

烧结烟气减排及脱硫脱硝技术应用研究

朱全政

河南安钢周口钢铁有限责任公司 河南 周口 466001

摘要: 烧结烟气中 SO_2 和 NO_x 是大气污染物重要部分,对环境、人体危害大,本文首先阐述了烧结烟气减排的必要性,从环保、行业发展和制度角度说明其重要性。接着研究脱硫技术,介绍了石灰石—石膏湿法、半干法、干法脱硫技术的原理、优缺点及适用范围,并比较选择。然后研究脱硝技术,分析SCR、SNCR及其他脱硝技术的原理、特点、局限及适用场景,同样进行技术比较与选择。最后指出企业选择脱硝技术要综合多方面因素,也可多种技术联合应用。

关键词: 烧结烟气减排; 脱硫技术; 脱硝技术; 应用研究

引言: 烧结烟气含大量 SO_2 和 NO_x ,对环境与人体危害严重。钢铁行业作为基础产业,面临资源短缺与环境污染压力,实现绿色可持续发展迫在眉睫。同时,我国严格的大气污染防治制度,要求钢铁企业确保烧结烟气达标排放。在此背景下,烧结烟气减排及脱硫脱硝技术应用研究至关重要。本文将深入探讨烧结烟气脱硫、脱硝技术,分析不同技术原理、特点、局限及适用场景,为企业选择合适技术提供参考。

1 烧结烟气减排的必要性

大气污染受全球关注,烧结烟气中 SO_2 和 NO_x 是大气污染物重要部分, SO_2 在空气中氧化形成硫酸盐气溶胶是酸雨形成主因之一,会对土壤、水体和植被造成严重破坏。 NO_x 不仅形成酸雨还参与光化学烟雾形成,对人体呼吸系统和眼睛等造成刺激和伤害,减少烧结烟气中 SO_2 和 NO_x 排放是满足环保要求、改善大气环境质量迫切需要;钢铁行业是我国基础产业却是高能耗高污染行业,资源短缺和环境污染问题日益突出使钢铁行业面临巨大可持续发展压力^[1]。烧结烟气减排及脱硫脱硝技术应用可有效降低钢铁生产过程污染物排放,提高资源利用效率,减少对环境负面影响,有助于钢铁行业实现绿色可持续发展;我国为加强大气污染防治出台一系列严格制度和标准,对烧结烟气中污染物排放浓度和排放总量进行严格限制,钢铁企业必须遵守相关制度,采取有效减排措施确保烧结烟气达标排放,否则将面临严厉处罚,所以烧结烟气减排及脱硫脱硝技术应用是企业合法生产经营必要条件。综合来看,烧结烟气减排十分必要,从环境保护角度,能减少大气污染物,改善环境质量;从行业自身发展角度,有利于钢铁行业应对资源环境压力,实现可持续发展;从制度角度,是企业合法经营必须满足的条件。

2 烧结烟气脱硫技术应用研究

2.1 石灰石—石膏湿法脱硫技术

石灰石—石膏湿法脱硫技术以石灰石浆液作吸收剂,通过喷淋装置将石灰石浆液喷入吸收塔,使其与烧结烟气中的 SO_2 发生化学反应,先生成亚硫酸钙,亚硫酸钙再被氧化为硫酸钙即石膏。该技术具备诸多优点,脱硫效率高,一般能达到95%以上,能有效降低烧结烟气中 SO_2 的含量;吸收剂来源广泛,石灰石在自然界中储量丰富,且价格低廉,可降低脱硫成本;运行可靠性高,能稳定持续地进行脱硫作业;对煤种适应性强,无论烧结所用煤炭质量如何,都能发挥较好的脱硫效果^[2]。不过,此技术也存在一些缺点,系统较为复杂,涉及多个设备和环节,增加了管理和维护的难度;占地面积大,需要较大的场地来布置吸收塔、喷淋装置等设备;投资和运行成本较高,前期建设需要投入大量资金购置设备、建设场地,后期运行过程中也需要消耗一定的能源和资源;还容易产生二次污染,在脱硫过程中会产生废水和废渣,若处理不当会对环境造成新的危害。该技术适用于大型钢铁企业的烧结烟气脱硫,当企业对脱硫效率要求较高,且烧结产生的烟量较大时,采用此技术能较好地满足脱硫需求,实现烧结烟气中 SO_2 的有效去除。

2.2 半干法脱硫技术

半干法脱硫技术是把石灰石或石灰浆液喷入吸收塔,使其与烧结烟气中的 SO_2 发生反应,在此过程中利用烟气热量让吸收剂里的水分蒸发,最终形成干态脱硫产物。该技术有显著优点,系统构造相对简单,设备及流程不复杂,这使其占地面积较小,能节省场地空间;在投资和运行成本方面表现良好,前期建设投入和后期运行消耗的资金与资源相对较低;并且不会产生废水排放,从源头上避免了因废水处理不当而引发的二次污染问题。然而,它也存在一些不足,脱硫效率相对不高,通常处于80%~90%的区间,难以满足对脱硫效率有极高要求的场景;对操作控制要求较为严格,需要精准把控各项参

数,否则会影响脱硫效果,同时吸收剂的利用率较低,会造成一定程度的资源浪费。基于这些特点,半干法脱硫技术适用于中小型钢铁企业的烧结烟气脱硫,这类企业烟气量相对较小,对脱硫效率要求并非极致苛刻。此外,对于那些在占地面积和投资成本上有一定限制的情况,该技术也是较为合适的选择,能在有限条件下实现一定程度的烧结烟气脱硫,平衡脱硫效果与成本投入之间的关系。

2.3 干法脱硫技术

干法脱硫技术采用固体吸收剂,像活性炭、氧化铁等,让它们与烧结烟气中的 SO_2 进行物理或化学反应,以此将 SO_2 吸附或者转化为其他物质,实现脱硫目标。该技术优点突出,工艺流程简单,无需复杂的设备与操作环节;没有废水、废渣产生并排放,避免了二次污染问题;对设备的腐蚀程度较小,能延长设备使用寿命,降低设备更换成本;运行维护较为方便,不需要投入过多的人力与物力进行日常管理。不过,它也存在一些局限性,脱硫效率相对较低,通常在70%~80%的范围,难以满足对脱硫效率有高要求的场景;吸收剂在使用一段时间后需要再生或更换,而这一过程的成本较高,增加了整体脱硫成本;并且对烟气温度和含尘量有一定要求,若烟气温度过高或含尘量过大,会影响脱硫效果和吸收剂的使用寿命。基于这些特性,干法脱硫技术适用于对脱硫效率要求不高的烧结烟气脱硫场景,尤其当烟气量较小时,能发挥其优势。同时,在一些特殊场合的烟气治理中也可应用,比如对场地空间有限、对废水废渣排放有严格限制,或者对设备腐蚀和运行维护简便性有较高要求的场合。

2.4 脱硫技术比较与选择

不同脱硫技术有不同优缺点与适用范围,钢铁企业选脱硫技术需综合多因素。烟气特性方面, SO_2 浓度影响脱硫难度与吸收剂用量,烟气量决定处理设备规模,温度影响反应速率与吸收剂活性。脱硫效率要求关乎最终排放能否达标,企业要依自身环保标准确定。投资和运行成本包括设备购置、安装、运行能耗及维护等费用,影响企业经济效益^[3]。占地面积影响场地规划利用,土地紧张时更为关键。二次污染涉及废水、废渣处理,处理不当会引发新环境问题。石灰石—石膏湿法脱硫技术脱硫效率高,可达95%以上,吸收剂来源广、价格低,运行可靠且对煤种适应性强,但系统复杂、占地大、投资运行成本高、易产生二次污染,适合大型钢铁企业,其烟气量大、对脱硫效率要求高,能承担相应成本与场地需求。半干法和干法脱硫技术系统简单、占地小、投资运

行成本低、无废水排放,但脱硫效率相对较低,半干法为80%~90%,干法为70%~80%,适合中小型钢铁企业。

3 烧结烟气脱硝技术应用研究

3.1 选择性催化还原(SCR)脱硝技术

选择性催化还原(SCR)脱硝技术依托特定原理实现脱硝,在催化剂作用下,以氨气(NH_3)为还原剂,使其有选择性地与烧结烟气中的 NO_x 发生化学反应,最终生成氮气(N_2)和水(H_2O)。该技术具备多方面显著特点,脱硝效率颇高,通常情况下能达到80%~90%以上,可有效降低烧结烟气中 NO_x 的含量,满足严格的环保排放要求;技术成熟度高,经过长期实践应用,运行稳定可靠,能持续稳定地发挥脱硝作用;对烟气成分适应性强,无论烧结烟气中含有的其他成分如何复杂,都能较好地实现脱硝反应。然而,它也存在一些不足,催化剂成本较高,增加了整体脱硝成本,并且催化剂容易中毒失活,在使用过程中需要定期更换或处理,进一步提高了成本;运行过程中需要消耗一定量的氨气,且存在氨逃逸问题,逃逸的氨气可能会对环境造成二次污染;系统较为复杂,涉及多个设备和环节,从氨气的储存、供应到反应装置的运行控制等,都需要精细管理,这也导致投资和运行成本较高。基于这些特性,SCR脱硝技术适用于对 NO_x 排放要求严格的大型钢铁企业烧结烟气脱硝,能凭借其高效稳定的脱硝性能,助力企业达到环保标准,实现可持续发展。

3.2 选择性非催化还原(SNCR)脱硝技术

选择性非催化还原(SNCR)脱硝技术基于特定原理运行,在无催化剂参与的情况下,把氨水或尿素溶液当作还原剂,将其喷入烧结烟气中,在850~1100℃的高温条件下,还原剂与 NO_x 发生化学反应,生成氮气和水。该技术具备诸多优势,系统构造相对简单,设备及流程不复杂,这使得投资和运行成本较低,能为企业节省资金;由于无需使用催化剂,就避免了催化剂中毒以及后续更换催化剂所带来的问题,降低了维护成本和操作难度;建设周期短,能较快投入使用,满足企业对脱硝的紧急需求^[4]。不过,它也存在一些局限性,脱硝效率相对不高,一般在30%~60%之间,难以满足对 NO_x 排放有严格要求的场景;对反应温度要求极为严格,温度波动会直接影响脱硝效果,温度过高或过低都可能导致反应不充分,降低脱硝效率;氨逃逸量相对较高,逃逸的氨气可能对环境造成二次污染。基于这些特点,SNCR脱硝技术适用于中小型钢铁企业或对 NO_x 排放要求不高的烧结烟气脱硝,这类企业规模较小,对脱硝效率要求并非极高,且该技术成本较低,符合其需求。同时,它也可作为SCR

脱硝技术的补充或预脱硝手段，在整体脱硝流程中发挥辅助作用，提升脱硝效果。

3.3 其他脱硝技术

除SCR和SNCR技术外，电子束照射法、脉冲电晕等离子体法、活性炭吸附法等也属于脱硝技术范畴。电子束照射法是利用高能电子束照射烧结烟气，使烟气中的NO_x等污染物发生氧化反应，进而生成硝酸盐等可处理物质，实现脱硝目的。脉冲电晕等离子体法借助脉冲高压电源产生电晕放电，形成非平衡等离子体，促使NO_x转化，达到脱硝效果。活性炭吸附法则是依靠活性炭的多孔结构和高比表面积，对烟气中的NO_x进行吸附，实现脱硝。这些技术虽有一定脱硝效果，但在实际应用中存在诸多局限。电子束照射法需要大型电子加速器等设备，设备复杂且昂贵，导致投资成本高，同时运行过程中能耗较大，进一步增加了运行成本，而且处理规模受设备限制，难以实现大规模处理。脉冲电晕等离子体法技术尚不完善，在能量利用效率和反应稳定性方面有待提高，且设备成本也不低。活性炭吸附法随着使用时间增长，活性炭会达到吸附饱和，需要再生或更换，再生过程复杂且成本较高，更换则会产生废弃活性炭处理问题，并且其处理规模相对较小，难以满足大规模烧结烟气脱硝需求。因此，这些技术有待进一步研究和改进，以提升技术成熟度、降低运行成本、扩大处理规模。

3.4 脱硝技术比较与选择

选择脱硝技术需全面综合考量多方面因素。脱硝效率要求是关键指标之一，若对NO_x排放要求极为严格，需确保所选技术能达到相应高效脱硝水平；投资和运行成本直接影响企业经济效益，大型企业资金相对充裕，能承受较高成本，而中小型企业或对成本敏感的企业则需谨慎权衡；烟气特性涵盖温度、成分、流量等，不同技术对烟气条件适应性不同，需根据实际烟气状况选择适配技术；场地条件也至关重要，部分技术设备占地面积

大，若场地有限则需选择紧凑型技术^[5]。对于大型钢铁企业，若对NO_x排放要求严格且资金充足，SCR脱硝技术是理想之选，其脱硝效率高，一般可达80%~90%以上，技术成熟运行稳定，对烟气成分适应性强，虽然催化剂成本高、存在氨逃逸且系统复杂投资运行成本高，但能满足严格排放要求。中小型企业或对成本敏感企业，SNCR技术更为合适，它系统简单，投资和运行成本较低，无需催化剂，建设周期短，不过脱硝效率相对较低，在30%~60%之间，对反应温度要求严格且氨逃逸量相对较高。此外，企业还可根据实际情况，采用多种脱硝技术联合应用方式，发挥各技术优势，提高整体脱硝效果，同时降低运行成本。

结束语

综上所述，烧结烟气减排及脱硫脱硝技术应用研究意义重大。面对严峻的大气污染形势，钢铁企业需综合考量烟气特性、脱硝效率要求、投资与运行成本、场地条件等多方面因素，合理选择脱硫脱硝技术。大型企业可优先选用高效但成本较高的技术，中小型企业则倾向性价比高的方案。多种技术联合应用也是提升脱硝效果、降低成本的有效途径。通过科学选择与应用，钢铁行业能实现绿色可持续发展，为改善大气环境质量贡献力量。

参考文献：

- [1]周小纳,贺帅,田晓棠.在烧结烟气湿法脱硫后应用中低温脱硝技术[J].包钢科技,2025,51(6):15-18.
- [2]仇芦坤.氨法脱硫工艺烟气减排技术应用与实例[J].氮肥与合成气,2025,53(7):13-15+18.
- [3]毛瑞,张涛,邵久刚.烧结烟气脱硫脱硝技术现状及展望[J].中国冶金,2025,35(5):1-9.
- [4]孟祥胜.烟气循环流化床脱硫脱硝一体化技术研究[J].山西化工,2025,45(4):138-141.
- [5]王彦峰.生物质基碳材料在燃煤烟气脱硫脱硝中的应用研究[J].山西化工,2025,45(7):194-195+231.