

水煤浆气化炉托砖盘温度异常解决办法探讨

赵 渊 高志强 王卫军

蒲城清洁能源化工有限责任公司 陕西 蒲城 715500

【摘 要】为了解决 AP 水煤浆气化炉托砖盘频繁出现温度超标的实际问题，对激冷水流量、激冷室结垢、激冷室液位、气化炉液位及气化炉温度引起托砖盘超温现象并结合停炉后检查情况等方面进行综合探讨分析，结果显示，激冷室结垢是引起托砖盘温度升高的主要原因，改善系统水质可缓解结垢现象，装置通过技术改造进行优化，确保了气化炉的长周期运行。

【关键词】：气化炉；托砖盘；温度异常

蒲城清洁能源化工有限责任公司煤气化装置采用美国 GE 公司水煤浆加压气化技术和宽温耐硫部分变换流程，主工艺单元包括煤浆制备、气化、变换、火炬、灰水处理、蒸氨及灰水预处理等。

本装置控制室布置在全厂中央控制室，装置以煤为原料，产品气为变换气，总生产能力为 $8.37 \times 105 \text{ Nm}^3 (\text{CO} + \text{H}_2) / \text{h}$ ，其 6 套气化系列，气化炉燃烧室 $\phi 3200 \text{ mm}$ 、激冷室 $\phi 4400 \text{ mm}$ ，正常情况下 4 套运行，2 套热备。变换共两个系列，每个系列对应 90 万吨甲醇。气化炉设计压力为 8.7 MPa ，每台气化炉投煤量（干基）约为 $2397 \text{ t} / \text{d}$ ，设计单炉投煤浆量 $120 \text{ m}^3 / \text{h}$ ，有效气（ $\text{CO} + \text{H}_2$ ）产气量 $138940 \text{ Nm}^3 / \text{h}$ 。自 2021 年 2 月以来，气化炉多次出现托砖盘温度高的问题，严重影响了气化炉的稳定运行。

1 气化炉内件的布置及托砖盘的作用

水煤浆气化炉分为燃烧室和激冷室山下两段，燃烧室内衬有多层耐火砖用以承受高温气流及熔渣的冲刷；激冷室包括上升管、下降管以及折流板等，下降管上部有激冷环（见图 1）；托砖盘的主要作用支撑燃烧室耐火砖，运行过程中需承受炉内熔融态灰渣传递的热量，托砖盘的冷却由激冷后的工艺气经下降管与上升管之间环系对其进行冷却，以保证托砖盘温度的正常。^[1]

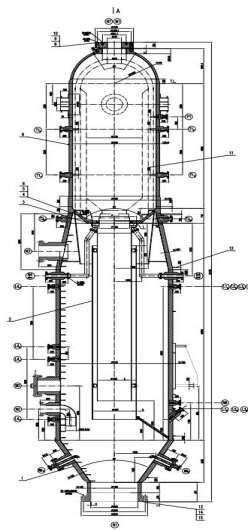


图 1 AP 水煤浆气化炉图

2 托砖盘温度高的现象

据统计蒲洁能化公司自 2020 年以来，气化炉共计出现五次因托砖盘温度高造成的被迫停车（见下表）。

停车时间	炉号	运行时间
2020 年 2 月	4#气化炉	36.3
2021 年 4 月	5#气化炉	36.8
2021 年 5 月	3#气化炉	45.9

2021 年 6 月	5#气化炉	31.6
2022 年 1 月	6#气化炉	52.5

（1）气化炉在正常运行 15 天以后，托砖盘测温点就开始缓慢上涨，在此期间其余运行指标均无异常；

（2）气化炉运行至 25 天以后，当托砖盘四个测温点均开始上涨至报警值（ 300°C ）以上，当温度达到 300°C 以上是，气化炉激冷室液位也会出现缓慢上涨，同时渣口压差也会出现波动。

（3）随着运行时间的进一步增长，气化炉液位会出现波动，此时托砖盘温度会出现快速上涨，从而被迫气化炉停车。

（4）气化炉运行两周后气化炉排黑切断阀开关困难。

（5）停炉后激冷室内部结垢严重，下降管与上升管之间环系基本堵死，气相流道结垢较厚。

3 托砖盘温度异常原因分析

（1）气化炉下降管与上升管之间环系结垢堵塞，经过激冷后的工艺气无法进入到托砖盘部位对其进行冷却，导致热量累积从而表现出托砖盘温度持续上涨。从气化炉停车后进炉检查发现每次下降管与上升管环系出现堵塞，均表现出托砖盘温度高。

（2）气化炉操作不当，反应不完全，正常运行过程中生成大量细灰，并且细灰中碳含量偏高（碳的黏结性较强），随着工艺气的夹带，在托砖盘底部及测温点上富集，最终造成托砖盘温度异常。

（3）运行过程中燃烧室渣口砖减薄或局部损坏，或者是下降管出现磨损穿孔，导致高温工艺气直接到达托砖盘部位，造成温度偏高。此种情况温度会持续上涨且上涨速率较快，需立即停车。

（4）气化炉运行过程中控制激冷室液位偏低，工艺气冷却不足，也会影响托砖盘温度。气化炉液位偏高、偏低都会对托砖盘温度造成影响。蒲洁能化气化装置主要是气化炉液位偏低，液位太低会导致工艺气增湿、除灰效果降低，加剧带灰现象发生，会加剧下降管、上升管及托砖盘的结垢，同时增大洗涤塔的含固量，引起进入激冷环的激冷水含固量增大，导致激冷环内结垢，流通面积减小，激冷水流量降低，导致托砖盘温度快速上涨，因此对于气化炉液位的控制需选择最优的控制液位，对稳定托砖盘温度的效果较好，达到维持气化炉长周期稳定运行的目的。

（5）煤浆浓度过高，气化炉反应不完全。水煤浆浓度是指水煤浆物系中的固含量，过高的水煤浆浓度会使水煤浆的粘度增大，不宜泵送，使装置不能稳定运行，一般气化用水煤浆浓度在 $60 \sim 70\% \text{ wt}$ 之间，水煤浆的流动性可以用水煤浆的表现粘度来表示，它和煤种有关。表现粘度越大，其流动性越差，不易泵送，雾化效果差。在保证水煤浆浓度的前提下，希望得到粘度低、流动性好的水煤浆。在煤浆的实验中，煤浆浓度超过 $50\% \text{ wt}$ 时粘度会急剧增大，以至于难以流动。为了得到高浓度和低粘度的煤浆，一般采用添加剂的方法，以降低煤浆粘度。因此煤气化生产中水煤浆浓度须在一定的合理范围之内才能使气化达到较优的情况。

蒲洁能化公司自 2020 年 12 月开始将煤浆浓度从 62.5%的基础上不断提高, 气化细渣中碳含量最高时达到 54%, 充分反应了气化反应的不充分, 也是造成托砖盘温度高的一大因素。

4 处理及解决措施

(1) 适当提高气化炉运行温度, 在提高煤浆浓度的同时增加氧煤比, 确保气化反应的碳转换率。氧煤比是指氧气和水煤浆的体积比。它是气化炉操作的重要参数。氧煤比增加, 将有较多的煤发生燃烧反应, 放热量增大, 气化炉温度升高, 为吸热的气化反应提供更多的热量, 对气化反应有利。因此, 碳的转化率、冷煤气效率及产气量上升, CO₂ 和比氧耗、比煤耗下降。随着氧煤比的进一步增加, 碳的转化率增加不大, 同时由于过量的氧气进入气化炉, 导致了 CO₂ 的增加, 使冷煤气效率、产气率下降, 比氧耗、比煤耗上升。因此, 氧煤比应有一个最合适值, 一般认为氧/碳原子比在 1.0 左右比较合适。本气化装置氧煤比前期控制在 465 左右, 后期在煤浆浓度提高的同时, 氧煤比也需同步提高, 逐步达到 470-480; 若单方面的提高煤浆浓度, 氧煤比过低则煤将燃烧不充分, 其最终会导致气化效率下降、粘结性的物质较多附着在托砖盘处, 随着时间推移, 其温度上涨形成必然。

(2) 调整烧嘴尺寸, 优化烧嘴雾化角, 减少细灰的生成。在烧嘴未进行调整时也可适当减少中心氧的比例来调整雾化效果, 但其效果有限。气化炉内的流动特点, 炉内的流场区域可以分为射流区域、回流区域以及管流区域。气化炉上游、烧嘴正下方的区域即射流区域, 该区域的速度相对壁面附近区域较大; 气化炉拱顶区域以及靠近炉体壁面的区域即回流区域, 在此区域内发生明显的回流现象, 回流的速度相对射流速度来说较小; 气化炉射流区域的下游一直到气化炉出口附近这部分区域为管流区域, 管流区域的速度明显小于射流区域和回流区域的流速。在高压条件下, 气化炉内高速流动的氧气与水煤浆滴相互作用, 形成压力梯度为负的射流区域, 从而间接产生了靠近炉体壁面的回流区域。烧嘴头部角度的变化对煤气化尤为重要, 其雾化角的比匹配都会加剧细灰的形成, 最终引起托砖盘温度的上涨。

(3) 严格控制原料煤指标, 防止运行过程中原料煤煤质的频繁波动; 针对原料煤紧张的时段, 合理进行不同煤种的掺混; 同时对影响气化炉运行的关键指标(灰分、灰熔点等)进行每日分析指导气化炉的操作。

煤在工业生产中需要对其进行水分、灰分、挥发分、固定碳以及相关元素的分析, 具体如下:

①水分

煤中的水分按存在形态可以分为三种: 外在水, 也称游离水。内在水, 也称吸附水。第三种为结晶水, 也称化合水。

②灰分

灰熔点对选择最佳的气化温度是很重要的, 灰熔点和灰的粘温特性决定了气化的操作温度。灰熔点一般分为四个温度: 变形温度 T₁、软化温度 T₂、半球温度 T₃、流动温度 T₄、熔渣气化工艺一般在高于灰熔点的 T₄ 流动温度 30~50℃以上操作, 使灰呈熔融态沿气化炉耐火砖流下。

③挥发分

挥发分是煤样在一定温度下隔绝热空气加热一段时间后的失重率扣去水分的数值。煤的挥发分与煤的变质程度有关, 变质程度较浅的煤中挥发分含量较高。挥发分含量的高低对煤的反应活性有影响, 挥发分越高, 煤的反应活性越好。

④固定碳

固定碳是煤中除去水分、灰分、挥发分等之后剩余的可燃物质, 它是煤中的有效物质, 固定碳含量越高, 利用价值越大。

元素分析如下:

⑤碳

碳是煤中的重要的可燃物, 纯碳的燃烧需要很高的温度, 含碳量越高的煤越不容易着火燃烧。

⑥氢

氢是煤中的一种可燃物, 氢的含量与煤种有关, 煤龄越长, 含氢量越少。

⑦氮

煤中的氮含量不变, 一般为有机氮, 它决定了煤气中的氮含量和煤气冷凝水的 PH 值, 冷凝水中的 PH 值高可以减轻设备的腐蚀。

⑧氧

煤中的氧含量和煤质有关, 煤龄越短, 煤中的氧含量越高。煤中的氧含量和水含量是衡量煤变质程度的重要指标, 也是衡量成浆性的重要指标。氧含量和水分越高, 煤的成浆性越差。

⑨硫

煤中的硫以无机硫和有机硫两种形式存在, 在气化炉中经高温气化后主要生成 H₂S 和 COS。它们的存在都会对设备造成腐蚀, 并会使后续工段的触媒中毒。因此, 硫在合成气中是一种有害物质。

⑩氯

一般煤中的氯 80~90%会进入气相, 如果合成气中氯的含量较高, 会对管道和设备造成严重腐蚀。

综上所述, 煤的选择需参考以上因素, 因此其工业分析及元素分析对化工生产起着至关重要的作用。

(4) 严控气化灰水系统水质, 根据煤质及原水水质的情况, 选择合适的分散剂及絮凝剂同时可加大气化外排水量, 加强水质置换, 确保灰水悬浮、硬度、碱度及溶固尽量低。蒲洁能化公司在出现托砖盘温度高的情况下, 首先将气化外排水量增加至原始设计值, 同时对药剂配方进行了适当调整; 自 2022 年后因托砖盘温度高造成的停车大大降低。

(5) 加大气化炉水循环量。通过加大气化炉激冷水量及排黑量(即加大气化炉水循环量)可加减少气化生成细灰在气化炉内的聚集, 保证气化炉激冷室内水质, 降低工艺气带灰量, 从而减少灰渣在工艺气相流道的累积。激冷水流量决定了激冷室底部排黑流量的大小, 激冷水流量偏小时, 排黑流量随之减小, 230℃ 的激冷水与工艺气换热后温度升高, 排黑流量减小后, 热平衡失衡, 激冷室出现热量积累, 导致水浴降温效果变差, 工艺气温度升高, 引起工艺气对托砖盘的降温效果降低, 托砖盘温度出现上涨。工艺气进入洗涤塔后再次进行传质、传热过程, 引起激冷水温度升高, 进而气化炉激冷室热量积累加剧, 激冷室底部黑水与工艺气的传热方式由自然对流传热变为泡核沸腾传热, 黑水蒸发量增大, 导致气化炉排黑再次减小, 黑水含固量增大, 如此恶性循环, 严重时导致传热效率急剧下降, 传热方式转为膜状沸腾传热, 这时气相中夹带大量的水膜造成激冷室出现带水现象使托砖盘温度持续升高。激冷水流量的大小决定了下降管内壁水膜的厚度, 当气化炉在低负荷运行时, 激冷水流量可以保持低流量运行(360m³/h 以上), 气化炉在高负荷下运行时或者高炉温操作时, 需要增大激冷水流量才能保证水膜的厚度, 维持热平衡。

(6) 采取气化炉高压灰水进行气化炉补水, 降低气化炉激冷水温度, 此措施可延缓托砖盘温度的升温速率。蒲洁能化公司在气化炉运行至 20 天左右, 托砖盘温度上涨至 280℃ 时开始补加气化炉直补水(高压灰水), 托砖盘温度升温速率能大大降低。

(7) 适当增加上升管与下降管之间环系尺寸。增加环系尺寸即增大了粗煤气气流通道, 降低粗煤气流速, 可有效减少粗煤气的带灰、

带水, 同时也可变相的延缓环系结垢堵死的时间, 对控制托砖盘温度有很好的促进作用。

5.结束语

蒲洁能化公司通过以上的调整气化炉运行至 30 天后气化炉排黑

切断阀仍能正常动作。特别是进行托砖盘底部高温凝液冲洗水改造后再未出现过托砖盘温度高的情况, 但是下降管与上升管环系结垢堵塞的现象还时有发生, 还在进一步优化调整中。

参考文献:

- [1] 王云刚,刘克存.气化炉托砖盘温度异常原因分析及管控思路探讨[J].煤化工, 2020,6(11):10-13.
- [2] 陈世亮.德士古气化炉托砖盘温度高的探讨及优化处理[J].现代化工, 2017,5(07):15-18.
- [3] 李志祥,武兵元,刘泽. GE 气化炉上升管环隙堵渣的原因分析及调整措施[J].煤化工, 2015, 43(05):31-33.