

# 选择性催化还原脱硝系统氨逃逸超标原因及运行调整对策

邱攀龙

国家电投集团远达环保工程有限公司 重庆 401122

**【摘要】**：选择性催化还原脱硝系统在燃煤机组烟气治理中应用广泛，但氨逃逸超标问题对环保达标运行和设备安全造成不利影响。围绕氨逃逸异常现象，从反应机理与运行特征出发，系统分析喷氨控制偏差、负荷波动、催化剂活性衰减及烟气流场分布不均等关键诱因。在此基础上，结合实际运行参数变化规律，提出以喷氨精细化调节、负荷适配控制、催化剂管理及测量系统校核为核心的运行调整对策。研究表明，通过针对性运行优化，可有效抑制氨逃逸超标现象，实现脱硝效率与运行安全的协调控制。

**【关键词】**：选择性催化还原；脱硝系统；氨逃逸；运行调整

DOI:10.12417/2811-0536.26.04.013

## 引言

随着超低排放标准的持续推进，脱硝系统运行精细化程度不断提高，氨逃逸问题逐渐由边缘现象转变为影响系统稳定的重要因素。氨逃逸超标不仅削弱脱硝效率，还易引发空预器堵塞、二次污染及运行风险。运行实践表明，该问题并非单一因素造成，而是控制策略、设备状态与工况变化相互叠加的结果。围绕运行中暴露出的典型矛盾，有必要从系统运行层面梳理氨逃逸形成的原因及其路径，明确关键影响环节，并通过运行调整手段实现有效控制，从而为脱硝系统稳定运行提供可操作的技术思路。

## 1 氨逃逸异常现象及表现特征

在选择性催化还原脱硝系统的实际运行过程中，氨逃逸异常往往以出口氨浓度持续偏高或呈现不规则波动的形式出现，其变化趋势与脱硝效率并不完全一致。在机组负荷相对稳定、喷氨控制参数未发生明显调整的情况下，出口氨逃逸监测值仍可能突破设计控制上限，反映出系统内部反应条件已偏离理想状态<sup>[1]</sup>。这类工况下，脱硝效率表面上仍能维持在较高水平，但氨逃逸浓度却同步升高，说明还原剂在反应过程中未能被充分利用，反应的选择性逐步下降，系统运行质量因此受到削弱。运行实践表明，该类异常更易出现在低负荷运行阶段、深度调峰过程中或工况频繁切换时，参数变化速率加快使原有控制逻辑难以及时适应，系统稳定性明显降低。

从运行特征角度分析，氨逃逸异常通常与反应器入口烟气条件失衡密切相关。氮氧化物浓度在反应截面内分布不均，使喷氨控制基于平均值的调节方式难以满足局部反应需求。当烟气流场存在偏流现象时，不同通道内的反应条件差异被进一步放大，局部区域氨氮摩尔比偏高，未能参与反应的氨随烟气直接进入

下游设备，形成逃逸。同时，部分区域因还原剂不足导致反应不充分，脱硝效率局部下降，整体运行状态呈现出效率与氨逃逸同时存在的矛盾特征。此类由空间分布不均引发的问题具有较强的隐蔽性，单纯依靠喷氨量或单一参数调整难以实现有效改善。

烟气温度偏离催化剂活性窗口也是氨逃逸异常的重要伴随现象。当反应器入口温度波动较大或局部温度分布不均时，催化剂反应能力在不同区域内表现出明显差异。温度偏低区域反应速率下降，氨消耗不足，而温度相对适宜区域则可能因喷氨补偿而出现氨富集，进一步加剧出口氨逃逸波动。这种温度与反应耦合失衡的状态在变负荷运行条件下尤为突出，使系统控制难度显著增加。在长期连续运行条件下，催化剂性能变化对氨逃逸异常的放大作用逐渐显现。随着运行时间延长，催化剂表面磨损、堵塞及活性组分衰减不可避免，反应速率整体下降。为满足排放控制要求，运行中往往通过提高喷氨量进行补偿，导致未被消耗的氨比例上升，逃逸风险持续累积。

## 2 喷氨与反应条件失配问题分析

在脱硝系统运行过程中，喷氨量与反应条件之间的匹配程度直接影响氨逃逸控制水平。当喷氨控制仍然依赖于入口氮氧化物的平均浓度为主要依据时，难以准确反映烟气在反应器截面内的实际分布特征，从而导致某些区域的还原剂投加过量<sup>[2]</sup>。氨氮摩尔比在空间上的不均衡，使部分烟气通道内氨浓度明显高于反应所需水平，未参与反应的氨随烟气进入后续设备，从而形成逃逸。该问题在负荷快速变化阶段尤为突出，喷氨系统响应滞后与烟气参数瞬态波动叠加，使控制精度进一步降低。反应温度偏离催化剂适宜区间同样会加剧喷氨与反应条件的失配。当烟气温度处于活性窗口下限附近时，氨与氮氧化物反应速率显著下降，为维持出口排放指标而增加喷氨量，容易造成氨在反

反应器出口富集。温度分布不均还会使不同催化剂模块的反应能力产生差异，部分区域反应充分而其他区域反应受限，进一步放大氨逃逸风险。在高负荷运行条件下，烟气停留时间缩短，也会削弱反应完全程度，使喷氨调节难以实现精确匹配。喷氨系统自身的结构和控制方式亦对反应条件适配性产生影响。喷氨格栅布置不合理、喷嘴雾化效果下降或控制阀调节精度不足，均可能导致还原剂在烟道内混合不充分。氨气与烟气混合均匀性不足，使反应过程偏离设计状态，增加氨逃逸发生概率。在多重运行因素共同作用下，喷氨策略与实际反应条件之间形成持续偏差，成为氨逃逸超标的重要诱因。

### 3 催化剂与烟气分布对氨逃逸的影响

在选择性催化还原脱硝系统中，催化剂运行状态与烟气流场分布对氨逃逸水平具有直接影响。催化剂作为脱硝反应的核心载体，其活性、结构完整性及布置方式决定了氨与氮氧化物的反应效率<sup>[3]</sup>。随着运行时间延长，催化剂表面易受到飞灰磨损、碱金属中毒及硫酸氢铵沉积等因素影响，活性组分逐渐衰减，反应能力出现区域性差异。在此状态下，喷氨量即使维持在常规控制范围内，部分催化剂通道仍难以完成有效反应，未被消耗的氨随烟气进入下游系统，导致氨逃逸水平升高。烟气分布不均对催化剂反应性能的影响同样显著。当反应器入口流场存在偏流现象时，烟气速度和氮氧化物浓度在截面内呈现明显差异，造成催化剂负荷分配不平衡。高速区烟气停留时间缩短，反应不充分，而低速区则可能出现氨氮摩尔比偏高的情况，使多余氨无法被完全消耗。此类流场失衡在机组负荷调整或挡板开度变化后更易出现，使氨逃逸呈现出周期性波动特征。催化剂层间布置及更换策略亦会对烟气与氨的反应路径产生影响。不同层催化剂活性差异未能合理匹配时，上游催化剂反应能力不足，下游催化剂承担过高反应负荷，易形成局部过喷氨现象。与此同时，烟气在多层催化剂之间的再分配过程若受到结构阻力影响，也会加剧流场不均问题，削弱整体反应效果。长期运行条件下，这种由催化剂性能衰减与烟气分布失衡共同作用形成的反应偏差，使氨逃逸控制难度持续增加，并对系统稳定运行产生不利影响。

### 4 运行参数优化与控制调整措施

在脱硝系统运行调节过程中，运行参数的优化需围绕氨逃逸抑制与脱硝效率稳定展开，通过多参数协同控制实现反应条件的动态平衡<sup>[4]</sup>。喷氨量调节应由单一依赖入口氮氧化物平均浓度转向多点监测与趋势

判断相结合的方式，综合参考反应器入口氮氧化物分布、烟气流量及负荷变化速率。在实际运行中，入口氮氧化物浓度常处于 200~450 mg/Nm<sup>3</sup> 区间波动，若喷氨调节滞后于负荷变化，极易造成局部氨氮摩尔比失衡，因此需通过缩短控制回路响应时间、优化调节步长，使喷氨变化与烟气参数变化保持同步。

反应温度控制是运行调整中的关键环节。催化剂活性窗口通常集中在 300~380°C 范围内，当烟气温度低于下限时，反应速率明显下降，高于上限则易加剧副反应生成。运行中应通过锅炉燃烧调整、烟道挡板配合及省煤器旁路控制等手段，使反应器入口温度稳定在适宜区间。深度调峰工况下，负荷降至 50% 以下时，反应器入口温度易接近 300°C 下限，此时盲目提高喷氨量将直接推高氨逃逸值，应优先通过燃烧方式优化提升烟气温度，再配合小幅喷氨修正，以降低逃逸风险。

烟气流量与停留时间的协调同样影响控制效果。在高负荷运行状态下，烟气流速增大，反应器内有效停留时间缩短，部分通道内反应未能完全进行。运行调整中需结合实际烟气量变化，对喷氨分区控制参数进行重新校正，使各喷氨区域的投加量与局部流量相匹配。部分机组运行数据显示，当烟气量由 180×10<sup>4</sup>Nm<sup>3</sup>/h 上升至 220×10<sup>4</sup>Nm<sup>3</sup>/h 时，若喷氨分配比例保持不变，出口氨逃逸浓度易出现明显抬升，通过动态调整分区阀门开度，可有效缓解该问题。测量与控制系统的精度直接关系运行调整效果。氮氧化物分析仪、氨逃逸在线监测装置及流量测量设备在长期运行中易出现漂移或响应迟缓，导致控制策略建立在失真数据基础之上。运行管理中应定期开展仪表比对与标定工作，确保测量数据的可靠性。部分运行经验表明，当氨逃逸在线监测值与手工采样结果偏差超过 2 mg/Nm<sup>3</sup> 时，喷氨控制易产生明显误判，及时校核仪表后可显著改善控制稳定性。催化剂运行状态的参数管理也是运行调整的重要组成部分。随着运行小时数增加，催化剂活性下降不可避免，喷氨策略需同步修正。通过定期检测催化剂压降变化、反应效率衰减趋势及通道堵塞情况，动态调整喷氨基准值，避免因沿用初始设定参数而导致氨逃逸持续升高。运行实践中，当单层催化剂压降较初期运行增加 30 Pa 以上时，往往伴随局部反应效率下降，需结合催化剂层间负荷重新分配喷氨量。负荷变化管理对氨逃逸控制具有现实意义。机组频繁启停或快速升降负荷时，脱硝系统易处于非稳态运行状态，控制参数难以及时跟踪变化趋势。通过设置负荷变化速率关联控制逻辑，使喷氨量调整

与负荷变化形成联动关系,可降低瞬态工况下的氨逃逸峰值。部分机组运行数据表明,将喷氨调节延迟时间由120 s压缩至60 s后,负荷快速上升阶段的氨逃逸波动幅度明显收敛。在综合运行调整过程中,还需关注下游设备运行状态对控制策略的反向约束。氨逃逸过高易引发空预器堵塞风险,运行中应结合空预器压降变化情况,对喷氨上限进行约束修正。当空预器压降连续上升并接近设计警戒值时,应适当降低喷氨基准并通过其他参数补偿脱硝效率,避免系统性风险累积。通过多维参数协同调节,使脱硝系统在复杂工况下保持稳定运行状态,是抑制氨逃逸超标的重要运行路径。如图1所示:

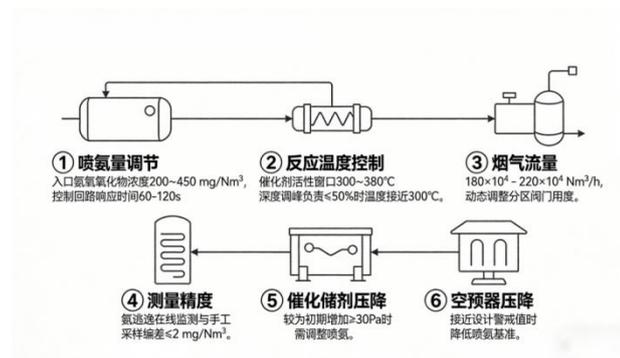


图1 脱化系统运行参数优化

## 5 运行调整效果与控制要点归纳

在持续运行调整过程中,脱硝系统氨逃逸控制效果逐步呈现出与参数协同优化密切相关的特征。喷氨控制由粗放调节向精细化控制转变后,出口氨逃逸波动幅度明显收敛,运行状态由频繁偏离控制区间转向相对稳定<sup>[5]</sup>。喷氨分区调节与烟气分布相匹配,使还原剂在反应器内的利用效率得到提升,局部过量投加现象受到抑制。在负荷变化及工况切换过程中,通过提前修正控制逻辑,氨逃逸异常峰值出现频率显著降低,系统运行呈现出更强的适应性。运行调整过程中形成的控制要点集中体现在对反应条件整体协调性的把握上。喷氨量不再单纯追随排放指标变化,而是结合氮氧化物分布趋势、反应温度稳定性及流场状态进

行综合判断,使氨氮摩尔比始终处于合理区间。反应器入口温度保持稳定后,催化剂反应效率得到充分释放,减少了因温度偏离导致的补偿性喷氨需求。通过对烟气流速变化进行动态调整,各反应通道的负荷趋于均衡,反应过程中的空间差异得到有效缓解。在催化剂运行管理方面,调整效果更多体现在喷氨策略与催化剂性能衰减之间的动态适配。运行中根据催化剂活性变化趋势,对喷氨基准进行分阶段修正,避免因活性下降而被动放大喷氨量。结合催化剂层间反应贡献差异,重新分配喷氨比例,使反应负荷在不同层面得到合理分担,减轻单层催化剂承压过高引发的逃逸风险。此类管理方式使脱硝反应过程更加平稳,运行波动对氨逃逸的影响明显减弱。测量与控制系统的稳定性在运行调整效果中占据重要位置。通过强化数据校核与趋势分析,运行人员能够及时识别控制偏差,避免误判导致的连续性过调节。监测数据的可信度提升后,控制指令执行更具针对性,喷氨调节幅度趋于合理,系统运行由被动修正转向主动控制。与此同时,下游设备运行状态被纳入控制判断逻辑,使氨逃逸控制不再孤立存在,而是与整体系统安全保持协调。

综合运行实践表明,氨逃逸控制并非依赖单一参数修正,而是建立在多因素协同调节基础之上。通过持续优化控制思路和运行策略,脱硝系统在复杂工况下保持了较好的稳定性,氨逃逸异常逐步转化为可控状态,运行管理重心由应急处置转向过程管控,系统整体运行质量得到有效提升。

## 6 结语

选择性催化还原脱硝系统运行过程中氨逃逸超标问题,从运行表现、形成机理及调节路径等方面展开分析,可以看出氨逃逸受喷氨策略、反应条件、催化剂状态及控制系统多重因素共同影响。通过对运行参数的系统优化与控制逻辑的持续修正,脱硝反应过程趋于稳定,氨利用效率得到提升,异常波动得到有效约束。运行实践表明,将氨逃逸控制融入整体运行管理体系,有助于实现脱硝系统长期稳定与安全运行。

## 参考文献:

- [1] 蒲欣,冯小童,巫树锋,等.废弃选择性催化还原脱硝催化剂的再生[J/OL].石油化工,1-8[2026-01-05].
- [2] 柳杨.低温选择性催化还原技术在合成氨烟气脱硝中的应用[J].大氮肥,2025,48(S1):99-101.
- [3] 王向玉,练以诚,王向伟.低温选择性催化还原(SCR)脱硝技术在氧化铝熟料窑上的应用[J].轻金属,2025,(06):32-37.
- [4] 吴雪莲,程会,余通,等.焙烧气氛对V-Mo-P/TiO<sub>2</sub>催化还原脱硝性能的影响[J].硅酸盐学报,2025,53(07):1952-1961.
- [5] 张茹杰.选择性非催化还原脱硝氨逃逸及二次污染物排放[J].佛山陶瓷,2024,34(09):91-93.