

垃圾发电过程中污染物排放控制技术研究

汪 啸 李其河 徐一鸣 方思远 李惊宇

华能国际电力江苏能源开发有限公司南京电厂 江苏 南京 210000

摘 要: 本文聚焦垃圾发电过程中的污染物排放控制技术。阐述了垃圾发电产生的主要污染物种类、危害、生成机理、排放特性及监测方法。详细介绍燃烧优化、烟气脱硫脱硝除尘等多种污染物排放控制技术,以及半干法循环流化吸收塔、物理吸附等综合或专项技术。最后探讨污染物控制技术系统集成与优化,包括技术组合方案、运行参数优化和副产物处理与资源化,为垃圾发电污染物控制提供参考。

关键词: 垃圾发电; 污染物控制; 焚烧技术; 末端净化; 二噁英去除

1 垃圾发电过程中污染物的生成与排放特性

1.1 主要污染物种类及危害

垃圾发电在处理废弃物与回收能源时,会产生多种污染物威胁环境与人体健康。气体污染物中,二氧化硫(SO_2)源于垃圾中含硫物质燃烧,排放后会形成硫酸雾和酸雨,破坏土壤、水体、植被,腐蚀建筑。氮氧化物(NO_x)由垃圾含氮化合物高温燃烧生成,会形成酸雨与光化学烟雾,刺激人体呼吸道、眼睛,降低能见度。颗粒物含可吸入颗粒物(PM_{10})和细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$),携带重金属等有害物,可引发呼吸道疾病,甚至导致心血管疾病和肺癌。重金属如汞、铅等来自电池等,在环境中持久且具生物累积性,损害人体神经系统等。二噁英是强致癌有机物,低温燃烧时由氯元素和有机物反应生成,会在环境中长期存在,威胁人类健康与生态平衡。

1.2 污染物生成机理

二氧化硫生成与垃圾中含硫物质燃烧相关,含硫化物中硫元素在高温下被氧化,燃烧温度、氧气浓度影响其生成量。氮氧化物生成有热力型、燃料型和快速型三种途径,热力型与燃烧温度和氧气浓度密切相关,燃料型是主要来源,快速型生成量较少^[1]。颗粒物生成源于垃圾不可燃物质被气流携带、可燃物不完全燃烧及气化-凝结过程,垃圾成分和燃烧条件影响其特性。重金属生成取决于垃圾中其含量和形态,燃烧时挥发,冷却时凝结或吸附。二噁英生成有前体物合成和从头合成两种途径,燃烧温度、烟气停留时间等因素影响其生成。

1.3 排放特性及监测方法

垃圾发电污染物排放特性受垃圾成分、燃烧设备类型和运行工况影响。不同地区、季节垃圾成分有差异,导致污染物生成量和种类不同。燃烧设备方面,流化床锅炉和炉排炉燃烧方式、温度控制不同,污染物排放特性各异。运行工况参数优化可降低污染物排放。监测污

染物需科学合理方法。气体污染物常用化学分析法和仪器分析法,化学分析法准确但操作繁琐,仪器分析法可实时在线监测。颗粒物监测用重量法。重金属和二噁英等微量污染物需精密仪器和方法,如电感耦合等离子体质谱法测重金属,高分辨气相色谱-高分辨质谱联用法测二噁英,但仪器昂贵、操作要求高。

2 垃圾发电过程中污染物排放控制技术

2.1 燃烧优化技术

燃烧优化技术是控制垃圾发电过程中污染物排放的基础。通过合理调整燃烧参数,如燃烧温度、过量空气系数、烟气停留时间等,可以实现垃圾的充分燃烧,减少污染物的生成。控制燃烧温度是关键因素之一,一般来说,较高的燃烧温度有利于垃圾的完全燃烧,能够减少一氧化碳、未燃尽有机物等污染物的生成。但过高的温度会增加氮氧化物的生成量,同时可能导致炉膛结焦等问题。因此,需要选择合适的燃烧温度范围,通常在850-1100℃之间。通过优化炉膛结构和燃烧器设计,采用分级燃烧、再循环燃烧等技术,可以实现燃烧温度的精确控制。过量空气系数是指实际供给的空气量与理论所需空气量的比值。合理的过量空气系数能够保证垃圾充分燃烧,同时避免过多的冷空气进入炉膛降低燃烧温度。如果过量空气系数过小,会导致燃烧不充分,产生大量的一氧化碳和颗粒物;如果过量空气系数过大,会增加烟气体量,降低炉膛温度,同时使氮氧化物生成量增加。一般来说,垃圾焚烧的过量空气系数控制在1.2-1.8之间较为合适。烟气停留时间是指烟气在炉膛内的高温区停留的时间。足够的烟气停留时间能够确保垃圾中的可燃物充分燃烧,使有害物质充分分解。通过合理设计炉膛尺寸和烟气流动路径,可以延长烟气停留时间,一般要求烟气在850℃以上的温度区域停留时间不少于2秒,以有效抑制二噁英的生成。

2.2 烟气脱硫技术

烟气脱硫技术是控制二氧化硫排放的有效手段。常见的烟气脱硫方法有湿法脱硫、干法脱硫和半干法脱硫。湿法脱硫技术是应用最广泛、脱硫效率最高的一种方法。其中,石灰石-石膏湿法脱硫技术较为成熟,其原理是利用石灰石浆液作为吸收剂,与烟气中的二氧化硫发生化学反应,生成亚硫酸钙,再被氧化为硫酸钙(石膏)。该方法具有脱硫效率高(可达95%以上)、吸收剂利用率高、运行稳定等优点,但存在系统复杂、投资和运行成本高、废水处理难度大等问题。干法脱硫技术是将干态的吸收剂(如石灰石粉、活性炭等)喷入烟气中,吸收剂与二氧化硫发生化学反应,生成固体产物^[2]。干法脱硫工艺简单、投资和运行成本低、无废水排放,但脱硫效率相对较低(一般在70%-85%之间),吸收剂利用率不高。半干法脱硫技术结合了湿法和干法的特点,采用石灰浆液作为吸收剂,在喷雾干燥塔内与烟气接触,水分迅速蒸发,形成干燥的固体产物。半干法脱硫技术具有脱硫效率较高(可达90%左右)、投资和运行成本适中、无废水排放等优点,近年来在垃圾发电行业得到了广泛应用。

2.3 烟气脱硝技术

烟气脱硝技术主要用于控制氮氧化物的排放。常用的烟气脱硝方法有选择性催化还原法(SCR)和选择性非催化还原法(SNCR)。SCR技术是在催化剂的作用下,将还原剂(如氨水、尿素等)喷入烟气中,与氮氧化物发生选择性还原反应,生成氮气和水。SCR技术具有脱硝效率高(可达90%以上)、对烟气条件适应性强等优点,但催化剂成本较高,且需要定期更换,同时对反应温度要求较为严格,一般在300-420℃之间。SNCR技术是在不使用催化剂的情况下,将还原剂直接喷入炉膛内,在高温(850-1100℃)条件下与氮氧化物发生还原反应。SNCR技术工艺简单、投资和运行成本低,但脱硝效率相对较低(一般在30%-60%之间),且还原剂的利用率不高,容易产生氨逃逸等问题。

2.4 烟气除尘技术

烟气除尘技术是去除烟气中颗粒物的重要环节。常见的烟气除尘设备有静电除尘器、布袋除尘器和电袋复合除尘器。静电除尘器是利用高压电场使气体电离,使粉尘颗粒带电,在电场力的作用下被吸附到电极上,从而实现气固分离。静电除尘器具有处理烟气量大、阻力小、运行费用低等优点,但对粉尘的比电阻有一定要求,对于高比电阻粉尘和微细颗粒物的捕集效果较差。布袋除尘器是利用纤维滤料制成的滤袋对烟气中的粉尘

进行过滤,使粉尘阻留在滤袋表面,净化后的烟气通过滤袋排出。布袋除尘器具有除尘效率高(可达99.9%以上)、能够捕集微细颗粒物等优点,但运行阻力较大,滤袋需要定期更换,运行成本相对较高。电袋复合除尘器结合了静电除尘器和布袋除尘器的优点,先利用静电除尘器去除大部分粉尘,再利用布袋除尘器进一步捕集剩余的微细颗粒物。电袋复合除尘器具有除尘效率高、运行稳定、滤袋寿命长等优点,近年来在垃圾发电行业得到了越来越多的应用。

2.5 半干法循环流化吸收塔技术

半干法循环流化吸收塔技术是一种集脱硫、脱硝、除尘于一体的综合污染控制技术。该技术采用循环流化床作为反应器,将石灰浆液喷入吸收塔内,与烟气中的二氧化硫等酸性气体发生化学反应,同时通过循环流化床的强烈湍流作用,使吸收剂与烟气充分接触,提高反应效率^[3]。在吸收塔内,吸收剂不仅与二氧化硫反应,还能在一定程度上吸附氮氧化物和重金属等污染物。吸收塔底部设置灰斗,收集反应后的固体产物,部分固体产物通过循环返料装置重新回到吸收塔内,继续参与反应,提高吸收剂的利用率。半干法循环流化吸收塔技术具有脱硫效率高、可同时脱除多种污染物、占地面积小等优点,适用于垃圾发电等中小型锅炉的烟气净化。

2.6 基于物理吸附技术的污染控制方法

物理吸附技术是利用吸附剂的多孔结构,将烟气中的污染物吸附在吸附剂表面,从而达到净化烟气的目的。常用的吸附剂有活性炭、分子筛等。活性炭具有丰富的孔隙结构和较大的比表面积,对二噁英、重金属等污染物具有较强的吸附能力。在垃圾发电烟气净化中,通常将活性炭喷入烟气中,使其与污染物充分接触,然后通过布袋除尘器将吸附有污染物的活性炭捕集下来。活性炭吸附技术具有操作简单、对多种污染物有较好的吸附效果等优点,但活性炭成本较高,且吸附饱和后的活性炭需要进行再生处理或安全处置。分子筛是一种具有均匀微孔结构的晶体材料,对特定分子大小的污染物具有选择性吸附作用。分子筛吸附技术具有吸附选择性好、再生性能好等优点,但目前在大规模垃圾发电烟气净化中的应用还相对较少,需要进一步研究和开发。

3 污染物控制技术系统集成与优化

3.1 技术组合方案

单一的污染物控制技术往往难以满足垃圾发电过程中多种污染物的排放控制要求,因此需要将多种技术进行组合,形成一套完整的污染物控制技术系统。常见的技术组合方案有多种,例如“燃烧优化+半干法脱硫+布

袋除尘+SNCR脱硝”方案,该方案通过燃烧优化减少污染物的生成,利用半干法脱硫技术控制二氧化硫排放,布袋除尘器去除颗粒物,SNCR技术降低氮氧化物浓度,具有技术成熟、运行稳定、成本相对较低等优点,适用于大多数垃圾发电厂。另一种组合方案是“燃烧优化+石灰石-石膏湿法脱硫+静电除尘+SCR脱硝”方案,此方案中湿法脱硫技术脱硫效率高,静电除尘器处理烟气量大,SCR技术脱硝效果好,但系统复杂,投资和运行成本较高,适用于对污染物排放要求严格的大型垃圾发电项目。在实际工程中,应根据垃圾发电厂的规模、垃圾成分、环保要求等因素,选择合适的技术组合方案,以实现污染物的高效控制和成本的最优化。

3.2 运行参数优化

污染物控制技术系统的运行参数对污染物的排放控制效果和运行成本有重要影响。因此,需要对运行参数进行优化调整,以确保系统在最佳工况下运行。对于燃烧过程,需要优化燃烧温度、过量空气系数、烟气停留时间等参数,实现垃圾的充分燃烧和污染物的最小生成。在脱硫系统中,要控制石灰浆液的浓度、喷入量、反应温度等参数,提高脱硫效率和吸收剂利用率。脱硝系统中,对于SCR技术,要优化催化剂的活性、氨水喷入量、反应温度等参数;对于SNCR技术,要合理控制还原剂的喷入位置、喷入量和反应温度区间。除尘系统中,要根据粉尘性质和浓度,调整静电除尘器的电场参数或布袋除尘器的清灰周期等参数,保证除尘效率。通过建立运行参数优化模型,利用先进的控制算法和在线监测技术,实时调整运行参数,实现污染物控制技术系统的智能化运行和优化管理。

3.3 副产物处理与资源化

垃圾发电污染物控制过程中会产生大量的副产物,如脱硫石膏、除尘灰、废活性炭等。这些副产物如果处理不当,可能会对环境造成二次污染,因此需要进行妥

善处理和资源化利用。脱硫石膏是石灰石-石膏湿法脱硫技术的副产物,其主要成分与天然石膏相似,经过处理后可以作为建筑材料(如石膏板、水泥缓凝剂等)的原料,实现资源化利用^[4]。除尘灰中含有一定量的重金属等有害物质,需要进行稳定化处理后进行安全填埋,或者通过进一步处理提取其中的有用成分。废活性炭吸附了大量的二噁英、重金属等污染物,属于危险废物,需要采用高温再生或安全处置等方式进行处理,避免对环境造成危害。通过开展副产物处理与资源化技术研究,开发适合垃圾发电行业的副产物处理工艺和资源化利用途径,不仅可以减少环境污染,还能实现资源的循环利用,降低企业的运行成本,促进垃圾发电行业的可持续发展。

结束语

垃圾发电作为废弃物处理与能源回收的重要方式,其污染物排放控制至关重要。本文全面探讨了多种污染物控制技术,从燃烧优化到末端净化,涵盖多种技术手段,并强调系统集成与优化。未来,需持续研发创新技术,提升污染物控制效果,同时加强副产物资源化利用,降低成本,实现垃圾发电行业的绿色、可持续发展,为环境保护和能源利用做出更大贡献。

参考文献

- [1]焦学军,张桂仙,沈咏烈,黄洁.中国垃圾焚烧发电政策回顾与分析[J].环境卫生工程,2020,28(06):57-65.
- [2]席洋,赵秀勇,王圣,张明,胡耘,田文鑫.新形势下生活垃圾焚烧发电大气环境污染控制与影响分析[J].电力科技与环保,2020,36(05):59-62.
- [3]张春飞,朱宝飞,胡彦骏,等.两种生活垃圾焚烧炉飞灰的理化特性分析[J].环境科技,2022,35(5):8-13.
- [4]朱福刚.生活垃圾焚烧发电污染控制技术探究[J].大众标准化,2024,(06):61-63.