

300MW 循环流化床集控运行优化技术研究

彭继成

四川白马循环流化床示范电站有限责任公司

DOI:10.32629/jpm.v7i6.8954

[摘要] 循环流化床（CFB）锅炉具备燃料适配范围广、脱硫效率优异、氮氧化物排放低等诸多优势，在电力生产领域应用极为普遍，其中 300MW 等级机组已然成为国内火力发电行业的主流机型。集控运行是保障 300MW CFB 机组安全稳定、经济高效运行的核心环节，其运行管控水平直接决定机组的运行可靠性、经济指标及环保达标水平。目前，国内 300MW CFB 机组集控运行体系仍存在诸多短板，核心表现为运行参数匹配度不足、自动控制程序逻辑不完善、变负荷调节响应速度慢、机组整体能耗偏高等问题。

[关键词] 300MW；循环流化床；集控运行；参数优化；自动控制；节能降耗

Research on Optimization Technology for Centralized Control Operation of 300 MW Circulating Fluidized Bed Units

Peng Jicheng

Sichuan Baima Circulating Fluidized Bed Demonstration Power Plant Co., Ltd.

[Abstract] Circulating fluidized bed (CFB) boilers offer numerous advantages, including a wide range of fuel compatibility, excellent desulfurization efficiency, and low nitrogen oxide emissions, making them widely adopted in power generation. 300 MW-class units have become the mainstream configuration in China's thermal power industry. Centralized control operation is pivotal to ensuring safe, stable, economical, and efficient performance of 300 MW CFB units, with its management level directly determining operational reliability, economic indicators, and environmental compliance standards. Currently, domestic centralized control systems for 300 MW CFB units still exhibit significant shortcomings, primarily manifested in inadequate parameter matching, incomplete automatic control logic, slow load variation response times, and relatively high overall energy consumption.

[Key words] 300 MW; Circulating Fluidized Bed; Centralized Control Operation; Parameter Optimization; Automatic Control; Energy Saving and Consumption Reduction

一、引言

在“双碳”战略目标推进落地的行业背景下，电力行业亟需落实节能降碳、提质增效的发展要求。300MW CFB 机组凭借自身独特的运行优势，成为各区域电网主力供电设备，而集控运行技术的优化升级是挖掘机组运行潜能、提升综合运行性能的核心关键。

二、300MW CFB 机组集控运行现状及问题分析

2.1 集控运行核心监控对象

300MW CFB 机组集控运行监控体系主要涵盖锅炉、汽轮机、

发电机三大核心系统及各类辅助配套系统，其中锅炉系统是集控监控的核心重点。锅炉系统关键运行参数标准区间如下：床温 850~950℃、床压 0.7~1.0kPa、炉膛负压 -50~-100Pa、汽包水位波动范围 ±50mm、主蒸汽温度 540±5℃、主蒸汽压力 17.5±0.5MPa。汽轮机系统核心监控指标包含转子转速（额定 3000r/min）、轴向位移（允许偏差 ±0.8mm）、设备振动值（≤0.05mm）。发电机系统主要监测定子电流、转子电压、功率因数等核心电气参数。集控操作人员依托 DCS 集散控制系统，完成各系统运行参数的实时监测、动态调控，以此保障机组持续

稳定运行。

2.2 现有运行存在的核心问题

2.2.1 运行参数匹配不合理

当前机组运行过程中，床温、床压等核心燃烧参数普遍采用固定数值管控模式，未根据燃煤热值、灰分等燃料特性差异及机组负荷变动情况进行动态适配调整。实际运行中，当燃煤热值下降时，若持续沿用原有给煤量与风量配比，会直接造成床温降低、燃料燃烧不充分；若盲目加大给煤量提升燃烧效率，又会引发床压异常升高，大幅增加炉膛结焦风险。与此同时，机组一、二次风配比长期采用固定比例（一次风占比 60%-70%），未结合床层运行状态、机组实时负荷进行动态优化调节，最终导致锅炉整体燃烧效率偏低，机组运行经济性不足。

2.2.2 自动控制逻辑不完善

机组原有 DCS 控制系统多数调节回路采用传统 PID 控制模式，且 PID 参数仅为设备出厂预设定值，未结合机组长期运行工况、负荷波动及燃料变化进行针对性整定优化。在机组变负荷运行或燃料特性大幅波动时，固定 PID 参数无法适配实时工况，导致床温、主蒸汽温度等关键参数波动幅度大幅增加，最大波动区间可达 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ，超出设备设计允许偏差范围。此外，机组联锁保护逻辑存在设计缺陷，例如床温低于 800°C 时自动触发油枪助燃的控制逻辑，未兼顾燃料湿度变化带来的工况影响，极易出现油枪误启动或启动延迟等故障，影响机组运行稳定性。

2.2.3 变负荷运行响应滞后

随着电网调峰政策日趋严格，电网对 300MW CFB 机组的调峰能力要求持续提升，需满足不低于 2% 额定负荷/min 的变负荷速率标准。但现有变负荷运行策略存在明显短板，电网负荷指令下发后，机组给煤量、送风量的调节存在明显滞后性，且调节幅度缺乏精准量化控制。具体表现为：升负荷阶段，给煤量增速过快易造成床压急剧升高，增速过慢则无法快速响应电网负荷需求；降负荷阶段，风量调节滞后易引发炉膛缺氧燃烧，不仅降低燃烧效率，还会导致污染物排放量增加，环保指标超标风险提升。

三、300MW CFB 集控运行优化技术方案

3.1 运行参数动态优化

3.1.1 核心燃烧参数优化

结合机组燃煤特性差异化特征，建立床温、床压与燃煤热值、给煤量、配风参数的联动关联模型。通过在线实时采集燃煤热值数据，实现给煤量、一二次风配比的动态智能调节：当燃煤热值偏高时，适度缩减给煤总量，将二次风占比提升至 70%-75%，优化炉膛内燃烧均匀性；当燃煤热值偏低时，适度

增加给煤量，将一次风占比调整至 65%-70%，强化床层扰动效果，保障燃料充分燃烧。同时，优化核心参数管控区间，将床温最优控制区间调整为 $880\text{--}920^{\circ}\text{C}$ ，床压最优控制区间调整为 $0.8\text{--}0.9\text{kPa}$ ，通过精细化参数管控，大幅降低燃烧参数波动幅度。

3.1.2 汽包水位与主汽参数优化

针对机组汽包水位波动频繁、稳定性差的问题，采用分段式差异化控制策略。机组低负荷运行（ $\leq 150\text{MW}$ ）时，启用单冲量控制模式，简化控制逻辑，提升水位调控稳定性；机组高负荷运行（ $>150\text{MW}$ ）时，自动切换为三冲量控制模式，结合主蒸汽流量、给水流量、水位偏差三大参数，动态调节给水阀门开度，精准稳定汽包水位。主蒸汽温度采用前馈+反馈复合控制方式，联动烟气挡板开度与减温水喷水量两大调节维度，以负荷变化率作为前馈信号，提前预判温度变化趋势并调整喷水量，再以主蒸汽温度偏差作为反馈信号精准修正，最终将主蒸汽温度波动区间稳定控制在 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 以内。

3.2 自动控制逻辑改进

3.2.1 PID 参数自适应优化

摒弃传统固定参数 PID 控制模式，引入模糊 PID 智能控制算法。模糊控制器可根据运行参数偏差值（e）及偏差变化率（ec），实时动态整定 PID 比例、积分、微分参数（Kp、Ki、Kd）：当参数偏差较大时，增大比例系数、减小积分系数，提升系统响应速度；当参数偏差趋近于稳态值时，减小比例系数、增大积分系数，消除稳态运行误差。以床温控制回路为例，改造后床温波动幅度由原有 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 降至 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，自动控制系统投入率由 75% 提升至 95% 以上，控制精度大幅提升。

3.2.2 联锁保护逻辑优化

结合机组实际运行工况，对联锁保护动作阈值、响应逻辑进行优化升级。针对床温偏低投油助燃逻辑，根据燃煤湿度动态调整启动阈值：当燃煤湿度大于 15% 时，油枪投入阈值设定为 820°C ；当燃煤湿度 $\leq 15\%$ 时，维持原有 800°C 阈值，有效规避油枪误投入、无效启停等问题。同时新增负荷预判控制逻辑，当电网下发变负荷指令时，提前修正联锁保护系统的响应延迟时间，杜绝变负荷动态调节过程中出现联锁误动作，保障机组变负荷运行安全。

3.3 变负荷运行策略优化

3.3.1 负荷指令分层响应

构建“负荷指令-燃料供给-风量调节”分层联动响应模型，将机组变负荷过程划分为快速调节与稳态稳定两个阶段。快速调节阶段（负荷变化率 $> 2\%$ 额定负荷/min），采用燃料优先调节、风量滞后跟随的控制策略，给煤量按照负荷变化率 1.2 倍

幅度同步调整，风量延迟给煤量 5s 调节，确保炉膛燃烧工况稳定；稳态稳定阶段（负荷变化率 $\leq 2\%$ 额定负荷/min），切换为风量优先优化、燃料微量微调的策略，通过精准配风提升燃烧效率，微调给煤量精准匹配电网负荷需求，实现变负荷过程平稳可控。

3.3.2 调峰负荷区间优化

结合 300MW CFB 机组设备特性与运行规律，确定 120–300MW 为机组最优调峰负荷区间。当机组负荷低于 120MW 低负荷区间时，采用低床温、低床压节能运行模式，将床温控制在 850–880℃、床压控制在 0.6–0.7kPa，在保障燃烧稳定的前提下降低燃料消耗量；当机组负荷高于 250MW 高负荷区间时，优化炉膛配风结构，加大二次风投入比例，强化炉膛燃烧强度，保障主蒸汽温度、压力参数稳定。经优化改造后，机组变负荷响应速率提升至 3%额定负荷/min，完全满足电网严苛的调峰运行要求。

四、优化方案现场应用及效果验证

4.1 试验机组概况

本次工业试验选取某电厂 300MW CFB 机组为试验对象，机组核心设备型号如下：锅炉型号 HG-1025/17.5-L.MG19，汽轮机型号 N300-16.7/538/538，发电机型号 QFSN-300-2。试验总周期为 2 个月，其中第一个月沿用机组原有运行方案作为对照组，第二个月应用本文优化方案作为试验组。两组试验周期内，机组燃煤特性、负荷运行区间基本保持一致，有效规避外界变量干扰，确保试验数据的真实性、可比性与有效性。

4.2 应用效果分析

4.2.1 运行稳定性提升

试验数据表明，优化后试验组机组床温波动幅度稳定在 $\pm 5^\circ\text{C}$ ，较对照组降幅达 75%；床压波动幅度控制在 $\pm 0.03\text{kPa}$ ，较对照组降低 60%；主蒸汽温度波动区间严格控制在 $\pm 3^\circ\text{C}$ 以内，系统自动控制投入率提升至 96%，运行手动干预次数较对照组减少 80%。各项核心参数稳定性大幅提升，机组整体运行工况更加平稳可控。

4.2.2 经济性改善

机组运行经济指标提升效果显著，试验组供电煤耗降至 312g/(kW·h)，较对照组降低 4.8g/(kW·h)。按照机组年发电量 $1.8 \times 10^9 \text{kW} \cdot \text{h}$ 测算，每年可节约标准煤 8640t；辅机电耗占机组总电耗比例降至 21%，较对照组下降 4 个百分点，年节约厂用电量约 $1.44 \times 10^7 \text{kW} \cdot \text{h}$ ，为电厂创造了可观的经济效益。

4.2.3 环保效益提升

运行优化后，锅炉燃料燃烧充分度显著提升，飞灰含碳量降至 6%以下，炉渣含碳量降至 3%以下，燃料利用率大幅提高。同时机组污染物排放指标全面优化，氮氧化物排放浓度控制在

$150\text{mg}/\text{m}^3$ 以内，二氧化硫排放浓度低于 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ，各项环保指标均严格符合 GB 13223-2011《火电厂大气污染物排放标准》规范要求，机组清洁生产水平显著提升。

五、结论与展望

5.1 结论

本文针对 300MW CFB 机组集控运行过程中存在的参数匹配不合理、自动控制品质欠佳、变负荷响应滞后、能耗水平偏高一系列工程问题，从动态参数调控、控制逻辑升级、变负荷策略优化、全维度能耗管控四个维度，构建了一套系统化、全方位的集控运行优化方案。现场工业试验结果证实，该优化方案可有效抑制机组核心运行参数波动，大幅提升机组运行稳定性；显著降低机组供电煤耗与辅机电耗，全面改善机组运行经济性；有效削减火电机组大气污染物排放量，环保治理效果突出。本次研究提出的优化方案具备极强的工程实用性与可复制性，能够为国内同类型 300MW CFB 机组的集控运行优化改造提供成熟的技术参考与实践借鉴。

5.2 展望

后续研究可依托大数据、人工智能先进技术，搭建机组集控运行智能决策体系。通过长期采集机组全维度运行数据，构建基于机器学习的工况预测模型，实现参数变化趋势的提前预判与主动调控；引入数字孪生技术搭建机组虚拟仿真平台，完成优化方案的离线模拟验证与在线迭代升级。同时，常态化开展集控运行人员专项技能培训，提升操作人员对优化后控制系统的实操能力，保障各项优化技术长期稳定落地，持续挖掘机组安全、经济、环保运行潜力。

[参考文献]

- [1]张磊, 王鹏, 李艳. 200MW 循环流化床锅炉床温模糊 PID 控制优化[J]. 热力发电, 2019, 48(5): 112–117.
- [2]李军, 赵振宁, 刘辉. 300MW CFB 锅炉配风方式优化试验研究[J]. 锅炉技术, 2020, 51(3): 21–25.
- [3]王建国, 张宇, 陈勇. 循环流化床机组集控运行自动控制逻辑优化[J]. 电力科学与工程, 2018, 34(8): 65–70.
- [4]刘敏, 李强, 张伟. 300MW CFB 机组变负荷运行特性及优化策略[J]. 中国电力, 2021, 54(7): 145–151.
- [5]陈峰, 黄伟, 吴刚. CFB 机组辅机变频改造及节能效果分析[J]. 节能技术, 2019, 37(4): 356–359.
- [6]赵亮, 孙伟, 马俊. 循环流化床锅炉燃烧效率影响因素及优化措施[J]. 热力发电, 2020, 49(8): 98–103.
- [7]李明, 王浩, 张健. 300MW CFB 机组 DCS 系统 PID 参数优化实践[J]. 自动化仪表,