

# 垃圾焚烧炉自动燃烧控制系统控制策略设计与应用

张燕星<sup>1</sup>, 易刚<sup>1</sup>, 李钢<sup>2</sup>, 姚顺春<sup>3</sup>

(1. 广州环投从化环保能源有限公司, 广东广州 510900; 2. 西安兴仪科技股份有限公司, 陕西西安 710075;  
3. 华南理工大学电力学院, 广东广州 510641)

**摘要:**为有效提高垃圾焚烧炉安全性、经济性和稳定运行管理水平,在深入了解垃圾炉燃烧工况变化和运行人员操作经验的基础上,开发了自动燃烧控制(Auto Combustion Control, ACC)策略,主要包括主蒸汽流量、一次风流量、二次风、氧量、料层厚度及炉排和推料器速度控制。投运结果显示:机组主蒸汽流量24 h内的波动最大值为58.061 t/h,最小值为54.183 t/h,控制变化的相对标准偏差为0.85%;发电量日均值为54.10万kW·h,相对标准偏差为1.80%;供电量日均值为45.69万kW·h,相对标准偏差为2.21%,焚烧炉整体运行平稳,发电量和供电量波动较小;一个月内热灼减率统计平均值约为2.3%,相对标准偏差约为5.7%;省煤器出口含氧量24 h内的波动最大值为5.71%,最小值为2.79%,含氧量控制变化的相对标准偏差为9.66%,满足垃圾焚烧炉的运行控制要求。

**关键词:**垃圾;焚烧发电;燃烧控制;ACC;垃圾焚烧炉

中图分类号:TP273 文献标识码:A DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2022.09.023

[引用本文格式]张燕星,易刚,李钢,等.垃圾焚烧炉自动燃烧控制系统控制策略设计与应用[J].热能动力工程,2022,37(9):188-196. ZHANG Yan-xing, YI Gang, LI Gang, et al. Design and application of control strategy for automatic combustion control system of waste incinerator[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2022, 37(9): 188-196.

## Design and Application of Control Strategy for Automatic Combustion Control System of Waste Incinerator

ZHANG Yan-xing<sup>1</sup>, YI Gang<sup>1</sup>, LI Gang<sup>2</sup>, YAO Shun-chun<sup>3</sup>

(1. Guangzhou Huantou Conghua Environmental Protection Energy Co. Ltd., Guangzhou, China, Post Code: 510900;  
2. Xi'an Xingyi Technology Co. Ltd., Xi'an, China, Post Code: 710075;  
3. School of Electric Power Engineering, South China University of Technology, Guangzhou, China, Post Code: 510641)

**Abstract:** In order to improve the safety, economic and stable operation management level of waste incinerators effectively, an auto combustion control (ACC) strategy was developed based on in-depth understanding of the waste incinerator combustion condition variations and operating experience of operators, which mainly included the main steam flow control, the primary air flow control, secondary air flow and the oxygen content control, material layer thickness control and the speed control of grate and pusher. The application results show that the maximum fluctuation of the main steam flow within 24 hours is 58.061 t/h, the minimum value is 54.183 t/h, and the relative standard deviation for controlling the variation is 0.85%. The daily mean value of power generation is 541 000 kWh, and the relative standard deviation is 1.80%; the daily mean value of power supply is 456 900 kWh, the relative standard deviation is 2.21%. The overall operation of the incinerator is stable, and the fluctuations of power generation

收稿日期:2021-09-25; 修订日期:2021-12-23

基金项目:国家重点研发计划政府间国际科技创新合作(2019YFE0109700);广东省自然科学基金-杰出青年项目(2021B1515020071)

Fund-supported Project: National Key R & D Program of China - International Science and Technology Innovation Cooperation of Inter-government (2019YFE0109700); Natural Science Foundation of Guangdong Province for Distinguished Young Scholars (2021B1515020071)

作者简介:张燕星(1983-),男,山西太原人,广州环投从化环保能源有限公司工程师。

and supply are small. The average of slag burning rate within one month is about 2.3%, and the relative standard deviation is about 5.7%. Within 24 hours, the maximum value of oxygen content fluctuation at the economizer outlet is 5.71%, the minimum value is 2.79%, and the relative standard deviation for controlling the variation of oxygen content is 9.66%, which meet the operation control requirements of the waste incinerator.

**Key words:** waste, incineration power generation, combustion control, ACC, waste incinerator

## 引言

目前,我国垃圾处理的主要方法有卫生填埋、焚烧及堆肥<sup>[1-2]</sup>。其中,垃圾焚烧发电技术是实现固废减量化、无害化、资源化处理的有效途径,也是城市生活垃圾处理的重要发展方向<sup>[3-4]</sup>。由于国内垃圾分类粗糙、成分复杂和燃烧稳定性差等原因,与传统的燃煤、燃气发电技术相比,垃圾焚烧过程中的燃烧控制更加复杂,同时对控制技术的要求更高。通常情况下,垃圾焚烧电厂的操作人员会根据自身运行经验对炉内燃烧做出判断,并有针对性地实时调整运行参数,使炉内燃烧一直保持平稳状态<sup>[5]</sup>。然而,由于不同操作人员的操作习惯和运行经验不同,导致炉内燃烧稳定性低、工况波动剧烈,从而严重影响着焚烧炉的安全、经济、环保和稳定运行。

截至到2019年,我国投入运行的生活垃圾焚烧发电厂有389座,日总处理能力为45.65万t/d,垃圾焚烧处理能力占总处理能力的比重达到50.7%<sup>[6]</sup>。我国垃圾焚烧行业正在快速发展,规模化、自动化成为整个行业的发展趋势。然而,国内大多数垃圾焚烧技术是引进国外技术,原系统的焚烧控制策略并不能完全适用于国内垃圾燃烧控制要求,控制效果不尽理想,各垃圾发电厂ACC(Auto Combustion Control, ACC)控制系统的投入率较低<sup>[7-8]</sup>。

本文以广州某企业的垃圾焚烧炉为研究对象,通过深入分析焚烧炉运行状态,自主设计了主蒸汽流量控制、一次风流量控制、二次风流量和氧量控制、料层厚度控制及炉排和推料器速度控制策略,并进行应用示范。期望打破现有垃圾焚烧发电行业的燃烧控制技术难点和瓶颈,为切实加强垃圾发电厂

自动化、标准化和精细化管理提供坚实的技术支持。

## 1 ACC控制系统总体设计

### 1.1 研究对象

焚烧炉采用丹麦进口的风冷往复机械式炉排,运动炉排单元与固定炉排单元间隔布置,整副炉排由4级组成;1级炉排为干燥段,2、3级炉排为燃烧段,第4级炉排为燃尽段;配有10个推料器,左右各5个;炉排和推料器由一套液压油站提供动力,驱动推料器和炉排做往复运动,达到给料、输送的目的。一次风由1台一次风机送风,每级炉排左右侧下方各设置1个一次风室,共8个风室;各进风口设有1个电动调节风门,控制每段炉排的进风量。二次风由1台二次风机送风,主要包括燃尽风(OFA)和前端风(在焚烽炉前端不同位置送入一部分的二次风,按所处位置分为前端1和前端2)。

### 1.2 存在的问题

(1) 由于垃圾成分复杂<sup>[9]</sup>,热值变化大,造成进入焚烧炉内的热量不断变化,进而引起锅炉负荷的频繁波动。

(2) 焚烧炉运行中频繁出现料层厚度分布不均、火焰中心偏斜,造成锅炉负荷的波动,容易发生断料、偏料等现象。

(3) 负荷控制、炉排动作配比、风量调节仍普遍采用手动干预方式,严重依赖于操作人员的运行习惯和操作经验。

### 1.3 ACC系统控制总体方案

ACC系统控制总体方案如图1所示,主要由主蒸汽流量控制、一次风流量控制、二次风流量和氧量控制、料层厚度控制、炉排和推料器速度控制共5个控制子系统组成,形成了对整个焚烧炉燃烧过程的自动控制。

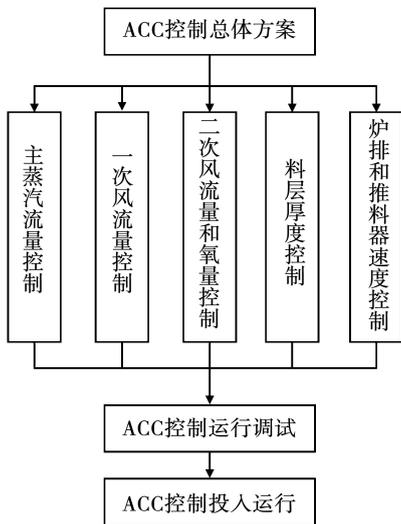


图 1 ACC 系统控制设计方案图

Fig. 1 Design scheme ACC system control

## 2 ACC 控制系统各模块逻辑设计与调试

### 2.1 主蒸汽流量控制

蒸发量的控制是 ACC 系统中的重要控制目标<sup>[10]</sup>,主要通过改变燃料供给量以及对应的一次风风量,从而达到改变输入炉膛的热量和产汽量,实现蒸发量的控制。但由于垃圾成分和特性的复杂变化,其热值不稳定,频繁调整进料量会导致主蒸汽流量波动较大。此外,垃圾焚烧炉的燃料与一次风的配比大于煤粉锅炉,主燃烧区是不充分燃烧,通过改变一次风风量能够有效影响蒸发量的变化。因此,在保证料层厚度有余量的情况下,主要通过调整一次风风量的大小来控制蒸发量的变化<sup>[11]</sup>,其控制逻辑如图 2 所示。以蒸发量设定值和主蒸汽流量补偿计算值的偏差进行比例 - 积分 - 微分 (Proportion Zntegration Differentiation, PID) 计算,得出主蒸汽流量调整量。同时,将汽包压力稳定控制作为蒸发量控制的前馈计算值,其中根据专家经验采用浮动的汽包压力前 60 s 均值作为汽包压力控制目标值,使汽包压力能够更真实反映焚烧炉负荷变化的趋势。主蒸汽流量调整量和汽包压力稳定控制前馈值之和进行函数计算,最终得出一次风可变因子,从而对一次风进行调整,有效保证主蒸汽流量的稳定。图中  $f(x)$  表示分段函数,SP 表示设定值,PV 表示实际

值,“+”表示数学上求和。

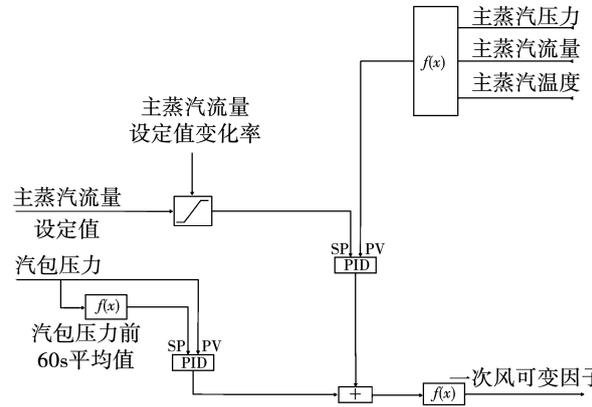


图 2 主蒸汽流量控制逻辑图

Fig. 2 Automatic control logic diagram of main steam flow

### 2.2 一次风流量控制

炉排一次风控制逻辑如图 3 所示。各级炉排的一次风量主要由一次风基础流量和一次风可变量两部分组成。其中,一次风基础流量是一个固定值,由主蒸汽流量设定值计算得到;而一次风可变量是由基础流量和一次风可变因子的乘积得到。结合现场实际调试经验,得出如表 1 所示一次风基础流量和可变流量的分配系数。据此,可计算出各级炉排的一次风量基础风量和可变风量。通常情况下,设定各级炉排左右侧风量分配比例为 1:1,并由 PID 反馈控制来调节各级左右侧风量在目标值附近。为了保证一次风控制稳定,调整一次风风压和风温 PID 参数,要求风压控制在 2 ~ 2.5 kPa,一次风温控制范围在 200 ~ 220 °C。其中,  $\times$  表示数学上求积。

表 1 炉排一次风基础流量和可变流量分配系数

Tab. 1 Primary air basic flow and variable flow distribution of grate

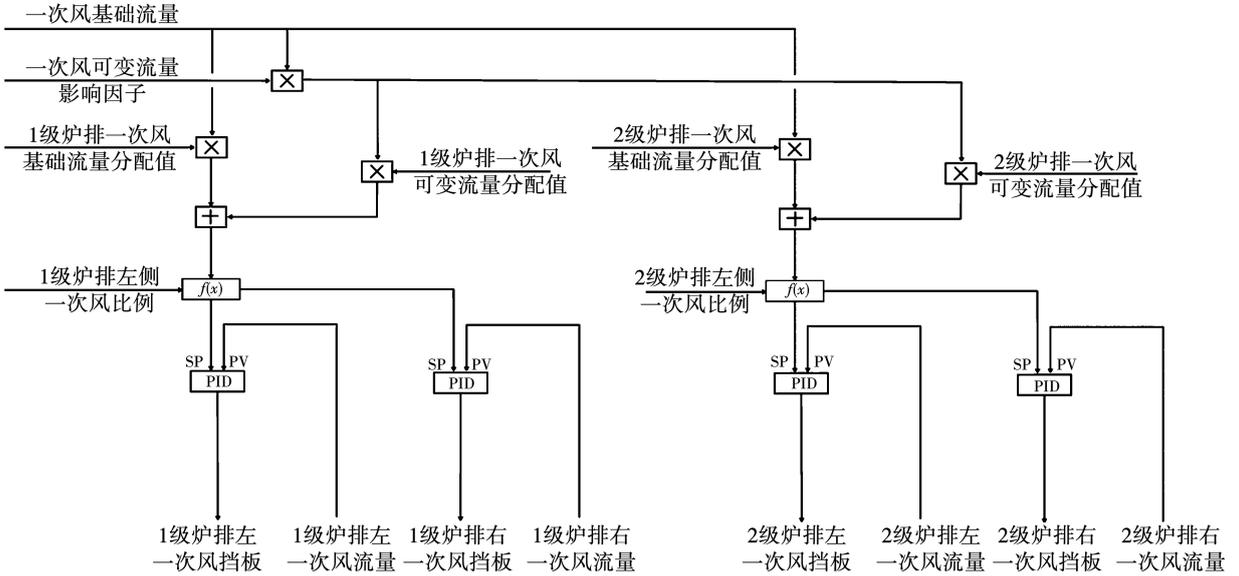
系数	炉排 1	炉排 2	炉排 3	炉排 4
基础风	0.15 ~ 0.2	0.35 ~ 0.5	0.35 ~ 0.5	0.1 ~ 0.2
调节风	0 ~ 0.1	0.5	0.5	0

### 2.3 二次风流量和氧量控制

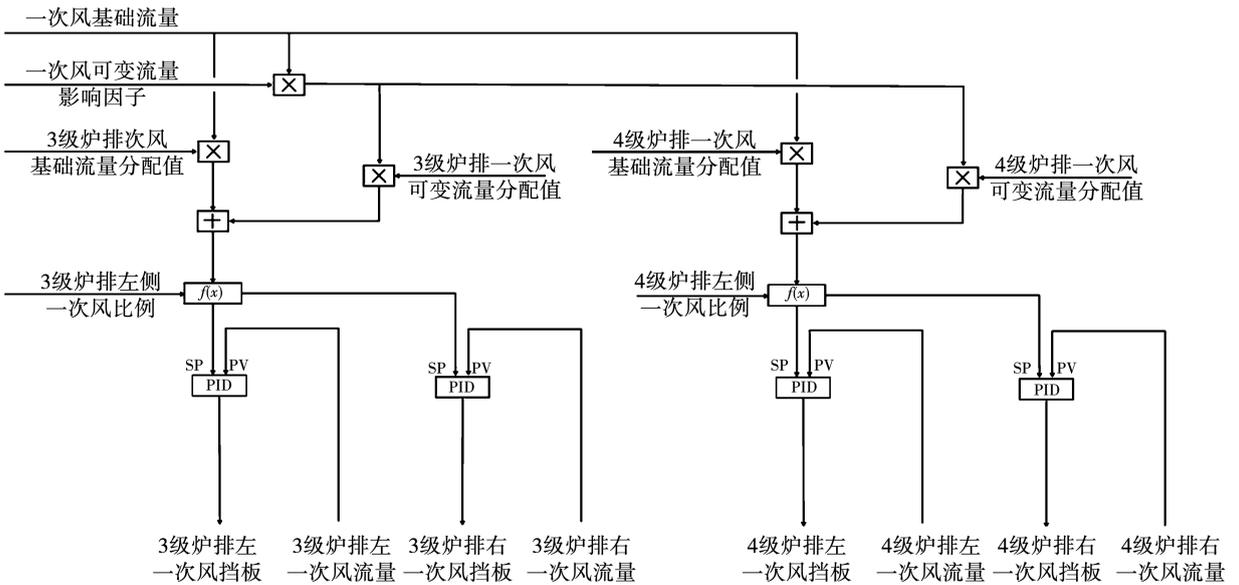
烟气含氧量控制主要通过 OFA 调节实现<sup>[12]</sup>,其控制逻辑图如图 4 所示。由主蒸汽流量设定值经过函数计算得到 OFA 基础流量,同时以省煤器后含氧量设定值和含氧量实际值为偏差进行 PID 计算,

得到 OFA 调节量。OFA 基础流量与调节量之和,分别乘以 OFA1 和 OFA2 调整系数,作为控制目标值,

由 PID 反馈控制风量在目标值附近。OFA1 和 OFA2 调整系数,需根据实际调试情况来确定。



(a) 1~2级炉排



(b) 3~4级炉排

图3 1~4级炉排风量自动控制逻辑图

Fig. 3 Automatic control logic diagram of air volume from grate 1 to 4

前端风流量控制逻辑如图5所示,以前端风1和2的基础流量和实际流量的偏差进行PID反馈控制。其中,前端风1和2的流量由主蒸汽流量设定值和各自的调整系数综合计算得到。此外,增加前端风的自动切换控制。当垂直烟道上部的烟温低于885℃时,前端风切换到前端风1。此时,前端风1

的风门按一定速率自动打开,前端风2的风门按同样速率自动关到5%。当垂直烟道上部的烟温高于890℃时,以同样的方式与速率将二次风切换到前端风2。该措施可以有效减少因风门切换对炉膛负压的扰动。前端风1和前端风2的调整系数,需根据实际调试情况确定。

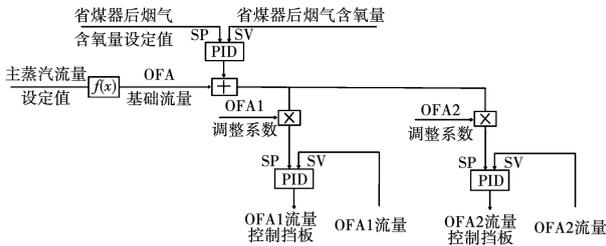


图4 OFA风自动控制与氧量控制逻辑图

Fig. 4 Automatic control logic diagram of OFA and oxygen content

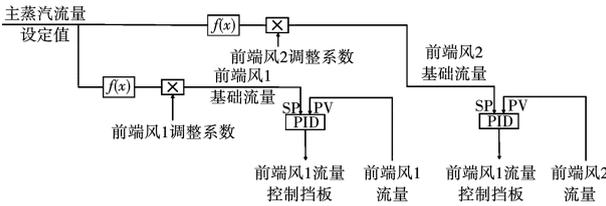


图5 前端风自动控制逻辑图

Fig. 5 Automatic control logic diagram of front wind

### 2.4 料层厚度控制

保证料层厚度稳定可以减少炉内炉排上燃料分布不均匀状况,对炉内垃圾连续稳定燃烧具有重要作用<sup>[13]</sup>。以2级炉排左右侧的垃圾料层厚度为控制对象,通过调节推料器速度及炉排的滑动速度,来保持2级炉排垃圾层厚度的实际值不偏离厚度设定值。2级炉排垃圾层厚度的大小和变化由该级炉排一次风流量阻力计算值来反应<sup>[14]</sup>,其计算公式如公

式(1)所示。

$$p_1 = A \times \Delta p \times \left(\frac{3600}{V}\right)^{1.05} \times \left(\frac{273}{t + 273}\right)^{0.5} \quad (1)$$

式中: $A$ —常数,125.88; $p_1$ —2级炉排左侧(右侧)垃圾床层阻力计算值; $\Delta p$ —2级炉排左侧(右侧)风压和炉膛压力之差,Pa; $V$ —2级炉排左侧或右侧风流量, $m^3/h$ ; $t$ —2级炉排左侧(右侧)风温度, $^{\circ}C$ 。

料层厚度自动控制逻辑图如图6所示,将氧量的PID控制计算值引入到料层厚度控制中,来修正推料器速度基础值。修正后的推料器速度值乘以相应推料器调整系数和炉排调整系数,得到左右侧炉排的速度设定值。根据料层厚度的设定值与计算参考值的偏差进行PID计算,得出垃圾厚度调整量。该调整量与修正后的推料器速度值、推料器调整系数相乘计算得到推料器速度。根据现场实际调试结果,得出左右侧推料器和炉排的调整系数如表2所示。此外,在该控制逻辑中加入了偏料调整,在发生偏料时,在一侧增加 $\pm 200\text{ mm}$ ,可以与给料速度系数、炉排速度系数同时调整,也可以单独调整。正常运行情况下,料层厚度一般设定在1800~3000mm。需要注意的是,根据公式(1),料层厚度计算值与风室和炉膛的压力差成正比,与一次风风量成反比。为避免一次风风量频繁调整对料层厚度控制带来的较大波动,需要合理调整风室与炉膛的压力差变化的控制参数,使得风室与炉膛的压力差变化与一次风风量变化趋势基本一致。

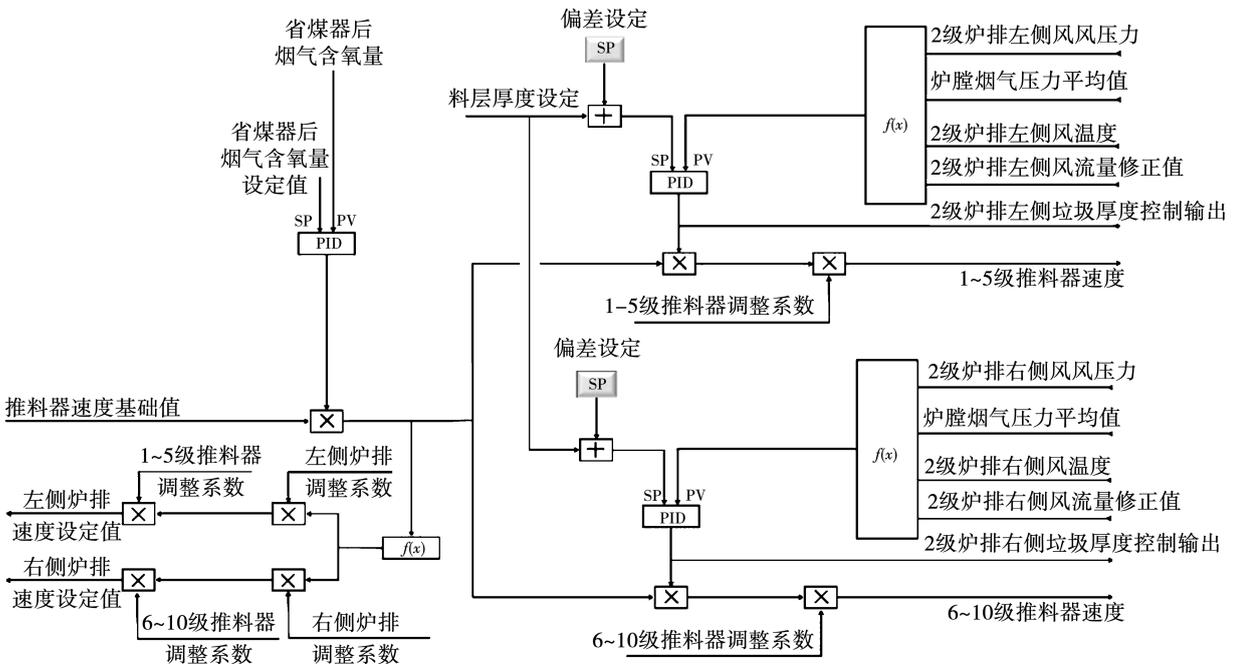


图6 垃圾料层厚度自动控制逻辑图

Fig. 6 Automatic control logic diagram of waste layer thickness

表2 推料器和炉排速度调整系数

Tab.2 Speed adjustment factor of left and right side pusher and grate

1~5级 推料器	6~10级 推料器	1~4级炉排 (左侧)	1~4级炉排 (右侧)
1	1	1.4	1.4

2.5 炉排和推料器控制

炉排和推料器自动控制逻辑如图7所示。在炉

排速度控制中,除了1级炉排的控制目标值是设定值、垃圾厚度输出值、该级炉排调整系数三者的乘积之外,其他级炉排均以设定值作为控制目标值,并以炉排速度作为反馈进行PID调节控制。推料器速度控制依旧采用速度设定值和实际值的偏差进行PID调节控制。其中各级炉排的调整系数如表3所示。

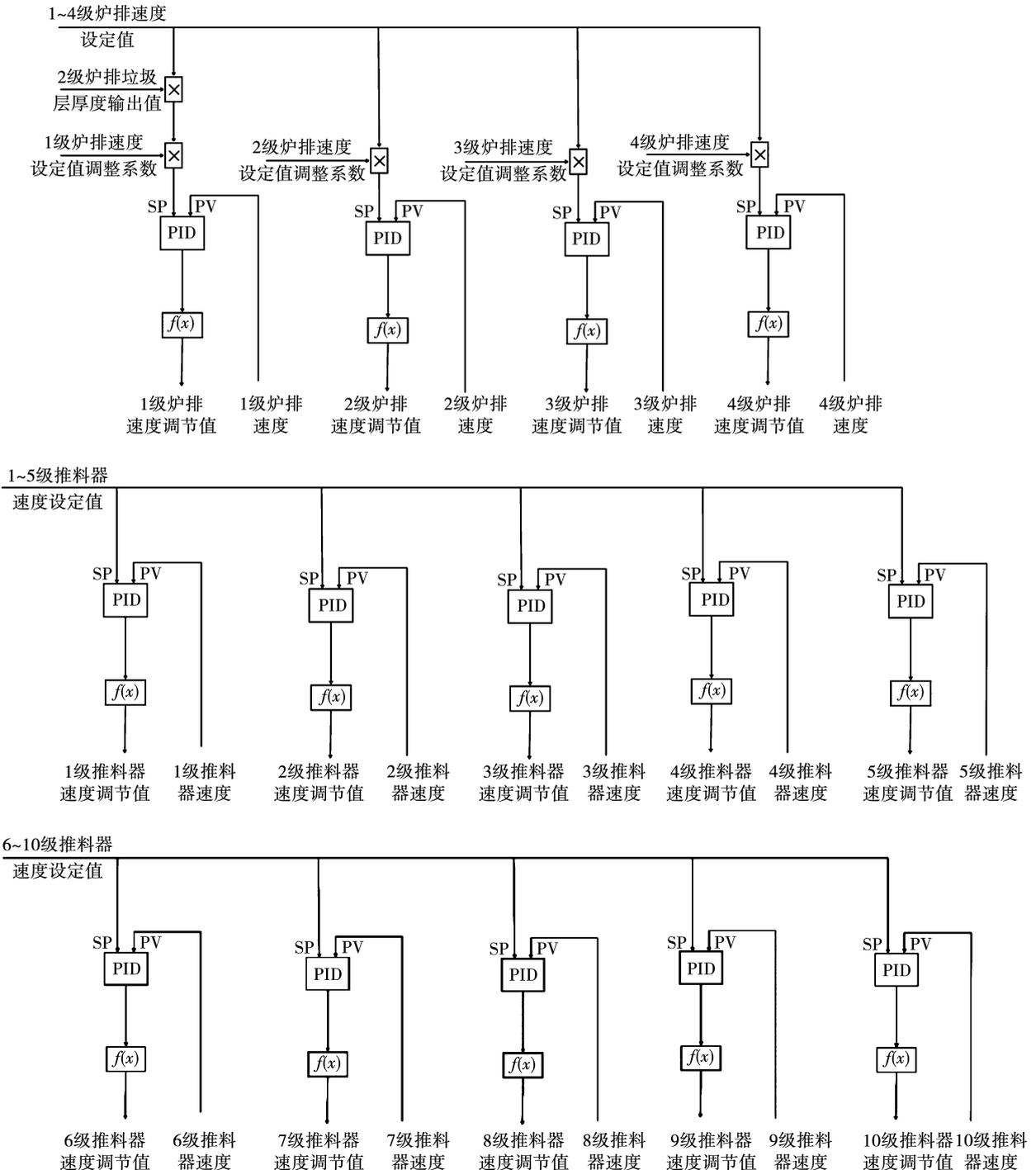


图7 炉排速度自动控制逻辑图

Fig.7 Automatic control logic diagram of grate speed

表 3 各级炉排速度调整系数

Tab.3 Speed adjustment factor of each grate

炉排级数	左侧炉排	右侧炉排
1	1.1	1.1
2	1.2	1.2
3	1.1	1.1
4	0.5	0.5

### 3 应用评估

某垃圾焚烧发电厂配备 2 × 500 t/d 垃圾焚烧炉,配置 2 × 12 MW 凝汽式汽轮发电机组。焚烧炉炉排形式为倾斜多级顺推式炉排,焚烧炉额定蒸发量为 43.5 t/h,炉膛出口烟气温度小于 850 ℃,炉渣热灼减率小于 5%。

#### 3.1 主蒸汽流量控制

图 8(a)为 ACC 控制系统投入后,1 号机组主蒸汽流量 24 h 内的变化趋势。其主蒸汽流量控制目标值设定为 55.998 t/h(约为额定蒸发量的 1.28 倍),波动最大值为 58.061 t/h,最小值为 54.183 t/h,控制变化的相对标准偏差为 0.85%。图 8(b)为 ACC 控制系统投入后,某段时间内 1 号机组主蒸汽流量控制目标值变化时的控制效果。可以看到,主蒸汽流量控制策略能够实现主蒸汽流量实际值很好的跟踪设定值,很好地实现了对蒸发量的非稳态控制。

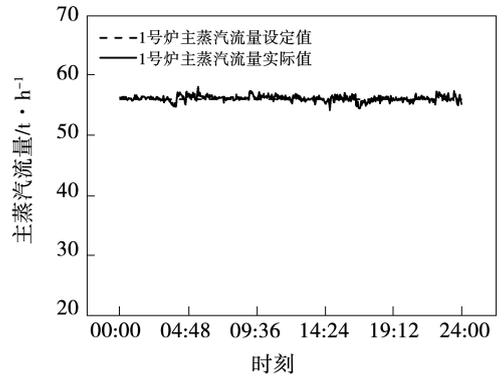
#### 3.2 发电量和供电量统计

两台机组连续 15 d 的发电量和供电量统计如图 9 所示。除第 8 天 2 号炉故障停炉 3.7 h 外,发电量和供电量总体变化平稳。剔除第 8 天数据,其发电量平均值为 54.10 万 kW · h,相对标准偏差为 1.80%;供电量每天平均值为 45.69 万 kW · h,相对标准偏差为 2.21%。ACC 投运后,焚烧炉运行平稳,发电量和供电量波动较小。

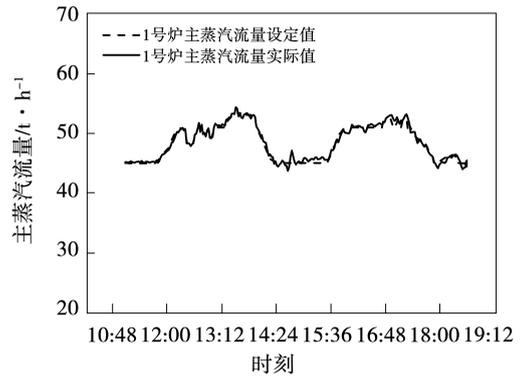
#### 3.3 炉渣热灼减率统计

ACC 投入运行后,对 1 号炉和 2 号炉一个月内的灼减率进行统计分析,如图 10 所示。可以看到,该一个月内 1 号炉炉渣热灼减率平均值为 2.34%,相对标准偏差为 5.64%;2 号炉炉渣热灼减率平均

值为 2.37%,相对标准偏差为 5.75%。ACC 投入后,两台炉的炉渣热灼减率均小于 5%,相对标准偏差在 5.7% 左右,燃烧控制较为稳定。



(a) 稳定工况控制



(b) 变工况控制

图 8 主蒸汽流量控制效果图

Fig.8 Control effect of main steam flow

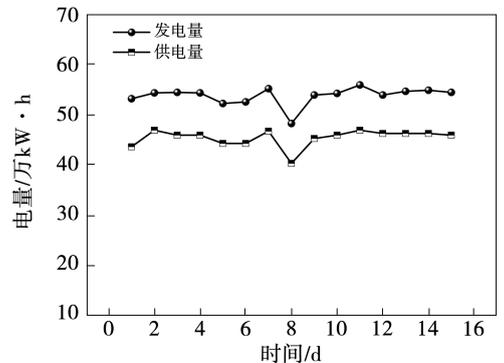


图 9 发电量和供电量统计结果

Fig.9 Statistical results of power generation and power supply

#### 3.4 氧量控制

图 11 为 ACC 控制系统投入后,机组省煤器出口含氧量 24 h 内的变化趋势。含氧量控制目标值

设定为 4.50%, 瞬时波动最大值为 5.71%, 最小值为 2.79%, 氧量控制变化的相对标准偏差为 9.66%, 满足垃圾焚烧炉的运行控制要求。

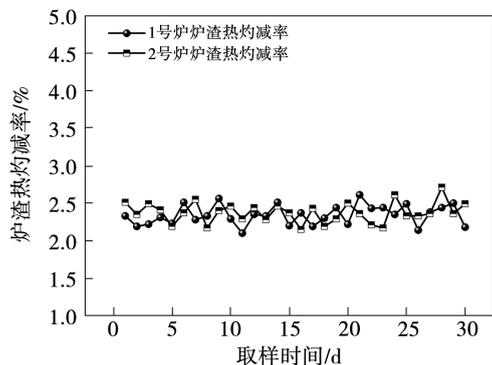


图 10 炉渣热灼减率统计结果

Fig. 10 Statistical results of slag burning rate

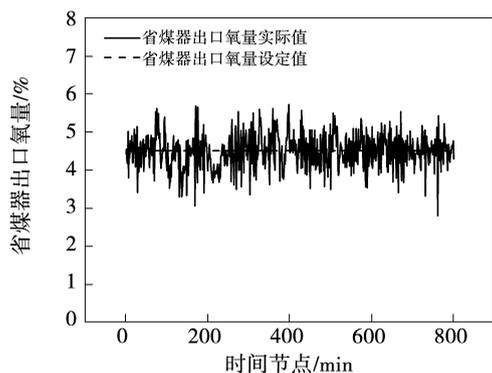


图 11 省煤器出口含氧量控制变化图

Fig. 11 Control change of oxygen content at the outlet of the economizer

## 4 结论

(1) 垃圾焚烧炉 ACC 系统的自动、高效和稳定运行,对有效提高企业运营管理水平 and 设备检修效率、降低经济成本具有重要作用。通过深入了解垃圾炉燃烧工况的变化,结合运行人员操作经验,设计了主蒸汽流量控制、一次风流量控制、二次风流量和氧量控制、料层厚度控制及炉排和推料器速度控制策略,应用并实现了蒸发量、发电量、炉渣的热灼减率、氧量等各项指标稳定控制。

(2) 投运结果显示:机组主蒸汽流量 24 h 内的波动最大值为 58.061 t/h, 最小值为 54.183 t/h, 控

制变化的相对标准偏差为 0.85%。发电量日均值为 54.10 万 kW·h, 相对标准偏差为 1.80%; 供电量日均值为 45.69 万 kW·h, 相对标准偏差为 2.21%, 焚烧炉整体运行平稳, 发电量和供电量波动较小。一个月内热灼减率统计平均值约为 2.3%, 相对标准偏差约为 5.7%。省煤器出口含氧量 24 h 内的波动最大值为 5.71%, 最小值为 2.79%, 含氧量控制变化的相对标准偏差为 9.66%, 满足垃圾焚烧炉的运行控制要求。测试运行期间, ACC 的投入率 99%。在满足国家标准的前提下, 实现了长周期的自动投运。

(3) 本文所提出的 ACC 控制策略可有效保证焚烧炉在超过额定蒸发量的情况下稳定运行, 能够在有限的条件下多烧垃圾多发电, 具有显著的社会效益和经济效益。该 ACC 系统控制策略的应用切实提高了垃圾焚烧项目的自动化运行管理水平, 为垃圾焚烧行业规模化、自动化发展提供重要的理论基础和技术支撑。

## 参考文献:

- [1] 邓义寰, 刘抒悦, 吴坤, 等. 中国生活垃圾主要处理方式和年运行费用分析及“十四五”政策研究[J]. 环境科学与管理, 2021, 46(4): 9-13.  
DENG Yi-huan, LIU Shu-yue, WU Kun, et al. Analysis on disposal methods and annual costs of domestic waste in China and policy suggestions for the 14th five-year plan[J]. Environmental Science and Management, 2021, 46(4): 9-13.
- [2] 杨栩聪, 廖艳芬, 林涛, 等. 350 t/d 垃圾焚烧炉污泥掺混燃烧与 SNCR 脱硝特性的数值模拟[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(21): 6964-6973.  
YANG Xu-cong, LIAO Yan-fen, LIN Tao, et al. Numerical study of 350 t/d MSW incinerator on sludge blending combustion and SNCR denitrification characteristics[J]. Proceedings of the CSEE, 2020, 40(21): 6964-6973.
- [3] 曾祥浩, 马晓茜, 王海川, 等. 900 t/d 生活垃圾焚烧炉二次风优化数值模拟[J]. 热能动力工程, 2020, 35(9): 95-103.  
ZENG Xiang-hao, MA Xiao-qian, WANG Hai-chuan, et al. Numerical simulation of secondary air optimization in a 900 t/d waste incinerator[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2020, 35(9): 95-103.

- [4] 郑新港,黄云,陈竹,等.垃圾焚烧炉二次配风优化数值研究[J].热能动力工程,2019,34(8):116-121,181.  
ZHENG Xin-gang, HUANG Yun, CHEN Zhu, et al. Numerical simulation for the optimization of secondary air distribution in a waste incineration furnace[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2019, 34(8): 116-121, 181.
- [5] 李俊欣.垃圾焚烧自动控制系统应用研究[D].广州:华南理工大学,2015.  
LI Jun-xin. Application research for waste-to-energy plant automatic combustion control system[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2015.
- [6] <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/>统计年鉴.  
[http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/statistical\\_yearbook](http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/statistical_yearbook).
- [7] 曾卫东,田爽,袁亚辉,等.垃圾焚烧炉自动燃烧控制系统设计与实现[J].热力发电,2019,48(3):109-113.  
ZENG Wei-dong, TIAN Shuang, YUAN Ya-hui, et al. Design and implementation of ACC system for waste incinerator[J]. Thermal Power Generation, 2019, 48(3): 109-113.
- [8] 贾勋慧,许润,鲁勋,等.炉排式垃圾焚烧炉ACC自动燃烧技术[A].电站信息.2012(10):35-36.  
JIA Xun-hui, XU Run, LU Xun, et al. ACC automatic combustion technology of grate waste incinerator[J]. Power Station Information, 2012(10): 35-36.
- [9] 刘洪福,宋国军,许留建,等.垃圾焚烧炉SNCR-烟气再循环技术的设计研究[J].河南农业大学学报,2020,54(6):1009-1015.  
LIU Hong-fu, SONG Guo-jun, XU Liu-jian, et al. Design and research of SNCR-flue gas recirculation of MSW incineration[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2020, 54(6): 1009-1015.
- [10] 朱亮,陈涛,王健生,等.自动燃烧控制系统(ACC)垃圾热值估算模型研究[J].环境卫生工程,2015,23(6):33-35.  
ZHU Liang, CHEN Tao, WANG Jian-sheng, et al. Estimation model of waste heat value under automatic combustion control system (ACC)[J]. Environmental Sanitation Engineering, 2015, 23(6): 33-35.
- [11] 张健. ACC技术在垃圾焚烧发电项目的应用分析[J].华东电力,2014,42(8):1716-1718.  
ZHANG Jian. Application of ACC technology in waste incineration power generation project[J]. East China Power, 2014, 42(8): 1716-1718.
- [12] 许润,刘金刚.一种炉排式垃圾焚烧炉燃烧自动控制策略[J].仪器仪表标准化与计量,2017(5):28-30,36.  
XU Run, LIU Jin-Gang. An automatic control strategy for combustion of grate-type waste incinerator[J]. Instrumentation Standardization and Measurement, 2017(5): 28-30, 36.
- [13] 孙应淳,陈杨.垃圾焚烧的优化自动燃烧控制[J].自动化与仪器仪表,2012(3):121-122.  
SUN Ying-chun, CHEN Yang. Optimized automatic combustion control of waste incineration[J]. Automation and Instrumentation, 2012(3): 121-122.
- [14] 吴斯鹏,张会妍,王涛.垃圾焚烧发电厂垃圾料层厚度控制探讨[J].环境卫生工程,2020,28(1):40-42.  
WU Si-peng, ZHANG Hui-yan, WANG Tao. Discussion on the thickness control of garbage material layer of waste incineration power plant[J]. Environmental Health Engineering, 2020, 28(1): 40-42.

(姜雪梅 编辑)