

# 上点火蜂窝煤炉的排污评价

沈迪新 姚渭溪 曹美秋 李玉江  
李玉琴 何宇联 何占元\*

(中国科学院环境化学研究所)

刘 博 叶 坚 张惠欣 陈秋玲\*\*

(北京市民用煤科学技术研究所)

不带烟囱的开放式蜂窝煤炉在我国城镇居民中广泛使用,面广量多。这种炉子热效率低,污染较大,是我国特有的空气污染问题。对于这些居民来说,每天在家里接触蜂窝煤炉排放的污染物的时间,要比在室外街道上接触环境空气中污染的时间要长得多。为了全面研究城市污染对人体健康的影响,必须对开放式炉具的排污情况进行评价。

近年来,各地环保部门对上点火蜂窝煤的废气进行测试的方法和条件不统一,所得结果很难进行比较,无法进行评价。有的在通风开放条件下测定室内空气中污染物的浓度,有的测定所谓“纯”废气中污染物的浓度。这些数据是无法和其他测定结果进行比较的,原因是很难测出室内的风速和风向,也很难测定“纯”废气的流量率,废气随时和周围空气混合。因此无法求出单位时间或单位重量燃料排放的各种污染物的总量,也就无法比较不同类型炉具和不同配方蜂窝煤的排放系数。为此,我们先后建立了开放式炉具燃烧废气的静态和动态两种采样测试方法<sup>[1]</sup>。我们还测定了上点火和下点火蜂窝煤炉的排放系数,并考察了燃烧排污过程,在综合评价对比的基础上,提出了减少污染和节煤的建议,并用x射线光电子能谱测定了蜂窝煤烟尘中硫的化学状态<sup>[2]</sup>。

## 实 验 部 分

### 一、蜂窝煤

(1) 80326配方16孔蜂窝煤:点火层由20%锯木炭和80%内蒙罕台川不粘煤组成,外层沾15—20克皂腊,总重165克;引火层由40%大同煤、30%阳泉煤、15%京西甲煤、15%京西乙煤组成,加入占引火层重量7%的膨润土作粘结剂,总重335克。煤直径102mm、16孔、孔径13mm、开孔率25%、每套蜂窝煤高度115mm。

(2) 上燃12孔蜂窝煤仍用80326配方,煤直径102mm、12孔、孔径16mm,开孔率22.6%、每套煤高度115mm。

\* 赵瑞兰、陈宏德、王玉荣、程祖良、金祖良和姜兆春参加部分实验工作。

\*\* 张鉴铭、张公度、徐德照和赵萍参加部分工作。

(3) 12孔市售普通蜂窝煤：本体层含70%京西甲煤、30%京西乙煤，用石灰作粘结剂；引火层含28%生锯末、55%煤泥、用石灰作粘结剂，煤直径102mm、12孔、孔径16mm、开孔率22.6%；每套煤高度120mm。

(4) 加氧化剂16孔蜂窝煤：点火层含12.5%硝酸钠、18.7%皂腊、6.3%生锯末、25.0%锯末炭、25.0%褐煤、12.5%粘结剂，总重80克；引火层含37.4%褐煤、23.3%大同煤、14%生锯末、18.7%京西乙煤、6.6%膨润土，重107克；本体层含18.5%阳泉煤、18.5%大同煤、27.8%京西甲煤、18.5%京西乙煤、9.2%生锯末、7.5%膨润土，重108克，煤直径102mm。

二、煤炉

具有二次风和聚热板等装置，其结构和尺寸见表1。

上 点 火 蜂 窝 煤 炉 结 构 表 1

| 名 称         | 炉 身 |     | 炉 面 |       |     | 炉 瓦     |         | 瓦托    | 炉算 | 炉门        | 二 次 风         |    | 聚 热 板                |    |
|-------------|-----|-----|-----|-------|-----|---------|---------|-------|----|-----------|---------------|----|----------------------|----|
|             | 直径  | 内径  | 内径  | 外径    | 高   | 内层      | 外层      |       |    |           | 孔数            | 孔径 | 直 径                  | 厚  |
| 规 格<br>(mm) | 240 | 230 | 116 |       | 155 | 厚<br>25 | 厚<br>27 | 市售    | 市售 | 30×55     | 8个            | 10 | 122                  | 22 |
|             |     |     |     |       |     |         |         |       |    |           |               |    | 直径50孔 1个<br>直径12孔 9个 |    |
| 材 料         | 搪 瓷 |     |     | 耐 火 土 |     | 陶 瓷 棉   | 矿 渣 棉   | 耐 火 土 | 铁  |           |               |    | 耐火水泥、<br>珍珠岩、陶粒      |    |
| 重 量<br>(斤)  |     |     |     |       |     | 1.5     | 3.5     |       |    |           |               |    |                      |    |
| 距 离<br>(mm) |     |     |     |       |     |         |         |       |    | 距炉底<br>15 | 距炉面外<br>45.30 |    |                      |    |

三、分析方法

各种污染物与氧气的分析方法和所用的仪器列在表2内。

各种污染物和氧气的分析方法 表 2

| 分 析 项 目         | 静 态 测 定 |                  | 动 态 测 定 |                                    |
|-----------------|---------|------------------|---------|------------------------------------|
|                 | 分析方法    | 仪 器 型 号          | 分析方法    | 仪 器 型 号                            |
| CO              | 气相色谱法   | SP—2307色谱仪，间断进样  | 非分散红外法  | FP <sub>8</sub> 内燃机废气红外分析仪，连续自动记录  |
| CO <sub>2</sub> | —       | —                | 同 上     | 同 上                                |
| HC              | 气相色谱法   | SP—2305色谱仪，间断进样  | 气相色谱法   | 改装的SP—2305色谱仪，连续自动记录               |
| SO <sub>2</sub> | 比色法     | 72型分光光度计         | 电导法     | YJ—Q2型SO <sub>2</sub> 自动测定仪，连续自动记录 |
| NO <sub>x</sub> | 比色法     | 同 上              | 化学发光法   | 日本理研RS—325L型化学发光仪，连续自动记录           |
| O <sub>2</sub>  | 气相色谱法   | SP—2305色谱仪，间断进样  | 同 左     | 同 左                                |
| 3,4苯并芘          | 高压液相色谱法 | 日本岛津LC—3A高压液相色谱仪 | 同 左     | 同 左                                |
| 颗 粒 物           | 称量法     | 玻璃纤维滤纸采集         | 同 左     | 同 左                                |
| 烟 度             | —       | —                | 排气烟度计法  | FQD—101排气烟度计                       |

CO、CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>用相应标准气体校正仪器，HC以CH<sub>4</sub>标准气体校正仪器（下同）

四、烟尘中硫的化学状态测定

燃烧蜂窝煤烟尘收集在经予处理的玻璃纤维滤膜上。在AEI ES300型电子能谱仪上,用MgK<sub>α</sub> X射线源激发样品, 10<sup>-8</sup> torr真空下测量硫的高分辨谱。采用碳1S电子峰(结合能285ev)作内标, 修正因样品表面荷电效应所引起谱峰的位移。

结 果 与 讨 论

1. 静态方法测定的排放系数

80326配方16孔蜂窝煤上燃、下燃、聚热板、二次风、加氧化剂、12孔等不同情况下, 以及市售12孔普通蜂窝煤等燃烧时的排放系数的测定结果列于表3中。

静态方法测定蜂窝煤炉排放系数的结果 表 3

| 实 验 条 件                 | 排 放 系 数, 克/公斤煤 |       |                 |       |                 |       |       |       |       |       |                          |                          |
|-------------------------|----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|--------------------------|
|                         | CO             |       | NO <sub>x</sub> |       | SO <sub>2</sub> |       | HC    |       | 颗 粒 物 |       | 3,4苯 并 芘                 |                          |
| 上燃16孔<br>有二次风, 有聚热板     | 18.18          | 19.39 | 0.681           | 0.615 | 2.304           | 2.661 | 0.478 | 1.120 | 0.050 | 0.188 | 10.25 × 10 <sup>-6</sup> | 13.89 × 10 <sup>-6</sup> |
| 下燃16孔<br>无二次风, 无聚热板     | 70.75          | 37.57 | 0.627           | 0.620 | 2.284           | 2.163 | —     | 3.456 | —     | —     | 3.105 × 10 <sup>-6</sup> | 64.12 × 10 <sup>-6</sup> |
| 下燃市售12孔<br>无二次风, 无聚热板   | 59.66          | 39.29 | 0.347           | 0.162 | 0.142           | 0.143 | 4.499 | 4.218 | 0.107 | 0.555 | —                        | 77.72 × 10 <sup>-6</sup> |
| 上燃16孔<br>有二次风, 无聚热板     | 30.84          | 38.90 | 0.526           | 0.475 | 1.879           | 1.740 | 0.432 | 0.763 | 0.255 | 0.177 | 0.613 × 10 <sup>-6</sup> | 0.887 × 10 <sup>-6</sup> |
| 上燃16孔<br>无二次风, 有聚热板     | 27.68          | 21.21 | 0.465           | 0.438 | 1.680           | 2.630 | 1.330 | 1.202 | 0.048 | 0.147 | 13.39 × 10 <sup>-6</sup> | 12.99 × 10 <sup>-6</sup> |
| 上燃12孔<br>有二次风, 有聚热板     | 41.05          | 42.58 | 0.544           | 0.719 | 1.393           | 1.774 | 1.385 | 1.227 | 0.157 | 0.226 | 67.22 × 10 <sup>-6</sup> | 139.8 × 10 <sup>-6</sup> |
| 上燃16孔加氧化剂<br>有二次风, 有聚热板 | 29.54          | 24.80 | 0.433           | 0.412 | 1.519           | 1.507 | 5.994 | 0.980 | 0.079 | 0.227 | 1.168 × 10 <sup>-6</sup> | 4.174 × 10 <sup>-6</sup> |

NO<sub>x</sub>以NO计算, HC以CH<sub>4</sub>计算(下同), 所列数据为二次重复实验结果

表3结果表明: 上燃方式排放的CO比下燃的少, 约减少了二倍。  
NO<sub>x</sub>的排放与燃烧方式无关, 其中一氧化氮占80%。  
SO<sub>2</sub>的排放量主要决定于原煤中硫含量, 与燃烧方式无关。  
上燃方式排放HC比下燃的少, 约减少三倍。  
3,4苯并芘排放量以下燃市售12孔普通蜂窝煤最高。  
上燃方式的颗粒物排放量最少。  
燃烧温度以加氧化剂蜂窝煤为最高, 炉口温度最高达830℃。  
上燃方式排放的CO、HC比下燃有显著的减少, 不但减少污染, 而且可燃气体排放量也减少, 相应地提高了燃烧效率, 节约了煤炭。

2. 动态方法测定的排放系数

80326配方16孔蜂窝煤, 在有二次风和有聚热板情况下, 重复6次上点引燃和在无二次风与无聚热板情况下, 重复6次下点引燃测定结果列于表4中。

动态法测定蜂窝煤炉排放系数的结果

表 4

| 排放系数<br>分析项目<br>克/公斤煤 | 上 燃 蜂 窝 煤 炉           |                           |                  | 下 燃 蜂 窝 煤 炉          |                           |                  |
|-----------------------|-----------------------|---------------------------|------------------|----------------------|---------------------------|------------------|
|                       | 6 次 测 定<br>平 均 值      | 标 准 偏 差                   | 相 对 标 准 偏 差<br>% | 6 次 测 定<br>平 均 值     | 标 准 偏 差                   | 相 对 标 准 偏 差<br>% |
| CO                    | 18.12                 | ±2.81                     | ±15.4            | 49.56                | ±6.79                     | ±13.7            |
| CO <sub>2</sub>       | 1306.2*               | ±95.1                     | ±7.3             | 1278.1               | ±115.4                    | ±9.0             |
| NO <sub>x</sub>       | 0.426                 | ±0.045                    | ±10.5            | 0.437*               | ±0.065                    | ±14.9            |
| SO <sub>2</sub>       | 7.027                 | ±0.807                    | ±11.5            | 6.770                | ±1.549                    | ±22.9            |
| HC                    | 0.515*                | ±0.176                    | ±34.2            | 1.791*               | ±0.678                    | ±37.9            |
| 3,4苯并芘                | $0.42 \times 10^{-6}$ | $\pm 0.12 \times 10^{-6}$ | ±29.5            | $322 \times 10^{-6}$ | $\pm 94.1 \times 10^{-6}$ | ±29.2            |
| 颗粒物                   | 0.593*                | ±0.097                    | ±16.4            | 7.132                | ±3.328                    | ±46.7            |
| 烟度, %                 | 10                    | —                         | —                | 20                   | —                         | —                |

\* 5 测定平均值

用动态与静态两种方法测定上燃与下燃蜂窝煤情况下, CO与HC排放系数相接近。

用动态和静态测定NO<sub>x</sub>排放系数的结果都在0.4~0.6克/公斤煤之间。

SO<sub>2</sub>动态测定结果比静态测定结果高。这是由于静态测试室墙壁、地面有吸附吸收, 以及测试室少量漏气所造成的。

### 3. 上燃、下燃蜂窝煤炉燃烧排污过程的考察

从动态方法测定的上燃和下燃实验中, 分别各取一次测定结果, 列在图 1 和图 2 中。

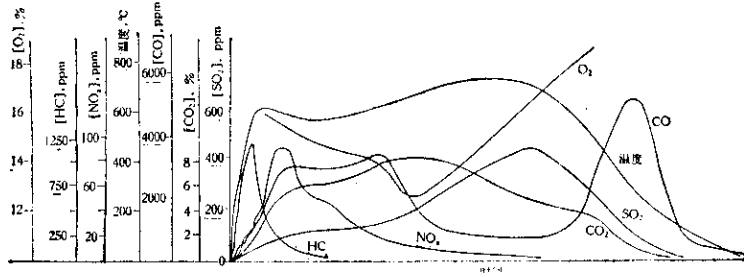


图 1 上燃蜂窝煤炉燃烧和排污过程

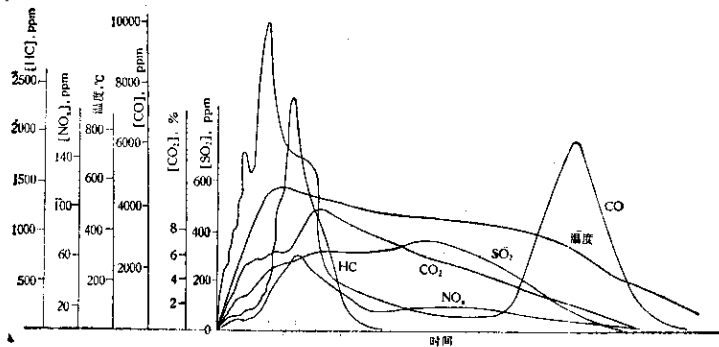


图 2 下燃蜂窝煤炉燃烧和排污过程

图1曲线表明：上燃方式排放的CO浓度，在整个燃烧过程中，出现二个峰值。第一峰值在点燃后出现，此阶段排出的CO量占总量（整个燃烧过程中排放的量）的40%多；第二峰值至炉子接近熄灭前出现，此阶段排放CO的量也约占总量的40%。这说明引燃和熄灭时燃烧不完全，排污多。

NO<sub>x</sub>在点燃后一段短时间内，排放了65—70%，以后逐渐接近于零。这说明NO<sub>x</sub>主要来源于煤中含氮化合物。

SO<sub>2</sub>在点燃后，排放浓度逐渐增加，到达一峰值后很快下降至零。这说明燃烧温度达峰值时，SO<sub>2</sub>释放得多。

HC在点燃后很快出现一峰值，排放了约93%以上。

从图2可看到，下燃蜂窝煤各种污染物排放规律，与上燃方式很相似。但在引火阶段时间内，下燃排污量波动大，监测记录的曲线不规则，起伏大。CO同样出现二个峰值，峰值高度比上燃方式更高，面积更大。说明下燃排放的CO比上燃多。

NO<sub>x</sub>和SO<sub>2</sub>的下燃和上燃排放规律相似，排放总量也无变化。

对于HC，下燃排放浓度与排放量比上燃的增加很多，而且排放时间拖长。

#### 4. 燃烧过程中CO/CO<sub>2</sub>比值的应用

表3、表4中CO和HC的数据说明，上燃方式排放的CO和HC比下燃的少，这就可以定性地说明上燃比下燃燃烧率高，燃烧完全。根据日本工业标准〔8〕，液化石油气炉具燃烧废气CO/CO<sub>2</sub>比值在0.01以下时，可认为燃烧完全。因此CO/CO<sub>2</sub>的比值可作为控制燃烧是否完全的指标。

我们根据图1和图2，计算在不同时间内的CO/CO<sub>2</sub>比值。并用CO/CO<sub>2</sub>和对应时间作图（见图3）。图3的二条曲线表明：在下燃方式刚点燃时，CO/CO<sub>2</sub>比值很大，即可燃性气体损失多，说明燃烧效率差；然后CO/CO<sub>2</sub>比值接近于0.01，说明这段时间内燃烧完全，直到接近熄灭时CO/CO<sub>2</sub>比值又开始上升。

上燃方式刚点燃时，CO/CO<sub>2</sub>比值要比下燃的小，然后接近于0.01，到熄灭前CO/CO<sub>2</sub>比值又上升。

蜂窝煤炉的燃烧无论是上燃方式还是下燃方式，在整个燃烧过程中CO/CO<sub>2</sub>的比值均未有小于0.01，这说明蜂窝煤炉的燃烧没有液化石油气炉燃烧完全。

#### 5. 光电子能谱（ESCA）法测定蜂窝煤烟尘中硫的化学状态

下点的普通蜂窝煤的烟尘中（样品Ⅳ）除了一部分硫酸盐外，硫主要以亚硫酸盐和吸附的二氧化硫存在〔2〕。在上点蜂窝煤烟尘中（样品Ⅰ），由于燃烧完全，硫的主要状态具有更高的结合能，即以吸附的三氧化硫和硫酸盐存在。因此，在蜂窝煤配料中，加入一些石灰等添加剂以固定硫化物，可减少SO<sub>2</sub>的污染（样品Ⅱ和Ⅲ）。

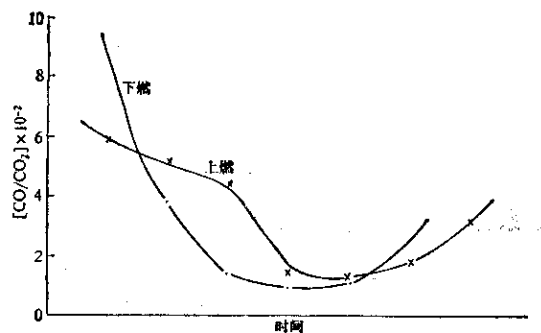


图3 CO/CO<sub>2</sub>比值的变动过程

## 结 论 和 建 议

1. 应用静态和动态二种方法测定蜂窝煤炉排放的污染物, 应以排放系数(克污染物/公斤煤)作为评价排污指标; 同时引入 $\text{CO}/\text{CO}_2$ 比值作为燃烧是否完全的指标。用静态和动态二种测定方法评价相同组成蜂窝煤炉排污所得的结论是一致的。上点火燃烧方式排放的 $\text{CO}$ 、3,4苯并芘、颗粒物和 $\text{HC}$ 都比下点火的要少, 而且燃烧效率高, 因此推广上点火蜂窝煤是有前途的。

2. 动态实验结果表明:  $\text{CO}$ 排放在整个燃烧过程中出现二个峰值。换言之, 做炊火旺时 $\text{CO}$ 污染并不严重, 封火时 $\text{CO}$ 污染严重, 此时加上一片催化净化剂减少 $\text{CO}$ 污染量是可能的, 也不影响用煤炉取暖。

3. 用光电子能谱法测定了煤烟尘中硫的化学状态。结果提示出, 掺加石灰或烟道灰可以减少燃烧煤时硫的污染。

4. 在蜂窝煤配料中, 掺加劣质煤或烟道灰等代用品, 有可能在不增加污染情况下节约煤炭。

5. 本文测得的排放系数, 可供北京市进行空气质量评价和建立数学模式时使用。

## 参 考 文 献

[1] 沈迪新等, 环境科学, 2 (6) 41 (1981)。

[2] 姜兆春等, 环境科学学报, 1 (8) 270 (1981)。

[3] 日本工业标准, JIS2103—1980。