

用天然斜发沸石从西藏地热水中 分离提取 K^+ , Rb^+ , Cs^+ 的研究

王雪静¹, 高世扬², 周建国¹, 卢雁¹

(1. 河南师范大学化学与环境科学学院, 河南新乡 453002;

2. 中国科学院青海盐湖研究所西安二部, 陕西 西安 710043)

摘要: 根据天然斜发沸石对 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 等无机离子的交换性能, 研究采用天然斜发沸石从西藏地热水中提取分离 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 的可行性。

关键词: 天然斜发沸石; K , Rb , Cs ; 分离提取

中图分类号: O614.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-858X(2002)03-0031-07

中国的地热区域主要分布在西藏南部(高温型)和云南腾冲地区(低温型)。西藏地热水大多属中偏碱性, 富含 B, As, Li, Rb, Cs, K, 一些金属含量与国外一些主要水热区数值相比比较高, 有的还很突出, 如西藏最大的热水区羊八井地热区, 其稀有碱金属质量分数较高的是 Li 65.4×10^{-6} , Rb 13.5×10^{-6} , Cs 99.8×10^{-6} ^[1], 而意大利托斯卡纳地区热泉中 Rb 质量分数在 0.001×10^{-6} 到 0.1×10^{-6} 之间, 最高的近 0.82×10^{-6} , 新西兰陶波火山带内热泉的 Rb 含量较高, 其质量分数从 1×10^{-6} 到 3.1×10^{-6} , 日本地热水中 Rb 含量以北海道二股热泉为最高, 达 10.0×10^{-6} 。国外热水中 Cs 含量大多都低于西藏, 如新西兰热水中 Cs 质量分数最高为 2.8×10^{-6} , 克什米尔地区普加热水中^[2]的 Cs 质量分数为 12×10^{-6} , 日本的最高值达 6.2×10^{-6} , 智利塔蒂奥热水中 Cs 质量分数在 $6.8 \times 10^{-6} \sim 17.5 \times 10^{-6}$ 之间。国内研究地热水的文献很多, 但大多数是关于地热水的起源、组成、物理化学特性及热能的应用, 如利用热能发电, 很少报道从地热水中提取稀有金属的, 但从地热水中提取稀有金属是一项很有经济价值, 前途广阔的项目。

目。

K, Rb, Cs 的分离提取主要有以下方法: 有机溶剂萃取, 如有机冠醚^[3]、BAMBP^[4]、硝基苯酚酯^[5]等; 无机离子交换树脂分离, 如多价金属磷酸盐^[6]、杂多酸盐、金属亚铁氰化物及铁氰化物^[7]; 天然离子交换剂, 如天然沸石、蒙脱石^[8]、伊利石、天然粘土矿物如石英沙、皂土、矿渣水泥等。其中天然沸石具有优良的物理化学性质, 且来源广泛, 价格低廉, 无环境污染, 可用于工业生产。本试验利用天然沸石作为离子交换剂, 研究从西藏地热水中分离提取 K, Rb, Cs 的可行性, 得到了一些有意义的结论。

1 实验

1.1 西藏地热水的组成

位置: 羊八井镇政府驻地桑巴沙村西南 (1989年6月12日采集)。

主要物化参数: 温度 47.5°C , pH $7 \sim 7.5$, TDS $1.751 \sim 1.343$ 。

主要离子质量分数: $\text{Li}^+ 7.58 \times 10^{-6}$, $\text{Na}^+ 370 \times 10^{-6}$, $\text{K}^+ 58 \times 10^{-6}$, $\text{Rb}^+ 1.6 \times 10^{-6}$,

收稿日期: 2002-06-07

作者简介: 王雪静(1968-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 无机材料。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

$\text{Cs}^+7.5\times10^6$, $\text{NH}_4^+0.27\times10^6$, $\text{Ca}^{2+}15.85\times10^6$, $\text{Mg}^{2+}2.72\times10^6$, $\text{HCO}_3^-476.24\times10^6$, $\text{SO}_4^{2-}73.53\times10^6$ 。

1.2 原料及设备

天然斜发沸石(40~60)目, NH_4HCO_3 (试剂级), NaCl 、 KCl 、 RbCl 、 CsCl (均为分析纯), 甲醛水溶液、 H_2SO_4 、 NaOH ;

离子交换柱用直型冷凝管 $\Phi11\times600\text{mm}$ 改装而成, 恒温水浴锅, 滴液漏斗, 容量瓶。40—60 目分级筛及其他实验室一般设备, Z—5000 型原子吸收光谱仪(日本 HITACHI 公司)。

1.3 分析方法

用原子吸收光谱法测定 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 含量, 分析方法详见文献^[9]。

1.4 实验过程

1.4.1 模拟配制西藏地热水

根据西藏地热水的组成, 在实验室用蒸馏水进行模拟配制: 量取蒸馏水 24L, 称取 NaCl 、 KCl 、 RbCl 、 CsCl 各 28 578, 2 765、56.9、237.5mg, 倒进 500mL 烧杯中; 加蒸馏水, 搅拌使之溶解; 待其完全溶解后, 转入 1000mL 容量瓶中, 定容, 然后再转入量好的 24L 纯水中, 即为所配制的 25L 模拟地热水(计算各离子质量分数: $\text{Na}^+370\times10^{-6}$, $\text{K}^+58\times10^{-6}$, $\text{Rb}^+1.6\times10^{-6}$, $\text{Cs}^+7.5\times10^{-6}$, 因为其他离子对提取 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 没有影响, 所以在模拟配制地热水时未考虑), 最后用原子吸收光谱法准确测定其中 Na^+ 、 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 含量。

1.4.2 沸石预处理

用水筛法筛取粒径为 40~60 目的沸石, 过滤抽干, 用 2mol NH_4HCO_3 水溶液浸泡并充分搅拌, 使沸石完全转化为铵型沸石。

1.4.3 装柱

采用湿法装填沸石柱。将用 2.0mol NH_4HCO_3

CO 搅拌浸泡好的沸石装入用 $\Phi600\times11\text{mm}$ 的直型冷凝管改装而成的交换柱中, 装了两根柱: 一号柱柱长 25.5cm, 装湿沸石 42.9g, 折算为干沸石 27.46g; 二号柱柱长 15.5cm, 装湿沸石 24.6g, 折算为干沸石 15.74g。

1.4.4 水洗

不控制流速, 用蒸馏水洗涤沸石柱至无 NH_4^+ 流出(用甲醛法检验)。

1.4.5 离子交换

使足够量的模拟地热水通过沸石, 交换液流速 500mL/h, 温度 47.5℃, 用干净的 500mL 容量瓶接流出液, 用原子吸收光谱法测定流出液中 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 含量。

1.4.6 水洗

在流速为 1 000mL/h 下, 用蒸馏水洗涤沸石柱, 每 500mL 收集一个样, 用原子吸收法测定其中 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 含量, 直至其含量足够低。

1.4.7 从沸石柱上洗脱 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+

洗脱液用 NH_4HCO_3 。在室温下, 分别用 0.001mol, 0.01mol, 0.1mol, 1mol NH_4HCO_3 , 0.1mol, 0.2mol, 0.5mol HCl 水溶液以 200mL/h 的流速进行淋洗, 用容量瓶收集洗脱液, 用原子吸收法测定其中 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 含量。

2 结果与讨论

2.1 一号柱实验结果

2.1.1 交换

所配地热水中各离子准确质量分数 $\text{Na}^+379.6\times10^{-6}$, $\text{K}^+54.5\times10^{-6}$, $\text{Rb}^+1.6\times10^{-6}$, $\text{Cs}^+7.84\times10^{-6}$, 温度 47.6℃, 流速 500mL/h, 每 500mL 接一个样, 交换了 11L, 接样 22 个, 每隔一个样做一次化学分析, 分析结果如表 1 所示。

表 1 流出液中 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 的质量分数($\times10^{-6}$)

Table 1 K^+ , Rb^+ and Cs^+ contents of the effluent

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
K^+	9.5	12.7	有误	0.91	11.3	18.8	34.8	34.0	38.6	40.9	44.0
Rb^+	0.04	0.01	0.00	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	0.03	0.04	0.12	0.12
Cs^+	0.04	0.12	0.08	0.07	0.04	0.06	0.04	0.06	0.03	0.05	0.02

注: 原子吸收在分析 Rb^+ 、 Cs^+ 含量时, 因为他们的浓度太小, 到小数点第 2 位时已经不准确了, 可以看作 Rb^+ 、 Cs^+ 全部交换上去了, 流出液中几乎为 0。而且, Cs^+ 灯以前很少用过, 还不太稳定。

经粗略计算(因样品不是全部测试,未测出部分用内差法估计出来),一号柱交换上去 K^+ 344.0 mg, Rb^+ 17.36 mg, Cs^+ 86.24 mg, 且都未达到饱和。

2.1.2 洗脱

表 2 0.1mol NH_4HCO_3 淋洗液中 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 的质量分数($\times 10^{-6}$)

Table 2 K^+ , Rb^+ and Cs^+ contents of the 0.1mol NH_4HCO_3 eluent

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K^+	158.6	500.0	572.8	164.4	174.2	235.8	157.2	72.8	65.9	51.8	43.2	32.9	28.3
Rb^+	0.48	4.91	6.71	7.15	7.42	7.08	6.62	5.69	5.2	4.89	4.62	3.9	3.13
Cs^+	0.00	0.01	0.06	0.02	0.03	0.07	0.03	0.05	0.06	0.12	0.16	0.17	0.17

接着用 1mol NH_4HCO_3 进行淋洗,淋洗了 600mL,每 150mL 接一个样,分析结果如表 3 所示:

表 3 1mol NH_4HCO_3 淋洗液中 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 的质量分数($\times 10^{-6}$)

Table 3 K^+ , Rb^+ and Cs^+ contents of the 1mol NH_4HCO_3 eluent

编号	1	2	3	4
K^+	73.8	29.8	14.1	10.1
Rb^+	10.5	4.13	1.82	1.05
Cs^+	7.74	23.33	26.38	26.84

经粗略计算,一号柱用 0.1mol NH_4HCO_3 淋洗时,淋洗下来 K^+ 约 297mg, Rb^+ 13.55mg, Cs^+ 0.184mg,淋洗下来的量占交换上去量的百分比为 K^+ 86.33%, Rb^+ 78.0%, Cs^+ 0.2%。 K^+ 、 Rb^+ 还未全部洗下来,再用 1mol NH_4HCO_3 淋洗时,洗脱下来 K^+ 19.18mg, Rb^+ 2.63mg, Cs^+ 12.64mg。两次共洗下来 K^+ 316.18mg, Rb^+ 16.18mg, Cs^+ 12.84mg,淋洗下来的量占交换上去量的百分比为 K^+ 91.9%, Rb^+ 93.20%, Cs^+ 13.34%, K^+ , Rb^+ , Cs^+ 还未洗脱到浓度很小,即还可以继续洗脱下来。由此可见,用 0.1mol NH_4HCO_3 淋洗时, K^+ 和 Rb^+ 分不开,用 1mol NH_4HCO_3 淋洗时, K^+ 、 Rb^+ 和 Cs^+ 都不能很好地分开。基于上述结果,进行下述试验:一

用 2 000mL 蒸馏水洗涤后,紧接着用 0.1mol NH_4HCO_3 淋洗,温度 18℃,流速 150mL/h,每 100mL 接一个样,每隔一个样作一次化学分析,分析结果如表 2 所示。

号柱用 2mol NH_4HCO_3 再生后,再交换上去 10L 水,先用大量的 0.1mol NH_4HCO_3 淋洗,把 Rb^+ 基本淋洗下来后,再用 1mol NH_4HCO_3 淋洗,看是否能将 Cs^+ 和 K^+ , Rb^+ 分离开。

2.1.3 第二次交换

一号柱卸柱后,重新装柱,柱长 20.5cm(40~60 目沸石),水洗 2 000L 后,用模拟地热水交换,模拟地热水中各离子的质量分数为: K^+ 60.0 $\times 10^{-6}$, Rb^+ 1.58 $\times 10^{-6}$, Cs^+ 6.19 $\times 10^{-6}$,共交换 6L,温度 50℃,流速 500mL/h,每 1 000mL 接一个样,流出液离子质量分数如表 4 所示。

表 4 流出液中 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 的质量分数($\times 10^{-6}$)

Table 4 K^+ , Rb^+ and Cs^+ contents of the effluent

编号	1	2	3	4	5	6
K^+	25.6	17.6	8.8	1.6	2.4	30.4
Rb^+	-0.02	-0.03	-0.02	0.08	0.11	0.17
Cs^+	-0.02	-0.02	-0.04	0.09	0.14	0.12

经计算共交换上去 K^+ 233.4mg, Rb^+ 9.12mg, Cs^+ 36.79mg。

2.1.4 第二次洗脱

一号柱用模拟地热水交换后,未用蒸馏水冲洗,直接用 0.1mol NH_4HCO_3 淋洗,温度 25℃,流速 200mL/h,每 200mL 接一个样,共接了 23 个样,分析结果如表 5 所示。

表 5 0.1mol NH₄HCO₃ 淋洗液中 K⁺、Rb⁺、Cs⁺ 的质量分数(×10⁻⁶)

Table 5 K⁺, Rb⁺ and Cs⁺ Contents of the 0.1mol NH₄HCO₃ eluent

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K ⁺	56.8	80.0	164	98.4	68.0	48.0	35.2	28.8	49.6	16.0	21.6	20.9
Rb ⁺	2.01	5.15	5.37	4.66	4.01	3.44	2.99	2.69	2.20	1.99	1.73	1.28
Cs ⁺	0.44	0.26	0.69	0.53	0.40	0.81	0.93	0.69	0.73	0.86	0.51	0.37
编号	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
K ⁺	17.5	12.5	10.0	有误	10.9	7.5	10.9	5.0	4.2	2.5	1.7	
Rb ⁺	1.18	1.09	0.91	0.71	0.58	0.43	0.41	0.36	0.26	0.16	0.13	
Cs ⁺	0.51	0.61	0.69	0.85	0.74	0.74	0.94	1.09	1.17	1.24	1.40	

经计算淋洗下来 K⁺ 154.08mg, Rb⁺ 8.75mg, Cs⁺ 3.26mg, 淋洗下来的量占交换上去量的百分比为 K⁺ 66.01%, Rb⁺ 95.94%, Cs⁺ 8.86%

接着用 1mol NH₄HCO₃ 淋洗 1 200mL, 温度 25℃, 流速 200mL/h, 每 250mL 接一个样, 分析结果如表 6 所示。

表 6 1mol NH₄HCO₃ 淋洗液中 K⁺、Rb⁺、Cs⁺ 的质量分数(×10⁻⁶)

Table 6 K⁺, Rb⁺ and Cs⁺ contents of the 1mol NH₄HCO₃ eluent

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K ⁺	7.83	5.63	2.18	2.13	1.95	1.88	1.65	1.40	2.06	0.93	0.40	0.54
Rb ⁺	0.41	0.09	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cs ⁺	13.31	19.21	15.34	11.59	8.36	6.91	5.94	4.19	5.37	4.65	4.57	2.05

经计算淋洗下来 K⁺ 7.15mg, Rb⁺ 0.13mg, Cs⁺ 25.37mg, 淋洗下来的量占交换上去量的百分比为 K⁺ 3.06%, Rb⁺ 1.42%, Cs⁺ 68.95%。

最后用 2mol NH₄HCO₃ 淋洗 2 000mL, 温度 25℃, 流速 200mL/h, 每 250mL 接一个样, 分析结果如表 7 所示。

表 7 2mol NH₄HCO₃ 淋洗液中 K⁺、Rb⁺、Cs⁺ 的质量分数(×10⁻⁶)

Table 7 K⁺, Rb⁺ and Cs⁺ contents of the 2molNH₄HCO₃ eluent

编号	1	2	3	4	5	6	7	8
K ⁺	3.52	2.38	2.70	3.15	3.75	3.00	2.65	4.25
Rb ⁺	—	—	—	—	—	—	—	—
Cs ⁺	2.63	1.57	1.50	0.77	0.65	0.38	0.45	0.50

经计算淋洗下来 K⁺ 6.35mg, Rb⁺ 0mg, Cs⁺ 2.11mg, 淋洗下来的量占交换上去量的百分比为 K⁺ 2.72%, Rb⁺ 0%, Cs⁺ 5.74%, 由上表可见, K⁺、Cs⁺ 还可以洗下一些。

三次共淋洗下来 K⁺ 167.58mg, Rb⁺ 8.88mg, Cs⁺ 30.74mg, 淋洗下来的量占交换上去量的百分比为 K⁺ 71.76%, Rb⁺ 97.37%, Cs⁺ 83.56%, 由以上结果可见, 当用 0.1mol NH₄HCO₃ 淋洗到 Rb⁺ 含量很低时, 提高浓度, 用 1mol NH₄HCO₃ 淋洗, Rb⁺ 已消失, 但 K⁺、Cs⁺ 仍分不

开。

2.2 二号柱实验结果

2.2.1 交换

所配地热水中各离子准确质量分数 Na⁺ 379.6×10⁻⁶, K⁺ 54.5×10⁻⁶, Rb⁺ 1.6×10⁻⁶, Cs⁺ 7.84×10⁻⁶, 温度 47.6℃, 流速 500mL/h, 每 500mL 接一个样, 交换了 11L, 接样 22 个, 每隔一个样做一次化学分析, 结果如表 8 所示。

表 8 流出液中 K^{+} 、 Rb^{+} 、 Cs^{+} 的质量分数($\times 10^{-6}$)
Table 8 K^{+} , Rb^{+} and Cs^{+} contents of the effluent

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
K^{+}	9.1	17.4	6.6	16.6	27.0	32.0	40.9	44.0	46.3	50.9	50.9
Rb^{+}	0.01	−0.02	−0.02	0.00	0.06	0.15	0.16	0.26	0.40	0.50	0.56
Cs^{+}	0.06	0.04	0.09	0.03	0.03	0.11	0.02	0.07	0.03	0.06	0.08

此含量水用完后, 又用另一桶水进行交换, 10^{-6} , 又交换了 6.5L 水, 还是每 500mL 接一个桶中各离子准确质量分数 $Na^{+} 376.2 \times 10^{-6}$, 样, 每隔一个样分析一次, 分析结果如表 9 所示。
 $K^{+} 61.0 \times 10^{-6}$, $Rb^{+} 1.63 \times 10^{-6}$, $Cs^{+} 6.25 \times$

表 9 流出液中 K^{+} 、 Rb^{+} 、 Cs^{+} 的质量分数($\times 10^{-6}$)
Table 9 K^{+} , Rb^{+} and Cs^{+} contents of the effluent

编号	1	2	3	4	5	6	7
K^{+}	50.0	55.0	60.0	60.7	65.0	62.2	有误
Rb^{+}	0.65	0.76	0.85	0.99	1.09	1.20	1.26
Cs^{+}	0.14	0.16	0.15	0.19	0.25	0.30	0.49

从以上结果可以看出, 2 号柱 K^{+} 的饱和和交换容量为 12L, Rb^{+} 、 Cs^{+} 未饱和。

经粗略计算(因样品不是全部测试, 未测部分用内差法估计出来), 二号柱交换上去 $K^{+} 268.8\text{mg}$ 、 $Rb^{+} 12.12\text{mg}$ 、 $Cs^{+} 128.32\text{mg}$ 。

3.2.2 洗脱

一号柱用 0.1mol NH_4HCO_3 淋洗时, K^{+} 和 Rb^{+} 分不开, 用 1mol NH_4HCO_3 淋洗时, K^{+} 、 Rb^{+} 和 Cs^{+} 都不能很好地分开, 基于上述结果, 考虑

相对于地下水的组成, 通过减小淋洗的浓度, 看是否能将 K^{+} 和 Rb^{+} 分开, 因此, 二号柱用模拟水交换, 用蒸馏水洗涤后, 先用 0.001 mol NH_4HCO_3 淋洗 750mL, 再用 0.01mol NH_4HCO_3 淋洗 750mL, 温度 25℃, 流速 200mL/h, 每 150mL 接一个样, 分析一次, 分析结果如表 10 所示。(1~5 号为用 0.001mol NH_4HCO_3 淋洗, 6~10 号为用 0.01mol NH_4HCO_3 淋洗)。

表 10 0.001mol、0.01mol NH_4HCO_3 淋洗液中 K^{+} 、 Rb^{+} 、 Cs^{+} 的质量分数($\times 10^{-6}$)
Table 10 K^{+} , Rb^{+} and Cs^{+} contents of the 0.001mol and 0.01mol NH_4HCO_3 eluent

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K^{+}	0.8	4.7	3.9	4.7	4.7	25.1	30.6	49.5	75.3	98.1
Rb^{+}	0.01	0.03	0.03	0.03	0.07	0.39	0.46	0.74	1.16	1.61
Cs^{+}	0.58	0.05	0.02	0.03	0.11	0.25	0.20	0.36	0.67	0.47

经计算, 用 0.001mol NH_4HCO_3 淋洗时, 淋洗下来 $K^{+} 2.82\text{mg}$ 、 $Rb^{+} 0.026\text{mg}$ 、 $Cs^{+} 0.12\text{mg}$, 再用 0.01mol NH_4HCO_3 淋洗时, 洗下来 $K^{+} 41.79\text{mg}$ 、 $Rb^{+} 0.65\text{mg}$ 、 $Cs^{+} 0.29\text{mg}$, 两次共洗下来 $K^{+} 44.61\text{mg}$ 、 $Rb^{+} 0.68\text{mg}$ 、 $Cs^{+} 0.41\text{mg}$, 由此可见, 用 0.00mol NH_4HCO_3 淋洗时, K^{+} 、 Rb^{+} 、 Cs^{+} 洗下来的很少, 浓度提高 10 倍, K^{+} 淋洗下来较

多, 但也夹带少量 Rb^{+} 和 Cs^{+} , 尤其是 Rb^{+} 不能很好地与 K^{+} 分开。综合以上分析, K^{+} 、 Rb^{+} 分开的希望很小。
二号柱继续用 0.01mol NH_4HCO_3 淋洗后, 改用 0.1mol HCl 接着进行淋洗, 温度 25℃, 流速 200mL/h, 每 200mL 接一个样, 分析结果如表 11 所示。

表 11 0.1mol HCl 淋洗液中 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 的质量分数($\times 10^{-6}$)

Table11 K^+ 、 Rb^+ and Cs^+ contents of the 0.1mol HCl eluent

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K^+	328	121	88.1	56.0	42.4	40.0	28.8	24.8	24.8	32.0	40.9	38.4
Rb^+	7.03	3.34	2.48	1.85	1.58	1.50	1.23	1.24	1.28	1.36	1.50	1.30
Cs^+	0.60	0.25	0.30	0.19	0.19	0.21	0.13	0.19	0.07	0.15	0.25	0.33
编号	13	14	15	16	17	18	19	20	21			
K^+	28.4	22.5	17.5	15.0	17.5	14.2	11.7	10.0	13.4			
Rb^+	1.18	1.10	0.96	0.89	0.96	0.91	—0.90	0.92	0.54			
Cs^+	0.21	0.21	0.23	0.21	0.25	0.23	0.21	0.28	0.29			

表 12 0.2mol HCl 淋洗液中 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 的质量分数($\times 10^{-6}$)

Table12 K^+ 、 Rb^+ and Cs^+ contents of the 0.2mol HCl eluent

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
K^+	5.75	6.58	7.35	7.65	9.83	13.3	22.9	17.4	9.10	6.05	5.30	4.25
Rb^+	0.83	0.90	0.91	0.99	1.24	1.56	2.19	4.31	0.96	0.81	0.74	0.63
Cs^+	0.51	0.44	0.48	0.41	0.55	0.56	0.84	2.04	0.55	0.53	0.48	0.46

表 13 0.5mol HCl 淋洗液中 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 的质量分数($\times 10^{-6}$)

Table 13 K^+ 、 Rb^+ and Cs^+ contents of the 0.5mol HCl eluent

编号	1	2	3	4	5	6	7	8
K^+	8.55	6.85	5.20	4.08	2.65	2.23	2.75	2.65
Rb^+	0.63	1.33	1.10	0.90	0.56	0.45	0.40	0.40
Cs^+	0.46	1.61	1.72	1.60	1.70	1.71	1.60	1.63

经计算淋洗下来 K^+ 214.82mg, Rb^+ 7.38mg, Cs^+ 0.65mg。

接着用 0.2mol HCl 淋洗, 温度 25℃, 流速 200mL/h, 每 200mL 接一个样, 分析结果如表 12 所示。

经计算淋洗下来 K^+ 28.86mg, Rb^+ 4.02mg, Cs^+ 1.98mg。

最后用 0.5mol HCl 淋洗, 温度 25℃, 流速 200mL/h, 每 200mL 接一个样, 分析结果如表 13 所示。

经计算淋洗下来 K^+ 8.74mg, Rb^+ 1.44mg, Cs^+ 3.00mg。用 HCl 共淋洗下来 K^+ 252.42mg, Rb^+ 12.84mg, Cs^+ 5.63mg。由上表可见, 用 HCl 淋洗也不能把 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 很好地分开。

3 结论

由以上实验结果, 可以得出这样一个结论:

用 NH_4HCO_3 溶液浸泡过的天然斜发沸石柱对 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 都有很好的吸附性能, 即可以把 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 从西藏地热水中提取出来。但提取出来之后无论是用 NH_4HCO_3 溶液还是用 HCl 溶液都不能把 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 很好地分离开, 这是因为它们都属于碱金属元素, 其吸附常数非常接近。所以单独用天然斜发沸石柱很难把它们分离开。这就给我们一个启示, 可以先用斜发沸石柱把 K^+ 、 Rb^+ 、 Cs^+ 从西藏地热水中提取出来, 再用其他方法(如用有机冠醚萃取分离等)把它们分离开。

参考文献:

[1] Zengxaxin·Water—Rock interact [A]·pro·int·Symp., 7th[C]. 1992, 2, 1379—86.

[2] 张知非, 朱梅湘, 刘时彬, 邵宏翔, 陈月团[J]. 北京大学学报(自然科学版), 1982, 3, 88—96.

[3] 邵鲁安. 理化检验—化学分册[M]. 1993, 2(29): 118—122.

- [4] 王尚武,侯瑞琴,陈莉云[J].核化学与放射化学,1999,2(2):147—152.
(21):110—114.
- [5] Vysokochist, Veshchestva[M]. 1995. 78—93.
- [6] 藏二乐,梁树权[J].应用化学,1995,3(12):107—108.
- [7] 孙永霞,姜长印,宋崇立[J].离子交换与吸附,1997,13(2):147—152.
- [8] Sylvester Paul. Clearfield, Abraham Sep [J]. Sci. Technol, 1998, 33(11):1605—1615.
- [9] 中国科学院青海盐湖研究所. 卤水和盐的分析方法(第二版)[M]. 北京:科学出版社,1988.

Study on the Extraction and Separation of K^+ , Rb^+ , Cs^+ with Natural Clinoptilolite from Geothermal Water in Tibet

WANG Xue-jing¹, GAO Shi-yang,² ZHOU Jian-guo¹, LU Yan¹

(1. College of Chemical and Enviromental Science, Henan Normal University, Xinxiang 453002, China;

2. Xi 'an Branch, Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy Of Sciences, Xi 'an 710043, China)

Abstract: This paper investigates the possibility of the extraction and separation of K^+ , Rb^+ and Cs^+ With natural clinoptilolite from geothermal water in Tibet according to the adsorption and ion-exchange performance of K^+ , Rb^+ and Cs^+ on the natural clinoptilolite.

Key word: Natural clinoptilolite; K^+ , Rb^+ , Cs^+ ; Extraction and separation