

一里坪矿区卤水自然蒸发试验研究

李俊德¹, 石天成¹, 王英孝¹, 吴 蝉², 付建龙¹

(1. 青海省地质调查院, 青海 西宁 810012; 2. 青海省科技厅, 青海 西宁 810001)

摘 要:在青海省重点科技攻关项目“柴达木盆地一里坪凹陷开采方法及找矿方向研究”(2005—G—131)基础上,对一里坪锂硼钾矿区卤水进行了自然蒸发试验研究。

关键词:卤水; 自然蒸发; 一里坪矿区

中图分类号: P641.464

文献标识码: A

文章编号: 1008—858X(2008)04—0032—05

1 原卤组成

原卤采自一里坪锂矿区中部的浅层卤水,采样深度 1.25 m,重 600 kg,样品编号为 YLPL01,测试结果见表 1。

由表 1 可见,该卤水主要阴、阳离子组成。阴离子主要为 Cl^- 、 SO_4^{2-} ,阳离子主要为 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 K^+ 和少量的 Li^+ 、 B_2O_3 。其中, K^+ 、 Li^+ 、 B_2O_3 为主要有用组分。

由表 1 测试数据,采用硫酸盐特征系数 K 值的计算式 $K = \frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{Mg}^{2+}} = 0.24$,可见一里坪卤水属硫酸镁亚型卤水。

表 1 原卤水化学组成

Table 1 Chemical composition of original brine

样品 编号	相对密度 / (g/cm^3)	主要组分 /%								相图指数		
		K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Li^+	Cl^-	SO_4^{2-}	B_2O_3	2K^+	Mg^{2+}	SO_4^{2-}
YLPL01	1.221	0.91	7.04	0.01	1.79	0.02	15.84	1.65	0.08	11.37	71.85	16.78

2 试验条件及装置

将上述试验卤水放入用钢板焊制而成的规格为 $2\text{ m} \times 2\text{ m} \times 0.30\text{ m}$ 的蒸发池内开始进行自然蒸发。

3 试验方法

将卤水放入蒸发池后,每天进行观测,主要观测内容为卤水的水温、深度及气温。其间对卤水取样进行分析,测试主要化学成分

(K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Li^+ 、 B_2O_3 、 Cl^- 、 SO_4^{2-}) 的含量。有新固相物结晶析出时,进行固、液分离,称重计量并取固、液样进行化学分析,分析项目同上。试验结果及蒸发路线见表 2、表 3、图 1。

4 试验结果及讨论

由表 2、表 3、图 1 及结合分离出固体、液体成分分析,可将其分为石盐阶段、钾混盐阶段、

收稿日期: 2008—05—12 修回日期: 2008—07—22

基金项目: 青海省重点科技攻关项目 (2005—G—131) 资助

作者简介: 李俊德 (1957—), 男, 测绘工程师, 从事物探、测绘工作。

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

镁盐阶段,最后老卤为富含锂的母液(表 4)。

表 2 一里坪自然蒸发试验分析结果(液相部分)
Table 2 Natural evaporation test results of brine (liquid phase part) in Yiliping mining area

样品编号	相对密度 / (g / cm ³)	质量 / kg	分 析 项 目 / %							
			K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B ₂ O ₃
YLPL0	1.221	600	0.92	7.29	0.01	1.74	0.02	16.13	1.63	0.08
YLPL01	1.221	600	0.91	7.04	0.01	1.79	0.02	15.84	1.65	0.08
YLPL1	1.229	558.3	0.94	6.92	0.01	1.87	0.02	15.44	1.75	0.08
YLPL2	1.230	496.9	1.04	6.67	0.03	2.03	0.03	15.87	1.89	0.10
YLPL3	1.223	429.5	1.12	6.41	0.03	2.15	0.03	15.83	2.00	0.10
YLPL4	1.252	383.1	1.25	5.63	0.02	2.42	0.03	15.45	2.16	0.11
YLPL5	1.236	336.7	1.42	5.30	0.02	2.77	0.04	15.93	2.47	0.13
YLPL6	1.240	305	1.56	4.84	0.02	3.02	0.04	16.17	2.71	0.14
YLPL7	1.253	275.7	1.60	4.66	0.02	3.32	0.05	16.29	3.64	0.15
YLPL8	1.251	239.6	1.74	4.32	0.01	3.65	0.05	16.31	3.25	0.17
YLPL9	1.254	210.0	2.42	3.47	0.01	4.19	0.057	16.33	3.67	0.19
YLPL10	1.257	204.9	2.12	3.14	0.01	4.28	0.06	16.70	3.90	0.20
YLPL11	1.263	201.5	2.26	2.87	0.01	4.47	0.06	16.69	3.97	0.21
YLPL12	1.271	189.7	2.36	2.73	0.01	4.61	0.06	16.92	4.11	0.21
YLPL13	1.274	181.2	2.26	2.63	0.01	4.79	0.05	16.88	4.43	0.22
YLPL14	1.278	171.0	2.32	2.07	0.01	5.09	0.06	16.56	4.17	0.24
YLPL15	1.285	162.5	2.29	1.91	0.005	5.32	0.07	16.87	4.59	0.24
YLPL16	1.300	150.6	2.34	1.65	0.004	5.64	0.08	16.95	4.86	0.26
YLPL17	1.306	140.4	2.39	1.30	0.003	5.94	0.09	17.92	5.18	0.26
YLPL18	1.317	118.4	2.11	1.03	0.003	6.42	0.10	18.16	5.54	0.24
YLPL19	1.316	99.8	1.80	0.84	0.002	6.75	0.11	18.90	5.49	0.30
YLPL20	1.311	93.1	1.68	0.76	0.002	6.71	0.11	19.16	4.02	0.34
YLPL21	1.310	79.5	1.33	0.74	0.002	6.81	0.12	19.44	3.80	0.38
YLPL22	1.310	67.6	0.95	0.63	0.002	6.95	0.13	19.70	3.20	0.42
YLPL23	1.310	62.2	1.11	0.45	0.002	7.32	0.165	20.23	3.14	0.49
YLPL24	1.355	57.1	0.11	0.17	0.002	8.66	0.19	22.61	3.77	0.56
YLPL25	1.361	48.7	0.05	0.13	0.002	8.88	0.21	23.52	3.99	0.62
YLPL26	1.354	42.9	0.05	0.12	0.003	8.73	0.21	24.53	2.47	0.69
YLPL27	1.352	34.7	0.06	0.14	0.002	8.88	0.22	24.56	2.79	0.69
YLPL28	1.360	31.9	0.05	0.12	0.002	8.87	0.26	24.48	2.99	0.80
YLPL29	1.348	21.8	0.05	0.13	0.002	8.75	0.30	24.38	3.06	0.95
YLPL30	1.373	17.9	0.05	0.11	0.001	8.36	0.32	23.82	2.60	0.97
YLPL31	1.371	15.2	0.05	0.11	0.001	8.20	0.33	23.34	2.59	0.95
YLPLL	1.349	14.3	0.05	0.10	0.001	8.33	0.48	23.72	2.55	1.80

表 3 一里坪自然蒸发试验分析结果 (固相部分)

Table 3 Natural evaporation test results of brine (solid phase part) in Y iliping m ining area

样品 编号	固相 矿物	质量 / kg	分 析 项 目 /%									分布率 /%		
			K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B ₂ O ₃	水份	K ⁺	Li ⁺	B ₂ O
YLPS1	钠盐	13.9	0.34	35	0.05	0.58	0.01	57.29	0.48	0.09		0.86	1.15	2.6
YLPS2	钠盐	22.5	0.47	35	0.05	0.84	0.01	57.74	0.77	0.09		1.93	1.87	4.21
YLPS3	钠盐	28.5	0.17	36.88	0.1	0.87	0	58.63	0.34	0.13		0.88	0	7.71
YLPS4	钠盐	7.5	0.7	33.44	0.05	1.15	0.02	54.83	1.29	0.18		0.9	1.25	2.81
YLPS5	钠盐	7.5	0.84	31.88	0.05	1.51	0.02	54.83	1.29	0.18		1.15	1.25	2.81
YLPS6	钠盐	3.9	0.98	31.88	0.03	1.42	0.02	55.05	1.11	0.18		0.7	0.65	1.46
YLPS7	钠盐	7.1	0.53	30	0.03	1.8	0.03	50.58	1.61	0.09		0.68	1.77	1.33
YLPS8	钠盐	2.7	0.71	33.75	0.07	1.2	0.02	54.38	1.23	0.04		0.35	0.45	0.22
YLPS9	钾混盐	1.4	1.46	29.38	0.03	2.57	0.04	50.34	2.43	0.18		0.37	0.46	0.52
YLPS10	钾混盐	3.5	0.68	34.38	0.09	0.04	0.02	53.56	1.26	0.09		0.43	0.58	0.66
YLPS11	钾混盐	1	1.62	25.75	0.26	3.01	0.03	49.04	3	0.2		0.29	0.25	0.41
YLPS12	钾混盐	3.4	1.9	24.72	0.06	3.47	0.042	48.62	3.19	0.2		1.19	1.19	1.42
YLPS13	钾混盐	2.5	2.6	22.5	0.07	4.01	0.05	45.5	4.03	0.22	7.2	1.11	1	1.07
YLPS14	钾混盐	3	1.55	30	0.05	2.26	0.03	51.84	2.07	0.13	5	0.81	0.72	0.78
YLPS15	钾混盐	2.5	18.25	18.13	0.03	4.85	0.04	46.25	2.2	0.18	0.97	8.28	0.83	0.92
YLPS16	钾混盐	3.5	9	16.25	0.02	7.14	0.05	44.1	3.21	0.13	0.93	5.24	1.32	0.86
YLPS17	钾混盐	3	17.12	11.95	0.01	4.16	0.06	44.64	4.18	0.18	2.65	9.4	1.5	1.13
YLPS18	钾混盐	4.4	20.5	8.88	0.02	4.27	0.06	43.24	4.18	0.22	3.71	16.5	2.2	2.02
YLPS19	钾混盐	5.4	15.88	7.45	0.01	6.3	0.06	35.06	14.06	0.13	11.51	13.9	2.39	1.29
YLPS20	钾混盐	1.9	10.8	3.75	0.02	9.61	0.06	22.59	27.68	0.18	5.97	3.53	0.89	0.67
YLPS21	钾混盐	4	9.75	2.75	0.02	9.23	0.06	34.42	7.88	0.22	6.75	6.66	1.86	1.71
YLPS22	钾混盐	3.5	9.4	2.25	0.02	9.15	0.07	35.28	2.94	0.18	4.3	5.78	1.96	1.26
YLPS23	钾混盐	1.4	9.75	3	0.02	8.69	0.07	37	2	0.18	3.06	2.42	0.79	0.51
YLPS24	钾混盐	4.1	7	3.81	0	10.1	0.12	38.07	2.38	0.36	10.21	4.71	3.68	2.76
YLPS25	钾混盐	3.5	4.15	2.38	0.02	9.36	0.1	30.76	4.68	0.22	4.63	2.53	2.77	1.52
YLPS26	钾混盐	0.9	4.45	2.44	0.05	9.9	0.08	30.55	7.86	0.53	5.64	0.68	0.56	0.92
YLPS27	水氯镁石	5.3	1.18	0.62	0.04	11.8	0.08	27.75	12.7	0.32	5.05	1.08	3.35	3.35
YLPS28	水氯镁石	1.5	0.12	0.18	0	10.8	0.09	30.76	2.35	0.21	7.3	0.03	1.04	0.61
YLPS29	水氯镁石	6.9	0.09	0.15	0.03	11.2	0.1	30.98	2.51	0.32	9.69	0.1	5.19	4.15
YLPS30	水氯镁石	1.5	0.48	0.4	0.02	12.97	0.11	34.42	4.55	0.3	17.01	0.11	1.13	0.77
YLPS31	水氯镁石	0.8	0.12	0.19	0.01	13.73	0.14	36.99	3.54	0.39	19.58	0.01	0.74	0.52

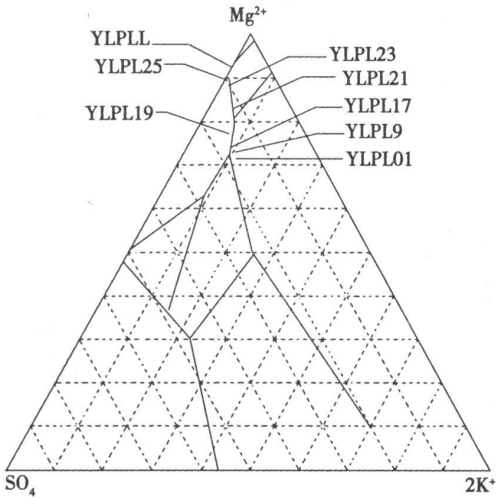


图 1 蒸发结晶路线

Fig 1 Evaporation crystallization route

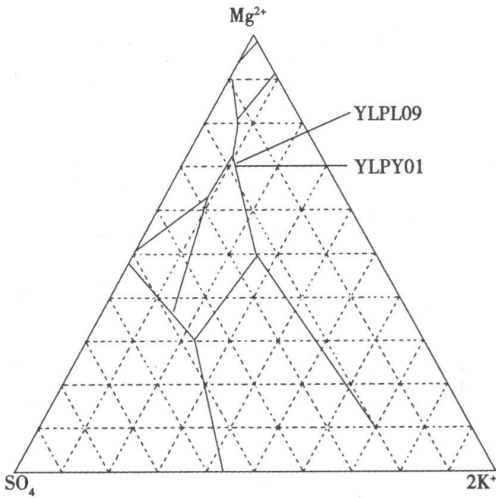


图 2 石盐段相图

Fig 2 Phase diagram at halite stage

表 4 一里坪卤水蒸发试验平衡计算表

Table 4 Balance calculation results of Natural evaporation test of brine in Yiliping mining area

料 别	样品 编号	样品 名称	相对 密度 / 质量 / 产率 / (g/cm ³) kg %		组 分 含 量 %										分布率 %		
					K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B ₂ O ₃	水份	K ⁺	Li ⁺	B ₂ O ₃	
入	YLPL01	原卤	1.221	600	100	0.91	7.04	0.01	1.79	0.02	15.84	1.65	0.08				
出	YLPFLS1	石盐		95	15.8	0.39	36.25	0.23	0.41	0	56.14	0.72	0.084	1.07	6.71	0	16.5
	YLPFLS2	钾混盐		43	7.16	10.4	12.5	0.13	6.64	0.04	38.29	9.8	0.21	3.84	78.8	13.8	18.1
	YLPFLS3	钾混盐		8.5	1.42	7.07	3.63	0.31	9.12	0.13	31.41	6.93	0.1	4.48	10.5	8.8	1.69
	YLPFLS4	水氯镁石		16	2.67	0.3	0.33	0.01	12.21	0.156	33.13	4.96	0.25	16.99	0.73	17.3	6.93
	YLPL9		1.254	210	35	2.42	3.47	0.01	4.19	0.057	16.33	3.67	0.19		93.1	99.8	83.1
	YLPL23		1.31	62.2	10.4	1.11	0.45	0.002	7.32	0.165	20.23	3.14	0.49		12.6	85.5	63.5
	YLPL26		1.354	42.9	7.15	0.05	0.12	0.003	8.73	0.21	24.53	2.47	0.69		0.39	75.1	61.7
	YLPLL	老卤	1.349	14.3	2.38	0.05	0.1	0.001	8.33	0.48	23.72	2.55	1.8		0.13	57.2	53.6
	蒸发水			423.2											3.13	2.9	3.18
老卤相对于原卤的产率 2.38%，钾混盐相对于原卤的产率 8.58%。																	

4.1 石盐阶段

卤水的主要化学成分均位于钾石盐区

(图 2),析出的主要矿物是石盐,其组成见表 5。

表 5 石盐阶段固液组成表

Table 5 Solid-liquid composition at halite stage

样品 编号	气温 / ℃	相对 / 密度 / 卤水温度 / (g/cm ³) ℃		组份含量 %							
				K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B ₂ O ₃
YLPFLS1	20			0.39	36.25	0.23	0.41	0	56.14	0.72	0.084
YLPL9	20	1.254	20	2.42	3.47	0.01	4.19	0.057	16.33	3.67	0.19

4.2 钾混盐阶段

卤水的主要化学成分由钾石盐区进入到泻

利盐和光卤石区,蒸发路线见图 3。此阶段析出的主要矿物是泻利盐和光卤石,其组成见表 6。

表 6 钾混盐段固液组成表
Table 6 Solid-liquid composition at Potassium mixed salt stage

样品 编号	气温 / ℃	相对 密度 / (g/cm ³)	卤水温度 / ℃	组份含量 %							
				K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B ₂ O ₃
YLPFLS2	20			10.4	12.5	0.13	6.64	0.04	38.29	9.80	0.21
YLPL23	20	1.310	19	1.11	0.45	0.002	7.32	0.165	20.23	3.14	0.49
YLPFLS3	28			7.07	3.63	0.31	9.12	0.13	31.41	6.93	0.10
YLPL26	28	1.354	35	0.05	0.12	0.003	8.73	0.21	24.53	2.47	0.69

表 7 镁盐段固液组成表
Table 7 solid-liquid composition at magnesium mixed salt stage

样品 编号	气温 / ℃	相对 密度 / (g/cm ³)	卤水温度 / ℃	组份含量 %							
				K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	B ₂ O ₃
YLPFLS4	20			0.30	0.33	0.01	12.21	0.15	33.13	4.96	0.25
YLPLL	20	1.349	25	0.05	0.10	0.001	8.33	0.48	23.72	2.55	1.80

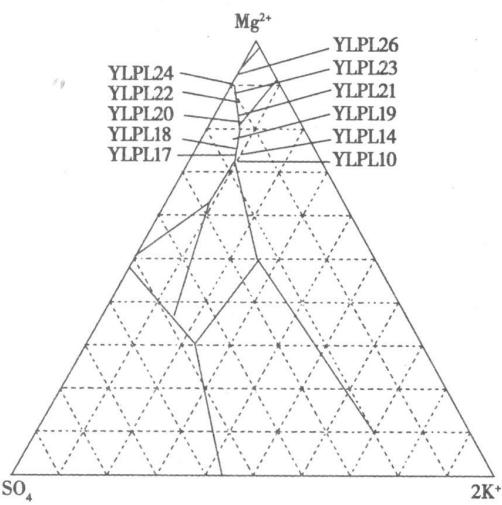


图 3 钾混盐段相图

Fig 3 Phase diagram at potassium mixed salt stage

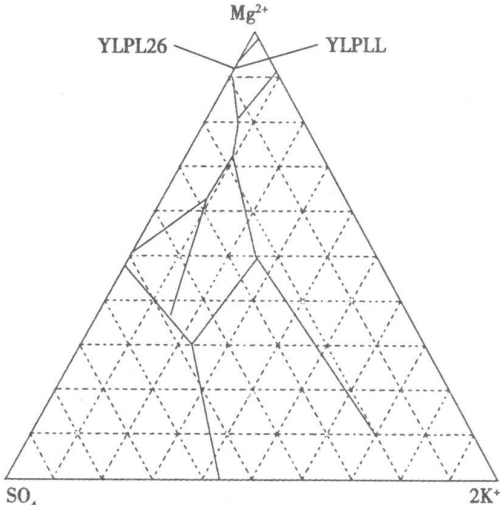


图 4 镁盐段相图

Fig 4 Phase diagram at magnesium mixed salt stage

4.3 镁盐阶段

卤水的主要化学成分由泻利盐和光卤石区进入水氯镁石区,蒸发路线见图 4。此阶段析出的主要矿物是水氯镁石,其组成见表 7。

5 结果讨论

(1)一里坪锂硼钾矿区卤水的蒸发析盐过

- 程为石盐→钾石盐→钾石盐、泻利盐、光卤石→泻利盐、光卤石→水氯镁石；
- (2)钾混盐段 K⁺含量为 7.07%~10.4%，占原卤的 89.3%；
- (3)Li⁺在老卤中的含量为 0.48%，占原卤的 57.2%；
- (4)B₂O₃在老卤中含量为 1.8%，占原卤的 53.6%
- (下转第 65 页)

对策 [J]. 矿冶工程, 2006, 26(3): 53—56.

[11] Abdellatif M · Pilot Plant Demonstration of the Mintek Thermal Magnesium Process [C] · Montreal Magnesium technology in the global age 2006: 68—80.

[12] 陈荣, 田忆凯 · 高纯度无水氯化镁生产工艺评述 [J]. 江苏化工, 2001, 29(6): 30—32.

[13] 张永健 · 镁电解生产工艺学 [M]. 长沙: 中南大学出版社, 2006: 375—377.

[14] Cathro K J Deutscher R L Shama R A Electrowinning magnesium from its oxide in a melt containing neodymium chloride [J]. Journal of applied electrochemistry, 1997, 27(4): 404—413.

[15] 沙录昌, 蔡安洪 · 氧化镁直接电解制取金属镁的槽型和工艺研究 [J]. 轻金属, 1994(8): 41—45.

[16] Shama R A · Method for producing magnesium metal from magnesium oxide United states Patent 5279716 [P]. 1994.

[17] 阎守义 · 我国皮江法炼镁的现状与分析 [J]. 轻金属, 2005(6): 37—40.

[18] 孟奇 · 电解镁生产中的氯气处理 [J]. 轻金属, 1998(6): 38—40.

[19] 刘金平, 杨雪春, 谢水生, 等 · 皮江法炼镁技术的缺陷及改进途径 [J]. 冶金能源, 2005, 24(5): 21—23.

[20] 朱祖武, 曹黎华 · 国内皮江法炼镁技术的缺陷及改进途径 [J]. 南昌高专学报, 2007, 22(2): 92—94.

[21] 赵武壮 · 限制皮江法金属镁生产发展将是国家基本政策取向 [J]. 世界有色金属, 2007(5): 10—11.

[22] 陈远望 · 国外镁金属研究现状 [J]. 世界有色金属, 2003(2): 46—49.

Progress of Magnesium Production Process

HAN Ji-long^{1, 2}, SUN Qing-guo¹

(¹ Qinghai Institute of Salt Lakes Chinese Academy of Sciences Xining 810008, China;
² Graduate University of Chinese Academy of Sciences Beijing 100049, China)

Abstract The fused salt electrolysis and ferrosilicon thermal reduction process of magnesium production were briefly introduced, and the merits and drawbacks of both the processes were discussed. The improvement of Pidgeon process and electrolysis process was summarized.

Key words Magnesium; Fused salt electrolysis process; Ferrosilicon thermal reduction process

(上接第 36 页)

参考文献:

[1] 青海省地质调查院 · 柴达木盆地一里坪凹陷开采方法及找矿方向研究报告 [R]. 西宁: 青海省地质调查院, 2007.

[2] 高世扬, 宋彭生, 夏树屏, 等 · 盐湖化学 [M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[3] 曹文虎, 吴蝉, 等 · 卤水资源及其综合利用技术 [M]. 北京: 地质出版社, 2004.

Research on Natural Evaporation of Brine in Yiliping Mining Area

LI Jun-de¹, SHI Tian-cheng¹, WANG Ying-xiao¹, WU Chan², FU Jian-long¹

(¹ Geological Survey Institute of Qinghai Province Xining 810012, China;
² Qinghai Science and Technology Department Xining 810000, China)

Abstract Based on Qinghai province tackling key project the mining method and ore prospecting orientation in Yiliping depression of Qaidam basin (2005—G—131), the authors have done the natural evaporation research of brine which containing lithium, boron and potassium.

Key words Brine; Natural evaporation; Yiliping mining area

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