

# Preparation and Characterization of Leaves Activated Carbon

Jiaying Yang<sup>1#</sup>, Wenfeng Lai<sup>2</sup>, Anping Zhang<sup>1\*</sup>, Jianqiang Sun<sup>1</sup>, Hang Xiao<sup>3</sup>, Wenjie Fang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Top Key Discipline of Environmental Science and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou Zhejiang

<sup>2</sup>Haiyuan Environmental Science & Technology Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

<sup>3</sup>Institute of Urban Environment, Chinese Academy of Sciences, Xiamen Fujian

<sup>4</sup>Hangzhou Huanjie Environmental Engineering Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

Email: <sup>#</sup>[yangjiaying900405@163.com](mailto:yangjiaying900405@163.com), <sup>\*</sup>[anpingzhang@163.com](mailto:anpingzhang@163.com)

Received: Jun. 16<sup>th</sup>, 2015; accepted: Jul. 6<sup>th</sup>, 2015; published: Jul. 9<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Activated carbon is an adsorbent material widely used, and it has been the subject of much attention to look for a kind of raw materials which has a multiple source and is easy to process. The leaves were used as raw materials to produce activated carbon. With the resource recycling, a preparation method of high performance activated carbon was also hoped to get. This study analyzed the special surface area, micropore area and toluene adsorption capacity of leaves activated carbon by orthogonal test, and finally got the best preparation method: 50% mass fraction of  $H_3PO_4$  and leaves in an impregnation ratio of 3:1 for 12 hours, and then in an activated temperature of 400°C for 1 hour. And the result of characterization showed that the special surface area and the micropore area of leaves activated carbon were 774.4  $m^2/g$  and 148.2  $m^2/g$ , respectively, and the main structure of leaves activated carbon was mesopore. 95.3% of the functional groups in the activated carbon's surface were the acidic functional groups, which mainly included alcoholic hydroxide groups and phenolic hydroxyl groups. The isoelectric point of the leaves activated carbon was 5.33.

## Keywords

Activated Carbon, Leaves, Recycling, Characterization

---

\*第一作者。

#通讯作者。

# 树叶活性炭的制备及表征

杨加赢<sup>1#</sup>, 赖文峰<sup>2</sup>, 张安平<sup>1\*</sup>, 孙建强<sup>1</sup>, 肖航<sup>3</sup>, 方文杰<sup>4</sup>

<sup>1</sup>浙江工业大学环境科学与工程重中之重, 浙江 杭州

<sup>2</sup>浙江海元环境科技有限公司, 浙江 杭州

<sup>3</sup>中国科学院城市环境研究所, 福建 厦门

<sup>4</sup>杭州环洁环境工程有限公司, 浙江 杭州

Email: #[yangjiaying900405@163.com](mailto:yangjiaying900405@163.com), \*[anpingzhang@163.com](mailto:anpingzhang@163.com)

收稿日期: 2015年6月16日; 录用日期: 2015年7月6日; 发布日期: 2015年7月9日

## 摘要

活性炭是一种应用广泛的吸附材料, 找寻来源广、处理简单的活性炭原材料也一直是人们关注的课题。以树叶为原料制备活性炭, 在资源循环利用的同时希望得到高性能活性炭的制备方法。设计正交试验对活性炭的比表面积、微孔面积以及甲醇饱和吸附量进行分析, 得到磷酸法制备树叶活性炭的最佳条件为: 质量分数50%的磷酸与树叶浸渍比3:1条件下浸渍12小时, 350℃活化1小时。表征结果显示, 活性炭比表面积为774.4 m<sup>2</sup>/g, 微孔面积148.2 m<sup>2</sup>/g, 孔径结构以中孔为主; 表面官能团以酸性官能团为主, 占官能团总含量的95.3%, 酸性官能团主要为醇羟基和酚羟基; 等电点为5.33。

## 关键词

活性炭, 树叶, 循环利用, 表征

## 1. 引言

活性炭是一种高比表面积及孔隙结构丰富的优良吸附材料, 具有石墨微晶结构[1]、微孔结构发达、吸附能力强等显著特征, 在制药、化工、制糖、食品加工、农业以及日常生活等领域均有广泛的应用。制备活性炭的原料多样, 几乎所有含碳材料均可用来生产活性炭。传统活性炭的原料主要分为植物类和矿物类[2]。最早期, 人们制备活性炭主要材料是木材, 但是木材生产周期长、价格贵, 不能满足现代工业对活性炭的需求, 而且砍伐树木破坏环境, 造成全球森林覆盖面积减少, 是导致全球变暖的原因之一。之后资源丰富、价格低廉的煤炭活性炭(如烟煤、无烟煤、褐煤等[3]-[5])渐渐取代了木质活性炭(如木材、木屑、竹子等[6]-[8])。但煤炭资源也终究有限, 因此寻求新的来源广、性能好、价格低的活性炭原料一直是我們非常关注的一个课题。

近年来, 我国城市绿化面积不断增长, 然而伴随着绿化面积的增长, 大量的落叶如何处理也成为了一个人们关注的问题。一般情况下, 落叶被收集后采用堆放燃烧的方式处理, 既浪费资源也会形成 CO、二噁英等有毒有害的物质, 同时还会产生烟尘, 对大气造成严重的污染。

本研究以樟树叶作原材料为例, 采用磷酸活化法制备活性炭, 通过改变活化温度、磷酸浓度、浸渍比这三个条件, 以及综合考虑比表面、微孔面积、甲苯饱和吸附浓度, 得出最佳的树叶活性炭制备条件, 以求在合理利用树叶资源的同时得到新的性能良好的活性炭, 同时对新制得的活性炭的部分性能进行了表征。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 试验材料

拾取浙江工业大学校园内掉落的普通樟树叶，洗净烘干后用搅碎机搅碎(大小约为 1 cm 当量直径)储存备用。

### 2.2. 试验仪器

7890A-5975C 气象色谱和质谱联用(GC-MS)，美国安捷伦公司；ZWC-100 中流量大气采样器，杭州恒达工业自动化技术有限公司；ASAP-2020 比表面仪，美国 Micromeritics Instrument 公司；HZ-9310K 恒温摇床，江苏太仓华利达实验设备公司；YFX7100-CC 马弗炉，上海意丰电阻炉有限公司；HJ-6A 数显恒温磁力搅拌器，金坛市医疗仪器厂；AL204 电子天平，梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司；GZX-9240MBE 数显鼓风干燥箱，上海博迅实业有限公司医疗设备厂；pHS-3C 酸度计，上海雷磁仪器厂。

### 2.3. 试验药品

分析纯：二硫化碳( $\text{CS}_2$ )、磷酸、磷酸氢二钾、磷酸二氢钠、碳酸钠、氢氧化钠、盐酸、硝酸、甲苯、无水硫酸钠。色谱纯：甲醇、丙酮。上述分析纯均购自阿拉丁，色谱纯均为 TEDIA 试剂。

## 3. 试验内容

### 3.1. 树叶活性炭的制备

按一定的浸渍比例(磷酸质量  $M_p$ : 树叶质量  $M_y$ )将一定浓度的磷酸溶液与树叶碎片混合，常温下浸渍 12 个小时后取出，在  $108^\circ\text{C}$  的烘箱内烘约 3 小时，后置于马弗炉内热解活化 1 小时。活性炭冷却后用蒸馏水清洗至中性，在  $105^\circ\text{C}$  下烘干，研磨过 60 目的标准筛，即制得树叶活性炭产品，置于干燥器内储存。

### 3.2. 样品表征试验

#### 3.2.1. 比表面积孔隙结构试验

活性炭的氮气吸附比表面积 TSA 测定：先将待测样品在  $105^\circ\text{C}$  下真空脱气 12 小时，以确保活性炭孔结构清洁无覆盖，然后根据 BET 测试方法，在液氮温度为 77 K 时，用氮气作吸附质，通过 ASAP-2020 比表面仪测定。

#### 3.2.2. Boehm 滴定[9]试验

活性炭表面官能团的含量均采用薄膜滴定的方法测定。方法通过不同强度的酸或碱与活性炭表面不同的含氧基团反应，从而对活性炭表面官能团进行定性和定量分析。一般情况下认为碳酸氢钠能够中和羧基；碳酸钠则能中和羧基与内酯基；氢氧化钠能中和羧基、内酯基以及酚羟基；盐酸能够中和活性炭表面所有的碱性官能团。根据最终消耗酸或碱的量即可计算相应官能团的含量。具体操作方法如下：

准确称取 0.5 g 树叶活性炭样品置于 100 ml 具塞锥形瓶中，加入 50 mL 浓度为 0.05 mol/L 的 HCL/NaOH/  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ /  $\text{NaHCO}_3$  溶液，然后将装有样品的锥形瓶放入恒温振荡器内振荡 24 h，在室温条件静置分层，用中性滤纸过滤。之后用移液管精确量取滤液 25 mL，用酚酞作指示剂，使用浓度为 0.05 mol/L 的 NaOH/ HCL/ HCL/ HCL 标准溶液来滴定过量的 HCL/NaOH 直至溶液出现微红色，通过消耗 NaOH/ HCL/ HCL/ HCL 溶液的体积计算活性炭表面所含碱性官能团/酸性官能团/羧基与内酯基/羧基的含量。

其中酚羟基的含量通过上述测得的酸性官能团的量减去羧基与内酯基的量计算得到；内酯基的含量

通过羧基与内酯基的量减去羧基的量计算得到。

### 3.2.3. 等电点滴定试验

在某一 pH 值下分散系中的  $\zeta$  电位变成零, 此时的 pH 值叫做等电点。因此, 等电点可以用来表示活性炭的表面电荷, 这种方法能够更好地研究溶液 pH 值对吸附剂的影响。本试验中采用批量平衡实验[10]来测定树叶活性炭的等电点。测定方法如下: 分别在 11 个 100 mL 的锥形瓶中配制 50 mL、0.01 mol/L 的 NaCl 溶液, 用 NaHCO<sub>3</sub> 或 HCL 溶液将编号的 NaCl 溶液的 pH 依次调至 2~12, 然后分别加入 0.15 g 的树叶活性炭, 在室温条件下将锥形瓶置于恒温振荡器内振荡 2 h 后静置 24 h, 用 pH 计测定溶液的 pH 并记录。最后以溶液原始 pH 值(pH<sub>1</sub>)为横坐标, 反应后的 pH 值(pH<sub>2</sub>)为纵坐标作图。当 pH<sub>1</sub> 和 pH<sub>2</sub> 相等时, 相应的 pH<sub>1</sub> 即为树叶活性炭的等电点。

### 3.3. 树叶活性炭的甲苯饱和吸附量试验

甲苯是现实生活中常见的污染物, 挥发性强, 对人们的生活造成一定的影响。因此本研究以甲苯饱和吸附量来探讨树叶活性炭的吸附性能。

选取大口内径为 0.8 cm 的滴管, 在滴管小口端用少量清洁的玻璃棉堵塞, 称取制得的活性炭 0.2 g 置于滴管内, 用玻璃棉堵塞另一端。图 1 为树叶活性炭的甲苯饱和吸附能力试验装置图。锥形瓶中装有一定量的甲苯, 抽气一定时间后停止抽气并更换活性炭采样管, 采样管抽气时间分别为 15 s、30 s、1 min、1.5 min、2 min、3 min、5 min、10 min、20 min、30 min、60 min、120 min。采样结束后将活性炭转移至 10ml 玻璃离心管内, 先加入 1 g 无水 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 后加入 2 mL CS<sub>2</sub>, 震荡一分钟后静置 1 小时使活性炭充分解吸。从混合液中取 40  $\mu$ L 到 10mL 的容量瓶, 稀释至刻度, 摇匀后取 20  $\mu$ L 至进样瓶, 后加 CS<sub>2</sub> 至 1 mL, 用 GC-MS 对甲苯的浓度进行分析。

## 4. 结果与讨论

### 4.1. 最佳制备条件分析

最佳制备条件分析的正交试验分 9 组进行, 初始条件均为 10 g 树叶, 室温下浸渍 12 h, 活化 1 h, 具体实验分组情况见表 1。其中 A 代表磷酸浓度, B 代表浸渍比, C 代表活化温度; R 值为极差分析结果, 反映了不同因素对研究目标的影响程度; K 代表均值, 能够反映某一影响因素对考察目标的影响大小。

#### 4.1.1. 活性炭比表面积的极差分析

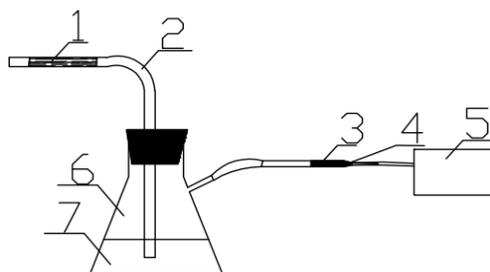
表 1 为活性炭比表面积的极差分析结果。由表可知,  $R_{1B} > R_{1A} > R_{1C}$ , 所以对于活性炭的比表面积而言, 这三个因素的影响大小顺序为 B > A > C。对单个因素分析发现  $K_{2A} > K_{3A} > K_{1A}$ ,  $K_{1B} > K_{2B} > K_{3B}$ ,  $K_{2C} > K_{1C} > K_{3C}$ 。在一般情况下, 活性炭的比表面积越大说明制备的活性炭越好, 因此在本试验范围内, 影响比表面积最佳的因素组合方式为 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>, 即 50%的磷酸浓度、3:1 的磷酸和树叶浸渍比和 400℃的活化温度。

#### 4.1.2. 活性炭微孔面积的极差分析

表 2 为活性炭微孔面积的极差分析结果。其中  $R_{2C} > R_{2B} > R_{2A}$ , 因此对于微孔面积而言, 这三个因素的影响大小顺序为 C > B > A。又由表可知,  $K_{2A} > K_{1A} > K_{3A}$ ,  $K_{1B} > K_{3B} > K_{2B}$ ,  $K_{1C} > K_{2C} > K_{3C}$ , 同样在一定的范围内, 活性炭的微孔面积越大越好, 因此在本试验范围内, 影响微孔面积大小最佳的因素组合方式为 A<sub>2</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>, 即 50%的磷酸浓度, 3:1 的浸渍比, 350℃的活化温度。

#### 4.1.3. 甲苯饱和吸附量的极差分析

表 3 为甲苯饱和吸附量的极差分析结果。分析结果表明  $R_{3C} > R_{3B} > R_{3A}$ , 因此对于甲苯的饱和吸附量



注：1、活性炭；2、皮管；3、采样管；4、玻璃棉；  
5、大气采样器；6、具塞锥形瓶；7、甲苯

Figure 1. A simple device of absorbing toluene by activated carbon

图 1. 活性炭吸附甲苯简易装置

Table 1. Range analysis of the special surface area of activated carbon

表 1. 活性炭比表面积的极差分析表

编号	A.磷酸浓度(%)	B.浸渍比(Mp:My)	C.活化温度( °C)	比表面积(m <sup>2</sup> /g)	微孔面积(m <sup>2</sup> /g)	甲苯饱和吸附量(mg/g)
1	40	3:1	400	692.3	108.7	177.0
2	40	4:1	350	692.8	113.5	207.0
3	40	5:1	450	646.9	62.1	98.1
4	50	3:1	350	774.4	148.2	228.4
5	50	4:1	450	705.0	73.0	122.0
6	50	5:1	400	694.0	82.0	159.9
7	60	3:1	450	729.4	98.2	82.8
8	60	4:1	400	759.1	66.0	141.1
9	60	5:1	350	675.8	114.7	214.5
K <sub>1</sub>	677.3	732.0	714.3			
K <sub>2</sub>	724.5	719.0	715.1			
K <sub>3</sub>	721.4	672.2	693.8			
R <sub>1</sub>	47.1	59.8	21.4			
					比表面积的极差分析	

Table 2. Range analysis of the micropore area of activated carbon

表 2. 活性炭微孔面积的极差分析表

编号	A.磷酸浓度(%)	B.浸渍比(Mp:My)	C.活化温度(°C)	比表面积(m <sup>2</sup> /g)	微孔面积(m <sup>2</sup> /g)	甲苯饱和吸附量(mg/g)
1	40	3:1	400	692.3	108.7	177.0
2	40	4:1	350	692.8	113.5	207.0
3	40	5:1	450	646.9	62.1	98.1
4	50	3:1	350	774.4	148.2	228.4
5	50	4:1	450	705.0	73.0	122.0
6	50	5:1	400	694.0	82.0	159.9
7	60	3:1	450	729.4	98.2	82.8
8	60	4:1	400	759.1	66.0	141.1
9	60	5:1	350	675.8	114.7	214.5
K <sub>1</sub>	94.8	118.4	125.5			
K <sub>2</sub>	101.1	84.2	85.6			
K <sub>3</sub>	93.0	86.3	77.8			
R <sub>2</sub>	8.1	32.1	47.7			
					微孔面积的极差分析	

而言,这三个因素的影响大小顺序为  $C > B > A$ 。此外,  $K$  值的研究结果表明,  $K_{2A} > K_{3A} > K_{1A}$ ,  $K_{1B} > K_{3B} > K_{2B}$ ,  $K_{1C} > K_{2C} > K_{3C}$ , 由于在一定的范围内,活性炭的甲苯饱和和吸附量越大越好,因此在本试验范围内,影响微孔面积最佳的因素组合方式为  $A_2B_1C_1$ , 即 50%的磷酸浓度, 3:1 的浸渍比, 350℃的活化温度。

以上分析结果表明,活性炭微孔面积和甲苯吸附饱和量的最佳制备条件为试验 4, 而比表面积的最佳制备条件不在上述 9 个试验组合之内, 因此追加一组比表面积最佳试验条件的试验 10, 具体方案和结果见表 4。结果显示, 虽然试验 10 相比试验 4 活性炭的比表面积有一定增加, 但是微孔面积和甲苯饱和和吸附量均明显降低, 对活性炭整体的吸附性能不利, 因此本试验最终得到的最佳制备条件为 50%磷酸浓度, 3:1 的浸渍比, 350℃的活化温度。不同的原材料活化条件不同, 有研究[4]以稻壳为原料采用磷酸法对其制备条件进行了讨论, 得到最佳制备条件为 3:1 固液浸渍比浸渍 24 h, 为 400℃下活化 2 h, 相比本试验材料最佳制备结果耗费时间长, 活化温度高。

## 4.2. 树叶活性炭的表征

### 4.2.1. 比表面积分析

活性炭是一种吸附材料, 比表面积是衡量吸附能力的一个重要指标, 所以对比表面积的研究是必要的。本实验不同条件下制得的树叶活性炭的比表面积在 646~790  $m^2/g$  范围内波动, 其中最优条件下制得的比表面积为 774.4  $m^2/g$ 。有文献报道[11], 磷酸法 800 K 氮气条件下活化制得的煤基活性炭平均比表面积约为 600  $m^2/g$ , 与其相比, 本实验最优条件下制得的树叶活性炭具有更优的比表面积。此外, 树叶活

**Table 3.** Range analysis of the toluene adsorption capacity of activated carbon  
**表 3.** 甲苯饱和和吸附量的极差分析

编号	A.磷酸浓度(%)	B.浸渍比(Mp:My)	C.活化温度(℃)	比表面积( $m^2/g$ )	微孔面积( $m^2/g$ )	甲苯饱和和吸附量( $mg/g$ )
1	40	3:1	400	692.3	108.7	177.0
2	40	4:1	350	692.8	113.5	207.0
3	40	5:1	450	646.9	62.1	98.1
4	50	3:1	350	774.4	148.2	228.4
5	50	4:1	450	705.0	73.0	122.0
6	50	5:1	400	694.0	82.0	159.9
7	60	3:1	450	729.4	98.2	82.8
8	60	4:1	400	759.1	66.0	141.1
9	60	5:1	350	675.8	114.7	214.5
$K_1$	160.7	182.7	216.6			
$K_2$	170.1	156.7	159.3			
$K_3$	166.1	157.5	121.0			
$R_3$	5.4	26.0	95.7			

甲苯吸附量的极差分析

**Table 4.** The comparison of test 4 and 10  
**表 4.** 试验 4 与试验 10 结果比较

编号	A.磷酸浓度(%)	B.浸渍比(Mp:My)	C.活化温度(℃)	比表面积( $m^2/g$ )	微孔面积( $m^2/g$ )	甲苯饱和和吸附量( $mg/g$ )
4	50	3:1	350	774.4	148.2	228.4
10	50	3:1	400	790.1	103.5	166.7

性炭的微孔面积为  $148.2 \text{ m}^2/\text{g}$ , 占比表面积的 19.1%, 中孔面积为  $626.2 \text{ m}^2/\text{g}$ , 占比表面积的 80.9%, 说明此活性炭以中孔为主, 有利于染料、有机物等大分子物质的吸附。

#### 4.2.2. 活性炭表面基团含量分析

表 5 为树叶活性炭表面基团含量表。由表可知, 树叶活性炭表面官能团主要为酸性基团, 占活性炭表面基团总量的 95.3%, 其主要包括羟基、酚羟基和内酯基羰基, 它们分别占活性炭表面官能团总量的 39.6%、33.8%和 21.9%。而活性炭中的碱性基团明显较少, 只占了总基团的 4.7%。这可能是由于本研究的活性炭由磷酸活化, 在该过程中磷酸可能使活化生成的活性炭的表面含氧基团酸化, 从而更多地生成羟基和酚羟基等酸性官能团, 而带有氨基等碱性的官能团却很难生成。

#### 4.2.3. 等电点滴定结果分析

等电点试验的结果如图 2 显示, 图中  $\text{pH}_1$  为原始 pH 值,  $\text{pH}_2$  为反应后 pH 值, 曲线与直线交点即为反应前后的等电点。由图可知, 图中曲线与直线交点的 pH 值约为 5.33。当  $\text{pH} < 5.33$  时, 原始 pH 值小于反应后 pH 值; 当  $\text{pH} > 5.33$  时, 原始 pH 值大于反应后 pH 值。因此得到树叶活性炭的等电点约为 5.33, 该结论同样说明用磷酸活化法制得的树叶活性炭中酸性基团是主要基团。

### 5. 结论

本研究以树叶为原材料, 设计正交试验考查磷酸浓度、活化温度和浸渍比这三个方面对树叶活性炭的最佳制备方法进行了探讨, 同时对在最优条件下制得的树叶活性炭的部分性质进行表征。具体结果如下:

(a) 在试验范围内, 树叶活性炭的最佳制备方法为: 在质量分数 50% 的磷酸下将磷酸与树叶按浸渍比 3:1 混合后浸渍 12 小时, 后以  $350^\circ\text{C}$  活化 1 小时。

(b) 在最优条件下制得的树叶活性炭的比表面积为  $774.4 \text{ m}^2/\text{g}$ , 微孔面积为  $148.2 \text{ m}^2/\text{g}$ , 甲苯饱和吸附量为  $228.4 \text{ mg/g}$ 。

Table 5. The content of surface functional groups in the leaves activated carbon

表 5. 树叶活性炭表面基团含量表

总碱量 mmol/g	总酸量 mmol/g	羟基 mmol/g	酚羟基 mmol/g	羰基 mmol/g
0.105	2.123	0.882	0.754	0.487

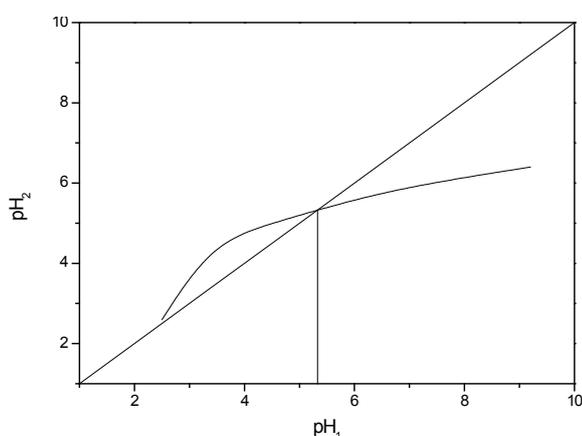


Figure 2. The PZC of leaves activated carbon

图 2. 树叶活性炭的等电点分析图

(c) 采用 boehm 滴定和等电点滴定两种方法对树叶活性炭的表面化学特性进行分析。结果表明, 利用磷酸活化制备的活性炭表面以酸性基团为主, 且主要为醇羟基和酚羟基, 等电点约为 5.33。

## 基金项目

国家自然科学基金(21307111); 浙江省自然科学基金(LY13B070009); 浙江工业大学环境科学与工程重中之重开放基金(ESE20130306); 教育部(博士点基金)(20133317120001)。

## 参考文献 (References)

- [1] 吴新华 (1994) 活性炭生产工艺原理与设计. 中国林业出版社, 北京.
- [2] 王飞军, 张双全 (2001) 添加剂作用下用粘结性烟煤制活性炭. *煤炭转化*, **24**, 89-92.
- [3] 左宋林, 江小华 (2005) 磷酸催化竹材炭化的 FT-IR 分析. *林产化学与工业*, **25**, 21-25.
- [4] 厉悦, 李湘洲, 刘敏 (2012) 磷酸法稻壳基活性炭制备及表征. *江苏农业科学*, **40**, 280-281.
- [5] Caturla, F., Molina-Sabio, M. and Rodriguez-Reinoso, F. (1991) Preparation of activated carbon by chemical activation with  $ZnCl_2$ . *Carbon*, **29**, 999-1007. [http://dx.doi.org/10.1016/0008-6223\(91\)90179-M](http://dx.doi.org/10.1016/0008-6223(91)90179-M)
- [6] 焦其帅, 胡永琪, 陈瑞珍, 等 (2012) KOH 活化法制备棉花秸秆活性炭的研究. *林产化学与工业*, **32**, 89-92.
- [7] Philip, C.A. and Girgis, B.S. (1996) Adsorption characteristics of microporous carbons from apricot stones activated by phosphoric acid. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **67**, 248-254. [http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199611\)67:3<248::AID-JCTB557>3.0.CO;2-1](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199611)67:3<248::AID-JCTB557>3.0.CO;2-1)
- [8] Yang, K., Peng, J., Srinivasakannan, C., et al. (2010) Preparation of high surface area activated carbon from coconut shells using microwave heating. *Bioresource Technology*, **101**, 6163-6169. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.001>
- [9] Guo, Y. and Rockstraw, D.A. (2007) Physicochemical properties of carbons prepared from pecan shell by phosphoric acid activation. *Bioresource Technology*, **98**, 1513-1521. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2006.06.027>
- [10] 任亮 (2012) 香蒲绒活性炭的制备及其对 2,4-二氯酚和 2,4,6-三氯酚吸附性能研究. 山东大学, 济南.
- [11] 任楠, 夏建超 (2001) 煤基活性炭制备工艺及表面性质的研究进展. *洁净煤技术*, **7**, 46-50.