

延长硫磺回收装置废热锅炉使用寿命及效益评价

张厅厅 (中国石油化工股份有限公司胜利油田分公司石油化工总厂, 山东 东营 257000)

摘要: 本文通过对废热锅炉使用情况的现状调查, 探究影响废热锅炉使用寿命的因素及其原因, 通过优化后的措施解决废热锅炉腐蚀难题, 进而延长废热锅炉使用寿命, 提高废热锅炉的换热效果, 减少检修频次与热量损失, 创造出 50 万左右的经济效益。

关键词: 废热锅炉; 腐蚀; 使用寿命; 经济效益

引言

随着我国国民经济的快速发展, 石油加工与天然气工业得到快速发展。与之相应, 我国含硫原油加工量和含硫天然气处理量相应增加。在原油中硫含量不断升高, 加工深度不断深化的同时, 对含硫物质的排放的环保指标日趋严格, 这就使得气体脱硫与硫磺回收技术日益重要^[1]。含硫组分过高, 将会严重腐蚀生产设备, 减少设备的使用寿命, 增加设备的日常维护费用, 降低装置运行周期, 浪费了大量的人力、物力和财力, 必然影响企业的经济效益和可持续发展。

1 装置简介

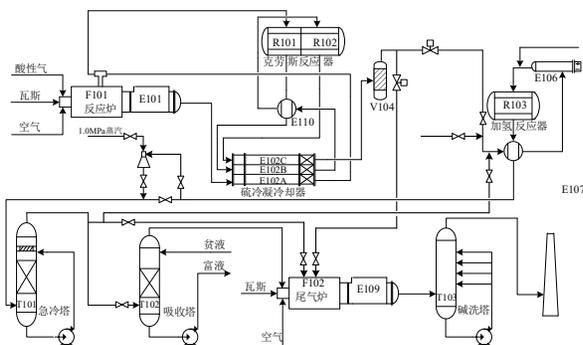


图 1 硫磺回收装置工艺基本流程

中国石化胜利油田分公司石油化工总厂硫磺回收装置由中国石化集团洛阳石油化工工程公司设计, 为总厂柴油质量升级项目的配套装置, 于 2011 年 11 月开工建设, 于 2013 年 3 月建成投产。原料来自上游装置排放的酸性气, 经过一系列的热反应与催化反应生成硫磺。本装置采用部分燃烧法, 二级 CLAU 转化的工艺流程, 酸性气燃烧炉废热锅炉产生 1.0MPa 的低压蒸汽, CLAU 过程气采用来自酸性气燃烧炉的高温烟气进行掺合的加热方式; 为提高 CLAU 段硫磺收率, 采用国产新型高 COS、CS₂ 水解率及抗硫酸盐化性能催化剂; 液硫采用 LS-DeGAS 液硫脱气工艺, 脱气后的液硫, 送至液硫成型包装设施或液硫装车外

销出厂。尾气处理部分处理硫磺回收装置排放的尾气, 尾气处理采用常规还原-吸收工艺; 尾气吸收采用具有选择性的 N-甲基二乙醇胺 (MDEA 溶液)。装置具体流程如图 1 所示。

2 选择课题

硫磺回收装置是重要的环保装置, 是企业重要的配套装置, 有一定的经济效益, 对生产系统蒸汽平衡做出贡献。硫磺回收装置废热锅炉是以生产过程工艺气的余热为热源的热动设备, 不仅可以产生蒸汽, 还可有效地回收余热。废热锅炉作为硫磺回收装置中最高温高压设备, 不仅仅能够利用过程气的余热产 1.0MPa 蒸汽, 而且能够冷却高温过程气体, 使其达到工艺所需温度, 从而满足工艺生产要求。但是由于废热锅炉安装位置的特殊性, 与制硫炉连接处的进气侧管板长期处于高温、强腐蚀的酸性环境下, 因此该废热锅炉在长时间、高负荷的运行情况下极易发生泄漏^[2], 影响其传热效果, 导致装置能耗增加和生产成本增加。因此, 探究硫磺回收装置废热锅炉使用寿命十分重要。

3 现状调查

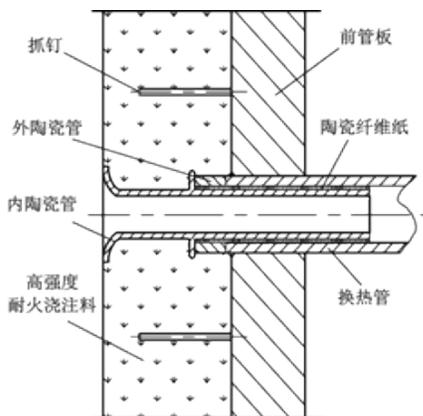


图 2 入口套管保护

废热锅炉主要由蒸汽汽包和废热锅炉组成。一般采用热虹吸式循环。除氧水直接进入汽包, 再进入废

热锅炉壳程内，废热锅炉所产生的蒸汽和水的混合相进入蒸汽汽包，蒸汽从汽包的顶部进入蒸汽管网系统，水则继续循环使用。该废热锅炉由哈锅制造，为了避免高温过程气对管板的冲刷，在高温板管程侧表面浇筑耐高温、耐火隔热浇注料。管板及管头高温保护结构如图 2 所示。

由于燃烧炉的末端接废热锅炉入口，其介质温度高，组成复杂，所以对炉管的进口和表面加以保护，管头必须采用套管，使用材质为高铝陶瓷管，用来保护废热锅炉的管壳及管入口，但是由于高温的陶瓷管套与相对低温的管套接触，容易造成陶瓷管套碎裂，2021 年大检修检查，发现瓷套管多处碎裂，瓷套管发生碎裂。

废热锅炉后端为管子与管板焊接，由于焊接中有可能存在焊接缺陷，导致焊口易腐蚀，造成焊口处腐蚀甚至开裂。2021 年检修检查发现焊口处焊肉腐蚀较严重。如图 3 所示：

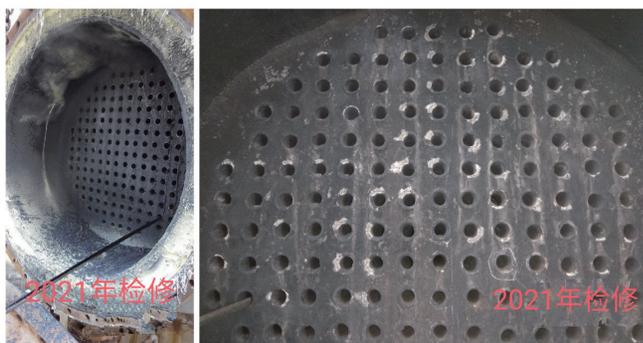


图 3 废热锅炉出口

从 2021 年开工以来，E101 后部温度超温严重，操作数据多次平均值出现 300 度以上，对管线设备腐蚀存在较大隐患，2021 年检修对设备管束疏通，开工一个月内温度有所下降，但随着时间的延长，炉后温度频繁出现超温现象。如图 4 所示：

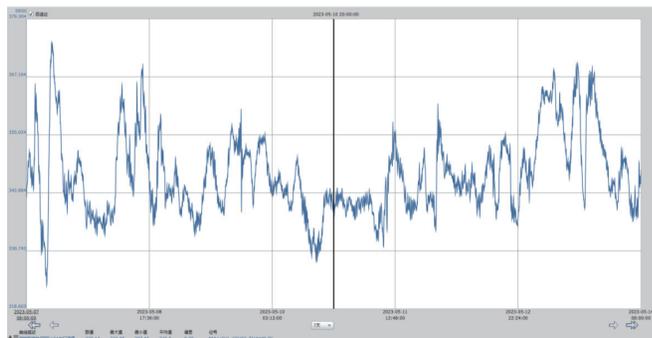


图 4 七天内废热锅炉出口温度图

从现状调查结果来看，减少对废热锅炉的腐蚀，对延长其使用寿命至关重要，对硫磺装置节能降耗起

到非常重要的作用。

4 原因分析

4.1 低温露点腐蚀

低温露点腐蚀是指含有水蒸气的气体混合物，冷却到露点以下，凝结出来的水滴附于金属表面，同时气体中有酸性介质，对金属形成化学腐蚀和电化学腐蚀。废热锅炉正常运行时，管程介质中含有大量高温硫蒸气，易与器壁中钢材发生化学反应产生大量的 SO_2 ，当后管箱器壁温度低于 SO 气体的漏点温度时，就会使后端管箱因 SO_2 气体结露生成硫酸而产生露点腐蚀^[3]。根据 2021 年检修情况可以明显看到废热锅炉有露点腐蚀的痕迹。

4.2 高温硫腐蚀

金属在高温下（240℃以上）与含硫介质作用，生成硫化物的过程称为金属的高温腐蚀^[4]。由于废热锅炉前管板长期处于高温腐蚀的酸性环境中，前管板表面耐火衬里破损，造成过程气直接与管口及管口焊缝接触，形成高温硫腐蚀环境。2021 年大检修检查，发现瓷套管多处碎裂应该是废热锅炉发生高温硫腐蚀的主要原因。

4.3 应力腐蚀

在高温下，气体经过冷凝和冷却设备后，会由于温度差，在受热不均匀的情况之下产生明显的热应力^[5]。由于前管板侧受到较大的热负荷，如果炉内的部分花墙存在有塌陷，当废热锅炉进口温度突然变化时，换热管的温度变化速度要比管板快得多，使换热管与管板的焊缝因为过大温度应力而被腐蚀。

4.4 二氧化碳腐蚀

来自上游装置的酸性气中含有大量的二氧化碳，二氧化碳和铁在高温或者有水分的情况下，容易发生化学反应，产生形态疏松的腐蚀产物的碳酸铁。在废热锅炉正常工作中，在过程气的冲刷作用下逐渐脱落，露出新的部位继续腐蚀，形成恶性循环，直到把废热锅炉腐蚀穿孔或者泄漏^[6]。

4.5 人员操作不当

通过对入炉记录的检查，炉前瓷套管基本完整，说明烘炉时能严格按照烘炉曲线操作。但通过 2021 年检修检查时发现瓷套管开裂脱落明显，应为在升温时或操作过程中出现温度急剧升温或降温现象造成管板前的耐火浇注料，导致浇注料膨胀产生裂缝。

4.6 水质差

从节能角度考虑，废热锅炉锅炉水采用装置凝结

水代替, 凝结水水质相对稳定, 但由于硫磺夹套伴热易渗漏造成凝结水质波动, 腐蚀废热锅炉。

5 整改措施

5.1 严格把控升温曲线操作

在装置在开停车的阶段, 通过在操作室张贴升温曲线, 严格按照升温曲线升温, 保证操作温度没有较大波动, 使耐火浇注料得到充分的烧结, 防止对废热锅炉及炉管产生影响, 造成耐火浇注料及陶瓷保护套的的胀裂。

5.2 严格控制炉膛温度

为气风比能够精确操作, 在捕集器出口尾气管线上设置 H_2S/SO_2 比值在线分析仪, 确保操作的及时性, 防止配风不足导致的损失。因此, 在正常操作中控制好炉温的平稳性有利于减弱对设备的腐蚀性, 从而延长设备的使用周期。

5.3 加强上游装置集油

酸性气中烃类含量高或二氧化碳含量高, 都对废热锅炉及炉的寿命有较大影响。在实际工作中, 一方面是加强与上游装置的沟通, 及时调整酸性气中二氧化碳的含量; 另一方面, 确保班组控制好闪蒸罐压力及液位, 保证烃类含量稳定。在保证满足工艺的前提下尽量降低酸性气中的二氧化碳含量, 降低其对废热锅炉的腐蚀。

5.4 控制废热锅炉水质

为了更好的控制废热锅炉水质, 一方面定期对凝结水质指标检测, 当凝结水质变差时及时改用除氧水, 减少锅炉结垢的范围, 从而增加换热面积, 提高锅炉工作效率, 降低废热锅炉的腐蚀。

5.5 规范操作手段

在硫磺回收装置的操作过程中, 要求操作人员具有专业的知识水平和素养, 严格按照要求和规范进行流程操作, 提高操作人员精细操作的意识和能力, 提高操作平稳率。操作的规范程度越高, 设备腐蚀发生的可能性就越小。

6 经济效益分析

由于未到规定的检修时间, 无法直观检查废热锅炉及其炉管使用情况, 但通过在相同处理量的情况下, 经过优化后, 通过对 2022 年和 2023 年同期自产蒸汽量对比, 能够发现废热锅炉换热效果得到了较大的提高, 相应的其热效率也有所增加, 这样表明延长废热锅炉的使用寿命对整个装置的节能降耗有积极意义。

经过一系列整改措施优化后, 废热锅炉水质能够得到较好的控制, 废热锅炉换热效果得到了较大的提

升, 每月自产 1.0MPa 蒸汽比去年同期约增加 1170 吨 -1016 吨 =154 吨, 按照每吨蒸汽 285 元, 每年增加效益 154 吨 / 月 *12 月 *285 元 / 吨 =526680 元, 这为企业创造了巨大的经济效益。

除了带来了巨大的经济效益之外, 也产生了一定的环保效益。通过科学合理维护废热锅炉的使用, 延长了废热锅炉的使用寿命, 减少了因各种腐蚀等原因造成的停工维修, 缩短了废热锅炉的检修次频次, 节约了废热锅炉的检修费用, 确保二氧化硫指标实现达标排放, 对保护环境有着积极地环保效益。

延长废热锅炉的使用寿命对于整个硫磺回收装置能耗也做出了一定贡献。废热锅炉 E101 运行优化后自产 1.0MPa 蒸汽平均 1190 吨, 较去年同期增加 154 吨, 废热锅炉 E101 蒸汽平均单耗 -2.876 吨蒸汽 / 吨处理量, 与优化前平均单耗 -2.893 吨蒸汽 / 吨处理量相比降低 0.017 个单位, 硫磺回收装置综合能耗为 -224.709 千克标油 / 吨, 较去年同期增加了 23.285 千克标油 / 吨。

经优化后整个硫磺回收装置在 2023 年 5 月 -2023 年 8 月期间设备完好率 100%, 操作平稳率 99.9%, 产品硫磺合格率 100%, 烟气环保达标率 99.5% 以上。

7 结论

综上所述, 在硫磺回收装置正常运行阶段, 由于其环境的特殊性, 废热锅炉有不同程度的腐蚀是无法避免的, 但本文通过废热锅炉腐蚀原因剖析与整改措施优化, 可以降低其腐蚀程度, 延长其使用寿命, 增加装置周期运行, 减少日常维护支出, 二氧化硫排放达标, 为企业实现经济效益和环保效益的双重目标。

经优化后, 一年下来, 废热锅炉在自产蒸汽和维护费用两方面创效约 60 万元。

参考文献:

- [1] 马恒亮. 降低硫磺装置尾气中 SO_2 排放的措施分析与探讨 [J]. 清洁生产与综合治理, 2016,32(5):65-69.
- [2] 秦继伟. 延长硫磺回收装置蒸汽过热器使用寿命的探讨 [J]. 炼油技术与工程, 2015,45(4):24-28.
- [3] 李晓伟. 硫磺回收装置废热锅炉腐蚀原因分析及整改措施 [J]. 中国设备工程, 2016,12:48-49.
- [4] 史彬. 硫磺回收联合装置生产设备的腐蚀与防护 [J]. 腐蚀与防护, 2021,4(4):50-53.
- [5] 赵龙. 硫磺回收装置工艺设备腐蚀成因与防护措施 [J]. 化工管理, 2016,12:103-104.
- [6] 武俊瑞. 硫磺回收装置余热锅炉泄漏原因分析及整改措施 [J]. 硫酸工业, 2017,6(6):29-33.