

火力发电厂集控运行节能降耗技术措施分析

梁海波

国家电投大连泰山热电有限公司, 辽宁 大连 116021

DOI: 10.61369/ETQM.12220

摘 要 : 本文对火力发电厂集控运行节能降耗技术措施进行了探讨, 先分析了当前火力发电厂节能降耗技术应用的瓶颈, 随后详细探讨了火力发电厂集控运行节能降耗技术的应用, 包括设备级、系统级、全厂级、数字化孪生与虚拟电厂技术。通过多方面技术的综合应用, 有助于火力发电厂实现节能降耗目标, 推动其绿色转型与高质量发展。

关 键 词 : 火力发电厂; 节能降耗; 能源

Analysis of Technical Measures for Energy Saving and Consumption Reduction in the Centralized Control Operation of Thermal Power Plants

Liang Haibo

Dalian Taishan Thermal Power Co., Ltd., State Power Investment Corporation, Dalian, Liaoning 11602

Abstract: This paper explores the energy-saving and consumption-reducing technology measures for the centralized control operation of thermal power plants. It first analyzes the bottlenecks in the application of energy-saving and consumption-reducing technology in thermal power plants, and then discusses the application of energy-saving and consumption-reducing technology the centralized control operation of thermal power plants in detail, including equipment level, system level, plant level, digital twin and virtual power plant technology. Through the comprehensive of multi-faceted technology, it helps thermal power plants to achieve the goal of energy saving and consumption reduction, and promotes their green transformation and high-quality development

Keywords: thermal power plant; energy saving and consumption reduction; energy

在“双碳”目标推进下, 新能源发电技术快速发展, 但火力发电仍然是我国能源体系的主体, 在短期内煤炭仍将承担基础能源保障功能, 因此提升火力发电效率、降低能耗与碳排放, 是火力发电厂发展的核心命题。集控运行技术是火力发电厂智能化与精细化管理的重要手段, 对火力发电厂的节能降耗具有重要意义。因此, 本文对火力发电厂集控运行节能降耗技术措施进行分析, 以此助力火力发电厂的绿色转型与高质量发展。

一、当前火力发电厂节能降耗技术应用瓶颈

(一) 余热资源回收利用率低

在火力发电过程中, 会产生大量的余热, 这些余热大多数被排放至环境中, 造成了严重的能源浪费。锅炉排烟余热便是其中典型, 排烟温度通常处于120–180℃之间, 蕴含着可观的热能。传统的余热回收装置虽能在一定程度上回收部分热量, 但受限于其自身的工作原理, 难以实现与排烟温度的精准匹配。例如, 目前使用较多的省煤器主要用于加热给水, 其换热效率受给水流量与温度的影响较大, 当锅炉负荷发生变化时, 排烟温度波动, 省煤器难以快速适应, 部分余热就无法被充分利用。汽轮机乏汽余热亦是如此, 乏汽中携带的热量通常被直接排入冷凝器, 通过循环水冷却后散失。虽然有部分电厂尝试采用乏汽余热回收装置, 但在实际应用中存在系统集成复杂、设备投资大、运行稳定性差

等问题^[1]。由于热泵系统需要与原有的汽水系统、循环水系统进行深度集成, 各系统之间的参数匹配、协同运行难度高, 一旦某一环节出现故障, 将影响整个余热回收系统的正常运行, 使汽轮机乏汽余热回收利用率始终处于较低水平。

(二) 运行参数与设备匹配度不足

火力发电机组在运行过程中, 负荷需求不断变化, 从低负荷到高负荷的切换频繁。在此过程中, 控制参数的准确调节至关重要。以主汽压力为例, 当机组负荷增加时, 需要及时提高主汽压力, 以满足汽轮机的做功需求。然而, 在实际运行中, 由于锅炉的蓄热能力有限, 若主汽压力提升过快, 容易导致锅炉燃烧不稳定, 甚至出现熄火现象。反之, 若提升过慢, 则会导致汽轮机的进汽量不足, 降低机组的发电效率。同样, 主汽温度与风量的控制也存在类似问题。主汽温度过高, 会对汽轮机的叶片等部件造成热力损伤, 缩短设备使用寿命, 温度过低, 则会导致汽轮机的

焓降减小, 做功能力下降。而风量的控制直接影响锅炉的燃烧效率, 当风量过大时, 会增加排烟热损失, 风量过小时, 又会导致燃料燃烧不充分, 产生不完全燃烧热损失。最后, 锅炉的蓄热能力、汽轮机的效率曲线, 会随着设备的运行时间、工作状态变化等因素而发生改变^[2]。但目前多数火力发电厂的运行参数未能根据设备的变化进行调整, 导致机组在运行过程中频繁偏离最优工作状态, 能源消耗增加。

(三) 控制系统智能化水平不足

目前, 多数火力发电厂都采用 PID 控制, 然而, 火力发电具有高度的非线性、多变量耦合、强干扰等特点, 其工作状况较为复杂, 在机组启动、停机以及大幅度负荷变化过程中, PID 控制难以快速、准确的对系统进行调节。在机组启动初期, 锅炉的燃烧过程处于不稳定状态, 燃料量、风量与蒸汽压力、温度之间存在着复杂的非线性关系, PID 控制器难以根据实时变化的情况快速调整控制参数, 导致启动过程能耗高、时间长^[3]。对于磨煤机、风机等关键设备, 现有控制系统对其运行状态的监测能力也存在不足。磨煤机在运行过程中, 由于煤质的变化、磨辊磨损等原因, 可能出现磨煤出力下降、能耗增加等问题, 但目前多数电厂对磨煤机的运行状态监测主要依赖人工巡检, 结合简单的振动、温度监测仪表, 无法全面掌握设备的运行状况。同样, 风机在长期运行过程中, 容易出现叶片积灰、轴承磨损等问题, 但由于缺乏有效的监测手段, 往往在设备出现严重故障后才进行维修, 导致机组被迫停机, 影响了发电效率。

二、火力发电厂集控运行节能降耗技术的应用

(一) 设备级节能技术

1. 燃烧控制优化

传统燃烧器在燃烧过程中, 由于燃烧区温度较高, 且空气与燃料混合不均匀, 易产生大量 NO_x (氮氧化物), 造成环境污染的同时还伴随着能量的无效损耗。低氮燃烧器的结构设计较为特殊, 采用分级燃烧和空气分级技术, 将燃烧过程分为多个阶段。第一阶段, 燃料在缺氧或低氧环境下进行不完全燃烧, 此时燃烧温度较低, 可有效抑制 NO_x 的生成。在后续阶段, 再补充适量空气, 使燃料充分燃烧。如此在保证燃烧效率的同时, 能够大幅降低 NO_x 排放, 减少了因尾气处理带来的能源消耗。除此之外, 煤粉浓度的均匀性对燃烧效果也有明显影响。当进入炉膛的煤粉浓度不均匀时, 浓度高的区域易出现燃烧不完全的现象, 导致燃烧过程中产生大量飞灰可燃物, 造成能源浪费^[4]。浓度低的区域则容易导致燃烧不稳定, 甚至熄火。因此, 要实现节能降耗, 应对煤粉浓度均匀性进行调整, 采用先进的煤粉分配器。分配器需要进行特殊的流道设计和阻力调节装置, 能根据各燃烧器的需求, 精准分配煤粉, 使进入每个燃烧器的煤粉浓度更加均匀。

2. 汽轮机通流优化

汽轮机叶片在长期运行过程中, 会受到蒸汽冲刷、结垢等影响, 导致叶片型线发生变化, 表面粗糙度增加, 进而使蒸汽在通流部分的流动阻力增大, 汽轮机效率降低, 对叶片进行改造可有

效解决这一问题。可采用新型的叶片材料, 如高强度、抗冲刷的钛合金材料, 提高叶片的抗磨损能力。同时, 优化叶片的型线设计, 采用三维扭曲叶片技术, 使蒸汽在叶片表面的流动更加贴合型线, 减少流动损失^[5]。除叶片外, 传统的汽封结构在运行过程中, 蒸汽容易通过汽封间隙泄漏, 降低汽轮机的效率。因此, 可采用新型的可退让式结构气封, 在汽轮机启动和停机过程中, 汽封块能够自动退让, 增大汽封间隙, 避免汽封与转子发生摩擦。在正常运行时, 汽封块在蒸汽压力作用下自动贴紧转子, 减小汽封间隙, 有效减少蒸汽泄漏。

3. 辅机系统能效调节

火力发电厂中的风机、水泵等辅机在运行过程中, 其负荷会随着机组工作情况的变化而改变。传统的定速运行辅机无法根据实际负荷需求进行调节, 导致在低负荷状况下, 电机仍以额定转速运行, 消耗大量电能。因此, 可采用变频调速技术, 调节电机的供电频率来改变电机的转速, 从而实现对辅机输出功率的精确控制^[6]。在电机方面, 可采用永磁电机替代传统的异步电机, 该类电机采用永磁体产生磁场, 无需励磁电流, 减少了励磁损耗, 其结构紧凑, 运行可靠, 在相同功率输出的情况下, 永磁电机的体积和重量更小。在火力发电厂的辅机系统中应用永磁电机, 可有效降低电机的能耗。

(二) 系统级协同优化

1. 机组变负荷过程动态控制

在火力发电厂的实际运行中, 机组负荷需频繁根据电网需求进行调整。传统控制方法在变负荷过程中, 难以精准地协调锅炉、汽轮机等关键设备的运行参数, 常导致机组效率下降、能耗增加。因此, 可采用动态控制的方法, 运用预测控制算法, 结合实时监测数据, 提前预判负荷变化趋势, 从而优化设备调节幅度。例如, 当机组接到升负荷指令时, 系统首先利用锅炉的蓄热能力, 快速增加燃料量, 同时根据预设的动态响应曲线, 合理调整送风量与引风量, 确保燃烧过程稳定且高效。汽轮机侧则根据蒸汽流量与压力变化, 精准控制调节阀开度, 使功率平稳提升^[7]。

2. 余热梯级利用

火力发电过程中产生的余热具有温度跨度大、品质多样的特点, 为梯级利用提供了可能。余热梯级利用系统将不同温度的余热资源进行分类回收, 并根据其品位匹配相应的用能需求。在锅炉排烟余热的高温段, 可通过增设高温省煤器或余热锅炉, 将热量传递给锅炉给水或产生中低压蒸汽, 用于驱动小型汽轮机发电或工业生产。中温段的汽轮机抽汽余热, 可用于加热生水、预热空气或供应厂区供暖。低温段的乏汽余热则可借助吸收式热泵技术, 提升温度后用于建筑供暖或生活热水供应。通过能量流重构方式, 大幅降低能源消耗。

3. 汽水系统智能损耗控制

汽水系统是火力发电厂能量转换的关键, 智能平衡技术借助传感器网络与数据分析平台, 能够实时监测汽水系统中各点的压力、温度、流量等参数, 并通过智能算法对系统进行动态控制。当系统出现汽水泄漏或参数异常时, 智能诊断系统能够迅速定位问题所在, 并自动调整相关阀门开度与设备运行状态, 实现汽水

流量的精准平衡，减少不必要的能量损耗。

（三）全厂级综合优化

1. 多机组负荷分配优化

在拥有多台机组的火力发电厂中，合理分配各机组负荷是提升整体发电效率的关键。传统的负荷分配方式多依靠机组的额定功率或简单的优先顺序进行，忽略了机组在不同负荷段的实际能耗。先进的多机组负荷分配则需要借助大数据分析与控制算法，综合考量各机组的煤耗曲线、变负荷响应能力等因素，通过构建多目标优化模型，以全厂发电煤耗最低、厂用电率最小为目标，动态计算并分配各机组的负荷。

2. 智能调度与 AGC 协同控制

智能调度系统依托高速通信网络与监控技术，能够对电厂内各机组及辅助设备的运行状态进行实时、全面地监测。与 AGC（自动发电控制）系统协同工作时，能够根据电网的实时负荷及频率变化，精准调整机组的发电功率^[9]。AGC 系统接收电网调度中心的负荷调节信号后，智能调度系统会迅速分析各机组的当前运行参数，按照预设的优化方案，向相应机组发出负荷调整指令。在这一过程中，智能调度系统不仅能确保机组能够准确、及时响应电网需求，还能在调节过程中兼顾机组的稳定运行，优化能耗控制。通过优化机组的负荷调节速率与幅度，避免频繁、大幅度的负荷波动对机组设备造成损害，同时降低因调节不当导致的额外能耗。

3. 碳捕集与多能互补

碳捕集系统通过化学吸收、物理吸附等方法，从锅炉燃烧后的烟气中分离出二氧化碳，并进行压缩、运输与封存。虽然碳捕集过程本身需要消耗一定能量，但从长远来看，对于减少温室气体排放、实现可持续发展具有重要意义。多能互补集成技术则是将火力发电与其他能源形式有机结合^[9]。在光照充足或风力强劲时，可优先利用太阳能光伏发电或风力发电满足部分厂用电需求，多余电量还可上网销售。在能源供应不足或负荷高峰时段，火力机组及时补充发电。通过多能互补，电厂能够实现能源供应的多元化、智能化，减少对单一煤炭能源的依赖，降低碳排放

强度。

（四）数字化孪生与虚拟电厂技术

数字化孪生技术是通过数字化模型对物理实体进行实时映射、监测与分析的技术。在火力发电厂中，利用传感器、物联网等技术采集设备运行数据，将其传输至数字化孪生平台。平台基于数据构建电厂设备及系统的三维模型，模型有与物理实体一致的外观结构，更能精确模拟其运行状态。以锅炉设备为例，数字化孪生模型能够实时反映燃烧室内的温度分布、火焰形状以及受热面的换热情况。运行人员通过观察虚拟模型，可直观了解锅炉内部的情况，及时发现潜在问题^[10]。虚拟电厂并非传统意义上的实体电厂，而是通过信息技术与通信网络，将分布式能源资源、可控负荷、火力发电单元整合起来的虚拟电力系统。系统借助能量管理系统和分布式能源管理系统，实现对各类能源资源的统一调度。在虚拟电厂架构中，各分布式能源资源与火力机组的数据实时上传至中央控制系统，系统根据电网需求、能源价格的实时状态，通过优化算法制定最优的发电计划。

虚拟电厂在制定能源调度方案时，可借助数字化孪生模型对各能源设备及系统的运行状态进行模拟与分析，预测不同调度方案下的能源生产与消耗情况，从而优化调度方案，提高能源利用效率。反过来，虚拟电厂的运行数据又能为数字化孪生模型的优化提供反馈。通过对实际运行数据与虚拟模型预测结果的对比分析，不断修正模型参数，提高模型的准确性。双向互动的机制，实现了数字化孪生与虚拟电厂的协同增效，为火力发电厂融入智能电网、实现绿色低碳发展奠定基础。

三、结束语

在“双碳”目标下，火力发电厂亟需进一步提升节能降耗水平，突破现有技术瓶颈，科学应用各类节能降耗技术，从设备、系统到全厂进行综合优化，借助数字化与智能化手段，提升能源利用效率，降低碳排放，更好地适应能源结构转型的需求，在保障能源供应的同时，为可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1] 刘勇刚. 火力发电厂集控运行节能降耗技术措施探析 [J]. 灯与照明, 2025, 49(01): 167-169+173.
- [2] 尹冬年. 电厂锅炉运行中节能降耗技术的应用 [J]. 电力设备管理, 2024, (24): 258-260.
- [3] 曹昊, 高宇, 彭彬彬, 等. 基于余热回收的火力发电厂热力系统节能设计 [J]. 电气时代, 2024, (12): 57-60.
- [4] 涂沛亮. 火力发电厂发电机组集控运行技术 [J]. 通讯世界, 2024, 31(04): 97-99.
- [5] 周国梁, 王昱丹. 发电厂单元机组集控运行危险点预控分析 [J]. 中国设备工程, 2024, (06): 127-129.
- [6] 杨惠雅. 节能降耗技术: 火力发电厂集控运行新驱动 [J]. 中国商人, 2023, (09): 90-91.
- [7] 吴昊. 火电厂集控运行节能降耗措施 [J]. 化学工程与装备, 2022, (10): 205-206+155.
- [8] 文发红. 火力发电厂发电机组集控运行技术应用研究 [J]. 光源与照明, 2022, (06): 139-141.
- [9] 曾学文. 火电厂集控运行节能降耗措施研究 [J]. 科技与创新, 2022, (02): 4-6+10.
- [10] 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.