

生物质电厂脱硝超低排放工艺研究

陈 强¹ 项聿龙² 周海陆² 高鹏伟²

1.华能肇东生物质能发电有限公司 黑龙江 肇东 151100

2.华能新华发电有限责任公司 黑龙江 大庆 163000

摘 要: 随着环保标准的日益严格,生物质电厂作为清洁能源的重要组成部分,其氮氧化物(NO_x)排放问题日益受到关注。本文旨在探讨生物质电厂脱硝超低排放工艺,通过深入分析氮氧化物的生成机制、现有脱硝技术的优缺点,提出适用于生物质电厂的高效脱硝策略,以实现NO_x的超低排放目标。

关键词: 生物质电厂;脱硝;超低排放;工艺

引言

生物质电厂以生物质燃料为能源,具有资源可再生、环境友好等优点,已成为替代化石燃料的重要方向。然而,生物质燃料在燃烧过程中会产生一定量的NO_x,对环境造成污染。因此,研究生物质电厂脱硝超低排放工艺,对于推动生物质能源的可持续发展具有重要意义。

1 生物质电厂 NO_x 生成机制

1.1 燃料特性分析

生物质燃料种类繁多,包括但不限于农作物秸秆、林木废弃物、畜禽粪便、城市有机废弃物等。这些燃料中的氮含量一般在0.5%~1.5%之间,与煤炭的氮含量相近。在生物质燃料燃烧过程中,氮元素以多种形式存在,包括有机氮、氨氮、硝酸盐氮等。这些氮化合物在燃烧过程中会经历一系列复杂的化学反应,最终生成NO_x。生物质燃料的物理和化学特性对NO_x的生成也有重要影响^[1]。例如,燃料的粒度、水分含量、灰分含量以及挥发分含量等都会影响燃烧过程中的温度和氧气浓度分布,从而影响NO_x的生成量。此外,生物质燃料中的碱金属和碱土金属含量较高,这些金属元素在燃烧过程中可能催化NO_x的生成反应。

1.2 NO_x生成途径

生物质燃烧过程中NO_x的生成主要包括三种类型:热力型NO_x、快速型NO_x和燃料型NO_x。热力型NO_x是在高温下由空气中的氮气氧化生成的。当燃烧区域的温度高于1400℃时,热力型NO_x的生成量会显著增加。这种NO_x的生成量受温度、氧气浓度和反应时间的影响。快速型NO_x是在燃料燃烧初期,由燃料中的碳氢化合物与空气中的氮气快速反应生成的。这种NO_x的生成量相对较少,但在某些燃烧条件下也可能成为重要的NO_x来源。燃料型NO_x是生物质燃料燃烧时最主要的NO_x来源。

它是由燃料中的氮化合物在燃烧过程中氧化生成的。燃料型NO_x的生成量与燃料中的氮含量、燃烧条件(如温度、氧气浓度)以及燃料在燃烧过程中的转化途径密切相关。在生物质燃料燃烧过程中,燃料型NO_x的生成量通常占NO_x总生成量的60%以上。

2 现有脱硝技术分析

2.1 SCR脱硝技术

选择性催化还原法(SCR)是一种在生物质电厂中广泛应用的高效脱硝技术。其核心原理在于,通过特定的催化剂,在相对较低的温度条件下,将烟气中的NO_x选择性地还原为无害的氮气和水。这一过程不仅有效降低了NO_x的排放,还避免了副产品的生成,确保了环境的清洁。SCR技术的优势显而易见。首先,其脱硝效率高,通常能够达到90%以上,这使得它在处理生物质电厂烟气中的NO_x时表现出色。其次,由于该技术不产生副产品,因此不会对环境造成二次污染。再者,SCR系统的运行相对稳定,维护成本较低,这为生物质电厂的长期运营提供了有力保障。然而,针对生物质燃料燃烧特性,SCR技术在实际应用中仍面临一些挑战。首先,生物质燃料燃烧产生的烟气中往往含有较高的碱金属成分,这些碱金属可能会与催化剂发生反应,导致催化剂中毒,从而降低其活性。因此,研发抗碱金属中毒的催化剂成为当前的重要课题。其次,在低温条件下,催化剂的活性可能会受到影响,导致脱硝效率下降。因此,如何提高低温下催化剂的活性也是当前研究的重点。为了解决这些问题,需要不断探索新的催化剂配方和反应条件,以期进一步提升SCR技术在生物质电厂中的应用效果。

2.2 SNCR脱硝技术

选择性非催化还原法(SNCR)作为一种常见的脱硝技术,在生物质电厂中也得到了广泛的应用。其核心原理是,在高温烟气中喷入氨或尿素等还原剂,这些还原

剂会与烟气中的NO_x发生化学反应，从而将其还原为无害的氮气。SNCR技术的优势主要体现在投资成本低和操作简便上。由于该技术不需要使用昂贵的催化剂，因此设备投资相对较低。同时，SNCR技术的操作流程也相对简单，不需要复杂的控制系统，这使得它在生物质电厂中的应用更加便捷。然而，SNCR技术也存在一些不足之处^[2]。首先，其脱硝效率相对较低，通常只能达到60%-70%左右，这在一定程度上限制了其在高效脱硝方面的应用。其次，SNCR技术存在氨逃逸问题。在还原过程中，部分氨可能会与烟气中的其他成分反应不完全，导致氨逃逸现象的发生。这不仅会造成氨的浪费，还可能对环境造成二次污染。针对SNCR技术的不足之处，需要进行不断的改进和优化。例如，通过优化还原剂的喷入方式和喷入量，可以提高脱硝效率并减少氨逃逸现象的发生。同时，也可以考虑将SNCR技术与其他脱硝技术相结合，以形成更高效、更环保的脱硝方案。

2.3 其他脱硝技术

除了SCR和SNCR技术，还有一些其他的脱硝技术在生物质电厂中也具有一定的应用前景。其中，等离子体脱硝和吸附脱硝是两种值得关注的技术。等离子体脱硝技术利用高能电子与烟气中的NO_x分子发生碰撞，使其电离、分解，并最终转化为无害的氮气。这种技术具有反应速度快、脱硝效率高等优点，特别适用于处理高浓度的NO_x烟气。然而，等离子体脱硝技术的设备投资成本较高，且运行维护相对复杂，因此在生物质电厂中的大规模应用尚需进一步的经济性和技术性评估。吸附脱硝技术则是利用吸附剂对烟气中的NO_x进行吸附，从而达到脱硝的目的。这种技术具有操作简单、投资成本相对较低等优点。然而，吸附脱硝技术的脱硝效率受吸附剂种类、烟气温度和湿度等因素的影响较大，且吸附剂需要定期更换或再生，增加了运行成本。因此，在生物质电厂中应用吸附脱硝技术时，需要综合考虑其经济性和脱硝效果。等离子体脱硝和吸附脱硝等技术在生物质电厂中具有一定的应用前景，但它们在大规模应用方面还需要进一步的研究和优化。

3 生物质电厂脱硝超低排放策略

3.1 燃料预处理与低氮燃烧技术

为了实现生物质电厂脱硝的超低排放，对燃料进行预处理并采用低氮燃烧技术是至关重要的策略。在燃料预处理方面，可以通过物理、化学或生物方法降低生物质燃料中的氮含量。例如，采用水洗或酸洗的方式去除燃料表面的可溶性氮化物，或者通过生物发酵过程将部分氮转化为非氮化物形式。这些预处理方法能够有效减

少燃料燃烧时NO_x的生成量。同时，低氮燃烧技术的应用也是减少NO_x生成的关键。分级燃烧是一种有效的低氮燃烧技术，它通过将燃烧过程分为多个阶段，控制每个阶段的氧气浓度和温度，从而抑制NO_x的生成。在第一阶段，燃料在较低的温度和氧气浓度下部分燃烧，生成大量的CO和H₂等还原性气体。在第二阶段，这些还原性气体与剩余的氧气和燃料进一步燃烧，由于此时氧气浓度较低，可以有效减少NO_x的生成^[3]。此外，烟气再循环也是一种常用的低氮燃烧技术。它将部分已经燃烧过的烟气重新引入燃烧区域，与新鲜空气和燃料混合后进行燃烧。由于烟气中含有大量的CO₂、H₂O等惰性气体，它们能够稀释燃烧区域的氧气浓度，从而降低燃烧温度和NO_x的生成速率。

3.2 SCR与SNCR联合脱硝

针对生物质电厂的脱硝需求，采用SCR与SNCR联合脱硝技术是一种高效且实用的策略。这种联合技术结合了SCR的高效脱硝能力和SNCR的投资成本优势，旨在实现生物质电厂的超低排放目标。具体来说，在锅炉尾部烟道设置SCR脱硝装置是这一策略的核心。SCR技术利用催化剂在较低温度下将NO_x还原为氮气和水，具有脱硝效率高、无副产品、运行稳定等优点。在生物质电厂中，通过优化催化剂的选择和布置，可以确保SCR装置的高效运行，从而实现大部分NO_x的脱除。与此同时，在炉膛高温区喷入还原剂进行SNCR脱硝是这一策略的补充。SNCR技术通过向高温烟气中喷入氨或尿素等还原剂，将NO_x还原为氮气。虽然SNCR技术的脱硝效率相对较低，但其投资成本低、操作简便，适合在生物质电厂中大规模应用。通过在高温区喷入还原剂，SNCR技术可以进一步减少烟气中的NO_x含量，从而提高整体的脱硝效率。在实际应用中，SCR与SNCR联合脱硝技术需要根据生物质电厂的具体工况进行优化和调整。例如，可以根据烟气中的NO_x浓度和温度分布，合理确定SCR装置和SNCR喷入点的位置和数量。同时，还需要关注还原剂的种类和喷入量，以确保脱硝效率的最大化和氨逃逸的最小化。

3.3 催化剂优化与反应器设计

针对生物质燃料燃烧产生的烟气特点，优化SCR催化剂配方是提高脱硝效率的关键。由于生物质燃料燃烧产生的烟气中往往含有较高的碱金属成分，这些碱金属可能会与催化剂发生反应，导致催化剂中毒，从而降低其活性。因此，研发具有抗碱金属中毒能力的催化剂配方至关重要。通过改进催化剂的组成和结构，增强其抗碱金属中毒能力，可以确保催化剂在长期使用过程中保

持较高的活性。同时,提高催化剂在低温下的活性也是优化催化剂配方的重要方向。生物质燃料燃烧产生的烟气温度较低,这要求催化剂在低温下仍能保持较高的活性。通过调整催化剂的活性组分和载体材料,优化其孔结构和比表面积,可以提高催化剂在低温下的催化性能,从而确保SCR装置在低温条件下仍能实现高效脱硝。除了优化催化剂配方,对脱硝反应器进行优化设计也是提高脱硝效率的重要手段。反应器设计的关键在于确保烟气在反应器内均匀分布,使烟气与催化剂充分接触,从而提高脱硝效率。为了实现这一目标,需要对反应器的流场进行模拟和优化,合理设计反应器的结构和尺寸,确保烟气在反应器内的流动状态满足脱硝反应的要求^[4]。此外,反应器的材料选择和制造工艺也是优化设计的重要方面。选择耐腐蚀、耐高温的材料,确保反应器在长期运行过程中保持稳定的性能。同时,采用先进的制造工艺,确保反应器的密封性和耐压性,防止烟气泄漏和反应器损坏。通过优化SCR催化剂配方和对脱硝反应器进行优化设计,可以有效提高生物质电厂的脱硝效率,实现超低排放目标。

3.4 智能管理与优化控制

为了实现生物质电厂脱硝过程的高效、精准和稳定控制,引入集成先进算法和数据分析能力的智能管理系统是至关重要的。这一系统不仅能够实时监测烟气中的成分和脱硝效率,还能够基于实时数据对脱硝过程进行动态优化。智能管理系统的核心在于其高精度传感器和先进的数据处理算法。传感器被安装在烟气排放管道的关键位置,实时采集烟气中的NO_x浓度、氧气含量、温度以及湿度等参数。这些数据被即时传输到中央控制室,并通过算法进行深度分析和处理,以准确判断当前的脱硝效率和烟气成分的变化趋势。基于实时数据,智

能管理系统能够自动调整还原剂的喷入量和催化剂的活性,以确保脱硝过程始终保持在最佳状态。例如,当系统检测到烟气中的NO_x浓度升高时,它会立即计算并调整还原剂的喷入量,以确保脱硝效率不受影响。同时,系统还会综合考虑烟气的温度、氧气含量和湿度等因素,对催化剂的活性进行微调,以优化脱硝反应的条件。除了实时监测和调整功能外,智能管理系统还具备强大的预测和诊断能力。通过对历史数据的深度学习和分析,系统能够预测未来的烟气成分变化和脱硝效率趋势,为操作人员提供提前调整的机会。此外,系统还能诊断脱硝过程中的潜在问题,如催化剂的老化、中毒或失效,还原剂供应系统的故障等,并及时发出警报,以便维护人员迅速进行排查和处理。

结语

生物质电厂脱硝超低排放工艺研究是一个复杂而系统的工程。通过深入分析生物质燃料特性和NO_x生成机制,结合现有脱硝技术的优缺点,提出适用于生物质电厂的高效脱硝策略,是实现生物质电厂NO_x超低排放的关键。未来,随着环保标准的不断提高和脱硝技术的不断创新,生物质电厂脱硝超低排放工艺将不断完善和优化,为生物质能源的可持续发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]杨玖林,王思明,谭方良,等.生物质电厂脱硝超低排放工艺研究[J].工程建设与设计,2024,(05):66-68.
- [2]邓涛,周卫国,张鹏,等.生物质电厂脱硝技术方案探讨[J].工业安全与环保,2021,47(09):104-106.
- [3]张瑞,王金玉,闻兴立.生物质电厂烟气脱硝工艺方案比选[J].现代盐化工,2020,47(06):74-75.
- [4]常宇飞.生物质电厂脱硝技术方案[J].节能与环保,2021,(11):55-56.