

大麻杆活性炭对染料吸附性能的研究

蒋志茵¹ 杨 儒^{1*} 张建春^{1,2} 李 敏¹ 李慧琴¹ 郝新敏² 张 华²

(1. 北京化工大学 化学资源有效利用国家重点实验室, 北京 100029;

2. 总后勤部军需装备研究所 士兵系统研究中心, 北京 100088)

摘 要:以天然大麻杆为原料,采用磷酸活化法制备大麻杆活性炭。利用低温氮吸附对样品的比表面积与孔结构进行了表征,并利用亚甲基蓝与甲基橙两种染料对活性炭在液相中的吸附行为进行了研究。结果表明,样品的比表面积与中孔孔容随着活化温度的升高而增大,在 500 °C 时达到最大值 1325.73 m²/g,随后由于磷酸过度活化导致结构坍塌致使各参数有所降低;在 25 °C 下,大麻杆活性炭对亚甲基蓝与甲基橙的吸附等温线均遵循 Langmuir 方程,单层吸附量分别达到 471.698 mg/g 和 363.64 mg/g,吸附量主要受微孔孔容、染料分子尺寸及染料分子与活性炭表面作用力三者的共同影响。吸附动力学能够很好的符合准二级动力学方程,且亚甲基蓝的吸附速率高于甲基橙。

关键词:活性炭; 大麻杆; 亚甲基蓝; 甲基橙; 吸附等温线; 吸附动力学

中图分类号: TQ424.1

引 言

大麻是一种传统的可再生经济作物,其纤维具有优异的吸湿、放湿、透气性能,并具有一定的保健性,所以大麻纤维在服装、造纸等行业^[1]有着广阔的发展前景。但目前的应用主要集中于大麻表皮纤维与果实,芯杆作为副产物通常只能作为焚烧物进行处理,这既浪费了资源,又造成了环境的污染。将大麻杆进行回收处理,不仅具有环保效益,在一定程度上也可降低麻纤维产业的经济成本,进而可扩大大麻产业的发展^[2]。

活性炭是一类具有发达孔隙结构、高比表面积的固体材料,由于其在较宽范围内对吸附质的高效吸收且操作简便而被广泛适用于水处理工业^[3]。制备活性炭的主要原材料有煤、木质素及各种果壳等高碳物质。商业活性炭成本高昂,使其在实际应用中受到了一定限制。近年来,含碳量高、成本低廉、可再生能力强的农作物成为关注的热点。Thio 等^[4]使用 KOH 活化得到的榴莲壳活性炭,对亚甲基蓝的吸附量为 289.26 mg/g,且吸附等温线与动力学分别遵循 Langmuir 与准动力学一级方程。

Tsing^[5]对松木使用 KOH 进行活化处理,得到的活性炭对亚甲基蓝的吸附量达到了 556 mg/g,而吸附平衡态和动力学分别遵循 Langmuir 方程与 Elovich 方程。由此可见,对于不同制备条件,木质活性炭呈现的吸附规律并不相同。目前对于大麻杆活性炭对染料的吸附性能研究鲜见报道。

本文以大麻杆为原料,经磷酸活化制备出大麻杆活性炭,采用低温氮气吸附法对其表面形貌、孔结构特征进行分析,通过研究不同活化条件下制得的活性炭对亚甲基蓝、甲基橙染料的吸附行为,以期与实际工程应用提供依据。

1 实验部分

1.1 试剂及原料

磷酸、亚甲基蓝(MB)、甲基橙(MO),分析纯,北京化工厂。大麻杆,产自云南省西双版纳州。

1.2 大麻杆活性炭的制备

将大麻杆置于 1.5 mol/L 的磷酸溶液中煮沸 3 h,取出烘干至恒重。将磷酸处理后的大麻杆前驱体置于管式电阻炉中,于 N₂ 保护下分别升温至 300 ~ 600 °C 下保温 2 h,待自然冷却至室温后取出,用去离子水洗至滤液为中性,烘干即得麻杆基活性炭。其麻杆基活性炭记为 DMP-X, X 为炭化温度。

1.3 大麻杆活性炭的表征

1.3.1 微观结构

采用美国 Micromeritics ASAP 2020 高速比表面

收稿日期: 2009-05-25

第一作者: 女, 1984 年生, 硕士生

* 通讯联系人

E-mail: yangru@bbn.cn

和孔隙率测试仪,在液氮温度 77 K 下测定样品的 N_2 吸附-脱附等温线,所有的样品分析前均在 350 °C 脱气 16 h。根据得到的等温线,用 BET 方程计算得到麻杆基活性炭的比表面积,用 t -曲线法计算出微孔孔容,由相对压为 0.99 时吸附的液氮体积计算总孔容,采用 DFT 法分析等温线的吸附分支计算得到麻炭样品的中孔、微孔及全孔孔径分布。

1.3.2 染料吸附平衡等温线的测定

大麻杆基活性炭吸附平衡等温线,采用批平衡技术。将 0.01 g 麻杆基活性炭样品分别加入到 20 mL 不同初始浓度的染料溶液中,在 25 °C 下以 150 r/min 恒温震荡 48 h,使其达到吸附平衡,随后将溶液中的大麻杆基活性炭颗粒滤出,采用分光光度计法测定剩余染料的质量浓度。大麻杆基活性炭样品颗粒吸附染料的平衡吸附量由公式(1)计算:

$$q_e = \frac{\rho_0 - \rho_e}{m} V \quad (1)$$

式中 q_e 为平衡吸附量,mg/g; ρ_0 为吸附前染料初始质量浓度,mg/L; ρ_e 为平衡质量浓度,mg/L; V 为染料溶液体积,L; m 为活性炭的质量,g。

1.3.3 染料吸附动力学的测定

将 0.1 g 麻杆基活性炭样品分别加入到 200 mL 不同初始质量浓度的染料溶液中,在 25 °C 下以 150 r/min 恒温震荡,并在不同的时间点取样并快速过滤,测定滤液的剩余质量浓度。在不同的时间点处,染料在麻炭上的吸附量可由式(2)计算:

$$q_t = \frac{\rho_0 - \rho_t}{m} V \quad (2)$$

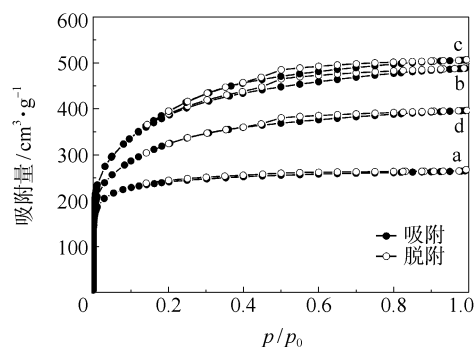
式中 q_t 为 t 时刻活性炭对染料的吸附量,mg/g; ρ_t 为 t 时刻剩余染料质量浓度,mg/L。

2 结果与讨论

2.1 大麻杆基活性炭的表面织构参数

不同温度下的大麻杆活性炭样品的氮气吸脱附

等温线见图 1,孔径分布见图 2,表面织构参数见表 1。



a—300 °C ; b—400 °C ; c—500 °C ; d—600 °C

图 1 不同活化温度大麻杆活性炭的氮气吸脱附等温线
Fig. 1 N_2 adsorption-desorption isotherms of the hemp haulm-based activated carbons materials synthesized at different carbonization temperatures

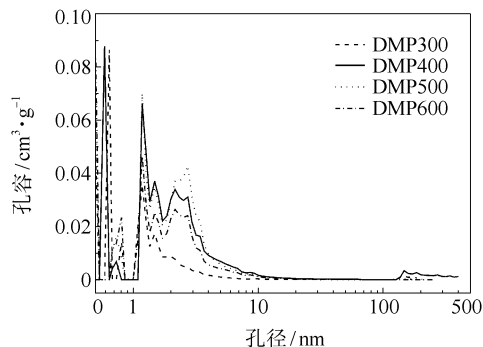


图 2 不同温度样品的 DFT 孔径分布

Fig. 2 DFT pore size distributions of the hemp haulm-based activated carbons materials synthesized at different temperatures

由图 1 可以看出,按照 IUPAC 对吸附等温线的分类^[6],各样品均呈现出 I 型吸附等温线的特征,并在相对压力 $p/p_0 < 0.1$ 时,吸附分支上升很快,表明活性炭样品具有微孔材料的典型特征。相对压力 (p/p_0) 大于 0.1 的区域,DMP300 活性炭样品出现明显的拐点,随后进入吸附平台,并在中压范围内,

表 1 不同温度下制备的大麻杆活性炭的表面结构参数

Table 1 Physical properties of carbons materials derived from hemp haulm at different temperatures

样品	$T/^\circ\text{C}$	收率/%	比表面积/ $\text{m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$	微孔孔容/ $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	中孔孔容/ $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	总孔孔容/ $\text{cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$	微孔率/ %	平均孔径/ nm
DMP300	300	37.06	829.58	0.40	0.07	0.47	0.85	2.26
DMP400	400	36.24	1319.19	0.59	0.21	0.80	0.74	2.41
DMP500	500	33.62	1325.73	0.58	0.25	0.83	0.70	2.49
DMP600	600	33.02	1117.12	0.52	0.14	0.66	0.79	2.35

出现极小的回滞环,表明此温度下的样品基本呈现微孔分布,只伴随着少量的中孔;400 ℃ 以上的活性炭样品,均形成了“膝型”弯曲,并逐渐形成吸脱附平台,且在中压区域内出现 H₂ 型回滞环,表明材料的中孔数量增加,而且孔道呈墨水瓶形状。

由图 2 可看出,4 种活性炭样品均呈现出 3 nm 以下范围内的多峰分布。300 ℃ 样品以微孔为主,基本不含中孔;随着活化的温度升高,2 ~ 3 nm 范围内的中孔数量急剧增加,超微孔数量有所增加,极微孔的数量无明显变化但最可几孔径逐渐减小;继续升高活化温度至 600 ℃,孔径分布朝着相反的方向变化。这说明在孔的形成过程中活化温度对孔分布有直接的影响。磷酸的加入降低了炭化温度,在低温下已形成稳定的凝聚炭结构;314 ~ 596 ℃ 时磷酸开始氧化浸蚀炭体使活性炭中的中孔数目增加^[7],而进入木质素纤维结构中的磷酸及多磷酸的组成可控制活性炭产物的微孔孔径分布^[8];当温度升至 600 ℃ 时,一方面原本的碳结构因芳构化产生收缩而导致孔隙率降低^[9],另一方面在此温度下原本具有一定抗氧能力的磷酸炭结构逐步分解成气体物逸出,炭体失去磷酸的保护而被过度烧失,从而使原本形成的孔结构开始坍塌,导致孔数量减少,孔容降低。

由表 1 可知,各活性炭的微孔率均在 70% 以上,且随着活化温度的升高,样品的比表面积、总孔容和孔径呈先增大后减小的变化趋势,而得率却逐渐降低,进一步表明不同活化温度对活性炭样品的表面织构存在较大影响。

2.2 大麻杆活性炭对染料的吸附等温线

吸附等温线是用于描述在吸附平衡状态下吸附质分子在液相与固相中分布状态的曲线^[3]。25 ℃

下亚甲基蓝与甲基橙在大麻杆活性炭上的吸附等温线见图 3。采用 Langmuir 与 Freundlich^[3] 吸附等温线模型对吸附等温线进行拟合得到的结果列于表 2。

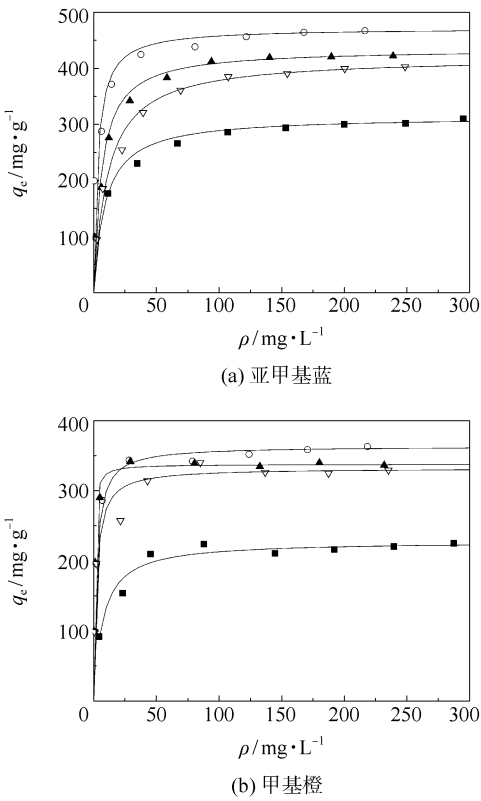


图 3 25 ℃ 下染料在不同活化温度大麻杆活性炭上的吸附等温线

Fig. 3 Adsorption isotherms at 25 ℃ of (a) methylene blue and (b) methyl orange on hemp haulm-based activated carbon materials prepared at different carbonization temperatures. The curves are calculated using the Langmuir equation

表 2 25 ℃ 下两种染料在大麻杆活性炭上吸附的 Langmuir 和 Freundlich 等温线拟合参数

Table 2 Parameters of the Langmuir and Freundlich equations for the adsorption of methylene blue (MB) and methyl orange (MO) solution on hemp haulm-based activated carbon materials at 25 ℃

染料	样品号	Langmuir				Freundlich		
		$q_{mon}/\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$	$K_L/\text{L}\cdot\text{mg}^{-1}$	R_L	R^2	$1/n$	K_F	R^2
MB	DMP300	314.47	0.113	0.028	0.9987	0.172	122	0.9887
	DMP400	471.70	0.327	0.007	0.9995	0.192	188	0.8533
	DMP500	434.78	0.162	0.014	0.9995	0.252	124	0.9359
	DMP600	420.17	0.091	0.027	0.9996	0.297	91.5	0.9168
MO	DMP300	227.79	0.143	0.030	0.9987	0.256	68.0	0.9117
	DMP400	363.64	0.269	0.010	0.9996	0.175	160	0.8824
	DMP500	337.84	2.331	0.001	0.9992	0.154	169	0.7848
	DMP600	332.22	0.473	0.006	0.9993	0.178	141	0.8885

从图 3(a)可以看出,亚甲基蓝的平衡吸附量随平衡质量浓度的增加而增大,但增量逐渐变小,平衡质量浓度达到 100 mg/L 左右时,吸附基本达到饱和。图 4 中甲基橙的吸附等温线表现出相似的规律,但在平衡质量浓度为 50 mg/L 时吸附就基本达到饱和。

由表 2 可知,不同活化温度下制备的活性炭样品对 2 种染料的平衡吸附过程,均有 L 方程的 R^2 高于 F 方程的 R^2 ,表明 L 方程更适合于描述两种染料在活性炭表面的吸附平衡态。根据 L 方程拟合计算得到征分离因子 $R_L: 0 < R_L < 1$,说明两种染料在大麻秆活性炭上的吸附均为优惠吸附^[3]。随着活化温度的升高,各样品对染料的单层吸附量 q_m 增大后减小,在 400 °C 时达到最大值,这与微孔孔容的变化规律一致,说明微孔孔容是大麻秆活性炭吸附染料的主要影响参数,微孔孔容越大,吸附能力越强。由表 2 中活性炭对 2 种染料的 q_m 值可以看出,活性炭对亚甲基蓝中的吸附量高于甲基橙。由于亚甲基蓝分子尺寸为 1.43 nm × 0.55 nm × 0.16 nm^[10],甲基橙的分子尺寸为 1.47 nm × 0.53 nm × 0.53

nm^[11],前者空间体积较小,在扩散过程中所受的空间阻力更小,更易与活性炭中吸附点结合,而且能被更小的孔吸附^[12],从而表现出较高的吸附量,因此染料的分子尺寸也是吸附量的主要影响参数。除表面织构参数和染料分子尺寸外,活性炭的表面官能团对吸附量也有影响。文献[13]认为在活性炭的热解过程中,磷酸能在活性炭表面生成酯和酮等含氧官能团。这类含羰基的官能团能与含有苯环的吸附质之间形成电子-受电子复合物,当吸附质上的苯环含有吸电子基团时能够增加吸附量^[14]。亚甲基蓝溶于水呈阳离子形态,能够作为电子受体与活性炭表面的羟基基团相互作用,因而加强了吸附作用使吸附量增加。而甲基橙溶于水后主要以阴离子形式存在,苯环上连接的一SO₃是给电子体,两者电负性相同产生的力场作用对吸附产生不利影响,使得甲基橙在活性炭上的吸附量有所减小。根据我国木质净水用活性炭标准(GB/T13803.2—1999),对亚甲基蓝的吸附量达到 135 mg/g 的活性炭就具备一级品的性质,从表 2 中可以看出,各样品对亚甲基蓝的吸附量均已达到国家一级品的水平。

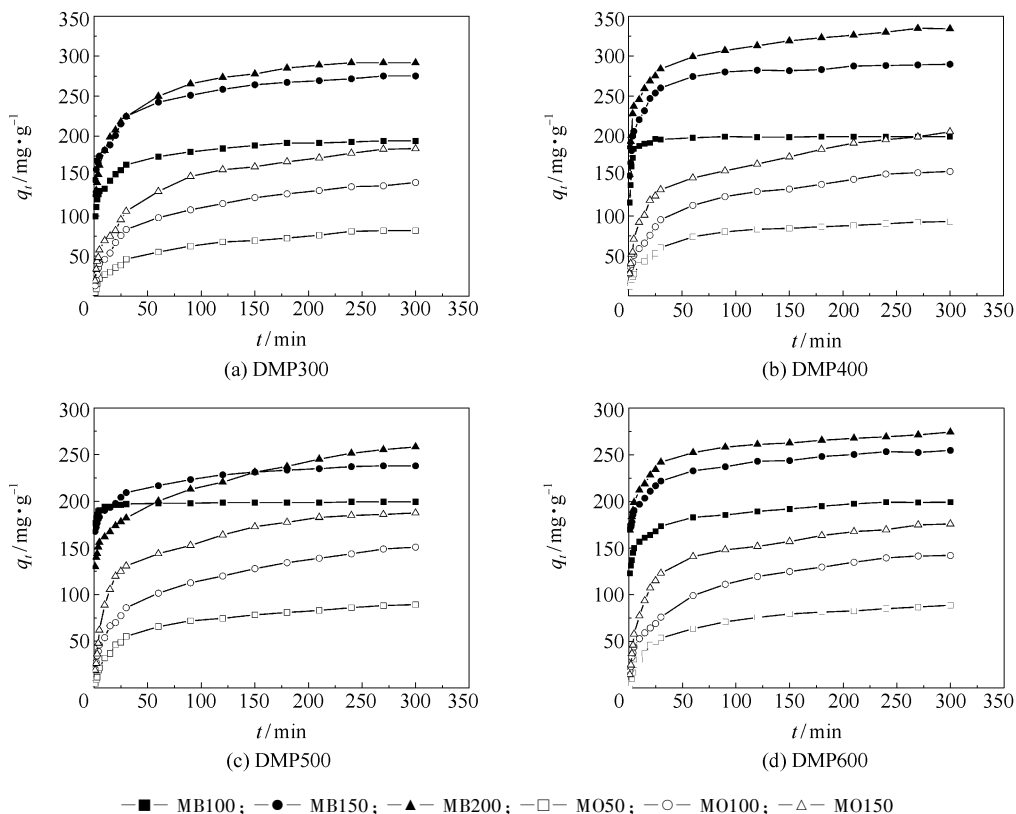


图 4 25 °C 时不同初始质量浓度下染料中大麻秆活性炭对亚甲基蓝和甲基橙的吸附量-时间曲线

Fig. 4 Plots of q_t - t at 25 °C for methylene blue (MB) and methyl orange (MO) at different initial mass concentrations over hemp haulm-based activated carbon materials

2.3 大麻杆活性炭对染料的吸附动力学

25 ℃ 下活性炭在不同初始浓度下对染料的吸附量 - 时间曲线如图 4 所示。

准一级动力学方程与准二级动力学方程是研究吸附动力学常用的模型,其线性式分别如式(3)、(4)。各参数拟合结果列于表 3、表 4。

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \tag{3}$$

式中, k_1 为速度常数,可通过 $\ln(q_e - q_t) - t$ 拟合曲线的斜率得到。

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{eq}^2} + \frac{1}{q_{eq}} t \tag{4}$$

式中, k_2 为速度常数,可根据 $t/q_t - t$ 拟合曲线的斜

率得到。根据 k_2 计算初始吸附速度 h 的计算式如式(5)：

$$h = k_2 q_{eq}^2 \tag{5}$$

从表 3 可知,在实验浓度范围内,准二级动力学方程的 R^2 相对较高,表明亚甲基蓝在大麻杆活性炭上的吸附动力学遵循准二级动力学方程,其中化学反应是控速步骤^[15]。由表 3 中的 k_2 随着初始质量浓度的增加而减小,说明 k_2 值与初始质量浓度有关。由于 k_2 并不是指吸附速度,但可以根据 k_2 得到初始吸附速度 h 值判断初始吸附速率的快慢,由表 3 可知,初始质量浓度越高, h 越大。表 4 中甲基橙的动力学参数反映出相同的规律。从表 3 和表 4

表 3 25 ℃ 时不同初始质量浓度下大麻杆活性炭在亚甲基蓝溶液中的动力学参数
Table 3 Kinetic parameters at 25 ℃ for the adsorption of methylene blue solution on hemp haulm-based activated carbon materials

样品号	$\rho(\text{MB})/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	准一级动力学方程		准二级动力学方程		
		k_1/h^{-1}	R^2	$k_2/\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	$h/\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	R^2
DMP300	100	2.101	0.9733	0.0711	2723.6	0.9996
	150	2.227	0.9938	0.0412	2738.5	0.9993
	200	0.394	0.8940	0.0311	3159.6	0.9991
DMP400	100	3.873	0.7936	0.4644	4788.5	1
	150	1.174	0.8795	0.0717	6060.6	0.9993
	200	0.301	0.8653	0.0428	18457	0.9998
DMP500	100	1.100	0.7925	0.8947	1828.71	1
	150	0.179	0.8657	0.0817	4654.8	0.9997
	200	0.179	0.9540	0.0277	35502	0.9958
DMP600	100	4.686	0.9509	0.0882	3529.4	0.9996
	150	3.723	0.9847	0.0708	4608.3	0.9996
	200	1.429	0.9652	0.069	5137.0	0.9996

表 4 25 ℃ 时不同初始质量浓度下大麻杆活性炭在甲基橙溶液中的动力学参数
Table 4 Kinetic parameters at 25 ℃ for the adsorption of methyl orange on hemp haulm-based activated carbon materials

样品号	$\rho(\text{MB})/\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	准一级动力学方程		准二级动力学方程		
		k_1/h^{-1}	R^2	$k_2/\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	$h/\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$	R^2
DMP300	50	0.434	0.9660	0.0292	216.7	0.9933
	100	0.464	0.9677	0.0200	427.0	0.9949
	150	0.400	0.9843	0.0168	610.4	0.9952
DMP400	50	0.508	0.9300	0.0411	377.7	0.9984
	100	0.286	0.9259	0.0222	563.7	0.9943
	150	0.230	0.8811	0.0192	813.4	0.9940
DMP500	50	0.429	0.9359	0.0301	261.1	0.9978
	100	0.257	0.9384	0.0219	474.9	0.9919
	150	0.179	0.7952	0.0201	822.7	0.9983
DMP600	50	0.4248	0.9262	0.0332	208.8	0.9928
	100	0.2418	0.9202	0.0232	466.2	0.9939
	150	0.198	0.8023	0.0204	754.1	0.9984

还可看出,在相同初始质量浓度下,活性炭对亚甲基蓝的 h 值高于甲基橙。这是因为采用磷酸法活化的活性炭表含有的酸性官能团^[16]在吸附过程中对染料的吸附具有选择性,亚甲基蓝是碱性染料而甲基橙是酸性染料,前者能够更快的在活性炭中进行吸附,这与准二级动力学方程认为化学吸附是控速步骤^[5]是一致的。

3 结论

(1) 以大麻杆为原料,采用磷酸活化法在不同温度下制备得到比表面积在 829.58 到 1325.73 m²/g 的大麻杆活性炭。

(2) 样品的比表面积与中孔孔容随着温度的升高而增加,在 500 ℃ 时达到最大值,随后由与磷酸过度活化导致炭结构坍塌致使各参数有所降低。样品的孔分布在 0~0.8 nm 与 1~3 nm 范围内。

(3) 大麻杆活性炭对亚甲基蓝与甲基橙的吸附量分别达 471.698 mg/g 和 363.64 mg/g,对染料亚甲基蓝和甲基橙的吸附量主要受微孔孔容、染料分子尺寸以及活性炭与染料分子间相互作用的影响,而且对 2 种染料的吸附等温线均符合 Langmuir 方程大麻杆活性炭对 2 种染料的吸附动力学均符合准二级动力学方程,其中化学吸附是控速步骤。相同初始质量浓度下,亚甲基蓝的吸附速率高于甲基橙。

参考文献:

- [1] 孙进昌,童华兵. 麻类副产物的综合开发与利用价值[J]. 农产品加工学刊, 2006, 85: 22-25.
Sun J C, Tong H B. Application and development of hemp fiber products processing[J]. Academic Periodical of Farm Products Processing, 2006, 85: 22-25. (in Chinese)
- [2] 张建春,张华. 大麻纤维的结构性能与加工技术[J]. 高分子通报, 2008, 12: 44-51.
Zhang J C, Zhang H. Structure and performance of China-hemp fiber and process technology[J]. Polymer Bulletin, 2008, 12: 44-51. (in Chinese)
- [3] Tan I A W, Hameed B H, Ahmad A L. Equilibrium and kinetic studies on basic dye adsorption by oil palm fibre activated carbon[J]. Chem Eng J, 2007, 127: 111-119.
- [4] Chandra T C, Mirna M M, Sudaryanto Y, et al. Adsorption of basic dyes onto activated carbon prepared from durian shell: Studies of adsorption equilibrium kinetics[J]. Chem Eng J, 2007, 127: 121-129.
- [5] Tseng R L, Wu F C, Juang R S. Liquid-phase adsorption of dyes and phenols using pinewood-based activated carbons[J]. Carbon, 2003, 41: 487-495.
- [6] Puziy A M, Poddubnay O I, Martinez-Alonso A. Synthetic carbons activated with phosphoric acid II: Porous structure[J]. Carbon, 2002, 40: 1493-1505.
- [7] Serrano V G, Correa E M C, Correa M C C. Preparation of activated carbons from chestnut wood by phosphoric acid-chemical activation. Study of microporosity and fractal dimension[J]. Materials Letters, 2005, 59: 846-853.
- [8] 张会平,叶李艺,杨立春. 磷酸活化法制备木质活性炭研究[J]. 林产化学与工业, 2004, 24(4): 49-52.
Zhang H P, Ye L Y, Yang L C. Preparation of activated carbon from sawdust by phosphoric acid activation[J]. Chemistry and Industry of Forest Products, 2004, 24(4): 49-52. (in Chinese)
- [9] Garcia F S, Alonso A M, Tascon J M D. Activated carbon fibers from nomex by chemical activation with phosphoric acid[J]. Carbon, 2004, 42: 1419-1426.
- [10] 袁勋,柳玉英,嵯淑萍,等. 有序介孔炭的合成及液相大分子吸附性能研究[J]. 化学学报, 2007, 65(17): 1814-1820.
Yuan X, Liu Y Y, Zhuo S P, et al. Synthesis of order mesoporous carbon and its application in aqueous macromolecular adsorption[J]. Acta Chemica Sinica, 2007, 65(17): 1814-1820. (in Chinese)
- [11] 范山湖,孙振范,邬泉周,等. 偶氮染料吸附和光催化氧化动力学[J]. 物理化学学报, 2003, 19(1): 25-29.
Fan S H, Sun Z F, Wu Q Z, et al. Adsorption and photocatalytic kinetics of azo dyes[J]. Acta Phys-Chim Sin, 2003, 19(1): 25-29. (in Chinese)
- [12] 岳钦艳,解建坤,高玉宝,等. 污泥活性炭对染料的吸附动力学研究[J]. 环境科学学报, 2007(9): 1431-1438.
Yue Q Y, Xie J K, Gao Y B, et al. Kinetics of adsorption of dyes by sludge activated carbon[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007(9): 1431-1438. (in Chinese)
- [13] Rajgopal S, Karthikeyan T, Kumar B G P, et al. Utilization of fluidized bed reactor for the production of adsorbents in removal of malachite green[J]. Chem Eng J, 2006, 116: 211-217.
- [14] 孟冠华,李爱民,张全兴. 活性炭的表面含氧官能团及其对吸附性能影响的研究进展[J]. 离子交换与吸附, 2007, 23(1): 88-94.

- Meng G H, Lin A M, Zhang Q X. Studies on the oxygen-containing groups of activated carbon and their effects on the adsorption character [J]. Ion Exchange and Adsorption, 2007, 23(1): 88–94. (in Chinese)
- [15] 王宝娥, 胡勇有, 谢磊, 等. CMC 固定化灭活烟曲霉小球对活性艳蓝 KN-R 的吸附机理-吸附平衡、动力学和扩散传质过程 [J]. 环境科学学报, 2008, 28(1): 89–94.
- Wang B E, Hu Y Y, Xie L, et al. Mechanism of biosorption of reactive brilliant blue KN-R by inactive *Aspergillus fumigatus* immobilized on CMC beads: Equilibrium, kinetics, diffusion and mass transfer [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2008, 28(1): 89–94. (in Chinese)
- [16] Juang R S, Wu F C, Tseng R L. Mechanism of adsorption of dyes and phenols from water using activated carbon prepared from plum kernels [J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2000, 227: 437–444.

Adsorption studies of dyes on hemp haulm-based activated carbon

JIANG ZhiYin¹ YANG Ru¹ ZHANG JianChun^{1,2} LI Min¹
LI HuiQin¹ HAO XinMin² ZHANG Hua²

(1. State Key Laboratory of Chemical Resource Engineering, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029;

2. The Quartermaster Institute of General Logistics Department of CPLA, Beijing, 100088, China)

Abstract: Hemp haulm has been used to prepare activated carbon samples by phosphoric acid activation at different activation temperatures. The BET surface area and pore properties were characterized by using N₂ adsorption isotherms. Methylene blue (MB) and methyl orange (MO) were used to investigate the liquid adsorption of the hemp haulm based-activated carbon materials. The results show that the BET surface area and mesopore volume initially increased with increasing activation temperature, with the surface area reaching a maximum value of 1325.73 m²/g at 500 °C, and then decreased due to collapse of the structure. The adsorption equilibria of both dyes on the activated carbon materials were fitted to the Langmuir equation with the monolayer sorption capacity for MB and MO being 471.698 mg/g and 363.64 mg/g, respectively. The adsorption capacity is determined by the micropore volume, dye molecule size and the surface force between the activated carbon and the dyes. The adsorption kinetics of the dyes can be well described by the pseudo-second-order equation, and the adsorption rate of MB is higher than that of MO.

Key words: activated carbon; hemp haulm; MB; MO; adsorption isotherm; kinetics of adsorption