

DCS控制策略优化在锅炉燃烧效率提升中的实践

徐明理 朱 波

摘要: 本文聚焦于DCS (Distributed Control System, 分布式控制系统) 控制策略优化在锅炉燃烧效率提升中的实践应用。首先对DCS系统进行了全面概述, 明确其在工业控制中的重要地位和作用。接着深入分析了影响锅炉燃烧效率的因素, 包括燃料特性、空气系数和燃烧器性能等。在此基础上, 详细阐述了DCS控制策略优化的具体实践策略, 涵盖参数优化、控制算法优化、系统集成优化以及故障诊断与容错控制等方面。通过理论分析与实际案例相结合, 论证了DCS控制策略优化对提高锅炉燃烧效率的有效性和重要性, 旨在为工业锅炉的高效运行提供理论支持和实践指导。

关键词: DCS控制系统; 锅炉燃烧效率; 控制策略优化; 实践应用

引言

工业生产当中, 锅炉是能量转换的重要设备, 锅炉燃烧效率的高低直接影响着能源使用效率以及企业经济效益。在能源危机日益严峻以及环保要求越来越高的今天, 改善锅炉燃烧效率成为工业领域急需解决的课题。DCS控制系统是一种先进的分布式控制系统, 它具有安全可靠、功能完善、通用灵活和操作简便等优点, 因此在电力、冶金、石化等多个行业都得到了非常广泛的应用^[1]。通过优化DCS控制策略, 可实现锅炉燃烧过程的准确控制, 以有效地提高锅炉燃烧效率、减少能源消耗及污染物排放。因此, 研究优化DCS控制策略对提高锅炉燃烧效率的实际应用具有重要的现实意义。

一、DCS系统概述

DCS控制系统由若干台计算机、专用控制软件经通信网络联接而成, 属于分布式控制系统。它以分散控制与集中管理相结合为设计原理, 集计算机技术、控制技术、通信技术、图形显示技术等多种技术于一体。在功能上可以划分为过程控制层、操作监控层和生产管理层, 每一层由若干台计算机组成, 它们之间由通信网络连接在一起, 组成分布式计算机控制系统。

过程控制层中, DCS系统利用多种传感器对锅炉燃

烧时的温度、压力、流量和液位进行实时采集并传送给控制器。控制器按照预设控制策略分析处理上述参数后输出控制信号驱动执行器调整锅炉燃烧过程。操作监控层给操作员提供直观的操作接口, 操作员可通过此接口对锅炉运行状况进行实时监测、控制参数设定、控制指令下达等操作。生产管理层则负责对整个生产过程进行管理和调度, 实现生产过程的优化和协调。

DCS系统具有可靠性高、灵活性强等优点。得益于分散控制的策略, 系统内的控制器能够各自独立操作。因此, 当某一控制器出现故障时, 不会干扰其他控制器的正常工作, 确保了整个系统的稳定性和可靠性。同时, DCS系统可针对不同生产需求灵活配置, 并通过增删控制器、传感器及执行器等器件来实现不同尺度及复杂度的生产过程控制。(见图1)

二、锅炉燃烧效率的影响因素分析

(一) 燃料特性

不同类型的燃料其化学成分及物理性质都不相同, 而这些性质将对其燃烧过程及燃烧效率产生直接的影响。如燃料中挥发分含量、固定碳含量、灰分含量和水分含量均影响燃烧过程。挥发分是指燃料在受热时可以挥发掉的成分, 挥发分越多的燃料易着火燃烧, 具有燃烧速度越快、燃烧效率越高的特点。固定碳为去除挥发分后的燃料余量, 固定碳含量越高, 着火难度越大、燃烧速度越慢、燃烧温度要求越高、燃烧时间越久。灰分作为一种矿物质不能够在燃料中燃烧, 灰分越多, 燃料发热量越小, 排烟热损失越大, 也就越容易磨损腐蚀锅炉受热面。水就是燃料中所含的水, 水含量越高, 燃料发热量就越小, 排烟热损失就越大, 也就越容易对燃料着火

作者简介:

1. 徐明理 (1990.03——) 男, 汉族, 大学本科, 助理工程师, 主要从事火力发电厂热控方面的研究工作。
2. 朱波 (1989.01——) 男, 汉族, 大学本科, 助理工程师, 主要从事火力发电厂电气方面的研究工作。

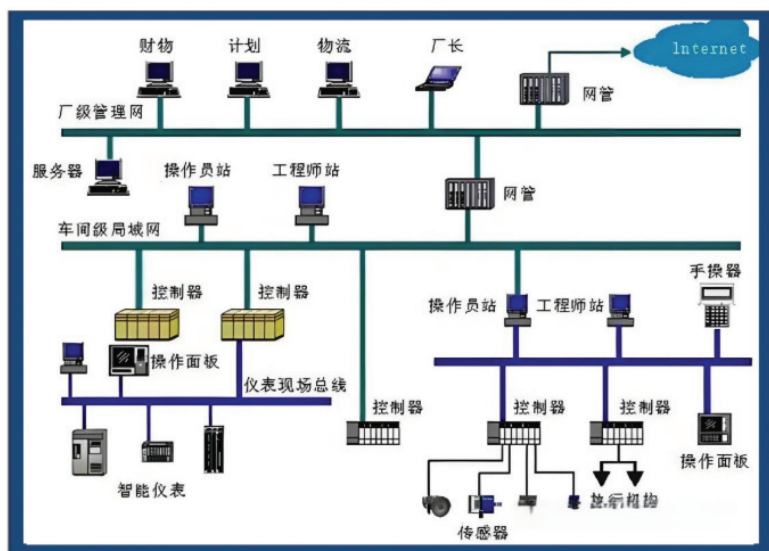


图1 DCS系统示意

及燃烧过程产生影响。

(二) 空气系数

空气系数就是实际提供空气量和理论空气量之比，空气系数对燃料燃烧过程以及燃烧效率有直接影响。空气系数太小，燃料不能获得充足的氧气就会造成燃烧不充分，生成一氧化碳和其他有害气体而使燃烧效率下降。空气系数过大会使排烟热损失增大和锅炉热效率下降。

所以在锅炉燃烧时，必须要根据燃料特点以及燃烧设备性能来对空气系数进行合理的调节，这样才能确保燃料能够充分燃烧，使锅炉能够有效地运行。通常情况下，针对不同种类锅炉及燃料存在空气系数最佳值范围，准确控制空气系数能够提高锅炉燃烧效率。

(三) 燃烧器性能

燃烧器在锅炉中起着举足轻重的作用，它的性能好坏直接关系到燃料燃烧过程及燃烧效率。燃烧器性能包括燃烧器种类、结构、喷嘴设计和配风方式。

不同型式燃烧器适合不同燃料及燃烧工况。如对气体燃料而言，通常采用扩散式燃烧器、大气式燃烧器及完全预混式燃烧器；对液体燃料而言，通常采用压力雾化燃烧器、蒸汽雾化燃烧器及空气雾化燃烧器。燃烧器结构及喷嘴设计影响着燃料雾化效果及与空气混合程度，进而影响其燃烧过程及效率。燃烧器的火焰形态和燃烧的稳定性的会受到配风方式的影响，这进一步会对燃料的燃烧效果产生影响。

所以在燃烧器选型上，需根据锅炉种类、燃料特点及燃烧工况选择适宜燃烧器，优化燃烧器结构及配风方式，改善燃烧器性能及锅炉燃烧效率。

三、DCS控制策略优化在锅炉燃烧效率提升中的实践策略

(一) 参数优化

参数优化是优化DCS控制策略、促进锅炉燃烧效率提高的至关重要的环节。对于一台300MW次临界CFB锅炉而言，可以通过分析DCS中历史运行数据来构建锅炉热效率与NO_x炉膛出口原始生成浓度之间的预测模型。以LSTM模型为例，它的性能取决于参数的选择。通过引入遗传算法(GA)进行LSTM模型参数的全局优化，可以使模型在预测准确性和泛化能力上达到最优，而GA-LSTM模型在对比中的性能明显优于其他模型。实际应用时，锅炉燃烧优化系统从DCS上读取锅炉运行参数并利用底层多目标优化算法进行燃烧控制。以氧含量参数为研究对象，我们在炉膛的出口和烟道的不同位置安装了氧分析仪来监测其变化，并确保氧含量维持在3%-5%的范围内，这样可以确保燃料得到充分的燃烧，降低不完全燃烧产物的排放量，避免过多的空气带来的热损失及NO_x生成量的上升。精确测量压力也是至关重要的，确保压力参数的测量不确定性控制在±0.1%的范围内，这将为燃烧优化算法提供可靠的数据输入。

(二) 控制算法优化

控制算法优化对促进DCS控制策略改善锅炉燃烧效率具有重要意义。不同控制算法各有特色，各有优点。PID控制算法是一种经典的、结构简洁且易于实施的方法，可以通过经验试凑法来实现，例如首先设定P、I、D的初始值，然后观察系统的响应曲线，逐步调整参数，记录出使系统表现最佳的参数组合以进行优化。也有根

据求解路径分为间接法和直接法进行最优控制算法研究，其中间接法是根据极大值原理或者动态规划理论推导出必要条件再进行数值求解，直接法则是将控制和状态变量离散化用于数值优化的方法，在工程、经济和航天中有着广泛的应用。随着时间的推移，智能控制算法也在持续进步，例如模型预测控制（MPC）可以利用设备的动力学模型来预测未来的状态，并通过二次规划来确定最佳的控制序列，以四旋翼无人机在风扰影响下追踪圆形轨迹为实例，MPC成功地误差限制在0.1m之内，相较于PID提高了80%。对这些控制算法进行优化，可以使DCS系统能够较好地处理锅炉燃烧中出现的各种复杂状况，达到精确控制和提高燃烧效率的目的。

（三）系统集成优化

系统集成优化对优化DCS控制策略、促进锅炉燃烧效率的提高效果显著。可以通过业务流程的优化提高工作效率并降低成本，利用流程建模、自动化技术进行业务流程的再设计，建立统一的标准以保证流程的一致规范并促进跨部门协作及信息共享等。技术创新和系统集成是互相促进的，一方面是通过技术创新来优化系统集成架构及过程以提高效能，同时系统的协同运行也促进了技术创新的应用和发散。合理的组织结构可以促进系统集成效率和协作能力的提高，而系统协同运行还可以优化组织结构、提高组织灵活性和响应速度等。有效的团队协作机制能够确保系统的协同运行，系统集成还将推动团队协作机制不断优化和完善。从集成技术的角度来看，可以利用中间件技术来实现系统模块之间的通信协调、利用数据集成技术来实现数据的共享和交换等。

（四）故障诊断与容错控制

故障的诊断和容错控制是确保系统稳定和安全运行的核心环节，特别是在优化提高锅炉燃烧效率的DCS控制策略时显得尤为关键。故障诊断担负着及时地发现故障并定位其部位、确定其种类和严重性的任务，它是容错控制得以实现的先决条件；当系统出现故障时，容错控制会调整其控制策略或整体结构，以确保系统的核心功能不受损害、限制故障的扩散，并防止系统的完全崩溃。

故障类型多样，包括硬件故障、软件故障、传感器故障、执行器故障等，故障模式有突变的偏差（加性故障）和参数或结构变化（乘性故障）。故障机理分析需要对系统的物理原理、工作过程等有较深了解，并推断出各种故障类型可能产生的原因，从而为制定诊断策略奠定基础。容错控制就是通过设计冗余系统及故障检测、诊断与隔离机制来提高系统的可靠性与可用性。该策略

主要涵盖了硬件冗余、软件冗余以及混合冗余这几个方面。被动容错控制设计固定控制器使系统对预设故障具有鲁棒性，如（）控制或滑模控制，适用于已知故障模式，但对未建模故障敏感；在主动容错控制中，为了补偿可能出现的故障，控制器的参数或结构会被实时调整，例如通过控制律的重构、切换到备用控制器或调节增益。在实际操作中，并网逆变器的可靠性是决定系统可用性和发电收益的关键因素，其关键组件容易出现故障，一旦这些故障导致系统停止运行，将会引发发电量的损失。

结论

DCS控制策略的优化对促进锅炉燃烧效率的提高效果显著，具有重要意义。通过对参数进行优化，并采用GA-LSTM模型来预测锅炉的热效率等核心指标，我们能够精确地控制氧含量和压力等关键参数，确保燃料能够充分燃烧，从而减少热量损失和污染物的排放。在控制算法中，模型预测控制是建立在数学模型的基础之上对燃烧状态进行预测和控制的，它虽然对燃烧的复杂性及模型误差比较敏感，但是控制精度和预测能力都比较突出，而自适应控制可以随系统的实时状态进行调整。系统集成优化借助业务流程、技术、组织结构和团队协作等多方面协同，结合中间件与数据集成技术，促进跨部门协作与信息共享。故障的诊断和容错控制可以迅速地识别并处理各种类型的故障，通过使用硬件、软件或混合冗余策略，确保系统的稳定运行。DCS控制策略的优化能够提高锅炉自动化水平、燃烧效率和能源利用率，并降低能耗和运行成本，有利于工业的可持续发展。

参考文献

- [1] 李一飞, 陈锐, 王彤.DCS控制系统在火电厂燃煤锅炉应用中的优化改造[J]. 电力设备管理, 2024(13): 215-217.
- [2] 史宏俊.DCS控制系统在火电厂燃煤锅炉应用中的优化改造[C]//全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(七).2024.
- [3] 梁海娟, 崔国中.厂级监控信息系统(SIS)在热电厂自动化系统中的应用[J]. 中国设备工程, 2023(8): 110-112.
- [4] 马宝成, 刘驰, 李德成.基于锅炉DCS系统外挂式APC优化燃烧控制系统的架构及实际应用效果浅析[J]. 工业锅炉, 2025(3).
- [5] 朱桂霞.优化燃烧器控制方案解决锅炉安全运行难题[J]. 化工安全与环境, 2023, 36(12): 71-73.