火电厂燃煤锅炉SCR烟气脱硝系统运行的影响因素研究

涂　起
江西赣能股份有限公司丰城发电厂　江西　丰城　331100

摘　要：燃煤机组SCR脱硝系统的稳定运行是保障烟气洁净排放的关键，机组工况波动、设备状态偏移都会干扰脱硝反应的正常推进。结合脱硝系统结构组成与运行机理，梳理机组实际运行中的工况特性，本文从烟气物性、催化剂状态、还原剂喷射、系统调控四个维度，系统梳理各类条件对脱硝工况的干扰机制。针对各类运行扰动对应的问题，匹配多角度优化适配方向，形成贴合现场运行场景的调控思路，可为火电厂脱硝系统工况稳定管控提供参考。

关键词：火电厂；燃煤锅炉；SCR脱硝；运行工况；优化调控

引言：燃煤发电承担着国内电力供应的主要负荷，锅炉燃烧工况产生的氮氧化物，会加剧大气污染问题。SCR脱硝技术具备运行成熟、净化效率稳定的优势，普遍应用于火电机组烟气治理工艺体系。机组实际生产过程中，负荷更迭、烟气参数浮动、设备老化损耗等多种工况变化，都会造成脱硝运行状态出现不稳定波动。明晰各类工况条件、设备状态对脱硝系统的作用规律，依托设备结构特征与运行机理完善管控逻辑，能够显著提升脱硝设备对复杂机组工况的适配能力。

1 燃煤锅炉 SCR 烟气脱硝系统结构与运行机理

1.1 SCR脱硝系统核心组成结构

火电厂燃煤锅炉配套SCR脱硝系统由多种专用设备搭配组成，整套结构依托机组烟道布局完成整体装配。反应器采用密闭箱体式结构，预留充足的烟气反应空间，为脱硝化学反应提供稳定的内部环境。喷氨装置配备多级布氨构件，能够实现还原剂均匀散布，满足脱硝反应的物料供给要求。导流装置布置在烟道关键流通位置，修正烟气紊乱的流动状态，规整整体流场形态。催化剂模块为堆叠式模块化结构，依靠自身催化活性降低化学反应活化能，推动烟气中氮氧化物完成无害化转化。烟气通路组件包含进出口烟道与衔接管路，搭建完整的烟气输送通道[1]。各类结构功能相互独立，装配方式适配机组运行布局，能够支撑脱硝作业全过程稳定开展。

1.2 SCR脱硝反应基本机理

燃煤燃烧过程生成的烟气会携带大量氮氧化物，SCR脱硝依靠选择性催化还原原理实现污染物去除。外界温度维持在特定区间时，还原剂可以和烟气内的氮氧化物发生氧化还原反应。催化材料能够加快反应推进速度，促使污染物质转化为氮气和水两类无害物质。温度状态会直接制约反应开展程度，环境温度偏离合理区间会大幅削弱反应推进程度。整个反应过程遵循固定的物质转化规律，利用催化作用改变化学反应速率，实现烟气污染组分的无害化处理。这套物质转化逻辑构成SCR脱硝系统稳定运行的理论支撑，支撑整套净化流程有序开展。

1.3 SCR脱硝系统常规运行流程

燃煤锅炉完成燃料燃烧后会持续生成高温含尘烟气。烟气顺着固定烟道结构进入脱硝设备内部，完成输送与归集作业。还原剂通过独立输送管路送入系统内部，经由喷氨结构分散混入烟气当中。烟气与还原剂充分交融后，流经分层布置的催化剂模块表面。稳定的催化环境推动脱硝反应持续进行，逐步分解烟气内部的氮氧化物。烟气污染组分完成转化后，形成组分达标的洁净烟气。洁净烟气沿尾部烟道向外输送，完成整套脱硝处理流程。各个作业环节依次推进，环节之间衔接紧密，形成完整且稳定的烟气净化运行流程。

2 燃煤锅炉 SCR 脱硝系统运行工况特性分析

2.1 锅炉燃煤工况下烟气介质特性

燃煤锅炉燃料燃烧的不同阶段，会催生烟气介质产生动态的物性变化，这类变化贯穿脱硝系统运行全过程。燃料成分的波动会改变烟气内部组分构成，各类气体物质、微量杂质的占比会随燃烧状态产生浮动，直接改变脱硝反应的介质基础条件。炉膛内部燃烧强度的改变，会扰动烟气流动状态，形成流速大小、流场分布的动态波动，改变烟气在脱硝设备内部的停留时长。锅炉负荷变动会带来明显的热工属性变化，烟气温度、热量传导效率会产生持续性浮动。各类烟气介质参数的动态变化，会直接作用于脱硝反应开展条件，对整套脱硝系统的运行状态形成直接影响，构成系统工况波动的主要介质诱因[2]。

2.2 SCR脱硝设备连续运行状态特征

SCR脱硝整套设备可适配火电机组长期连续运行的生产模式，设备整体运行状态具备稳定性与动态波动性双

重特征。机组维持固定负荷运行时，脱硝设备处于稳态运行模式，内部反应环境、设备工作状态保持平稳，各项运行参数维持固定区间。机组出现负荷升降调整时，系统进入变负荷运行状态，设备内部工况参数会随机组负荷逐步调整，运行状态呈现渐进式变化趋势。长期连续运行过程中，设备核心构件会产生缓慢的状态演变，内部运行环境也会出现细微变化。设备运行状态的动态演变规律，直接决定脱硝系统工况的稳定程度，适配机组多样化的生产运行模式。

2.3 脱硝系统辅机协同运行特性

SCR脱硝主反应器无法独立完成烟气净化作业，需要多类辅助设备配合完成全流程运行。喷氨系统负责全程调控还原剂输送与喷射状态，根据烟气介质变化调整物料供给状态，为反应器内部反应提供稳定物料条件。烟气调节系统管控烟道通流状态与烟气输送速率，规整进入反应器的烟气状态，弱化介质波动带来的工况干扰。温控系统监测并调节设备内部环境温度，维持脱硝反应所需的温度区间，保障反应持续稳定推进。辅机系统跟随主反应器工况变化动态调整运行参数，构建有序的联动机制，保障脱硝系统工况始终处于合理运行区间。

3 SCR 烟气脱硝系统运行的核心影响因素

3.1 烟气物性参数对脱硝系统运行的影响

烟气温度的区间变化会深度干预脱硝催化反应的核心进程，直接改变催化反应活性强弱，左右整套设备的运行稳定程度。温度处于合理区间时，催化反应可以维持平稳的推进节奏，反应进程有序开展。温度出现区间偏移，会大幅削弱催化反应活性，放缓化学反应推进速度，让脱硝系统运行工况出现持续性波动。温度的无序浮动会打乱设备固有运行节奏，形成工况不稳定的核心诱因。烟气流通量的动态变化，会从介质停留时间与空间分布两个维度干预系统工况。流通量持续增大，烟气在反应器内部的停留时间大幅缩短，脱硝反应无法充分进行。流通量频繁波动会破坏反应器内部介质分布均匀性，造成局部烟气堆积或流通不足，引发整体工况失衡。燃煤烟气含有的各类杂质组分，会对脱硝设备与反应环境形成持续性负面作用。固体粉尘会附着覆盖在催化剂表层，堵塞内部孔隙结构[3]。腐蚀性杂质会慢慢侵蚀反应界面与烟气流通通道，逐步增大流通阻力，长期作用会持续干扰脱硝系统常态化运行状态。

3.2 催化剂状态对脱硝系统运行的影响

催化剂自身结构状态是决定脱硝反应开展质量的基础条件，孔隙通透度、表层完整度与整体结构形态的改变，都会调整脱硝反应的开展条件，改变反应效率与工况适配水平。长期运行产生的孔隙堵塞、表层磨损、结构形变，都会压缩有效反应空间，降低脱硝反应的推进效率。催化剂活性状态的动态变化，会直接影响反应开展的持续性。活性出现衰减会弱化催化赋能能力，反应推进效率逐步下降。活性分布不均会造成反应器内部反应强度分区失衡，部分区域反应停滞滞后，破坏系统运行的平稳状态。催化剂现场布置参数同样具备明显影响作用，布置形式、层间间距与装配规整度的差异，会重塑反应器内部的反应空间。不合理的布置方式会阻碍烟气与还原剂充分交融，形成局部反应盲区，打乱内部反应环境的均衡性，干扰脱硝反应整体推进节奏。

3.3 还原剂喷射系统运行的影响

还原剂喷射分布状态决定反应器内部介质配比结构，分布均匀与否会直接改变局部区域的反应环境。喷射分布失衡会造成局部介质富集或介质缺失，配比失衡会打乱正常的脱硝反应节奏，引发系统工况波动。喷射时机与喷射节奏的动态调整，会干预烟气与还原剂的混合反应过程。喷射节奏紊乱会破坏介质融合规律，让混合反应过程出现脱节问题，影响脱硝系统连续运行的稳定性。还原剂输送过程中的压力与流速参数波动，会直接改变喷射系统的作业状态。输送参数异常偏移会造成喷射力度、喷射范围出现偏差，打乱喷射作业的规整性，干扰脱硝系统各运行环节的衔接流畅度，对整套脱硝运行流程形成持续性影响。

3.4 系统运行调控参数的影响

锅炉炉膛负荷会根据生产需求持续变动，负荷调整会重塑烟风系统整体运行状态，改变烟气生成量、介质属性与流通规律，对SCR脱硝系统工况形成连锁影响。反应器进出口风压与烟风阻力的动态波动，会改变烟气流通速率与流通形态。风压失衡、阻力异常会扰乱烟气有序流通，破坏反应器内部稳定的反应环境，降低工况平稳性。脱硝系统作为机组配套子系统，运行状态会受到锅炉燃烧系统、烟风调节系统的约束。不同系统的调控逻辑、调节幅度存在差异，调控节奏无法完全匹配，这类调控差异会对脱硝系统的独立运行状态形成干扰，引发工况偏移，制约脱硝系统稳定运行能力。

4 SCR 烟气脱硝系统运行优化的适配方向

4.1 烟气工况参数的动态适配优化

烟气运行参数始终处于动态波动状态，温度起伏、流量浮动以及杂质累积都会改变脱硝系统的运行基底条件。针对烟气温度存在的区间偏移问题，搭建分档调控策略，根据机组实际运行负荷调整热源分配逻辑，将反应器内部温度维持在适配脱硝反应的合理区间。针对烟气流量无序

变动的问题，细化烟风管路的调节逻辑，根据烟气通流量变化调整管路开度，弱化流量波动带来的内部流场紊乱问题。针对烟气杂质持续生成与堆积的问题，落实常态化除尘与通路清理工作，减少杂质附着堆积对反应界面造成的损害[4]。通过多维度参数调控手段稳定烟气介质状态，为脱硝系统平稳运行筑牢前置介质条件。

4.2 催化剂长效运行的状态优化

催化剂综合状态直接决定脱硝反应的推进质量，结构完整性、活性水平以及布置形式都会干预系统运行状态。针对催化剂孔隙堵塞、表层磨损、结构变形等常见问题，制定周期性定点维护方案，及时清理孔隙杂质、修复局部结构损伤，保持载体结构通透完整。针对活性衰减、区域活性不均等问题，建立状态跟踪机制，根据活性损耗程度开展针对性活化或更换处理，维持反应器内部催化能力均衡。针对装配布局不合理引发的反应死角问题，重新规整模块摆放形式与层间距离，优化烟气接触路径。通过精细化运维与装配调整，持续维持脱硝反应的有效开展条件。

4.3 还原剂喷射系统精准运行优化

还原剂喷射与输送的运行品质，直接决定反应器内部介质配比效果，是保障脱硝反应有序推进的关键环节。喷射分布不均匀会造成局部介质配比失衡，可通过优化喷氨格栅布局、调整喷嘴喷射角度与扩散范围，改善还原剂扩散效果，缓解局部介质富集或供给不足的问题，实现还原剂与烟气的充分融合。喷射节奏与烟气流动速度不匹配，容易造成反应衔接错位，可依据烟气流通规律调整喷射时序，理顺介质混合与反应推进的完整流程，减少反应滞后问题的出现。输送压力、流速出现波动会引发喷射状态异常，可细化管路运维检查标准，及时排查并处理管路阻力异常隐患，保证还原剂输送过程平稳可控。通过对喷射与输送环节的精细化管控，持续优化介质配比环境，为脱硝反应开展提供稳定支撑。

4.4 系统联动调控的运行优化

脱硝系统依托机组整体设备协同工作，炉膛负荷变动、烟风风压偏移、多系统调控差异都会造成脱硝工况出现波动。跟随机组炉膛负荷的动态变化规律，建立参数自适应调整机制，根据负荷升降幅度微调脱硝运行参数，适配实时烟气工况的变化特点。针对反应器进出口风压不稳、烟风阻力失衡等问题，优化烟风系统调节逻辑，平衡设备内部压力水平，保证烟气流通过程顺畅有序。锅炉燃烧系统、烟风调节系统与脱硝系统存在独立的调控逻辑，运行调节节奏存在差异，可梳理各子系统的运行关联，统一调节幅度与调控逻辑，降低跨系统工况扰动带来的不利影响。完善的联动调控机制可以提升脱硝系统的工况适应能力，有效增强设备整体运行稳定性。

结束语

SCR脱硝设备的结构运行特征与机组工况特性，直接决定烟气净化作业的开展质量。各类烟气参数、设备状态、介质供给及系统调控条件，均会从不同维度改变脱硝反应推进状态与设备运行稳定性。结合工况扰动的内在作用规律，可搭建多维度运行优化体系，涵盖烟气参数动态调节、催化剂长效养护、还原剂喷射精准管控、多系统联动调控等优化路径。系统性的运行管控优化方式，能够有效弱化工况波动带来的负面干扰，提升脱硝设备运行平稳程度，为火电机组烟气脱硝的精细化运维提供可靠的技术参考。

参考文献

[1]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.

[2]陈时凯.火电厂燃煤锅炉SCR烟气脱硝系统运行的影响因素分析[J].科技经济市场,2023(9):43-45.

[3]宋艳杰.火电厂燃煤锅炉SCR脱硝高温烟气旁路优化改造[J].能源与节能,2024(12):10-12.

[4]李浩阳,任建兴,李芳芹,等.SCR反应器布置位置对燃煤锅炉脱硝效率的影响[J].能源与环境,2023(5):84-86,113.