

Research on Optimization of Calcium-based Dry Fixed-Bed Desulfurization Process for Tail Gas of Topso WSA Wet Acid System

Jigang Zhang

Hebei Fengmei Coking Co., Ltd., Handan, Hebei, 056200, China

Abstract

This study, based on the calcium-based dry fixed-bed desulfurization process for the tail gas of Topsoe WSA wet-process acid system, deeply analyzed its desulfurization effect and technical optimization strategies in practical applications. Through the analysis of the operation data and technical bottlenecks of the existing system, a series of optimization measures have been proposed, including the adjustment of the structure of the desulfurization reactor, the improvement of the desulfurizer and the optimization of the system operation conditions. Research shows that through reasonable system design and optimization schemes, not only can the desulfurization efficiency be improved, but also energy consumption can be effectively reduced, meeting increasingly strict emission standards. In addition, this article also conducts a detailed analysis of the possible operational problems that may occur during the desulfurization process and puts forward corresponding technical improvement suggestions. Ultimately, this study provides a theoretical basis and practical guidance for calcium-based dry desulfurization technology in industrial applications.

Keywords

WSA wet acid method; Exhaust gas desulfurization; Calcium-based dry method; Fixed-bed reactor; Optimization of desulfurization process;

托普索 WSA 湿法制酸系统尾气钙基干法固定床脱硫工艺优化研究

张继刚

河北峰煤焦化有限公司, 中国·河北 邯郸 056200

摘要

本研究基于托普索WSA湿法制酸系统尾气钙基干法固定床脱硫工艺,深入分析了其在实际应用中的脱硫效果与技术优化策略。通过对现有系统的运行数据与技术瓶颈的分析,提出了一系列优化措施,包括脱硫反应器结构的调整、脱硫剂的改进及系统运行条件的优化。研究表明,通过合理的系统设计 with 优化方案,不仅能够提高脱硫效率,还能有效降低能耗,满足日益严格的排放标准。此外,本文还针对脱硫过程中可能出现的运行问题进行了详细分析,并提出了相应的技术改进建议。最终,本研究为工业应用中的钙基干法脱硫技术提供了理论依据和实践指导。

关键词

WSA湿法制酸; 尾气脱硫; 钙基干法; 固定床反应器; 脱硫工艺优化

1 引言

随着环保政策的日益严格,工业排放控制成为了环境保护的重要环节。尤其在制酸行业,尾气中硫化物的浓度对环境污染具有显著影响。因此,如何有效控制尾气中的二氧化硫(SO_2)排放,成为了研究者和工程师们的重要课题。WSA湿法制酸系统由于其较高的硫转化率和较低的能耗,已经广泛应用于各类制酸工厂中。然而,在该系统的运行过

程中,由于硫酸的高浓度及酸雾的影响,尾气脱硫成为了一个不可忽视的技术难题。

钙基干法固定床脱硫工艺作为一种成熟的脱硫技术,凭借其结构简单、操作稳定等优点,逐渐成为尾气脱硫的主要选择。然而,传统钙基干法固定床脱硫工艺仍然存在一些挑战,例如脱硫效率波动大、脱硫剂的使用寿命有限以及系统能效不高等问题。因此,本文将重点研究该工艺的优化路径,旨在提升其脱硫效率、降低运行成本并满足日益严格的排放标准。

【作者简介】张继刚(1984-),男,中国河北邢台人,本科,副高级工程师,从事煤化工研究。

2 托普索 WSA 湿法制酸系统及其尾气特点

2.1 WSA 湿法制酸系统概述

WSA 湿法制酸系统是一种通过焚烧炉燃烧 SO_2 来生产浓硫酸的技术。该系统通过一系列的反应过程将二氧化硫转化为硫酸，其核心过程包括 SO_2 的焚烧、氮氧化物的分解、二氧化硫转化为三氧化硫以及 SO_3 冷凝成硫酸。在此过程中，烟气中的二氧化硫经过一系列复杂的反应，最终生成浓度高达 93% ~ 96% 的硫酸。尽管该系统在硫酸生产中具有较高的转化率和经济效益，但其产生的尾气含有较高浓度的二氧化硫及酸性成分，因此需要有效的脱硫技术加以处理。

2.2 尾气特点及污染物分析

托普索 WSA 湿法制酸系统的尾气主要含有二氧化硫 (SO_2)、酸雾以及一些未完全反应的气体。根据实际工况，尾气中的二氧化硫浓度约为 450mg/m³，酸雾浓度为 45mg/m³。为了达到环保排放标准，尾气中的二氧化硫浓度需要降低至 30mg/m³ 以下，而酸雾浓度则要求不超过 5mg/m³。由于这些尾气成分具有强烈的腐蚀性，因此需要采用高效的脱硫技术进行处理，以确保排放符合环保要求。

2.3 尾气脱硫技术要求

针对 WSA 湿法制酸系统的尾气特点，脱硫工艺需要具备较高的脱硫效率和较强的耐酸性。同时，脱硫系统还应具备较高的稳定性，以应对尾气成分和温度波动带来的挑战。此外，系统设计需要确保脱硫过程中的反应气体能够得到充分接触与反应，从而提高脱硫效率并降低二氧化硫排放。

3 钙基干法固定床脱硫工艺分析

3.1 钙基干法固定床脱硫技术概述

钙基干法固定床脱硫技术是一种通过固体吸附剂吸附烟气中二氧化硫的脱硫方法。该技术的核心是利用钙基脱硫剂（如氢氧化钙）与二氧化硫发生化学反应，生成硫酸钙 (CaSO_4) 和水 (H_2O)。该工艺具有操作简单、设备成本较低、无二次污染等优点，因此在工业烟气脱硫中得到了广泛应用。烟气通过固定床反应器时，与脱硫剂进行接触，反应生成硫酸钙后，脱硫剂会逐渐失去活性，最终需要更换或再生。

3.2 钙基脱硫剂的性能与应用

钙基脱硫剂的主要成分为氢氧化钙，其反应式为：



这一反应需要一定的温度和反应时间来完成，通常在反应器的床层中，烟气与脱硫剂充分接触并发生反应。脱硫剂的颗粒形态、尺寸以及反应活性直接影响脱硫效果。在实际应用中，脱硫剂的颗粒大小、强度和吸附能力是选择脱硫剂时需要重点考虑的因素。

3.3 钙基干法脱硫系统的设计与运行

钙基干法脱硫系统的设计需要综合考虑多个因素，如烟气流速、反应器结构、脱硫剂填充量以及系统的操作温度

等。反应器的流速是影响脱硫效率的关键因素，通常需要控制在一个理想范围内，约为 0.28 m/s。合理的流速能够确保烟气与脱硫剂的充分接触，提高脱硫反应的效率。此外，反应器的结构设计通常采用固定床形式，烟气通过床层时与脱硫剂进行接触。为了提高脱硫效率，反应器的设计不仅要注重气流的均匀性，还要确保脱硫剂的更换和再生操作便捷。通过设计易于维护的脱硫剂更换系统，可以延长脱硫剂的使用寿命，并降低整体运营成本。这些设计考虑可以显著提高系统的经济性和可持续性，确保脱硫过程的高效稳定运行。

4 托普索 WSA 湿法制酸系统尾气钙基干法脱硫工艺优化

4.1 脱硫反应器结构优化

针对 WSA 湿法制酸系统尾气的特点，脱硫反应器的设计优化至关重要。反应器的结构设计直接影响脱硫过程的效率与稳定性，尤其是在处理具有高酸雾和二氧化硫浓度的尾气时。为了提高脱硫效率，一种有效的优化方案是增加反应器内的填料层。填料层的作用是增大烟气与脱硫剂的接触面积，从而使二氧化硫与脱硫剂能够更充分地反应。反应器的填料种类与分布对反应效果有着直接影响，填料表面的微观结构应有足够的比表面积以提供更好的吸附和反应场所。通常，采用具有良好孔隙度和较高表面反应活性的填料，如高活性石灰或复合脱硫剂，可以显著提高脱硫反应的效率。

为了避免反应器内部出现气流不均或偏流现象，从而影响脱硫效果，反应器的设计应尽量避免过大或者不均匀的气流通道。采用方形反应器设计是一种有效的解决方案。方形反应器能够保证气流的均匀分布，避免气流短路，并且能够更好地调节烟气的流速和流态，使其能够均匀地通过反应器床层。除此之外，为了提高系统的整体稳定性和运行效率，可以考虑在反应器内部增加换热装置。换热装置能够回收反应过程中产生的热量，并将其用于加热其他系统组件或预热进入反应器的烟气，降低系统的能耗。通过这样的优化，不仅提高了脱硫反应的稳定性，也增强了系统的能源利用效率。

4.2 脱硫剂性能优化

脱硫剂的选择与性能直接影响脱硫工艺的效果。传统的钙基脱硫剂，尤其是氢氧化钙 ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)，具有较好的脱硫效果，但其反应活性和使用寿命仍然存在一些局限性。为了进一步提高脱硫效果，改性钙基脱硫剂的物理化学性能是一个不可忽视的方向。首先，提升脱硫剂的比表面积能够增加其与二氧化硫的接触面积，从而加快反应速度。例如，可以通过改变脱硫剂的生产工艺，使其具有更高的孔隙度和更好的吸附性能，这将有助于提高其脱硫效率。

此外，脱硫剂的颗粒形态也是影响脱硫效果的一个重要因素。通常情况下，颗粒较小且均匀的脱硫剂能够更好地与烟气中的二氧化硫进行接触。通过控制脱硫剂颗粒的形态

和尺寸分布,可以确保烟气在通过脱硫反应器时,脱硫剂与二氧化硫充分接触,实现较高的脱硫效率。在此基础上,加入适量的催化剂,如活性氧化钙或金属氧化物催化剂,可以显著提高脱硫反应的速率。催化剂的加入能够降低反应的激活能,加速二氧化硫的转化过程,从而进一步提高脱硫效率。

脱硫剂的使用寿命和更换周期是另一个影响脱硫工艺效率的重要因素。在实际运行中,脱硫剂会逐渐失去反应活性,因此需要定期更换或者再生。为了提高脱硫剂的使用效率,可以通过优化其更换周期和补充方式,确保脱硫剂始终处于最佳的反应状态。例如,在反应器设计中引入定期监测脱硫剂的反应状态和剩余活性,及时进行补充或更换,能够有效延长脱硫剂的使用寿命,减少运维成本。

4.3 系统运行条件优化

为了确保脱硫系统的高效、稳定运行,优化系统的运行条件是至关重要的。在脱硫过程中,烟气的流速、温度及其在反应器中的停留时间等因素都直接影响脱硫效果。首先,调节烟气流速是优化反应过程的重要手段。过高或过低的流速都会影响烟气与脱硫剂的接触时间,进而影响脱硫效果。根据研究,最佳的烟气流速应当保证烟气与脱硫剂有足够的接触时间,同时避免过大的流速造成的气流不均。通过优化风机的运行参数,调节烟气流速,可以有效提高反应器的脱硫效率。

其次,烟气的温度对脱硫反应的进行具有显著影响。在固定床反应器中,温度过高可能会加剧脱硫剂的消耗,而温度过低则可能导致脱硫反应速率的下降。因此,控制烟气温度在合理范围内是优化脱硫过程的关键。可以通过调整反应器进气温度或者使用热交换系统来稳定反应器内的温度,从而保持脱硫反应的最佳状态。

最后,脱硫剂的补充与更换周期需要根据反应器的运行状态和脱硫剂的使用情况进行动态调整。通过监测反应器出口的二氧化硫浓度,能够及时判断脱硫剂的使用效率和反应器的脱硫效果,从而确定是否需要补充新的脱硫剂。此外,合理安排脱硫剂的更换周期,避免脱硫剂因过度使用而失效,也是提高系统长期稳定性的关键。

5 优化方案的应用与效果分析

5.1 优化方案实施效果

经过一系列的优化设计与技术改进,托普索 WSA 湿法制酸系统尾气的钙基干法脱硫工艺在脱硫效率方面表现出了显著的提升。优化后的脱硫反应器能够更好地保持烟气流速的均匀性,并通过增加反应器内的填料层提高了二氧化硫与脱硫剂的接触机会。此外,优化后的系统运行更加稳定,能够在较低的能耗条件下长期保持较高的脱硫效率。具体来说,经过优化后的系统二氧化硫的排放浓度显著降低,基本

符合甚至超出环保排放标准。特别是在酸雾排放方面,优化后的脱硫系统有效减少了酸雾的产生,排放浓度达到了 5 mg/m^3 以下的标准。

在实施优化方案后,脱硫反应器的运行稳定性得到增强,脱硫剂的使用寿命得到了有效延长,进而降低了操作成本和维护频率。此外,系统的热能回收能力显著提高,进一步降低了运行成本。通过这些改进,脱硫系统不仅满足了环保排放标准,还提升了系统的整体效能,达到了较好的经济 and 环保双重效果。

5.2 经济效益分析

本次优化方案实施后,脱硫系统的运行成本得到了有效控制。首先,通过优化反应器结构和改进脱硫剂的性能,脱硫系统能够在较低能耗下稳定运行,从而显著减少了能源的浪费。优化后的反应器结构提高了烟气处理效率,并减少了反应器内部的能量损失。其次,脱硫剂的使用寿命得到了延长,减少了频繁更换脱硫剂所带来的经济负担。通过合理调整脱硫剂的补充周期和更换时间,避免了脱硫剂过度消耗而导致的性能下降,从而降低了维护成本和操作成本。

综合来看,优化后的脱硫系统在长期运行中不仅提高了脱硫效率,还在有效控制能源消耗和降低运维成本方面取得了显著成效。最终,该优化方案大大提高了 WSA 湿法制酸系统的综合经济效益,提升了其在环保和经济双重目标下的可持续发展能力。

6 结语

本研究通过对托普索 WSA 湿法制酸系统尾气钙基干法固定床脱硫工艺的优化研究,提出了包括反应器结构优化、脱硫剂性能提升及系统运行条件调整等一系列有效的技术改进措施。通过这些优化,不仅显著提高了脱硫效率,还有效降低了系统的能耗和运维成本。优化后的脱硫工艺能够更好地满足日益严格的环保排放标准,同时提高了经济效益。随着环保政策的不断升级,脱硫技术的创新和优化将继续成为制酸行业可持续发展的重要支撑。本研究为尾气脱硫技术的进一步应用和推广提供了重要的理论支持和实践经验。

参考文献

- [1] 张峰.WSA湿法制酸工艺及其在我国的应用[J].硫磷设计与粉体工程,2011,(04):1-5+51.
- [2] 琚成新,刘玲,郑春晓.洛阳铝业WSA制酸系统技术改造[J].硫酸工业,2013,(03):29-30.
- [3] 刘海峰.WSA湿法制酸工艺在钼冶炼烟气治理中的优化与应用[J].硫酸工业,2022,(07):28-31.
- [4] 郑占全.鞍钢真空碳酸钾脱硫及WSA制酸工艺生产运行实践之启迪[D].辽宁科技大学,2014.
- [5] 杨志军,刘启文.WSA制酸生产运行问题剖析及改进[J].南方金属,2021,(03):51-53+56.