

# 预防水煤浆气化炉烧嘴损坏的关键技术与策略探讨

陈拥军<sup>1</sup> 王红柱<sup>2</sup>

(湖北三宁化工股份有限公司 湖北枝江 443200)

**摘要:** 通过系统的研究,我们发现水煤浆气化炉中存在着烧嘴压差波动、冷却水盘管泄漏等严重的问题,因此,我们采取了全面的措施,以改善其运行状态,并将其与其他类似的烧嘴的设计参数进行比较。经过深入研究,我们发现了一些有效的管理策略,并制定了一系列优化改进方案,以期对相关人士提供更多的参考。

**关键词:** 水煤浆气化炉; 烧嘴损坏; 关键技术; 管理策略

## Discussion on the key technology and management strategies to prevent the nozzle damage of coal water slurry gasifier

Chen Yongjun<sup>1</sup>, Wang Hongzhu<sup>2</sup>

(Hubei Sanning Chemical Co., Ltd. Hubei Zhijiang 443200)

**Abstract:** Through systematic research, we found that there are serious problems such as nozzle pressure difference fluctuation, cooling water coil leakage in the coal water slurry gasifier. Therefore, we took comprehensive measures to improve its running status and compare it with the design parameters of other similar burner mouths. After in-depth research, we have found some effective management strategies, and developed a series of optimization and improvement programs, in order to provide more reference for the relevant people.

**Key words:** coal water slurry gasifier; burner damage; key technology; management strategy

水煤浆加压气化工艺在国内已经得到了普遍的应用,它的技术已经相当成熟,并且在很多方面都取得了巨大的进步。它的关键部件之一就是烧嘴,这种设备能够保证安全、稳定,并且能够保证气化炉持续运行。它对于煤化工企业来说,具有至关重要的意义。由于水煤浆加压气化炉的一次性连续使用寿命有限,目前 6.5MPa 的平均寿命仅有 80d,因此,为了提高单台气化炉的可靠性,我们采取了多项技术措施,包括建立备用炉,定期检查,及时发现并处理工艺烧嘴的异常情况,从而有效地提高单台气化炉的可靠性。

### 1 水煤浆加压气化炉工艺烧嘴结构

水煤浆气化炉的烧嘴由三个独立的组成部分组成,分别是中央氧管、煤浆喷头以及外部氧管,它们彼此之间形成紧密的联系。采用这种结构,并配备一个高效的冷却水盘管,可以大大提升系统的稳定性和可靠性。为了进一步改善烧嘴中心氧管的性能,我们采用了缩口的设计,使得它能够在 150m/s~180m/s 的流速范围内运行,同时,还在烧嘴端面的基准面上增加了一定的缩入量,使水煤浆和中心氧能够有机地结合在一起。通过改变水煤浆的出口管道,我们可

以实现 2m/s~4m/s 的流量,从而大大提升水煤浆的输送效率。采用 12m/s~20m/s 的出口流速,结合中心氧的添加,可以有效地改善水煤浆的流变特性,使其在脱离烧嘴时仍然保持较高的雾化效率。为了达到最优的气化效果,外氧管口的缩口比例应当尽量增加,并且其出口流速应当保持在 160m/s~200m/s 之间,这样才能够有效地将水煤浆混合物进行雾化,从而达到理想的气化效果。其结构见图 1。

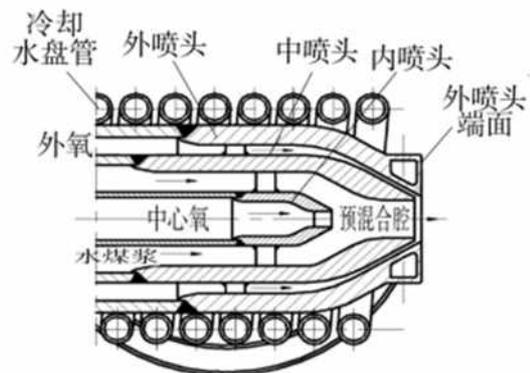


图 1 水煤浆气化炉工艺烧嘴头部典型结构

## 2 烧嘴损坏的关键技术

### 2.1 气化炉运行关键参数

在气化炉的运行过程中,煤浆的质量比例在 61.8%~62.5%之间,它的粘度范围在 800MPa.s 至 1000MPa.s 之间,具有良好的流动性;这个系统的负载是 80m<sup>3</sup>/h,煤浆压差大约是 0.4MPa,气化炉的头部与燃烧室之间的压差是 7.6MPa,气化炉的操作压力是 6.0MPa,中心氧的流量占比在 18%~20%之间;在洗涤塔顶部,CO+H<sub>2</sub>的有效浓度介于 81%~82%之间,而甲烷的浓度则更高,可以达到 800 × 10<sup>-6</sup>~1000 × 10<sup>-6</sup>,甚至更多,可以满足各种不同的需求;通过调整流量,使其处于 28m<sup>3</sup>/h~30m<sup>3</sup>/h 的范围内,同时将出口温度降低到大约 30℃。

### 2.2 烧嘴压差波动瞬时各参数变化情况

(1) 通过 3d~7d 的持续运行,新烧嘴的煤浆压力显著下降,由原本的 0.4MPa 急剧下降,甚至达到了 0.2MPa,而且还出现了明显的负压变化。在过去的一段时间里,生产装置的各项工艺指标均保持稳定,甚至出现了负压差,但是随着时间的推移,这种状态逐渐改善,最终恢复到了正常水平。在使用烧嘴的全部过程中,压力的变化是一种不可避免的结果。

(2) 当氧气阀门的开启程度发生剧烈变化,氧气的流量也会迅速增加,这将导致气化炉头氧管线上下游切断阀间的压力降低,从而使得氧煤比大幅提升,进而引起气化炉燃烧室上部的高温热电偶温度急剧上升,从 1230℃ 飙升至 1350℃,最终引发了一系列的危险警报。

(3) 瞬间,洗涤塔顶部的粗煤气中的甲烷含量急剧下降,从 800 × 10<sup>-6</sup> 到 500 × 10<sup>-6</sup>,再到 600 × 10<sup>-6</sup>,有时甚至会更低,这是因为烧嘴压力的急剧波动造成的;经过改进,粗煤气的二氧化碳浓度已经大幅度降低,由 18% 降至 20%,而一氧化碳的浓度也在短时间内下降了 1~2 个百分点。

(4) 当烧嘴压力变化剧烈时,冷却水盘管的进出口流量会出现轻微的上下波动,此外,冷却水回水分离罐顶的 CO 浓度也会超过 8 × 10<sup>-6</sup>,这将导致系统不得不停止运行,并更换烧嘴。

### 2.3 工艺烧嘴存在问题

(1) 在烧嘴下线检查中,发现头部端面出现了严重的龟裂,其分布呈放射状,而且随着烧嘴在炉内运行时间的增加,龟裂裂纹的数量和深度也会不断增加。随着烧嘴压力变化的频率增加,持续时间延长,烧嘴表面的烧蚀痕迹会变得更加清晰,而且冷却水盘管的角焊缝处的损坏程度也会更加严重。

(2) 随着炉内温度的升高,烧嘴的外氧喷口会出现不同程度的内收缩。

(3) 因为中央氧气喷嘴的尺寸减小,造成了严重的冲击和磨损,从而使它的内壁变得“刀刃”;因为中心氧气阀的固定装置遭

受了严重的冲击和磨损,使得它的运行变得异常不稳,而且还与煤浆喷嘴之间存在着明显的轴向偏移。

(4) 由于煤浆喷头的冲刷和磨损,其内部的直径和尺寸都有了显著的变化,而且其出口处的断面形态也变得像“刀刃”一样,而其内部的斜面也受到了严重的破坏。

(6) 烧嘴的使用寿命通常只有 30d~45d,这与行业的平均寿命相比差距甚大。

### 2.4 烧嘴压差波动期间工艺操作

(1) 当发生烧嘴压差变化时,采取快速降低总氧量的措施可以有效地抑制压差的下降,一般而言,只需要降低 5% 的总氧量,就能够达到显著的抑制效果。

(2) 当烧嘴压力变化时,提高中心氧气流量的比例可以减轻压力变化,但这种作用并不显著。

(3) 为了稳定烧嘴压差波动,我们需要通过降低氧煤比来实现。为了确保系统运行稳定,我们需要严格监控渣口压差和粗煤气中 CO 组分的变化。除了锁斗排渣、捞渣机的电流、渣量以及渣样的变化,我们还应该结合其他因素,对气化炉的运行状态进行全面评估。

(4) 当烧嘴的压力逐渐下降时,煤浆的雾化效果会变差,这会对气化炉的黑水产生负面影响。为了有效改善系统水质,我们必须采取措施,比如增加气化炉的冷却水量,增加气化炉和洗涤塔排出的黑水量,以维持水体中离子的平衡,从而实现稳定的生产。

(5) 如果烧嘴压力没有达到正常水平,我们不建议重新调整总氧量。但是,如果压力正常,我们可以采取少量多次的方法,逐渐将总氧量调整到正常的操作数值。

## 3 影响水煤浆气化炉工艺烧嘴使用寿命的主要因素

多种因素会对烧嘴的使用寿命产生重大影响,其中包括:操作温度、燃煤质量、烧嘴材料、运行状况的稳定性、系统的负载水平及压力。

### 3.1 操作温度的影响

在水煤浆气化炉工艺中,烧嘴需要被插入到 1350℃ 的炉膛内,以保持其正常运行。虽然烧嘴的头部配备了冷却盘管,但由于炉内高温的作用,它依旧可能遭受灼热和腐蚀的损害。当气化炉的燃烧室温度上升时,灼烧侵蚀就会变得越来越严重,特别是当温度波动剧烈时,这种侵蚀就会更为突出,最终导致烧嘴的破裂,这也是引发烧嘴破裂的主要原因之一。烧嘴喷嘴在机械加工过程中承受的应力极大,因为它们的材料及厚度各异,在极端的高温条件下,这些应力会被迅速释放,进而引发热疲劳裂纹的出现。当烧嘴的使用寿命越来越长,裂纹就会变得越来越明显,从而导致烧嘴的头部出现凹陷、一些焊接处出现破损等问题。

### 3.2 燃煤品质的影响

烧嘴的使用寿命取决于燃料的灰熔点,这会对烧嘴的炉温和

比氧消耗产生重要影响。在气化炉运行过程中,由于使用的燃煤种类为高灰熔点煤,炉膛内壁会形成一层厚厚的挂渣层,这种挂渣层会随着温度的升高而不断增厚,最终形成一个拱顶状的渣瘤。当高温流体从烧嘴中喷射出来,与渣瘤相撞时,会造成折返,如果这种情况发生在没有冷却水的地方,就会造成烧嘴的头部形成大量的凹陷。如果没有及时有效地进行修复,随着运行时间的增加,就可能会导致烧嘴被烧坏,最终造成泄漏。除此之外,煤浆的浓度颗粒大小也会对烧嘴的使用寿命产生影响。如果煤浆浓度较高,煤浆的流动性就会降低,并且煤浆的输送和雾化效果不佳,这就容易导致烧嘴的燃料压力和温度变化,从而增加烧嘴的磨损;当煤浆的粒径变得较大,或者添加剂的特性和用量发生了变化时,就可能导致其稳定性变得不理想。

### 3.3 烧嘴材质的影响

为了满足气化炉工艺烧嘴的复杂运行要求,我们采用 Inconel600 合金制造出高效、耐用的外氧、煤浆和中心氧管。该合金由镍-铬铁基组成,可以提供出色的强化效果,并且在高温下也表现出良好的抗氧化能力。使用 Haynes188 材料制作的烧嘴头部具有卓越的耐高温性能,可以有效减少烧嘴煤浆环隙的磨损,从而大大延长其使用寿命,使其更加耐用、可靠。若气化炉的烧嘴和它的头部没有选择合适的材料,则在极端的高温环境中,它们的使用寿命将大幅度减少。

### 3.4 工况稳定性的影响

在气化炉的运行过程中,氧气的供应、煤的加入以及炉的压力都是影响氧煤比的重要因素。如果氧气的供应量不够,煤的加入量不稳定,或者炉的压力发生剧烈的波动,就可能导致氧煤比失衡,这将导致雾化角经常变化,最终导致烧嘴头部的端面温度变化剧烈。当烧嘴在高温条件下运转时,它将面临着巨大的热应力波动,从而导致严重的龟裂现象。变化的运行工况会显著地影响烧嘴的使用寿命,这是不可忽视的。

## 4 烧嘴优化改造

经过大量调研和论证,三宁公司发现烧嘴压差波动的主要原因是参数设计不当,因此,他们对现有烧嘴参数进行了全面优化,以提高烧嘴的性能和可靠性。

### 4.1 外喷头端面增加耐磨板的改进

采用 Inconel600 作为耐磨板的材料,我们在保持其原有尺寸和结构的基础上,采用一层 1mm 厚的耐磨硬质合金,以有效抵御外喷头端面的磨损,从而显著提升了喷头的耐磨性。经过 82 天的使用,烧嘴的外观并未出现刃状、龟裂,但是在实际测量中,它的内径达到了  $\Phi 32.65\text{mm}$ ,而且与标准值相差不大,接近于原来的尺寸。

### 4.2 外喷头改进

首先,通过对原有的 Inconel600 基材进行改进,使得冷却水的

流道从 V 字型转换成环状,从而提高了冷却效率,并且降低了因厚度变化而造成的应力;此外,将喷头的端部从原本的椭圆形转变为平整的,并在火焰端部涂上具有高耐热性和抗腐蚀性的陶瓷层,以提高使用寿命。经过改良的耐磨烧嘴,其表现出的龟裂程度明显优于传统的烧嘴。根据测量结果,外喷口径为  $\Phi 44.7\text{mm}$ ,与标准值相比,其磨损程度极低,磨损量极少,表现出良好的性能。

### 4.3 冷却水盘管的改进

在初期使用时,我们烧嘴冷却选择的是冷却水盘管,使用过程中会出现冷却水中 CO 含量报警,判断为冷却水盘管穿孔,后采用夹套式烧嘴,提高冷却水盘的耐压性,我们应适当地增大它的厚度,夹套考虑具有高温稳定性和耐腐蚀性的材料,可有效降低高温的作用,这样才能抵御工艺气体的高温冲刷和硫化氢的侵蚀。

### 4.4 烧嘴盘管角焊缝处增加保护设施

由于高温热辐射以及煤气中的硫元素的侵蚀,在气化炉内,工艺烧嘴外部的冷却水盘管与氧喷头头部的水夹套之间的接合处很可能发生破损,从而影响整个系统的运行。为了有效地防止烧嘴维修时出现的问题,应该在角焊缝外侧焊接一段保护套管,以确保其安全性和可靠性。通过对烧嘴参数的精心调整,使得它的使用寿命大大提高,从 30d 到 45d,甚至达到了最高的 92d,平均达到了 65d 以上,这样就完全解决了烧嘴压差波动、盘管破裂等问题,有效防止了由此导致的安全事故;经过运行,气化炉的有效气体积分分数显著提高,达到了令人震惊的 81.5%~82.0%,为三宁公司的安全性和稳定性带来了极大的改善。

## 结束语

综上所述,工艺烧嘴对水煤浆气化炉的运行至关重要,它的可靠性和耐久性将会极大地提升气化炉的整体运行效率。为了延长工艺烧嘴的使用寿命,我们应该采取全面的管理措施,精心设计出有效的维护计划,完善工艺流程,结合多种技术手段,最终达到提升生产效率、节约成本的目的。

## 参考文献

- [1]杨尚磊,张美玲,孙清涛.绿色煤化工水煤浆气化炉烧嘴的激光制造与再制造关键技术及应用[J].中国科技成果,2021(2):1.DOI:10.3772/j.issn.1009-5659.2021.02.005.
- [2]李龙,李欢,丁海洋.水煤浆气化炉工艺烧嘴压差波动分析及应对措施[J].2021.DOI:10.3969/j.issn.1004-9932.2021.02.006.
- [3]朴东哲.水煤浆气化装置高负荷长周期运行瓶颈问题及解决[J].2021.DOI:10.3969/j.issn.1004-9932.2021.03.006.
- [4]毕大鹏,李潇,胡振中,等.一种气化炉烧嘴抗腐蚀防护装置:CN202023015081.2[P].CN214032351U[2023-07-25].
- [5]韦新芳,陈卫岗.德士古气化炉烧嘴长周期运行的方法[J].化工管理,2021(13):2.