

钢铁厂烧结脱硫脱硝除尘超低排放技术比选与应用分析

刘振华 种顺利 张海洋

(山东国舜建设集团有限公司, 山东 济南 250300)

【摘要】随着我国对钢铁行业大气污染治理的要求越来越高, 烧结烟气中 SO_2 、 NO_x 、颗粒物等污染物排放要求也越来越严重。烧结烟气特点是温度低、含尘浓度高, 同时含有大量 SO_2 、 NO_x 、颗粒物等污染物, 因此烧结烟气治理技术选择成为重要的研究课题。本文针对国内部分钢铁企业烧结烟气治理现状, 对脱硫脱硝除尘超低排放技术进行了比较分析, 并结合工程案例对技术的适用性进行了分析。

【关键词】钢铁厂; 烧结脱硫脱硝除尘超低排放技术; 比选; 应用

引言:

随着我国钢铁行业的快速发展, 在给国民经济带来巨大推动的同时, 也对环境产生了严重影响。目前我国钢铁行业面临着巨大的环境压力, 环保政策不断趋严, 大气污染物排放标准和总量控制指标不断提高。烧结是钢铁生产过程中重要的工艺环节, 在烧结工序产生大量污染物。在钢铁厂烧结生产中使用的脱硫脱硝除尘设备较多, 通过对不同脱硫脱硝除尘设备进行对比分析, 选择出较为适合钢铁厂烧结生产的脱硫脱硝除尘设备。

一、我国烧结烟气治理现状及存在问题

近年来, 国家对钢铁行业大气污染治理的要求越来越高, 各钢铁企业也都加大了烧结烟气治理的力度, 并取得了一定成果。

由于烧结烟气中 SO_2 浓度较高, 因此对烟气中 SO_2 进行脱除是目前治理烧结烟气的主要方法之一, 近年来, 我国大力推广高效布袋除尘技术, 并在多个钢铁企业得到应用, 但由于该技术对含尘气体除尘效率较低, 且运行阻力大, 在使用过程中出现了布袋腐蚀、堵塞等现象。

(一) 能源消耗高

不论何种超低烟气处理技术, 其 SCR 脱硝时都要将烟气升温到 300°C 以上, 即使使用了烟气换热 (GGH), 也要通过加热炉使烟气升温约 40°C , 能耗巨大。

针对目前 SCR 脱硝过程中存在的高能耗问题, 国内外研究人员都将重点放在了提高低温 SCR 脱硝催化剂的性能上。通过对催化剂的性能进行优化与改善, 达到降低 SCR 脱硝反应所需要的温度, 从而达到节能降耗的目的。

(二) 催化剂的堵塞

SCR 脱硝工艺中, 一部分 SO_2 被催化剂氧化为

SO_3 , 同时还会与过量的氨发生化学反应, 形成一种黏性极高、腐蚀性极强的硫酸氢铵, 它容易附着在烟气中飞灰粒子上, 导致催化剂失效、设备腐蚀。目前对其进行控制的方法主要有降低氨逸量、优化喷氨流场和控制 SO_2 氧化速率。采用 Fluent 软件对高炉烧结烟气 SCR 脱硝系统进行仿真和优化, 能够解决烟气回流和降低氨 / NO_x 摩尔比标准偏离系数的难题。

二、钢铁厂烧结脱硫脱硝除尘超低排放技术

(一) 干法脱硫技术

干法脱硫技术分为物理吸附和化学吸附两类, 物理吸附是指利用活性炭、分子筛等材料对 SO_2 进行物理吸附; 化学吸附是指利用活性炭对 SO_2 的化学吸附, 使 SO_2 与活性炭发生化学反应, 达到脱硫的目的。化学吸附工艺主要包括干法脱硫塔内的喷淋层、干法脱硫塔内的吸附层和气液分离器等。干法脱硝技术主要包括 SNCR 和 SCR 两类。SNCR 脱硝技术利用氨与氮氧化物在高温下进行反应生成 NO_x , 在脱除氮氧化物的同时脱除 NO_x ; SCR 脱硝技术利用氨与氮氧化物在催化剂作用下反应生成氨气和水。目前我国钢铁企业烧结烟气普遍采用 SNCR 技术进行脱硝处理。

干法脱硝工艺的优点是运行稳定、成本低、占地小; 缺点是效率较低, 易二次污染。

(二) 湿法脱硫技术

湿法脱硫工艺是目前烧结烟气治理的主流, 在国内应用较多的有石灰石-石膏法、氨-石灰石法、亚临界水氧化法、氧化镁-石膏法、钠基脱硫等。

石灰石-石膏法是在石灰粉中加入石膏, 使其与烟气中 SO_2 反应生成硫酸盐和石膏, 实现脱硫。石灰石-石膏脱硫技术具有脱硫效率高, 副产物中只有石膏, 可以不加其他任何添加剂的优点, 但同时也存在运行费用高的缺点。近年来, 由于该技术容易引起设备腐蚀, 运行维护难度大等原因, 也逐渐被其他技术

所取代。

亚临界水氧化法是在亚临界水中加入氧化剂使 SO_2 氧化为 SO_3 , 然后脱除 SO_2 的一种工艺。该工艺具有运行稳定、设备腐蚀轻等优点。但该工艺在反应过程中有大量的废水产生, 且催化剂活性易受水影响而下降。

氨-石灰石法是在氨溶液中加入石灰粉与石膏, 在碱性条件下吸收 SO_2 生成 CaSO_3 和 Na_2SO_3 。该工艺脱硫效率高, 副产物为硫酸铵和硫酸钾等无机物, 不会造成二次污染。但是该工艺对脱硫剂的要求高、投入量大、设备投资费用高。且随着脱除二氧化硫的增加, CaSO_3 和 Na_2SO_3 的浓度会不断下降, 当石灰石和石膏的浓度达到一定值时, 就需要用新鲜的石灰石粉或石膏浆液来补充。

钠基脱硫法是在碱性溶液中加入钠盐或碱盐使其与烟气中的 SO_2 发生反应生成 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 和 Na_2SO_4 等物质而实现脱硫。该工艺具有设备投资少、运行费用低等优点, 但由于反应过程中会产生大量废水、副产物为硫酸铵和硫酸钾等副产品且需要用新鲜的石灰石粉或石膏浆液来补充, 同时可能造成二次污染等问题。

(三) 选择性催化还原技术

选择性催化还原 (SCR) 技术是目前国际上应用最广泛的脱硝技术, 它是在催化剂作用下, 通过还原剂将烟气中的 NO_x 还原为 N_2 和 H_2O , 同时不会对烟气造成二次污染。SCR 工艺需要的催化剂由贵金属和过渡金属组成, 在高温条件下起主要作用的是过渡金属, 这些过渡金属对 NO_x 具有较好的催化活性。在脱硝系统中一般采用碱性催化剂, 使 SCR 反应中生成的 NH_3 与烟气中的 NO_x 发生反应生成 N_2 和 H_2O 。

选择性催化还原法主要用于处理含低浓度 NO_x ($<2\text{mg}/\text{m}^3$) 烟气, 但因其投资成本高, 所以通常用于高 NO_x 浓度烟气处理上。由于 SCR 技术可以同时去除烟气中 NO_x 、 SO_2 和颗粒物等污染物, 而且适用温度范围广 ($250\sim 400^\circ\text{C}$), 因此在烧结、焦化、炼铁、炼钢等工业领域得到广泛应用。

(四) 强化吸收除尘一体化技术

强化吸收除尘一体化技术是指在除尘器前设置一个强化吸收塔, 利用烟气在管道中的运动特性, 在烟气与除尘设备之间建立一个流动边界层, 实现强化烟气与除尘设备之间的传质过程, 以提高除尘器效率、降低能耗。该技术具有以下特点:

1. 除尘效率高、能耗低。该技术烟气经引风机进入除尘设备之前先进行强化吸收, 通过改变烟气的流动状态, 增加了烟气与除尘设备的接触时间, 提高

了脱硫效率, 同时降低了 SO_2 等酸性气体的露点温度, 有效控制了烟尘的产生。

2. 脱硫副产物易处理。该技术在除尘设备后设置吸收塔, 脱除粉尘后的烟气通过吸收剂进行脱除 SO_2 , 脱硫副产物为硫酸铵和硫酸钾等易处理物质。

3. 投资回收快、可持续。该技术采用强化吸收、除尘一体化工艺布置方式, 大大降低了投资费用; 采用高效率低能耗的高效吸收剂和高效除尘剂及辅助材料等措施, 降低了运行成本; 回收的石膏可作为水泥生产原料或制砖原料等。

三、案例概况

某钢厂为综合型企业, 年生产能力达 750 万吨, 产品有铁水、钢坯、钢材等。该钢厂采用的是一台 320m^2 的烧结机, 其利用率达到了 $1.300\text{吨}/(\text{m}^2\cdot\text{h})$, 工作效率达到了 90%, 同时还配备了一个以堆放原材料及各类辅助材料为主的封闭式环保料场, 占地面积 46750m^2 。就烧结技术而言, 该钢厂烧结工艺流程为: 将石灰石、含铁混合物、白云石及焦炭粉末用胶带机运送到配料室, 用密实车运输到配料室旁边, 将烧结料一次和两次拌和, 让它们充分混合均匀, 再点火, 抽风烧结, 将烧好的烧结饼从尾部卸出来, 冷却到低于 120°C 。经过一次成品筛分, 二次筛分, 分粒径尺寸, 分批送至成品矿仓。

烧结厂在生产 1 吨烧结矿石时产生 $20\sim 40\text{kg}$ 的烟尘, 同时还会产生大量的二氧化硫、氮氧化物等污染性气体, 对空气造成污染。为了真正达到超低排放的目的, 钢厂决定根据该烧结的排放特性对现有的一些生产流程进行比较, 在技术水平、费用、投入等多个角度来选择最合适的生产工艺。

(一) 技术比选

1. 脱硫工艺的比选。技术人员在这一环节中确定了脱硫工艺要实现的效能。通过查阅相关数据了解到目前的二氧化硫排放量 $P(\text{SO}_2)$ 应小于 $35\text{mg}/\text{m}^3$ 。在此基础上, 根据钢厂的具体条件, 确定了满足要求的最低脱硫率为 97.08%。同时, 针对烧结烟气 SO_3 浓度变化大、氧、湿含量高、组分复杂的特点, 在查阅了大量文献的基础上, 初步确定了脱硫流程。通过研究, 指出了现有的湿法脱硫技术和干法脱硫技术各自有其局限性。经初步研究, 确定采用环式流化床、旋转喷雾干燥脱硫法两种方法为初始方案, 并对方案进行比较。

2. 除尘技术的比选。按照国家有关规定, 应将颗粒物质的排放控制在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 以内。根据烧结厂的实际生产情况, 烧结烟气的收尘效率不能小于 99.9%, 对除尘装置提出了更高的要求。为此, 通过

对目前市面上两种主要的除尘装置进行了全面的分析比较，并列出了两种除尘器的基本资料。

表 1 除尘技术比选

项目	长袋低压脉冲除尘器	双室四电场静电除尘器
除尘效率 /%	>99.9	>99.9
粉尘理化性质对效率影响程度	较低	较高
平均运行阻力 /Pa	1200	300
最适运行温度 /℃	180	350
系统结构复杂度	较低	较高
烟气中氧和硫氧化物影响	对部分滤料存在不利影响	有利于提高除尘效率

从表 1 可以看出，这两种收尘器的收尘效果都比较好。结合实践经验，该两套除尘器总体操作也更可靠。然而，双室四场式静电除尘器存在着初期投入大、受气流变化影响大等问题，与钢厂烟气特性不匹配的问题。经分析，确定了采用长袋式低压脉冲除尘器。

3. 脱硝工艺的比较。通过对该钢厂烧结工艺的分析，结合排放标准，确定了该工艺方案的最小脱硝效率为 87.6%。在此基础上进行脱硝方式的比较。针对钢铁企业烧结烟气的实际特征，采用选择性非催化还原与选择催化还原，并对两者进行了比较，得出了比较结果。

针对选择性非催化还原过程中脱氮效率不高的问题，采用选择催化还原技术。

（二）技术应用

通过对烧结烟气的技术比较，确定了采用旋转喷雾干燥脱硫法+长袋低压脉冲布袋除尘+选择性催化还原脱硝法联合治理的烧结烟气治理方案。在流程设计方面，将设计流程与建筑图相结合，构建烧结烟气治理技术体系，并对该体系的治理效果进行试验。三种污染物在系统运行期间的排放量都在相应的限值以下。二氧化硫、细颗粒物、氮氧化物标准排放量满足“超低排放”标准。

本文针对某钢厂烧结生产实际，对现有脱硫、脱硝及除尘技术进行了综合比较，提出了适用于该钢厂实际需要的脱硫、脱硝和除尘技术方案，实际应用表明，本次设计的烧结烟气脱硫、脱硝、除尘技术方案达到了预期的效果，预计该技术将逐步推广应用。

四、脱硫脱硝除尘超低排放技术的发展方向

（一）工艺革新和完善

为实现烧结烟气的高效、环保化，必须对其进行技术革新与改造，因此有必要对脱硫脱硝技术进行深入的研究，开发新型脱硫技术及新材料，从而达到提高脱硫脱硝效果、降低能源消耗的目的。

在工艺上，要注意设备的配置与布局的优化，为保证系统稳定高效运行，必须根据不同的烧结体及烟气组成特性选用合适的脱硫、脱硝装置。将不同类型的脱硫、脱硝工艺有机结合，实现协同治理，提升系统的综合效能与资源利用效率。

（二）设备的优化和集成化

设备的优化和集成是推进我国烧结烟气脱硫脱硝技术发展的一个重要方向。首先，需对脱硫脱硝装置进行深入研究及改造，以满足超低排放的需求，并实现其高效运行。通过降低能耗提高脱硫脱硝效果，实现设备的节能、环保。

设备的集成化也是一个重要的一步，即把脱硫脱硝装置与烧结主要装置有机地结合起来，从回收再利用与资源的角度出发使整个体系能够更好地发挥作用，从而减少系统的能量消耗，改善系统的总体处理效率，为后续工艺的预处理工艺创造了有利的条件。

（三）运行管理和技术经济分析

在烧结烟气脱硫、脱硝、超低排放处理过程中，运行管理与技术经济分析具有十分重要的意义。首先，要有完善的运行和管理制度，定期检查、维护脱硫脱硝装置，保证系统的可靠运转和长时间稳定，强化运行管理人员的业务素质。

此外，还需要对其进行综合的技术经济分析。通过对脱硫脱硝的成本效益进行评价，找到制约其发展的关键因素，并提出相应的技术经济性政策，促进其在我国的推广与应用。分析运行维护费用与收益之间的关系，并提出相应的优化措施，以达到降低运行费用的目的。

五、结语

随着国家对大气污染防治力度的加大，对烧结烟气的排放要求也越来越高，国内部分钢铁企业已经或正在进行烧结烟气超低排放改造。在环保政策趋严的形势下，超低排放技术路线选择上要考虑技术成熟、运行稳定、投资少等因素。目前国内的烧结烟气处理技术发展还不成熟，相关企业要加强技术研发，为今后在此领域的大规模应用奠定基础。

参考文献：

- [1] 赵文波, 李小龙. 烧结机烟气超低排放技术 [J]. 中国环保产业, 2019, 0 (7) : 36-37.
- [2] 常治铁. 180m² 烧结机烟气脱硫除尘改造实例分析 [J]. 中国环保产业, 2021 (1) : 36-41.
- [3] 李庆, 张文婷, 侯雪超, 张晓军. 静电除尘极配方式对烧结机头微细粉尘收集效率的影响分析 [J]. 高电压技术, 2021, 47 (1) : 346-352.