

# GSP 气化炉炉温控制策略优化及热损调整研究

杨 乐

(国家能源集团宁夏煤业有限责任公司煤制油分公司气化一厂 宁夏银川 750411)

**摘 要:** 在当今工业生产中, GSP 气化炉作为一项关键设备, 其性能和效率直接关系到生产过程的顺利进行。本文聚焦于 GSP 气化炉炉温控制策略的优化及热损调整研究, 深入探讨了炉温控制策略存在的问题并提出了优化方法。此外, 本文还分析了热损的原因, 并介绍了相应的调整方法, 以全面提升 GSP 气化炉的性能。希望为工业生产提供可靠的技术支持, 推动气化炉技术的进步与创新。

**关键词:** GSP 气化炉; 炉温控制; 策略优化; 热损调整

## 引言

在现代工业领域中, 高效能、可靠性的气化炉技术对于实现可持续发展至关重要。GSP 气化炉作为其中的一项重要设备, 其炉温控制策略的优化及热损调整对生产效率和能源利用具有深远影响<sup>[1]</sup>。本文旨在深入探讨 GSP 气化炉炉温控制策略优化及热损调整。

### 1 GSP 气化炉概述

GSP 气化炉作为气化装置的核心组成部分, 其主要任务是将来自煤粉制备单元的合格煤粉通过高压氮气(或二氧化碳)作为载气, 依靠粉煤给料罐和气化炉之间的压差将煤粉输送至气化炉<sup>[2]</sup>。在气化炉内, 煤粉与空分装置供应的氧气发生部分氧化反应, 从而制得粗合成气, 其有效成分主要包括氢气和一氧化碳。随后, 粗合成气经过激冷和洗涤处理, 以满足增湿、降温 and 除尘等要求, 并最终被送入变换系统。

#### 1.1 GSP 气化炉工作原理

GSP 气化炉采用干煤粉气化技术, 该技术源自中国寰球工程公司的设计。具体而言, 气化炉采用干粉进料、纯氧气化、液态排渣和粗合成气激冷的工艺流程, 属于气流床气化技术范畴。该工艺以干煤粉为原料, 使用氧气和水蒸汽作为气化剂, 生产以  $\text{CO}+\text{H}_2$  为主要成分的合成气。这一先进而高效的气化技术为气化炉的可靠运行和优质合成气的生产提供了坚实的技术基础。

#### 1.2 GSP 气化炉炉温控制的重要性

在气化炉运行中, 炉温的精准控制是确保气化反应高效进行的关键因素。其重要性主要体现在以下几个方面:

(1) 气化效率提升: 合适的炉温控制有助于确保气化反应充分进行, 防止煤粉的过度炭化和焦油的生成。通过优化炉温, 可提高碳转化率, 实现冷煤气效率的提升, 从而使整个气化过程更为高效。

(2) 产品质量保障: 炉温的准确控制能够确保气化炉内的温度分布符合设计要求, 从而保障合成气的组成和质量。优化炉温有助于避免不良反应产物的生成, 提高合成气的纯度和稳定性。

(3) 设备安全和寿命延长: 通过有效的炉温控制, 可以防止水冷壁的过热和烧穿现象的发生, 从而保障设备的安全运行。同时, 合适的炉温控制还有助于减缓设备的热腐蚀和磨损, 延长气化炉的使用寿命。

## 2 GSP 气化炉炉温控制策略存在的问题

### 2.1 温度波动过大

气化炉炉温的稳定性直接关系到气化反应效率和合成气质量, 然而, 存在着温度波动过大的问题, 给气化炉的运行和设备带来了一系列挑战<sup>[3]</sup>。首要原因之一是煤粉的质量和供给不稳定。煤粉作为主要反应原料, 其热值、灰分、水分和粒度等特性直接影响气化反应的热平衡和动力学。由于煤粉输送系统受到气化炉压力、载气流量、进料器料位等因素的影响, 煤粉供给量不均匀, 导致炉温波动明显。此外, 氧气和蒸汽的流量调节不灵敏也是温度波动的关键因素。氧气和蒸汽作为主要反应介质, 其流量直接影响气化反应速率和热量, 但调节阀的滞后和死区以及混合不充分, 导致氧气和蒸汽的流量不能及时、准确地响应炉温的变化。这种不敏感的调节机制使得炉温无法得到有效的控制, 进而引发温度波动的扩大。

### 2.2 温度偏差过大

温度偏差过大主要源自两个方面, 一方面是炉温的测量和计算不准确。气化炉炉温的测量依赖于多个间接参数, 如热电偶、汽水混合密度、合成气中的  $\text{CO}_2$  和  $\text{CH}_4$  含量等。由于这些参数存在一定的误差和滞后, 炉温的实际值可能与测量和计算的数值存在差异, 导致炉温的偏差。另一方面, 炉温的设定值和控制策略不合理也是温度偏差过大的关键原因。理想的气化炉炉温设定值和控制策略应该根据气化炉的工艺需求和运行条件进行灵活调整。然而, 由于气化炉工艺要求和运行条件的变化, 如果设定值和控制策略不能及时、适当地调整, 就会导致炉温偏离理想状态。这不仅影响了气化炉的运行效率和产品质量, 还可能引发安全隐患。

### 2.3 系统响应时间过长

气化炉的炉温控制策略面临的另一个关键问题是系统响应时间

过长,主要源自两个方面的因素。首先,气化炉的物料和能量平衡具有较大的惯性。作为一个复杂的非线性、强耦合、大时滞的动态系统,气化炉在其输入或输出发生变化时,其内部状态不会立即做出相应调整,而是需要一定的时间才能达到新的平衡状态,导致了系统响应时间过长。其次,气化炉的测量和控制系统存在滞后。测量和控制系统包括热电偶、汽水混合密度、合成气中的CO<sub>2</sub>和CH<sub>4</sub>含量等参数的测量和计算,以及氧气和蒸汽的流量调节阀、激冷水的流量调节阀等控制设备的动作。由于这些系统的响应速度有限,当气化炉炉温发生变化时,测量和控制系统不能及时、准确地检测和反馈,需要一定的时间才能完成相应的操作,导致系统响应时间相对较长。

### 3 GSP 气化炉炉温控制的方法和优化

#### 3.1 燃料供应和燃烧控制的优化

需要对燃料供应和燃烧控制进行优化,以提高燃烧效率和炉温均匀性,减少燃料消耗和污染排放。具体的优化方法包括以下几个方面:

(1) 采用高级控制算法和策略,对燃料量、氧气量和蒸汽量进行动态调节,以实现炉温的最优控制。例如,可以采用模糊神经网络模型,根据不同的性能指标(如动力性、经济性、环保性等),选择合适的控制变量(如点火提前角、喷氢提前角和喷氢量等),并根据炉温的实时反馈,自适应地调整控制参数,以达到最佳的炉温水平。

(2) 采用多级组合进料技术,将煤粉分为内、中、外三层,通过不同的喷嘴进入气化炉,以实现燃料的均匀分布和混合,提高燃烧效率和炉温均匀性。这种技术可以有效地控制煤粉的粒度和含水率,避免煤粉的堵塞和结焦,延长气化炉的使用寿命。

(3) 采用高能量点火方式,提高点火喷嘴的耐高温能力,保证点火的成功率和可重复性,减少点火喷嘴的更换频率和维护成本。这种方式可以利用高压电弧或激光等高能光源,产生高温的火花,点燃煤粉和氧气的混合气体,快速地引发燃烧反应,提高炉温的稳定性和响应速度。

#### 3.2 能源效率和热平衡的优化

为提高GSP气化炉的能源效率和热平衡,关键在于优化氧气和水蒸汽的流量比、煤粉的流量以及激冷水的流量,以满足煤种特性和产品要求。通过调整氧气和水蒸汽的流量比,可以在热平衡状态中取得平衡,权衡高炉温和合成气热值之间的关系。合理优化煤粉的流量可实现最佳的物料平衡状态,提高煤粉的转化率和熔渣流动性。调整激冷水的流量可在保证合成气冷却效果的同时,最小化热损失,提高热交换效率。

### 4 GSP 气化炉热损调整方法

#### 4.1 热损原因分析

GSP 气化炉是一种使用干煤粉、纯氧和水蒸气作为反应介质的气流床气化技术,它的水冷壁是保护气化炉炉壁不受高温烟气、熔渣和合成气的侵蚀和冲刷的关键部件。水冷壁的热损失是指水冷壁从冷却水中吸收的热量与从炉壁表面散失的热量之差,它反映了水冷壁的冷却效果和炉壁温度的变化。水冷壁的热损失受到多种因素的影响,主要包括以下几个方面:

① 气化炉的操作温度与煤的灰熔点有关,一般控制在 1350℃ ~ 1750℃ 之间。当气化炉的操作温度过高时,水冷壁表面的熔渣层较薄,熔渣直接冲击水冷壁,对捣打料造成损害,水冷壁的热损失增大。② 水冷壁的冷却水系统参数,如进出口水温、水压、水流量,也直接影响冷却效果和热损失。进水温度过高会降低冷却能力,增大热损失。出水温度过高会导致热负荷过大,热损失增加。

#### 4.2 热损调整方法

在GSP气化炉中,采用水冷壁汽包副产的0.5MPa蒸汽进行热损调整是一种高效的操作策略。气化炉运行时,将产生的热量通过水冷壁汽包转化为0.5MPa蒸汽,再送往0.5MPa蒸汽管网,供给其他装置及界区使用。该操作的优点在于,水冷壁汽包副产的0.5MPa蒸汽是水冷壁的废热,利用它对气化炉进行加热或冷却,既能够节约能源,又能够提高气化炉的运行效率和稳定性。

还有其他热损调整方法:① 调整气化炉氧煤比是直接有效的控制气化炉热损的手段。在对热损、合成气温度、二氧化碳、甲烷等参数进行监控的基础上,调整氧煤比,可以直接影响气化炉的操作温度,从而调整水冷壁挂渣及熔渣的状态,保证水冷壁表面挂渣均匀。② 调整水蒸气量可以改变火焰形态,在一定程度上可以调整水冷壁挂渣的位置和状态。③ 控制煤灰分的高低也能有效地控制水冷壁挂渣的情况。灰分正常且平稳有助于水冷壁挂渣处于熔融状态,保证水冷壁挂渣均匀,热损稳定。

### 5 结语

本文深入剖析了GSP气化炉炉温控制存在的问题,包括温度波动、温度偏差和系统响应时间过长等方面。针对这些问题,提出了一系列创新的解决方案,包括采用高级控制算法进行动态调节、优化燃料供应和燃烧控制、以及在热损调整中巧妙利用水冷壁汽包副产的0.5MPa蒸汽。这些方法的提出不仅有望提高气化炉的稳定性和效率,还有助于降低能耗、提高能源利用率。

#### 参考文献

- [1]宋金荣,李强,孟西磊.Shell 粉煤气化炉温度控制策略研究[J].河南化工,2017,34(11):5.
- [2]赵元琪,杨会军.组合烧嘴氧气旋流角对GSP气化炉性能影响分析[J].化肥工业,2018.
- [3]张波,赵蓉.炉温控制对水煤浆水冷壁气化炉的运行影响[J].氮肥与合成气,2023,51(02):51-53.