

钾离子高效吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ 的合成及其特性

王 昶¹, 张相龙², 翟炎龙², 郝庆兰²

(1. 天津科技大学海洋科学与工程学院, 天津 300457; 2. 天津科技大学材料科学与化学工程学院, 天津 300457)

摘要: 用浓度为 10 mol/L HNO_3 对高温固相合成的 $Rb_8Nb_{22}O_{59}$ 进行酸洗脱 Rb^+ , 制得吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$, 并对 K^+ 的交换性能进行研究, 同时运用 XRD 和 SEM 进行表征. 结果表明: $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ 与 $Rb_8Nb_{22}O_{59}$ 具有相似的结构; $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ 对于 Na^+ 和 K^+ 的饱和吸附量接近理论吸附量 2.55 mmol/g, 表明吸附剂对 Na^+ 和 K^+ 具有较高的亲和性; 在 pH 为 2~8 的范围内, $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ 对 K^+ 具有较高的分配系数, 而分离因数随 pH 的升高而显著降低; $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ 重复使用后对 K^+ 仍具有较高的吸附选择性.

关键词: 吸附剂; $Rb_8Nb_{22}O_{59}$; Na^+ ; K^+ ; 离子交换

中图分类号: TQ13 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2013)01-0038-04

Synthesis and Properties of $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ as High-efficient Potassium Adsorbent

WANG Chang¹, ZHANG Xianglong², ZHAI Yanlong², HAO Qinglan²

(1. College of Marine Science and Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China;

2. College of Material Science and Chemical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300457, China)

Abstract: The adsorbent $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ was obtained through extracting Rb^+ from $Rb_8Nb_{22}O_{59}$ in the 10 mol/L HNO_3 solution, the K^+ exchange capacity of $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ was studied, and samples were characterized with XRD and SEM, respectively. The results indicate that the structure of $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ is similar with that of $Rb_8Nb_{22}O_{59}$, and the saturated adsorption capacities of Na^+ and K^+ for $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ are close to the theoretical value of 2.55 mmol/g, suggesting that the adsorbent $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ has a higher affinity for Na^+ and K^+ . $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ shows markedly high selectivity for the adsorption of K^+ within the pH range from 2 to 8, but separation factor decreases with the increase of pH value, and re-used $H_8Nb_{22}O_{59}\cdot 8H_2O$ still exhibits markedly high selectivity for the adsorption of K^+ .

Key words: adsorbent; $Rb_8Nb_{22}O_{59}$; Na^+ ; K^+ ; ion exchange

高纯氯化钠(99.99%)可广泛应用于食品、医药和医疗等领域. 氯化钠主要来源于海水提纯, 不可避免地会引入 K^+ , 使其无法达到更高的应用要求. 由于 Na^+ 、 K^+ 的性质十分相似, Na^+ 、 K^+ 的分离非常困难. 利用氯化钠和氯化钾在水中溶解度的差异, 采用重结晶法, 多次结晶可提高氯化钠的纯度, 然而在实际结晶过程中不可避免地会产生夹带现象, 致使制备的氯化钠纯度很难达到要求, 且该工艺能耗高, 收率低. 而采用沉淀法、萃取法等方法^[1-3], 因选择性不

高, 分离效果不理想, 也难以得到高纯氯化钠.

相比之下, 无机离子交换剂具有较好的热稳定性、可重复利用性和较高的吸附量等特点^[4], 特别是无机离子筛分材料, 可有效吸附高浓度离子中存在的特定离子^[5], 受到了人们的广泛关注. Chitrakar 等^[6]通过酸处理 $Li_{1.6}Mn_{1.6}O_4$ 获得 $MnO_2\cdot 0.5H_2O$ 离子筛交换剂, 该离子筛对锂离子具有较大的吸附量(5.3 mmol/g), 可有效地从海水中提取锂离子. 合成的锂锰氧化物离子筛对 Li^+ 显示了较高的选择性, 是

收稿日期: 2012-08-29; 修回日期: 2012-10-16

基金项目: 天津市塘沽科委专项基金(09tgkw-12)

作者简介: 王 昶(1958—), 男, 江苏人, 教授, wangc88@163.com.

由于离子筛具有与 Li^+ 半径相当的孔径, 只允许小于 Li^+ 半径的离子进入, 而大于 Li^+ 半径的离子不能够进入, 从而对 Li^+ 具有记忆能力, 对 Li^+ 显示了较高的选择性^[7], 因此, 锂锰氧化物离子筛可广泛用于海水中 Li^+ 的提取和 Li^+ 的纯化. 然而, 对于 Na^+ 、 K^+ , 因 Na^+ 的半径小于 K^+ , 因此不能够采用简单的筛分方法对 K^+ 实现分离, 需要合成对 K^+ 具有较高选择性的离子筛, 实现氯化钠溶液中微量 K^+ 的去除. 早在 19 世纪 60 年代人们就合成了 $Rb_8Nb_{22}O_{59}$, 对其结构和理化参数进行了研究^[8-9]; Yang 等^[10] 将其作为离子筛交换剂使用, 研究了在不同的 pH 范围内, 这种无机材料吸附剂对不同的碱金属离子具有不同的吸附量, 但没有对特定离子的分离进行研究.

本研究针对 Na^+ 、 K^+ 的特性, 采用高温固相法合成无机材料 $Rb_8Nb_{22}O_{59}$, 然后酸洗样品 $Rb_8Nb_{22}O_{59}$, 制得离子筛型吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$, 分别采用 X 射线衍射仪 (XRD) 和扫描电子显微镜 (SEM) 对样品结构进行表征, 并通过离子吸附实验考察 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 对 Na^+ 和 K^+ 的吸附行为, 旨在寻找 Na^+ 、 K^+ 高效分离的新途径.

1 实验

1.1 吸附剂制备

$Rb_8Nb_{22}O_{59}$ 的制备: 将 0.480 3 g Rb_2CO_3 (99.9%, 熔点 723 °C, 成都西亚试剂有限公司) 和 1.520 4 g Nb_2O_5 (99.99%, 熔点 1 520 °C, 成都西亚试剂有限公司) 混合, 研磨, 然后放入刚玉坩埚中, 分别在 700、800、900、1 000、1 100、1 200 °C 焙烧 8 h. 将不同温度焙烧的样品分别记为 T_n (n 为焙烧温度数值).

$H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 的制备: 依据文献^[10] 报道, $Rb_8Nb_{22}O_{59}$ 经酸洗后 H^+ 与 Rb^+ 置换率在 97% 以上, 所以, 本实验使用 50 mL 10 mol/L HNO_3 处理获得的样品 (0.5 g) 3 d, 然后过滤、水洗至中性, 在 70 °C 干燥获得质子化样品. 将酸洗后的样品分别记为 TH_n .

1.2 吸附剂表征

用北京普析公司生产的 XD-3 型 X 射线衍射仪分析样品的晶态结构, 衍射靶为 Cu 靶 $K\alpha$ 射线, $\lambda = 0.154 18$ nm, 扫描速率为 4 °/min, 收集 $2\theta = 5^\circ \sim 70^\circ$ 的衍射峰. 用日本日立公司生产的 SU-1510 扫描电子显微镜 (SEM) 观测样品的形貌特征. 用北京瑞利公司生产的 WFX-120 原子吸收光谱仪对不同溶液中的 Na^+ 和 K^+ 含量进行分析, Na 灯波长 589.0 nm, K

灯波长 766.5 nm.

1.3 饱和吸附量的测定

用 0.1 mol/L NaCl 和 0.1 mol/L NaOH 以及 0.1 mol/L KCl 和 0.1 mol/L KOH 分别配制混合液 (pH > 12.40). 将 50 mg 质子化样品添加到 5 mL 上述混合液中, 室温振荡 7 d, 吸附后的溶液用 0.1 mol/L HCl 滴定, 通过初始混合液的离子浓度和吸附后溶液离子的浓度的差值可获得 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 对 Na^+ 、 K^+ 的吸附量.

$$Q = (5c(OH^-) - 0.1V_{HCl})/m \quad (1)$$

式中: Q 为吸附剂的吸附量, mmol/g; V_{HCl} 为滴定所用 HCl 的体积, mL; $c(OH^-)$ 为碱浓度, mol/L; m 为吸附剂用量, g.

1.4 分配系数 (K_d) 的测定

将 50 mg 质子化样品添加到 5 mL 不同 pH 的 NaCl 和 KCl ($n(Na^+) : n(K^+) = 1$) 的混合液中, 用 NaOH 和 KOH 替代 NaCl 和 KCl 以此来改变溶液的 pH, 室温振荡 2 d, 然后采用原子吸收光谱测定溶液中的离子浓度, 用 pH 计测定溶液的 pH, 吸附量通过吸附前后溶液中离子浓度的变化确定. K_d (mL/g) 可由式 (2) 计算:

$$K_d = \frac{\text{被交换的金属离子量 (mmol/g)}}{\text{平衡时液相中金属离子的浓度 (mmol/mL)}} \quad (2)$$

2 结果与讨论

2.1 $Rb_8Nb_{22}O_{59}$ 和 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 的表征

图 1 为原料 Rb_2CO_3 、 Nb_2O_5 以及以 4 : 11 (物质的量比) 混合的 Rb_2CO_3 和 Nb_2O_5 在不同温度下焙烧样品的 XRD 图谱.

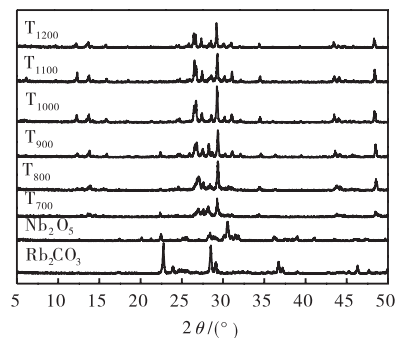


图 1 Nb_2O_5 、 Rb_2CO_3 以及不同温度焙烧 8 h 样品 $Rb_8Nb_{22}O_{59}$ 的 XRD 图谱

Fig. 1 XRD patterns of Nb_2O_5 , Rb_2CO_3 and $Rb_8Nb_{22}O_{59}$ at different calcination temperatures for 8 h

由图 1 可知,经高温焙烧后, Rb_2CO_3 在 $2\theta = 22.50^\circ, 24.43^\circ, 30.21^\circ, 30.62^\circ, 31.84^\circ, 36.31^\circ, 41.16^\circ$ 和 Nb_2O_5 在 $2\theta = 22.60^\circ, 28.31^\circ, 28.87^\circ, 29.06^\circ, 37.12^\circ, 46.06^\circ$ 的特征衍射峰完全消失. 与此同时,样品 T_n 在 $2\theta = 12.33^\circ, 14.23^\circ, 15.90^\circ, 26.51^\circ, 26.75^\circ, 27.42^\circ, 28.58^\circ, 29.35^\circ, 30.16^\circ, 31.14^\circ, 34.47^\circ$ 处显示了强的特征峰. 700°C 焙烧的样品峰型较弱,说明低温样品结晶度低;随着温度的升高,衍射峰峰强增高,峰形变得尖锐,结晶度提高. 这表明温度对于样品 $\text{Rb}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}$ 的结晶度有较大的影响.

图 2 为 1200°C 焙烧 8 h 获得的 $\text{Rb}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}$ 和 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 的 XRD 图谱. XRD 图谱分析表明: Rb^+ 的浸出,并没有改变衍射峰的位置,也没有产生新的衍射峰,只是峰强发生了变化. 说明 $\text{Rb}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}$ 结构稳定,经酸处理后生成的 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 与 $\text{Rb}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}$ 的结构相似,晶型结构没有发生变化,也说明吸附过程是拓扑进行的. $\text{Rb}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}$ 和 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 的 SEM 图(图 3)也表明 Rb^+ 的浸出没有改变样品的形貌.

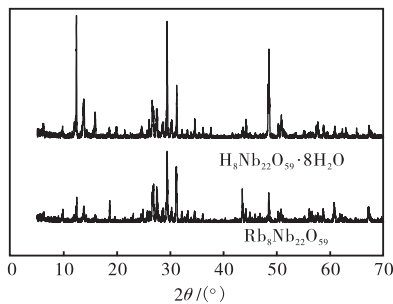
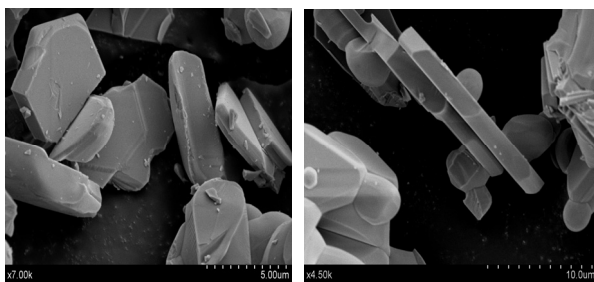


图 2 样品 $\text{Rb}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}$ 和 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 的 XRD 图谱
Fig. 2 XRD patterns of $\text{Rb}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}$ and $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$



(a) $\text{Rb}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}$ (b) $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$

图 3 $\text{Rb}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}$ 和 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 的 SEM 图
Fig. 3 SEM images of the samples $\text{Rb}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}$ and $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$

2.2 饱和吸附量

1200°C 焙烧 8 h 的 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 样品,对 Na^+ 和 K^+ 的吸附量分别为 2.60 和 2.55 mmol/g, 接近

于由理论模型 $(\text{H}_3\text{O})_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}$ 计算获得的理论吸附量^[10]2.55 mmol/g. 这表明 Rb^+ 可被有效浸出,吸附剂 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 对 Na^+ 和 K^+ 具有较高的亲和性.

2.3 分配系数

饱和和吸附量的数值大小无法表征 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 对 Na^+ 和 K^+ 的竞争吸附. 为了避免嵌入离子之间的相互作用,用 NaCl 和 KCl 溶液配制 Na^+ 和 K^+ 浓度低于 12 mmol/L 的混合液 ($n(\text{Na}^+) : n(\text{K}^+) = 1$), pH 的调节通过 NaOH 和 KOH 代替 NaCl 和 KCl 来实现, K_d 是在较低的 Na^+ 和 K^+ 浓度下获得的,因此, K_d 值的大小可以反映离子和吸附位的本征亲和性, K_d 值可用于估计无机离子吸附剂的离子筛性质,将不同焙烧温度获得的 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 样品添加到上述混合液中获得 Na^+ 和 K^+ 分配系数见表 1.

表 1 样品 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 对 Na^+ 和 K^+ 的分配系数 (K_d)
Tab. 1 Na^+ and K^+ distribution coefficient K_d for the samples of $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$

样品	溶液	分配系数 (K_d)/($\text{mL}\cdot\text{g}^{-1}$)		分离因数 (α)	吸附后溶液 pH
		Na^+	K^+		
TH ₈₀₀	A	140	4 170	30	2.63
TH ₁₀₀₀	A	170	9 580	56	2.50
TH ₁₁₀₀	A	120	6 450	54	2.72
TH ₁₂₀₀	A	200	7 790	39	2.21
TH ₈₀₀	B	200	1 700	8	6.89
TH ₁₀₀₀	B	170	2 260	13	7.20
TH ₁₁₀₀	B	160	1 600	10	7.75
TH ₁₂₀₀	B	180	4 270	24	6.03

注: 溶液 A 中 NaOH 和 KOH 的初始浓度为 6.5 mmol/L;
溶液 B 中 NaOH 和 KOH 的初始浓度为 9.5 mmol/L.

由表 1 可知,在 pH 为 2 ~ 8 的范围内, K^+ 的分配系数要远远大于 Na^+ 的,质子化样品 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 对 K^+ 显示了高的选择性,且与温度无关. 为了更好地表征 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 对 Na^+ 和 K^+ 的分离效果,将 K^+ 和 Na^+ 分配系数的比值定义为分离因数 α . 分离因数越大,吸附剂 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 对 K^+ 的选择性越高. 结合 XRD 表征结果, $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 的结晶度随焙烧温度的增加而增强,说明 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 的选择性与其结晶度有关,结晶度增强,有利于 K^+ 的吸附. 与分配系数不同,与低 pH 条件下的分离因数 α 相比,在较高 pH 时,分离因数有显著的降低. 离子筛 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 对 K^+ 显示了较高的选择性,这可能是由于离子筛 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 具有与 K^+ 离子半径相当的孔径, K^+ 可被有效固定, Na^+ 可以自由移动,而不能被稳定固定^[11],因此,离子筛 $\text{H}_8\text{Nb}_{22}\text{O}_{59}\cdot 8\text{H}_2\text{O}$ 对 K^+ 显示了较高的选择性.

2.4 吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 对 K^+ 交换平衡时间

50 mg 吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 在 5 mL 含有 1 mmol/L K^+ 的 0.1 mol/L NaCl 溶液中对 K^+ 吸附平衡曲线如图 4 所示。

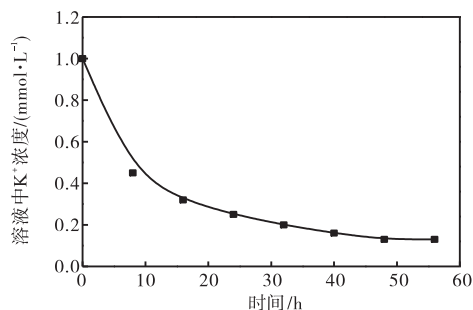


图 4 吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 对 K^+ 吸附平衡曲线

Fig. 4 Adsorbent equilibrium curve of the adsorbent $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ for K^+

由图 4 可知, 在吸附初始阶段, 吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 对 K^+ 显示了较高的吸附量, 说明吸附剂在吸附初始阶段对 K^+ 显示了较高的选择性. 随着时间的延长, 溶液中 K^+ 的含量持续降低, 去除率增大, 约 48 h 溶液中 K^+ 含量就趋于平衡, 而时间的延长, 对于 K^+ 的去除没有太大的影响。

2.5 吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 重复使用性

回收使用后的吸附剂, 经 10 mol/L HNO_3 溶液处理 3 d, 然后过滤、水洗至中性, 在 70 °C 干燥. 在含有 1 mmol/L K^+ 的 0.1 mol/L NaCl 溶液中重复使用, 结果见表 2. 由表 2 可知, 吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 经 3 次循环使用, 对 K^+ 仍具有较高的选择性, 去除率为 89%, 这表明了 K^+ 和 Na^+ 的嵌入和浸出过程中并没有破坏吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 的结构, 因此吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 对 K^+ 保持了较高的选择性. 可见, 吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 具有较好的应用前景。

表 2 吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 重复使用对 K^+ 去除率的影响

Tab. 2 Effect of recycling times of the adsorbent $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ on the removal of K^+

次数	初始溶液 K^+ 浓度/(mmol·L ⁻¹)	吸附后溶液 K^+ 浓度/(mmol·L ⁻¹)	K^+ 去除率/%
1	1	0.12	88
2	1	0.07	93
3	1	0.11	89

2.6 微量 K^+ 的去除

表 3 为不同浓度氯化钠对微量 K^+ 去除率的影响. 由表可知, 在较低浓度的氯化钠溶液中, 吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 对 K^+ 具有较高的去除率, 随着氯化

钠溶液浓度的升高, 钾离子的去除率显著降低, 进而变化不大. 在含有 0.94 mmol/L KCl 的 50 mmol/L NaCl 溶液中, K^+ 去除率为 91.5%, 然而, 在含有 0.095 mmol/L KCl 的 1 000 mmol/L NaCl 溶液中, K^+ 的去除率仅为 47.4%, 去除率显著降低. 这一结果表明, 高浓度的氯化钠对微量 K^+ 的去除有显著影响, 吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 对 K^+ 具有较高的选择性。

表 3 不同浓度氯化钠对微量 K^+ 去除率的影响

Tab. 3 Effect of different kinds of sodium chloride solutions on the removal of minor amounts K^+

Na^+ 浓度/(mmol·L ⁻¹)	初始溶液 K^+ 浓度/(mmol·L ⁻¹)	吸附后溶液 K^+ 浓度/(mmol·L ⁻¹)	K^+ 去除率/%	pH
50	0.94	0.08	91.5	2.02
500	0.94	0.32	66.0	1.89
1 000	0.92	0.38	58.7	1.77
1 000	0.46	0.24	47.8	1.82
1 000	0.095	0.05	47.4	1.76

注: 吸附剂添加量 50 mg; 混合液 5 mL.

3 结 论

(1) 以 Rb_2CO_3 和 Nb_2O_5 为原料, 采用高温固相法合成了 $Rb_8Nb_{22}O_{59}$, 酸洗后得到对钾离子具有较高选择性的吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$, 其晶型与 $Rb_8Nb_{22}O_{59}$ 相同。

(2) 焙烧温度对吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 结晶度影响较大, 在较高温焙烧其结晶度较高. 当 pH 在 2~8 的范围内, $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 对钾离子具有较高的分配系数 (K_d), 分离因数 (α) 随着焙烧温度的升高而增大, 与 pH 的变化相反。

(3) 吸附剂 $H_8Nb_{22}O_{59} \cdot 8H_2O$ 对高浓度氯化钠溶液中的微量钾离子具有较高的选择性, 因此, 可用于钠溶液的提纯。

参考文献:

- [1] Kielland J. Process for the recovery of potassium salts from solutions; DE, 691366[P]. 1940-05-24.
- [2] Yasuyuki T, Aiko Y. Extraction of sodium and potassium perchlorates with benzo-18-crown-6 into various organic solvents: Quantitative elucidation of anion effects on the extraction-ability and -selectivity for Na^+ and K^+ [J]. Talanta, 2002, 56(3): 505-513.
- [3] Kamatsu M. Potassium-selective adsorbent and its production; JP, 03-205315[P]. 1991-09-06.

(下转第 46 页)