

降低锅炉烟气氮氧化物排放浓度研究

吴小刚

内蒙古丰电能源发电有限责任公司 内蒙 乌兰察布 012100

摘要: 随着工业发展, 锅炉烟气中氮氧化物排放对环境造成严重危害, 相关排放标准日益严格。本文围绕降低锅炉烟气氮氧化物排放浓度展开论述, 先是剖析了热力型、快速型、燃料型氮氧化物的形成机理, 随后详细介绍了燃烧前、燃烧过程及燃烧后控制技术, 涵盖燃料选择预处理、低氮燃烧器、烟气再循环以及SCR、SNCR等多种具体技术手段, 还探讨了如新型催化剂研发等技术发展趋势, 旨在为有效降低氮氧化物排放提供参考。

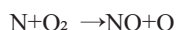
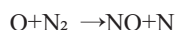
关键词: 降低锅炉; 烟气氮氧化物; 排放浓度

引言: 在当今工业化进程中, 锅炉作为关键的热能设备被广泛应用, 但燃烧产生的氮氧化物排放问题严峻。氮氧化物会引发酸雨、光化学烟雾等诸多环境问题, 还威胁人体健康, 已成为大气污染治理重点。鉴于此, 各国不断收紧相关排放标准, 促使各行业积极探索降低锅炉烟气氮氧化物排放浓度的有效方法。将深入分析其形成机理、现有控制技术及未来发展趋势, 助力相关实践与研究。

1 锅炉烟气中氮氧化物的形成机理

1.1 热力型NO_x

热力型NO_x是空气中的氮气(N₂)在高温条件下与氧气(O₂)发生反应而生成的。其生成速度与燃烧温度密切相关, 一般来说, 当燃烧温度超过1500℃时, 热力型NO_x的生成量会急剧增加。该反应遵循捷里多维奇(Zeldovich)机理, 主要反应方程式如下:



在实际的锅炉燃烧过程中, 炉膛内的高温区域容易产生热力型NO_x, 尤其是那些燃烧强度大、火焰温度高的燃烧工况下, 热力型NO_x的生成成为氮氧化物排放的重要组成部分。

1.2 快速型NO_x

快速型NO_x是由燃料中的碳氢化合物(CH_x)在燃料浓度较高的区域, 与空气中的氮气(N₂)发生反应生成的。其生成过程较为迅速, 反应主要依赖于燃烧过程中的瞬时局部条件, 如燃料与空气的混合状态等。该反应涉及到一系列复杂的自由基反应, 通常在富燃料火焰面附近容易产生, 其生成量相对热力型NO_x来说在某些情况下占比较小, 但在特定的燃烧工艺和燃料类型下也不容忽视。

1.3 燃料型NO_x

燃料型NO_x源于燃料中含氮化合物在燃烧过程中的转化。例如, 煤炭、重油等燃料本身含有一定量的有机氮和无机氮成分, 在燃烧时, 这些含氮化合物首先热分解生成中间产物, 随后进一步氧化生成NO_x。燃料型NO_x的生成量与燃料中的氮含量、燃烧条件(如空气供给量、燃烧温度、停留时间等)密切相关, 在多数以含氮燃料为主的锅炉燃烧中, 燃料型NO_x往往是氮氧化物排放的主要来源^[1]。

2 降低锅炉烟气氮氧化物排放浓度的技术方法

2.1 燃烧前控制技术

2.1.1 燃料的选择与预处理

燃料的选择与预处理是从源头把控氮氧化物生成的重要手段。在燃料选择方面, 优先选用含氮量低的优质燃料能显著降低氮氧化物排放。例如, 天然气相较于煤炭, 基本不含氮元素, 以其作为锅炉燃料在燃烧时几乎不会产生燃料型NO_x, 极大减少了氮氧化物的源头产生量。对于固体燃料如煤炭, 预处理也至关重要。可通过洗选等物理或化学方法, 去除其中部分含氮化合物, 降低其含氮量。像一些煤矿产出的高硫高氮煤, 经过洗选工艺后, 能有效筛除夹杂在其中的含氮杂质, 使燃料在后续燃烧时生成的氮氧化物随之减少。

2.1.2 优化燃料配比

优化燃料配比是一种灵活且有效的燃烧前控制技术。不同燃料在含氮量、挥发分、发热量等诸多特性上存在差异, 通过合理调配这些燃料, 能优化整体燃烧效果, 减少氮氧化物生成。例如, 在热电厂中, 常常会将高挥发分、高含氮量的煤与低挥发分、低含氮量的煤按一定比例混合使用。高挥发分燃料在燃烧初期能快速释放热量, 带动燃烧反应进行, 而低含氮量燃料则可在一定程度上稀释整体燃料的含氮浓度, 抑制燃料型NO_x的大量生成。

2.2 燃烧过程控制技术

2.2.1 低氮燃烧器技术

低氮燃烧器技术旨在通过改进燃烧器的结构与工作方式来降低氮氧化物生成。传统燃烧器在燃烧时易因不合理的燃料与空气混合等情况导致氮氧化物大量产生,而低氮燃烧器对此进行了优化。比如,一些新型低氮燃烧器通过特殊的气流组织设计,使燃料和空气能以更科学的方式混合,调节二者的接触程度和混合速度,避免局部高温富氧区域的出现,从而抑制热力型和燃料型NO_x的生成。并且,部分低氮燃烧器能够精准控制燃烧区域的温度分布,让燃烧过程维持在相对较低氮氧化物生成的状态下,在保障燃料充分燃烧、锅炉热效率不受较大影响的同时,实现对锅炉烟气中氮氧化物排放浓度的有效降低,应用于诸多工业锅炉和电站锅炉中效果显著。

2.2.2 空气分级燃烧技术

空气分级燃烧技术的核心在于将燃烧所需空气分阶段送入炉膛。在主燃烧区,减少一次风供给量,营造富燃料的燃烧环境,这样能降低该区域的氧浓度,使燃料燃烧速度放缓,抑制燃料型NO_x和热力型NO_x的生成。随后,在燃尽区再补充二次风,确保未完全燃烧的燃料可以充分燃烧。例如在工业锅炉改造中,采用空气分级燃烧技术后,燃烧区域的温度和氧浓度分布更合理,NO_x排放浓度往往可降低30%-50%左右,既达到了减少氮氧化物排放的目的,又能维持锅炉稳定运行,提高能源利用效率,因而在众多领域的锅炉应用中有着广泛的实践基础^[2]。

2.2.3 燃料分级燃烧技术

燃料分级燃烧技术也叫再燃技术,它是把一部分燃料作为再燃燃料,在主燃烧区下游的再燃区喷入炉膛。在主燃烧区生成的NO_x进入再燃区后,由于再燃区形成了还原性气氛,利用再燃燃料挥发分高、含氮量低的特点,如天然气、生物质等常被选作再燃燃料,使NO_x在此区域被还原成N₂。这种技术对降低氮氧化物排放效果显著,合理运用时可使NO_x排放浓度降低50%-70%。例如在一些大型电站锅炉中采用燃料分级燃烧技术后,大幅减少了排放到大气中的氮氧化物量,而且还能在一定程度上优化锅炉整体的燃烧性能,提高燃烧效率,是一种兼具环保与节能优势的燃烧过程控制技术。

2.2.4 烟气再循环技术

烟气再循环技术是将一部分锅炉排出的低温烟气重新引入炉膛。通过这种方式,能够降低炉膛内的燃烧温度以及氧浓度,进而抑制热力型和燃料型NO_x的生成。在实际操作中,可以根据锅炉的具体运行状况,合理调

节再循环烟气的流量和引入位置等参数,以此来有效控制氮氧化物的排放浓度。比如在部分小型供热锅炉中应用该技术,适当提高再循环烟气的比例后,能明显看到NO_x排放浓度下降。不过,烟气再循环率过高时,可能会对锅炉的燃烧稳定性和热效率产生一定影响,所以需要精细地进行优化调整,确保在降低氮氧化物排放的同时,维持锅炉正常稳定的运行状态。

2.3 燃烧后控制技术(烟气脱硝技术)

2.3.1 选择性催化还原法(SCR)

选择性催化还原法(SCR)是当下应用极为广泛且成熟的燃烧后烟气脱硝技术。其原理是在催化剂(常见如V₂O₅-WO₃/TiO₂等)作用下,利用还原剂(通常为氨气或尿素溶液)与烟气中的NO_x发生反应,将其还原为无害的N₂和H₂O。SCR系统一般安装在锅炉省煤器和空气预热器之间,此处烟气温度适宜,利于反应高效进行。在实际应用中,只要精准把控催化剂用量、反应温度、还原剂喷射量等关键参数,其脱硝效率可高达80%-90%以上。例如在大型电站锅炉中,采用SCR技术后,能将原本较高的氮氧化物排放浓度大幅降低至达标水平,有效减轻对大气环境的污染,尽管其初始投资成本较高,但凭借出色的脱硝效果,在环保要求严格的场合应用价值显著。

2.3.2 选择性非催化还原法(SNCR)

选择性非催化还原法(SNCR)是在无催化剂参与的情况下开展脱硝工作的技术。它是向炉膛内高温区(一般温度处于850℃-1100℃)喷入还原剂(像尿素、氨水等),使NO_x与还原剂发生化学反应生成N₂和H₂O。该技术优势在于系统相对简单,投资成本较低,不需要复杂的催化剂系统,安装和运维相对便捷。然而,它的脱除效率有限,通常在30%-60%左右,并且对反应温度窗口要求严格,一旦温度控制不当,不仅会影响脱除效果,还可能导致氨逃逸等问题出现。比如在一些小型工业锅炉中,考虑成本因素会选择SNCR技术进行初步的氮氧化物减排尝试,不过后续往往还需结合其他技术进一步提升减排效果。

2.3.3 联合脱硝技术

联合脱硝技术是将不同的脱硝方法结合起来使用,以实现更好的氮氧化物减排效果。比如常见的是将SCR和SNCR技术联合应用,SNCR先在炉膛高温区进行初步的脱硝处理,降低一部分NO_x浓度,然后烟气再进入SCR系统,借助催化剂进一步深度脱除剩余的NO_x。这种联合方式能够充分发挥各自的优势,既利用了SNCR系统相对简单、成本低的特点,又借助SCR的高脱硝效率保障最终的排放达标。例如在一些热电厂的锅炉改造中,采用联

合脱硝技术后,整体的脱硝效率相较于单一技术有了显著提升,能在满足严格排放标准的同时,通过合理配置资源,优化成本投入,是应对复杂工况和高标准减排要求的有效策略。

3 降低锅炉烟气氮氧化物排放浓度技术的发展趋势

3.1 新型催化剂的研发

随着环保要求的持续提升,新型催化剂的研发成为降低锅炉烟气氮氧化物排放浓度技术的重要发展方向。传统的催化剂在使用过程中存在一些局限性,比如适用温度范围较窄、活性容易受烟气中杂质影响、成本较高等问题。新型催化剂致力于突破这些局限,例如研发低温型催化剂,其能够在相对较低的温度条件下依然保持良好的催化活性,这样就可以拓宽SCR等脱硝技术的应用场景,不仅能应用于常规的中高温烟气环境,对于一些低温烟气的处理也能发挥出色的脱硝效果,降低了对反应温度的严苛要求。同时,科研人员也在探索抗中毒能力更强的催化剂,使其可以在含有较多杂质(如硫、碱金属等)的烟气中稳定工作,减少因催化剂失活而频繁更换的情况,降低运行成本^[3]。

3.2 智能化控制技术的融合

智能化控制技术与锅炉烟气氮氧化物减排的融合展现出巨大的发展潜力。在当下,锅炉运行及脱硝过程涉及众多复杂的参数,如燃烧温度、烟气流量、NO_x浓度、还原剂喷射量等,传统的人工控制方式很难做到精准且实时的优化调整。而智能化控制技术借助大数据分析、人工智能算法等手段,可以收集并分析海量的运行数据,建立起精准的数学模型。通过这个模型,能够实时监测锅炉及脱硝系统各个环节的状态,提前预测参数变化趋势,进而自动对燃烧工况、脱硝设备运行参数等进行优化调整。例如,根据实时的NO_x浓度和烟气流量,智能化系统可以精准控制还原剂的喷射量,确保脱硝效率始终维持在较高水平,同时避免因过量喷射导致的氨逃逸问题。并且,智能化控制还能对设备的故障进行预警,辅助运维人员及时处理,保障整个系统稳定可靠运行,极大提高了降低氮氧化物排放浓度工作的效率

和质量,是未来实现高效减排的关键助力。

3.3 可再生能源与锅炉系统的协同

可再生能源与锅炉系统的协同发展是降低锅炉烟气氮氧化物排放浓度的新兴且极具前景的趋势。如今,可再生能源如太阳能、风能、生物质能等的利用日益广泛,将其与锅炉系统有机结合有着诸多优势。以生物质能为例,生物质作为一种可再生的低碳燃料,本身含氮量相对较低,将其与传统化石燃料按一定比例混合后送入锅炉燃烧,既能减少对高氮化石燃料的依赖,从源头上降低燃料型NO_x的生成,又能实现对生物质资源的有效利用,具有良好的环保和资源综合利用效益。另外,太阳能可以通过光热转换技术,为锅炉的预热等环节提供热量,减少常规能源消耗,进而间接降低因燃烧产生的氮氧化物排放量。风能则可用于驱动一些辅助设备,降低整个锅炉系统的能耗,优化能源结构,使锅炉运行过程中的碳排放和氮氧化物排放都能得到有效控制^[4]。

结束语

综上所述,降低锅炉烟气氮氧化物排放浓度对于环境保护和可持续发展意义重大。通过燃烧前的合理燃料选择与配比、燃烧过程中的各类先进控制技术以及燃烧后的有效脱硝技术应用,能显著减少氮氧化物排放。并且,随着新型催化剂研发、智能化控制融合以及可再生能源协同等发展趋势不断推进,未来有望实现更高效、更经济的减排效果。各相关行业需紧跟技术发展步伐,积极应用适宜措施,共同为改善大气环境质量、守护蓝天白云贡献力量。

参考文献

- [1]王腾飞.探究如何降低火电厂氮氧化物排放.产业经济[J].2023.112-116
- [2]苗永生,顾生明.锅炉燃烧调整对氮氧化物排放的影响研究[J].2023.154-156
- [3]孟宪超.锅炉燃烧调整对氮氧化物排放的影响[J].2023.189-199
- [4]张永昇.锅炉燃烧调整对氮氧化物排放的影响[J].产业经济,2021.201-203