

# Study on ammonia escape control strategy of denitration system in thermal power plant

Gaoyuan Qin

China Energy Engineering Group Yunnan Electric Power Design Institute Co., Ltd., Yunnan, Kunming, 650021, China

## Abstract

In the denitrification process of thermal power plants, selective catalytic reduction technology is commonly used to reduce nitrogen oxide emissions and achieve ultra-low emission levels. However, ammonia slip during ammonia injection frequently occurs, not only weakening denitrification efficiency but also causing corrosion of downstream equipment, environmental pollution, and increased operating costs. Controlling ammonia slip has become a critical factor affecting the operational stability and environmental performance of denitrification systems. This paper focuses on the mechanism of ammonia slip in thermal power plant denitrification systems, exploring its relationship with ammonia injection control, catalyst performance, flue gas conditions, and other factors. It systematically reviews current mainstream monitoring and control technologies and proposes optimization strategies for ammonia injection, improvements in reactor structure, and enhancements in operational management. The aim is to provide feasible guidelines for improving ammonia utilization and reducing emission risks in thermal power plants.

## Keywords

denitration system; ammonia escape; ammonia injection control; catalyst performance; operation optimization

## 火电厂脱硝系统氨逃逸控制策略研究

秦高远

中国能源建设集团云南省电力设计院有限公司, 中国·云南昆明 650021

## 摘要

火电厂在脱硝过程中常采用选择性催化还原技术,以减少氮氧化物排放,提升超低排放水平。然而,在喷氨过程中氨逃逸问题频发,不仅削弱脱硝效率,还会造成下游设备腐蚀、环境污染和运行成本上升。氨逃逸的控制已成为影响脱硝系统运行稳定性与环保绩效的关键因素。本文围绕火电厂脱硝系统的氨逃逸机理展开分析,探讨其与喷氨控制、催化剂性能、烟气工况等因素之间的关联,系统梳理当前主流监测与调控技术,并在此基础上提出优化喷氨策略、改进反应器结构、完善运行管理等控制路径,以期为火电厂提升氨利用率、降低排放风险提供可行依据。

## 关键词

脱硝系统;氨逃逸;喷氨控制;催化剂性能;运行优化

## 1 引言

火电厂作为我国主要的电力供应主体,其烟气中氮氧化物排放量大,对大气环境质量造成显著影响。选择性催化还原(SCR)脱硝技术凭借其高效的反应效率已被广泛应用于烟气治理中。然而在实际运行中,过量喷氨或系统参数控制不当常导致氨逃逸现象发生,进而引发空预器堵塞、氨盐腐蚀和二次污染等问题,制约了脱硝系统的安全性和环保达标率。氨逃逸不仅是技术问题,更关乎火电厂运行效能与环保监管要求之间的平衡。因此,深入研究氨逃逸的影响机理与控制策略,构建科学、高效、稳定的治理路径,对于提升火电厂脱硝水平、降低运行风险具有重要现实意义。

## 2 火电厂脱硝系统的运行机制与氨逃逸问题概述

火电厂常用的脱硝技术主要包括选择性非催化还原(SNCR)和选择性催化还原(SCR)两类,SCR工艺因其反应效率高而被广泛应用。其核心机理是在催化剂作用下,将喷入的还原剂氨或尿素与烟气中的NO<sub>x</sub>在320°C至420°C的温区内发生选择性反应,生成无害的氮气和水。该过程对氨的喷入量、催化剂的活性、烟气流速与温度等参数高度敏感。催化剂通常由钛、钒、钨等复合氧化物制成,具有较强的热稳定性和抗中毒能力。氨逃逸是指部分未参与反应的氨随烟气排出反应器进入后端设备的现象,其本质是系统在氨投加控制与反应条件匹配方面存在偏差。当SCR系统运行温度低于300°C或高于450°C时,催化剂反应活性下降,反应效率降低,从而导致氨不能完全转化<sup>[1]</sup>。

【作者简介】秦高远(1982-),男,中国重庆人,硕士,高级工程师,从事环境工程研究。

### 3 影响脱硝系统氨逃逸率的关键参数分析

#### 3.1 喷氨量控制精度与负荷变化关联

喷氨量的设定需与烟气中 NO<sub>x</sub> 浓度及锅炉负荷密切匹配，不合理的喷氨策略是导致氨逃逸的重要原因。在负荷波动过程中，NO<sub>x</sub> 生成速率不稳定，若喷氨系统反应滞后，将引发氨过量问题。例如在某 600MW 机组中，当锅炉口产生浓度从 80% 降至 60% 时，NO<sub>x</sub> 排放从 370mg/m<sup>3</sup> 降至 290mg/m<sup>3</sup>，而喷氨量未及时调整，导致氨逃逸率由 3.5% 升高至 7.8%。精确的氨投比控制系统能够根据实时 NO<sub>x</sub> 数据和负荷变化动态调整喷氨量，通过建立氨氮比数学模型配合闭环调节装置，可使氨逃逸率控制在 3% 以内，提升脱硝效率并稳定系统运行。

#### 3.2 催化剂活性衰减对还原效率的影响

催化剂在长期使用过程中受高温烧结、灰尘堵塞、化学中毒等影响，其活性呈现下降趋势，进而影响 NO<sub>x</sub> 还原反应的充分性。以三氧化钨系催化剂为例，累计运行 8000 小时后比表面积下降了约 28%，氨转化效率由 95% 下降至 82%，直接导致氨逃逸率从 2.9% 增至 6.3%。不同层级催化剂受烟气冲刷程度不同，最上层常首当其冲活性丧失最为显著。定期对催化剂活性层进行性能评估与更换，是维持系统稳定运行的重要保障。在调整喷氨策略前，需结合催化剂寿命评估结果，避免因补偿反应效率而盲目加大氨用量，进一步加剧逃逸问题。

#### 3.3 反应器温度分布与混合均匀性的协同作用

SCR 系统的反应温度分布对脱硝反应影响显著，催化剂最佳工作温区在 300℃ 至 420℃ 之间，若烟气流场不均匀将造成局部过冷或过热，破坏氨与 NO<sub>x</sub> 反应的理想状态。在某 660MW 电厂试验中，入口温度不均造成催化剂有效利用率降低 12%，氨逃逸率由 3.2% 上升至 5.9%。同时氨与烟气在混合器前的均匀性不足，也会形成局部氨富集区。混合器设计若存在涡流、短路等结构缺陷，将引起氨氮比局部异常，影响反应均匀性。

## 4 火电厂现行氨逃逸监测与控制技术现状

#### 4.1 常用氨逃逸在线监测仪器与布点原则

氨逃逸的在线监测通常采用激光差分吸收光谱 (TDLAS) 仪器，该技术具备响应速度快、灵敏度高、不易受粉尘干扰等优势，能够实时反映烟气中氨浓度变化。在布点策略上，需结合烟气流向、反应器结构和催化剂布置层次，合理选择监测断面位置，以实现氨分布的代表性采集。布点时需考虑不同烟道截面流速和温度差异，避免局部数据失真，必要时配置多个传感器并结合均值算法提高数据可靠性，从而形成可用于闭环调节的准确氨逃逸监控体系<sup>[2]</sup>。

#### 4.2 基于反应动力学模型的控制手段

通过建立氨-氮反应动力学模型可对喷氨过程进行定

量预测与调节，该类模型通常基于质量守恒、能量守恒和速率常数推导而成，能反映在不同工况下氨与 NO<sub>x</sub> 反应效率的变化趋势。模型构建时需输入参数包括 NO<sub>x</sub> 浓度、烟气温度、流速分布、催化剂特性等，依据现场运行数据拟合出最佳反应速率常数及氨氮比。通过在控制系统中嵌入此类模型，可实现对喷氨量的预测性调节，减少依赖人工经验操作的滞后风险。该方法尤其适用于负荷波动频繁的机组，可在 NO<sub>x</sub> 浓度变化前预判所需喷氨量，有效降低氨逃逸率并提升脱硝系统响应灵敏度与运行稳定性。

#### 4.3 多变量调控系统的集成与应用

在实际运行中，氨逃逸受到喷氨流量、NO<sub>x</sub> 浓度、烟气温度、催化剂状态等多个变量的共同影响，传统单变量控制模式难以适应复杂工况。多变量调控系统通过引入 DCS 平台或高级过程控制器 (APC)，集成氨氮比控制、NO<sub>x</sub> 浓度反馈、烟气温度监测等多个参数，实现实时数据采集、分析与协同调节。系统可基于数学模型与运行经验形成优化控制逻辑，实现动态调整喷氨量和反应区参数匹配。在某 600MW 电厂试运行中，多变量控制系统将氨逃逸率从 5.1% 降至 2.6%，并稳定 NO<sub>x</sub> 排放浓度达到超低排放要求。该系统具备算法自学习功能，可随着运行数据积累不断优化控制策略，显著提升脱硝系统运行效率和环保性能。

## 5 氨逃逸控制策略的优化路径研究

#### 5.1 基于动态负荷的喷氨调节模型构建

火电机组在不同负荷状态下，烟气成分、温度和流速均存在显著变化，传统静态喷氨策略难以实时适应，易造成氨逃逸波动。构建动态负荷耦合的喷氨调节模型成为降低氨逃逸的重要路径。该模型以负荷变化速率、NO<sub>x</sub> 实时浓度和历史喷氨量为输入，结合响应滞后时间与反馈调节算法，形成具有前馈功能的控制结构。在机组负荷快速下降至 60% 时，动态模型可实现喷氨速率在 90 秒内快速回调，避免局部氨富集。模型在控制系统中联动 TDLAS 数据和 NO<sub>x</sub> 传感器反馈，实现高频率精细化喷氨调控，为复杂工况下脱硝系统稳定运行提供支撑。

#### 5.2 高效分布式催化剂系统的优化设计

为提升反应效率并降低氨逃逸，在催化剂布置方面逐步推广分布式设计理念，即将催化剂分层布置于不同区域，依据反应速率及流场变化设置不同活性等级和孔隙参数的模块。优化设计需基于 CFD 模拟结果，识别低流速或高温区段并适配高通量催化剂，以提高局部反应效率，防止氨在未充分反应的区域逸出。在某机组应用中，通过对原有三层均布结构调整梯度式分布，氨逃逸率由 4.2% 下降至 1.8%。此策略在节约催化剂成本的同时，增强系统适应不同负荷工况的能力，延长整体催化剂使用寿命，保障脱硝系统长期稳定运行，图 1 为高效率前馈补偿的火电厂脱硝控制系统解析。

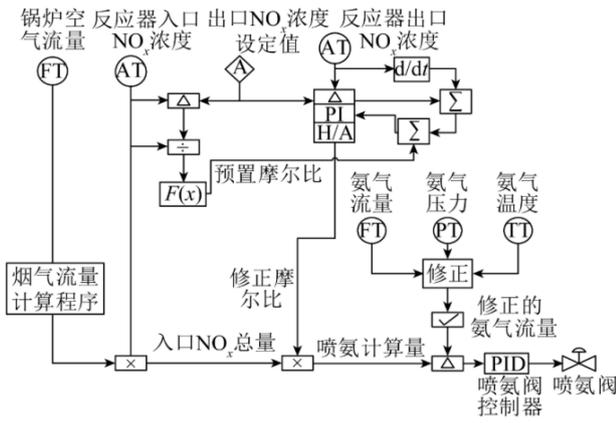


图1 高效率前馈补偿的火电厂脱硝控制系统解析

### 5.3 耦合低氮燃烧技术的协同减排机制

氨逃逸的本质是还原剂与NO<sub>x</sub>浓度失衡所致，通过源头减少NO<sub>x</sub>生成量可从根本上降低脱硝系统压力与喷氨需求。低氮燃烧技术以分级燃烧、烟气再循环、空气分配优化等手段抑制NO<sub>x</sub>生成，是与SCR系统协同减排的重要环节。耦合运行中，NO<sub>x</sub>初始排放量减少约35%，喷氨量同步下降30%以上，氨逃逸率可控制在2%以下。在系统设计阶段预留低氮燃烧调节接口，并通过控制逻辑将炉膛NO<sub>x</sub>生成水平与SCR喷氨量进行动态耦合控制，可在不影响热效率的前提下，实现源头控制与终端治理的高效结合，为火电厂构建系统性氨逃逸治理体系提供可靠路径<sup>[1]</sup>。

## 6 氨逃逸控制中的运行管理与制度保障

### 6.1 运行人员技能提升与操作规程规范化

氨逃逸控制的实效性在很大程度上依赖于一线运行人员对脱硝系统原理与操作要点的理解程度。当前部分电厂存在操作人员专业培训不足、对氨氮配比变化响应滞后等问题，导致喷氨调节不及时，增加氨逃逸风险。通过制定系统化培训计划，强化脱硝原理、氨逃逸机理、监测仪器使用及数据解读等内容，提升人员判断与操作能力。同步完善操作规程，将不同负荷工况下的喷氨调节流程细化至具体参数变动范围，确保操作行为的标准化和一致性。

### 6.2 定期检修与催化剂性能评估制度

催化剂作为脱硝反应的核心组件，其活性、压降及物理结构的稳定性直接影响脱硝效率与氨逃逸水平。制定定期检修制度，明确催化剂检查周期、检测指标与更换标准，

是维持系统长期高效运行的基本保障。检修内容包括催化剂层压降测定、微观结构观察、比表面积和反应活性测试等，依据检测结果评估催化剂实际运行状态，并结合历史数据进行趋势分析。一旦检测结果出现压降显著上升或反应速率下降，应及时安排清洗或更换。在催化剂性能逐步衰减过程中，结合分层更替和局部补偿策略，避免整体更换带来的资源浪费和系统运行中断，提高脱硝系统经济性与运行稳定性<sup>[4]</sup>。

### 6.3 控制策略与排放标准的适配与反馈机制

火电厂氨逃逸控制策略的制定必须与国家与地方排放标准同步更新，以实现治理目标与合规要求的协同一致。当前多数地区对氨逃逸浓度已设定明确限值，部分地区控制在3ppm以下，为此企业需建立涵盖政策解读、目标设定、技术响应与持续优化的管理机制。依据排放标准修订控制指标，在DCS系统中嵌入阈值报警、趋势分析和偏差诊断模块，实现监测数据的实时反馈与自动修正。在此基础上，建立运行数据与环保达标记录的对比归档体系，为环保审查提供技术支持<sup>[5]</sup>。

## 7 结语

综上所述，氨逃逸控制已成为火电厂脱硝系统优化管理的核心议题之一。通过技术手段与管理机制的有机结合，可在保障脱硝效率的同时有效降低氨排放风险。完善喷氨控制策略、提升催化剂使用效率、加强流场与温度分布调控，是系统层面的关键突破口。运行人员的专业能力、设备状态的持续评估与控制逻辑的智能响应，共同构成氨逃逸治理的综合支撑体系。推动脱硝装置由经验控制向数据驱动转变，将为火电厂实现环保达标与安全经济运行提供坚实保障。

### 参考文献

- [1] 龙伟荣.火电厂脱硝系统分区控制精准喷氨优化改造[J].电力设备管理,2025,(03):242-244.
- [2] 赵祥云.火电厂燃煤锅炉SCR烟气脱硝系统运行的影响因素研究[J].现代工业经济和信息化,2024,14(11):185-187.
- [3] 柴飞虎.火电厂脱硝系统分区测量与优化控制应用分析[J].能源与节能,2024,(10):6-10.
- [4] 郑克强.基于IMPC算法的SCR脱硝系统出口NO<sub>x</sub>浓度控制[D].导师:陈静.安徽理工大学,2024.
- [5] 杨祉聪.燃煤电站锅炉SCR脱硝系统建模及优化控制策略研究[D].导师:史荣会.福建理工大学,2024.