

# 城市垃圾焚烧烟气净化处理技术研究

李治民 张弛 李钊

深圳市宝安区深能环保有限公司

**摘要:** 在国内对城市生活垃圾进行处理的各种方法中, 由于焚烧处理技术可以实现无害化、减量化及资源化, 因此被许多城市普遍采用。但在实际操作过程中, 其所产生的大量烟尘等有害物质对环境造成了很大的危害, 引起了社会的广泛重视。

**关键词:** 污染物排放; 生活垃圾; 烟气净化; 措施

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.109

## 引言

目前, 在我国居民环保意识日益提高的情况下, 传统的生活垃圾燃烧产生的烟尘已成为众矢之的。所以, 在国家环保政策之下, 居民日常生活所产生的垃圾在完成焚烧作业之前, 都要对其进行烟气净化, 烟气净化技术在这其中起到了非常重要的作用。如何更好地运用这些技术, 是一个值得相关部门重视的课题。在这样的背景下, 本文重点讨论了城市垃圾焚烧烟气的净化技术, 希望能够帮助相关部门更好地认识到各项技术的综合特性, 这对于保证城市垃圾焚烧的环保有着非常重要的实际意义。

### 一、居民日常生活所产生垃圾焚烧烟气的主要特征

#### (一) 重金属

我国城市生活、生产过程中产生的城市生活垃圾焚烧烟尘, 其中重金属污染最为严重。由于燃烧时产生的高温会引起物质的分解和氧化, 从而使废物迅速地变小, 遗留下来的材料是不可燃的, 这就造成了很多材料的失重, 它们会随着空气飘散, 造成尘土污染, 而且其中还会有很多重金属。一般情况下, 生活垃圾中含有的尘埃和重金属, 以镉为主, 这些元素物质通过各种途径进入人体, 会导致致癌。

#### (二) 呋喃

在水中不溶解, 在油脂中溶解。但是, 这类物质往往含有许多含氯有机物的同系物或同分异构体。氯代有机物对人类有较高的毒害作用, 若长期暴露于空气中, 将会对人体造成严重的危害。生活垃圾在燃烧过程中会释放出大量的含呋喃类物质的烟气, 若周边地区有居民居住, 极易造成不良后果。

#### (三) 酸性气体

城市城市生活垃圾在完成焚烧作业后, 产生的烟气的主要成分包括了氮氧化物、硫氧化物以及氯化氢等, 其中以三氧化硫为、一氧化氮、二氧化氮、三氧化二氮为主。上述各种材料在燃烧结束时, 通过多种反应使其汽化, 并随后进入烟气中。此时因为该材料为酸性物质, 所以可以将垃圾燃烧后的烟气定性为酸气。由于酸

性气体对人类社会和环境造成了严重的危害, 因此, 必须采用烟气净化技术对其进行净化。

### 二、城市生活垃圾焚烧烟气净化处理技术

#### (一) 减少烟尘排放

目前, 垃圾焚烧的焚烧炉炉型主要包括两种, 一种是机械炉排炉, 另一种是循环流化床炉, 前一种是目前国内外的主流, 它的除尘装置基本上都是使用袋式除尘器进行处理, 而后者由于含尘量比较高, 所以一般都需要使用“旋风除尘器+袋式除尘器”的组合方式。采用预先涂粉尘、滤袋表面积附尘等技术, 再用袋式除尘器对有害气体、粉尘进行处理和过滤, 这样就能达到99%以上的灰尘脱除效果。此外, 它还能适应锅炉负荷变化和工况引起的风量波动, 保证长时间的高效稳定运行。

纤维编织物制成的滤袋是袋式除尘技术的核心, 在灰尘通过布袋进行过滤的时候, 通过拦截效应、惯性效应和扩散效应的协同作用, 气体中的大颗粒粉尘由于气体流速突然下降和导流装置迫使气流方向改变等原因, 会自然沉降, 直接落入灰斗, 其他的粉尘在导流系统的引导下, 会被吸附在滤袋外表面上, 然后当积灰达到一定程度时, 通过在线清灰装置, 被压缩空气振打落入灰斗, 再由除灰装置送入灰仓。经过净化处理的煤气已达到排放要求, 由上箱体及排气管道排放。

#### (二) 酸性污染物脱除

##### 1. 干法技术

在净化城市生活垃圾焚烧烟气的时候, 要想去除酸性物质, 可以使用干法技术, 干法也就是在脱酸的过程中, 所添加的原料和副产品都是干态的, 在垃圾焚烧中, 最常用的干法脱酸原料是熟石灰粉, 其副产品是与烟气中所含的HF、HCL、SO<sub>2</sub>等酸性气体发生反应后所生成的干态消石灰混合物。此法具有操作简单, 成本低廉的优点, 但在后期处理粉尘时有成本较高的缺点。

##### 2. 湿法技术

另外, 还可利用湿式处理技术对城市固体废弃物燃烧烟气进行处理。所谓湿法, 就是在脱酸过程中, 所使用的原料以及副产品都属于湿态。此技术具有提纯效率高的优点。但其不足之处在于其在使用时有一定的废液, 而且对温度的要求也比较高。在应用此技术时, 还需加装加热器。这样才能最大限度地发挥湿法工艺的效果。

##### 3. 半干法技术

在垃圾焚烧烟气净化过程中, 有关人员也可采用半干燥工艺除去酸类污染物。所谓的半干燥, 就是指用潮湿的原料来处理废气, 而副产物则是干燥的原料, 用来脱酸。比如, 在处理垃圾焚烧烟气时, 采用水化消石灰

溶液进行脱酸，所得产品与干法脱酸产品相同。而且还会与烟道中的酸气反应，形成干态的消灰剂。

目前，我国采用该技术时，多采用旋转喷雾半干法和循环悬浮式半干法，这两种技术可有效降低烟气中的有害物质含量，并满足超低排放标准，且投资成本低、对环境影响小。在使用过程中，应结合现场具体情况，在旋喷型与回旋悬浮型之间作出合理的选择。干法脱除与半干法脱除虽然名字相同，但在脱除工艺上却存在较大差异。两种工艺的不同之处是，半干脱酸需要在较高的温度下进行，在这种温度下，脱酸的效率会降低。半干式脱硫技术是以垃圾焚烧发电厂的烟气为原料，通过高温脱硫技术实现脱硫，而且这种脱硫技术需要的设备相对简单，所以得到了广泛的应用。虽然采用了湿法脱除硫酸的方法，取得了一定的效果，但在实践中仍有不足之处。

### （三）燃烧中控制技术

燃烧中间控制技术是指在产生源上对其进行控制，并采用多种技术手段对其进行优化，以降低其在燃烧过程中产生的 $\text{NO}_x$ 。低 $\text{NO}_x$ 燃烧技术是一种主要的 $\text{NO}_x$ 排放控制手段，已成功应用于国外焚烧炉，达到了降低炉膛中 $\text{NO}_x$ 排放的目标，从而减少了后续烟道气中的脱硝处理量，并降低了后续脱硝处理费用。生活垃圾焚烧系统中，燃烧区内的空气质量和温度对其产生有重要影响，目前普遍采用的方法是降低烟气温度，缩短烟气在高温区的滞留时间，降低高温区内的氧含量，降低高温区内的氧含量，降低高温区内的氧含量，从而实现对生活垃圾焚烧系统 $\text{NO}_x$ 的控制。

### （四）尾气净化

此外，在袋式除尘器的入口处设置一台活性炭喷嘴，向其喷出比表面积达到负载要求的活性炭，利用其对二噁英、重金属等污染物的吸附作用，使其在入口处保持约 $150^\circ\text{C}$ 的温度，使其在经过滤网时，残留的痕量二噁英、重金属等污染物会被活性炭粉体吸收，最终经过滤、回收、固化、稳定化等工艺处理后，再对其进行熔融、固化、稳定化等。

### （五）脱硝技术

#### 1. SNCR脱硝技术

SNCR是指将尿素、氨水等氨基还原剂注入到最佳的炉温，使其在炉温下快速分解，使 $\text{NO}_x$ 与其发生化学反应，而 $\text{NO}_x$ 则优先被还原。SNCR脱氮是在无催化剂的条件下进行的，通常情况下，还原剂的含量在10%以下。

#### 2. SCR脱硝技术

SCR是指在催化剂（铬、铁、钒、钴或钼等碱金属）的作用下，在 $170\text{--}450^\circ\text{C}$ 的条件下，将烟气中的 $\text{NO}_x$ 转换成氮气和水，因为还原剂有选择性，只与 $\text{NO}_x$ 发生反应，产生无害的 $\text{N}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ ，基本上没有与 $\text{O}_2$ 发生反应，从而实现烟气脱硝，只有很少的 $\text{SO}_2$ 会被氧化为 $\text{SO}_3$ ，所以被称作是选择性催化还原脱硝法。

在垃圾焚烧发电的操作过程中，不管使用哪一种还原剂，其化学反应都是相同的，首先在SCR反应器的上游将脱硝剂喷入烟气中，通过格栅使还原剂与烟气充分的接触反应，同时烟气的热量将还原剂蒸发，最终反应产生无害的 $\text{N}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ 。

### 3. SER脱硝技术

协效还原法脱硝过程（SER）是指利用变频调速送料装置，根据 $\text{NO}_x$ 排放浓度的变化，调节大分子脱硝剂的下料速率，再将其注入到炉中，在 $650\text{--}950^\circ\text{C}$ 的温度区间，与 $\text{NO}_x$ 发生反应，最终得到 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 等无毒气体，从而实现该过程。

### （六）烟气再循环工艺简介与技术特点

烟气回收技术是一种将高温空气燃烧、富氧燃烧、无焰燃烧等新型燃烧技术，并将燃烧后生成的烟气进行回收再利用的方法。它在城市生活垃圾焚烧中的应用，能够实现烟气中热量、可燃物等物质的有效利用，提高燃烧效率，减少对生态环境的污染。在实际生活垃圾焚烧作业中，将部分低温烟气从锅炉尾部抽吸至燃烧器入口，并与助燃空气进行混合，将其输送至炉膛中，以实现助燃与热流场的一体化。其中，减少污染物生成的基本原理是：利用烟气的低温低氧特点，将一部分烟气重新喷射到炉子里，能够有效地降低炉子里的局部温度，并在炉子里形成局部的还原氛围，以还原燃烧产生的氮氧化合物为基础，达到减少烟气中氮氧化合物含量的目的。

技术特点：将烟气再循环技术应用到城市生活垃圾焚烧工作中，经过炉膛和对流受热面的烟气量有所增大，这一现象的出现，使炉膛内的平均温度降低，炉膛内的辐射传热也降低，而炉膛出口附近的烟气温度没有明显变化。总之，采用该技术能有效地降低率塘内火焰区峰值温度，并对 $\text{NO}_x$ 生成起到抑制作用。同时，通过对烟气的回用，使炉内的氧和氮含量有所下降，从而抑制了 $\text{NO}_x$ 的生成，减少了 $\text{NO}_x$ 的排放。在烟道气资源化利用中，利用高温烟道气作为氧化剂与燃料的预热，降低了氧化剂与助燃剂的反应能耗。从数据上来看，在烟道回收率为15%~20%的情况下，燃烧室内的 $\text{NO}_x$ 含量会有所下降，大约能恢复到原来的25%

### （七）重金属与二噁英去除技术

垃圾焚烧也会排放出大量的有毒有害物质，如重金属、二噁英等，严重威胁着人们的身体健康。因此，有必要同时对二噁英和重金属进行脱除。采用化学沉淀、离子交换等方法对重金属进行处理。其中，化学沉淀法是指在水中，与沉降剂发生化学反应，产生沉降物，再由滤器将沉降物分离出来。离子交换法是采用一种新型的离子交换树脂，使其与重金属离子发生反应，并经再生装置进行再生。二噁英的脱除主要有活性炭吸附法、低温等离子体催化氧化法和催化剂吸附法等。其中，利用活性炭对烟道气中的二噁英进行有效的吸附，以实现

对其的净化。低温等离子体催化氧化技术是指在较低温度下,以较低的温度和较高的温度,对环境中的二噁英进行氧化和降解,从而产生对环境无害的污染物。

#### (八) 除尘工艺技术

烟气中存在着大量的微粒,必须通过一定的除尘技术才能有效地清除这些微粒。目前普遍采用的除尘技术主要有袋式、静电两种。袋式收尘器:袋式收尘器主要通过袋体的过滤作用来除去烟尘中的微粒。废气经预处理后流入除尘器内,经滤袋滤除微粒,由排气口排出洁净的废气。袋式除尘器由于其结构简单,操作简便,除尘效率高,在城市垃圾焚烧烟气的治理中得到了广泛的应用。电收尘器:它是通过电场的作用来捕获烟尘中的微粒。通过预处理,将烟尘送入电除尘器,在高压电场作用下,将荷电的尘埃粒子收集到电极上,并将其净化后的烟尘排出。由于其高效、稳定的特点,目前已被广泛地应用于城市固体废弃物燃烧烟气的治理。

#### (九) 智能检测系统

该系统能够实时监测烟气脱硝过程中各种污染物的排放特性,为进一步认识和提高烟气脱硝效率提供了一种有效的手段。利用该智能监控系统,实现了对炉膛中垃圾燃烧状况的在线监控,确保炉膛温度的合理控制,降低了二噁英及其他污染物的排放;在智能检测系统中,污染物监测系统能够智能地监控垃圾燃烧发电过程中的粉尘、酸性气体等,并对它们的含量进行判断,并结合实际情况,计算出在烟气处理过程中所需要的去除剂供给的数量,从而提升各种处理技术的应用精度,在预防烟气污染的同时,还可以节省烟气处理的运行费用。

### 三、垃圾焚烧发电烟气净化脱硫脱硝工艺优化措施

#### (一) 选择合适催化剂

在选择催化剂的时候,要对催化剂的性能进行全面的测试,在确定了催化剂的选择性和活性指标后,还要对不同种类的催化剂的使用效果进行分析和测试,并从中选择出最优的催化剂。通过对催化剂的活性指数的测定,可以确定反应速度的快慢。本项目拟将沸石负载到常规的沸石上,通过对沸石负载型沸石的研究,来实现沸石与沸石之间的协同作用,从而达到延长沸石的目的,为沸石在沸石上的应用提供理论依据。通过对催化剂的选择性指数的分析,可以清楚地了解催化剂对于复杂的化学反应的选择性催化作用。在进行综合分析工作时,可根据常用参数采用产率,明确催化剂选择性特征,产率高低与催化剂选择性效果成正比。应以催化剂的选择指数为依据,对催化剂的配制压力、温度进行有效的控制。在确定了各个方面的影响因素后,就需要制定出有效的控制措施,以提高催化剂的使用效果。

#### (二) 选择最优制备方法

在选择最优催化剂的时候,要对制备环节进行全面的监督和管理。使用不同的制备方法,所制备的催化剂

的应用效果会有一些的差别,以铜矾催化剂为基础,选用多组分浸渍法、浸渍沉淀法、共混法制备催化剂,从中选择应用活性最高、选择性能更好的催化剂制备方法。在对制备完成的催化剂进行应用效果分析时,通过程序升温还原装置和X射线衍射分析方法,对催化剂进行检测分析,得到TPR和XRD表征数值。经过各种数值比较和分析,确定了最佳的制备工艺。从最后的测试结果来看,采用浸渍沉淀法制备的复合系铜矾催化剂具有较高的活性和较好的选择性。

#### (三) 开展对照实验

在进行脱硫脱硝优化措施的验证时,可进行比较试验,比较分析不同条件下的脱硫脱硝工艺的应用效果。采用浸渍沉淀法制备复合系铜矾催化剂,将其作为备用,再按照传统的制备方法来制作催化剂,选择燃烧飞行仪器和脱硫脱硝反应器进行实验,通过对脱硫脱硝效率的对比分析,可以看出,不同的催化剂种类会对脱硫脱硝效果有一定的影响,实验温度和空速也会对催化效果有一定的影响。所以必须要控制好温度,以及最佳的空气速度,这样才能让催化剂起到最大的作用。

#### 结束语

垃圾焚烧是一项有效的治理方式,而其所产生的烟尘治理技术则是保证焚烧技术绿色环保的关键。目前,国内已建成了一批大型的垃圾焚烧发电厂,在此基础上,提出适合我国国情的垃圾焚烧技术。今后,要对焚烧发电技术进行更高的效率和更环保的要求,大力推行城市生活垃圾分类回收制度,减少焚烧垃圾的数量,以达到生态文明和可持续发展的目的。同时,应加大对垃圾焚烧发电企业的立法力度,加强对垃圾焚烧发电企业的监管力度,以保证垃圾焚烧发电企业的健康、有序发展。

#### 参考文献

- [1]潘俊萍,汤秀丽,刘浩.烟气一体化超低排放技术的应用与研究进展[J].资源节约与环保,2022(09):1-4.
- [2]解炜,李小亮,陆晓东,麻荣福,吴倩,吴涛,李龙.烟气净化用活性炭脱硫脱硝机理研究与发展趋势[J].洁净煤技术,2021,27(06):1-10.
- [3]冯志翔.垃圾焚烧发电烟气净化脱硫脱硝工艺应用[J].中国金属通报,2021(04):211-212.
- [4]温学友,赵毅,苗志加.Fenton氧化法进行烟气同时脱硫脱硝试验研究及热力学分析[J].河南理工大学学报(自然科学版),2018,37(04):68-75.
- [5]蔡晶晶,周亚东,张强,吴斌,王磊.活性焦一体化脱硫脱硝烟气净化技术应用[J].中国环保产业,2017(05):38-41.
- [6]苗博,吴东垠,牛国栋.某燃煤电厂烟气协同净化技术集成和运行效果分析[J].沈阳工程学院学报(自然科学版),2017,13(01):20-25.