

火电厂燃用无烟煤锅炉 SCR 催化剂失效原因分析及控制措施

张 伟

贵州西电电力股份有限公司黔北发电厂 贵州金沙 551800

摘 要: 本文围绕火电厂燃用无烟煤锅炉 SCR 催化剂失效问题展开分析, 主要探讨了催化剂失效的原因及其控制措施, 通过对催化剂磨损、堵塞、微观比表面积下降等失效机制的深入研究识别了高灰分、高硫份煤种引起的积灰、催化剂热变性、流场不均匀等问题, 为应对这些问题提出了包括优化喷氨自动跟踪、调整燃烧器参数、引入新型耐磨催化剂和改进吹灰方式等解决方案, 通过这些措施能够有效提升 SCR 系统的脱硝效率、延长催化剂使用寿命并降低氨耗, 进一步减少电厂运行成本, 本文总结了这些控制措施的实际应用效果, 为提高 SCR 系统稳定性和环保达标排放提供了技术支持。

关键词: 火电厂; 燃用无烟煤; 催化剂

1. 火电厂燃用无烟煤锅炉 SCR 催化剂的概述

在火电厂中, 燃用无烟煤的锅炉由于其高灰分、高灰熔点、低挥发分的特性, 对烟气脱硝系统提出了更高要求, 选择性催化还原 (SCR) 脱硝技术作为主流手段, 其核心部件——SCR 催化剂需具备优异的抗中毒性、抗磨损性及高温热稳定性, 燃用无烟煤所产生的烟气中含有较多的粉尘和硫化物, 对催化剂的活性和寿命构成威胁, 因此需采用适配性更强的钛基、钒钛系或新型复合型催化剂, 通过合理优化催化剂布置层数、反应温度和氨氮比可有效提高脱硝效率, 确保排放达标。

2. 某电厂燃用无烟煤锅炉 SCR 催化剂失效原因分析

2.1 催化剂磨损、堵塞

在某电厂燃用高硫、高灰无烟煤的实际运行中, SCR 催化剂失效的主要原因集中在催化剂的磨损与堵塞问题, 由于入炉煤灰分大、碱金属 (Na、K) 和 SO_3 含量远高于设计值, 飞灰粘性显著增强, 反应器内局部积灰严重, 导致催化剂孔道堵塞、顶部整流格栅板结, 加剧了烟气偏流和局部高速冲刷, 催化剂磨损明显, 烟气流通面积缩小后, 单位面积流速提升, 加速了催化剂物理磨蚀和化学腐蚀, 此外为维持脱硝效率, 喷氨量被迫加大造成大量硫酸氢铵生成, 并与飞灰反应进一步堵塞孔道, 形成“ABS 倒挂”现象, 催化剂性能迅速劣化, 近年来 2 号机组频繁更换蜂窝式与板式催化单元, 2015 年和 2016 年分别更换 98 方与 56 方蜂窝式催化剂, 近四年累计更换板式催化剂约 1200 方, 运行依赖过量喷氨以维持排放达标, 导致氨耗上升、空预器堵塞问题突出,

运行成本与环保压力剧增^[1]。

2.2 催化剂微观比表面积下降

在火电厂燃用无烟煤锅炉 SCR 系统中, 催化剂微观比表面积下降是导致其催化活性减弱和失效的关键因素之一, 2024 年通过对失效催化剂取样检测发现, 其表面出现了磷元素和硫元素的异常沉积, 且局部积灰严重, 造成催化剂微孔结构的堵塞, 显著降低了微观比表面积, 检测报告显示催化剂中二氧化钛含量低于出厂标准的 70%, 进一步佐证其活性组分受损, 磷元素可能源于上游杂质混入, 对二氧化钛晶体结构造成腐蚀, 影响活性位点的稳定性。而硫元素沉积则与未反应的氨在催化剂表面形成硫酸氢铵等硫氨类结晶物质, 这些结晶在高温条件下不仅引起孔道堵塞, 还进一步压缩有效比表面积, 降低反应气体与催化剂的接触效率, 微观结构的损伤加剧了宏观催化剂堵塞现象, 最终导致脱硝效率降低、氨耗上升和运行维护成本增加, 是当前燃用无烟煤机组中不可忽视的技术难题。

2.3 脱硝入口烟气流场不均

在某电厂燃用无烟煤的 SCR 系统运行中, 脱硝入口烟气流场分布不均是催化剂失效的重要原因之一, 现场检测表明各台炉普遍存在 A、B 侧喷氨量严重不均的现象, 如 1A 大于 1B、2B 大于 2A 等, 反映出入口烟气流量和 NO_x 浓度存在显著偏差, 造成该现象的主要因素包括: 空预器差压不均导致烟气分配不均、锅炉燃烧热偏差造成脱硝入口 NO_x 浓度差异, 以及反应器入口整流格栅积灰引起的烟气偏流问题。当烟气在催化剂层前的分布变差容易形成高流速区

与低流速区，低流速区烟气滞留积灰，高流速区则加剧催化剂物理磨损，若部分催化剂孔道被堵塞，烟气将集中流经未堵塞区域，局部流速显著上升，且灰粒入射角增大（ $> 10^\circ$ ），进一步导致催化剂磨损严重，堵塞与磨损共同作用下有效反应面积减少，为保持脱硝效率只能加大喷氨量，产生大量硫酸氢铵与飞灰粘结，加重催化剂孔道堵塞，进入“堵塞—磨损—增氨—再堵塞”的恶性循环，加速催化剂失效^[2]。

2.4 反应器入口烟温高

在某电厂运行实践中，近期1、2号炉SCR反应器入口烟温升高成为催化剂失效的又一关键因素，尽管暖风器系统改造前后入口烟温基本稳定，且430℃以上工况较少，但自2024年5月末起机组在低负荷工况下运行时间延长，导致锅炉受热面广泛积灰，换热效率显著下降，致使脱硝反应器入口烟气温度普遍升高，过高的烟温超过了SCR催化剂的最佳反应温度范围（一般为300~420℃），会造成催化剂内部活性组分如二氧化钛和五氧化二钒等的晶体结构发生热变性，失去应有的孔隙结构，导致微观比表面积下降，催化剂活性位点减少，从而显著降低脱硝反应效率，此外长期高温还会加速催化剂材料的烧结与骨架结构塌陷，使其物理结构不稳定，加剧催化剂的不可逆失活，电厂被迫加大喷氨量带来氨耗增加、硫酸氢铵生成和空预器堵塞等连锁反应，进一步抬高了运维成本和环保风险^[3]。

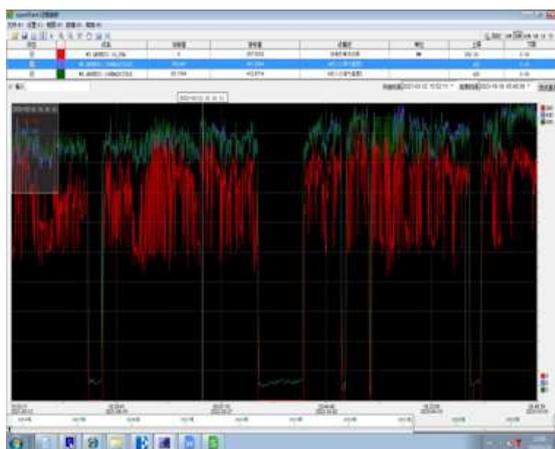


图1 1炉脱硝入口烟温趋势图

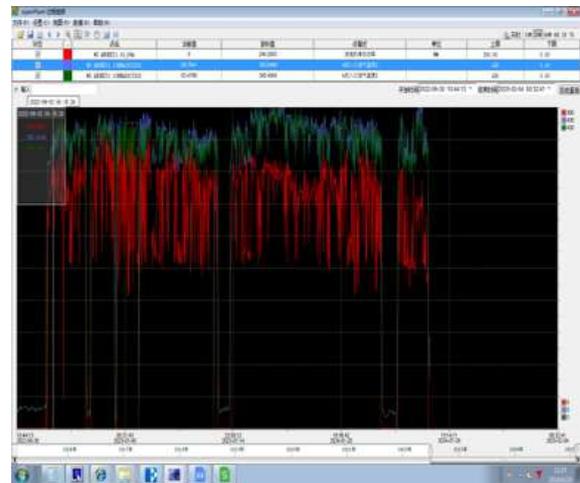


图2 2炉脱硝入口烟温趋势图

2.5 脱硝喷氨自动跟踪效果差

在火电厂燃用无烟煤锅炉SCR系统中，脱硝喷氨自动跟踪效果差是导致催化剂效率降低和系统运行不稳定的重要原因之一，由于SCR脱硝反应机理本身复杂，受烟气温度、NO_x浓度、烟气流速、催化剂活性等多因素影响，系统呈现出大延时、强耦合和非线性特征，实际运行中锅炉烟气流场分布不均，使反应器截面NO_x浓度呈现明显的区域性差异，而反应器内的烟气速度场和NO_x场也极不均匀，导致局部测量数据代表性差，难以准确反映整体反应状态，加之CEMS采用抽取法测量出口NO_x浓度，存在信号滞后和测量误差，尤其在机组频繁参与AGC和深度调峰时入口烟温及NO_x原始生成浓度波动加剧，系统响应不及时，自动喷氨量难以精准匹配，喷氨系统控制滞后将引发氨逃逸率升高或脱硝效率下降，进而导致催化剂孔道生成硫酸氢铵堵塞，形成催化剂磨损、堵塞与喷氨失衡的恶性循环，严重影响脱硝系统长期稳定运行^[4]。

3. 火电厂燃用无烟煤锅炉SCR催化剂失效的控制措施

3.1 运行优化调整

针对火电厂燃用无烟煤锅炉SCR系统中脱硝喷氨自动跟踪效果差的问题，需从源头优化控制以提高系统响应性与脱硝效率，其中通过燃烧优化调整入口NO_x浓度是一项关键措施，具体可通过精细化调整燃烧器的配风比例和燃烬风开度，改善炉内燃烧稳定性，降低NO_x原始生成量，并减少脱硝入口NO_x浓度的波动性，通过调整燃烧器区域风煤比避免局部过热及高温氧化带的形成，可有效控制NO_x生成源；同时优化燃烬风布置与开度使尾部区域燃烬效果更

佳,减轻高温烟气扰动,稳定SCR入口参数,配合烟气均流整形技术提升NO_x场均匀性可增强喷氨控制系统的准确性和反馈匹配能力,此外火电厂还应结合实际运行数据优化喷氨控制逻辑与PID参数设定,降低系统响应滞后,提升氨氮比控制精度^[5]。

3.2 优化锅炉尾部吹灰运行方式

针对火电厂燃用无烟煤锅炉SCR系统中脱硝喷氨自动跟踪效果差的问题,2024年8月通过调整锅炉尾部烟道蒸汽吹灰运行方式有效控制了脱硝入口烟温,改善了系统性能,通过优化蒸汽吹灰方式可以在烟道内形成更均匀的温度分布,减少局部高温区域的形成,从而使脱硝入口的烟气温度得到了有效控制,调整后的系统能将烟温保持在420℃及以下,避免了高温对催化剂的热损伤,同时也减少了过高烟温导致的催化剂失效,控制烟温不仅有助于催化剂的长期稳定运行,还提高了喷氨量的准确性,减少了氨逃逸现象,配合系统内其他控制手段,如优化喷氨量自动跟踪和燃烧调整,有效提升了SCR脱硝系统的运行效率,降低了催化剂的磨损和堵塞问题,减缓了催化剂的失效速度,为电厂的环保排放达标提供了可靠保障。

3.3 针对当前工况,重新设置喷氨自动参数

针对火电厂燃用无烟煤锅炉SCR系统中脱硝喷氨自动跟踪效果差的问题,可以通过引入回归分析模型来提升NO_x排放量的预测和自动调节精度,由于燃煤机组的NO_x产生受到多个因素(如燃烧温度、烟气流场、一次风量、总煤量等)的影响,这些变量之间存在较强的耦合性,难以通过传统的算法建立准确的NO_x排放预测模型,尽管神经网络模型在NO_x预测中表现出色,但由于其复杂性,无法直接在DCS系统上实现。为解决这一问题,火电厂可以采用回归分析算法,构建由初等函数组成的预测模型,通过回归分析研究因变量(NO_x浓度)与自变量(燃烧参数)之间的关系,回归分析通过拟合数据点的曲线,最小化数据点与曲线之间的距离差异,从而实现NO_x浓度的精准预测^[6]。

3.4 更换催化剂型号、调整催化剂配方

为应对火电厂燃用无烟煤锅炉SCR催化剂失效问题,某电厂于2024年对#2炉下层催化剂进行了更换,采用了远达新型蜂窝状催化剂,这种新型催化剂采用了纳米超高耐磨陶瓷装置,在催化剂单体上端增加了新型陶瓷高耐磨催化剂单元,改进了催化剂的耐磨性和使用寿命,新型陶瓷高耐磨

装置的单元截面尺寸和开孔形式、孔距等参数与催化剂单元完全一致,确保了两者的兼容性与固定性,整体外观与催化剂模块一致。该新型纳米陶瓷超高耐磨催化剂装置的主要化学成分为Al₂O₃和SiO₂,采用特殊的纳米陶瓷泥料配方并经过高温烧制而成,其强度和耐磨性远超现有蜂窝催化剂,有效提升了催化剂迎风端的耐磨强度,从而降低了催化剂在实际运行中的磨损,此外电厂在实际运行中加强了吹灰措施,防止积灰和催化剂堵孔现象的发生,进一步提升了脱硝效果,通过更换新型催化剂和调整催化剂配方能够有效延长催化剂使用寿命、提升脱硝效率,并降低后期维护成本。

4. 结语

综上所述,火电厂燃用无烟煤锅炉SCR催化剂失效问题是一个多因素交织的复杂过程,通过对失效原因的深入分析,提出了多种控制措施,如优化喷氨自动跟踪、调整燃烧参数、优化催化剂型号与配方等,通过实施这些措施不仅可以有效延缓催化剂失效、提高脱硝效率,还能降低氨耗、减少催化剂磨损和堵塞,从而减少电厂的运行成本和环保压力,这些技术和管理手段的结合为提升SCR系统的长期稳定性和环保性能提供了可行的解决方案。

参考文献:

- [1] 罗志,王晓冰,潘栋,等.W火焰锅炉SCR脱硝超低排放技术及应用[J].热力发电,2024,53(3):99-109.
- [2] 王方勇,李文杰.W型锅炉SCR脱硝装置积灰原因分析与治理[J].中国电力,2019,52(2):7.
- [3] 许剑,罗志,周鑫,李文杰,黄少波,常磊,王晓冰,牛国平,张广才.W火焰锅炉SCR分区混合动态调平技术及应用[J].中国电力,2020,53(11):9.
- [4] 吴毅,廖建开,张耀宁,等.液体节煤催化剂对混煤燃烧性能的研究与应用[J].洁净煤技术,2024,30(S01):275-280.
- [5] 王伟安,李小明,吴浩,等.转炉除尘灰与纳米催化剂对不同煤阶燃料燃烧特性的影响[J].煤炭转化,2020,43(3):9.
- [6] 李圆,田晓冬,宋燕,等.无烟煤基石墨的制备及储锂性能[J].新型炭材料,2022.

作者简介:张伟(1984—),男,贵州遵义人,汉族,本科毕业,工程师,从事火电厂运营管理及建设筹备方面的工作。