

Investigation on Preparation and Properties of PPy-MMT Composite Adsorption Materials

Longgui Peng, Meng Zhao, Ce Wang

Department of Material Science and Engineering, Xi'an University of Science and Technology, Xi'an Shaanxi
Email: zhaomeng443@126.com

Received: Sep. 28th, 2018; accepted: Oct. 16th, 2018; published: Oct. 23rd, 2018

Abstract

FC-PPy-MMT, CP-PPy-MMT, AP-PPy-MMT, which are three kinds of PPy-MMT composite adsorption materials, were prepared by REDOX polymerization. The composite adsorption materials were characterized by XRD, FT-IR, and TG. Adsorption experiments were carried out using Congo red dye as the adsorption medium. XRD showed that the polymerization changed only the inter-layer structure of montmorillonite; FTIR test showed that the pyrrole monomer was polymerized to form polypyrrole. The result indicated that the surface of AP-PPy-MMT, CP-PPy-MMT and FC-PPy-MMT are 9.63 m²/g, 16.81m²/g, 18.03 m²/g; the pore volumes are 0.027 cm³/g, 0.044 cm³/g, 0.037 cm³/g; the aperture are 86.50 Å, 104.89 Å, 82.26 Å. Results indicated that the primary mechanism for Congo red adsorption on PPy-MMT was chemical monomolecular adsorption. Adsorption kinetic and thermodynamics of Congo red on PPy-MMT nanocomposites were studied. Results indicated that the primary mechanism for Congo red adsorption on PPy-MMT was chemical monomolecular adsorption.

Keywords

Montmorillonite, PPy, Sorbing Materials, Gangguo Red

聚吡咯/蒙脱土吸附材料的合成制备与性能表征

彭龙贵, 赵萌, 王策

西安科技大学材料学院, 陕西 西安
Email: zhaomeng443@126.com

收稿日期: 2018年9月28日; 录用日期: 2018年10月16日; 发布日期: 2018年10月23日

摘要

在不同的引发体系下采用氧化还原聚合法制备了聚吡咯-蒙脱土的三种吸附材料：过硫酸盐引发聚吡咯-蒙脱土(AP-PPy-MMT)、过氧化环己酮引发聚吡咯-蒙脱土(CP-PPy-MMT)、三氯化铁引发聚吡咯-蒙脱土(FC-PPy-MMT)。采用XRD、FT-IR、TG等手段对制备的吸附材料的结构与组成进行了表征；选用刚果红染料作为吸附介质进行了吸附实验。XRD表明聚合反应只改变了蒙脱土的层间结构；FTIR测试表明吡咯单体发生了聚合反应，生成了聚吡咯，聚吡咯-蒙脱土的比表面与孔结构：AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT和FC-PPy-MMT的比表面分别为 $9.63 \text{ m}^2/\text{g}$ 、 $16.81 \text{ m}^2/\text{g}$ 、 $18.03 \text{ m}^2/\text{g}$ ；孔容分别为 $0.027 \text{ cm}^3/\text{g}$ 、 $0.044 \text{ cm}^3/\text{g}$ 、 $0.037 \text{ cm}^3/\text{g}$ ；孔径分别为 86.50 \AA 、 104.89 \AA 、 82.26 \AA 。通过聚吡咯-蒙脱土吸附材料对刚果红溶液吸附动力学和吸附热力学研究，确定了染料刚果红的分子与聚吡咯-蒙脱土吸附材料对刚果红溶液的吸附均符合准二级动力学方程，呈单分子层型吸附，且其吸附量随温度的升高而升高。

关键词

聚吡咯，蒙脱土，吸附材料，刚果红

Copyright © 2018 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

1. 引言

蒙脱土又名斑脱岩或者膨土岩[1]，一种层状的硅酸盐的粘土矿，其晶体结构是单斜晶系，由铝氧八面体和硅氧四面体组成。其化学通式为 $(\text{M}_y\text{-nH}_2\text{O})(\text{Al}_4\text{-yMg}_y)\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ (其中M指 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等，表示可交换阳离子) [2]，因此蒙脱土对阳离子具有吸附作用[3] [4] [5]。但是，由于天然蒙脱土的吸水膨胀性能[6]，导致其在水处理中固液难以分离而限制了该材料研究应用。

针对这一问题，国内外学者进行了大量研究。于海琴[7]首次以季胺型阳离子淀粉作为改性剂制备新型淀粉/蒙脱土吸附材料，通过表征得知新型阳离子淀粉/蒙脱土吸附材料片层呈现剥离态，凝絮性能比较好，表面疏水性很强。李倩[8]选用新型阳离子聚合物聚环氧氯丙烷二甲胺(EPI-MDA)，采用聚合物直接插层对蒙脱土进行改性，制得EPI-MDA阳离子聚合物/蒙脱土吸附材料，然后分别以具有典型结构的染料(活性、酸性、还原性)为吸附对象，实验检测其对染料的吸附性能。从实验可得出蒙脱土原土的性能明显不如实验合成材料。不仅好于蒙脱土原土并且优于活性炭，所以其具有在废水处理领域代替活性炭的可能性。诸多研究表明，有机小分子或部分聚合物插层改性蒙脱土后，能显著提高其对水中有机的吸附能力；刘兴奋[9]利用价格较低的己内酰胺、阴离子表面活性剂和硅烷偶联剂取代部分插层剂季铵盐作为插层剂制备有机蒙脱土。实验发现，己内酰胺对蒙脱土无插层效果，而季铵盐/己内酰胺复合时，插层效果明显，对印染废水的脱色效果优异，脱色率高达96.06%。硅烷偶联剂单独插层时，插层效果较好但其对印染废水的脱色处理不好，吸附在蒙脱土片层表面的硅烷偶联剂较易发生水解，有机蒙脱土和活性炭在印染废水处理效果上明显不如季铵盐/硅烷偶联剂符合插层有机蒙脱土。但是，利用层间聚合实现膨润土的超大分子或高分子插层制备吸附材料的相关的研究报道偏少，本文采用氧化还原聚合法，在不同的引发体系下，采用先插层后聚合的工艺制备出大分子聚吡咯插层蒙脱土吸附材料，并对该材料的结构、性能及其吸附性能间的关系进行深入研究，通过研究，能创新蒙脱土有机改性的设计方法和制备方法，

能拓宽蒙脱土在污水处理领域的应用范围,这对推动水处理学科与材料学科在水处理领域的融合发展具有积极的科学意义和应用价值。

2. 实验部分(Experimental Section)

2.1. 药品与仪器

主要试剂:蒙脱土(原矿),内蒙古赤峰;十六烷基三甲基溴化铵(分析纯),天津市光复精细化工研究所;三氯化铁(分析纯),天津市福晨化学试剂;吡咯(分析纯),上海科丰实业有限公司;四硼酸钠(分析纯),上海雷磁创益仪器仪表有限公司;异辛酸钴(分析纯),天津市福晨化学试剂;过氧化环己酮(分析纯),天津市福晨化学试剂;过硫酸铵(分析纯),天津市福晨化学试剂。

主要仪器:200PC型热重分析仪(德国 NETZSCH);傅里叶变换红外光谱仪;高速台式离心机(上海安亭科学仪器厂,TGL-16G);X射线衍射仪(岛津国际贸易上海有限公司);比表面分析仪(ASAP-2000)。

2.2. 实验步骤

首先取 30 g 膨润土原矿与 100 mL 离子水置于烧杯中,配成浆液,加入分散剂,使钙基蒙脱土较好的分散于水中,然后用标准检验筛过筛,依次过 120 目,160 目。除去残渣,过筛,得高纯度钙基蒙脱土浆液。将过筛后的浆液装入广口瓶中,放入干燥箱中(80℃)干燥。

有机蒙脱土的制备:加入无水 Na_2CO_3 钠化钙基蒙脱土。取提纯后的钙基蒙脱土浓浆,按比例加入 4wt% 的碳酸钠,在 80℃ 的恒温水浴锅里恒温反应 2 h。将水浴锅降温至 70℃,加入一定量的 CTAB 于浆液中,在 70℃ 水浴锅中恒温搅拌反应 2 h。

吡咯插层蒙脱土复合物的制备:在一定量有机蒙脱土浓浆液加入适量吡咯单体中浸泡 12 h,离心、用去离子水洗涤除去未插层的吡咯单体。将得到的样品取出置于干燥箱内在 100℃ 下干燥一定时间,干燥后取出,研磨过筛子(200 目),得吡咯插层蒙脱土复合物。取制得的吡咯插层蒙脱土复合物 30 g 置于烧杯中,量取 120 ml 去离子水,加入烧杯中与复合物配成浆液,调节 pH 至中性。

复合材料的制备:取 40 ml 浆液三份,分别加入适量的过氧化环己酮和异辛酸钴、氯化铁、过硫酸铵,在 20℃ 水浴下搅拌 2 h,生成物进行离心水洗,反应 2 h 结束后,将其置于真空干燥箱中加热烘干,烘干后置于研钵中研细,过 200 目筛子,装袋备用。即得 CP-PPy-MMT、FC-PPy-MMT、AP-PPy-MMT。

2.3. 样品分析与表征

X 射线衍射(XRD):测试条件:管电压 40 kv,管电流 30 mA,Cu $K\alpha$ 辐射,扫描速度 4°/min,扫描范围为 2°~50°。

傅里叶红外光谱测定(FT-IR):采用 WQF-310 傅里叶变换红外光谱仪(北京第二光学仪器厂),测试条件:用 KBr 压片法,温度为 25℃,相对湿度为 50%,扫描范围为 400~4000 cm^{-1} ,分辨率为 4 cm^{-1} 。

热重分析仪测试(TG):采用 200PC 型热重分析仪(德国 NETZSCH),测量的温度范围为 30℃~800℃。比表面积的测定:采用 ASAP-2000 型比表面分析仪。

3. 结果与讨论(Results and discussion)

3.1. 聚吡咯/蒙脱土吸附材料的表征

3.1.1. X 射线衍射分析

PPy-MMT 进行 XRD 测试表征,结果如图 1 所示。分别对 AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT、FC-PPy-MMT 进行 XRD 测试表征,结果如图 2 所示。

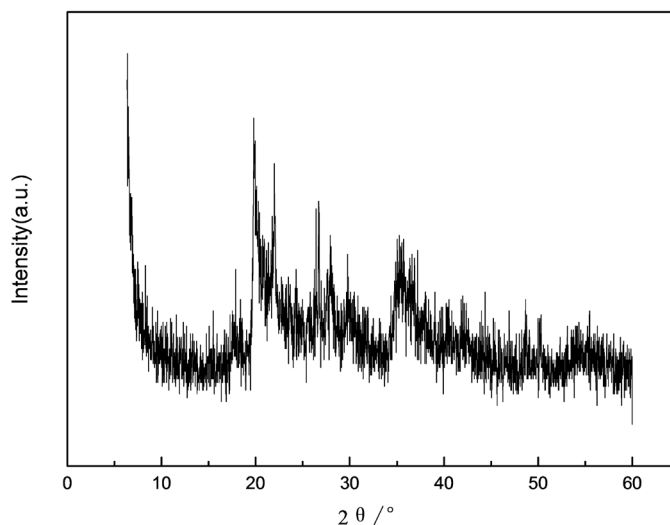


Figure 1. XRD pattern of polypyrrole montmorillonite adsorption material

图 1. 聚吡咯蒙脱土吸附材料的 XRD 图

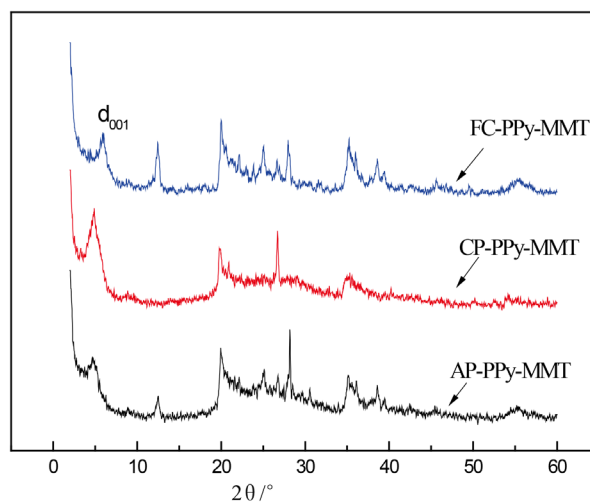


Figure 2. XRD pattern of montmorillonite adsorption material

图 2. 蒙脱土吸附材料的 XRD 图

根据布拉格(Bragg)公式[9]分别计算 AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 FC-PPy-MMT 三种吸附的层间距 $d_{(001)}$ ，其结果如表 1 所示。

由图 1、图 2 和表 1 可知，AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 FC-PPy-MMT 的层间距相对于钠基蒙脱土土层间距($d_{(001)} = 1.207 \text{ nm}$)均有不同程度的增大，其中 AP-PPy-MMT 和 CP-PPy-MMT 层间距甚至大于钙基膨润土层间距($d_{(001)}$ 在 $1.50 \text{ nm} \sim 1.59 \text{ nm}$ 之间)，说明蒙脱土的层间结构发生了变化，加之出现了聚吡咯的衍射峰，说明吡咯发生了聚合反应，实现了聚吡咯高分子对蒙脱土层间的插层。

3.1.2. 红外光谱分析

分别对 AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT、FC-PPy-MMT 进行 FT-IR 测试表征，结果如图 3。

由图 3 可知，AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 FC-PPy-MMT 三种材料在波数为 2925 cm^{-1} 和 2850 cm^{-1} 处为 CTAB 中烷基- CH_2 -面内弯曲振动峰，表明蒙脱土的有机化插层成功并且在吡咯的聚合过程中没有发

Table 1. XRD data of AP-PPy-MMT, CP-PPy-MMT, and FC-PPy-MMT
表 1. AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 FC-PPy-MMT 的 XRD 数据

吸附材料	$\Delta/\text{\AA}$	$2\theta/^\circ$	$d_{(001)}/\text{nm}$
MMT	0.154056	7.31	1.21
AP-PPy-MMT	0.154056	4.95	1.78
CP-PPy-MMT	0.154056	4.90	1.80
FC-PPy-MMT	0.154056	6.01	1.47

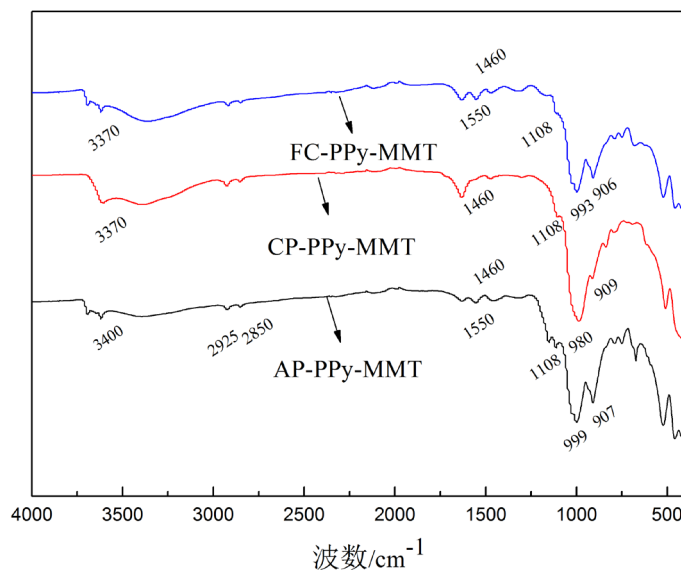


Figure 3. Infrared spectrum of montmorillonite adsorption material
图 3. 蒙脱土吸附材料的红外谱图

生迁移：在波数为 $400\sim 600\text{ cm}^{-1}$ 处的吸收峰是硅氧四面体和铝氧八面体的内部振动，说明插层及聚合过程没有改变蒙脱石的化学组成； 1108 cm^{-1} 为 C-H 伸缩振动峰， 1460 cm^{-1} 为 C-N 的伸缩振动峰[10]， 1550 cm^{-1} 为吡咯环中 C=C 双键的伸缩振动峰， 3400 cm^{-1} 为 N-H 伸缩振动吸收峰。AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 FC-PPy-MMT 三种材料的 FTIR 分析表明，吡咯单体发生了聚合反应，生成了聚吡咯。

3.1.3. 热重分析

采用热重测试(TG)分别对 AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT、FC-PPy-MMT 进行测试表征，结果如图 4。

由图 4 可知，AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 FC-PPy-MMT 三种吸附材料均有三个不同的热失重阶段：AP-PPy-MMT 从 30°C 到 160°C 为第一个阶段，失重率为 4.35%；CP-PPy-MMT 从 30°C 到 160°C 为第一个阶段，失重率为 9.35%；FC-PPy-MMT 从 30°C 到 110°C 为第一个阶段，失重率为 4.70%，吸附材料第一阶段的失重来源于材料中自由水和极少部分吡咯单体的失去，比较而言，CP-PPy-MMT 比 AP-PPy-MMT 失重值大，说明 CP-PPy-MMT 的疏水性更大，而 FC-PPy-MMT 比 CP-PPy-MMT 失重值少，说明 CP-PPy-MMT 的疏水性更大；AP-PPy-MMT 从 160°C 到 380°C 为第二个阶段，失重率为 1.57%；CP-PPy-MMT 从 160°C 到 400°C 为第二个阶段，失重率为 0.95%；FC-PPy-MMT 的第二个阶段是 110°C 到 380°C ，其失重率为 5.37%，这个阶段吸附材料的热失重主要由聚吡咯的分解以及蒙脱石的层间吸附水丢失引起；AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 FC-PPy-MMT 三种吸附材料第三个失重阶段从 450°C 开始至 600°C 趋于平缓，这一阶段的失重由蒙脱石层间结构水的 -OH 断裂引起。AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT

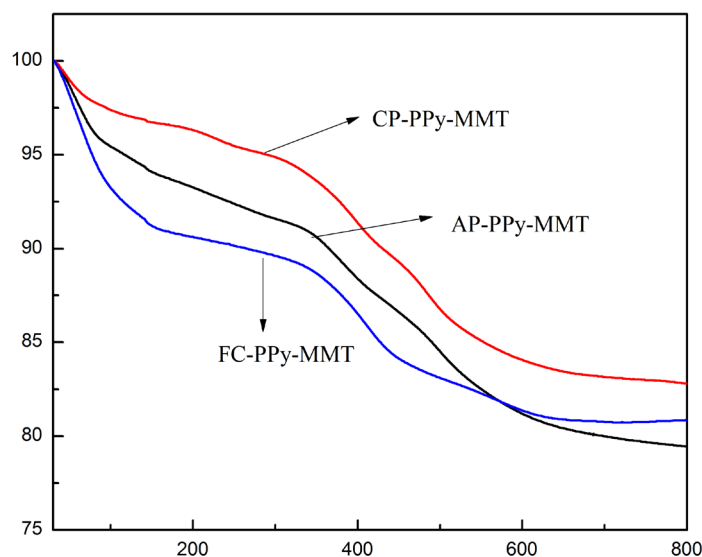


Figure 4. Thermal gravimetric analysis of montmorillonite adsorbent
图 4. 蒙脱土吸附材料的热重测试谱图

和 FC-PPy-MMT 三种吸附材料的 TG 变化说明蒙脱石的层间实现了高分子柱撑，致使其 100℃左右的失水值降低和而塌陷温度提高。

3.1.4. 比表面积分析

利用 N_2 物理吸附仪对钠基蒙脱土和 AP-PPy-MMT、钠基蒙脱土和 CP-PPy-MMT、钠基蒙脱土和 FC-PPy-MMT 进行 BET 比表面积测试孔结构表征，其结果如图 4~6 和表 2 所示。

由图 5~7 可得，与钠基蒙脱土相比，AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT、FC-PPy-MMT 的 BET 值从 $23.74 \text{ m}^2/\text{g}$ 分别下降至 $9.63 \text{ m}^2/\text{g}$ 、 $16.81 \text{ m}^2/\text{g}$ 、 $18.03 \text{ m}^2/\text{g}$ ，而孔径由 66.76 \AA 分别上升至 86.50 \AA 、 104.89 \AA 、 82.26 \AA 。导致孔径变大的原因是吡咯聚合生成的聚吡咯高分子对蒙脱石的 $d_{(001)}$ 晶面层间实现了插层柱撑，增大了层间距，同时，因为蒙脱石层间堆砌了大量聚苯胺高分子，非连续性的封堵了蒙脱石片层间入口，导致 AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 FC-PPy-MMT 三种吸附材料的 BET 值均有不同程度的下降。

3.2. 聚吡咯/蒙脱土吸附材料吸附性能表征

3.2.1. 吸附动力学研究

分别用 AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 FC-PPy-MMT 作为吸附剂，对浓度为 90 mg/L 的刚果红溶液进行了吸附动力学研究。以时间为自变量，AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 FC-PPy-MMT 分别吸附的刚果红为因变量作图 8，并依据图 8 进行线性拟合，结果如图 9~11 所示。并计算 FC-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 AP-PPy-MMT 吸附相同浓度刚果红溶液的动力学参数，如表 3 所示。

由图 8~11 可知：FC-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 AP-PPy-MMT 三种吸附材料对相同浓度的刚果红吸附动力学行为显示，相比较于颗粒扩散动力学与准一级动力学拟合图，准二级动力学拟合图的相关系数 R^2 最大，并且 FC-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 AP-PPy-MMT 的 C 值均不为零，所以三种不同种的 PPy-MMT 复合材料颗粒内扩散模型的拟合直线是不经过原点的，表明颗粒扩散模型不是唯一表达 FC-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 AP-PPy-MMT 对刚果红溶液的吸附速率的控制步骤，刚果红溶液在 FC-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 AP-PPy-MMT 表面的吸附控制相对比更符合准二级动力学模型，即表明

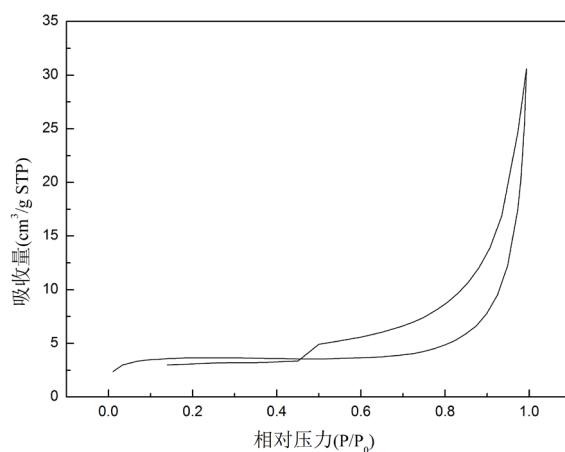


Figure 5. Adsorption-desorption isotherms of N_2 on AP-PPy-MMT

图 5. AP-PPy-MMT 对 N_2 吸附-脱附等温线

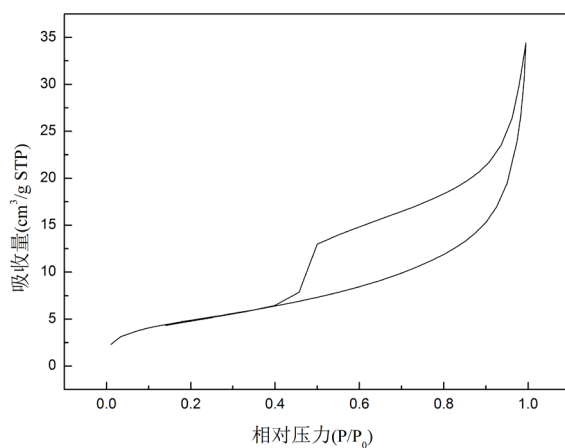


Figure 6. Adsorption-desorption isotherms of N_2 on CP-PPy-MMT

图 6. CP-PPy-MMT 对 N_2 吸附-脱附等温线

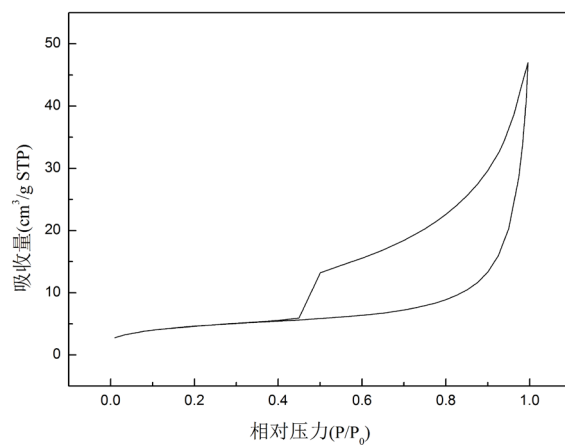


Figure 7. Adsorption-desorption isotherms of N_2 on FC-PPy-MMT

图 7. FC-PPy-MMT 对 N_2 吸附-脱附等温线

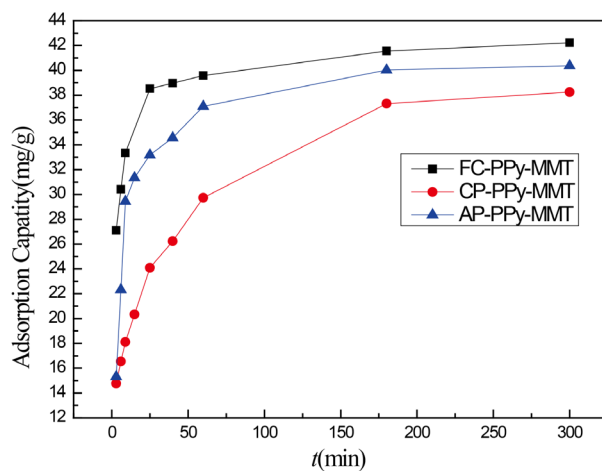


Figure 8. The kinetics of three different PPy-MMT adsorption
图 8. 三种不同的 PPy-MMT 吸附动力学

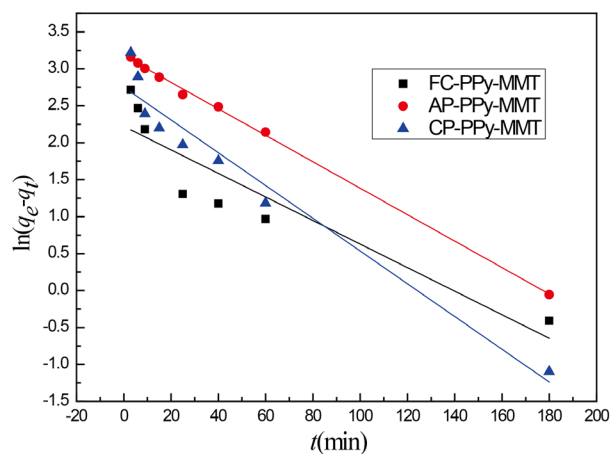


Figure 9. The fitting figure of pseudo-first order kinetic equation
图 9. 准一阶动力学拟合图

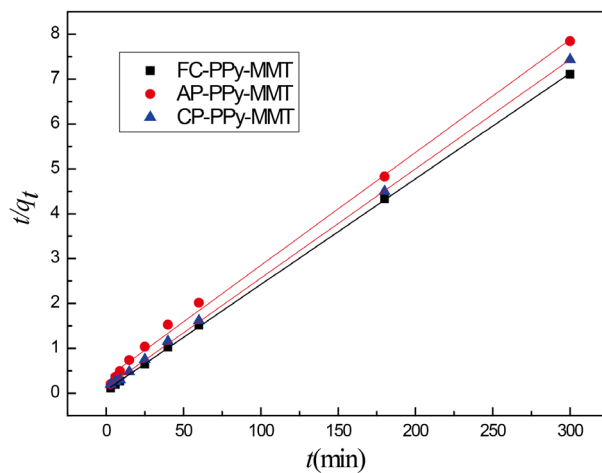


Figure 10. The fitting figure of pseudo-second order kinetic equation
图 10. 准二阶动力学拟合图

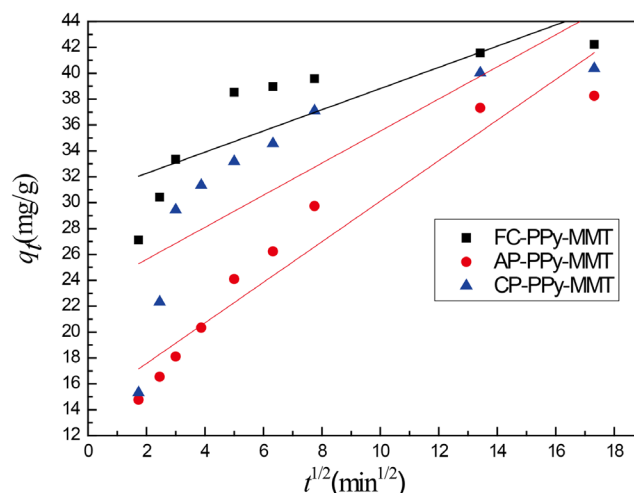


Figure 11. The fitting figure of particle diffusion kinetics equation
图 11. 颗粒扩散动力学拟合图

Table 2. The pore structure parameters of MMT, AP-PPy-MMT, CP-PPy-MMT, and FC-PPy-MMT

表 2. MMT、AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT、FC-PPy-MMT 的孔结构参数

	MMT	AP-PPy-MMT	CP-PPy-MMT	FC-PPy-MMT
比表面积/m ² ·g ⁻¹	23.74	12.52	16.81	18.03
孔径/Å	66.76	86.50	104.89	82.26

Table 3. The kinetic parameters of different kinds of composite materials the adsorption Reactive of Congo red solution

表 3. 相同浓度下, 不同种复合材料吸附刚果红溶液的动力学参数

参数	FC-PPy-MMT	CP-PPy-MMT	AP-PPy-MMT
准一级	$\ln(q_e - q_t) = 2.222 - 0.015t$	$\ln(q_e - q_t) = 2.7511 - 0.0221t$	$\ln(q_e - q_t) = 3.1748 - 0.0179t$
q_e , mg/g	42.2123	38.254	40.3637
k_1 , min ⁻¹	-0.015	0.0221	-0.0179
R ²	0.82803	0.94619	0.99844
准二级	$t/q_t = 0.067 + 0.023t$	$t/q_t = 0.130 + 0.024t$	$t/q_t = 0.332 + 0.025t$
q_e , mg/g	42.2123	38.254	40.3637
k_2 , min ⁻¹	0.00838	0.0285	0.02455
R ²	0.9999	0.99986	0.99708
颗粒扩散模型	$q_t = 30.627 + 0.8190t^{1/2}$	$q_t = 23.1378 + 1.23959t^{1/2}$	$q_t = 14.4395 + 1.567589t^{1/2}$
C, mg/g	30.627	23.1378	14.4395
K_{id} , mg/g·min ^{1/2}	0.8190	1.23959	1.567589
R ²	0.63.125	0.58655	0.58655

刚果红溶液在 FC-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 AP-PPy-MMT 表面的液膜扩散过程和微孔内扩散过程不能成为主要的吸附控制过程。准二级动力学模型对吸附的整个过程的控制主导性是与材料的化学组成和结构有关连, FC-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 AP-PPy-MMT 中含有聚吡咯, 一方面是结构中存在氢键结构; 另一方面结构中可以形成静电吸附, 这种双重的化学作用过程成了 FC-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 AP-PPy-MMT 对刚果红的二级动力学吸附速率控制步骤。

3.2.2. 吸附热力学研究

根据图 12~14 可知, AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT 和 FC-PPy-MMT 三种吸附材料的吸附等温线随浓度变化的趋势和吸附过程多样的传质机理有密切关联[11],这三种材料对刚果红的吸附效果由两个方面控制,一是受刚果红的分子从液相主体向吸附剂表面的传质过程,二是刚果红分子在吸附剂内部的扩散。由于刚果红的初始浓度变大,所以从液相水溶剂转移分离到吸附剂表面受到的阻力也会变大,从而其从水相到吸附剂外部的传质变慢;但在吸附剂内部,情况却是相反的,刚果红的扩散和传质相对较为容易和迅速。就整个吸附过程而言,刚果红浓度较低时,其在吸附剂内部扩散作用为控制吸附速率的主要因素,而刚果红浓度较高时,其外部传质过程起了主导作用,因此总体上表现为刚果红的平衡吸附量随其初始浓度的增加呈先快后慢的趋势。

吸附的环境温度是影响吸附行为的一个非常重要的因素。温度升高有利于吸附质分子的扩散,加快吸附进程,但同时温度升高伴随着剧烈的解吸附过程[12]。吸附剂对刚果红的吸附在同一个吸附浓度下的平衡吸附量均随着温度的升高而升高,表明三种吸附材料刚果红的吸附是一个吸热过程,温度越高,越有利于吸附;原因是温度越高,越有利于氢键的形成,吸附越稳定;而这三种材料随着温度的升高,分子结构的静电作用容易被破坏,所以这三种材料表现为吸附量随温度的升高而升高。

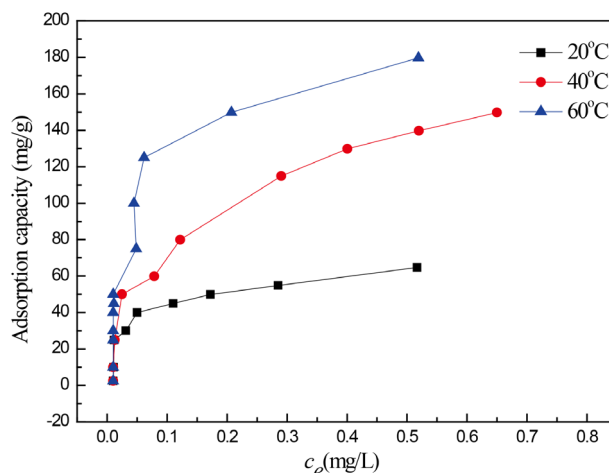


Figure 12. The adsorption isotherm of FC-PPy-MMT

图 12. FC-PPy-MMT 吸附等温线

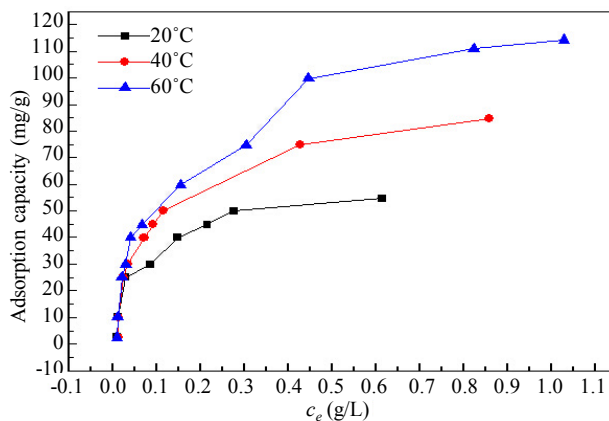


Figure 13. The adsorption isotherm of CP-PPy-MMT

图 13. CP-PPy-MMT 吸附等温线

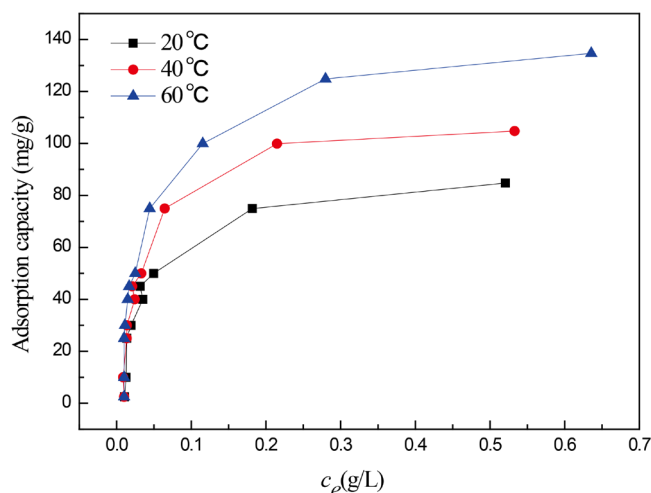


Figure 14. The adsorption isotherm of AP-PPy-MMT
图 14. AP-PPy-MMT 吸附等温线

4. 结论

1) XRD 可知: AP-PPy-MMT、CP-PPy-MMT、FC-PPy-MMT 不同引发剂制备成吸附材料的 $d(001)$ 值, 其由大小的顺序为: CP-PPy-MMT > AP-PPy-MMT > FC-PPy-MMT。

2) 聚吡咯-蒙脱土的比表面与孔结构: 钠基蒙脱土和 AP-PPy-MMT 材料相比, 其 BET 表面积从 $23.74 \text{ m}^2/\text{g}$ 下降至 $9.63 \text{ m}^2/\text{g}$; 孔容由 $0.040 \text{ cm}^3/\text{g}$ 下降至 $0.027 \text{ cm}^3/\text{g}$; 孔径由 66.76 \AA 上升至 86.50 \AA 。钠基蒙脱土和 CP-PPy-MMT 材料相比, 其 BET 表面积从 $23.74 \text{ m}^2/\text{g}$ 下降至 $16.81 \text{ m}^2/\text{g}$; 孔容由 $0.040 \text{ cm}^3/\text{g}$ 上升至 $0.044 \text{ cm}^3/\text{g}$; 孔径由 66.76 \AA 上升至 104.89 \AA 。钠基蒙脱土与 FC-PPy-MMT 材料相比, 其 BET 表面积从 $23.74 \text{ m}^2/\text{g}$ 下降至 $18.02 \text{ m}^2/\text{g}$; 孔容由 $0.040 \text{ cm}^3/\text{g}$ 下降至 $0.037 \text{ cm}^3/\text{g}$; 孔径由 66.76 \AA 上升至 82.26 \AA 。

3) FC-PPY-MMT、CP-PPY-MMT 和 AP-PPY-MMT 三种聚吡咯-蒙脱土吸附材料对刚果红的吸附过程以化学吸附为主, 兼有物理分配吸附; 动力学包含了准一级反应模型、准二级反应模型和颗粒内扩散模型, 但以准二级动力学化学吸附模型为主; FC-PPY-MMT、CP-PPY-MMT 和 AP-PPY-MMT 三种聚吡咯-蒙脱土吸附材料的吸附量随温度的升高而升高。

参考文献

- [1] 王桂萍, 李真. 蒙脱土的改性方法及其在废水处理中的应用研究进展[J]. 沈阳理工报, 2008, 29(4): 88-94.
- [2] 王贵领, 赵经贵, 赵杰. 蒙脱土深度开发产品的制备及研究现状[J]. 化学工程师, 2003(2): 43-45.
- [3] Sanniao, F., Vlolante, A. and Gianfreda, L. (1997) Adsorption-Desorption of 2,4-D by Hydroxy Aluminum Montmorillonite Complexes. *Pesticide Science*, **51**, 429-435. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199712\)51:4<429::AID-PS619>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199712)51:4<429::AID-PS619>3.0.CO;2-J)
- [4] Makhoukhi, D., et al. (2008) Modification of Bentonite with Diphosphoniumsalts. *Materials Letter*, **62**, 2493-2496.
- [5] Prigione, V., Tigini, V., Pezzella, C., et al. (2008) Decolourisation and Detoxification of Textileeffluents by Fungal Biosorption. *Water Research*, **42**, 2911-2920. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.003>
- [6] Peng, L.G., Du, C.B. and Yang, J.Y. (2012) Non-Peeling Polyaniline/Montmorillonite Carbon Nanocomposite Adsorbents. *New Chemical Materials*, **6**, 60-62.
- [7] 于海琴. 蒙脱土基吸附材料的制备、表征及其吸附性能研究[D]. 山东: 中国海洋大学, 2012.
- [8] 李倩. 新型阳离子聚合物/蒙脱土复合吸附材料的制备、表征及其吸附性能研究[D]. 山东: 山东大学, 2008.
- [9] 刘兴奋. 新型有机蒙脱土的制备及应用研究[D]. 四川: 成都理工大学, 2004.

-
- [10] 沙兆林, 戴青云. 化学氧化法合成聚吡咯薄膜[J]. 化学研究与应用, 1998, 10(4): 361-365.
- [11] 丁瑞莲, 胡恭任. 苯酚在滩涂沉积物上的吸附特性[J]. 化学研究与应用, 2016, 9(5): 207-210.
- [12] Von Open, B. and Kordel, W. (1991) Sorption of Nonpolar and Polar Compounds to Soils: Processes, Measurement and Experience with the Applicability of the Modified OECD-Guideline. *Chemosphere*, **22**, 285-304.
[https://doi.org/10.1016/0045-6535\(91\)90318-8](https://doi.org/10.1016/0045-6535(91)90318-8)

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2331-012X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: amc@hanspub.org