

# 氧化石墨对对硝基苯酚的吸附行为

查飞, 曾慧崇, 常玥

西北师范大学化学化工学院, 兰州 730070

**摘要** 以石墨粉为原料, 经Hummers法制备氧化石墨, 采用红外光谱、X射线衍射和扫描电镜对产物结构进行表征。结果表明, 氧化石墨含有C—OH、—COOH和C—O—C等官能团, 使石墨的层间作用力减弱, 层间距增大。研究了氧化石墨对对硝基苯酚的吸附行为, 当吸附温度为298 K, pH为7.0时, 氧化石墨对对硝基苯酚的吸附量为80.69 mg/g, 是石墨粉吸附量的6.1倍。吸附热力学研究表明, 氧化石墨对对硝基苯酚的吸附可以用Langmuir方程拟合, 吸附是自发的放热过程, 低温有利于吸附的进行。动力学拟合显示吸附符合二级动力学模型。

**关键词** 氧化石墨; 对硝基苯酚; 吸附热力学; 吸附动力学

**中图分类号** X131, O647.31

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.06.005

## Adsorption Properties of Graphite Oxide for *p*-Nitrophenol

ZHA Fei, ZENG Huichong, CHANG Yue

College of Chemistry and Chemical Engineering, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

**Abstract** The graphite oxide was prepared from the powdered graphite via the Hummers method. It was characterized by the methods of the FT-IR, the XRD and the SEM. It is shown that the graphite oxide contains various oxygen-containing functional groups such as C—OH, —COOH and C—O—C, which increase the layer spaces. Adsorption experiments indicate that the graphite oxide has an outstanding adsorption ability for the *p*-nitrophenol. With the adsorption temperature at 298 K and the pH value at 7.0, the adsorptive capability of the graphite oxide is up to 80.69 mg/g, 6.1 times of that of the graphite powder. From the adsorption isotherms and thermodynamic functions, it is shown that the adsorption can be described by the Langmuir isothermal equation and is a spontaneous and exothermic process. The kinetic study shows that the adsorption can be fitted by second-order dynamic equations.

**Keywords** graphite oxide; *p*-nitrophenol; adsorption thermodynamics; adsorption kinetics

酚类化合物是重要的化工原料, 大量用于制造酚醛树脂、离子交换树脂、高分子材料、合成纤维、染料等。各类工业废物包括煤气、石油化工、制药、油漆等排放物都含有大量的酚类物质, 因此, 含酚废水是分布广泛的有机污染物, 具有较强的毒性和持久性, 难以生物降解, 对环境造成的危害极大, 饮用水中含有酚类物质的质量浓度为1 μg/L时, 可以造成水体显著的臭味, 无法使用<sup>[1-3]</sup>。对硝基苯酚(*p*-NP)是一种重要的酚类污染物, 毒性高、很难被生物降解, 大量存在于炼油厂、焦化厂、染料厂、炼铁厂、农药厂等的工业废水中。随着工业生产、应用的不断发展, 环境中对硝基苯酚类化合物污染越来越严重, 主要通过呼吸道或皮肤吸收对人体产生

毒害作用。目前, 常用的处理方法主要有吸附法、萃取法、焚烧法、氧化法、高级氧化法、生化法等。其中, 吸附法以工艺简单、成本低、环境友好及出水水质较好等特点被广泛应用, 其他几类方法大多存在运营成本大、能耗高、工艺技术复杂等问题, 难以应用在实际生产中<sup>[4-7]</sup>。因此, 寻找一种能够高效地处理水体中对硝基苯酚的方法显得十分必要。

碳是自然界最普遍的元素之一, 碳化合物的成键方式和结构形式极其丰富。石墨晶体中层间碳原子间存在很强的共价键作用, 层间碳原子则以较弱的范德华力相结合。在酸和强氧化剂作用下, 石墨可被氧化成层间存在大量极性基团的氧化石墨, 这些极性基团的存在, 使氧化石墨的亲水性大

收稿日期: 2013-09-16; 修回日期: 2013-11-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(21161017)

作者简介: 查飞, 教授, 研究方向为能源与环境化工、现代分离分析技术, 电子信箱: zhafei@nwnu.edu.cn; 曾慧崇(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为现代分离分析技术, 电子信箱: zhcwsm@163.com

引用格式: 查飞, 曾慧崇, 常玥. 氧化石墨对对硝基苯酚的吸附行为[J]. 科技导报, 2014, 32(6): 34-39.

大提高,更易于吸附极性分子和高分子化合物形成纳米复合材料<sup>[8,9]</sup>。较为常用的制备氧化石墨的方法主要有 Brodie 法<sup>[10]</sup>、Staudenmaier 法<sup>[11]</sup>、Hummers 法<sup>[12]</sup>,其中 Hummers 法制备过程的时效性相对较好,制备反应简单,氧化程度高,比较安全,对环境污染小,倍受青睐。目前,国内外对氧化石墨的研究主要集中在石墨表面修饰<sup>[13,14]</sup>及物理化学吸附<sup>[15]</sup>方面,杨建国等<sup>[16]</sup>利用阳离子表面活性剂十六烷基三甲基溴化铵对氧化石墨进行插层改性,改善其表面亲油性的同时降低表面能,增大层间距。Stankovich 等<sup>[17]</sup>采用一系列苯基和烷基异氰酸酯对氧化石墨进行改性处理,制成不同的异氰酸酯改性氧化石墨。邹艳红等<sup>[18]</sup>采用聚苯胺嵌入氧化石墨层间的方法,将苯胺单体吸附在层离的氧化石墨片层,在静电力的作用下可以原位聚合形成聚苯胺/氧化石墨复合材料,应用于 DNA 识别。以基础的氧化石墨作为吸附剂,用于去除水体污染物的研究较为少见。Hummers 法制备得到的氧化石墨,破坏了石墨的非局域电子结构,赋予了石墨表面各种化学含氧官能团,形成了层内以共价键结合,层间以弱的氢键结合的特殊结构,使其层间距和比表面积均大于石墨,增强石墨的离子交换能力<sup>[19]</sup>。基于这些特点以及本课题组已有的酚类污染物的吸附理论研究基础,本文以氧化石墨为吸附剂研究其对对硝基苯酚的吸附行为。

## 1 实验部分

### 1.1 实验设计

以廉价易得、高储存量的石墨粉为原料,采用 Hummers 法制备氧化石墨,并将其作为吸附剂,用于水中对硝基苯酚污染物的去除,通过分析影响吸附的不同因素,考察氧化石墨对对硝基苯酚的吸附特性,确定吸附的最佳条件,探讨吸附过程的动力学和热力学,为其应用研究提供理论基础。

### 1.2 仪器与试剂

仪器:Equinox55 型傅里叶红外光谱仪(Bruker,德国);D/max-2400 型 X 射线衍射仪(Rigaku,日本);GSM-6701F 冷场发射型扫描电镜(JEOL,日本);Agilent 8453A 紫外-可见分光光度计(Agilent,美国);pHs-3C 型酸度计(上海精密科学仪器有限公司);SHA-B 恒温振荡器(常州国华电器有限公司);TD4A 低速自动平衡离心机(长沙平凡仪器仪表有限公司)。

试剂:石墨粉,质量分数>99.85%;对硝基苯酚、高锰酸钾、浓硫酸、盐酸、双氧水均为分析纯;用水均为超纯水。

### 1.3 吸附剂的制备

采用 Hummers 法制备氧化石墨:在烧杯中加入 50 mL、98% 浓硫酸,置于冰水浴中,边搅拌边缓慢加入 2.0 g 石墨粉和 1.0 g 硝酸钠,缓慢加入 6.0 g 高锰酸钾,控制体系温度在 298 K 以下,持续搅拌 2 h,再将烧杯移置 313 K 左右的温水浴中继续搅拌 30 min,加入一定量的去离子水和 30% 双氧水,直至体系无气体产生,趁热过滤,用 5% 盐酸和蒸馏水将样品洗涤至中性,333 K 下真空干燥,得到氧化石墨。

### 1.4 吸附实验

配制一定质量浓度的对硝基苯酚水溶液 20 mL,加入 0.02 g 吸附剂,恒温振荡,待吸附达平衡后,离心 30 min,取上层清液,测溶液的吸光度。用公式(1)计算吸附量。

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

式中, $Q_e$ 为平衡吸附容量,mg/g; $C_0$ 为对硝基苯酚的初始质量浓度,mg/L; $C_e$ 为吸附达到平衡时对硝基苯酚的质量浓度,mg/L; $m$ 为吸附剂的加入质量,g; $V$ 为溶液的体积,L。

### 1.5 检测方法

用紫外分光光度法测定溶液中对硝基苯酚的含量,测定波长为 318 nm。

## 2 结果与讨论

### 2.1 红外光谱分析

从石墨、氧化石墨的红外光谱(FT-IR)可以看出(图1),石墨在 3432  $\text{cm}^{-1}$ 附近有一个相对较弱的吸收峰,归属于水分子的一OH 伸缩振动,在 1581  $\text{cm}^{-1}$ 附近的吸收峰归属于石墨片层结构中碳原子与相邻碳原子之间以  $sp^2$  杂化形成的  $\text{C}=\text{C}$  键。氧化石墨在 3200  $\text{cm}^{-1}$ 附近有一个明显的峰,归属于氧化石墨结构中一OH 伸缩振动峰,这是由于氧化石墨结构中存在含氧基团且极易吸附水分子,所以样品在这个波数附近有个相对较强的吸收带。在 2926、2854  $\text{cm}^{-1}$ 处的吸收峰属于氧化石墨片层上一 $\text{CH}_2$ 的反对称、对称伸缩振动,1733  $\text{cm}^{-1}$ 附近的吸收峰属于氧化石墨片层边缘羧基、羰基中的  $\text{C}=\text{O}$  伸缩振动,1400  $\text{cm}^{-1}$ 附近的峰归属于结构中一OH 弯曲振动,1247  $\text{cm}^{-1}$ 处的峰属于羧基上的一OH 伸缩振动,1122、1054  $\text{cm}^{-1}$ 附近的峰归属于  $\text{C}-\text{O}-\text{C}$  的伸缩振动<sup>[20]</sup>。

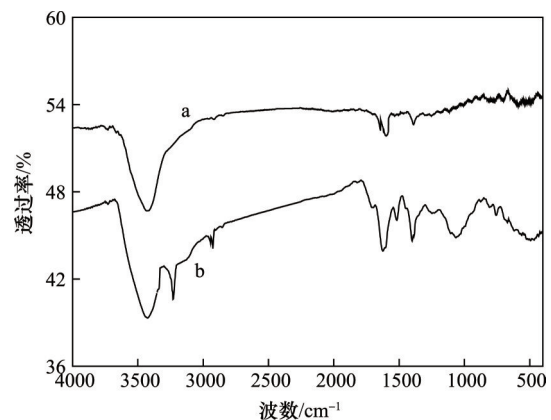


图1 石墨(a)、氧化石墨(b)的红外光谱

Fig. 1 FT-IR for graphite (a) and graphite oxide (b)

### 2.2 X 射线衍射分析

对比氧化石墨和石墨的 X 射线衍射(XRD)谱图(图2),

石墨的特征衍射峰( $2\theta=26.5^\circ$ )基本消失,说明被氧化后结构发生了较大的变化,在 $2\theta=9.8^\circ$ 出现了氧化石墨的特征衍射峰<sup>[21]</sup>,峰强度减弱,表明层间距增大,结晶度降低。这是由于石墨经氧化后,其石墨碳层上富含环氧基、羟基基团,使石墨的层间作用力减弱,层间距增大<sup>[22]</sup>。

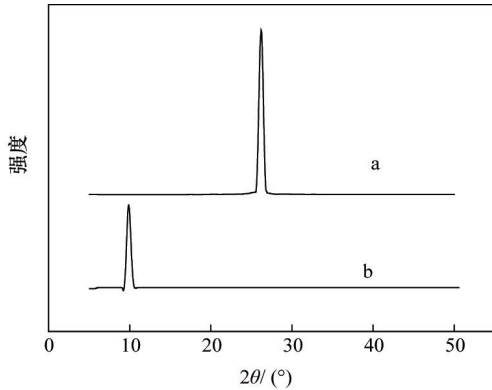


图2 石墨(a)、氧化石墨(b)的XRD分析  
Fig. 2 XRD analysis of graphite (a) and graphite oxide (b)

### 2.3 扫描电镜照片分析

从石墨与氧化石墨的扫描电镜(SEM)照片(图3)可以看出,石墨表面粗糙,结构紧密,以相对较厚的片层重叠排列,大体趋于平面结构。经氧化处理得到的氧化石墨整体趋于层状结构,表面平整,结构舒展,明显看到经氧化后,片层间距增大。

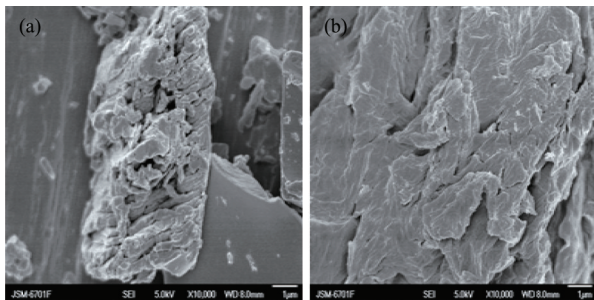


图3 石墨(a)、氧化石墨(b)的SEM图  
Fig. 3 SEM images of graphite (a) and graphite oxide (b)

### 2.4 影响吸附性能的因素

考察吸附剂投加量、对硝基苯酚质量浓度、溶液pH对吸附平衡的影响。吸附剂投加量越大,对硝基苯酚质量浓度越小,吸附越容易达到平衡,吸附效率越高;但吸附剂投加量过大时,溶液浑浊度会增大,吸附剂较难分离。实验结果表明,在吸附剂投加量为0.02 g,对硝基苯酚质量浓度低于120 mg/L时,吸附在2 h内达到平衡(图4)。

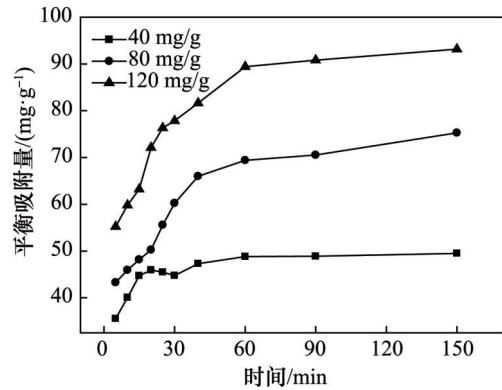


图4 吸附剂质量浓度对吸附的影响( $T=313\text{ K}$ ,  $\text{pH}=6.0$ )  
Fig. 4 Effect of adsorbate concentration on the adsorption ( $T=313\text{ K}$ ,  $\text{pH}=6.0$ )

在 $\text{pH}=7.0$ 时,吸附剂对对硝基苯酚的吸附效率最佳(图5),可能是因为当 $\text{pH}>7.0$ 时,对硝基苯酚以负酚盐离子形式存在( $\text{pK}_a=7.14$ ),分子态酚减少,不利于与吸附剂形成氢键等相互作用,从而减少了吸附量<sup>[23]</sup>。

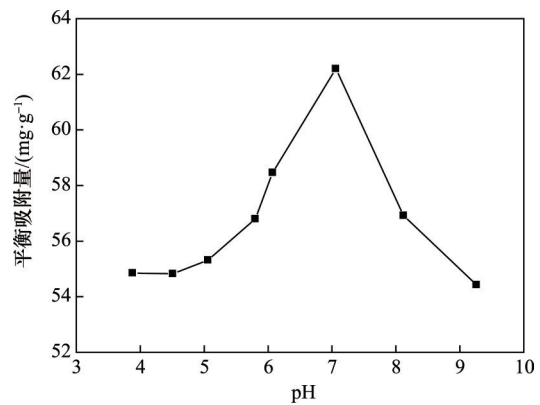


图5 pH对吸附的影响( $T=293\text{ K}$ )  
Fig. 5 Effect of pH value on the adsorption ( $T=293\text{ K}$ )

在上述最佳条件下进行实验,0.02 g氧化石墨对20 mL初始质量浓度为120 mg/L的对硝基苯酚的吸附量为80.69 mg/g,同量石墨粉的吸附量为13.2 mg/g。0.02 g氧化石墨在对硝基苯酚初始浓度为100 mg/L的条件下,对其去除率为80.17%,是石墨粉的5倍。其他吸附剂如壳聚糖、活性炭、坡缕石在吸附剂用量0.05 g时,对对硝基苯酚的去除率分别为69.32%、96.88%和81.37%<sup>[4]</sup>。可见氧化石墨对对硝基苯酚具有较好的吸附效果,去除率较高,且吸附剂用量少,更有利于溶液与吸附剂的分离。

### 2.5 吸附热力学

在 $\text{pH}=7.0$ ,吸附剂投加量为0.02 g,分别测定了293、303、313 K时对硝基苯酚的平衡质量浓度和吸附容量(图6)。结果表明,平衡吸附量随着温度的升高而降低,因此升高温度不利于吸附的进行,293 K为吸附的最佳温度。

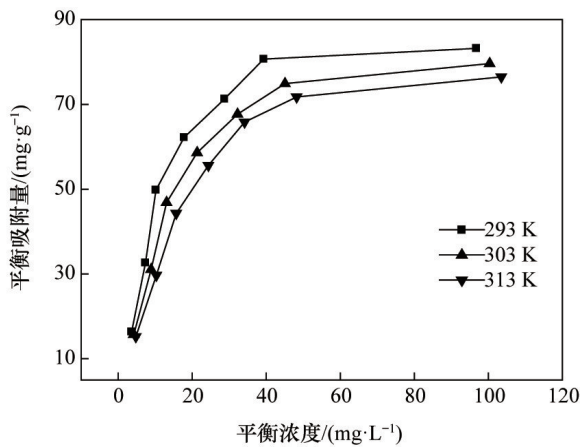


图6 对硝基苯酚在不同温度下的等温吸附曲线  
Fig. 6 Adsorption isotherms of *p*-nitrophenol at different temperatures

表1 对硝基苯酚的Langmuir和Freundlich等温吸附参数

Table 1 Langmuir and Freundlich isotherm parameters of *p*-nitrophenol

T/K	Langmuir 模型参数			Freundlich 模型参数		
	$b/(L \cdot mg^{-1})$	$Q_m/(mg \cdot g^{-1})$	$R^2$	$k_f$	$n$	$R^2$
293	0.066	109.89	0.9949	12.388	2.06	0.793
303	0.054	104.17	0.9936	10.090	1.95	0.837
313	0.044	104.17	0.9938	8.466	1.86	0.862

学键力大于 60 kJ/mol。

计算热力学函数方程为

$$\ln K = -\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (4)$$

$$\Delta G = -RT \ln K \quad (5)$$

式中,  $R$  为气体常数,  $8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ;  $T$  为绝对温度,  $\text{K}$ ;  $K$  为吸附常数;  $\Delta H$  为吸附焓变,  $\text{J}/\text{mol}$ ;  $\Delta S$  为吸附熵变,  $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ;  $\Delta G$  为吸附自由能变,  $\text{J}/\text{mol}$ 。

若不考虑温度的影响, 将实验数据代入式(4), 以  $\ln K$  对  $1/T$  作图, 得到直线方程  $\ln K = 750.96/T - 1.472$  ( $R^2=0.999$ )。由直线的斜率和截距求得  $\Delta H$  和  $\Delta S$ 。利用式(5)计算  $\Delta G$ , 求得  $\Delta H=-6.26 \text{ kJ}/\text{mol}$ ,  $\Delta S=-12.24 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ ,  $\Delta G$  分别为  $-2.66 \text{ kJ}/\text{mol}$  (293 K)、 $-2.54 \text{ kJ}/\text{mol}$  (303 K) 和  $-2.41 \text{ kJ}/\text{mol}$  (313 K)。

由计算数据可见, 对硝基苯酚在吸附剂上的热力学函数均为负值, 说明该吸附为自发的放热反应, 氧化石墨吸附对硝基苯酚的过程中可能同时存在疏水键力、偶极间力、氢键力、范德华力等的作用;  $\Delta G$  值可以反映吸附过程推动力大小,  $\Delta G$  的绝对值越大, 表明吸附推动力越大, 从数据中可以看出低温时吸附推动力大, 更加有利于吸附; 吸附为熵减小的过程, 说明对硝基苯酚分子被吸附后, 自由运动受限<sup>[25]</sup>。

## 2.6 吸附动力学

配制 100 mL 一定浓度的对硝基苯酚水溶液, 加入 0.05 g

在测量浓度范围内, 用 Langmuir 方程(2)和 Freundlich 方程(3)<sup>[4]</sup>分别对实验数据进行拟合, 结果列于表1。

$$\frac{C_e}{Q_e} = \frac{1}{Q_m b} + \frac{C_e}{Q_m} \quad (2)$$

$$\lg Q_e = \lg k_f + \frac{1}{n} \lg C_e \quad (3)$$

式中,  $Q_m$  为单分子层的饱和吸附容量,  $\text{mg}/\text{g}$ ;  $C_e$  为溶液的平衡浓度,  $b$  为吸附系数,  $k_f$  为吸附常数,  $n$  描述等温线的变化趋势,  $n>1$  为优先吸附。

吸附剂与对硝基苯酚之间的作用可归结为范德华力、疏水键、氢键、配位基交换、偶极间作用、化学键等。通过测定吸附质在吸附剂上的吸附热, 可以确定吸附过程, 推断吸附的主要作用力, 有助于判断吸附机理及热力学可行性<sup>[4]</sup>。Vonopen 等<sup>[24]</sup>测定了各种作用力引起吸附热的范围, 范德华力 4~10 kJ/mol, 疏水键力约为 5 kJ/mol, 氢键力 2~40 kJ/mol, 配位基交换力约为 40 kJ/mol, 偶极间作用力 2~29 kJ/mol, 化

吸附剂, 在不同温度下恒温振荡, 在不同吸附时间下取样, 离心分离, 取上层清液测吸光度, 得吸附动力学曲线, 如图 7 所示。

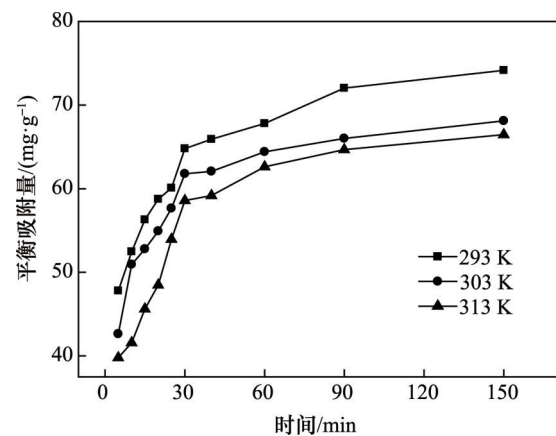


图7 对硝基苯酚的吸附动力学曲线  
Fig. 7 Adsorption kinetic curves of *p*-nitrophenol

由图 7 可知, 氧化石墨对对硝基苯酚的吸附速率开始时较快, 随时间延长逐渐减小, 在 2 h 后达到平衡。这是因为开始吸附时对硝基苯酚主要被吸附在氧化石墨的外表面, 溶液的浓度较大, 溶质分子扩散速率较快, 吸附位点充裕, 瞬时吸附速率较大; 随着吸附过程进行, 对硝基苯酚分子由外层向

内层扩散,溶液浓度降低,扩散阻力增大,此时内扩散成为速率控制步骤,吸附活性点相应减少,扩散速率下降,吸附速率降低<sup>[25,26]</sup>。

根据一级(6)和二级(7)吸附动力学模型<sup>[27]</sup>对实验数据进行拟合,结果列于表2。

$$\ln(Q_e - Q_t) = \ln Q_e - k_1 t \quad (6)$$

$$\frac{t}{Q_t} = \frac{1}{k_s Q_e^2} + \frac{1}{Q_t} t \quad (7)$$

式中,  $Q_t$  为反应时间  $t$  时的吸附量,  $Q_e$  为平衡时的吸附量,  $k_1$  为一级速率常数,  $k_s$  为二级速率常数。

表2 对硝基苯酚的吸附动力学参数

Table 2 Adsorption kinetic parameters of the *p*-nitrophenol

T/K	一级模型参数		二级模型参数	
	$k_1/\text{min}^{-1}$	$R^2$	$k_s/(\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$	$R^2$
293	0.0280	0.9700	0.00241	0.9991
303	0.0332	0.9624	0.00315	0.9996
313	0.0284	0.9270	0.00219	0.9990

由表2模型相关系数可见,氧化石墨对对硝基苯酚的吸附主要是遵从二级动力学模型,吸附过程主要以化学吸附为速率控制步骤。

### 3 结论

采用 Hummers 制备了氧化石墨,用 FT-IR、XRD 和 SEM 对产物进行了表征。研究表明,石墨粉经氧化处理后结构层中碳原子与 C=O、C—OH、—COOH 和 C—O—C 等含氧官能团键合,碳原子结构层引入大量的含氧基团,形成石墨层间化合物,并首次应用于对硝基苯酚的吸附研究,与其他吸附剂相比,廉价易得,高储存量且制备反应简单,安全。

氧化石墨对对硝基苯酚有较好吸附作用,吸附质质量浓度低于 120 mg/L 时,吸附在 2 h 内可达到平衡。等温吸附测试结果表明,吸附过程可以用 Langmuir 等温吸附模型进行较好的模拟,吸附焓变和熵变分别为 -6.24 kJ/mol 和 -12.24 J/(mol·K),吸附是自发的放热过程。动力学测试表明,吸附符合二级动力学吸附方程,吸附过程主要以化学吸附为速率控制步骤。

#### 参考文献(References)

[1] Li J M, Meng X G, Hu C W, et al. Adsorption of phenol, *p*-chlorophenol and *p*-nitrophenol onto functional chitosan[J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100(3): 1168-1173.

[2] Vázquez G, González-Álvarez J, García A I, et al. Adsorption of phenol on formaldehyde-pretreated *Pinus pinaster* bark: Equilibrium and kinetics[J]. *Bioresource Technology*, 2007, 98(8): 1535-1540.

[3] Rao J R, Viraraghavan T. Biosorption of phenol from an aqueous solution by *Aspergillus niger* biomass[J]. *Bioresource Technology*, 2002, 85(2): 165-171.

[4] 查飞, 常玥, 吕学谦, 等. 坡缕石-活性炭-壳聚糖负载环糊精对硝基苯酚的吸附性质[J]. *精细化工*, 2007, 24(3): 209-212.

Zha Fei, Chang Yue, Lü Xueqian, et al. Adsorption properties of palygorskite/active carbon/chitosan supported cyclodextrin adsorbent for nitrophenols[J]. *Fine Chemicals*, 2007, 24(3): 209-212.

[5] Bhatnagar A, Sillanpaa M. Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment: A review[J].

*Chemical Engineering Journal*, 2010, 157(2/3): 277-296.

[6] 张文军, 王旭, 李强. 含酚废水处理技术的研究进展[J]. *工业用水与废水*, 2011, 42(1): 4-7.

Zhang Wenjun, Wang Xu, Li Qiang. Research progress of phenol-containing wastewater treatment technology[J]. *Industrial Water Wastewaters*, 2011, 42(1): 4-7.

[7] 李萍, 李思凡, 杨双春, 等. 滑石粉在水处理中的应用研究进展[J]. *科技导报*, 2013, 30(21): 69-73.

Li Ping, Li Sifan, Yang Shuangchun, et al. Progresses of the application of talcum powder in water treatment[J]. *Science & Technology Review*, 2013, 30(21): 69-73.

[8] 刘平桂, 龚克成. 聚苯胺嵌入氧化石墨复合物的合成及表征[J]. *高分子学报*, 2000, 1(4): 492-494.

Liu Pinggui, Gong Kecheng. Synthesis and characterization of polyaniline intercalated graphite oxide composite[J]. *Acte Polymerice Sinica*, 2000, 1(4): 492-494.

[9] Kotov N A, Dékány I, Fendler J H. Ultrathin graphite oxide-polyelectrolyte composites prepared by self-assembly: Transition between conductive and non-conductive states[J]. *Advanced Materials*, 1996, 8(8): 637-641.

[10] Brodie B C. On the atomic weight of graphite[J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 1859, 149: 249-259.

[11] Marin R, Psvalergr J. Some new aspects of graphite oxidation at 0°C in a liquid medium: A mechanism proposal for oxidation to graphite oxide[J]. *Carbon*, 1986, 24(2): 163-167.

[12] William S, Hummers J R, Richard E, et al. Preparation of graphitic oxide[J]. *Journal of the American Chemical Society*, 1958, 80(6): 1339-1339.

[13] Yoon S H, Kim H J, Oh S M. Surface modification of graphite by coke coating for reduction of initial irreversible capacity in lithium secondary batteries[J]. *Journal of Power Sources*, 2001, 94(1): 68-73.

[14] Bourlino A B, Gournis D, Petridis D, et al. Graphite oxide: Chemical reduction to graphite and surface modification with primary aliphatic amines and amino acids[J]. *Langmuir*, 2003, 19(15): 6050-6055.

[15] Ren X M, Chen C G, Nagatsu M, et al. Carbon nanotubes as adsorbents in environmental pollution management: A review[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2011, 170(2/3): 395-410.

[16] 杨建国, 牛文新, 李建设, 等. 聚苯乙烯/氧化石墨纳米复合材料的制备与性能[J]. *高分子材料科学与工程*, 2005, 21(5): 55.

- Yang Jianguo, Niu Wenxin, Li Jianshe, et al. Preparation and properties of polystyrene/graphite oxide nanocomposite[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2005, 21(5): 55.
- [17] Stankovich S, Piner R D, Nguyen S T, et al. Synthesis and exfoliation of isocyanate treated graphene oxide nano platelets[J]. Carbon, 2006, 44(15): 334-347.
- [18] 邹艳红, 吴婧, 刘洪波, 等. 聚苯胺/氧化石墨的合成及其在DNA识别上的应用[J]. 新型碳材料, 2005, 20(4): 360-364.  
Zou Yanhong, Wu Jing, Liu Hongbo, et al. Preparation of polyaniline-intercalated graphite oxide composite and its application in detecting DNA[J]. New Carbon Materials, 2005, 20(4): 360-364.
- [19] Hudson M J, Hunter F R, Peckett J W, et al. Electrochemically prepared colloidal oxidised graphite[J]. Chemistry Materials, 1997, 7: 301-305.
- [20] Szabo T, Berkesi O, Forgo P, et al. Evolution of surface function groups in a series of progressively oxidized graphite oxides[J]. Chemistry of Materials, 2006, 18(11): 2740-2749.
- [21] 张莉莉, 付炎, 王伟伟, 等. 氧化石墨-氧化锡复合材料制备及吸附性能研究[J]. 南京理工大学学报, 2011, 35(3): 407-421.  
Zhang Lili, Fu Yan, Wang Weiwei, et al. Synthesis of graphite oxide-tin oxide composites and its adsorption property[J]. Journal of Nanjing University of Science and Technology, 2011, 35(3): 407-421.
- [22] 黄桥, 孙红娟, 杨勇辉. 氧化石墨的谱学表征及分析[J]. 无机化学学报, 2011, 27(9): 1721-1726.  
Huang Qiao, Sun Hongjuan, Yang Yonghui. Spectroscopy characterization and analysis of graphite oxide[J]. Chinese Journal of Inorganic Chemistry, 2011, 27(9): 1721-1726.
- [23] 史惠祥, 徐献文, 汪大攀. US/O<sub>3</sub>降解对硝基苯酚的影响因素及机理[J]. 化工学报, 2006, 5(2): 390-396.  
Shi Huixiang, Xu Xianwen, Wang Dajiang. Influencing factors and mechanism of decomposition of 4-nitrophenol by US/O<sub>3</sub>[J]. Journal of Chemical Industry and Engineering: China, 2006, 5(2): 390-396.
- [24] Von Oepen B, Kördel W, Klein W. Sorption of nonpolar and polar compounds to soils: Processes, measurements and experience with the applicability of the modified OECD-guideline 106[J]. Chemosphere, 1991, 22(3): 285-304.
- [25] 陈树薇, 施文健, 宋伟, 等. 壳聚糖交联β-环糊精对酸性染料吸附动力学和热力学研究[J]. 功能材料, 2009, 4(40): 656-659.  
Chen Shuwei, Shi Wenjian, Song Wei, et al. Kinetic and thermodynamic studies on the adsorption of acid dyes onto chitosan-β-cyclodextrin polymer[J]. Journal of Functional Materials, 2009, 4(40): 656-659.
- [26] 窦建芝, 刘金芝, 王慧, 等. 花生壳活性炭吸附苯酚及对硝基苯酚[J]. 常熟理工学院学报, 2011, 25(2): 47-51.  
Dou Jianzhi, Liu Jinzhi, Wang Hui, et al. Adsorption of phenol and 4-nitrophenol on activated carbon derived from peanut hull[J]. Journal of Changshu Institute Technology, 2011, 25(2): 47-51.
- [27] 李仲谨, 杨威, 刘艳, 等. β-环糊精微球吸附对硝基苯酚的动力学及热力学[J]. 化工进展, 2010, 29(11): 2134-2138.  
Li Zhongjin, Yang Wei, Liu Yan, et al. Adsorption kinetics and thermodynamics of β-cyclodextrin polymer microsphere for p-nitrophenol[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2010, 29(11): 2134-2138.

(编辑 田恬)

## ·学术动态·



中国科学技术协会

## 第16届中国科协年会在昆明举办

第16届中国科协年会将于2014年5月24—26日在云南省昆明市举行,由中国科协和云南省人民政府联合主办。

年会主题:开放、创新与产业升级。

本届年会包括开幕式暨大会特邀报告会、学术交流、科普活动、专题论坛以及党政领导与院士专家座谈会、专项活动等等。

第16届中国科协年会网络平台专用网址为: <http://2014.cast.org.cn>。

年会办公室联系方式:

电话:010-62129559,010-62125017,010-68515738

传真:010-62129559,010-62125017,010-68515738

电子邮箱: [xshdzzc@cast.org.cn](mailto:xshdzzc@cast.org.cn)

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35488/15400506.html>。