

燃气机组锅炉脱硝技术的日常应用与维护要点

曹超

上海奉贤燃机发电有限公司 上海 200000

摘要：随着全球能源结构向清洁化转型及环保法规的日趋严格，燃气发电作为重要的低碳能源，其氮氧化物（NO_x）排放控制受到高度重视。选择性催化还原（SCR）技术以其高效率、高可靠性的特点，已成为燃气机组锅炉脱硝的主流技术。本文聚焦于燃气机组SCR脱硝系统的全周期运行管理，系统阐述了其在日常应用中的核心控制要点，深入分析了运行监控与诊断、预防性维护与检修、安全管理与经济性优化等关键维护环节。论文指出，燃气机组脱硝系统的稳定高效运行，不仅依赖于先进的技术与设备，更取决于科学精细的日常运维管理。通过构建参数精准控制、状态实时诊断、设备预防性维护、安全风险管控及运行成本优化于一体的综合运维体系，可有效保障脱硝效率、延长催化剂寿命、控制氨逃逸、实现安全经济运行，最终确保机组长期满足超低排放要求，为燃气电厂的绿色、可持续发展提供坚实保障。

关键词：燃气机组；锅炉脱硝；SCR技术；日常应用；维护管理

引言

在“双碳”目标背景下，以天然气为代表的清洁化石能源在电力系统中的调峰和支撑作用日益凸显。与燃煤机组相比，燃气机组虽然碳排放和污染物原始生成量较低，但在高温燃烧过程中依然会产生不可忽视的氮氧化物（NO_x）。NO_x是形成光化学烟雾、细颗粒物（PM_{2.5}）和酸雨的关键前体物，对环境和人体健康危害极大。因此，中国及世界主要国家对燃气机组的NO_x排放制定了严格的标准，国内普遍要求排放浓度低于50mg/m³，部分重点区域更是提出了30mg/m³以下的超低排放要求。

为满足这一严苛的环保门槛，选择性催化还原（SCR）技术被广泛应用于燃气机组。其原理是在催化剂作用下，利用氨（NH₃）作为还原剂，将烟气中的NO_x选择性地还原为无害的氮气（N₂）和水（H₂O）。燃气烟气具有温度适中、含尘量极低、硫含量少等特点，这为SCR系统的高效运行创造了有利条件，但也对运行控制的精准性和维护管理的精细化提出了更高要求。在实际生产中，脱硝系统的性能会随着运行时间、负荷变化、燃料特性波动而衰减，若日常应用与维护不当，极易导致脱硝效率下降、氨逃逸超标、催化剂中毒失活、设备腐蚀损坏等问题，不仅造成环保考核压力，也带来显著的经济损失。

因此，深入研究和系统总结燃气机组脱硝技术的日常应用与维护要点，建立一套标准化、流程化、精益化

的运维管理体系，对于保障电厂安全、环保、经济运行具有至关重要的现实意义。本文旨在从实践角度出发，全面梳理相关要点，为燃气电厂的脱硝系统运维人员提供系统性的指导和参考。

一、SCR脱硝技术的日常应用核心与运行控制

日常应用是脱硝系统发挥效能的第一线，其核心在于通过精准、稳定的控制，在各种运行工况下实现“效率、安全、经济”三者的动态平衡，这一过程不仅涉及对物理化学反应的精准掌控，更涵盖了对设备特性、环境变量和操作规程的深刻理解。

（一）核心运行参数的精益化控制

SCR系统的日常控制围绕几个关键参数展开，其设定与调整需根据机组负荷、入口NO_x浓度等实时变化。

脱硝效率与喷氨量控制：这是最核心的控制环节。运行人员需根据实时监测的入口NO_x浓度和设定的出口目标值（如30mg/m³），通过分布式控制系统（DCS）自动或手动调节喷氨调节阀的开度，控制喷入烟道的氨流量。控制策略需具备良好的前馈-反馈特性，以快速响应负荷和燃料变化，避免因调节滞后导致的瞬时超标。目标是使用最少的氨耗，实现稳定达标排放。

反应温度窗口维持：催化剂的活性高度依赖温度。燃气SCR催化剂的适宜温度窗口通常在300℃-400℃之间。温度低于催化剂起活温度，反应效率急剧下降，且易生成硫酸氢铵（ABS）造成堵塞；长期超温运行则会

加速催化剂烧结失活。运行中必须严密监控省煤器出口或SCR反应器入口烟气温度，并通过优化锅炉燃烧、调整给水流量等方式，确保温度处于最佳区间。

氨逃逸率的严格管控：氨逃逸是指未参与反应的过量氨随烟气排出。过高的氨逃逸（一般要求 $<3\text{ppm}$ ）是运行失控的主要标志。它不仅是经济上的浪费，更会与烟气中微量 SO_3 反应生成ABS，沉积在下游的空气预热器换热片上，造成堵塞、腐蚀和压降升高，严重影响主机安全。日常运行中，必须将氨逃逸率作为与脱硝效率同等重要的考核指标，通过优化喷氨格栅（AIG）的流量分配、改善烟气流场、避免过量喷氨等手段进行严格控制。

（二）应对特殊工况的运行策略

燃气机组频繁参与电网调峰，启停和负荷波动是常态，这对脱硝系统的适应性提出了挑战。

机组启停阶段：启动时，必须待烟气温度稳定上升至催化剂最低连续喷氨温度（通常高于起活温度 $10\text{--}20^\circ\text{C}$ ）后，方可逐步投入喷氨系统，防止液氨在低温催化剂上凝结造成损害。停机时，应在燃料切断、烟气温度下降前，提前停止喷氨，并保持稀释风机运行一段时间，吹扫残留氨气。

低负荷与负荷快速变动阶段：低负荷时烟气温度可能偏低，需综合评估脱硝效率与催化剂安全，必要时可适当降低效率设定值以保护催化剂。负荷快速爬升或下降时，控制系统应利用负荷信号作为前馈，提前预估 NO_x 生成量和温度变化趋势，预先调整喷氨量，平滑出口 NO_x 浓度曲线，避免大幅波动。

综上所述，SCR脱硝技术的日常应用绝非简单的重复性操作，而是一个融合了过程控制、设备管理、数据分析和经济优化的系统工程。其核心在于构建精细化的过程控制体系与全生命周期的预防性管理策略这两个相辅相成的支柱。前者确保了系统在每一时刻都能发挥最佳性能，后者则为这种性能的长期稳定提供了保障。随着智能控制、物联网和大数据技术的不断发展，SCR脱硝技术的日常运行控制正朝着更加智能化、精准化的方向演进。

二、系统监控、诊断与日常维护

完善的监控体系是系统的“眼睛”，而基于数据的诊断与及时的日常维护则是保持系统健康的“日常保健”。

（一）建立全方位的在线监控与数据分析网络

关键仪表监测：必须保障入口/出口 NO_x 分析仪、氨逃逸分析仪、烟气温度/压力测点、喷氨流量计等关键

仪表的准确与可靠。这些数据是自动控制的依据，需定期进行零点、量程标定和对比校验。

数据趋势分析与性能评估：运行人员和技术管理人员应每日、每周审查关键参数的历史趋势。例如，观察在相同负荷和入口条件下，为达到既定脱硝效率所需的喷氨量是否有缓慢上升趋势，这可能是催化剂活性衰减的早期信号。定期计算系统脱硝效率、氨耗率、逃逸率等性能指标，与设计值、历史最佳值进行比对，形成性能评估报告。

反应器压差监控：SCR反应器进出口的压差是反映催化剂通道是否堵塞的直观指标。压差异常升高往往预示着催化剂模块积灰严重、ABS堵塞或发生物理破损，需及时干预。

（二）催化剂的日常管理与状态诊断

催化剂是SCR系统的“心脏”，其状态管理是维护工作的重中之重。

吹灰系统可靠运行：虽然燃气烟气洁净，但长期运行中催化剂表面仍会积聚少量飞灰。应保证声波吹灰器或蒸汽吹灰器按规程可靠投运，吹灰频率和强度根据压差趋势调整，保持催化剂表面清洁畅通。

定期巡检与取样检测：利用机组计划停运机会，进入反应器内部进行目视检查，查看催化剂模块有无塌陷、磨损、堵塞或蜂窝孔道熔化迹象。定期（通常每1-2年）委托专业机构从反应器特定位置抽取催化剂样品，进行实验室检测，分析其化学组成、比表面积、活性（K值）等，准确评估其剩余寿命和失活原因（如烧结、碱金属中毒等），为后续的更换、加装或再生决策提供科学依据。

（三）辅助系统的例行检查与维护

氨区/尿素制备区：每日巡检液氨/尿素储罐、蒸发器、水解器、泵、管道、阀门及安全设施（喷淋、检漏仪、通风）。检查有无泄漏、腐蚀、结晶堵塞，确保安全附件完好。

稀释风与喷氨系统：检查稀释风机运行是否平稳（振动、噪音、轴承温度），确保为氨气混合提供稳定的风源。检查喷氨格栅（AIG）各支管手动阀开度是否与优化设定值一致，喷嘴有无堵塞。

控制系统与执行机构：定期检查DCS/PLC控制柜状态，测试喷氨调节阀、关断阀的动作灵活性和定位精度，确保自动控制回路投运正常。

三、预防性检修、安全管理与经济性优化

超越日常维护，定期的预防性检修、严格的安全管理和持续的经济性优化，是保障系统长治久安和提升企

业效益的深层要求，在绝对安全的前提下，以最具成本效益的方式，实现环保设施的卓越性能与超长服役寿命。

（一）基于计划的预防性检修（PMS）

应根据设备制造商建议和自身运行经验，制定详细的预防性检修计划，并按计划执行。

年度检查与保养：包括对催化剂进行更全面的检查和清灰；对吹灰器进行全面解体检查、更换膜片；对所有阀门进行密封性测试和保养；对电气仪表进行系统性校验。

大修期深度维护：结合主机大修（通常3-5年），对脱硝系统进行彻底维护。内容可能包括：催化剂模块的加装、更换或再生；全面检查并修复烟道内壁和导流板的磨损与腐蚀；对喷氨格栅进行流场优化改造；对控制系统进行升级或改造。

（二）全过程的安全风险管理

脱硝系统，特别是氨区，存在显著的安全风险，必须建立全覆盖的安全管理体系。

氨的风险管控：液氨属于重大危险源，必须严格执行国家相关法规。建立完善的防火、防爆、防泄漏制度和应急预案；配备充足的个人防护装备（PPE）和应急物资；定期进行泄漏检测和应急演练；加强人员安全培训，确保操作和维修人员熟知氨的理化性质和应急处置措施。

作业过程安全：反应器内作业必须办理受限空间作业票，做好通风、气体检测和监护。高空作业、动火作业等必须遵守相关安全规程。所有电气检修必须执行停电、验电、挂牌上锁制度。

（三）运行经济性的持续优化

在保障安全和环保的前提下，追求更低的运行成本是管理的永恒主题。

降低氨耗：通过喷氨优化调整、提高自动控制品质、减少氨逃逸，直接降低最主要的物料消耗成本。

延长催化剂寿命：通过精细的温度控制、避免异常工况冲击、保持烟气流场均匀、有效吹灰等措施，减缓催化剂失活速度，推迟昂贵的整体更换时间。

能耗与备件管理：优化稀释风机、吹灰器等辅机的运行方式以降低厂用电；通过推行精细化管理，控制备件库存，开展修旧利废，降低维护成本。

统筹环保与能耗：运行中需统筹考虑脱硝系统运行对锅炉效率、排烟温度、空预器阻力等的影响，寻求全厂综合经济性的最优解。

所以，预防性检修、安全管理与经济性优化在SCR

脱硝系统的运维中形成了一个密不可分的“铁三角”。以数据驱动的预防性检修为主动管理提供了技术可能，本质安全理念为所有活动划定了不可逾越的红线，而全生命周期的经济性优化则为管理活动指明了价值创造的方向。三者协同作用的最高境界，是实现系统的“零非停、零事故、最低成本”。在当前电力市场改革深化、环保要求极致化、电价竞争白热化的背景下，对脱硝系统乃至整个电厂辅机系统实施这种深度融合的精细化管理，已不再是可有可无的选择，而是关乎企业生存与发展的必然要求。

结语

燃气机组锅炉脱硝技术的有效应用，是一个贯穿设计、安装、调试、运行、维护全生命周期的系统性工程。本文聚焦于日常应用与维护这一核心环节，系统地论述了从精益化运行控制到全方位状态监控，从催化剂专业管理到预防性检修，再到安全与经济的综合优化等各个层面的要点。

实践证明，先进的技术装备必须配以科学严谨的管理才能发挥最大效能。燃气电厂脱硝系统的稳定、高效、长周期运行，绝非一蹴而就，它依赖于清晰的管理制度、规范的操作流程、专业的维护团队以及持续改进的优化文化。未来，随着人工智能、大数据预测性维护等数字化技术的发展，脱硝系统的运维将更加智能化、精准化。但无论技术如何进步，对运行规律的深刻理解、对设备状态的细致把握、对安全环保底线的坚守，这些运维管理的核心要素永远不会过时。只有将技术与管理深度融合，构建起适应自身特点的、动态完善的脱硝系统运维体系，燃气发电企业才能在日益严峻的环保挑战和市场竞争中，真正实现绿色、安全、经济的高质量发展。

参考文献

- [1]白凯杰,卢伟业,李运泉.火电厂SCR脱硝系统性能测试技术与应用.《工业锅炉》,2020
- [2]张爱民,雷石宜,王维平,陈彪.基于喷氨调整和性能检测的SCR脱硝催化剂寿命优化管理.《广东化工》,2020
- [3]李军,李志军,陶汉国,冯曦,申博玺.基于ESC测试循环的SCR催化剂动态转化效率温度窗口研究.《内燃机工程》,2017
- [4]原永泰.燃煤电站锅炉吹灰经济性分析.《科技资讯》,2010