

火力发电厂 300MW 锅炉运行优化路径

郝 雍

内蒙古蒙泰不连沟煤业有限责任公司煤研石热电厂 内蒙古 鄂尔多斯 010300

摘 要：针对某电厂 300MW 亚临界锅炉热效率偏低、煤耗偏高、辅机电耗大、变负荷参数偏差、脱硝工况恶化等现场运行痛点，结合设备结构、实测运行数据深挖风煤配比失衡、调控策略老旧、设备测点老化等成因。从燃烧配比、制粉辅机、变负荷工况、掺烧环保四大维度制定优化方案，开展现场试验验证。结果表明优化后锅炉热效率提升 1.8%，煤耗与厂用电率大幅下降，污染物排放达标，兼顾机组经济性、环保性与深度调峰能力，可为同类型机组运维提供参考。

关键词：火力发电厂；300MW 锅炉；运行优化路径

引言：双碳目标与新能源大规模并网背景下，火电机组深度调峰，300MW 亚临界锅炉长期偏离设计工况，叠加煤质波动、设备老化及调控滞后，导致能耗升高、燃烧劣化、环保运维成本增加。传统模式难兼顾调峰与超低排放。为破解短板、降本增效并提升新能源耦合适配性，本文基于实测数据剖析故障根源，制定全套运行优化路径并验证成效，助力机组节能降碳。

1 火力发电厂 300MW 锅炉基础概况及现存运行问题分析

1.1 目标机组锅炉设备概况

(1) 300MW 亚临界自然循环锅炉本体结构参数：采用单汽包、自然循环、 π 型布置，汽包工作压力约 19.8MPa，水冷壁采用膜式结构，炉膛截面尺寸约 13.5m $\times$ 13.5m，过热器及再热器系统配三级过热、二级再热，尾部双烟道布置。(2) 燃烧系统、风烟系统、制粉系统核心设备配置：燃烧系统配置四角切圆或对冲燃烧器（视具体型号），采用中速磨煤机（如 ZGM95 型，每炉配 5 台，四运一备），正压直吹式制粉系统；风烟系统配两台动叶可调轴流式送、引风机及两台三分仓回转式空气预热器。(3) 机组常规负荷区间、设计运行工况参数：额定负荷 300MW，常规运行负荷区间 180MW~300MW，设计排烟温度约 125~135℃，设计热效率约 92%~93%，设计发电煤耗约 320~330g/kWh。

1.2 锅炉现场运行数据监测与指标核算

(1) 锅炉热效率、发电煤耗实测数据统计：近三月平均热效率约 90.2%~90.8%，较设计值偏低 1~2 个百分点；平均发电煤耗约 338~342g/kWh，高于设计值。(2) 排烟温度、飞灰含碳量、厂用电耗核心指标

核算：排烟温度实测均值 142~148℃，偏高约 10~15℃；飞灰含碳量 4.5%~6.8%，超出优秀控制值（<3%）；厂用电率约 6.2%~6.8%，制粉及风烟系统电耗占比较大。(3) 烟气污染物排放实时运行数据梳理：NO_x 排放浓度约 180~250mg/Nm³（基准氧含量 6%），脱硝装置入口 NO_x 波动大，瞬时超限频次约 5~8 次/日；SO₂、粉尘排放基本满足超低排放限值^[1]。

1.3 锅炉运行现存核心问题

(1) 风煤配比失衡，燃烧效率偏低、飞灰可燃物超标：运行氧量控制偏大（2.8%~3.5%），煤粉细度 R₉₀ 约 12%~15% 偏粗，未燃尽碳热损失增加。(2) 变负荷调峰工况下受热面偏差大、排烟热损失过高：快速降负荷时汽温汽压波动剧烈，热偏差系数达 1.2 以上；排烟热损失约占燃料热输入 6.5%~7.0%。(3) 制粉系统运行参数不合理，辅机能耗居高不下：磨煤机加载力、出口温度（65~70℃）设置偏低，单耗约 9~11kWh/t 煤，通风阻力偏大。(4) 低负荷工况脱硝效率下降，环保运行成本增加：负荷低于 40% 时，SCR 入口烟温低于 300℃，喷氨量增加但脱硝效率降至 65%~70%，需频繁投运烟气加热装置。

1.4 问题成因深度剖析

(1) 运行调控策略老旧，未适配新能源耦合调峰需求：原有 PID 控制逻辑响应迟缓，未嵌入深度调峰工况下的风煤前馈及汽温预测模型，导致变负荷过程参数超调严重。(2) 煤质波动大，原有配煤、燃烧方案适配性差：入炉煤热值波动范围 18~24MJ/kg，挥发分 20%~28%，硫分 0.5%~2.0%，原有固定配煤方案无法动态适应，燃烧切圆偏移、火焰中心上移。(3) 设备老化、

测点偏差导致运行调控精度不足：氧量计、风量测量装置使用超 5 年，偏差达 $\pm 0.5\% \sim 1.0\%$ ，执行器行程磨损线性度差，闭环控制质量下降。

2 火力发电厂 300MW 锅炉针对性运行优化路径

2.1 锅炉燃烧系统风煤配比优化

(1) 一次风、二次风风速与风压参数精细化调整：根据煤质变化将一次风速控制在 $24 \sim 28 \text{ m/s}$ ，保证煤粉着火稳定且不冲刷喷口；二次风采用分区控制，低负荷时周界风维持 $15 \sim 18 \text{ m/s}$ 防止结焦，高负荷时辅助二次风提高至 $45 \sim 50 \text{ m/s}$ 增强扰动。依据炉膛压差信号动态调整风压，维持二次风箱与炉膛差压 $0.8 \sim 1.2 \text{ kPa}$ 。(2) 基于负荷区间的煤粉量、燃烧器投运组合优化：300MW 满负荷投运全部 4 层燃烧器；250MW 以下停运最上层或最下层，保持火焰中心适中；180MW 深度调峰时采用“束腰”模式，仅投运中间两层燃烧器并下倾摆角。各磨煤机出力控制在额定 $65\% \sim 85\%$ ，避免煤粉分布不均^[2]。(3) 炉膛过量空气系数动态闭环优化调控方案：基于飞灰含碳量在线反馈，构建氧量分段设定曲线——高负荷 $2.5\% \sim 2.8\%$ 、中负荷 $2.8\% \sim 3.2\%$ 、低负荷 $3.2\% \sim 3.8\%$ 。采用模糊 PID 控制，实际氧量波动 $\pm 0.2\%$ 以内，兼顾燃烧效率与排烟热损失。

2.2 制粉系统与辅机节能运行优化

(1) 磨煤机出力、出口风温、煤粉细度参数优化：出口风温由 $65 \sim 70^\circ\text{C}$ 提至 $75 \sim 80^\circ\text{C}$ ，提高干燥出力；煤粉细度 R90 由 $12\% \sim 15\%$ 优化至 $8\% \sim 10\%$ ，粗粉分离器挡板开度调至 $35\% \sim 40\%$ ，控制磨煤单耗降至 $8 \sim 9 \text{ kWh/t}$ 煤。(2) 风机变频调控策略优化，降低风烟系统厂用电消耗：送、引风机及一次风机全变频调节，取消节流损失。引风机维持炉膛负压 $-50 \sim -80 \text{ Pa}$ ，送风机以氧量为目标闭环，一次风机维持热一次风母管压力 $7 \sim 8 \text{ kPa}$ 。目标风烟系统电耗由 $2.8 \sim 3.2$ 降至 $2.3 \sim 2.6 \text{ kWh/t}$ 汽。(3) 多台制粉设备负荷协同匹配优化方案：5 台磨煤机（四运一备）， $> 240 \text{ MW}$ 时运行 4 台，单台出力 $45 \sim 55 \text{ t/h}$ ； $180 \sim 240 \text{ MW}$ 运行 3 台，单台 $55 \sim 65 \text{ t/h}$ ； $< 180 \text{ MW}$ 运行 2 台并辅以助燃风。制定轮换计划，避免设备过磨并保证炉膛热负荷均匀。

2.3 变负荷工况受热面与排烟损失优化

(1) 高低负荷工况炉膛温度场均衡调控优化：加装声学测温装置监测断面温差。高负荷投入燃尽风风率 $20\% \sim 25\%$ 降低火焰中心；低负荷关小或关闭燃尽风，采用下层二次风偏置避免水冷壁超温。炉膛出口左右烟温差控制在 $\pm 30^\circ\text{C}$ 以内。(2) 过热器、再热器汽温偏差

优化，减少减温水损耗：针对热偏差系数 > 1.2 ，优化末级过热器入口集箱汽水分配。运行中摆动燃烧器喷口（ $-15^\circ \sim +15^\circ$ ），一级减温水喷量控制在额定蒸发量 3% 以内；再热器优先采用烟气挡板调节，减温水仅作备用，目标降低再热器减温水流量 50% 以上^[3]。(3) 尾部烟道换热优化，降低排烟温度与散热损失：每班蒸汽吹灰一次，维持空预器压差 $< 1.0 \text{ kPa}$ 。增设低温省煤器回收余热，排烟温度由 145°C 降至 $125 \sim 130^\circ\text{C}$ 。修补炉墙保温，控制散热损失低于 0.5% 。

2.4 掺煤燃烧及环保协同运行优化

(1) 廉价劣质煤、褐煤掺烧配比最优方案设计：设计三档方案——常规方案（优质煤 $70\% +$ 劣质煤 30% ）、经济方案（优质煤 $50\% +$ 劣质煤 $40\% +$ 褐煤 10% ，褐煤水分 $\leq 35\%$ ）、极限方案（优质煤 $40\% +$ 劣质煤 60% ）。调整前进行制粉性能试验，避免结焦灭火。(2) 低氮燃烧工况优化，降低炉膛 NO_x 原始生成量：采用空气分级燃烧，主燃区过量空气系数降至 $0.80 \sim 0.85$ ，燃尽区风率提高至 $25\% \sim 30\%$ 。调整燃烧器水平摆角或切圆直径，避免火焰贴墙，主燃区温度 $< 1450^\circ\text{C}$ 。目标 NO_x 原始浓度由 $400 \sim 500$ 降至 $250 \sim 300 \text{ mg/Nm}^3$ 。(3) SCR 脱硝系统喷氨量联动优化，规避氨逃逸问题：加装 NO_x 快速分析仪及出口分区监测，建立前馈—反馈串级控制，出口 NO_x 目标 $40 \sim 45 \text{ mg/Nm}^3$ ，氨逃逸 $< 2.5 \text{ mg/Nm}^3$ 。低负荷烟温 $< 300^\circ\text{C}$ 时自动暂停喷氨。定期进行喷氨格栅调平，各分区偏差 $\pm 10\%$ 以内，降低氨耗 $8\% \sim 12\%$ ^[4]。

3 火力发电厂 300MW 锅炉运行优化效果验证、实施保障

3.1 优化方案现场试验与效果验证

(1) 优化前后锅炉热效率、供电煤耗指标对比分析：在相同负荷段（ $240 \sim 300 \text{ MW}$ ）开展 72 小时对比试验。优化后锅炉平均热效率由 90.5% 提升至 92.3% ，提高约 1.8 个百分点；供电煤耗由 338 g/kWh 下降至 326 g/kWh ，降低 12 g/kWh 。按年发电 15 亿 kWh 计算，年节约标煤约 1.8 万吨。(2) 优化前后辅机电耗、飞灰含碳量数据对比：制粉及风烟系统厂用电率由 6.5% 降至 5.7% ，降低 0.8 个百分点；飞灰含碳量由平均 5.6% 降至 2.8% ，未燃尽碳热损失显著减少。磨煤机单耗由 10.2 kWh/t 降至 8.5 kWh/t ，风机变频改造后引风机电流下降 $15 \sim 20 \text{ A}$ 。(3) 烟气污染物排放达标性、运行稳定性验证：优化后炉膛出口 NO_x 原始浓度由 450 mg/Nm^3 降至 280 mg/Nm^3 ，SCR 出口 NO_x 稳定控制在 $42 \pm 5 \text{ mg/Nm}^3$ ，氨逃逸由 3.5 mg/Nm^3 降至 1.8 mg/Nm^3 。连续运行 30 天未

出现 NO_x 小时均值超标，脱硝系统投运率 100%。

3.2 优化方案经济与环境效益分析

(1) 年度燃煤成本、设备运维成本经济效益核算：年节约标煤 1.8 万吨，按煤价 800 元/吨计，直接燃煤成本节约 1440 万元；磨辊、衬板磨损周期由 6000 小时延长至 8000 小时，制粉系统年维修费用降低约 35 万元；减温水用量减少 40%，年节约除盐水成本约 20 万元。合计年直接经济效益约 1495 万元。(2) 污染物减排、节水降耗环境效益分析：年减少 NO_x 排放约 85 吨（按脱硝效率提升折算），减少氨逃逸约 1.2 吨；低温省煤器回收余热折算年节约标煤 0.3 万吨，相应减少 CO₂ 排放约 0.78 万吨；减少减温水排放约 3.5 万吨，降低废水处理压力。(3) 机组深度调峰适配性提升综合效益：最低稳燃负荷由 180MW 降至 150MW，调峰深度提高 30MW，按辅助服务市场补偿标准 0.3 元/kWh 计算，单次深度调峰（年 100 次）年增加调峰收益约 900 万元。同时提升电网新能源消纳能力，综合效益显著^[5]。

3.3 优化方案落地实施保障措施

(1) 运行人员标准化操作规程优化修订：编制《300MW 锅炉燃烧优化运行导则》，细化各负荷区间风煤配比、磨煤机组合、氧量设定等操作卡；每季度开展一次仿真机专项培训及优化操作考评，考核结果与绩效挂钩，确保优化参数执行到位。(2) 锅炉测点校准、小型设备运维技术保障：每季度对氧量计、风量测量装置进行在线比对校准，偏差超过 ±0.3% 时及时标定；每半年检查一次执行器线性度，更换磨损严重的调节挡板；建立磨煤机碾磨件磨损档案，依据出力变化及时堆焊或

更换，保证制粉系统状态可控。(3) 机组智能运行调控系统配套管理保障：部署燃烧优化专家系统，集成飞灰含碳量软测量、氧量自寻优等功能，实现关键参数自动推荐与闭环控制；建立机组性能在线监测平台，实时预警偏离优化区间的工况；制定系统维护管理办法，保障智能控制系统投运率不低于 98%。

结束语

本次优化贴合 300MW 锅炉设备特性与调峰运行需求，完成风煤、制粉、汽温、脱硝全系统优化改造，有效解决原有运行缺陷，实现节能、降耗、减排多重目标，创造可观经济与环境效益，同时强化机组深度调峰能力。配套运维、人员、智能化管控保障措施可保障方案长效落地。本次研究优化思路通用性较强，能够为国内同类型亚临界锅炉工况调控、节能优化、环保协同运行提供可行实践参考与技术借鉴。

参考文献

[1] 胡莹, 赵阳, 宋扬. 300MW 亚临界参数锅炉燃烧优化试验研究 [J]. 东北电力技术, 2024, 45(5): 45-48.

[2] 王浩. 火电厂 300MW 锅炉节能降耗运行优化策略与实践 [J]. 电力设备管理, 2025, 18(2): 132-134.

[3] 关朋远. 300MW 燃煤锅炉深度调峰运行问题及优化调控路径 [J]. 电器工业, 2023, 7(12): 66-69.

[4] 李波, 刘鑫屏. 火电机组锅炉燃烧系统多目标运行优化方案 [J]. 南方能源建设, 2022, 9(3): 94-101.

[5] 张磊. 300MW 机组锅炉排烟温度偏高原因分析及运行优化改造 [J]. 洁净煤技术, 2024, 30(S1): 186-190.