

## 谈垃圾焚烧的处理

田秀英 刘海甲

(石家庄环祥环境设备有限公司)

**摘 要：**介绍了垃圾焚烧处理的概况、原理和作用。

**关键词：**垃圾焚烧；人能；尾气净化

众所周知，在垃圾焚烧过程中会产生大量的热量，使烧室产生烟气温度高达 850~1000，大量热能是相当可观的资源。在“节能减排”政策的影响下，科学处理垃圾焚烧就显得尤为重要。本文拟就此谈点看法。

### 一、烟气降温与热能利用

1.热烟气的降温。垃圾焚烧炉尾气冷却分为直接式和间接式。直接式分为风冷及水冷两种。风冷效果不明显，必须加入大量冷空气，会造成气量增大，增加尾气处理系统的工作负荷，间接地增加了技资及处理费用；水冷可以有效降低尾气的温度，产生的水蒸气不

会造成二次污染，是较为常用的冷却方式。

由于产生大量的水蒸气，加大了烟气的湿度，也给后期的尾气处理增加了难度。间接式冷却方式有空气预热器、废热锅炉、废热换热器等。间接式冷却方式最常用的方法是采用废热锅炉，它不仅可以达到降温的目的，而且能有效地回收并利用热能。

2.热能利用。废热锅炉(又称余热锅炉)是一种利用燃烧或化学程序尾气的废热为热源，以产生蒸汽的设备。其特点是：传热速率高、体积小、安装费用低，产生的蒸汽可供生产生活用。废热锅炉常用的有烟管式和水管式。

**责任编辑：**毛宁 柳静献 孙熙

烟管式即锅炉传热管内通过的流体为烟气，而水管式即锅炉传热管内通过的流体为水。废热锅炉主要有烟道式、炉锅一体式废热锅炉。采用烟道式废热锅炉的垃圾焚烧炉一般相对较小，利用废热锅炉只是进行热交换，降低烟气温度，废热利用率较低。锅炉一体式废热锅炉是将焚烧和废热锅炉合二为一的设备。这种形式一般是由余热锅炉的水冷壁构成垃圾焚烧炉的燃烧室和炉膛的全部或部分外壁。炉锅一体式废热锅炉与通常的工业锅炉相似。但由于主燃料的特殊性，它又不同于工业锅炉，对于各参数和局部结构等必须根据不同的垃圾进行相应的具体设计。同时要考虑到尾气中粉尘的性质、含量，磨损及腐蚀情况，烟气温度，以及利用蒸汽的方式。操作系统的稳定性要好，保证能源回收的价值要高于垃圾处理费用。

## 二、垃圾焚烧的尾气净化

对于大型垃圾处理厂，一般都具有良好的废热回收和尾气处理系统，烟气温度可以降低到除尘系统所能承受的温度。而对一些小型的垃圾焚烧设备，热能回收利用不易或几乎不可能，因此烟气在进入除尘系统之前，必须要经过降温设施。

在垃圾焚烧炉设计时一般都对焚烧产生的烟气充分考虑，根据实际运行情况看，有

些污染物成分在炉内焚烧过程中就可以去除或降低含量。如废气的脱臭在炉内 800~950℃，停留 1 s 左右即可去除；可能产生氧化氮的废物，应使炉内温度控制在 1500℃ 以下，如温度过高，可使 NO<sub>x</sub> 急剧产生：如炉内温度达到 850℃~900℃，氮氧化物几乎可以全部分解。

在垃圾焚烧炉的尾气净化中，单一除尘设备很难达到预期效果。大多数都采用多功能的综合除尘系统。例如：绍兴城东热电厂、南海环保发电厂都选用了多功能综合治理设施来处理垃圾焚烧炉产生的烟气。根据我公司的经验，下面介绍一种综合治理方式，步骤如下：

1. 降温。中小型焚烧厂多采用间歇式操作方式，产生热量较少，热能回收价值不大，可以采用喷水冷却方式来降低烟气温度。垃圾热值较大，燃烧连续稳定进行，宜采用废热锅炉进行冷却，回收利用热能。

2. 预除尘。为了延长滤袋的使用寿命，降低设备运行维护费用，建议在烟气进入袋式除尘器前考虑设置预除尘装置。可以选用尘降室或旋风除尘器等。

3. 袋式除尘器。袋式除尘器是效率较高的除尘器之一。随着滤袋制造技术的发展，许多新型耐高温、抗腐蚀、清灰性能优越的

滤料相继推广使用,使得袋式除尘器的应用范围越来越广。考虑到酸性气体的腐蚀作用,滤袋可以用熟石灰和特殊反应助剂作为预涂层。建议使用脉冲式布袋除尘器,过滤风速一般在 1.0 m/s,设计时应充分考虑保温和设备结露问题。

4. 气体净化装置。气体净化装置主要是净化尾气中的有机污染物,大多数采用湿式洗气法,例如配置填料吸收塔,根据污染物的成分,选用水、一定浓度的碱液等作为吸收剂,吸收有机废气。吸收塔设计时要注意

材料的选择和气体流速的控制。材料应使用有一定强度和抗腐蚀性的,气体流速不宜过大。保证废气和吸收液的接触时间。对于生活垃圾焚烧,通过上述工艺处理的尾气,基本上可以达到现阶段环保标准的要求。

随着焚烧技术的逐步完善,对垃圾处理基本实现了无害化、减量化,同时垃圾燃烧的热能可以高效地回收利用。垃圾焚烧尾气净化技术也日趋完善,良好的尾气净化系统是对垃圾焚烧技术推广的保证,是垃圾处理的重要组成部分。

## 垃圾焚烧发电烟气中的酸性气体净化工艺

董珂 赵昕哲 闫志海 张国立 杨忆楠  
(天津泰达环保有限公司)

**摘要:** 分析我国城市生活垃圾的组成,针对垃圾焚烧烟气中污染物的组成及排放标准,介绍烟气中酸性气体的几种净化工艺,及一项成功的工程实例。

**关键词:** 垃圾焚烧;净化工艺;烟气;酸性气体

### 0 引言

城市生活垃圾是城市生存与发展用所必须解决的问题,日前我国垃圾堆积量已高达 60 亿吨[1],已占用可耕地面积高达 5 亿平方米,仅此一项,直接经济损失就达 80 亿人民币。

垃圾焚烧处理的优点是减量效果好,焚烧后的垃圾体积减少 90%,重量减少 80%。同时可以有效利用焚烧余热供暖或直接发电,从而使垃圾成为新的资源,并同时实现城市垃圾减量化、无害化和资源化,故其具有较高的社会价值与经济价值。

在城市生活垃圾焚烧过程中产生的烟气

含有大量的污染物[2]，如 HCl，HF，SO<sub>2</sub>，NO<sub>x</sub>，CO，重金属（Pb、Hg）和二恶英等。为了避免二次污染，必须对垃圾焚烧烟气进行净化处理。

### 1 垃圾焚烧烟气的主要成分

我国城市生活垃圾的组成一般包括[3]：动植物残体、塑料、草木、织物、玻璃、金属及灰分等。可燃的固体废物基本上是有机的，由大量的碳、氢、氧元素组成，有的还有氯、硫、磷和其它卤族元素等。这些元素在焚烧过程中与空气中的氧发生反应，生成各种氧化物或部分元素的氯化物。

生活垃圾的组成决定了焚烧烟气中污染物的原始成分和浓度。研究资料表明：我国城市生活垃圾焚烧烟气中的污染物成分以颗粒物、HCl、NO<sub>x</sub> 为主，SO<sub>x</sub> 的浓度很低，即使不予控制，也可以达到国家规定的排放标准。对于有机类污染物和重金属的原始含量，国内还没有做过系统的测定试验。由于目前我国生活垃圾尚未通用分类收集方式，塑料含量高，且有少量含重金属的废弃物，如电池、日光灯管等，估计焚烧烟气中的有机类污染物和重金属的含量较高。因此，生活垃圾焚烧烟气中重点控制的污染物应为颗粒物和 HCl，并尽量减少有机氯化物和重金属的排放。

酸性气体[4]来源于垃圾中特定成分燃

烧的结果。氯化氢（HCl）是由垃圾中有机氯化物燃烧产生的，PVC、塑料及漂白纸张为垃圾中含氯最高的物质，是烟气中 HCl 的主要来源。氟化物（HF）主要来自垃圾中的氟碳化物的燃烧，如特氟龙、聚氟薄膜及其它氟化物。

垃圾中橡胶及含硫化物在燃烧过程中可被氧化，生成 SO<sub>2</sub>。一部分 SO<sub>2</sub> 可能来自垃圾无机硫化物的解离还原。SO<sub>2</sub> 可进一步在炉体或烟囱排出后氧化成 SO<sub>3</sub>，当废气的温度下降，部分 SO<sub>3</sub> 还将和水蒸气反应而形成硫酸（H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>）雾滴。

### 2 烟气净化工艺

烟气净化工艺按垃圾焚烧过程产生的废气种污染物组分、浓度及需要执行的排放标准来确定。在通常情况下，烟气净化工艺主要针对酸性气体（HCl、HF、SO<sub>x</sub>）、颗粒物、重金属及有机毒物（二恶英与呋喃）等进行控制，其中酸性气体脱除和颗粒物捕集是工艺设计的关键。

#### 2.1 酸性气体的净化工艺

酸性气体的去除技术[5]可分为：湿法、干法及半干法三类。酸性气体中的氮氧化物很难用常规的方法去除，但可以通过调整焚烧炉内燃烧温度，控制其排放量在 GB18485-2001 标准的限值（400mg/Nm<sup>3</sup>）以内。

### 2.1.1 干法净化工艺

与酸性气体反应和去除反应产物均在干状态下进行，具有流程短、无污水排出、设备庞大等问题。具有代表性的技术有：氧化铜流化床式反应法、SNRB 烟气净化法、电子射线辐射法(EBA)等。这种方法在 20 世纪 80 年代前采用较多[4]，随着日趋严格的环保标准的推出，其应用已越来越少。典型工艺组合为干法吸收反应塔和袋式除尘器的组合。

焚烧产生的烟气直接进入干法吸收反应塔，与反应塔内喷入的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  微粒发生化学中和反应，生成无害的中性盐粒子，再进入下游的袋式除尘器，在除尘器里，反应产物连同烟气中粉尘和未参加反应的吸收剂一起被捕集下来，达到净化目的。该法对 HCl 的去除率一般为 80~90%。

干法净化工艺简单、投资较低，不产生废水，设备腐蚀小，烟气温度高，不产生白烟。缺点是药剂用量大，过量系数一般达到 3 以上，除酸效率只有 50~80%，为了适应越来越高的环境要求，已较少采用此方法。

### 2.1.2 湿法净化工艺

液体或者浆状吸收剂在湿状态下与酸性气体反应并去除反应产物[5]，具有反应速度快、设备简单、去除效率高等优点，但普遍存在设备腐蚀严重、反应后的污水易造成二

次污染和运行维护费用较高等问题。具有代表性的技术有：石灰浆液洗涤法、氧化镁法、双碱法、海水脱硫法等。

该工艺在少数经济及技术发达的国家应用较多[4]，典型工艺组合为湿式洗涤塔和袋式除尘器的组合。

湿式洗涤塔对于  $\text{SO}_x$  及 HCl 控制可获得最佳效果，其吸收效率是由酸性气体扩散至碱性吸收液滴的速度所控制，设计时须强调增加气液相接触的面积及时间，以及增加提升液滴中吸收剂的浓度。

湿式洗涤塔所使用的碱液通常为 NaOH 溶液或石灰 ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) 溶液。因消石灰价廉，通常使用消石灰溶液为主。消石灰溶液与酸气反应后形成钙盐，其循环洗涤水须经澄清浓缩及过滤，以防止在设备中沉积。

湿式净化工艺最大的优点是酸去除率高。国外实绩验证：对 HCl 去除率可达 95% 以上，对  $\text{SO}_2$  亦可达 80% 以上，对各种有机物燃物及重金属有较高的去除效率。缺点是产生含高浓度无机盐及重金属的废水，需处理达标后方可排放，设备投资、运行费较高。

### 2.1.3 半干法净化工艺

结合了湿法和干法净化工艺的部分优点。吸收剂在湿状态下与酸性气体反应、在

干状态下处理反应产物，去除效率高且不产生废水。具有代表性的技术有：喷雾干燥法、Cool-Side 法和 GSA 法等。其中喷雾干燥法较为成熟、可靠，可以应用于垃圾焚烧烟气处理。

该工艺是目前国内外垃圾焚烧厂普遍采用的一种垃圾焚烧烟气处理工艺。其吸收剂主要采用  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  溶液，典型工艺组合为喷雾干燥反应塔和袋式除尘器的组合。

石灰浆制备系统制成的  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  溶液由喷嘴或旋转喷雾器喷入反应塔中，形成粒径极细的碱性泥浆，由水分的挥发以降低废气的温度并提高其湿度，使酸气与石灰浆反应成为盐类，掉落至底部。烟气和石灰浆常采用顺流设计，亦有少部分使用逆流设计，无论采取何种流动方法，其主要目的均为维持烟气与石灰浆微粒充分反应的接触时间，以获得高去除效率。携有大量粒状物的烟气从反应塔出来进入下游的袋式除尘器，部分未反应的石灰附在滤袋上与通过滤袋的酸气再次反应，使去除效率进一步提高。

半干法净化工艺按喷雾器的喷雾方式分为 2 类[3]：即旋转喷雾器和双流体喷雾器。旋转喷雾器工作时，喷嘴盘以高速转动将吸收剂溶液雾化成细滴，与烟气中的酸气发生反应，起到除酸作用。旋转喷雾器是该工艺的核心部件。在双流体喷雾器的工艺流程中，

未处理的烟气经烟气分配器进入反应塔，形成对称旋流场，与喷雾器喷出的雾化  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  液滴混合，从而与烟气中的酸气发生化学反应。

旋转雾化喷嘴雾化效果较好[5]，但因为有高速旋转部件，所以结构复杂，容易堵塞和磨损，设备价格和维护费用较高。双流体喷雾虽然雾化效果较旋转雾化喷嘴稍差，但构造简单，不易堵塞，使用寿命较长，目前得到了广泛的应用。在工程设计中，应根据实际情况选用适宜的雾化器。

在设计中应注意雾化喷嘴的喷雾形状和反应塔结构尺寸的匹配，并在操作时注意控制石灰浆的加入量，以减少反应塔壁面被固体反应产物附着和堆积，可以考虑在塔内壁敷设涂层以防止塔体的腐蚀和磨损。反应产物沉降在塔的底部易发生板结而影响出灰效果，所以在设计出灰装置的时候应给予重视，并在适当位置设置检修孔。

在半干反应塔的后面布置有袋式除尘器，其工作原理[6]是利用布袋滤料纤维的拦截作用使滤袋上面先附上一层粉尘，再用附着的一次尘过滤二次尘，也就是用粉尘过滤粉尘，因此净化效率高。来自反应器的含尘烟气进入除尘器后，粉尘被一次尘捕集在滤袋外，净化后的气体从滤袋内部自下而上进入净气室，然后经过引风机从烟囱排入大气。

可提高脱硫效率 10%以上[5]。

此工艺的特点是：(1) 雾化的细颗粒既进行着酸性气体从气相向雾滴表面的传质[3]，又进行着酸与液滴上  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  的反应，同时雾滴水分被蒸发；(2)  $\text{HCl}$ 、 $\text{HF}$  及  $\text{SO}_2$  的气膜传质效率和酸性气体通过反应生成物层的扩散效率影响和决定  $\text{HCl}$ 、 $\text{HF}$  及  $\text{SO}_2$  的净化效率。为确保污染物有效去除，烟气在反应塔中的停留时间应不小于 12 秒。与湿法净化工艺相比，该工艺系统简单、有效，且价格便宜。

半干法净化工艺  $\text{SO}_x$  去除率高，对  $\text{HCl}$  的去除率可达 90%以上，对重金属去除率可达 99%（汞除外）以上，药品用量少，不产生废水，缺点是喷嘴易堵塞，烟气温度下降，产生白烟。

## 2.2 小结

以上 3 种工艺各有特点：湿法净化工艺污染物去除效率高[3]，但工程投资和运行费用很高，发展中国家难以承受；干法净化工

艺虽然去除率偏低，但工程投资和运行费用低，适合于大气污染物排放标准相对较低、经济不太发达的国家和地区，并且随着新设备的开发应用，仍有较大的发展前途；半干法是介于干法和湿法之间的工艺，不但能达到较高的污染物去除效率，而且运行费用较低，但它要求操作者有较高的操作水平，需要长时间的实践经验才能达到理想的应用效果。

## 3 工程实例

天津泰达环保有限公司承建的双港垃圾焚烧发电厂，位于天津市津南开发区双港镇西，2005 年 5 月正式运行。无害化处理生活垃圾能力 1200 吨/天，利用焚烧垃圾的余热发电，年上网发电量 1.2 亿度，实现了垃圾的减量化、无害化和资源化。

对于工艺流程中的关键问题——烟气处理，采用“半干式吸收塔 + 活性炭 + 袋式除尘器”的组合工艺，烟气净化工艺流程如下图所示。

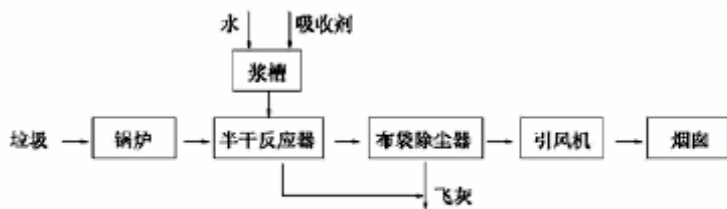


图 1 烟气净化工艺流程图

系统运行后，污染物排放浓度见下表。

表 1 烟气净化参数对照表

项目	中国标准	欧盟标准	实测值
烟尘 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	80	5	<3
烟气黑度 (林格曼黑度, 级)	1	—	
一氧化碳 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	150	50	<35
氮氧化物 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	400	80	<150
二氧化硫 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	260	50	<115
氯化氢 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	75	10	<50
汞 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	0.2	0.05	<0.2
镉 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	1	0.05	<0.1
铅 ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	1.6		<1.5
二恶英类 ( $\text{ng}/\text{m}^3$ )	1	0.1	0.065

由工程实例可知,上述工艺能有效去除各种酸性气体、二恶英及有害重金属,系统净化后的污染物浓度远远优于我国规定的排放标准,某些排放指标达到欧盟的标准,达到了居民区的环保要求。

#### 4 结论

焚烧垃圾并利用其余热发电,是处理城市垃圾最先进的方法之一。但在建造垃圾焚烧发电厂时,应在控制好重点烟气污染物排放、满足国家环保总局颁布的生活垃圾焚烧污染物控制标准(GK-WB3-2000)规定的排放限值的前提下[3],结合本地具体情况,选择合理的烟气净化系统。

考虑到我国目前日益严格的排放标准和今后的发展[4],推荐采用“喷雾干燥吸收+袋式除尘器”的半干式组合净化工艺作为烟气净化的主要工艺;另外考虑到 $\text{NO}_x$ 及重金属、有机毒物的控制,增设(预留)选择性非催化还原法位置及增设活性炭喷射吸附

装置作为补充和完善。

参考文献:

- [1] 王芳,侯万东,刘晓勤.城市生活垃圾焚烧烟气的新式净化工艺处理效果[J].制冷与空调,2005.2:56-59.
- [2] 张记市,谢刚,王华.垃圾焚烧烟气净化处理技术[J].环境技术,2002.6:26-30.
- [3] 胡德飞,孙云生.垃圾焚烧发电中烟气净化系统的选择与分析[J].中国电力,2002,35(11):79-82.
- [4] 张蕴.生活垃圾焚烧烟气净化工艺探讨[J].制冷空调与电力机械,2005.1:70,73-75.
- [5] 杨华,薛东卫,赵运武,等.浅论垃圾焚烧烟气处理技术[J].机械,2003,30(5):4-6.
- [6] 鲁钢.半干法袋式除尘器净化垃圾焚烧烟气技术[J].环境科学动态,2005.3:38-40.
- [7] 张益,赵由才.生活垃圾焚烧技术[M].北京:化工出版社,2001.