

# 医院固体废弃物热选实验研究

李传统

(南京师范大学 动力工程学院, 江苏 南京 210042)

**[摘要]** 利用先进的热选方法对中国医院常见的固体废弃物进行了实验研究, 通过对常见医院固体废弃物热选实验研究, 得到了相应医院固体废弃物的热选气体产物的成份组成和析出规律. 在本文实验的升温速率范围内 ( $\leq 50\text{C}/\text{min}$ ), 达到相同的最终加热温度时, 不同升温速率下的最终挥发份析出量相差约为  $1\% \sim 5\%$ . 4 种典型医院固体废弃物热选特性的实验结果表明, 当试样加热至  $600\text{C}$  时, 挥发份可析出  $70\%$  以上, 再继续升温, 试样的释重速率下降; 重量变化趋于缓慢. 因此, 用热选技术处理医院固体废弃物时的运行温度控制在  $500\sim 600\text{C}$  较为合适. 随着热选温度的升高, 热选产物中的  $\text{H}_2$  含量逐渐上升, 而  $\text{CO}_2$  随之不断下降, 而  $\text{CH}_4$  在  $500\sim 600\text{C}$  之间是逐渐上升的, 但在  $600\text{C}$  以上却略有下降;  $\text{CO}$  在热选实验温度范围内是逐渐上升的, 但上升趋势逐渐变得缓慢. 热选气体产物的热值随热选温度而变化, 在  $600\text{C}$  左右有一极大值. 为了获得较高热值的热选气体产物, 使热选温度保持在  $600\text{C}$  左右是十分合适的. 纸质药品包装材料和医用棉纱的挥发份的热值在  $13\sim 17\text{MJ}/\text{Nm}^3$  之间, 而有机药品包装材料和一次性有机输液管挥发份的热值在  $21\sim 27\text{MJ}/\text{Nm}^3$  之间. 因此, 医院固体废弃物的热选产物可以作为民用或发电厂的燃料, 为医院固体废弃物作为再生能源进行合理利用提供了可靠的依据, 为开发适合中国医院固体废弃物的热选技术提供了实验数据.

**[关键词]** 医院固体废弃物, 热选, 实验研究

**[中图分类号]** TK01<sup>+</sup> 9    **[文献标识码]** B    **[文章编号]** 1672-1292-(2005)01-0012-04

## Experimental Investigation on Thermoselect Process of Hospital Solid Wastes

LI Chuanlong

(School of Power Engineering, Nanjing Normal University, Jiangsu Nanjing 210042, China)

**Abstract** In order to dispose hospital solid wastes (HSW) as new resources without hazards, the common HSW are studied experimentally with the advanced process of thermoselect. The composition of gaseous products and their release principles are obtained in the process of thermoselect. In the experimental temperature increase rate range (less than  $50\text{C}/\text{min}$ ), the amounts of the end volatile matters release have differences between  $1\% \sim 5\%$  when the temperature reaches the same value at different temperature increase rates. The thermoselect characteristics of the four kinds of representative HSW indicate that when the sample are heated to  $600\text{C}$ ,  $70\%$  of the volatile matters are released and that as temperature goes up, the weight loss rate goes down, the weights change slowly. Therefore, the operation temperature of the thermoselect of HSW should be controlled between  $500\sim 600\text{C}$ . As the temperatures of thermoselect rise, the  $\text{H}_2$  content gradually increases, the  $\text{CO}_2$  content goes down, while the  $\text{CH}_4$  content goes up between  $500\sim 600\text{C}$ , but after  $600\text{C}$  tends to go down slightly, and the  $\text{CO}$  content rises gradually but more and more smoothly. The heat values of the resultants of the thermoselect decrease with the change of thermoselect temperature, but have a maximum at about  $600\text{C}$ . In order to obtain thermoselect gases with higher heat values, the temperature of thermoselect should be kept at  $600\text{C}$  or so. The heat value of the gases from cotton gauzes and paper packaging materials thermoselect ranges between  $13\sim 17\text{MJ}/\text{Nm}^3$ , and that of expendable transfusion tubes and organic packaging materials thermoselect ranges between  $21\sim 27\text{MJ}/\text{Nm}^3$ , therefore, these thermoselect gases can be used as the fuels for civil and power plant use, which lays reliable basis for rational wide utilization of HSW as renewable energy source, and provides experimental basis for the development of thermoselect process suitable for HSW in China.

**Key words** hospital solid wastes, thermoselect, experimental investigation

收稿日期: 2004-05-08

基金项目: 南京师范大学“211工程”资助项目(1240702507).

作者简介: 李传统(1954-), 博士, 教授, 主要从事能源与环境工程方面的教学与研究. E-mail: lic2003@hotmail.com

## 0 引言

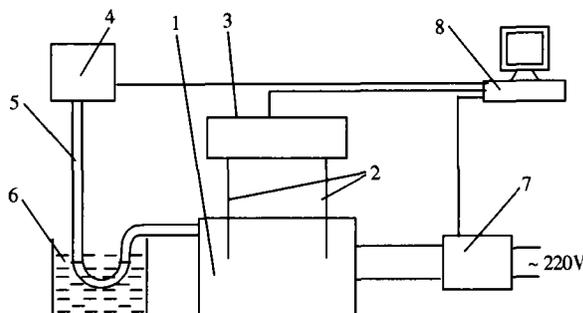
在过去的 10 年中, 我国城市生活垃圾的产出量的年增长速度为 9% ~ 11%, 超过同期国民经济的增长速度. 2003 年我国城市生活垃圾的年产出量已超过 2.2 亿吨, 使我国 648 个城市中的 450 个城市被生活垃圾所包围. 在城市垃圾中, 医院固体废物是作为特种有毒、有害垃圾来对待的. 在发达国家, 医院固体废物是用塑料容器收集并密封后, 连同容器一起送到垃圾焚烧厂中的转炉进行焚烧, 处理率为 100%. 在我国是将医院固体废物收集后统一进行焚烧处理, 全国医院固体废物的实际处理率低于 50%. 我国医院的固体废物主要包括: 棉纱、绷带、一次性输液管和胶管、手术切除物、药品包装材料、中药残渣、病员遗弃衣物等. 虽然医院固体废物数量不是特别大, 但医院固体废物含有大量有毒、有害物质和细菌、病毒等, 不经高温处理直接填埋不仅造成环境污染, 还会造成疾病的传播, 危害性十分大. 在 2003 年我国出现 SARS 以后, 我国加强了对医院固体废弃物的管理和处理力度, 对医院固体废弃物的处理提出了新的要求.

国外医院固体废物所用的焚烧设备为转炉, 其主要特点是: 处理量大, 设备需连续运转, 不适合我国医院比较分散、规模大小不一的实际情况<sup>[1, 2]</sup>. 我国现有的医院固体废物焚烧设备主要是链条炉, 其特点是: 燃烧不充分, 焚烧过程中产生的废气、尘、渣再次污染了环境. 1989 年德国 R. Stalberg 教授首先提出了热选法处理固体废弃物的方法<sup>[3]</sup>, 于 2000 年在德国卡尔斯鲁厄市 (Karlsruhe) 建成了一座示范处理厂. 热选法与其他垃圾高温处理方法相比有如下优点: (1) 对垃圾的种类和热值的适应性强, 处理时不需要对垃圾进行严格的预分选; (2) 避开了二噁英 呋喃再生的温度区间, 减少了二噁英 呋喃的排放; (3) 提高了垃圾处理产物的利用率. 热选法是适合医院固体废物处理的一种新技术. 因此, 研究热选法处理医院固体废物过程中医院固体废弃物的热选动力特性, 对开发适合我国医院固体废弃物的热选工艺和技术具有实际应用价值.

## 1 实验系统与实验研究方法

对医院固体废物进行热选动力特性研究的目的是针对不同种类典型的医院固体废物进行实验研究, 了解影响医院固体废物热选动力特性的因素和医院固体废物热选的产物成份和析

出规律, 为医院固体废物资源化和无害化处理提供技术依据. 分别采用热天平和自建的热选实验台对不同的医院固体废物样品进行了实验研究. 在热天平失重实验中, 热天平的型号为 TG209C, 样品的质量为 10mg 粒度破碎到 1mm 以下, 热选温度终温为 800℃, 升温速率分别为 20℃ /min、40℃ /min、50℃ /min. 热选实验系统的示意图如图 1 所示. 实验系统应包括: 加热部分、温度控制部分、气体收集和气体分析. 在图 1 所示的实验系统中, 加热炉将置于密闭不锈钢罐内的医院固体废物样品进行加热, 样品和加热炉内的温度由热电偶进行测量和监测, 热电偶的信号分别联接数据采集和温度控制系统, 以便控制加热炉内的温度和医院固体废物样品的温度. 医院固体废物样品受热后产生的气体产物由气体收集管道进行收集, 经冷凝系统进行冷凝后送入气相色谱仪进行分析后将数据输入计算机, 功率控制系统控制加热炉的功率. 实验样品的试样有一次性有机输液管、有机药品包装材料、医用棉纱和纸质药品包装材料, 属于医院典型的固体废物. 为了便于实验样品进行热选, 将试样剪碎, 使其直径小于 1mm. 对上述 4 种医院固体废物试样分别取重 300g 放入不锈钢罐内, 放在加热炉内加热, 并分别在热选温度为 500℃、600℃、700℃、800℃ 时收集产生的气体进行成份分析, 热选终温为 800℃. 实验过程中的升温速率分别 20℃ /min、40℃ /min、50℃ /min. 试样采用外加热方式进行加热, 最大加热功率为 8 kW.



1 加热炉; 2 热电偶; 3 数据采集系统; 4 气相色谱仪; 5 气体收集管道; 6 冷凝系统; 7 功率控制系统; 8 计算机

图 1 医院固体废弃物热选实验系统示意图

## 2 实验结果

图 2~图 5 分别为一次性有机输液管、有机药品包装材料、医用棉纱和纸质药品包装材料 4 种医院固体废物在不同升温速率下热失重曲线对比图.

从图 2 和图 5 中可以看出, 在实验的升温速率范围内, 升温速率对总失重量的影响不大, 不同升温速率下达到相同的加热温度时的失重量相差约

为 1% ~ 5%。但达到给定的热选温度所需的时间相差很大,如在加热终温为 800℃时,  $\phi = 20^\circ\text{C}/\text{min}$  约为 39 min 而  $\phi = 40^\circ\text{C}/\text{min}$  却需要 19.4 min 从图 4 中可以看出,随着升温速率的升高,在达到相同的失重量的情况下,所需的热选温度也越高。在

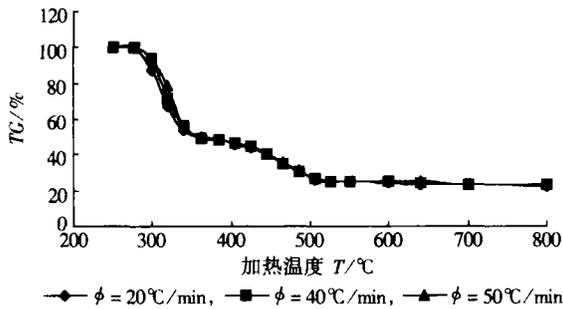


图 2 一次性有机输液管不同升温速率时的热选规律

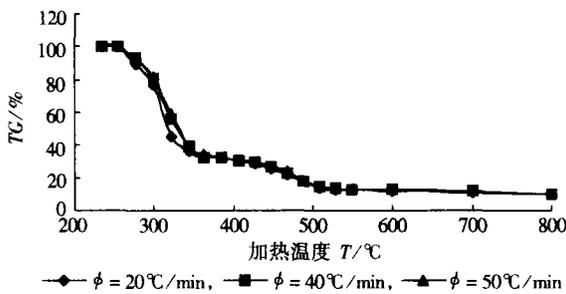
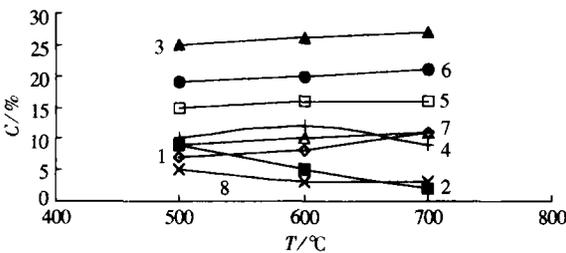


图 4 纸质药品包装材料不同升温速率时的热选规律

由实验结果可知,在加热温度 300~ 500℃ 的范围内,在相同的热选温度下,升温速率  $20^\circ\text{C}/\text{min}$  与  $40^\circ\text{C}/\text{min}$  相比,同一种物质的热失重率相差最大可达 1%。

热选温度是热选过程中最重要的控制参数。温度对挥发份成份和析出速率均有较大的影响。在较



1. CO; 2. CO<sub>2</sub>; 3. H<sub>2</sub>; 4. CH<sub>4</sub>; 5. C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>; 6. HCl; 7. SO<sub>2</sub>; 8. 其它。

图 6 一次性有机输液管热选气体组分随温度变化的曲线

从图 6~ 图 9 中热选气体组分浓度 C 变化的规律可以看出,随着温度的升高, H<sub>2</sub> 含量逐渐增加,而 CO<sub>2</sub> 逐渐下降; CH<sub>4</sub> 在 500~ 600℃ 之间是上升的,但在 600℃ 以后略有下降的趋势; CO 在所测的温度范围内是逐渐上升的,但趋势是逐渐平稳,主要的原因在于固体废物在所测温度为 500~

相同的温度下,升温速率越低,热选越充分,挥发份析出量越多,但所需的时间则越长。图 5 所示的规律与图 4 相反,这是因为纸质包装材料和药用棉纱中水份、CO、CO<sub>2</sub> 和 H<sub>2</sub> 的析出速率在相同的升温速率下不同所致。

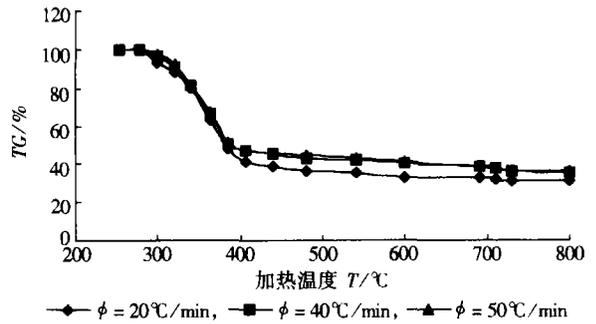


图 3 有机药品包装材料不同升温速率时的热选规律

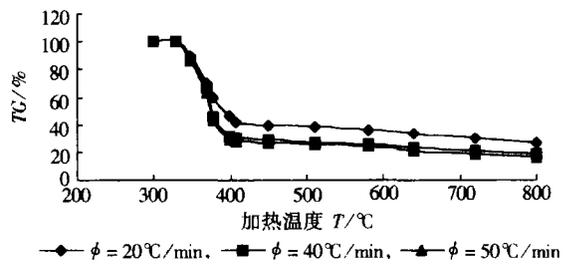
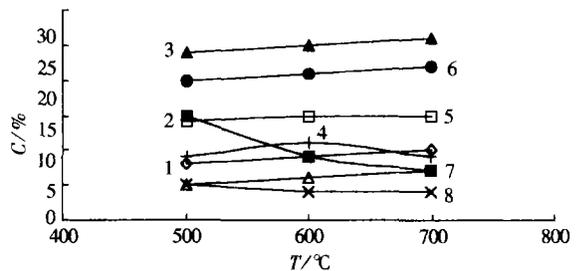


图 5 医用棉纱不同升温速率时的热选规律

低温度下,固体废弃物大分子裂解成较多的中小分子。随着温度升高,除大分子裂解外,许多中间产物也发生二次裂解, C<sub>5</sub> 以下分子及 H<sub>2</sub> 成分增多,气体产量成正比增加,而各种酸、焦油等成份相对减少。上述 4 种医院固体废弃物热选过程中挥发份浓度 C 在不同温度时析出的规律如图 6~ 图 9 所示:

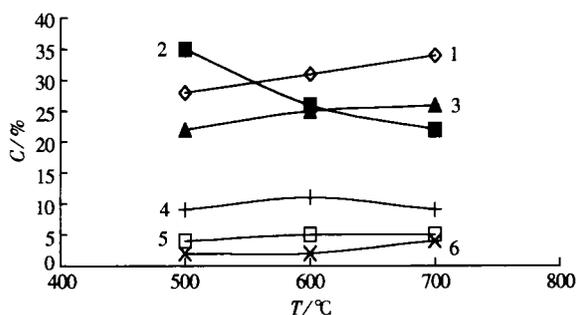


1. CO; 2. CO<sub>2</sub>; 3. H<sub>2</sub>; 4. CH<sub>4</sub>; 5. C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>; 6. HCl; 7. SO<sub>2</sub>; 8. 其它。

图 7 有机药品包装材料热选气体组分随温度变化的曲线

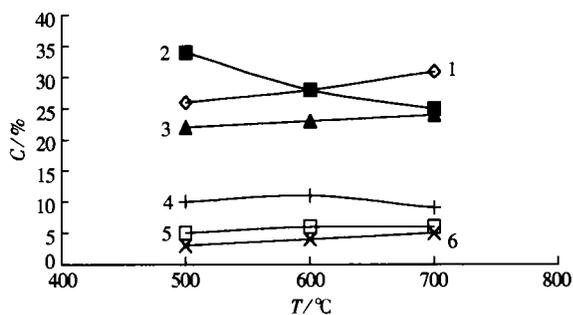
700℃ 的范围内,因发生缩合、脱氢、氢化和桥键分解等一系列反应所造成这一现象。

根据以上 4 种医院固体废弃物在热选过程中产生的挥发份气体,计算出不同温度下的挥发份的热值,如图 10 所示。



1. CO; 2. CO<sub>2</sub>; 3. H<sub>2</sub>; 4. CH<sub>4</sub>; 5. C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>; 6. 其它.

图 8 纸质药品包装材料热选气体组分随温度变化的曲线



1. CO; 2. CO<sub>2</sub>; 3. H<sub>2</sub>; 4. CH<sub>4</sub>; 5. C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>; 6. 其它.

图 9 医用棉纱热选气体随温度变化的曲线

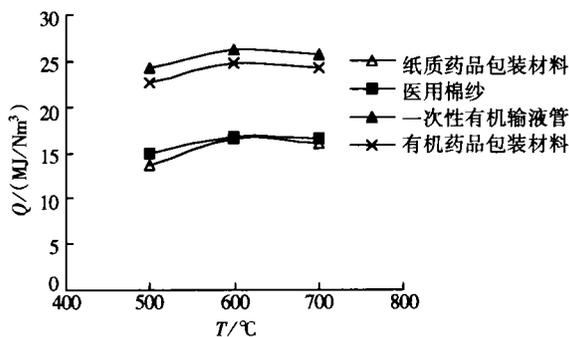


图 10 热选气体热值随温度变化的曲线

从图 10 可以看出, 纸质药品包装材料和医用棉纱热选气体的热值在 13~17 MJ/Nm<sup>3</sup> 之间, 而有机药品包装材料和一次性有机输液管热选气体的热值在 21~27 MJ/Nm<sup>3</sup> 之间, 这 4 种医院固体废物热选的气体产物的热值很高, 能够满足工业和民用的要求, 具有潜在的利用价值. 在 600°C 左右气体的热值有一极值, 原因在于 600°C 以后, CH<sub>4</sub> 以及一些烷烃和不饱和烃类物质将发生一系列裂解反应, 虽然产生了 H<sub>2</sub> 和 CO 等一些气体, 但总热值却略有下降. 这说明我们可以最好在 600°C 左右利用热选产生气体产物.

### 3 结论

(1) 随着升温速率的升高, 在达到相同的失重量的情况下, 所需的热选温度增高. 在相同的热选温度下, 升温速率越低, 热选越充分, 挥发份析出量越多, 但加长了热选的时间.

(2) 在本文实验的升温速率范围内 ( $\leq 50^\circ\text{C}/\text{min}$ ), 达到相同的最终加热温度时, 不同升温速率下的最终挥发份析出量相差约为 1%~5%. 但达到给定的最终热选温度所需的时间相差很大, 如升温速率为 40°C/min 热选所需的时间约为升温速率为 20°C/min 的 1/2.

(3) 4 种典型医院固体废物热选特性的实验结果表明, 当试样在惰性气体中加热至 500°C 时, 挥发份可析出 70% 以上, 再继续升温, 试样的释重速率下降, 重量变化趋于缓慢. 因此, 用热选方法处理医院固体废物时的运行温度控制在 500~600°C 较为合适.

(4) 随着热选温度的升高, 热选产物中的 H<sub>2</sub> 含量逐渐上升, 而 CO<sub>2</sub> 随之不断下降, 而 CH<sub>4</sub> 在 500~600°C 之间是逐渐上升的, 但在 600°C 以上却略有下降, CO 在热选实验温度范围内是逐渐上升的, 但上升趋势逐渐变得缓慢.

(5) 热选气体产物的热值随热选温度而变化, 在 600°C 左右有一极大值. 为了获得较高热值的热选气体产物, 使热选温度保持在 600°C 左右是十分合适的. 纸质药品包装材料和医用棉纱的挥发份的热值在 13~17 MJ/Nm<sup>3</sup> 之间, 而有机药品包装材料和一次性有机输液管挥发份的热值在 21~27 MJ/Nm<sup>3</sup> 之间. 能够作为工业和民用的燃料, 具有较高的实用价值.

### [参考文献]

- [1] Berenyi E B. The status of municipal waste combustion industry in the united states [J]. Journal of Hazardous Materials 1996, 10(1): 1-17.
- [2] Hartenste in H-U, Marc H. Overview of municipal waste incineration industry in the west europe [J]. Journal of Hazardous Materials 1996, 10(1): 19-30.
- [3] Franz J Schwitter. Theroselectverfahren zur ent- und vergasung von abfällen [M]. Germany: EFV-Verlag 1994. 21-55.

[责任编辑: 刘健]