

# 火电厂电气节能降耗措施分析

李 帅 王 琳 郭永录 隋洪波

国能宁夏鸳鸯湖第一发电有限公司 宁夏 银川 750400

**摘 要:** 火电厂电气系统能耗问题突出, 涵盖主要设备(如发电机、变压器、电动机等)、辅助系统(泵与风机、冷却系统等)及线路损耗。典型问题包括设备老化、运行粗放、无功补偿不足和谐波污染。节能降耗可从技术和管理两方面着手, 如采用节能型变压器、高效电机和变频调速技术, 加强无功补偿与谐波治理, 改造照明系统, 优化运行方式, 并利用智能监控系统。同时, 需应对改造资金缺口、技术兼容性等挑战, 完善政策与市场机制, 推动行业协同发展。

**关键词:** 火电厂; 电气节能降耗; 措施

引言: 在能源需求持续增长与节能减排政策双重驱动下, 火电厂作为电力供应主力军, 其电气系统节能降耗意义重大。当前, 火电厂电气系统在运行过程中存在诸多问题, 设备老化导致能耗增加, 运行方式粗放造成能源浪费, 无功补偿不足和谐波污染也进一步加剧了能源损耗。这不仅增加了火电厂的生产成本, 还对环境造成一定压力。因此, 深入分析火电厂电气系统能耗状况, 探寻切实可行的节能降耗措施, 成为提高火电厂经济效益与推动行业可持续发展的关键所在。

## 1 火电厂电气系统能耗分析与关键问题

### 1.1 电气系统能耗构成

(1) 主要设备能耗: 发电机作为核心发电设备, 运行中因铁芯磁滞涡流、绕组电阻产生能耗, 满负荷时损耗占发电量的2%-3%; 变压器存在铜损与铁损, 负荷率低于60%时损耗率显著上升; 电动机驱动各类辅机, 低效电机运行能耗比高效电机高10%-15%; 照明系统虽单耗低, 但厂区范围大、灯具数量多, 长期运行累计能耗不可忽视。(2) 辅助系统能耗: 泵与风机(如给水泵、引风机)是辅助系统能耗主力, 占厂用电的40%-50%, 部分老旧设备效率仅70%左右; 冷却系统(如循环水系统)的水泵、冷却塔风机持续运行, 能耗随环境温度波动; 无功补偿装置运行中存在有功损耗, 补偿容量不匹配时损耗进一步增加。(3) 线路损耗: 输电线路因电阻产生有功损耗, 电流越大、线路越长损耗越高, 110kV线路满载时损耗率约2%; 谐波污染(如5次、7次谐波)使线路产生附加损耗, 谐波含量超标时损耗增加8%-12%<sup>[1]</sup>。

### 1.2 典型能耗问题诊断

(1) 设备老化: 运行10年以上的发电机、变压器等核心设备, 绝缘老化导致损耗上升, 机组整体效率下降5%-8%, 部分老旧电动机效率甚至低于国家二级能效标

准。(2) 运行方式粗放: 定速泵与风机未根据负荷需求调节转速, 长期处于满载运行状态, 当机组负荷降至70%以下时, 能源浪费率高达20%以上。(3) 无功补偿不足: 部分车间及输电线路无功补偿装置容量不足或投切不及时, 导致系统功率因数低于0.9, 线路损耗因此增加15%, 还可能引发电压波动问题。(4) 谐波污染严重: 大量变频器、整流设备的使用, 使电网谐波含量超标, 电压畸变率常超过5%的国家标准, 不仅增加线路附加损耗, 还影响精密设备正常运行。

## 2 火电厂电气系统节能降耗技术措施

### 2.1 变压器经济运行优化

(1) 节能型变压器选型: 传统S9型变压器空载损耗较高, 推广应用S13/S15型非晶合金变压器可大幅降低能耗。其中S13型变压器空载损耗比S9型低30%-40%, S15型更是低50%以上, 且负载损耗也降低15%-20%。以某300MW火电厂为例, 将2台6300kVAS9型主变压器更换为S15型后, 年减少损耗电量约8.5万kWh, 按工业电价0.6元/kWh计算, 年节省电费超5万元, 5年内即可收回设备更换成本。(2) 分接头动态调节: 采用有载调压变压器, 根据电网电压波动和负荷变化动态调节分接头位置, 避免因电压偏高或偏低导致的额外损耗。当厂内负荷从满负荷降至60%时, 通过分接头调节将电压从10.5kV降至10kV, 可使变压器铜损降低约18%, 同时稳定下游设备供电电压, 减少因电压波动造成的设备低效运行问题。

### 2.2 电动机系统能效提升

(1) 高效电机替代: 逐步淘汰能效等级低于IE2的老旧电机, 推广IE3/IE4级高效电机。IE3级电机效率比IE2级高2%-3%, IE4级又比IE3级高1.5%-2.5%。某火电厂将20台160kW引风机电机从IE2级更换为IE4级后, 单台电机年节电约1.2万kWh, 20台年节电总量达24万kWh。(2)

变频调速技术：针对锅炉给水泵、引风机等负荷波动较大的设备，加装高压变频器实现调速运行。此类设备传统定速运行时，即使负荷降至70%，能耗仍维持在满负荷的90%以上；改造后通过变频调节，能耗随负荷同比下降，节电率可达30%-50%。例如，1台300kW给水泵改造后，年节约120万kWh，投资回收期仅1.5-2年。（3）软启动装置应用：在电机启动环节加装软启动器，避免直接启动时产生的3-5倍额定电流冲击。直接启动不仅会造成电网电压波动，还会加剧电机绕组绝缘损耗，缩短设备寿命；软启动器通过平滑提升电压，使启动电流控制在1.5倍额定电流以内，减少启动损耗，延长电机使用寿命3-5年<sup>[2]</sup>。

### 2.3 无功功率补偿与谐波治理

（1）动态无功补偿装置（SVG）：针对火电厂无功负荷波动大（如轧钢车间、变频器集群）的问题，传统静态电容补偿响应滞后，改用SVG静止无功发生器可实现毫秒级响应。SVG通过电力电子器件实时发出或吸收无功功率，将系统功率因数稳定提升至0.95以上，避免功率因数低于0.9时的电费罚款；同时降低线路无功电流，减少线路损耗15%-20%，110kV输电线路年节电超10万kWh。（2）有源滤波器（APF）：火电厂变频器、整流器等设备产生大量5次、7次谐波，导致电压畸变率超标（常超5%），增加线路附加损耗。安装APF有源电力滤波器后，通过检测电网谐波电流，实时输出反向补偿电流，谐波电流抑制率 $\geq 90\%$ ，使电压畸变率控制在2%以内；不仅降低变压器、线路的谐波附加损耗（减少8%-12%），还避免谐波对继电保护装置、精密仪表的干扰，保障电网稳定运行。

### 2.4 照明系统节能改造

（1）LED光源替代：火电厂厂房、控制室、厂区道路传统使用高压钠灯、荧光灯，存在能耗高、寿命短、照度低的问题。替换为LED节能光源（如厂房用150WLED工矿灯、道路用60WLED路灯），在照度提升30%（从200lux增至260lux）的同时，能耗降低60%：150WLED工矿灯相比400W高压钠灯，单灯年运行8000小时节电1600kWh，全厂500盏灯具年节电超80万kWh；且LED光源寿命达5万小时，是高压钠灯的3-4倍，减少更换维护工作量。（2）智能照明控制：在人员流动少的区域（如电缆夹层、备用泵房）采用“红外感应+时控联动”控制策略：工作时段（8:00-18:00）感应到人时自动亮灯，人离开后30秒熄灭；非工作时段仅保留应急照明，通过时控开关切断非必要灯具电源。在控制室、办公室采用光照度感应控制，当自然光照度 $\geq 300\text{lux}$ 时自动

关闭LED灯，充分利用自然光。该策略可额外节能20%-30%，进一步降低照明系统能耗<sup>[3]</sup>。

## 3 火电厂运行管理与智能化控制策略

### 3.1 优化运行方式

（1）经济负荷分配：传统负荷分配依赖经验，易导致机组能耗不均衡。引入基于遗传算法的负荷优化模型，结合各机组煤耗特性曲线、电气设备效率参数，自动计算最优负荷分配方案。例如，当全厂总负荷为800MW时，模型可将高效机组A负荷设为450MW、低效机组B负荷设为350MW，相比平均分配方式，日节约约2.8万kWh，同时降低锅炉、汽轮机损耗。（2）峰谷平价利用：针对电网峰谷电价差异（峰段电价约为谷段3倍），配置10MW/20MWh储能装置参与调峰。谷段（23:00-7:00）利用低价电充电，峰段（10:00-15:00、18:00-22:00）释放电能满足厂内负荷需求，减少高峰时段外购用电量。经测算，该策略可使厂用电成本降低15%-20%，年节省电费超300万元。

### 3.2 智能监控与诊断系统

（1）电气能量管理系统（EMS）：构建覆盖全厂的EMS系统，实时采集发电机、变压器、线路等设备的电压、电流、功率、能耗数据，通过可视化平台动态展示各环节能效指标。系统可自动识别高耗能环节（如某条线路损耗率超3%），生成能耗分析报告并推送至管理人员，辅助制定节能措施，使能耗异常响应时间从2小时缩短至15分钟。（2）故障预测与健康诊断（PHM）：基于大数据分析技术，建立电机、变压器等关键设备的PHM模型，通过监测设备振动、温度、绝缘电阻等参数，评估设备健康状态。例如，当变压器绕组温度异常升高时，模型可提前7-10天预测潜在故障，避免因设备突发故障导致的停机损耗，使设备可用率提升至98.5%以上<sup>[4]</sup>。

### 3.3 人员培训与制度完善

（1）能效管理培训体系：建立“理论+实操”双轨培训模式，开设电气设备节能原理、智能系统操作等课程，考核合格者颁发技能认证证书。每月组织现场实操培训，模拟负荷调整、无功补偿装置投切等场景，提升操作人员节能操作能力，使人为操作导致的能耗浪费降低10%。（2）节能考核机制：将厂用电率、设备能效达标率等指标纳入各车间绩效考核，实行“节能奖励、超耗处罚”制度。例如，当车间月度厂用电率低于考核指标0.5%时，给予团队奖金；超耗0.5%以上则扣减绩效分数，通过激励机制调动员工节能积极性，推动全厂能耗持续下降。

## 4 火电厂电气系统节能的挑战与对策建议

### 4.1 技术实施挑战

(1) 改造资金缺口：中小火电厂受限于经营效益，节能改造资金筹措难度大。单厂变压器、电动机等核心设备升级及智能系统建设需投入千万元以上，而多数中小电厂利润空间狭窄，银行贷款审批严格，导致技术升级项目推进缓慢。以某100MW中小电厂为例，计划开展的变频改造项目因资金不足已搁置2年，错失年均节电500万kWh的机会。(2) 技术兼容性：部分运行超15年的老旧设备（如传统继电保护装置、模拟量控制系统）与新引入的EMS、PHM系统存在接口不匹配问题。老旧设备通信协议落后，无法与新系统实现数据互联互通，需额外投入30%-40%资金进行接口改造，不仅增加成本，还可能因改造期间停机影响电厂正常发电。

#### 4.2 政策与市场机制优化

(1) 完善补贴政策：建议针对火电厂电气节能改造项目出台专项补贴，对采用S15型变压器、IE4级电机的企业给予设备购置成本15%-20%的补贴；同时扩大税收减免范围，节能改造项目投资额可按一定比例抵免企业所得税，降低中小电厂改造资金压力，激发改造积极性。(2) 绿色电价机制：建立差异化绿色电价体系，对厂用电率低于行业平均水平5%以上的火电厂，给予每千瓦时0.02-0.03元的电价上浮奖励；对未达到能效标准的电厂实施电价下浮惩罚，通过价格杠杆激励电厂主动采取节能降耗措施，推动行业整体能效提升。

#### 4.3 行业协同发展路径

(1) 产学研用联合攻关：由行业协会牵头，联合高校、科研院所与设备制造商组建攻关团队，聚焦高效电机铁芯材料、智能控制系统算法等关键技术瓶颈。例

如，针对火电厂高粉尘环境下电机散热问题，研发耐高温、防堵塞的高效电机，提升设备适应能力，降低运维成本，目前已有相关联合项目将电机使用寿命延长至20年以上。(2) 标准体系建设：加快制定火电厂电气系统能效分级标准，从设备能效、运行损耗、管理水平等维度设置A、B、C、D四个等级，明确各等级指标要求（如A级电厂厂用电率需低于5%）。同时建立能效评级动态监测机制，定期公布电厂评级结果，引导电厂对标先进，推动行业节能标准化、规范化发展。

#### 结束语

火电厂电气节能降耗是提升能源利用效率、降低运营成本、实现绿色发展的必然选择。通过实施变压器经济运行优化、电动机系统能效提升、无功补偿与谐波治理等技术措施，以及优化运行方式、强化智能监控等管理策略，能有效减少电气系统能耗。不过，节能降耗面临资金、技术兼容等挑战。未来，需政策支持、市场引导与行业协同发力，持续推动火电厂电气节能工作迈向新高度。

#### 参考文献

- [1]孔苗苗,李浩.火力发电厂电气节能降耗的问题与技术措施分析[J].新潮电子,2025,(07):63-65.
- [2]聂运飞.火电厂电气运行优化与节能降耗的技术研究[J].工程技术,2025,(13):120-121.
- [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,(07):67-68.
- [4]陈泽恩.火电厂电气节能降耗与技术措施实践分析[J].中国科技期刊数据库工业A,2024,(10):99-100.