

危废处置中的焚烧技术与废气处理优化研究

姜骋宇

金华市莱逸园环保科技有限公司, 浙江 金华 321000

[摘要] 危险废物的处置问题日益加剧, 尤其是在焚烧过程中, 二噁英等有害物质的生成对环境与人体健康构成了显著威胁。作为持久性有机污染物, 二噁英具有极高的稳定性, 能够在环境中长期积累, 并通过食物链不断扩散, 最终对生态系统产生不可逆的破坏。尽管焚烧技术在减少废物体积和质量方面优势明显, 如何有效控制二噁英等有害物质的排放, 依然是当前技术面临的重大挑战。近年来, 焚烧过程的优化、二燃室分解、急冷塔技术以及药剂吸附等废气处理手段虽已取得一定进展, 现有技术仍未能彻底解决二噁英的排放问题。针对这一难题, 探索焚烧技术与废气处理技术的协同优化路径, 成为废物处理领域亟需攻克的关键课题, 旨在提升焚烧过程的环保性能, 推动废物处理技术的可持续发展。

[关键词] 焚烧技术; 废气处理; 废物处置

DOI: 10.33142/ec.v8i3.15673

中图分类号: 404

文献标识码: A

Research on Incineration Technology and Optimization of Waste Gas Treatment in Hazardous Waste Disposal

JIANG Chengyu

Jinhua Laiyiyuan Environmental Protection Technology Development Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321000, China

Abstract: The disposal of hazardous waste is becoming increasingly serious, especially during the incineration process, where the generation of harmful substances such as Dioxin poses a significant threat to the environment and human health. As a persistent organic pollutant, Dioxin have extremely high stability, can accumulate in the environment for a long time, and continuously spread through the food chain, ultimately causing irreversible damage to ecosystems. Despite the significant advantages of incineration technology in reducing waste volume and quality, effectively controlling the emission of harmful substances such as Dioxin remains a major challenge facing current technology. In recent years, although some progress has been made in the optimization of incineration processes, secondary combustion chamber decomposition, rapid cooling tower technology, and chemical adsorption for waste gas treatment, existing technologies still cannot completely solve the problem of Dioxin emissions. Exploring the collaborative optimization path between incineration technology and exhaust gas treatment technology has become a key issue that urgently needs to be overcome in the field of waste treatment, aiming to improve the environmental performance of incineration processes and promote the sustainable development of waste treatment technology.

Keywords: incineration technology; waste gas treatment; waste disposal

引言

随着工业化进程的加速, 废物处理问题日益凸显, 特别是危险废物的处置, 已经成为环境保护面临的重大挑战。由于焚烧技术具备高效、经济的优势, 它逐渐成为危险废物处理的主要手段之一。但焚烧过程中二噁英等有害物质的生成, 对环境及人体健康构成了严重威胁。为解决这一问题, 焚烧过程中二噁英的生成机制及排放控制技术的研究, 已成为当前环境工程领域的关键课题, 同时, 焚烧技术与废气处理的协同优化路径也在不断探索之中。

1 焚烧技术概述与工艺分析

1.1 焚烧技术基本原理与工艺过程

焚烧技术通过高温氧化反应将危险废物转化为无害气体、固体残渣及热能。该过程的核心原理是利用燃烧过程中释放的热能, 促使废物中的有机物与氧气发生反应, 生成二氧化碳、水蒸气及少量无害气体。焚烧过程可分为

干燥、热解、氧化燃烧及残渣处理四个主要阶段。在干燥阶段, 废物中的水分会在高温下蒸发, 随即进入热解阶段, 废物中的有机物在高温环境下分解, 释放出易燃气体。在氧化燃烧阶段, 废物中的有机成分会在充足的氧气供应下完全燃烧, 转化为二氧化碳和水蒸气, 同时释放出大量的热能。经过这一系列反应后, 剩余的固体残渣主要由无害的矿物质灰分构成。温度控制、氧气供应及停留时间是焚烧工艺的关键因素。适宜的温度能够确保废物得到充分燃烧, 且有效减少了二噁英等有害气体的生成。充足的氧气供应不仅提高了燃烧效率, 还防止了有害物质的残留, 而合理的停留时间则保证了废物在高温环境下得以彻底分解。

1.2 焚烧炉类型与优缺点分析

焚烧炉种类繁多, 每种炉具在废物处理过程中展现出不同的特点, 其性能、效率及环保效果各具优势与不足, 常见的焚烧炉主要包括回转窑炉、流化床炉、固定床炉以

及多级焚烧炉。回窑炉广应用于高温燃烧废物,特别适合处理含处理能力和较强的适应性,能够满足多样化的废物焚烧需求。回转窑炉的设计确保废物在高温下得到充分反应,从而提高燃烧效率。然而,其主要短板在于设备投资较高,且占地面积大,操作过程中对温度的精准控制要求较高。流化床炉则采用气流将废物悬浮进行燃烧,这一方式在废物焚烧中得到广泛应用。其优势主要体现在高效燃烧、温度均匀及废物适应性强,尤其适合处理多种废物类型。流化床炉能够显著减少二噁英的生成,并具有较高的自动化控制能力。尽管如此,流化床炉的运行成本较高,尤其是在燃料投入和设备维护方面。固定床炉具有结构简单、操作便捷的特点,适用于小批量固体废物的处理。其低造价及较低的能耗为其优势所在,但由于燃烧效率较低,且在燃烧不完全时容易产生有害气体,其环保性能相对较差,限制了应用范围。多级焚烧炉通过设置多个燃烧室,采用分阶段的高温氧化反应,更高效地分解废物,该炉型特别适用于处理高污染废物,能够在多个阶段有效减少污染物的排放。然而,结构复杂及初期投资较高是其主要缺点。

2 废气处理优化技术

2.1 焚烧废气的污染物种类与危害

焚烧废气中含有多种有害物质,这些污染物不仅严重影响环境,还对人体健康构成潜在威胁。主要的污染物包括有毒气体、颗粒物以及重金属等。有害气体是焚烧废气的主要成分。正常燃烧过程中,二氧化碳(CO_2)和水蒸气是常见的产物,但也会生成一些有毒气体,如二噁英、氮氧化物(NO_x)、硫氧化物(SO_x)及一氧化碳(CO)。二噁英被认为是一种极具危害的致癌物,即使在微量时,也可能对生物体造成长远的影响。氮氧化物和硫氧化物是大气污染的关键成分,它们能够促进酸雨的形成,严重危害生态系统。一氧化碳则是一种无色无味的有毒气体,若大量吸入,会导致中毒甚至危及生命。颗粒物含量同样不可忽视,尤其在废物中有机物成分较高时,颗粒物的生成量会明显增加。颗粒物不仅加剧空气污染,还可能进入呼吸系统,长期接触这些细小颗粒物可能引发呼吸道疾病、心血管问题及其他健康隐患。重金属也是焚烧废气中的另一类重要污染物,常见的有汞、铅和镉等,由于这些重金属具有强烈的生物积累性,它们在生态系统中长期积累,将对动植物以及人类健康带来深远影响,尤其是在神经系统和免疫系统方面。从焚烧废气中排放的污染物种类繁多且危害严重。为有效控制这些污染物的排放,优化焚烧技术是必要的,同时必须结合先进的废气处理技术,确保环境安全并有效保护公众健康。

2.2 废气处理技术

2.2.1 吸附法与吸收法

吸附法与吸收法是废气处理中的两种常见技术,各自具有独特的特点,适用于不同的污染物去除需求。吸附法通过固体材料的表面吸附作用,从气流中去除废气中的有

害物质。常见的吸附材料包括活性炭、沸石、硅胶等,这些材料通过物理或化学作用将有毒物质捕集在其表面。吸附法的主要优点在于设备简单、操作灵活,且对气体中的有机污染物以及部分无机物具有较高的去除效率。特别是在处理低浓度的有机气体污染物时,吸附法展现了较为优异的效果。然而,吸附法也存在一定局限性,吸附剂随着使用时间的推移会逐渐饱和,必须定期更换或再生,这增加了运行成本。与吸附法不同,吸收法通过液体与废气接触,利用溶解或化学反应将污染物去除。常用的吸收液体包括水、酸溶液、碱溶液以及一些有机溶剂。吸收法在去除酸性或碱性气体(如二氧化硫、氨气等)方面具有显著效果。此外,对于一些较大分子或不易挥发的污染物,吸收法同样能提供较好的去除性能。然而,吸收法同样存在不足,液体吸收剂容易被污染,需定期更换溶液,这就增加了溶液处理与更换的成本。同时,由于吸收法通常需要较大的设备体积来处理废气,这在某些应用中可能成为限制因素。

2.2.2 脱硫脱氮技术

脱硫脱氮技术在废气处理过程中扮演着至关重要的角色,其主要目标是减少废气中二氧化硫(SO_2)和氮氧化物(NO_x)的排放。这些污染物不仅加剧空气污染,还对人体健康及生态环境构成严重威胁。广泛应用于燃煤及工业废气治理中的脱硫脱氮技术,尤其在减少酸雨和改善空气质量方面发挥了重要作用。脱硫技术主要通过化学反应将二氧化硫转化为无害化合物,常见的脱硫方法包括湿法脱硫、干法脱硫以及半干法脱硫。湿法脱硫作为最常见的一种技术,通常使用石灰石浆液作为吸收剂,将废气通过喷雾与浆液接触,生成不溶于水的硫酸钙,从而实现二氧化硫的去除,这种方法不仅能够有效去除二氧化硫,还能在一定程度上去除粉尘。然而,湿法脱硫的设备较为复杂,且运行成本较高。相比之下,干法脱硫则利用干粉吸收剂(如石灰粉)与废气反应,将二氧化硫转化为固体物质,适合小规模或低负荷的处理场合。尽管该方法技术简单,然而其去除效率相较于湿法脱硫较低。脱氮技术的核心任务是去除废气中的氮氧化物,这些物质是酸雨与雾霾的主要形成原因。选择性非催化还原(SNCR)与选择性催化还原(SCR)是常见的脱氮技术。SNCR技术通过向废气中喷入还原剂(如氨气或尿素),促使氮氧化物在高温条件下发生还原反应,转化为无害的氮气与水蒸气,此方法简便且成本较低,然而其去除效率相对较低。

3 二噁英排放控制与优化

3.1 二噁英的生成机制

二噁英是一种极具毒性的有机污染物,通常在燃烧过程中生成。其生成机制极为复杂,受到多种因素的影响,包括燃烧温度、氧气浓度、燃料成分以及废气冷却速度等。二噁英的形成需要氯元素、碳源及高温条件的共同作用,氯化有机物在这些条件下发生一系列化学反应,最终生成

二噁英化合物。在实际的燃烧过程中，二噁英的生成通常发生在特定的温度范围内，通常为 400℃至 600℃。当废物中的氯化物与碳源（如有机物）反应时，二噁英分子便开始形成。在特定的催化条件下，这一反应得以进行，催化剂的存在会加速该过程^[1]。某些金属（如铜、铁、铅等）作为催化剂，能够促进氯化物与有机物的反应，从而加速二噁英的生成。值得注意的是，二噁英的生成不仅受到温度和催化剂的影响，还与废物中氯化物的浓度、燃烧器的设计及其操作条件密切相关。例如，当废物中的氯化物浓度过高时，二噁英的生成概率会显著增大。与此同时，燃烧温度的稳定性也是一个关键因素，温度过低或波动较大时，二噁英的生成会更加显著。

3.2 二噁英排放的环境与健康危害

二噁英的排放对环境及人类健康造成了严重的危害，作为一种持久性有机污染物（POPs），二噁英在环境中的稳定性极强，且具有显著的累积性。一旦进入大气、水体或土壤，它们便能够在环境中长期存在，并通过食物链不断积累，最终对生态系统造成不可逆的损害。在环境方面，二噁英通过空气扩散，进入植物、水体或土壤后，会持续污染生态环境，这些污染物不仅对动植物的生长、繁殖以及栖息地造成破坏，尤其是水生生物和土壤微生物，容易受到二噁英的累积影响，进而扰乱生态系统的健康，导致生物多样性的减少^[2]。从健康影响来看，二噁英对人体的危害尤为严重。已知，二噁英为致癌物，长期接触其物质将显著增加患癌症的风险。此外，二噁英还对免疫、神经、内分泌及生殖系统产生毒性作用。孕妇和儿童对于二噁英的敏感性较强，即使是低浓度的暴露，也可能导致胎儿发育异常、免疫力下降以及出生缺陷等问题。二噁英的毒性作用与一些慢性病的发生也密切相关，如心血管疾病和糖尿病等。鉴于其对人体多个系统的危害，世界卫生组织（WHO）已将二噁英列为优先控制的有害物质。因此，控制二噁英的排放不仅是环境保护的关键任务，也是公共卫生领域亟待解决的重要问题。

3.3 焚烧过程中的二噁英控制技术

在焚烧过程中，有效控制二噁英的关键在于通过高温焚烧实现废物的完全燃烧，从而抑制二噁英的生成。在回转窑中，废物被加热至 850℃以上的高温，这一温度不仅保证了废物完全燃烧，还有效避开了二噁英生成的温度范围（400℃~600℃）。这种高温条件能够有效抑制一氧化碳（CO）的生成，进一步减少了二噁英的形成，为后续废气净化提供了更有利的环境。废气经过高温焚烧后，会进入二燃室。在这一阶段，通过一系列技术措施确保二噁英被彻底分解。二燃室内的烟气温度保持在 1100℃以上，且废气停留时间不低于 2 秒，这确保了废气在高温下的充分搅动，有效促进了二噁英的分解^[3]。此外，焚烧炉出口的氧气浓度始终保持在 6%以上，同时一氧化碳浓度控制

在 50mg/Nm³ 以下，保障了燃烧的稳定性。通过这些严格控制手段，二噁英的分解效率可达到 99.99%以上，显著降低了其排放量。进入烟气净化系统后，废气中的二噁英经过进一步处理。在急冷塔中，烟气迅速冷却至 200℃~500℃ 的温度区间，冷却停留时间控制在 1 秒以内，有效防止了二噁英的再生。随后，烟气通过药剂吸附处理，利用碱性物质及活性碳吸附二噁英前驱物（如氯化氢 HCl）、二噁英合成催化剂以及残留的微量二噁英。这一过程通过袋式除尘器高效执行，进一步降低了二噁英含量，最终使其浓度降至 TEQ 0.5ng/Nm³ 以下，从而大大减少了对环境的危害。

4 焚烧技术与废气处理技术的协同优化

焚烧技术与废气处理技术的协同优化，关键在于提升污染控制效率与减少环境负担。焚烧过程中，废物高温分解，尽管大部分有害物质得到处理，但二噁英、氮氧化物及颗粒物等污染物的生成，仍需依赖高效废气净化技术清除。因此，焚烧炉与废气净化系统的紧密配合，是确保高效排放控制的核心。焚烧炉的设计优化通过调控温度、停留时间与燃烧气氛，减少有害物质生成，为废气处理提供更清洁的烟气源。废气净化系统则有效去除有害物质，例如，急冷塔迅速降温防止二噁英再合成，药剂吸附与袋式除尘去除残留污染物。智能化与自动化技术的应用，实时监控并优化燃烧过程，减少有害物质生成。废气处理设备根据监测数据调整，确保高效去除污染物。焚烧与废气处理技术的有机协同，提升环保性，推动资源高效利用，减少环境影响，为废物处理设施的性能优化与排放标准达成提供保障。

5 结语

焚烧技术在危险废物处理中的应用，尤其在二噁英控制方面，已取得显著进展。通过高温燃烧、二燃室分解、急冷塔处理与烟气净化装置的协同作用，二噁英的生成与排放得到了有效抑制。这些技术措施不仅确保了废物的彻底燃烧与分解，还通过精准的温控与药剂吸附等方法，大幅减少了二噁英对环境的影响，达到了更为严格的排放标准。随着焚烧技术与废气处理技术的持续完善，二噁英排放预计将进一步降低，从而有效缓解环境污染问题。为实现绿色、可持续的废物管理目标，坚实的保障已被提供。

[参考文献]

- [1]陈云. 危险废物焚烧处置废气污染物净化技术应用研究[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(3): 154-156.
 - [2]纪岩峰. 危险废物焚烧处置废气污染物净化技术应用[J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(1): 166-168.
 - [3]王翺. 危险废物焚烧处置废气污染物净化技术应用研究[J]. 山西化工, 2023, 43(4): 252-253.
- 作者简介：姜聘宇（1990.5—），毕业于武汉生物工程学院，所学专业：生物技术专业，当前就职于：金华市莱逸园环保科技有限公司（金华市固废处置中心），职务：技术与安环部工程师，职称级别：工程师。