

Analysis of power plant operation optimization and energy-saving measures

Wei Wu

Guoneng Ningxia Lingwu Power Generation Co., Ltd., Zhongning, Ningxia, 750400, China

Abstract

This article deeply studies the operation optimization and energy-saving measures of thermal power plants. Firstly, the common operating modes of fossil energy and new energy power plants are analyzed, and the operating characteristics and existing problems of different modes are clarified. Then, specific optimization directions are proposed from equipment operation, system scheduling, personnel operation, etc. Finally, combined with technical practice, measures such as waste heat recovery, frequency conversion transformation, energy consumption monitoring system construction, and new energy integration mechanism are proposed. Through scientifically feasible means, we aim to assist thermal power plants in reducing energy consumption and pollutant emissions, effectively enhancing economic and environmental benefits, and providing reference for the sustainable development of the power industry.

Keywords

power plant operation optimization; Energy conservation and consumption reduction; Waste heat recovery; Variable frequency transformation; Energy consumption monitoring system

电厂运行优化与节能降耗措施分析

武伟

国能宁夏灵武发电有限公司, 中国·宁夏 中宁 750400

摘要

本文深入研究火力发电厂运行优化与节能降耗措施, 首先分析化石能源与新能源电厂的常见运行模式, 明确不同模式的运行特点与现存问题, 然后从设备运行、系统调度、人员操作等方面提出具体优化方向, 最后结合技术实践给出余热回收、变频改造、能耗监测体系构建及新能源融合机制等措施。通过科学可行的手段, 助力火电厂减少能源消耗、降低污染物排放, 有效提升经济效益以及环境效益, 为电力行业可持续发展提供参考。

关键词

电厂运行优化; 节能降耗; 余热回收; 变频改造; 能耗监测体系

1 引言

随着我国经济社会的持续发展, 电力需求稳步增长, 电厂在保障能源供应中的作用愈发关键。传统化石能源电厂存在能源利用率低、污染物排放较高的问题, 新能源电厂则面临并网稳定性、负荷调节能力不足的挑战。在“双碳”目标指引下, 推动电厂运行优化与节能降耗已成为电力行业转型的重要任务。通过明确优化方向与落实降耗措施, 可有效提升电厂运行效率, 减少不可再生资源消耗, 助力电力行业向清洁、高效、可持续方向发展^[1]。

【作者简介】武伟(1982-), 男, 中国宁夏中宁人, 本科, 工程师, 从事运行管理, 节能降耗, 灰硫/化学, 锅炉/汽机等研究。

2 电厂运行常见模式

2.1 化石能源电厂

化石能源电厂是我国当前电力供应的重要组成部分, 主要以煤炭、天然气为燃料, 运行流程涵盖燃料制备、燃烧发电、能量转换等核心环节。以燃煤电厂为例, 原煤经破碎、磨制为煤粉后送入锅炉, 与空气按比例混合燃烧产生高温高压蒸汽, 蒸汽推动汽轮机旋转, 带动发电机将机械能转化为电能, 后续还需经过冷却、脱硫脱硝等处理环节。此类电厂运行稳定性强, 可根据用电需求灵活调整出力, 但受燃料特性影响, 运行过程中能耗较高, 每千瓦时电能消耗标准煤约280~320g, 且会排放二氧化硫、氮氧化物等污染物, 需配套完善的环保设施以满足排放标准。

2.2 新能源电厂

新能源电厂依托可再生能源发电, 主要包括光伏电站、风电场、水电厂等类型, 运行模式以及化石能源电厂存在显

著差异。光伏电站通过光伏组件，将太阳能直接转化为电能，受光照强度、昼夜变化及天气影响较大，出力具有明显间歇性。风电场则依赖风力驱动风机叶片旋转发电，风速波动会导致出力频繁变化，稳定性较差。水电厂则利用水流势能推动水轮机发电，受季节降水、水库水位调控影响，出力存在季节性差异。为应对出力波动问题，新能源电厂需配套储能系统，通过储能充放电平衡出力，并优化并网技术，避免对电网频率、电压造成冲击，保障电网稳定运行^[2]。

3 电厂运行优化方向

3.1 设备运行优化

设备运行优化是电厂提升效率的基础，需针对核心设备制定精细化优化方案。汽轮机作为能量转换的关键设备，其凝汽器真空度直接影响发电效率，需定期采用氦质谱检漏法，检测凝汽器真空严密性，确保漏点率控制在 0.1kPa/h 以内，防止空气泄漏导致真空度下降。在此期间，需每季度对凝汽器钛管或者空冷岛翅片进行高压水射流清洗，去除冷却单元管内外的结垢与杂质，维持换热效率，避免因换热效果下降增加汽轮机耗汽量。在锅炉运行中，需优化燃烧系统，可通过调整一次风与二次风的配风比，保证煤粉与空气充分

混合，减少不完全燃烧损失。定期检查炉膛水冷壁结渣情况，定期对受热面吹灰，避免结渣导致炉膛吸热不均，降低锅炉热效率。发电机运行期间，需强化绝缘监测，采用在线绝缘监测系统，实时监测定子、转子绝缘电阻，确保电阻值不低于 $0.5\text{M}\Omega$ ，防止绝缘老化引发设备故障，以确保电机保障稳定出力。

3.2 系统调度优化

系统调度优化需结合用电负荷变化以及能源供应特性，构建动态调度体系。首先，需建立基于机器学习的负荷预测模型，整合历史用电数据、气象数据、新能源预测和计划负荷等信息，预测每日不同时段的电量负荷，据此制定机组出力调整方案。某综合电厂不同时段机组负荷调度优化方案如表1所示。其次，需推进多能互补调度，对于同时拥有化石能源机组与新能源机组的电厂，遵循新能源优先上网原则，当光伏或风电出力充足时，降低煤电机组出力至基础负荷，减少化石能源消耗。当新能源出力不足时，逐步提升煤电机组或燃气机组出力。同时，调用储能系统补能，通过调度算法实现不同能源的协同运行，减少弃风弃光率，提升整体能源利用率。

表1 不同时段机组负荷调度优化方案

时段	用电负荷范围	主力机组类型	出力调整要求	核心优化目标
00:00~07:00	14000~15000MW	燃气机组、煤电机组	煤电机组、燃气机组出力降至40%~50%负荷	降低燃气消耗减少煤耗波动
07:00~9:00	15000~15500MW	煤电机组、光伏机组	煤电机组出力提至72%~82%	平衡早峰负荷需求
9:00~18:00	13000~14000MW	煤电机组、燃气机组、风电场	煤电机组维持20%~30%出力，光伏机组满发补能风电优先并网	提升新能源能源利用效率，最大化利用太阳能
18:00~24:00	15000~16000MW	煤电机组、储能系统	煤电机组满发、储能系统释放25%~35%负荷	缓解调峰压力，满足晚高峰用电需求

3.3 人员操作优化

人员操作优化需构建完善的培训管理体系，提升操作人员专业能力。电厂需制定年度培训计划，每月组织一次仿真机实操培训，内容涵盖核心设备操作、故障排查、应急处理等，如汽轮机真空度异常处理、锅炉灭火应急操作、发电机绝缘故障判断等，确保操作人员熟练掌握关键技能。每季度开展一次应急演练，模拟设备故障场景，提升操作人员应急处置能力，减少故障处理时间。同时需建立标准化操作流程，明确各设备操作步骤与参数范围，如锅炉给水泵出口压力控制在 $12\sim 17\text{MPa}$ 、温度控制在 $150\sim 160^\circ\text{C}$ ，汽轮机进汽温度控制在 $535\sim 540^\circ\text{C}$ ，操作人员需严格按流程操作，避免因操作偏差导致能耗上升或设备故障。此外，电厂需每月对操作人员的操作记录进行检查，每季度开展操作技能考核，考核内容包括设备参数调整精度、故障处理速度等，将考核结果与绩效挂钩，激励操作人员规范操作，同时还应该建立节能指标奖惩体系，通过每月动态调整指标目标值来激励运行人员对各能耗参数进行最优调节，减少人为因素对电厂运行效率的影响^[3]。

4 电厂节能降耗措施

4.1 余热回收

余热回收是电厂减少能源浪费的关键手段，需针对不同环节的余热资源制定针对性回收方案。锅炉排烟是主要余热来源之一，温度通常在 $150\sim 180^\circ\text{C}$ ，可在烟道内安装管式换热器，将排烟余热传递给进入锅炉的冷空气，使冷空气温度从 25°C 提升至 $80\sim 100^\circ\text{C}$ ，减少锅炉燃料消耗以加热冷空气，某燃煤电厂采用该技术后，锅炉排烟温度降至 120°C 以下，每千瓦时电能煤耗降低 $8\sim 10$ 克，年节约燃煤约5000吨。汽轮机排汽余热温度约 $45\sim 55^\circ\text{C}$ ，供热电厂可通过设置高背压凝汽器，将排汽余热加热供热回水，在供暖季可大幅降低供热煤耗，最大程度满足周边居民供暖需求，非供暖季可灵活设置尖峰冷却装置，降低极端高温天气下机组背压 $3\sim 5\text{kPa}$ ，有效降低厂用电量，提升机组运行经济性。发电机冷却系统与工业废水也含有一定余热，发电机冷却水及工业废水温度约 $35\sim 40^\circ\text{C}$ ，可通过板式换热器回收热量，用于预热辅助设备用水升温，减少辅助系统能量消耗。

4.2 变频改造

变频改造适用于电厂中负荷波动较大的电机设备，通过改变电机转速调整输出功率，减少电能消耗。循环冷却水泵、引风机、给水泵是电厂主要高耗电设备，传统运行模式下多采用定速运行，通过阀门调节流量，存在节流损失，能耗较高。根据汽轮机凝汽器的冷却需求，对循环冷却水泵进行变频改造，配置相应功率的变频器，当机组负荷降至60%时，循环水泵转速可从1450r/min降至900r/min，电流从180A降至110A，每小时耗电量从220kWh降至80kWh，年节约100万千瓦时。引风机变频改造需结合锅炉排烟量变化，通过锅炉出口烟气流量传感器采集数据，控制变频器输出频率，当锅炉负荷从100%降至70%时，引风机转速从1450r/min降至1000r/min，耗电量减少40%以上，避免过量排风导致的能量损失。给水泵变频改造需结合锅炉给水需求，通过锅炉水位传感器与给水流量传感器反馈数据，实时调整给水泵转速，确保给水压力与流量稳定，同时减少电能消耗。变频改造后需定期对变频器进行维护，每半年检查一次变频器散热风扇、滤波电容与绝缘状态，清理散热通道灰尘，确保设备稳定运行，延长使用寿命。

4.3 构建能耗监测体系

构建能耗监测体系需实现数据采集、分析与应用的全流程管理，为节能降耗提供数据支撑。首先需在电厂DCS各影响经济性的重要参数进行数据采集，采集煤耗、电耗、水耗、燃料消耗量、污染物排放量等核心数据，如利用实时数据采集系统采集机组各台给煤机的煤量，实时监测燃煤量，精度控制在 $\pm 0.5\%$ 以内，便与分析实时煤耗。在各辅机设备上安装智能电能表，监测实时用电损耗，数据采集频率设置为每5分钟一次，精确监视耗电数据。其次需建立能耗数据管理平台，采用云服务器存储数据，通过数据处理算法对采集的数据进行清洗、整理与分析，平台需具备数据可视化功能，通过折线图、柱状图展示各环节能耗变化趋势，同时设置能耗预警阈值，提醒工作人员及时排查问题。最后需基于监测数据开展能耗分析，每月生成能耗分析报告，对比实际能耗与设计能耗的偏差，找出节能空间，以确保减少锅炉不完全燃烧损失的同时，提升热效率。

4.5 完善新能源融合机制

完善新能源融合机制是推动电厂清洁发展的重要途径，

可有效减少化石能源消耗，降低碳排放。新能源电厂需根据出力波动情况配置合适的储能系统，风电场可配置锂电储能，容量按风电装机容量的20%~30%设计，当风速过高导致出力超限时，储能系统充电存储电能，避免弃风。而当风速过低导致出力不足时，储能系统放电补能，维持出力稳定。水电厂可结合水库调节能力，配套抽水蓄能电站，在丰水期（夏季）将多余电能用于抽水蓄能，将水从下水库抽至上水库储存。在枯水期（冬季）释放上水库水流，推动水轮机发电，提升出力稳定性。火电厂可建设光伏设备在白天进行发电，有降低机组厂用电率。并网技术优化需采用柔性直流输电技术，该技术具有控制灵活、响应速度快的特点，可有效减少新能源并网对电网的冲击，通过构建虚拟同步发电机系统，模拟传统同步发电机的频率与电压调节特性，提升新能源电厂的电网支撑能力，避免电网频率波动。同时需优化并网调度策略，建立新能源与传统机组的协同调度机制，通过电网调度中心统一协调，确保电网频率稳定在 $50 \pm 0.2\text{Hz}$ ，电压偏差控制在 $\pm 5\%$ 以内，实现新能源高效消纳，减少化石能源消耗，某区域电网通过该机制，新能源消纳率提升至95%以上，年减少燃煤消耗约20万吨。

5 结语

电厂运行优化与节能降耗是电力行业应对能源短缺与环境约束的核心举措，对实现“双碳”目标与行业可持续发展具有重要意义。本文通过分析化石能源与新能源电厂的运行模式，明确设备、系统调度、人员操作三大优化方向，提出余热回收、变频改造、能耗监测体系构建及新能源融合机制等具体措施，为电厂实践提供技术与参考。未来电厂需进一步推动技术创新以及模式优化，加强多能互补与智能化管理，持续提升运行效率与节能水平，实现经济效益、环境效益以及社会效益的协同发展。

参考文献

- [1] 李涛道.电厂运行优化与节能降耗措施分析[J].中国科技信息,2021,(23):62-63.
- [2] 王彦杰.电厂集控运行的节能降耗措施分析[J].内蒙古煤炭经济,2021,(18):28-29.
- [3] 徐国烽.电厂集控运行的节能降耗措施分析[J].集成电路应用,2021,38(07):160-161.