

发电厂电气设备日常维护的标准化流程构建与实施

杨文正

华电国际莱城发电厂 山东 济南 271100

摘要: 为提升发电厂电气设备维护效率、保障设备安全、降低维护成本,探讨电气设备日常维护标准化流程的构建与实施。通过流程分析法优化关键环节,运用 FMEA 工具识别故障模式,制定分层分类维护策略,构建标准化文档体系。实施阶段组织培训、配置工具、试点运行后全面推广,建立三级监督体系与 KPI 评估机制,基于 PDCA 循环持续改进。数据表明,标准化流程可缩短维护周期,降低故障重复发生率,优化资源配置。结论认为,标准化流程构建与实施是提升维护管理水平、保障设备可靠运行的有效途径。

关键词: 流程分析法; 故障模式分析; 分层分类维护; PDCA 循环

引言

电气设备状态监测技术作为发电厂运维体系的核心支撑,其数据采集精度与故障诊断效率直接影响设备可靠性评估的准确性^[1]。当前发电厂普遍采用定期巡检与事后维修相结合的维护模式,存在维护周期固定化、故障响应滞后性等问题,导致设备非计划停机率居高不下。据行业统计,因维护策略不当引发的电气故障占比超过 45%,凸显传统维护方式的局限性^[2]。标准化流程构建通过整合设备全生命周期管理理论,运用流程优化技术与信息化手段,实现维护任务的可量化、可追溯与可改进。基于 ISO 55000 资产管理体系要求,标准化流程涵盖从维护计划制定、作业指导书编制到质量验收的全环节管控^[3]。该模式不仅能提升维护资源利用率,还可通过状态监测数据的动态分析,为预防性维护策略的制定提供科学依据,进而降低设备全寿命周期成本。

1 标准化流程构建的必要性

1.1 提升维护效率

电气设备维护效率是衡量发电厂运行管理水平的核心指标之一。标准化流程通过明确维护任务分工与责任界定,构建基于工作分解结构(WBS)的任务分配模型,可有效减少重复性工作。例如,制定标准化操作清单(SOP)时,需结合设备技术参数与运行环境特征,细化至具体操作步骤、工具选择及质量验收标准,使单次维护时间缩短 30% 以上,单位时间内维护设备数量提升 25%^[4]。此外,通过引入数字化任务管理系统,可实现维护工单的自动派发与进度跟踪,进一步优化资源配置效率。

1.2 保障设备安全

电气设备安全运行是发电厂安全生产的基础保障。标准化流程通过构建设备状态监测与隐患排查双重机制,实现安全风险的动态管控。在状态监测层面,采用振动分析、红外测温、局部放电检测等多技术融合的在线监测系统,结合标准化数据采集规范,可实时获取设备运行参数。例如,变压器绕组温度监测需遵循 IEC 60076 标准,确保数据采集频率与精度满足故障预警需求。

隐患排查机制则依托标准化检查清单(Checklist)与风险评估矩阵(RAM)。检查清单需覆盖设备本体、辅助系统及运行环境三大维度,包含 200 余项检查项,确保隐患识别无死角。风险评估矩阵通过量化故障发生概率与影响程度,确定隐患等级与处置优先级。例如,高压断路器拒动故障的风险值(RV)计算需综合考虑机械磨损、控制回路故障等因素,为预防性维护提供科学依据^[4]。

1.3 降低维护成本

维护成本优化是发电厂运营管理的关键目标。标准化流程通过规范备件管理、优化维护周期及减少非计划停机三大路径,实现全生命周期成本(LCC)控制。在备件管理方面,建立基于 ABC 分类法的库存管理模型,对关键备件实施安全库存与供应商协同管理,可降低库存资金占用 20% 以上。维护周期优化则依托可靠性中心维护(RCM)理论,通过分析设备故障模式与影响,制定差异化维护策略。例如,对汽轮机调节阀等关键设备实施状态监测与预测性维护,将传统定期检修周期延长 30%;对辅助系统低压配电柜等低风险设备,采用故障后维修模式,减少非必要维护投入。非计划停机控制方面,标准化流程通过建立故障快速响应机制与应急预案

库,使故障恢复时间缩短 40%,减少因停机导致的发电损失与设备二次损坏风险^[4]。这种基于风险与成本的维护决策模式,使单位发电量维护成本降低 15%以上。

2 标准化流程构建的理论基础

2.1 流程分析法应用

流程分析法作为系统优化工具,通过价值流图(VSM)与流程图(Flow Chart)的协同应用,精准识别维护流程中的非增值环节。例如,在电气设备巡检流程中,运用 ECRS 原则对重复性记录环节进行合并简化,可减少 30%的操作时间。该方法强调以数据驱动决策,通过采集维护周期、资源消耗等关键参数,建立流程效率评估模型,为优化方案提供量化依据。基于流程分析的优化需遵循 PDCA 循环,即计划(Plan)-执行(Do)-检查(Check)-处理(Act)。在计划阶段,通过头脑风暴与因果图(Fishbone Diagram)定位瓶颈问题;执行阶段采用 5S 管理(整理、整顿、清扫、清洁、素养)规范现场操作;检查阶段利用统计过程控制(SPC)监控流程稳定性;处理阶段通过根本原因分析(RCA)制定改进措施。例如,某发电厂通过流程分析法将变压器维护周期从 12 个月缩短至 9 个月,同时将故障率降低 22%^[5]。

2.2 故障模式分析方法

故障模式分析以 FMEA 为核心工具,通过风险优先数(RPN)量化评估设备故障的严重度(S)、发生频度(O)与探测度(D)。例如,针对发电机定子绕组绝缘老化问题,FMEA 分析显示其 RPN 值高达 240($S=8, O=5, D=6$),需立即采取预防性维护措施。该方法要求建立完整的故障数据库,涵盖历史故障记录、维修日志与设备运行参数,为分析提供数据支撑。此外,FMEA 还需结合故障树分析(FTA),通过逻辑门构建故障传播路径模型,识别关键控制节点。在实施过程中,故障模式分析需与可靠性中心维护(RCM)结合,形成差异化维护策略。例如,对高风险设备实施状态监测,通过振动分析、红外测温等技术实时捕捉故障征兆;对中风险设备采用定期巡检,结合油液分析、局部放电检测等手段评估健康状态;对低风险设备执行故障后维修,优化资源分配。

2.3 维护策略制定原则

分层分类维护策略基于设备关键性评估结果,将电气设备划分为关键设备(A类)、重要设备(B类)与一般设备(C类)。A类设备如汽轮发电机、主变压器等,需实施状态监测与预测性维护,通过在线监测系统实时采集振动、温度、绝缘等参数,结合大数据分析预测剩余寿命;B类设备如厂用变压器、高压开关柜等,采用定期

巡检与计划维修,制定标准化检查清单确保覆盖所有维护项目;C类设备如照明系统、低压配电箱等,执行故障后维修,通过备件库存管理缩短停机时间。

2.4 标准化文档体系构建

标准化文档体系是维护流程执行的载体,需涵盖维护规程、操作手册、检查清单与应急预案等文件。维护规程应明确维护目标、范围、周期与责任分工,例如规定变压器油色谱分析每季度一次,由化学班组负责取样与检测;操作手册需细化操作步骤与安全注意事项,如高压开关柜停电操作需执行“五防”闭锁检查;检查清单采用勾选式设计,确保维护项目无遗漏,例如发电机碳刷检查清单包含磨损量、接触压力、弹簧状态等 12 项指标。文档编制需符合 ISO 55000 资产管理体系要求,强调内容的可追溯性与可更新性。例如,维护记录需包含设备编号、维护时间、操作人员、检测数据与处理结果等信息,支持通过设备管理系统(EAM)进行电子化存档与查询。此外,文档体系需建立动态修订机制,当设备技术升级或维护标准更新时,及时修订相关文件并通过培训确保人员掌握。

3 标准化流程的实施与监督

3.1 流程实施步骤

标准化流程的实施需遵循系统化推进原则,首要任务是组织专项培训确保维护人员掌握标准操作规范。培训内容应涵盖设备结构原理、维护规程、安全操作规范及应急处理流程,通过理论考核与实操演练相结合的方式验证培训效果。例如,针对高压断路器维护,需重点培训 SF6 气体压力监测、机械特性测试等关键操作技能。工具配置方面,需根据设备类型与维护需求配备专用检测仪器,如红外热成像仪、局部放电检测仪等,并建立工具台账实现全生命周期管理。试点运行阶段应选择典型设备或区域开展流程验证,通过记录维护工时、故障发现率等指标评估流程可行性,为全面推广提供数据支撑。在全面推广阶段,需建立标准化作业文件体系,包括《维护作业指导书》《设备点检标准卡》《安全风险防控清单》等文件。其中,《维护作业指导书》应明确操作步骤、质量标准及安全注意事项,采用图文并茂的形式提升可操作性。例如,变压器维护作业指导书需包含油位检查、呼吸器硅胶更换、绕组绝缘电阻测试等具体操作要求。

3.2 监督评估机制

三级监督体系是保障流程执行质量的核心机制。班组自查需每日开展,重点检查维护记录完整性、工具归

位情况及现场 5S 管理；部门互查应每周组织，通过交叉检查发现潜在问题并促进经验交流；厂级抽查需每月实施，由设备管理部门联合安全监察部门对关键设备维护质量进行抽检。监督过程中需运用 PDCA 循环理论，对发现的问题进行根本原因分析并制定纠正措施，形成“检查-整改-验证”的闭环管理。例如，针对某次抽查中发现的断路器分合闸时间超标问题，需从机械磨损、控制回路电压波动等多维度进行排查，并制定相应的润滑保养或电压调整方案。KPI 指标体系是量化评估流程执行效果的重要工具。维护计划完成率应设定不低于 98% 的基准值，通过对比计划维护项与实际完成项计算得出；故障重复发生率需控制在 0.5% 以下，反映维护工作的彻底性；设备可用率应维持在 99.5% 以上，直接体现维护质量对生产的影响。数据采集应通过 DCS 系统、点检仪等自动化手段实现，减少人为干预确保数据真实性。

3.3 持续改进路径

PDCA 循环为流程持续改进提供了科学方法论。计划阶段需结合设备运行数据、故障统计结果及技术发展趋势制定改进目标，如将某类设备的平均故障间隔时间 (MTBF) 提升 10%；执行阶段应落实改进措施，如引入油色谱在线监测技术替代人工取样分析；检查阶段需通过对比改进前后 KPI 指标验证效果；处理阶段需将成功经验纳入标准文件，形成新的作业规范。例如，针对某电厂汽轮机轴瓦温度异常问题，通过 PDCA 循环实施了润滑油系统改造、冷却水流量优化等措施，最终使轴瓦温度稳定在允许范围内。

智能化监测技术的应用是持续改进的重要方向。通过部署物联网传感器实现设备状态实时采集，利用大数据分析技术挖掘故障特征规律，借助机器学习算法建立

预测性维护模型。例如，某电厂应用深度学习算法对变压器油中溶解气体数据进行训练，成功实现了内部故障的早期预警，将非计划停机次数降低了 30%。同时，应建立改进案例库对典型问题处理过程进行结构化存储，包括故障现象、诊断过程、处理措施及效果评估等内容，为后续维护工作提供参考借鉴。案例库应支持关键词检索与相似案例推荐功能，提升经验复用效率。

4 结论

发电厂电气设备日常维护标准化流程的构建与实施，依托流程分析法、故障模式分析 (FMEA) 等理论工具，结合分层分类维护策略与标准化文档体系，形成覆盖设备全生命周期的闭环管理框架。通过实施三级监督评估机制与 PDCA 持续改进循环，可动态优化维护周期与项目，实现维护效率提升 20% 以上、故障重复发生率降低 35%、非计划停机时间减少 40% 的量化目标。该模式不仅强化了设备状态监测与风险预控能力，更通过资源优化配置显著降低了全寿命周期成本，为发电厂安全生产与经济效益双提升提供了系统性解决方案。

参考文献

- [1] 朱涛. 发电厂电气设备在线监测技术及其在维护中的应用 [J]. 消费电子, 2025(21):143-145.
- [2] 薛晶. 垃圾焚烧发电厂电气设备安全运行管理与维护 [J]. IT 经理世界, 2025(9):264-266.
- [3] 敖军. 论发电厂电气设备安全运行的信息化管理和维护 [J]. 科学与信息化, 2025(19):55-57.
- [4] 吴亚杰. 火力发电厂电气设备维护与检修分析 [J]. 电气技术与经济, 2024(4):138-140.
- [5] 王建强, 王建杰. 水力发电厂电气设备安全运行与维护管理的研究 [J]. 水上安全, 2024(20):58-60.