

首秦烧结烟气利旧 NID 脱硫设施可行性研究

王代军

(北京首钢国际工程技术有限公司烧结设计室, 北京 100043)

摘要: 烧结生产过程中产生大量的 SO_2 烟气, 对空气质量和环境保护造成极大的破坏。首秦公司现有 2 台 150m^2 烧结机, 烟气总排放量 $1632000\text{m}^3/\text{h}$; 首钢电力厂 3 套 NID 脱硫设施, 烟气处理量为 $1200000\sim 1800000\text{m}^3/\text{h}$ 。烟气特性分析表明: 从脱硫原理上看, 烟气差异, 不是影响脱硫的主要因素。通过风量匹配和均衡分析, 3 套 NID 脱硫设施能满足首秦烧结脱硫要求。针对喘振现象, 增压风机是低压的引风机, 风机的性能曲线比较平缓; 3 套 NID 脱硫设施并联运行, 其系统阻力基本一样, 不会造成流量较大偏差; 将烧结主抽风机与增压风机进行联锁控制, 当需要停止 1 台烧结机, 同时停止 1 台增压风机, 能有效避免喘振、抢风现象。

关键词: 烧结烟气, 利旧, 风量匹配, 均衡分析

Study on the Feasibility of Shouqin Sintering Flue Gas Benefits the Old NID Desulfurization Facilities

WANG Dai-jun

(BeiJing ShouGang International Engineering Technology Co., Ltd. Beijing 100043, China)

Abstract: Sintering production process produce large amounts of SO_2 gas, which cause great damage to air quality and environmental protection. Shouqin existing $2 \times 150\text{m}^2$ sintering machines, the emissions of flue gas is $1632000\text{m}^3/\text{h}$. There is 3 sets of NID desulfurization facilities in Shougang power plant, the capacity of flue gas treatment is $1200000\sim 1800000\text{m}^3/\text{h}$. Flue gas properties analysis show that: according to the desulfurization principle, the flue difference is not the main factor of affecting the desulfurization. Matching the amount of wind and equilibrium analyzing, the 3 sets of NID desulfurization facilities can meet Shouqin sintering desulfurization. Aiming at surge phenomenon, the booster fan is a low-pressure induced draft fan, the fan performance curve is relatively flat. The 3 sets of NID desulfurization facilities operate in parallel, the system resistance is essentially the same, and can not cause a larger flow deviation. Sinter main exhaust fan and booster fan will be interlock controlled, When a sintering machine need to be stopped, and one booster fan is stopped, which can avoid the surge phenomenon effectively.

Key words: sintering flue gas, bensfits the old, wind volume matching, equilibrium analysis

钢铁行业是国家重要的基础产业, 又是高能耗、高排放增加环境负荷源头的行业^[1]。从钢铁生产的工艺流程分析, 钢铁生产过程产生的 SO_2 主要来源于烧结工序^[2]。铁矿粉烧结生产过程中, 原燃料中的硫在偏氧化性气氛环境中以气态氧化物形式释放到烧结烟气中排入大气, 是钢铁行业 SO_x 的主要排放源头, 约占钢铁生产过程中总排放量的 75%。据不完全统计, 我国钢铁行业投产运行的烧结机每年排放的 SO_x 总量约 60 万 t, 而且随着烧结机产能的不断扩大, 排放到大气中的 SO_x 将会增多。同时在烧结生产过程中, 还会生成 NO_x 和二噁英等有害物质^[3]。

烧结烟气中 SO_x 的大量排放导致并加剧酸雨的形成，对空气质量和环境保护造成极大的破坏。尤其今年以来，我国大范围出现连续雾霾天气，空气严重污染。我国“十一五”规划发展纲要中明确提出：要建设资源节约型和环境友好型企业，要加强大气污染防治，努力推进钢铁行业 SO_x 综合治理，实施排放总量控制。今年，国家对空气治理提到更高高度。因此对烧结生产过程 SO_x 等有害物实施有效减排是烧结行业生存的基础，也是烧结工作者的职责与使命。

秦皇岛首秦金属材料有限公司现有 2 台 150m² 烧结机，由于秦皇岛属旅游城市，“十二五”期间，秦皇岛市政府将首秦公司烧结机脱硫治理项目列入“十二五”污染减排计划。2011 年秦皇岛市下发《秦皇岛市“十二五”主要污染物总量减排规划》，要求首秦公司在 2013 年完成 2 台烧结机烟气脱硫设施建设。首钢电力厂原有 3 台 220 吨燃煤锅炉，2006 年配套建设 3 套烟气脱硫设施，烟气脱硫采用法国 ALSTOM 公司 NID 半干法技术。自 2007 年初投产以来，已连续运行 3 年多，运行效果良好，按照首钢总公司的停产计划于 2010 年 12 月 25 日停产。本着盘活资产、降低投资的原则，将电力厂 3 套 NID 脱硫设施搬迁建设到首秦烧结厂，本文研究其可行性。

1 脱硫原理

NID 脱硫除尘一体化技术是法国 ALSTOM 公司在 20 世纪 90 年代初，从喷雾干燥法开发而成^[4]。该系统是利用含有 CaO 或消石灰的吸收剂与 SO_x 反应生成 CaSO₃ 和 CaSO₄，除尘器收集下来有一定碱性的粉尘与 CaO 混合增湿后再进入除尘器入口烟道和烟箱，反复循环。NID 脱硫除尘系统包括反应器、高浓度除尘器(ESP 或 FF)、混合器、循环灰输送系统四个核心系统^[5]。武钢三烧 360m² 烧结机采取 NID 半烟气脱硫除尘工艺，目前已运行三年多，脱硫效率达 95%。NID 烟气脱硫除尘系统工艺流程见图 1。

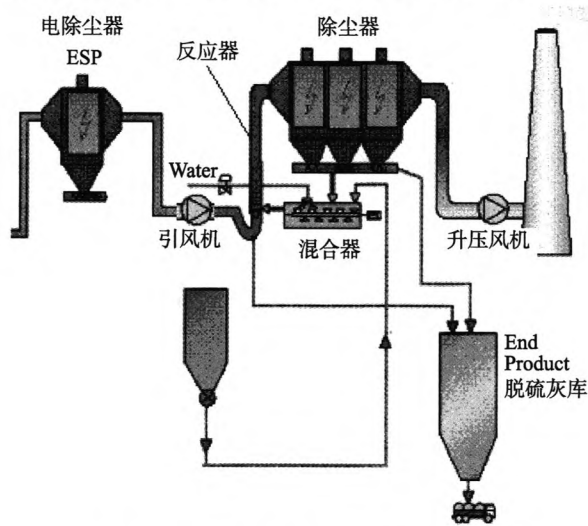


图 1 NID 烟气脱硫除尘系统工艺流程

Fig. 1 The process of NID flue gas desulphurization and dust removal system

从 ESP 出来的高温烧结烟气进入烟道反应器，加水增湿的循环灰和脱硫剂在混合器中混合后同时进入烟道反应器。烟道反应器内形成充满高浓度湿灰和脱硫剂的环境，烟气迅速降温、增湿。烟气温度降到 70℃左右，烟气相对湿度达到约 40%，此时烟气中 SO₂ 与吸收剂 Ca(OH)₂ 反应生成 CaSO₃ 和 CaSO₄。反应后的烟气携带大量的干燥固体颗粒进入脱硫后的高浓度布袋除尘器内收集净化，净烟气经过引风机

排入烟囱。除尘器捕集下来的干燥固体颗粒落入灰斗，大部分经循环灰输送设备再次进入烟道反应器，以便充分利用吸收 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。少部分排出系统外，形成脱硫终产物。

NID 工艺特征是脱硫剂的低温度和高比例循环。NID 脱硫工艺与除尘器组合为一体，结构简单，设备紧凑，占地面积小、物料循环倍率可达 30~50 次以上。正常情况下脱硫效率达 90%以上，具有运行简单可靠，负荷可调等特点。NID 脱硫除尘一体化技术为半干法脱硫技术，易形成酸雾的 SO_3 能被 100% 脱除，排烟温度高于露点温度，不存在酸露腐蚀，现有烟囱不需要任何额外处理，比较适合改造项目。NID 工艺的核心是其混合器/调湿器。通过向除尘器集尘中加水，将灰尘中的平衡水分含量增加几个百分点。在混合器中水被均匀地加在循环烟尘中，固体粉尘可自由流动而不黏结，确保湿尘在烟气流中均匀分布并吸收 SO_2 。石灰、水、循环烟尘的混合在烟气流外完成，保证其在喷入烟气流前混合均匀。

2 烟气特性分析

首秦烧结为带式抽风烧结过程，将铁矿粉、熔剂、燃料及返矿等按设定比例组成混合料，配以适量水分，经混合制粒后，铺于带式烧结机的台车上，在一定负压下点火，并在负压抽风下，混合料自上而下进行燃烧。烧结烟气是烧结混合料点火后，随台车运行，在高温烧结过程中所产生的含尘废气。烧结机烧结时产生的烟气中， SO_2 浓度变化很大，其头部和尾部烟气浓度低，中部浓度高。烧结料中铁的氧化物会起到催化剂的作用，将部分 SO_2 催化氧化为 SO_3 。焦粉中的一部分有机硫转入气相呈单质硫并被氧化，由于烧结过程存在温度不均匀，排出的烟气中还含有 H_2S 和 CaS 。为了去除砷、锌、铅等物质，往往会在烧结料中加入质量比为 2%~3%的 CaCl_2 等氯化物，生成的可挥发性氯化物也进入烟气。另外，烧结烟气中含有一定量的铁氧化物，在其作用下，烟气中部分 SO_2 被氧化为 SO_3 ^[6]。其特点有：

(1) 国内钢铁行业普遍采用抽风烧结形式，与电力厂相比，电力厂通过精确地计算过量空气系数，并通过引风机配送空气，烧结机抽风过程属粗放型的燃烧过程^[7]。烧结烟气受铁矿石、原燃料配比和成分、生产要求变化影响，烟气中 SO_2 浓度变化大，在 400~2000mg/Nm³ 之间；烟气流量变化大，波动幅度在 35%以上；烟气温度变化大，范围为 120~180℃；水含量大，在 7%~13%之间，且不稳定；含氧量高，在 15%~18%之间；烟气成分复杂，含有 SO_2 、粉尘，以及微量 HF、HCL、重金属、二噁英等多种污染成分^[8]。

表 1 为首钢电力厂锅炉烟气和首秦烧结机头烟气，可以看出电力厂烟气与烧结机头烟气在含氧量上差别较大，烟气含湿量差不多，烧结烟气中 SO_2 浓度远低于电力厂。

表 1 电力厂与烧结机头烟气组分及特性对比表

Table 1 The comparison table of the power plant and sintering flue gas composition and characteristics

烟气来源		首钢电力厂	首秦烧结厂
烟气	烟气温度(℃)	130	110
	烟气流量(m ³ /h)	1200000~600000	2×816000
	SO ₂ 浓度(mg/Nm ³)	约 3000	800 ~ 1300
	NO _x 浓度(mg/Nm ³)	约 400	约 280
	含湿量(Vol%)	7	8
	含氧量(Vol%)	5~6	13~15
	粉尘浓度(mg/Nm ³)	≤ 50	≤ 50

从表 1 看出：尽管烧结烟气具有排放量大、SO₂ 排放浓度低且波动范围宽、SO₂ 排放总量大的难点，当烟气量波动时，仍然处于 NID 脱硫设施处理范围。

(2) 烧结机头与电力厂烟气的烟尘浓度基本一致，但是在成分上，有本质的区别。由于烧结燃烧过程控制不够精确，加上铁矿粉成分、燃料及熔剂的变化，烧结烟气的烟尘中，主要有飞灰、矿粉(含 Fe、Mn 等元素)，而电力厂烟尘主要成分是飞灰。尽管烟气的中交大颗粒灰渣经过烧结机头的电除尘器不可避免地会被带入吸收塔，但最终也被脱硫塔后的布袋除尘器净化。

以上分析表明：电力厂烟气与烧结烟气特性本质上有差异，但从脱硫原理上，不是影响脱硫的主要因素，将电力厂脱硫设施搬迁至烧结厂并非不可行。

3 脱硫设施利旧可行性研究

3.1 风量匹配分析

首秦 2 台 150m² 烧结机，每台配套除尘为 280m² 三电场电除尘器，主抽风机进口风量：960000m³/h、进口负压：-15000Pa；主抽风机出口风量：816000m³/h，2 台风机总风量 1632000 m³/h；粉尘外排浓度 ≤ 50mg/Nm³，SO₂ 外排浓度 800 ~ 1300mg/Nm³。首钢电力厂 NID 单套脱硫设施设计最小处理风量为 400000m³/h，最大处理风量为 600000m³/h，3 套处理能力为 1200000~1800000m³/h。因此从处理风量上看，原有的 3 套 NID 脱硫系统完全满足首秦两台烧结机脱硫风量需要。首钢电力厂原 NID 脱硫效率设计为 90%，实际运行中达到 95%，从脱硫效率上看，原 NID 脱硫设施也满足首秦烧结烟气脱硫要求。

3.2 风量均衡分析

由于本工程是搬迁利旧、盘活资产项目，原 3 套 NID 脱硫设施处理现有 2 台烧结机烟气，这就要求风量均衡分配。分配原理如图 2 所示。

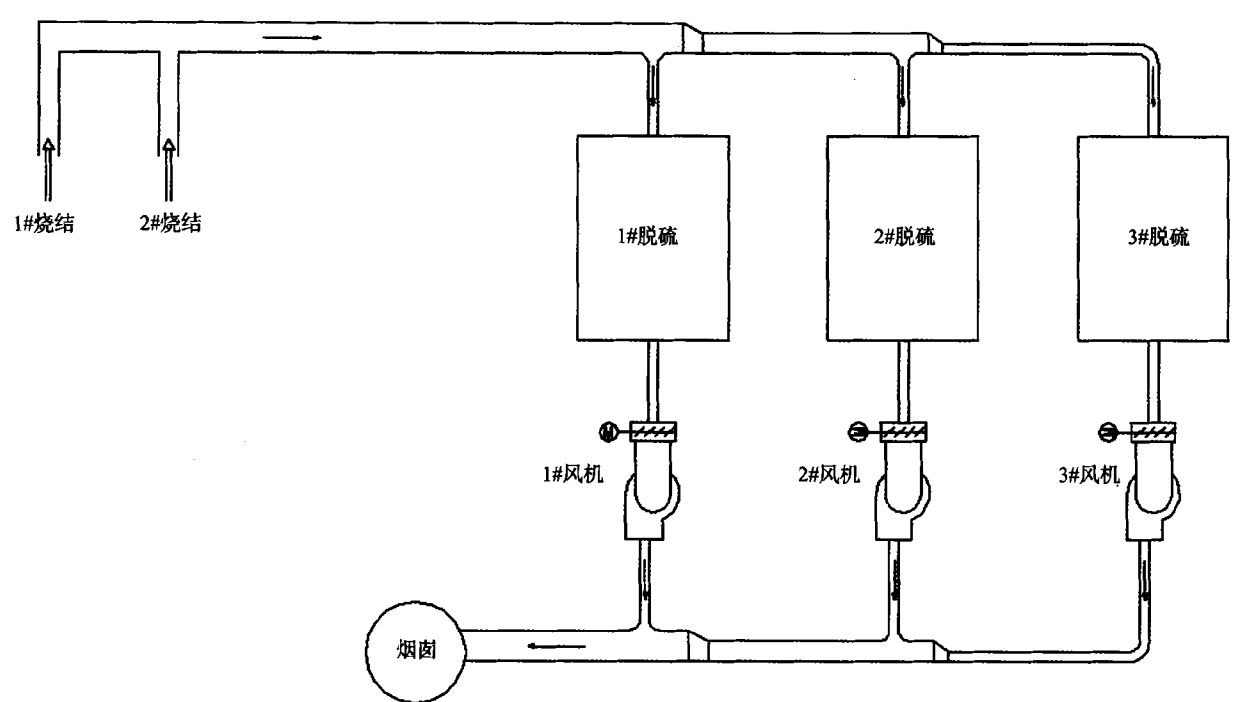


图 2 风量分配原理

Fig. 2 The principle of distribution

将 2 台烧结主抽风机出口风量取出汇总，引至 3 套 NID 脱硫设施烟气入口，2 台烧结机和 3 套脱硫设施属于相互之间并联关系。每台脱硫设施配置 1 台增压风机，风机进口装有调节阀门，风管上设置流量检测仪，流量检测与阀门进行连锁控制。以此来均匀分配风量，实现 3 套 NID 烟气正常处理。同时，3 台增压风机与 2 台主抽风机连锁控制，若有 1 台烧结机出现故障，立即启动连锁停运 1 台增压风机。

3.3 不确定因素分析

3 套 NID 脱硫设施对应 2 台烧结机，运行中确有风量分配不均的状况，有关专家存有增压风机喘振的疑问。

所谓喘振，是指风机的流量和能头在瞬间内发生不稳定的周期性反复变化的现象。风机产生的最大能头小于管路中的阻耗，流体开始反向倒流，由管路流入风机中，由于风机连续运行，当管路中压力降低时，风机又重新开始输出流量，只要外界需要的流量保持小于临界流量时，上述过程又重复出现，即为喘振。理论上，喘振的发生，具备以下三个条件：

- (1) 风机具有驼峰形性能曲线，并在不稳定工况区运行；
- (2) 管路中具有足够的容积；
- (3) 整个系统的喘振频率与机组旋转频率重叠，发生共振。

喘振发生在小流量处，并且振动的周期比较长，频率范围为 $10 \sim 0.1\text{Hz}$ 。通常情况下，对于轴流风机及高压离心风机发生喘振的可能性比较大。例如离心式空压机，其流量运行范围是 $70\% \sim 100\%$ ，当流量低于下限运行时，有可能发生喘振，为此必须通过防喘阀放掉一部分风量，以加大空压机运行风量，使其运行在稳定区。大型高炉鼓风机的情况与此类似。因此，在离心式空压机及高炉鼓风机的系统设计中都必须设有防喘阀及止回阀。究其根本原因，因为空压机及鼓风机的流量是受外部用户的用量控制的，而外部用户的用量有较大波动，而空压机及鼓风机的流量调节范围有限，很容易发生喘振。

3.4 解决措施分析

而对于通风机及引风机等设备，一般不参与流量调节，因此其运行时仅会因为管路系统的阻力不同而发生流量的变化，而此变化范围基本不会超出风机流量允许的变化范围。因而，在工程设计中，对于风机类的设备不用考虑防喘设施。当然，在风机起动的过程中，必然会经历一个小流量的工况，但时间很短，也不会发生喘振。

本搬迁利旧工程中增压风机是低压的引风机，风机的性能曲线如图 3 所示。

从图三看出：风机的性能曲线比较平缓，其流量范围也比较宽，约为 $50\% \sim 100\%$ ，因此不易发生喘振。而更为重要的一点，本工程中引风机的风量来自烧结主抽风机，基本不受外部影响。而烧结主抽风机工况比较稳定，无需经常调节，不会轻易产生喘振。

当然，我们还要考虑到另外两个影响流量的因素。由于 3 套 NID 脱硫设施并联运行，如果 3 套系统的阻力差别过大，有可能引起流量的分配不均。由于 3 台脱硫装置是完全一样的系统，其系统阻力基本一样，而这部分阻力是系统的主要阻力，因此即使外部管路的阻力不同，对总阻力的影响也很有限，不会造成流量较大偏差。当然，我们在设计中还要将每台增压风机进出风管的总阻力尽量保持一致，尽可能的使进入 3 台增压风机的流量均匀分配；另外，还可以通过风机入口的调节风门进行辅助调节，使各个系统的阻力均衡，完全可以避免所谓的“抢风”现象。

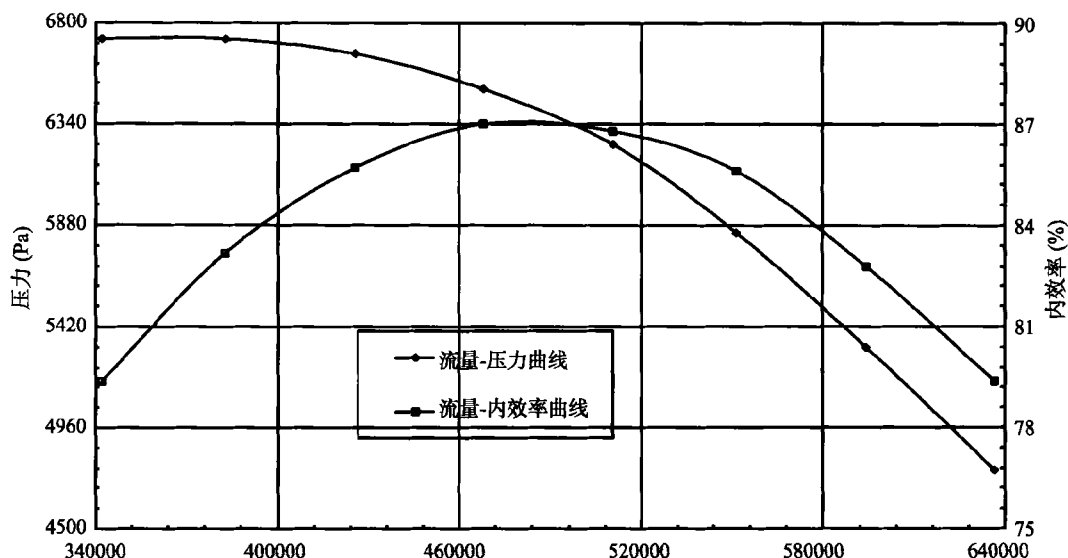


图 3 风机的性能曲线

Fig. 3 The performance curve of fan

如果只有 1 台烧结机运行，这是最有可能发生喘振的情况，这就要求在操作上引起重视。当需要停止 1 台烧结机运行时，需要同时停止 1 台增压风机，如 3.2 所述，把烧结主抽风机与增压风机进行必要的联锁，以避免在烧结风机故障时造成增压风机的喘振。3 台增压风机带液力耦合器的调速风机，可以进一步增加风机的稳定运行区域，从而减小风机的喘振区。

因此，本工程中采用 3 套 NID 脱硫设施对应 2 台烧结机运行的方案完全成立，可以做到安全稳定运行，避免喘振、抢风现象发生。

4 结论

鉴于当前钢铁行业严峻形势和资金紧张的现状，首钢总公司本着“盘活资产、降低投资”的原则，首秦公司烧结烟气脱硫项目拟采用已停产的原首钢电力厂 NID 半干法脱硫装置，建设秦皇岛首秦金属材料有限公司 2 台 150m² 烧结机烟气脱硫项目，项目具有可行性，主要体现在以下三点：

(1) 电力厂烟气与烧结烟气特性本质上有差异，但从脱硫原理上，不是影响脱硫的主要因素，二者烟气温度接近，烧结烟气含硫量远低于电力厂烟气，将电力厂脱硫设施搬迁至烧结厂并非不可行。

(2) 3 套 NID 脱硫设施总处理风量为 1200000~1800000m³/h, 2 台烧结主抽风机出口总烟气量 1632000 m³/h，在处理范围，风量能匹配；在增压风机入口前，安装调节阀，实现风量均衡分配。

(3) 3 台增压风机是低压的引风机，风机的性能曲线比较平缓；3 套 NID 脱硫设施并联运行，其系统阻力基本一样，不会造成流量较大偏差；烧结主抽风机与增压风机进行联锁控制，当需要停止 1 台烧结机，同时停止 1 台增压风机；借此避免喘振、抢风现象发生，实现烧结生产、脱硫运行稳定。

参考文献

- [1] 岑望来, 胡勇, 李进, 叶海, 尹华强. 烧结烟气脱硫技术现状[J]. 工业安全与环保, 2007, 33(7): 27.
- [2] 张晓刚, 宋存义, 王亮, 周超. 密相干塔技术在烧结烟气脱硫中的应用[J]. 钢铁, 2007, 42(7): 79.

[3] 李强, 杨晓岗. 半干法烧结烟气脱硫工艺技术分析[J]. 山西冶金, 2008, 31(5): 1.

[4] 葛介龙, 王新龙. NID 脱硫工艺在国内的应用研究[J]. 电力环境保护, 2002, 18(1): 10-12.

[5] 朱新源, 夏志强, 李雨辰. 循环流化床强化脱硫技术研究现状及进展[J]. 电站系统工程, 2009, 25(3): 43.

[6] 宋伟明. 钢铁联合企业控制二氧化硫污染的讨论[J]. 钢铁, 1999, 34(7): 66-69.

[7] 徐灿君, 孙广艳. 石灰石-石膏法烧结烟气脱硫工艺[J]. 技术创新, 2009, 34.

[8] 王代军, 李长兴. 烧结模拟烟气活性半焦脱硫研究[J]. 钢铁, 2010, 45(8): 94.

(上接第 112 页)

综合评定, 相对于 ENS 半干法, XPB 湿法脱硫工艺更适合处理该钢铁公司烧结烟气脱硫。XPB 法脱硫工艺效率较高, 为 95%以上, 能满足《钢铁工业大气污染物排放标准烧结(球团)》(GB28662-2012)要求。该钢铁公司的烧结(烟气中 NO_x 排放浓度在 150~320mg/m³ 之间, 基本能满足标准要求, 所以工艺选择不需要考虑工业脱硝要求, 设计上可在除尘器前预留活性炭投加装置, 可根据国家产业政策要求, 未来考虑用于去除二噁英。

4 结论

综上所述脱硫工艺选择宜遵循以下原则:

- ①烧结工艺原料硫含量较高, 烟气 SO₂ 初始浓度较高 (SO₂ 浓度大于 2500mg/m³) 或要求脱硫效率在 95%以上, 适宜选择 XPB (气喷旋冲法) 脱硫工艺。高 SO₂ 浓度的烧结球团烟气, 脱硫效率就比较突出, 湿法脱硫工艺稳定, 保证达标排放。
- ②烧结工艺原料硫含量较低, 烟气 SO₂ 初始浓度较低, 老烧结工艺增设脱硫设施, 适宜选择半干法脱硫工艺, 该方法脱硫效率较高, 一次投资、运行成本相对于湿法工艺经可降低 1/4 左右; 老烧结工艺增设脱硫设施, 也适宜选择半干法脱硫工艺, 该法节省总图位置, 一般是湿法脱硫工艺所需总图位置的 70%。
- ③项目所在地区对环保排放要求较高, 对二氧化硫、氮氧化物、二噁英排放有要求, 适宜选择干法脱硫工艺, 建议活性炭 (焦) 吸附法, 该法兼具脱硝、脱噁、重金属和粉尘的作用, 是未来烧结烟气脱硫技术的发展方向。

参考文献

[1] 郝继峰, 汪莉, 宋存义. 钢铁厂烧结烟气脱硫技术的探讨[J]. 太原理工大学学报, 2005, 36(4): 491-494.

[2] 曲余玲, 毛艳丽, 张东丽. 烧结烟气脱硫技术应用现状及发展趋势[J]. 冶金能源, 2010, 29 (6) 51-56

[3] 廖美春 黄志明烧结烟气脱硫技术路线对比分析, 冶金能源[J]. 节能减排, 2010, 1: 21-23.

[4] 周安玉. 国内钢铁烧结烟气脱硫主流工艺应用与投资评价[J]. 节能减排, 2009, 12: 25-30.

[5] 董津博等. 浅析烧结系统烟气脱硫技术[C]烧结工序节能减排技术研讨会文集, 2009: 143-146.

[6] 李春风. 我国钢铁烧结烟气脱硫现状及建议[C]烧结工序节能减排技术研讨会文集, 2009: 103-106.

[7] 沈晓林等. 宝钢烧结烟气脱硫技术的研发与应用[J]宝钢技术, 2009, 3: 7-11.

[8] 金光, 王铁瑛. 包钢烧结机机头烟气脱硫除氟工艺[J]应用科学, 2009, 11: 40.