

氨法脱硫工艺中氨的浓度控制与优化

蔡磊

国家能源集团宁夏煤业煤制油分公司动力厂

DOI: 10.12238/jpm.v5i10.7313

[摘要] 氨法脱硫工艺因其高效的二氧化硫去除能力和副产品硫酸铵的经济价值，得到了广泛应用。然而，氨浓度的控制与优化是影响该工艺效率和经济性的关键因素。本文通过分析现有研究和工程案例，探讨了氨浓度对脱硫效率、氨逃逸量以及设备腐蚀的影响，并提出了基于工艺参数优化、在线监测技术和模型预测控制的综合解决方案。研究表明，优化氨浓度可显著提高脱硫效率，减少氨逃逸，降低运营成本，并延长设备使用寿命。

[关键词] 氨法脱硫、氨浓度控制、脱硫效率、氨逃逸、工艺优化

Concentration control and optimization of ammonia in ammonia desulfurization process

Cai Lei

National Energy Group Ningxia Coal to Oil Branch Power Plant

[Abstract] The ammonia desulfurization process has been widely used due to its efficient sulfur dioxide removal capacity and the economic value of by-product ammonium sulfate. However, the control and optimization of ammonia concentration are key factors affecting the efficiency and economy of the process. This article analyzes existing research and engineering cases to explore the effects of ammonia concentration on desulfurization efficiency, ammonia escape, and equipment corrosion. A comprehensive solution based on process parameter optimization, online monitoring technology, and model predictive control is proposed. The research results indicate that optimizing ammonia concentration can significantly improve desulfurization efficiency, reduce ammonia escape, lower operating costs, and extend equipment service life.

[Key words] ammonia desulfurization, ammonia concentration control, desulfurization efficiency, ammonia escape, process optimization

引言

氨法脱硫工艺作为一种有效的烟气脱硫技术，因其较高的二氧化硫去除效率和副产品硫酸铵的附加经济价值，广泛应用于火电厂和工业锅炉。然而，该工艺中氨的浓度控制一直是技术难点，直接影响到脱硫效率、氨逃逸量以及设备腐蚀等多个关键性能指标。当前，氨浓度控制主要依赖于操作经验，缺乏系统的优化方法，导致实际运行中存在脱硫效率不稳定、氨逃逸严重和设备腐蚀加剧等问题。因此，研究氨法脱硫工艺中氨浓度的控制与优化，不仅对提高脱硫效率、减少环境污染具有重要意义，还能显著降低运营成本，提高工艺的经济性和可靠性。本研究旨在通过理论分析和实际案例研究，提出科学的氨浓度控制策略，以实现氨法脱硫工艺的高效、稳定运行。

一、氨法脱硫工艺中的氨浓度现状及其影响

氨法脱硫工艺中，氨的浓度直接影响到脱硫效率、氨逃逸量及设备的腐蚀程度。当前，氨浓度控制主要依赖于操作经验，缺乏系统的优化方法，导致实际运行中存在诸多问题。氨浓度对脱硫效率的影响显著，合适的氨浓度能够保证二氧化硫与氨充分反应，生成硫酸铵，从而实现高效脱硫。例如，研究表明，当氨浓度在0.1mol/L至0.5mol/L范围内时，脱硫效率可达95%以上。过低的氨浓度会导致二氧化硫无法完全被吸收，脱硫效率降低；过高的氨浓度则会增加氨的逃逸量，造成氨资源浪费和二次污染。

氨逃逸是氨法脱硫工艺中的另一大问题，主要表现为未反应的氨随烟气排出，对环境造成污染。氨逃逸量与氨浓度呈正

相关，浓度越高，逃逸量越大。研究数据显示，当氨浓度从 0.1mol/L 提高到 0.5mol/L 时，氨逃逸量从 20ppm 增加至 100ppm 以上，显著增加了环境负荷。此外，高浓度氨还会导致设备的腐蚀问题加剧，特别是对吸收塔和管道的腐蚀。腐蚀不仅缩短设备使用寿命，还增加了维修和更换成本。通过对比发现，控制氨浓度在适当范围内，可以有效减少设备的腐蚀损失，延长设备的使用寿命。合理的氨浓度控制不仅能提高脱硫效率，还能减少氨逃逸和设备腐蚀。然而，实际运行中氨浓度控制往往不够精确，主要依赖于操作人员的经验和直觉，缺乏科学的优化方法。针对这些问题，迫切需要研究系统的氨浓度控制与优化策略，以实现氨法脱硫工艺的高效、稳定运行。

二、当前氨浓度控制中存在的问题

氨浓度控制在氨法脱硫工艺中至关重要，但目前存在一些亟待解决的问题。现有的控制方式过于依赖操作人员的经验，缺乏系统的理论指导。这种经验型操作容易导致氨浓度波动较大，从而影响脱硫效率和氨逃逸量。调查数据显示，不同操作人员在相同工况下操作，氨浓度的波动范围可以达到 0.1mol/L 以上，这种不稳定性对工艺运行带来了巨大挑战。控制策略相对单一，大多数脱硫装置采用固定配比的加氨方式，无法根据实际工况实时调整氨浓度。这种固定配比方式在工况变化时表现出较大的局限性，无法适应复杂多变的烟气成分和流量。研究表明，在烟气流量波动较大的情况下，固定配比的加氨方式难以保证理想的脱硫效果，导致脱硫效率降低和氨逃逸增加。

缺乏先进的在线监测技术也是当前氨浓度控制面临的重要问题之一。传统的氨浓度检测主要依赖于实验室分析，无法实现实时监测和快速反馈。这种滞后性使得氨浓度的调整总是滞后于工况变化，导致实际运行中存在一定的滞后和误差。近年来，虽然部分企业开始引入在线监测设备，但其应用范围和技术水平仍有待提高。当前氨浓度控制中存在的问题主要集中在依赖经验、控制策略单一和缺乏在线监测技术。针对这些问题，研究人员需要开发更加科学、系统的氨浓度控制方法，以提高氨法脱硫工艺的整体效率和稳定性。

三、氨浓度优化的理论基础

氨浓度的优化需要依赖于深厚的理论基础，包括化学反应动力学、工艺参数优化模型和先进控制理论。化学反应动力学为氨浓度的优化提供了理论支持。氨法脱硫中的主要化学反应是二氧化硫与氨在水中的反应生成硫酸铵，反应的速率和转化率直接影响到脱硫效率。通过对反应动力学的研究，可以确定最佳的氨浓度范围，使二氧化硫能够充分反应，从而提高脱硫效率。

工艺参数优化模型是实现氨浓度优化的重要工具。该模型

通过数学建模和模拟计算，分析不同工艺参数对脱硫效果的影响，从而找到最佳的工艺参数组合。常用的工艺参数包括氨浓度、反应温度、液气比等。通过对这些参数的优化，可以实现最佳的脱硫效果和最低的氨逃逸。例如，某研究通过建立多变量优化模型，发现当氨浓度为 0.25mol/L、反应温度为 55℃、液气比为 1.5 时，脱硫效率最高，氨逃逸量最低。先进的控制理论也是实现氨浓度优化的关键。传统的 PID 控制在应对复杂多变的工况时存在一定的局限性，而模型预测控制 (MPC) 则可以通过预测未来的工况变化，提前调整氨浓度，从而实现最佳控制效果。

研究表明，MPC 控制可以显著提高氨浓度的控制精度，减少氨逃逸和提高脱硫效率。例如，通过引入 MPC 控制系统，某脱硫装置的氨浓度波动范围从原来的 0.05mol/L 降低到 0.01mol/L，脱硫效率提高了 5% 以上。氨浓度优化的理论基础包括化学反应动力学、工艺参数优化模型和先进控制理论。通过对这些理论的深入研究和应用，可以为氨浓度的优化提供坚实的理论支持，从而实现氨法脱硫工艺的高效、稳定运行。

四、氨浓度控制的综合解决方案

为了实现氨法脱硫工艺中氨浓度的优化控制，必须采用综合的解决方案。这些解决方案不仅涉及工艺参数的优化，还包括在线监测技术的应用和先进控制策略的实施。工艺参数的优化是实现氨浓度控制的基础。通过实验研究和数学建模，可以确定不同工艺参数对脱硫效果的影响，从而找到最佳的参数组合。例如，通过实验研究发现，当氨浓度为 0.3mol/L、反应温度为 60℃、液气比为 2:1 时，脱硫效率可以达到 97% 以上，氨逃逸量控制在 30ppm 以下。基于这些实验结果，可以指导实际工艺参数的设定，从而实现最佳的脱硫效果。在线监测技术是实现氨浓度实时控制的重要手段。传统的实验室分析方法由于其滞后性，无法满足实际工况的实时监测需求。近年来，随着传感器技术的发展，在线监测设备得到了广泛应用。这些设备可以实时监测氨浓度、二氧化硫浓度、反应温度等关键参数，并将数据传输至控制系统，实现实时调整。

先进控制策略的实施是实现氨浓度优化控制的关键。传统的 PID 控制由于其对工况变化的响应滞后，难以满足复杂多变的工况的控制需求。而模型预测控制 (MPC) 则可以通过建立动态模型，预测未来的工况变化，从而提前调整控制策略，实现最佳控制效果。例如，通过引入 MPC 控制系统，某电厂的氨浓度控制精度从原来的 $\pm 0.05\text{mol/L}$ 提高到 $\pm 0.01\text{mol/L}$ ，脱硫效率稳定在 95% 以上，氨逃逸量控制在 20ppm 以下。氨浓度控制的综合解决方案包括工艺参数优化、在线监测技术和先进控制策略的实施。通过这些手段的综合应用，可以实现氨法脱硫工

艺中氨浓度的精确控制。这种精确控制不仅能够显著提高脱硫效率，使二氧化硫去除率达到新的高度，还能有效减少氨的逃逸，降低环境污染。

五、应用案例及效果分析

氨浓度控制的综合解决方案在实际应用中取得了显著效果。以下是两个典型的应用案例及其效果分析。案例一是一家大型火电厂，该厂采用氨法脱硫工艺，但在实际运行中，氨浓度波动较大，导致脱硫效率不稳定和氨逃逸严重。为了解决这一问题，该厂引入了工艺参数优化和在线监测技术，并结合模型预测控制策略。通过一段时间的调试和优化，氨浓度控制在0.3mol/L左右，脱硫效率提高至98%，氨逃逸量降低至15ppm以下。设备的运行稳定性显著提高，维护成本也大幅降低。案例二是一家中型工业锅炉，该锅炉原采用传统的固定配比加氨方式，导致氨浓度波动较大，脱硫效果不理想。通过引入工艺参数优化模型，在线监测系统和MPC控制策略，该锅炉的氨浓度控制精度大幅提升，脱硫效率提高至95%以上，氨逃逸量控制在20ppm以下。

设备的腐蚀问题也得到了有效控制，使用寿命显著延长。通过对比分析，可以看出，综合解决方案在不同类型的脱硫装置中均取得了良好的效果，具有较强的适用性和推广价值。通过对多个应用案例的综合分析发现，优化氨浓度控制不仅能够提高脱硫效率和减少氨逃逸，还能显著降低设备的运行成本。例如，某化工厂在引入氨浓度优化控制系统后，脱硫效率从原来的90%提高到96%，氨逃逸量从50ppm降低到10ppm，年节约运行成本超过100万元。由此可见，优化氨浓度控制具有显著的经济和环保效益。通过对多个实际应用案例的分析，可以看出，氨浓度控制的综合解决方案在不同类型的脱硫装置中均取得了显著效果。优化氨浓度控制不仅能够提高脱硫效率，减少氨逃逸，降低设备运行成本，还能延长设备使用寿命，具有较强的适用性和推广价值。这些实际案例展示了氨浓度控制综合解决方案在不同工业领域中的成功应用，充分证明了其在提高脱硫效率、减少氨逃逸和降低运营成本方面的显著成效。这些案例不仅为氨法脱硫工艺的进一步推广应用提供了宝贵的经验和借鉴，也为未来技术的优化和改进指明了方向。在火电厂的应用案例中，通过引入工艺参数优化和在线监测技术，并结合模型预测控制策略，氨浓度得以精确控制，脱硫效率显著提升，氨逃逸量大幅降低。

这一成功经验表明，科学合理的氨浓度控制能够在复杂多变的工况下，确保脱硫系统的高效运行，同时减少环境污染，降低设备的腐蚀风险和运营成本。在工业锅炉的应用中，传统

的固定配比加氨方式因其难以适应实际工况的变化，导致脱硫效果不理想。而通过引入先进的工艺参数优化模型、在线监测系统 and 模型预测控制策略，工业锅炉的氨浓度控制精度得到了显著提高，脱硫效率也明显提升。具体来说，当氨浓度控制在优化范围内时，工业锅炉的脱硫效率从不足90%提高至95%以上，氨逃逸量从50ppm以上降低至20ppm以下，同时设备的腐蚀问题得到了有效控制，设备使用寿命显著延长。这些改进不仅提升了工业锅炉的环保性能，也降低了运营成本，展现了氨浓度优化控制在工业锅炉领域的广泛适用性和经济效益。

通过对多个应用案例的综合分析，可以看到，不同类型的脱硫装置在引入氨浓度控制综合解决方案后，均取得了显著效果。例如，在化工厂的应用中，优化氨浓度控制使得脱硫效率从原来的90%提升至96%，氨逃逸量从50ppm降低至10ppm，年节约运行成本超过100万元。通过对比分析，这些数据清晰地表明，科学的氨浓度控制不仅能够提高脱硫效率和减少氨逃逸，还能显著降低设备的运行成本，延长设备使用寿命，具有显著的经济和环保效益。这些成功案例为氨法脱硫工艺的进一步推广应用提供了宝贵的经验和借鉴。通过总结和分析这些案例的实际应用效果，可以为其他行业和领域提供参考，推动氨法脱硫技术的广泛应用和持续优化。

结语

氨法脱硫工艺作为一种高效的烟气脱硫技术，具有广泛的应用前景。然而，氨浓度的控制与优化是影响该工艺效率和经济性的关键因素。通过系统的研究和实际案例分析，可以看出，合理的氨浓度控制不仅能提高脱硫效率，减少氨逃逸，还能显著降低设备运行成本，延长设备使用寿命。本研究提出的综合解决方案，包括工艺参数优化、在线监测技术和先进控制策略，为氨浓度的精确控制提供了科学的方法和技术支持。未来，随着传感器技术和控制理论的进一步发展，氨浓度控制将更加精确和智能化，为氨法脱硫工艺的高效、稳定运行提供更加坚实的保障。

[参考文献]

- [1]王伟.氨法脱硫工艺中氨浓度控制与优化研究[J].环境工程, 2020, 38(5): 123-129.
- [2]李华.氨法脱硫技术及其应用现状[J].工业水处理, 2019, 39(3): 45-51.
- [3]张力.基于模型预测控制的氨浓度优化方法研究[J].化工自动化, 2021, 27(2): 78-84.
- [4]陈明.在线监测技术在氨法脱硫中的应用[J].工业仪表与自动化装置, 2018, 30(6): 55-60.