

水煤浆气化工艺烧嘴结构优化及应用效果探究

廉学强

中海石油化学股份有限公司 北京 100029

DOI:10.12238/ems.v7i7.14299

[摘 要] 本文针对工艺烧嘴运行过程中存在烧嘴压差波动、使用寿命短的问题，通过对工艺烧嘴流道尺寸优化、煤浆喷头耐磨处理和由盘管冷却更换为水夹套冷却的方式，不断优化提升工艺烧嘴性能，并经实际运行验证，经优化的工艺烧嘴烧嘴压差稳定，同时工艺烧嘴运行寿命显著提升。

[关键词] 工艺烧嘴；烧嘴压差；煤浆喷头；水夹套冷却

中海石油华鹤煤化有限公司气化装置应用 GE 水煤浆气化工艺，气化炉两开一备。气化装置自 2015 年投产以来，整体运行较为稳定，存在的主要问题是烧嘴压差频繁波动，工艺烧嘴自气化炉投料后约 30 天左右开始出现烧嘴压差频繁波动的问题，有时烧嘴压差会降至 0 甚至负数，多次触发烧嘴压差低联锁跳车。与此同时，工艺烧嘴使用寿命较短，严重制约气化炉的长周期运行。

1 烧嘴压差低

1.1 烧嘴压差低危害

原设计气化炉满负荷运行（煤浆 37m³/h）状态下烧嘴压差约 0.3MPa，随着烧嘴长时间运行，煤浆喷头逐渐磨损，烧嘴压差随之持续下降，并且伴有大幅度波动。烧嘴压差波动会导致氧气瞬时流量激增，使氧煤比迅速失衡升高，直接引发气化炉内温度急剧攀升，气化炉有效气体成分及甲烷含量会出现瞬态波动，增加了工艺参数调控的复杂性。与此同时，烧嘴会出现振动加剧或异常噪声，烧嘴压差波动会造成烧嘴头部局部过氧，引发高温区回流紊乱及高温熔渣无规律卷吸，导致烧嘴头部遭受高温烧蚀，加剧烧嘴泄漏风险并加速其损坏，进一步影响气化装置的长周期稳定运行。

1.2 烧嘴压差低影响因素

1.2.1 流道影响

生产中诱发烧嘴压差波动原因比较复杂，不是单一影响因素的结果，往往是多个影响因素共同交织作用的结果。原工艺烧嘴煤浆设计压差约 0.3MPa，氧压设计 1.5MPa，运行中中心氧比控制在 15%，同时兼顾上下（10%~20%）的调节裕度，在满足烧嘴雾化需求的同时，对于气化炉内的流场也有弹性调节作用。烧嘴运行过程中，煤浆的流动状态会受到外环氧和中心氧流动的影响，中心氧穿过煤浆通道半预混腔喷出，其流态会对煤浆的流动产生影响，对煤浆流股也有抽吸挤压的作用，外环氧高速的流动会对煤浆喷出流股产生周期性弥散振荡影响。综上，工艺烧嘴各通道之间的流股会相互作用，共同影响烧嘴的稳定运行。

1.2.2 煤浆喷头磨损

工艺烧嘴运行过程中，煤浆会持续对煤浆通道内部和中心氧通道外部进行冲刷磨损，导致煤浆通道会逐渐变大，在烧嘴压差上还会表现为工艺烧嘴一般运行至 30 天左右就会出现压差降低或波动。当前工艺烧嘴普遍采用哈氏高温合金材料，虽较其他材质更耐磨，但仍无法彻底解决磨损问题，烧嘴运行至 40~50 天左右，煤浆喷嘴就磨损呈刀刃状，此时烧嘴压差波动幅度较大，气化炉需停车更换工艺烧嘴。

1.3 烧嘴优化改造

1.3.1 流道尺寸优化

通过优化工艺烧嘴流动参数及流场状态，在原有烧嘴压差 0.3MPa 上，改变烧嘴各流道尺寸，适当提高烧嘴压差，同时通过 CFD 数值模拟计算，确保烧嘴的雾化性能和合理的流场分布，由于煤质不稳定，煤浆灰份波动范围为 12%~20%，为确保气化炉运行负荷，故将烧嘴优化为两种形式，分别是中压差烧嘴（煤浆流量 33m³/h 时烧嘴压差 0.4MPa）和高压差烧嘴（煤浆流量 33m³/h 时烧嘴压差 0.6MPa），同时将氧压由 1.5MPa 降至 1.2MPa。气化炉开车时，两台气化炉分别使用中压差烧嘴和高压差烧嘴，在煤质发生变化时能够根据气化炉运行情况合理分配气化炉负荷，改造后中压差、高压差烧嘴尺寸见表 1。

表 1 中压差、高压差烧嘴尺寸 mm

名称		中压差烧嘴	高压差烧嘴
外喷嘴	环氧环隙	3.2	3.5
中喷嘴	中喷嘴内径	30	26
	中喷嘴入深度	2.3	2.3
内喷嘴	内喷嘴内径	13.3	14.6

1.3.2 煤浆喷头耐磨处理

通过对烧嘴流道实施优化并缩小煤浆喷头尺寸，烧嘴压差实现了一定提升。但在运行过程中，这一调整可能存在加剧煤浆喷头磨损速率的潜在风险。经数值模拟计算分析，烧嘴压差升高所引发的流速变化幅度较小，且喷口处煤浆流速

远低于氧气流速, 因此并不会对烧嘴端面及气化炉产生冲蚀隐患。针对煤浆喷头磨损的问题, 采取选用航天耐磨材质, 相较于哈氏高温合金材料, 航天耐磨材质在抗磨损性能方面展现出显著优势, 能够有效延缓煤浆喷头的磨损进程, 大幅提升烧嘴的使用寿命和运行稳定性。

1.4 使用效果

1.4.1 烧嘴压差稳定

改造后, 中压差与高压差烧嘴烧嘴压差运行稳定, 氧压由 1.5MPa 降至 1.2MPa, 气化炉负荷 $33\text{m}^3/\text{h}$ 时, 中压差与高压差烧嘴压差分别为 0.4MPa、0.55MPa。烧嘴运行周期内极少发生烧嘴压差大幅度波动的情况, 当发生波动时能够瞬时恢复, 确保了系统安全稳定运行。

1.4.2 煤浆喷头磨损速率减缓

煤浆喷头使用航天耐磨材质后, 煤浆喷头单边磨损速率低于 $0.015\text{mm}/\text{天}$, 烧嘴连续运行周期从原 40~50 天延长至 60 天以上。

2 使用寿命短

由于工艺烧嘴长期工作在高温高压、腐蚀磨损剧烈的气化炉中, 烧嘴喷头的烧蚀、磨损及泄露问题直接影响烧嘴的使用寿命。

2.1 常见损坏形式

2.1.1 外喷头与冷却水盘管焊缝开裂

水煤浆工艺烧嘴外喷头采用冷却水盘管结构对其本体及端部外氧管进行冷却保护, 正常工况下冷却水盘管焊接区域基本能满足运行要求, 但当系统出现冷却水流量波动、负荷变化或气化炉停车后连续投料等工况时, 焊接区域易因冷却不均、热应力反复作用、材料蠕变或温差应力集中等影响而导致泄漏。

2.1.2 外喷头龟裂

外喷头端面易出现沿径向延伸的放射状裂纹及不规则龟裂问题。外喷头冷却水腔外壁面因持续受到炉内物料的冲刷腐蚀, 同时叠加高温热流与热辐射的作用, 极易产生疲劳裂

纹。随着设备运行时长的增加, 此类裂纹会逐渐扩展、加深, 对烧嘴的密封性能和结构强度造成潜在危害。

2.2 外喷头损坏原因分析

(1) 外喷头端面金属材料处于炉内高温气体环境中, 长期受煤浆、氧气和合成气持续冲刷, 表面钝化层易被破坏。同时环境中的氧、硫等介质与喷头基材在高温下发生交互作用, 引发应力腐蚀、晶间腐蚀或高温烧蚀, 随着腐蚀程度逐步加深, 最终导致龟裂形式的失效。

(2) 外喷头出口处氧气浓度较高, 在高温条件下, 金属材料会产生渗碳效应, 进而使材料成分与性能发生改变, 降低了材料的结构强度和耐腐蚀性能^[1]。

(3) 烧嘴冷却盘管设计导致烧嘴头部存在换热死区, 该区域因热量无法有效散失而出现局部过热现象, 加剧了金属材料的热疲劳损伤和高温劣化。

2.3 烧嘴冷却形式优化改造

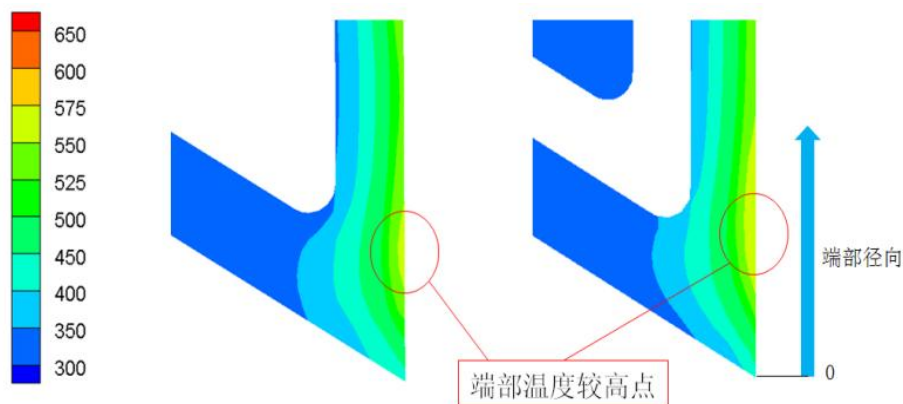
针对工艺烧嘴运行存在的问题, 将工艺烧嘴冷却形式由盘管式更换为水夹套式, 减缓外喷头裂纹产生及取消冷却水盘管多条焊缝的隐患。

2.3.1 技术分析

(1) 结构优化层面, 夹套式冷却取消了冷却水盘管, 在迎火面区域无焊缝, 从根源上降低了焊缝泄漏的问题。

(2) 温度调控层面, 夹套式冷却通过对烧嘴整体外壁及外喷头进行全方位冷却, 强化了热交换效率, 优化了烧嘴头部及外管的温度环境。经理论模拟验证, 在同等工况条件下, 相较于盘管式烧嘴, 夹套式烧嘴头部温度显著降低, 尤其在外喷头喷口尖角区域, 其温度数值及梯度分布均得到有效改善(图1), 进而有效缓解了外喷头侧面的高温烧蚀问题。

(3) 冷却保护层面, 夹套式冷却不仅作用于外喷头, 还对深入高温气化炉内的外氧管提供冷却防护。该设计产生的热应力变形极小, 可显著改善外喷头的轴向应力分布, 为烧嘴的稳定运行提供更可靠的力学环境。



左: 盘管式 右: 夹套式
图1 盘管式与水夹套烧嘴温度分布对比

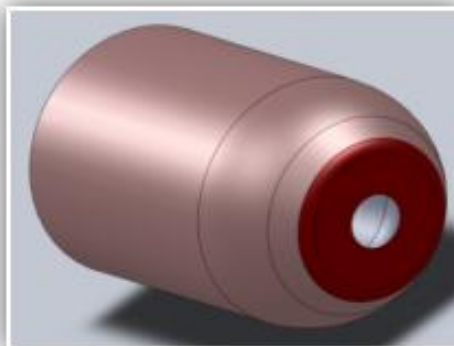
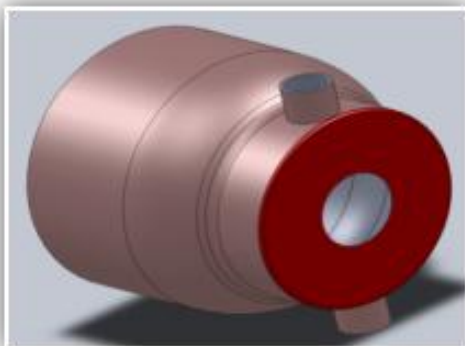
2.3.2 改造方式

(1) 保留气化炉外烧嘴部分结构及工艺连接管口, 确保改造后的夹套烧嘴与原盘管烧嘴完全互换, 减少设备适配成本。

(2) 将气化炉内烧嘴改造为夹套式结构, 通过多层夹套优化外氧管冷却设计; 夹套最外层管尺寸小于现有炉口

320mm, 并采用耐火材料浇注与烧嘴渣钉加固防护。

(3) 烧嘴夹套端部采用高效折返复合旋流冷却结构(图2), 并经理论计算与液流试验优化流道设计, 确保改造前后冷却水流量、流阻保持一致。



左: 盘管式烧嘴 右: 夹套式烧嘴

图2 烧嘴头部结构对照图

2.4 使用效果

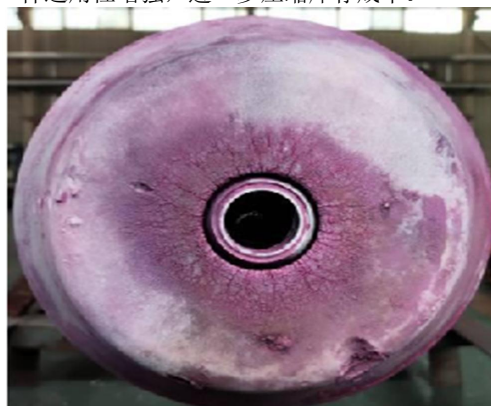
2.4.1 延长烧嘴使用寿命

因消除焊缝泄漏风险、优化温度分布及降低热应力, 烧嘴平均运行周期从原 60 天提升至 80 天以上。同时有效遏制了龟裂、烧蚀问题(图3), 气化炉温度场稳定性提升, 面对冷却水流量波动、负荷骤变等极端工况时, 夹套式烧嘴的抗

风险能力显著提升, 有效保障了气化装置在复杂条件下的连续稳定运行。

2.4.2 维护成本降低

夹套式结构减少了因焊缝泄漏、喷头磨损导致的检修频次, 年维护费用降低, 且改造后烧嘴与原设备高度兼容, 备件通用性增强, 进一步压缩库存成本。



左: 盘管式运行 60 天 右: 夹套式运行 80 天

图3 盘管式与水夹套烧嘴端面运行对比

3 结语

通过对水煤浆气化工艺烧嘴结构的研究与优化, 解决了工艺烧嘴存在的烧嘴压差波动和使用寿命短的问题。未来, 结合新材料研发、先进制造工艺以及智能化监测技术, 持续探索工艺烧嘴性能提升的新途径, 推动水煤浆气化技术向更

高效率、更低能耗、更安全环保的方向发展。

[参考文献]

[1] 辛争秋, 赵恒, 郭莹, 等. 多喷嘴对置式水煤浆气化工艺烧嘴维修创新技术[J]. 氮肥与合成气, 2017, (5): 1-3