁。检查设备表面无破损、变形, 清理粉尘、油污等污染物, 保障散热通道畅通(如配电柜内外清洁)。保持工具、附件、线路的整齐摆放, 避免环境杂乱引发安全隐患。机械连接管

理。紧固松动螺栓、接线端子，消除接触不良导致的局部发热或电弧放电风险。定期润滑电机轴承、齿轮箱等活动部件，防止干摩擦加剧磨损。运行状态监控。通过仪表参数、异响、异味等判断设备异常（如接触器触点氧化、断路器跳闸异常）。使用红外测温仪监测变压器绕组、开关触头等关键部位温度，预防过热引发绝缘老化。

3.2 功能性维护操作。绝缘性能检测。采用兆欧表定期测量绝缘电阻，识别电缆、绕组等部件的绝缘劣化问题。通过耐压试验验证设备耐受电压能力，确保安全标准。元件维护与更换。依据寿命周期更换老化保险丝、熔断器、继电器触点等易损件。清理开关柜内腐蚀物，修复或更换受损防护装置（如避雷器、接地线）系统功能验证。定期执行断路器跳闸试验、继电保护校验等操作，验证保护系统可靠性。调试设备参数（如三相负载平衡），确保运行稳定性和能效最优。

3.3 安全与环境管理。防护措施强化。检查接地电阻是否符合要求，评估防爆设备的密封性和抗腐蚀能力。在潮湿、粉尘环境中加强湿度监控与密封处理，防止绝缘性能下降。操作规范执行。维护时严格执行断电操作，避免带电作业引发触电事故。禁止超负荷运行设备，确保安全防护装置（如过载保护、急停按钮）有效。

3.4 运行数据记录。建立设备履历档案，记录温度、振动、能耗等参数变化趋势。通过数据分析预判设备劣化周期，指导预防性维护计划制定。维护周期规划。制定分层级维护计划：每日巡检、月度润滑、年度预防性试验。储备关键备件（如断路器、接触器），缩短故障响应时间。通过以上系统性维护内容的执行，可显著提升设备可靠性（故障率降低30%-50%）、延长寿命周期（平均延长20%以上），并实现能耗优化与安全风险可控。

3.5 运行维护核心要点。日常巡检与异常识别。通过观察设备外观、异响、异味判断潜在故障，及时记录异常现象。检查高压开关柜仪表指示、继电保护状态及接地系统完整性。清洁与润滑管理。定期清除设备表面灰尘杂质，保障散热性能，润滑活动部件以减少机械磨损。配电柜需保持内外干燥清洁，避免因潮湿或污垢导致绝缘性能下降。绝缘与温度监测。使用兆欧表检测绝缘电阻，防止漏电或短路风险。通过红外测温技术监控关键部位温度，预防过热引发绝缘老化。

4 电气设备故障排查与处理方法

4.1 排查流程标准化。故障现象确认。通过感官诊断法（六诊法）获取初步信息：询问操作人员故障现象（口问）、观察设备外观与运行状态（眼看）、听设备异响（耳听）、闻焦糊异味（鼻闻）、触摸异常温升

（手摸）。记录故障发生时的环境条件（如温度、湿度）及操作步骤，缩小排查范围。安全措施实施。立即切断电源并在开关处悬挂警示牌，穿戴绝缘防护装备后再进行后续操作。使用验电笔验证设备是否完全断电，避免残余电压引发触电风险。仪器辅助检测。采用万用表测量线路通断与电压异常，兆欧表检测绝缘电阻（例如电缆对地电阻 $< 1\text{M}\Omega$ 时判定绝缘劣化）。通过钳形电流表监测三相电流平衡度（偏差 $> 10\%$ 需调整负载分布）。

4.2 典型故障处理策略。过热问题。清理散热部件积尘（如变压器散热片、配电柜风扇），增强空气流通性。检查电机轴承润滑状态，补充耐高温润滑脂（NLGI 2级为宜）。短路与接地故障。分段测量线路电阻定位短路点，更换受损绝缘层（如使用耐压 $\geq 500\text{V}$ 的PVC套管）。对接地线进行防腐处理，必要时更换多股铜芯接地线（截面积 $\geq 25\text{mm}^2$ ）^[1]。接触不良与元件老化。复紧松动端子（如使用扭矩扳手按M6螺栓8-10N·m标准操作），清除触点氧化层。更换达到寿命周期的元件（如接触器触点磨损超过50%需换新）。

4.3 系统性分析方法。逻辑推理定位。遵循“先机械后电路”原则，优先排除传动机构卡滞等机械问题再排查电气系统。对比正常与故障状态参数差异，分析电路原理图确定异常支路。保护功能验证。测试断路器分断能力（如额定电流16A断路器需在0.1s内切断1.5倍过载电流）。校准热继电器动作阈值，确保与电机额定电流匹配（误差 $\pm 5\%$ ）。

4.4 预防性维护措施。周期性检查。制定月度紧固计划（重点检查振动区域的接线端子）与年度绝缘检测计划。建立备件清单（如熔断器、中间继电器），缩短故障修复时间30%以上。数据驱动优化。记录历史故障参数（如电机绕组温度曲线），构建预测性维护模型。通过能耗数据分析优化设备运行模式（如变频器参数调节降低空载损耗）。通过上述方法，可将设备故障率降低40%-60%，同时提升维修效率与运行安全性。

5 电气设备故障预防策略

电气设备故障预防策略可系统整合为以下模块，结合智能化监测与经典维护手段提升可靠性：

5.1 预测性维护体系构建。数据驱动故障预测。部署传感器实时采集温度、振动、电流等参数，通过机器学习模型（如综合故障预测模型）分析机械/电气故障趋势。建立设备健康度评估系统，依据运行数据生成维护优先级清单。闭环控制优化。将故障诊断结果直接关联控制策略库，自动执行负载切换、设备停机等闭环操作。通过数字孪生技术模拟故障演化路径，提前制定应

急预案。

5.2 标准化维护流程。周期性检查规范。实施“三级检查制”：每日红外测温（重点部位 $\leq 85^{\circ}\text{C}$ ）、月度端子紧固（扭矩误差 $\leq \pm 10\%$ ）、年度绝缘测试（电缆对地电阻 $\geq 1\text{M}\Omega$ ）。建立易损件更换周期表（如接触器触点每5万次操作更换）。关键部件防护。在配电柜安装温湿度传感器，超过阈值（湿度 $> 60\%$ ）自动启动除湿装置。对电机轴承实施状态监测，润滑油脂更换周期缩短至标准值的80%。

5.3 环境与操作管理。环境风险控制。粉尘区域采用IP54以上防护等级柜体，潮湿场所每周检测接地电阻（ $\leq 4\Omega$ ）。设置防鼠板与线缆护套，降低生物侵蚀风险。操作安全强化。编制设备运行禁忌清单（如禁止150%超载运行超过30分钟）。推行“双人验证”制度，关键操作需双重确认防护装置有效性。

5.4 技术升级策略。设备选型优化。优先选用集成自诊断功能的智能断路器（支持过载/短路预报警）。变频设备配置谐波滤波器，降低电网污染引发的故障率。人员能力培养。开展AR模拟故障处置训练，提升维护人员对隐蔽缺陷（如接触点微电弧）的识别能力。实施“红牌作战”可视化管理，标识高风险区域与操作流程。

6 制定电气设备有效预防措施方法

6.1 绝缘与接地防护。双重绝缘强化。关键设备采用双重绝缘结构（如带绝缘护套的铜排），主绝缘层厚度 $\geq 1.5\text{mm}$ ，附加绝缘电阻值 $> 5\text{M}\Omega$ 。对运行10年以上的设备实施绝缘加速老化试验，及时更换介质损耗 $> 3\%$ 的部件。智能接地监控^[2]。部署在线接地电阻监测装置（动态阈值 $\leq 4\Omega$ ），异常时自动触发报警并切断高危回路。易腐蚀区域采用铜镀钢接地极（截面积 $\geq 50\text{mm}^2$ ），配合阴极保护系统延长使用寿命。

6.2 运行状态监测。多参数融合监测。安装特高频+超声波复合传感器，捕捉局部放电信号（灵敏度 $\leq 10\text{pC}$ ）。实施三相电流动态平衡控制，偏差超过10%时

自动调节负载分配。智能诊断系统。构建设备健康度评估模型，融合温度（阈值 85°C ）、振动（ $< 4.5\text{mm/s}$ ）等参数生成维护指数。配置自适应保护系统，在过载达120%时分级延时跳闸（0.5-2秒可调）。

6.3 环境风险控制。物理防护提升。粉尘区域采用IP65防护等级柜体，柜内正压通风（压差 $> 50\text{Pa}$ ）。湿度敏感区部署自动除湿装置（维持 $\text{RH} < 60\%$ ），冷凝水经导流槽集中排放。过载火灾预防。导线截面积按1.25倍额定电流选型，铜芯线载流量 $\leq 70\text{A}/\text{mm}^2$ 。配电回路配置热成像摄像头，温差 $> 15^{\circ}\text{C}$ 时触发二级预警。

6.4 标准化维护流程。周期性检测规范。执行“3+1”检测体系：每日红外测温、每周端子紧固（扭矩误差 $\pm 10\%$ ）、月度绝缘测试（ $\geq 1\text{M}\Omega$ ）、年度预防性试验。易损件实施寿命周期管理（如接触器触点每5万次强制更换）。闭环维护机制。建立缺陷分级处理制度：紧急缺陷4小时内消除，重大缺陷72小时闭环。维护作业执行“工单-操作-验证”三关联锁，关键步骤双人确认。

6.5 应急防护体系。智能断电保护。配置毫秒级响应漏保（动作电流 $\leq 30\text{mA}$ ，分断时间 $< 0.1\text{s}$ ）。易燃区域采用防爆型断路器（Ex d II CT4等级）。火灾防控强化。电缆竖井每6米设置阻火包，桥架内敷设感温光纤（报警阈值 90°C ）。变电站配置悬挂式七氟丙烷自动灭火装置，联动响应时间 $< 30\text{s}$ 。

总之，要遵照各项国家及行业操作规范，完善电气设备管理制度，重视日常维护工作，提高设备运行可靠性。另外，还要大胆实践，加强培训，提高检修工作人员素质，为电气设备的正常、有序运行提供保障。

参考文献

[1]王彬.水电站电气设备运行维护与故障检修探讨.2022.

[2]刘宗达.电气设备运行维护与故障预防策略分析.2023.