

# Application of Key Technologies in NH<sub>3</sub> Control of SCR System Coupled with Artificial Intelligence for Coal-fired Thermal Power Units

Xinyi Zhang Xingyang Niu Mengjuan Chen Qingyao Zhu Guofu Liu\*

School of Energy and Power Engineering, Qilu University of Technology (Shandong Academy of Sciences), Jinan, Shandong, 250353, China

## Abstract

The common technical problem of blind excessive NH<sub>3</sub> injection was urgently to be solved, especially after the completion of the ultra-low emission transformation for coal-fired power units. The application of AI algorithm in the field of NH<sub>3</sub> injection control could be explored from the three aspects of perception layer, decision layer and execution layer. The field distribution characteristics of flue gas could be found by arranging the velocity sensing system via electrostatic induction which was suitable for high temperature and dust environment. The precise intelligent control of the total NH<sub>3</sub> injection could be realized based on the combination of the big data model and the traditional automatic control strategy to overcome the large delay of SCR system. The NH<sub>3</sub> injection branch valves were achieved dynamic control according to the field distribution characteristics observed to optimize the NH<sub>3</sub>/NO<sub>x</sub> mixing equivalent ratio, improve the NH<sub>3</sub> utilization rate. The application of advanced NH<sub>3</sub> control technology coupled AI algorithm should be depended on the development of communication components and the transformation of related equipment.

## Keywords

SCR system; AI algorithm; NH<sub>3</sub> control technology; velocity perception

# 人工智能耦合燃煤火电机组 SCR 系统喷氨控制关键技术应用

张欣懿 牛兴阳 陈梦娟 祝庆耀 刘国富\*

齐鲁工业大学(山东省科学院)能源与动力工程学院, 中国·山东 济南 250353

## 摘要

燃煤火电机组在超低排放改造完成后普遍存在盲目过量喷氨的共性技术问题亟待解决。对此,可从以感知层、决策层与执行层三个方面出发探究人工智能技术在喷氨控制领域的应用。通过布置适用于高温、高尘环境的静电流速传感系统可以探明系统内的烟气流场分布特性;基于大数据模型建立预测性控制单元,并在传统热工自动控制单元的基础上,可以实现喷氨总量的精准智能控制,克服SCR系统的大迟滞;基于烟气流场监测结果实现喷氨支管阀的“动态配氨”控制,可以优化SCR系统内的氨氮混合当量比,提高氨利用率;最终人工智能算法耦合精准喷氨控制功能的实现依赖于通讯组件的开发及相关设备的改造。

## 关键字

SCR系统;人工智能;喷氨控制;流速传感

## 1 引言

燃煤火电机组是大气污染物-氮氧化物(NO<sub>x</sub>)的重要排放源,SCR系统以其技术成熟度高、脱硝效率高等优势已成为主流的烟气脱硝技术,在超低排放改造完成后普遍存在盲目过量喷氨的共性技术问题亟待解决<sup>[1]</sup>。已有研究表明,SCR系统大截面烟道烟气流场分布特性不明确、喷氨总量

控制存在迟滞、喷氨支管盲目控制甚至手动调整的运行现状是引发上述问题的根源<sup>[2-4]</sup>。

论文以感知层、决策层与执行层三个方面为出发点研究了人工智能+燃煤机组SCR系统喷氨关键技术:

首先,提出可以开发适用于高温、高尘环境的烟气流速传感技术(感知层),通过探明烟气流场分布特性为SCR系统精准喷氨控制提供数据基础。

其次,提出开发基于大数据模型预测控制的多模块耦合的智能喷氨控制器以实现喷氨总量的超前、精准控制,同时开发基于烟气流速监测结果的“动态配氨”控制器以优化

【通讯作者】刘国富(1991-),男,中国山东潍坊人,博士,讲师,从事燃煤装备污染物减排与控制技术研究。

烟道内的氨氮混合当量比（分析层）。

最后，配套开发 Modbus 通讯组件完成控制器的 DCS 系统嵌入，完成现场相关设备改造以在工业应用条件下实现预期的智能喷氨控制功能（执行层）。

## 2 从人工智能应用角度分析 SCR 系统精准喷氨关键技术

### 2.1 基于烟气流量监测的感知层架构

烟气流速测量技术较为成熟，不过其总体上可以分为接触式测速与非接触式测速两大类。接触式测速以传统的毕托管测速、热线（球）风速仪测速等为代表，显然不适应于高温、高灰的 SCR 系统烟气环境，存在易堵塞、易磨损的致命缺陷。近期，吴晔等人<sup>[9]</sup>提出了一种基于静电互相关原理的静电流速传感的非接触流速测量技术，其已经开发了多种不同结构的静电传感器用于监测气固两相流中的流动参数，尤其适用于高尘环境的烟气流速测量。由此推断，可以使用静电流速传感技术实现 SCR 系统烟气流量分布特性的在线监测，进而为 SCR 系统精准喷氨控制提供数据基础。

### 2.2 基于人工智能算法与热工自动控制的分析层架构

燃煤火电机组 SCR 系统喷氨控制具体可以细分为喷氨总量控制、喷氨支管控制两大类。传统的工业应用条件下，SCR 系统喷氨总量控制难以实现稳定自动投入，归其根本是传统的热工控制算法（即简单 PID 控制+多前馈反馈控制）无法实现对大迟滞变量的预估与超前调控；同样地，传统工业应用条件下的喷氨支管控制多为手动，归其根本是确实支管自动控制的实施自动调整依据。

#### 2.2.1 喷氨总量控制分析层

传统的 SCR 系统喷氨总量控制逻辑大多简单根据电厂 CEMS 系统实际测量得到的关键运行参数（如入口 NO<sub>x</sub> 浓度、烟气流量等）及期望的出口 NO<sub>x</sub> 浓度，计算得到所需喷氨总量并完成喷射，不能针对性克服系统所具有的大迟滞特性。在此领域内，Xie 等人<sup>[6]</sup>已经提出可以基于神经网络模型等人工智能算法参与 NO<sub>x</sub> 排放及喷氨控制动态建模，显著提升了 SCR 系统喷氨控制的精准性。由此推断，可以基于神经网络模型、支持向量机等大数据模型建立预测性控制单元，并在传统热工自动控制单元的基础上，实现喷氨总量的精准智能控制。

#### 2.2.2 喷氨支管控制分析层

实现 SCR 系统 AIG 截面各喷氨支管的优化控制，是保证 SCR 系统内良好氨氮混合当量比的关键因素。最新的研究结果表明，SCR 系统烟道内，尤其是某些区域内的 NO<sub>x</sub> 通量分布特性已被证实是具有显著连续波动特性<sup>[7]</sup>，如果能够在烟气流场监测结果的基础上，开发建立喷氨支管自动控制先进算法，有效诊断喷氨区域控制的波动特性，实现 SCR 系统喷氨支管阀的“动态配氨”控制，预期可以显著提升系统

内的氨氮混合当量比，有助于提高系统的氨利用率。

### 2.3 基于通讯组件开发与设备改造的执行层架构

分析层完成了人工智能算法与传统热工自动控制策略的耦合集成，预期能够开发得到相应的喷氨总量及喷氨支管自动控制器，但是其工程应用的前提是必须稳定嵌入 DCS 系统。对此，可以借助通用的 Modbus 通讯协议完成通讯组件开发。此外，自动控制算法的功能实现必须要求控制对象具有自动控制的基本功能。在传统的工业应用条件下，喷氨总阀对应的喷氨调节阀可以满足自动控制要求，无需改造；而喷氨支管阀原来多为手动阀，要实现“动态配氨”控制必须进行自动化改造，其中必然涉及到相关 DCS 卡件的硬件改造。据此，才可以实现人工智能在燃煤火电机组 SCR 系统喷氨过程的成功应用。

## 3 结论

①通过布置适用于高温、高尘环境的静电流速传感系统可以探明系统内的烟气流场分布特性，能够为 SCR 系统精准喷氨控制提供数据基础。

②开发基于大数据模型预测控制的多模块耦合的智能喷氨控制器以实现喷氨总量的超前、精准控制。

③基于烟气流场监测结果实现喷氨支管阀的“动态配氨”控制，可以优化 SCR 系统内的氨氮混合当量比，提高氨利用率。

④人工智能算法耦合精准喷氨控制功能的实现依赖于通讯组件的开发及相关设备的改造。

### 参考文献

- [1] 黄智,王东旭,陈晓利,等.SCR系统多维度精确喷氨策略脱硝特性研究[J].东北电力技术,2019,40(12):11-15+28.
- [2] 高飞,邹红果.烟气流场分布对SCR系统的影响及其优化措施[J].环境工程,2019,37(10):153-156.
- [3] Liu Guofu, Zhang Yu, Shen Dekui, et al. Anticipatory NH<sub>3</sub> injection control for SCR system based on the prediction of the inlet NO<sub>x</sub> concentration[J].Journal of the Energy Institute, 2021,94(1):167-175.
- [4] 贾晓静,李刚,武宝会,等,W型火焰锅炉分区混合动态喷氨控制系统[J].热力发电,2020(3):1-7.
- [5] 吴晔,崔依冬,王启昌,等.气固两相流静电测速技术与系统[J].科学技术创新,2020(2):182-183.
- [6] Xie Peiran, Gao Mingming, Zhang Hongfu, et al., Dynamic modeling for NO<sub>x</sub> emission sequence prediction of SCR system outlet based on sequence to sequence long short-term memory network[J].Energy,2020(7):82-83.
- [7] Liu Guofu, Bao Wenyun, Zhang Wei, et al., An intelligent control of NH<sub>3</sub> injection for optimizing the NO<sub>x</sub>/NH<sub>3</sub> ratio in SCR system[J].Journal of the Energy Institute,2019,92(5):1262-1269.