

玻利维亚 Uyuni 盐湖卤水 25 °C 等温蒸发实验

李陇岗^{1,2}

(1. 青海中信国安科技发展有限公司, 青海 格尔木 816000;

2. 硫酸盐型盐湖资源综合利用青海省重点实验室, 青海 格尔木 816000)

摘要:本文开展了玻利维亚 Uyuni 盐湖卤水 25 °C 等温蒸发实验研究。参考 Na^+ 、 K^+ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ 、 SO_4^{2-} - H_2O 五元体系 298K(介稳)相图和 Li^+ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ 、 SO_4^{2-} - H_2O 四元交互体系 298K(介稳)相图进行了理论分析,利用 X 射线衍射测试了析出矿物的物相,结合化学分析结果,研究了该卤水在等温蒸发过程盐类矿物的结晶路线和析出顺序,为 Uyuni 盐湖卤水的综合利用提供基础数据。

关键词:玻利维亚 Uyuni 盐湖;等温蒸发;结晶路线;矿物析出顺序

中图分类号:O642.542

文献标识码:A

文章编号:1008-858X(2021)02-0044-06

0 引言

Uyuni 盐湖位于玻利维亚波多西省,海拔 3 653 m,面积 10 085 km²,为安第斯山脉的东西两条雁列山脉围绕,是世界上面积最大的盐湖^[1]。Uyuni 盐湖矿区日照强烈,多风少雨,气候干旱^[2],年蒸发量 1 100~2 200 mm,年降雨量 100~500 mm。卤水呈硫酸镁亚型,富含钾、镁、硼、锂和溴。研究资料^[3]显示,乌尤尼盐湖 140 多个钻孔控制的 LiCl 、 KCl 、 B_2O_3 资源储量分别为 5 496.9 万吨、54 442 万吨和 3 223 万吨,推测的 Br 资源量约 177 万吨,上述盐类矿物中,锂资源储量居世界第一。

等温蒸发实验是盐湖卤水综合利用过程中最

为重要的基础性研究工作。通过等温蒸发实验可获得卤水中各种盐类矿物的析出顺序和变化规律、卤水物理性质变化以及各种盐类矿物之间的相互转化关系,为盐湖卤水综合利用工程提供重要参数和基础数据。Uyuni 卤水中除了含有钾硼锂镁外,还含有溴元素,迄今为止对于该盐湖卤水的等温蒸发研究未见有文献报道。

1 实验

1.1 实验原料

实验卤水由玻利维亚国家锂公司(YLB)提供,取自乌尤尼盐湖南部区域,用量 20L,卤水密度 1.226 0 g/cm³(25 °C),化学成分见表 1。

表 1 Uyuni 盐湖卤水各元素含量

Table 1 The chemical composition of Uyuni salt lake brine

化学成分	Na^+	K^+	Mg^{2+}	Li^+	Br^-	Cl^-	SO_4^{2-}	B_2O_3
含量/(g · L ⁻¹)	93.871	15.432	17.312	0.638	0.152	193.069	23.100	2.287

1.2 等温蒸发装置及实验方法

等温蒸发装置系自制,由蒸发箱、控制器、热源和排风系统组成(图 1)。蒸发箱体顶端安装 3

个 300W 紫外线灯作为热源,由数显控制仪表自动控制,温度传感器采用 PT100 型铂电阻;箱体两端安装排风扇,由控制器自动控制间歇排风,蒸发装置控温精度 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。

量取 Uyuni 卤水 20L,称重后倒入 25L 圆形塑料盆中,置入蒸发箱,设置温度 25 ℃;同时将表面皿放入塑料盆中,当表面皿中析出固体后,蒸发卤水称重,计算蒸失率;同时取固体和液体进行化学分析,测试其化学组成及相关物理性质,获得矿物析出顺序;将分段点析出的固体进行 X 射线衍射物相分析,确定其矿物种类。

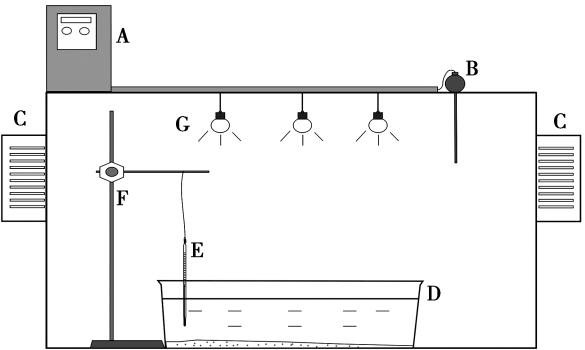


图 1 等温蒸发装置

(A 数显控制器,B PT100 型热电偶,C 排风扇,D 塑料盆, E 水银温度计,F 铁架台,G 紫外线灯)

Fig. 1 Isothermal evaporation device (A Digital controller, B PT100 sensor, C Fan, D Plastic basin, E Thermometer, F Iron support, G UV light)

1.3 测试方法

Li⁺ 火焰原子吸收分光光度法;Na⁺ 差减法;K⁺ 四苯硼钠—季铵盐容量法;Mg²⁺ EDTA 容量法;Cl⁻ 硝酸银容量法;SO₄²⁻ EDTA—钡盐容量法;B₂O₃ 甘露醇容量法;Br⁻ 硫代硫酸钠容量法;矿物物相测试采用 SIEMENS D500 型 X 射线粉末衍射仪。

2 相图分析

硫酸镁亚型卤水等温蒸发过程可以使用 Na⁺、K⁺、Mg²⁺/Cl⁻、SO₄²⁻—H₂O 五元体系 298K (介稳)相图^[4]来进行分析,指导蒸发实验。考虑到蒸发后期即液相 [Li⁺] ≥4.4g·L⁻¹ 时锂盐对蒸发结晶路线的影响,使用 Li⁺、Mg²⁺/Cl⁻、SO₄²⁻—H₂O 四元交互体系 298K(介稳)相图^[5]进行蒸发过程辅助分析。图 2A 中原卤水系统点位于氯化钾相区 L-00 点,连接氯化钾固相点与 L-00 点并与氯化钾和软钾镁矾共饱和和线相交于 O 点,根据向量规则,蒸发过程中液相点 L-00 结晶路线为 L-00→O→C→D→F,依次经过钾石盐相区、钾石盐和软钾镁矾共饱和区、钾石盐和泻利盐共饱和区、泻利盐和光卤石共饱和区,水氯镁石相区。同理,连接图 2B 中泻利盐固相点 M 与 L-00,蒸发射线与 Li₂SO₄·H₂O 和 MgSO₄·6H₂O 共饱和和线 AF 相交于 O 点,根据向量规则,液相点 L-00 结晶路线为 L-00→O→F,脱钾后的老卤蒸发过程将出现 Li₂SO₄·H₂O 的集中析出段,体系最终在水氯镁石相区、一水硫酸锂相区和六水泻盐相区共饱和点蒸干。因此,分析推测可得到如下的结晶路线:① 石盐;② 钾石盐;③ 钾石盐+软钾镁矾;④ 钾石盐+七水泻盐;⑤ 石盐+光卤石+七水泻盐;⑥ 水氯镁石+六水泻盐+一水硫酸锂。

3 实验结果与讨论

3.1 等温蒸发结晶路线与结晶顺序

Uyuni 卤水 25 ℃ 等温蒸发过程液相、固相中各组分含量变化见表 2,表 3。

表 2 Uyuni 卤水 25 ℃ 等温蒸发过程液相各组分浓度变化

Table 2 Chemical composition change of the liquid phase in the process of isothermal evaporation of Uyuni salt lake brine at 25℃

液相 编号	密度 (g·cm ⁻³)	蒸失率 /%	液相各组分浓度/(g·L ⁻¹)								相图指数*		
			Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Br ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B ₂ O ₃	JK ₂ ⁺⁺	JMg ²⁺	JSO ₄ ²⁻
L-00	1.226 0	0.00	93.871	15.432	17.312	0.638	0.152	193.069	23.100	2.287	17.16	61.93	20.91
L-01	1.232 6	22.52	85.979	21.573	23.220	0.832	0.196	197.948	31.238	2.993	17.73	61.38	20.89
L-02	1.246 5	26.32	76.783	24.426	27.973	1.083	0.259	198.808	33.915	3.670	17.20	63.36	19.44

续表 2:

液相 编号	密度 /(g·cm ⁻³)	蒸失率 /%	液相各组分浓度/(g·L ⁻¹)								相图指数*		
			Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Br ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B ₂ O ₃	JK ₂ ⁺⁺	JMg ²⁺	JSO ₄ ²⁻
L-03	1.253 0	35.74	69.363	30.727	31.931	1.259	0.300	198.250	43.050	4.175	18.24	60.97	20.80
L-04	1.260 1	40.09	61.051	34.643	36.681	1.440	0.343	199.181	48.300	4.852	18.05	61.47	20.48
L-05	1.276 9	46.71	52.635	41.174	43.543	1.644	0.392	205.696	57.381	5.603	18.06	61.45	20.49
L-06	1.285 8	51.31	40.319	46.760	51.328	1.943	0.463	209.419	64.785	6.674	17.67	62.40	19.93
L-07	1.289 9	54.06	37.116	43.509	56.210	2.129	0.507	211.280	70.955	7.529	15.42	64.10	20.47
L-08	1.299 6	58.77	19.603	33.240	74.366	2.898	0.690	215.003	91.008	9.465	9.59	69.03	21.37
L-09	1.303 3	60.90	16.583	30.900	78.113	3.125	0.744	219.099	90.933	10.689	8.67	70.55	20.78
L-10	1.310 6	64.00	15.807	25.194	86.558	3.818	0.906	245.718	80.210	13.664	6.83	75.48	17.70
L-11	1.313 3	64.39	14.522	20.507	89.488	4.445	1.059	253.164	75.583	15.058	5.54	77.83	16.63
L-12	1.319 7	66.88	11.901	11.523	92.778	5.240	1.206	259.679	65.299	17.493	3.17	82.19	14.64
L-13	1.322 7	69.12	12.406	4.492	101.832	6.175	1.306	287.602	58.294	20.238	1.18	86.32	12.50
L-14	1.333 0	69.51	9.430	2.808	105.806	6.520	1.342	296.909	53.679	21.537	0.73	87.98	11.29
L-15	1.355 4	72.80	5.591	0.705	119.098	4.675	1.382	319.624	46.892	25.271	0.17	90.79	9.04
L-16	1.414 6	73.11	4.334	0.387	120.771	4.725	1.394	320.373	46.769	27.476	0.09	90.99	8.92

* 相图指数: $\Sigma(JK_2^{++} + JMg^{2+} + JSO_4^{2-}) = 100\%$ 。

表 3 Uyuni 卤水 25 ℃等温蒸发过程析出固相各元素含量变化

Table 3 Chemical composition of solid phases precipitated in the process of isothermal evaporation of Uyuni salt lake brine at 25℃

固相 编号	蒸失率 /%	析出固相各组分含量*/%							
		Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Br ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B ₂ O ₃
S-01	22.52	36.34	0.19	0.33	0.003 2	未检出	56.55	0.86	0.013
S-02	26.32	37.69	0.15	0.24	0.004 5	未检出	58.27	0.95	0.012
S-03	35.74	37.69	0.18	0.30	0.004 9	未检出	58.66	0.69	0.015
S-04	40.09	36.42	0.55	0.34	0.004 6	未检出	57.11	0.75	0.013
S-05	46.71	37.08	0.58	0.33	0.004 1	未检出	58.21	0.64	0.014
S-06	51.31	25.93	15.22	0.36	0.014	未检出	54.31	0.78	0.018
S-07	54.06	25.01	15.71	0.38	0.018	未检出	53.43	0.76	0.019
S-08	58.77	19.18	18.82	1.37	0.023	未检出	47.62	4.21	0.031
S-09	60.90	7.85	8.70	6.47	0.033	未检出	21.16	24.12	0.070
S-10	64.00	7.56	8.77	8.43	0.046	未检出	31.77	17.03	0.090
S-11	64.39	4.90	9.04	8.45	0.047	0.012	28.05	16.88	0.13
S-12	66.88	3.70	7.49	8.79	0.051	0.015	25.83	16.87	0.12
S-13	69.12	2.61	6.45	8.77	0.068	0.014	23.30	16.78	0.12
S-14	69.51	2.25	4.46	8.87	0.079	0.016	19.48	18.98	0.30
S-15	72.80	1.86	4.43	4.34	4.38	0.022	23.66	24.33	0.30
S-16	73.11	0.29	0.27	9.67	0.87	0.026	28.11	6.58	0.37

* 所有固相样品均为湿基。

卤水等温蒸发过程液相点变化标于 Na⁺、K⁺、Mg²⁺/Cl⁻、SO₄²⁻-H₂O 五元体系 298K(介稳)相图(图 2A),卤水蒸发后期即[Li⁺]≥4.4g·L⁻¹后液相点变化标于 Li⁺、Mg²⁺/Cl⁻、SO₄²⁻-H₂O 四

元交互体系 298K(介稳)相图(图 2B)。由图 2 可知,Uyuni 卤水在 25 ℃等温蒸发过程实际的结晶路线与相图分析路线基本一致。

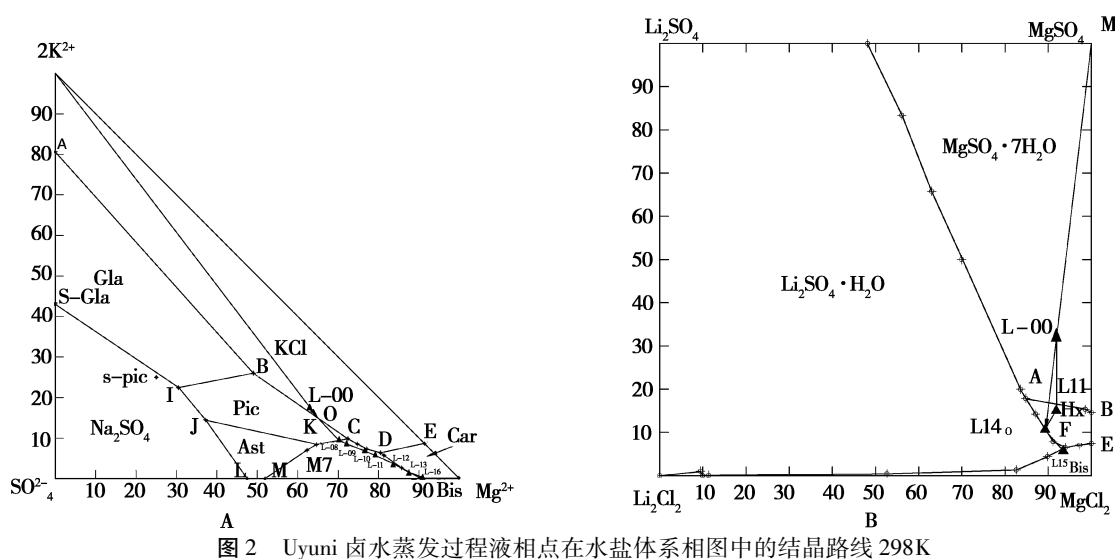


图2 Uyuni 卤水蒸发过程液相点在水盐体系相图中的结晶路线 298K
(A, Na^+ 、 K^+ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ 、 SO_4^{2-} - H_2O 五元体系; B, Li^+ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ 、 SO_4^{2-} - H_2O 四元交互体系)

Fig. 2 Crystallization path of liquid phase points in Salt - H_2O phase diagram at 298K during isothermal evaporation of Uyuni brine (A Na^+ 、 K^+ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ 、 SO_4^{2-} - H_2O quinary system, B Li^+ 、 $\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-$ 、 SO_4^{2-} - H_2O quaternary system)

3.2 卤水蒸发过程钾、硼、锂、溴富集规律及析出固相的物相分析

据表2,表3中数据,卤水蒸发过程中,钾盐析出部分分为4段。当蒸失率达到51.31%,液相 $[\text{K}^+]$ 达到 $46.76 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,钾石盐开始析出,此后液相 $[\text{K}^+]$ 逐渐降低。 $[\text{K}^+]$ 从 $46.76 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 至 $33.240 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 为第1段,固液分离后混合样中 K^+ 含量达到17.40%,折合 KCl 33.18%, Mg^{2+} 含量低于1%,是生产氯化钾的优质原料。 $[\text{K}^+]$ 从 $33.240 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 至 $30.900 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 为第2段,此阶段钾石盐和软钾镁矾共析,这个过程很短暂,固相 Mg^{2+} 含量由0.38%升至1.37%, SO_4^{2-} 含量由

0.76%升至4.21%,但由于固相中 K^+ 含量仍高达18.82%, Cl^- 含量达47.62%,钾石盐析出量居多而软钾镁矾量少,为方便盐田作业,第1、第2段可合并作钾石盐段。 $[\text{K}^+]$ 从 $30.900 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 至 $20.507 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 为第3段,此阶段钾石盐和泻利盐共析。 $[\text{K}^+]$ 从 $20.507 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 至 $2.808 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 为第4段,此阶段光卤石和泻利盐共析。从图4可以看出第3第4段固相 SO_4^{2-} 含量随蒸失率的显著变化,将第3段和第4段析出矿物取综合样,测试结果显示 K^+ 6.58%, Mg^{2+} 6.80%, Cl^- 24.20%, SO_4^{2-} 21.14%,固相点落于软钾镁矾相区,适合作为生产硫酸钾产品的原料,故可将第3、第4段合并做钾混盐段。

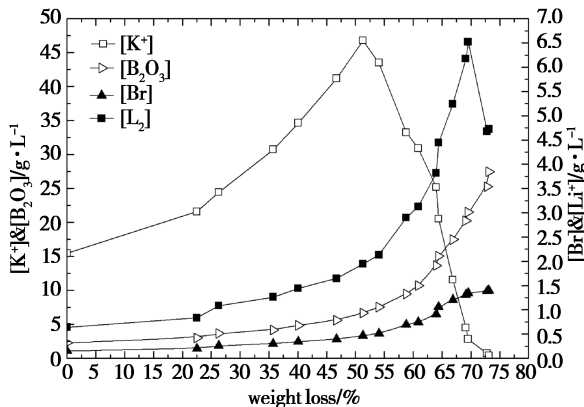


图3 等温蒸发过程液相 K^+ 、 B_2O_3 、 Br^- 、 Li^+ 浓度与蒸失率变化关系

Fig. 3 The concentration variation of K^+ 、 B_2O_3 、 Br^- and Li^+ in liquid phase with weight loss in evaporation

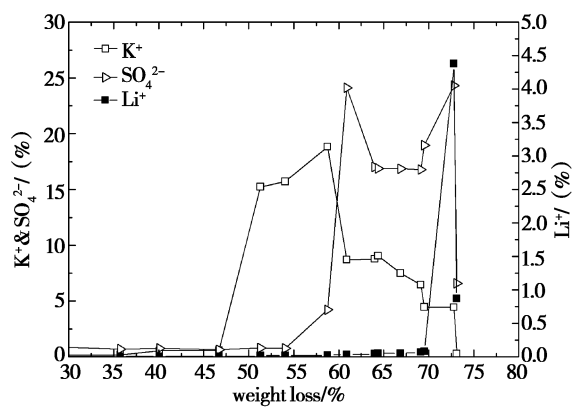


图4 等温蒸发过程固相 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 Li^+ 含量随蒸失率变化关系

Fig. 4 The content variation of K^+ 、 SO_4^{2-} and Li^+ in solid phase with weight loss in evaporation

Li^+ 的富集行为同时受 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 浓度影响。当 $[\text{Mg}^{2+}]$ 低于 $105 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, $[\text{Li}^+]$ 从 $0.638 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 富集至 $6.520 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 固相 Li^+ 含量低于 0.1% , 处于富集状态。当 $[\text{Mg}^{2+}]$ 高于 $105 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $[\text{SO}_4^{2-}]$ 高于 $40 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 由于 $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的析出, 液相 $[\text{Li}^+]$ 从 $6.520 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 降低至 $4.675 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 固相中的 Li^+ 含量骤升至 4.38% 。由图 3 和图 4 可以判断蒸发率从 69.51% 上升至 72.8% 是一水硫酸锂的集中析出段, 继续蒸发液相 $[\text{Li}^+]$ 上升非常缓慢, 基本维持在 $4.0 \sim 5.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 而固相中 Li^+ 含量低于 1% , 固相成分主要是水氯镁石和一水硫酸锂。

B_2O_3 和 Br^- 在卤水蒸发过程中一直处于富集状态。图 3 液相中 $[\text{B}_2\text{O}_3]$ 和 $[\text{Br}^-]$ 分别从 $2.287 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.152 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 浓缩至 $27.476 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1.394 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 固相 B_2O_3 和 Br^- 含量均很低, 蒸发过程造成的损失属于夹带。

图 5 显示了 Uyuni 卤水蒸发过程析出矿物的

X 射线衍射图谱。通过与标准 PDF 卡片进行对比, 钾盐析出段确定了钾石盐、光卤石、七水泻盐、六水泻盐 4 种矿物, 老卤蒸发段确定了光卤石、水氯镁石、六水泻盐和一水硫酸锂 4 种矿物, 等温蒸发过程中析出盐类矿物结晶度较高, 衍射峰形尖锐, 容易辨识。XRD 物相分析与相图分析差异有两处。一处是在钾石盐和软钾镁矾共析段, 由于该段蒸发射线很短, 固相综合样中软钾镁矾含量较低, 故 XRD 未能检出软钾镁矾矿物; 另一处, 是在老卤蒸发过程一水硫酸锂集中析出时, 伴随有光卤石和六水泻盐共析。化学分析数据显示该老卤继续蒸发时主要析出水氯镁石和一水硫酸锂, 此时液相中的 Li^+ 很难富集, 故老卤蒸发过程应分为两段。

综上所述, 将结晶路线调整如下: ①石盐; ②钾石盐; ③钾石盐 + 七水泻盐; ④石盐 + 光卤石 + 六水泻盐; ⑤水氯镁石 + 六水泻盐 + 一水硫酸锂; ⑥水氯镁石 + 一水硫酸锂。

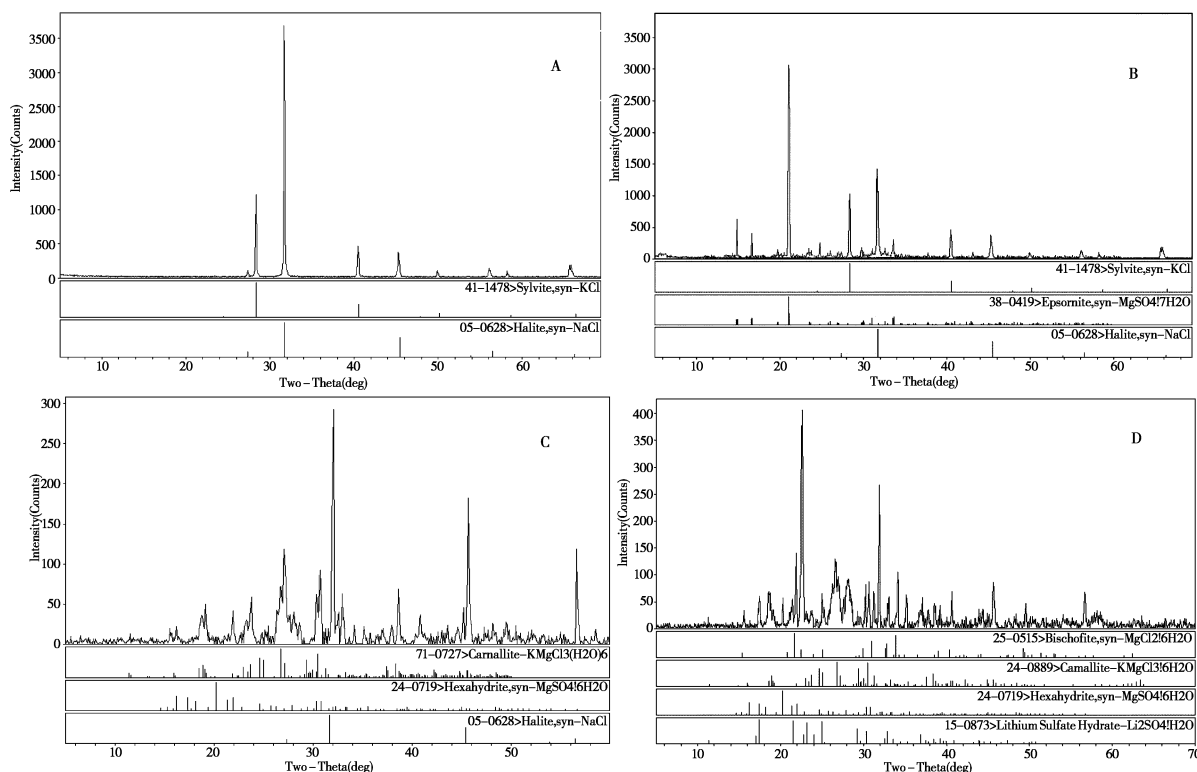


图 5 Uyuni 盐湖卤水等温蒸发过程析出固相的 XRD 图谱

(A 钾石盐, B 钾石盐 + 七水泻盐, C 石盐 + 光卤石 + 六水泻盐, D 水氯镁石 + 一水硫酸锂 + 光卤石 + 六水泻盐)

Fig. 5 XRD test of solid phase during evaporation of the Uyuni brine

(A sylvite, B sylvite + epsomite, C halite + carnallite + hexahydrate, D bischofite + $\text{Li}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ + Carnallite + hexahydrate)

4 实验小结

从上述实验结果,总结如下:Uyuni 盐湖卤水蒸发过程可以运用 $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ 五元体系 298K(介稳)相图和 $\text{Li}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ 四元交互体系 298K(介稳)相图进行解释,指导盐田作业。钾盐在等温蒸发过程中分为4段,主要析出的矿物有钾石盐、软钾镁矾、光卤石、泻利盐(七水和六水)。从盐田生产角度考虑,将钾盐析出过程分为钾石盐和钾混盐两段较为合理,适合生产氯化钾和硫酸钾产品。老卤蒸发过程分为两段,1段析出钾锂镁混盐,2段析出水氯镁石和一水硫酸锂混盐。其中,1段钾锂镁混盐中 Li^+ 含量达到 4.38%,镁锂比接近 1:1,可以用来生产碳酸锂或者氢氧化锂;2段蒸发过程锂的分布较分散,不利于锂的提取。溴和硼在等温蒸发过程处于富集状态,老卤中 $[\text{Br}^-]$ 和 $[\text{B}_2\text{O}_3]$ 分别为 $1.394 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $27.476 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,适合生产溴素和硼酸产品。通过对析出固相的 XRD 物相分析,结合化学分析结果,Uyuni 盐

湖卤水在 25 ℃ 等温蒸发过程结晶路线如下:①石盐;②钾石盐;③钾石盐 + 七水泻盐;④石盐 + 光卤石 + 六水泻盐;⑤水氯镁石 + 六水泻盐 + 一水硫酸锂;⑥水氯镁石 + 一水硫酸锂。

参考文献:

- [1] Maria Daniela Sanchez Lopez. From a White Desert to the Largest World Deposit of Lithium; Symbolic Meanings and Materialities of the Uyuni Salt Flat in Bolivia[J]. Antipode, 2019, 51(4): 1318–1339.
- [2] L. V. Godfrey, L. – H. Chan, R. N. etc. The role of climate in the accumulation of lithium-rich brine in the Central Andes [J]. 2013(38): 92–102.
- [3] Francois Risacher, Bertrand Fritz. Quaternary geochemical evolution of the salars of Uyuni and Coipasa, Central Altiplano, Bolivia[J]. Chemical Geology, 1991(90): 211–231.
- [4] 金作美, 肖显志, 梁式梅. $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ 五元体系介稳平衡的研究[J]. 化学学报, 1980, 38(4): 313–321.
- [5] 任开武, 宋彭生. 四元交互体系 $\text{Li}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ 25 ℃ 相平衡及物化性质研究[J]. 无机化学学报, 1994, 10(1): 69–74.

Study on the Isothermal Evaporation of Uyuni Salt Lake Brine, Bolivia at 25 ℃

LI Long-gang^{1,2}

- (1. Qinghai CITIC Guoan Technology Development Co., Ltd, Golmud 816000, China;
2. Qinghai Key Lab of Sulfate Type Salt Lakes Utilization, Golmud 816000, China)

Abstract: The isothermal evaporation of Uyuni salt lake brine in Bolivia at 25 ℃ was studied in this paper, the crystallization paths and the precipitation regularities of salts were theoretically determined by solubility phase diagram of $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ quinary system and $\text{Li}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}-\text{H}_2\text{O}$ quaternary system at 25 ℃. After that the crystallization paths and the precipitation regularities of salts in process of isothermal evaporation were confirmed through XRD and Chemical analysis. The paper provided basic data for utilization of elements such as potassium, lithium, magnesium, boron and bromine in Uyuni salt lake brine.

Key words: Uyuni salt lake; Bolivia; Isothermal evaporation at 25 ℃; Crystallization path; Precipitation regularity