

燃煤烟气脱硫脱硝技术研究进展

李树友

国能(山东)能源环境有限公司 山东 济南 250014

摘要: 燃煤烟气脱硫脱硝技术是环境治理的关键。目前,湿法脱硫技术成熟且广泛应用,但能耗高和废水处理是挑战。干法脱硫技术占地面积小,适用于缺水地区,但效率和稳定性需改进。半干法脱硫技术结合二者优势,前景广阔。选择性催化还原(SCR)技术脱硝效率高,但催化剂成本高。选择性非催化还原(SNCR)技术经济高效,但需优化反应条件。其他技术如等离子体脱硝和生物脱硝也在研究中。综合应用这些技术,降低成本,提高效率,是未来的研究方向。

关键词: 燃煤烟气; 脱硫脱硝技术; 研究进展

引言: 随着燃煤电站的广泛应用,燃煤烟气中的SO₂和NO_x排放成为环境污染的主要源头之一。针对此问题,脱硫脱硝技术的研究与应用显得尤为重要。当前,燃煤烟气脱硫脱硝技术主要包括湿法、干法、半干法等多种方法,它们各具优缺点,在实际应用中也面临诸多挑战。本文旨在探讨燃煤烟气脱硫脱硝技术的研究进展,分析各种技术的原理、特点及应用情况,以期为未来的环保工作提供有益参考。

1 燃煤烟气脱硫技术研究进展

1.1 湿法脱硫技术

湿法脱硫技术,作为燃煤烟气脱硫的主流技术,已经在全球范围内得到了广泛应用,其核心原理是利用液体吸收剂与烟气中的二氧化硫发生化学反应,从而将其从烟气中去除,这一技术由于具有较高的脱硫效率和相对稳定的技术性能,成为了减少二氧化硫排放的重要手段。石灰石-石膏法是湿法脱硫中最为成熟和广泛应用的一种技术,其基本原理是利用石灰石或石灰作为吸收剂,在吸收塔中与烟气中的二氧化硫发生反应,生成亚硫酸钙,进而氧化为硫酸钙,即石膏,这一反应过程高效且稳定,使得石灰石-石膏法在全球范围内得到了广泛应用。然而,尽管湿法脱硫技术具有其优势,但也存在一些不足。其中,最为突出的问题就是能耗较高。为了维持吸收塔内的液气接触和反应过程,需要消耗大量的能源。此外,废水处理也是湿法脱硫面临的另一个挑战。脱硫过程中产生的废水含有多种污染物,处理不当会对环境造成二次污染。针对这些问题,研究者们正在不断探索和改进湿法脱硫技术。一方面,通过优化反应条件和吸收剂种类,提高脱硫效率,降低能耗;另一方面,开发高效的废水处理技术,确保废水在排放前能够达到环保标准。此外,还有一些新型湿法脱硫技术,如

双碱法、镁法等,也在不断研究和试验中,以期能够为燃煤烟气脱硫提供更加高效、环保的解决方案^[1]。

1.2 干法脱硫技术

干法脱硫技术作为一种无需使用液体吸收剂的烟气脱硫方法,近年来受到了广泛的关注,这种技术主要利用固态吸收剂或催化剂来与烟气中的二氧化硫进行反应,从而实现脱硫的目的,由于其占地面积小、不产生废水以及特别适用于缺水地区等优点,干法脱硫技术在某些特定情境下表现出了显著的优势。在众多的干法脱硫技术中,活性焦法和循环流化床法是两种较为常见的方法,活性焦法利用活性炭或焦炭作为吸收剂,通过物理和化学吸附作用去除烟气中的二氧化硫。这种方法不仅具有较高的脱硫效率,而且吸收剂经过再生后还可以重复使用,从而降低了运行成本,然而,活性焦法也存在一些挑战,如吸收剂的磨损和再生过程中的能量消耗等。循环流化床法是一种通过流化床反应器进行脱硫的方法,该方法使用固体吸收剂(如石灰石、石灰等)与烟气进行接触和反应,达到脱硫的目的,该技术具有反应速度快、脱硫效率高等优点,但同时也面临着吸收剂磨损和反应产物处理等问题。尽管干法脱硫技术在应用中取得了一定的成果,但仍存在一些待解决的问题。如何进一步提高脱硫效率、延长吸收剂的使用寿命、减少能耗以及优化反应器等都是目前研究的重点。

1.3 半干法脱硫技术

半干法脱硫技术是一种融合了湿法与干法脱硫特点的创新性技术,它结合了两种方法的优点,使脱硫反应在接近干燥的条件下进行,这种技术既拥有湿法脱硫的高效率,同时也避免了湿法脱硫中废水处理的问题,还具备干法脱硫的节能优势,因此在燃煤烟气治理领域具有广阔的应用前景。旋转喷雾干燥法和循环半干法是目

前较为成熟的半干法脱硫技术。旋转喷雾干燥法通过喷嘴将吸收剂溶液雾化成细小的液滴，与烟气进行充分接触并发生反应，反应后的产物为干态或半干态，无需进行废水处理，循环半干法则是利用固体吸收剂在反应器中与烟气进行反应，通过控制反应条件实现脱硫，这两种技术在实际应用中均表现出了良好的脱硫效果，并且降低了能耗和废水产生。然而，半干法脱硫技术也面临一些挑战。第一，反应过程的控制相对复杂，需要精确控制反应条件以确保脱硫效率。第二，设备磨损也是一个需要关注的问题，长时间的运行可能导致设备性能下降。第三，如何进一步提高脱硫效率、降低能耗以及优化反应器等也是半干法脱硫技术需要解决的关键问题。

2 燃煤烟气脱硝技术研究进展

2.1 选择性催化还原技术（SCR）

在燃煤烟气治理领域，选择性催化还原技术（SCR）以其高效的脱硝效率和稳定的运行性能而备受关注，SCR技术主要利用催化剂来促进烟气中的氮氧化物（ NO_x ）与还原剂之间的化学反应，从而达到脱除 NO_x 的目的。催化剂作为SCR技术的核心，其种类和性能直接决定了脱硝效率的高低，目前，广泛使用的催化剂主要包括钒基催化剂、铁基催化剂和分子筛催化剂等，这些催化剂在适宜的反应条件下，能够有效地促进 NO_x 与还原剂之间的反应，生成无害的氮气和水。然而，催化剂的活性和稳定性往往会受到多种因素的影响，如反应温度、压力、气体浓度和空速等，为了提高催化剂的性能，研究者们积极探索各种催化剂改性方法，如金属掺杂、表面修饰等，这些方法旨在通过改变催化剂的物理化学性质，提高其活性和稳定性，从而进一步提高脱硝效率。除了催化剂的种类和性能外，反应条件也是影响SCR技术脱硝效率的重要因素，温度是影响SCR反应的关键因素之一，过高的温度可能导致催化剂烧结失活，而过低的温度则可能导致反应速率过慢，因此，合理控制反应温度是提高脱硝效率的关键^[2]。此外，压力、气体浓度和空速等因素也会对脱硝反应产生影响，在实际应用中，需要根据具体的烟气成分和工况条件，优化这些反应参数，以达到最佳的脱硝效果。

2.2 选择性非催化还原技术（SNCR）

选择性非催化还原技术（SNCR）作为一种经济高效的燃煤烟气脱硝方法，近年来在中小型燃煤锅炉和工业炉窑的烟气治理中逐渐展现出其独特的优势，与需要昂贵催化剂的SCR技术相比，SNCR技术无需使用催化剂，而是直接将还原剂喷入炉膛中与 NO_x 进行反应，从而降低了初始投资成本和运行维护的复杂度。在SNCR技术的实

际应用中，选择合适的还原剂是至关重要的，目前常用的还原剂包括氨、尿素以及某些烃类化合物等，这些还原剂在炉膛内的高温环境下，能够与 NO_x 发生化学反应，将其转化为无害的氮气和水。为了进一步提高SNCR技术的脱硝效率，研究者们正致力于开发新型还原剂，例如，新型氨基化合物和纳米还原剂等，这些新型还原剂具有更高的活性和利用率，有望为SNCR技术带来更高的脱硝性能。然而，SNCR技术的脱硝效率受到多种因素的影响，包括炉膛温度、还原剂的喷射方式和位置、还原剂与 NO_x 的摩尔比等，因此，对SNCR反应机理的深入研究，是优化该技术性能的关键。通过对SNCR反应机理的深入探索，可以更好地理解反应过程中的动力学特征，揭示影响脱硝效率的关键因素，从而为实现SNCR技术的进一步优化提供理论支撑。

2.3 其他脱硝技术

在燃煤烟气脱硝领域，除了选择性催化还原（SCR）和选择性非催化还原（SNCR）这两种主流技术外，还有其他几种脱硝技术正在研究和探索中，这些技术各有特色，展现出多样化的脱硝路径和巨大的发展潜力。（1）等离子体脱硝技术是一种颇具前景的新型脱硝技术，它利用等离子体产生的高能电子和自由基，与烟气中的 NO_x 进行反应，实现高效脱硝，这种技术具有反应速度快、能耗低、无需催化剂等优点，因此在燃煤烟气治理中受到广泛关注，目前，等离子体脱硝技术仍处于研究和开发阶段，但其独特的反应机制和高效的脱硝效果使得这一技术未来具有广阔的应用前景。（2）生物脱硝技术则是另一种新兴的燃煤烟气脱硝技术。它利用微生物的代谢作用，将 NO_x 转化为无害物质，实现环保、可持续的脱硝过程，生物脱硝技术具有成本低、无二次污染等优点，因此在燃煤烟气治理中也备受关注，然而，生物脱硝技术的脱硝效率受到微生物种类、反应条件等多种因素的影响，目前仍需进一步研究和优化。（3）还有一些其他的脱硝技术，如液体吸收法、活性炭吸附法等，也在不同程度上展现出一定的脱硝效果。这些技术各有优缺点，适用于不同的燃煤烟气治理场景。

3 燃煤烟气脱硫脱硝技术的综合应用

3.1 脱硫脱硝技术综合应用的必要性

燃煤烟气作为我国大气污染的主要来源之一，其所含的 SO_2 和 NO_x 不仅危害环境，而且严重影响人体健康，这两种污染物都具有酸性氧化性质，可在大气中形成酸雨、光化学烟雾等二次污染物，加剧环境恶化。同时， SO_2 和 NO_x 还是形成大气颗粒物的重要前驱物，与大气中的其他物质反应，生成PM2.5等细颗粒物，进一步加剧空

气污染。传统的脱硫和脱硝技术虽然成熟，但多为独立运行，无法实现资源的有效整合和利用，分别投入两套独立的处理系统不仅增大了占地和投资成本，也增加了操作复杂性。此外，处理过程中可能出现的相互干扰，如脱硝过程中产生的氮气可能对脱硫效果产生影响，反之亦然，因此，开发和应用能够同时脱硫脱硝的技术显得尤为重要。这种技术不仅可以简化燃煤烟气处理流程，提高处理效率，还可以降低运行成本，更好地实现环境保护和资源节约，通过综合应用脱硫脱硝技术，我们可以更好地应对燃煤烟气排放带来的挑战，为构建美丽中国、实现可持续发展贡献力量。

3.2 同时脱硫脱硝技术的原理与特点

燃煤烟气中的 SO_2 和 NO_x 的同时去除，是环保技术领域的一大挑战，目前，有三种主流的同时脱硫脱硝技术：一是湿式氧化法。这种方法利用氧化剂，在液相环境中将 SO_2 和 NO_x 分别氧化成硫酸盐和硝酸盐，它的突出优点是反应速度快、效率高，能够快速净化烟气，然而，该法生成的废水需要进一步处理，增加了处理成本。二是活性炭吸附法。这种方法依赖于活性炭的强吸附性能，能够同时吸附烟气中的 SO_2 和 NO_x ，之后，通过解析或进一步转化处理，实现污染物的去除，活性炭吸附法的缺点是活性炭的再生过程相对复杂，导致整体成本较高。三是基于等离子体的技术。等离子体能够在烟气中产生大量的高活性物种，如自由电子、自由基等，它们能与 SO_2 和 NO_x 发生高效反应，从而去除这些污染物，这种技术的显著优点是反应速度快，且无需使用催化剂，然而，等离子体技术的能耗相对较高，可能增加运行成本^[1]。

3.3 实际工程应用案例

在实际燃煤烟气治理中，某大型燃煤电厂成功应用

了基于等离子体的同时脱硫脱硝技术，为燃煤烟气清洁处理提供了宝贵经验。这家电厂在烟气处理系统中安装了等离子体反应装置，利用等离子体产生的高能电子和自由基与烟气中的 SO_2 和 NO_x 进行反应，在运行过程中，烟气通过等离子体反应区域时， SO_2 和 NO_x 在瞬间被氧化为硫酸盐和硝酸盐，从而实现高效脱硫脱硝。经过持续的监测和优化，该电厂发现等离子体技术不仅能显著降低烟气中的 SO_2 和 NO_x 浓度，而且其脱硫脱硝效率稳定，运行成本也相对较低，此外，该技术无需使用催化剂，减少了更换催化剂的频率和维护成本。值得一提的是，该电厂还采取了多项措施确保技术的稳定运行，包括优化烟气流量、温度及成分控制，以及定期维护和检查等离子体反应装置，这些措施确保了该技术的长期稳定运行，为电厂的环保和经济效益提供了坚实保障。

结束语

燃煤烟气脱硫脱硝技术的持续研究和改进，对于缓解大气污染、保护生态环境具有重要意义。本文综述了脱硫脱硝技术的最新研究进展，包括湿法、干法、半干法脱硫以及选择性催化还原、选择性非催化还原等脱硝技术的原理、特点和应用现状。尽管这些技术在应用中仍面临一些挑战，但随着科技的进步和环保要求的提升，相信未来会有更加高效、环保的燃煤烟气脱硫脱硝技术问世，为改善大气环境做出更大贡献。

参考文献

- [1]王小明.燃煤烟气脱硫脱硝技术研究进展[J].中国电力,2022,55(2):154-164.
- [2]张晓辉.燃煤烟气脱硫脱硝一体化技术研究[J].环境工程学报,2021,15(3):801-812.
- [3]张旭.燃煤烟气脱硫脱硝技术及其经济性分析[J].环境科学与技术,2019,42(S2):210-215.