



论文

磁性活性炭的制备及其对 KMnO_4 的吸附性能谢太平^①, 徐龙君^{①*}, 刘成伦^②, 何春兰^②, 肖中明^③, 王敬春^③^① 煤矿灾害动力学与控制国家重点实验室, 重庆 400030^② 重庆大学化学化工学院, 重庆 400030^③ 重庆庆龙精细锑盐化工有限公司, 重庆 402560

*通讯作者, E-mail: xulj@cqu.edu.cn

收稿日期: 2011-12-19; 接收日期: 2012-02-29; 网络版发表日期: 2012-05-03

doi: 10.1360/032011-863

摘要 采用浸渍氮气保护焙烧法, 以自制碳酸锑、氯化铁和工业活性炭为原料, 制备了介孔磁性活性炭. 采用红外光谱、 N_2 吸附、X 光衍射、振动样品磁强计等手段和以吸附 KMnO_4 作为探针实验, 表征了样品的性质和吸附性能. 结果表明, 磁性活性炭是具有较高微孔率的介孔磁性材料, 其微孔率为 45.74%. 该材料的饱和磁化强度为 19.6 emu/g, 矫顽力为 239.7 Oe, 易于吸附后的磁分离, 且具有一定的抗退磁能力. 对 KMnO_4 的吸附探针实验表明其吸附本质为物理吸附. Freundlich 吸附等温式可描述 KMnO_4 在磁性活性炭上的吸附平衡, 准二级动力学方程是描述 KMnO_4 在磁性活性炭上吸附的最佳吸附动力学模型. 本研究有望为特种废水处理剂提供新型功能性材料.

关键词磁性活性炭
介孔
磁性材料
物理吸附
动力学

1 引言

具有高效吸附性的活性炭有着广泛用途, 如作为催化剂载体、废水净化剂、食品精制褪色剂、黄金提取剂等. 但活性炭回收较困难, 因此磁性活性炭成为功能活性炭的研究热点. 目前国内外制备磁性活性炭主要方法有包覆法^[1-4]、催化活化法^[5]、均匀混合法^[6, 7]、负压浸渍法^[8]等, 这些方法多以 Fe_3O_4 作为磁性组分与活性炭机械混匀, 由于 Fe_3O_4 属于软磁性材料, 矫顽力较低, 因此以 Fe_3O_4 为磁性基体的活性炭磁性能较差, 从根本上影响活性炭的回收. Ai 等^[9]采用单步回流法, 以 CoFe_2O_4 为磁基体制备了活性炭, 成功探索出磁性活性炭的制备新途径.

锑铁氧体因其具有优异磁性能、较高矫顽力和抗退磁能力而被广泛关注. Li 等^[10, 11]采用了溶胶凝胶法, 碳纳米管吸附锑铁氧体粒子制备复合物 CNTs-

$\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$. 有机聚合物受热膨胀, 致使溶胶凝胶法在其工艺流程中的焙烧环节难以控制. 鉴于此, 本研究以浸渍氮气保护焙烧法, 制备了以 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ 为磁基体的活性炭. 通过性能表征和 KMnO_4 的吸附探针实验, 以期获得磁性较好的介孔活性炭.

2 实验部分

2.1 主要材料和仪器

SrCO_3 (从工业锑废渣中自制), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (国药集团化学试剂有限公司), 工业活性炭 (中国林科院林产化工研究所). 样品的红外光谱在傅立叶红外光谱仪 (5DX FT-IR, Nicolet. Co., USA) 上采用 KBr 压片法测定. 样品的物相分析在 X 射线衍射仪 (Shimadzu XRD-6000, 岛津, 日本) 上进行, 测试条件为: Cu 靶激发 K_α 辐射为射线源, 管压为 40 kV, 电流为 30 mA,

扫描范围为 $20^{\circ}\sim 80^{\circ}(2\theta)$, 扫描速度为 $4^{\circ}/\text{min}$. 样品的比表面积和孔径分布(BET)在吸附仪(ASAP-2020, Micromeritics, USA)上通过 N_2 吸附测定. 比表面积采用 BET 方程由 N_2 吸附等温线求得. 样品的饱和磁化强度在振动样品磁强计(7410-VSM, Lake Shore, USA)上进行常温测定.

2.2 磁性活性炭的制备

磁性基体的制备. 采用共沉淀法制备 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$. 按摩尔比 $n_{\text{Sr}}:n_{\text{Fe}}=1:10.85^{[12]}$ 称取 SrCO_3 和 $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$. SrCO_3 先加盐酸制成 A 液, 再取 $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 并加水溶解制成 B 液. 用 NaOH 溶液调节 A 和 B 的混合溶液 pH 值至 10 后过滤. 将滤渣干燥得铁酸盐前驱体. 将前驱体在空气气氛下, 1000°C 焙烧 2 h, 自然冷却, 取出将产物研磨成粉末, 即得 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$.

磁性活性炭的制备. 采用浸渍氮气保护焙烧法制备磁性活性炭. 按上述工艺制备 A 和 B 的混合溶液, 用 NaOH 溶液调节混合溶液 pH 值至 10 后, 加入预处理过的活性炭(工业活性炭用无水乙醇回流洗涤, 再用水多次洗涤), 质量为 SrCO_3 和 $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 总质量的 25%. 搅拌 1 h 后静置 12 h, 过滤并将滤渣干燥得前驱体. 将前驱体在氮气气氛下, 1000°C 焙烧 2 h, 自然冷却, 取出将产物研磨成粉末, 即磁性活性炭.

2.3 吸附性能实验

磁性活性炭用于吸附 KMnO_4 作为探针实验, 并探究其吸附本质和吸附性能. 取一定量的磁性活性炭和 KMnO_4 溶液置于锥形瓶中, 先超声辅助分散 5 min, 静置吸附. 溶液中 KMnO_4 的浓度按 GB11892-89 测定. 吸附量 $q(\text{mg/g})$ 的计算公式:

$$q = (C_0 - C_e)V/m \quad (1)$$

式中, $C_0(\text{mg/L})$ 为吸附前 KMnO_4 的浓度; $C_e(\text{mg/L})$ 为吸附平衡 KMnO_4 的浓度; $V(\text{L})$ 为溶液的体积; $m(\text{g})$ 为磁性活性炭的质量.

2.3.1 吸附本质

取 0.83 g 磁性活性炭加入盛有 50 mL, 44.0 mg/L 的 KMnO_4 溶液的锥形瓶中, 超声辅助分散 5 min, 静置吸附 4 h 后, KMnO_4 溶液的颜色完全褪去. 用磁体将磁性活性炭和溶液分离. 磁性活性炭经干燥后, 经红外光谱检测. 图 5 直观的反映了磁性活性炭吸附前后, 溶液颜色变化.

2.3.2 吸附等温线的测定

取 1.0 g 磁性活性炭, 分别加入 100 mL 含不同浓度($C_0 = 40$ 、90、110、120、140 mg/L) KMnO_4 溶液, 超声辅助分散 5 min, 静置吸附 4 h 后吸附至平衡, 测定平衡后溶液中 KMnO_4 的浓度, 计算平衡吸附量, 以平衡吸附量对平衡溶液中 KMnO_4 浓度作图得等温吸附曲线.

2.3.3 吸附动力曲线的测定

取 1.0 g 磁性活性炭, 加入 100 mL, $C_0 = 100$ mg/L 的 KMnO_4 溶液, 每隔 0.5 h, 取少量溶液测定 KMnO_4 浓度, 计算吸附量. 以吸附量对时间作图得吸附动力学曲线.

3 结果与讨论

3.1 红外光谱分析

从图 1 中谱图 2 可知, 3434 cm^{-1} 和 1630 cm^{-1} 两处的吸收峰分别为磁性活性炭表面的复合氧化物吸附水的羟基伸缩振动和变形振动, 这些水主要来源于红外光谱实验的制样过程中样品对空气中水分子的吸附. 1577 cm^{-1} 处的吸收峰归属为 C-C 结构吸收峰. 在 2920 cm^{-1} 左右的微弱吸收峰是由 C-H 伸缩振动引起的, 同时 1466 cm^{-1} 处的吸收峰为 C-H 的弯曲振动, 说明产物表面残留有 $-\text{CH}_3$ 或 $-\text{CH}_2$, 但吸收强度较弱, 根据朗伯比尔定律($A = \lg(1/T)$, 其中 A 为吸光度, T 为透光率)知, 其含量较低, 因此残留物对

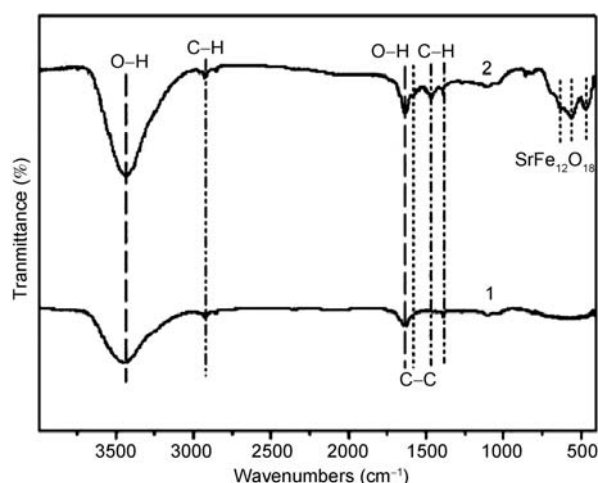


图 1 活性炭(1)和磁性活性炭(2)的红外光谱

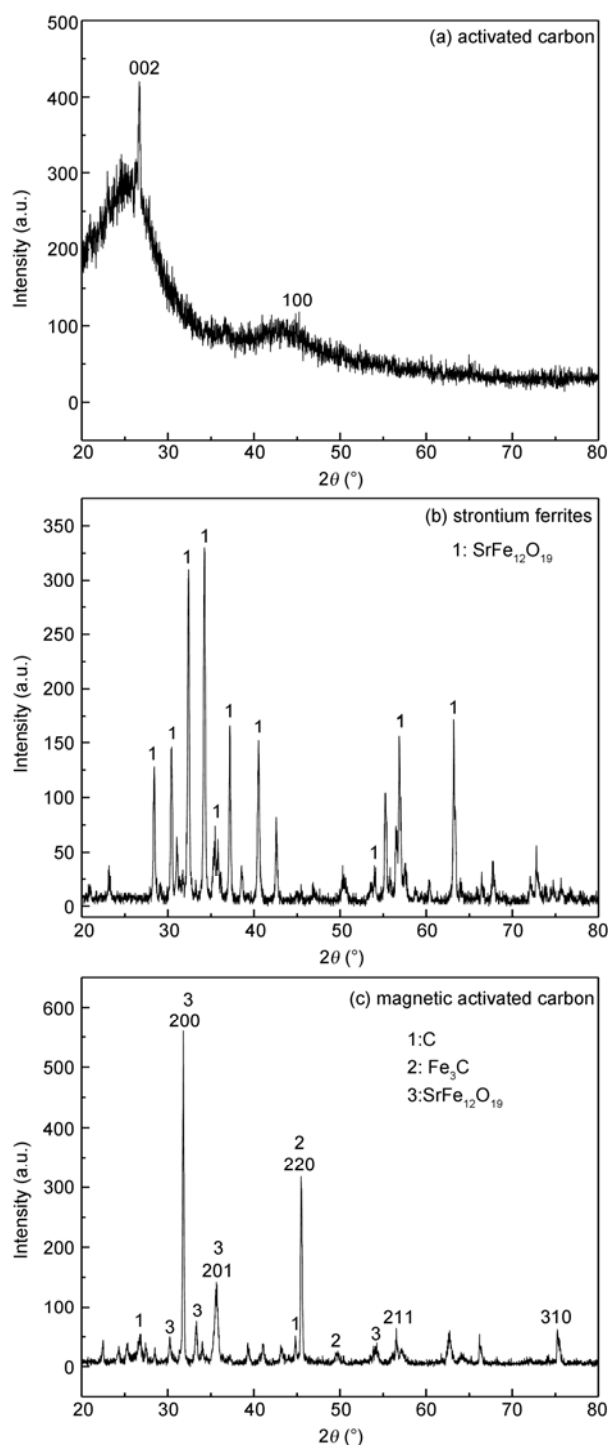


图2 活性炭、磁性基体和磁性活性炭的X射线衍射图谱. 其中(a)为预处理过的活性炭, (b)为磁性基体(锶铁氧体), (c)为磁性活性炭

活性炭的结构和表面性能不产生负面影响. 如谱图1, 同样存在如前所述的系列吸收峰. 不同的是, 谱图2

中, 在 558 cm^{-1} 、 474 cm^{-1} 、 456 cm^{-1} 左右出现了强度较小, 但尖锐的三个吸收峰, 可能为锶铁氧体的特征吸收^[13], 说明磁性活性炭的磁性组分是锶铁氧体.

3.2 物相分析

2θ 为 28.3° 、 30.8° 、 32.5° 、 34.3° 、 40.2° 、 55.8° 、 57.4° 、 63.1° 、 72.8° 为锶铁氧体的衍射峰. 从图 2(a) 可以看出, 图谱在 2θ 为 26.6° 左右仅出现了一个明显的衍射峰, 说明其具有一定长程有序性, 但缺乏短程有序性, 属于典型活性炭介孔材料特征.

从图 2(c) 图谱中, 不仅有活性炭的特征峰, 也出现了锶铁氧体的衍射峰, 进一步说明磁性活性炭的磁性组分是锶铁氧体. 另外 2θ 为 45.4° 和 54.9° 左右为 Fe_3C 的衍射峰^[14]. 从图 2(c) 谱图中, 可以看到 Fe_3C 较为明显的衍射峰, 这可能是氢氧化铁或氧化铁与碳, 在氮气气氛和高温条件下发生了反应. 值得说明的是, 在图 2(c) 图谱中, 活性炭和锶铁氧体的衍射峰强度相对减弱, 是单位质量的磁性活性炭中各组分相对含量减少所致.

样品是经过高温焙烧退火制得, 无应变存在, 衍射线的宽化完全由晶粒比常规样品的小而产生, 因此样品的平均晶粒大小可由德拜谢乐 (Debye Scherrer) 公式近似求算.

$\text{Size} = K\lambda/[FW(S)\cdot\cos\theta]$, 其中式中 Size 表示晶粒大小 (nm), K 为常数, 一般取 $K=1$, λ 为 Cu 靶激发 $K\alpha$ 辐射射线波长 (0.154178 nm), $FW(S)$ 是试样宽化 (Rad), θ 则是衍射角 (Rad). 利用图 2(c) 中最强衍射峰 (200) 的半高宽来估算晶粒大小, 此时 $\theta = 15.84^\circ$, 晶粒大小为 36.6 nm .

3.3 磁性能测试

样品的磁性能由振动样品磁强计测定, 结果示于图 3 和表 1. 磁性基体的饱和磁化强度为 52.7 emu/g , 而磁性活性炭的饱和磁化强度降低到 19.6 emu/g . 可能是非磁性层 (C_n , Fe_3C) 包覆了磁性组分 ($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$). 而且表面层的碳原子数较多, 导致整个晶体材料的表面有序. 排列规整的碳层阻碍了外加磁场对磁性组分磁矩牵引, 从宏观上减少磁性组分的磁性贡献.

磁性活性炭的矫顽力为 239.7 Oe , 说明活性炭有一定的抗退磁能力, 属于硬磁性物质, 这优于以软

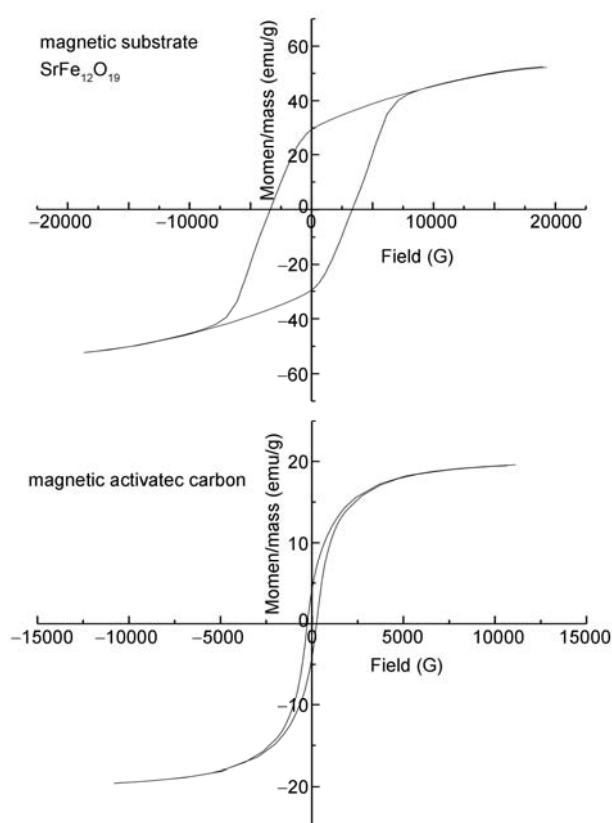


图 3 磁性基体和磁性活性炭的磁滞回线

磁性的 Fe_3O_4 磁性基体制成磁性活性炭^[5, 8]. 在一定程度上, 矫顽力和磁晶的各向异性, 结晶程度密切相关. 因此制得的磁性活性炭结晶较好, 且剩余磁化强度为 4.9 emu/g , 这非常有利于活性炭的磁分离.

3.4 N_2 吸附实验

图 4 给出了样品的 N_2 吸附等温线及由 BJH 法计

算的孔径分布图. 从图 4 可知, 样品具有类 II 类等温线. 从孔径分布图来看, 样品的最可几分布孔径为 2 nm 以上, 因此界定为介孔. 从等温线可以看出, 在低相对压力 (P/P_0) 范围内, 吸附量突然增大, 而这种突跃趋势, (1) 比 (2) 更为明显, 说明 (1) 比 (2) 中的微孔数量多, 比表面积大. 可能是制备磁性活性炭时, 活性炭的大部分微孔被磁性组分占据, 最终导致孔径相对增大, 比表面积大大降低. 此推断符合计算结果, 活性炭比表面积为 $1050.43 \text{ m}^2/\text{g}$, 孔径为 2.3 nm , 而磁性活性炭的比表面积 $570.93 \text{ m}^2/\text{g}$, 孔径为 2.6 nm .

(2) 号样品的等温线仍然具有类 II 类等温线, 孔径的最可几分布稍有降低, 但吸附量相对 (1) 号样品却大大降低, 磁性组分的堵塞增大了孔径, 同时也减少了活性炭的相对含量, 与 3.2 中的推断相吻合. 由 (2) 号样品的吸附等温线和孔径分布知, 开放孔中的微孔率较小, 而中孔率很大, 对吸附量的贡献非常大; 孔径最可几分布相对集中, 大孔含量较少.

通过 t -图法 $\{t = \sqrt{13.99 / (0.034 - \log(P/P_0))}\}$ 计算样品的微孔体积和微孔内面积, BJH 法计算出样品的中孔体积, BET 图法计算出样品的比表面积, 综合示于表 2, 完全符合上述推断, 进一步证明成功制备了磁性介孔活性炭.

3.5 吸附性能

3.5.1 吸附本质

吸附过 KMnO_4 的磁性活性炭的红外检测表明 (红外光谱图和图 1 中谱图 2 相似, 从略), 没有产生新的特征谱带, 没有改变特征吸收峰强度, 仅仅 C-C 结构的吸附带发生了位移. 因此该活性炭对 KMnO_4

表 1 磁性基体和磁性活性炭的磁性能

	磁化强度 (emu/g)		矫顽力 $H_c/G = \text{Oe}$
	饱和磁化强度	剩余磁化强度	
锶铁氧体	52.7	29.5	3345.9
磁性活性炭	19.6	4.9	239.7

表 2 活性炭和磁性活性炭的孔结构特征

样品	总比表面积 (BET) (cm^2/g)	微孔面积 (cm^2/g)	孔体积 (cm^3/g)			中孔率 (%)	平均孔径 (nm)
			总孔体积	微孔体积	中孔体积		
活性炭	1050.43	448.66	0.63	0.20	0.43	68.49	2.37
磁性活性炭	570.93	241.63	0.24	0.11	0.13	54.26	2.63

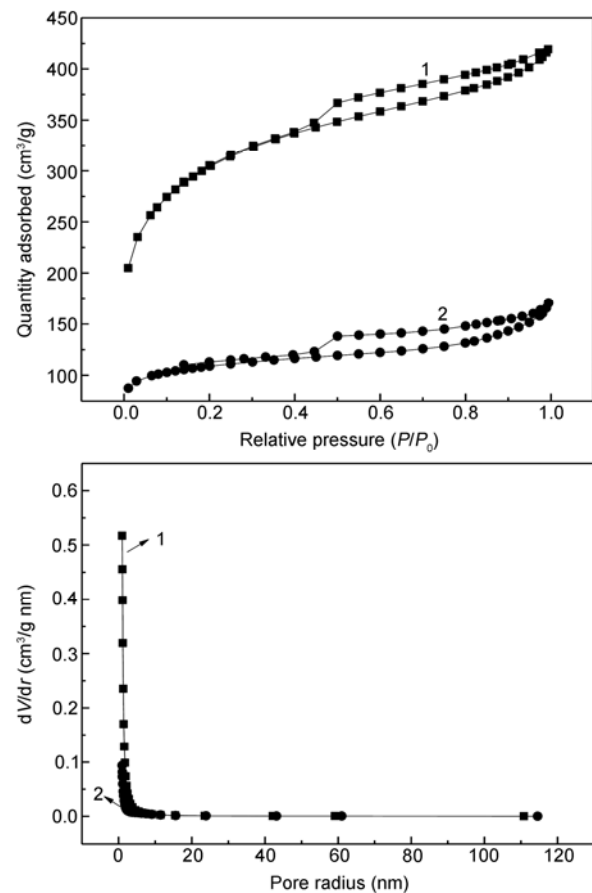


图4 活性炭(1)和磁性活性炭(2)试样的 N_2 吸附等温线和孔径分布



图5 磁性活性炭吸附实验

的吸附本质属于物理吸附。

3.5.2 吸附等温线

平衡吸附等温线是描述吸附剂和吸附质的重要手段,同时也是应用设计吸附体系的理论基础。吸附

等温线是吸附至平衡后,吸附量对平衡浓度作图而得。吸附实验的三种实验方案,第一,吸附剂的量为定值,吸附质的量为变量;第二,吸附质的量为定值,吸附剂的量为变量;第三,吸附质和吸附剂量都为变量。通常,研究者们习惯性采用单因素变量法,且吸附剂的量为定值。笔者认为,在有限吸附量范围内,吸附质的量为变量时,其范围易把握。

图6是吸附等温线。由图6可知,吸附量随着 KMnO_4 浓度的增加而增加,当浓度大于 12 mg/L 时,增加趋势变缓,说明随着 KMnO_4 浓度的递增,活性炭表面对 MnO_4^- 吸附力减弱,可能是先吸附在活性炭表面的 MnO_4^- 对活性炭表面附近内扩散层的 MnO_4^- 产生电荷排斥力。

Langmuir 吸附等温线模型是基于吸附剂的表面只能发生单分子层吸附的假设提出的, Freundlich 模型则提供了一种单组分吸附平衡的经验描述。

Langmuir 吸附等温方程^[15]可表示为

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b q_m} + \frac{C_e}{q_m} \quad (2)$$

Freundlich 吸附等温方程^[15]可表示

$$q_e = K_f C_e \frac{1}{n} \quad (3)$$

其中 $q_e (\text{mg/g})$ 为平衡吸附量, $C_e (\text{mg/L})$ 为平衡 KMnO_4 浓度, $q_m (\text{mg/g})$ 为单层吸附量, b 、 K_f 、 n 为常数。通常, Langmuir 等温方程常数 b 、 q_m 以及 Freundlich 吸附等温方程 K_f 、 n 分别通过 $C_e/q_e \sim C_e$ 和 $\ln q_e \sim \ln C_e$ 作图并进行线性拟合计算。

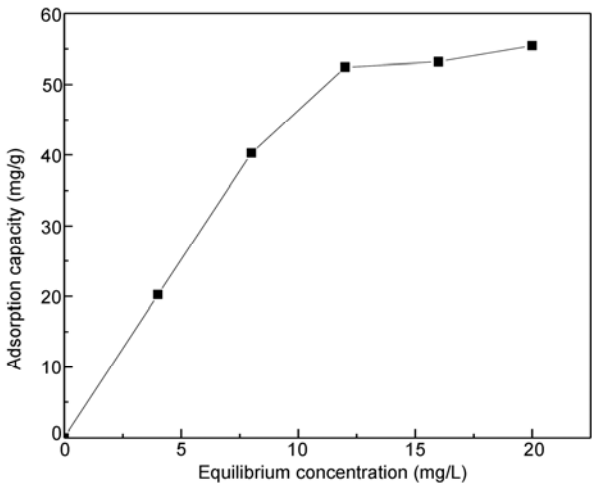


图6 吸附等温线

由表 3 可知, 从相关系数的角度分析, Langmuir 和 Freundlich 等温吸附模型描述该磁性活性炭对 KMnO_4 的吸附均可. 但对于 Langmuir 等温吸附模型来说, 线性拟合结果 q_m 为 93.46 mg/g, 与实验值 (55.44 mg/g) 偏差太大. 由于 Langmuir 方程是一个理想的吸附公式, 它代表了在均匀表面上吸附分子彼此没有相互作用, 并且发生单分子层吸附达到平衡时的规律性, 对于具体体系还需修正. 因此该磁性活性炭对 KMnO_4 的吸附基本符合 Freundlich 吸附等温式.

3.5.3 吸附动力学

吸附过程的动力学研究主要是用来描述吸附剂吸附溶质的速率. 图 7 为磁性活性炭静态吸附动力学曲线, 即吸附量随时间的变化趋势. 从图 7 可知, 开始时, 吸附量迅速增加, 且吸附反应 4 h 后, 达到吸附平衡. 吸附开始时, 大量的吸附质被吸附在吸附剂的表面; 吸附饱和后, 吸附质可能进入吸附剂的孔隙中. 一般地讲, 比表面积较大的吸附剂, 其孔容和孔径较小, 而且吸附剂表面已有吸附质对内扩散层离子产生同质排斥, 因此吸附剂表面饱和后, 吸附量变化较小, 从而达到吸附平衡.

为了更好探究吸附机制, 采用准一级, 准二级动力学方程. 其数学表达式^[16, 17]分别为:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2.303} \quad (4)$$

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (5)$$

其中 k_1 , k_2 分别为准一级和准二级动力学方程中的速率常数, q_e (mg/g) 为平衡吸附量, q_t (mg/g) 为时间 t 时的吸附量. 通常, 速率常数可 k_1 , k_2 分别通过

$\log(q_e - q_t) \sim t$ 和 $t/q_t \sim t$ 作图并线性拟合计算而得. 其拟合结果见图 8, 9 和表 4.

由图 8, 9 和表 4 可知, 准一级动力学方程拟合相关系数 ($R^2 = 0.93953$) 符合统计学误差允许范围, 但通过该动力学方程拟合计算的平衡吸附量 ($q_{e, \text{cal}}$) 为

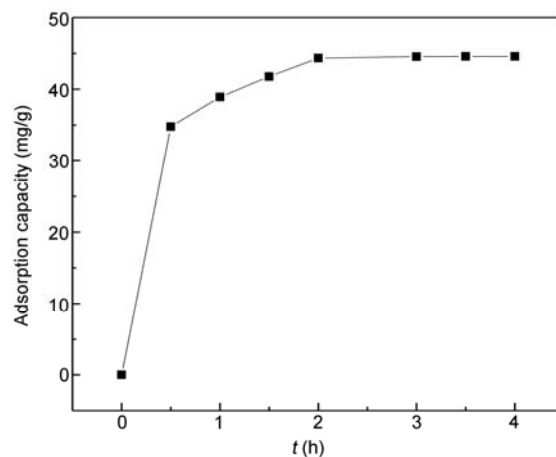


图 7 吸附动力学曲线

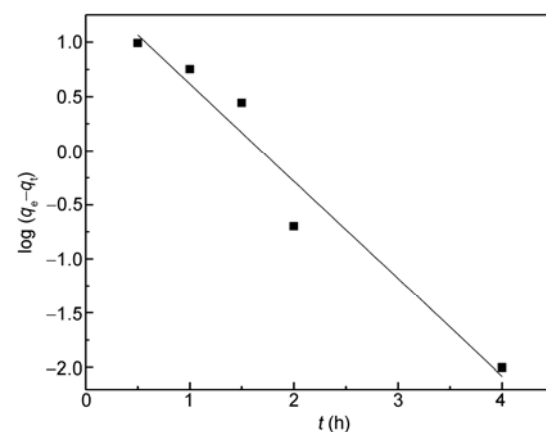


图 8 准一级动力学线性拟合

表 3 由 Langmuir 和 Freundlich 等温吸附模型拟合参数

Langmuir ($y = 0.0107x + 0.12889$)			Freundlich ($y = 1.4283x - 2.98444$)		
B (L/mg)	q_m (mg/g)	R^2	K_f (mg/g)	$1/n$	R^2
0.083	93.46	0.86568	0.051	1.4283	0.87404

表 4 动力学方程拟合参数

$q_{e, \text{exp}}$ (mg/g)	准一级方程			准二级方程		
	k_1 (h^{-1})	$q_{e, \text{cal}}$ (mg/g)	R^2	k_2 (h^{-1})	$q_{e, \text{cal}}$ (mg/g)	R^2
44.56	2.07	32.76	0.93953	0.128	46.64	0.99899
Linear fitting equations		$y = -0.89891x + 1.51539$		$y = 0.02144x + 0.00358$		

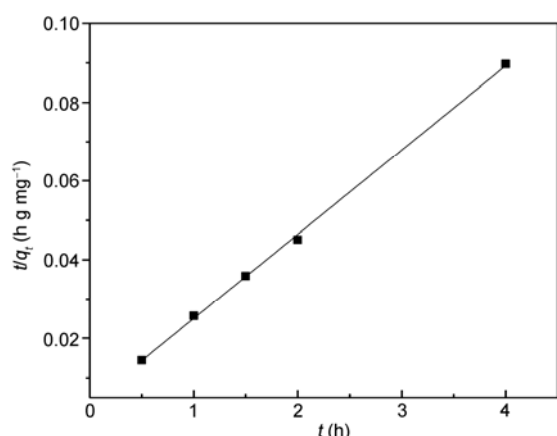


图9 准二级动力学线性拟合

32.76 mg/g, 与实验室测定值($q_{\text{e exp}} = 44.56 \text{ mg/g}$)的相对误差太大, 为 26.5%. 因此吸附过程不遵循准一级动力学方程. 一般来说, 准一级动力学方程不适用于整个吸附过程, 仅适用于吸附过程的开始阶段. 而通过准二级动力学方程拟合曲线线性关系非常好, 相关系数几乎趋近于 1. 平衡吸附量计算值与实验值的相对误差为 4.5%, 满足统计学的误差范围(小于等于 5%), 且明显优于准一级动力学方程拟合计算结果. 因此准二级动力学方程是用于描述本研究制得的磁性活性炭吸附 KMnO_4 最佳的吸附动力学模型.

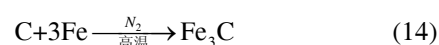
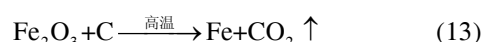
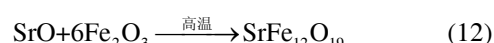
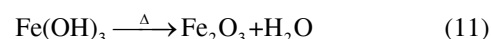
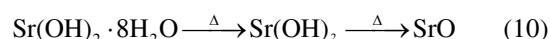
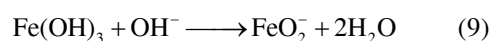
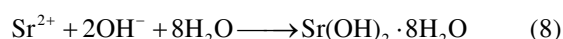
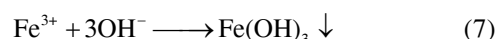
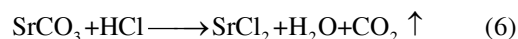
3.6 形成过程

SrCO_3 和盐酸反应生成 A 液(方程式 6), A 液和 B 液的混合溶液即为 SrCl_2 和 FeCl_3 的混合溶液, 此混合溶液的 pH 约为 1.2. 用 NaOH 溶液缓慢调节混合溶液的 pH 值至 10 后, 得到大量的红褐色 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 沉淀(方程式 7), 晶体 $\text{Sr}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (方程式 8)的颜色完全被掩盖. 由于 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 属于两性氢氧化物, 新制备的 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 和浓碱生产铁酸盐(方程式 9). 因此混合溶液的 pH 值不宜超过 11.

往混合沉淀物中加入大比表面积的活性炭, 搅拌后静止充分吸附. 沉淀物($\text{Fe}(\text{OH})_3$ 、 $\text{Sr}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)一部分分散沉积到活性炭的表面, 一部分被吸附到活性炭的空隙中. 在前驱体的制备过程中, 干燥时, 晶体脱水分解生产 SrO (10), $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 分解成

Fe_2O_3 (11).

前驱体在氮气保护下, 高温煅烧, 在活性炭的表面或者空隙内侧会发生一系列反应. 生成磁性组分的总反应是(方程式 12). 由于 SrO 和 Fe_2O_3 在活性炭的表面和空隙分布可能不均匀, 因此最终的复合物残留有 SrO 和 Fe_2O_3 . 在高温下 Fe_2O_3 被碳还原铁(方程式 13). Fe_3C 可能是碳原子和铁原子形成了键能较强 Fe-C 键(方程式 14). 碳原子和锶原子是否成键, 还有待进一步考证.



4 结论

(1) 浸渍氮气保护焙烧法制备磁性活性炭, 工艺流程简单, 效率高, 符合软化学合成工艺. 所制得磁性活性炭较活性炭的中孔率低、微孔率高、吸附性能较好.

(2) 通过磁性性能检测表明, 磁性活性炭的饱和磁化强度和剩余磁化强度较大, 有利于吸附后的分离; 矫顽力为 239.7 Oe, 具有一定的抗退磁能力.

(3) 该磁性活性炭对 KMnO_4 的吸附本质为物理吸附. 等温吸附基本符合 Freundlich 吸附公式. 准二级动力学方程是描述 KMnO_4 在磁性活性炭上吸附的最佳的吸附动力学模型. 有望为特种废水处理剂提供新的功能性材料.

(4) 磁性活性炭的成功制备为锶铁氧体生成途径掺杂耐高温聚合物, 制备改性介孔磁性材料或改性催化剂提供了新的思路.

致谢 本工作得到重庆市科技攻关计划项目(2010AC7180)支持, 特此致谢.

参考文献

- 1 Oliveira LCA, Rios RVRA, Fabris JD, Garg V, Sapag K, Lago RM. Activated carbon/iron oxide magnetic composites for the adsorption of contaminants in water. *Carbon*, 2002, 40: 2177–2183
- 2 Luo X Zhang L. High effective adsorption of organic dyes on magnetic cellulose beads entrapping activated carbon. *J Hazard Mater*, 2009, 171: 340–347
- 3 Yang N, Zhu S, Zhang D, Xu S. Synthesis and properties of magnetic Fe_3O_4 -activated carbon nanocomposite particles for dye removal. *Mater Lett*, 2008, 62: 645–647
- 4 Nguyen TD, Phan NH, Do MH, Ngo KT. Magnetic Fe_2MO_4 (M:Fe, Mn) activated carbons: Fabrication, characterization and heterogeneous Fenton oxidation of methyl orange. *J Hazard Mater*, 2011, 185: 653–661
- 5 张巧丽,陈旭,袁彪.活性炭磁性氧化铁复合材料制备及吸附性能.化学工业与工程, 2004, 216: 475-478
- 6 Yang M, Xie Q, Zhang J, Liu J, Wang Y, Zhang X, Zhang Q. Effects of coal rank, Fe_3O_4 amounts and activation temperature on the preparation and characteristics of magnetic activated carbon. *Mining Science and Technology*, 2010, 20: 0872–0876
- 7 邢雯雯,周铁桥,张军,李兰廷,解强.煤基磁性活性炭的制备.北京科技大学学报, 2009, 31(1): 83–87
- 8 单国彬,张冠东,田青,官月平,刘会洲,安震涛.磁性活性炭的制备与表征.过程工程学报, 2004, 4(2): 141–145
- 9 Ai L, Huang H, Chen Z, Wei X, Jiang J. Activated carbon/ CoFe_2O_4 composites: Facile synthesis, magnetic performance and their potential application for the removal of malachite green from water. *Chem Engineer J*, 2010, 156: 243–249
- 10 Li Q, Ye Y, Zhao D, Zhang W, Zhang Y. Preparation and characterization of CNTs– $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ composites. *J Alloys Compd*, 2011, 509: 1777–1780
- 11 Zhao D, Li Q, Ye Y, Zhang C. Synthesis and characterization of carbon nano- tubes decorated with strontium ferrite nanoparticles. *Synt Met*, 2010, 160: 866–870
- 12 刘成伦,谢太平,徐龙君,丁世环,张静,何春兰,张良.锆铁氧体负载磁性酸催化剂的制备和性能研究.功能材料, 2011, 42(7): 1273–1275
- 13 Wang Y, Li Q, Zhang C. Preparation and magnetic properties of different morphology nano- $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ particles prepared by sol-gel method. *J Alloys Compd*, 2009, 467: 284–287
- 14 Battezzati L, Baricco M, Curiotto S. Non-stoichiometric cementite by rapid solidification of cast iron. *Acta Materialia*, 2005, 53: 1849–1856
- 15 傅献彩,沈文霞,姚天扬,侯文华.物理化学(第五版,下册).北京:高等教育出版社, 2006
- 16 王秀芳,田勇,钟国英,张会平,潘育方.氯霉素在活性炭上的吸附平衡与动力学.高等化学工程学报, 2010, 24(1): 162–166
- 17 Ho YS, Mckay G. The sorption of lead(II) ions on peat. *Water Res*, 1999, 33(2): 578–584

Preparation of magnetic activated carbon and adsorption properties for KMnO_4

XIE TaiPing¹, XU LongJun^{1*}, LIU ChengLun², HE ChunLan¹, XIAO ZhongMing³,
WANG JingChun³

1 State Key Laboratory of Coal Mine Disaster Dynamics and Control, Chongqing 400030, China

2 College of Chemistry and Chemical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400030, China

3 Chongqing Linglong Fine Strontium Chemical Co., Ltd, Chongqing 402560, China

*Corresponding author (email: xulj@cqu.edu.cn)

Abstract: Mesoporous magnetic activated carbon was prepared from self-made strontium carbonate, ferric chloride and industrial activated carbon by impregnation and roasting in nitrogen. The sample was characterized by FTIR, N_2 adsorption, XRD, VSM and KMnO_4 adsorption measurements as a probe reaction. Results showed that the prepared magnetic activated carbon was mesoporous magnetic material with high micropore ratio, and its micropore ratio was 45.74%. Since the saturation magnetization of the material for 19.6 emu/g, the coercivity for 239.7 Oe, it was separated easily and it has anti-demagnetization ability. The probe measurement showed that adsorption nature belonged to physical adsorption. In addition, Freundlich equation could describe the description of the adsorption equilibrium of KMnO_4 on magnetic activated carbon, and the pseudo-second-order equation was the best one for the description of the adsorption kinetics. This research is expected to provide new functional materials for special waste water treatment agent.

Keywords: magnetic activated carbon, mesoporous, magnetic material, physical adsorption, kinetics