燃机电厂电气设备安全运行与维护技术探析

董金利
华电福新广州能源有限公司　广东　广州　511340

摘　要：随着能源结构调整与电力需求升级，燃机电厂因启停迅速、环保性好等优势占据重要地位，其电气设备的安全运行直接决定电厂生产稳定性与供电可靠性。本文以燃机电厂电气设备为研究对象，系统分析设备分类、运行特点及常见安全隐患，重点探讨安全运行关键技术与维护技术优化策略，涵盖运行监控、故障预警、预防性维护等核心内容。结合智能化发展趋势，提出人工智能与物联网融合应用等未来方向，为提升燃机电厂电气设备运行安全性、降低故障风险、优化维护效益提供技术参考，助力燃机电厂实现高效、稳定、经济的可持续发展。

关键词：燃机电厂；电气设备；安全运行；维护技术

引言：在“双碳”目标与新型电力系统建设背景下，燃机电厂成为能源转型关键支撑。其电气设备运行稳定性关乎供电安全与效益，却面临启停频繁、参数波动等挑战，传统维修模式难满足需求。本文聚焦电气设备安全运行与维护技术，探析优化策略与未来方向，为行业发展提供参考。

1 燃机电厂电气设备概述

1.1 主要电气设备分类

燃机电厂电气设备体系庞大，按功能可分为核心发电设备、输配电设备、控制保护设备三大类。核心发电设备以燃气轮机、发电机为核心，燃气轮机将燃料化学能转化为机械能，发电机同步实现机械能向电能的转换，这类设备功率密度高、运行参数严苛。输配电设备包含变压器、高压开关柜、电缆线路等，承担电能升压、分配与传输任务，其中主变压器是连接发电机与电网的关键枢纽，需满足高绝缘性与稳定性要求。控制保护设备涵盖PLC控制系统、继电保护装置、监测仪表等，负责设备运行状态调控与故障紧急处置，是保障系统安全的“中枢神经”。此外，还包括励磁系统、冷却系统等辅助设备，共同构成完整的电气运行体系。

1.2 设备运行特点

燃机电厂电气设备运行具有显著的动态性与复杂性特征。一是启停频率高，受电网调峰需求影响，设备常处于启动、稳定运行、停机的循环状态，导致机械应力与热应力交替作用，加速设备老化。二是运行参数波动大，燃气轮机输出功率随负荷变化调整，使得发电机电压、频率及输配电设备电流持续波动，对设备适配性要求极高。三是多系统协同性强，发电、输配电、控制等系统紧密关联，任一设备故障都可能引发连锁反应，扩大事故影响范围。四是环境适应性要求高，设备需在高温、高湿、多粉尘的环境中稳定运行，部分沿海电厂还需应对盐雾腐蚀问题，增加了运行维护难度[1]。

1.3 常见安全隐患分析

燃机电厂电气设备常见安全隐患可分为设备自身、运行环境及人为因素三类。设备自身隐患主要表现为绝缘老化破损，如电缆绝缘层开裂、变压器绝缘油劣化，易引发短路或漏电事故；机械部件磨损，像发电机轴承磨损、开关设备触头氧化，可能导致设备卡涩或接触不良。运行环境隐患包括高温环境引发的设备过热，潮湿环境造成的绝缘性能下降，以及粉尘堆积导致的散热不良，这些因素均会降低设备运行可靠性。人为因素隐患则体现在操作失误，如违规操作高压设备、误碰控制按钮，以及维护不到位，如未按周期进行设备校验、隐患排查不彻底，为设备安全运行埋下风险。

2 电气设备安全运行关键技术

2.1 运行监控技术

运行监控技术是保障电气设备安全的第一道防线，已从传统人工巡检升级为智能化实时监控模式。当前主流的监控系统采用分布式架构，通过在发电机、变压器、开关柜等关键设备上安装温度、振动、电压、电流等传感器，实现运行参数的全面采集。借助工业以太网将数据传输至中央监控平台，平台运用数据处理算法对参数进行实时分析，当数值超出预设阈值时自动发出声光报警。针对燃气轮机等核心设备，还采用红外热成像技术监测设备表面温度分布，及时发现局部过热隐患。同时，监控系统具备历史数据存储与趋势分析功能，通过对比不同运行周期的参数变化，预判设备性能衰减趋势，为预防性维护提供数据支撑，有效提升了设备运行监控的及时性与准确性。

2.2 故障诊断与预警技术

故障诊断与预警技术通过融合多源数据与智能算法，实现设备故障的早发现、早定位。在诊断方式上，采用离线检测与在线监测相结合的模式，离线检测包括油液分析、绝缘电阻测试等定期检测项目，在线监测则依托传感器实时捕捉设备振动频谱、局部放电等特征信号。利用机器学习算法对故障特征数据进行训练，建立故障诊断模型，能够快速识别轴承磨损、绕组短路等常见故障类型及故障位置。预警系统基于设备运行参数阈值与性能衰减模型，设置多级预警机制，一级预警提示参数异常需加强监控，二级预警则触发停机检修流程，有效避免故障扩大，降低设备损坏风险与停机损失。

2.3 安全防护技术

安全防护技术从设备、系统、人员三个层面构建全方位防护体系。设备层面，对高压设备采用封闭式柜体设计，配备绝缘隔离装置，防止人员误触；在电缆沟、配电室等区域设置防火封堵与自动灭火系统，应对电气火灾风险。系统层面，构建双重化继电保护系统，当主保护装置故障时，备用保护装置可快速动作，确保故障设备及时隔离；采用接地保护与漏电保护装置，保障设备与人员安全[2]。人员层面，在作业区域设置智能门禁与安全警示系统，只有授权人员才能进入关键区域；配备红外测温仪、绝缘手套等安全防护用具，并通过视频监控监督人员操作规范，从源头规避安全风险。

2.4 操作规范与安全管理制度

操作规范与安全管理制度是设备安全运行的制度保障。电厂结合设备特性制定《电气设备操作手册》，明确设备启停、参数调整等操作流程，要求操作人员严格执行“两票三制”（工作票、操作票，交接班制、巡回检查制、设备定期试验轮换制）。建立人员培训与考核机制，定期开展电气安全知识、操作技能培训，考核合格后方可上岗，确保操作人员具备专业能力。同时，制定设备运行台账管理制度，详细记录设备运行参数、维护记录、故障处理情况，实现设备管理的可追溯性。另外，成立安全监督小组，定期开展安全检查，及时发现并整改制度执行过程中的问题。

3 电气设备维护技术优化策略

3.1 预防性维护体系

预防性维护体系以“防患于未然”为核心，替代传统的故障后维修模式。电厂依据设备制造商提供的维护指南，结合设备运行环境与历史故障数据，制定个性化维护计划，明确不同设备的维护周期、内容与标准，如发电机每半年进行一次绝缘测试，变压器每年进行一次油液分析。采用状态检修技术，通过运行监控系统采集的实时数据评估设备健康状态，对状态异常的设备提前安排维护，避免过度维护或维护不足。建立维护任务闭环管理机制，从维护计划制定、任务分配、现场执行到结果验收全程跟踪，确保维护工作落到实处。通过预防性维护，有效减少设备突发故障，延长设备使用寿命。

3.2 智能化维护技术应用

智能化维护技术通过物联网、无人机、AR等前沿科技，推动维护工作向“精准化、自动化、可视化”转型。物联网技术实现设备与中央系统的深度互联，维修人员通过智能终端（如平板电脑、手持PDA）即可实时调取设备运行数据（如电流、电压、温度）、历史维护记录及故障代码，快速定位问题根源。例如，当高压开关柜发生跳闸故障时，系统自动推送故障前后30秒的电气参数变化曲线，辅助分析跳闸原因（如过载、短路或绝缘损坏）。无人机巡检技术则突破人工巡检的局限性，尤其适用于户外输电线路、高大设备（如烟囱、冷却塔）的巡检。无人机搭载高清摄像头与红外传感器，可快速扫描线路表面破损、绝缘子污秽、设备连接处过热等隐患，并通过图像识别算法自动生成缺陷报告，巡检效率较人工提升5倍以上，同时降低高空作业安全风险。AR（增强现实）技术进一步优化维护操作指导，维修人员佩戴AR眼镜后，设备内部结构、关键部件位置及操作步骤以3D模型形式叠加显示在真实场景中，辅助完成复杂任务（如发电机定子绕组更换、变压器有载分接开关检修），减少因操作失误导致的二次故障。

3.3 备件管理与供应链优化

备件管理与供应链优化是保障维护工作连续性的关键环节。电厂通过智能化备件仓库管理系统，实现备件全生命周期精细化管理。系统利用RFID（射频识别）技术为每个备件赋予唯一电子标签，实时监控库存数量、位置及状态（如是否在检、已报废）。当备件库存低于安全阈值时，系统自动触发采购申请，并推送至供应链平台，确保备件及时补货[3]。备件分类管理策略进一步优化库存结构：A类关键备件（如主变压器套管、发电机励磁系统模块）保持较高库存水平（通常覆盖3个月需求），并设置双供应商备份；B类常规备件（如接触器、熔断器）按“最小-最大库存法”动态调整，减少资金占用；C类低值易耗备件（如螺丝、垫片）采用集中采购模式，降低采购成本。与供应商建立战略合作关系，签订应急供货协议，明确突发故障时备件交付时间（如关键备件4小时内送达），并通过联合库存管理（JMI）模式共享需求预测数据，减少供需波动。此外，建立备件质量追溯体系，从采购、入库、存储到使用全程记录备件批次、检

验报告及使用设备信息，一旦发现质量问题可快速追溯责任环节，避免劣质备件流入生产环节。

3.4 维护成本与效益分析

维护成本与效益分析旨在实现维护工作的经济合理性。电厂建立维护成本核算体系，将成本细化为备件采购费、人工维护费、设备停机损失等，定期统计分析各类成本占比，识别成本控制关键点。通过对比预防性维护与故障后维修的成本差异，量化预防性维护带来的效益，如减少设备停机损失、降低备件更换成本等。采用成本效益分析模型，对维护方案进行评估，在保障设备安全的前提下，选择性价比最高的维护方式，如对老旧设备评估是否需要更换或升级，避免无效维护投入。同时，通过优化维护流程、提高维护效率，降低单位维护成本，实现维护工作的经济效益与安全效益双赢。

4 未来发展方向

4.1 人工智能与物联网融合应用

人工智能与物联网的深度融合将重塑燃机电厂电气设备管理模式。通过物联网实现设备全生命周期数据的全面采集，构建涵盖设备设计、制造、运行、维护、报废的完整数据库。人工智能算法对海量数据进行深度挖掘，建立设备故障预测模型，能够精准预测设备故障发生时间与原因，实现“预测性维护”向“前瞻性维护”的跨越。AI驱动的智能决策系统可根据设备运行状态、电网负荷需求，自动优化设备运行参数与维护计划，提升电厂整体运行效率。此外，数字孪生技术将得到广泛应用，构建与物理设备完全对应的虚拟模型，通过模拟设备运行场景，开展维护方案仿真测试，优化维护流程，降低维护风险[4]。

4.2 绿色维护技术

在“双碳”目标引领下，绿色维护技术将成为未来发展重点。一方面，推广环保型维护材料与工艺，如采用可降解润滑剂替代传统矿物油，减少对环境的污染；使用无溶剂绝缘漆进行设备绝缘处理，降低挥发性有机化合物排放。另一方面，优化维护过程中的能源消耗，采用节能型维护设备，如太阳能供电的巡检无人机，减少传统能源消耗。建立维护废弃物回收处理机制，对废旧电池、绝缘材料等危险废弃物进行专业回收处置，避免环境污染。绿色维护技术不仅符合环保要求，还能降低电厂环保成本，提升企业社会形象。

4.3 全生命周期管理理念推广

全生命周期管理理念以系统性思维贯穿电气设备从规划设计到报废回收的全流程，旨在通过各环节的协同优化实现成本与价值的双重提升。在规划阶段，需综合评估设备性能参数、长期运行可靠性、全周期维护成本及环保指标，例如针对高耗能设备优先选择能效等级高的型号，同时预留智能化升级接口，避免后期改造的额外投入。制造阶段通过与供应商深度协同，将维护需求前置嵌入设计环节，如优化设备结构布局以减少维护盲区、采用模块化设计便于部件快速更换、预留传感器安装位置以支持状态监测，从源头降低后期运维难度。运行阶段依托数字化工具实现精细化管控，通过实时数据采集分析预测设备劣化趋势，动态调整维护策略，避免过度维护或欠维护；同时建立设备健康档案，记录全生命周期运行数据，为后续优化提供依据。报废阶段构建绿色回收体系，对退役设备进行专业化拆解，将可修复部件经检测认证后重新投入使用，不可修复材料则通过环保工艺进行无害化处理，最大限度减少资源浪费。

结束语:

燃机电厂电气设备的安全运行与高效维护是保障电力供应稳定、推动电厂可持续发展的核心要素。本文通过对设备概述、安全运行技术、维护优化策略及未来方向的系统探析，明确了技术升级与管理完善在设备安全保障中的重要作用。当前，随着智能化技术的快速发展，燃机电厂电气设备管理正朝着数据化、智能化、绿色化方向转型。未来，通过人工智能与物联网的深度融合、绿色技术的推广应用，必将进一步提升设备运行安全性与维护效益，为我国能源事业的高质量发展提供坚实支撑。

参考文献:

[1]张善,周昊.基于深度学习的电厂电力设备运行状态分析[J].电工技术,2021(16):66-67.

[2]吴文杰.发电厂电气设备安全运行的管理及维护措施探究[J].大众标准化,2021(12):218-220.

[3]闵连伟.PLC与SCADA集成在燃机电厂远程监控与管理系统中的应用[J].今日自动化,2024(12):176-178.

[4]马伟东,王兆舜,吴胜华,等.燃气轮机燃烧压力波动监测系统国产化研制[J].南京工程学院学报(自然科学版),2024,22(3):50-56.