

超超临界火电机组电气节能技术应用与研究

陈立功

中煤鄂州能源开发有限公司 湖北 鄂州 436032

摘要：在能源需求增长与节能环保要求提升背景下，超超临界火电机组电气节能意义重大。本文剖析了机组电气系统，涵盖发电机及其辅助系统、变压器与配电装置等。阐述关键节能技术，包括发电机、变压器、电动机等节能技术。提出技术集成与应用策略，涉及集成思路、基于运行工况的策略及与热力系统协同优化。展望了新材料、人工智能等在电气节能中的应用前景，为机组节能降耗提供参考。

关键词：超超临界火电机组；电气节能技术；技术集成；协同优化

引言：随着经济快速发展，能源需求持续攀升，同时环保压力日益增大。超超临界火电机组作为电力生产的主力，其电气系统能耗在总能耗中占比较大。提升电气系统节能水平，不仅能降低发电成本，提高企业经济效益，还能减少污染物排放，助力能源可持续发展。深入探究超超临界火电机组电气节能技术应用，对推动电力行业绿色转型具有关键意义。

1 超超临界火电机组电气系统剖析

1.1 发电机及其辅助系统

发电机是超超临界火电机组电能生产的核心设备，主要由定子、转子、定子绕组及端盖等部件构成，工作原理基于电磁感应现象。励磁系统支撑发电机稳定运行，由励磁机、整流装置、励磁调节器等部件组成，核心功能是为发电机转子提供稳定励磁电流，调节发电机输出电压与无功功率，保障电能质量符合运行要求^[1]。冷却系统需适配机组高负荷运行特性，常见类型包括空气冷却、氢气冷却及水冷却，不同冷却方式依托自身热交换特性散发发电机内部热量，避免部件因高温出现性能衰减，氢气冷却凭借高效换热优势，在大型机组中应用广泛。

1.2 变压器与配电装置

主变压器与厂用变压器承担机组电能传输与分配职能，核心参数匹配机组额定容量与电压等级，主变压器实现发电机输出电能的升压传输，满足电网并网需求，厂用变压器则将高压电能降压，为辅助系统提供适配电压。高低压配电装置按电气系统布局规范布设，划分清晰功能区域，高压配电装置聚焦高压电能分配与控制，低压配电装置负责终端设备电力供给与保护，二者协同保障电气系统有序运行。电气主接线作为系统核心骨架，设计形式兼顾运行安全性与灵活性，贴合机组运行特点，通过合理布局减少电能传输损耗，提升系统运行可靠性，为机组启停与正常运转提供支撑。

1.3 厂用电系统

厂用电系统是机组稳定运行的重要保障，用电负荷根据运行需求划分为不同类型，各类负荷运行特性存在差异，核心生产辅助负荷需维持连续运行，部分辅助负荷可根据工况灵活调整。电动机是厂用电系统主要用电设备，在厂用电负荷中占据主导地位，广泛应用于风机、水泵等辅助设备驱动，运行效率直接影响厂用电系统节能水平。照明系统与其他辅助设备构成厂用电系统重要组成部分，照明系统满足厂区作业与设备维护需求，其他辅助设备涵盖消防、检修等相关用电设备，各类设备用电需求贴合机组运行与维护实际场景。

1.4 直流系统与UPS

直流系统是机组应急供电核心，供电范围覆盖控制回路、保护装置及应急照明等关键环节，设备组成包括整流充电装置、蓄电池组及直流配电屏，通过稳定直流供电，保障关键设备在交流电源中断时正常运行。UPS依托能量存储与转换功能实现交流电源不间断供给，正常供电时存储电能，交流电源异常时快速切换为逆变供电模式，避免控制、监测等关键电子设备因供电中断出现故障。蓄电池作为核心储能部件，选型贴合机组运行寿命与供电负荷要求，日常维护遵循电力储能设备规范，定期检查充放电状态，及时处理性能衰减问题，保障储能与供电能力稳定。

2 超超临界火电机组电气节能关键技术

2.1 发电机节能技术

发电机节能技术聚焦损耗抑制与效率提升，高效电磁设计是核心路径。优化定子绕组结构可缩短电流传输路径，减少铜耗产生，提升电能转换效率；改进转子磁极形状能优化磁场分布，降低铁耗，实现能量损耗的精准控制^[2]。低损耗材料应用可进一步强化节能效果，新型导电材料可有效降低导体电阻，减少热损耗；高性能绝

缘材料能提升绝缘性能,减少介质损耗。励磁系统调节通过智能控制策略优化,可提高功率因数,减少无功损耗,同时优化励磁电流,降低励磁系统自身能耗。冷却方式改进需结合机组运行参数,对比氢冷、水冷与空冷方式的适配性,选择最优冷却方案,强化冷却效果可有效降低发电机温升,减少额外损耗。

2.2 变压器节能技术

非晶合金铁芯变压器具备低损耗特性,铁芯损耗远低于传统变压器,运行稳定性更强;卷铁芯变压器通过优化铁芯结构,减少磁滞损耗与涡流损耗,适配机组不同负荷场景。变压器运行方式优化可通过分接头自动调整技术,灵活适应电网电压变化,避免电压波动引发的损耗增加;合理控制变压器负载率,使设备处于最优运行区间,降低空载损耗与负载损耗。变压器状态评估与维护依托在线监测技术,实时掌握设备运行状态,提前排查潜在故障,定期维护与检修可减少设备老化引发的额外损耗,延长设备使用寿命的同时保障节能效果。

2.3 电动机节能技术

电动机节能技术以高效设备应用与运行优化为核心,高效电动机应用可显著降低运行损耗。永磁同步电动机结构紧凑,无需励磁电流,节能优势突出,能有效提升效率;高效异步电动机通过优化绕组设计与材料选用,提升运行效率,适配厂用电系统各类负荷需求。电动机变频调速技术通过调节供电频率,匹配负载运行需求,避免电动机空载或轻载运行时的能耗浪费,变频器选型与参数设置需贴合负载特性,确保节能效果最大化。电动机系统节能优化需改进传动装置,减少机械摩擦损耗,同时合理匹配电动机与负载参数,避免大马拉小车现象,进一步提升系统运行效率。

2.4 厂用电系统节能技术

厂用电系统节能技术聚焦负荷优化与损耗治理,厂用电负荷优化分配需结合设备重要性与运行特性,制定科学分配策略,通过智能控制系统实现负荷动态调整,避免无效能耗。照明系统节能可采用LED照明灯具,其发光效率高、能耗低,使用寿命长,搭配智能照明控制系统,根据作业需求自动调节照明亮度与开关状态,实现节能运行。如冬季和夏季入夜后,分时间段进行照明控制,以节约照明用电损耗;无功补偿与谐波治理技术可减少电网无功损耗与谐波污染,无功补偿装置通过补充无功功率,提升功率因数,谐波源识别与治理可抑制谐波产生,降低谐波对电气设备的损耗,保障厂用电系统高效运行。

2.5 直流系统与UPS节能技术

直流系统与UPS节能技术侧重设备选型与运行模式优化,直流系统设备选型优化可选用高效充电装置,如融合在线模式与ECO模式优势的智能在线模式(S-ECO)通过科学充电策略,减少充电过程中的能耗,同时选用低损耗蓄电池,降低储能与放电过程中的能量损耗,延长蓄电池使用寿命^[3]。UPS运行模式优化可采用经济运行模式,根据负载需求自动调整运行状态,减少空载损耗;智能休眠功能可在负载处于低负荷状态时,使UPS进入休眠模式,降低自身能耗,兼顾供电可靠性与节能效果,适配机组电气系统的运行需求。(图1)

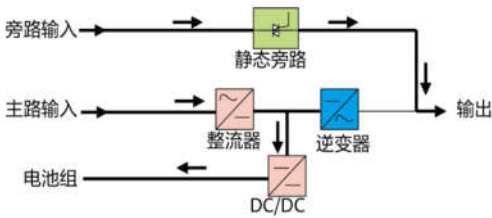


图1 ECO模式示意图

3 超超临界火电机组电气节能技术集成与应用策略

3.1 电气节能技术集成思路

电气节能技术集成需立足机组电气系统整体架构,深入剖析各电气子系统间的能量流动规律与交互关联。能量在发电机、变压器、厂用电系统等单元间有序传递转换,各子系统运行参数与节能措施相互作用,单一环节优化易引发连锁反应,需从系统视角梳理能量流转路径。集成框架构建以提升机组整体能效为核心导向,打破各技术模块独立应用壁垒,将分散节能技术整合为协同运作的有机体系。技术集成需重点考量兼容性与协同性,兼容性体现为不同节能技术在设备接口、控制逻辑与运行标准上的统一适配,协同性强调各技术单元互补联动,通过参数耦合与功能互补形成整体节能效能。

3.2 基于机组运行工况的电气节能策略

电气节能策略制定需紧密贴合机组不同运行工况特性,精准匹配各负荷阶段电气设备运行需求。不同负荷工况下电气设备运行状态差异明显,设备负荷率、运行参数及能耗水平随负荷变化动态调整,需针对性开展运行参数优化。高负荷阶段需精准调控发电机与变压器运行参数,优化励磁电流与输出电压匹配关系提升电磁转换效率,调整分接头位置与负载率降低铁损铜损。低负荷阶段聚焦厂用电系统负荷分配优化,结合辅助设备运行需求,优化电动机运行方式减少空载轻载能耗。启停机过程做好时间规划,统筹设备启停时序,优化操作控制精准调控启动电流与停机时序,减少能量损耗。

3.3 电气节能与热力系统节能的协同优化

目前超超临界火电机组在适应市场调峰中也占主要位置,电气与热力系统节能协同优化需先明确两大系统耦合关系,电气系统能量转换传输与热力系统能量生成传递深度关联,电气设备运行效率影响热力系统能耗,热力系统工况变化反作用于电气系统负荷与运行参数。深入分析两大系统能量转换路径与交互机制,梳理发电机、电动机与锅炉、汽轮机等设备的能量关节点,识别影响整体能效的关键耦合环节。如INTIT控制系统,可参与调峰控制,适应关键节点,优化运行参数与能耗指标实现联动调控。协同调控电气设备与热力系统工况,实现能量利用最优匹配,减少转换传递损耗,推动机组整体能效协同提升。

4 超超临界火电机组电气节能技术发展趋势

4.1 新材料、新技术在电气节能中的应用前景

新型导电材料是电气节能技术升级的核心抓手。纳米材料独特性,在提升导电性能、降低电阻损耗方面潜力突出,可减少电气设备能量传输中的无效消耗,为高耗能设备节能改造提供技术支撑。高温超导材料依托零电阻特性,在电气系统中应用前景广阔,有望大幅降低变压器等核心设备损耗,推动电气系统能效跨越式提升。新型绝缘材料兼顾环保与性能,具备无污染、耐老化、耐高温特性,应用范围逐步拓展,契合绿色低碳发展导向。纳米复合绝缘材料通过材料复合优化绝缘性能,减少介质损耗,进一步挖掘电气系统节能空间。智能传感器与物联网技术深度融入电气节能领域,智能传感器可精准采集系统运行参数,实现设备状态实时监测,为节能调控提供可靠数据支撑。物联网技术打破设备孤立运行格局,实现电气设备远程监控与智能控制,推动节能措施精准落地。

4.2 人工智能与大数据在电气节能中的潜在作用

基于大数据分析的电气系统运行优化,通过全面收集电气系统运行各类数据,深入分析数据关联规律,挖掘系统潜在节能空间。依托数据积累建立数据驱动的运行优化模型,可实现电气系统运行参数的动态适配,提升整体效率。人工智能算法在电气节能控制中的应用探

索不断深化,神经网络算法具备强大的非线性拟合与模式识别能力,可精准开展电气设备故障诊断,同时优化节能控制策略,减少能耗浪费。遗传算法凭借全局优化能力,可应用于电气系统设备配置与运行策略制定,实现设备布局与运行参数的最优匹配,进一步提升电气节能的科学性与针对性。

4.3 绿色能源融合与电气节能的未来方向

超超临界火电机组与可再生能源互补运行,是未来能源发展的重要趋势。需深入分析可再生能源接入后对电气系统运行稳定性、电能质量的影响与挑战,针对性制定协调运行策略,实现火电机组与可再生能源的高效协同^[4]。储能技术为电气节能提供重要保障,电池储能、飞轮储能等技术可实现电能的储存与释放,发挥调峰填谷作用。储能系统与电气节能技术的集成应用,可优化电能分配,减少能源浪费,推动超超临界火电机组电气系统向更高效、更绿色的方向发展。

结束语

超超临界火电机组组电气节能技术应用与研究,是实现绿色发电的重要途径。通过剖析电气系统,掌握关键节能技术,实施有效的技术集成与应用策略,可显著降低机组能耗。新材料、人工智能等前沿技术的不断发展,为电气节能带来新的机遇。持续探索创新节能技术,推动电气节能技术深度应用,有助于提升超超临界火电机组运行的经济性与环保性,促进电力行业高质量发展。

参考文献

- [1]罗方,宋风强,侯明军,等.超临界再热型双抽背压式汽轮机运行策略[J].东方电气评论,2021,35(1):40-44.
- [2]折利军.660MW超临界汽轮机组节能降耗方法优化[J].电气技术与经济,2024,(09):240-242.
- [3]曾娜,魏佳佳,余长军.超临界350MW机组汽轮机给水泵变频运行共振诊断方法[J].韶关学院学报,2023,44(09):56-62.
- [4]关风一,丛日成,冷杰,等.600 MW超临界机组加装低温省煤器和暖风器联合系统可行性研究[J].沈阳工程学院学报(自然科学版),2023,19(02):30-35.