



冷湖镇昆特依钾矿田大盐滩盐田摊晒成矿规律研究

安宝林^{1,*}

¹青海恒域丰盐化产业（集团）有限责任公司，海西州 817500

学术编辑：马慧璿；收稿日期：2024-01-03；录用日期：2024-03-01；发布日期：2024-12-31

*通讯作者：安宝林，13220332211@163.com

摘要

通过实验过程数据分析，参考盐湖五元水盐体系相图数据对冷湖镇昆特依钾矿田大盐滩盐田摊晒成矿规律进行基础性研究，数据分析过程中通过固相离子组分推断结晶析出固相物质，以水盐体系相图为对照基本吻合，数据整理与原因分析为后期该组分或者相似组分盐田摊晒成矿提供参考。

关键词：物料守恒，直线规则，五元水盐体系相图

Research on the Mechanisms of Mineral Formation in the Salt Pans of the Kunteyi Potash Field in Lenghu Town

Baolin An^{1,*}

¹Hengyu Feng Salt Chemical Industry (Group) Co., Ltd., Haixi Prefecture 817500, China

Academic Editor: Huijun Ma; Submitted: 2024-01-03; Accepted: 2024-03-01; Published: 2024-12-31

*Correspondence Author: Baolin An 13220332211@163.com

Abstract

A fundamental study was conducted on the mineralization mechanism in the salt pans of the Kunteyi Potash Field in Lenghu Town by analyzing experimental process data and referencing the phase diagram data of the quinary water-salt system from the salt lake. During data analysis, the crystalline precipitates were inferred from the solid-phase ion compositions. These inferences were generally consistent with the phase diagram of the water-salt system. The data organization and cause analysis provide a reference for future mineralization studies in salt pans with similar compositions.

Keywords: Mass conservation, Linear rule; Quinary water-salt system phase diagram

文章引用

安宝林. 冷湖镇昆特依钾矿田大盐滩盐田摊晒成矿规律研究. 自然科学学报, 2024, 1(2): 62–68.

Citation

Baolin An (2024). Research on the Mechanisms of Mineral Formation in the Salt Pans of the Kunteyi Potash Field in Lenghu Town. Chinese Journal of Natural Science, 1(2), 62–68.

© 2024 ASP (Advancing Science Press Limited). Personal use is permitted, but republication/redistribution requires ASP permission.

1 实验目的:

通过本次实验对冷湖镇昆特依钾矿田大盐滩盐田摊晒成矿规律进行基础性研究。

2 实验原理:

实验以盐湖五元水盐体系相图为指导，直线规则纠正实验数据与相图误差，以直线规则为准，舍弃一些实验数据。以物料守恒为计算依据，阶段性验证实验成矿规律与相图数据的吻合程度。

3 实验内容:

实验在 24 年 4 月 4 日取卤水共计 15.87152 千克，分于 3 个塑料盆进行晒矿实验。1# 盆卤水 5407.09 克，2# 盆卤水 5427 克，3# 盆卤水 5037.43 克，卤水表面距盆口平均约 5 厘米进行晒矿实验。在实验开始之后前期每隔一周取一次实验液相和固相，实验卤水液相在相图上进入白钠镁矾区域时改为 3 天取一次液相和固相实验样，实验卤水液相点在相图上离开白钠镁矾区域时改为每天取样。实验截止于 24 年 5 月 9 日，实验前后跨度 35 天。

4 实验结果与分析

实验过程中分离固液相时液相和固相组分化验数据见下表 (表1, 表2)

盐湖五元水盐体系相图和完整实验数据见附表 (图1,1,1)

实验在 24 年 4 月 4 日起，未混合前以 3 号盆实验数据进行实验结果分析，实验时间从 4 月 4 日至 5 月 9 日，卤水温度从每日测定数据来看保持在 10℃ 左右。3 号盆一开始卤水质量是 5407.09 克，液相中钾 J 值 8.8，镁 J 值 64.5，钠 J 值 94.1，水 J 值 2742.2，计算可知卤水中含纯水 3825.06 克，含钠离子 335.43 克。

4.1 第一阶段:

4 月 4 日至 4 月 11 日液相只对氯化钠饱和。取 4 月 11 日表面盐花通过固相分析，可知卤水开始对泻利盐饱和。

4.2 第二阶段:

4 月 11 日至 4 月 27 日之间氯化钠和泻利盐共同析出。(4 月 21 日三个实验盆合并，并分离出去固相)

4.3 第三阶段:

4 月 27 日液相点到达泻利盐和氯化钾共饱和线，开始析出泻利盐和氯化钾，至 5 月 4 日液相到达光卤石，六水泻盐，氯化钾三固一液无自由度点，在这个过程氯化钾将溶解于液相，从而液相点在可以光卤石和六水泻

表 1. 表 1-1

日期	卤温 (°C)	比重	液相				
			K^{+}	Na^{+}	Mg^{2+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}
4 月 4 日	9.0	1.243	1.01	6.32	2.29	14.58	3.73
	9.0	1.243	1.01	6.32	2.29	14.58	3.73
	9.0	1.243	1.01	6.32	2.29	14.58	3.73
4 月 11 日			2.59	10.47	5.49	29.18	7.21
4 月 21 日			2.30	3.10	4.34	15.98	4.81
4 月 27 日			2.46	1.98	5.08	16.76	4.54
5 月 4 日	5.0	1.28	1.18	0.66	6.65	19.73	2.37
5 月 8 日	10.0	1.28	0.33	0.18	7.69	20.91	2.84
5 月 9 日	10.5	1.280	0.19	0.14	8.12	22.05	2.73

表 2. 表 1-2

日期	固相					固相物质
	K^{+}	Na^{+}	Mg^{2+}	Cl^{-}	SO_4^{2-}	
4 月 11 日	0.144	18.600	0.13	28.70	0.64	
4 月 21 日	0.22	29.40	2.24	45.74	8.53	泻利盐
4 月 27 日	6.61	25.55	1.85	47.47	4.47	泻利盐, 氯化钾
5 月 4 日	8.20	10.21	5.45	27.49	15.70	光卤石, 六水泻盐, 氯化钾
5 月 8 日	7.81	3.09	7.99	31.89	4.41	光卤石, 六水泻盐, 水氯镁石
5 月 9 日	9.93	4.21	7.74	37.08	1.36	

盐共饱线上移动。

4.4 第四阶段:

5月4日至5月8日液相从光卤石,六水泻盐,氯化钾,向光卤石,六水泻盐和水氯镁石结晶点移动,在5月8日到达光卤石,六水泻盐和水氯镁石结晶点。

4.5 第五阶段:

溶液在光卤石,六水泻盐和水氯镁石点(无自由度)蒸干。

4.6 物料衡算一:

鉴于4月21日至4月27日固体析出只有氯化钠,泻利盐,氯化钾,并且钾离子全部以一种化合物存在,镁离子也仅以一种化合物存在,化合物结构简单。以4月21日至4月27日数据做物料衡算。

具体衡算方法如下:整理4月21日至4月27日液相中损失的钠离子,钾离子,镁离子摩尔数,再乘以相应化合物摩尔质量。得出氯化钠,泻利盐,氯化钾总质量,这一质量理论上应该等于4月27日分离固相。

数据整理:4月21日至4月27日液相中钠离子摩尔数损失3.9613摩尔,钾离子摩尔数损失0.5011摩尔,镁离子摩尔数损失0.6343摩尔。以上三种离子损失摩尔数乘以相应化合物摩尔质量有: $3.9613 \times 58.44 + 0.5011 \times 74.55 + 0.6343 \times 246.47 = 425.2$ 克。

4月27日实际分离固体514.06克。

理论固体于实际相差: $(514.06 - 425.2) \div 514.06 \times 100\% = 16.7\%$

实际分离固相比理论析出多16.7%。

4.7 物料衡算二:

在5月4日至5月8日时间段做物料衡算,固相化合物应该包括氯化钠,光卤石,六水泻盐,水氯镁石。钠离子仅以氯化钠形式存在,容易确定。其它三种化合物的比例关系确定如下:硫酸根离子仅以六水泻盐方式存在,这样从总的镁离子摩尔数中减去了六水泻盐所携带的镁离子摩尔数;钾离子仅以光卤石方式存在,以钾离子为准计算光卤石所携带镁离子摩尔数,剩下镁离子摩尔数全部以水氯镁石存在。(先通过钾离子确定光卤石中含有镁离子摩尔数,再确定六水泻盐携带镁离子摩尔数是一样的)

4.8 数据整理:

5月4日至5月8日液相中钠离子摩尔数损失0.55摩尔,钾离子摩尔数损失0.5751摩尔,镁离子摩尔数损失1.6715摩尔,硫酸根离子摩尔数损失0.1375摩尔。以上三种离子损失摩尔数乘以相应化合物摩尔质量有:

$0.55 \times 58.44 + 0.1375 \times 228.46 + 0.5751 \times 277.85 + 0.96 \times 203.3 = 418.29$ 克。

理论固体于实际相差: $(378.54 - 418.29) \div 378.54 \times 100\% = -10.5\%$

实际分离固相比理论析出少10.5%。实际分离固相和理论计算差别较大,这里需要说明的是因为计算过程中镁离子结晶较多,镁离子液相质量百分数实验误差1.5%(w%±0.1)会导致固相变化约±20克。分析理论固体质量和实际固体质量不相符合的原因之一可能是:因为卤水温度的不固定,可能在某一阶段析出其它化合物。如果该化合物携带的结晶水比计算中的化合物结晶水多,会导致实际固体比理论计算多。反之亦然。对该过程分离出的固相做综合样分析和理论计算各离子质量和对比(综合样分析和理论计算过程中都舍弃结晶水),分析理论与实际固相质量差别较大的原因是否是化合物中含结晶水不同造成的。

	$K^{+}(g)$	$Na^{+}(g)$	$Mg^{2+}(g)$	$Cl^{-}(g)$	$SO_4^{2-}(g)$	合计
理论固相不含结晶水各离子质量	22.49	12.64	40.62	150.01	13.21	238.98
实际固相不含结晶水各离子质量	32.24	19.86	27.44	121.76	24.62	225.93

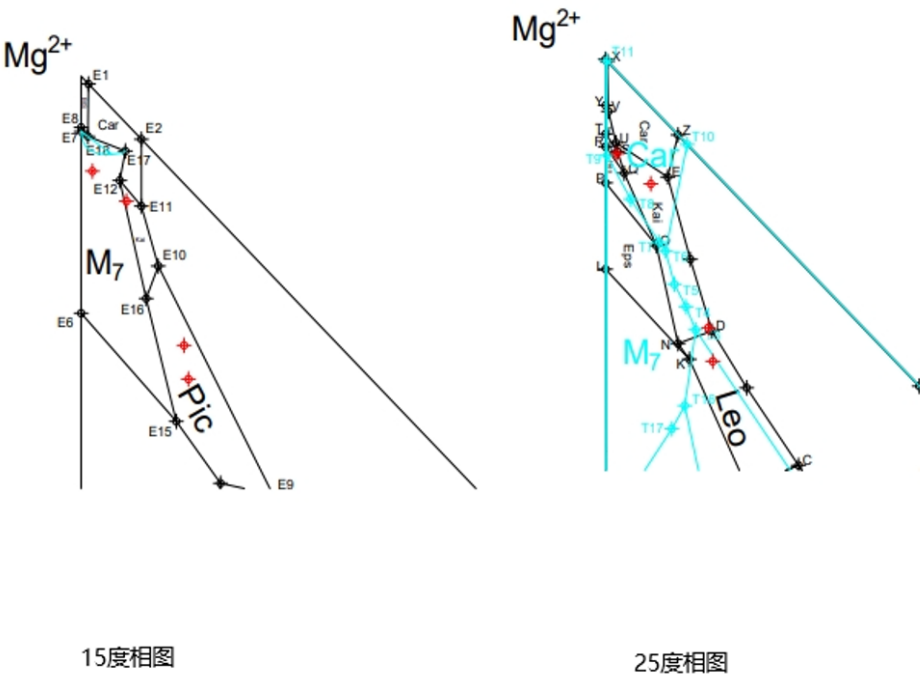


图 1

4.9 原因分析:

5月8日分离固体缺少综合样数据，现以分离之前的固相盐花平均作为分离固相综合样数据。对比各离子的质量相差较大，离子质量总和理论质量和固相质量和相一致，卤水的液相点在相图上远离氯化钾饱和区，但是以盐花求平均用于计算的固相综合样数据显示固相中包含氯化钾。盐花的平均数据中钾组分可能高于综合样组分数数据（卤水温度变动使得卤水液相点不稳定在光卤石和六水泻盐，水氯镁石区域）。鉴于此，上面认为理论和实际固体质量之差源于化合物含结晶水不同的推测准确。

离子质量和数据如下：

4.10 完全阶段对钾离子做物料守恒分析：

三个实验盆中的钾离子质量： $1.01 \div 100 \times (5407.09 + 5427 + 5037.43) = 160.3$ 克

各阶段钾离子质量和： $(4240.68 \times 0.22 \div 100) + (514.06 \times 6.61 \div 100) + (1247.24 \times 7.26 \div 100) + (1468.13 \times 0.33 \div 100 + 378.54 \times 5.14 \div 100) = 158.16$ 克

各阶段钾离子质量总和和一开始钾离子质量和相差很小，这部分差值是每天取液相样和固体样造成的损失。阶段钾离子质量总和和一开始钾离子质量相一致，侧面反映出化验结果钾离子数据准确。

5 实验结论：

从实验固相分析得出实验卤水四个关键液相点，按照镁离子依次增大分别为：（1）泻利盐饱和点（2）泻利盐和氯化钾共饱和点，（3）光卤石，六水泻盐和氯化钾共饱和点（自由度为0），（4）光卤石，水氯镁石和六

日期	卤温	比重	液相																	
	℃		K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	H2O	Σ三离子	总Σ三离子	钾离子质量(g)	镁离子质量(g)	钠离子质量(g)	硫酸根离子质量(g)	纯水质量(g)	
4月4日	9.0	1.243	1.01	6.32	2.29	14.58	3.73	8.8	64.5	26.6	94.1	2742.2	0.15							
	9.0	1.243	1.01	6.32	2.29	14.58	3.73	8.8	64.5	26.6	94.1	2742.2	0.15							
	9.0	1.243	1.01	6.32	2.29	14.58	3.73	8.8	64.5	26.6	94.1	2742.2	0.15	7.75	53.60	120.04	335.43	198.09	3825.06	
4月11日			2.07	5.80	3.41	17.44	4.50	12.4	65.7	21.9	59.0	1736.3	0.21							
			2.21	8.51	4.76	24.14	6.60	9.6	66.9	23.5	63.2	1020.1	0.29							
			2.59	10.47	5.49	29.18	7.21	9.9	67.6	22.5	68.1	749.2	0.33							
4月17日			1.63	4.46	3.71	15.64	4.78	9.3	68.4	22.3	43.4	1736.0	0.22							
			1.66	4.18	3.73	15.11	5.02	9.4	67.6	23.0	40.0	1720.4	0.23							
			1.65	4.25	3.77	15.26	5.14	9.2	67.5	23.3	40.2	1690.7	0.23							
4月20日			1.86	3.40	4.15	15.17	5.26	9.54	68.49	22.0	29.6	1563.1	0.25							
			2.03	3.19	4.15	15.44	4.63	10.6	69.7	19.7	28.3	1600.2	0.24							
			2.07	3.27	4.21	15.74	4.70	10.6	69.7	19.7	28.6	1564.0	0.25							
4月21日			2.30	3.10	4.34	15.98	4.81	11.4	69.2	19.4	26.1	1495.2	0.26	15.57	138.84	258.65	187.06	290.25	4191.87	
4月22日			2.26	2.78	5.14	16.88	6.03	9.5	69.8	20.7	19.9	1225.9	0.30							
4月25日			2.30	1.90	4.51	14.65	4.78	11.1	70.1	18.8	15.6	1507.6	0.26							
4月27日			2.46	1.98	5.08	16.76	4.54	10.9	72.6	16.4	15.0	1335.4	0.29	13.95	119.25	243.23	95.99	220.23	3353.72	
4月30日	9.0	1.276	1.87	1.73	5.43	17.61	3.50	8.4	78.7	12.8	13.3	1367.4	0.28							
5月1日	4.0	1.248											0.00							
5月2日	7.0	1.314											0.00							
5月3日	9.0	1.280	1.30	0.94	6.42	19.53	2.49	5.4	86.1	8.5	6.7	1255.4	0.31							
5月4日	5.0	1.284	1.18	0.66	6.65	19.73	2.37	4.8	87.3	7.9	4.6	1230.3	0.31	7.26	27.33	152.13	15.29	54.93	1607.72	
5月5日			0.90	0.66	6.96	20.32	2.48	3.6	88.5	8.0	4.4	1178.5	0.32							
5月6日	11.0	1.286	0.79	0.24	7.25	20.44	2.45	3.0	89.3	7.6	1.6	1145.0	0.33							
5月7日	5.0	1.277	0.53	0.30	7.44	20.51	2.90	2.0	89.2	8.8	1.9	1106.1	0.34							
5月8日	10.0	1.28	0.33	0.18	7.69	20.91	2.84	1.2	90.3	8.4	1.1	1079.3	0.35	5.14	4.84	111.51	2.64	41.72	999.06	
5月9日	10.5	1.280	0.19	0.14	8.12	22.05	2.73	0.7	91.5	7.8	0.8	1016.2	0.37							
注：1、黄色填充：当天合并三个盆内液相，同时分离液相。2、蓝色填充：当天分离固液相。																				

图 2. 表 2-2

固相					固相摩尔数					固相物质	盆号	备注
K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻			
					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		1号盆	盆：197.98g，卤水：5407.09g
					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		2号盆	盆：197.51g，卤水：5427g
					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		3号盆	盆：196.70g，卤水：5037.43g
0.38	18.96	0.41	29.52	1.67	0.01	0.82	0.02	0.83	0.02	泻利盐	1号盆	
0.59	21.17	0.76	33.26	2.90	0.02	0.92	0.03	0.94	0.03		2号盆	
0.14	18.60	0.13	28.70	0.64	0.00	0.81	0.01	0.81	0.01		3号盆	
0.00	36.05	0.60	55.97	1.83	0.00	1.57	0.02	1.58	0.02		1号盆	
0.00	36.70	0.53	56.46	2.26	0.00	1.60	0.02	1.59	0.02		2号盆	
0.00	35.22	0.82	54.42	3.09	0.00	1.53	0.03	1.53	0.03		3号盆	
0.12	24.73	3.04	38.21	12.05	0.00	1.08	0.13	1.08	0.13		1号盆	
0.16	17.40	5.50	24.97	24.43	0.00	0.76	0.23	0.70	0.25		2号盆	
0.11	19.15	4.44	30.38	16.52	0.00	0.83	0.18	0.86	0.17		3号盆	
0.22	29.40	2.24	45.74	8.53	0.01	1.28	0.09	1.29	0.09	泻利盐		液相：6034.07g，固相：4240.68g
0.28	28.17	3.03	44.50	10.87	0.01	1.23	0.12	1.26	0.11			
0.87	27.85	2.39	49.63	1.43	0.02	1.21	0.10	1.40	0.01			
6.61	25.55	1.85	47.47	4.47	0.17	1.11	0.08	1.34	0.05	泻利盐，氯化钾		液相：4847.82g，固相：514.06g
7.36	11.84	5.36	32.59	10.82	0.19	0.52	0.22	0.92	0.11			
10.56	10.01	5.23	31.25	12.23	0.27	0.44	0.22	0.88	0.13			
10.67	13.49	4.85	37.36	9.81	0.27	0.59	0.20	1.05	0.10			
					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
8.20	10.21	5.45	27.49	15.70	0.21	0.44	0.22	0.78	0.16	光卤石，六水泻盐，氯化钾		液相：2316.27g，固相：1247.24g
					0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
8.50	4.00	7.67	33.96	3.12	0.22	0.17	0.32	0.96	0.03			
9.56	3.69	7.89	35.32	2.79	0.24	0.16	0.32	1.00	0.03			
7.81	3.09	7.99	31.89	4.41	0.20	0.13	0.33	0.90	0.05	光卤石，六水泻盐，水氯镁石		液相：1468.13g，固相：378.54g
9.93	4.21	7.74	37.08	1.36	0.25	0.18	0.32	1.05	0.01			

图 3. 表 2-3

水泻盐共饱和点（自由度为 0）。在实验数据分析过程中，将这四个关键液相点换算成耶涅克指数标绘在水盐体系 15 摄氏度相图，固相实验数据分析结果与相对该固相的液相实验数据不完全对应。造成这一原因可能是实际固相取样中液相夹带造成，另一方面昼夜温度差别较大，（实验样在上午温度普遍在 10℃ 左右，中午温度可达 20 摄氏度，下午升高的可能性高，缺少夜间温度），但是实验数据总体趋势与 15 度五元水盐体系相图数据吻合图1。

参考文献

- [1] 牛自得. 程芳琴. 水盐体系相图及其应用. 天津：天津大学出版社,2002
- [2] 梁保民. 水盐体系原理及应用. 北京：轻工业出版社,1986
- [3] 王志魁. 化工原理第五版. 北京：化学工业出版社,2017

安宝林 安宝林出生于 1995 年，男，青海省海东市，工作单位：青海恒域丰盐化产业（集团）有限责任公司。研究方向：盐湖化工。电话：13220332211

Baolin An, born in 1995, is a male from Haidong City, Qinghai Province. He is currently employed at Qinghai Hengyu Fengyan Chemical Industry (Group) Co., Ltd. His research focuses on salt lake chemical engineering.