

威远气田水电渗析浓缩盐溶液的综合利用研究

李 权 董亚萍 戈 桦 陈大福

(中国科学院青海盐湖研究所, 西宁, 810008)

摘要 该文给出了气田水电渗析浓缩液的组成及综合利用流程。按 $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{CaCl}_2-\text{H}_2\text{O}$ 体系相图对制取氯化钠和氯化钾的工艺路线进行解析和计算。试验结果证明与相图计算结果是一致的, 为制取氯化钠和氯化钾提供了合理的工艺流程。

关键词 电渗析浓缩液 综合利用

分类号 TQ150.1

0 前言

天然气田中常常蕴藏大量的盐水,在采取天然气的过程中同时被采出来,由于含盐量高,不允许排入江河及农田中,中科院青海盐湖研究所进行了“威远气田水电渗析浓缩试验”取得了良好效果^[1]。该项试验结果表明,脱盐系统得到的淡水达到了农业用水的排放标准,浓缩系统的浓盐水含食盐量达到蒸发制盐的要求,同时富含钾、锂、溴等盐类,具有综合利用的价值。

根据电渗析浓缩盐水的组成特点,制订了综合利用的流程,对制取氯化钠、氯化钾过程进行相图解析,通过试验证明,是符合相图规律的,为提取氯化钠和氯化钾产品提供了工艺方法和依据。提出了提取溴及锂盐的工艺方法。

1 电渗析浓缩液组成及综合利用

1.1 电渗析浓缩液的组成

由前文结果可知^[1],每 2.7m^3 的四川威远气田水可得到 1m^3 电渗析浓缩液,其组成见表 1。

1.2 浓缩液中含各种盐类的数量

四川威远天然气田,每年采出气田水达 $100\text{万}\text{m}^3$,通过电渗析浓缩,可以获得浓缩液达 $37.0\text{万}\text{m}^3$ 。

收稿日期:1998年11月16日

表1 料液组成

料液种类	密度 $\rho/(\text{kg/L})$	组成 C/(g/L)									
		NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂	BaCl ₂	LiCl	Br ⁻	I ⁻	B	总盐
气田水	1.062	61.04	5.91	5.06	1.03	1.75	0.83	0.27	0.0064	0.44	76.34
脱盐液	1.008	0.89	0.09	0.08	0.04	—	0.12	0.07	—	0.28	—
浓缩液	1.126	160.6	15.86	13.94	2.63	5.88	1.40	0.72	0.015	0.30	201.3

按浓缩液组成计算,主要盐类数量见表2。

表2 浓缩盐水含各种盐的数量

单位	盐 的 种 类							
	NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂	BaCl ₂	LiCl	Br ₂	H ₃ BO ₃
吨/年	59486	5875	5163	974	2178	518.5	268.2	635.7

1.3 电渗析浓缩盐水的综合利用

从表1、2的数据可知,浓缩液具有综合利用的价值,可提取的盐类产品主要有:氯化钠、氯化钾、氯化锂(或碳酸锂)及溴等。根据浓缩液的组成和数量,采取已知的分离提取技术,制得相应的产品,实现综合利用,将会取得良好的技术经济效果。

1.4 综合利用的原则流程及说明

根据电渗析浓缩液的组成性质和分离提取方法,提出综合利用的原则流程,见图1。

(1)浓缩液中 BaCl₂ 含量较多,对综合利用过程不利,必须预先除去。除 Ba²⁺ 的方法很成熟,主要加入 Na₂SO₄,使之生成难溶性的 BaSO₄。为了使 SO₄²⁻ 不进入溶液,可适当少加 Na₂SO₄,加入部份 Na₂CO₃ 使 Ba²⁺ 沉淀完全,可获得高纯度的沉淀硫酸钡产品。国内已有成熟的生产方法^[2]。

(2)浓缩液中含溴浓度较高,适合采用蒸汽蒸馏法生产溴,该方法技术成熟,已被国内外广泛采用进行规模生产^[3]。

(3)蒸发制取氯化钠和氯化钾

用地下盐水,以真空蒸发法制取氯化钠,在国内外已属成熟的技术。气田水电渗析浓缩液与纯盐水不同,是属于 KCl—NaCl—CaCl₂—MgCl₂—H₂O 体系的水型,其中含有较多量 KCl,蒸发浓缩到一定程度,KCl 将会结晶析出来。利用相图原理,通过蒸发结晶过程制取 NaCl 和 KCl 产品。

(5)制取锂盐

蒸发、结晶制取 NaCl 和 KCl 后的母液,锂盐的浓度进一步提高,可以采用碱法或萃取法制取碳酸锂(或氯化锂)。

2 蒸发结晶制取 NaCl 和 KCl 原理

2.1 相图

日本学者根据离子交换膜电渗析浓缩咸水的组成特点和生产的需要,系统地研究了 NaCl

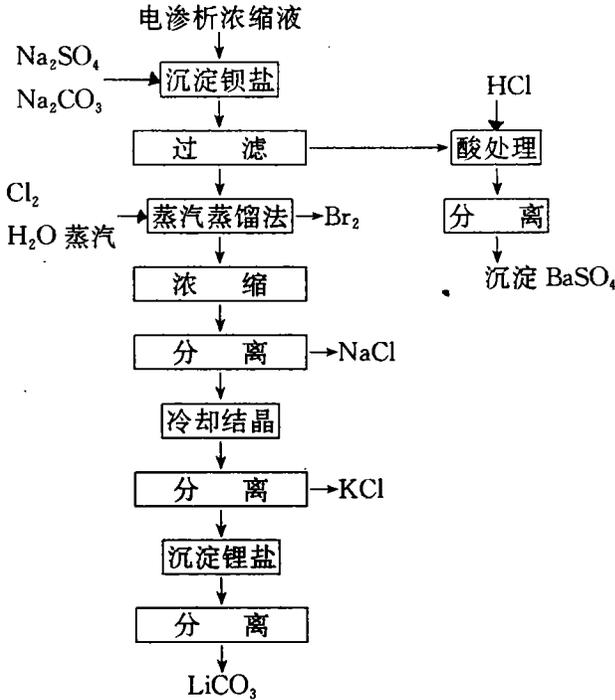


图1 综合利用原则流程图

-KCl-MgCl₂-CaCl₂-H₂O 25℃体系相平衡^[6]和 110℃体系的相平衡^[7]。还分别研究了 NaCl-CaCl₂-H₂O, KCl-CaCl₂-H₂O, NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O, KCl-MgCl₂-CaCl₂-H₂O 等体系的相平衡。为我们对电渗析浓缩液蒸发、结晶制取 NaCl 和 KCl 提供了科学依据。

威远气田水电渗析浓缩液中, MgCl₂ 含量较少, 对 NaCl 和 KCl 的平衡影响与 CaCl₂ 相似, 为了简化相图解析, 把 CaCl₂ 与 MgCl₂ 合并处理, 以 CaCl₂ 表示, 采用文献[4]的 25℃相平衡数据及文献[6]的 100℃相平衡数据, 用干盐百分数值绘制相图, 见图 2。

2.2 蒸发结晶路线的相图解析

2.2.1 原料液组成数据及相图点

把电渗析浓缩液组成数据处理成干盐重量百分数, 见表 3, 标绘在相图(图 2)上为 O 点。

表3 原料液组成及相图数据

类别	组成 W/%								注
	$\rho/(kg/L)$	NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂	BaCl ₂	H ₂ O	总盐	
原料液	1.126	14.57	1.41	1.24	0.23	0.52	82.25	17.75	BaCl ₂ 算成 NaCl
相图原料液	—	14.87	1.41	1.47	—	—	82.25	17.75	
相图干盐	—	83.77	7.94	8.28	—	—	463.4	100	

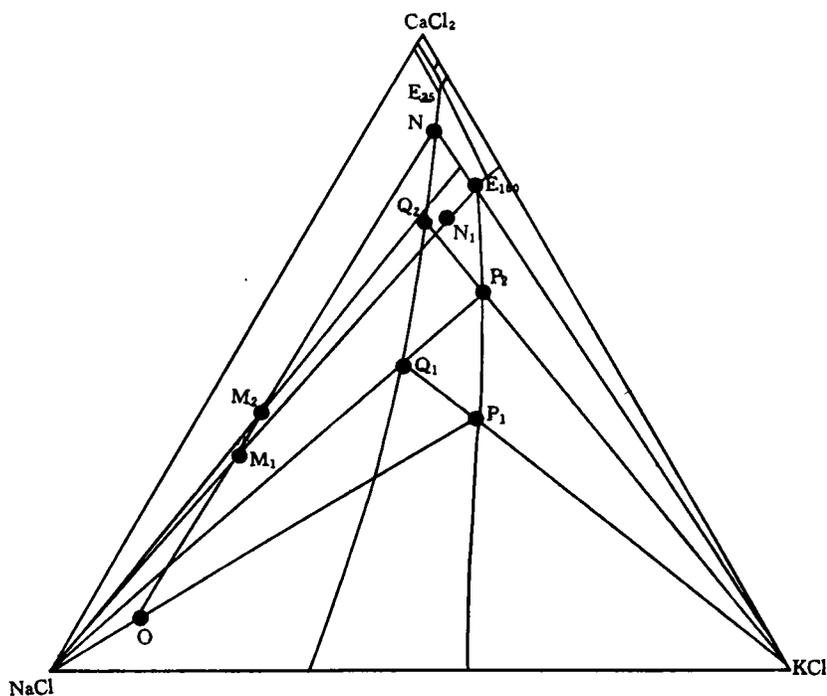


图2 NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O体系相图
(25°C、100°C) (克/100克干盐)

2.2.2 蒸发结晶路线的解析

(1) 预蒸发:

从原料液组成可知 NaCl 尚未达到饱和, 首先进行预蒸发, 使 NaCl 达到 25°C 或 100°C 下饱和:

$$O - W_1(H_2O) = O_{25} \quad (1)$$

$$O - W_2(H_2O) = O_{100} \quad (2)$$

(2) 蒸发制盐过程:

从相图(图2)上的 O 点, 蒸发至 100°C 下 NaCl 饱和, 组成点不变。继续蒸发 NaCl 结晶析出, 液相点向 P₁ 点移动, 液相点达到 P₁ 点继续蒸发会有 KCl 析出。因此从 O₁₀₀ 至 P₁ 点过程, 为蒸发制取食盐过程:

$$O_{100} - W(H_2O) = NaCl + P_1 \quad (3)$$

(3)蒸发结晶制取氯化钾过程:

相图解析可知,制取氯化钾主要有三条蒸发结晶路线可供选择:

路线1:制取钾石盐,洗涤法制取 KCl。

路线2:多次蒸发,结晶,直接制取 KCl。

路线3:兑卤蒸发制氯化钠和氯化钾。

路线1过程为蒸发制取 NaCl 的母液 P_1 继续蒸发,结晶析出 NaCl+KCl,液相点向 F_{100} 点移动,当达到 F_{100} 点时,停止蒸发,冷却至 25°C ,析出 KCl,母液为 N_{25} 点。

$$P_1 - W_4(H_2O) = NaCl + KCl + F_{100} \quad (4)$$

$$F_{100} \xrightarrow[25^\circ\text{C}]{\text{冷却}} KCl + N_{25} \quad (5)$$

得到 KCl+NaCl 固相混合物,按 KCl-NaCl- H_2O 25°C 体系相图计算加水量,使 NaCl 全部溶解,大部分 KCl 为固相,分离得 KCl 产品。

分离得 N_{25} 母液,用于提取锂盐。

路线2过程为热过滤得 NaCl 产品和 P_1 母液,把 P_1 母液冷却至 25°C ,析出 KCl,分离得母液 Q_1 和 KCl 产品; Q_1 母液蒸发去水,析出 NaCl,当液相组成为 P_2 点时,热过滤得 NaCl 产品和母液 P_2 ,把母液 P_2 冷却至 25°C 析出 KCl,分离得母液 Q_3 和 KCl 产品;把母液 Q_3 蒸发去水析出 NaCl,当液相点为 P_3 时分离,得 NaCl 产品和母液 P_3 ,把 P_3 母液冷却至 25°C ,析出 KCl 分离得母液 N 和 KCl 产品。主要过程有:

$$P_1 \xrightarrow{\text{冷却}} KCl + Q_1 \quad (6)$$

$$Q_1 - W_5(H_2O) = NaCl + P_2 \quad (7)$$

$$P_2 \xrightarrow{\text{冷却}} KCl + Q_2 \quad (8)$$

$$Q_2 - W_6(H_2O) = NaCl + P_3 \quad (9)$$

$$P_3 \xrightarrow{\text{冷却}} KCl + N \quad (10)$$

NaCl 合并为产品,KCl 合并为产品,N 母液用于制取锂盐。

路线3过程,为了简化蒸发分离过程,把 O_{100} 与 N 母液或把 P 母液与 N 母液按一定比兑卤,消除钾石盐阶段,蒸发去水析出 NaCl,分离得母液,冷却结晶析出 KCl,主要过程有:

$$O_{100} + N = M_1 \quad (11)$$

$$M_1 - W_7 = NaCl + F_{100} \quad (12)$$

$$F_{100} \xrightarrow{\text{冷却}} KCl + N \quad (13)$$

$$P + N = M_2 \quad (14)$$

$$M_2 - W_8 = NaCl + F_{100} \quad (15)$$

$$F_{100} \xrightarrow{\text{冷却}} KCl + N \quad (16)$$

表4 相图点组成数据

相图点	温度 T/°C	液相组成 W/%				干盐组成 W _干 /%				注
		NaCl	KCl	CaCl ₂	H ₂ O	NaCl	KCl	CaCl ₂	H ₂ O	
O	常温	14.87	1.41	1.47	82.25	83.77	7.94	8.28	463.4	
O ₂₅	25	26.51	2.51	2.62	68.35	83.77	7.94	8.28	216.0	
O ₁₀₀	100	28.47	2.70	2.82	65.99	83.77	7.94	8.28	194.0	
P ₁	100	9.22	14.70	15.30	60.78	23.50	37.60	38.90	155	
Q ₁	25	9.26	7.52	15.48	67.74	28.70	23.30	48.00	210	
P ₂	100	4.75	12.20	25.42	57.63	11.20	28.80	60.00	136	
Q ₂	25	4.42	5.34	24.25	65.99	13.00	15.70	71.30	194	
P ₃	100	2.19	8.93	39.90	48.98	4.30	17.50	78.20	96	
F	100	1.84	9.95	39.04	49.17	3.62	19.58	76.80	96.7	
N	25	2.01	3.93	36.80	57.26	4.70	9.20	86.10	134.0	O ₁₀₀ :N
M ₁	79	22.19	3.50	12.77	61.54	57.70	9.10	33.20	160.0	1:0.4
M ₂	75	18.28	3.24	14.39	64.09	51.00	9.00	40.00	178.5	1:0.5

3 相图计算结果

3.1 液相点数据

根据原料液的组成和相图数据,计算求取过程各液相点的组成数据,见表4。

3.2 计算结果

根据相图分析的各平衡式,对三条路线的蒸发结晶过程进行相图计算。

按1000kg电渗析浓缩液计,蒸发结晶各阶段母液与固体结晶重量的计算结果,见表5,各阶段母液组成见表6。

表5 蒸发结晶各阶段液、固相物料量

路线	阶段	原液量 (kg)	去水量 (kg)	液相量 (kg)	固相量(kg)		固相组成(%)		去水率 (%)	析盐率(%)	
					NaCl	KCl	NaCl	KCl		NaCl	KCl
预蒸发	O-O ₂₅	1000	439.1	560.9	—	—	—	—	43.91	—	—
	O-O ₁₀₀	1000	477.7	522.3	—	—	—	—	47.77	—	—
制取 NaCl	O ₁₀₀ -P ₁	522.3	286.4	96.10	139.8	—	100.0	—	76.41	94.02	—
路线1	P ₁ -F ₁₀₀	96.10	38.16	39.43	8.16	10.35	44.08	55.92	80.23	5.49	73.40
	F ₁₀₀ -N	39.43	—	36.81	0.05	2.57	38.86	61.14	—	—	91.67
	洗涤	21.13	+27.32	39.65	—	8.80	—	100.0	—	—	62.41
路线2	P ₁ -Q ₁	96.10	+5.88	94.96	0.06	6.96	0.86	99.14	—	—	49.36
	Q ₁ -P ₂	94.96	30.99	57.83	6.04	—	100.0	—	79.51	4.06	—
	P ₂ -Q ₂	57.83	+6.60	60.61	0.07	3.90	1.76	98.24	—	—	77.02
	Q ₂ -P ₃	60.61	21.90	36.84	1.87	—	100.0	—	81.70	1.26	—
	P ₃ -N	36.84	+7.36	42.42	0.01	1.77	0.56	99.44	—	—	89.57
路线3	Q ₁₀₀ +N	522.3	+208.9	(1:0.4)=M ₁		—	—	—	47.77	—	—
	M ₁ -F ₁₀₀	751.2	348.8	234.7	148.6	—	100.0	—	82.65	99.93	—
	F ₁₀₀ -N	234.7	+27.20	249.0	—	13.57	—	100.0	—	—	96.24
	Q ₁₀₀ +N	522.3	+261.2	(1:0.5)=M ₂		—	—	—	47.77	—	—
	M ₂ -P ₃	783.5	358.0	277.9	147.4	—	100.0	—	83.57	99.12	—
	P ₃ -N	277.9	+52.60	317.9	0.23	12.80	1.76	98.24	—	—	90.78

4 验证试验结果及讨论

4.1 试验结果

按相图计算的各阶段,进行制取氯化钠和氯化钾的验证试验。

取一定量原料液置入三口烧瓶中,蒸发去水,控制规定的蒸发水量,热过滤得液固相样品,称重并取样分析。

热母液置入冷水浴中冷却至 25 C,过滤得固相样品,称重及取样分析。固相样品置入烘箱中在 110 C 下烘干称重,取样进行分析。

预蒸发阶段、制取氯化钠阶段、制取氧化钾的两种路线试验结果见表 7。

试验各阶段液、固相样品组成见表 8。

4.2 结果讨论

(1)预蒸发试验结果与相图计算值完成一致。

(2)蒸发制取氯化钠阶段试验结果,从表 7 可以看出,随着蒸发水量的增加,氯化钠

表 6 蒸发结晶各阶段液相组成

路线	液相点	液 相 组 成 W / %								注
		NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂	LiCl	Br	B	H ₂ O	
预蒸发	O	14.57	1.41	1.24	0.23	0.14	0.065	0.028	82.01	
	O ₂₅	26.51	2.51	2.21	0.41	0.26	0.11	0.049	67.94	
	O ₁₀₀	28.47	2.70	2.37	0.44	0.28	0.12	0.053	63.48	
制取 NaCl	P ₁	9.27	14.69	12.92	2.40	1.51	0.68	0.29	58.25	
路线 1	F ₁₀₀	1.76	9.50	31.45	5.83	3.68	1.65	0.70	45.43	
	N ₁	1.88	3.58	33.69	6.25	3.94	1.77	0.75	48.14	
	S	20.40	11.15	—	—	—	—	—	68.45	洗液
路线 2	P ₁	9.27	14.69	12.92	2.40	1.51	0.68	0.29	58.25	
	Q ₁	9.26	7.52	13.06	2.42	1.53	0.68	0.30	65.23	
	P ₂	4.75	12.20	21.44	3.98	2.51	1.12	0.48	53.52	
	Q ₂	4.42	5.34	20.46	3.80	2.39	1.07	0.45	62.07	
	P ₃	2.19	8.93	33.66	6.24	3.94	1.76	0.75	42.53	
	N ₂	1.88	3.58	29.23	5.42	3.42	1.53	0.65	54.29	
路线 3	M ₁	20.91	3.05	10.57	1.96	1.18	0.44	0.22	63.48	1 : 0.4
	(一) F ₂	1.84	9.95	32.93	6.11	3.66	1.36	0.70	49.17	
	N ₃	2.01	3.93	31.04	5.76	3.45	1.28	0.66	57.26	
	(二) M ₂	19.65	3.11	11.94	2.21	1.32	0.59	0.25	60.42	1 : 0.5
	P ₃	2.19	8.93	33.66	6.24	3.74	1.67	0.71	42.86	
	N ₄	1.99	3.78	29.42	5.45	3.27	1.46	0.53	59.15	

析出率成比例提高,蒸发去水率达76%时,氯化钠析出率为94%,试验结果与相图计算值一致。从原料液一直蒸发至氯化钠与氯化钾共饱和线P点上,析出固相量过多,料浆浓度过大,不利于操作。在P点母液热过滤时,由于降温有少量氯化钾结晶析出,影响氯化钠产品质量。因此制取氯化钠阶段,蒸发分离以两级为宜,在连续蒸发制盐过程中,要随时把固相物料从蒸发系统中取出,才能保障蒸发操作的顺利进行。

(3)从表7可知用P母液蒸发,冷却结晶制取氯化钾,氯化钾的收率达84%,有10%的氯化钾损失在氯化钠固相中。

(4)兑卤蒸发制取氯化钠和氯化钾的路线,试验结果最佳,氯化钠收率达93%,与相图计算值一致。

试验了两种兑卤方法,以P母液与N母液兑卤试验效果为最佳。

(5)从表8数据可知,制取氯化钾后的N母液中含氯化锂达3.8%以上,具有制取锂盐的价值,有待继续研究。

表7 验证试验结果

编号	路线	阶段	原液量 (g)	N液量 (g)	蒸发水量 (g)	液相量 (g)	固相量(g)		去水率 (%)	析盐率(%)	
							湿基	干基		NaCl	KCl
1-1-1	预蒸发	O-O ₂₅	2000	—	818.0	1182	—	—	40.90	—	—
1-1-2			2000	—	960.0	1040	—	—	48.00	—	—
2-1-1	制取 NaCl	O-P ₁	2000	—	1022.5	881.0	96.50	91.50	51.12	31.11	—
2-1-2		O-P ₂	881.0	—	219.5	569.0	92.50	87.00	62.10	60.71	—
2-1-3		O-P ₃	569.0	—	216.0	270.0	83.00	77.00	72.90	86.47	—
2-1-4		O-P ₄	270.0	—	61.00	181.0	28.00	25.50	75.95	94.53	10.16
P-4-0	制取 KCl	P-F	1900	—	820.0	740.0	333.9	309.6	43.16	10.14	—
P-4-2		F-N ₁	370.0	—	—	280.9	74.00	66.26	0	6.20	84.15
P-4-2		F-N ₂	370.0	—	—	246.7	75.37	67.00	—	6.82	84.68
P-5-1	兑卤制取	O-O ₁₀₀	2000	—	920.0	1080	—	—	46.00	—	—
	KCl	O ₁₀₀ +N	1080	500.0	—	1580	—	—	—	—	—
	O ₁₀₀ :N	M ₁ -F ₁	1580	—	700.0	580.0	309.0	288.0	81.00	97.45	—
	1:0.46	F ₁ -N ₁	580.0	—	+60	609.0	31.00	26.80	—	—	92.81
P-5-2	兑卤制	O-O ₁₀₀	2000	—	920.0	1080	—	—	46.00	—	—
	取 KCl	O ₁₀₀ +N	1080	650.0	—	1730	—	—	—	—	—
	O ₁₀₀ :N	M ₂ -F ₂	1730	—	783.0	662.0	315.0	289.0	85.15	97.69	—
	1:0.60	F ₂ -N ₂	662.0	—	+20	650.0	32.00	27.80	—	—	93.90
P-5-3	兑卤制	O-P	2000	—	1457.5	272.5	270.0	261.0	72.88	87.96	—
	取 KCl	P+N	272.5	163.5	—	436.0	—	—	—	—	—
	P:N	M ₃ -F ₃	436.0	—	195.0	206.0	36.00	28.80	82.63	97.00	—
	1:0.60	F ₃ -N ₃	206.0	—	+40	209.8	33.20	28.10	—	—	94.19

5 全流程试验结果及讨论

5.1 试验结果

根据验证试验结果可知,兑卤蒸发制取氯化钾的路线为最佳,在全流程试验中作适当调整。试验方法如下:

取原料液 2000g,蒸发去水约 72%,热过滤得 NaCl 和 P 母液,NaCl 固相用 50 毫升 NaCl 饱和溶液洗涤,烘干,称重取样分析。

P 母液与 N 母液按 1:0.4~0.5 比例兑卤,蒸发去水 40%左右,热过滤得 NaCl 和 F 母液,NaCl 固相用 50ml 饱和 NaCl 溶液洗涤、烘干、称重,取样分析。

F 母液置入冷水浴中冷却至 25 C,搅拌 30 分钟后过滤,得 KCl 和 N 母液, KCl 固相用 50ml KCl 饱和溶液洗涤;干燥、称重,取样分析。N 母液部分返回流程兑卤,多余部分排出流程用于制取锂盐。

全流程试验结果见表 9。

试验过程液相组成见表 10。

氯化钠和氯化钾产品检验结果见表 11。

表 8 液固相样品组成

编号	液相点	液相组成(%)						固相组成(干基%)			
		$\rho(\text{kg/L})$	NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂	LiCl	NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂
1-0-0	0	1.129	14.55	1.35	1.20	0.22	0.14	—	—	—	—
1-1-1	O ₂₅	1.251	24.65	2.39	2.10	0.39	—	—	—	—	—
1-1-2	O ₁₀₀	1.260	28.02	2.71	2.38	0.44	—	—	—	—	—
2-1-1	P ₁	1.262	22.64	3.64	2.72	0.50	—	98.94	0.40	0.37	0.19
2-1-2	P ₂	1.264	19.77	4.75	4.21	0.77	—	98.99	0.50	0.41	0.10
2-1-3	P ₃	1.267	13.10	10.00	8.89	1.60	—	97.37	1.18	1.20	0.25
2-1-4	P ₄	1.271	9.21	12.56	11.11	2.03	—	91.98	5.38	2.20	0.44
P-4-0	P	1.282	10.24	12.85	11.64	2.17	1.56	—	—	—	—
P-4-1	F ₁	1.354	5.15	14.08	23.80	4.70	3.12	—	—	—	—
P-4-2	F ₂	1.342	5.02	14.54	25.81	3.85	3.56	—	—	—	—
P-4-1	N ₁	1.389	5.40	2.91	29.54	3.42	3.84	5.40	91.93	1.57	0.18
P-4-2	N ₂	1.379	5.23	3.00	29.60	3.60	3.90	5.88	91.51	1.01	0.19

表 9 全流程试验结果

编 号	阶 段	原料液(g)		蒸发水量 (g)	液相量 (g)	干固相量 (g)	出水率 (%)	析盐率(%)	
		O	N					NaCl	KCl
6-1-1	O-P	2000	—	1457.0	268.0	261.0	72.85	87.45	—
1-2	P+N	268.0	162.0	—	430.0	—	—	—	—
1-3	M-F	430.0	—	130.0	253.0	33.70	79.35	98.09	—
1-4	F-N	253.0	—	+25	260.6	25.70	—	—	90.90
6-2-1	O-P	2000	—	1462.0	260.5	252.5	73.10	85.12	—
2-2	P+N	260.5	156.0	-416.5	—	—	—	—	—
2-3	M-F	416.5	—	162.7	253.3	43.50	81.20	98.65	—
2-4	F-N	253.3	—	+25	249.3	26.20	—	—	90.83
6-3-1	O-P	2000	—	1457.5	272.5	261.0	72.88	87.09	—
3-2	P+N	272.0	159.0	—	431.0	—	—	—	—
3-3	M-F	431.0	—	189.3	194.2	40.50	82.34	99.96	—
3-4	F-N	194.2	—	+14	179.7	26.50	—	—	93.34
6-4-1	O-P	2000	—	1433.5	279.5	257.5	71.68	86.90	—
4-2	P+N	279.5	140.0	—	419.5	—	—	—	—
4-3	M-F	419.5	—	161.0	212.2	40.00	79.73	99.57	—
4-4	F-N	212.2	—	+10	191.9	27.00	—	—	94.90
6-5-1	O-P	2000	—	1440	276.0	260.0	72.50	87.34	—
5-2	P+N	276.0	138.0	-414.0	—	—	—	—	—
5-3	M-F	414.0	—	160.0	206.0	40.20	80.50	99.83	—
5-4	F-N	206.0	—	+20	197.5	25.80	—	—	90.30
平均值	—	2000	151.0	1612.6	—	—	80.62	99.22	92.05

表 10 液相样品组成

编号	液相点	液相组成 W/%					
		$\rho/(g/L)$	NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂	LiCl
6-1-1	P	1.249	12.60	9.57	8.26	1.39	--
6-1-4	N	--	--	--	--	--	--
6-2-1	P	1.247	11.90	11.00	10.24	2.07	--
6-2-4	N	--	--	--	--	--	--
6-3-1	P	1.249	12.23	9.96	8.76	1.60	--
6-3-4	N	1.389	5.23	3.00	29.41	3.06	3.78
6-4-1	P	1.235	13.29	8.95	7.80	1.25	--
6-4-4	N	1.404	5.51	3.31	29.94	3.15	3.90
6-5-1	P	1.246	12.68	9.78	8.40	1.56	--
6-5-4	N	1.394	5.40	2.94	29.54	2.42	3.84

表 11 产品检验结果

编号	产品名称	组成 W(干基)/%				注
		NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂	
6-1	NaCl	96.88	0.75	0.61	0.15	NaCl 二次结晶产品
	KCl	--	95.50	--	--	平均值
6-2	NaCl	96.98	0.42	0.58	0.18	
	KCl	--	93.60	--	--	
6-3	NaCl	96.42	0.52	0.36	0.10	
	KCl	--	95.10	--	--	
6-4	NaCl	97.39	0.30	0.44	0.16	
	KCl	--	94.90	--	--	
6-5	NaCl	95.92	0.91	0.52	0.19	
	KCl	--	94.49	--	--	
平均值	NaCl	96.72	0.58	0.50	0.16	
	KCl	--	94.72	--	--	

5.2 结果讨论

(1) 主要技术经济数据

全流程试验取得的主要技术经济数据见表 12。

试验结果表明,调整后兑卤工艺流程是合理的,NaCl 和 KCl 的收率高,产品质量好。

(2) 消耗定额及成本估算

按生产 1 吨 NaCl 及副产 0.09 吨 KCl 产品计,消耗定额及综合成本估算结果见表 13。

表 12 主要技术经济数据

序号	项目	单位	数据	注
1	蒸发去水率	%	80.60	
2	NaCl 收率	%	98.00	
3	KCl 收率	%	92.00	
4	NaCl 产品质量	国标	优级品	GB5462-85
5	KCl 产品质量	国际	优级品	GB350-82

表 13 消耗定额及成本估算表

序号	项目	单位	定额	单价(元)	金额(元)	注
1	浓缩原料液	吨	6.71	—	—	不计价
2	煤	吨	0.50	250.00	125.00	三效蒸发
3	电	千瓦时	100.	0.40	40.00	
4	水	吨	0.20	0.50	0.10	
5	工资及附加费	—	—	—	35.00	
6	车间经费	—	—	—	20.00	
7	企管费	—	—	—	10.00	
8	生产成本	—	—	—	230.10	

(3) 经济效益

若威远气田水全部予以处理利用,可年产氯化钠 5.90 万吨,副产氯化钾 0.53 万吨。经济效益见表 14。

表 14 经济效益表

序号	项目	金额(万元)	注
1	NaCl 销售额	1475.00	单价 250 元/t
2	KCl 销售额	636.00	单价 1200 元/t
3	年总成本额	1357.59	
4	年利税额	753.41	

6 结论

(1) 制取氯化钠和氯化钾过程的试验结果证明,与相图计算结果是一致的,可以应用 NaCl—KCl—CaCl₂—H₂O 体系相图来指导氯化钠和氯化钾的生产。

(2) 相图解析可以有多种蒸发结晶制取氯化钠和氯化钾的工艺路线,但以兑卤蒸发结晶路线为最佳,氯化钠和氯化钾收率高,产品质量好,流程合理,控制方便。

(3) 试验取得了良好的技术经济指标,有一定的经济效益。

(4) 制取氯化钠和氯化钾后的母液,具有制取锂盐的价值,尚待进一步研究。

参 考 文 献

- [1]李权,戈桦,董亚萍等,盐湖研究,1999(1):39.
- [2]陈松茂主编,化工产品实用手册(4),上海科学技术文献出版社,1994年1月,128.
- [3]林真敬、広井功,日本海水学会志,1980,34(2):116.
- [4]本山正夫,门田稔,岗俊平,日本海水学会志,1972,26(4):174.
- [5]真岛久之助,甲林和子,手岛富枝,岗俊平,日本海水学会志,1972,26(4):199.
- [6]本山正夫,门田稔,岗俊平,日本海水学会志,1980,34(4):263.

Study of Comprehensive Utilization of Concentrated Solution and Preparation of Sodium Chloride and Potassium Chloride

Li Quan Dong Yaping Ge Hua Chen Dafu

(*Qinghai Institute of Salt Lakes, Academia Sinica, Xining, 810008*)

Abstract

This paper gives the composition of concentrated solution of waste water in gas field by electro dialysis and its comprehensive utilization circuit. Calculation and analysis according to the phase diagram of $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{CaCl}_2-\text{H}_2\text{O}$ system were completed for the technological process of making sodium chloride and potassium chloride. Experimental results proved to coincide with the calculation results.

Keywords Electro dialysis, Concentrated solution, Comprehensive utilization