

# 氨法脱硫工艺存在的问题及应对措施研究

任 岩

国能榆林化工有限公司 陕西 榆林 719000

**摘 要：**氨法脱硫工艺以氨水为脱硫剂，通过酸碱中和反应脱除烟气中的二氧化硫并生成硫酸铵肥料，但存在氨逃逸、设备腐蚀、结垢堵塞及脱硫效率不稳定等问题。氨逃逸源于氨硫比失衡与反应条件不佳，造成资源浪费与二次污染；设备腐蚀受酸性物质、磨损及铵盐沉积影响，威胁设备安全；结垢堵塞因硫酸铵结晶与杂质沉积，阻碍工艺连续运行；脱硫效率波动受烟气参数、运行参数、气液接触效果及浆液品质影响。针对这些问题，可通过动态调控氨硫比、优化设备材质与防腐处理、控制浆液饱和度及强化烟气参数监测等措施，实现氨法脱硫工艺的稳定高效运行。

**关键词：**氨法脱硫；氨逃逸；腐蚀；结垢堵塞；应对措施

引言：在环保要求日益严苛的当下，氨法脱硫工艺凭借高效脱硫、副产物可资源化利用等优势，成为烟气脱硫领域的关键技术。该工艺基于酸碱中和反应，通过氨水吸收烟气中的二氧化硫，经氧化生成硫酸铵肥料，实现环境效益与经济效益的统一。然而，实际运行中，氨逃逸、设备腐蚀、结垢堵塞及脱硫效率不稳定等问题频发，不仅影响工艺稳定性，还增加运行成本与安全风险。深入剖析这些问题成因，并制定针对性应对策略，对提升氨法脱硫工艺的运行效能、推动工业烟气治理技术升级具有重要意义。本文将从反应原理出发，系统分析工艺现存问题，并提出科学有效的应对措施。

## 1 氨法脱硫工艺核心反应原理

氨法脱硫工艺作为一项成熟的烟气净化技术，其核心在于通过氨的碱性特性实现含硫烟气中二氧化硫（SO<sub>2</sub>）的高效脱除。该工艺基于酸碱中和反应机理，主要包含三个关键反应阶段：首先，氨脱硫剂（氨水或液氨）经雾化后与工艺水充分混合，形成均匀的氨水溶液，通过喷淋系统注入吸收塔，与逆流而上的含硫烟气发生气液传质；其次，烟气中的SO<sub>2</sub>在吸收塔内与氨水溶液发生快速化学反应，生成亚硫酸铵（(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>），该反应为放热过程，反应速率受液相pH值（通常控制在5.5-6.5）和氨硫比（NH<sub>3</sub>/SO<sub>2</sub>摩尔比，一般维持在1.0-1.2）的显著影响；最后，亚硫酸铵在氧化风机提供的强制氧化条件下，与空气中的氧气发生氧化反应，转化为硫酸铵（(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>），生成的硫酸铵溶液经多效蒸发结晶、离心分离及流化床干燥等单元操作，最终形成符合农业或工业标准的硫酸铵肥料产品<sup>[1]</sup>。

工艺运行效果高度依赖于反应参数的精准控制：温度过高会导致氨挥发加剧，降低脱硫效率；pH值波动会引发亚硫酸铵氧化不充分或设备腐蚀；氨硫比失衡可能

造成氨逃逸超标或硫酸铵产品纯度下降；反应时间不足则会导致SO<sub>2</sub>吸收不完全。此外，吸收塔内气液分布均匀性、氧化空气供给量、结晶器操作参数等工程因素，均会通过影响传质效率、反应动力学和产物结晶过程，最终决定整个工艺系统的脱硫效率、副产物质量及运行稳定性。

## 2 氨法脱硫工艺存在的主要问题

### 2.1 氨逃逸问题

氨逃逸是氨法脱硫工艺最突出的问题之一，指脱硫过程中未参与反应的氨随烟气排出吸收塔的现象。氨逃逸的产生主要源于两个方面：一是氨硫比控制不合理，为追求更高的脱硫效率，过量投入氨脱硫剂，导致未反应的氨在吸收塔内积累，随烟气逸出；二是吸收塔内反应条件不佳，如反应温度过高、气液接触时间不足、雾化效果不好等，导致氨与二氧化硫反应不充分，剩余氨随烟气排出。氨逃逸不仅会造成脱硫剂的浪费，增加运行成本，还会导致后续设备腐蚀、烟囱冒白烟等问题，同时逸出的氨会与空气中的酸性物质结合，形成铵盐颗粒物，造成二次污染<sup>[2]</sup>。

### 2.2 设备腐蚀问题

氨法脱硫工艺的反应体系具有强腐蚀性，长期运行会导致吸收塔、管道、泵体、换热器等设备出现腐蚀现象，严重影响设备使用寿命，甚至引发设备泄漏等安全隐患。腐蚀问题的产生主要与三个因素相关：一是反应过程中生成的亚硫酸、硫酸等酸性物质，会对设备金属材料产生化学腐蚀；二是吸收塔内的浆液中含有大量的固体颗粒物，这些颗粒物在气液冲刷作用下，会对设备表面产生磨损腐蚀，加速设备损坏；三是氨逃逸产生的氨与烟气中的氯化氢、氟化氢等酸性气体反应，生成氯化铵、氟化铵等腐蚀性物质，附着在设备表面，进一步

加剧腐蚀。此外,设备材质选择不当、防腐涂层脱落等也会导致腐蚀问题加重。

### 2.3 结垢与堵塞问题

结垢与堵塞是影响氨法脱硫工艺连续稳定运行的重要问题,主要发生在吸收塔、管道、喷嘴、除雾器等部位。结垢的主要原因是反应生成的硫酸铵、亚硫酸铵等物质,在浆液中的浓度超过其溶解度,形成结晶沉淀,附着在设备表面,逐渐积累形成垢层;同时,烟气中携带的粉尘、杂质等也会与浆液中的物质结合,加速结垢过程。堵塞则是由于结垢层不断增厚,或浆液中的固体颗粒物沉积,导致管道、喷嘴、除雾器等流通部位截面积减小,甚至完全堵塞,进而影响烟气流通和浆液循环,导致脱硫效率下降,严重时会使工艺停机检修,增加运行成本和停机损失。

### 2.4 脱硫效率不稳定问题

氨法脱硫工艺的脱硫效率受多种因素影响,实际运行中常出现脱硫效率波动、达不到设计要求的情况。主要原因包括:一是烟气参数不稳定,如烟气流量、二氧化硫浓度、烟气温度等波动较大,导致反应体系失衡,氨与二氧化硫的反应无法充分进行;二是运行参数控制不当,如氨硫比、吸收塔pH值、浆液循环量等参数偏离最佳范围,影响反应效率;三是吸收塔内气液接触效果不佳,如喷嘴雾化效果差、填料堵塞、气液逆向接触不充分等,导致二氧化硫无法被充分吸收;四是浆液品质下降,如浆液中杂质过多、结晶颗粒过大,影响反应活性,进而导致脱硫效率不稳定。

## 3 氨法脱硫工艺问题的应对措施

### 3.1 氨逃逸的应对措施

针对氨法脱硫工艺中氨逃逸问题,需从反应参数优化、设备改进及过程监控三方面构建综合防控体系。

(1) 实施氨硫比动态调控策略,通过在线分析仪表实时监测烟气中SO<sub>2</sub>浓度,结合DCS控制系统自动调节氨水流量,将氨硫比严格控制在1.05-1.10理论最优区间,既确保SO<sub>2</sub>脱除效率≥98%,又避免氨过量导致的挥发损失。

(2) 强化吸收塔内传质过程控制,采用双层喷淋层设计配合高效雾化喷嘴,使液滴粒径控制在80-120μm范围,同时将操作温度降至40-60℃以降低氨气分压,通过延长气液接触时间至3-5秒,显著提升SO<sub>2</sub>吸收速率。(3) 增设两级氨回收单元:在吸收塔出口设置文丘里洗涤器,利用10%-15%稀硫酸溶液对逃逸氨进行化学吸收,生成硫酸铵溶液回送至氧化系统;在烟道末端配置活性炭吸附装置,进一步捕集微量氨气,吸附饱和后的活性炭通过硫酸溶液再生循环使用。(4) 建立全流程监测体系,

在吸收塔进出口、烟囱等关键节点安装氨浓度在线分析仪,数据实时反馈至控制中心,当氨逃逸浓度超过2mg/m<sup>3</sup>时自动触发报警并联动调整氨水投加量,确保系统长期稳定运行<sup>[3]</sup>。

### 3.2 设备腐蚀的应对措施

针对氨法脱硫工艺中设备腐蚀问题,需通过材质优化、防护强化及运行管理构建系统性防控方案。(1) 实施材质分级选用策略:吸收塔本体及喷淋层等强腐蚀区域采用环氧玻璃鳞片防腐,是长寿命防腐的首选;循环浆液管道、氧化风管、搅拌器等设备选用2507双相不锈钢,避免使用碳钢材质;其耐氯离子腐蚀能力较316L不锈钢提升40%以上。(2) 强化设备表面防护技术:对金属设备表面实施多层复合防腐处理,底层采用喷砂处理至Sa2.5级,中间层涂刷环氧富锌底漆(干膜厚度≥80μm),面层采用玻璃鳞片胶泥(干膜厚度≥500μm)。建立防腐层定期检测制度,每季度采用电火花检测仪(检测电压≥5kV)进行完整性检查,对发现的针孔、裂纹等缺陷立即修补。(3) 优化工艺运行参数:通过pH值闭环控制系统将吸收塔浆液pH稳定在5.8-6.2范围,既保证SO<sub>2</sub>吸收效率又抑制酸性腐蚀;严格控制氨逃逸浓度≤3mg/m<sup>3</sup>,减少铵盐结晶对设备表面的覆盖腐蚀;维持浆液氯离子浓度<20000mg/L,避免氯离子诱导的点蚀发展。最后,建立设备分级维护制度:每周对易腐蚀部位进行外观检查,每月进行超声波测厚检测,每年利用停塔检修时,及时清理设备表面的硫酸铵结晶物和铁锈等腐蚀产物,确保设备长期稳定运行。

### 3.3 结垢与堵塞的应对措施

针对氨法脱硫工艺中结垢与堵塞问题,需从浆液化学控制、杂质源头管控、设备结构优化及化学药剂干预四个维度构建综合防控体系。(1) 实施浆液饱和度动态调控。通过在线密度计实时监测浆液中硫酸铵浓度,结合溶解度曲线自动调节排浆量与补水比例,确保浆液浓度始终低于该温度下硫酸铵溶解度5%-10%,从根源上抑制结晶析出。同时,在一、二级循环泵入口管加装滤网,定期截留浆液中的大颗粒结晶,避免其在系统内循环积累。(2) 强化烟气预处理质量。在吸收塔入口增设电除尘器,将烟气粉尘浓度降至10mg/m<sup>3</sup>以下,减少钙、镁等杂质离子的引入。对高氯烟气增设钠碱法脱氯装置,将氯离子浓度控制在15000mg/L以内,避免氯离子与钙离子结合生成氯化钙垢层。(3) 优化设备防垢设计。选用大通道螺旋喷嘴(通道直径≥8mm)替代传统旋流喷嘴,配合自清洗式喷淋管路,每8小时进行高压水反冲洗;采用大比表面积的塑料规整填料替代金属散堆填

料,降低结晶附着概率;在除雾器叶片表面涂覆聚四氟乙烯疏水涂层,减少浆液黏附。

#### 3.4 脱硫效率不稳定的应对措施

针对氨法脱硫工艺中脱硫效率波动问题,需从烟气条件控制、工艺参数优化、设备性能保障及浆液品质管理构建系统性解决方案。(1)强化烟气参数稳定性控制。在烟道入口增设在线监测仪表,对烟气流量、SO<sub>2</sub>浓度、温度等关键参数实时在线连续监测,并通过PID调节系统联动控制氨水投加量及循环浆液流量。当烟气SO<sub>2</sub>浓度波动超过±15%时,自动触发氨硫比补偿机制,确保反应物配比始终处于理论最佳值。(2)建立智能化运行参数调控体系。基于DCS平台开发多变量耦合控制模型,将吸收塔pH值(5.5-6.2)、浆液密度(1.25-1.30g/cm<sup>3</sup>)、氧化风量(3-5Nm<sup>3</sup>/kg SO<sub>2</sub>)等核心参数纳入闭环控制,通过模糊算法实现各参数的动态协同优化。同时增设备用氨水储罐及变频泵组,避免因供氨中断导致的效率骤降。(3)完善设备维护与性能提升机制。制定喷嘴清洗周期表,采用高压水射流与化学清洗相结合的方式,每72小时对螺旋喷嘴进行彻底疏通,确保雾化粒径均匀性≤120μm;定期检测填料层压降,当压降超过初始值30%时及时更换塑料规整填料;在除雾器出口增设气流均布板,消除烟气偏流现象。(4)实施浆液全生命周期管理。在一、二级循环泵入口管加装滤网,实时截留浆液中的大颗粒硫酸铵结晶;每周取样分析浆液中Cl<sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup>等杂质离子浓度,当Cl<sup>-</sup>超过20000mg/L时启动置换

排浆程序。

#### 结束语

氨法脱硫工艺作为烟气脱硫领域的重要技术,其高效稳定运行对于实现工业烟气达标排放与资源循环利用至关重要。通过系统分析氨逃逸、设备腐蚀、结垢堵塞及脱硫效率不稳定等问题的成因,本文提出了涵盖反应参数优化、设备改进、化学药剂干预及运行管理等多维度的应对策略。这些措施不仅能够有效解决现有问题,提升工艺运行的可靠性与经济性,还可为同类脱硫工艺的优化提供参考。未来,随着材料科学、自动化控制技术不断发展,氨法脱硫工艺将进一步向智能化、高效化方向迈进,为工业烟气治理与绿色发展提供更有力的技术支撑。

#### 参考文献

- [1]牟守文,李顺旗.湿氨法脱硫生产中关键问题研究[J].新疆有色金属,2024,47(6):47-48.
- [2]王万厂.单乙醇胺法在焦炉煤气脱硫中胺液净化的应用研究[J].中国新技术新产品,2024(2):77-79.
- [3]张鲁新.危险化学品生产企业安全生产风险管理路径探索[J].山西化工,2024,44(6):219-221.
- [4]刘大川,严军喜,何栋等.焦炉烟气氨法脱硫系统运行实践与优化改进[J].中国设备工程,2024(4):96-98.
- [5]马小东,王鹏.降低氨法脱硫副产硫酸铵产品游离酸含量的技术方案[J].中氮肥,2024(6):75-80.