

专论与综述

城市垃圾气化处理方法探索

闻 望 王宝生 修同斌 倪双跃 吴家正 李世巍 钱慧芬

(同 济 大 学)

一、前 言

城市垃圾排放量大,组分复杂,既难处理,又难利用,成为当前城市建设和管理中迫切需要解决的一大难题。

处理城市垃圾的方法不少,早先多侧重于防止公害方面。七十年代以来,由于能源危机的冲击,各国对物资回收和能源利用更加重视,从而对垃圾处理方法的研究逐渐由消极的处理转向积极的利用,即走资源化的道路。我国提出了城市垃圾“三化”,即无害化、资源化(包含能源化)和减量化的方针,这是完全正确的。

目前处理城市垃圾的方法主要有填埋、高温堆肥、厌氧发酵、制造衍生燃料、压缩、焚烧、热解以及气化等。但其中有些方法回收能源还不充分^[1,2],有些方法投资较大^[3],有些方法产生二次污染较严重^[4-6]。杰克逊认为从能源回收和污染控制等各方面综合比较,气化法和热解法比焚烧法更为有利^[7]。热解法是有机物在缺氧条件下受热分解的过程,产物有气体、液体、固体三种,它们的比率视热解工艺类型而定,气体的发热量较高,可供工业或民用作燃料;液体包含焦油、轻油等,可进一步加工制成各种化工产品;固体可作燃料或炭制品原料,但热解工艺复杂,设备系统投资很大,须大规模生产才可能合算。此外,在气体净化和液体回收系统中排出大量废水不易处理,是这类厂的一大难题。气化法是把垃圾投入气化炉内在空气等作用下

产生燃气的方法。燃气的发热量为 4.2—10.5 MJ/m³,视气化剂和气化炉类型不同而异。由于各种燃气的燃烧温度都在 1000℃ 以上,故用途广泛,可在各种生产过程中以及生活上使用。由于气化法的产品单一,后处理系统较简单,投资较低。作者认为它与热解法相比,更适合于我国目前的技术经济水平。因此作者以气化处理方法作为研究目标,从收集垃圾、分析成分开始,对气化法的技术经济可行性作了研究探讨,得到一些结论,供有关部门参考。

二、城市垃圾发热量的确定

为了判别一个城市生活垃圾实行气化处理的技术可行性,首先必须确定该种垃圾的组分和发热量。已有不少文献报道了一些城市的垃圾成分和发热量^[8-10]。但国外的城市垃圾成分毕竟有别于我国,而且大多数公布的数据没有注明换算基准,不便应用。因此作者在上海市环境卫生局和环境卫生研究所支持下采集了本市某区五个居民点的垃圾进行试验。这些居民点都以城市煤气为家用燃料,但建筑类型不同,居民生活水平和习惯略有不同。试验工作的第一步是用分选称重法求取垃圾中各成分的重量百分数,结果如表 1 所示。

从表 1 可见,各居民点垃圾成分差别不大,它们的共同点是厨余和西瓜皮所占比重最大。由于西瓜皮包含大量水分,若以干物质重量计算,厨余占第一位,西瓜皮居第二

表 1 上海市某区城市垃圾成分(重量%) 日期: 1986.8.10

居民点		城 市 垃 圾 成 分										
编号	住宅类别	纸	橡胶塑料	竹木	布	厨余	西瓜皮	金属	玻璃	陶瓷	渣石	电池
A	公 寓	2.29	1.38	0.15	0.61	48.32	43.73	0.15	1.22	0.15	1.99	—
B	旧式住宅	2.59	1.07	1.07	0.46	46.38	44.10	0.46	2.50	0.46	0.92	—
C	公 寓	1.45	0.89	0.07	0.22	49.63	45.96	0.22	0.45	0.33	0.78	—
D	新 公 房	3.54	1.35	0.16	0.81	44.61	47.34	0.19	1.77	—	0.23	—
E	新 公 房	2.92	1.20	0.47	0.70	46.49	44.68	0.47	0.83	1.39	0.56	0.28

位。无机物很少,其总重仅占原垃圾的 1.78—4.34%。

试验工作的第二步是进行化学分析。鉴于各居民点垃圾成分差别不大,这项工作选 A、B、C、三个居民点垃圾作试样。参考《煤炭化验手册》对有机物进行元素分析和全工业分析^[4]。垃圾有机物与煤炭相比,含水分及氯分较大,故在试验程序和方法上作了相应的变通。在测定水分时,先将垃圾放在室

内摊开,在静止空气中放二天,使垃圾中的水分与空气湿度相平衡。垃圾由此过程失去的水分称为外水分,得到的垃圾称为风干质。风干过的垃圾还较潮粘,不易直接用磨机破碎,故先置入干燥箱,在 105℃ 下烘 2.5h,风干质经过干燥箱烘干后失去的水分,称为内水分,由此得到的垃圾称为干燥质。干燥质极脆,无论塑料或橡胶都很易磨细。氯分是在定硫时同时测得的。全工业分析和元素分析

表 2 城市垃圾工业分析和元素分析结果

试样编号	类 别	工业分析(%)					元 素 分 析 (%)						发热量 Q_{Gw}^s (MJ/kg)
		W^s	W^f	V^s	C_{GD}^s	A^s	C^s	H^s	O^s	N^s	S_Q^s	Cl^s	
A-1	纸	62.0	17.9	75.5	11.0	13.5	42.0	4.3	39.0	0.6	0.5	—	17.88
A-2	塑料、橡胶	31.2	0	81.2	9.1	9.7	61.9	8.6	16.9	0.1	1.3	1.4	31.63
A-3	竹、木	13.3	7.1	79.5	19.1	1.4	49.8	6.5	42.0	0.2	0.1	—	17.85
A-4	布	60.7	25.0	78.8	9.9	11.3	43.0	4.8	39.3	0.9	0.6	—	17.73
A-5	厨余	69.5	16.9	46.7	9.5	43.8	27.9	3.0	23.2	1.8	0.4	—	11.08
A-6	西瓜皮	94.8	91.5	56.5	10.1	33.4	34.3	3.3	25.6	3.0	0.4	—	13.26
B-1	纸	48.3	6.9	79.8	11.9	8.3	43.3	4.1	43.1	0.7	0.4	—	19.33
B-2	塑料、橡胶	46.7	36.0	79.1	8.4	12.4	51.1	4.2	12.5	—	—	19.8	27.99
B-3	竹、木	27.1	14.3	83.3	15.6	1.1	49.3	4.8	44.5	0.2	0.1	—	20.00
B-4	布	63.0	26.1	86.2	4.1	9.7	40.9	5.2	43.2	0.7	0.3	—	20.04
B-5	厨余	68.5	52.6	49.4	5.5	45.1	24.2	2.4	26.5	1.5	0.3	—	9.76
B-6	西瓜皮	82.9	73.9	65.9	14.0	20.2	37.1	4.8	34.8	2.6	0.5	—	15.93
C-1	纸	58.6	16.7	70.6	8.3	21.2	40.7	5.1	32.1	0.7	0.2	—	16.76
C-2	塑料、橡胶	49.4	18.2	86.2	3.0	10.8	71.8	11.3	4.6	—	—	1.4	34.35
C-3	竹、木	28.6	16.7	82.3	14.4	3.3	46.2	5.4	44.7	0.1	0.2	—	18.93
C-4	布	63.6	11.1	83.8	10.3	5.9	41.8	4.0	47.2	0.7	0.3	—	17.47
C-5	厨余	59.8	43.8	51.7	6.0	42.2	30.4	3.6	21.1	2.2	0.5	—	12.78
C-6	西瓜皮	79.2	69.0	61.3	21.5	17.2	34.5	4.2	41.5	1.8	0.7	—	14.45

注: W, V, C, A, H, O, N, S, Cl 依次表示水分,挥发分,碳分,灰分,氢,氧,氮,硫,氯。

右上角字母 y, f, g 依次表示样品分析基准中的应用基,分析基,干燥基。右下角字母 GD, GW, Q 依次表示“固定”,“高位”和“全部”。

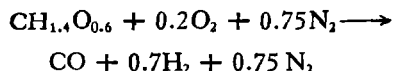
的结果列于表 2 中。

根据表 1 和表 2 的数据计算可得到这种垃圾的外部水分和内部水分重量各占原垃圾总重的 30—50% 和 27—38%。风干质发热量为 4.8—6.1 MJ/kg, 干燥质发热量为 10.9—13.0 MJ/kg。这种垃圾的无机物重量占总重的 1.78—4.34%。如果用适当的方法把它分离出去, 得到纯有机物, 则风干质发热量达到 5.0—6.3 MJ/kg, 干燥质发热量达到 12.8—13.8 MJ/kg, 这后一数据与国外商售的松散衍生燃料相当^[8]。

三、气 化 技 术

气化技术最初用于煤制气, 至今已有百余年的历史, 后来用于生物质制气, 包括树木、稻壳以及有机垃圾的气化等。第二次世界大战期间, 由于汽油供应紧张, 欧洲至少有 1×10^6 辆汽车改用木块气化制气来发动行驶。用有机垃圾为原料进行气化的技术才开始发展, 美国有 Andco-Torrax 气化炉, 以空气为气化介质, 每台日处理垃圾 264t, 垃圾发热量 10.5 MJ/kg; 还有联合碳化物公司的气化炉, 用氧气为气化介质, 每台日处理垃圾 200 t^[12]。据 Sofer 和 Zaborsky 记载^[13], 高位发热量大于 9.3 MJ/kg、水分低于 50% 的生物质(包括有机垃圾)是可以实行气化的。

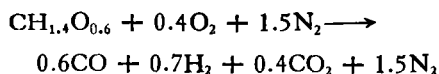
在气化炉内, 垃圾中的有机成分在空气或氧气作用下发生热化学反应, 生成可燃气体(简称燃气), 包括一氧化碳和氢等。垃圾中含各种元素, 分子结构复杂, 气化反应的机理也很复杂, 包括各串联的和并联的单元反应, 有裂解和缩聚、氧化和还原、吸热和放热等。为便于理解和讨论, 用平均分子式 $\text{CH}_{1.4}\text{O}_{0.6}$ 表示垃圾中的有机物, 以空气为反应剂, 写出气化过程的总反应方程式如下:



此式代表理想的气化过程, 即按计量方程式供气, 系统为孤立, 自身实现热平衡。根据此

式可立即算得燃气的组成为: $\text{CO} = 41\%$, $\text{H}_2 = 29\%$, $\text{N}_2 = 30\%$; 发热量 $Q_{\text{GW}} = 8.87 \text{ MJ/m}^3$; 燃气产率 $2.4 \text{ m}^3/\text{kg}$; 气化效率 100%。

实际生产中为了维持炉内一定的反应温度, 须供给更多的空气, 烧去一部分有机物以产生较多的热量来补偿炉壁、炉渣及燃气显热等带走的热损失。在此条件下, 燃气中必包含二氧化碳等燃烧产物, 同时气化效率必下降。举例说, 如果增加一倍的理论所需空气量, 则可得下式:



燃气的组成变为: $\text{CO} = 19\%$, $\text{H}_2 = 22\%$, $\text{CO}_2 = 12\%$, $\text{N}_2 = 47\%$, 发热量 $Q_{\text{GW}} = 5.15 \text{ MJ/m}^3$, 燃气产率 $3.1 \text{ m}^3/\text{kg}$, 气化效率降为 76%。这就意味着有 24% 的反应热补偿各项热损失。通常气化炉的总热损失确有这么大或更大, 其中大部分是由燃气带出的显热。

如果进一步增加空气供给量, 将使燃气中的 CO 和 H_2 继续下降, 而 CO_2 继续增大, 并可能产生 H_2O ; 到达极限时, 燃气中的 CO 和 H_2 降为零, 气化过程变为燃烧过程, 燃气变为烟气。通常烟气的体积约比燃气大一倍。

垃圾气化炉的型式有多种, 主要是上吸式固定床、下吸式固定床和流化床三种^[14], 如图 1 所示。固定床的工艺成熟, 使用较普遍, 但单位炉截面生产率, 即气化强度, 比流化床

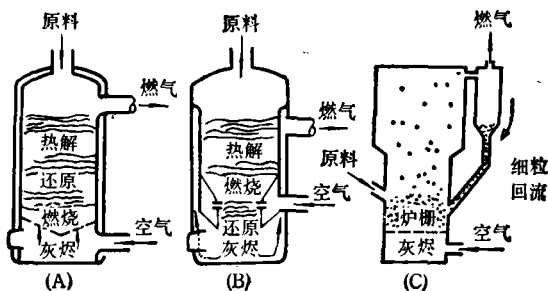


图 1 各种气化炉型式

(A) 上吸式固定床 (B) 下吸式固定床 (C) 流化床

小得多。上列三种炉型的气化强度之比依次约为 1:2.5:9^[4]。流化床炉内温度较均匀,因而出口的燃气温度较固定床高得多,燃气中焦油等高分子物质都充分裂解,使气体净化系统大为简化。由于这些原因,用流化床炉处理城市垃圾的方法具有更大的吸引力。

四、经济性估计

城市垃圾实行气化之前须进行预处理,包括破碎和分选以脱除无机物,以及加热以脱除内部水分等。

目前国内正在试制几种垃圾破碎、筛分和分选机械。处理量 50t/d 的破碎机,预计每 t 垃圾耗电量不超过 1 kw·h。处理量 50t/d 的分选机械,预计每 t 垃圾耗电量不超过 1.5 kw·h。这些耗电量折成热量还不到垃圾发热量的 2%。烧煤气居民区的垃圾,由于含无机物少,气化前不一定需要分选。烧煤或烧煤和烧煤气兼有的居民区垃圾,在气化前必须进行分选,经分选后得到的有机物作为气化原料,无机物可作为铺路或建筑材料。上海市三林塘垃圾堆场已有利用建筑垃圾制造蒸养砖的经验。采用气化法制得燃气后,可用燃气烧窑,制造烧结砖,砖的质量当更好。破碎和分选的工序也是高温堆肥法和热解法等处理技术中所不可缺少的,因此从经济比较的角度看,这一工序的投资费用可暂不讨论。

垃圾的加热烘干看来是流化床气化法中不可缺少的工序之一,因此必须知道烘干垃圾所耗热量的大小,从而判明垃圾热能利用的经济性。作者在作垃圾工业分析的过程中看到,垃圾的外部水分在晴天或室内条件下是极易蒸发而去除的。作者又曾将很潮湿的原垃圾,如菜皮等,投入一种高速旋转的垃圾破碎机破碎,经一次破碎后排出的碎料竟十分干瘪,明显可见大量的水分(包括一部分内部水分)在破碎过程中被压出并迅速蒸发。由此可以推论,城市垃圾在其收集、堆积、运输、

破碎和分选等一系列过程中由于各种机械作用会加剧水分的蒸发和挤出,故在后续的垃圾烘干工序中只需考虑烘干其中的内部水分一项。按前列实测数据,夏季垃圾内部水分重量占原垃圾总重的 27—38%,这些水分的蒸发热量约为原垃圾含热量的 20—28%;按最不利条件考虑,可取最高值 28%。

根据现有的和正在开发的各种固体燃料气化炉热平衡资料,可以设想新型的流化床垃圾气化炉的气化效率可能达到 70%,也就是说,炉子的热损失约为总热收入的 30%。流化床气化炉出口燃气温度很高,燃气带出的显热可能达到总热收入的 18%,这部分热量可利用来烘干垃圾。余下 12% 热损失属于炉壁和炉渣等的散热。垃圾的烘干可采用表面式换热器(烘干机)将热燃气含有的显热通过管壁传递给垃圾,使其内部水分蒸发;这类烘干机的热损失估计为原垃圾含热量的 4%,这样算来有效的烘干热降为原垃圾含热量的 14%。烘干垃圾中全部内部水分所需热量尚缺一半,此时可以烧去一部分产品燃气来满足;考虑到烘干机的热损失,这部分烧掉的燃气的含热量应占原垃圾含热量的 18%。于是,剩余的可作为产品供出的燃气的含热量相当于原垃圾含热量的 52%;也就是说,垃圾中略多于一半的热量以燃气形式存在,可供各种用途利用。

根据以上的热平衡估算,可见用气化法处理城市垃圾是会有较大经济效益的。以日处理 50t 干燥质有机垃圾为例,如果入炉垃圾发热量为 12.5 MJ/kg,气化效率为 70%,则每天可生产发热量约 4.18 MJ/m³ 的燃气约 105 × 10³ m³。如果按气化和烘干系统热平衡考虑,为了烘干垃圾而烧去一部分燃气,则还可剩 78 × 10³ m³ 燃气供给民用或工业应用。如果供给民用,则可满足约 15 × 10³ 户居民的需要。如果用于工业,则用途十分广泛,较合理的是供给靠近垃圾气化厂的工厂,尤宜供给利用原垃圾分选后得到的无机物制

造烧结砖的工厂。这样,使城市垃圾经过气化-制砖联营厂后变为有用的建筑材料运出去,做到变废为宝、化害为利,造福人民。各地垃圾成分不一,按本文实测资料,50t干燥质有机垃圾相当于原垃圾204t。根据上海市1982年9月测定的混合垃圾(烧煤和烧煤气居民区收集的二种垃圾混合物)资料,无机物占原垃圾总重约57%,用这种垃圾提取50t干燥质有机垃圾约需提供原垃圾465t。据作者估算,用这种混合垃圾提取有机物后进行气化制气所得的热量约可满足其全部无机物制砖的需要。这等规模的气化厂投资,包括破碎、分选、烘干和制气,约人民币 2×10^6 元,它的经济性可与目前已有的各种垃圾处理技术相抗衡。

五、结 语

经初步研究认为,用气化法处理城市垃圾不仅有显著的社会效益和环境效益,而且较大的经济效益,是一条城市垃圾处理的新途径。在当前我国面临城市垃圾成灾和能源短缺二大难题的时期,起步研究这种新技术尤有现实意义,应迅速开展这项科研工作。

参 考 文 献

- [1] 诸永麟,华东环卫,(2),40—42(1985).
- [2] Donat, G., *Combat Nature*, (56), 20(1983).
- [3] Bonneval, P., *Combat Nature*, (61), 28(1984).
- [4] Brunner, C. R., *Hazardous Air Emissions from Incineration*, pp 1—222, Chapman and Hall, New York, 1985.
- [5] Kamrin, M. A. et al., *Dioxins in the Environment*, pp 1—328, Hemisphere Publishing Corp., Washington, 1985.
- [6] “焚烧垃圾产生剧毒物,联邦德国公众产生恐慌感”,中国环境报,第四版,1986年8月9日.
- [7] Jackson, D. V., *Resources Recovery, Agricultural, Industrial and Municipal Waste Management*, pp 113—123, Mech. Engr. Pub. Ltd., London, 1985.
- [8] Alter, H., *Materials Recovery from Municipal Wastes*, pp 181—222, Marcel Dekker Inc., 1983.
- [9] Anderson, L. L. et al., 白怡然等译, 废物与燃料, 15—26 页, 科学技术文献出版社, 北京, 1984 年.
- [10] Côté, W. A. ed., *Biomass Utilization*, pp 169—180, 623—634, Plenum Press, New York, 1982.
- [11] 煤炭科学研究院北京煤化学研究所, 煤炭化验手册, 247—390 页, 煤炭工业出版社, 北京, 1983 年.
- [12] Reed, T. B., *Biomass Gasification, Principles and Technology*, pp 1—25, Noyes Data Corp., Park Ridge, New Jersey, 1981.
- [13] Sofer, S. S. et al., *Biomass Conversion Processes for Energy and Fuels*, pp. 235—263, Plenum Press, New York, 1981.
- [14] Egnéus, H. et al., *Bioenergy*, Vol. 1, pp. 174—204, Elsevier Applied Science Publishers, Göteborg (Sweden), 1984.
- [15] McGowan, T. F., “Air Blown Wood Gasification” in *Proceedings of International Gas Research Conference*, pp. 916—943, Los Angeles, 1981.

稀土工业的放射性污染与危害

曾 新 元

(湖南劳动卫生职业病防治研究所)

一、引 言

我国稀土储量居世界第一位,这是我国开展稀土应用的有利条件。目前我国稀土元素已广泛地应用于冶金、石油、化工、机械、轻工、电子及农业等方面,并取得较好的效益,

因此,我国稀土工业发展较快。稀土生产能力居世界第二位,稀土企业分布全国各省。稀土企业分为两类:一是稀土元素的开采和冶炼;二是稀土产品的应用。稀土包括镧系、钪和钇等17种元素,在稀土矿物中赋存着一定量的天然放射性核素,如钍、铀、镭等。在