

# 浅谈干煤粉加压气化炉热损的影响及参数调整

韩荆禄 魏爱乐 武建军 武祥元

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:** 干煤粉煤加压激冷气化技术是气化炉水冷壁被一层特殊的捣打料(sic)所覆盖,防止燃烧高温对水冷壁盘管的热冲击。水冷壁采用以渣抗渣的设计,为炉内腐蚀、磨蚀、冲刷的工艺环境提供了良好的应对措施。神宁炉为干煤粉加压气化炉,不但其煤种适应范围广、易操控、稳定性好,且具有低比氧耗、比煤耗、高气化效率、低耗水量和出口煤气含尘量低的特性。其气化炉的构成包括三个组成部分:耐压壳体、燃烧室和激冷室。其中,气化炉燃烧室由五个部分组成:承压壳体、水冷壁、烧嘴支撑、排渣口和外部冷却夹套。气化炉内挂渣是一个相当复杂的过程,不仅与煤种特性以及熔渣本身的沉积特性有关,还与炉内粉煤煤气化燃烧过程有着密切关系。主要讨论了煤质、气化炉操作温度、氧煤比的控制等对GSP气化炉内冷壁挂渣的影响因素。

**关键词:** GSP气化炉; 总热损; 渣口热损; 氧煤比

引言: 煤气化技术已经发展成熟,尤其干煤粉加压气化技术其煤种适应范围广、易操控、稳定性好,且具有低比氧耗、比煤耗、高气化效率、低耗水量和出口煤气含尘量低的特性。是现在煤气化行业比较青睐的选择,但是其炉温及热损的控制对气化炉长周期满负荷稳定运行起关键作用。

## 1 热损的概述

### 1.1 热损定义

煤气化在高温、高压条件下,将焦炭、煤等原料与气化剂发生反应产生的熔渣在气化炉水冷壁上的沉积过程与锅炉内煤灰的沉积较为相似。煤颗粒在炉内燃烧时,在表面张力作用下,煤灰中易熔性物质熔融后收缩成球状,黏度为 $10\sim 100\text{Pa}\cdot\text{s}$ ,由于其空气阻力小、密度较大,可部分黏附在水冷壁上形成初始渣层,其余进入激冷室。气流中的熔融渣滴不断黏聚在水冷壁上,初始渣层厚度增加,热阻逐渐增大,水冷壁的冷却效果逐步降低。当气化炉内的渣层达到动态平衡后,水冷壁上的渣膜可分为流动层、过渡层和固定层。流动层和过渡层随气化反应的进行不断更新,起到了“以渣抗渣”的作用,延长了水冷壁气化炉的使用寿命。其中随着水冷壁上挂渣的薄厚,热阻值也发生变化,所以我们根据水冷壁冷却水温度、温差、水冷壁盘管流量变化,运用公式计算出热损,从而指导我们调整优化气化炉各项运行参数。

### 1.2 气化炉工艺条件对水冷壁挂渣的影响

在煤质不变的情况下,水冷壁挂渣的状态通过水冷壁的热损来反映。影响水冷壁热损的主要因素有氧煤比、蒸汽量、气化炉的负荷、气化炉的操作压力、烧嘴的喷射角度、气化炉的操作温度以及煤粉粒度等<sup>[1]</sup>。

## 2 影响热损控制的因素

### 2.1 煤质

神宁炉干煤粉加压气化激冷技术对煤灰分适应范围比较广,易操控、稳定性好。但煤质的变化,经常导致热损的波动,若不及时调整,工况波动比较大。灰分、灰熔点的稳定对气化炉稳定运行影响比较大。灰分越大,渣量越大,对挂渣影响也大以及灰熔点的变化都影响挂渣效果,流动温度与变形温度温差大于 $25^\circ\text{C}$ 利于水冷壁挂渣,再低渣流动性变差,渣口热损高,容易烧损渣口盘管。但由于煤粉的不稳定,以及弱的流场和短的火焰,使得水冷壁中间盘管的温度存在很大的差异,如果长期在小负荷下运行,不仅容易出现挂渣现象,而且还会烧坏水冷壁。当负荷高时,热量损耗也比较大,而且,还会使煤粉在气化炉中不能充分燃烧,使有效气体含量下降,还会使气化效率下降,从而使炉渣中碳耗也随之增大。

### 2.2 氧煤比

在煤质不变的情况下,通常情况下,主要是调整主烧嘴氧煤比。主烧嘴氧煤比直接影响气化炉燃烧室操作温度和粗煤气成分,进而影响水冷壁的热负荷、碳转化率、冷煤气效率等。氧煤比控制不当对水冷壁的稳定运行影响较大,首先是过氧,即氧煤比偏大主要表现在水冷壁燃烧区辐射换热量增加,随着氧煤比的增大,气化炉水冷壁热负荷对炉内高温区的提温幅度明显高于低温区,对高温区锚固钉和耐火材料的损坏将大大加剧,导致挂渣脱落,捣打料脱落,锚固钉脱落,水冷壁管出现裂纹、水冷壁管对接焊缝出现裂纹等现象,严重时导致水冷壁发生泄漏,泄漏严重时气化炉得停车检修,制

约生产装置长周期安全稳定运行。其次,氧煤比低,气化反应温度较低,燃烧不完全,有效产气量降低,挂渣增厚,渣口压差上涨,带灰增多,堵塞一级文丘里、塔盘、管线、阀门,致使系统压差上涨装置无法运行。因此,氧煤比的控制对水冷壁挂渣的好坏至关重要<sup>[2]</sup>。

### 2.3 给料罐压差

正常情况下,给料罐压力提高与气化炉压差提高,会使气化炉火焰拉长,燃烧高温区下移,水冷壁挂渣变厚,渣口挂渣变薄,拱顶温度下降,渣口热损上涨;给料罐压力降低气化炉火焰变短,热量上移。水冷壁挂渣变薄,渣口挂渣变厚,拱顶温度上涨,渣口热损下降。

### 2.4 气化炉负荷

正常情况下,都是采用低负荷挂渣,特殊情况下需要采用高负荷挂渣的方法,比如渣口热损太高,煤灰分大小情况下,高负荷可提供更多熔渣进行挂渣。且气化炉负荷低时,煤粉稳定性不佳,燃烧室火焰较短,水冷壁中部盘管温差较大;长时间低负荷运行,导致水冷壁中部区域渣层密度低、挂渣不好,甚至烧损水冷壁。因此,气化炉低负荷运行时,通过调节给料罐压差来控制火焰长度,也可调节次高压蒸汽加入量来控制火焰长度,控制热损。负荷升高后,缓慢降低给料罐压差,减少蒸汽加入量来调节热损。

### 2.5 次高压蒸汽

次高压蒸汽主要是做为气化剂参与气化反应,同时也起到调整火焰长度的作用,同给料罐压差原理相同,但相对于给料罐压差次高压蒸汽对热损影响远不如给料罐压差明显。蒸汽量大小与火焰长度密切相关,如果不能很好地控制火焰,则会导致水冷壁的热负荷升高,从而增加了水冷壁烧毁的危险。随着添加蒸汽的增多,热损耗也随之增大。在较短的粗火作用下,火焰的长度明显延长,从而减小了因短粗火焰引起的水冷壁烧损现象。水蒸气的增多对炉膛降温效果不明显,但随水蒸气的增多,炉膛中的辐射传热略有下降,从而减小了水冷壁的传热。另外,在一定程度上增加蒸汽量,也有助于合成气中可利用气的质量分数增加<sup>[3]</sup>。

### 2.6 煤粉加压输送系统

粉煤进料系统在正常生产时使用高压二氧化碳作为输送和加压气体,在开车工况没有二氧化碳时,使用氮气作为载气,以密相输送方式完成气化炉粉煤进料。

粉煤进料单元包括一台粉煤仓、二台粉煤锁斗和一个粉煤给料罐。

来自磨煤干燥装置的粉煤通过气力输送到粉煤仓,然后进入粉煤锁斗,粉煤锁斗以交替的方式顺序控制操

作,以保持粉煤给料罐料位的稳定。当粉煤锁斗处于常压状态时,关闭粉煤锁斗的下料阀,打开粉煤锁斗的进料阀,使粉煤仓的煤粉自流进入粉煤锁斗,料满后关闭进料阀,通入高压CO<sub>2</sub>加压(开车工况使用氮气进行加压),加压后打开高压煤粉平衡阀,打开下料阀使煤粉自流进入粉煤给料罐中,卸料结束后关闭下料阀,关闭平衡阀,打开卸压阀排出CO<sub>2</sub>,使锁斗卸压至常压,卸放的气体进入减压过滤器除尘并减压至常压,过滤器底部收集的粉煤通过粉煤旋转给料器利用重力排放至粉煤仓。过滤后的CO<sub>2</sub>气体排往低温甲醇洗单元洗涤后达标排放。进入粉煤给料罐中的粉煤,在粉煤给料罐底部通气锥通入载气(高压二氧化碳)的作用下,实现粉煤的部分流化,粉煤以密相流的形式从粉煤进料罐输送到气化炉,粉煤的流量通过流量调节阀控制。粉煤锁斗加压用CO<sub>2</sub>和粉煤给料罐所用载气(CO<sub>2</sub>),自界区外进入装置,一部分CO<sub>2</sub>进入缓冲罐1,用于粉煤锁斗加压,另一部分CO<sub>2</sub>进入缓冲罐2,用作粉煤进料罐的载气。粉煤给料系统以顺控系统的形式集成到自控系统中,以保证整个系统压力的稳定<sup>[4]</sup>。

## 3 气化炉总热损及渣口热损的调节

正常情况下气化炉水冷壁总热损和渣口热损调整可以分以下三种情况:

3.1 总热损、渣口热损正常情况偏高、偏低(相对)只需及时的加减氧便可调整至正常。

### 3.2 总热损低(挂渣多)渣口热损高

调整方法:1.优先加负荷调整2.加煤减氧3.降低给料罐压差,降低次高压蒸汽量。加负荷,增多渣量,炉温不变,渣口流动的渣增多增厚,时间长渣口热损会降低,但这种情况总热换还是偏低,调整完成后需要多等待几个小时,此时渣口热损相对之前已有所降低,这时就可以加氧减煤,提高炉温相当于熔水冷壁的渣,操作时间间隔要长,直至水冷壁渣溶下来,总热损涨,渣口热损进一步降低,当总热损涨至快正常、渣口也基本正常,此时恢复正常负荷,缓慢降低炉温,降氧加煤,恢复给料罐压差和次高压蒸汽。

### 3.3 总热损高(挂渣少),渣口热损低

调整方法:(1)降负荷。(2)降氧加煤。(3)提高给料罐压差。提高次高压蒸汽,降负荷,减少渣口渣量,炉温不变,防止渣口堵,此时渣口热损因渣量减少会上涨,渣口压差不变或微降,此时降氧加煤,降低总热损,等水冷壁渣挂多,总热损降低维持时间长点,总热损正常且稳定,开始加氧减煤提炉温熔渣口渣、慢、防止反复波动,防止气化炉渣脱落,渣口恢复后,加

负荷,降炉温,恢复正常工况。

上面未说明煤质变化:煤质变化其本质就是灰份降低相当于减氧加煤;灰分变大,相当于加氧减煤但煤质变化不及时调整氧系数其实是炉温和渣量同时变化,更加不可控,热损极端化,严重情况下,煤质变化大极有可能造成设备损坏或气化炉跳车。T4-T1温差也要及时取样做好分析,提前应对突发异常状况<sup>[5]</sup>。

#### 4 热损处理方法

##### 4.1 调整气化炉系统运行参数

在实际操作中,如果发生了水冷壁热损的波动,应视实际情况,首先减小氧煤比,再加大次高压汽用量,如果上述两项措施都不能有效地抑制热损,则进行降负荷;其次,要保证进料器的压力平稳,避免进料器内的压力起伏过大,导致系统负载过大;当热量损失超过5.0MW后15分钟仍不能得到有效的控制,同时在气化炉的壁面上有较高的温度,则表明在气化炉中发生了不均匀的燃烧,对炉壁的冲刷非常严重,需要停机维修。在此基础上,本项目提出了一种新的解决方案,即通过对气化炉的操作参数进行调节,从而实现了对气化炉热损的有效调控,并根据具体条件对其进行改造和优化,从而实现了对气化炉热损的稳定<sup>[6]</sup>。

##### 4.2 采用国产烧嘴

针对原有进口点火烧嘴结构特征及存在的问题,经过大量多批次试验,我国研制成功了具有自主知识产权的新型、高效率的整体式点火烧嘴。利用高能点火器的特点,克服了低温、积水、积灰结焦等恶劣工作条件,实现了高功率点火器在火焰喷嘴中的应用。对点火烧嘴结构进行优化。为了提高水侧的对流传热系数,并使烧嘴端面对火焰的金属壁面温度较低。在向火一侧,采用了一种耐高温的耐火浇注料,将高温火焰和冷却水端面隔绝开来,从而降低了端面的温度,延长了烧嘴端面的使用寿命<sup>[7]</sup>。中央管道内仍有一定数量的氮流入,不仅可以阻止高温烟气的倒流,还可以起到对点燃头的冷却作用。通过上述优点,实现了点火源长期稳定运行,提高煤粉的气化效率,维持水冷壁高效结渣,实现稳定的水冷壁散热。对国产烧嘴进行结构改进,设计一种新的煤

粉和氧掺混通道,增强煤粉和氧的混合效果采用低速直流煤粉射流,为煤粉提供一定的转动动量,借助高速旋转的氧射流的卷吸,将煤粉均匀分散于全炉中部,避免因煤粉输送管路不均而引起的偏烧。此外,自制烧嘴具有降低煤粉回转半径、缩小高温火焰半径、降低高温火焰接近炉膛的概率等优点,对抑制水冷壁散热具有重要意义。

#### 结束语

气化炉运行日常要注意水冷壁总热损、渣口热损及时调整,一旦恶化两极化,原本加减氧就能解决的问题会扩大化,两极化形成后,调整周期长、风险大(煤质变化大时)还会烧损设备、气化炉跳车、渣口堵渣风险,造成不必要的损失。日常做好煤质控制尽量保持稳定,定期对煤质,炉渣,煤泥进行取样分析。在煤质不变的情况下,煤粉流量、气化炉操作温度、氧煤比的控制、蒸汽量、給料罐压差以及气化炉负荷都会影响水冷壁上的挂渣。因此,选择合适的煤种以及调整相应的工艺参数,才能保证水冷壁上有良好的挂渣形态,更好地保护水冷壁,使气化炉运行更平稳、更高效。

#### 参考文献

- [1]郑振安,黄元凯.浅析Shell煤气化技术在化工生产中的应用[J].化肥设计,1998(3):6-9.
- [2]王泉清,曾蒲君.煤灰熔融性的研究现状与分析[J].煤炭转化,1997(2):32-37.
- [3]李宝霞,张济宇.煤灰渣熔融特性的研究进展[J].现代化工,2005(5):22-26.
- [4]张玉柱,黄斌.宁东煤在煤气化工艺中的应用分析[J].煤化工,2013(4):22-25.
- [5]蔡力宏,吴跃,杨磊,等.GSP气化炉水冷壁以渣抗渣煤质适应性研究[J].现代化工,2017,37(12):178-181.
- [6]韩斌,李佳明,杨建荣.浅析GSP气化炉水冷壁初次挂渣的优化措施[J].化工管理,2015:2-4.
- [7]应玉华,江青茵,曹志凯,等.Shell气化炉挂渣模型及其操作性分析[J].厦门大学学报(自然科学版),2016,55(1):22-27.