

大型燃煤锅炉烟气中可凝结颗粒物的排放特征、控制技术的研究与发展

颜炳捷

上海凯米锐环境科技有限公司 上海 201417

摘要: 大型燃煤锅炉作为能源转换的核心,其烟气中可凝结颗粒物(CPM)排放问题日益凸显。CPM成分复杂,对人体健康和环境构成严重威胁。本文综述了CPM的排放特征,包括燃煤种类、燃烧过程及烟气净化工艺的影响,并探讨了三氧化硫脱白、吸附及云除等控制技术的研究进展。特别关注了新型吸附材料和智能化控制系统在CPM控制中的创新应用,旨在为减少大型燃煤锅炉CPM排放提供技术支撑,推动环保与可持续发展。

关键词: 可凝结颗粒物(CPM)排放特征;控制技术;控制技术的研究与发展

引言

大型燃煤锅炉在能源供应中占据主导地位,但其烟气排放中的可凝结颗粒物(CPM)已成为环境污染的重要来源。CPM因其微小粒径和复杂成分,对人体健康和环境造成潜在危害。随着环保标准的日益严格,CPM的排放控制成为研究热点。本文旨在探讨大型燃煤锅炉烟气中CPM的排放特征及其控制技术的研究与发展,以期减少CPM排放、实现环保与可持续发展提供科学依据和技术支持。

1 大型燃煤锅炉烟气中可凝结颗粒物概述

大型燃煤锅炉作为能源转换的核心设备,在工业生产及电力供应中占据主导地位。然而,其燃烧过程中释放的烟气含有多种污染物,其中可凝结颗粒物(CPM)因其复杂的成分及对环境和人体健康的潜在危害,逐渐成为研究热点。CPM是在燃煤锅炉排放的烟气中,以气态形式存在的前体物,在排放后经历大气的稀释和降温作用而迅速凝结形成的固态或液态颗粒。这些颗粒物的粒径微小,通常小于2.5微米,因此能深入肺部,对人体健康构成严重威胁。CPM中富含的重金属、挥发性有机物(VOCs)及多环芳烃(PAHs)等有害成分,加剧了其对环境负面影响。在大型燃煤锅炉的运行过程中,CPM的排放特征受多种因素制约。燃煤的种类与煤质是基础因素,煤中的硫分、灰分及挥发分含量直接影响燃烧过程中产生的气态污染物种类和数量,进而决定CPM的生成量。燃烧过程与锅炉类型同样重要,不同的燃烧方式和锅炉结构会导致烟气成分和温度分布的差异,影响CPM的排放特性。鉴于CPM对环境和人体健康的危害,深入研究其排放特征并开发有效的控制技术显得尤为重要。

2 大型燃煤锅炉烟气中可凝结颗粒物的排放特征

2.1 燃煤种类与煤质

燃煤作为大型燃煤锅炉的燃料,其种类和煤质特性对可凝结颗粒物(CPM)的排放特性有着直接且关键的影响。不同类型的煤,在化学组成和物理性质上存在差异,尤其是硫分、灰分和挥发分含量的不同,致使在燃烧进程中所产生的气态污染物的种类和数量大相径庭。高硫煤中丰富的硫元素,在燃烧过程中会迅速被氧化,生成大量的二氧化硫。一部分二氧化硫在高温条件下,进一步与氧气反应,转化为三氧化硫。这些硫氧化物随着烟气温度的降低,会发生复杂的物理和化学变化,极易凝结形成CPM。煤中的灰分在燃烧过程中会形成各种金属氧化物,这些物质也可能参与到CPM的形成过程中。某些金属氧化物可作为凝结核,促进气态污染物的凝结。煤的挥发分含量同样影响着CPM的排放。挥发分较高的煤在燃烧初期会迅速释放出大量的挥发性气体,这些气体在后续的燃烧和冷却过程中,通过气相反应,形成有机气溶胶,成为CPM的重要组成部分。准确把握燃煤的种类和煤质特性,对于理解和预测CPM的排放情况具有重要意义^[1]。

2.2 燃烧过程与锅炉类型

(1) 燃烧过程的优化与控制对大型燃煤锅炉烟气中CPM的排放具有重要影响。当燃烧不充分时,燃料未能完全氧化,会产生大量的挥发性有机化合物和不完全燃烧产物。这些物质在烟气冷却过程中容易发生凝结和聚合反应,增加CPM的生成量。优化燃烧过程,确保燃料的充分燃烧,是减少CPM排放的关键措施。(2) 不同类型的锅炉在CPM排放特性上表现出明显的差异。循环流化床锅炉以其独特的燃烧方式和高效的脱硫能力,在CPM排放控制方面展现出显著优势。在循环流化床锅炉中,燃料与脱硫剂在流化状态下充分混合,实现了高效

的脱硫反应,有效减少了二氧化硫的排放,进而降低了硫酸盐类CPM的生成。其低温燃烧环境有助于抑制氮氧化物的生成,减少了硝酸盐类CPM的产生。(3)相比传统的煤粉炉,循环流化床锅炉在CPM排放控制方面表现更佳。传统的煤粉炉由于燃烧温度较高,且脱硫和脱硝效率相对较低,其CPM排放水平通常较高。在燃煤锅炉的选择与运行过程中,应充分考虑锅炉类型及其燃烧特性,以优化CPM排放控制策略^[2]。

2.3 烟气净化工艺

烟气净化工艺作为减少大型燃煤锅炉 CPM 排放的关键环节,其效果直接关系到最终的排放水平。目前,燃煤锅炉广泛采用的烟气净化工艺,包括湿法脱硫、除尘和脱硝等。然而,这些工艺在去除 CPM 方面的效果存在差异。湿法脱硫工艺通过将烟气与碱性吸收液接触,有效去除其中的二氧化硫。但在这一过程中,由于吸收液的雾化和蒸发,以及脱硫反应产生的副产物,导致 CPM 的二次生成。脱硫过程中生成的亚硫酸盐和硫酸盐,在特定条件下会结晶析出,形成新的 CPM。除尘工艺对 CPM 的去除效果,取决于除尘器的类型和运行参数。静电除尘器主要依靠静电力捕集颗粒物,对较大粒径的颗粒物具有较高的去除效率,但对于亚微米级的 CPM,其去除效果相对有限。袋式除尘器则通过过滤介质拦截颗粒物,对 CPM 有较好的去除效果,但其运行阻力较大,能耗较高。不同类型的除尘设备,在不同的运行工况下,对 CPM 的去除效率会有所不同。合理选择和优化烟气净化工艺,对于降低 CPM 排放至关重要。

3 可凝结颗粒物的控制技术

3.1 三氧化硫脱白技术

(1)三氧化硫作为可凝结颗粒物(CPM)形成的关键前体物,其有效去除对于降低CPM排放至关重要。三氧化硫脱白技术正是针对这一需求而开发的高效控制技术。该技术通过利用碱性溶液或固体吸附剂与烟气中的三氧化硫发生化学反应,将其转化为稳定的盐类化合物,从而实现三氧化硫的高效去除。(2)在实际应用中,三氧化硫脱白技术展现出的优势。该技术能够精准地针对CPM的前体物进行处理,从源头上遏制CPM的生成,具有高度的针对性和有效性;反应产物为稳定的盐类化合物,易于后续处理和处置,避免了二次污染的问题。常用的碱性溶液如氢氧化钠、氢氧化钙等,以及固体吸附剂如活性氧化铝、分子筛等,均表现出良好的去除效果。(3)尽管三氧化硫脱白技术具有诸多优势,但在实际应用中 also 面临一些挑战。碱性溶液的使用可能会产生一定量的废水,需要采取适当的后续处理措施;固

体吸附剂在使用一段时间后需要进行再生处理,以恢复其吸附性能,确保技术的持续稳定运行。在推广和应用该技术时,需要综合考虑其优缺点,制定合理的技术方案和管理措施。

3.2 吸附技术 吸附技术是一种行之有效的CPM去除方法,其关键在于选择合适的吸附剂。常见的吸附剂包括活性炭、沸石等。这些吸附剂具有独特的物理和化学结构,能够高效地吸附烟气中的CPM。活性炭具有丰富的孔隙结构和巨大的比表面积,能通过物理吸附和化学吸附的方式,将CPM分子吸附在其表面。沸石则具有规整的孔道结构和离子交换性能,对特定类型的CPM具有良好的选择性吸附能力。吸附技术的核心在于吸附剂的选择和再生。优质的吸附剂应具备高的吸附容量,能在短时间内吸附大量的CPM;还应具有稳定的吸附性能,在不同的工况条件下都能保持良好的吸附效果,吸附剂的再生性能也至关重要,易于再生和重复使用的吸附剂能够降低运行成本。吸附技术在CPM控制领域已经得到了广泛的应用。然而,为了提高吸附效率和降低成本,还需要不断研发新型的吸附剂,并优化吸附工艺^[3]。

3.3 云除技术

(1)云除技术作为一种前沿的CPM去除策略,以其独特的工作原理脱颖而出。该技术通过高速气流与精密设计的喷嘴,将雾化的水或特定化学溶液精准地喷入烟气体系,形成大量微细的水滴或微粒。这些微粒作为“云”的组成部分,与烟气中的CPM发生高效碰撞,借助碰撞、凝聚等物理机制,促使CPM迅速凝结为体积更大的颗粒。这些易于捕获的大颗粒可借助布袋除尘器、静电除尘器等成熟除尘技术实现高效分离与去除。(2)云除技术在CPM控制领域展现出显著的优势。其高效的去除能力尤为突出,能在短时间内实现CPM的大量凝结,为后续处理提供了便利。该技术还具有节能降耗的特点,相较于传统处理手段,云除技术在能耗方面表现出色,有助于降低整体运营成本。云除技术所使用的水或化学溶液通常对环境友好,确保了处理过程的绿色、环保,避免了二次污染的产生。(3)云除技术在CPM控制领域的应用前景广阔。随着技术的持续进步与完善,云除技术有望在更多领域得到推广与应用,为解决CPM排放问题提供强有力的技术支持,推动环境保护与可持续发展目标的实现^[4]。

4 控制技术的发展

4.1 新型吸附材料的研发

传统吸附材料在吸附容量、稳定性及再生性能等方面存在一定局限,难以满足日益严格的环保要求。而新

型吸附材料的研发,旨在突破这些瓶颈。部分新型碳基吸附材料,通过对其微观结构的精确调控,大幅提升了比表面积,拥有了更高的吸附容量。有序介孔碳材料具有规则的孔道结构,孔径分布均匀,这有利于 CPM 分子的扩散与吸附,还提高吸附过程的选择性。同时在材料表面引入特定官能团,可增强其对 CPM 中特定成分的化学吸附能力,提升稳定性。在再生性能方面,一些新型复合材料借助独特的化学组成和物理结构,实现了便捷高效的再生。以某些金属有机框架(MOFs)材料为例,其在吸附 CPM 后,通过温和的热解或溶剂洗脱等方式,便可使吸附位点恢复活性,且在多次循环使用过程中,吸附性能衰减幅度极小。这些新型吸附材料的出现,推动了吸附技术在 CPM 控制领域的应用与发展,为实现更低的 CPM 排放提供了有力的技术支撑。随着环保标准的不断提升,科研团队正致力于开发具有革命性的吸附材料,以应对传统材料在处理烟气中可凝结颗粒物(CPM)时所面临的挑战。这些新型材料通过创新的合成方法和表面改性技术,提高了对 CPM 的吸附效率,还优化了材料的循环使用性能。

4.2 智能化控制系统的应用

随着科技的飞速发展,智能化控制系统在大型燃煤锅炉领域的应用,为燃烧过程与烟气净化工艺的精准调控开辟了新路径。相较于传统的人工调控或简单的自动化控制系统,智能化控制系统凭借先进的传感器技术、数据处理算法和自动化执行机构,实现了对烟气成分和排放参数的实时、精准监测。该系统内置的智能算法,可对监测数据进行深度分析,并依据预设的控制目标,自动调节燃烧过程中的关键参数,如燃料与空气的比例、燃烧温度等,从源头减少 CPM 的生成。在烟气净

化环节,智能化控制系统能够根据实时的烟气成分和颗粒物浓度,灵活调整净化设备的运行参数,确保净化工艺始终处于最佳运行状态。在静电除尘器中,系统可根据颗粒物浓度的变化,动态调节电场强度,既保证了对 CPM 的高效捕集,又避免了过度能耗。通过智能化控制系统的应用,提高了 CPM 排放控制的准确性与及时性,还降低了人力成本,提升了整个系统的运行稳定性与可靠性,为大型燃煤锅炉的节能减排和可持续运行提供了强大的技术保障。

结束语

综上所述,大型燃煤锅炉烟气中可凝结颗粒物(CPM)的排放控制是一项复杂而重要的任务。通过深入研究 CPM 的排放特征,开发高效的控制技术,如新型吸附材料和智能化控制系统的应用,可降低 CPM 的排放水平。未来,随着科技的不断进步和环保标准的持续提升,我们有理由相信,大型燃煤锅炉的 CPM 排放将得到更有效的控制,为环境保护和可持续发展做出更大贡献。

参考文献

- [1]吴巍,单广波,刘玲,刘宇,李宝忠.燃煤锅炉烟气可凝结颗粒物控制技术进展[J].炼油技术与工程,2024,54(11):50-53.
- [2]周建明,崔豫泓,贾楠,崔名双,张斌,王彩虹.煤粉工业锅炉技术发展及应用[J].洁净煤技术,2020,26(1):41-51.
- [3]高原,王振平,闫立仓,白世刚,沈小瑞.煤粉锅炉烟气中细颗粒物排放特征与控制综述[J].化工管理,2020(28):82-83.
- [4]段钰锋,朱纯,余敏,姚婷,赵士林,汤红健,黄天放,刘猛.燃煤电厂汞排放与控制技术研究进展[J].洁净煤技术,2019,25(2):1-17.