

基于运行参数调整的锅炉效率提升研究

成贵

贵州黔西中水发电有限公司，贵州 毕节黔西，551514

DOI:10.61369/ETQM.2025120011

摘要：本文基于运行参数调整开展锅炉效率优化研究，系统分析了过量空气系数、排烟温度等关键参数对热效率的作用机制及其耦合特性，建立了综合考虑经济性与环保性的多目标优化数学模型，设计了涵盖稳态与变负荷工况的参数协同控制策略及智能调控方法。通过实验证明，优化后的运行参数可显著提升锅炉热效率，有效降低能耗与污染物排放水平，本研究通过理论创新与技术实践相结合，为工业锅炉的节能降耗和绿色运行提供了系统的理论依据和实用的实践指导，具有重要的工程应用价值和推广意义。

关键词：锅炉效率；运行参数；优化模型；参数调整；节能降耗

Study on Boiler Efficiency Improvement based on Operation Parameter Adjustment

Cheng Gui

Guizhou Qianxi Zhongshui Power Generation Co., Ltd., Qianxi, Bijie, Guizhou 551514

Abstract : This study investigates boiler efficiency optimization through operational parameter adjustments, systematically analyzing the mechanisms and coupling characteristics of key parameters such as excess air coefficient and flue gas temperature on thermal efficiency. A multi-objective optimization mathematical model integrating economic and environmental considerations was established, along with a coordinated control strategy and intelligent regulation method covering both steady-state and variable load operating conditions. Experimental validation demonstrates that optimized parameters significantly enhance boiler thermal efficiency while effectively reducing energy consumption and pollutant emissions. By combining theoretical innovation with technical implementation, this research provides systematic theoretical foundations and practical guidance for industrial boiler energy conservation and green operation, offering significant engineering applicability and promotion potential.

Keywords : boiler efficiency; operation parameters; optimization model; parameter adjustment; energy saving and consumption reduction

引言

锅炉为能量转换系统中的核心设备，锅炉本身的运行状况，直接关乎能源的耗费量级及经济运行开支情况。传统的锅炉在运行中存在着参数匹配不合理，调节滞后，多变量耦合复杂等问题，使得实际的热效率远远低于设计值，造成大量的能源浪费^[1]。在节能减排背景之下，借助对运行参数实施细致调整并加以优化控制以达到提升效果，已然成为工业领域所着重探寻的内容。本文基于参数特性分析、模型构建和策略设计，系统研究锅炉效率提升途径，为实际工程应用提供理论基础和技术支持。

一、锅炉运行参数与效率关系分析

(一) 关键运行参数识别

锅炉运行时会涉及到很多互相联系的参数，其中对热效率起决定作用的参数要被准确地确定下来。过量空气系数是表示燃烧过程配风是否合理的指标，它直接影响到燃料的燃烧完全程度以

及排烟热损失的大小。排烟温度代表烟气的余热回收情况，它的大小影响到显热损失的情况。给水温度和蒸汽压力是决定热力循环初态的两个参数，它们直接影响整个能量转换过程的效率。燃料特性、负荷率、炉膛温度等运行变量也必须考虑进去^[2]。这些参数之间存在相互影响的关系，一起决定着锅炉的综合工作水平。在具体的实际运行优化中要依照锅炉种类及其工艺特性去挑

作者简介：成贵（1993.01-），男，贵州毕节人，本科，助理工程师，研究方向：火电厂集控运行。

选那些具备最大调控价值的主要参数当作重点优化的要点。

(二) 参数对热效率的影响机制

过量空气系数改变，燃烧效率、热损失分布都会发生变化。当系数过大时，会使排烟热损失增大，炉膛温度降低；当系数过小时，会造成燃烧不完全，增大化学不完全燃烧损失。排烟温度和锅炉热效率有关，降低排烟温度可以提高热效率，但是要注意不要降到酸露点温度以下，造成低温腐蚀。给水温度升高可以减少加热工质所需的燃料量，但是给水温度提高的幅度要受制于省煤器等换热设备的性能。负荷变动时，运行参数就会出现动态波动，这将会影响稳态工况下的效率发挥。各个参数之间还有着非常明显的交互作用，过量空气系数的调节就会直接导致排烟温度的改变，这种耦合效应需要在优化过程中予以充分考虑。

(三) 典型锅炉运行特性总结

不同的锅炉有不同的运行特点。燃煤锅炉运行参数调节既要保证燃烧稳定又要考虑效率优化，负荷适应性比较好，但调节响应具有滞后性质。燃气锅炉参数响应快但是对空燃比的控制要求比较高，燃料和空气要配比准确。循环流化床锅炉有着很好的燃料适应性，所以调节参数的时候，必须要特别注意床层温度和物料循环量的关系^[3]。不同的锅炉具有不同的运行特性，但是他们都存在通过参数优化来提高锅炉效率的可能。总结这些共性规律和特性差异，可以为后续制定针对性的优化策略提供重要依据。

二、运行参数优化模型构建

(一) 变量与目标函数定义

在建立优化模型的时候，需要将过量空气系数、给水温度、排烟温度等可以调节的参数设置为决策变量。这些变量就构成了优化问题的搜索空间。目标函数的设定以锅炉热效率最大为首要目标，同时把污染物排放浓度控制作为次要的优化目标，从而构建出多目标优化框架。热效率目标函数需要准确的反映参数调整对能量转换效率的提高程度，排放目标函数要体现环保约束的重要性^[4]。在多目标优化的过程中要选择合理的处理办法，比如加权求和或者约束转化的方法去协调不同目标间的权衡关系，使优化的结果达到既符合效率又符合环保的效果。

(二) 约束条件设定

约束条件的确定是保证优化结果可行性的主要环节。运行安全边界约束有过量空气系数要保持在可以保证燃烧稳定的范围内，排烟温度不能低于露点温度以免低温腐蚀，蒸汽压力要控制在设备设计允许的波动范围之内。设备性能约束有执行机构调节范围的限制，测量仪表的精度限制和换热设备的传热能力限制。环保方面的要求是污染物的排放浓度要达到国家标准。还要考虑负荷波动范围，燃料特性变化等运行条件限制。这些约束条件就构成了优化问题的可行域，保证了优化的结果是理论最优的，也是实际可行的。

(三) 数学求解方法选择

根据锅炉参数优化问题的特点来选择合适的数学求解方法。由于参数和效率之间关系往往是非线性的，所以可以利用响应面法或者神经网络的方法来建立代理模型，从而减小计算的复杂度。对于多目标优化问题，遗传算法、粒子群算法等智能优化算法可以很好地求解，可以获得均匀分布的Pareto最优解集。这些

算法有较好的全局搜索能力，可以很好地解决多峰、非线性优化问题^[5]。在对算法运行时，要合理设置种群大小，迭代次数之类的参数以保证算法具有收敛性以及求解效率。还要考虑计算资源的消耗与求解精度的折衷。

三、参数调整策略设计

(一) 稳态工况调节方法

在稳态运行工况下，根据优化模型得到的结论来设定各个参数的目标值。通过精细调节送风量、燃料供给量等操作变量，让实际运行参数慢慢趋向理想的最优值。形成参数偏差反馈调节体系，随时把控重要参数的实际数值与目标数值之间的差距，进而依照这种情况调节操作量以守住高效运作情形。调节时要注意各个参数之间的协同性，不能因为某个参数过度优化而导致整体性能下降^[6]。还要设定参数调节的优先级顺序，确定哪些参数需要先调节，哪些参数需要跟随调节，保证调节过程的有条不紊。

(二) 变负荷工况适应策略

当锅炉负荷发生变化时，运行参数就要及时的调整，来满足新的工况的要求。设计前馈-反馈复合控制策略，通过负荷变化趋势预测结果来提前改变所设置的参数，并且将这些改变好的参数通过实时的检测进行反馈补偿。制定不同负荷率下参数优化设定表，给运行人员提供清楚的操作指引。重点解决变工况过程中的参数响应滞后，超调等问题，用预测控制，人机协调的办法来提高过渡过程的效率。形成负荷变化速度和参数调节速度相适应的关系，做到参数调节能够快速响应负荷变化，又不影响系统稳定。

(三) 多参数协同控制流程

搭建起完善的多参数协同控制架构，弄清楚各个参数之间的耦合关系以及调节的优先级。采用先进解耦控制方法或者模糊推理技术，减小参数调整时候的互相牵制情形。设计协调控制算法，协调各种执行机构动作时序和调节量，保证多参数调节的同步、协调。创建参数调节冲突仲裁，当存在多个参数的调节需求发生冲突时，可以依据优化目标的重要程度来智能地仲裁^[7]。协同控制系统设计的目标就是要让锅炉系统一直处于一种最优的整体工作状态，并且提高锅炉参数调节的迅速性与稳定程度。

四、实验设计与效果验证

(一) 测试平台与数据采集方案

创建完整的锅炉实验测试平台，设置高精度温度传感器、压力变送器、流量计等测试仪器，实时观察各项运行参数变动状况。设计可靠的的数据采集系统，保证运行数据能够准确的采集并及时的传递。制定详细的测试计划，对各种负荷下的稳态测试和各种动态过程测试进行制定。测试方案应该包含基准工况测试和优化工况测试，保证测试数据可以对比。在开展测试的时候，必须对燃料特性、环境条件这些要素加以把控，从而保障得到的测试结果可以重现且可靠，进而给之后的效果检验提供充分的数据支撑。

(二) 基准工况与优化工况对比

在相同的负荷下，分别做基准工况和优化工况的对比测试。

详细的记录下两种工况的运行数据，并且重点的分析热效率、燃料消耗量、蒸汽产气量这些主要的性能指标变化。通过对比分析，来量化参数优化所造成的效率改进效果。并观察优化后各个参数的实际分布情况，看是否在理论优化区间之内^[9]。还要时刻关注系统的运行稳定性指标，保证优化操作不会影响到锅炉的正常安全稳定运行。通过系统的对比分析，确定参数调整对于各项性能指标的具体贡献度，为优化策略的完善提供依据。

(三) 节能效果与排放特性分析

按照对比测试的数据，算出改善前后每度电的能耗指标，来量化节流的潜能。采用标准的计算办法，来确定燃料节约率以及整体的节能成效。而且对烟气当中的污染物浓度实行监测，观察排放特性出现的好转情况。重点考察氮氧化物、硫氧化物，粉尘等主要污染物的排放水平变化趋向。对节能效果和环保效益加以综合评价，来决定优化策略的总体价值。用成本效益来计算节能降耗所带来的经济效益，为优化策略的推广使用提供经济上的依据。最后得出完整的节能环保效益评价报告。

五、应用实施与改进方向

(一) 现场操作规范建议

编制详细的参数调整现场操作规程，规定各个参数的调节步骤、调节幅度及注意事项。规范的操作流程有参数监测频率，调节时机的判断，调节量的计算等内容。加强运行工作人员的技术专业培训，提升工作人员参数调控的意识以及操作技能。制订定期检查和维修制度，保证测量仪表准确，执行机构可靠。建立异常工况处置预案，当出现参数异常时，知道应该采取怎样的处理程序及处置措施。利用规范化操作和制度化管理相结合的方法，保证优化措施在现场可以有效的执行并且可以保持长期的效果。

(二) 自动控制系统集成方案

把优化办法同已有的分布式控制系统深入融合起来，做到运行参数的自动优化调整。人机交互界面设计得友好，给运行人员一个清晰的参数显示以及方便的操作接口。开发智能报警功能，做到参数异常和优化机会提醒及时。预留标准数据通信接口，可以与厂级监控信息系统实现数据交换。保证控制系统有良好的扩展性、兼容性，能适应将来技术发展的要求。采取有效的网络安全防护手段，保证控制系统安全稳定的运行。借助自动化的整合来降低人为的操作错误，提高优化控制的准确度与响应速度。

(三) 潜在问题与后续优化路径

识别在参数优化过程中可能会遇到的问题，例如设备磨损加重，控制系统复杂度增大，参数灵敏度的变化等。针对这些问题提出相应的预防措施和解决方法。后续的优化研究可以考虑对参数的自适应调整，开发出能够自适应调节优化目标的智能算法。数字孪生技术在锅炉优化运行中的使用，用虚拟仿真提高优化效果^[9]。探究多能源耦合条件下的参数优化办法，顺应能源系统转型发展的需求。创建不断改善机制，定时评判改善成果并立即调整优化方案，持续优化锅炉运作经济性和环保性。

(四) 智能运维系统建设路径

智能运维系统创建起来才是做到锅炉长久高效的运行的关键技术保障。该系统应该采取分层的设计方式，分为数据采集层、边缘计算层、云平台分析层三个部分。数据采集层采用精度很高的传感器网络布局，随时记录锅炉各个重要位置的运转数值，保证收集到的数据比较全面而且精准。边缘计算层进行初步的数据处理和异常诊断，做到本地的实时响应和故障预警。而云平台分析层则借助于大数据技术和人工智能算法对大量的设备运行数据实施深入的挖掘并加以剖析，以形成关于设备健康状况的评估模型以及带有预见性的养护计划。系统要具有持续自学习的能力，可以借助历史运行的数据来不断地改善故障诊断的模型与预警的阈值，从而逐渐地让整个系统变得越来越智能^[10]。并且要创建标准的数据接口和通信协议，保证和现有的企业管理系统可以无缝对接，为企业的数字化转型和智能化升级提供强有力的技术支撑。

六、结语

本文针对锅炉运行参数与热效率的关联机理展开系统研究，建立了多目标优化模型，并且设计了稳态和变负荷工况下的参数协同控制方案，经过实验验证了运行参数优化可以提高锅炉效率。研究表明，通过合理的调节过量空气系数，排烟温度等参数，可以明显提升热效率，同时达到能耗降低，排放减少的效果。对工业锅炉节能优化运行有着十分重要的理论意义和实际指导作用。后续研究将重点探索参数自适应调控机制、智能优化算法集成以及数字孪生技术应用，以期进一步提升锅炉系统的运行经济性、环保性和智能化水平，为工业领域的绿色低碳转型提供持续的技术支撑。

参考文献

- [1] 张双庆, 朱叶卫, 李文军, 等. 分离器分离效率对锅炉运行参数的影响分析研究 [J]. 电站系统工程, 2022, 38(05):39–40.
- [2] 王辉. 工业锅炉参数监测与运行优化系统的研究与实现 [D]. 东南大学, 2021.
- [3] 薛红香, 张哲, 程和新, 等. 在役锅炉运行参数对其热效率影响的研究 [J]. 化工装备技术, 2019, 40(03):9–13.
- [4] 赵辉, 邱征宇, 汪宏, 等. 工业锅炉运行效能分析与研究 [J]. 节能技术, 2018, 36(02):161–165.
- [5] 黄志武. 火电厂锅炉运行优化与节能研究 [J]. 能源新观察, 2025, (08):106–107.
- [6] 黄伟. 火电厂循环流化床锅炉运行中节能降耗技术的应用 [J]. 电力设备管理, 2025, (14):264–266.
- [7] 樊琛. 火电厂锅炉燃烧系统效率提升技术分析 [J]. 电力设备管理, 2025, (09):53–55.
- [8] 王毅, 杜文亚. 煤气锅炉热效率优化提升技术研究 [J]. 中国新技术新产品, 2024, (07):59–62.
- [9] 田元平, 刘春林, 马宏, 等. 工业锅炉热效率提升研究及应用 [J]. 清洗世界, 2023, 39(11):7–9.
- [10] 王化海. 电厂锅炉热效率提升对策与运行维护方法 [J]. 现代工业经济和信息化, 2021, 11(01):133–134.