

# 生活垃圾焚烧飞灰的危害及资源化利用方法的研究

赖建彬

龙岩市环境卫生中心 福建龙岩 364000

**摘要:** 在中国, 由于生活垃圾的大量排放, 产生了大量的废气、渗滤液和灰渣。垃圾燃烧飞灰是在垃圾燃烧烟气净化过程中所形成的一种残余, 它包含了大量的铅、汞、铬、镉等重金属以及 PAHs 等有害物质, 是一种被列为危险化学品的有害物质。生活垃圾焚烧所排放的灰粒度很小, 若不进行妥善处置, 将会给人类和生态带来严重威胁。

**关键词:** 垃圾焚烧; 飞灰处理技术; 发展

## Research on the Harm and Resource Utilization Methods of Domestic Waste Incineration Fly Ash

Jianbin Lai

Longyan City Environmental Health Center, Fujian Longyan 364000

**Abstract:** In China, due to the large amount of municipal solid waste (MSW) generated, a significant amount of exhaust gas, leachate, and ash residue is produced. Fly ash from MSW incineration is a residue formed during the purification process of MSW combustion flue gas. It contains a large amount of heavy metals such as lead, mercury, chromium, cadmium, as well as harmful substances like polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). It is classified as a hazardous substance and considered a dangerous chemical. The ash emitted from MSW incineration has a small particle size, and if not properly disposed of, it can pose a serious threat to human health and the environment.

**Keywords:** Waste incineration; Fly ash treatment technology; Development

### 引言

由于垃圾燃烧技术具有减容、易于实现资源化和节约土地等诸多优势, 目前已成为国内外研究的热点。但因其所含的多种重金属及呋喃等有害物质的含量较高, 已受到各国环保部门的高度关注。当前, 我国生活垃圾燃烧飞灰的治理方法主要有: ①对危险废弃物的合理处置; ②经固化, 使其具有足够的溶出毒性, 然后按普通垃圾进行填埋场; ③对粉煤灰中重金属元素进行分离和回收。

### 一、城市生活垃圾对环境产生的危害

#### 1.1 污染土地

由于城市生活废弃物是以“零散堆放”方式堆放而形成的, 而废弃物中的有毒物质很容易在降雨与地表径流的双重作用下快速迁移到土壤中, 破坏了土壤的养分与水分的平衡, 进而破坏了农田的养分与水分平衡, 严重时还会造成农田减产。

#### 1.2 污染空气

城市生活垃圾中含有丰富的有机质, 在经过消化和分解的过程中, 会产生氮化物和硫化物等有毒气体, 这些有毒物质不仅具有令人感到难受的臭味, 而且还含有多种致癌和致畸的挥发性物质, 这些有毒物质会随风传播, 对空气造成严

重的污染。生活中, 生活中的生活垃圾被肆无忌惮地暴露在阳光下, 就会产生一种乌黑发亮的气味, 从而导致蚊蝇老鼠等各种害虫的繁殖。

#### 1.3 污染水源

城市生活废弃物被人类任意处置, 极易引起水体污染, 其中的有毒成分渗入到土壤中, 对地表水和地下水产生了严重的污染; 如果将这些白色的废物倾倒在海洋、河流、湖泊中, 不仅会对水域产生严重的污染, 还可能导致一些不注意吃掉这些废物的动物死亡, 从而导致了一系列的生态平衡问题。

#### 1.4 危害人体健康

大气、土壤、水体等是人体所处的整体生活环境中危害性污染物的主要途径, 如果其污染严重, 将会引起各种疾病, 对人的身体健康造成直接威胁。

### 二、垃圾燃烧产生的飞灰及其危害性

垃圾焚烧飞灰主要包括了吸收塔中的灰渣和除尘器中的灰渣。飞灰是一种粒径为 4~100 $\mu$ m 的粉状粒子, 它的比表面积在 170~1000m<sup>2</sup>/kg 之间, 它的构成成分是二噁英类有机物、重金属和无机盐, 按照飞灰中碳含量的差异, 飞灰的颜色从棕色到灰色、黑色, 它的具体构成与燃煤成分、煤

粒粒度、锅炉型式、燃烧情况以及收集方式等都有一定的关系。飞灰中含有汞、铅、铬、镉、砷等多种重金属,这些重金属进入土壤、地表水及地下水后,除对植被造成毒性外,还会经食物网进入生物体内。二噁英(Doxygene)是PCOD-二苯并二噁英及其衍生物的总称,被誉为“全球第一大毒性”,其在飞灰中二噁英的浓度最高可达到5 ng/g [1]。自从在1977 Olie等人的研究中,第一次在垃圾燃烧产生的烟尘和飞灰中检测到二噁英的微量存在后,二噁英对环境的影响就一直受到人们的关注,导致了在2010前后,在中国的垃圾焚烧厂出现了大量的“避邻效应”和“群体示威”现象。

### 三、飞灰的治理情况

现在,已有的废物处置设备已接近饱和。随着我国城市土地日益紧缺,垃圾焚烧作为垃圾处理的无害化、稳定化和减量化手段,其所排放的大量飞灰,若处理不当,将造成二次污染。针对各种类型的生活垃圾燃烧产生的飞灰特性存在着一定的差别。目前,我国飞灰渣中二噁英的治理方法有高温法和非高温法两种。在这些技术之中,热处置技术的具体内容有:转动窑热解/气化技术、熔融固化、低温热解吸技术,而非热处置技术的具体内容有:碱化学分解法、生物修复法、紫外光降解法、机械化学法等。机械化学方法具有无燃料、无尾气等优点,被认为可用于降解多氯联苯、二噁英等含氯有机物,但其机理尚不明确 [2]。其中,球磨工艺因其工艺简便、工艺简便、助剂用量小、二噁英的去除效率高特点,极具发展潜力。目前国内外关于二噁英的球磨技术大多还停留在理论与试验研究层面,其分解机制尚未完全阐明,而且因飞灰中含有大量的氯及重金属,导致其在经过球磨后无法实现其无害化。因此,本项目研究对飞灰类有害垃圾的综合利用、高效、低污染、低污染等方面都有着重要的理论和实际意义。

### 四、飞灰治理技术

当前,飞灰的处置方式以固化、稳定化为主,将受污染的部分采用物理化学等手段进行钝化或采用钝化法将其无害化,其具体措施包括:

#### 4.1 稳定剂

化学稳定化技术是利用特定的化学药剂,使飞灰中含有的有害物质与其进行化学稳定化,使其具有一定的毒性。该方法以含重金属的飞灰为对象,通过添加0.6%的螯合剂,

对含重金属的飞灰进行了有效的吸附。但该技术存在以下问题:(1)易导致含盐较高;(2)飞灰中重金属成分及赋存形态较为复杂;(3)我国生活垃圾种类较多,很难寻找到具有普适性的稳定药剂。

#### 4.2 胶粘剂的凝固工艺

水泥固化技术是利用吸附-沉降、离子交换和钝化等手段,使水中的重金属离子以一种特殊的形式存在于水化的硅酸盐体系中。目前应用最多的是采用混凝土硬化技术,其原料来源广,制作工艺简便,成本低 [3]。但其主要原因是其使用量大,生产出的制品不能达到飞灰的质量标准,并且在强酸环境下极易被侵蚀,因此回收困难。当前,世界各地的研究机构及企业正在对这一技术进行深入的探讨。

#### 4.3 土工合成材料的固化工艺

土壤高聚物的固化技术是以水玻璃、氢氧化钠等作为有机溶剂,在特定的环境条件下,利用水玻璃、氢氧化钠等构成的一种具有密闭孔的水玻璃、氢氧化钠等,将其与土壤高聚物的高分子结构相连接,替代其中的钠、钾离子,并被其吸附到材料的主链中。它的优点是制作方法简便、成本低、抗腐蚀性强、抗湿、抗高温。

#### 4.4 熔体凝固工艺

所谓“熔凝”,就是把粉煤灰和氧化硅、氧化铝按照特定的配比加热至熔点,再进行降温,使之成为一种以玻璃为基料,以其结晶结构包覆于金属表面,使其凝固成型。该方法制备的粉煤灰可以作为建筑材料,如建筑材料,粉煤灰的再生利用可以得到较好的效果。近年来,随着电浆技术的发展,电浆技术的应用越来越受到关注 [4]。重点研究熔化过程中,二噁英在熔化过程中大部分(>99.9%)被彻底去除,仅有极小部分(仅存极小部分)残留。

#### 4.5 SFE 抽提法

超流速萃取法是一种利用流体在超临界区内的流体,在不同的温度和压力下,流体中的溶质会有较大的变化,进而达到分离纯化的目的。由于具有溶解、扩散、粘度、表面张力和溶解性等特点,该方法在环境保护、医药、食品等领域具有广阔的应用前景。然而,大多数的SFE为非极性物质(CO<sub>2</sub>),并且所萃取物质通常为强极性物质(如带正电荷的重金属等),二者之间的范德华力相对比较弱。Laintz等于一九九一年,发现除了萃取有机物质外,还可萃取金属,并在其中添加合适的配合物,使萃取过程中的重金属离子更

易被萃取。当前,最常用的是冠醚类化合物,β-二酮类化合物,有机磷类化合物,有机胺类化合物,以及氨基乙酰二硫类化合物。

## 五、对垃圾燃烧飞灰的治理与治理现状的研究

积极推行生活垃圾分类,并对生活垃圾燃烧产生的飞灰进行严格控制。在政府、企业和居民的各级层面上,大力推动垃圾分类和回收,构建起垃圾投放、回收、运输和处理之间相互联系的全程管理体系。推动城市生活废物循环利用与可循环利用的网络连接,从根源上降低垃圾焚烧的总数量,降低焚烧过程中产生的灰烬,实现了灰烬的最大限度地提高了灰烬的资源化程度。

在此基础上,构建飞灰处理的奖励/补助制度,推动飞灰处理的市场化进程。因此,本文提出,在综合考量飞灰处置费用的基础上,将其与正规化处置数量相结合,以确保对垃圾焚烧补助的合理使用,并对其正规化处置进行监管。对高效处置飞灰的公司进行税费减免和补助,并将社会资本引入到飞灰治理工程中来。

加强对飞灰的监管,加强对飞灰的监管,提升飞灰的运营与管理。目前我国在垃圾焚烧项目的立项与投标时,普遍存在着“以低价竞得”的现象,致使与其相匹配的飞灰安全处置设备没有经济依据的问题。加强对电厂烟气治理和烟气治理的监管,对那些不需要承担任何责任的烟气,要对其进行严格监管,确保其满足生活废物填埋、水泥窑的处置要求。要开展相应的评价工作,强化政府监管,提升垃圾处理公司的运作水平。加强技术创新,发展最适合实际应用的技术。在此基础上,开展垃圾资源化、二噁英治理、飞灰安全处置等相关技术的研发。在此基础上,提出了一种适合于我国城镇固体废物处置的技术方法。

## 六、煤粉的回收与应用概况

### 6.1 水泥业

由于垃圾燃烧产生的飞灰中含有氧化钙、氧化硅、氧化铝等与水泥的组成十分相近,因此可以用作制备水泥的原材料。我国飞灰含有很高的氯化物,在利用飞灰制备水泥熟料过程中,必须首先对飞灰进行水洗脱氯。试验结果显示,在3次洗涤过程中,在3次洗涤后,飞灰的氯离子脱除率可达94%。飞灰经洗涤、洗涤等预处理后,可以通过水泥窑法对其进行综合回收。在高温、碱性和负压条件下,混凝土窑炉

在降解飞灰二噁英、重金属等方面具有独特的优越性,并可在处置后将其用作水泥原材料。水泥窑法能有效地固定和分解飞灰中的二噁英,但对于易挥发的钡、铅、镉等重金属,其在高温下的固化率低。

### 6.2 制作轻型集料

在垃圾焚烧飞灰中发现了合适的Si-Al比例和Ka-NaOH比例,可用来生产轻集料。张晗采用煤灰作为原料,废玻璃作为添加剂,碳酸钙作为发泡剂,硼酸作为共溶剂,采用高温高温烧结法,在900℃以上可获得高质量的煤灰,其对重金属的淋滤含量达到了国家规定的要求。采用飞灰低温烧结法生产的多孔陶瓷具有较高的力学性能,具有广泛的实用价值,但其生产工艺存在着能耗高、烟尘净化困难等问题。刘娟将城市生活垃圾中的飞灰与城市污水处理厂的淤泥进行了掺混,通过对烧结体强度、密度、减容率、烧失率等物理特性的研究,发现当飞灰与淤泥按7:3(含7:3)、外加1%(含1%)的添加剂时,烧结体的强度、密度、减容率、烧失率等物理特性均达到了最优。

### 6.3 在柏油泥浆中使用

城市生活废弃物燃烧后产生的飞灰可以取代一些细骨料,作为一种新型的沥青混合料浆。飞灰具有质量轻、粒度小、比表面积大、孔隙结构发达、反应活性强等特点,在工业上广泛应用。郑凯高等人的实验结果表明,飞灰对于提高沥青水泥浆体的耐热性有显著的作用,并且在相同的温度下,采用飞灰填充的沥青水泥浆体的耐热性都要高于同样的温度下的矿物水泥浆体的耐热性。通过对飞灰进行物理吸附和化学吸附,将飞灰和飞灰分别包裹在三层结构中,达到了对飞灰和重金属的“包覆”作用。

### 6.4 玻璃的制造

在垃圾焚烧飞灰中,通过对其进行高温熔化,通过对其进行降温,得到了一种稳定的非晶态玻璃,该非晶态玻璃在力学、热学等方面均表现出优异的应用前景。Park YJ等人[17]在1500℃的温度下,将焚烧飞灰进行熔融处理,所得到的玻璃体的强度及抗折强度都能够满足资源化利用的需求。以飞灰为原料,通过高温熔合法制备玻璃,在重金属固定和二噁英去除方面优势明显,但因其高耗能和二次飞灰需要合理处置,限制了其推广。

## 七、结语

当前,我国飞灰处理技术发展迅速,尤其是飞灰的固化

与稳定化技术、水泥窑联合处理技术、高温冶炼技术和“以废制废”等新技术正在兴起。因此，在处理过程中，必须综合各种影响因素，如经济性、可行性、环保等，并根据当地飞灰的特点，确定合适的处理方法。

#### 参考文献：

[1]黄庆,王伟,马东光,赵利卿,李惠.浅谈水泥窑协同处置生活垃圾焚烧飞灰技术[J].科技与创新,2023(06):140-142.

[2]李钦钦,冉根柱,张鹏.全国生活垃圾焚烧飞灰处置现

状及趋势分析[J].中国资源综合利用,2023,41(02):99-102+108.

[3]李胜春,朱春江.生活垃圾焚烧飞灰电熔法玻璃化工艺技术研究[J].玻璃搪瓷与眼镜,2023,51(02):7-12+6.

[4]刘锡军.生活垃圾焚烧飞灰无害化处理及资源化利用研究[J].皮革制作与环保科技,2023,4(01):108-109+112.

作者简介：赖建彬（1987.07），男，汉族，籍贯（省市）：福建上杭，职称：工程师，学历：硕士研究生，研究方向：固体废弃物处置