

# 热风炉烟气脱硫工艺及应用实践

李道智<sup>1</sup> 陈飞<sup>2</sup> 鹿祥中<sup>3</sup>

1.2. 宝武集团鄂城钢铁炼铁厂 湖北 鄂州 436000

3. 山东冶金设计院股份有限公司 山东 济南 250098

**摘要:** 本文探讨了热风炉烟气脱硫的重要性及其对环境与健康的显著影响。采用湿法脱硫技术,通过NaOH溶液有效脱除烟气中的二氧化硫,实现达标排放。鄂城钢铁的应用实践表明,该脱硫工艺能显著降低SO<sub>2</sub>排放,达到国家超低排放标准,有效减轻了对环境的污染和人体健康的危害。

**关键词:** 湿法脱硫; 烟气消白; 板式换热器; 减排

## 引言

随着国家环保要求的日趋严格,对污染物排放的控制力度也越来越大,“十四五”期间国家将对污染物排放提出更高的要求。钢铁企业的高炉副产物有高炉煤气,其主要成分为一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫等,高炉煤气是低热值的可燃气体,常用于热风炉烧炉、轧钢加热炉、锅炉等地方,热风炉燃烧过程中产生的含硫烟气通过烟囱直接排放到大气中,造成大气污染。生态环境部、发展改革委、工业和信息化部、财政部、交通运输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》,《意见》明确指出炼铁工序热风炉烟气颗粒物、二氧化硫、氮氧化物排放浓度小时均值不能超过10、50、200mg/m<sup>3</sup>。《意见》还指出到2025年,重点区域钢铁企业要求超低排放基本改造完成。

## 1 二氧化硫排放的环境和健康影响

烟气中的二氧化硫(SO<sub>2</sub>)排放对环境 and 人体健康产生广泛的影响。以下是对其环境和健康影响的说明:

1.1 空气质量污染: 二氧化硫是大气中的主要酸性气体之一。排放到大气中的二氧化硫与水蒸气反应生成硫酸雾,导致大气中的颗粒物增加。这些细小颗粒物(PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>10</sub>)能够悬浮在空气中并被人体吸入,对呼吸系统产生刺激和损害,导致呼吸道疾病的发生和加重。

1.2 酸雨形成: 二氧化硫排放可与大气中的水蒸气和氧气反应生成硫酸,进而与大气中的水蒸气形成硫酸雨。酸雨的降落对土壤、水体和植被造成严重的腐蚀和污染,破坏生态系统的平衡。

1.3 呼吸系统健康问题: 吸入含有二氧化硫的烟气可对人体呼吸系统造成刺激和损害。长期接触高浓度的二氧化硫可导致气道炎症、支气管收缩和气道阻塞,增加哮喘、慢性阻塞性肺疾病和呼吸道感染等呼吸系统的风险。

1.4 环境生态影响: 二氧化硫的排放对生态系统也有不可忽视的影响。硫酸雾和酸雨的形成对土壤中的营养物质和微生物活动产生不利影响,抑制植物的生长和发育。水体受酸雨污染后,水生生物的存活和繁殖能力也会受到损害。

## 2 脱硫工艺方案选择

### 2.1 硫工艺技术现状

目前,国内外烟气脱硫技术总体上可分为干法、半干法和湿法三大类。

#### 1) 湿法烟气脱硫技术(WFGD技术)

常见的湿法烟气脱硫技术主要有石灰/石灰石-石膏法、氨肥法、氧化镁法、双碱法、海水脱硫法等。湿法脱硫的技术特点是整个脱硫系统位于烟道的末端、除尘器之后,脱硫过程在溶液中进行,脱硫剂和脱硫生成物均为湿态,脱硫剂消耗量大、电耗较高、投资较大、运行人员较多。湿法脱硫的主要优点: 由于脱硫过程是离子反应,工艺成熟,所以脱硫反应速度快、脱硫效率高、脱硫剂利用率高<sup>[1]</sup>。

#### 2) 半干法烟气脱硫技术(SDFGD技术)

半干法脱硫工艺可以处理不同规模的各种烟气,其原理是使用浓度较稠石灰浆液,在特殊装置喷入与热烟气接触反应除掉烟气中的二氧化硫,石灰浆中水汽蒸发掉后变成粉末,不再产生液体废水,但容易造成堵塞,旋风接触系统操作能耗巨大。常见的半干法烟气脱硫技术主要包括循环悬浮式半干法、喷雾干燥法、NID法等<sup>[2]</sup>。由于半干法是在湿态下脱硫在干态下处理脱硫产物的半干法,存在脱硫效率相对湿法较低,反应速度较慢等问题,且在脱硫装置后需要增加除尘装置。

#### 3) 干法烟气脱硫技术(DFGD技术)

常见的干法烟气脱硫技术,主要包括喷钙循环流化床反应器、炉内喷钙尾部增湿脱硫工艺、电子射线辐射

法、荷电干式吸收剂喷射脱硫法等。干法烟气脱硫的特点是脱硫剂以干态喷入反应器，产生的副产品也为干态，其优点为：投资省、无污水和废酸排出、设备腐蚀小，烟气在净化过程中无明显降温、净化后烟温高、利于烟囱排气扩散等；由于干法是固相脱硫剂与气相SO<sub>2</sub>接触，存在脱硫效率相对湿法较低，反应速度较慢等问题<sup>[3]</sup>。

### 2.2 鄂城钢铁脱硫方案选择

根据宝武集团鄂城钢铁两个2000m<sup>3</sup>级高炉特点，燃料、热风炉烟气风温、末端处理等条件，鄂城钢铁选择碱法脱硫技术，脱硫剂为NaOH。脱硫过程在溶液中进行，脱硫剂和脱硫生成物均为湿态。相对其它湿法工艺来讲，NaOH便于储存，无二次污染，操作方便。反应过程中不会造成设备出现堵塞，板结等情况。湿法脱硫的主要优点：脱硫反应速度快、脱硫效率高、工艺相对成熟，占地面积小、投资少。缺点是运行费用稍高、废水需处理<sup>[4]</sup>。

湿法脱硫方案：

工艺描述：烟气由烟道进入脱硫塔。吸收反应在脱硫塔内进行，烟气在脱硫塔与循环浆液液滴扰动接触，通过化学反应脱去烟气中的SO<sub>2</sub>、SO<sub>3</sub>及HCl、HF等酸性气体，完成脱硫过程。浆液池内的浆液经过循环泵送至脱硫塔内部，脱硫浆液和烟气充分接触，通过浆液吸收

脱去烟气中的酸性气体，最终落入脱硫塔浆池。脱硫废水进入高炉冲渣池，烟气通过GGH系统进行处理后，达标排放。

工艺流程：在现有烟肉入口位置设置旁路挡板，在旁路挡板前将热从炉高温烟气引出，再通过脱硫挡板、增压以机和换热器进入冲渣水脱硫除尘系统。烟气首先从脱硫反应器底部进入，在脱硫反应器内，浆液与烟气扰动接触，捕集烟气中的SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>s</sub>、HF、HCl、粉尘等有害物，浆液中的钠碱与SO<sub>2</sub>反应，生成亚硫酸钠，氧化生成Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>溶液。脱硫后烟气通过除雾器系统后进入换热系统，加热到85℃以上基本无白烟。烟气再进入原烟筒进行排放。为了克服脱硫系统产生的阻力，系统前置增压风机一台，布置于脱硫系统反应器前。在脱硫反应器内喷入混有钠碱的高炉冲渣水，反应器内的烟气与钠碱的水充分扰动洗涤，烟气中的粉尘颗粒被浆液消除，烟气中的SO<sub>2</sub>及其他酸性物质被吸收净化。

主要反应： $2SO_2(g)+4NaOH(l)+O_2 = 2Na_2SO_4(s)+2H_2O(l)$

副反应： $SO_3(g)+2NaOH(l) = Na_2SO_3(s)+H_2O(l)$   
 $HCl(g)+NaOH(l) = NaCl(s)+H_2O(l)$

鄂城钢铁热风炉脱硫工艺介绍。工艺示意图如下：

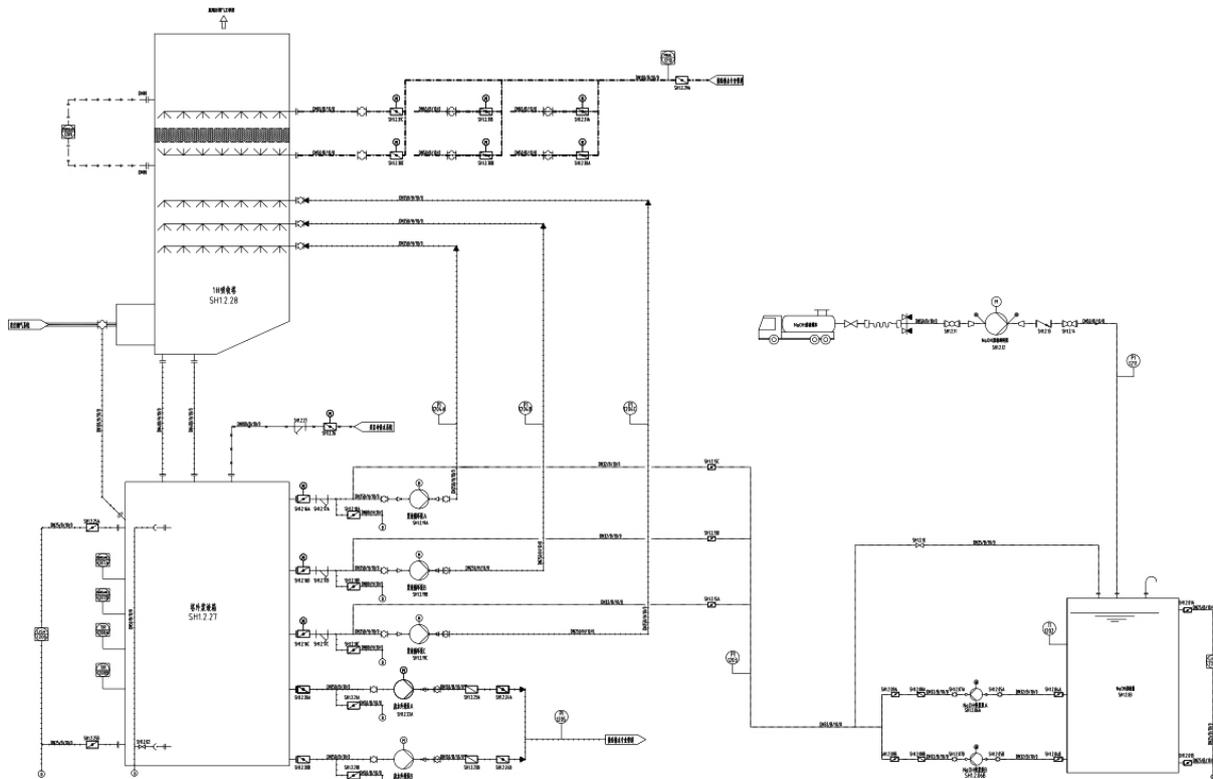


图1 脱硫工艺图

生产工艺操作过程（见图1）：NaOH（浓度30%）溶液通过罐车运输至NaOH溶液箱，液位一般在1m以上。确保脱硫剂充足。当塔外浆液箱PH值下降至5.0以下且SO<sub>2</sub>含量有上升趋势且接近50mg/m<sup>3</sup>时，需将塔外浆液箱里面的脱硫液进行外排，并补充NaOH溶液。NaOH溶液由供浆泵输送至塔外浆液箱，PH值正常范围区间为5.5-6.5。塔外浆液箱里面的脱硫液有NaOH溶液、补充的新水以及吸收塔回流的脱硫浆液，脱硫液由循环泵输送至吸收塔。适当调整增压风机频率增加烟气流进入吸收塔内，脱硫液和热风炉烟气充分接触发生化学反应，完成脱硫。

烟气系统工艺（见图2）：在热风炉烟气换热器和烟囱之间安装一台气动蝶阀，在阀前安装DN2500管道、引风机，由引风机将原烟气引入板式换热器，原烟气进换热器之前温度一般在150℃左右，出换热器温度为75℃左右，原烟气从板式换热器出来后，进入吸收塔，在吸收塔内和脱硫液进行化学反应，形成净烟气，净烟气进入板式换热器加热后，一般加热至80℃左右，进入DN2800烟道，回到主烟道气动蝶阀后端，再将净烟气排至烟囱排放。

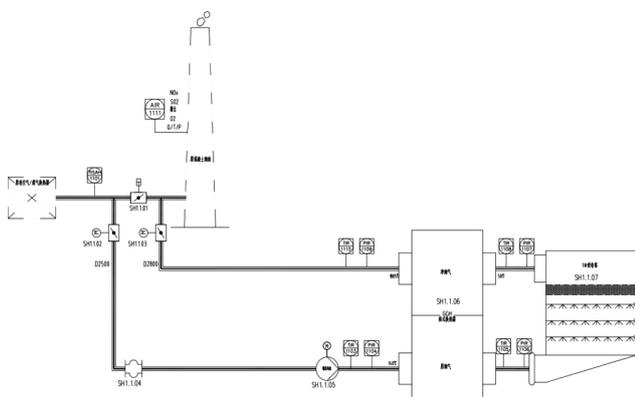


图2 脱硫烟气图

在烟囱中段安装烟气取样装置，现场设置一间烟气分析小室，1#炉为雪迪龙在线监测设备。2#为聚光科技在线监测设备。每周进行在线设备维护，每季度进行进行第三方数据对比。在线监测烟气中SO<sub>2</sub>、粉尘、氮氧化物、氧含量、流量、温度等参数。保证设备和数据稳定性。

湿法脱硫关键工艺：

1) 湿法脱硫后的烟气温度一般比较低，40℃左右，低于烟气的酸漏点，如果直接排放，对管道有腐蚀，同时烟囱会有白羽出现。因此，在烟气出口增加GGH换热器，将脱硫烟气温度加温至80℃左右，解决以上两个问题。

2) 脱硫废水可排至高炉渣处理系统进行循环利用，渣处理水质呈碱性，可以中和酸性脱硫废水。

3) 烟气板式换热器安装了自动吹灰器，对板式换热器里面的换热板进行定期自动吹灰，保证换热效果，减少换热器系统阻力。

4) 吸收塔壳体采用双向不锈钢2205材质焊接而成，具有良好的耐腐蚀性，同时具有耐高温性。

5) 塔外浆液箱外壳可普通通碳钢，浆液箱内侧安装防腐内衬，以降低投资成本同时能满足运行要求。

6) 吸收塔出口至混凝土烟囱入口前烟道采用玻璃鳞片防腐。

7) 烟气引风机为永磁调速器，根据排放数据变化调整风机频率，可以节约电耗。

8) 脱硫泵考虑耐腐蚀，脱硫泵叶轮和壳体考虑双向不锈钢材质等。

9) 主烟道阀门，在脱硫系统正常工作时处于关闭状态，当脱硫系统异常时，需快速打开主烟道阀门，该阀门需要快速打开，其传动方式最好选择液动或者气动。

10) 基础自动化控制系统包括PLC硬件设备、HMI监控及网络通讯设备等。PLC应用于设备的监控及控制、互锁和时序，还包括HMI、可视设备、报警记录、报表、趋势曲线、设定点控制等。

3 应用实践

自从2022年9月鄂城钢铁两个高炉的热风炉脱硫投产以来，各种排放数据达到国家超低排放检测要求，以1#炉2023年九月份平均数据为例：SO<sub>2</sub>：28mg/m<sup>3</sup>，粉尘浓度：2mg/m<sup>3</sup>，脱硫项目实施后，鄂城钢铁有限公司SO<sub>2</sub>减排量为373.5吨/年。

结束语

鄂城钢铁两个高炉的热风炉脱硫自从投产以来，设备运行平稳，排放控制在国家排放要求以内，减少了环境的污染，同时为鄂城钢铁2022年底达到国家超低排放A级标准奠定了基础。

参考文献

[1]朱建伟,张伟,王立强.热风炉烟气脱硫工艺及其应用实践[J].中国环保产业.2018,(05):28-32.  
 [2]张小林,李晓明,郑小红.热风炉烟气脱硫工艺比较与优劣分析[J].能源建设.2019(03):45-50.  
 [3]孙志刚,赵宏.热风炉烟气脱硫技术研究与应用[J].热力工程.2020,(07):56-60.  
 [4]王大为,李小刚,刘磊.燃气热风炉烟气脱硫工艺的改进及应用.环境保护与循环经济.2021,(02):18-22.