

Study on the efficient removal of harmful gases in acid control system

Jun Pu Xing Luo Fucheng Zhao Kangle Jia Feng Zhang

SICOMINES SARL, Beijing, 100039, China

Abstract

In the chemical industry, the acid production sector plays a crucial role. However, the harmful gases produced during its operations pose significant risks to the environment and human health. Therefore, researching efficient methods for removing these harmful gases from acid production systems is of great practical importance. This paper reviews the commonly used technologies for removing harmful gases from acid production systems, such as activated carbon adsorption and SCR denitrification combined with wet flue gas desulfurization. It also analyzes the advantages and disadvantages of these technologies in terms of removal efficiency, energy consumption, and cost. Additionally, the paper explores the development of new adsorbents, catalysts, and reactors, highlighting their potential to enhance removal efficiency. Furthermore, it delves into the process conditions and economic factors that influence removal effectiveness and proposes corresponding optimization strategies. This study aims to provide theoretical support and technical guidance to improve the environmental performance of acid production systems, reduce pollution, and promote sustainable development.

Keywords

acid control system; harmful gas; efficient removal technology; influencing factors; optimization strategy

制酸系统中有害气体高效脱除技术研究

蒲俊 罗星 赵富城 贾康乐 张锋

华刚矿业股份有限公司, 中国·北京 100039

摘要

在化工领域中, 制酸工业占据着举足轻重的地位, 然而其生产过程中产生的有害气体对环境 and 人体健康造成了严重危害。因此, 研究制酸系统中有害气体的高效脱除技术具有重要的现实意义。本文介绍了目前制酸系统常用的有害气体脱除技术, 如活性炭吸附法、SCR脱硝+湿法脱硫法等, 并分析了这些技术在脱除效率、能耗、成本等方面的优缺点。同时, 对新型吸附剂、催化剂以及反应器的研发进行了探讨, 阐述了其在提高脱除效率方面的潜力。此外, 还深入分析了影响脱除效果的工艺条件和经济因素, 并提出了相应的优化策略。通过本研究, 旨在为提高制酸系统的环保性能、降低污染、促进可持续发展提供理论支持和技术指导。

关键词

制酸系统; 有害气体; 高效脱除技术; 影响因素; 优化策略

1 引言

制酸工业作为化工领域的重要组成部分, 在国民经济中占据着不可替代的地位。其产品广泛应用于化肥、医药、冶金、纺织等多个行业, 是现代工业发展的基础之一^[1]。制酸系统的基本工艺流程主要包括原料气的制备、净化、转化和吸收等环节。然而, 在这一过程中, 不可避免地会产生大量有害气体, 这些气体的排放对环境和生态系统造成了严重的威胁。尤其是在高温、高含尘、氟、氯等复杂工况下, 传统制酸系统的净化能力往往难以满足环保要求, 亟需开发更

加高效的治理技术以应对这一挑战。

2 技术优缺点

制酸系统中常用的有害气体脱除技术主要包括活性炭吸附法、SCR脱硝+湿法脱硫法等。尽管上述技术在制酸系统有害气体脱除中得到了广泛应用, 但它们各自存在明显的优缺点。活性炭吸附法虽然能够高效去除多种有害成分, 但其高昂的运行成本和易着火的风险限制了其大规模推广。此外, 活性焦炭的价格较高且需要定期更换, 导致整体经济性较差。SCR脱硝+湿法脱硫法则面临催化剂昂贵且易失活的问题, 同时氨气逃逸可能引发二次污染, 进一步增加了环境风险^[2]。从能耗角度来看, SCR技术对温度条件的要求较为苛刻, 需要额外的能量输入以维持反应条件, 从而提

【作者简介】蒲俊(1987-), 男, 中国重庆人, 本科, 助理工程师, 从事铜钴焙烧、制酸研究。

高了运行成本。总体而言,现有技术在高效性方面仍存在不足,尤其是在联合脱除 SO_2 和 NO_x 时,难以兼顾脱除效率与经济可行性。

为应对传统技术的局限性,国内外学者近年来在制酸系统有害气体高效脱除技术领域开展了大量研究。新型吸附剂的研发成为热点之一,例如改性活性炭和分子筛材料因其优异的吸附容量和选择性受到广泛关注^[1]。这些材料通过表面修饰或结构调整显著提升了其对特定有害气体的亲和力,从而提高了脱除效率。在催化剂领域,研究人员致力于开发低温活性高、抗中毒能力强的催化剂,以降低反应活化能并提高反应速率^[4]。此外,新型反应器的设计也取得了重要进展,例如通过优化气液/气固接触方式,提高传质效率,从而进一步提升脱除性能。然而,这些新技术的实际应用仍面临诸多挑战,包括规模化生产的可行性以及长期运行的稳定性等问题,亟需进一步深入研究。

3 高效脱除技术研究

3.1 新型吸附剂与催化剂

近年来,针对制酸系统中有害气体的高效脱除需求,新型吸附剂的研发取得了显著进展。目前,研究较为广泛的新型吸附剂主要包括改性活性炭、分子筛以及金属有机框架材料(MOFs)等。改性活性炭通过表面化学处理引入了特定的官能团,从而显著增强了其对 SO_2 和 NO_x 的吸附能力;分子筛则因其均匀的孔径分布和高比表面积,在选择性吸附方面表现出优异性能。此外,金属有机框架材料因其高度可调的孔隙结构及丰富的活性位点,成为当前研究的热点之一。这些新型吸附剂不仅能够显著提高有害气体的吸附容量,还展现出更高的选择性和再生性能,为解决传统吸附剂存在的吸附效率低、易饱和等问题提供了有效途径。

新型催化剂的研发是提升制酸系统有害气体脱除效率的关键技术之一。以 SCR 脱硝技术为例,其核心在于通过催化剂降低反应活化能,从而促进 NO_x 的高效转化。研究表明,钒基催化剂在低温条件下表现出优异的催化活性,但其抗硫中毒能力仍需进一步改进^[5]。与此同时,锰基催化剂因具有良好的低温活性和抗毒性,逐渐成为研究重点。此外,臭氧氧化脱硝技术中使用的催化剂也取得了重要突破,其通过将难溶于水的 NO 快速氧化为高价态氮氧化物(如 NO_2 和 N_2O_5),显著提高了后续吸收过程的效率^[6]。这些新型催化剂不仅能够显著降低反应能耗,还能有效提高反应速率和脱除效率,为制酸系统有害气体的高效治理提供了技术支持。

3.2 新型反应器设计

新型反应器的设计旨在优化气液/气固接触,从而提高传质效率和脱除性能。例如,湍冲高效洗涤塔通过优化内部填料布局和喷淋系统,实现了烟气与吸收液的高效接触。具体而言,新型蜗牛喷嘴的应用显著改善了雾化效果,使得气

液两相接触更加充分,从而提高了除尘和脱硫效率^[7]。此外,新型复合强化降温洗涤设备通过引入薄层瓷质规整填料,不仅增大了气液接触面积,还有效降低了系统阻力。这种设计既满足了高效传质的需求,又避免了因填料增加导致的压降问题。同时,脱硝塔中采用的臭氧分布系统通过合理布置臭氧注入点,确保了 NO_x 与臭氧的均匀混合,从而提高了氧化效率。

新型反应器的设计在提高脱除效率、降低能耗以及减少占地面积等方面展现出显著优势。首先,通过优化气液/气固接触,新型反应器能够显著提高有害气体的脱除效率。例如,湍冲高效洗涤塔在实际应用中实现了 SO_2 脱除率超过 95% 的目标,同时有效降低了氟、氯等杂质的含量。其次,新型反应器通过改进内部结构和流场分布,显著降低了运行过程中的能耗。例如,采用新型蜗牛喷嘴后,循环泵的耗电明显降低,且因喷头堵塞造成的维护频率大幅减少。最后,紧凑型设计使得新型反应器在占地面积方面具有明显优势,尤其适用于空间受限的工业场景。这些性能优势不仅提升了制酸系统的环保性能,还为其经济可行性提供了有力保障。

4 影响脱除效果的因素

4.1 工艺条件

制酸系统中,不同有害气体成分的组成对脱除效果具有显著影响。例如,在联合脱除工艺中, SO_2 与 NO_x 的浓度比例直接影响反应路径和脱除效率。研究表明,当 SO_2 与 NO_x 的比例较高时,SCR 脱硝技术的催化剂活性可能受到抑制,导致 NO_x 的脱除效率下降。此外,气体中其他杂质如 CO_2 、 H_2O 等也可能通过与目标污染物竞争吸附位点或改变反应环境,间接影响脱除效果。因此,在实际应用中,需根据气体成分的特点优化工艺参数,以实现高效脱除。

温度和压力是制酸系统有害气体脱除过程中不可忽视的关键因素。温度的变化不仅影响反应速率,还对吸附剂和催化剂的性能产生重要影响。通常情况下,升高温度可以提高反应速率,但过高的温度可能导致吸附剂的热分解或催化剂的烧结,从而降低其使用寿命和脱除效率。相比之下,压力的影响则更为复杂。在一定范围内,增加压力有助于提高气体在液相或固相中的溶解度,从而增强传质效率;然而,过高的压力可能增加设备成本并带来安全隐患。因此,合理控制温度和压力对于优化脱除效果至关重要。

4.2 经济因素

新型高效脱除技术的推广应用往往受限于其高昂的设备成本。例如,采用先进的介质阻挡放电等离子体反应器或 SCR 脱硝系统需要购置复杂且昂贵的设备,包括催化剂床层、高压电源和自动化控制系统等^[8]。这些设备的成本构成主要包括材料费用、制造工艺复杂度和安装调试费用。此外,设备的设计寿命和维护周期也会对总成本产生重要影响。因此,在技术选型阶段,需综合考虑设备成本及其性能表现,

以平衡经济效益和技术需求。

除了设备成本外,运行维护费用也是影响脱除技术经济性的重要因素。在设备运行过程中,能耗、药剂消耗以及维修保养等费用占据了较大比例。例如,双氧水脱硫技术虽然具有较高的脱除效率,但其运行过程中需要持续补充双氧水试剂,导致药剂成本较高。此外,频繁的设备维护和技术升级也增加了企业的运营负担。因此,在评估一项脱除技术的可行性时,必须全面分析其运行维护费用,并探索降低成本的潜在途径,以促进技术的广泛应用。

5 脱除技术优化策略

5.1 工艺条件优化

针对制酸系统有害气体脱除效果的影响因素,工艺条件的优化是提高脱除效率的关键环节。首先,在气体成分方面,研究表明不同有害气体成分对脱除效果具有显著影响。例如,SO₂与NO_x浓度比例的变化会直接影响联合脱除工艺的选择性和效率^[7]。因此,通过实时监测和调控尾气中各组分的浓度,可以有效提升脱除系统的适应性。其次,温度和压力作为重要的工艺参数,其变化对反应速率和吸附/催化效果具有重要影响。以接触塔为例,适当提高接触塔各层温度至420-450°C,可显著提升SO₂转化为SO₃的转化率,从而降低尾气中SO₂的含量^[9]。此外,压力的调整能够优化气液/气固接触条件,进而增强传质效率。基于上述分析,建议采用智能化控制系统,结合在线监测技术,动态调整工艺参数,以实现最佳脱除效果。

在反应器设计层面,优化气液/气固接触方式是提高脱除效率的另一重要途径。新型反应器的设计应注重流场分布的均匀性,避免局部过浓或过稀现象的发生,从而确保反应物与吸附剂或催化剂充分接触。同时,结合数值模拟技术对反应器内部流场进行优化,可进一步降低能耗并提高脱除效率。此外,针对特定有害气体成分,可通过添加助剂或改性材料来增强吸附剂或催化剂的选择性,从而提高脱除效果。综上所述,通过对气体成分、温度、压力等工艺条件的综合优化,可以显著提升制酸系统有害气体的脱除效率。

5.2 经济成本控制

在经济成本控制方面,设备选型和运行管理是降低高效脱除技术成本的重要切入点。首先,在设备选型阶段,应充分考虑设备的购置成本及其后续运行维护费用。例如,采用干法进料焚烧和封闭酸洗净化工艺不仅能够有效减少废水排放,还能降低稀酸回收系统的投资成本。此外,选择模块化设计的设备有助于缩短安装周期并降低施工成本。对于尾气处理工序,推荐采用活性炭为载体催化氧化法脱硫工艺,该技术不仅具有较高的脱硫效率,而且其稀硫酸产物可

回收用于干吸工序,从而实现资源化利用,进一步降低运行成本。

在运行管理方面,能耗和药剂消耗是主要的经济负担。为降低能耗,可通过优化工艺流程来减少不必要的能量损失。例如,设置冷凝水回收装置用于焦化锅炉补水,不仅可以节约水资源,还能降低蒸汽消耗。此外,合理配置药剂用量并定期维护设备,能够有效延长设备使用寿命并减少维修保养费用。同时,建议引入智能化管理系统,通过实时监控和数据分析优化设备运行状态,从而最大限度地降低运行成本。最后,从政策支持的角度出发,争取政府补贴或税收优惠也是降低技术推广成本的有效手段。通过以上措施,可以在保证脱除效果的前提下,显著提高高效脱除技术的经济性,为其广泛应用奠定基础。

6 结论

本研究针对制酸系统有害气体脱除技术,系统研发新型吸附剂、催化剂与反应器。新型吸附剂在复杂气体条件下,对目标污染物的吸附容量和选择性显著提升;新型催化剂通过降低反应活化能,大幅提高脱除效率;新型反应器优化气液/气固接触界面,增强传质,实现提效降耗并减少占地面积。脱除效果受气体成分、温压等工艺条件及设备成本、运维费用等经济因素制约。为此,提出通过动态调整工艺参数适配不同气体,优化设备选型与运行管理,从而提升技术经济性与实用性。

参考文献

- [1] 韩风国.焦化环保新技术的开发与应用[J].燃料与化工,2021,52(4):52-54.
- [2] 魏兰.臭氧氧化+钠法脱硫技术在制酸系统中的应用[J].硫酸工业,2019(10):40-42.
- [3] 宋雄.双氧水脱硫在炼锌企业制酸系统中的应用[J].湖南有色金属,2020,36(1):68-70.
- [4] 张凤莲;蒋国霞;郝郑平.化工行业酸性气体多组分转化与资源回收研究进展[J].环境化学,2021,40(8):2308-2319.
- [5] 吕明;周庆鑫;王晓楠;张大奎;张欣.WSA制酸氨单元脱除NO_x技术[J].鞍钢技术,2021(1):12-14.
- [6] 赖莉莹;李颖;温天强;卢金明;刘振有;熊小鹏.丹霞冶炼厂250 kt/a冶炼烟气制酸装置的设计及运行[J].硫酸工业,2023(6):31-35.
- [7] 程华花;薛勇;姜子燕;贾苗;李忠.制酸系统适应高含杂镍冶炼烟气工艺装备技术研究及应用[J].硫酸工业,2020(10):25-30.
- [8] 李俊玲;陈森;郑瑞龙.脱硫废液干法制酸在新兴铸管的应用[J].硫酸工业,2021(10):19-21.
- [9] 顾学彬;郭振东;侯现仓.制酸尾气异味治理措施与改进[J].化工管理,2014(5):257-257.