

火电厂电气运行优化与节能降耗的技术探索

陈绍河

江投国华信丰发电有限责任公司 江西 赣州 341000

摘要：火电厂电气运行面临效率下降、系统匹配缺陷、监控不足及管理粗放等问题。本文探索运行优化技术体系，涵盖高效设备替代、先进控制、电力电子集成及智能监测诊断；提出节能降耗关键路径，包括电机、变压器、线路及辅助系统节能；给出综合能效提升方案，涉及全生命周期管理、智能化管控平台、人员技能提升及持续改进机制。通过这些措施，可有效提升火电厂电气系统运行效率，降低能源消耗，提高经济效益。

关键词：火电厂；电气运行优化；节能降耗；技术探索；综合能效

引言：在能源需求持续增长与环保要求日益严格的背景下，火电厂作为重要的电力供应主体，其电气运行效率与能源利用水平备受关注。当前，火电厂电气系统在设备运行、系统匹配、监控保护及能源管理等方面存在诸多问题，导致能源浪费严重，运行成本增加。因此，探索火电厂电气运行优化与节能降耗技术，提高能源利用效率，降低发电成本，成为火电厂可持续发展的关键所在。

1 火电厂电气系统运行现状与问题分析

1.1 电气设备运行效率与老化问题

火电厂电机、变压器等核心设备在长期运行过程中，受环境因素、运行工况等多方面影响，能效比呈现逐步下降趋势^[1]。随着使用年限增加，设备内部结构磨损、部件性能劣化，导致能量转换效率降低，能源浪费现象较为突出。例如，电机绕组绝缘老化会使电阻增大，运行时铜耗增加；变压器铁芯硅钢片间的绝缘损坏会导致涡流损耗上升。同时，绝缘材料在长期高温、高电压作用下，逐渐发生老化变质，绝缘性能下降，使得漏电风险显著增加，对设备安全运行及人员生命安全构成潜在威胁。自动化控制元件作为电气系统精准运行的关键，在长期频繁操作及环境侵蚀下，其精度出现衰减，控制指令执行偏差增大，影响系统整体运行稳定性与可靠性，像一些老旧的调节阀，其控制信号与实际开度之间会出现较大偏差。

1.2 系统匹配与协同控制缺陷

火电厂发电、输电、用电各环节之间能量传递存在一定损耗，这是由于不同环节设备特性、运行参数差异以及能量转换过程中的固有损失导致。多机组并联运行时，各机组无功出力难以精准协调，常出现无功补偿失衡状况，影响电网电压质量与系统稳定性。例如，当部分机组无功出力过大，而其他机组出力不足时，会导致电网电压波

动，甚至可能引发电压崩溃。辅助设备与主设备在选型、配置及运行参数设定上，未能充分考虑相互之间匹配性，导致辅助设备无法充分发挥对主设备支撑作用，甚至因运行参数不匹配引发设备故障，降低系统整体运行效率。比如，给水泵的流量和扬程与锅炉的给水需求不匹配，会造成能源浪费或影响锅炉正常运行。

1.3 监控与保护体系不足

传统继电保护装置受技术原理与硬件性能限制，在面对复杂故障时，响应速度存在延迟，无法及时切断故障电路，扩大故障影响范围。例如，在发生短路故障时，传统继电保护装置可能需要较长时间才能动作，动作延迟时间可达0.2-0.5秒，导致故障电流持续对设备造成损害。分布式监测点在电气系统覆盖上存在盲区，部分关键设备与线路未能纳入实时监测范围，难以及时发现潜在故障隐患。像一些偏远位置的电缆接头，由于缺乏监测，可能在出现过热等故障隐患时无法及时察觉，过热温度可能达到80-100摄氏度。现有故障预警模型基于有限数据与简单算法构建，对复杂故障特征提取与分析能力不足，导致预警准确率欠佳，无法为运维人员提供有效决策支持，使得运维人员难以提前采取措施预防故障发生。

1.4 能源管理方式粗放

火电厂在能源管理方面缺乏精细化手段，整体管理方式较为粗放。首先，缺乏完善分级能耗计量体系，难以对不同设备、不同环节能耗进行精准统计与分析。没有详细的能耗数据，就无法准确找出能源浪费的关键环节，无法为能源优化管理提供基础数据支撑。例如，不清楚各个辅机的具体能耗情况，就无法针对性地进行节能改造。其次，运行参数与能耗之间关联分析缺失，不能根据设备实际运行工况动态调整运行参数以降低能耗。设备运行参数往往是按照设计工况设定，在实际运行中，工况会不断变

化,如果不能及时调整参数,就会导致能耗增加。比如,锅炉的燃烧参数不能根据煤质变化和负荷变化及时调整,会使燃料利用率降低,能耗上升。最后,峰谷负荷调节能力薄弱,面对电网负荷波动,无法灵活调整发电出力,导致能源利用效率低下,增加发电成本。在用电低谷时,如果不能降低发电出力,会造成能源的浪费;在用电高峰时,如果不能及时增加出力,可能需要从电网购买高价电力,增加发电成本。

2 电气系统运行优化技术体系

2.1 高效设备替代技术

超超临界机组配套变压器通过优化铁芯材料与绕组结构实现能效跃升^[2]。采用高导磁率硅钢片与非晶合金铁芯组合设计,可降低空载损耗;通过优化绕组排布方式减少漏磁通,降低负载损耗。永磁同步电机在辅机系统应用中展现出显著优势,其转子无励磁绕组设计消除了转子铜耗,配合稀土永磁材料的高剩磁特性,使电机在部分负载工况下效率较异步电机提升。智能断路器通过集成微处理器与传感器技术,实现分合闸动作的精确控制,固态继电器采用电力电子器件替代传统机械触点,消除电弧能量损耗并提升开关频率,两类设备升级可显著降低厂用电系统损耗。

2.2 先进控制策略

基于模型预测控制的负荷分配技术通过构建电气系统动态模型,实现对发电机有功无功输出的前瞻性优化。该策略将电网频率偏差、电压波动等约束条件纳入优化目标函数,通过滚动优化机制实时调整机组出力分配。多电平换流器在静止无功发生器中的应用突破了传统两电平拓扑的电压限制,通过级联H桥结构实现更高效开关频率,降低输出电流谐波含量。专家系统与模糊控制的协同调度结合了规则推理与模糊逻辑的优势,前者处理确定性控制规则,后者应对系统不确定性,二者互补可提升复杂工况下的调节品质。

2.3 电力电子技术集成

柔性交流输电装置通过可控硅阀组实现输电线路参数的动态调节,静止同步补偿器与可控串联补偿器等典型设备可快速响应系统无功需求变化。级联H桥型STATCOM采用模块化设计,通过多电平合成技术降低开关损耗,配合相间功率平衡控制策略,实现三相不平衡负载的无功补偿。碳化硅器件在变频装置中的替代应用得益于其高击穿场强与高热导率特性,MOSFET与二极管组合可提升开关频率,降低滤波器体积,同时减少导通损耗与开关损耗。

2.4 智能监测与诊断

光纤光栅传感器通过监测设备温度与应变变化实现状态感知,其抗电磁干扰特性适用于发电机定子绕组、变压器绕组等强电磁环境监测。同时,结合无线传输技术,能将监测数据实时、稳定地传至监控中心,避免有线传输可能出现的线路故障干扰。基于深度学习的故障特征提取技术通过构建卷积神经网络模型,自动学习振动信号、局部放电信号中的隐性特征,突破传统阈值比较法的局限性。数字孪生技术通过构建电气系统高精度虚拟模型,实现运行数据的实时映射与故障模式推演,结合强化学习算法可优化设备维护策略与系统运行参数。

3 节能降耗关键技术路径

3.1 电机系统节能

变频调速技术通过实时调整电机输入频率与电压,实现负载转速与转矩的动态匹配^[3]。该技术可消除传统定速运行模式下的节流损耗,在泵类、风机等变负载工况下节能效果显著。同步磁阻电机结合永磁电机高效率特性与感应电机低成本优势,通过优化转子磁阻结构提升功率密度,在泵类负载中应用可降低驱动系统能耗。电机系统能效等级提升方案涵盖从设计制造到运行维护的全生命周期管理,包括采用低损耗硅钢片、优化绕组排布方式、加装智能监控模块等措施,推动在用电机向高效节能型产品迭代升级。

3.2 变压器节能优化

非晶合金铁心变压器采用新型软磁材料替代传统硅钢片,其磁滞损耗与涡流损耗较常规产品降低,尤其适用于负载率波动频繁的配电场景。智能有载调压开关通过集成微处理器与传感器技术,实现分接头切换的精准控制,结合电压无功综合优化算法,可动态调整变压器输出电压至最佳水平。变压器经济运行方式切换策略基于负荷预测结果,通过比较不同运行方式下的综合损耗,自动选择单台或多台变压器并列运行模式,避免“大马拉小车”现象。

3.3 线路损耗降低

自适应补偿电容器组配置技术通过监测线路功率因数变化,自动投切电容器单元实现无功功率就地平衡。该技术可减少无功电流在输电线路中的流动,降低线路电阻损耗。动态无功补偿装置采用晶闸管控制电抗器与电容器组合结构,响应速度较传统机械投切装置提升,可快速跟踪冲击性负载的无功需求变化。超容储能装置通过充放电调节实现峰谷负荷转移,在负荷低谷期储存电能,高峰期向系统释放功率,有效平抑日负荷曲线波动,减少线路过载损耗。

3.4 辅助系统节能

永磁调速驱动技术通过磁力耦合传递转矩,消除机械传动部件的摩擦损耗与泄漏损失,在风机、水泵等旋转设备中应用可降低驱动系统能耗。而且该技术运行平稳,能减少设备振动,降低因振动引发的其他部件损坏风险,延长设备整体使用寿命。空气预热器密封改造技术采用新型柔性密封材料替代传统金属密封片,减少高温烟气泄漏量,提升锅炉排烟余热回收效率。闭式循环冷却水系统热回收装置通过板式换热器提取冷却水余热,用于锅炉补水加热或生活热水供应,实现能源梯级利用。该技术可降低汽轮机冷端损失,提升全厂热效率。

4 综合能效提升实施方案

4.1 全生命周期能效管理

设备选型阶段需建立多维能效评估模型,综合考量设备效率等级、负载特性匹配度及全生命周期成本,优先选用满足最新能效标准的产品^[4]。运行阶段构建分层级能效对标体系,以同类型机组标杆值为基准,通过参数归一化处理消除工况差异影响,定期生成能效偏差分析报告。检修维护环节实施能效保持专项措施,包括清洗积灰部件、修复泄漏点、调整运行间隙等,同步开展设备解体后的能效衰退机理研究,为预防性维护提供理论支撑。

4.2 智能化能源管控平台

多源数据融合系统通过部署物联网传感器网络,实现电、热、水等能源介质的实时采集与清洗转换,采用边缘计算技术降低数据传输延迟,延迟降低至0.1-0.3秒。能效分析模块集成机器学习算法,可自动识别能耗波动模式与设备异常特征,生成包含优化建议的决策报告,报告生成时间不超过5分钟。实时优化决策支持模块基于数字孪生技术构建虚拟电厂模型,通过仿真推演验证控制策略有效性,支持调度人员在线调整运行参数,参数调整响应时间不超过10秒。移动终端应用拓展能源管理场景,开发能耗预警推送、设备巡检记录、能效知识库等功能,提升现场作业响应速度。

4.3 人员技能提升体系

新型设备操作维护培训采用“理论授课+虚拟仿真+实操演练”三维模式,重点讲解变频器参数整定、智能传感器校准等关键技能,考核合格者颁发岗位能力认证证书,培训周期为2-3周。能效诊断分析技能认证体系设

置初级、中级、高级三个层级,考核内容涵盖能耗数据解读、节能措施效益评估等模块,推动技术人员向复合型能效管理专家转型,专家培养周期为1-2年。创新工作室技术攻关机制鼓励跨部门协作,针对余热回收系统优化、压缩空气系统节能等课题开展联合研究,形成可复制推广的技术方案。

4.4 持续改进机制建设

能效指标动态修正机制根据设备改造、工艺变更等情况,每季度评估指标合理性,通过加权修正系数保持对标基准的有效性,修正系数范围为0.8-1.2。技术改造后评估体系从节能效果、投资回报、运行稳定性三个维度开展综合评价,建立改造措施数据库为后续项目提供决策参考,数据库更新周期为每月^[5]。行业对标渠道通过加入能效管理联盟、参与标准制定等方式,获取先进企业技术路线与管理经验,经验反馈机制确保优秀实践快速转化为内部改进措施,形成“评估-改进-再评估”的闭环管理体系,闭环周期为半年。

结束语

火电厂电气系统运行优化与节能降耗需通过技术升级与管理创新协同推进。高效设备替代、先进控制策略及电力电子技术集成可显著提升系统能效,而智能监测诊断与全生命周期管理则能保障设备长期稳定运行。智能化能源管控平台与人员技能提升体系进一步强化了能效管理基础,持续改进机制确保优化措施动态适应生产需求。通过多维度技术融合与管理优化,火电厂可实现电气系统能效提升与节能降耗目标,为电力行业绿色转型提供有力支持。

参考文献

- [1]王会宝.火电厂电气运行优化与节能降耗的技术探索[J].工程与建设,2024,38(4):938-940.
- [2]黄建皓.火电厂电气运行优化与节能降耗的技术分析[J].数字化用户,2025(33):124-126.
- [3]孙一源.火电厂电气节能降耗问题与技术措施实践分析[J].电力设备管理,2024(7):66-68.
- [4]宋硕哲.火电厂电气运行优化与节能降耗技术研究[J].中华建设,2025(33):125-127.
- [5]陆良樑.火电厂湿法脱硫系统的节能降耗技术分析[J].百科论坛电子杂志,2025(1):67-69.