

# 聚丙烯与梧桐锯末干混合制备成型活性炭研究

武晋州<sup>1</sup>, 马培勇<sup>1</sup>, 张贤文<sup>2,3</sup>, 邢献军<sup>1,2</sup>, 郭晓薇<sup>2</sup>

(1. 合肥工业大学机械工程学院, 合肥 230009; 2. 合肥工业大学先进能源技术与装备研究院, 合肥 230009;

3. 合肥工业大学汽车与交通工程学院, 合肥 230009)

**摘 要:** 针对塑料及农林废弃物的处理, 提出利用塑料及生物质干混合制备活性炭的方法, 以达到以废治废的目的。以梧桐锯末为基体, 聚丙烯塑料为填充剂, 制作成型颗粒。采用  $K_2CO_3$  为活化剂, 利用高温管式炉, 研究城乡废弃物干混合制备成型活性炭工艺的可行性。通过 4 组独立的单因素实验阐释掺塑率、盐料比、活化温度以及活化时间对成型活性炭吸附性能的影响。研究表明: 当掺塑率为 5%、盐料比为 2.0、活化温度为 850 °C、活化时间为 60 min 时, 制备的成型活性炭具有较高的碘吸附值 (1416.5 mg/g)。扫描电子显微镜 (SEM) 和 Brunauer-Emmett-Teller 比表面积测试法 (BET) 分析显示, 成型活性炭具有发达的孔隙结构, 比表面积为 1738.7 m<sup>2</sup>/g, 总孔容为 0.958 cm<sup>3</sup>/g, 平均孔径为 3.1 nm。初步验证了此工艺的可行性。

**关键词:** 聚丙烯; 碳酸钾; 活性炭; 成型; 孔结构; 干混合

**中图分类号:** TQ424.1

**文献标识码:** A

## 0 引 言

塑料废弃物和农林废弃物是当前城乡垃圾的主要组成部分<sup>[1]</sup>。我国每年的废旧塑料总量已接近  $2 \times 10^8$  t, 但回收总量仅为  $1.5 \times 10^7$  t, 回收率不及 10%, 大部分被填埋处理, 据统计每 1 万 t 的废旧塑料约侵占 667 m<sup>2</sup> 土地<sup>[2]</sup>。生物质作为一种清洁的可再生能源, 多元化的利用方式使其成为化石能源的替代品<sup>[3,4]</sup>。我国的农林废弃物目前主要采用焚烧法, 不仅浪费能源, 还破坏大气环境。因此, 恰当处理塑料及农林废弃物可极大地减轻我国日益紧迫的能源环境压力。近年关于生物质炭化已有很多相关研究。李坤权等<sup>[5]</sup>以互花米草和棉秆为原材料, KOH 为活化剂, 研究了材料类别、炭化温度、时间等对生物质活性炭吸附性能的影响。陈 健等<sup>[6]</sup>利用正交实验法对生物质裂解残炭制备活性炭工艺进行优化, 获得了吸附性能较好的活性炭样本。同时, 也有部分学者探究了塑料制备活性炭的工艺。段元东等<sup>[7]</sup>以 KOH 为活化剂, 研究了浸渍比、活化时间及温度对废弃塑料制备活性炭工艺的影响, 并得出了较优的工艺参数。宋玲君等<sup>[8]</sup>以废弃

聚苯乙烯泡沫为原材料, 对比了 KOH 浸渍法与磷酸活化法对活性炭吸附性能的影响, 结果表明 KOH 浸渍法活化效果更强。Li 等<sup>[9]</sup>利用普朗尼克 (P123 聚丙二醇与环氧乙烷的加聚物) 和二氧化硅搭配形成软硬模版制备分层多孔成型活性炭。结果表明由高分子形成的软模版具有维持活性炭颗粒完整形貌、支撑活性炭整体框架的作用。

关于生物质与塑料的联合利用, 目前国内外学者多集中在动力学研究和以液相产物为目标的研究。杨 丹等<sup>[10]</sup>进行了塑料与木屑共液化的实验研究, 结果表明: 通过调节不同的催化温度, 可使木屑与塑料共热解获得较高的转化率和液化油产率。周利民等<sup>[11]</sup>探究了生物质与塑料共热解的动力学规律, 研究显示生物质和塑料存在重叠的热解温区, 有利于塑料向生物质提供氢, 同时两者在高温区的共热解存在明显的协同效应。钱 爽等<sup>[12]</sup>关于木质素与热塑性塑料共混合的研究显示: 聚丙烯塑料不仅与木质素之间的混合性极好, 还能改善木质素的稳定性和分子量大小, 对木质素的热解产生积极作用。

综上所述, 生物质与塑料共热解可制备高性能活性炭。基于此, 本文提出将聚丙烯塑料与梧桐锯

末联用制备成型活性炭的方法:采用干混合法,可避免粘结剂的添加,极大减少粘结剂对成型活性炭孔隙结构的影响。以梧桐锯末为硬基体、聚丙烯塑料为填充剂,选择  $K_2CO_3$  作为活化剂,通过实验阐释掺塑比、盐料比、活化温度以及活化时间对成型活性炭吸附性能的影响规律,探索聚丙烯与梧桐锯末干混合制备成型活性炭的可行性。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验样品:梧桐树锯末,来自山东省某木材加工厂生产废弃物;聚丙烯塑料颗粒,东莞春金塑胶原料有限公司。

实验药品:无水  $K_2CO_3$ 、纯盐酸、碘化钾、碘、硫代硫酸钠、可溶性淀粉、重铬酸钾等,国药集团化学试剂有限公司,分析纯。

梧桐锯末内 C、H、O、N 等元素含量通过 vario MACRO cub 元素分析仪(德国 Elemental Analyzer 元素分析系统公司)测得;工业分析采用 GB/T 28731—2012 测试,结果见表 1。

表 1 梧桐锯末的元素分析和工业分析

Table 1 Ultimate and proximate analysis of the sawdust

工业分析/%				元素分析/%				
$M_{ad}$	$A_{ad}$	$V_{ad}$	$FC_{ad}$	$[C]_{ad}$	$[H]_{ad}$	$[O]_{ad}$	$[N]_{ad}$	$[S]_{ad}$
9.40	3.96	73.10	13.54	40.12	4.56	41.75	0.15	0.06

### 1.2 实验设计及内容

本实验主要研究掺塑率、盐料比、活化温度和活化时间 4 个工艺参数对制备活性炭性能的影响。其中掺塑率  $\omega$  定义为聚丙烯塑料占全部样品的质量分数;盐料比  $\gamma$  定义为活化剂无水  $K_2CO_3$  与梧桐锯末的质量比。

$$\omega = \frac{M_p}{M_p + M_w + M_s} \times 100\% \quad (1)$$

$$\gamma = \frac{M_s}{M_w} \quad (2)$$

式中,  $M_p$  ——聚丙烯塑料的质量, g;  $M_w$  ——梧桐锯末的质量, g;  $M_s$  ——无水  $K_2CO_3$  的质量, g。

本文拟用 4 个独立的单因素实验来研究主要工艺参数在制备过程中对成型活性炭吸附性能的影响规律,最终分析得出最优的成型活性炭制备

工艺。

#### 1.2.1 成型活性炭制备

将梧桐锯末清洗、干燥、粉碎,在电动振筛机(上虞市道墟越州土工仪器厂)上过 40 目标标准筛网(采用泰勒标准筛制),放入密封袋备用。聚丙烯塑料同过 40 目标标准筛网。按照实验预定比例,称取定量的  $K_2CO_3$ 、预处理锯末、聚丙烯塑料粉末,放入搅拌机充分混合搅拌 2 min,得到灰白色预混样本。在常温常压下,利用压片机(合肥科晶材料技术有限公司)和自行设计的颗粒模具将预混样本压制半径为 6 mm、高度为 26 mm 的圆柱状颗粒。在实验中,通过称取固定质量的预混样本,控制所有实验颗粒的成型密度为  $1.3 \text{ g/cm}^3$ 。

实验平台由高温管式炉和保护气装置构成。将压制好的成型颗粒放入 GSL-1700X 型高温管式炉(合肥科晶材料技术有限公司)内,按照实验设定温度进行炭化。控制管式炉升温速率为  $5 \text{ }^\circ\text{C/min}$ ,  $N_2$  速率为  $0.5 \text{ L/min}$ 。

将制备完成的成型活性炭放入预先配制的 1:9 稀盐酸内进行酸洗,煮沸 30 s 后用去离子水反复冲洗至样品残液为中性。置于电热恒温干燥箱内烘干后放入密封袋中备用。

#### 1.2.2 成型活性炭性能检测及表征

本实验制备的成型活性炭吸附性能按照国家标准《木质活性炭试验方法:碘吸附值的测定》GB/T 12496.8—1999 检测。

$$A = \frac{5(10c_1 - 1.2c_2V_2) \times 127}{m} D \quad (3)$$

$$c_3 = \frac{c_2 \times V_2}{10} \quad (4)$$

式中,  $A$  ——样本的碘吸附值, mg/g;  $c_1$  ——碘标准溶液的浓度, mol/L;  $c_2$  ——硫代硫酸钠标准溶液的浓度, mol/L;  $c_3$  ——剩余浓度, mol/L;  $V_2$  ——硫代硫酸钠溶液消耗的量, mL;  $m$  ——样本质量, g;  $D$  ——校正系数,根据剩余浓度  $c_3$  查表得出。

成型活性炭的落下强度参考国家标准《煤的落下强度测定方法》GB/T 15459—2006 检测<sup>[13]</sup>:将 10 份样本从 2 m 处自由落至钢板,重复 3 次,称量跌落后保持整体的块状活性炭,计算出跌落前后的质量比。

$$S = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \frac{m_{1i}}{m_{2i}} \times 100\% \quad (5)$$

式中,  $S$ ——落下强度;  $m_{i1}$ ——第  $i$  份样本落下后的质量, g;  $m_{i2}$ ——第  $i$  份样本落下前的质量, g。

成型活性炭的微观形貌利用德国 SEVO18 场发射透射电子显微镜(德国 Carl Zeiss Jena 公司)进行分析, 孔隙结构采用全自动多站比表面积、微孔介孔孔隙分析仪(日本麦奇克拜尔有限公司 BELSORP-max)进行总孔容和比较表面积分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同工艺条件对成型活性炭吸附性能的影响

#### 2.1.1 掺塑率对吸附性能的影响

实验中掺塑率共设置 8 个水平: 0%、2.5%、5%、10%、15%、20%、25%、30%; 设定盐料比为 1.0、活化温度 850 °C、活化时间 60 min 保持不变制备成型活性炭。由图 1 可看出, 添加聚丙烯塑料后, 成型活性炭的碘吸附值明显提高。掺塑率增至 5% 时, 碘吸附值达到峰值 1225.8 mg/g。掺塑率进一步增加, 碘吸附值开始小幅波动, 最后缓慢降至 1177.3 mg/g。

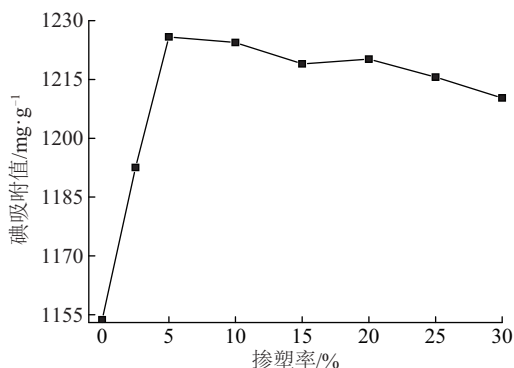


图1 掺塑率对成型活性炭碘吸附性能的影响

Fig. 1 Effect of polypropylene plastics percentage on iodine adsorption value of formed activated carbon

这主要是由于聚丙烯塑料的热失重区间在 385~490 °C 之间, 热解残渣率为 1.4%<sup>[14]</sup>; 而生物质大量热解炭化的温度在 500 °C 以上<sup>[15]</sup>。当实验温度升高后, 聚丙烯塑料首先析出, 其原来所占据的空间形成了封闭的孔隙结构, 丰富了成型活性炭的微观结构。同时, 活化过程中形成的孔隙成为活化剂向成型活性炭内部扩散的通道, 并且强化传热, 成型活性炭中心温度与表面接近, 使得活化过程均匀地进行, 更利于新微孔的生成以及孔壁较薄的微孔

烧穿形成中孔和大孔。微孔的烧蚀与新微孔的形成达到动态平衡, 表现为碘吸附值的小幅上下波动。随着掺塑率的进一步增加, 动态平衡被打破, 成型活性炭微孔、中孔逐渐被烧蚀, 表现为碘吸附值下降。

#### 2.1.2 盐料比对吸附性能的影响

实验中盐料比共设置 5 个水平: 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5; 设定掺塑率为 5%、活化温度 850 °C、活化时间 60 min 保持不变制备成型活性炭。从图 2 可看出, 随着盐料比的增加, 成型活性炭的碘吸附值逐渐增加, 在盐料比为 2.0 时, 吸附值达到最大 (1416.5 mg/g)。盐料比继续增加, 碘吸附值开始下降。

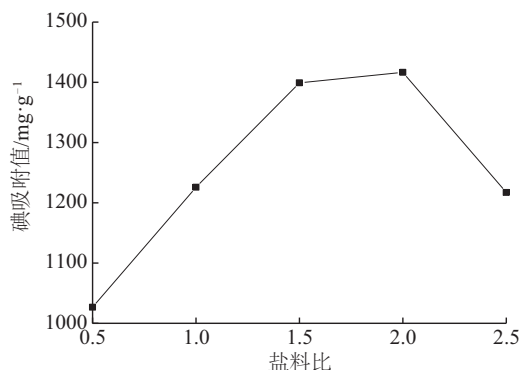
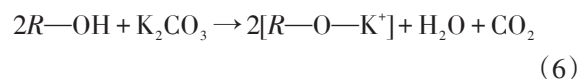


图2 盐料比对成型活性炭碘吸附性能的影响

Fig. 2 Effect of salt/sawdust ratio on iodine adsorption value of formed activated carbon

这主要与  $K_2CO_3$  的活化机理<sup>[16]</sup>有关, 在高温下可分解为  $CO_2$  和  $K_2O$ 。一方面,  $K_2O$  在高温下被木质素中的 C 原子还原成金属 K 原子, 自由 K 原子进入层状的碳组织中, 增加碳原子层间的距离; 同时碱性金属离子还能同纤维素和半纤维素中的乙醇基团发生反应, 如式(6)所示<sup>[17]</sup>:



另一方面,  $CO_2$  是一种良好的物理活化剂和致孔剂, 可增强活性炭的成孔效率和孔容积<sup>[18]</sup>。所以, 增加盐料比能提升成型活性炭的成孔率, 增强其吸附性能。当盐料比超过 2.0 后,  $K_2CO_3$  过度活化会造成碳骨架烧蚀严重, 形成的孔结构遭到破坏, 使碘吸附性能下降。因此, 适量的活化剂有利于增强吸附作用和孔隙结构, 过量反而会适得其反, 还会降低成型活性炭的强度。综上所述, 2.0 的盐料



比是较优选择。

### 2.1.3 活化温度对吸附性能的影响

实验中活化温度共设置 7 个水平:450、550、650、750、850、950、1050  $^{\circ}\text{C}$ 。设定掺塑率为 5%、盐料比为 2.0、活化时间 60 min 保持不变制备成型活性炭,吸附性能变化如图 3 所示。从图 3 可看出,成型活性炭的碘吸附值随活化温度的升高先增加,在 850  $^{\circ}\text{C}$  时达到峰值(1416.5  $\text{mg/g}$ ),而后开始下降。

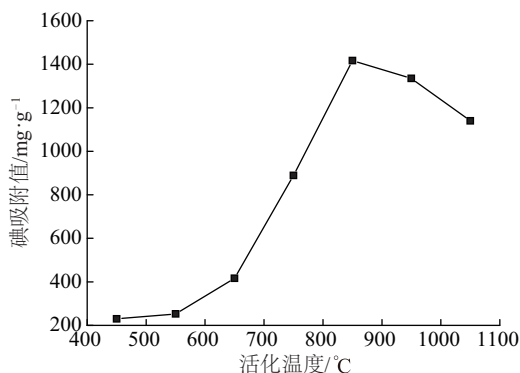


图3 活化温度对成型活性炭碘吸附性能的影响

Fig. 3 Effect of activation temperature on iodine adsorption value of formed activated carbon

这主要是由于当活化温度较低时,聚丙烯塑料尚未完全热解,活化剂  $\text{K}_2\text{CO}_3$  也未达到活化温区,导致成型活性炭内部结构未充分活化。当温度升高到 550  $^{\circ}\text{C}$  后,聚丙烯塑料基本热失重完全,所剩余的空间形成了丰富的孔隙结构,有利于成型颗粒内部的强化传热和活化剂的扩散,表现为成型活性炭的碘吸附值开始明显提升;当温度升至 720  $^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  大量分解,活化剂开始完全发挥活化作用,C 原子层间距增大,孔容积提升,新的微孔结构不断生成,成型活性炭的吸附性能急剧提升。温度继续升高,活化剂在成型颗粒内部扩散更加均匀,活化作用更加明显,使得孔壁不断被烧穿,已有的孔结构轻微坍塌,降低了成型活性炭的碘吸附性能,也使得碳骨架结构变得酥松。因而,850  $^{\circ}\text{C}$  是制备成型活性炭较为合理的活化温度。

### 2.1.4 活化时间对吸附性能的影响

实验中活化时间共设置 6 个水平:20、40、60、80、100、120 min。设定掺塑率为 5%、盐料比为 2.0、活化温度 850  $^{\circ}\text{C}$  保持不变制备成型活性炭。从图 4 可看出,成型活性炭的碘吸附值随活化时间的增加

而增加,在 60 min 时达到最大值(1416.5  $\text{mg/g}$ ),此后,随着活化时间的增加碘吸附值保持在较高水平 1390  $\text{mg/g}$  附近轻微波动。

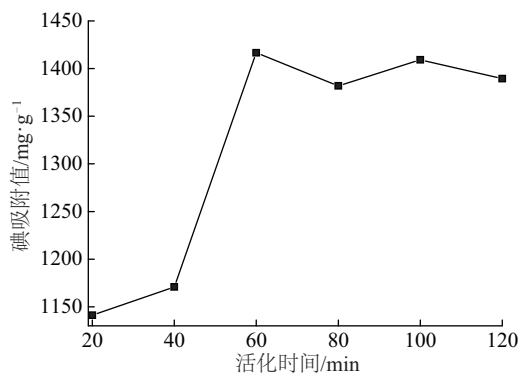
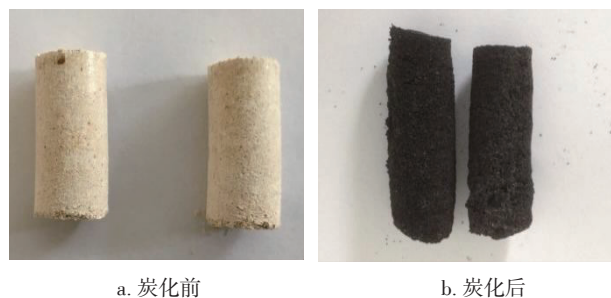


图4 活化时间对成型活性炭碘吸附性能的影响

Fig. 4 Effect of activation time on iodine adsorption value of formed activated carbon

20~40 min 内碘吸附值较低主要是因为活化过程尚未充分进行。一方面,较短的活化时间成型颗粒内部未达到传热平衡,出现传热不均匀现象,导致颗粒中心尚未达到预定活化温度便开始进入降温过程;另一方面,在较短的活化时间内,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  未能及时热解生成足够多的  $\text{CO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  与纤维素和木质素进行反应,使得成型颗粒内部未能活化完全。当活化时间达到 60 min,活化反应充分进行,更多的微孔不断生成,碘吸附值明显提升。随着活化时间的进一步延长,新的孔结构不断生成,已有的孔结构则在长时间的活化作用下不断扩充、坍塌、消失,成型颗粒内部达到一种动态平衡,表现为成型活性炭的碘吸附值在较高水平下轻微波动。但是,较长的活化时间会降低活性炭得率<sup>[19]</sup>,并且增加能源消耗和环境污染。因此,在保证较高吸附性能的前提下,60 min 的活化时间最优。

综上所述,通过单因素实验研究:以梧桐锯末、聚丙烯塑料为原料,  $\text{K}_2\text{CO}_3$  为活化剂,成型密度 1.3  $\text{g/cm}^3$ ,升温速率 5  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ,制备成型活性炭的最佳工艺参数为:掺塑率 5%、盐料比 2.0、活化温度 850  $^{\circ}\text{C}$ 、活化时间 60 min。其碘吸附值为 1416.5  $\text{mg/g}$ ,比 GB/T 13803.2—1999《木质净水用活性炭》中一级品标准 1000  $\text{mg/g}$  高出约 40%。在此条件下制备的成型活性炭如图 5 所示。



a. 炭化前

b. 炭化后

图5 成型活性炭颗粒

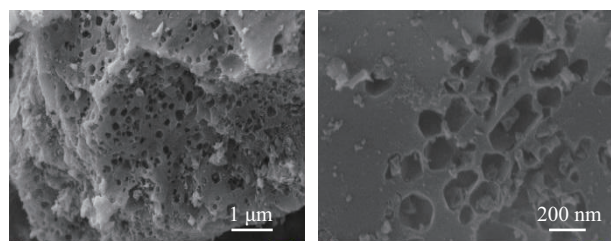
Fig. 5 Sample of activated carbon cylinder

从图5可看出,成型颗粒经活化后基本保持柱状,但由于在活化过程中,聚丙烯析出了98%以上,并且生物质本身也生成了大量挥发分,导致成型活性炭表面出现密集的裂纹和明显的孔洞结构,在一定程度上影响了成型活性炭的跌落强度。经过检测,其下落强度为70.86%。

## 2.2 成型活性炭的孔隙结构表征

### 2.2.1 活性炭微观形貌分析

对上述条件下制备的成型活性炭样本进行SEM检测,结果如图6所示。可明显看出在成型活性炭的孔桥表面上,密布着发达的孔洞结构,这表明样本在活化过程中反应均匀,制备的成型活性炭的微观孔隙结构较为发达,进一步表明聚丙烯塑料与梧桐锯末干混合制备成型活性炭是可行的。



a. 放大10000倍

b. 放大50000倍

图6 成型活性炭SEM效果图

Fig. 6 SEM photograph of formed activated carbon

### 2.2.2 比表面积与孔隙分布分析

对最优的成型活性炭样本进行BET检测,通过测定其 $N_2$ 吸脱附等温曲线,采用BJH方程和多点BET算法进行拟合计算,获得样本的孔径分布、孔容以及比表面积等数据。计算显示样本的比表面积为 $1738.7 \text{ m}^2/\text{g}$ ,总孔容为 $0.958 \text{ cm}^3/\text{g}$ ,平均孔径为 $3.1 \text{ nm}$ 。具体如图7、图8所示。

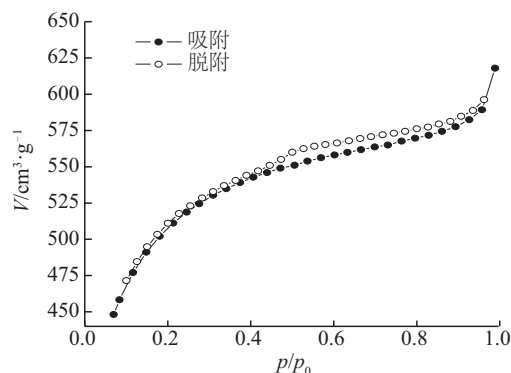


图7 成型活性炭吸脱附等温线

Fig. 7 Adsorption-desorption isotherms for formed activated carbon

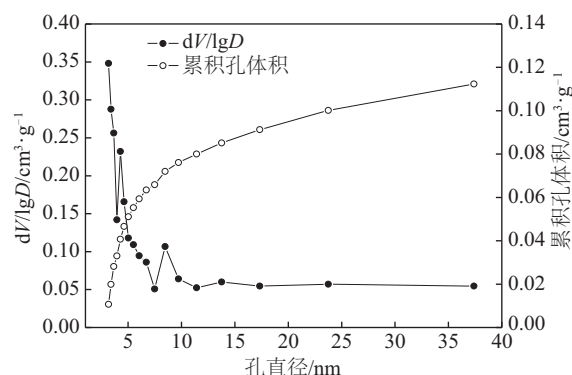


图8 成型活性炭BJH吸附累积孔容分析图

Fig. 8 BJH adsorption cumulative pore volume for formed activated carbon

从图7可看出,在低相对压力( $p/p_0$ )区内,曲线表现为向上凸起,并且 $dV/dp$ 不断减小;在较高相对压力区内,吸脱附等温线出现滞后环;曲线在最后阶段下凹, $dV/dp$ 随着 $p/p_0$ 的升高而增大,符合典型的IV型吸脱附等温线。 $p/p_0 < 0.4$ 时,样本进行单分子层吸附; $p/p_0 = 0.4$ 时,完成单分子层吸附,其对应吸附量为单分子层饱和和吸附量;之后,开始进行多分子层吸附; $0.45 \leq p/p_0 \leq 0.85$ 时,吸脱附等温线出现滞后环,这主要是因为当 $p/p_0$ 增大到一定值时,孔洞内发生 $N_2$ 的毛细凝聚现象,吸附量开始陡然上升<sup>[20]</sup>。按照IUPAC分类标准,图7所示滞后环属于B类吸附回线,表明样品的微观结构是具有平行壁的狭缝状毛细孔。从图8可看出,孔直径在 $10 \text{ nm}$ 以下的孔洞占据样品孔隙结构的绝大部分,而孔径较大的介孔、大孔占比较少。这说明,样品只含有较少的功能性通道及大孔,而中微孔含量较为丰富。

且集中,主要存在于 5 nm 以下,从侧面反映出样本吸附脱附等温曲线的变化特征。

### 2.3 活性炭各性能指标对比分析

将本成型活性炭样本的主要性能指标与当前典型市售活性炭<sup>[21]</sup>进行比较,分析结果如表 2 所示。从表 2 可看出,利用聚丙烯塑料与梧桐锯末干混合工艺制备的成型活性炭样本在碘吸附值、比表面积、总孔容等方面均大大高于同类活性炭产品,说明该工艺条件对生物质基活性炭活化改性作用较强。其优秀的比表面积、分布集中且较为发达的孔隙结构保证该样本可广泛满足于多种工业场合的物理吸附要求。

表 2 不同活性炭样本性能指标对比

Table 2 Comparison for different activated carbon sample

名称	碘吸附 值/mg·g <sup>-1</sup>	比表面 积/m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup>	总孔容/ cm <sup>3</sup> ·g <sup>-1</sup>
本实验成型活性炭	1416.5	1738.7	0.958
市售木质柱状颗粒炭	950~980	950.0	0.486
市售煤质柱状颗粒炭	970.0	942.0	0.316
市售不定型颗粒果壳炭	980.0	916.0	0.447
市售不定型颗粒椰壳炭	1020.0	975.0	0.369

## 3 结 论

本文通过 4 组单因素实验,以梧桐锯末作为硬基体,聚丙烯塑料为填充剂,探索城乡废弃物制备优质成型活性炭工艺的可行性。研究初步表明:

1)添加聚丙烯塑料增加成型活性炭吸附性能的显著区间为 5%~20%;在掺塑比为 5%、盐料比为 2.0、活化温度为 850 ℃、活化时间为 60 min 时,制备的成型活性炭具有较高的碘吸附值(1416.5 mg/g),其强度为 70.86%。

2)对上述条件制备的成型活性炭进行 SEM 分析,表明成型活性炭整体活化痕迹明显,活化区域均匀,断裂孔桥表面密布发达的孔隙结构,进一步说明样本具有较强的吸附能力。

3)对上述条件制备的成型活性炭进行 BET 分析,计算可得样本的比表面积为 1738.7 m<sup>2</sup>/g,总孔容为 0.958 cm<sup>3</sup>/g,均远远高于同类产品。平均孔径为 3.1 nm;其中,5 nm 以下的中微孔分布集中,表现为狭缝状的毛细孔,表明样品具有优秀的液相、气

相物理吸附能力,初步验证了聚丙烯与梧桐锯末干混合制备成型活性炭的可行性。

### [参考文献]

- [1] Sharypov V I, Cebolla V L, Marin N, et al. Co-pyrolysis of wood biomass and synthetic polymer mixtures. Part i: Influence of experimental conditions on the evolution of solids, liquids and gases[J]. Journal of Analytical & Applied Pyrolysis, 2002, 64 (1): 15—28.
- [2] 丁明洁,陈新华,席国喜,等.我国废旧塑料回收利用的现状 & 前景分析[J].中国资源综合利用,2004,(6): 36—39.
- [2] Ding Mingjie, Ching Xinhua, Xi Guoxi, et al. Progress in the recycle & utilization technology of waste plastics [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2004, (6): 36—39.
- [3] 刘 旭,朱锡锋.混合醇对生物油稳定性影响的研究[J].太阳能学报,2015,26(6): 1391—1396.
- [3] Liu Xi, Zhu Xifeng. Effect of mixed alcohol on stability of bio-oil[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2015, 26 (6): 1391—1396.
- [4] 赵 军,王述洋.我国生物质能资源与利用[J].太阳能学报,2008,29(1): 90—94.
- [4] Zhao Jun, Wang Shuyang. Bio-energy resource and its utilization in China[J]. Acta Energiæ Solaris Sinica, 2008, 29(1): 90—94.
- [5] 李坤权,李 烨,郑 正,等.高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能[J].环境科学,2013,34(1): 328—335.
- [5] Li Kunquan, Li Ye, Zhen Zheng, et al. Preparation, characterization and adsorption performance of high surface area biomass-based activated carbon[J]. Environmental Science, 2013, 34(1): 328—335.
- [6] 陈 健,李庭琛,颜涌捷,等.生物质裂解残炭制备活性炭[J].华东理工大学学报:自然科学版,2005,31(6): 821—824.
- [6] Chen Jian, Li Tingchen, Yan Yongjie, et al. Preparation of activated carbon from the residual carbon obtained by fast pyrolysis of biomass[J]. Journal of East China University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2005, 31(6): 821—824.
- [7] 段元东,吕 伟,邵先涛,等.电脑电路板中的废塑料制备活性炭研究[J].环境工程,2014,(S1): 703—707.

- [7] Duan Yuandong, Lyu Wei, Shao Xiantao, et al. Research of preparing activated carbon by waste plastic of computer circuit board[J]. Environmental Engineering, 2014, (S1): 703—707.
- [8] 宋玲君. 废弃聚苯乙烯制备高比表面活性炭及性能研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2006.
- [8] Song Lingjun. Studies on preparation and properties of HSAAC from waste foam polystyrene[D]. Xi'an: Xi'an University of Science and Technology, 2006.
- [9] Li Hui, Yuan Du, Tang Chunhua, et al. Lignin-derived interconnected hierarchical porous carbon monolith with large areal/volumetric capacitances for supercapacitor[J]. Carbon, 2016, 100: 151—157.
- [10] 杨丹, 袁兴中, 曾光明, 等. 塑料和木屑的共液化以及催化液化实验研究[J]. 太阳能学报, 2010, 31(6): 676—681.
- [10] Yang Dan, Shao Xingzhong, Zeng Guangming, et al. Co-liquefaction and catalytic liquefaction of plastic and sawdust[J]. Acta Energaie Solaris Sinica, 2010, 31(6): 676—681.
- [11] 周利民, 王一平, 黄群武, 等. 生物质/塑料共热解热重分析及动力学研究[J]. 太阳能学报, 2007, 28(9): 979—983.
- [11] Zhou Liming, Wang Yiping, Huang Qunwu, et al. TG analysis and kinetics of biomass/plastic co-pyrolysis[J]. Acta Energaie Solaris Sinica, 2007, 28(9): 979—983.
- [12] 钱爽, 任浩. 木质素与热塑性塑料共混的研究现状及其发展趋势[J]. 中国塑料, 2016, (6): 1—6.
- [12] Qian Shuang, Ren Hao. Progress and trend of lignin and thermoplastic blends[J]. China Plastic, 2016, (6): 1—6.
- [13] 邢献军, 孙宗康, 范方宇, 等. 干法制备高中孔率生物质成型活性炭[J]. 化工学报, 2016, (6): 2638—2644.
- [13] Xing Xianjun, Sun Zongkang, Fan Fangyu, et al. Preparation of biomass-based activated carbon with high-mesoporosity by direct zinc chloride activation[J]. CIESC Journal, 2016, (6): 2638—2644.
- [14] 刘义彬, 马晓波, 陈德珍, 等. 废塑料典型组分共热解特性及动力学分析[J]. 中国电机工程学报, 2010, (23): 56—61.
- [14] Liu Yibing, Ma Xiaobo, Chen Dezhen, et al. Co-pyrolysis characteristics and kinetic analysis of typical constituents of plastic wastes[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, (23): 56—61.
- [15] 解立平, 林伟刚, 杨学民. 废弃物基活性炭吸附性能的影响因素[J]. 新型炭材料, 2006, (2): 156—160.
- [15] Xie Liping, Lin Weigang, Yang Xuemin. Factors affecting the absorbability of activated carbon produced from municipal solid organic waste[J]. New Carbon Materials, 2006, (2): 156—160.
- [16] 张会平, 肖新颜, 杨立春.  $K_2CO_3$ 活化法制备椰壳活性炭[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2006, (3): 63—66.
- [16] Zhang Huiping, Xiao Xinyan, Yang Lichun. Preparation of activated carbon from carbonized coconut shell by  $K_2CO_3$  chemical activation[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2006, (3): 63—66.
- [17] 孙亚栋. 棉秆热解炭化特性试验研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2015.
- [17] Sun Yadong. Experimental research on the pyrolysis carbonized characters of cotton stalks[D]. Hefei: Heifei University of Technology, 2015.
- [18] Lua A C, Guo J. Activated carbon prepared from oil palm stone by one-step  $CO_2$  activation for gaseous pollutant removal[J]. Carbon, 2013, 38(7): 1089—1097.
- [19] 米铁, 曹娜娜, 余新明. 中药材废渣制备活性炭的初步实验研究[J]. 太阳能学报, 2014, 35(1): 47—51.
- [19] Mi Tie, Cao Nana, Yu Xinming. Preparation of activated carbon from Chinese herbal medicines wastes[J]. Acta Energaie Solaris Sinica, 2014, 35(1): 47—51.
- [20] 陈永. 多孔材料制备与表征[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2010, 3—6.
- [20] Chen Yong. Preparation and characterization of porous material[M]. Hefei: Press of University of Science and Technology of China, 2010, 3—6.
- [21] 龚维荣, 沈荣生, 吴晓东. 木质柱状颗粒活性炭的研制[J]. 生物质化学工程, 2000, (3): 25—27.
- [21] Gong Weirong, Shen Rongsheng, Wu Xiaodong. Experimental manufacture of granular activated carbon from woody materials[J]. Journal of Chemical Industry of Forest Products, 2000, (3): 25—27.



## PREPARATION OF FORMED ACTIVATED CARBON WITH POLYPROPYLENE AND SAWDUST VIA DRY MIX PROCESS

Wu Jinzhou<sup>1</sup>, Ma Peiyong<sup>1</sup>, Zhang Xianwen<sup>2,3</sup>, Xing Xianjun<sup>1,2</sup>, Guo Xiaowei<sup>2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

2. Advanced Energy Technology and Equipment Research Institute, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;

3. School of Automobile and Transportation Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

**Abstract:** An activated carbon preparation method was proposed in this paper through the combination of hard template (the sycamore tree sawdust) and soft template (polypropylene plastics). To take the potassium carbonate as the activator and use the high temperature tube stove, the feasibility to get the formed activated carbon was explored from urban and rural waste via dry mixed method. The adsorptive property of formed activated carbon were investigated experimentally with single factor impact including the plastic percentage (%), salt/sawdust ratio, activation temperature (°C) and activation time (min). The study results indicate that optimal preparation conditions for formed activated carbon are 5%, 2.0, 850 °C and 60 min, where the formed activated carbon obtains the best iodine adsorption value (1416.5 mg/g). The SEM and BET examinations show that the formed activated carbon sample has abundant pore structure and large specific surface area (1738.7 m<sup>2</sup>/g). The total volume of the cavity is 0.958 cm<sup>3</sup>/g and the average pore diameter is 3.1 nm, which preliminarily verifies the feasibility of this technology.

**Keywords:** polypropylene; potassium carbonate; activated carbon; formed; pore structure; dry mix method