

电力技术

集控运行模式下火电能效优化探究 ——以 330MW 机组为例

方启顺

国能神皖马鞍山发电有限责任公司

DOI：10.32629/jpm.v7i7.8978

[摘 要] 随着新型电力系统建设推进与“双碳”战略的深入落地，新能源机组大规模并网运行，倒逼燃煤发电机组从传统基荷供电模式，逐步转向深度调峰、宽负荷灵活调峰运行模式，机组运行能耗波动幅度增大、整体运行效率偏低等问题愈发凸显。集控运行是现阶段燃煤电厂主流的运行管控模式，依托 DCS 集散控制系统实现锅炉、汽轮机、发电机及辅助设备的一体化协同管控，其管控精准度与参数调节方案直接决定机组整体能效水平。

[关键词] 火电厂；集控运行；330MW 机组；能效优化；深度调峰；节能降耗

Exploration of Thermal Power Plant Energy Efficiency Optimization under Centralized Control Operation Mode — A Case Study of a 330 MW Unit

Fang Qishun

Guoneng Shenwan Ma'anshan Power Generation Co., Ltd.

[Abstract] With the advancement of new-type power system construction and the deep implementation of the "Dual Carbon" strategy, the large-scale grid integration of renewable energy units has compelled coal-fired power generating units to gradually transition from traditional base-load power supply modes to deep peak-shaving and flexible load-shifting operation modes; consequently, issues such as increased fluctuations in unit operating energy consumption and relatively low overall operational efficiency have become increasingly prominent. Centralized control operation is currently the mainstream operational management model for coal-fired power plants, utilizing a DCS (Distributed Control System) to achieve integrated and coordinated control over boilers, steam turbines, generators, and auxiliary equipment; the precision of this control and the effectiveness of parameter adjustment schemes directly determine the overall energy efficiency level of the unit.

[Key words] thermal power plant; centralized control operation; 330 MW unit; energy efficiency optimization; deep peak-shaving; energy conservation and consumption reduction

一、引言

当前我国电力产业正处于低碳转型、结构优化的关键窗口期，风电、光伏等波动性新能源装机规模持续扩容。为保障电网供需平衡与供电可靠性，燃煤发电机组的功能定位发生根本性转变，由以往承担稳定基荷的主力电源，转变为服务电网调峰、调频的灵活性保障性电源。330MW 亚临界燃煤机组是国内存量规模最大、应用范围最广的火电主力机型，广泛部署于各区域骨干火电企业，长期承担区域主力供电、电网深度调峰、

工业及民生供热等关键任务，在新型电力系统能源兜底保供体系中占据不可或缺的地位。

二、330MW 机组集控运行能效现存主要问题

2.1 宽负荷工况燃烧管控粗放，燃烧效率整体偏低

330MW 机组集控系统原生调控逻辑主要适配额定负荷稳定运行工况，在电网深度调峰需求下，机组频繁处于 30%~70% 低负荷区间运行，原有燃烧控制策略适配性较差。低负荷运行阶段，集控系统风煤配比参数固定，一次风压、二次风配比、炉

膛氧量等关键参数未随机组负荷变化动态优化调整，造成炉膛火焰中心偏移、煤粉燃烧不充分，飞灰可燃物含量超标，锅炉整体热效率大幅下降。同时，低负荷工况下磨煤机启停控制逻辑固化，单台磨煤机带负荷运行时易出现出力匹配失衡、煤粉细度不均等问题，进一步增加燃烧热损失，是机组煤耗偏高的主要原因。此外，机组变负荷过程中集控操作响应存在滞后性，风量与煤量调节不同步，易出现短时缺氧燃烧或过量送风现象，产生大量排烟热损耗，加剧机组能耗浪费。

2.2 热力系统参数匹配失衡，循环运行效率降低

汽轮机及汽水循环系统的参数控制精度，直接影响机组热力循环效率。现阶段集控运行过程中，330MW 机组普遍存在主蒸汽压力、主再热汽温、排汽压力等核心热力参数管控精度不足的问题。低负荷工况下，主再热汽温波动幅度较大，运行人员通常采用增大减温水量的方式稳定汽温参数，导致热力循环不可逆损耗增加，机组循环热效率持续降低。与此同时，机组真空管控模式较为粗放，循环水泵运行方式未根据环境温度、机组实时负荷动态优化，凝汽器真空度长期偏离最优运行区间，致使汽轮机有效焓降不足，做功效率大幅下降。除此之外，高低压加热器疏水温度、端差等参数管控精细化程度不足，疏水节流、热量外泄问题频发，进一步加剧了机组热力系统能耗损失。

2.3 辅机系统运行冗余偏高，厂用电能耗损失较大

厂用电率是评判火电机组能效水平的核心指标，330MW 机组引风机、送风机、一次风机、循环水泵、凝结水泵等核心辅机设备能耗，占机组总厂用电消耗的 70%以上。当前集控管控体系中，辅机设备多采用固定工频运行、固定设备组合投运的传统模式，未结合机组负荷、运行工况的动态变化优化运行策略。在低负荷调峰工况下，多台辅机并列运行、设备出力冗余问题突出，风机风压、风量远超机组实际运行需求，节流能耗损耗显著。同时，辅机变频调控逻辑不完善，设备启停频次、运行出力与机组工况匹配度较低，长期处于低效运行状态，造成厂用电无效消耗居高不下，直接拉低机组整体能效水平。

2.4 集控控制系统逻辑陈旧，变负荷工况适配性不足

目前多数在运 330MW 机组 DCS 集控系统控制逻辑更新滞后、版本老旧，协调控制系统适配性不足，难以满足新能源并网背景下高频次、大幅度变负荷深度调峰的运行需求。机组 AGC 负荷响应速度与调控精度受限，负荷调整过程中易出现参数超调、工况波动等问题，系统需频繁修正调控参数，间接增加机组能耗损耗。同时，系统未配置适配低负荷工况的节能优化控制模块，各类参数联动调节算法固化，无法根据实时运行工况智能匹配最优运行参数，机组运行高度依赖操作人员经验，人工操作偏差易导致机组长期偏离高效运行区间，节能调控精度难以保障。

2.5 集控运维管理体系不完善，节能管控力度不足

现阶段多数火电企业的集控运行管理工作，以安全生产、设备稳定运行为核心目标，忽视了能效精细化管控工作，尚未建立适配机组宽负荷灵活运行的专业化节能管理体系。集控操作人员节能运维意识薄弱，日常运行操作以保障机组稳定运行为首要原则，缺乏参数优化、能耗管控的主动意识。同时，企业缺少完善的能效数据分析、工况复盘研判机制，无法精准定位不同负荷区间的能耗漏洞与短板，节能操作标准不统一、绩效考核机制缺失，粗放式运行操作长期存在，导致机组固有节能潜力无法得到充分挖掘与释放。

三、集控运行模式下 330MW 机组能效优化核心策略

3.1 精细化优化燃烧系统，提升锅炉燃烧利用效率

针对 330MW 机组不同负荷区间燃烧失衡、燃烧效率偏低的问题，制定分负荷、分级适配的集控燃烧调控方案，实现机组全负荷区间的高效稳定燃烧。在额定及高负荷（70%~100%）工况下，优化二次风配比方案，采用“均等配风+适度欠氧燃烧”的运行模式，将炉膛出口氧量精准控制在 3.5%~4.5%合理区间，有效降低排烟热损失与燃烧冗余损耗。在中低负荷（30%~70%）深度调峰工况下，优化磨煤机投运组合方式，优先采用单台或两台磨煤机稳燃运行模式，减少磨煤机设备冗余能耗，同时合理调整燃烧器摆角，适度下沉炉膛火焰中心，提升炉膛整体温度，保障煤粉充分燃尽。

依托集控系统优化风煤联动调控逻辑，实现煤量、风量、氧量的同步动态调节，彻底解决变负荷过程中短时缺风、过量送风的问题。细化煤粉细度管控标准，将煤粉细度 R90 稳定控制在 18%~22%区间，有效降低煤粉不完全燃烧热损失。同时优化脱硝系统运行策略，精准把控喷氨量，规避过量喷氨引发的空预器堵塞、排烟温度升高等次生能耗问题，全方位提升锅炉热效率。

3.2 精准调控热力参数，优化机组循环运行效率

以提升机组热力循环效率为核心目标，依托集控系统实现核心热力参数的精细化、稳态化管控。严格管控主蒸汽、再热蒸汽关键参数，在机组安全运行规范范围内，将主汽压力、汽温稳定维持在设计最优区间，减少参数频繁波动引发的热力循环损耗。优化减温水调控逻辑，通过提前预判机组负荷变化、微调炉膛燃烧工况的方式，替代传统大幅增减减温水的操作模式，最大限度缩减减温水用量，降低热力循环不可逆能量损失。

完善凝汽器真空管控体系，结合季节环境温度、机组实时负荷，制定循环水泵最优投运组合方案，高温高负荷工况采用双泵变频高效运行模式，低温低负荷工况采用单泵低频节能运行模式，稳定凝汽器最优真空状态。同时强化高低压加热器运维管控，定期排查疏水阀门、换热设备运行隐患，严格将加热器端差控制在行业标准区间，减少疏水热量损耗与设备换热效

率衰减，全面提升机组热力循环综合效率。

3.3 精益化管控辅机系统，降低机组厂用电消耗

针对辅机设备运行冗余、厂用电能耗偏高的问题，建立基于机组实时负荷的辅机分级优化运行机制，实现辅机能耗精准化管控。依托集控变频调控系统，优化引风机、送风机、一次风机的运行调控方式，根据炉膛实际风量、风压需求动态调节设备运行频率，替代传统节流调节模式，大幅削减风机节流能耗损耗。制定标准化辅机启停操作规范，在低负荷运行区间及时停运冗余辅机设备，杜绝设备无效空转、低效运行。

优化循环水泵、凝结水泵运行调控策略，结合机组负荷、冷却水温度、凝汽器真空度等多维数据，构建辅机联动调控模型，实现辅机出力与机组运行工况的精准匹配。同时常态化开展辅机设备节能运维，及时清理风机、水泵叶轮积灰、堵塞等隐患，保障辅机设备始终处于高效运行状态。经现场工况测算，该优化模式可使机组厂用电率有效下降 0.2%~0.4%，节能降耗成效十分显著。

3.4 升级集控控制逻辑，适配宽负荷节能运行需求

对 330MW 机组原有 DCS 集控系统协调控制逻辑进行迭代升级，适配深度调峰、频繁变负荷的新型运行场景。优化 AGC 负荷响应运算算法，提升机组负荷调整精度与响应速度，缩减参数超调幅度与系统修正频次，降低变负荷过程中的动态能耗损耗。新增适配低负荷工况的节能优化控制模块，预设不同负荷区间的最佳参数阈值，实现风煤配比、汽温压力、辅机出力的自动化、精准化调控，减少人工操作干预带来的偏差误差。

完善机组设备联锁保护逻辑，梳理并优化低负荷工况下各类设备的保护定值，在保障设备安全稳定运行的前提下，适度放宽部分限制性参数阈值，提升机组低负荷工况调控灵活性。通过控制逻辑全方位升级，实现机组 33%~100%全负荷区间的稳定、高效、精准调控，显著提升集控系统的宽负荷节能适配能力。

3.5 健全节能管控体系，构建长效节能优化机制

建立适配现代化集控运行模式的能效精细化管理制度，明确锅炉、汽轮机、电气各岗位的节能工作职责，制定机组全负荷区间标准化节能操作流程，规范参数调控、设备运维、工况调整等全流程操作行为。搭建机组能效数据分析平台，实时采集供电煤耗、厂用电率、锅炉热效率等核心能效指标数据，定期开展运行工况复盘与能耗溯源分析，精准定位各负荷区间的能耗短板，动态优化运行调控策略。

建立完善的节能考核奖惩机制，将机组能效指标纳入集控班组及操作人员绩效考核体系，强化一线操作人员节能管控意识，杜绝粗放式运行操作。同时常态化开展集控人员节能操作专项培训，提升操作人员应对宽负荷、异常工况的精准调控能力，构建“技术优化+管理赋能”的一体化长效节能运行机制。

四、优化效果分析

将上述成套优化策略应用于某电厂 330MW 亚临界燃煤机组集控运行实操中，经过 3 个月的现场工况调试与数据持续监测，机组能效提升效果十分显著。优化后，机组满负荷运行工况下供电煤耗降低 2.1g/kWh，中低负荷深度调峰工况下供电煤耗降低 3.8g/kWh；机组平均厂用电率下降 0.32%，锅炉热效率提升 1.2%，飞灰可燃物含量稳定控制在规范合理区间。同时，机组变负荷运行稳定性显著提升，各类参数波动幅度大幅降低，设备故障发生率明显下降，在保障机组安全稳定运行的基础上，充分挖掘了机组节能潜力，有效降低电厂生产能耗与运营成本，实现经济效益与环保效益双向提升。

五、结语

在新能源高比例并网与电力市场化改革的双重背景下，330MW 燃煤机组宽负荷、灵活性调峰运行已成为常态化运行模式，传统粗放式集控运行模式已难以适配火电行业节能降碳、高质量发展的核心需求。火电机组集控运行能效优化是一项系统性、全方位的工程，需立足机组设备固有特性与实际运行工况，聚焦燃烧调控、热力循环、辅机运维、控制系统、管理体系五大核心环节，实现全流程精细化节能优化。通过精准匹配不同负荷区间的最佳运行参数、迭代升级集控控制逻辑、规范标准化节能操作流程、健全长效节能管控机制，可有效解决机组宽负荷运行能耗偏高、运行效率偏低的行业痛点，全面提升机组运行经济性与调峰灵活性。未来，电力行业需持续推进火电机组集控运行的智能化、精细化升级，依托大数据、智能自动控制技术持续迭代优化运行策略，充分发挥火电电源的兜底保供与灵活调峰价值，助力电力行业低碳转型与高质量可持续发展。

[参考文献]

- [1]王涛,李刚.330MW 亚临界机组深度调峰运行优化与能耗分析[J].热力发电,2023,52(04):112-117.
- [2]张建军,刘鑫.火电机组集控运行参数优化与节能降耗策略[J].中国电力,2022,55(09):189-195.
- [3]陈亮.330MW 机组辅机系统精益运行及厂用电降耗研究[J].电力节能,2023,19(02):45-49.
- [4]赵海波,王彦峰.新能源并网下火电机组宽负荷能效优化调控[J].电网与清洁能源,2022,38(11):78-83.
- [5]刘军.火电厂集控控制系统逻辑优化与深度调峰适配改造[J].内蒙古电力技术,2023,41(03):62-66.
- [6]孙伟.燃煤机组锅炉精细化燃烧优化与热效率提升研究[J].热能动力工程,2022,37(08):136-141.
- [7]周明辉.火电机组热力系统参数优化与节能效果分析[J].电力科技与环保,2023,39(01):51-55.