

提高湿法脱硫制硫酸生产效率的策略

张文丽¹ 袁少飞²

1. 晋能控股装备制造集团华昱能源化工山西有限责任公司 山西 晋城 048000

2. 巴斯夫一体化基地(广东)有限公司 广东 湛江 524000

摘要: 本文旨在探讨如何通过优化丹麦托普索WSA (Wet gas Sulphuric Acid) 湿气体制酸工艺, 在煤制甲醇过程中针对煤气化后低温甲醇洗处理产生的含硫废气, 提高湿法脱硫制硫酸的生产效率。本文首先概述了WSA工艺的原理及其在煤化工中的应用背景, 随后详细分析了影响生产效率的关键因素, 并提出了相应的改进策略。最后, 总结了这些策略对提升WSA工艺性能的重要作用和潜在影响。

关键词: 煤制甲醇; 丹麦托普索WSA; 生产效率

引言

煤制甲醇作为一种重要的基础化工原料, 其生产过程中煤气化、低温甲醇洗等环节会产生大量含硫废气。这些废气若直接排放将严重污染环境, 因此, 高效处理这些废气成为煤化工行业的重要课题。丹麦托普索公司开发的WSA湿法硫酸工艺以其高硫回收率、低能耗和环保优势, 在煤化工领域得到了广泛应用。提高WSA工艺处理含硫废气的生产效率, 不仅能够显著降低企业的环保成本, 还能提升资源利用效率, 促进煤化工行业的可持续发展。

1 WSA 工艺原理及在煤化工中的应用

1.1 WSA工艺原理

WSA工艺是一种先进的湿法脱硫制硫酸技术, 其核心在于将含硫废气中的硫化物高效转化为浓硫酸, 从而实现硫资源的回收利用。该工艺主要包括以下几个关键步骤: 首先, 酸性气燃烧阶段, 将含硫废气与氧气进行燃烧反应, 生成二氧化硫(SO_2)。这一步骤中, 通过精确控制燃烧条件, 确保硫化物完全转化为 SO_2 , 同时最小化有害副产物的生成。接着, 在 SO_2 转化阶段, 利用高效催化剂, 将 SO_2 进一步氧化为三氧化硫(SO_3)。催化剂的选择和使用是这一步骤的关键, 它直接影响到 SO_2 的转化率和后续硫酸的质量。然后, 进入 SO_3 水合生成硫酸阶段。在这一步骤中, SO_3 与携带的水蒸气进行水合反应, 生成硫酸。由于WSA工艺的独特设计, 这一步骤无需额外的干燥步骤, 从而简化了工艺流程并降低了能耗。最后, 硫酸冷凝阶段, 将生成的硫酸进行冷凝和分离, 得到高浓度的商品级硫酸。这一步骤中, 通过精确控制冷凝条件, 可以确保硫酸的质量和产量。

1.2 WSA工艺在煤化工中的应用

在煤制甲醇过程中, 煤气化是一个关键步骤。然

而, 煤气化后产生的废气中富含硫化物, 如 H_2S 等, 这些废气若直接排放将对环境造成严重污染。因此, 有效处理这些废气成为煤化工行业面临的重要挑战。WSA工艺在煤化工中的应用正是为了解决这一挑战。通过将含硫废气引入WSA工艺系统, 经过上述的燃烧、转化、水合和冷凝等步骤, WSA工艺能够将废气中的硫化物高效转化为高浓度的商品级硫酸。这不仅解决了废气排放问题, 还实现了硫资源的回收利用, 创造了额外的经济价值^[1]。具体来说, WSA工艺在煤化工中的应用优势主要体现在以下几个方面: 首先, 高硫回收率使得大部分硫化物得以转化利用; 其次, 低能耗和环保优势使得该工艺在经济和环境方面都具有可持续性; 最后, WSA工艺还能够适应不同浓度的含硫废气处理需求, 具有广泛的适用性。因此, 在煤制甲醇等煤化工过程中, WSA工艺已经成为一种重要的废气处理技术和硫资源回收手段。

2 影响 WSA 工艺生产效率的关键因素

2.1 原料气成分与浓度波动

原料气中硫化物的浓度及种类是WSA工艺生产效率的重要影响因素。在实际生产过程中, 原料气中的硫化物浓度可能会因为煤气化过程的操作条件、原料煤的硫含量以及低温甲醇洗的处理效果等因素而波动。如果原料气中的硫化物浓度波动较大, 会导致WSA工艺中的燃烧反应和催化转化反应难以稳定进行, 进而影响硫回收率。此外, 原料气中硫化物的种类也会影响WSA工艺的生产效率。不同种类的硫化物在燃烧和催化转化过程中的反应速率和转化率可能存在差异, 从而导致整体生产效率的波动。

2.2 催化剂性能

催化剂是WSA工艺中的核心部件, 其性能对 SO_2 的转化率有着决定性的影响。催化剂的活性、稳定性和寿

命是影响其性能的关键因素。如果催化剂的活性不足,会导致SO₂转化不完全,进而影响硫酸的产量和质量^[2]。同时,催化剂的稳定性和寿命也会影响WSA工艺的长期运行效果。如果催化剂容易失活或寿命较短,需要频繁更换,不仅会增加生产成本,还会影响生产的连续性和稳定性。

2.3 工艺操作条件

WSA工艺的操作条件对生产效率有着重要影响。其中,燃烧温度、反应器温度和冷却效率是关键的操作参数。燃烧温度的高低会直接影响原料气中硫化物的燃烧效果和SO₂的生成量。如果燃烧温度过高或过低,都会导致燃烧反应不充分或副产物的生成,进而影响硫酸的产量和质量。反应器温度则会影响SO₂的催化转化效果和硫酸的生成速率。如果反应器温度过高或过低,都会导致催化转化反应不完全或硫酸的分解,从而影响生产效率。冷却效率则会影响硫酸的冷凝和分离效果。如果冷却效率不足,会导致硫酸的冷凝不充分或分离不彻底,进而影响硫酸的质量和产量。因此,在实际生产过程中,需要严格控制这些操作参数,以确保WSA工艺的高效稳定运行。

3 提高 WSA 工艺效率的策略

3.1 优化原料气预处理

3.1.1 低温甲醇洗工艺参数优化

首先可以根据低温甲醇洗工艺的特性,将甲醇洗涤温度精确控制在-50℃至-60℃之间(具体温度根据实际操作条件调整),此温度范围内甲醇对H₂S等硫化物的吸收效率最高。通过降低洗涤温度,可以提高酸性气体的溶解度,从而增加净化效果。

其次,根据原料气中硫化物的含量动态调整甲醇的循环量,确保甲醇与原料气充分接触,提高洗涤效率。例如,当原料气中H₂S浓度增加时,适当增加甲醇循环量,以保证洗涤效果。

此外在保持甲醇循环量稳定的前提下,适当延长洗涤塔内的接触时间,使甲醇与原料气中的硫化物充分反应。通常,洗涤时间延长10%,H₂S的脱除率可提高约2%。

3.1.2 加强原料气除杂

在低温甲醇洗之前增设高效过滤器,用于去除原料气中的固体颗粒、焦油等杂质,减少这些杂质对甲醇洗涤塔的影响。再者对原料气进行预处理,提高其温度至适宜范围(如100℃左右),以促进硫化物的挥发和甲醇的吸收。预处理可通过换热器实现,利用工艺过程中的余热进行加热,以降低能耗。

3.1.3 稳定原料气硫化物浓度

在原料气进入低温甲醇洗之前安装在线监测设备,实时监测硫化物的浓度。根据监测结果及时调整煤气化过程和低温甲醇洗的操作条件,保持原料气中硫化物浓度的稳定。利用大数据分析技术建立原料气硫化物浓度的预测模型^[3]。根据煤气化过程的操作参数(如温度、压力、煤种等)和原料煤的性质(如硫含量、灰分等)预测原料气中的硫化物浓度。通过预测模型提前调整预处理工艺参数,以应对硫化物浓度的波动。

3.2 提升催化剂性能

3.2.1 采用新型高效催化剂

不断投入资源,致力于新型高效催化剂的探索与应用。通过精细调整催化剂的化学成分,如引入特定的金属氧化物或复合氧化物,以及优化其物理结构,如调整孔隙率和比表面积,旨在显著提升催化剂的活性、选择性和稳定性。积极探索并应用掺杂技术,通过向催化剂中精确掺杂其他金属或元素,如钒、钨等,以进一步改善催化剂的催化性能,特别是提高其对SO₂的转化效率和抗中毒能力。以托普索公司的VK-WSA系列硫酸催化剂为例,该系列催化剂以其高效的催化性能和稳定的运行表现,在WSA工艺中得到了广泛应用。特别是其最新推出的VK-WSA-X型号催化剂,实现了对SO₂转化率的显著提升,同时保持了良好的稳定性和抗中毒能力。

3.2.2 提高催化剂的稳定性与寿命

稳定性提升方面,可以通过表面改性技术,如涂层、包覆等,提高催化剂的耐腐蚀性、抗中毒性和抗磨损性。这些技术可以在催化剂表面形成一层保护膜,有效隔离有害物质的侵蚀,从而延长催化剂的使用寿命。还可以优化催化剂的装填方式和床层结构,确保催化剂在反应过程中均匀受热和受力,减少因局部过热或机械磨损导致的催化剂失活。寿命延长方面,可以定期对催化剂进行再生处理,如高温还原、离子交换等,去除催化剂表面的积碳、毒物等杂质,恢复其活性。再生处理可以延长催化剂的使用寿命,降低更换成本。加强对催化剂使用过程中的监测和维护,定期检查催化剂的活性、选择性等性能指标,及时发现并解决问题。例如,通过在线监测技术实时监测催化剂床层的温度和压力变化,判断催化剂的运行状态是否正常。

3.3 精细化工艺操作控制

在WSA制酸工艺中,建立精准的工艺操作控制系统是至关重要的。该系统可以通过实时监测并调整燃烧温度、反应器温度、冷却效率等关键参数,确保工艺过程处于最佳状态。首先,在系统构建方面,可以采用先进的DCS或PLC作为核心控制单元,这些系统具备强大的数

据处理和逻辑控制能力。同时,配备高精度的传感器,如温度传感器、压力传感器、流量传感器等,用于实时监测工艺过程中的关键参数。执行机构,如调节阀等,则用于精确控制工艺过程中的气体流量、温度和压力。其次,在关键参数控制方面,建议实施燃烧温度控制策略。通过调节燃料流量和助燃空气流量,确保燃烧温度稳定在最佳范围,以提高SO₂转化率并减少排放。同时,通过调节进入反应器的气体温度和流量,以及优化反应器内部的热交换过程,可以确保反应器温度处于最佳状态,从而提高SO₂向SO₃的转化率。此外,优化冷却系统的设计和操作也是提高硫酸产率和纯度的关键。建议实时监测冷却介质的流量和温度,并控制冷凝器的出口温度^[4]。同时,利用大数据分析和人工智能技术,对工艺过程进行数据挖掘和优化,可以进一步提高生产效率和产品质量。最后,在安全与稳定性保障方面,需要建立完善的安全联锁控制系统。这可以对关键设备和工艺参数进行实时监控和保护,确保设备和人员的安全。

3.4 强化余热回收与利用

在WSA工艺中,产生的余热具有较高的利用价值,因此,优化余热回收系统是实现节能降耗、提高整体能效的重要途径。首先,要对WSA工艺中的余热进行全面评估,了解其产生量、温度、压力等关键参数,以便为后续的余热回收与利用提供准确的数据支持。其次,建议采用先进的余热回收技术,如热管换热器、板式换热器等,以提高余热的回收效率。这些技术具有高效、节能、环保等优点,能够有效地将WSA工艺中的余热进行回收。具体来说,可以将回收的余热用于预热助燃空气。通过预热助燃空气,可以提高燃烧效率,降低燃料消耗,从而减少能耗。此外,还可以将余热用于产生蒸汽,供其他工艺或生产环节使用,进一步提高整体能效。在实施余热回收与利用的过程中,还需要注意以下几点:一是要确保余热回收系统的安全稳定运行,避免出现泄漏、堵塞等问题;二是要定期对余热回收设备进行维护和检修,确保其长期保持良好的工作状态;三是要对余热回收与利用的效果进行持续监测和评估,以便及时调整和优化回收方案。

3.5 加强设备维护与保养

为了确保WSA工艺的高效稳定运行,定期对关键设备进行维护和保养是至关重要的。首先,要制定详细的设备维护与保养计划,明确每台关键设备的维护周期、保养内容和操作步骤。这有助于确保维护工作的有序进行,避免遗漏或重复维护。其次,对于WSA工艺中的关键设备,如反应器、换热器、冷却器等,要进行定期的检查和测试。通过检查设备的运行状态、性能参数和磨损情况,可以及时发现并解决潜在的故障和隐患。例如,定期检查反应器的密封性能,确保没有气体泄漏;测试换热器的传热效率,确保其处于最佳工作状态。同时,要注重设备的润滑和清洁工作。定期对设备进行润滑,可以减少摩擦和磨损,延长设备的使用寿命。而清洁工作则可以去除设备表面的污垢和沉积物,保持设备的清洁和光滑,提高其运行效率。在实施设备维护与保养的过程中,还需要注意以下几点:一是要确保维护人员的安全和健康,提供必要的防护装备和培训;二是要建立健全的设备维护档案,记录每次维护的详细情况和结果,为后续的维护工作提供参考;三是要对维护效果进行定期评估,及时调整和优化维护计划。

结语

通过优化原料气预处理、提升催化剂性能、精细化工工艺操作控制、强化余热回收与利用以及加强设备维护与保养等措施,可以有效提高WSA湿法脱硫制硫酸的生产效率。这些策略不仅有助于降低企业的环保成本和提高经济效益,还能推动煤化工行业的绿色可持续发展。未来,随着技术的不断进步和应用的深入推广,WSA工艺在煤化工领域的应用前景将更加广阔。

参考文献

- [1]王冰.WSA湿法制酸的工艺优势[J].石化技术,2018,25(10):234.
- [2]吴佳楠.影响湿法脱硫效率的关键因素[J].化工设计通讯,2019,45(12):110-111.
- [3]赵陆军.WSA湿法制硫酸工艺及优化改造[D].北京化工大学,2019.
- [4]马青华.WSA湿法制酸装置尾气氨法脱硫实践[J].硫酸工业,2023,(05):28-31+34.