

氨法脱硫过程中气溶胶的生成及其控制研究

刘晓浩

西安航天源动力工程有限公司 陕西 西安 710100

摘要: 氨法脱硫在工业烟气处理中应用广泛,但过程中气溶胶的生成问题不容忽视。本文首先阐述了气溶胶的定义、分类及危害,涵盖其对大气环境、人类健康和设备运行等方面的不良影响。接着深入分析氨法脱硫时气溶胶生成的机理,包括生成途径、化学反应以及影响因素等内容。在此基础上,针对性地提出了一系列控制措施,如控制烟气粉尘浓度、可凝结酸性气体浓度,还有脱硫塔优化、除雾器选择及氨逃逸监测控制等,旨在为有效控制氨法脱硫中气溶胶生成提供参考。

关键词: 氨法脱硫;过程中;气溶胶生成;控制研究

引言: 随着环保要求的日益严格,工业烟气脱硫成为减少大气污染物排放的关键环节,氨法脱硫凭借诸多优势被广泛应用。然而,在氨法脱硫过程中,气溶胶的生成成为一个突出问题。气溶胶不仅会对大气环境质量造成破坏,影响空气质量,还可能危害人类的身体健康,同时也会给脱硫相关设备的稳定运行带来诸多阻碍。因此,深入研究氨法脱硫过程中气溶胶的生成及其控制措施具有重要的现实意义,有助于提升氨法脱硫的整体效果与环保价值。

1 气溶胶的定义、分类及危害

1.1 气溶胶的定义与分类

1.1.1 气溶胶的基本概念

气溶胶是指固体或液体微粒均匀地分散在气体中形成的相对稳定的分散体系。其微粒大小一般在0.001至100微米之间,可长时间悬浮于空气中。来源广泛,自然源如火山喷发、海浪飞沫,人为源如工业生产、交通运输等都可产生,在大气环境的物质传输、能量交换等方面有着重要意义且与诸多环境现象紧密相连。

1.1.2 气溶胶的分类及特点

按粒径可分为粗粒子气溶胶和细粒子气溶胶。粗粒子多源于机械过程,如风沙扬尘,粒径大、沉降快;细粒子常由化学过程生成,如燃烧产生的硫酸盐气溶胶,粒径小、在大气中停留久、传输远,易被人体吸入肺部深处,对人体健康危害大,且对大气能见度、气候变化等均有显著影响,不同类型气溶胶特性差异明显。

1.2 气溶胶的危害

1.2.1 对大气环境的影响

气溶胶会降低大气能见度,形成雾霾天气,干扰太阳辐射传输,改变地球的辐射平衡。其中一些气溶胶粒子可作为云凝结核,影响云的形成、寿命和降水过程,

可能导致降水分布改变。部分气溶胶还会参与大气化学反应,如硫酸盐气溶胶促进酸雨形成,破坏大气的化学组成与结构稳定,对全球气候和生态系统产生深远的连锁反应。

1.2.2 对人类健康的影响

细粒子气溶胶可被人体直接吸入肺部,引发呼吸道疾病,如哮喘、支气管炎等。长期暴露于含有重金属、有机污染物等的气溶胶环境中,会增加患肺癌、心血管疾病等慢性疾病的风险。气溶胶中的微生物、病毒等也可能导致传染病的传播扩散,对人体免疫系统造成损害,尤其对老人、儿童和患有基础疾病的人群危害更为严重。

1.2.3 对设备运行的影响

气溶胶在设备表面沉积,会形成污垢层,降低设备的热交换效率,例如在电厂冷凝器中,影响发电效率。对于精密仪器,气溶胶中的颗粒可能堵塞微小孔隙或部件,导致仪器故障、测量偏差。在通风系统中,气溶胶积累会增加风阻,加大能耗,还可能腐蚀设备部件,缩短设备使用寿命,增加设备维护成本与停机检修的频率,影响工业生产的连续性与稳定性^[1]。

2 氨法脱硫过程中气溶胶的生成机理

2.1 气溶胶生成的途径

2.1.1 烟气蒸发夹带

在氨法脱硫中,烟气蒸发夹带是气溶胶生成的重要途径之一。当高温烟气进入脱硫塔与喷淋的氨水接触时,水分迅速蒸发。在此过程中,溶液中的硫酸铵、亚硫酸铵等溶质会形成微小液滴被烟气夹带而出。这些液滴粒径较小,能够在烟气的气流作用下长时间悬浮于空中,从而形成气溶胶。并且,烟气的流速、温度以及喷淋液的浓度和液滴大小等因素都会影响蒸发夹带量,较高的烟气流速、温度和较大的喷淋液浓度都可能导致更

多气溶胶的产生。

2.1.2 非均相反应

在脱硫塔内，烟气中的酸性气体（如SO₂、SO₃等）与氨气在气液界面处发生反应。反应生成的亚硫酸铵、硫酸铵等产物可能会以固态或液态颗粒的形式存在于界面处。这些颗粒由于表面性质和气流的作用，容易从界面脱离并进入气相，形成气溶胶。此外，粉尘颗粒也可能参与其中，作为反应的载体或催化剂，促进气溶胶的生成，使整个反应过程更加复杂多变。

2.2 气溶胶生成的化学反应

2.2.1 SO₂、SO₃与氨水的反应

在氨法脱硫过程中，SO₂与氨水反应首先生成亚硫酸铵（(NH₄)₂SO₃），化学方程式为2NH₃+SO₂+H₂O→(NH₄)₂SO₃。若反应进一步进行，亚硫酸铵可被氧化为硫酸铵（(NH₄)₂SO₄）。而SO₃与氨水直接反应生成硫酸铵，反应式为2NH₃+SO₃+H₂O→(NH₄)₂SO₄。这些反应生成的亚硫酸铵和硫酸铵在特定条件下，如温度变化、气流扰动等，可能会形成微小颗粒进入气相，成为气溶胶的一部分，对后续的气溶胶生成与扩散产生重要影响。

2.2.2 酸性气体与氨气的反应

除了SO₂和SO₃外，烟气中的其他酸性气体如HCl、HF等也会与氨气发生反应。例如HCl与氨气反应生成氯化铵（NH₄Cl），化学方程式为NH₃+HCl→NH₄Cl；HF与氨气反应生成氟化铵（NH₄F），即NH₃+HF→NH₄F。这些反应产物氯化铵和氟化铵等多为固态颗粒，在脱硫塔内的复杂环境中，容易被气流裹挟，形成气溶胶态物质，从而增加了气溶胶的种类和浓度，进一步影响氨法脱硫系统的气溶胶排放情况。

2.2.3 粉尘与酸性气体的反应

在氨法脱硫体系里，粉尘与酸性气体的反应不容忽视。粉尘表面具有活性位点，可吸附酸性气体。比如，粉尘中的金属氧化物（如Al₂O₃、Fe₂O₃等）能催化酸性气体（如SO₂）的氧化反应，使其转化为更易反应的形式，然后与氨气反应生成相应的盐类。这些盐类可能附着在粉尘颗粒表面，使粉尘颗粒粒径增大、表面性质改变，在气流作用下更易形成气溶胶。而且，粉尘与酸性气体的反应还可能改变脱硫塔内的局部化学环境，促进其他气溶胶生成反应的进行，导致气溶胶生成量增加。

2.3 影响气溶胶生成的因素

2.3.1 烟气中粉尘浓度

较高的烟气中粉尘浓度会促进气溶胶生成。粉尘颗粒可作为反应核心，吸附酸性气体与氨气反应，且能使

生成的气溶胶颗粒聚集长大，更易悬浮于烟气中。大量粉尘还会干扰脱硫塔内气液接触效果，使反应不均衡，导致更多未反应完全的物质形成气溶胶，增加气溶胶的产生量与复杂性，给后续的气溶胶控制与净化带来更大难度。

2.3.2 烟气中酸性气体浓度

当烟气中酸性气体浓度升高时，如SO₂、SO₃等，其与氨气反应的几率增大。更多的酸性气体能促使生成更多的亚硫酸铵、硫酸铵等产物，这些产物在一定条件下易形成气溶胶。而且酸性气体浓度的增加可能改变反应平衡与速率，影响气溶胶的粒径分布与稳定性，使得气溶胶的生成量呈上升趋势，对氨法脱硫系统的气溶胶控制提出更高要求。

2.3.3 烟气中硫酸铵液滴浓度

硫酸铵液滴浓度高意味着在烟气中存在更多可形成气溶胶的前体物质。较高浓度的硫酸铵液滴在烟气流动、温度变化等因素影响下，更容易发生雾化、蒸发等过程，转化为气溶胶态。此外，高浓度的硫酸铵液滴相互碰撞、合并的概率也增加，形成更大粒径的气溶胶颗粒，这些颗粒在气流带动下在脱硫系统及后续烟道中扩散，造成气溶胶排放浓度上升。

2.3.4 逃逸氨气的浓度

逃逸氨气浓度越大，其与烟气中的酸性气体或其他物质反应的机会就越多。氨气在烟道等部位与酸性气体反应形成铵盐颗粒，这些颗粒成为气溶胶的一部分。而且高浓度的逃逸氨气会破坏脱硫系统内原有的化学平衡，使反应向生成更多气溶胶的方向进行，不仅导致气溶胶生成量增加，还可能使气溶胶的成分更加复杂，增加了对其治理与控制的复杂性与成本。

2.3.5 环境温度

环境温度对气溶胶生成有显著影响。较高温度会加速水分蒸发，使溶液中的溶质更易形成微小液滴被夹带形成气溶胶。同时，温度变化会影响化学反应速率，对于酸性气体与氨气反应生成气溶胶相关反应，温度升高可能加快反应进程，促使更多气溶胶生成。而低温环境可能导致某些物质的冷凝，形成气溶胶的凝聚核，也会在一定程度上影响气溶胶的生成与分布情况^[2]。

3 氨法脱硫过程中气溶胶的控制措施

3.1 控制进脱硫塔烟气粉尘浓度

3.1.1 电除尘器与布袋除尘器的应用

电除尘器利用高压电场使烟气中的粉尘颗粒带电，在电场力作用下向电极板运动并被捕集。其除尘效率高，能有效去除大部分细微粉尘颗粒，减少进入脱硫塔

的粉尘量,从而降低因粉尘引发的气溶胶生成。布袋除尘器则通过布袋过滤烟气,粉尘被阻挡在布袋表面。其针对不同粒径的粉尘都有良好的捕集效果,尤其对于亚微米级的细粉尘。二者联合使用可发挥协同作用,进一步提高除尘效率,从源头上控制粉尘浓度,为减少气溶胶生成创造有利条件。

3.1.2 粉尘浓度的监测与控制

通过安装先进的粉尘浓度监测仪器,实时准确地测量进入脱硫塔的烟气粉尘浓度。依据监测数据,当粉尘浓度超出设定阈值时,及时调整上游除尘设备的运行参数,如电除尘器的电压、电流,布袋除尘器的清灰周期等。同时,建立完善的粉尘浓度控制管理体系,定期对监测设备进行校准与维护,确保数据的可靠性。加强对整个烟气除尘系统的巡检,及时发现并处理可能导致粉尘泄漏或除尘效率下降的问题,保障进入脱硫塔的烟气粉尘浓度始终处于较低水平,有效抑制气溶胶生成。

3.2 控制净烟气可凝结酸性气体浓度

3.2.1 脱硝装置的安装与运行

脱硝装置如选择性催化还原(SCR)脱硝系统,在降低氮氧化物排放的同时,可对可凝结酸性气体浓度产生影响。SCR装置中的催化剂可促进部分酸性气体(如 SO_3)的转化反应,使其与其他物质反应生成相对稳定不易凝结的化合物,从而减少净烟气中可凝结酸性气体的含量。合理设计和优化脱硝装置的运行参数,如温度、氨氮比等,能提高其对酸性气体的处理效率,从源头上控制酸性气体浓度,降低气溶胶生成的可能性,改善氨法脱硫系统的整体性能。

3.2.2 酸性气体浓度的监测与控制

安装专门的酸性气体监测设备,如傅里叶变换红外光谱仪等,对净烟气中的酸性气体浓度进行精准实时监测。根据监测数据,当酸性气体浓度偏高时,可采取多种控制措施。例如,优化燃烧过程以减少酸性气体的产生量;在脱硫塔前增设预洗涤塔,提前去除部分酸性气体;调整脱硫剂的用量和喷淋方式,增强对酸性气体的吸收效果。通过这些手段,将净烟气中的酸性气体浓度控制在合理范围内,有效抑制气溶胶因酸性气体参与反应而大量生成的情况。

3.3 其他控制措施

3.3.1 脱硫塔的设计与优化

合理的脱硫塔设计可有效控制气溶胶。采用高效的喷淋系统,确保氨水均匀分散,使气液充分接触,减少因局部反应不均产生气溶胶。增大塔径、增加喷淋层数

等能延长烟气停留时间,让反应更完全,降低未反应物质形成气溶胶的几率。优化塔内流场,避免烟气短路或涡流,使气溶胶随烟气稳定上升被后续处理设施捕集。在塔内合适位置增设凝聚器,促使微小气溶胶颗粒聚并长大,便于分离去除,提升整体气溶胶控制效果。

3.3.2 除雾器的选择与运行

折流板除雾器结构简单、阻力较小,对较大粒径液滴去除效果好;丝网除雾器对微小液滴有较高捕集效率,但易堵塞。可根据实际情况选择合适类型或采用多级除雾器组合。在运行方面,定期清洗除雾器,防止气溶胶颗粒在其表面堆积形成垢层影响除雾效果。优化除雾器的冲洗频率和水量,保证在去除液滴的同时最大限度减少气溶胶的二次夹带,降低净烟气中的气溶胶含量。

3.3.3 氨逃逸的监测与控制

安装高精度的氨逃逸监测仪,实时监测氨逃逸浓度。当氨逃逸超标时,可调整氨水喷射量和分布方式,确保氨水与酸性气体精准反应,减少过量氨气逸出。优化脱硫塔内的反应温度和压力条件,使其处于利于反应且抑制氨逃逸的范围。采用先进的氨气吸收技术,在脱硫塔出口或后续烟道设置氨气吸收装置,对逃逸氨气进行二次捕集处理,降低逃逸氨气与酸性气体反应生成气溶胶的风险,保障氨法脱硫系统稳定运行并减少气溶胶排放^[3]。

结束语

氨法脱硫在应对工业废气污染方面有着不可替代的作用,然而气溶胶问题始终是其面临的严峻挑战。通过对氨法脱硫过程中气溶胶生成机理的深入剖析,包括各种化学反应、生成途径以及影响因素等方面的研究,我们明确了控制气溶胶的关键所在。从控制烟气粉尘与酸性气体浓度,到优化脱硫塔设计、合理选择与运行除雾器以及严格监测氨逃逸等多方面措施的综合运用,为有效抑制气溶胶生成提供了系统的解决方案。未来,仍需持续探索更高效、经济且环保的气溶胶控制策略,推动氨法脱硫技术向更绿色、可持续发展的方向发展。

参考文献

- [1]黄荣廷.氨法脱硫过程中气溶胶的生成及其控制研究[J].江苏:东南大学,2020.35-37
- [2]郭惠.湿式氨法烟气脱硫中气溶胶的形成及其控制研究[J].江苏:东南大学,2019.46-49
- [3]李红.氨法脱硫技术在神华煤化工工程中的应用[J].煤炭加工与综合利用,2019(2):68-71.