

200MW发电机组锅炉氮氧化物治理技术改造研究

张艳文 刘志华 冯泽奇 李晓辉 王 瑀 韩鹏程
呼和浩特热电厂 内蒙古呼和浩特 010010

摘要: 本文围绕200MW发电机组锅炉氮氧化物治理技术改造展开研究。首先阐述了氮氧化物的生成机理,分析了200MW发电机组锅炉氮氧化物的排放现状及危害。接着从技术选型、设备改造、运维管理和安全保障四个方面详细探讨了治理技术改造的要点。研究旨在为200MW发电机组锅炉氮氧化物的有效治理提供理论依据和实践指导,以降低氮氧化物排放,减少对环境和人体健康的危害,同时提高发电企业的环保水平和经济效益。

关键词: 200MW发电机组; 锅炉; 氮氧化物; 治理技术改造

引言

锅炉技术规范是保障发电机组稳定运行与高效减排的基础。丰泰200MW锅炉采用哈尔滨锅炉厂生产的HG670/13.7-YM13型锅炉,呈特定型布置。该锅炉为固态排渣煤粉炉,配备刮板式捞渣机,采用四角切圆燃烧方式,并配有五台MPS-170型中速磨煤机。2014年,该锅炉进行了重要改造,增加了脱硝系统,并将原有燃烧器改为低氮燃烧器。此锅炉与C145/N200-12.7/535/535型超高压一次中间再热单轴、三缸、两排汽、抽汽、凝汽式汽轮机,以及QFSN-200-2x型发电机配套,组成单元制机组。随着环保要求的日益严格,氮氧化物排放控制成为电力行业面临的重要挑战。氮氧化物不仅会导致酸雨、温室效应等环境问题,还会对人体健康造成严重危害。因此,对200MW发电机组锅炉进行氮氧化物治理技术改造具有重要的现实意义。本研究旨在深入探讨该机组锅炉氮氧化物的生成机理、排放现状及危害,并提出切实可行的治理技术改造要点,为同类型机组的氮氧化物治理提供参考。

一、氮氧化物的生成机理

氮氧化物的生成主要有热力型、快速型和燃料型三种途径。热力型氮氧化物是在高温下,空气中的氮被氧化产生,其生成过程是不分支连锁反应,可用捷里多维奇(Zeldovich)反应式表示,如 $O_2+N \rightarrow 2O+N$ 、 $O+N_2 \rightarrow NO+N$ 、 $N+O_2 \rightarrow NO+O$,高温下总反应为 $N_2+O_2 \rightarrow 2NO$ 、 $2NO+O_2 \rightarrow NO_2$ 。当温度低于1500℃

时,NO生成量少,而温度超过1500℃后,温度每增加100℃,反应速率增大6-7倍。

快速型氮氧化物是由于燃料挥发物中碳氢化合物高温分解生成的CH自由基和空气中氮气反应生成HCN和N,再与氧气快速反应生成,形成时间仅需60ms,生成量与炉膛压力0.5次方成正比,和温度关系不大。

燃料型氮氧化物由燃料中氮化合物在燃烧中氧化而成,燃料中氮热分解温度低于煤粉燃烧温度,在600-800℃就会生成,在煤粉燃烧 NO_x 产物中占60-80%。生成时,含氮有机化合物热裂解产生N、CN、HCN等中间产物基团,再氧化成 NO_x 。在氮氧化物中,NO占90%以上,二氧化氮占5%-10%。

二、200MW发电机组锅炉氮氧化物排放现状及危害

(一) 氮氧化物的排放现状

近年来,中国氮氧化物排放总量呈下降趋势,2020年排放量为104.5万吨,比2015年减少了近12%,不过与发达国家相比,排放强度仍较高,单位国内生产总值能耗为世界平均水平的2倍,人均排放量超过世界平均水平的40%。中国氮氧化物排放主要来源于能源生产、工业过程和交通行业,三者贡献90%以上的排放总量,其中燃煤是最大的排放源,占总排放量的60%以上,钢铁、有色金属、化工等重工业领域排放量也较高。从地区来看,东部沿海地区和经济发达城市排放量普遍较高。在工业烟气方面,排放主要来源于钢铁、建材和冶金行业;柴油机排放则主要来源于柴油车、非道路移动机械与船舶。为降低氮氧化物排放,中国政府采取了一系列政策措施,如实施严格的环保法规和标准,加强对企业的监管力度,推广清洁能源和环保技术,实施差别化的环保税收政策,设立专项资金支持减排技术研发和应用等,这些政策有效地推动了减排工作。

作者简介: 张艳文(1994.12—),男,汉族,内蒙古呼和浩特人,内蒙古科技大学能源与动力工程专业本科学历,助理工程师,现就职于呼和浩特热电厂,研究方向为热动专业。

（二）氮氧化物的危害

氮氧化物（主要有一氧化氮NO、二氧化氮NO₂等）危害广泛，既影响环境，又损害人体健康。从环境的角度看，氮氧化物是导致大气污染的关键因素之一，并可能触发各种严重的大气污染事件。经过一系列复杂的光化学反应，它们与水、氧气等相互作用，二氧化氮与水反应生成硝酸和亚硝酸，这些酸性物质随降水落到地面形成酸雨，导致土壤酸化、水体酸化以及生态系统失衡。氮氧化物不仅是光化学烟雾的主要成分之一，而且在阳光的照射下会生成有毒的臭氧。当这些臭氧与其他污染物发生相互作用时，会形成雾霾和光化学烟雾，这对城市的空气质量产生了严重的负面影响。此外，二氧化氮作为温室气体之一，能够吸收地球辐射，对全球气候产生影响，还会破坏植物的叶片和根部，影响植物生长发育，干扰动物生态系统，如海洋生物的生长和繁殖。

从人体健康的角度来看，氮氧化物能刺激呼吸道而诱发哮喘和支气管炎，浓度过高时甚至可能引起肺水肿。当该物质进入人体，它会与血液中的血色素发生结合，导致身体出现中枢神经麻痹的症状，这不仅会对心脏等关键器官造成不同程度的损害，还可能对肺部功能产生不良影响，这会引发一系列的呼吸系统问题，当浓度较高时，可能会对眼睛、鼻子和喉咙造成刺激，导致呼吸急促、气喘、咳嗽、头痛等症状，严重的情况下可能会患上肺气肿、支气管炎等。

三、200MW发电机组锅炉氮氧化物治理技术改造要点

（一）技术选型要点

选用200MW发电机组锅炉氮氧化物处理技术时需考虑的因素较多，这样才能保证选用的技术不仅能够有效地减少氮氧化物的排放量，而且能够达到经济性、安全性以及环保性的要求。现阶段，氮氧化物的常见治理方法包括选择性催化还原法（SCR）、选择性非催化还原法（SNCR）以及低氮燃烧技术等。

SCR技术是在催化剂的作用下，利用还原剂（如氨）将氮氧化物还原为氮气和水。这项技术拥有高效的脱硝能力和稳定的运行特性，其脱硝效果通常可以达到80%~90%或更高。但SCR技术投资成本及运行成本都比较高，所需催化剂价格昂贵，而且催化剂使用寿命受到限制，需经常更换。另外，SCR技术对操作环境有着严格的要求，例如反应的温度通常落在300~420℃的范围内，过高或过低的温度都可能对脱硝效果产生不良影响。

SNCR技术就是在温度较高时不用催化剂而直接向炉内喷射还原剂使氮氧化物还原成氮气与水的技术。这

项技术所需的资金投入相对较少，无需配置高价的催化剂反应器，但其脱硝的效果并不理想，通常在30%~50%的范围内。SNCR技术对于反应温度窗口有很高的要求，喷入位置及喷入量需准确控制，否则将造成脱氮效果不理想，也有可能增加氨逃逸及其他二次污染物排放量。

低氮燃烧技术通过对燃烧器结构及燃烧方式进行改进来减少燃烧时氮氧化物产生。该项技术投资成本低、运行成本比较小，燃烧过程经过优化后，氮氧化物排放可得到一定降低。然而，低氮燃烧技术在脱硝方面的效率相对较低，通常仅在20%~40%的范围内，单独应用可能不能达到严格的环境保护标准。

选用治理技术时应结合机组实际综合评价。当机组排放的氮氧化物浓度相对较高，同时对脱硝的效率有较高的要求，并且企业的资金状况相对宽裕，能够承受更高的投资和运营成本时，SCR技术是一个值得考虑的选择；对于氮氧化物排放浓度相对较低且对投资成本敏感的机组，可以选择使用SNCR技术或低氮燃烧技术，或者将低氮燃烧技术与SNCR技术或SCR技术结合，以实现更好的治理效果。

（二）设备改造要点

在200MW发电机组锅炉氮氧化物治理技术改造中，设备改造被视为关键步骤，这主要涵盖了燃烧器的改进、脱硝设备的安装以及其他相关设备的配套升级等多个方面。燃烧器的改造是减少氮氧化物产生的关键步骤之一。利用低氮燃烧技术对燃烧器结构及燃烧方式进行优化可降低热力型及燃料型NO_x产生量。如利用分级燃烧技术把燃料与空气分级送进炉膛内，使得燃烧过程分步骤进行以达到降低火焰温度和热力型NO_x生成量的目的；利用浓淡燃烧技术将燃料划分为浓相与淡相并分别送至炉膛内，使得浓相燃料处于富油状态而淡相燃料处于贫油状态，以减少燃料型NO_x产生。另外，燃烧器喷嘴结构及配风方式也可得到优化，以改善燃烧均匀性与稳定性，并进一步减少氮氧化物排放量。

若选用使用SCR或者SNCR技术脱硝，则需设置相关脱硝设备。对SCR技术而言，需设置催化剂反应器，氨喷射系统以及还原剂储存与供应系统。催化剂反应器作为SCR系统中的关键部件，其表现直接决定了脱硝的效果。选用催化剂时应综合考虑其活性、选择性和耐磨性性能指标。氨喷射系统的主要功能是确保还原剂与氮氧化物在烟气中得到均匀混合，因此，对喷入量和位置的精确控制变得尤为关键。还原剂贮存与供应系统应保证还原剂安全贮存、稳定供应，以免出现泄漏及其他安全事故。

对SNCR技术而言，需加装还原剂喷射系统和其他

装置。还原剂喷射系统应能把还原剂精确喷射到炉内适当部位，确保高温下能和氮氧化物完全反应。同时应重视喷射系统喷嘴设计与布局以保证还原剂喷射均匀。

除燃烧器、脱硝设备改造以外，其他有关设备也可能需配套改造。比如为确保脱氮系统正常工作，空气预热器可能会被改造以提高换热效率和降低排烟温度来达到SCR技术所规定的反应温度；改造引风机，加大其风量及压头来克服因加装脱硝设备而造成阻力加大。

（三）运维管理要点

为了确保200MW发电机组锅炉氮氧化物治理设备能够正常工作并高效地进行脱硝，运维管理显得尤为关键，这主要涉及到运行参数的优化、设备的日常维护和保养，以及人员的专业培训等多个方面。

运行参数优化对提高脱硝效率，降低运行成本具有重要意义。机组运行时，应根据锅炉负荷、燃料品质和脱硝设备运行状态对运行参数进行合理整定。如对SCR系统应控制反应的温度和氨氮比。反应温度过高会造成催化剂烧结和活性下降；反应温度过低，影响脱氮效率。氨氮比即还原剂氨和氮氧化物摩尔比，适当的氨氮比能够在降低氨逃逸的前提下保证脱硝效率。对SNCR系统应准确地控制还原剂喷射量及喷射位置、炉内温度分布及其他参数来改善脱氮效果。

设备维护保养，是确保治理设备能够长时间稳定工作的根本。必须建立健全设备维护保养体系，定期检查、清洗、调试、修理设备。对SCR设备应定期对催化剂进行活性检查并及时替换失活催化剂；检查并清洁氨喷射系统以确保氨喷射均匀；检查还原剂的贮存及供应系统，以保证装置不漏气、不堵塞。对SNCR设备应定期对还原剂喷射系统喷嘴进行检查，以确保还原剂喷射正常。同时，要对其他相关设备进行定期的维护保养，如对燃烧器进行清洁和调试，对空气预热器进行吹灰等。

人员培训对提升运维管理水平具有重要意义。加强运行人员培训，增强其操作技能及环保意识。运行人员应熟悉治理设备工作原理、操作方法及维护要点，能正确地对设备进行操作，并及时地处理设备在运行中遇到的各种问题。同时加强运行人员环保教育，让运行人员了解氮氧化物控制的意义，自觉执行环保规定并积极参加氮氧化物控制。

（四）安全保障要点

200MW发电机组锅炉氮氧化物的处理涉及到危险化学品的使用，安全保障非常重要。重大危险源和有严重职业病危害场所必须设立明显标志并注明风险内容、危险程度和安全距离以及防控办法和应急措施；对存在重

大事故隐患、危险较大的地方及其设施设备，还应当设立标识，注明治理责任、时限和应急措施等内容。

处理用液氨易燃、易爆、有毒，贮存、供应区域应设置防火防爆隔离设施、消防器材，电气设备为防爆型，禁止烟火，定期巡检。执行操作的人员必须装备如防毒面具、防护手套等必要的防护装备，在进行设备检修之前，应先进行通风置换，并同时安装氨泄漏的报警系统。

如发生爆炸，应迅速将易燃物品或物质隔离，以防发生火灾及二次爆炸。发生火灾时，应当清除路障、劝退行人疏散现场、创造迎送消防和派出所工作人员的良好条件。对事故现场实施防护，严禁无关人员入内，并主动协助事故原因的勘查。要搞好后勤保障工作，承担应急物资供应、交通车辆调配等工作；在医疗救护中，应当与医疗机构取得联系，安排救护车辆和医疗人员、设备到达指定场所。

结论

200MW发电机组锅炉氮氧化物的控制是一项复杂而又必须完成的任务。对氮氧化物的生成机理、排放现状和危害有一个深刻的认识，从而对治理有一个基本的认识。技术选型需要考虑机组的实际情况，经济、安全及环保等方面的因素并合理匹配不同的治理技术。设备改造应重点关注燃烧器、脱硝设备以及相关配套设备等方面的优化。运维管理离不开运行参数的优化、设备的维护保养以及人员的培训。在安全保障方面，防火防爆、防中毒、应急预案的制定等工作一定要落到实处。采取这些综合措施可以有效地减少氮氧化物的排放，达到经济效益和环境效益的共赢，促进发电行业的持续发展。

参考文献

- [1] 赵世刚, 王娟, 刘晓云. 链条锅炉低氮燃烧改造技术及应用效果研究[J]. 山西化工, 2024, 44(3): 132-133.
- [2] 赵连青, 张翠苹. “低氮燃烧器+FGR”技术在58MW燃气热水锅炉上的应用分析[J]. 中国科技期刊数据库工业A, 2023(4): 6.
- [3] 姚跃辉, 黄震, 成庙生. 基于FGR的低氮燃烧器NO_x生成的影响因素研究[J]. 电站系统工程, 2024, 40(5): 67-69.
- [4] 马龙瑞. 600MW机组对冲燃烧锅炉低氮燃烧改造及运行调整[C]//全国绿色数智电力设备技术创新成果展示会论文集(六). 2024.
- [5] 刘青. 浅谈燃气锅炉低氮改造的措施[J]. 中国科技期刊数据库工业A, 2023.