

[Article]

www.whxb.pku.edu.cn

RbBr/CsBr-CH₃OH/C₂H₅OH-H₂O 三元体系的溶解度

赵文霞 胡满成* 李淑妮 蒋育澄 张晓蕾 胡蕾 陈怀军

(陕西师范大学化学与材料科学学院, 西安 710062)

摘要: 采用自制的相平衡研究装置, 测定了 RbBr-CH₃OH/C₂H₅OH-H₂O 和 CsBr-CH₃OH/C₂H₅OH-H₂O 四个三元体系在 25、35、45 °C 三个温度下的平衡溶解度; 同时得到了四个三元体系饱和溶液中不同盐浓度下的折光率数据. 实验结果表明, 在所有的体系中, 随着甲醇或乙醇质量分数的增加, RbBr 和 CsBr 在水中的溶解度逐渐降低; 并且折光率也逐渐减小. 用经验关联方程对溶解度进行了拟合, 同时给出了 CH₃OH 和 C₂H₅OH 分别对 RbBr 和 CsBr 的盐析率曲线.

关键词: 溴化铷; 溴化铯; 甲醇; 乙醇; 溶解度; 折光率

中图分类号: O642

The Solubility of Ternary System RbBr/CsBr-CH₃OH/ C₂H₅OH-H₂O at Different Temperatures

ZHAO Wen-Xia HU Man-Cheng* LI Shu-Ni JIANG Yu-Cheng

ZHANG Xiao-Lei HU Lei CHEN Huai-Jun

(School of Chemistry and Materials Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, P. R. China)

Abstract: The solubilities of rubidium bromide and cesium bromide in water, water plus methanol, and water plus ethanol were measured by using accurate analytical method at different temperatures. And refractive indices were determined for the two ternary systems in saturated solution with varied salt concentrations as well. In all cases, the presence of either methanol or ethanol significantly reduced the solubilities of rubidium bromide and cesium bromide in aqueous solution, but the refractive indices reduced with the increasing mass fraction of either methanol or ethanol. The solubilities of the saturated solutions were fitted *via* polynomial equations as a function of the mass fraction of methanol or ethanol, and the salting-out ratios of RbBr and CsBr by methanol and ethanol were also obtained.

Key Words: Rubidium bromide; Cesium bromide; Methanol; Ethanol; Solubility; Refractive index

铷和铯是典型的稀有活泼碱金属, 并且是典型的分散元素, 很少形成独立的矿物, 而是存在于其他矿物中, 给铷和铯金属及其化合物的分离和提纯带来很多困难. 有机溶剂例如醇的存在明显降低了无机盐在水中的溶解度. 这种体系通常用在无机盐的结晶提纯中, 与传统的蒸发冷却相比, 这种方法将为在室温下得到高纯度晶体提供一种先进且简易的操作方法^[1]. 最近几年, 一些研究小组已经研究过这类

体系^[2-7]. 本实验比较系统地研究了 RbBr 和 CsBr 在 CH₃OH-H₂O 和 C₂H₅OH-H₂O 中不同温度下的溶解度, 旨在探讨利用价廉且无毒性的简单脂肪醇作为盐析剂分离纯化铷盐和铯盐的可行性, 为进一步的应用开发研究积累必备的基本参考数据.

1 实验部分

1.1 试剂和仪器

Received: October 24, 2006; Revised: December 7, 2006; Published on Web: April 18, 2007.

*Corresponding author. Email: hmch@snnu.edu.cn.

国家自然科学基金(20471035)及陕西省自然科学基金(2004B17)资助项目

甲醇、无水乙醇(99.5%, 分析纯, 西安化学试剂厂); 溴化铷、溴化铯(99.5%, 分析纯, 上海中理实业有限公司); 实验用水均为二次蒸馏水。

微型平衡溶解度测定装置[®]; 电子天平(FA1104, 上海精科天平厂); 原子吸收光谱仪 (TAS-986, 北京普析通用仪器公司); 美国PE-A型热重分析仪; 阿贝折光率仪(2WA-J, 上海光学仪器五厂, 精度为 1×10^{-4})。

1.2 实验步骤

在平衡管中依次加入预算量的 $\text{CH}_3\text{OH-H}_2\text{O}$ 或 $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH-H}_2\text{O}$, 再加入适当过量的 RbBr 或 CsBr 盐, 将样品夹置于半微量相平衡的转动盘上, 恒温水浴控温精度为 ± 0.1 °C. 达到预定温度后, 恒温转动

48 h, 不断观察, 确保每个平衡管中均有适量晶体存在, 否则需要补充盐, 重新进行上述过程, 再恒温静置约 24 h. 从平衡管中取出液相和固相进行分析. 样品取出后应立即测量折光率; 溶液中盐的含量通过在 150 °C 的高温下蒸发干燥后确定, 这种方法质量分数的误差为 $\pm 0.5\%$; 对于那些甲醇或乙醇的质量分数大于 80% 的样品, 盐的含量通过原子吸收法确定, 这种方法的盐的质量分数的误差在 $\pm 0.2\%$; 饱和溶液的折光率是用折光率仪平行测定三次后取其平均值得到的。

2 结果与讨论

$\text{RbBr/CsBr-CH}_3\text{OH/C}_2\text{H}_5\text{OH-H}_2\text{O}$ 在 25、35 和 45

表 1 $\text{RbBr(1)-CH}_3\text{OH(2)-H}_2\text{O(3)}$ 三元体系在 25、35 和 45 °C 的溶解度和折光率数据

Table 1 Solubility (S) and refractive index (n_D) for $\text{RbBr(1)-CH}_3\text{OH(2)-H}_2\text{O(3)}$ ternary system at 25, 35 and 45 °C

$100w_2$	w_2/w_3	$S/\text{g}(\text{per } 100 \text{ g of solvent})$	n_D	$100w_2$	w_2/w_3	$S/\text{g}(\text{per } 100 \text{ g of solvent})$	n_D
25 °C							
0.000	0.000	112.7	1.4109	32.40	0.8021	37.38	1.3765
5.329	0.1131	90.75	1.4029	36.77	0.9570	33.01	1.3740
5.687	0.1208	89.48	1.4021	39.31	1.048	30.15	1.3719
6.324	0.1344	87.29	1.4012	41.72	1.143	27.85	1.3700
19.46	0.4359	55.98	1.3865	46.63	1.364	23.73	1.3669
23.67	0.5470	49.39	1.3832	50.13	1.538	20.90	1.3645
24.36	0.5656	48.30	1.3822	55.92	1.896	17.08	1.3614
27.38	0.6494	43.82	1.3803	61.34	2.316	13.87	1.3584
29.65	0.7180	40.94	1.3782	pure methanol		0.6400	1.3458
35 °C							
0.000	0.000	124.7	1.4135	36.42	0.9960	36.99	1.3735
4.485	0.100	102.8	1.4069	37.29	1.028	35.97	1.3730
6.103	0.1368	97.11	1.4041	44.48	1.335	28.54	1.3675
8.695	0.1946	87.34	1.4005	49.99	1.621	23.71	1.3640
10.38	0.2359	83.85	1.3989	54.05	1.872	20.58	1.3615
11.68	0.2674	80.69	1.3970	59.68	2.300	16.78	1.3575
12.47	0.2851	77.96	1.3960	59.99	2.322	16.50	1.3572
18.61	0.4417	64.64	1.3893	80.32	6.047	6.837	1.3458
23.76	0.5839	55.16	1.3841	89.65	14.35	4.283	1.3403
26.76	0.6710	50.05	1.3813	pure methanol		0.9300	1.3350
31.91	0.8381	42.89	1.3771				
45 °C							
0.000	0.000	135.0	1.4155	37.53	1.092	39.11	1.3720
6.887	0.1616	102.0	1.4040	42.79	1.326	33.23	1.3683
8.416	0.1995	97.62	1.4030	47.58	1.568	28.32	1.3641
9.378	0.2225	94.09	1.4010	53.90	1.955	22.75	1.3598
10.60	0.2525	90.24	1.3992	57.69	2.244	19.91	1.3570
12.49	0.3017	85.52	1.3975	58.84	2.350	19.21	1.3569
15.34	0.3751	77.83	1.3941	68.15	3.357	13.06	1.3501
21.65	0.5486	63.64	1.3871	80.81	6.519	7.283	1.3421
31.13	0.8548	48.04	1.3780	87.12	14.17	7.213	1.3382
36.53	1.055	40.56	1.3735	pure methanol		1.600	1.3320

w_2 : mass fraction of CH_3OH ; w_3 : mass fraction of H_2O ; The solvent is the summation of the methanol and the water.

℃的溶解度及折光率数据分别列于表 1 至表 4 中. 从这几个表中可以看出, 在同一温度下随着甲醇或乙醇质量分数的增加, RbBr 和 CsBr 在混合溶剂中的溶解度逐渐减小, 体系的折光率也逐渐降低, 这种现象与文献报道的其他体系中的现象一致^[9-12].

在所研究体系中溶解度均用下列方程进行拟合^[13]:

$$\ln S = A + Bw_2 + Cw_2^2 + Dw_2^3 \quad (1)$$

其中 S 为盐的溶解度(每 100g 溶剂中溶解的盐的质量); w_2 代表甲醇或乙醇的质量分数. A 、 B 、 C 、 D 均为拟合参数, 所研究体系的拟合参数值及相对标准偏差(δ)列于表 5, 整个实验的相对标准偏差均小于 1.0%. 由热重分析确定, 所研究的体系中的平衡固相均为无水溴化铷和无水溴化铯.

图 1 为 RbBr-CH₃OH-H₂O 三元体系在 25、35 和 45 ℃ 的溶解度随甲醇质量分数变化趋势图. 由图 1 可以看出, 在不同温度下 RbBr 的溶解度随温度的升高而增大; 在同一温度下 RbBr 的溶解度随甲醇质量分数的增加而减小. 图中也观察到三个温度下 CsBr 的溶解度随甲醇质量分数变化的现象. 图 2 为 CsBr-C₂H₅OH-H₂O 三元体系 25 ℃ 的三元相图, 所研究的其他体系的三元相图与该三元相图类似.

图 3 为 RbBr-CH₃OH-H₂O 和 RbBr-C₂H₅OH-H₂O 两个三元体系在 25、35 和 45 ℃ 的溶解度随醇质量分数变化趋势图. 由图 3 可以看出, 在相同的温度下 RbBr 溶解度随 CH₃OH 质量分数变化趋势与 RbBr 溶解度随 C₂H₅OH 质量分数变化趋势具有一致性. CsBr-CH₃OH/C₂H₅OH-H₂O 体系中 CsBr 溶解度随醇

表 2 RbBr(1)-C₂H₅OH(2)-H₂O(3)三元体系在 25、35 和 45 ℃ 的溶解度和折光率数据

Table 2 Solubility (S) and refractive index (n_D) for RbBr(1)-C₂H₅OH(2)-H₂O(3) ternary system at 25, 35 and 45 ℃

100 w_2	w_2/w_3	$S/g(\text{per } 100 \text{ g of solvent})$	n_D	100 w_2	w_2/w_3	$S/g(\text{per } 100 \text{ g of solvent})$	n_D
25 ℃							
0.000	0.000	112.7	1.4109	32.93	0.7927	34.28	1.3880
4.099	0.08574	92.65	1.4055	39.87	1.014	26.26	1.3850
4.802	0.1003	89.76	1.4048	40.81	1.052	25.63	1.3845
5.115	0.1066	88.41	1.4045	48.14	1.371	20.11	1.3825
20.06	0.4378	51.77	1.3932	51.69	1.533	17.11	1.3810
23.84	0.5335	45.92	1.3919	56.49	1.816	14.16	1.3795
26.85	0.6129	41.53	1.3910	63.50	2.314	9.962	1.3779
31.85	0.7518	34.73	1.3880	pure ethanol		0.5700	1.3695
35 ℃							
0.000	0.000	124.7	1.4135	38.60	1.028	31.34	1.3849
6.858	0.1513	91.66	1.4055	42.72	1.195	27.44	1.3830
9.381	0.2069	82.77	1.4032	46.43	1.345	23.53	1.3820
12.23	0.2707	74.17	1.4005	49.74	1.517	21.16	1.3807
16.35	0.3710	65.48	1.3975	56.52	1.869	15.26	1.3775
18.30	0.4125	59.63	1.3953	60.91	2.183	12.60	1.3760
24.46	0.5735	49.01	1.3917	64.42	2.510	11.01	1.3752
24.77	0.5926	50.20	1.3922	84.77	6.542	2.326	1.3700
29.20	0.7071	41.84	1.3889	91.24	11.78	1.024	1.3682
31.20	0.7825	40.72	1.3882	pure ethanol		0.9100	1.3650
45 ℃							
0.000	0.000	135.0	1.4155	39.50	1.124	33.98	1.3841
7.525	0.1742	97.19	1.4062	44.29	1.328	28.81	1.3815
10.13	0.2354	88.11	1.4039	48.17	1.512	24.95	1.3791
13.02	0.3064	80.17	1.4010	54.62	1.871	19.32	1.3749
17.27	0.4141	69.51	1.3980	59.18	2.181	15.85	1.3740
17.43	0.4188	69.31	1.3978	63.18	2.494	12.97	1.3730
23.18	0.5756	57.61	1.3932	83.62	6.240	3.070	1.3663
27.53	0.7066	50.40	1.3910	91.56	12.86	1.334	1.3639
30.91	0.8149	45.27	1.3890	pure ethanol		1.505	1.3612
38.10	1.071	35.71	1.3845				

w_2 : mass fraction of C₂H₅OH; w_3 : mass fraction of H₂O; The solvent is the summation of the methanol and the water.

表3 CsBr(1)-CH₃OH(2)-H₂O(3)三元体系在 25、35 和 45 °C 的溶解度和折光率数据Table 3 Solubility (*S*) and refractive index (*n_D*) for CsBr(1)-CH₃OH(2)-H₂O(3) ternary system at 25, 35 and 45 °C

100 <i>w</i> ₂	<i>w</i> ₂ / <i>w</i> ₃	<i>S</i> /g(per100 g of solvent)	<i>n_D</i>	100 <i>w</i> ₂	<i>w</i> ₂ / <i>w</i> ₃	<i>S</i> /g(per100 g of solvent)	<i>n_D</i>
25 °C							
0.000	0.000	122.6	1.4041	37.68	1.006	33.10	1.3630
8.456	0.1891	88.09	1.3898	46.75	1.382	24.09	1.3570
11.12	0.2495	79.55	1.3860	63.02	2.474	13.00	1.3478
12.35	0.2787	76.47	1.3849	71.23	3.470	8.998	1.3433
19.40	0.4490	59.71	1.3772	81.32	5.990	5.377	1.3381
22.47	0.5295	54.03	1.3749	87.41	9.869	3.874	1.3348
28.31	0.6925	44.55	1.3698	pure methanol		2.418	1.3291
35 °C							
0.000	0.000	142.3	1.4171	35.63	1.000	40.33	1.3733
7.111	0.1699	104.2	1.4050	43.76	1.335	30.63	1.3667
10.81	0.2597	90.67	1.3991	60.79	2.404	16.17	1.3560
12.64	0.3067	85.64	1.3968	71.09	3.676	10.59	1.3492
15.65	0.3824	76.68	1.3931	79.66	5.738	6.909	1.3450
21.53	0.5397	62.83	1.3868	88.18	11.64	4.433	1.3400
28.55	0.7469	49.78	1.3800	pure methanol		2.790	1.3355
45 °C							
0.000	0.000	159.8	1.4203	34.94	1.046	46.28	1.3760
6.501	0.1680	121.2	1.4090	44.22	1.467	34.48	1.3661
8.051	0.2083	114.1	1.4065	63.95	2.933	16.60	1.3518
9.874	0.2564	106.7	1.4030	70.01	3.749	12.76	1.3485
14.07	0.3711	92.34	1.3968	81.82	7.188	7.294	1.3412
20.00	0.5436	76.07	1.3903	88.80	13.91	5.059	1.3371
23.06	0.6378	68.89	1.3869	pure methanol		3.650	1.3325

*w*₂, *w*₃ and solvent same as Table 1表4 CsBr(1)-C₂H₅OH(2)-H₂O(3)三元体系在 25、35 和 45 °C 的溶解度和折光率数据Table 4 Solubility (*S*) and refractive index (*n_D*) for CsBr(1)-C₂H₅OH(2)-H₂O(3) ternary system at 25, 35 and 45 °C

100 <i>w</i> ₂	<i>w</i> ₂ / <i>w</i> ₃	<i>S</i> /g (per 100 g of solvent)	<i>n_D</i>	100 <i>w</i> ₂	<i>w</i> ₂ / <i>w</i> ₃	<i>S</i> /g(per 100 g of solvent)	<i>n_D</i>
25 °C							
0.000	0.000	122.6	1.4132	41.17	1.099	27.20	1.3845
7.308	0.1595	88.27	1.4045	48.72	1.411	20.12	1.3820
10.25	0.2241	78.64	1.4005	63.91	2.301	9.064	1.3775
14.21	0.3123	67.45	1.3975	77.89	4.258	3.974	1.3745
18.69	0.4169	57.47	1.3947	83.67	5.923	2.252	1.3733
24.77	0.5698	46.55	1.3915	91.05	11.34	0.9305	1.3715
31.08	0.7498	37.87	1.3885	pure ethanol		0.3900	1.3690
35 °C							
0.000	0.000	142.3	1.4170	39.68	1.105	32.28	1.3841
8.323	0.1952	96.19	1.4058	51.17	1.621	20.84	1.3798
8.772	0.2064	95.00	1.4050	59.28	2.121	14.63	1.3768
11.83	0.2787	84.27	1.4018	73.16	3.541	6.580	1.3722
17.62	0.4216	68.35	1.3970	85.46	6.879	2.166	1.3691
24.23	0.5971	54.30	1.3922	88.45	8.848	1.584	1.3689
30.71	0.7921	43.95	1.3883	pure ethanol		0.6400	1.3650
45 °C							
0.000	0.000	159.8	1.4211	33.53	0.9467	45.04	1.3886
7.198	0.1812	113.1	1.4105	48.14	1.561	26.62	1.3796
8.656	0.2180	106.8	1.4082	61.35	2.388	14.89	1.3740
11.95	0.3029	94.52	1.4048	76.11	4.143	5.840	1.3690
16.09	0.4119	81.32	1.4008	83.92	6.412	3.087	1.3651
20.11	0.5235	70.86	1.3970	92.20	14.11	1.285	1.3641
27.40	0.7400	55.23	1.3921	pure ethanol		0.8921	1.3621

*w*₂, *w*₃ and solvent same as Table 2

表 5 溶解度数据用方程(1)拟合后所得参数值及其标准偏差
Table 5 Values of parameters of Eq.(1) and standard deviations (δ)

$T/^\circ\text{C}$	A	B	C	D	δ
RbBr(1)-CH ₃ OH(2)-H ₂ O(3)					
25	4.701	-3.812	2.496	-2.976	0.2227
35	4.811	-3.996	3.280	-3.628	0.5531
45	4.876	-3.689	2.166	-2.438	0.5249
RbBr(1)-C ₂ H ₅ OH(2)-H ₂ O(3)					
25	4.719	-4.804	5.855	-6.900	0.4442
35	4.824	-4.807	5.871	-6.809	0.5370
45	4.902	-4.589	5.354	-6.321	0.4057
CsBr(1)-CH ₃ OH(2)-H ₂ O(3)					
25	4.809	-4.132	2.812	-2.989	0.1791
35	4.955	-4.483	3.984	-3.922	0.4484
45	5.070	-4.317	3.537	-3.527	0.5730
CsBr(1)-C ₂ H ₅ OH(2)-H ₂ O(3)					
25	4.809	-4.859	5.528	-6.539	0.2072
35	4.957	-5.069	6.168	-6.926	0.2851
45	5.071	-5.053	6.261	-7.075	0.4822

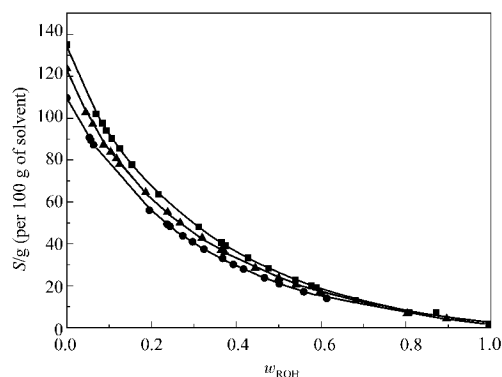


图 1 RbBr-CH₃OH-H₂O 体系在不同温度下的溶解度随甲醇质量分数的变化

Fig.1 Solubility (S) for the RbBr-CH₃OH-H₂O ternary system at different temperature as a function of the methanol mass fraction

● 25 °C, ▲ 35 °C, ■ 45 °C

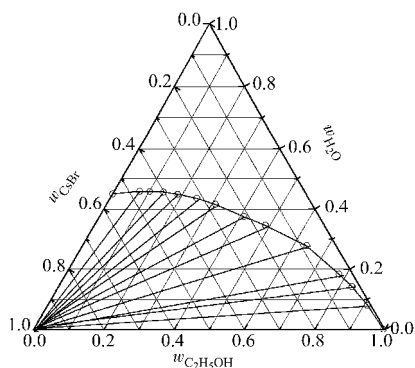


图 2 CsBr-C₂H₅OH-H₂O 体系 25 °C 的相图

Fig.2 The phase diagram of CsBr-C₂H₅OH-H₂O ternary system at 25 °C

质量分数变化图中也观察到同样的现象。

图 4 为 RbBr-C₂H₅OH-H₂O 体系不同温度折光率随乙醇质量分数的变化. 由图 4 可以看到, 在 RbBr-C₂H₅OH-H₂O 体系中, 45 °C 的折光率随乙醇质量分数的增加下降较 35 °C 的快, 25 °C 的折光率随乙醇质量分数的增加下降较 35 °C 的慢. 三条线相交于乙醇质量分数约 0.3 处. 在所研究的其他几个三元体系中也存在这种现象. 此现象可以解释为饱和和溶液体系的折光率主要受三个因素影响, 一是混合溶剂的组成, 二是盐的浓度, 三是温度. 折光率随着盐的质量分数和有机溶剂含量的增加而增加, 但是盐的

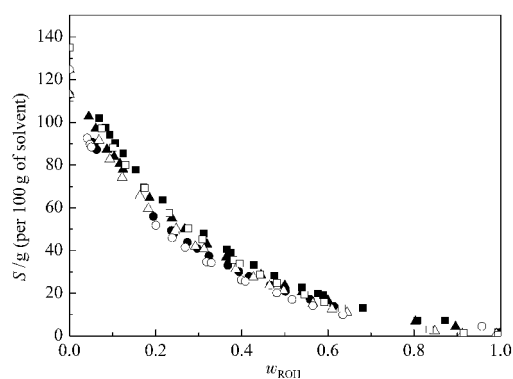


图 3 RbBr-CH₃OH-H₂O 和 RbBr-C₂H₅OH-H₂O 体系在不同温度下的溶解度随醇质量分数的变化

Fig.3 Solubility (S) for the RbBr-CH₃OH-H₂O and RbBr-C₂H₅OH-H₂O ternary systems at different temperatures as a function of the methanol or ethanol mass fraction

● 25 °C (methanol), ▲ 35 °C (methanol), ■ 45 °C (methanol),
○ 25 °C (ethanol), △ 35 °C (ethanol), □ 45 °C (ethanol)

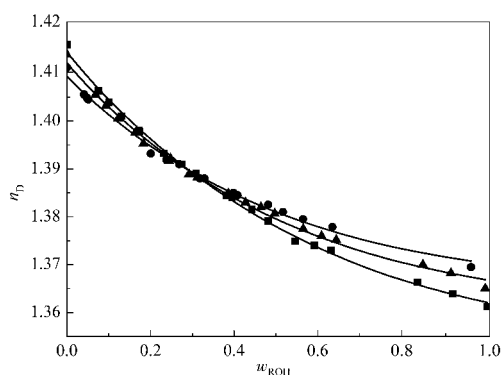


图4 RbBr-C₂H₅OH-H₂O体系在不同温度折光率随乙醇质量分数的变化

Fig.4 The refractive index (n_D) of RbBr-C₂H₅OH-H₂O system at different temperatures as a function of the ethanol mass fraction

● 25 °C, ▲ 35 °C, ■ 45 °C

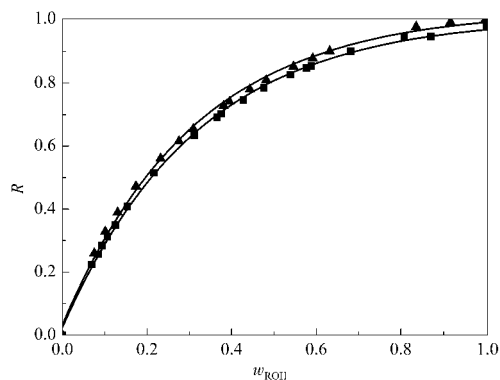


图5 45 °C时甲醇和乙醇分别对RbBr的盐析率曲线

Fig.5 The curves of the rate of salt-out for the methanol and ethanol versus rubidium bromide separately at 45 °C

■ methanol, ▲ ethanol

溶解度随着有机溶剂含量的增加而减小,所以这两个因素是相反的;另一方面,折光率随着温度的升高而降低,但是盐的溶解度随着温度的升高而增大,所以这两个因素也是相反的;因此在交点之前,溶液的组成是主要因素,而在交点之后,温度是主要因素.

由图5可以看出,在同一个温度下,乙醇对RbBr的盐析作用比甲醇对RbBr的盐析作用强.在所研究的CsBr的两个三元体系中也观察到同样的现象.

3 结论

本文比较系统地研究了RbBr-CH₃OH-H₂O, RbBr-C₂H₅OH-H₂O, CsBr-CH₃OH-H₂O和CsBr-C₂H₅OH-H₂O

四个三元体系多温度下的相平衡情况,给出了不同温度下RbBr及CsBr在CH₃OH-H₂O和C₂H₅OH-H₂O中的溶解度及折光率数据,并对溶解度进行了拟合,得到了比较好的结果.同时比较了在相同温度下甲醇和乙醇分别对溴化铷及溴化铯的盐析效果,由分析得知,在相同温度下,乙醇对溴化铷和溴化铯的盐析效果比甲醇强.这些数据对在水溶液中分离和提纯溴化铷和溴化铯有很大的帮助.

References

- Mullin, J. W. *Crystallization*. 3rd ed. London: Butterworth Heinemann, 1993
- Hu, M. C.; Zhai, Q. G.; Liu, Z. H.; Xia, S. P. *J. Chem. Eng. Data*, **2003**, *48*(6): 1561 [胡满成, 翟全国, 刘志宏, 夏树屏. 化学工程数据, **2003**, *48*(6): 1561]
- Zhai, Q. G.; Hu, M. C.; Liu, Z. H.; Xia, S. P. *Chinese Journal of Chemistry*, **2004**, *22*(1): 14
- Hu, M. C.; Meng, M.; Gao, S. Y.; Liu, Z. H.; Xia, S. P. *Chem. J. Chin. Univ.*, **2002**, *23*(7): 1219 [胡满成, 孟梅, 高世扬, 刘志宏, 夏树屏. 高等学校化学学报, **2002**, *23*(7): 1219]
- Hu, M. C.; Liu, Z. H.; Gao, S. Y.; Xia, S. P.; Hao, L. X.; Yue, X. L. *Chem. J. Chin. Univ.*, **2000**, *21*(11): 1717 [胡满成, 刘志宏, 高世扬, 夏树屏, 郝丽霞, 岳先丽. 高等学校化学学报, **2000**, *21*(11): 1717]
- Héctor, R. G.; María, E. T.; Teófilo A. G. *J. Chem. Eng. Data*, **2003**, *48*: 405
- Zhang, F. X.; Zhao, P.; Yang, Q.; Shi, Q. Z. *Chem. J. Chin. Univ.*, **1999**, *20*(10): 1499 [张逢星, 赵霏, 杨琴, 史启祯. 高等学校化学学报, **1999**, *20*(10): 1499]
- Zhai, Q. G.; Hu, M. C.; Liu, Z. H.; Xia, S. P.; Gao, S. Y. *Acta Phys. - Chim. Sin.*, **2003**, *19*(11): 1089 [翟全国, 胡满成, 刘志宏, 夏树屏, 高世扬. 物理化学学报, **2003**, *19*(11): 1089]
- Zhang, F. X.; Wei, X. L.; Zhou, X. *Chem. J. Chin. Univ.*, **1997**, *18*(4): 605 [张逢星, 魏小兰, 周霞. 高等学校化学学报, **1997**, *18*(4): 605]
- Li, S. N.; Hu, M. C.; Jin, L. H.; Zhang, X. L.; Jiang, Y. C. *Chinese Journal of Chemistry*, **2005**, *23*(10): 1348
- Zhang, J.; Gao, S. Y.; Xia, S. P. *Chinese Journal of Inorganic Chemistry*, **2002**, *18*(12): 1241 [张军, 高世扬, 夏树屏. 无机化学学报, **2002**, *18*(12): 1241]
- Li, M. H.; Gao, S. Y.; Xia, S. P.; Yue, T. *Chinese Journal of Rare Metals*, **2003**, *27*(2): 238 [李明华, 高世扬, 夏树屏, 岳涛. 稀有金属, **2003**, *27*(2): 238]
- Xia, S. P.; Zhang, X. J.; Wang, G. F.; Gao, S. Y. *Chinese Journal of Applied Chemistry*, **1989**, *6*(5): 63 [夏树屏, 张晓军, 王桂芬, 高世扬. 应用化学, **1989**, *6*(5): 63]