

燃煤锅炉脱硫脱硝技术工艺性分析

丁岳峰¹ 金 潇² 王 群³ 高学全⁴ 马宏亮⁵ 耿 莹⁶

1.4.6. 联美智慧能源科技(沈阳)有限公司 辽宁 沈阳 110000

2. 沈阳国润低碳热力有限公司 辽宁 沈阳 110000

3. 沈阳浑南热力有限责任公司 辽宁 沈阳 110000

5. 国惠环保新能源有限公司 辽宁 沈阳 110000

摘要: 本文探讨了燃煤锅炉排放的烟气主要组成成分,包括二氧化硫、氮氧化物、颗粒物等,这些污染物对环境及人体健康构成严重威胁。随后,详细分析了当前锅炉脱硫脱硝技术,涵盖干法、半干法、湿法烟气脱硫脱硝技术,以及选择性催化还原(SCR)烟气脱硝技术。每种技术均从原理、应用现状及优缺点等方面进行了阐述,旨在为燃煤锅炉烟气净化提供技术参考,促进环保与可持续发展。

关键词: 燃煤锅炉; 脱硫脱硝; 技术

引言

随着工业化的快速发展,燃煤锅炉作为重要能源设备,其排放的烟气中含有大量污染物,如二氧化硫、氮氧化物和细微颗粒物等,这些物质不仅导致大气污染,还严重影响人类健康及生态环境。因此,研究并实施高效的锅炉脱硫脱硝技术,对于减少污染物排放、改善环境质量具有重要意义。本文旨在综述当前主流的锅炉脱硫脱硝技术,分析其特点与应用前景,为推动环保技术进步贡献力量。

1 燃煤锅炉排放的烟气组成及其危害

燃煤锅炉作为重要的能源设备,在工业生产、供暖等领域发挥着重要作用。然而,其燃烧过程中排放的烟气却对环境和人体健康构成了严重威胁。燃煤锅炉排放的烟气组成复杂,主要包括二氧化碳、一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、烟尘等有害物质。

1.1 烟气组成

(1) 二氧化碳: 作为煤炭完全燃烧的主要产物,二氧化碳是全球变暖的主要元凶之一。虽然二氧化碳本身无毒,但其在大气中的浓度持续上升会增强温室效应,导致全球气候模式发生深刻变化,包括极端天气事件的增加、冰川融化、海平面上升等,严重威胁到自然生态系统和人类社会的可持续发展。(2) 一氧化碳: 作为煤炭不完全燃烧的标志性产物,一氧化碳是一种无色、无味、难以察觉的有毒气体。它极易与人体血液中的血红蛋白结合,形成稳定的碳氧血红蛋白,从而阻碍血红蛋白携带氧气的的能力,导致人体组织缺氧。长期或高浓度暴露于一氧化碳环境中,可引发头痛、头晕、恶心、呕吐,甚至昏迷和死亡,对生命安全构成直接威胁。(3)

二氧化硫: 煤炭中的硫元素在燃烧过程中会转化为二氧化硫排放到大气中。二氧化硫不仅是形成酸雨的主要元凶之一,还会对呼吸系统造成刺激,引发哮喘、支气管炎等呼吸系统疾病。此外,二氧化硫还会与大气中的其他物质反应,生成硫酸盐等细颗粒物,进一步加剧空气污染,影响能见度和人体健康。(4) 氮氧化物: 包括一氧化氮和二氧化氮在内的氮氧化物,是煤炭燃烧过程中氮元素在高温下与氧反应的产物。它们不仅是光化学烟雾的重要前体物,还会参与臭氧层的破坏过程,影响地球的保护伞——臭氧层的稳定性。二氧化氮本身具有强烈的刺激性,能够引起眼睛、鼻子和喉咙的不适,长期暴露还可能增加患呼吸系统的风险。(5) 烟尘: 燃煤过程中产生的固体颗粒物,成分复杂,包括未燃尽的碳粒、灰分以及可能吸附的重金属等有害物质。这些烟尘颗粒细小,能够长时间悬浮在大气中,对空气质量造成严重影响。它们不仅降低了大气能见度,还通过呼吸作用进入人体,沉积在肺部,引发呼吸道疾病和心血管疾病等健康问题。

1.2 烟气危害

燃煤锅炉排放的烟气对环境和人体健康的危害是多方面的、深远的。首先,二氧化硫和氮氧化物等酸性气体在大气中的积累,通过化学反应形成酸雨,对自然环境和人类社会造成了巨大破坏。酸雨不仅侵蚀土壤,导致土壤酸化、肥力下降,影响农作物的生长和产量;还污染水源,使水体酸化,破坏水生生态系统,影响人类饮水安全。此外,酸雨还腐蚀建筑物、桥梁等基础设施,降低其使用寿命,增加维护成本^[1]。其次,氮氧化物在阳光作用下发生光化学反应,形成的光化学烟雾是一

种复杂的大气污染现象。光化学烟雾中的臭氧、过氧乙酰硝酸酯等强氧化剂,对眼睛、鼻子和喉咙有强烈的刺激作用,能够引发一系列呼吸道和眼部疾病。同时,光化学烟雾还能降低大气能见度,影响交通安全,给人们的日常生活带来不便。最后,燃煤烟气中的烟尘颗粒对大气环境和人体健康的危害也不容忽视。这些颗粒物能够深入肺部,甚至进入血液循环系统,对人体健康造成长期损害。它们不仅增加了患呼吸系统疾病和心血管病的风险,还可能通过食物链积累在生物体内,对生态系统造成长远影响。

2 锅炉脱硫脱硝技术分析

2.1 干法烟气脱硫脱硝技术

干法烟气脱硫脱硝技术是指应用粉状或粒状吸收剂、吸附剂或催化剂来脱除烟气中含硫化物和氮氧化物的气体。该技术具有工艺过程简单、无污水污酸处理问题、能耗低等优点,但脱硫效率相对较低。

(1) 氧化铁脱硫技术:氧化铁脱硫技术,作为早期煤气干法脱硫的代表性技术,其核心在于利用沼铁矿等富含氧化铁的矿物作为脱硫剂。在反应过程中,氧化铁凭借其优良的吸附性能,与烟气中的二氧化硫发生化学反应,生成稳定的硫酸盐,从而实现二氧化硫的有效脱除。然而,该技术的脱硫效率并非一成不变,它受到脱硫剂纯度、反应温度、烟气流速及含硫量等多种因素的制约。因此,在实际应用中,需通过优化脱硫剂配方、调整操作参数等手段,以提高脱硫效率并延长脱硫剂使用寿命。

(2) 活性炭脱硫技术:活性炭脱硫技术则是利用活性炭多孔性结构和巨大的比表面积,对烟气中的二氧化硫及氮氧化物等污染物进行物理吸附和化学吸附。这种技术的优点在于吸附能力强,能够同时脱除多种污染物,且对烟气中的其他成分影响较小。然而,活性炭的再生问题一直是制约其大规模应用的关键因素。再生过程复杂且能耗较高,增加了运行成本。此外,活性炭的市场价格波动也对其经济性产生了一定影响。因此,未来研究应聚焦于开发高效、低成本的活性炭再生技术,以及探索新型替代材料,以克服这些挑战。

(3) NID技术:NID干法烟气脱硫技术作为一种新兴的高效脱硫技术,其创新之处在于将生石灰的消化与灰循环增湿过程巧妙结合,形成了一体化的设计。这种设计不仅简化了设备结构,降低了投资成本,还显著提高了脱硫效率,达到了90%以上的高水平。此外,NID技术还具有良好的适应性,能够灵活应对不同规模和类型的锅炉机组,尤其适合300MW及以下的中小型机组。随着

环保政策的日益严格和节能减排需求的不断增长,NID技术有望在更多领域得到推广和应用,成为干法烟气脱硫领域的一颗璀璨明珠。

2.2 半干法烟气脱硫脱硝技术

半干法烟气脱硫脱硝技术巧妙融合了干法脱硫的干燥处理与湿法脱硫的高效反应特性,通过CaO加水制备的Ca(OH)₂悬浮液作为脱硫剂,与烟气中的二氧化硫等污染物进行化学反应,实现了烟气的高效净化。这种方法的成功,不仅在于其技术上的成熟性和系统运行的可靠性,更在于其工艺流程的简化与水资源消耗的显著降低,为燃煤锅炉的环保运行提供了有力支持。

(1) 旋转喷雾干燥法:旋转喷雾干燥法作为半干法脱硫技术的重要组成部分,其工作原理基于生石灰或熟石灰的雾化处理。通过旋转雾化器的精密操作,吸收剂被细化成微小的雾滴,这些雾滴与高温烟气在反应室内迅速接触并发生化学反应。雾滴中的水分在高温下迅速蒸发,形成干燥且具有高吸附性的脱硫产物。这些产物不仅能够有效捕获烟气中的二氧化硫,还因其干燥特性而便于后续的除尘处理。随着烟气的流动,干燥的脱硫产物随之进入除尘器,被高效收集并可用于进一步的处理或循环利用。这一过程不仅提高了脱硫效率(通常超过85%),还通过再循环脱硫产物显著提升了吸收剂的利用率,降低了运行成本,实现了资源的最大化利用^[2]。

(2) 烟气循环流化床技术:针对高硫煤燃烧产生的高浓度二氧化硫烟气,烟气循环流化床技术提供了更为有效的解决方案。该技术以干态的消石灰粉为吸收剂,通过特殊设计的流化床装置实现脱硫过程。烟气从吸收塔底部进入,与喷入的消石灰粉在流化床内充分混合并发生化学反应。在此过程中,喷入的均匀水雾不仅促进了反应的进行,还帮助调节了流化床内的温度和湿度条件,确保了脱硫反应的高效稳定。脱硫后,携带大量固体颗粒的烟气从吸收塔顶部排出并进入除尘器进行分离收集。该技术以其高脱硫效率和吸收剂利用率著称,尤其适用于高硫煤的脱硫处理。此外,其灵活的操作性和广泛的适用性也使其在燃煤锅炉烟气净化领域具有广阔的应用前景。

2.3 湿法烟气脱硫脱硝技术

湿法烟气脱硫脱硝技术是在传统的湿法脱硫工艺基础上发展而来的,通过在设备中加入氧化剂、催化剂等实现同时脱硫脱硝的目的。该技术具有脱硫脱硝效率高、适用范围广等优点,但存在耗水量大、易产生二次污染等问题。(1) 湿式脱硫脱氮技术:湿式脱硫脱氮技术,以其独特的氧化-吸收机制,在脱硫脱硝领域展现出

了显著的优势。该技术首先利用氧化剂将烟气中的NO_x氧化为更易被吸收的高价态氮氧化物，随后通过含有铁催化剂的硫酸和硝酸稀溶液对烟气进行洗涤。在这一过程中，烟气中的SO₂和NO_x均能与洗涤液发生化学反应，生成相应的硫酸盐和硝酸盐，从而实现高效脱除。该技术的优势在于其脱硫脱硝效率高、稳定性好，能够同时处理烟气中的多种污染物，且对于不同浓度的烟气均具有较好的适应性。然而，湿式脱硫脱氮技术也面临着工艺复杂、成本较高的挑战。氧化剂的选择和投加量、洗涤液的配方和浓度、催化剂的活性与寿命等因素均会影响技术的运行效果和经济效益。此外，洗涤过程中产生的废水若处理不当，还可能引发二次污染问题。（2）湿法综合吸收法：湿法综合吸收法则是在传统湿法脱硫脱硝工艺的基础上进行了进一步的优化和创新。该技术通过向系统中加入金属化合物等添加剂，有效提高了脱硫脱硝的效率。金属化合物在洗涤液中起到了催化或协同作用，促进了SO₂和NO_x与洗涤液的化学反应，使得脱硫效率和脱硝效率均得到了显著提升。据研究表明，湿法综合吸收法的脱硫效率可达98%以上，脱硝效率也可达到80%以上，远超过了许多传统技术。

2.4 SCR烟气脱硝技术

在燃煤、燃油及工业废气处理领域，SCR烟气脱硝技术以其高效、稳定及环保的特性，成为了全球范围内广泛采用的烟气净化解决方案。该技术不仅能够有效降低烟气中氮氧化物的排放浓度，减轻大气污染，还因其不产生二次污染的特点，赢得了业界的广泛认可。

SCR烟气脱硝技术的基本原理在于，利用特定的催化剂，在适宜的温度范围内，将喷入烟气中的还原剂与烟气中的NO_x进行选择性的催化还原反应，最终生成无害的氮气和水。这一过程不仅实现了NO_x的高效脱除，还确保了整个反应过程的环境友好性，避免了传统脱硝方法可能带来的二次污染问题。SCR技术的优势不仅体现在其高效的脱硝能力上，更在于其运行的稳定性和可靠性。由于采用了选择性催化剂，该技术能够精准地控制还原剂与NO_x之间的反应，避免了还原剂与烟气中其他成分

的非选择性反应，从而提高了脱硝效率并降低了运行成本。此外，SCR系统还具有较宽的适应性，能够处理不同浓度和成分的烟气，满足不同工业领域的排放要求^[3]。

SCR技术的核心在于催化剂的选择与反应条件的优化。催化剂的性能直接影响到脱硝效率和经济性。因此，选择合适的催化剂配方、优化催化剂的活性、稳定性及抗中毒能力，是SCR技术发展的关键。目前，市场上常见的SCR催化剂主要包括钒钛系、钨钛系及分子筛等类型，它们各自具有不同的优缺点和适用范围。在反应条件方面，温度是影响SCR脱硝效率的关键因素之一。过高或过低的温度都可能导致催化剂失活或反应速率下降。因此，需要根据具体的烟气成分和催化剂特性，精确控制反应温度，确保脱硝反应的高效进行。此外，烟气中的氧气浓度、还原剂与NO_x的摩尔比以及烟气流速等因素也会对脱硝效率产生影响，需要通过实验和模拟计算进行优化调整。

结束语

综上所述，燃煤锅炉烟气中的污染物治理是环境保护的重要任务。通过对比分析干法、半干法、湿法及SCR等烟气脱硫脱硝技术，可以看出各种技术各有优劣，需根据具体条件选择合适的技术路线。随着环保要求的不断提高，锅炉脱硫脱硝技术将向更高效、更经济、更环保的方向发展。同时，加强技术创新与研发，推动新技术、新材料的应用，将为燃煤锅炉烟气净化提供更加有力的技术支撑，共同守护蓝天白云，促进经济社会可持续发展。

参考文献

- [1]刘景新,王明庭,崔健,刘乃江.唐山市发电锅炉脱硫脱硝现状及改进技术研究[J].节能,2017,35(02):72-75+3.
- [2]樊彦玲,郑鹏辉,汪蓓,谭光之,沈建涛,刘超.钢铁厂烧结烟气脱硫脱硝技术探讨[J].化工设计通讯,2017,43(08):198+202.
- [3]柳俊霞.关于燃煤锅炉烟气治理技术的探讨[J].建材与装饰,2017(27):196-197.