

D301R 树脂对水溶液中硝基苯的吸附性质

华英杰 王崇太* 李天略 何猛雄 徐坤琴

(海南师范大学化学与化工学院 海口 571158)

摘 要 研究了 D301R 弱碱性阴离子交换树脂对水中硝基苯的吸附作用,测定了不同温度下吸附的动力学曲线和吸附等温线,提出了吸附动力学模型,计算了平衡吸附量、吸附活化能和吸附焓等。实验结果表明,吸附动力学符合表面过程控制的准二级反应模型,其速率常数 k_2 在 300 K 时为 $3.74 \times 10^{-2} \text{ g}/(\text{mg} \cdot \text{min})$,并随温度的升高而升高;平衡吸附量在 300 K 时为 5.02 mg/g,且随温度的升高而降低;吸附活化能为 39.02 kJ/mol;吸附等温线符合 Langmuir 吸附模型,吸附焓为 -22.47 kJ/mol,吸附作用力主要是氢键。

关键词 D301R 树脂,硝基苯,吸附动力学,吸附等温线

中图分类号:O647.3

文献标识码:A

文章编号:1000-0518(2011)09-1067-06

DOI:10.3724/SP.J.1095.2011.00631

硝基苯(NB)主要用于苯胺的生产,并广泛应用于印染、纺织、炸药、制革和医药等工业,因此含硝基苯类物质的废水排放量很大。NB 类化合物具有较高毒性,对生化反应有抑制和毒害作用,属于生物难降解有机物,美国环保总署将其列入 129 种优先控制的污染物黑名单中^[1-2]。由于苯环上的硝基增加了 NB 的稳定性,一般的化学法难于将它降解去除,通常采用高级氧化法如芬顿(Fenton)、电芬顿和光芬顿法^[3-11]进行处理,这些方法需要使用催化剂 Fe^{3+} 或 Fe^{2+} ,并且消耗大量的氧化剂 H_2O_2 或电能和光能。利用树脂进行吸附分离是 20 世纪后期发展起来的一项新的分离技术,随着结构改良的吸附树脂的研制成功,树脂吸附法已被越来越广泛地应用于废水处理中。树脂吸附法处理有机废水具有操作简单、运行稳定等优点,受到企业和环保工作者的重视^[12-19]。

D301R 树脂吸附硝基苯的系统研究尚未见报道,本文试图用 D301R 树脂对水溶液中的硝基苯进行吸附,通过详细研究 D301R 树脂对硝基苯的吸附行为,如吸附的动力学和热力学性质及吸附机理,从而为硝基苯的吸附富集及其降解提供实验和理论依据。

1 实验部分

1.1 仪器和试剂

TU-1901 型紫外-可见分光光度计(北京普析通用仪器有限责任公司),AVATAR360 型傅里叶变换红外光谱仪(天津市港东科技发展有限公司)。

D301R 弱碱性阴离子交换树脂购自天津南开大学,使用前用二次蒸馏水洗净,并于 323 K 干燥 24 h;硝基苯、硫酸氢钠和氢氧化钠均为分析纯试剂(广州化学试剂厂);实验用水为二次蒸馏水。

1.2 红外光谱测定

在室温下,称取一定量的树脂于具塞锥形瓶中,加入一定浓度的硝基苯溶液,吸附 1 h 后,将树脂分离,自然晾干,然后测其红外光谱。

1.3 吸附动力学和吸附热力学

称取 1.0 g 树脂于具塞锥形瓶中,加入 50 mL 123 mg/L 的硝基苯溶液,恒温震荡,每隔一定时间取样,用紫外分光光度计测定溶液中硝基苯的浓度,确定达到吸附平衡的时间。根据下式计算吸附量:

$$q_t = [(\rho_0 - \rho_t)/m] \times V \quad (1)$$

式中, q_t 为 t 时刻的吸附容量(mg/g), ρ_0 和 ρ_t 分别为吸附前和 t 时刻溶液中硝基苯的质量浓度(mg/L),

V 为吸附液体积(L), m 为吸附剂用量(g)。

称取 1.0 g 树脂于具塞锥形瓶中,加入 25 mL 不同浓度的硝基苯溶液,恒温震荡至吸附达到平衡。根据下式计算平衡吸附量:

$$q_e = [(\rho_0 - \rho_e)/m] \times V \quad (2)$$

式中, q_e 为平衡吸附容量(mg/g), ρ_e 为吸附平衡时溶液中硝基苯的浓度(mg/L), ρ_0 、 V 和 m 的意义和量纲同上。以 ρ_e 为横坐标, q_e 为纵坐标,绘制各温度下树脂对硝基苯的吸附等温线。

1.4 不同 pH 值溶液的饱和吸附量

用 0.1 mol/L Na_2SO_4 - NaHSO_4 溶液配制不同 pH 值的含有相同硝基苯浓度的溶液 25 mL,恒温震荡至吸附平衡,根据式(2)计算平衡吸附量。

2 结果与讨论

2.1 D301R 树脂吸附硝基苯的紫外和红外光谱表征

图 1 为室温下,于 50 mL 初始浓度为 36.9 mg/L 的硝基苯(NB)水溶液中加入 1.0 g D301R 树脂后不同吸附时间的紫外吸收光谱。从图 1 可以看出,硝基苯在 268、211 和 200 nm 处分别有很强的吸收带^[3,10],随着吸附时间的增加,溶液的光吸收强度逐渐降低,表明溶液中硝基苯的浓度逐渐减小,这是溶液中的硝基苯不断被 D301R 树脂吸附的缘故。为了进一步证实这一点,将 D301R 树脂从溶液中分离出来,自然晾干后进行红外光谱测定,结果如图 2 所示。从图 2 中可以看到,吸附硝基苯的 D301R 树脂在 2 852、1 521、1 367 和 861 cm^{-1} 处均有吸收峰,分别属于硝基苯的苯环碳氢伸缩振动、硝基氮氧键不对称伸缩振动、硝基氮氧键对称伸缩振动和碳氮伸缩振动^[20]。因此,红外光谱进一步证实了溶液中的硝基苯确实是被 D301R 树脂所吸附,与紫外光谱的结果一致。

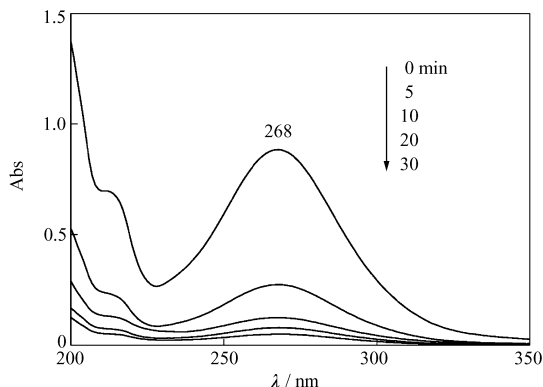


图 1 不同吸附时间下硝基苯溶液的紫外光谱
Fig. 1 UV spectra of NB solution at different adsorption time

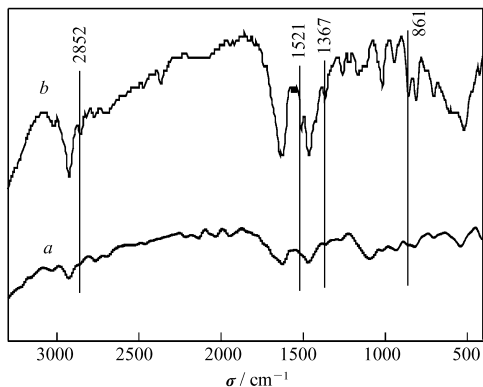


图 2 吸附硝基苯前(a)和后(b) D301R 树脂的红外光谱
Fig. 2 IR of the D301R resin before(a) and after(b) NB adsorption

2.2 吸附动力学性质

为了考察 D301R 树脂吸附硝基苯的动力学行为,分别测定了不同温度下的动力学曲线,结果如图 3 所示。从图 3 可以看到,在吸附的初始阶段,硝基苯的浓度迅速下降,随后逐渐趋于平稳,表明开始时,溶液中硝基苯的浓度较高,吸附剂表面的空位浓度也比较高,因而吸附速率较快;随着吸附的进行,溶液中硝基苯的浓度和吸附剂表面的空位浓度均降低,吸附速率变慢,而且温度越高,达到吸附平衡的时间越快,硝基苯的平衡浓度越高。例如,300 K 时,吸附达到平衡约需要 100 min,平衡浓度为 25.52 mg/L;而 318 K 时,吸附达到平衡的时间则为 45 min,平衡浓度为 40.80 mg/L。

通常用于描述吸附动力学方程的数学模型有 Lagergren 准一级动力学方程[方程(3)]和 HO 准二级动力学方程[方程(4)]^[21-22]。

$$\lg(q_e - q_t) = \lg q_e - (k_1/2.303)t \quad (3)$$

$$t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + t/q_e \quad (4)$$

式中, k_1 为准一级吸附的速率常数 (min^{-1}), k_2 为准二级吸附的速率常数 ($\text{g}/(\text{mg} \cdot \text{min})$), t 为吸附反应时间 (min)。

对实验数据分别进行 Lagergren 准一级动力学和 HO 准二级动力学拟合, 结果表明, 按二级动力学模型拟合能得到很好的线性关系 (图 3 插图), 因此 D301R 树脂对硝基苯的吸附是准二级动力学过程, 相应的动力学方程和参数列于表 1 中。由表 1 可知, 温度升高, D301R 树脂吸附硝基苯的准二级速率常数增大。从 3 个动力学方程的斜率求得 300、311 和 318 K 时的平衡吸附量分别为 5.02、4.58 和 4.30 mg/g , 可见温度升高, 吸附达到平衡的速率加快, 但平衡吸附量却降低。温度对吸附过程的影响可以用阿累尼乌斯方程(5)来描述^[23]:

$$\ln k = \ln A - E_a/RT$$

(5)

式中, k 为吸附速率常数, E_a 为吸附活化能。以 $\ln k$ 对 $1/T$ 作图, 得到一条直线 (图 4), 由直线的斜率可求出吸附反应的活化能 E_a 为 39.02 kJ/mol 。

表 1 D301R 树脂吸附硝基苯的准二级动力学参数

Table 1 The pseudo-second-order kinetic parameters for NB adsorption onto D301R

T/K	Pseudo-second-order equation	$k_2/(\text{g} \cdot \text{mg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$	R
300	$t/q_t = 1.06200 + 0.19933t$	3.74×10^{-2}	0.998 89
311	$t/q_t = 0.68932 + 0.21849t$	6.93×10^{-2}	0.999 74
318	$t/q_t = 0.60092 + 0.23279t$	9.02×10^{-2}	0.999 73

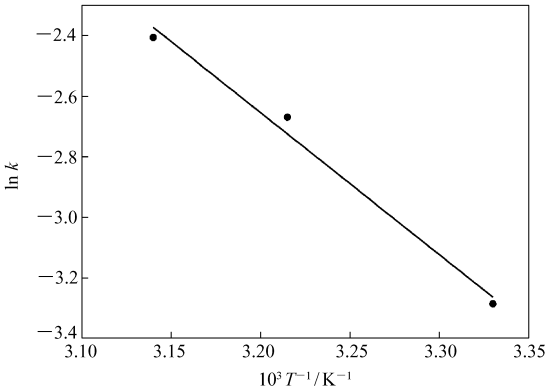


图 4 $\ln k$ 与 $1/T$ 的关系曲线

Fig. 4 The relationship of $\ln k$ with $1/T$

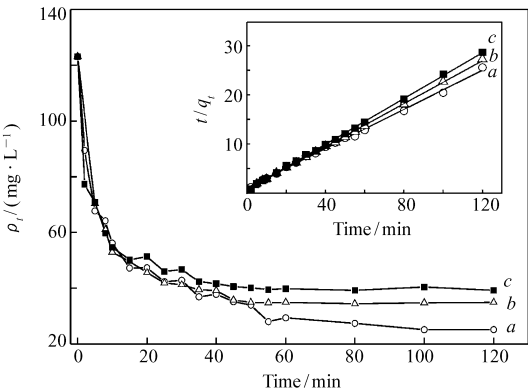


图 3 D301R 树脂吸附硝基苯的动力学曲线

Fig. 3 Kinetic curves of the D301R resin for the adsorption of NB

T/K : a. 300; b. 311; c. 318

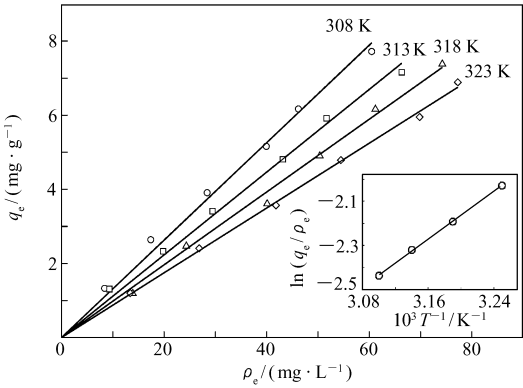


图 5 D301R 树脂对硝基苯的吸附等温线

Fig. 5 Adsorption isotherms of the D301R resin towards NB

2.3 吸附等温线及吸附热力学函数

图 5 为 D301R 在水溶液中对硝基苯的吸附等温线。随着温度的升高, 吸附量逐渐降低。朗格缪尔 (Langmuir) 公式(6)除用于描述气相吸附行为外, 也常用于描述液相吸附行为^[23]:

$$q_e = aq_m \rho_e / (1 + a\rho_e)$$

(6)

式中, a 为吸附系数, q_m 为表面上吸满单分子层吸附质的吸附量, 当 ρ_e 很小时, 则 $q_e = aq_m \rho_e$, 呈亨利定律形式, 即平衡吸附量与平衡浓度呈正比。

本实验硝基苯的浓度较低, 因此, 平衡吸附量与平衡浓度符合亨利定律形式的线性关系, 如图 5 所示。由亨利定律可知, 吸附系数即吸附平衡常数 K 与 (q_e/ρ_e) 成正比, 根据热力学关系可得^[24]:

$$\Delta G^0 = -RT\ln K = -RT\ln [B(q_e/\rho_e)] \tag{7}$$

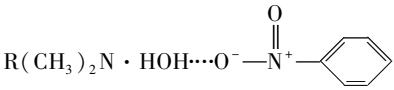
式中, ΔG^0 为标准 Gibbs 自由能 (kJ/mol), R 为理想气体常数, T 为绝对温度, $B = 1/q_m$ 为比例常数。根据热力学关系式(8):

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \tag{8}$$

式中, ΔH^0 和 ΔS^0 分别为标准吸附焓 (kJ/mol) 和和吸附熵 (J/(mol·K)); 结合式(7)可得:

$$\ln (q_e/\rho_e) = -\Delta H^0/(RT) + [\Delta S^0/R - \ln B] \tag{9}$$

以 $\ln q_e/\rho_e$ 对 $1/T$ 作图, 得到一条直线, 如图 5 插图所示。由该直线的斜率求得硝基苯在 D301R 树脂上的吸附焓为 -22.47 kJ/mol, 这是一个负值, 表明硝基苯在 D301R 树脂上的吸附是放热过程, 而且吸附焓的数值在氢键的键能范围 ($8 \sim 50$ kJ/mol)^[25] 内, 因此可以推断 D301R 树脂主要通过氢键形式的作用力吸附硝基苯, 如 Scheme 1 所示。



Scheme 1 The hydrogen bond interaction between D301R resin and NB

为了进一步证实这种推断, 在同样条件下进行了 D301R 树脂吸附邻苯二甲酸二甲酯 (DMP) 的实验, 结果发现 D301R 树脂对 DMP 的吸附量远远小于对硝基苯的吸附量, 如图 6 所示。这是因为在 DMP 的结构中不存在与 D301R 树脂形成氢键的基团, 其吸附作用的本质主要是 D301R 和 DMP 之间的疏水性, 这种疏水作用力与氢键作用力相比要弱得多, 因此, D301R 树脂对 DMP 的吸附效果比较差, 从而也间接证明了 D301R 树脂对硝基苯具有较好的吸附效果是它们之间存在着较强的氢键作用力。

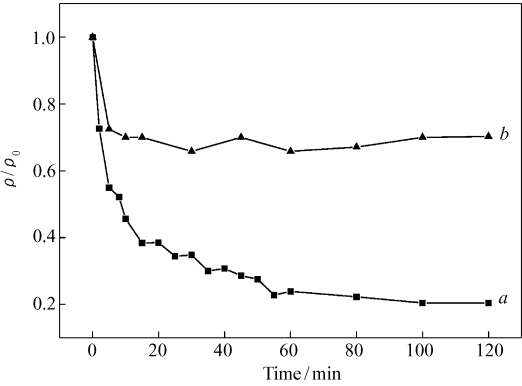


图 6 D301R 树脂吸附 NB(a) 和 DMP(b) 的动力学曲线
Fig. 6 Kinetic curves of the D301R resin adsorbing NB(a) and DMP(b)

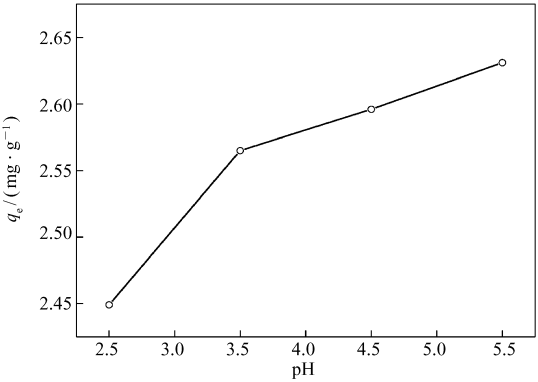
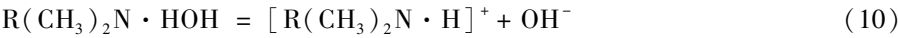


图 7 溶液 pH 值对 D301R 树脂吸附 NB 的影响
Fig. 7 Effect of pH value of the solution on the NB adsorption onto D301R resin

2.4 溶液 pH 值对 D301R 树脂吸附硝基苯的影响

由于 D301R 树脂在溶液中存在着下列酸碱平衡:



从上述讨论中已知, 硝基苯在 D301R 树脂上的吸附不是通过离子交换作用而是通过氢键作用来进行的, 因此, 溶液 pH 值的变化将影响 D301R 树脂对硝基苯的吸附作用, 为了解这种影响, 测定了不同 pH 值条件下硝基苯的平衡吸附量, 结果如图 7 所示。从图 7 可以看出, 随着 pH 值的降低, 平衡吸附量减小, 这是因为 pH 值越低, 氢离子浓度越大, 式(10)的平衡向生成 $[R(CH_3)_2N \cdot H]^+$ 的方向移动, 减少了能与硝基苯形成氢键的 $R(CH_3)_2N \cdot HOH$ 形式, 从而导致硝基苯的吸附量减小。这一结果再次验证了上述关于 D301R 树脂吸附硝基苯的主要作用力是氢键的观点。

3 结 论

D301R 树脂吸附硝基苯的动力学和热力学性质研究表明, D301R 树脂对水溶液中的硝基苯具有很好的吸附效果, 吸附速率快, 吸附容量在室温下为 5.02 mg/g, 可用于硝基苯污染水体中硝基苯的吸附富集处理。

参 考 文 献

- [1] Keith L H, Telliard W A. ES&T Special Report: Priority Pollutants: I-a Perspective View[J]. *Environ Sci Technol*, 1979, **13**(4): 416-423.
- [2] Sampatrao S P, Vijay M S. Biodegradation Studies of Aniline and Nitrobenzene in Aniline Plant Wastewater by Gas Chromatography[J]. *Environ Sci Technol*, 1988, **22**(10): 1160-1165.
- [3] HUA Yingjie, WANG Chongtai, TONG Yexiang, *et al.* Electrocatalytic Degradation of Nitrobenzene with Keggin-type $\text{PW}_{11}\text{O}_{39}\text{Fe}(\text{III})(\text{H}_2\text{O})^{4-}$ [J]. *Acta Chim Sin*, 2009, **67**(23): 2650-2654 (in Chinese).
华英杰, 王崇太, 童叶翔, 等. Keggin型杂多阴离子 $\text{PW}_{11}\text{O}_{39}\text{Fe}(\text{III})(\text{H}_2\text{O})^{4-}$ 电催化降解硝基苯[J]. 化学学报, 2009, **67**(23): 2650-2654.
- [4] Oturan M A, Peirotin J, Chartrin P, *et al.* Complete Destruction of *p*-Nitrophenol in Aqueous Medium by Electro-Fenton Method[J]. *Environ Sci Technol*, 2000, **34**(16): 3474-3479.
- [5] Sanchez-Sanchez C M, Exposito E, Casado J, *et al.* Goethite as a More Effective Iron Dosage Source for Mineralization of Organic Pollutants by Electro-Fenton Process[J]. *Electrochem Commun*, 2007, **9**(1): 19-24.
- [6] Casado J, Fornaguera J D, Galan M I. Mineralization of Aromatics in Water by Sunlight-Assisted Electro-Fenton Technology in a Pilot Reactor[J]. *Environ Sci Technol*, 2005, **39**(6): 1843-1847.
- [7] Diagne M, Oturan N, Oturan M A. Removal of Methyl Parathion from Water by Electrochemically Generated Fenton's Reagent[J]. *Chemosphere*, 2007, **66**(5): 841-848.
- [8] Wang Chongtai, Hua Yingjie, Li Gaoren, *et al.* Indirect Cathodic Electrocatalytic Degradation of Dimethylphthalate with $\text{PW}_{11}\text{O}_{39}\text{Fe}(\text{III})(\text{H}_2\text{O})^{4-}$ and H_2O_2 in Neutral Aqueous Medium[J]. *Electrochim Acta*, 2008, **53**(16): 5100-5105.
- [9] Brillas E, Boye B, Sires I, *et al.* Electrochemical Destruction of Chlorophenoxy Herbicides by Anodic Oxidation and Electro-Fenton Using a Boron-Doped Diamond Electrode[J]. *Electrochim Acta*, 2004, **49**(25): 4487-4496.
- [10] WANG Chongtai, SUN Zhenfan, HUA Yingjie, *et al.* Photocatalytic Degradation of Nitrobenzene with Keggin-type $\text{Fe}(\text{III})$ -Substituted Heteropolyanion $\text{PW}_{11}\text{O}_{39}\text{Fe}(\text{III})(\text{H}_2\text{O})^{4-}$ [J]. *Acta Chim Sin*, 2010, **68**(11): 1037-1042 (in Chinese).
王崇太, 孙振范, 华英杰, 等. Keggin型铁取代杂多阴离子 $\text{PW}_{11}\text{O}_{39}\text{Fe}(\text{III})(\text{H}_2\text{O})^{4-}$ 光催化降解硝基苯[J]. 化学学报, 2010, **68**(11): 1037-1042.
- [11] WU Deli, DUAN Dong, MA Luming. Fenton-like Oxidation of Refractory Organic Contaminants in Wastewater Using Pyrite Cinder at Neutral pH[J]. *CIESC J*, 2010, **61**(4): 1001-1008 (in Chinese).
吴德礼, 段冬, 马鲁铭. 黄铁矿烧渣催化 H_2O_2 氧化废水中难降解污染物[J]. 化工学报, 2010, **61**(4): 1001-1008.
- [12] WANG Limin, LIU Zhenhong, WANG Jiangang, *et al.* Study on the Adsorption Kinetics of Nitrobenzene on the Different Adsorption Resin[J]. *J Jilin Inst Chem Technol*, 2006, **23**(1): 22-25 (in Chinese).
王丽敏, 刘振鸿, 王建刚, 等. 硝基苯在两种不同吸附树脂上的吸附动力学研究[J]. 吉林化工学院学报, 2006, **23**(1): 22-25.
- [13] WANG Xiaomei, PENG Jiangming, ZHAO Chenxi, *et al.* Adsorption of Phenol onto Macroporous Crosslinked Poly(*p*-vinylbenzylamine) Resin[J]. *Acta Chim Sin*, 2008, **66**(8): 990-994 (in Chinese).
王小梅, 彭江鸣, 赵晨曦, 等. 大孔交联聚(对乙烯基苄基苯胺)树脂对苯酚的吸附[J]. 化学学报, 2008, **66**(8): 990-994.
- [14] LI Guangwei, WANG Jiangang. Study on the Treatment of Wastewater from Nitrobenzene Production by Resin Adsorption Process[J]. *J Jilin Inst Chem Technol*, 2007, **24**(3): 7-10 (in Chinese).
李广伟, 王建刚. 树脂吸附法处理硝基苯生产废水的研究[J]. 吉林化工学院学报, 2007, **24**(3): 7-10.
- [15] WANG Yongjiang, SHEN Qiuxian, XIONG Chunhua. Study on Adsorption of D301R Resin for $\text{Cr}(\text{VI})$ [J]. *Shanghai Environ Sci*, 2002, **21**(10): 614-616 (in Chinese).
王永江, 沈秋仙, 熊春华. D301R树脂对铬(VI)的吸附性能研究[J]. 上海环境科学, 2002, **21**(10): 614-616.
- [16] ZHENG Yian, WANG Aiqin. Adsorption of Pb^{2+} onto Poly(acrylic acid-co-acrylamide)/montmorillonite/sodium humate Composite[J]. *Chinese J Appl Chem*, 2009, **26**(10): 1154-1158 (in Chinese).
郑易安, 王爱勤. 聚(丙烯酸-co-丙烯酰胺)/蒙脱土/腐殖酸钠复合物对 Pb^{2+} 的吸附性能[J]. 应用化学, 2009, **26**(10): 1154-1158.
- [17] Wei Ruixia, Chen Jinlong, Chen Lianlong, *et al.* The Study of Adsorption of Lipoic Acid on Three Types of Resin[J]. *React*

Funct Polym,2004,**59**(3):243-252.

- [18] JIANG Zhixin,ZHAN Jingqing,SONG Zhengxiao. Ion Exchange Separation Engineering[M]. Tianjin:Tianjin University Press,1992:523-531 (in Chinese).
姜志新,湛竞清,宋正孝. 离子交换分离工程[M]. 天津:天津大学出版社,1992:523-531.
- [19] LIU Chunping,JI Chunnuan,MENG Yanfeng,*et al.* Preparation and Hg^{2+} Adsorption of *N*-Thioacyl Thioglycolic Acid Functionalized Triethylenetetramine Cross-linked PVC Resin [J]. *Chinese J Appl Chem*,2009,**26**(10):1149-1153 (in Chinese).
刘春萍,纪春暖,蒙延峰,等. *N*-硫代酰基硫乙酸功能化三乙撑四胺交联 PVC 树脂的制备及对 Hg^{2+} 的吸附[J]. 应用化学,2009,**26**(10):1149-1153.
- [20] YUAN Lvbing. Organic Chemistry[M]. Beijing:Higher Education Press,1999:63-87(in Chinese).
袁履冰. 有机化学[M]. 北京:高等教育出版社,1999:63-87.
- [21] HUA Yingjie,WANG Chongtai,YANG Xue,*et al.* Adsorption Properties of Keggin-Type Fe(III)-Substituted Heteropolyanion by D301R Resin[J]. *Acta Chim Sin*,2009,**67**(5):355-360(in Chinese).
华英杰,王崇太,杨雪,等. D301R 树脂对 Keggin 型铁取代杂多阴离子的吸附性能研究[J]. 化学学报,2009,**67**(5):355-360.
- [22] HUA Yingjie,SHU Huoming,HUA Shuyan,*et al.* Adsorption Properties of Keggin-Type Cr(III) Substituted Heteropolytungstates on the D301R Resin[J]. *Acta Sci Nat Univ Sunyatseni*,2010,**49**(1):67-71 (in Chinese).
华英杰,舒火明,华淑艳,等. Keggin 型铬取代磷钨杂多阴离子在 D301R 树脂上的吸附性质[J]. 中山大学学报,2010,**49**(1):67-71.
- [23] FU Xiancai,SHEN Wenxia,YAO Tianyang. Physical Chemistry[M]. 4th Ed. Beijing:Higher Education Press,1990:937-942(in Chinese).
傅献彩,沈文霞,姚天杨. 物理化学[M]. 第4版. 北京:高等教育出版社,1990:937-942
- [24] Maity N,Payne G F,Chipchosky J L. Adsorptive Separations Based on the Differences in Dolute-sorbent Hydrogen-bonding Strengths [J]. *Ind Eng Chem Res*,1991,**30**(11):2456-2463.
- [25] HUANG Jiangou,XU Mancai,LI Haitao,*et al.* Adsorption Thermodynamics of Macroporous Cross-linked Poly(*N*-methyl-*N*-*p*-vinylbenzylacetamine) Resin for Phenols from Non-aqueous System[J]. *Acta Phys-Chim Sin*,2003,**19**(3):208-211 (in Chinese).
黄贱苟,徐满才,李海涛,等. 非水体系中大孔交联酰胺基树脂的吸附热力学[J]. 物理化学学报,2003,**19**(3):208-211.

The Adsorptive Properties of the D301R Resin Towards Nitrobenzene in Aqueous Solution

HUA Yingjie, WANG Chongtai*, LI Tianlue, HE Mengxiong, XU Kunqin

(School of Chemistry and Chemical Engineering, Hainan Normal University, Haikou 571158)

Abstract The adsorptive properties of the D301R resin towards nitrobenzene in aqueous solution were investigated in details. The adsorption kinetic curves and adsorption isotherm curves were determined at different temperatures. An adsorption kinetic model was proposed. The equilibrium adsorption capacity, the adsorptive activation energy and the adsorption enthalpy were estimated. The experimental results showed that the adsorption kinetics follows a pseudo-second-order equation controlled by a surface process. The rate constant k_2 is $3.74 \times 10^{-2} \text{ g}/(\text{mg} \cdot \text{min})$ at 300 K, which increases with the increase of temperature. The equilibrium adsorption capacity is 5.02 mg/g at 300 K, which decreases with the increase of temperature. The adsorptive activation energy is 39.02 kJ/mol. The adsorption isotherm is consistent with the Langmuir isotherm and the calculated adsorption enthalpy is about -22.47 kJ/mol. The hydrogen bonding was suggested to be responsible for nitrobenzene adsorption onto D301R resin.

Keywords D301R resin, nitrobenzene, adsorption kinetics, adsorption isotherm