

(10) 55-57

垃圾焚烧过程特性及焚烧炉设计概要

The Features of Refuse Incinerating Process and the Sketch of Incinerator Design

屈超蜀

Qu Chaoshu

(重庆大学资源综合利用工程中心, 重庆, 400044, 59岁, 男, 教授)

X. 705

摘要 介绍了国内生活垃圾的特点及焚烧过程的干燥、燃烧和烧尽三个阶段的规律, 针对焚烧特性和焚烧炉运行的实践经验, 提出了焚烧炉设计的要点。

关键词 垃圾; 垃圾焚烧; 焚烧炉

中国图书资料分类法分类号 X705

设计 生活垃圾

ABSTRACT This paper presents the important features of incinerating living refuse and the regularities of incinerating process in drying, burning and burning up stages respectively by the author in laboratory and practise operating in incinerator for many years, and gives the sketch of advances in design incinerator.

KEYWORDS refuse; refuse incineration; incinerators

0 引 言

城市生活垃圾的处理是全球性的环境问题之一。我国城市生活垃圾 1995 年的产量已逾 1.2 亿 t, 然而, 处理率仅为 1/3 左右。有二百多个城市处于“垃圾围城”的困境。城市生活垃圾的无害化、减容化已成为政府和公众非常关切的问题。在几种常用的处理方法中, 由于焚烧法的无害化程度高、减容量大、处理及时、占用场地小、工业化方式生产、二次污染易于控制等一系列优点而被各发达国家推崇, 成为当今处理垃圾的主要方式。国外工业性的大规模焚烧法处理至今已有 60 年左右的经验。然而在我国, 从 80 年代开始, 我们进行了较有系统的对城市生活垃圾的热力过程特性研究, 取得了许多科研成果^{*}。本文着重介绍我国垃圾的焚烧过程特性及焚烧炉设计的要点。

* 收文日期 1996-09-09

** 1 四川省科学技术成果, “城市有机固体废物热解回收能源的试验研究”, 重庆大学, 登记号 90-761, “城市生活垃圾热力处理过程特性”, 重庆大学, 登记号 93-349

1 四川省科学技术成果, “1000 kg/h 机械引用分段焚烧炉”, 重庆大学, 登记号 93-349

1 中国城市生活垃圾的特点

城市生活垃圾是社会生产不可避免的,它的构成与多个因素有关:

1.1 城市能源结构

它主要表现在生活垃圾中无机物所占的比例大小不同。其表现是垃圾中的煤灰渣多与少。若该城市是以煤为主燃料,则垃圾中的无机物百分含量约在 70%~80%,如果该城市主要是烧气或电气化,则有机物比例可上升到 60%~70%,如果主要是燃气,尚有部分商业或集体事业用煤,一般有机物与无机物基本上是各半。我国城市能源目前仍以燃煤为主,故多灰。

1.2 城市大小与经济发展水平

大城市与小城市相比,大城市经济越发达,除了垃圾量增加外,垃圾组成的结构也向有机物比例增高方向发展。它表现为商业性的包装物,各种塑料、纸类的含量增加。经济发展,人们生活依赖商品更多,发达国家与发展中国家垃圾组成之不同正是遵循这一规律。

1.3 地域性差别

垃圾的组成对幅员辽阔的我国来说差异较大。南方城市的有机物比例明显高于北方城市。这是由于南方气候给居民提供了更多的蔬菜和水果,从而导致南方垃圾组成中有机物比例高于北方地区。

1.4 节季

主要导致垃圾的水分变化,显然,由于夏季雨量高于冬季,故夏季垃圾含湿量较高。

1.5 收集管理方式

直到目前我国尚无一个城市实现了垃圾分类收集。因此,给垃圾的处理带来了极大的困难。随着人们生活水平的提高,商品包装的大量推出,加上有些废品收购的利润下降,导致垃圾中可回收的废品增加。如果推行分类收集废品,则垃圾的组成必将发生变化。

综上所述,各种影响垃圾组分的因素,结合我国的实情,不难看到现实我国的生活垃圾总的特点是“多灰、多水、低热值”。

对这种混合垃圾的处理,国内在 90 年代前,主导倾向认为适合堆肥和填埋。而对焚烧法处理,普遍有三点疑虑:一是可燃成分低,不宜燃烧;二是有鉴于国外设备贵,采用焚烧处理投资运行成本高;三是担心焚烧会对大气产生二次污染。然而,正是由于我们对中国城市生活垃圾多年的基础研究,认为我国的生活垃圾在焚烧前先经过分选过程,将大量的煤灰渣、泥土瓦砾除去后(这部分采用填埋,不致造成太大的污染和危险),其垃圾的有机成分会大大提高,它主要是厨余植物性物质和商业性包装物。尽管这种分选垃圾水分较高,但只要保证水分 $W^a < 50\%$,灰分 $A^a < 20\%$,热值 $Q_{hw} > 4120 \text{ kJ/kg}$,就可以不需辅助燃料而保证其自身燃烧^[1]。这一研究结论,已在四川省多家垃圾焚烧炉中得到很好证实。即在焚烧工艺前,经过分选工艺生产线,除去大量的煤灰渣和尘土后,送入焚烧炉,在不外加辅助燃料的情况下实现了自身焚化。这就解决了中国城市生活垃圾能否实现焚烧处理的第一个疑虑,结论是肯定的。至于投资高、运行成本高的问题,是指引进国外设备而言。我们研制的国产焚烧设备正是为解决这一问题,以适应我国的垃圾特点和我国的经济发展水平。从目前研制开发的 LJ

—80 机械化焚烧炉*的售价而言,只相当于国外同容量设备价格的 1/8~1/10. 国内垃圾与国外垃圾焚烧有很大的不同点是我们焚烧的垃圾中含 S、F、Cl 的成分的高分子化合物成分很少。因此,焚烧后的烟气成分与国外焚烧炉排出的烟气成分大不一样。现将 1996 年 6 月在泸州市垃圾处理场测得的烟气主要成分列于表。

附表 泸州市垃圾处理场焚烧炉烟气主要成分表

项 目	平均排放量 kg/h	评价标准** kg/h
SO ₂	0.65	25.50
NO _x	0.20	10.80
NH ₃	1.03	无
HCl	0.73	1.56
CO	11.20	206.70
苯	0.02	5.61

综上所述:中国城市生产垃圾完全可以走焚烧处理之路,而且必然得到很快的发展。

2 焚烧过程

从工程技术的观点看,物料从送入焚烧炉起,到形成烟气和固态残渣的整个过程,总称为焚烧过程。它包括了三个阶段:第一阶段是物料的加热干燥阶段;第二阶段是焚烧过程的主阶段——真正的燃烧过程;第三阶段是燃尽阶段,即可燃质最后燃尽生成固态残渣的阶段。3个阶段并非界限分明,尤其是对混合垃圾之类的焚烧过程更是如此。从炉内实际过程看,一道送入的垃圾物料中,有的还在预热干燥,而紧邻的其它物料已开始燃烧,甚至已燃尽。对同一物料而言,物料表面已进入燃烧阶段,而内部还“湿可出水”等待加热干燥。这就是说,由于垃圾物料的成分多种多样和几何尺寸的千差万别,它的焚烧过程就比燃烧煤、油、气之类的化石燃料复杂得多。这里,仅就采用最多的层燃燃烧方式进行讨论。

2.1 干燥阶段

对机械送料的运动炉排而言,从物料进入炉内起到物料开始析出挥发分着火这一段,可认为是干燥阶段。分选后的垃圾组分,有机物含量较高。中国现时垃圾中的有机物,绝大部分是高水分的植物类物质。加之垃圾这类物质的形态,表面积和空隙率均相当大,更有利于蓄集外部水分,因此,实际入炉的垃圾水分,经常大于 50%,这样,整个焚烧过程的干燥任务就非常重。送入炉的物料,受到炉内高温烟气的辐射、对流传热、已燃烧垃圾的直接接触传

* I “LJ—80 机械化焚烧炉”,已于 1995 年在泸州市垃圾处理场投入运行

** 标准引自 DB51/186—93

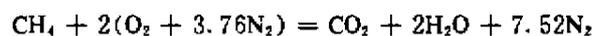
热, 物料温度逐渐增高。相对于物料表面温度的水蒸汽饱和压力也开始增高。当高于外界介质的水蒸汽分压力时, 物料层中的水分以蒸汽的形式向外扩散。如果这时加强引风, 将这部分扩散出的水蒸气及时引走, 则干燥过程将加快, 否则这部分水分将妨碍物料表面的水分析出, 或者这部分水蒸气又重新凝结在其它较冷物料的表面, 造成干燥过程减缓。因此, 在干燥过程中物料的翻动和加强引风是至关重要的。研究结果表明, 加热干燥阶段的通风其效果排序在提高干燥介质温度, 增加干燥时间, 适当细化物料诸因素之前。当物料温度增高到 100℃ 左右, 相当于处于常压的饱和态时, 物料中水分大量蒸发, 物料不断干燥。物料在此时温度也不再上升, 直到水分基本析出完毕。正是由于物料中的水分是以蒸汽形式析出的, 所以干燥过程需外界提供大量的热量——水的汽化热。干燥过程是吸热过程, 因此水分越高的物料, 所需的干燥热量越多, 从而使炉内温度降低或干燥时间加长, 这都会影响焚烧阶段, 最后影响整个焚烧过程。

2.2 焚烧阶段

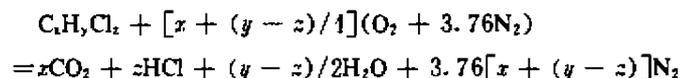
物料基本完成了干燥过程后, 如果炉内温度足够高, 且又有足够的氧化剂, 物料就会很顺利地进入真正的焚烧阶段。焚烧阶段不是一个机械的顺序过程, 也不是一个简单的氧化反应。在此阶段中, 一般包括了三个同时存在的化学反应模式, 即: 强氧化反应, 弱热解和弱的元素基团能量跃迁^[2]。

2.2.1 强氧化反应

这指的是产生大量热量和发光二者皆备的快速氧化过程。如果用空气作氧化剂, 则碳 C 和甲烷 CH₄ 的氧化反应如下:

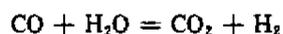
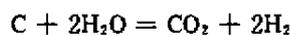
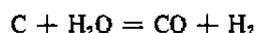
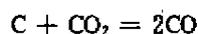
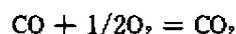
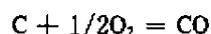
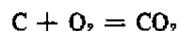


焚烧一个典型有机废物 C_xH_yCl_z, 在理论完全燃烧状态下的氧化反应式为:



式中, x、y、z 分别是 C、H、Cl 的原子数。

上面引出的几个典型氧化反应都是完全氧化反应的最终结果。其实, 在这些反应中, 还有许多中间反应, 即使是碳的反应, 也还会出现若干形式。如:



.....

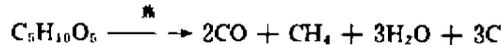
以上所述, 说明一种氧化反应其内涵也是很复杂的, 这里只用一个强发热发光去概括其表现现象。

2.2.2 热解

热解是有机物的热力降解过程。它是在无氧或近乎无氧条件下, 利用热能破坏含碳高分

子化合物元素间的化学键,使含碳化合物破坏或进行化学重组。

在焚烧阶段中,固态物料直接与氧化介质进行强烈的氧化反应的情况并不是那么容易。对于一般有机固体废物而言,受热后总是先进行热解,析出大量的气态可燃气体成分,例如垃圾成分中大量常见的纤维质,其热解反应可表示如下:



一般有机物热解后,多半生成小分子的 CO 、 CH_4 、 H_2 ,或分子量较小的 C_mH_n 等气态物质或残炭 C 。这些小分子气态可燃混合气体与氧化介质混合接触,进行均相燃烧就容易得多。热解过程有时也称为挥发分析出过程。挥发分析出的温度区间很宽,一般在 $200\sim 800^\circ\text{C}$ 的范围内。同一物料在不同的温度区间下,热解析出的成分和数量均不相同;不同物料,热解析出量最大时和析出完毕的温度区间也各不一样。因此,焚烧城市混合垃圾时,要注意热解过程在炉内的什么区段,或在什么温度区间发生是很重要的。此时,应将这些气态可燃物即时引燃燃烧,特别要注意热解过程会产生某些有害成分,这些成分如果没有充分被氧化燃烧,则必然成为有害的不完全燃烧产物,造成严重的二次污染。

2.2.3 原子基团能量跃迁

焚烧过程出现的明亮火焰,实质上是高温下,富含原子基团的气流,它们的电子能量跃迁以及分子旋转和振动产生的量子辐射。它包括了红外的热辐射、可见光以及波长更短的紫外线。火焰的性状,取决于温度和气流的组成。通常温度在 1000°C 左右就能为形成明亮的火焰提供能量保证。气流包括了原子态的 H 、 O 、 Cl 等元素,双原子的 CH 、 CN 、 OH 、 O_2 等,以及多原子基因的 HCO 、 NH_2 、 CH_3 ……等极其复杂的原子基团。在火焰中,最重要的连续光谱是由高温碳粒发射的。

在实际的炉内过程中,我们很容易观察到大量像浓烟一样的热解气体析出,以及在燃料层上热解气与氧化介质的均相燃烧,和从燃料层上直接串出的火焰。这些都属于焚烧阶段的内容。

2.3 燃尽阶段

当物料在主焚烧阶段进行强烈的发热发光氧化之后,参与反应的物质浓度自然就减少了,反应生成惰性物——气态的 CO_2 、 H_2O 和固态灰渣增加。由于灰层的形成和惰性气体的比例增加,氧化剂穿透灰层进入物料深部与可燃物进行反应也愈困难。整个反应减弱。温度较之焚烧段下降,这就是燃尽阶段的到来,直到整个剩余可燃质烧尽。然而,焚烧生活垃圾有一特殊的规律,即在主焚烧阶段,当物料温度较高时,在料层底部会形成大量的焦块,其尺寸大的长度可达 $800\sim 1000\text{mm}$,厚度一般都有 200mm 左右。它使下部送风受到阻碍,燃烧减缓。此时,必需破坏这一焦块,以使料层得到供风。垃圾燃尽后形成的渣块尺寸较燃烧焦性煤形成的渣块更严重,松散小尺寸 $<100\text{mm}$ 占全部灰渣的比例估计不足 20% 。这一特有的结渣现象经初步分析与以下两个因素密切相关。

一是垃圾成分中有大量的低熔点物质,如各种高分子化合物,加上垃圾中含有大量的煤渣、尘土、碎玻璃陶片等。当垃圾进入主焚烧阶段时,各种高分子化合物就软化缩合,将大量的灰分粘在一起,形成大的块状混合物。

二是这种成团的缩合物,在燃烧过程中,供氧不充分,可能处于还原或半还原气氛中,这就使无机物灰渣熔点降低,从而形成结渣。

3 生活垃圾的焚烧过程特性对焚烧炉设计的要求^[3]

生活垃圾焚烧炉与燃煤炉的设计有较大的区别,这里只讨论层燃燃烧方法。

3.1 进料方式

垃圾层燃焚烧方式均应采用厚料层。这里因为垃圾的容重小,单位重量垃圾的发热量又不大。为保证焚烧炉炉排一定的燃烧面热强度,又不致使炉排运行速度过快,因此,就必需采用较厚的料层。从实际运行经验和与国外的资料对比,较为合适的进料厚度,即进入层燃炉排的料层高,以500~600 mm为佳。

3.2 干燥设计

根据入炉垃圾的含水量,以及采用何种方式干燥,来计算干燥过程所需的热量。如果水分太高,炉温降低太大,甚至严重影响着火燃烧,此时需投入辅助燃料,以提高炉温和加强干燥,改善着火条件。也可采用干燥段与焚烧段分开设计:一方面保证干燥段产生的大量水蒸汽不与高温燃烧段相干,以保证燃烧段的高温水平,使燃烧段有良好的着火燃烧条件;另一方面干燥吸热是取自完全燃烧后的烟气,燃烧过程已在高温下完成,再取其燃烧后的烟气作为热源,就不致影响燃烧段本身。焚烧高水分垃圾的焚烧炉,其设计的好坏,很大程度上要看干燥段设计如何。

3.3 炉排及供风设计

在固定式炉排的手燃焚烧炉中,由于加料是从上至下直接置于燃料的料层,前面已提到过,由于在燃尽段会形成大块焦团,因此,采用大通风截面的炉条或炉排是必需和可行的。在实践中,这种炉条式的通风截面比大到50%~60%。它既满足了供风要求,也不会出现太多的物料漏落。然而在采用运动式炉排上,由于物料的送入是直接到炉排表面,既要保证和满足送风要求,尤其是考虑到焚烧主阶段在高温下会形成大块焦渣阻碍送风的情况,又要注意物料在未燃时的少漏落,因此,炉排应注意采用有翻动物料层功能的结构,推荐通风截面比在15%~20%左右。在整个焚烧过程中实行不同区段的分段送风。

3.4 炉膛设计

最好采用不冷却燃烧段炉膛设计,将燃烧和传热两功能分开。这样可保证垃圾物料的完全燃烧。在燃烧段炉膛设计上,采用高的炉膛热强度,在结构上采用低拱,有利于热解气体在燃烧室的充分混合燃烧。这在LJ-80焚烧炉上证明是完全成功的。

3.5 除渣设计

前述垃圾的这种强结渣性,在炉子出渣设计上应给以充分的注意。这种渣的水淬性能并不好,因此,在除渣问题上可采用链板式宽大开口的出渣设计,当然亦可采用选破碎后除渣的方式。不过前者更简捷些。

参 考 文 献

- 1 屈超蜀,唐炜柏,代贵编著. 城市垃圾处理工程. 重庆:重庆大学出版社,1994. 89
- 2 Lee C C, Huffman, Incineration of Solid Waste, Environmental Progress, 1989, 8(3), 143~151
- 3 J. G. 辛格主编. 锅炉与燃烧. 北京:机械工业出版社,1989. 281