

钠型丝光沸石吸附水溶液中铜离子平衡及动力学研究

Adsorption of Copper Ions from Aqueous Solution by Na⁺-mordenite: Equilibrium and Kinetic Studies

王学松/WANG Xue-song^{1,2}, 胡海琼/HU Hai-qiong², 王 静/WANG Jing², 孙 成/SUN Cheng¹

1. 南京大学环境学院, 南京 210093

2. 淮海工学院化学工程系, 江苏连云港 222005

1. School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China

2. Department of Chemical Engineering, Huaihai Institute of Technology, Lianyungang 222005, Jiangsu Province, China

[摘要] 研究了沸石吸附水溶液中铜离子时多种因素(时间、吸附温度、初始浓度、pH 值、吸附剂量、离子强度等)对吸附过程的影响。实验结果表明,沸石对铜离子的吸附过程能很好地遵循准二级动力学模型,其相关性系数均达到 0.999,且吸附速率常数 k_2 随吸附过程的温度升高而增加。其相应的吸附过程的活化能 E_a 为 11.256 kJ/mol。Langmuir、Freundlich 及 Dubinin-Radushkevich(D-R)等方程可较好地拟合热力学数据。吸附过程的热力学参数 $\Delta G < 0$ 、 $\Delta H > 0$,表明水溶液中铜离子在沸石上的吸附是一个自发的、吸热的过程。D-R 等温方程拟合计算结果反映该吸附过程中主要为离子交换过程。沸石对铜离子的单位吸附量随初始浓度的升高而增大;在 pH 2~6 间随 pH 升高而增加;增大吸附剂投加量有利于提高吸附效率,向溶液中加入一定量的 NaNO_3 则会使沸石对铜离子的吸附能力降低。

[关键词] 丝光沸石;动力学;吸附等温线

[中图分类号] X703, O647.31, TQ424.23

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2006)11-0031-06

Abstract: In this study, Na⁺-mordenite was used as an adsorbent for the aim of removing Cu () ions from the aqueous solutions, and the effects of contact time, temperature, initial metal ion concentrations, initial solution pH, adsorbent dosage and ionic strength in the adsorption process were investigated in detail. Experimental results showed that the sorption process follows pseudo-second-order kinetics very well, the correlation coefficients R^2 all reached 0.999, and the rate constant of this kinetics model for the adsorption processes, k_2 , increased with the increasing temperatures. The isothermal data could be well described by the Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich (D-R) adsorption isothermal equations. The thermodynamic parameter, $\Delta G < 0$, was negative, indicating that the nature of adsorption process is spontaneous, $\Delta H > 0$ being positive, showing the endothermic nature of the adsorption process. This adsorption processes were dominated by the ion exchange. The amount of adsorbed copper ions increased with the increasing initial metal ion concentration and solution pH in the examined range, but decreased with the increasing dosage of adsorbent and ionic strength.

Key Words: Na⁺-mordenite; kinetic model; adsorption isothermal equation

CLC Numbers: X703, O647.31, TQ424.23

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2006)11-0031-06

1 引言

重金属污染是全球关注的环境问题。废水中的铜离子的浓度过高,不利于环境及人类健康。因此,应该采取相应的措施,降低或减少废水中铜离子的浓度。传统的处理方法有化学沉淀、离子交换、反渗透以及活性炭吸附等方法。但这些方法存在着诸如成本较高、能耗高、产生二次污染且对浓度低的废水处理效果差等各种不足。目前,筛选低成本吸附剂治理废水中重金属离子成为环境工程领域的一个重要方向。许多学者正试图开发一些新型的低成本的吸附材料,包括农业废弃物、工业废弃物和矿物材料等。

沸石由于其自身独特的吸附、离子交换和催化性能普遍引起了人们的关注,是最早用于水溶液中重金属污染治理的矿物材料。

天然沸石主要有斜发沸石、丝光沸石和菱沸石。许多研究发现,斜发沸石对重金属离子如 Cd^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Cu^{2+} 和 Pb^{2+} 等选择交换能力高。许多研究还发现,沸石的选择性与离子交换能力取决于沸石的预处理方法^[1]。目前常用的预处理方法是用 NaOH 溶液清除沸石晶格中被占用的活性吸附点位,从而提高沸石对金属离子的交换能力。但是对于利用丝光沸石吸附废水中铜离子的吸附行为

收稿日期: 2006-07-28

基金项目: 江苏省海洋生物重点实验室项目(2005HS008)

作者简介: 王学松,男,江苏连云港市新浦区苍梧路 59 号淮海工学院化学工程系,南京大学环境科学与工程博士后流动站在站博士后,研究方向为污染控制化学; E-mail: snowpine1969@126.com

的相关报道较少。

本实验采用 Na 化改性再经高温活化后的丝光沸石进行水溶液中铜离子吸附实验,探讨了钠化丝光沸石对铜离子吸附过程的动力学与热力学机理,讨论了相关影响因素(初始浓度、溶液 pH 值、吸附剂量和离子强度)对其吸附性能的影响。

2 材料和方法

2.1 材料准备

丝光沸石研磨,过 100 目筛。用 0.1 mol/L 的盐酸溶液浸泡沸石 5 h,搅拌。去离子水洗涤多次后,用 1 mol/L 的 NaCl 溶液进行浸泡 24 h,制备 Na 型沸石^[2]。所得沸石于 80 °C 烘干,再对其进行高温(400 °C)活化 6 h。备用。

阳离子交换容量采用 Ba(NO₃)₂ 法测定,颗粒粒径采用激光粒度分析仪测定。

2.2 实验方法

分别在 20 °C、30 °C、40 °C 下,250 ml 40 mg/L 的铜溶液中投加 0.5 g(即 2 g/L)沸石振荡,于适当的时间间隔取样过滤,滤液待分析。

分别在 30 °C、40 °C、50 °C 下,配制一系列初始浓度不同的铜溶液(20~100 mg/L)各 50 ml,分别投加 0.25 g 沸石,振荡一定时间(以下实验均相同),过滤后测定滤液中铜离子浓度。

溶液的 pH 通过 0.1 mol/L 的盐酸或氢氧化钠调节,分别考察不同 pH 值(2.0~6.0)对水溶液中铜离子吸附特征(溶液体积 50 ml,浓度为 40 mg/L);向 50 ml 的铜离子(40 mg/L)分别投加一定数量的丝光沸石(固液比分别为 1 g/L、1.5 g/L、3 g/L、4 g/L、5 g/L),考察吸附剂量对铜离子吸附的影响;研究了离子强度(0.1 mol/L、0.01 mol/L NaNO₃ 溶液)对水溶液中铜离子吸附性能的影响。以上未注明温度的均在 20 °C 下进行实验。

滤液中铜离子采用铜试剂分光光度法(与国标 GB7473-87 等效)测定。

2.3 数据处理

铜离子的单位吸附量:

$$q = \frac{V(C_i - C_e)}{W} \quad (1)$$

其中:V 为溶液体积(ml);W 为吸附剂量(g);C_i、C_e 分别为铜离子的初始浓度及平衡浓度(mg/L)。

3 结果与讨论

3.1 Na-型丝光沸石的理化特征

实验所用 Na-型丝光沸石的阳离子交换容量(cation exchange content, CEC)约为 187 mmol·100/g 沸石的致密度为 2.3 g/ml,表密度为 1.5 g/ml,其平均颗粒直径为 107.2 μm。

3.2 动力学特征

不同温度下,Cu²⁺在沸石上的单位吸附量 q_t 随时间 t 变化的

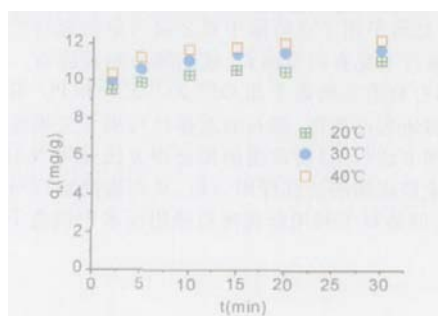


图 1 不同温度下时间对丝光沸石吸附 Cu²⁺的影响
Fig. 1 Effect of time on Cu²⁺ adsorption onto Na-mordenite at various temperatures

过程如图 1 所示。

图 1 可见,在 3 个温度下,沸石对 Cu²⁺的吸附量均呈现上升趋势,且在前 15 min 沸石对 Cu²⁺的吸附较快,此后至 30 min,吸附量增幅较为平缓;此外,在相同的时间间隔内,温度高吸附量大,如在 20 °C、30 °C、40 °C 下,2 min 时沸石对 Cu²⁺的 q_t 分别为 9.544 mg/g、9.986 mg/g、10.378 mg/g。

3.3 动力学模型

利用 4 种动力学模型分析动力学实验数据,以分析 Cu²⁺在沸石表面上吸附的动力学特性。该 4 种模型分别为准一级动力学模型、准二级动力学模型、Morris 扩散模型和叶洛维奇模型^[3]。

准一级动力学模型的数学表达式可表示为:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (2)$$

准二级动力学模型可表达为:

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (3)$$

Morris 扩散模型可表达为:

$$q_t = k_d t^{1/2} \quad (4)$$

叶洛维奇方程:

$$q_t = \alpha \beta \ln t \quad (5)$$

以上各式中:q_e、q_t 分别为吸附平衡时及时间 t 时被吸附铜离子量(mg/g);k₁ 为准一级动力学速率常数(/min);k₂ 为准二级动力学速率常数(g/(mg·min));k_d 为 Morris 扩散系数(mg/g·min^{0.5});α、β 为叶洛维奇常数。

利用上述 4 种动力学模型分别对实验数据进行拟合分析,即分别以 log(q_e - q_t) 对时间 t、t/q_t 对时间 t、q_t 对 t^{1/2}、q_t 对 ln t 分别作图,结果如图 2。

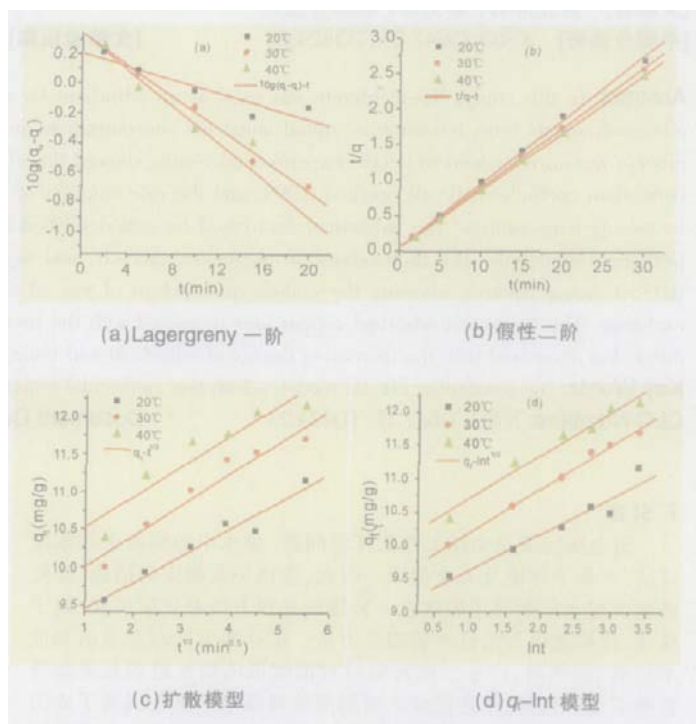


图 2 动力学模型

Fig. 2 Four kinetic models

4 种动力学模型拟合所得的相关性系数见表 1。表 1 中数据显示,准二级动力学模型拟合所得的相关性系数均达到 0.999 以上;另外 3 种模型相关性则相对较低,可见沸石对 Cu²⁺的吸附过程能够很好地遵循准二级动力学模型。根据 Weber 和 Morris 的扩

散模型方程, q_t 对 $t^{1/2}$ 作图应呈线性。本实验数据能比较好地符合线性关系, 表明内扩散也是 Cu^{2+} 在沸石上发生吸附的机理之一。但是从图 3(c) 中可清楚看出该直线不通过原点, 据研究者所得结论可知, 内扩散并不是唯一的控制步骤^[3]。

表 1 不同动力学模型相关系数 Tbl. 1 Correlation coefficients of four kinetic models				
温度()	相关性系数 R			
	R(first-order)	R(second-order)	R(Int-diff)	R(q_t -Int)
20	0.920 45	0.999 04	0.975 34	0.960 67
30	0.994 78	0.999 9	0.970 33	0.996 56
40	0.970 83	0.999 93	0.939 7	0.986 05

不同温度下, 沸石对铜离子的吸附速率不相同。利用动力学模型拟合所得直线的斜率和截距可求得各温度下准一级动力学、准二级动力学模型的速率常数 k_1 、 k_2 , 列于表 2 中。

表 2 不同温度下丝光沸石吸附 Cu^{2+} 的速率常数 Tbl. 2 Values of k_1 and k_2 of Cu^{2+} adsorption onto Na-mordenite at various temperatures		
温度()	k_1 (/min)	k_2 (g/(mg/min))
20	0.052	0.120
30	0.123	0.142
40	0.144	0.161

准一级动力学速率常数 k_1 及准二级动力学速率常数 k_2 , 分别由 20 时的 0.052/min、0.120 g/(mg/min) 增至 40 时的 0.144/min、0.161 g/(mg/min), 均随温度的升高而增大, 即随温度的升高, 沸石对 Cu^{2+} 的吸附速率加快。这说明在本吸附过程中化学吸附作用是存在的, 升高吸附体系的操作温度, 有利于提高吸附速率, 以减少吸附达到平衡所需要的时间。

定量表示反应速率 k 与温度 T 的关系式为阿伦尼乌斯方程式, 该方程可表示为:

$$\ln k_2 = \ln A_0 - \frac{E_a}{RT}$$
 (6)

式中 k_2 为准二级动力学速率常数; A_0 为表观频因子, 单位与 k_2 相同; E_a 为活化能(kJ/mol)。

若以 $\ln k_2$ 对 $1/T$ 作图, 应成一直线, 由直线的斜率即可求得活化能 E_a 。 $\ln k_2$ 与 $1/T$ 的关系如图 3 所示, $\ln k_2$ - $1/T$ 的直线斜率为 -1 353.917 31, 则活化能 $E_a = (-135 3.917 31) \times 8.314 \text{ J/mol} \approx 11.256 \text{ kJ/mol}$ 。该值大于 10 kJ/mol, 表明沸石吸附 Cu^{2+} 主要为化学过程^[4]。

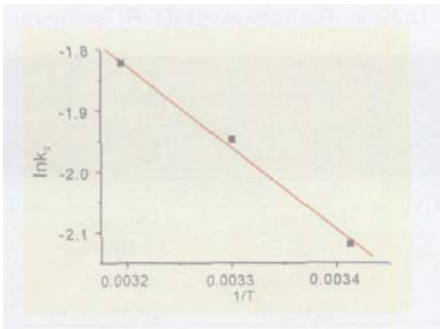


图 3 $\ln k_2$ 与 $1/T$ 关系
Fig. 3 Relationship between $\ln k_2$ and $1/T$

3.4 平衡特征
不同温度下, 溶液平衡浓度与单位吸附量间遵循一定的规律, 如 Langmuir、Freundlich、Dubinin-Radushkevich(D-R) 等方程。
3.4.1 Langmuir 吸附等温式

Langmuir 吸附等温方程是基于 3 点假设, 分别为只发生单分子层吸附、吸附分子间无相互作用、固体表面是均匀的。Langmuir 等温方程可表达为:

$$q_e = \frac{q_{\text{max}} b C_e}{1 + b C_e}$$
 (7)

上式(7)经转化变形可得:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m b}$$
 (8)

其中: C_e 为吸附平衡时溶液浓度(mg/L); q_{max} 为最大吸附能力(mg/g); q_e 为平衡时被吸附金属离子量(mg/g); b 为与吸附能有关的常数(dm³/mg)。

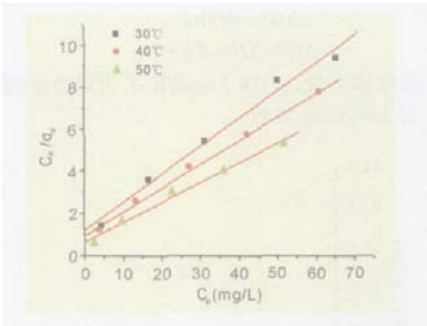


图 4 丝光沸石吸附 Cu^{2+} 的 Langmuir 直线拟合
Fig. 4 Linear fitting of experimental data using Langmuir isotherms for Cu^{2+} adsorption onto Na-mordenite

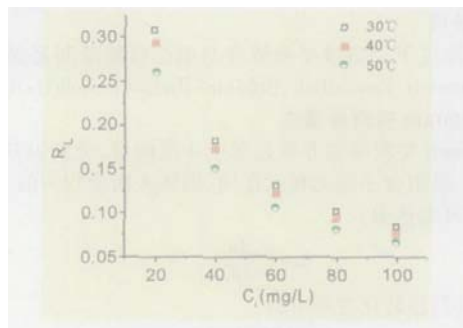
30、40、50 条件下, 沸石对 Cu^{2+} 的最大吸附量 q_{max} 及 Langmuir 常数 b 可由方程(8)根据所拟直线的斜率计算得出, 结果列于表 3。当溶液温度从 30 升至 50 时, 沸石对 Cu^{2+} 的最大吸附能力由 7.509 mg/g 增至 10.699 8 mg/g, 可见升高温度有利于吸附能力。Langmuir 常数 b 是评估吸附剂性能的一个重要因素, 因为它反映了低浓度下吸附剂效果。表 3 中也显示了随温度升高, 常数 b 值从 0.114 dm³/mg 升至 0.142 dm³/mg, 这说明升温有利于 Cu^{2+} 在沸石表面上的吸附。

表 3 沸石吸附 Cu^{2+} 的 Langmuir 常数及自由能 Tbl. 3 Values of parameters of Langmuir isotherm and ΔG°				
温度()	Langmuir 常数		相关性系数 R^2	ΔG° (kJ/mol)
	q_{max} (mg/g)	b (dm ³ /mg)		
30	7.509	0.114	0.985	-22.4
40	8.835	0.121	0.998	-23.305
50	10.699 8	0.142	0.989	-24.474

平衡参数 R_L (Separation factor or Equilibrium parameter)(无单位)被定义为:

$$R_L = \frac{1}{1 + b C_i}$$
 (9)

其中: b 为 Langmuir 常数; C_i 为溶液不同的初始浓度(mg/L)。该值大小反映吸附过程是否有利。当 R_L 在 0 至 1 之间, 表明有利于吸附; R_L 大于 1 时不利于吸附; $R_L=1$ 时, 为线性; $R_L=0$, 不可逆^[5]。通过计算发现, 本实验中的平衡参数 R_L 均在 0 至 1 之间, 结果如图 5 所示。由此也可看出, 选用丝光沸石作为吸附剂去除水溶液中的 Cu^{2+} 是可行的。

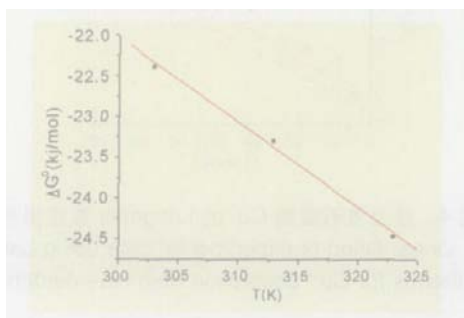
图5 平衡常数 R_L Fig. 5 Plots of initial concentrations versus R_L

不同温度下, 沸石吸附 Cu^{2+} 过程的热力学参数 ΔG° 、 ΔH° 、 ΔS° 可根据以下两式求出:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln b \quad (10)$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ \quad (11)$$

其中: R 为气体常量, 8.314 J/mol/K ; T 为热力学温度, 单位为开尔文(K); b 为 Langmuir 常数。

图6 ΔG° 与 T 关系Fig. 6 Relationship between ΔG° and T

不同温度下, 吸附过程的吉布斯自由能变化见表 3。 ΔG° 为负值表明沸石吸附 Cu^{2+} 是个自发过程。 ΔG° 对 T 作图呈线性, 由图 6 的截距和斜率可得吸附过程的 ΔH° 、 ΔS° , 分别为 9.0651 kJ/mol 和 0.1037 kJ/mol/K 。 ΔH° 值为正表明沸石对 Cu^{2+} 的吸附过程为吸热过程, 同时 ΔS° 为正值反映沸石对 Cu^{2+} 的吸附过程中吸附界面上的混乱度升高。

3.4.2 Freundlich 吸附等温式

Freundlich 等温方程可表示为:

$$q_e = k_f C_e^{1/n} \quad (12)$$

其中: k_f 为与吸附能力有关的常数 ($(\text{mg/g})/(\text{mg/L})^{1/n}$); $1/n$ 为与温度有关的常数, 一般认为 $1/n$ 值介于 $0.1 \sim 0.5$ 之间时易于吸附, 而大于 2 时难以吸附^[9]。

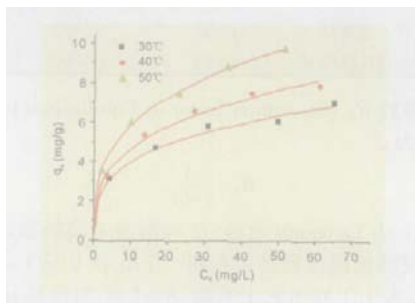
图7 不同温度下丝光沸石吸附 Cu^{2+} 的 Freundlich 等温线Fig. 7 Linear fitting of experimental data using Freundlich isotherms for Cu^{2+} adsorption onto Na-mordenite at various temperatures

图 7 即为 30°C 、 40°C 、 50°C 时沸石吸附铜离子的 Freundlich 吸附等温线, 由图可见随温度升高吸附量依次增大。经拟合所得 Freundlich 等温线的参数 k_f 、 n 见表 4。

表 4 丝光沸石吸附 Cu^{2+} 的 Freundlich 常数
Tbl. 4 Values of K_f and $1/n$ of Freundlich isotherm at various temperatures

温度()	Freundlich 常数		相关性系数 R^2
	K_f	$1/n$	
30	2.079	0.284	0.994
40	2.295	0.308	0.994
50	2.835	0.314	0.999

由表 4 数据可见, K_f 随温度升高而增大, $1/n$ 均在 $0.1 \sim 0.5$ 之间, 说明本研究中丝光沸石对铜离子易于吸附。

比较 Langmuir 和 Freundlich 等温线相关性系数 R^2 , 可以清楚地看出, 对应温度下, Freundlich 等温线的 R^2 值都在 0.99 以上, 均优于 Langmuir 的 R^2 。这表明沸石对 Cu^{2+} 的吸附过程更好地遵循 Freundlich 等温方程。

3.4.3 Dubinin-Radushkevich(D- R) 吸附等温式

Dubinin-Radushkevich(D- R)等温方程可表达为:

$$\ln q_e = \ln q_{\text{max}} - \beta \varepsilon^2 \quad (13)$$

$$\varepsilon = RT \ln \left(1 + \frac{1}{C_e} \right) \quad (14)$$

其中: q_e 、 q_{max} 分别为平衡时铜离子的单位吸附量及最大吸附量 (mol/g); β 为与能量有关的常数 (kJ/mol^2); ε 为波拉尼电位 (polanyi potential), C_e 为溶液的平衡浓度 (mol/L);

利用 $\ln q_e$ 对 ε^2 作图, 应该为一直线, 根据直线斜率可求 β 另 E_s 为吸附能, 可由下式计算:

$$E_s = \frac{1}{\sqrt{-2\beta}} \quad (15)$$

根据 E_s 值判断吸附过程为物理吸附还是离子交换, E_s 小于 8 kJ/mol 时为物理吸附过程, E_s 在 $8 \sim 16 \text{ kJ/mol}$ 时为离子交换过程^[7]。

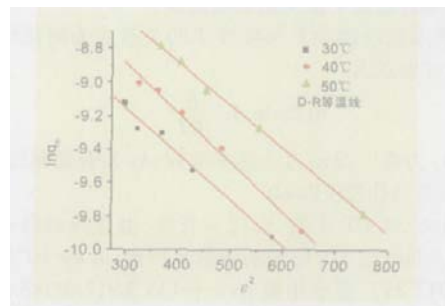


图8 D- R 等温线

Fig. 8 Linear fitting of experimental data using Dubinin-Radushkevich (D- R) isotherm

表 5 D-R 模型的参数数据
Tbl. 5 Values of parameters of Dubinin-Radushkevich (D- R) isotherm

温度()	D- R 常数		相关性系数 R^2
	$\beta(\text{kJ/mol}^2)$	$q_{\text{max}}(\text{mg/g})$	
30	0.00276	15.469	0.987
40	0.00295	21.401	0.994
50	0.00256	24.56	0.998

利用公式(15)及表中数据可求得温度为 30°C 、 40°C 、 50°C 时吸附能 E_s 分别为 13.5 kJ/mol 、 13.0 kJ/mol 、 14.0 kJ/mol , 均在 $8 \sim 16$

kJ/mol 间,表明沸石对铜离子的吸附过程主要为离子交换过程。

3.5 初始浓度的影响

在其他因素相同的条件下,通过改变溶液的初始浓度以研究初始浓度对吸附的影响,结果如图 9 所示。

去除率可表达为:

$$\eta = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \quad (17)$$

其中: η 为去除效率; C_0 、 C_e 分别为溶液的初始及平衡浓度。

图 9 显示,随溶液初始浓度增加,沸石对 Cu^{2+} 的吸附能力显著增强。溶液初始浓度由 20 mg/L 增至 100 mg/L 时, Cu^{2+} 的单位吸附量 q_e 也由 3.662 mg/g 增加到 7.926 mg/g,但是相应的去除效率也降低,由 91.5%降至 39.6%。初始浓度为克服液相与固相之间的传质阻力提供了重要的推动力,因此 Cu^{2+} 的初始浓度升高有利于提高沸石的吸附能力。Ozer^[9]曾表明,在低浓度条件下,溶液中几乎所有的 Cu^{2+} 都能够与吸附剂的吸附点位相接触,因此其吸附百分率高于初始浓度较高的溶液。浓度高时,去除效率明显降低,这是因为对于固定量的吸附剂而言,其上吸附点位是一定的,浓度高时吸附点位已基本饱和。当浓度达到一定值时,沸石对 Cu^{2+} 的吸附能力将维持恒定,所以在应用中需选择合适的浓度。

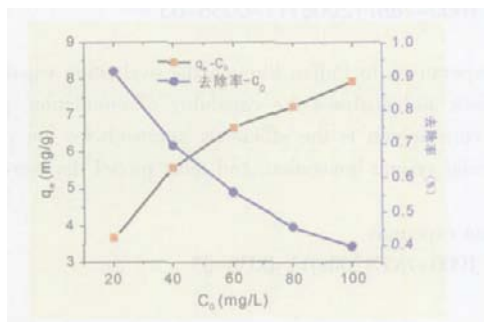


图 9 初始浓度对丝光沸石吸附 Cu^{2+} 的影响
Fig. 9 Effect of initial concentrations on Cu^{2+} adsorption capacity

3.6 吸附剂用量的影响

丝光沸石对水溶液中 Cu^{2+} 的去除率与投加的吸附剂量有密切关系。图 10 反映吸附剂用量对吸附量及效率的影响。对于 50 ml 40mg/L 的铜溶液,当吸附剂量由 1 g/L 增至 5 g/L 时,其单位吸附量 q_e 由 23.89 mg/g 降至 6.03 mg/g,去除率由 59.7%升高到 78.4%。

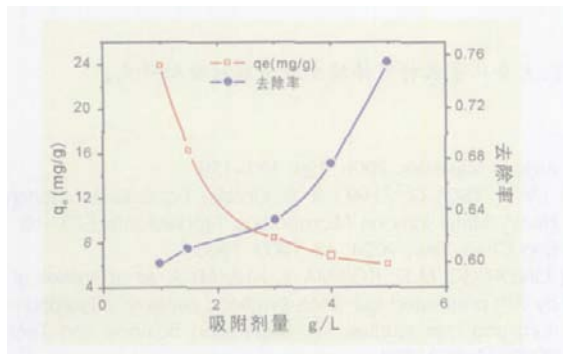


图 10 吸附剂用量对丝光沸石吸附 Cu^{2+} 的影响
Fig. 10 Effect of adsorbent doses on Cu^{2+} adsorption capacity

3.7 溶液 pH 的影响

pH 值是影响水溶液中金属离子吸附过程的重要因素之一。不同的金属离子可能具有不同的最佳 pH 值,这归因于不同物质溶液的化学性质差异。不同离子在不同的 pH 范围内,其存在形

式是不同的,铜离子在 pH 2~6 时,主要以 Cu^{2+} 形态存在^[9]。

图 11 显示了 pH 值变化对沸石吸附 Cu^{2+} 的影响。随着溶液 pH 值由 2.0 增至 6.0,丝光沸石对 Cu^{2+} 的单位吸附量明显升高,由 0.27 mg/g 增加到 4.77 mg/g,且 pH 在 2~4 之间时吸附量增加较快,4~5 时增加变缓。

pH 值对吸附影响源于多方面。首先, pH 低时, H^+ 大量存在于溶液中,与铜离子竞争吸附剂表面的吸附点位;而且,水溶液中 H^+ 的迁移能力比 Cu^{2+} 强,故更容易进入吸附剂内部的孔道中被吸附。随着 pH 值升高,溶液中的 H^+ 逐渐减少,与铜离子的竞争能力减弱,所以铜离子获得吸附点位的几率升高。

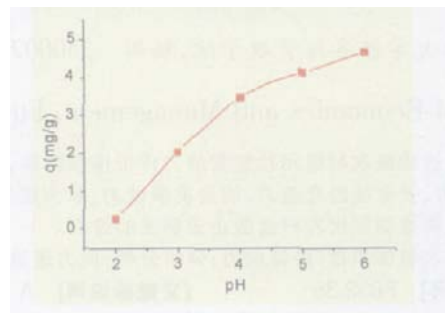


图 11 pH 对吸附过程的影响
Fig. 11 Effect of solution pH on the adsorption capacity

3.8 离子强度的影响

加入不同浓度的硝酸钠溶液时,其单位吸附量的变化规律见图 12。由图可以看出随着硝酸钠浓度的增大,单位吸附量明显降低。铜离子吸附量降低可能是由于 NaNO_3 的存在使得其中的 Na^+ 与 Cu^{2+} 产生竞争吸附。吸附过程中吸附剂与吸附质之间存在静电吸引,当离子强度增大时吸附量会降低。

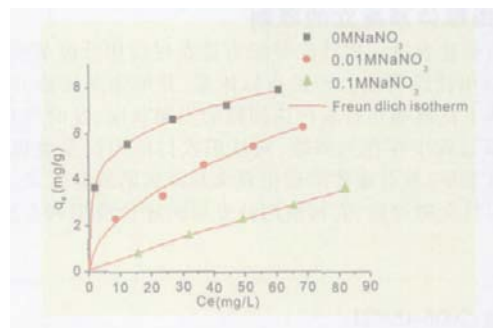


图 12 不同 NaNO_3 浓度下丝光沸石对 Cu^{2+} 吸附的影响
Fig. 12 Effect of NaNO_3 concentrations on Cu^{2+} adsorption capacity

4 结论

钠型丝光沸石对水溶液中铜离子的吸附实验可得到以下主要结论。

- 1) 动力学数据遵守准二级动力学模型,并可由 Morris 扩散模型知内扩散不是吸附过程的主要控速步骤。
- 2) 吸附等温方程的拟合结果表明,此吸附过程更好地符合 Freundlich 等温式。
- 3) 温度升高,铜离子在沸石上的吸附能力增强。实验条件下,50 最大吸附量可达到 10.699 8 mg/g。
- 4) 沸石对铜离子的吸附过程为自发的、吸热的过程。
- 5) 增大铜溶液浓度、升高溶液 pH 值有利于提高沸石对铜离子的吸附能力。
- 6) 增加吸附剂量、增大溶液离子强度会导致铜离子的单位吸附量降低。

福建省农村信用社经营能力评价分析

Evaluating Analysis of Management Capacities of Fujian Rural Credit Cooperatives

谢志忠/XIE Zhi- zhong, 杨建州/YANG Jian- zhou, 林少伟/LIN Shao- wei

福建农林大学经济与管理学院, 福州 350002

School of Economics and Management, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China

[摘要] 通过构建农村信用社经营能力评价指标体系,对福建省农村信用社的总体经营能力进行评价。着重评价分析流动性能力、盈利与发展能力、安全性经营能力、综合发展能力,认为能力建设是农村信用社可持续经营的有效途径,必将成为农村金融体制改革的最佳结合点,也将推动现代农村金融企业制度的建立。

[关键词] 农村信用社;经营能力;评价分析;能力建设

[中图分类号] F832.35

[文献标识码] A

[文章编号] 1000- 7857(2006)11- 0036- 03

Abstract: The article assesses the total management capability of rural credit cooperatives in Fujian through the evaluating capability norm system for rural credit cooperatives' management capability, emphatically assesses and analyses the capability of circulation, profit, safe management and comprehensive development. It is pointed out that the ability construction is the efficiency approach for the rural credit cooperatives' sustainable management. It must be the best junction of rural financial system innovation, and must propel the construction of modern rural financial enterprise 'system.

Key Words: rural credit cooperatives; operating capacities; ability construction; main expounds

CLC Number: F832.35

Document Code: A

Article ID: 1000- 7857(2006)11- 0036- 03

1 评价指标体系建立的原则

提高福建农村信用社发展能力是农村信用社改革的目标,建立农村信用社经营能力评价指标体系,并确定其评价方法,有利于从整体上把握福建省农村信用社的发展状况,及时发现农村信用社改革过程中存在的问题,对认识农村信用社发展规律、指导并规范其发展,具有重要的理论意义和深远的战略意义。同时,也丰富了农村金融理论、农村信用社发展的评价模型和方法。建立

福建农村信用社经营能力的评价指标体系,除了应遵循建立指标体系的层次性、系统性、可比性、独立性和动态性等基本原则外,还必须遵循下列原则。

1.1 科学性原则

具体指标的选取应建立在对农村信用社充分认识、深入研究的基础上,能较客观和真实地反映福建农村信用社发展的实际状况,体现农村信用社可持续发展能力的内涵与特征。

收稿日期: 2006- 09- 21

基金项目 福建省教育厅社会科学研究项目(2005JA05104S)

作者简介: 谢志忠,男,福州市金山福建农林大学经济与管理学院,副教授,主要从事农村可持续发展与农村金融研究;

E- mail:xiachong4191@163.com

参考文献(References)

- [1] 曹建劲. 沸石活化及其在水处理中的应用研究 [J]. 重庆环境科学, 2003.12: 169- 172.
- [2] NIKOLOVA N, STAMENOV S, KOVACHEVA- NINOVA V. Using of modified zeolites for purification of heavy metals from wastewater [J]. Annual of the University of Mining and Geology. 2002, 44: 151- 154.
- [3] WANG X S, QIN Y, LI Z F. Biosorption of zinc from aqueous solutions by rice bran: kinetics and equilibrium studies [J]. Separation Science and Technology, 2006, 41(4): 747- 756.
- [4] ANMAD R. Sawdust: cost effective scavenger for the removal of chromium () ions from aqueous solutions [J]. Water Air and soil pollution. 2005.163: 169- 183.
- [5] RAO M M, RAMESH A, RAO G P C, SESHIAH K. Removal of copper and cadmium from the aqueous solutions by activated carbon derived from Ceiba pentandra hulls [J]. Journal of Hazardous Materials. 2006, 129: 123- 129.
- [6] LV L, TSOI G, ZHAO X S. Uptake Equilibria Mechanisms of Heavy Metal Ions on Microporous Titanosilicate ETS- 10 [J]. Ind Eng Chem Res, 2004, 43: 7900- 7906.
- [7] ONYANGO M S, KOJIMA Y, KUMAR A, et al. Uptake of fluoride by Al^{3+} pretreated low silica synthetic zeolites: adsorption equilibrium and rate studies [J]. Separation Science and Technology. 2006, 41: 683- 704.
- [8] OZER D, OZER A. The adsorption of copper ions on to dehydrated wheat bran (DWB): determination of the equilibrium and thermodynamic parameters [J]. Process Biochemistry, 2004, 39: 2183- 2191.
- [9] WANG X S, QIN Y. Equilibrium sorption isotherms for Cu^{2+} on rice bran [J]. Process Biochemistry, 2005, 40: 677- 680.

(责任编辑 王 芷)