

基于智能控制的脱硝系统喷氨优化策略研究

杨 澈

贵州西电电力股份有限公司鸭溪发电运营分公司 贵州 563100

摘要：随着环保要求的不断提高，燃煤电厂烟气脱硝系统的精准控制显得尤为重要。传统喷氨控制方法在应对复杂工况时存在明显局限性，常导致氨气利用率偏低和排放指标波动。本文基于智能控制理论，深入研究脱硝系统喷氨优化问题，通过建立智能控制模型，设计优化控制策略，构建完善的控制体系框架。该研究有效解决了传统控制方法在响应速度和控制精度方面的不足，实现了在保证排放达标的同时显著降低氨逃逸率，提高了系统运行的稳定性和经济性，为脱硝系统的优化运行提供了新的技术手段和支持。

关键词：脱硝系统；喷氨优化；智能控制；运行优化

我国环保政策不断趋紧，火电厂氮氧化物排放的控制要求变得越发严格。在选择性催化还原脱硝系统当中，喷氨量若不能精准控制，就会直接左右脱硝效率以及运行成本。传统控制策略很难应对锅炉负荷、煤种改变等复杂工况，极易引发氨气的浪费或者出现排放超标的情况。智能控制方法有着处理非线性、时变系统的独特长处，给喷氨控制的改良带来了新思路^[1]。通过探究智能控制技术在脱硝系统中的应用，期望加强喷氨系统的自适应能力及其控制品质，从而为做到环保与经济的协同发展提供技术参照。

1 脱硝系统与喷氨控制概述

1.1 脱硝系统基本原理

选择性催化还原脱硝系统对于现代燃煤电站削减氮氧化物排放十分关键。此系统把氨气当作还原剂，在特定催化剂的作用下，把烟气里的氮氧化物变成无害的氮气和水。整个反应过程需在专门设计的 SCR 反应器里执行，反应温度一般维持在 300 到 400 摄氏度之间。喷氨格栅会把氨气均匀地喷进烟气里面，然后经由静态混合器充分混合，再进入到催化剂层当中执行氧化还原反应^[2]。催化剂的结构设计及其活性组分会左右反应效率，合理的流场分布对于确保脱硝效果十分关键。系统运行时要维持合适的温度范围，温度过高会造成催化剂烧结失活，温度过低则容易致使铵盐沉积堵塞。

1.2 喷氨控制方式与特点

传统喷氨控制大多采用固定摩尔比和常规 PID 控制这两种形式。固定摩尔比控制按照入口氮氧化物浓度以及烟气量来计算喷氨量，这种方式虽然控制起来比较简便，但是适

应性却比较差。常规 PID 控制把出口氮氧化物浓度当作反馈信号，经由调整喷氨阀的开度去达成控制目的。这种控制方式在某种程度上确实改良了控制性能，不过对于存在较大时延和惯性的脱硝系统而言，其控制质量仍然不尽如人意。前述两种控制方式均需依靠精准的数学模型，而在实际操作过程中却很难应对负荷波动以及煤种改变之类的复杂情况。而且控制参数的整定成果会直接左右脱硝效率以及氨逃逸率，若是控制策略过于谨慎，则会造成氨气消耗量增多；而如果策略过激，则有可能引发排放超限。

1.3 喷氨控制存在的问题

传统喷氨控制方式在实际应用时会陷入诸多技术难点。其一为系统具有较大时延特点，即从喷氨量调节直至出口浓度产生变化，其间响应历时长久，造成控制行为往往落后于工况变动情况。其二在于系统存在非线性特征，譬如锅炉负荷有所起伏、燃料性质出现差异等情形下，对象属性就会发生大幅改变，预先设定好的控制参数无法满足全方位工况下的运行要求。其三便是氨逃逸率难以做到精准把控，若要维持脱硝效率并有效约束氨逃逸率，则须要更为前沿的控制手段^[3]。这些问题使得系统频繁陷入过度控制或者控制不足的状况，不但影响环保指标，而且加大了运行成本。控制系统缺乏足够的鲁棒性与自适应能力，这限制了脱硝系统整体性能的优化。

2 智能控制与喷氨优化方法

2.1 智能控制方法概述

智能控制方法给复杂系统控制难题带来新解决思路。

模糊控制把专家经验变成成控制规则，以此应对系统存在的不确定因素与非线性特点。它无需依靠被控对象精准的数学模型，而是凭借模糊逻辑推导来执行智能判断。神经网络控制依靠自身学习和逼近功能，经由对过往数据的学习创建起系统输入与输出之间的联系。这两类方法都能够较好地顺应脱硝系统动态特性的改变情况，具有不错的稳定性^[4]。而且，专家控制系统形成知识库并设置推理机之后，同样可以达成按照规则的智能控制。把这些智能手段融合起来，便给喷氨改良控制构筑了稳固的技术根基。

2.2 喷氨优化目标与策略

喷氨改良的重点在于保障排放达标状况之下的经济运行，这涵盖守住稳定的脱硝效率、把出口氮氧化物浓度控制在预定范围之内，并尽可能减小氨逃逸率。改良策略需综合考量诸多相互影响的因素，依靠先进控制算法达成多目标改良。凭借工况识别的自适应控制策略可遵照运行状态自行调节控制参数，以保证不同负荷下的控制质量。前馈 - 反馈合成控制策略能够立即解决主要干扰带来的影响，加快系统的响应速率^[5]。而且要形成氨逃逸率的约束控制机制，一旦监测到氨逃逸率不正常上升，便自动调整控制策略，从而保证系统运行处于安全区间之内。

2.3 优化模型构建方法

改良模型的形成属于智能控制得以执行的基本步骤。针对模糊控制模型而言，要明确输入与输出变量的论域以及隶属度函数，并创建起完备的模糊规则体系。一般情况下，输入变量涵盖氮氧化物浓度差值及其变率，而输出变量则是喷氨量的调节幅度。至于神经网络模型，则需确定网络架构、激活函数以及训练方法，凭借海量的历史数据来达成精确的对应联系。模型的输入部分应当覆盖那些对脱硝效率产生关键作用的因素，比如机组负荷、烟气流量、进出口氮氧化物浓度等等。在模型的验证阶段，重点在于考量其泛化能力及稳定性，从而保障无论处于何种工作状态之下，都能够维持较好的预测准确性^[6]。而且，模型具备在线更新的功能，这使得它能够顺应设备特性所出现的逐步改变情况，进而保留住长久稳定的控制表现。

3 喷氨优化控制系统设计

3.1 系统总体结构设计

智能喷氨改良控制系统采取分层分布式结构，包含数据采集层、智能决策层以及执行控制层。数据采集层需及时

采集过程参数、烟气分析仪数据、流量计数据以及温度压力信号等，并开展数据预处理和有效性验证。智能决策层为该系统的核心部分，其运行智能控制算法，遵照当前工况随时计算出理想的喷氨量设定值。执行控制层接收改良后的设定值，经由回路控制器促使执行机构达成精准的喷氨控制^[7]。各层之间依靠即时数据库来实施数据交互，保障信息传递既及时又一致。系统具备完备的报警与保护机制，一旦监测到异常工况就会自动切换到备用控制模式，从而保障系统安全可靠地运行。

3.2 控制模块功能设计

系统融合诸多功能模块协同运作。智能设定值计算模块依靠先进的智能算法，随时求解理想的喷氨量，关键之处在于执行过训练的神经网络模型或者模糊推理机制。氨逃逸约束控制模块不断监测氨逃逸率的变动趋向，一旦预估可能出现超标情况就会自动产生修正信号，保证运行参数一直位于安全区间之内。前馈补偿模块遵照机组负荷以及入口氮氧化物浓度等前馈信号，事先调节控制输出，从而有效地应对系统存在的较大时延特点。自学习模块借助对运行数据加以分析，定时更新模型参数，使得系统可以顺应设备特征的长期改变。系统另外具备运行指导模块，给操作人员给予改良意见和故障判断信息。

3.3 系统实现流程设计

系统采用闭环控制架构，经由持续监测与调整来达成改良控制的目的。第一步要做数据采集和预处理，其中包含信号滤波、数据校正以及工况识别等环节，从而给控制决策赋予可靠的数据支撑。接着调用智能算法模块，按照当下运行状况计算出初步改良设置值，并且结合氨逃逸约束展开安全校验^[8]。经过修正后的设置值会发给执行机构，还要监测控制效果并记录运行数据。系统会定时对控制效果执行评定，依照性能指标的变化趋向自行调整控制参数。若检测到系统特征出现大幅改变的情况，则启动模型更新流程，重新训练神经网络或者调整模糊规则。这样的闭环改良机制可使控制系统长时间维持良好的控制性能。

4 系统测试与效果分析

4.1 测试方案与指标

系统检测需制订科学的检测方案，该方案要包含不同负荷工况及煤种条件。检测流程存在基准检测和改良检测这两个阶段，经由对比分析来考量改良成效。检测的负荷点应

包含机组典型的运行区间，即高、中、低这三段负荷，每一段负荷都要维持足够长时间的稳定运行。性能评价指标体系包含控制品质指标、经济性指标以及设备运行指标这三类。控制品质指标着重关注出口氮氧化物浓度的波动幅度和控制精准度，经济性指标着重关注氨逃逸率和氨气消耗量，设备运行指标关乎执行机构的动作频次和幅度。这些指标必要同步收集并加以分析，以保证评定结果既全面又可靠。

4.2 测试结果分析

测试数据显示，改良系统在各负荷段的控制性能良好，其出口氮氧化物浓度的标准偏差大幅缩减，这表明系统具备较强的抗干扰能力与稳定性。在不同负荷变化期间，系统可快速跟进工况变化并及时调节喷氨量，防止出现传统控制方式常有的大幅波动状况。氨逃逸率得到有效的控制，平均值和峰值均明显减小，这表明改良系统既保证了脱硝效率又突出提升了氨气利用效率^[9]。执行机构的动作曲线更为平滑，其动作幅度和频率较为恰当，有益于延长设备的使用寿命。这些改进显示出智能控制策略对于非线性、时变系统的处理具有优势。

4.3 优化效果评估

综合评定结果显示，智能改良控制系统在诸多方面收获了突出成果。就环保效益而言，该系统稳固提升了脱硝效率的稳定性，并促使排放浓度一直符合标准，从而减小了环保风险。从经济效益看，重点体现于氨气消耗量的缩减，因为氨逃逸率有所下降且控制精度得到加强，预估能够节省不少运维成本。至于设备运行情况，喷氨调阀的动作变得更为平和，这样既削减了设备损耗，又拉长了检修间隔时间^[10]。系统具备一定的自适应能力，可以保证在各种工况下维持较好的控制性能，进而减轻运行人员的工作压力。这些改动给电厂带来了直接的经济收益以及间接的安全保障，具备不错的推广价值。

结语

本研究形成起智能喷氨改良控制系统，有效地解决了传统脱硝控制中的关键技术难点。这个系统采取分层架构设

计，并融入智能控制算法，做到了喷氨量的精确控制。经过检测结果显示，该系统既保证了排放达标，又突出减小了氨逃逸率，提升了控制系统的稳定性和适应性。智能控制策略得到恰当运用，给脱硝系统的精细运行给予了可靠的技术支持，表现出较好的工程应用价值。未来研究时应进一步完善系统的自学习功能，加强其对复杂工况的适应能力，也要探寻多目标协同改良的达成途径，从而为改善脱硝系统整体性能赋予更多技术手段。

参考文献：

- [1] 邱淞峰. 燃煤锅炉燃烧过程与脱硝系统优化控制技术探究 [J]. 电力设备管理 ,2025,(19):69–71.
- [2] 宗成涛. 混酸酸雾 SCR 脱硝自动控制系统设计与应用 [J]. 山西冶金 ,2025,48(08):191–192+198.
- [3] 杨建军. 烧结烟气脱硫脱硝返料智能控制系统设计及应用 [J]. 冶金与材料 ,2025,45(04):22–24.
- [4] 黄国强, 司瑞才, 李佳, 等. 适应新型电力系统的火电机组脱硝系统控制策略优化研究 [J]. 吉林电力 ,2024,52(03):47–51.
- [5] 杨祉聰. 燃煤电站锅炉 SCR 脱硝系统建模及优化控制策略研究 [D]. 福建理工大学 ,2024.
- [6] 陈皓伟. 燃煤电厂 SNCR 脱硝系统模型辨识与智能控制 [D]. 山西大学 ,2022.
- [7] 尹贵豪. 燃煤循环流化床机组脱硝系统的智能控制研究及工业验证 [D]. 浙江大学 ,2021.
- [8] 高泽明, 杨慎敏, 于晨杰. 智能控制在火电机组脱硝系统中的应用 [J]. 自动化应用 ,2020,(11):86–87+92.
- [9] 王朔. 燃煤机组 SCR 脱硝系统神经网络控制策略研究 [D]. 华北电力大学 ,2020.
- [10] 马康丰. 火电机组 SCR 脱硝系统全工况建模与优化控制研究 [D]. 华北电力大学 (北京) ,2020.

作者简介：杨澈，1998年11月02日，男，土家族，贵州铜仁，大学本科，助理工程师，研究发现：控制系统与自动化优化