

基于 SCR 分区测量技术的精准喷氨控制优化

黄丹青 朱华夏 赵柔君 赵恒宇

国家电投集团重庆合川发电有限公司 重庆 合川 401536

【摘要】：精准喷氨控制技术在 SCR 脱硝系统中的应用具有显著优势，通过动态调节喷氨量，实现了 NO_x 去除效率的提升和氨逃逸的有效减少。传统的喷氨控制方法存在过量喷氨和喷氨不均的问题，影响了脱硝效果。基于 SCR 分区测量技术的精准喷氨控制方案，能够根据各分区的实际反应条件进行喷氨量调节，确保系统在不同工况下都能稳定运行，优化 NO_x 去除效果，降低氨气消耗成本。该技术不仅符合环保排放标准，还有效降低了运营成本，并延长了催化剂的使用寿命，具有重要的经济与环境效益。

【关键词】：精准喷氨控制；SCR 分区测量；脱硝效率；氮氧化物；环保技术

DOI:10.12417/2811-0722.25.11.007

引言

SCR（选择性催化还原）技术广泛应用于工业领域，尤其在火力发电厂、化工厂等行业，用于减少 NO_x 排放，满足环保要求。喷氨控制在 SCR 系统中的作用至关重要，然而传统的喷氨控制方法通常存在喷氨不均和过量喷氨的问题，这不仅影响了脱硝效果，还可能导致氨逃逸，增加环境污染。随着环保法规的日益严格，精准喷氨控制技术应运而生。通过引入 SCR 分区测量技术，可以实时监测各分区的反应条件，动态调整喷氨量，使得喷氨更加精确，从而提高脱硝效率，减少氨气的浪费。这种优化方案有助于提升 SCR 系统的整体性能，降低运行成本，推动环保目标的实现。

1 SCR 技术中的喷氨控制挑战与发展趋势

（1）喷氨控制的传统方法及其局限性

在 SCR（选择性催化还原）脱硝技术中，喷氨控制是关键环节之一。传统喷氨控制方法主要通过恒定或简单调节喷氨量来实现氮氧化物（NO_x）的去除。这种方法虽然操作简单，但存在一些显著局限。喷氨量的调节通常是基于总体气体流量和 NO_x 浓度的平均值，却忽视了各分区反应的差异性。由于 SCR 反应过程中温度、气流速度和催化剂活性等因素在不同分区存在差异，单一喷氨量的设定很难在整个反应过程中达到最优效果。传统方法往往不能有效应对负荷波动或工况变化，导致氨的过量使用或喷氨不均，影响脱硝效果的稳定性。喷氨控制的精准化和动态调节成为研究的热点方向，需要采用更加灵活和高效的控制策略，以适应复杂多变的工况。

（2）SCR 系统中喷氨量调控的关键问题

SCR 系统中喷氨量的精确调控涉及多个因素。喷氨量的控制不仅受到反应温度和 NO_x 浓度的影响，还需考虑喷氨分布的均匀性。如果喷氨分布不均，可能导致部分区域氨过量，而部分区域则可能发生氨逃逸，影响脱硝效果。喷氨量的调控需要与 SCR 催化剂的反应活性匹配，催化剂活性的变化可能导致喷氨量的调整需求发生变化。随着燃烧条件的变化，例如负荷变化和燃料质量波动，喷氨量也需要实时调整。如何在这种

复杂的动态环境中精确控制喷氨量，是实现高效脱硝的关键问题之一。要求喷氨控制系统能够在不同工况下动态调节，以确保 SCR 反应始终处于最佳状态。

（3）优化喷氨控制的技术需求

为了克服传统喷氨控制方法的局限，未来的技术发展应当朝着更加精准、实时和灵活的方向迈进。需要增强控制系统的数据采集能力，准确获取各分区的实时数据，如氨浓度、NO_x 浓度、温度和气流速度等，确保控制系统能够依据详细的分区信息进行精准调节。优化算法的引入至关重要，结合机器学习和大数据分析技术，能够实时分析喷氨控制参数与反应效率之间的关系，制定出最佳的喷氨调节策略。第三，喷氨控制系统的响应时间需要进一步缩短，以应对瞬时负荷波动或工况变化。最后，智能化控制技术将成为喷氨控制系统的核心，借助人工智能技术，可以实现系统自动调整，减少人为干预，提高整体系统的可靠性和运行效率。

2 基于 SCR 分区测量技术的喷氨控制方案

（1）SCR 分区测量技术原理与应用

SCR 分区测量技术是近年来提出的一种创新方法，它通过对 SCR 系统内部不同区域进行实时监测，精确掌握每个分区的 NO_x 浓度、温度、气流等重要参数。这一技术的核心在于能够细化到每个反应区的控制，进而精确调整喷氨量。这项技术通过安装多个传感器在不同分区，实时获取各分区的运行数据。根据这些数据，系统可以动态调整各个分区的喷氨量，避免传统控制方法中的喷氨量过量或不均的问题。这一技术已经在多个 SCR 系统中得到应用，并在实际操作中证明了其优越性。通过 SCR 分区测量，系统能够更精确地匹配喷氨量与每个反应区的需求，显著提高了脱硝效果。

（2）分区测量在喷氨控制中的优势

分区测量技术在喷氨控制中的应用具有多方面的优势。它解决了传统喷氨控制中喷氨量不均的问题。传统方法中，喷氨量常常是根据整个系统的平均数据进行设定，而分区测量技术则能够依据各分区的具体情况进行精确调节，保证每个区域的

氨浓度处于理想范围。该技术能够实时监控 SCR 反应的各项参数,及时发现并解决反应过程中可能出现的问题,如催化剂失活、氨过量或氨逃逸等,从而提高系统的稳定性和效率。分区测量技术还能够通过精确控制喷氨量,减少氨的浪费,降低环境污染,符合当前的环保要求,提升了脱硝系统的经济性和环保性。

(3) 实施分区测量技术的技术挑战与解决方案

虽然分区测量技术在喷氨控制中的应用具有明显优势,但在实施过程中仍面临一些技术挑战。传感器的布置和数据传输问题是实施中的关键。SCR 系统内部环境复杂,温度和气流速度变化较大,传感器需要具备较强的耐高温和抗干扰能力。数据传输和处理的实时性也至关重要,如何确保数据的准确性和实时性是实施过程中需要解决的重要问题。不同分区的气流和温度特性可能差异较大,这对控制系统的精确调节提出了更高的要求。为此,需要采用更加先进的控制算法,例如基于人工智能的自适应控制技术,结合多维数据进行实时分析和调整,从而确保每个分区的喷氨量精准匹配。通过技术创新和设备升级,分区测量技术的应用前景仍然广阔。

3 精准喷氨控制系统的设计与实现

(1) 系统构成与功能需求分析

精准喷氨控制系统的设计首先需要明确系统的构成和功能需求。该系统由多个模块组成,包括数据采集模块、控制模块和执行模块。数据采集模块负责获取 SCR 系统内部各个分区的实时数据,如氨浓度、温度、气流速等,确保系统能够全面了解当前运行状态。控制模块根据采集到的数据,运用控制算法计算出最优的喷氨量,并通过执行模块进行调节。系统需要具备较高的实时性和灵活性,能够应对负荷波动和工况变化,确保喷氨量的精准调控。系统还应具备自学习能力,随着运行时间的增加,能够通过历史数据不断优化控制策略,提升系统的稳定性和效率。

(2) 实时监测与反馈调节机制的设计

实时监测与反馈调节机制是精准喷氨控制系统中的核心部分。该机制通过传感器和监测设备不断采集 SCR 反应区的各项数据,并将数据实时传输至控制模块。控制模块基于实时数据进行分析和处理,计算出最适宜的喷氨量。当系统检测到工况变化或误差时,能够自动进行调整,确保喷氨量与实际需求匹配。反馈调节机制还能够通过预测算法预判可能出现的变化,从而提前调整控制策略,避免系统出现过量喷氨或氨逃逸现象。为了保证反馈调节的有效性,系统需要具备强大的数据处理能力和高精度的控制算法,以确保喷氨控制的精准性和稳定性。

(3) 数据采集与处理技术的优化

数据采集与处理技术是精准喷氨控制系统能否有效运行

的基础。数据采集模块需要具备高精度和高稳定性,能够在不同的环境条件下获取准确的数据。传感器需要满足高温、腐蚀性气体环境下的工作要求,同时具备抗干扰能力,以确保采集到的数据真实可靠。数据处理技术的优化至关重要。随着采集数据量的增大,传统的数据处理方法已难以满足实时性的需求。引入高效的算法,如边缘计算、机器学习等技术,能够提高数据处理速度和精度,确保系统能够快速响应各种工况变化,进行动态调整。数据处理平台还需具备强大的数据存储与分析功能,便于后期的系统优化与故障诊断。

4 精准喷氨控制优化对脱硝效率的影响分析

(1) 喷氨量对 NOx 去除效率的影响

精准喷氨控制技术通过实时监控和调节喷氨量,能够确保氨气与 NOx 的反应达到最佳平衡,从而最大化 NOx 的去除效率。传统喷氨控制方法常常因过量喷氨导致氨逃逸,这不仅浪费了氨气,还可能对环境造成二次污染。反之,喷氨不足则无法有效地去除 NOx,可能导致排放超标,面临罚款和环保压力。而精准喷氨控制系统通过精准的数据采集和实时反馈调节,能够根据不同工况和负荷变化动态调整喷氨量,确保每个反应区域的氨气浓度都处于最优水平。这种精细化控制使得 SCR 脱硝系统在不同操作条件下均能稳定运行,从而提高了 NOx 的去除效率,并保持了系统的高效和环保运行,增强了经济效益和环保合规性。

(2) 精准喷氨控制的氨逃逸减排效果

精准喷氨控制技术通过实时监控和调节喷氨量,能够确保氨气在催化反应中被充分利用,避免了过量喷氨导致的氨气逃逸现象。过量氨气不仅会造成空气污染,还会增加氨气的消耗,进而导致企业运行成本的上升。而通过精确调节喷氨量,可以使反应过程中的氨气与 NOx 的反应达到最佳比例,从而确保 NOx 的高效去除,同时避免氨气浪费。这不仅有助于实现更加严格的环保排放标准,还能显著降低氨气的使用成本,提升整体经济效益,推动环保与经济的双重优化。

(3) 脱硝效果提升与成本效益分析

精准喷氨控制技术不仅能够提高 SCR 系统的 NOx 去除率,还能显著改善成本效益。通过精确调节喷氨量,系统可以根据实际需求动态调整,从而避免了过量喷氨所导致的氨浪费,减少了氨气消耗,降低了运行费用。精准控制喷氨量使得脱硝系统在不同负荷和工况下都能稳定运行,确保排放水平始终符合环保标准,避免了因污染物超标而产生的罚款或整改成本。随着脱硝效率的提升,设备的运行负担减轻,催化剂的活性保持更长时间,从而降低了催化剂更换频率和维修成本。整体而言,精准喷氨控制不仅提高了脱硝效率,还通过降低维护成本、延长设备寿命等方式,进一步优化了经济效益。

5 未来发展方向与技术创新趋势

(1) 智能化控制技术在 SCR 中的应用前景

人工智能和机器学习技术的快速发展为 SCR 喷氨控制提供了新的解决方案。智能化控制系统不仅能够依靠实时监测数据进行动态调节,还可以通过自学习算法不断优化喷氨策略,提升脱硝系统的稳定性与效率。在工业应用中,智能化控制能够有效应对负荷波动与燃料性质变化带来的不确定性,使喷氨量更贴合实际反应需求。智能化控制平台还能集成大数据分析,对历史运行工况进行建模,预测不同条件下的最佳喷氨参数,减少人为干预,提高系统的可靠性和适应性。这种方式将逐步替代单一的经验控制模式,为 SCR 系统实现节能减排提供广阔前景。如图 1:



图 1 智能化控制技术在 SCR 中的应用前景

(2) 多参数协同优化控制技术研究

喷氨控制的精准性不仅依赖于 NO_x 浓度监测,还受到温度、气流速度和催化剂活性等多重因素的影响。多参数协同优化控制技术正是为了解决这些复杂关系而提出的,通过整合多维度数据,形成更加完善的控制模型。该方法能够在不同工况

下综合分析各参数之间的耦合效应,实时修正喷氨策略,确保 NO_x 还原反应的最佳进行。与单一参数控制相比,多参数优化能够减少氨逃逸风险,提高脱硝效率,并降低催化剂损耗。在未来发展中,这种技术将更依赖高性能计算和预测算法,构建动态响应能力更强的控制系统,进一步增强 SCR 技术在复杂工况下的适应性。

(3) 环保政策推动下的喷氨控制技术演进

日益严格的环保标准对喷氨控制技术提出了更高要求,促使其不断向高效化与智能化方向演进。排放限值的降低迫使脱硝系统不仅要提升 NO_x 去除率,还要控制氨逃逸水平,减少对环境的二次污染。在政策驱动下,企业对喷氨控制系统的投入力度逐步增加,推动了先进传感器、智能控制平台以及分区测量技术的广泛应用。绿色低碳发展目标进一步促进了喷氨控制技术与节能技术的深度融合,使系统在保证环保达标的同时降低运行成本。未来,在政策引导和技术创新的双重作用下,喷氨控制技术将加速升级,形成更加高效、可持续的技术体系。

6 结语

本文探讨了基于 SCR 分区测量技术的精准喷氨控制优化方案,详细分析了传统喷氨控制方法的局限性以及多参数协同优化控制技术的前景。通过引入智能化控制系统与分区测量技术,喷氨量可以精确调节,从而提升 SCR 脱硝系统的整体效能。精准控制喷氨量不仅有效提高了 NO_x 去除率,减少了氨逃逸,也为节能减排提供了技术保障。在环保政策日益严格的背景下,未来的喷氨控制技术将更加依赖智能化与协同优化,为环保和能源利用效率的提升做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 孙涛,周扬.基于多参数优化的 SCR 脱硝技术研究[J].环境科学与技术,2023,46(8):112-120.
- [2] 赵文君,刘畅.SCR 系统中喷氨控制技术研究进展[J].工业工程与管理,2024,35(6):95-104.
- [3] 李晓东,王丽萍.智能化喷氨控制系统在 SCR 脱硝中的应用[J].能源技术,2022,48(7):201-208.
- [4] 陈学东,田小玲.环保政策对 SCR 脱硝技术发展的推动作用[J].环境保护科学,2023,41(4):75-83.
- [5] 刘涛,陈宇.基于实时数据反馈的 SCR 喷氨控制系统优化[J].清洁能源,2023,12(2):58-64.