

焦化焦炉烟气脱硫脱硝技术现状及发展趋势

张志芳

内蒙古自治区包头市包钢钢联股份煤焦化工分公司 内蒙古 包头 014010

摘要：本文综述了焦化焦炉烟气脱硫脱硝技术的现状、存在的问题及发展趋势。当前，湿法、干法/半干法脱硫技术和高温、低温SCR脱硝技术均有广泛应用，但存在设备腐蚀、废水处理、催化剂中毒等技术难题。一体化脱硫脱硝技术在提高效率和降低成本方面展现出潜力，但仍面临技术集成难度大、投资运行成本高等挑战。文章还探讨了技术创新、政策推动、市场需求对脱硫脱硝技术发展的影响，指出未来技术将向高效、绿色、智能方向发展，以实现多种污染物的协同深度脱除和资源化利用。

关键词：焦化焦炉；烟气脱硫；烟气脱硝；技术现状；发展趋势

1 焦化焦炉烟气脱硫脱硝技术现状

1.1 脱硫技术现状

1.1.1 湿法脱硫技术

湿法脱硫以氨法、石灰石-石膏法及双碱法为主，其原理为利用碱性溶液与SO₂发生化学反应生成亚硫酸盐或硫酸盐。氨法脱硫因反应速度快、脱硫效率高（≥95%）被广泛应用，但存在氨逃逸（≥5mg/m³）导致二次污染的问题；石灰石-石膏法虽副产物可资源化利用，但设备腐蚀严重且运行成本较高。例如，河钢集团邯钢新区采用氨法脱硫工艺，虽实现SO₂排放浓度≤10mg/m³，但需配套建设氨回收装置以控制逃逸量。

1.1.2 干法/半干法脱硫技术

干法脱硫以活性炭吸附和氧化铁法为代表，通过物理吸附或化学氧化去除SO₂。活性炭法可同步脱除SO₂、NO_x及重金属，但吸附剂再生能耗高（≥3.0MJ/kg）；氧化铁法脱硫效率受温度影响显著，在200-300℃范围内效率最佳。半干法脱硫（如SDA旋转喷雾干燥法）通过雾化Na₂CO₃溶液与SO₂反应生成亚硫酸钠，具有投资成本低、无废水排放等优势，但脱硫灰综合利用率不足60%。

1.2 脱硝技术现状

1.2.1 高温SCR脱硝技术

选择性催化还原（SCR）技术通过向烟气中喷入氨或尿素，在催化剂作用下将NO_x还原为N₂和H₂O。传统高温SCR（300-420℃）催化剂以V₂O₅-WO₃/TiO₂体系为主，脱硝效率可达90%以上，但焦炉烟气温度波动大（180-320℃），需通过燃气加热或废气旁路提升温度，导致能耗增加15%-20%。

1.2.2 低温SCR脱硝技术

低温SCR（150-250℃）技术通过开发锰基、铁基等非钒系催化剂，实现低温域高效脱硝。中国五矿集团研

发的Mn-Ce/TiO₂催化剂在180℃下脱硝效率达85%，且抗硫中毒性能优于传统催化剂。然而，低温SCR仍面临硫酸氢铵（ABS）沉积导致催化剂失活的问题，需定期水洗再生。

1.3 一体化脱硫脱硝技术

一体化技术通过工艺耦合实现SO₂与NO_x同步脱除，主要分为两类：一是物理吸附法，如活性炭吸附-再生循环工艺，在山西美锦能源项目中实现SO₂≤12mg/m³、NO_x≤45mg/m³；二是化学氧化法，如臭氧氧化+氨吸收工艺，通过O₃将NO氧化为NO₂，再与SO₂共同被氨水吸收，但臭氧发生能耗占运行成本的30%以上^[1]。

2 焦化焦炉烟气脱硫脱硝技术存在的问题

2.1 脱硫技术存在的问题

在脱硫技术方面，设备腐蚀与结垢问题严重制约着湿法脱硫技术的应用和发展。石灰石-石膏法中，烟气中的酸性气体和固体颗粒物会对吸收塔、管道等设备造成腐蚀，同时亚硫酸钙和硫酸钙的结晶容易导致设备结垢堵塞，影响系统的正常运行，增加设备维护成本和停机时间。氨法脱硫中，氨水的腐蚀性也对设备材质提出了更高要求，部分企业因设备腐蚀问题频繁更换部件，增加了运营成本。湿法脱硫产生的大量废水废渣处理难度大。石灰石-石膏法产生的脱硫废水含有大量重金属和悬浮物，若不进行妥善处理直接排放，会对环境造成严重污染；脱硫石膏的综合利用率不高，大量堆积不仅占用土地资源，还可能造成二次污染。其他湿法脱硫技术如双碱法，也存在废水处理成本高的问题。干法脱硫技术虽然避免了废水废渣问题，但存在脱硫剂利用率低、设备磨损严重等问题。循环流化床脱硫中，脱硫剂在循环过程中容易出现团聚、磨损，导致脱硫剂利用率降低，需要频繁补充脱硫剂，增加了运行成本。活性炭（焦）

脱硫技术中,活性炭(焦)的吸附容量有限,需要定期再生或更换,再生过程能耗高,且活性炭(焦)的损耗也会增加成本。

2.2 脱硝技术存在的问题

SCR脱硝技术面临催化剂中毒失活和成本过高的问题,烟气中的粉尘、重金属、碱金属等物质会吸附在催化剂表面,堵塞催化剂活性位点,导致催化剂中毒失活,缩短催化剂使用寿命。更换催化剂成本高昂,一般每3-5年需更换一次,增加了企业的经济负担。此外,SCR系统对反应温度要求严格,部分焦化焦炉烟气需进行升温或降温处理,增加了能源消耗和运行成本。SNCR脱硝技术存在脱硝效率低和氨逃逸严重的问题,由于该技术是在高温条件下进行非催化反应,反应速率相对较慢,脱硝效率难以达到较高水平。同时,还原剂与氮氧化物的反应不完全,容易产生氨逃逸,不仅造成还原剂浪费,还会对环境造成二次污染。氨逃逸的氨气可能与烟气中的三氧化硫反应生成硫酸铵盐,附着在设备表面,导致设备腐蚀和堵塞。新兴脱硝技术如氧化吸收法和生物脱硝法,虽然具有一定的技术优势,但目前仍存在技术不成熟、成本过高的问题^[2]。氧化吸收法中,氧化剂的制备和储存成本高,且氧化过程会增加烟气处理的复杂性;生物脱硝法在微生物培养、反应条件控制等方面还存在诸多技术难题,距离大规模工业化应用还有很长的路要走。

2.3 一体化技术面临的挑战

脱硫脱硝一体化技术在实际应用中面临技术集成难度大的挑战,不同的脱硫脱硝技术原理和工艺条件不同,将它们集成在一起需要解决设备匹配、参数协调、流程优化等问题。例如,活性炭(焦)脱硫脱硝一体化技术中,活性炭(焦)的吸附和催化性能受多种因素影响,需要精确控制反应温度、烟气流量、停留时间等参数,以实现最佳的脱硫脱硝效果。但在实际运行中,由于烟气成分和工况的波动,难以保证各参数始终处于最佳状态,影响了一体化系统的稳定性和效率。一体化技术设备投资大、运行成本高。建设一套脱硫脱硝一体化装置的投资是单独建设脱硫和脱硝装置的1.5-2倍,对于中小型焦化企业来说,资金压力巨大。在运行过程中,一体化系统需要消耗更多的能源和原材料,如活性炭(焦)脱硫脱硝一体化技术中,活性炭(焦)的再生能耗高,氨法脱硫脱硝一体化技术中,氨水的消耗量大,增加了企业的运营成本。另外,一体化系统的维护和管理难度也更大,需要专业的技术人员进行操作和维护,进一步增加成本。

3 主流脱硫脱硝技术体系与工艺创新

3.1 低温SCR脱硝技术突破

针对传统SCR脱硝技术反应温度高的问题,低温SCR脱硝技术成为研究热点并取得了重要突破。科研人员通过开发新型催化剂,如锰基、铈基等催化剂,将SCR反应温度降低至180-280℃,拓宽了SCR技术的应用范围。这些新型催化剂具有较高的活性和选择性,在低温条件下能有效催化还原剂与氮氧化物的反应,同时对烟气中的粉尘、二氧化硫等物质具有较好的抗中毒能力。例如,某科研团队研发的锰铈复合催化剂,在200℃时脱硝效率仍能保持在85%以上,且在含有一定浓度二氧化硫和粉尘的烟气中稳定运行超过1000小时。低温SCR脱硝技术的应用不仅降低了对烟气预热或冷却的能耗,还可与其他脱硫技术更好地集成。在实际工程中,可将低温SCR脱硝装置布置在脱硫装置之后,避免了高温烟气对脱硫设备的影响,同时实现了脱硫脱硝的协同优化,提高了整个烟气治理系统的效率和经济性。

3.2 干法/半干法脱硫技术进展

干法/半干法脱硫技术在工艺和设备方面不断取得进展。在活性炭(焦)脱硫技术中,通过改进活性炭(焦)的制备工艺和表面改性技术,提高了活性炭(焦)的吸附容量和催化活性。例如,采用化学活化法制备的活性炭,其比表面积和孔隙率显著增加,对二氧化硫的吸附能力提高了30%-50%。同时,开发了新型的活性炭(焦)再生工艺,如微波再生、热空气再生与化学再生相结合的复合再生工艺,提高了活性炭(焦)的再生效率,降低了再生能耗。循环流化床脱硫技术通过优化反应器结构和运行参数,提高了脱硫剂的利用率和脱硫效率。采用分级送风、分段加料等技术,加强了脱硫剂与烟气的混合和反应,使脱硫剂在反应器内的停留时间延长,提高了脱硫剂的利用率^[3]。例如,某企业对循环流化床脱硫反应器进行改造后,脱硫剂利用率从原来的60%提高到80%,脱硫效率稳定在95%以上。此外,半干法脱硫技术中的旋转喷雾干燥法和循环半干法脱硫技术也在喷雾器设计、脱硫灰循环系统优化等方面取得了进步,提高了系统的稳定性和脱硫效果。

3.3 联合工艺与系统集成创新

联合工艺与系统集成创新是提高焦化焦炉烟气治理效果的重要方向。将不同的脱硫脱硝技术进行组合,发挥各自优势,实现协同治理。例如,“SNCR+SCR”联合脱硝工艺,先利用SNCR技术在高温段对氮氧化物进行初步脱除,降低SCR系统的处理负荷,然后再通过SCR技术进一步提高脱硝效率,该工艺可将脱硝效率提高至95%

以上,同时降低了SCR系统的投资和运行成本。在脱硫方面,“石灰石-石膏法+活性炭(焦)吸附”联合脱硫工艺,先通过石灰石-石膏法去除大部分二氧化硫,再利用活性炭(焦)吸附进一步降低二氧化硫浓度,同时还能脱除其他污染物,实现了脱硫效果的提升和多种污染物的协同脱除。此外,在系统集成方面,采用智能化控制系统,对脱硫脱硝设备进行实时监测和优化控制,根据烟气成分和工况的变化自动调整运行参数,提高系统的稳定性和效率,降低运行成本。

4 焦化焦炉烟气脱硫脱硝技术发展趋势

4.1 技术创新方向

未来,焦化焦炉烟气脱硫脱硝技术将朝着高效、绿色、智能的方向发展。在催化剂研发方面,将进一步开发具有更高活性、选择性、抗中毒能力和稳定性的新型催化剂,降低反应温度,拓宽温度窗口,提高催化剂的使用寿命。例如,利用纳米技术、复合材料技术制备新型催化剂,提高催化剂的比表面积和活性位点数量,增强其催化性能。在工艺创新方面,将开发更加高效的脱硫脱硝一体化工艺,实现多种污染物的协同深度脱除。研究将生物法、电化学法等新型技术与传统技术相结合的复合工艺,提高工艺的环保性和经济性。同时,加强对脱硫脱硝副产物的资源化利用研究,如将脱硫石膏用于建筑材料、将脱硝副产物制成化肥等,实现资源的循环利用,降低环境污染;在智能化技术应用方面,利用物联网、大数据、人工智能等技术,实现脱硫脱硝设备的智能监测、故障诊断和优化控制。通过实时采集设备运行数据,分析设备运行状态,预测故障发生,及时进行维护和调整,提高设备的可靠性和运行效率,降低运行成本。

4.2 政策推动与行业标准

政策和行业标准对脱硫脱硝技术发展具有重要的推动作用。随着环保要求的不断提高,国家和地方将出台更加严格的焦化行业污染物排放标准,对二氧化硫、氮氧化物等污染物排放限值进一步降低。这将促使焦化企业加大对脱硫脱硝技术的投入,推动技术升级和创新。同时,政府将出台一系列优惠政策,如财政补贴、税收减免等,鼓励企业采用先进的脱硫脱硝技术,提高行业

整体环保水平。行业标准也将不断完善,规范脱硫脱硝设备的设计、制造、安装和运行,提高设备的质量和可靠性。制定更加严格的脱硫脱硝工程验收标准和运行管理标准,加强对企业的监管,确保脱硫脱硝设施正常运行,污染物稳定达标排放^[4]。

4.3 市场需求与产业升级

随着环保意识的增强和环保政策的收紧,焦化焦炉烟气脱硫脱硝市场需求将持续增长。新建焦化项目必须配套先进的脱硫脱硝设施,现有焦化企业也需要对落后的脱硫脱硝设备进行升级改造,以满足日益严格的环保要求,这将为脱硫脱硝技术和设备供应商带来广阔的市场空间。市场需求的增长将推动脱硫脱硝产业的升级。企业将加大研发投入,提高技术创新能力,开发更加先进、高效、经济的脱硫脱硝技术和设备。同时,产业集中度将不断提高,具有技术优势和规模优势的企业将在市场竞争中脱颖而出,形成一批具有国际竞争力的脱硫脱硝企业集团,推动我国焦化行业烟气治理技术达到国际先进水平。

结束语

综上所述,焦化焦炉烟气脱硫脱硝技术面临着诸多挑战,但同时也孕育着巨大的发展机遇。通过持续的技术创新和政策引导,将推动焦化行业烟气治理技术的不断进步。未来,随着环保政策的收紧和市场需求的不断增长,脱硫脱硝产业将迎来更加广阔的发展空间。企业应抓住机遇,加大研发投入,提高技术创新能力,共同推动我国焦化行业烟气治理技术达到国际先进水平,为环境保护事业做出更大贡献。

参考文献

- [1]余志彦.焦炉烟气脱硫脱硝技术在大型焦炉上的应用[J].燃料与化工,2022,53(04):60-61.
- [2]董延军.焦化厂焦炉烟气脱硫脱硝工艺技术分析[J].山西冶金,2022,45(01):319-320+323.
- [3]李广伟.SCR法烟气脱硝改造后烟道阻力异常分析[J].锅炉技术,2021,52(02):74-79.
- [4]华晨飞,朱林,姚杰,庄柯.废烟气脱硝催化剂资源回收利用载体的品质及特性研究[J].中国电力,2021,54(02):197-204.