

# 某钢厂高炉煤气精脱硫系统运行中存在的问题及解决措施

刘明明, 赵荣志\*, 常冠钦, 冷廷双, 陆 钢  
(北京北科环境工程有限公司, 北京 100083)

**摘要:**某钢铁厂在高炉煤气脱硫处理中采用中低温催化水解有机硫+湿法吸收无机硫工艺。在工程运行过程中,暴露出煤气夹带、循环泵跳停、催化剂外流、出口硫偶有超标等若干问题。针对问题产生的原因逐一梳理分析,在保证工期不变和经济成本最小化的基础上,采取优化措施,保证系统正常运行,尾气达标排放。

**关键词:**高炉煤气;精脱硫;工艺路线

中图分类号:TQ546.5

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2022)S2-0378-04

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2022.S2.076

## Problems in operation of fine desulfurization system for blast furnace gas in a steel plant and corresponding solutions

LIU Ming-ming, ZHAO Rong-zhi\*, CHANG Guan-qin, LENG Ting-shuang, LU Gang  
(Beijing Beike Environmental Engineering Co., Ltd., Beijing 100083, China)

**Abstract:** A certain steel plant employs the medium and low temperature catalytic hydrolysis of organic sulfur and wet absorption of inorganic sulfur processes in desulfurization of blast furnace gas. However, some problems are exposed during actual operation, such as entrainment of gas, jumping and stopping of circulating pump, outflow of catalyst and occasional over-standard of sulfur at outlet. Through combing and analyzing the causes of the problems one by one, and the optimization measures are adopted to ensure the normal operation of the system and the emission of tail gas up to standard on the basis of ensuring the same construction period and minimizing the economic cost.

**Key words:** blast furnace gas; fine desulfurization; process route

高炉工艺是钢铁企业常用的炼铁工艺,可提高产品的产量和品质<sup>[1]</sup>。但与此同时,高炉工艺产生了含有硫化物、氮氧化物等大气污染物的高炉煤气。据统计,目前国内高炉煤气月产量高达 700 亿~800 亿 m<sup>3</sup><sup>[2-3]</sup>,高炉煤气中总硫浓度为 100~200 mg/Nm<sup>3</sup>,仅有 1%得到有效处理。

2019 年 4 月 28 日,生态环境部等五部委联合印发《关于推进实施钢铁行业超低排放的意见》(环大气[2019]35 号),指出“到 2025 年底前,重点区域钢铁企业超低排放改造基本完成,全国力争 80% 以上产能完成改造”。意见还提出有组织排放控制指标,二氧化硫排放浓度不得超过 35 mg/Nm<sup>3</sup>,部分地区对排放要求更加严格。因此,有效去除高炉煤气中的污染物,是迫切需要解决的问题。

针对高炉煤气的净化,末端处理工艺是目前常

用的技术手段。然而,受厂区空间不足、末端处理源分散等因素限制,末端处理工艺已很难满足排放的要求<sup>[4-5]</sup>。因此,源头治理工艺应运而生<sup>[6-7]</sup>。煤气中的硫主要为有机硫和无机硫两大形态,其中,无机硫约占总硫含量的 70%<sup>[8]</sup>。在源头脱硫处理工艺中,先将有机硫催化水解转化为无机硫,然后采用一定的方式对无机硫进行吸收,使其得以去除,主要分为两大步骤:加氢/水解催化有机硫<sup>[9-10]</sup>+干法/湿法吸收无机硫工艺<sup>[11-12]</sup>。其中,中低温水解催化有机硫+湿法吸收无机硫工艺,一方面可不需额外增加氢源实现高炉煤气的清洁化利用,且反应温度低,还具有一定的节能潜力;另一方面占地面积小、煤气波动适应性强、脱硫效率高、设备投资费用低。

某钢铁厂在高炉煤气脱硫处理中采用中低温催

收稿日期:2022-04-13;修回日期:2022-06-18

作者简介:刘明明(1988-),女,硕士,工程师,主要从事烟气脱硫工艺设计工作,liumingming5945@163.com;赵荣志(1975-),男,博士,高级工程师,主要从事工业尾气处理研究与设计工作,通讯联系人,670299807@qq.com。

化水解有机硫+湿法吸收无机硫工艺,在实际运行过程中,出现了煤气夹带、循环泵跳停、催化剂外流、出口硫偶有超标等问题。本文从工艺运行的角度对产生的问题一一解析,并提出解决措施,以期使系统正常运行,尾气达标排放。

## 1 高炉煤气精脱硫工艺路线

某钢铁企业对厂区现有3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>高炉产生的煤气进行了精脱硫处理,采用源头低温催化水解+湿法脱硫处理工艺,煤气处理量每套按40万m<sup>3</sup>/h进行设计,采用独立工艺设计。3<sup>#</sup>、4<sup>#</sup>高炉各配置一套处理工艺,如图1所示。原3<sup>#</sup>(4<sup>#</sup>)高炉煤气从布袋除尘器出口进入3<sup>#</sup>(4<sup>#</sup>)催化水解反应器后,在催化剂的作用下将羰基硫转化为H<sub>2</sub>S;催化后的煤气进入TRT发电,发电后煤气经总管网进入脱硫吸收塔,与雾化后的氢氧化钠溶液接触,酸碱中和后去除煤气中的酸性气体,经过两级除雾装置去除煤气中的大部分小雾滴。设计系统出口总硫浓度≤24 mg/Nm<sup>3</sup>(基于保证值计算),H<sub>2</sub>S浓度≤10 mg/Nm<sup>3</sup>,进入煤气外网的机械水(雾滴)含水增加量≤7 g/Nm<sup>3</sup>。达标后的煤气进入主管网后进入下游散户。

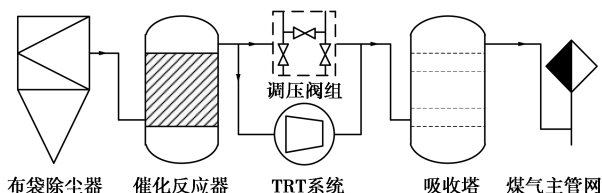


图1 工艺路线示意图

## 2 系统运行存在的问题

系统自2020年11月26日—12月3日进行试运行,在运行过程中,尽管绝大部分情况下处理后的尾气可以达到协议规定的总硫不超过24 mg/Nm<sup>3</sup>的超低排放标准,但运行中仍暴露出一些问题。

### 2.1 煤气夹带

为满足《工业企业煤气安全规程》GB 6222—2005中有关水封的要求,吸收塔排液管采用U形弯加循环浆池液下水封的形式,有效水封5.5 m,如图2所示。这种工艺形式在运行中出现煤气夹带现象,循环浆池池顶煤气报警仪频繁报警,为今后安全运行带来隐患。分析原因为煤气自下而上与自上而下的液体逆流接触,煤气被夹带到液体中,形成涡流。

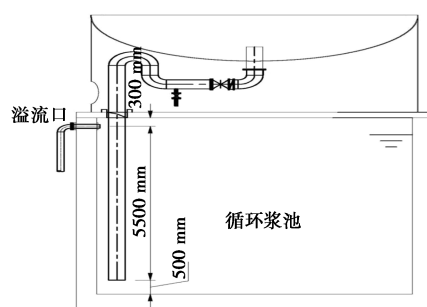


图2 吸收塔排液管液下水封形式

### 2.2 循环泵跳停

吸收塔采用逆流喷淋塔形式,每天循环泵对应一层喷淋层,三层喷淋系统单独运行,互不干涉。循环泵由某泵业有限公司供应,运行中会存在循环泵跳停现象。经排查,发现循环泵本身质量不存在任何问题。造成循环泵跳停的主要原因是泵在选型时扬程选取偏大,导致循环泵的性能曲线发生严重右偏离,从而流量远大于标准流量,导致循环泵超电流跳停现象。

### 2.3 催化反应器中催化剂外流

受限于现场空间不足,催化反应器的煤气管道按照下进上出方式布置,如图3所示。煤气管道系统正压运行,压力维持在0.24 MPa左右,催化剂堆积密度<0.8 g/mL,当煤气自下而上流经反应器时,导致成颗粒状催化剂处于悬浮无组织状态,颗粒状催化剂在煤气动力的作用下被夹带到下游管道中,一方面造成催化剂的流失,另一方面有可能对下游设备造成一定的磨损。

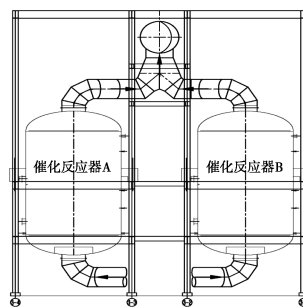


图3 催化煤气管道布置图

### 2.4 出口硫含量偶有超标

吸收段主要目的是将催化生成的H<sub>2</sub>S通过氢氧化钠碱液吸收掉,然而在运行过程中,偶有出口硫含量超标现象。分析原因为原煤气中硫含量不稳定,运行时存在超高现象,使得正常的喷碱量不够充分,碱液量偏低,氢氧化钠碱液与煤气中H<sub>2</sub>S不能充分发生反应。

## 2.5 旋塞阀内漏

根据《钢铁企业煤气储存和输配系统设计规范》GB 51128—2015 中 8.4.2 第 3 条规定,蝶阀、闸阀和球阀等单独使用时不应作为隔断装置,所以煤气管道吹扫口阀门采用的是旋塞阀,然而在运行中发现,旋塞阀的密封效果很差,在催化高压段旋塞阀普遍存在内漏现象。分析原因为:一是旋塞阀厂家自身加工精度不够;二是旋塞阀本身的构造导致封闭不严。

## 3 解决措施及成效

针对上述问题,项目团队分析了问题产生的原因,经综合研判提出解决措施,并在实际运行过程中加以改进,成功解决了问题。

### 3.1 “封”、“疏”结合避免煤气夹带

煤气夹带问题产生的原因主要是气体和液相在双向流动过程中的接触。郭彦鹏等<sup>[12]</sup>对于湿法烟气脱硫中关于烟气夹带液滴现象进行了分析并提出若干解决措施;杨兆铭等<sup>[13]</sup>将旋流气液分离器与其他形式的分离器相结合,形成综合性的分离系统以实现气液分离。这些方法一定程度上可以很好地实现气液分离。然而,这些解决措施一方面投资费用大,另一方面对于高液气比、高气速工况缺少类似工程项目的成功案例。项目组在综合研判问题产生的原因和已有解决措施的基础上,提出采用“封”和“疏”两方面的措施。

“封”的措施:在现有混凝土结构的基础上,将循环池池顶所有管口采用聚氨酯发泡胶打底、聚氨酯沥青进行封堵。池顶方形人孔在现有混凝土翻边基础上重新植筋浇筑混凝土预埋钢板,钢板上焊接短节及法兰盘,采用密封垫加法兰的密封方式。

“疏”的措施:采用循环池池顶预留口接 DN200 玻璃钢管道加轴流风机的方式,制造 30 m 高度,靠气体自身的自拔力及轴流风机强制推力将夹带的煤气送至 30 m 高空,同现场放散管相同高度。

经过上述“封”和“疏”的改进后,工艺运行良好,煤气夹带的问题再未出现。

### 3.2 增大出口压力解决循环泵跳停问题

循环泵跳停问题主要在于设备选型时其流量和扬程不符合工艺的运行要求,超出循环泵的理想性能曲线。主要解决措施从两方面入手:一方面增大

出口流量;一方面增大出口压力。但是增加出口流量需要更换泵,费用增加。项目组在实际工艺改进过程中,决定采用调整循环泵出口管道上喷淋层喷嘴尺寸和增设止回阀的方式来增大出口压力,在解决问题的同时最大限度降低成本。首先,根据喷嘴性能表将循环泵出口管道对应的每一喷淋层上的喷嘴由 6 分改为 4 分管,对应的压力提升至 0.07 MPa;其次,在循环泵出口管道上分别增加板式止回阀及旋启式止回阀,来增加管道局部阻力。通过上述两种方式,循环泵出口压力维持在 0.5 MPa 左右,解决了循环泵跳停的问题。

### 3.3 增加不锈钢丝网及压实结构防止催化剂外流

催化剂外流主要是由于催化剂的悬浮形态导致。张永等<sup>[6]</sup>采用上进下出的流向避免了催化剂外流。然而受限于现场空间,这种解决措施无法实现。研发组考虑改变催化剂的形态,使其处于类似脱硝催化剂的蜂窝式或者箱式形态,然而两者载体不同,工艺无法满足要求。项目组在综合研判的基础上采用在催化剂上部新增不锈钢丝网及压实结构,压实结构采用分体式螺栓连接,方便安装、灵活拆卸、成本低廉,在保证催化剂整体处于悬浮状态的同时,又不影响反应器整体阻力。通过上述措施,解决了催化剂外流的问题。

### 3.4 新增喷枪系统解决出口硫含量偶有超标现象

薛景岩等<sup>[14]</sup>采用增加导流板的形式提高液气比分布均匀性来改变硫超标问题;杨猛等<sup>[15]</sup>考虑在吸收塔后端新增一座精脱硫塔来解决硫超标问题。以上措施虽然可以解决出口硫超标的问题,但存在占地面积大、投资高、工期长等缺点。

本项目在吸收塔入口变径段新增喷枪系统,解决了出口硫含量偶有超标现象。将喷枪供碱泵和稀释水泵撬装在一起,高浓度氢氧化钠溶液和工艺水分别进入撬装设备,经由静态混合器混合后将低浓度碱液通过喷枪喷入煤气管道中,起到入口硫含量突然增高时辅助脱硫的目的。具体工艺如图 4 所示。

### 3.5 新增活接及螺纹球阀解决旋塞阀内漏问题

旋塞阀内漏问题是高炉煤气精脱硫运行中发现的新问题,以往文献报道中并未出现。因此,本项目考虑到吹扫用旋塞阀都为小阀门,普遍为 DN15 和 DN25 规格,在目前结构的基础上新增活接及螺纹球阀一套,解决了内漏问题。

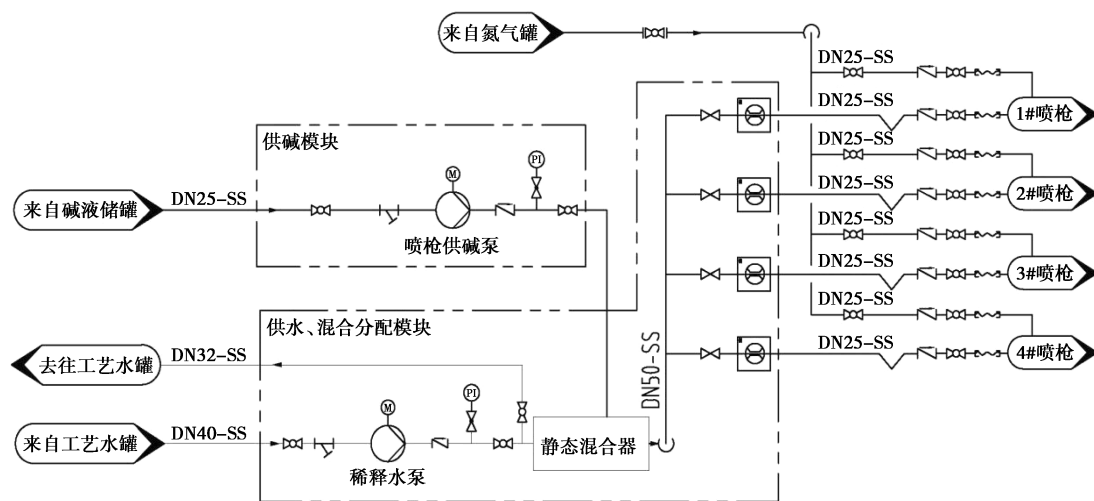


图4 喷枪系统示意图

## 4 结论

本文针对某钢厂实际的高炉煤气脱硫工艺在运行过程中存在的问题,分析研判问题产生原因、提出问题解决措施,最终实现了系统的正常运行,尾气达标排放。目前国内还没有特别完善的一套可以照搬的高炉煤气脱硫工艺,每一种工艺都有其从不成熟到成熟的过程。通过对工艺进行不断的优化,目前该项目已经平稳运行,在不断的摸索及改进中工艺更加趋向成熟,为今后煤气脱硫项目的顺利开展奠定了基础。

## 参考文献

- [1] 潘钊彬, 乔军. 炼铁工业发展现状及趋势之我见[J]. 炼铁, 2020, 39(6): 20-26.
- [2] 李兴建, 张先茂, 李辉, 等. 高炉煤气超低排放脱硫工艺选择[J]. 山东化工, 2020, 49(19): 104-105, 109.
- [3] 徐志钢, 樊响, 周景伟, 等. 高炉煤气脱硫可行性工艺路线研究[C]. 中国环境科学学会 2019 年科学技术年会——环境工程技术创新与应用分论坛, 2019: 181-185.
- [4] 孙加亮, 杨伟明, 杜雄伟. 高炉煤气脱硫现状及技术路线分析[J]. 冶金动力, 2020, (10): 13-18.
- [5] 孙瑞军. 高炉煤气脱硫新技术研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2020.
- [6] 张永, 陈孙伟, 蔡铁城, 等. 高炉煤气精脱硫工艺技术探讨[J]. 河南冶金, 2021, 29(3): 18-20, 41.
- [7] 陈兴业, 向轶, 陈艳艳, 等. 高炉煤气精脱硫工艺路线探究[J]. 中国环保产业, 2021, (3): 31-34.
- [8] 李顺心, 吴礼云, 刘恩辉, 等. 关于高炉煤气精脱硫的探讨[J]. 山西冶金, 2020, 43(2): 152-154.
- [9] 娄艳茹. 复杂气氛下中温羰基硫水解催化活性研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2010.
- [10] 王冠, 孙同华, 张宏波, 等. 催化水解法低温脱除煤气中羰基硫的研究[J]. 现代化工, 2014, 34(1): 60-63.
- [11] 许怡. 高炉煤气脱硫技术路径与应用研究[J]. 科技风, 2020, (21): 3.
- [12] 郭彦鹏, 潘丹萍, 杨林军. 湿法烟气脱硫中石膏雨的形成及其控制措施[J]. 中国电力, 2014, 47(3): 152-154, 159.
- [13] 杨兆铭, 陈建磊, 何利民, 等. 水下旋流气液分离器研究进展[J]. 油气储运, 2019, 38(8): 856-862.
- [14] 薛景岩, 陈阵, 丁艳军. 烟气湿法脱硫喷淋塔导流板优化[J]. 热力发电, 2019, 48(11): 141-145.
- [15] 杨猛, 安忠义, 龙志峰, 等. 钢铁企业高炉煤气精脱硫系统的研究和应用[J]. 冶金能源, 2021, 40(1): 61-64. ■

《现代化工》欢迎广大作者踊跃投稿, 投稿系统: <http://www.xdhg.com.cn>