生产实践

基于APS系统锅炉启停自动化控制研究及应用

王德永[1],李裕豪[2],李阳[2],程向龙[2]
(1.山东联盟化工有限公司,山东 寿光 262700;
2.施耐德电气(中国)有限公司西安分公司,陕西 西安 710075)

摘要: 针对化工生产中,传统锅炉启停控制方法存在生产效率低、安全风险高等问题,研究应用了锅炉油燃烧器全程APS系统控制技术。应用结果表明,锅炉平均温升速率由160 ℃/h降至50 ℃/h,启动时间由300 min降至215 min,压力波动由500 kPa降至200 kPa,油枪投入时间由240 min降至120 min,锅炉启动一次燃油消耗由18.81 t降至13.43 t,降低约28.6%,提高了锅炉的生产效率和运行的安全性,节约了能源。

关键词: APS系统;锅炉;油燃烧器;燃油消耗
中图分类号: TF769 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4613(2026)01-0068-04
DOI:10.3969/j.issn.1006-4613.2026.01.010

Research and Application of Automatic Control for Boiler Startup and Shutdown Based on APS System

WANG Deyong[1], LI Yuhao[2], LI Yang[2], CHENG Xianglong[2]
(1. Shandong United Chemical Co., Ltd., Shouguang 262700, Shandong, China;
2. Xi'an Branch of Schneider Electric (China) Co., Ltd., Xi'an 710119, Shaanxi, China)

Abstract: According to the problems such as low production efficiency and high safety risks existing in the traditional control methods for boiler startup and shutdown in chemical production, APS (Automatic Procedure Starup/Shutdown) system control technology was studied and applied at oil burners of boiler in the whole process. The application results showed that the average temperature rise rate of the boiler was decreased from 160 ℃/h to 50 ℃/h, the startup time was decreased from 300 min to 215 min, the pressure fluctuation was dropped from 500 kPa to 200 kPa, and the input time of the oil gun was shortened from 240 min to 120 min. The fuel consumption for a single startup of the boiler was reduced from 18.81 tons to 13.43 tons and a decrease of approximately 28.6% was achieved, which improved the production efficiency and operational safety of the boiler and saved energy.

Key words: APS system; boiler; oil burner; fuel consumption

锅炉启停阶段的性能是一个重要指标,直接影响了锅炉的经济性、运行安全和设备整体寿命。传统手动控制锅炉启停的方法往往依赖于操作人员的经验和技能,存在启停效率低、能源浪费、安全风险高的缺点。为了提高锅炉启停的整体性能,对锅炉的自动化控制程度要求越来越高。随着智慧化、智能化技术在锅炉控制领域应用的普及,APS(Automatic Procedure Startup/Shutdown)系统的应用成为提高锅炉运行自动化控制的关键。山东联盟化工有限公司传统手动控制锅炉启停操作存在生产效率低、安全风险高等问题,应用APS系统控制技术后,取得较好的效果,本文对此做一介绍。

王德永,中级技师,1998年毕业于山东教育学院教育管理专业。E-mail:13863676828@163.com

1 APS系统在锅炉启停阶段应用背景

1.1 APS系统简介

APS系统是一种自动化程序启动和关闭的系统[1]。它通常应用在基于DSC的工业控制系统和自动化系统中，用于确保设备在需要时能够按照预定的程序自动启动，并在任务完成或发生异常情况时自动关闭[2]。APS系统的主要目的是简化操作流程、提高生产效率和保障系统安全。通过自动化程序对设备进行启动和关闭，可以降低人工操作的依赖，减少操作错误，并确保生产过程的可靠性和稳定性。APS系统应用时，通常会设计和实施相应的条件监测、触发机制、程序设计、安全控制等功能，以实现自动化的启动和关闭过程。

1.2 APS系统与传统手动控制的对比

在锅炉启停过程中，油燃烧器是关键设备，通过燃油燃烧以逐步提高锅炉炉膛温度从而达到煤粉引燃的能量门槛[3]。传统手动控制存在如下缺点：

（1）人工操作风险高：传统手动控制启停锅炉往往依赖于操作人员的经验和技能，存在人为操作失误的风险，可能导致事故发生。

（2）启停效率低：传统手动控制启停锅炉需要耗费大量的人力和时间，特别是在复杂情况下，启动过程需要很长时间，影响生产效率。

（3）能源浪费大：传统手动控制往往难以做到精准控制，容易造成能源的浪费，降低了能源利用效率。

（4）安全风险高：锅炉启停过程中存在一些潜在的安全隐患，如温度、压力异常等情况可能导致事故发生，传统手动控制往往不能及时准确地响应和处理。

APS系统具有以下优势[4]：

（1）自动化程度高：APS系统能够实现锅炉程序化、自动化启动和停运，无需人工干预，降低了人为操作失误的风险，提高了系统的稳定性和可靠性。

（2）生产效率高：APS系统能够根据预设的程序和条件按照设计工况精准控制锅炉的启停升降温过程，提高了生产效率，缩短了启动时间。

（3）节能减排效果好：APS系统通过优化控制策略，实现了锅炉启停过程中的能源节约和优化，降低了能源的消耗和浪费，有利于减少环境污染，符合可持续发展的要求。

（4）安全性高：APS系统具有安全监测功能，能够实时监测锅炉运行状态，及时发现和处理异常情况，降低了事故发生的风险，保障了生产过程的安全性。

2 APS系统对锅炉油燃烧器控制策略及实施

2.1 APS全程控制策略

图1为APS全程控制策略示意图。

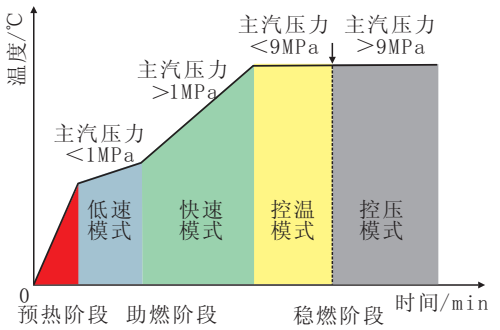


图1 APS全程控制策略示意图

Fig. 1 Schematic Diagram of APS Control Strategy for the Whole Process

由图1可以看出，锅炉油燃烧器运行控制模式可分为3个阶段[5]：

（1）预热阶段：锅炉油燃烧器单支依次启动，使炉膛均匀受热并达到一个初始温度。

（2）助燃阶段：锅炉油燃烧器使锅炉按照温升速率升温，根据油压控制温升速率，并逐支投入油燃烧器。

（3）稳燃阶段：锅炉油燃烧器稳定控制锅炉温度，根据油压控制蒸汽温度，并根据投粉情况逐支退出油燃烧器。

2.2 APS预热阶段控制策略

图2为APS预热阶段控制策略示意图。在锅炉油燃烧器预热阶段，APS系统的主要控制目标是使锅炉在冷态启动时，可以均匀的预热，并根据锅炉的设计参数匀速升高整体温度。此时需要对油燃烧器进行独立控制并根据锅炉壁温做出精确的调整。在锅炉温态及热态启动时，此阶段可以根据温度情况自动跳过。

油燃烧器根据1#-3#-2#-4#的顺序依次投入，投入间隔t可设。对锅炉壁温偏差进行监测，当锅

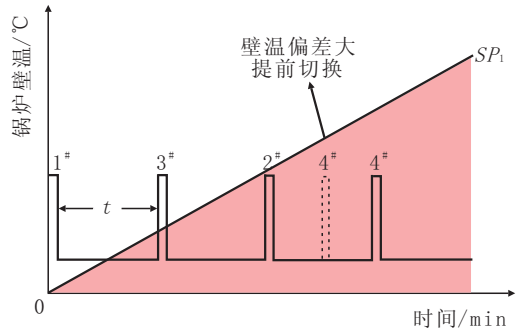


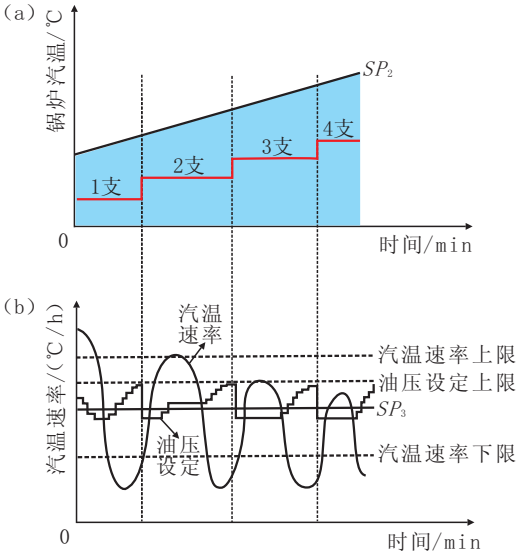
图2 APS预热阶段控制策略示意图

Fig. 2 Schematic Diagram of APS Control Strategy for Preheating Stage

炉壁温排查>50 ℃时，提前结束间隔，投入下一支油燃烧器。可设置壁温预热设定值SP_1，当壁温达到设定值时，投入间隔将缩短至最小值。在预热阶段油压设定始终维持最小值。

2.3 APS助燃阶段控制策略

图3为APS助燃阶段控制策略示意图。



(a) 锅炉汽温与时间的关系；(b) 汽温速率与时间的关系

图3 APS助燃阶段控制策略示意图

Fig. 3 Schematic Diagram of APS Control Strategy for Combustion Supporting Stage

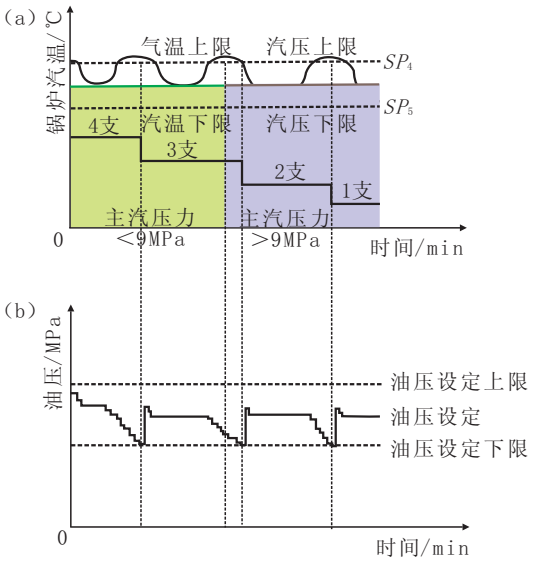
在锅炉油燃烧器助燃阶段，APS系统的主要控制目标是使锅炉在升温升压阶段按设计的温度压力上升曲线工作，并在设定时间内达到投粉工况。此时需要对油燃烧器进行独立控制，根据锅炉主蒸汽温度对燃油压力做出精确的调整，从而控制油燃烧器的出力[7]。

助燃阶段分2个模式，当主汽压力<1 MPa时，为低速模式，根据汽温速率设定值SP_2对汽温速率进行过控制，≤20 ℃/h；当主汽压力>1 MPa时，为高速模式，根据汽温速率设定值SP_3对汽温速率进行过控制，≤60 ℃/h。压力分界点设定维持最小值。

当汽温速率高于上限时，减小油压设定值；当汽温速率低于下限时，增加油压设定值；当油压设定达到上限时，如果汽温速率仍低于下限，则增加投入1支油燃烧器，可设置汽温助燃设定值SP_4。当壁温达到设定值时，则达到投粉温度条件。

2.4 APS稳燃阶段控制策略

图4为APS稳燃阶段控制策略示意图。



(a) 锅炉汽温与时间的关系；(b) 油压与时间的关系

图4 APS稳燃阶段控制策略示意图

Fig. 4 Schematic Diagram of APS Control Strategy for Stable Combustion Stage

在锅炉油燃烧器稳燃阶段，APS系统的主要控制目标是使锅炉在恒温阶段时，以设计速率达到稳定并汽压力，同时煤粉的投入量逐渐增加[6]。此时需要对油燃烧器进行独立控制，并根据锅炉主蒸汽温度精确调整油燃烧器的出力。出于经济性的考量，需要在尽可能短的时间内逐步退出所有油燃烧器，而煤粉燃烧状况并不受到任何的影响[4]。

稳燃阶段分为2个模式，当主汽压力<9 MPa时，为控温模式；当主汽压力>9 MPa时，为控压模式；压力分界点可设。

（1）控温模式下，根据汽温助燃设定值SP_4对汽温进行控制，当汽温高于上限时，减小油压设定值；当汽温低于下限时，增加油压设定值。

（2）控压模式下，根据汽压设定值SP_5对汽压进行控制，当汽压高于上限时，减小油压设定值；当汽压低于下限时，增加油压设定值[9]。

当油压设定达到下限时，如果汽温或汽压仍高于上限，则增加退出油燃烧器，直至1支；当蒸汽温度及蒸汽流量达到预设值时，退出最后一支油燃烧器。

3 APS系统控制效果

在山东联盟化工有限公司2#锅炉试运行了APS系统技术，整个启停过程使用“半自动模式”运行，即仅对系统辅助操作及确认，对APS系统的整体流程进行了实操，对启动准备断点、锅炉点火断点、锅炉升温升压断点进行了验证，并整定了相关的参数。表1为APS系统投用前后主要参数的对比。

表1 APS系统投用前后主要参数对比

Table 1 Comparison of Main Parameters of APS System before and after Application

项目	平均温升速率/（℃/h）	启动时间/min	压力波动/kPa	油枪投入时间/min
投用前	160	300	500	240
投用后	50	215	200	120

由表1可以看出，APS系统投用后，平均温升速率、启动时间、压力波动以及油枪投入时间均得到大幅改善。实际生产中，油燃烧器在助燃阶段的平均温升速率平缓可控，锅炉蒸汽压力波动稳定，操作人员的操作频率大幅降低。锅炉达到并汽压力后，燃烧器系统可以自主维持蒸汽压力，并将波动控制在±0.2 MPa，提高了锅炉运行的安全性。

在锅炉自动启停阶段采用油燃烧器自动交替运行，全程自动控温的技术，保证符合温升曲线的同时，对炉膛温度进行实时检查，在正常温升范围对温度进行闭环控制，在控温阶段及时控制油燃烧器负荷，锅炉启动一次燃油消耗由18.81 t降至13.43 t，降低约28.6%。

4 结语

山东联盟化工有限公司针对传统手动控制锅炉启停方法存在启停效率低、能源浪费、安全风险高等缺点，研究应用了锅炉油燃烧器全程APS系统控制技术。应用后，锅炉平均温升速率、启动时间、压力波动以及油枪投入时间均得到大幅改善，油燃烧器在助燃阶段的平均温升速率平缓可控，锅炉蒸汽压力波动稳定，操作人员的操作频率大幅降低。锅炉达到并汽压力后，油燃烧器系统可以自主维持蒸汽压力，并将波动控制在±0.2 MPa，提高了锅炉运行的安全性。锅炉启动一次燃油消耗由18.81 t降至13.43 t，降低约28.6%。

参考文献

[1] 朱启勇，曹文浩. 火力发电机组一键启停功能设计与实施[J]. 自动化博览，2023，40(3)：76-79.
[2] 王立地，秦莉. 火力发电厂APS应用与设计研究[J]. 电力技术，2010，19(Z1)：18-26.
[3] 郑锴. 火力发电机组自启停(APS)系统架构设计方案[J]. 电子技术与软件工程，2019(12)：135-136.
[4] 刘明广，王志萍，归一数，等. 基于DCS的锅炉自启停技术研究与实现[J]. 电力科学与技术学报，2020，35(2)：184-190.
[5] 潘凤萍. 前后墙对冲锅炉油燃烧器自动管理策略[J]. 广东电力，2010，23(1)：61-64.
[6] 刘成鹏. 火力发电厂锅炉燃烧效率优化策略研究[J]. 造纸装备及材料，2025，54(2)：100-102.
[7] 罗凯，黄辉. 对微油点火应用安全性的探讨[J]. 湖北电力，2013，37(7)：54-55.
[8] 陈节涛，冯志祺，吴尔夫，等. 330 MW直吹式火电机组制粉系统APS技术应用[J]. 电站系统工程，2024，40(5)：60-62.
[9] 周世杰，孙俊莲. 火电厂自启停控制系统控制范围及断点设置[J]. 工业仪表与自动化装置，2019(1)：23-26.
[10] 胡冠. 浅谈机组自启停控制系统(APS)的实现难点[J]. 国网技术学院学报，2017，20(2)：59-62.

（编辑 许营）
修回日期：2025-05-10