

燃气电厂氮氧化物排放控制技术对比研究

杨凯迪

北京华电北燃能源有限公司 北京 101117

DOI: 10.32629/ems.v8i2.18535

[摘要] 在燃气电厂快速发展且环保要求日益严格的情况下,传统单一的氮氧化物控制手段已经无法满足需求,为应对氮氧化物排放标准不断提高与运营成本控制压力并存的状况,本文首先系统梳理了燃气电厂氮氧化物排放关键控制技术分类,其次结合某燃气电厂实际构建了多维度技术对比分析框架,最后提出基于技术特性与实际需求匹配的技术选择策略,实现了对燃气电厂氮氧化物控制技术的全面认知与科学决策支持。

[关键词] 燃气电厂; 氮氧化物; 排放控制; 预处理; 选择性催化还原

前言:

燃气电厂氮氧化物排放治理领域呈现出技术多类型发展态势,各种控制手段依据不同作用原理构建了相对完备的技术体系,这些技术途径既涵盖通过完善燃烧进程抑制氮氧化物形成的源头把控策略,也涵盖燃烧之后通过化学或者物理方式去除已生成氮氧化物的末端治理举措。技术实践层面,不同的控制方法鉴于其作用原理的差异,展现出极为显著的不同技术经济特性,包含脱硝效率、系统复杂性、投资成本、运行维护条件以及对电厂原有生产工艺的影响程度等方面。为应对愈发严苛的环保排放标准和多样化的运营需求,燃气电厂在选定氮氧化物控制技术时面临复杂决策困境。技术抉择不但要考量单一的排放控制成效,还要全面评定全生命周期成本、系统兼容性、运行稳定性、维护便利性等多种要素,这种技术抉择的复杂性在相当程度上源自不同控制技术在原理上的根本差异以及燃气电厂运营条件的多样性。因此,全面系统地对比各类主流氮氧化物控制技术的特性,对于指引燃气电厂依据自身实际情形选定最恰当的污染控制策略有着重要现实意义。

1 燃气电厂氮氧化物排放关键控制技术分类

1.1 低氮燃料预处理

低氮燃料预处理技术借助改变燃料的化学构成或物理特性,从起始点削减燃烧过程中氮氧化物的生成概率,该技术主要借助燃料改性(如去除燃料中的含氮杂质)或燃料替换(如掺混低氮成分)达成,其核心原理是降低燃料中氮元素

的含量或转变其存在形式,从而抑制热力型氮氧化物的初始生成。该技术的特性是不改动现有的燃烧系统结构,不会直接影响锅炉运行参数,但受燃料来源和性质的限制比较大,一般作为辅助办法与其他控制技术协同使用^[1]。

1.2 低氮燃烧技术

低氮燃烧技术借助对燃烧过程关键参数(如温度分布、氧浓度、燃料停留时间)的优化抑制热力型氮氧化物的产生,主要涵盖分级燃烧、烟气再循环和贫燃预混燃烧等方式,该技术原理是借助调整燃烧器的设计或者操作模式,调低火焰区域的峰值温度、缩减燃料在高温区域的停留时长或降低局部氧气过量程度,进而减慢氮氧化物的化学反应速度。该技术的特性为无需额外的后处理设备,直接于燃烧阶段达成氮氧化物管控,对锅炉原有构造的改动相对不大,但会受到燃烧稳定性与效率的约束,适合用于对现有系统改造约束较多的情形^[2]。

1.3 选择性催化还原技术

选择性催化还原(SCR)技术借助还原剂(如氨或者尿素)在催化剂的功效下,有选择性地与烟气中的氮氧化物(主要是NO和NO₂)产生化学反应,把它们转变为无害的氮气和水,该技术要点在于特定温度范围(通常280-400℃)内,催化剂明显增强还原剂与氮氧化物的反应速率,同时杜绝还原剂与烟气中氧气过度进行反应,该技术特性为脱硝效率佳,可以把排放浓度管控在极低水准,但主要依赖催化剂的活性与寿命,需定期替换与保养,系统较为复杂,而且有氨逃逸的

可能性,适用于对排放标准要求严格的场合^[3]。

1.4 选择性非催化还原技术

选择性非催化还原(SNCR)技术是在不存在催化剂的情形下,向高温烟气区域,令其与氮氧化物进行化学反应生成氮气和水的技术。该技术原理凭借高温环境下的热驱动反应,不需要催化剂介入,反应主要在炉膛或烟道特定温度范围内完成,该技术的特性为不存在催化剂相关的成本与维护方面的需求,系统的构造简易,投入与运营成本相对不高,但脱硝效率受到温度窗口的严格约束,温度偏离最佳范围会造成反应效率明显下降或者氨逃逸增加,一般只能实现中等减排程度,适用于对投资敏感或者排放要求相对宽松的情形。

2 燃气电厂氮氧化物排放控制技术的对比分析

2.1 燃气电厂概况

以某典型的9F级燃气-蒸汽联合循环电厂作为例子,该电厂装机规模为 $4\times 390\text{MW}$,采用GE9FA重型燃气轮机、余热锅炉与蒸汽轮机联合起来的循环配置,设计每年利用时长约5500小时,一年的天然气消耗量约为12亿立方米。机组采用西气东输管道的天然气作为燃料,燃料低位发热值是 $36\text{MJ}/\text{m}^3$,氮的含量低于0.1%,燃烧时的温度为 $1300\sim 1500^\circ\text{C}$,容易产生大量热力型氮氧化物,在 NO_x 总生成量中所占比例高于95%,单台机组达满负荷状态时,烟气量为180万 Nm^3/h ,氮氧化物原本排放浓度在 $450\sim 600\text{mg}/\text{m}^3$ 区间,换算到氧含量15%工况下浓度为 $350\sim 450\text{mg}/\text{m}^3$,不符合当地常规限值 $50\text{mg}/\text{m}^3$ 要求。电厂现存机组已运行了8~10年,最初设计运用低氮燃烧技术管控排放,近几年随着环保要求提高陆续增设后处理设施,机组负荷变动区间为50%~100%,不同负荷下燃烧特征与 NO_x 生成规则差异明显。

2.2 技术对比方案

依照该厂实际情形,对照1低氮燃料预处理、2低氮燃烧技术、3选择性催化还原技术、4选择性非催化还原技术四类主流方法。评估维度囊括控制效果与经济性,其中控制成效包含排放浓度水平、对燃烧效率与系统运行的作用;后者包含初始投资成本、运行维护成本、综合成本效益。

数据源自电厂运行记录、设备技术手册,控制效果评估依据该厂具体工况:每小时的烟气量为180万 Nm^3 、起始 NO_x

浓度 $450\sim 600\text{mg}/\text{m}^3$ (无控制状态下 $800\sim 1000\text{mg}/\text{m}^3$)、燃气轮机出口处温度 650°C 、余热锅炉的温度区间 $500\sim 150^\circ\text{C}$;经济性评估统一换算到单台390MW机组进行估算,多方面对比构建技术特性数据库,为同类机组供给参考依据^[4]。

2.3 控制效果分析

该厂工况中四类技术的排放效果的差别明显。

1、低氮燃料预处理依靠燃料改性抑制 NO_x 的产生,但因为天然气本身氮的含量极低,对原始排放浓度的降低程度极为有限,单独采用难以达成排放要求。

2、低氮燃烧技术借助分级燃烧把排放从无控制状态下的 $800\sim 1000\text{mg}/\text{m}^3$ 降到 $450\sim 600\text{mg}/\text{m}^3$,脱除比率30%~40%,优化燃烧器之后可以提升到45%~60%,对应的排放为 $250\sim 350\text{mg}/\text{m}^3$,控制效果和起始状态基本相同。

3、选择性催化还原技术在余热锅炉第三烟道安置催化剂,去除效率稳固在85%~92%,能把排放从 $450\text{mg}/\text{m}^3$ 降到 $35\sim 50\text{mg}/\text{m}^3$,负荷稳定情况下最高可至94%,排放浓度是 $28\text{mg}/\text{m}^3$ 。

4 选择性非催化还原技术于高温区间喷射尿素,去除效率40%~55%,能把排放减至 $200\sim 300\text{mg}/\text{m}^3$,然而低负荷情况下效率降低至30%~40%,排放浓度回升到 $300\sim 400\text{mg}/\text{m}^3$ 。四类技术的排放控制效果排列顺序为 $3>4>2>1$ 。

2.3.3 对燃烧效率与系统运行的影响

四类技术对燃烧效率和系统运行的影响各不相同。1、低氮燃料预处理不会改变燃烧进程,对锅炉运行数据与功效影响最小化,大体维持原有热力特性、2、低氮燃烧技术依靠调整燃烧条件抑制 NO_x 生成,会造成锅炉热效率略微下滑1%~3%,低负荷时有可能影响到燃烧稳定性,要精准把控。3、选择性催化还原技术对燃烧过程无影响,但反应器设置会加大系统压降,造成引风机电耗提高,催化剂需要定期保养,4、选择性非催化还原技术对燃烧效率不存在直接影响,但高温区域还原剂喷射或许引发局部温度场波动,还原剂系统可靠性关乎连续运转。

2.4 经济性分析

2.4.1 初始投资成本

四类技术起始投资成本存在差别。1、低氮燃料预处理针

对常规天然气基本无需专门投入资金,倘若考虑燃料细微改性,费用可忽略不计。2 低氮燃烧技术实施升级改造(像更换先进燃烧器),单台机组投入资金280~350万元,大致折合720~900元/kW,主要开销在燃烧器替换与控制系统更新。3、选择性非催化还原技术改造项目(涵盖尿素系统与喷射装置)单台机组投入800~1200万元,大致相当于2000~3000元/kW,4、选择性催化还原技术所需投资为最高,单台机组的总体投资为6800~8500万元,大致折合为17000~22000元/kW,在机组总投资中占比17%~22%,主要开支在催化剂、反应器与控制系统。

2.4.2 运行维护成本

四类技术运维成本存在差别。1、低氮燃料预处理大体上无额外花销,仅要进行常规燃料品质管控。2 低氮燃烧技术运行维护所需成本不高,每年额外成本大概为机组运营费用的1%~3%,主要支出在燃烧系统部件维护。3、选择性非催化还原技术每年的运行维护成本大约为机组运营费用的2.5%~4%,主要支出在尿素采购与喷射系统维修,4、选择性催化还原技术运行维护费用最贵,每年额外开销约为机组运营费用的4%~6.5%,涵盖催化剂替换、反应器保养与电耗增多,其中催化剂更换的成本占比相对较大。

2.4.3 综合成本效益评估

综合成本效益分析表明四类技术单位NO_x减排成本差别明显。1、低氮燃料预处理单位减排成本最低只是减排效果极小,排放浓度依旧远高于标准,2、低氮燃烧技术单位成本大概是90~150元每千克NO_x,能达到45%~60%的脱除效率,然而无法符合超低排放要求。3、选择性非催化还原技术每单位减排成本为280~450元/每千克NO_x,削减效果欠佳且受负荷作用明显。4、选择性催化还原技术减排单位成本为每千克NO_x160~240元,能够实现85%~92%的脱除成效,排放浓度12~25mg/m³,长时间运行成本在经济上是可行的。

2.5 技术选择分析

实际运作经验证实,燃气电厂氮氧化物控制技术的挑选需依据排放标准、运行特性、经济预算和长期规划全面考量,对于排放要求严苛、运作平稳的大型电厂,4 选择性催化还原技术虽初始投入高,然而脱硝效能出众、排放含量低且长

远成本效益显著,是最佳之选。针对排放标准宽泛、预算不充裕的电厂或者短期过渡方面的需求,3 选择性非催化还原技术鉴于初始投资不多、系统简便更具吸引力,但要接受有限的减排成果。1 低氮燃料预处理与2 低氮燃烧技术作为基础管控手段,单独采用难以符合现代排放标准,然而可作为辅助技术减少后处理压力。比较分析显示,不存在绝对最理想的技术,只有最贴合特定状况的技术方案,决策人应当依据机组实际参数(如烟气量、温度分布、负荷特性)、环保指标(排放标准与时间节点)、经济实力(投资预算与运营成本承受力)和长期谋划(机组退役时间、技术升级路径)开展个性化抉择,借助多技术协作或分阶段推进达成环保与经济的最优平衡。

结束语:

燃气电厂氮氧化物排放控制技术的精准挑选与恰当运用能够切实兼顾环境保护需求与企业运营开销,促成生态效益与经济效益的同步发展,本文对燃气电厂氮氧化物排放控制领域的主要技术路径开展系统性解析后,拿出基于技术原理分类、效果评估与经济性分析的多维度对比方法等办法,可为相关决策人员提供全面的技术特性认识与实践参考凭据,相关人士要持续留意技术创新动态与环保标准变化趋势,以促进燃气电厂氮氧化物排放控制技术往更高效、更经济、更环保的方向迈进,实现电力生产与生态环境的协调共进。

[参考文献]

- [1]潘鑫鑫,张广科,秦鑫,强妙芸.煤粉锅炉氮氧化物生成机理及超低排放控制技术[J].石油和化工设备,2025,28(02):125-128.
- [2]徐思林,陈祖云,钟芳权.燃煤电厂氮氧化物排放控制综述[J].硫酸工业,2024,(06):7-11+15.
- [3]周永飞.燃煤电厂中的氮氧化物排放控制技术分析[J].集成电路应用,2023,40(02):204-205.
- [4]李庭.钢铁企业燃气电厂氮氧化物治理对策[J].山西建筑,2021,47(24):119-121+126.

作者简介:杨凯迪(1999.07—),女,汉族,山东邹城人,本科,助理工程师,研究方向:燃气电厂化学环保。