

氨基酸螯合吸附树脂对苯酚的吸附行为研究^{*}

孟冠华^{**} 欧承慧 陶冬民 刘宝河

(安徽工业大学建筑工程学院 马鞍山 243002)

摘 要 合成了一种 L-酪氨酸修饰的螯合吸附树脂(AJS-02),并与超高交联树脂 NDA-150 作对比,研究了其对苯酚的吸附和脱附行为.静态实验结果表明,在研究的浓度范围内,吸附平衡数据符合 Langmuir 等温吸附方程且吸附为放热过程.溶液的初始浓度为 100 mg/L,吸附温度为 288 K 时,苯酚在 AJS-02 和 NDA-150 上的平衡吸附量分别为 76.98 和 91.97 mg/g,苯酚在两种树脂上的吸附是比表面积和表面官能团共同作用的结果.动力学数据表明吸附动力学符合液膜扩散方程和颗粒内扩散方程,液膜扩散为吸附速率的主要控制步骤.动态吸附-脱附实验表明,AJS-02 树脂对苯酚的动态穿透吸附量和饱和吸附量分别为 5.26×10^{-2} 和 6.60×10^{-2} mmol/mL,采用 95% 乙醇作脱附剂,脱附率可达 91.5% 以上.

关键词 AJS-02, NDA-150, 苯酚, 吸附, 脱附

苯酚是一种重要的化工原料,也是水体中常见的污染物.由于毒性大,苯酚已被我国环保部门和美国国家环保署等机构列为优先污染物.水体中苯酚的去除方法主要包括化学氧化法、生化法、萃取法、吸附法、离子交换法等^[1~3].吸附法因为不引入新的污染物且能从水中富集分离有机污染物,既可用于废水处理,又可以用于生产过程中的除杂工艺,因而受到广泛的重视.近年来,随着高分子材料科学的发展,合成树脂因具有较好的吸附能力和选择性、易于脱附再生、使用寿命长等优点,在酚类化合物的吸附分离中越来越受到人们的青睐.

近年来,很多学者尝试对树脂进行表面的化学修饰,合成出一系列既具有较大的比面积又含有一定功能基团的复合功能吸附树脂^[4~6],这种复合型树脂有丰富的微孔结构和优良的比表面积,可以吸附水体中的有机物.此外,树脂表面含有的极性官能团可用来处理重金属离子.因此该复合型树脂在有机物-重金属离子复合污染水源水的处理应用方面将有着广阔的前景,但关于这方面的研究鲜见报道.以氨基酸为修饰剂的复合功能树脂还鲜见报道.本论文以 L-酪氨酸修饰氯球(氯甲基化苯乙烯-二乙烯苯共聚物微球, chloromethylated PS-DVB),合成的 L-酪氨酸螯合吸附树脂(AJS-02)是一种含有氨基酸官能团并具有一定比表面积的复合型树脂,它结合了螯合树脂

和吸附树脂的特点,在治理重金属离子和有机物废水上都将具有一定的效果.本文以未修饰后交联聚苯乙烯-二乙烯苯 NDA-150 为参照,比较研究了 AJS-02 对复合污染水中常见的有机污染物——苯酚的吸附性能,并探讨了它对苯酚的吸附规律,从而为该树脂用于处理重金属-有机物复合污染废水提供理论依据.

1 实验部分

1.1 仪器和试剂

Spectrum One 傅立叶红外光谱仪,德国 Perkin Elmer 公司;元素分析仪 CHN-O-Rapid,德国 Heracus 公司;Micromeritics ASAP-2010 比表面积孔径测定仪,澳大利亚 Micromeritics 仪器公司;UV-3501 紫外可见分光光度计,天津市港东科技发展有限公司;TG328A 型电光分析天平,上海天平仪器厂;ZD-85 恒温振荡器,国华电器公司;自制玻璃吸附柱($\Phi = 12$ mm);DHL-B 电脑恒流泵,上海青浦沪西仪器有限公司.

L-酪氨酸,无水乙醇,吡啶,硝基苯,氯化锌,苯酚均为分析纯,国药化学试剂公司;氯甲基化苯乙烯-二乙烯苯共聚物微球(交联度 7%、含氯量 16.2%),江苏南大戈德环保科技有限公司;含苯酚废水用苯酚配制;NDA-150,江苏南大戈得德环保科技有限公司.

^{*} 2008-12-08 收稿,2009-03-02 修稿;安徽省教育厅自然科学基金项目(项目号 KJ2007B167)资助;^{**} 通讯联系人,E-mail:

1.2 分析方法

苯酚的测定采用紫外分光光度计,在波长 274 nm 处测定.绘制标准工作曲线,并拟合得到校正方程($c = 682.84A - 0.644, r^2 = 0.9999$).

1.3 实验方法

1.3.1 AJS-02 的制备 在 500 mL 锥形瓶中加入 10 g 氯球,用无水乙醇浸泡 0.5 h 以上充分溶胀,用蒸馏水洗净后加入 300 mL 蒸馏水、2.3 g L-酪氨酸、1 mL 吡啶,加热冷凝回流 5 h,反应结束后将树脂用蒸馏水,5% HCl,5% NaOH,蒸馏水依次洗涤后烘干,制得 L-酪氨酸螯合树脂^[7] (AJS-01).

在 500 mL 三口烧瓶中加入 20 g 上述所得树脂,用 100 mL 硝基苯充分溶胀.在烧瓶中加入 6 g ZnCl₂,搅拌 0.5 h 再升温至 80℃搅拌 4 h 然后升温至 115℃搅拌 8 h.反应完后将树脂冷却至室温,用无水乙醇冲洗 2~3 遍,再用索氏抽提器抽提 8 h 以上.将树脂用蒸馏水,5% HCL,5% NaOH,蒸馏水依次洗涤后烘干,制得 L-酪氨酸螯合吸附树脂(AJS-02).

将制备所得 AJS-02 置于索氏抽提器中,用无水乙醇抽提 8 h 以上,置真空干燥箱内 60℃干燥 6 h 以上,备用.

1.3.2 静态吸附平衡实验 称取相应份数的 0.100 g AJS-02 和 NDA-150 分别置于 150 mL 的锥形瓶中,加入 100 mL c_0 分别为 60, 80, 100, 120, 140 mg/L 的苯酚溶液,置入一定温度(288、303、318 K)的水浴恒温振荡器,以 120 r/min 的转速振荡 24 h,使吸附达到平衡.分别测定平衡时吸附质中苯酚的吸附量.

苯酚吸附量根据下式计算:

$$Q = (c_0 - c_e) \times V \times 10^{-3} / W$$

其中, Q 为吸附量(mg/g); c_0 为苯酚溶液吸附前浓度(mg/L); c_e 为苯酚溶液吸附后浓度(mg/L); V 为苯酚溶液体积(mL); W 为树脂质量(g).

1.3.3 吸附动力学实验 称取若干份 0.100 g AJS-02 和 NDA-150 分别置于 150 mL 的锥形瓶中,加入 100 mL c_0 为 100 mg/L 的苯酚溶液,置入 298 K 的水浴恒温振荡器中以 120 r/min 转速振荡.每隔 5、10、20、30、40、60、80、100、120、150、180、240、300、360、420、480 min 取样分析,作出吸附时间与吸附量的关系曲线.

1.3.4 动态吸附及脱附 在室温下将 c_0 为 100 mg/L 的苯酚溶液分别以 5 BV/h 的流速(用恒流泵控制)通过装有 10 mL AJS-02 和 NDA-150 的玻璃吸附柱,对吸附出水定时收集并测定吸附流出液中苯酚的含量,作出动态吸附曲线.

在室温下分别将 95% 乙醇、8% NaOH 以 2.5 BV/h 的流速(用恒流泵控制)通过装有已吸附饱和的 AJS-02 和 NDA-150 的玻璃吸附柱,对出水定时收集并测定吸附流出液中苯酚的含量,作出解吸曲线.

2 结果与讨论

2.1 AJS-02 树脂性质

2.1.1 理化性质 AJS-02 和 NDA-150 的物理化学性质见表 1.由表 1 可知,两种树脂的骨架结构均为聚苯乙烯-二乙烯苯,AJS-02 的比表面积和微孔面积比 NDA-150 小很多,这是因为氨基酸修饰的过程中利用了一部分氯甲基官能团,并且氨基酸官能团修饰上以后对后交联过程产生一定的位阻,导致后交联过程没有未修饰的 NDA-150 进行的彻底.

Table 1 Physical and chemical properties of resins

Resins	AJS-02	NDA-150
Colour	Brown	Deep brown
Particle size (mm)	0.4~0.6	0.4~0.6
Framework	Styrene and divinylbenzene	
Functional groups	Carboxyl,amidocyanogen, hydroxybenzene	Carboxyl, hydroxybenzen,carbonyl
BET surface area (m ² /g)	345	864
Micropore area(m ² /g)	193	501
Average pore diameter(nm)	2.56	2.65
Micropore volume(cm ³ /g)	0.087	0.23

2.1.2 IR 分析 氯球、AJS-01 和 AJS-02 的红外谱图见图 1.图 1 中 3400 cm⁻¹左右 AJS-01 和

AJS-02 出现—OH 吸收峰,3410 cm⁻¹附近的宽吸收也说明胺基引入后所形成的 N—H 键,同时在

1600 cm^{-1} 左右出现 $\text{C}=\text{O}$ 吸收峰,表明了氨基酸的出现. AJS-01 上 674 cm^{-1} 左右和 1200 cm^{-1} 左右氯甲基的特征吸收峰与氯球上该官能团的吸收峰相比大大减弱,由此可证明 L-酪氨酸已经成功接到树脂上. 在 AJS-02 中 674 cm^{-1} 左右和 1200 cm^{-1} 左右氯甲基的特征吸收峰几乎消失,说明 AJS-02 上剩余的氯甲基进行了后交联.

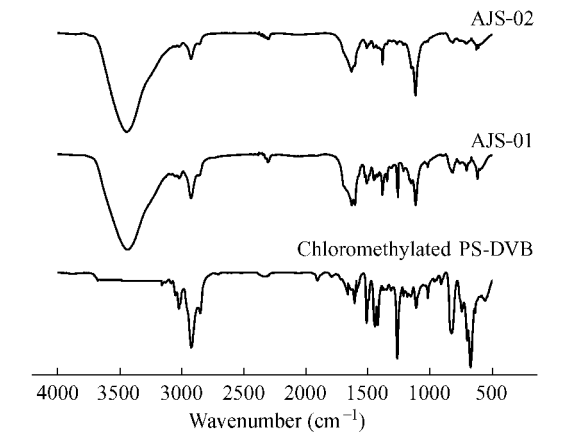


Fig. 1 The IR spectra of resins

2.1.3 树脂元素分析 经元素分析仪测试, AJS-02 的氮含量为 2.61%, 由 N 元素的含量换算而得的树脂所含胺基基团数为 1.86 mmol/g.

2.2 吸附等温线

两种树脂对苯酚的等温吸附线见图 2. 由图 2 (a), 2(b) 可见, 初始浓度为 100 mg/L 的苯酚溶液中, 288 K 时两种树脂的吸附量分别为 76.98 和 91.97 mg/g. 随着温度的升高, 两种树脂对苯酚的吸附量下降, 表明此吸附过程是一个放热过程. 在

吸附过程中, 适当降低温度有利于吸附. 根据 Langmuir 等温方程 $1/q_e = 1/q_m + 1/(K_L c_e)$ 对两种树脂的吸附数据进行拟合, 式中 q_e 为平衡吸附量 (mg/g); q_m 为最大单层饱和吸附量 (mg/g); K_L 是吸附能量常数 (L/mg); c_e 是平衡浓度 (mg/L). 拟合数据如表 2 所示.

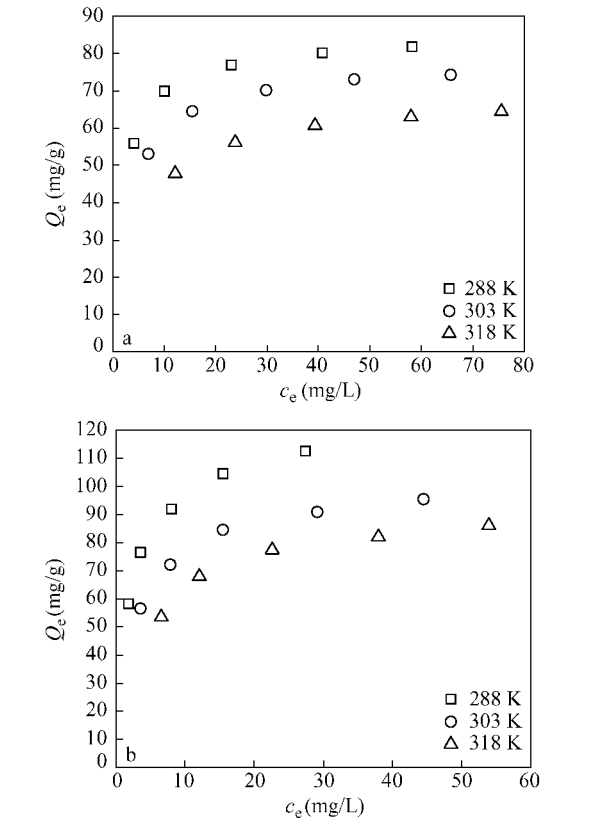


Fig. 2 Equilibrium adsorption isotherms of phenol onto resins
a) AJS-02 ; b) NDA-150

Table 2 The correlated parameters of Langmuir isotherm for the adsorption of phenol by resins

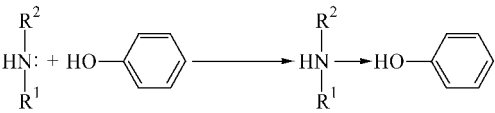
Resins	Temperature(K)	$1/q_e = 1/q_m + 1/(K_L c_e)$	R^2	q_m	K_L
AJS-02	288	$1/q = 0.0241 (1/c_e) + 0.0117$	0.996	85.47	0.485
	303	$1/q = 0.0348 (1/c_e) + 0.0128$	0.997	78.13	0.368
	318	$1/q = 0.0721 (1/c_e) + 0.0142$	0.991	70.42	0.197
NDA-150	288	$1/q = 0.0156(1/c_e) + 0.0086$	0.996	116.3	0.551
	303	$1/q = 0.0273 (1/c_e) + 0.0101$	0.996	99.01	0.370
	318	$1/q = 0.0517 (1/c_e) + 0.0107$	0.997	93.46	0.207

经 Langmuir 方程拟合的直线相关系数均大于 0.99, 说明苯酚是单分子层状态吸附于树脂上, 吸附行为与 Langmuir 吸附十分吻合. 对于两种树脂, Langmuir 拟合方程中饱和吸附量 q_m 值都随温度的升高而降低.

由于吸附树脂骨架和苯酚中的苯环之间的 $\pi-\pi$ 作用的存在, 因此这两种树脂对苯酚有一定

的吸附量. 由于苯酚极性小, 氢键和静电作用所起的作用较小, 苯酚在树脂上的吸附主要是疏水性吸附, 由树脂的比表面积决定, 其吸附容量的顺序与吸附树脂的比表面积的大小顺序一致. AJS-02 的比表面积远低于 NDA-150 树脂, 但是在水体系统中 AJS-02 对苯酚的吸附量却与 NDA-150 相差不大. 这是表面吸附与基团吸附综合作用的结果.

AJS-02 具有一定量氨基酸极性官能团,这些官能团均可作为氢键受体,其中胺基基团可与苯酚产生较强的静电作用力,与苯酚上的酚羟基形成氢键.此外苯酚作为有机弱酸,还可以与树脂上的碱性胺基发生一定的酸碱作用,从而增强了 AJS-02 对苯酚的吸附亲和力.作用机理如下式所示:



R¹ 为树脂骨架 R² 为氨基酸官能团

2.3 吸附热力学参数

吸附焓变 ΔH 根据 $\ln c_e = -\ln K_0 + \Delta H/RT$ 计算, c_e 是在绝对温度 T 时,对应于平衡吸附量 Q_e 的平衡浓度, K_0 为常数.由 $\ln c_e$ 对 $1/T$ 作图,从拟合直线的斜率计算出吸附焓变 ΔH .图 3 为树脂的吸附焓变曲线.树脂吸附过程的自由能变 ΔG 通过 $\Delta G = -RT\ln K_L$ 求得,式中 K_L 代表平衡吸附系数,在本实验中为 Langmuir 等温方程中的吸附系数 K_L .吸附熵变可采用 Gibbs-Helmholtz 方程

$\Delta S = (\Delta H - \Delta G)/T$ 求得,不同吸附量下等量吸附焓变、吸附自由能变及吸附熵变的数据计算如表 3 所示.

Table 3 Thermodynamic parameters of adsorption for phenol onto resins

Resins	q_e (mmol/g)	ΔH (kJ/mol)	ΔG (kJ/mol)		ΔS (J/(mol·K))	
			288 K	318 K	288 K	318 K
AJS-02	0.3	-21.74	-16.42	-15.80	-18.46	-18.67
	0.6	-16.12	-16.42	-15.80	1.05	-1
NDA-150	0.3	-21.26	-17.15	-16.06	-14.26	-16.35
	0.6	-18.67	-17.15	-16.06	-5.26	-8.19

苯酚在树脂上的等量吸附焓总是负值,这表明吸附是一个放热过程,且 ΔH 绝对值小于 42 kJ/mol,这表明是吸附过程以物理吸附为主.从表 3 可知,吸附焓随着吸附量的增加而减少,这可用树脂表面的不均匀性来解释.在吸附初始阶段,苯酚与树脂之间的作用主要是苯酚与树脂之间的直接作用,由于树脂表面的不均匀性,苯酚优先占据能量有利的位置.随着吸附量的增加,树脂表面被覆盖或树脂孔道被填充,苯酚与树脂之间的作用逐渐为吸附在树脂上的苯酚之间的作用所取代,相当于苯酚在树脂表面的凝聚,因而吸附焓逐渐下降.负的自由能说明吸附都是自发过程,吸附质倾向于从溶液中吸附到吸附剂的表面.除个别数据外,苯酚在树脂上吸附的熵变均为负值,是因为酚类物质被吸附到树脂上比它在溶液中运动受到更大的限制.两种树脂对苯酚的吸附是一种焓推动的过程.288 K 时,苯酚在 AJS-02 上吸附的个别熵变为正值,表明了溶剂水的作用,同时苯酚在树脂上的吸附是物理和化学作用共同作用的过程,这时树脂对苯酚的吸附是一种熵推动的过程.

2.4 吸附动力学

根据实验测定数据,分别作两种树脂的吸附

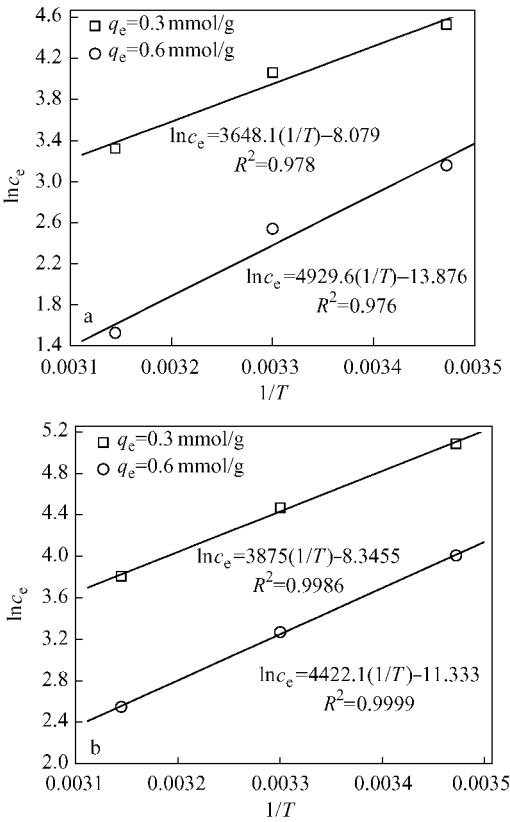


Fig. 3 Typical Van't Hoff plot for adsorption of phenol onto resins
a) AJS-02 ;b) NDA-150

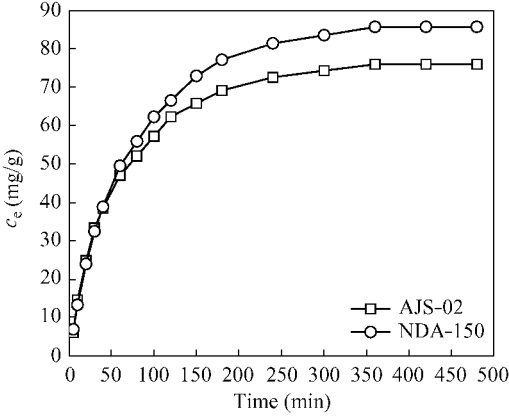


Fig. 4 The static adsorption kinetic curves of phenol onto resins ($T = 298\text{ K}$)

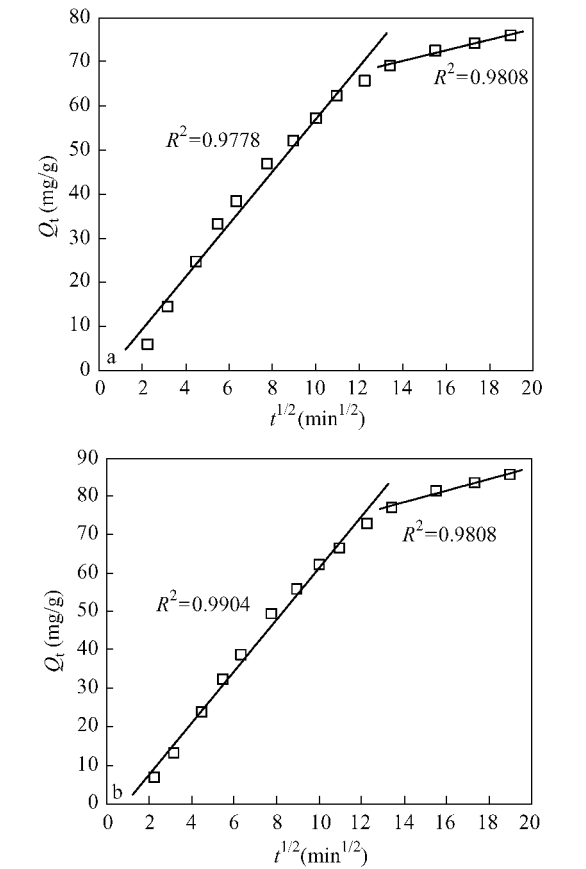
量 Q_t 随时间 t 变化曲线,如图 4 所示.

苯酚在由树脂的表面向树脂内部扩散时,依次进入传质阻力较小的大孔和中孔区,再进入微孔区域扩散,并达到最终的吸附平衡.这个扩散过程进行的较为缓慢,两种树脂在吸附大约在 360 min 时完全达到平衡.

分别采用液膜扩散和颗粒内扩散模型对动力学数据进行拟合.液膜扩散模型中,令 $F = q_t/q_e$, $\ln(1 - F) = -k_{ad}t$,其中 k_{ad} 为表观吸附速率常数. q_e 和 q_t 分别为平衡态时和 t 时刻的吸附量.液膜扩散速率和相关系数见表 4.颗粒内扩散模型中, $Q_t = kt^{1/2}$, k 为颗粒扩散系数.采用颗粒内扩散模型对静态吸附动力学数据进行分段拟合,结果见图 5、表 5.

Table 4 The film diffusion velocity constants and correlated coefficients of phenol on resins

Resins	$K_{ad}(\text{min}^{-1})$	Intercept	R^2
AJS-02	0.0123	- 0.158	0.997
NDA-150	0.0121	- 0.083	0.999



5 The curves of $Q_t-t^{1/2}$ for phenol on resins ($T = 298\text{ K}$)
a) AJS-02 ; b) NDA-150

Table 5 The intraparticle diffusion velocity constants and coefficients of phenol on resins

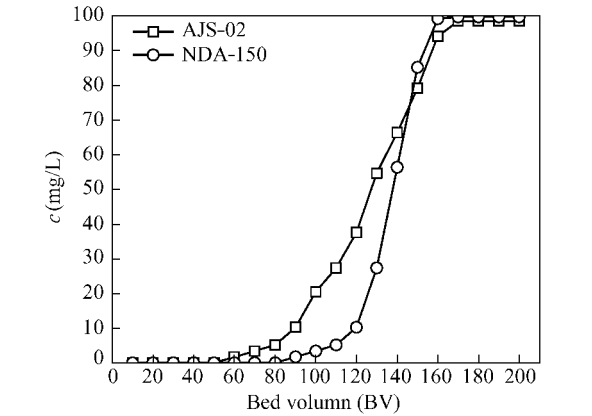
Resins	$k_p(\text{mg}\cdot\text{min}^{1/2}\cdot\text{g}^{-1})$	Intercept	R^2
AJS-02	5.960	- 2.50	0.978
	1.207	53.34	0.981
NDA-150	5.393	- 4.73	0.990
	1.207	46.02	0.981

由表 4 和表 5 可见,两种树脂液膜扩散拟合曲线 R^2 值均大于 0.99,高于两种树脂颗粒内扩散拟合曲线 R^2 值,表明液膜扩散为此吸附过程的主控步骤.苯酚的分子直径约为 0.7 nm,相对于微孔和中孔以及大孔来说,在孔道中的扩散受到的阻力很小,它只要克服树脂表面的液膜层的阻力就能很快的与树脂内部的活性位点发生作用,因此,液膜扩散步骤就成为苯酚吸附速率的控制步骤.树脂的液膜扩散速率 AJS-02 > NDA-150.在相同条件下,由于单位 AJS-02 的极性基团比 NDA-150 多,苯酚的极性化合物性质与 AJS-02 上的酚羟基相匹配,存在的化学作用和物理吸附作用相结合,使得吸附速率要高于含极性团较少而主要靠微孔结构吸附的 NDA-150.

苯酚在树脂上的颗粒内扩散过程分为两个阶段,开始的阶段是苯酚分子在大孔和中孔中的扩散,随后的阶段是其分子在微孔中的扩散.苯酚在大孔和中孔中扩散的阻力较小,在微孔中扩散的阻力较大,这种难易程度表现在扩散系数上,即是第一阶段 > 第二阶段.

2.5 动态吸附与脱附

AJS-02 和 NDA-150 苯酚溶液的穿透曲线如图 6 所示.在本实验中取流出液浓度为溶液初始浓度的 5% 为漏出点.



6 The dynamic sorption curves of phenol on resins ($T = 298\text{ K}$)

由图 6 可见,苯酚在 AJS-02 树脂上于 80 BV

处开始泄漏,于 170 BV 时趋于饱和,穿透吸附量和饱和吸附量分别为 41.97 和 60.61 mmol/L;在 NDA-150 树脂上于 100 BV 处开始泄漏,160 BV 时趋于饱和,穿透吸附量和饱和吸附量分别为 5.26×10^{-2} 和 6.60×10^{-2} mmol/mL.

树脂吸附饱和后,在室温下,分别用 95% 乙醇溶液以 2.5 BV/h 的流速进行脱附,实验结果如图 7.

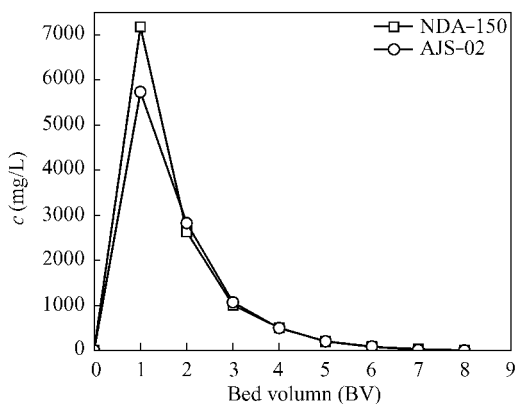


Fig. 7 The desorption curves of phenol on resins ($T = 298$ K)

由图 7 可见,95% 乙醇对两种树脂的脱附曲线都比较尖锐,脱尾都不长,说明 95% 乙醇对苯酚的脱附比较容易,这可能是因为乙醇是优良的有机溶剂,它与苯酚的亲合力大于树脂与苯酚的

亲合力,被树脂吸附的苯酚在乙醇溶液中大部分被萃取出来,使树脂失去了对苯酚的吸附能力.脱附剂对 AJS-02 和 NDA-150 两种树脂上苯酚的脱附率可以分别达到 91.5% 和 93.7%.

3 结论

在实验温度范围内,苯酚在树脂上的静态平衡吸附数据用 Langmuir 方程能够很好的拟合.属于单分子层吸附.吸附量随着温度的升高而减小,吸附过程为放热反应,属于物理吸附.

AJS-02 对苯酚的吸附过程是树脂的比表面积、功能基团综合作用的结果,树脂上修饰的功能基团的作用明显.

吸附热力学研究表明,AJS-02 对苯酚的吸附是自发的过程,是物理和化学作用共同作用的结果,是放热的、由焓推动的过程.

吸附动力学研究表明,苯酚在 AJS-02 上的吸附在 360 min 以内达到平衡.苯酚在树脂上的吸附动力学数据均能用膜扩散模型和颗粒内扩散模型很好的拟合,膜扩散过程为吸附的控制速度过程.

使用 95% 乙醇对 AJS-02 可达到 91.5% 以上的脱附率.

REFERENCES

- Xiao Yi(肖义), Dang Liqin(党利琴), An Lizhen(安丽珍), Bai Shiyong(白士英), Lei Zhibin(雷志斌). Chinese Journal of Catalysis(催化学报), 2008, 29(1): 31 ~ 36
- Wang Xiaomei(王小梅), Peng Jiangming(彭江鸣), Zhao Chenxi(赵晨曦), Xu Feng(徐峰). Acta Chimica Sinica(化学学报), 2008, 66(8): 990 ~ 994
- Wang Xuejiang(王学江), Zhang Quanxing(张全兴), Zhao Jianfu(赵建夫), Xia Siqing(夏四清), Chen Ling(陈玲). Acta Polymerica Sinica(高分子学报), 2005, (1): 93 ~ 97
- Wang Ruifang(王瑞芳), Shi Zuqing(史作清), Shi Rongfu(施荣富), Zhang Jingze(张静泽), Ou Lailiang(欧来良). Acta Polymerica Sinica(高分子学报), 2005, (3): 339 ~ 344
- Fan Yunge(范云鸽), Shi Rongfu(施荣富), Yang Yizhong(杨益忠), Shi Zuqing(史作清). Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nankaiensis(南开大学学报), 2006, 39(2): 85 ~ 88
- Zhang Quanxing(张全兴), Chen Jinlong(陈金龙), Li Aimin(李爱民), Yang Weiben(杨维本). Acta Polymerica Sinica(高分子学报), 2008, (7): 651 ~ 654
- Valodkar V B, Tembe G L, Ravindranathan M, Ram R N, Rama H S. J Mole Catal A Chem 2004, 208: 21 ~ 32

ADSORPTION OF PHENOL ONTO AMINO ACID CHELATED ADSORPTION RESIN

MENG Guanhua, OU Chenghui, TAO Dongmin, LIU Baohe

(School of Civil Engineering&Architecture, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243002)

Abstract To explore the possibility of treating polluted water containing both organics and heavy metals, the synthesis of polystyrene-divinylbenzene AJS-02 modified by L-tyrosine acid and a comparison of adsorption-desorption performance toward phenol on NDA-150 and AJS-02 had been investigated. It was shown that the equilibrium adsorption data fitted to Langmuir isotherms, and the adsorption capacity decreased with increase of temperature suggesting the exothermic process. The equilibrium adsorption capacity of AJS-02 and NDA-150 toward phenol was 76.98 mg/g and 91.97 mg/g, respectively when the initial concentration was 100 mg/L and the adsorption temperature was 288 K. These results might be attributed to both the specific surface areas and the polar groups on the network of resins. Thermodynamic studies suggested that the adsorption of phenol on AJS-02 was a procedure of coexistence of physisorption and chemisorption. The kinetic data fitted to both the intraparticle diffusion equation and the film diffusion equation for NDA-150 and AJS-02. It was shown that the adsorption rate was mainly governed by film diffusion. It was showed in dynamic adsorption and desorption experiments for phenol on AJS-02 the breakthrough adsorption capacity and the total adsorption capacity were 5.26×10^{-2} mmol and 6.60×10^{-2} mmol per milliliter resin, respectively. 91.5% regeneration efficiency for AJS-02 was achieved by 95% ethanol in our study.

Keywords AJS-02, NDA-150 resin, Phenol, Adsorption, Desorption