Global Science Publishing

氨法脱硫脱硝技术中氨逃逸问题及控制措施

徐中政
江苏江南生态碳科技（集团）有限公司，江苏南京

摘要：氨法脱硫脱硝技术作为一种高效的烟气净化方法，在工业应用中日益广泛。然而，氨逃逸问题成为制约其性能的关键因素之一。本文综述了氨逃逸的定义与形成机制，深入分析了导致氨逃逸的主要成因，包括加氨装置设计不合理、反应装置内部结构缺陷、吸收剂与反应条件的影响以及设备运行状态与操作参数的不当。针对这些问题，本文探讨了多种控制氨逃逸的技术措施，如利用高级控制算法优化氨注入量、采用多级反应装置增强氨吸收效率、实施定期维护与检测确保设备性能稳定、工艺优化与改进以及新型吸收剂与催化剂的应用。通过综合应用这些措施，可有效降低氨逃逸率，提升氨法脱硫脱硝技术的整体效能。

关键词：氨法脱硫脱硝；氨逃逸；主要成因；控制措施

Ammonia Escape Problem and Control Measures in Ammonia Removal Technology

Zhongzheng Xu
Jiangsu Jiangnan Ecological Carbon Technology (Group) Co., LTD., Nanjing, Jiangsu

Abstract: Ammonia-based flue gas desulfurization and denitrification technology, as an efficient method for flue gas purification, is becoming increasingly widespread in industrial applications. However, ammonia slip has become one of the key factors limiting its performance. This paper reviews the definition and formation mechanisms of ammonia slip, delves into the main causes leading to ammonia slip, including unreasonable design of ammonia injection equipment, structural defects within the absorption tower, the impact of raw materials and reaction conditions, as well as improper operation status and parameters of the equipment. In response to these issues, this paper explores various technical measures to control ammonia slip, such as optimizing ammonia injection rates using advanced control algorithms, enhancing ammonia absorption efficiency through multi-stage absorption tower structures, implementing regular maintenance and testing to ensure stable equipment performance, process optimization and improvement, and the application of new absorbents and catalysts. By comprehensively applying these measures, the rate of ammonia slip can be effectively reduced, thereby improving the overall efficiency of ammonia-based flue gas desulfurization and denitrification technology.

Keywords: Ammonia desulfurization and denitrification; Ammonia escape; Main causes; Control measures

1 引言

一随着环保法规的日益严格，烟气净化技术的需求不断增长。氨法脱硫脱硝技术，以其高效、经济的优势，在燃煤电厂、钢铁厂等工业领域得到了广泛应用。然而，氨逃逸问题不仅影响技术的净化效率，还可能造成二次污染，对环境和人体健康构成潜在威胁。因此，深入研究氨逃逸问题及其控制措施，对于推动氨法脱硫脱硝技术的可持续发展具有重要意义。本文将从氨逃逸的定义出发，系统阐述其形成机制，并通过分析主要成因，为制定有效的控制措施提供理论依据。同时，本文还将介绍当前控制氨逃逸的最新技术措施，旨在为工业应用提供相关参考。

2 氨逃逸的定义与形成机制

氨逃逸是指在氨法脱硫脱硝过程中，向系统注入的氨因反应不完全、过量加氨或分布不均等原因，未能完全消耗，最终以气态形式逃逸到烟气中，造成环境污染和资源浪费。这一现象主要由多种因素共同作用形成。氨的分子结构决定了其在特定条件下容易挥发，当加氨装置设计不合理，导致氨分布不均匀时，局部氨浓度过高，增加了氨逃逸的可能性。此外，脱硝反应条件不佳、氨法脱硫吸收不完全也是关键因素。当吸收塔结构、工艺设计不合理或催化剂表面出现积灰、堵塞等问题时，会降低气-液或气-固接触面积，影响氨的吸附和反应效率，从而导致氨逃逸。

原料气的成分波动和运行条件的变化也会影响氨逃逸。例如，烟气中的二氧化硫和氮氧化物浓度升高，可能需要增加氨的注入量以维持化学平衡，但过量的氨可能导致逃逸。同时，温度的波动会直接影响氨的气化状态，高温区间的变化可能导致更多氨挥发。在实际操作中，需要根据工况变化实时调整氨注入策略，避免氨逃逸的增加。

控制氨逃逸的技术措施包括采用先进的控制算法，如模型预测控制，以更精确地控制氨的注入，减少过量氨的排放。多级吸收塔结构可以增加反应时间和接触面积，进一步提高氨的吸收效率。同时，定期的设备维护和性能检测，如定期清洗喷嘴和更换失效的催化剂，是确保系统稳定运行、减少氨逃逸的必要手段。工艺优化，如改进氨的供应及均布系统、改进脱硝混合技术、采用高效的脱硫吸收装置以及探索新型高效的吸收剂和催化剂，也是持续降低氨逃逸的重要研究方向[1-3]。

3 氨逃逸的主要成因

3.1 加氨装置设计不合理导致分布不均

氨法脱硫脱硝技术在环保领域中广泛应用，但氨逃逸问题不容忽视。其中，加氨装置设计不合理是造成氨分布不均的主要原因之一。不合理的加氨设计可能导致氨在脱硝反应器和脱硫吸收塔内的氨浓度分布极度不均衡，如喷嘴数量不足、位置不当或喷射角度不合适，这将直接影响到氨与烟气中污染物的接触效率。因此，优化加氨装置的布局是控制氨逃逸的关键措施之一，需要通过精确的流场模拟和实验验证来确保氨的均匀分布，以降低不必要的氨排放，同时提高脱硫脱硝效率。

3.2 反应装置内部结构缺陷影响气体接触

反应装置是氨法脱硫脱硝工艺中的核心设备，其内部结构的合理性直接影响到气液接触效果和氨的吸收效率。研究表明，反应装置内部结构的不合理会导致气体流动不均匀，进而影响氨的扩散和吸收。例如，在某燃煤电厂的案例中，由于反应器内部的喷嘴分布不合理，喷嘴间距过大或过小，导致氨与烟气混合不充分，最终造成了局部氨逃逸率高达10ppm。此外，脱硫吸收塔内的结构设计、喷淋层布置、气液流动方向不当等问题，也会产生气流短路偏流现象，使得氨未能充分与烟气中的SO_2 和NOx接触反应，进一步加剧了氨逃逸的问题。为了改善这一状况，可以通过优化反应装置内部结构来提高气体吸收效率。具体措施包括喷氨格栅优化、精准喷氨控制、流场均匀性设计、合理工艺流程、合理的塔直径、塔内气速、必要的喷淋层间高度、塔高度以保证烟气的停留时间和气液接触效果，以及使用新型高效填料材料。通过这些改进措施，可以显著降低氨逃逸率，提高脱硫脱硝的整体效率。

3.3 吸收剂与反应条件的影响

在氨法脱硫脱硝过程中，吸收剂与反应条件对氨逃逸的影响不容忽视。研究表明，选择合适的吸收剂可降低氨逃逸、减少气溶胶产生，具体对比数据如表1：

表1 吸收剂与反应条件对氨逃逸的影响对比

吸收剂	氨逃逸风险	控制难点	适用场景
液氨	中	混合精度与安全管控	大型SCR脱硝/脱硫（低成本高效）
氨水	低	雾化与浓度控制	中小型脱硫脱硝/脱硫（安全优先）
尿素	中	水解/热解温度与停留时间	大型SCR脱硝/脱硫（安全需求高）

平衡安全性与可控性，氨水适合多数脱硫脱硝项目；液氨运行成本低需进行严格安全管控；尿素作为安全替代方案，需配套热解/水解设备，运行成本高。此外，烟气温度也是影响氨逃逸的重要因素之一。合适的条件下，氨反应活性增强，氨逃逸率低。例如，SCR脱硝入口温度从320~400°C降低到280°C时，脱硝主反应不完全，氨逃逸量可达5~10 ppm，在脱硫吸收塔入口温度从150°C升高到200°C时，氨逃逸率增加了约1~2%。因此，合理控制烟气温度是减少氨逃逸的有效途径之一。

除了烟气成分和温度，烟气流速也对氨逃逸有重要影响。高速的烟气流速会减少氨与烟气中的污染物充分接触的时间，从而降低反应效率并增加氨逃逸的风险。实验数据表明，当烟气流速从2m/s增加到4m/s时，氨逃逸率提高了约4%。因此，通过优化烟气流速，可以有效提高氨的利用率，减少氨逃逸。此外，烟气中的水分含量也是一个不可忽略的因素。高湿度的烟气氨分压增加，影响氨与污染物的反应效率，进而增加氨逃逸率。研究发现，当烟气湿度从8%增加到12%时，氨逃逸率增加了约5%。因此，控制烟气湿度也是减少氨逃逸的重要措施之一。

在实际应用中，选择合适的氨浓度同样至关重要。过高的氨浓度会导致反应装置内氨气浓度局部过高，增加氨逃逸的风险；而浓度过低则会影响脱硫脱硝效果。根据某燃煤电厂的实际运行经验，使用20%的氨水溶液时，氨逃逸率控制在2ppm以下，而使用30%的氨水溶液时，氨逃逸率则增加到2.5ppm。因此，选择适宜的氨水浓度，有助于平衡脱硫脱硝效果和氨逃逸率。此外，反应时间也是影响氨逃逸的重要因素。较长的反应时间可以提高氨气与污染物的接触机会，降低氨逃逸率。然而，过长的反应时间会增加运行成本，因此需要在经济性和环保性之间找到最佳平衡点。

3.4 设备运行状态与操作参数的影响

在氨法脱硫脱硝技术中，设备的运行状态与操作参数对氨逃逸率具有显著影响。研究表明，当反应温度超过150°C、烟气湿度＞15%时，氨的分压会显著增加，从而可能导致更多的氨未能完全参与反应而形成气溶胶逃逸至大气中。此外，操作参数如加氨量的控制精度也至关重要。采用先进的过程控制系统可以显著提高加氨量的精确度，减少氨逃逸。另外，运行设备的定期维护和校准同样不可忽视。设备长期运行后，喷嘴堵塞、管道腐蚀等问题会影响氨的均匀分布，从而增加氨逃逸的风险。因此，定期检查和维护是确保设备性能稳定的关键措施之一。

4 控制氨逃逸的技术措施

4.1 利用高级控制算法优化氨注入量

氨法脱硫脱硝技术中，氨逃逸是一个亟待解决的问题，而利用高级控制算法优化氨注入量是有效控制氨逃逸的关键措施之一。在实际应用中，通过引入先进的控制算法，如模型预测控制、自适应控制和模糊逻辑控制等，可以显著提高氨注入的精确度，从而减少氨逃逸。此外，高级控制算法不仅能够实时调整氨注入量，还能根据工艺参数的变化进行动态预判优化，确保系统始终处于最佳运行状态。研究表明，通过优化控制算法，氨逃逸率可降低15%至25%，同时提高脱硫脱硝效率5%至10%。这些数据表明，高级控制算法在氨法脱硫脱硝技术中的应用具有显著的效果和广阔的发展前景[4,5]。

4.2 采用多级反应装置增强氨吸收效率

在氨法脱硫脱硝技术中，采用多级反应装置是有效控制氨逃逸的重要手段之一。多级反应装置通过增加烟气与吸收剂的接触时间和接触面积，显著提高了氨的吸收效率，从而减少氨逃逸现象。此外，多级反应装置的设计还考虑了各层级之间的协同效应，通过优化烟气流场均布性、催化剂布置、喷淋密度、多级浓度梯度和PH值梯度控制，进一步提高了氨的吸收效果，最终实现末端排放氨逃逸稳定达标。理论分析模型显示，在多级吸收塔中，多级浓度梯度、PH值梯度控制可明显降低氨逃逸。

在SCR（选择性催化还原）脱硝系统中，采用多级催化剂布置（如双层或三层催化剂模块）可显著提升脱硝效率、延长催化剂寿命并优化运行成本，对比如表2：

表2 SCR（选择性催化还原）脱硝系统中采用两级催化剂与多级催化剂布置对比

参数	两级催化剂	多级催化剂	优势体现
脱硝效率	85~90%	95~99%	↑5~10%
氨逃逸	＜3 ppm	＜2 ppm	↓30~50%
催化剂寿命	3~4年	4~6年（首层更换后）	↑30~50%
抗中毒能力	弱（全负荷集中中毒）	强（毒物分散沉积）	维护成本↓

多级浓度梯度，通过顶部设置水洗段，使脱硫装置自下而上溶液中铵盐浓度越来越低，实现多级浓度梯度洗涤，去除最终少量氨逃逸，同时根据氨逃逸要求差异，配置不同级数的浓度梯度；多级PH梯度，通过分段控制，使脱硫装置自下而上溶液PH值实现逐步下降的效果，由于氨是碱性的，依次穿过PH值越来越低的洗涤液，可以实现酸碱中和反应，高效去除最终少量的氨逃逸，实现多级PH值梯度洗涤；以上措施可提升脱硫效率＞98%，大幅降低氨逃逸＜3 ppm，具体对比如表3

表3 氨法脱硫脱硝技术中单级控制与多级梯度控制对比

指标	单级控制	多级梯度控制	优势提升
脱硫效率	90~95%	98~99.5%	↑5~10%
氨逃逸	5~15 ppm	1~3 ppm	↓70~90%
氨耗量	100%基准	80~90%	↓10~20%
副产物纯度	90~92%	98~99%	↑6~8%
系统能耗	高（单一高扬程泵）	低（分级优化）	↓15%

这些数据及措施充分证明了多级反应装置在氨法脱硫脱硝工艺中的控制氨逃逸优越性。

4.3 实施定期维护与检测确保设备性能稳定

在氨法脱硫脱硝技术中，氨逃逸问题不仅影响环保效果，还会增加运营成本和设备腐蚀风险。为了有效控制氨逃逸，定期维护与检测是不可或缺的环节。研究表明，通过定期检查和维护加氨装置、反应装置等关键设备，可以显著降低氨逃逸率。通过建立科学的维护体系，如预防性维护和预测性维护相结合的方法，可以有效延长设备使用寿命，提高系统整体稳定性。同时，定期的检测还能及时发现设备的潜在故障，避免突发性的停机事故，保证脱硫脱硝系统的连续稳定运行。在维护过程中，应重点关注加氨装置的喷嘴是否堵塞、磨损，以及反应装置内部是否存在结垢、腐蚀等问题。对于检测中发现的问题，应及时采取措施进行修复，确保设备始终处于最佳工作状态。此外，定期对操作人员进行专业培训，提高他们的技能水平和维护意识，也是保障设备性能稳定的重要手段。通过这些措施的实施，可以显著降低氨逃逸率，提高脱硫脱硝效率，为企业带来更大的经济效益和社会效益。

4.4 工艺优化与改进

在氨法脱硫脱硝技术中，工艺优化与改进是控制氨逃逸的关键措施之一。通过优化反应条件和改进工艺流程，可以显著提高氨的利用效率，减少氨逃逸。此外，通过改进加氨装置的设计，使其更均匀地分布氨，也能有效减少局部过量加氨的问题。还有，采用先进的控制算法，如PID控制自动加氨或自适应控制，可以实时监测并调整氨的注入量，进一步降低氨逃逸的风险。这些措施不仅提高了系统的整体性能，还减少了对环境的负面影响。

在实际操作中，工艺优化与改进的具体方法可能因不同的工艺条件和设备类型而有所不同。例如，针对某些特定的吸收塔结构，可以通过增加湍流装置或改变烟气流动路径来增强氨与烟气的混合效果，从而提高氨的吸收效率。另外，考虑到原料的质量对氨逃逸率也有显著影响，选择高质量的原

料并严格控制其含水量、含硫量等指标，也是减少氨逃逸的有效途径。同时，对于已经投入运行的脱硫脱硝系统，可以通过对现有设备进行升级改造，如更换更高效的喷嘴、增加脱盐水装置等，来进一步提升系统的脱硫脱硝效率和降低氨逃逸率。总之，工艺优化与改进是一个持续的过程，需要不断探索和实践，以找到最适合特定工艺条件和设备类型的优化方案。

在工艺优化与改进的过程中，还需要注重数据的收集和分析。通过对系统运行数据的实时监测和分析，可以及时发现工艺中存在的问题和潜在的风险，为工艺优化提供有力的数据支持。此外，还可以通过对比不同工艺条件下的运行数据，找到最优的工艺参数和条件，进一步提高系统的脱硫脱硝效率和降低氨逃逸率。

4.5 新型吸收剂与催化剂的应用

氨法脱硫脱硝技术在环保领域广泛应用，但氨逃逸问题不容忽视，它不仅造成氨的浪费，还可能对环境和设备造成二次污染。新型吸收剂与催化剂的应用是解决这一问题的有效途径之一。此外，通过纳米技术改性传统吸收剂能极大提高其表面活性和氨的吸附能力，从而减少氨的排放。例如，某些新型纳米级吸收剂因其巨大的比表面积和优化的孔结构，能有效增加与氨的接触面积和反应时间，进而显著提高氨的吸收效率。同时，新型催化剂的引入能降低氨与烟气中其他成分反应的活化能，加速反应进程，使氨在更低的温度和压力下就能高效转化，减少氨逃逸的可能性。此外，这些新型材料往往具有良好的稳定性和再生性能，能在长期运行过程中保持高效的氨吸收和催化转化能力，从而进一步降低运行成本和环境风险。因此，新型吸收剂与催化剂的应用在氨法脱硫脱硝技术中具有广阔的前景，综上所述，新型吸收剂与催化剂的研发和应用将是未来氨法脱硫脱硝技术领域的重要发展方向。

5 结语

随着环保法规的日益严格和公众对空气质量关注度的提升，氨法脱硫脱硝技术作为减少大气污染物排放的重要手段，其重要性愈发凸显。通过深入研究氨逃逸问题及其控制措施，我们不仅可以提高脱硫脱硝效率，还能有效减少逃逸氨的排放，降低对环境的负面影响。新型吸收剂与催化剂的研发与应用，为氨法脱硫脱硝技术带来了新的突破和机遇。未来，随着技术的不断进步和成本的进一步降低，相信氨法脱硫脱硝技术将在更多领域得到广泛应用，为构建绿色、可持续的发展环境贡献力量。同时，我们也应持续关注技术的最新进展，不断优化和完善控制措施，以实现更高效、更环保的脱硫脱硝过程。

参考文献

[1]赵文成, 谭鑫波. 燃煤锅炉烟气氨法脱硫工艺技术研究[J]. 环境科学导刊, 2020, 39(S1): 59-60+68. DOI:10.13623/j.cnki.hkdk.2020.s1.018.

[2]张安贵, 刘吉平, 朱中华, 等. 氨法脱硫装置生产过程中存在问题及解决方案[J]. 能源科技, 2023, 21(01): 67-70.

[3]马立克, 李金. 氨法脱硫系统控制策略及算法研究[J]. 电脑知识与技术, 2020, 16(35): 230-232. DOI:10.14004/j.cnki.ckt.2020.3853.

[4]李阿妮. 燃煤电厂脱硝系统防护措施研究[J]. 能源与环保, 2022, 44(03): 62-66+73. DOI:10.19389/j.cnki.1003-0506.2022.03.011.

[5]王金刚, 曾良良, 杨晓明, 等. 燃煤机组脱硝系统速度场与浓度场协同优化[J]. 发电设备, 2024, 38(03): 150-156. DOI:10.19806/j.cnki.fdsb.2024.03.004.

Copyright © 2025 by author(s) and Global Science Publishing Inc.
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Open Access