

文章编号:1671-6833(2005)03-0015-05

# 二氧化锰对铜、铅离子的吸附研究

邹卫华<sup>1</sup>, 刘晨湘<sup>2</sup>, 江利<sup>2</sup>, 韩润平<sup>2</sup>

(1. 郑州大学化工学院, 河南 郑州 450002; 2. 郑州大学化学系, 河南 郑州 450052)

**摘要:**研究了 $\delta$ 型二氧化锰对 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 的吸附及竞争吸附性能,考察了溶液的pH值、温度、盐浓度、吸附时间等因素对吸附的影响.结果表明,吸附量随着溶液pH值的增大、温度的升高以及盐浓度的降低而增加.二氧化锰对单一体系中 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 的吸附符合Langmuir吸附等温式,吸附过程的 $\Delta G^\circ$ 均为负值, $\Delta H^\circ$ 大于零,表明该过程是自发的吸热过程.二氧化锰对 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 的吸附过程可用准二级反应动力学模型较好地描述.共存离子的存在影响金属离子的吸附效率, $\text{Pb}^{2+}$ 对 $\text{Cu}^{2+}$ 的吸附影响很大.二氧化锰对 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 的吸附强弱顺序为 $\text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$ .

**关键词:**二氧化锰;铜离子;铅离子;吸附

**中图分类号:**X 703

**文献标识码:**A

## 0 引言

工业废水含有大量的重金属,重金属不能被降解,排放到环境中的重金属对环境的危害是长远的.因此,含重金属离子的废水必须经过严格的处理后方可排入环境.

二氧化锰独特的化学组成及物理化学性质,使其具有良好的吸附性能.用化学法合成的二氧化锰有 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 和 $\delta$ 等晶型,各种形态二氧化锰的晶体化程度、比表面积和表面电荷存在差异,它们的吸附性能也不同.其中 $\delta$ 型二氧化锰的结晶性能差,比表面积大,表面吸附位多,化学活性大,是一种有效的吸附材料<sup>[1]</sup>.关于锰氧化物吸附剂对砷、锌、铜、钴、镍和铀等金属离子的吸附研究有不少报道<sup>[2,3]</sup>,但有关混合体系中金属离子的竞争吸附方面的研究相对较少.为了进一步探讨二氧化锰对重金属离子的吸附机理,本文作者用化学方法合成的 $\delta$ 型二氧化锰作吸附剂,对模拟废水中的单组分和二组分体系中 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 的吸附和竞争吸附及影响吸附的主要因素进行了讨论.

## 1 仪器、材料与方法

### 1.1 主要仪器

AAAnalyst 300 型火焰原子吸收分光光度计

(Perkin Elmer), pH S-2 型精密酸度计(上海雷磁仪器厂), SHZ-82 型水浴恒温振荡器(江苏太仓医疗器械厂).

### 1.2 实验材料和试剂

实验所用的化学试剂均为分析纯. $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 贮备液由 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 和 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 与去离子水配制,吸附液用时稀释,其pH值用硝酸或氢氧化钠溶液调节.

$\delta$ 型二氧化锰的制备参照文献[4]:在煮沸的 $0.4 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$   $\text{KMnO}_4$ 溶液中逐滴加入适量的浓盐酸,溶液煮沸1h后过滤,滤渣反复用去离子水洗涤,然后于 $110^\circ\text{C}$ 烘干2h,研钵研碎,备用.

### 1.3 实验方法

采用静态实验,在一定浓度的 $\text{Cu}^{2+}$ 或 $\text{Pb}^{2+}$ 吸附液,加入一定量的 $\text{MnO}_2$ 干粉或悬浊液,使溶液中的固液比为 $0.20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ,置于恒温振荡器中振荡2h(达吸附平衡),离心机离心分离,用原子吸收分光光度计测定上层清液 $\text{Cu}^{2+}$ 或 $\text{Pb}^{2+}$ 的浓度.反应容器事先经过稀硝酸浸泡24h,用去离子水冲洗烘干.

## 2 结果与讨论

### 2.1 pH值对 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 吸附的影响

配置一系列不同pH值的 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 吸附

收稿日期:2005-04-27;修订日期:2005-05-30

基金项目:河南省科技攻关资助项目(0424290065);河南省教育厅科技攻关资助项目(200510459016)

作者简介:邹卫华(1968-),女,河南省郑州市人,郑州大学讲师,湖南大学博士研究生,研究方向为环境分析.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

液,移取 $\text{MnO}_2$ 悬浊液于吸附液中.在 $17\text{ }^\circ\text{C}$ 下振荡 $2\text{ h}$ .以吸附量对 $\text{pH}$ 作图如图1所示.从图1可见,起始 $\text{pH}$ 值对吸附量有很大的影响,当 $\text{pH}$ 值较小时, $\text{MnO}_2$ 对 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 的吸附量较小,因为 $\text{MnO}_2$ 颗粒表面更多地吸附了 $\text{H}^+$ 离子,降低了 $\text{MnO}_2$ 与 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 的结合能力.随着 $\text{pH}$ 值的增加,水溶液中的 $\text{H}^+$ 离子浓度降低, $\text{MnO}_2$ 对金属离子的选择吸附能力增强.

2.2 常见阳离子对 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 吸附的影响

$\text{NaNO}_3$ 、 $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 和 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 对吸附量的影响如图2所示:由图2可以看出,随着阳离子浓度的增加, $\text{MnO}_2$ 对重金属离子的吸附量减少.这是因为共存离子对重金属离子产生竞争吸附. $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 对吸附的影响大于 $\text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+}$ 大于 $\text{Mg}^{2+}$ 的影响,说明共存离子对重金属离子的影响与其化合价以及离子的水合半径等性质有关<sup>[3]</sup>.

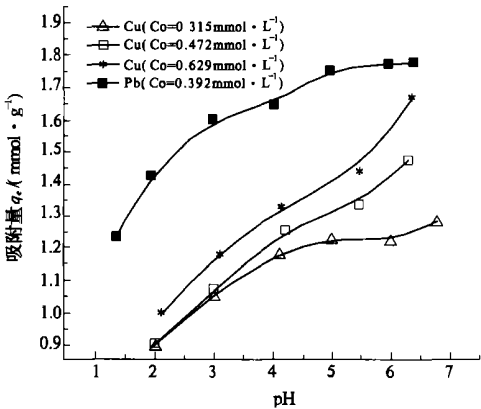


图1 起始 $\text{pH}$ 值对 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 的吸附量的影响  
Fig.1 Effect of dosage of  $\text{MnO}_2$  on the adsorption of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$

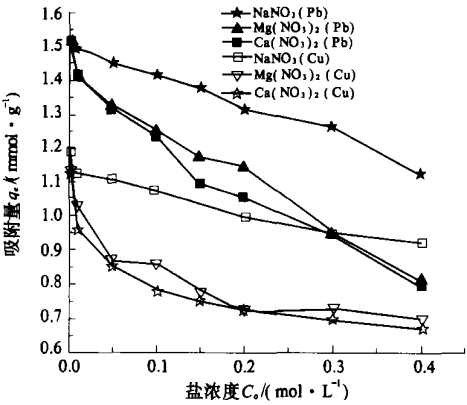


图2 盐浓度对吸附量的影响  
Fig.2 Effect of salt concentration on the adsorption of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  on  $\text{MnO}_2$

2.3.1 等温吸附曲线

在初始浓度分别为 $\text{Cu}^{2+}$ , $0.157\sim 1.57\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ , $0.290\sim 1.61\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的一系列溶液中,加入 $0.20\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}\text{ MnO}_2$ ,在不同温度下吸附.吸附等温线见图3.

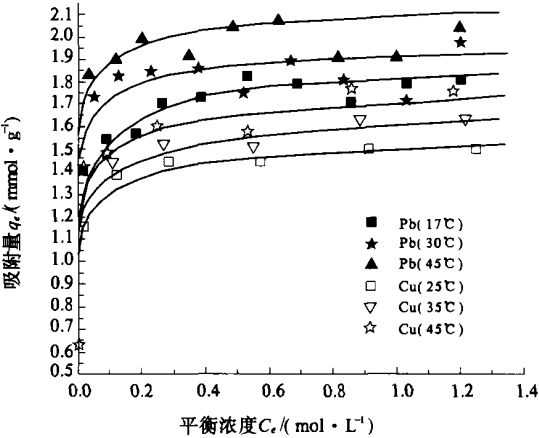


图3 不同温度下 $\text{MnO}_2$ 对 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 的吸附等温线  
Fig.3 Adsorption isotherms on  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  adsorption by  $\text{MnO}_2$  at different temperatures

对于固液体系的吸附行为,常用Langmuir 吸附等温式描述:

$$c_e/q_e=c_e/q_m+1/K_aq_m \tag{1}$$

式中: $q_e$  为平衡吸附量, $\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ ;  $q_m$  为饱和吸附量, $\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ ;  $c_e$  为吸附达平衡后金属离子的浓度, $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ ;  $K_a$  为吸附平衡常数, $\text{L}\cdot\text{mmol}^{-1}$ .

根据实验结果,依式(1)作图,所得Langmuir 吸附等温式参数见表1.

从表1看出,在不同温度下, $\text{MnO}_2$ 对 $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 的吸附符合Langmuir 等温吸附模型.温度从 $17\text{ }^\circ\text{C}$ 升高到 $45\text{ }^\circ\text{C}$ , $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 的饱和吸附量 $q_m$ 分别从 $1.54\text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $1.84\text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ 升高到 $1.71\text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ 和 $2.02\text{ mmol}\cdot\text{g}^{-1}$ .

表1 单一离子Langmuir 等温式的吸附常数和相关系数r  
Tab.1 Langmuir isotherm constants and correlation coefficients for the adsorption of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$

	温度	饱和吸附量	吸附平衡常数	相关系数
	$T/\text{K}$	$q_m/(\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1})$	$K_a/(\text{L}\cdot\text{mmol}^{-1})$	$r$
$\text{Cu}^{2+}$	298	1.54	71.2	0.999 7
	308	1.62	77.0	0.999 6
	318	1.71	85.3	0.999 0
$\text{Pb}^{2+}$	290	1.84	56.8	0.999 0
	303	1.86	137	0.995 5
	318	2.02	314	0.998 8

2.3.2 热力学参数

2.3  $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ 的等温吸附线及热力学参数

吸附过程的吉布斯函数变  $\Delta G^\circ$ 、焓变  $\Delta H^\circ$  以及熵变  $\Delta S^\circ$  等热力学参数可以根据下列公式来确定:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_a \tag{2}$$

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \Delta S^\circ \tag{3}$$

根据式(2),由不同温度下的吸附平衡常数  $K_a$  可以计算出吉布斯函数变  $\Delta G^\circ$  的数值.以  $\Delta G^\circ \sim T$  作图可得到一条直线,焓变  $\Delta H^\circ$  和熵变  $\Delta S^\circ$  的值可以通过直线的斜率和截距求得,结果见表2.

表2 不同温度下  $MnO_2$  对  $Cu^{2+}$  和  $Pb^{2+}$  吸附的热力学参数

Tab.2 Thermodynamic parameters for the adsorption of $MnO_2$ to $Cu^{2+}$ and $Pb^{2+}$ at various temperatures				
	温度 $T/K$	吉布斯函数变 $\Delta G^\circ / (kJ \cdot mol^{-1})$	焓变 $\Delta H^\circ /$ $(kJ \cdot mol^{-1})$	熵变 $\Delta S^\circ /$ $(J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1})$
$Cu^{2+}$	298	-10.6		
	308	-11.1	7.10	59.0
	318	-11.8		
$Pb^{2+}$	290	-9.75		
	303	-12.4	46.6	194
	318	-15.2		

由表2看出, $MnO_2$  对  $Cu^{2+}$  和  $Pb^{2+}$  吸附过程的  $\Delta G^\circ$  均为负值,而且,随温度升高,负值越大,焓变  $\Delta H^\circ$  大于零,说明该吸附过程是自发的吸热过程.

2.4 温度和时间对吸附影响及吸附动力学参数

在初始浓度分别为  $0.316\text{ mmol} \cdot L^{-1}$  和  $0.392\text{ mmol} \cdot L^{-1}$  的  $Cu^{2+}$  和  $Pb^{2+}$  溶液中,加入  $0.20\text{ g} \cdot L^{-1}$  的  $MnO_2$  干粉,在温度为  $17 \sim 45\text{ }^\circ C$  条件下进行吸附.结果见图4.

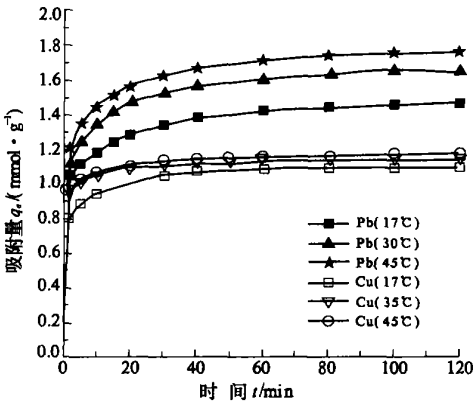


图4 不同温度下时间对  $Cu^{2+}$  和  $Pb^{2+}$  吸附的影响  
Fig.4 Effect of contact time on  $Cu^{2+}$  and  $Pb^{2+}$  adsorption at various temperatures

从图4中可以看出:吸附反应初期是快速吸附过程;20 min 以后,吸附速率明显减慢,2h 达吸附平衡.随温度升高, $MnO_2$  的吸附量逐渐增大.

常用于描述吸附动力学方程的数学模型有:Lagergen 准一级动力学方程<sup>[9]</sup>:

$$\lg(q_1 - q_t) = \lg q_1 - K_1 t / 2.303 \tag{4}$$

Hb 准二级动力学方程<sup>[9]</sup>:

$$t / q_t = 1 / (K_2 q_2^2) + t / q_2 \tag{5}$$

其中: $K_1 (\text{min}^{-1})$  和  $K_2 (\text{g} \cdot \text{mmol}^{-1} \cdot \text{min}^{-1})$  是吸附速率常数; $q_t$  是  $t$  时间的吸附量  $(\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1})$ ;  $q_1$  和  $q_2$  是最大吸附量  $(\text{mmol} \cdot \text{g}^{-1})$ .

将实验数据根据式(4)、(5)进行线性拟合,所得动力学参数和相关系数见表3.

表3 不同温度下  $MnO_2$  对  $Cu^{2+}$  和  $Pb^{2+}$  的吸附动力学参数

Tab.3 kinetic parameters for the adsorption of $\text{Cu}^{2+}$ 和 $\text{Pb}^{2+}$ at various temperatures by $\text{MnO}_2$						
温度 $T/\text{K}$	准一级动力学方程			准二级动力学方程		
	吸附速率常数 $K_1/(\text{min}^{-1})$	最大吸附量 $q_1/(\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1})$	相关系数 $r_1$	吸附速率常数 $K_2/(\text{g}\cdot\text{mmol}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$	最大吸附量 $q_2/(\text{mmol}\cdot\text{g}^{-1})$	相关系数 $r_2$
$\text{Cu}^{2+}$	290	0.053	0.291	0.996	0.551	1.13
	303	0.041	0.183	0.991	0.742	1.14
	318	0.033	0.183	0.978	0.753	1.19
$\text{Pb}^{2+}$	290	0.022	0.400	0.983	0.216	1.53
	308	0.029	0.489	0.987	0.229	1.70
	318	0.032	0.480	0.993	0.245	1.81

结果表明, $MnO_2$  对  $Cu^{2+}$  和  $Pb^{2+}$  的吸附过程用准二级反应动力学模型描述更合适.

根据阿累尼乌斯的反应速率常数与温度的关系式:

$$K = Ae^{E_a/RT} (\ln K = \ln A - E_a/RT) \tag{6}$$

其中: $K$  为吸附速率常数,  $E_a$  是活化能,  $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $R$  为摩尔气体常数  $\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ ;  $T$  为绝对温度,  $\text{K}$ ;  $A$  为常数.计算出  $MnO_2$  对  $Cu^{2+}$  和

$\text{Pb}^{2+}$  的吸附活化能分别为  $7.99 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  和  $3.46 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

2.5 混合体系中  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附

固定混合溶液中  $\text{Cu}^{2+}$  的浓度, 改变  $\text{Pb}^{2+}$  的浓度, 观察  $\text{Pb}^{2+}$  对  $\text{Cu}^{2+}$  的吸附影响. 同样, 固定  $\text{Pb}^{2+}$  的浓度, 改变  $\text{Cu}^{2+}$  的浓度, 观察  $\text{Cu}^{2+}$  对  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附影响, 结果见图 5 和图 6.

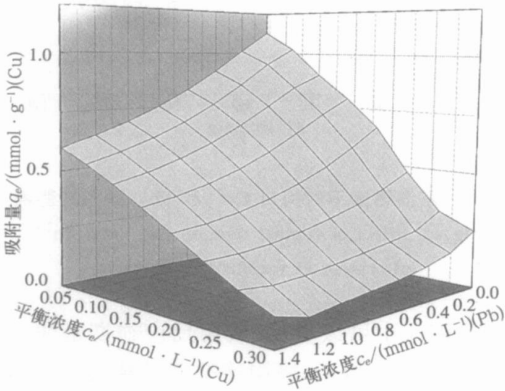


图 5 改变溶液中  $\text{Pb}^{2+}$  的浓度对吸附  $\text{Cu}^{2+}$  的影响

Fig. 5 Two-metal sorption isotherm. The adsorption capacity of  $\text{Cu}^{2+}$  is plotted as a function of the equilibrium concentrations of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$

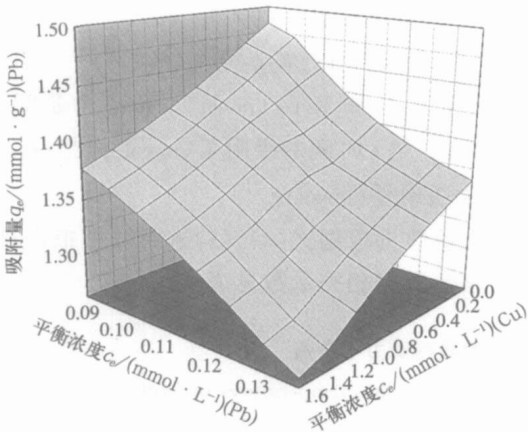


图 6 改变溶液中  $\text{Cu}^{2+}$  的浓度对吸附  $\text{Pb}^{2+}$  的影响

Fig. 6 Two-metal sorption isotherm. The adsorption capacity of  $\text{Pb}^{2+}$  is plotted as a function of the equilibrium concentrations of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$

从图 5 和图 6 看出,  $\text{Pb}^{2+}$  对  $\text{Cu}^{2+}$  的吸附影响很大, 当溶液中  $\text{Pb}^{2+}$  的浓度增加到  $1.54 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时,  $\text{Cu}^{2+}$  的吸附量下降了 93.5%. 而随着溶液中  $\text{Cu}^{2+}$  的浓度增大到  $1.57 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附量仅下降了 15.3%.  $\text{MnO}_2$  对  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附强弱顺序为  $\text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$ .

固定溶液中  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  的初始浓度之和为  $1.00 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 同时改变  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  的浓度,

$\text{MnO}_2$  对  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附情况见图 7. 当溶液 中不含  $\text{Pb}^{2+}$  时,  $\text{MnO}_2$  的总吸附量最小; 当溶液 中只含有  $\text{Pb}^{2+}$  时, 吸附量最大; 当  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  都存 在时, 总吸附量值介于两极值之间. 说明  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  之 间存在竞争吸附,  $\text{MnO}_2$  对  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附 强于对  $\text{Cu}^{2+}$  的.

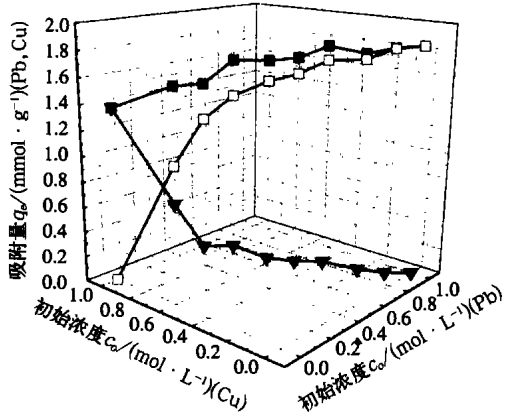


图 7 固定  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  总初始浓度时 的  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  吸附量变化

▼  $q_e - (\text{Cu}^{2+})$ ; □  $q_e - (\text{Pb}^{2+})$ ; ■  $q_e - (\text{Cu}^{2+} + \text{Pb}^{2+})$

Fig. 7 Effect of the fixed total initial concentration of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  on the adsorption capacity of each metal ions

3 结论

(1)  $\text{MnO}_2$  对  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  具有较强的吸附作 用. 在单一体系中, 随溶液 pH 值升高,  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附量增加; 当溶液中的离子强度增大时, 吸附量则降低.

(2) 在  $17 \sim 45 \text{ }^\circ\text{C}$  温度下, 单一体系中的  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附均符合 Langmuir 吸附等温式. 该吸 附过程是自发的、吸热的.

(3) 单一体系中, 在不同温度下  $\text{MnO}_2$  对  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附均符合准二级反应动力学模式.

(4) 混合体系中,  $\text{MnO}_2$  对  $\text{Cu}^{2+}$  和  $\text{Pb}^{2+}$  的吸附 强弱顺序为  $\text{Pb}^{2+} > \text{Cu}^{2+}$ .

参考文献:

[1] 谢正苗, 朱祖祥, 袁可能, 等. 土壤中二氧化锰对 As (III) 的氧化及其意义[J]. 环境化学, 1989, 8(2): 1~6.  
[2] 樊耀亭, 吕秉玲, 徐杰, 等. 水溶液中二氧化锰对铀的吸附[J]. 环境科学学报, 1999, 19(1): 42~46.  
[3] KANUNGO S B, TRIPATHY S S, MSHRA S K, et al. Adsorption of  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ , and  $\text{Zn}^{2+}$  onto amorphous hydrous manganese dioxide from simple (1-1)

electrolyte solutions[J] . Journal of Colloid and Interface Science , 2004, 269 ( 1) : 11~21.

[ 4 ] MCKENZIE R M.The synthesis of birnessite , cryptomelane , and some other oxide and hydroxides manganese[J] . Mineralogical Magazine , 1971, 38, 493~502.

[ 5 ] BOWMAN R S, O ' CONER G A.Control of nickel and Strontium sorption by free metal ion activity[J] . Soil Sci Soc Am J , 1982, 46, 933~936.

[ 6 ] SELVARAJ R, YOUNGHUN K, CHEOL K J .Removal of copper from aqueous solution by aninated and protonated mesoporous aluminas : kinetics and equilibrium[J] . Journal of Colloid and Interface Science , 2004, 273 ( 1) : 14~21.

Single and Binary Component Adsorption of Copper Cation and Lead Cation From Aqueous Solutions Using Fresh  $\delta$ -MnO<sub>2</sub>

ZOU Wei -hua<sup>1</sup>, LIU Chen -xiang<sup>2</sup>, JIANG Li<sup>2</sup>, HAN Run -ping<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>School of Chemical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China ;<sup>2</sup>Department of Chemistry, Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China)

**Abstract :** The adsorption ability of  $\delta$ -MnO<sub>2</sub> is investigated for the removal of copper and lead cation from single (non competitive) and binary (competitive) aqueous systems . Adsorption of the investigated heavy metal ions by  $\delta$ -MnO<sub>2</sub> strongly depended on pH, contact time, salt concentration and initial concentration of metal ions . The experimental data for single system at different temperatures fit the Langmuir isotherm model excellently . The values of  $\Delta G^{\circ}$  and  $\Delta H^{\circ}$  show the spontaneous and endothermic process of copper and lead cations adsorbed by  $\delta$ -MnO<sub>2</sub> . The dynamic data fit the pseudo second order kinetic model well . Experiments on competitive adsorption illustrate that the removal of metal ions decrease when other metal ions are added . The presence of lead cation has a significant effect on copper cation adsorption . The removal of copper and lead cation by  $\delta$ -MnO<sub>2</sub> follows the descending order :  $Pb^{2+} > Cu^{2+}$  .

**Keywords :**  $\delta$ -MnO<sub>2</sub>; copper cation ; lead cation ; adsorption

申长雨教授获国家自然科学基金重大项目资助

我校申长雨教授申请的国家自然科学基金重大项目“高聚物成型加工与模具设计中的关键力学和工程问题”通过专家评审,获得批准,资助经费 800 万元。参加该课题的有华南理工大学、大连理工大学、中科院数学与系统研究所、北京航空材料研究院、中科院化学所、四川大学、上海交通大学、西北工业大学等 8 个单位。

国家自然科学基金“十五”第三批重大项目,共安排了 7 个大的项目,研究涉及模具、信息、生物、材料、能源等多个领域。郑州大学申长雨教授依托国家橡塑模具工程研究中心,以郑州大学为主牵头组织了国内多个高校和科研院所的专家共同申报。面对激烈地竞争,课题组精心准备,先后

通过了 3 次答辩与评审。国家自然科学基金委员会组织专家层层选拔、优中选优,最终确定由郑州大学作为主持单位承担该重大项目的研究工作。

申长雨教授相继主持完成了国家“八五”科技攻关项目、国家“九五”科技攻关项目、国家攀登 B 计划项目、国家杰出青年基金、国家自然科学基金重点和面上项目等,在橡塑模具 CAD/CAM/CAE 技术、聚合物成型过程的计算理论、基于模拟仿真的聚合物加工及模具优化设计理论的研究中取得了多项成果。作为第一完成人先后获得了国家科技进步二等奖、化工部科技进步一等奖、河南省科技进步一等奖等 10 余项奖励,出版专著 5 本,发表论文 100 余篇。