茶卡盐湖湖表卤水摸拟动态蒸发试验研究

李海民　徐晓东　李纪泽
（中国科学院青海盐湖研究所，西宁，810008）

摘要　叙述了茶卡盐湖卤水，在摸拟湖区温度、风力条件下，蒸发、浓缩、析盐的相化学规律。给出了盐湖卤水的蒸发结晶路线、析出盐类矿物种类。

关键词：卤水　蒸发　结晶

1、前言

茶卡盐湖位于乌兰县茶卡镇南侧，柴达木盆地东部，面积 $105km^2$，湖表水平均水深 0.2m，是一个以固体矿床为主的硫酸盐型盐湖。其湖表水及晶间水中含有大量钾盐，镁盐等具有经济开发价值的组分。长期以来，该湖以直接挖取石盐，生产氯化钠这种单一产品，盐湖资源的综合利用尚未进行研究。为合理充分利用该湖资源，茶卡盐厂邀请我所进行了资源合理开发利用方面的研究，研究课题属资源综合利用研究的内容之一，旨在摸拟湖区自然环境条件下，求取卤水蒸发析盐规律，液固相分离控制参数，物料的化学组成及量的关系，以指导相应的盐田工艺。

2、试验

2.1　试验原料

原料卤水于1992年10月9日取自茶卡盐厂大盐田南约300m处的输卤沟起端。密度1.239/13℃，试验用卤水61.6kg。主要化学成分：NaCl，13.14%；KCl，0.91%；$MgSO_4$，4.19%；$MgCl_2$，8.74%。

2.2　试验装置

选用PVC槽为蒸发容器，规格：长×宽×高＝1×0.57×0.22（米），蒸发面积 $0.57m^2$。以500W红外灯二个悬挂在蒸发器上空作为热源控制蒸发温度，以调节风扇摸拟茶卡地区自然风力。通过这些装置定性地造成近似于湖区夏季的气象环境，使卤水的蒸发在近似于湖区现场的自然环境中进行。本试验环境，是对茶卡湖区4－10月份气温、风力等因素的摸拟，最高蒸发温度23℃，最低15℃。

2.3　试验方法

每天在早8：40分，下午14：40分对试验情况进行二次观测，观测内容：试验卤水温度、密度、晶体析出情况、气温、空气温度等。根据偏光显微镜对蒸发所析出晶体形状，析光率的观测结果，鉴别卤水在蒸发过程中所析出盐类的种类，以此决定从卤水中分离各种盐类的控制条件。同时，在试验过程中随机地取固液样品进行化学分析，控制卤水蒸发结晶析盐时各所需盐

类的分离条件。

2.4　样品分析：卤水中所析盐类常量元素，采用中科院盐湖所分析室编"卤水和盐的分析"[1]一书中的方法。

K^+：四苯硼钠重量法

Ca^{2+}，Mg^{2+}：EDTA 容量法

Cl^-：汞量法

SO_4^{2-}：硫酸钡重量法

微量元素（B^{3+}，Li^+，Br^-）由"ICP－3520"仪器测定。

3　试验结果和讨论

3.1　蒸发结晶路线

卤水在蒸发过程中，组成变化情况列于表 1，蒸发结晶路线示于图 1。图中的"0"点是原始卤水组成点，由"0"→"9"点依箭头延伸方向，即为卤水蒸发析盐时，卤水组成的变化路线－蒸发结晶路线。表 1 中的数据表明：湖水蒸发析盐结晶规律遵循（Na^+，K^+，Mg^{2+} ‖ Cl^-，SO_4^{2-}－H_2O，25℃）介稳图所示的相关相区体点蒸发析盐的相化学规律。由图 1 可见，卤水动态蒸发结晶过程介稳图所示路线并不完全吻合，存在一定偏差。差别在于：卤水蒸发到对光卤石饱和时，其共饱结晶线的位置，不在介稳图所示的 DP 线上。氯化钠，水氯镁石，光卤石共同析出时，液相点的位置也不在 P 点。这是因为本试验的试验条件与介稳图所要求的条件存在较大差别而造成的。本试验卤水蒸发是在变温下进行的（15℃－23℃）。在蒸发过程中，卤水所处的温度环境不同，各盐类在水中的溶解度也不同，析出的盐的种类也就有差别，反映在相图上，不同温度下各盐类结晶区的大小就有差异，从而造成试验卤水蒸发结晶路线与介稳所示路线

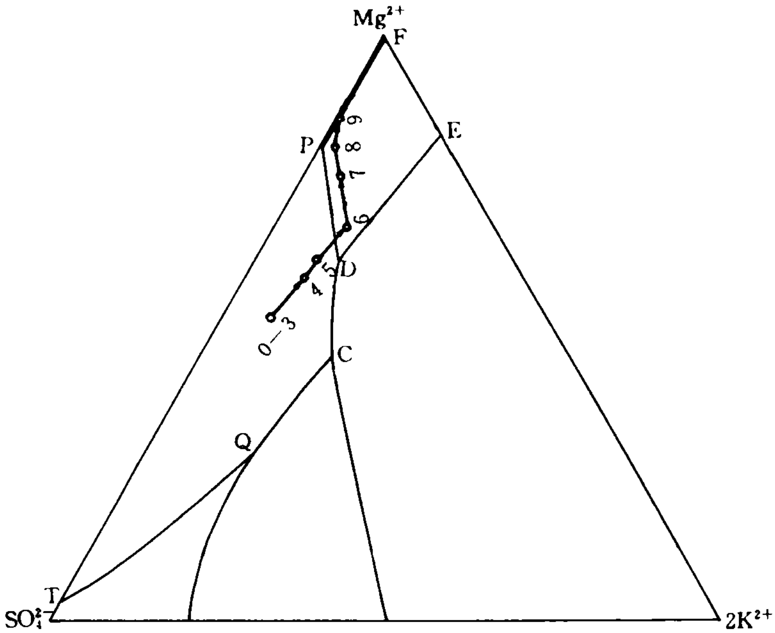

图 1　Na^+，K^+，Mg^{2+} ‖ Cl^-，SO_4^{2-}－H_2O（25℃）介稳图局部

表 1. 茶卡盐湖卤水模扶动态蒸发试验液相结果

编号	物化参数			化合物组成(wt%)				M/1000 M H_2O				M/2K++Mg+2++SO+2−₄=100				对应固相
	密度(d/℃)	PH	粘度(cp)	NaCl	KCl	$MgSO_4$	$MgCl_2$	2NaCl	2KCl	$MgSO_4$	$MgCl_2$	$2K^+$	Mg^{2+}	$2Na^+$	H_2O	
CL−0	1.239/13	6.80	2.77	13.14	0.91	4.20	8.74	27.74	1.51	8.61	22.65	3.64	75.55	66.40	2416.64	NaCl
CL−1	1.261/23	6.50	4.25	8.51	1.32	6.24	12.50	18.36	2.23	13.09	33.15	3.61	75.13	29.90	1624.95	〃
CL−2	1.266/23	6.50	4.58	7.85	1.39	6.46	13.14	17.00	2.36	13.53	34.94	3.85	75.26	26.39	1550.84	〃
CL−3	1.275/17	6.47	5.24	6.02	1.64	7.12	14.34	13.10	2.80	15.05	38.32	3.93	74.93	18.25	1403.57	NaCl+Eps
CL−4	1.275/17	6.40		3.82	1.97	5.75	17.66	8.31	3.36	12.15	47.20	4.48	79.27	11.11	1335.37	〃
CL−5	1.286/20	6.09	6.21	2.41	2.21	5.56	19.89	5.31	3.84	11.90	53.84	4.71	80.68	6.54	1227.07	〃
CL−6	1.298/15	5.76	7.24	0.21	2.76	4.48	23.40	0.47	4.82	9.69	64.00	5.46	83.53	0.53	1133.08	〃
CL−7	1.306/20	5.60		—	1.45	.87	26.43	—	2.53	8.37	72.29	2.76	88.09	—	1091.84	〃
CL−8	1.330/23	5.01	12.16	—	0.58	3.88	29.43	—	1.06	8.78	84.22	1.03	90.48	—	973.47	〃
CL−9	1.341/19	.90	16.51	—	0.40	3.42	33.57	--	0.77	8.19	101.61	0.85	92.45	—	842.03	NaCl+Eps+Car+Bis

注：Eps−$MgSO_4\cdot7H_2O$，Car−KCl，$MgCl_2\cdot6H_2O$，Bis−$MgCl_2\cdot6H_2O$。

有偏差，温度不同是主要原因。

表 2. 试验固相结果

编号	相应液相密度(d/℃)	化合物组成(wt%)				矿物组成(wt%)				夹带母液(%)	
		NaCl	KCl	$MgSO_4$	$MgCl_2$	NaCl	EPS	Car	Bis		
Cs－1	1.261/23	84.56	0.23	1.06	1.83	97.44				15.28	98.55
Cs－3	1.275/17	75.52	0.41	2.22	3.42	99.79				25.88	99.84
Cs－5	1.286/20	33.30	0.32	26.29	3.06	38.58	61.09			14.59	99.72
Cs－9	1.341/19	9.74	9.02	16.14	20.95	12.71	41.03	43.27		23.35	101.42

表 3　相关相变点液相组成

析出新相	相应密度 d/℃	化学组成(wt%)				
		NaCl	KCl	$MgSO_4$	$MgCl_2$	H_2O
Bps	1.275/17	6.02	1.64	7.12	14.34	70.88
Car	1.286/20	2.41	2.22	5.56	19.89	69.92
Bis	1.341/19	—	0.40	3.42	33.57	62.61

3.2　试验过程中析出固相

试验所得固相化学成分列于表 2，光学特性鉴定结果列于表 6。由表 2 可见，试验过程共析出四种盐类，析出顺序：

NaCl

$NaCl + MgSO_4 \cdot 7H_2O$

$NaCl + MgSO_4 \cdot 7H_2O + KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$

$NaCl + KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O + MgCl_2 \cdot 6H_2O$

卤水蒸发过程中，盐类矿物析出结果，顺序与介稳相图所规定一致。试验中没有见到(4，5)水泻盐、硼酸盐、锂盐

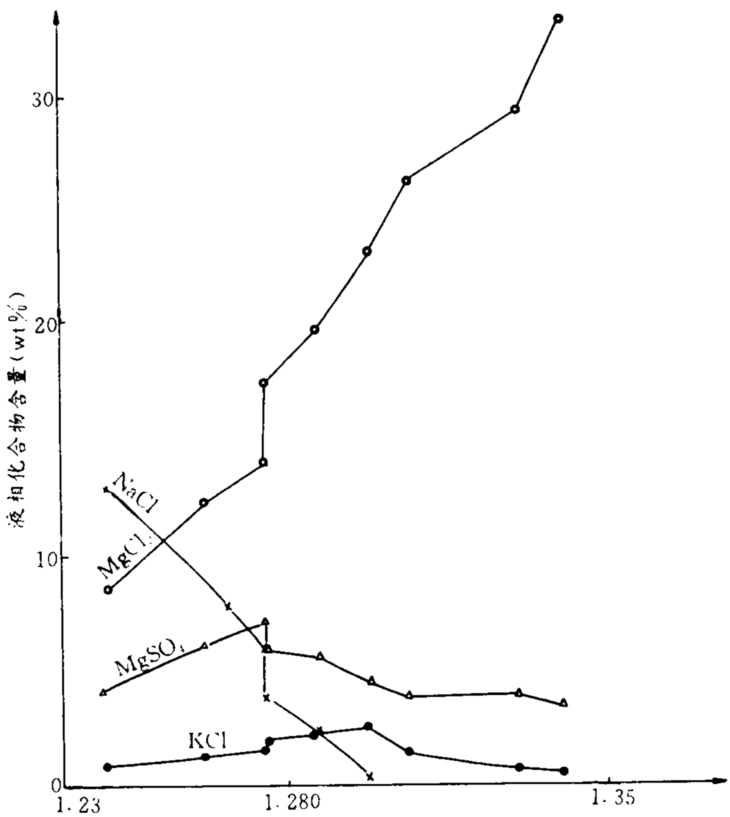

图 2　液相密度

等盐类析出。究其原因，1、本试验蒸发速度较快（35.00g/Day.cm^2），据有关资料介绍；(4,5)水泻盐只有在蒸发速度较慢的情况下（0.015g/Day.cm^2），或长期放置才可出现。2、本试验所用卤水中B_2O_3、Li含量较少，B_2O_3在含量(wt%)<2.94%，LiCl在含量<2.24%前不会析出[3]。

表4　动态蒸发试验物料量、成卤率、析盐率、蒸发率的关系

生产区	物料名称（密度）	各区物料 数量(kg)	各区物料 相当原卤(%)	成卤率(%)	析盐率(%)	蒸失水率(%)
氯化钠区	原料卤(1.239)	61.60	100	100		
	析出物	7.70	12.50		12.50	
	母液(1.275)	34.25	55.60	55.60		
	蒸失水	19.51	31.67			31.67
硫混盐区	原料卤(1.275)	34.25	100			
	析出物	4.40	12.85		7.14	
	母液(1.286)	23.70	69.20	38.47		
	蒸失水	6.15	17.96			9.98
钾混盐区	原料卤(1.286)	23.70	100			
	析出物	6.00	25.32		9.74	
	母液(1.341)	9.93	41.90	16.12		
	蒸失水	7.77	32.78			12.61

表5　微量元素浓缩分布(wt×10^{-4}%)

编号	项目 B_2O_3	Li^+	Br^-
CL－0	138.58	10.59	36.30
CL－1	183.36	15.59	85.20
Cs－1	46.06	2.83	11.20
CL－3	218.12	18.10	68.40
Cs－3	63.13	4.11	35.90
CL－5	270.20	24.23	96.20
Cs－5	84.16	2.74	18.60
CL－9	533.99	49.63	153.00
Cs－9	151.13	11.59	35.10

表6　试验固相光学鉴定结果

矿物名称	化学式	卤水密度	晶体形状	色泽	晶系	轴性	折光率 Ng	折光率 Nn	折光率 Np	光性	干涉色	消光
石盐	NaCl	1.261/23	立方晶体	无色	等轴	均质		1.5443				全消光
泻利盐	$MgSO_4 \cdot H_2O$	1.275/17	细料柱状	〃	斜方	二轴	1.4606	1.4552	1.4328	—	红蓝绿黄橙	斜、平行

光卤石	$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$	1.286/20	假六边形	〃	单斜	〃	1.4963	1.4737	1.4672	+	一级灰	〃

3.3　相关相变点卤水的化学组成和性质

相变点与卤水组成变化示于图2。由图2及表3可见:茶卡盐湖卤水,虽然与其它硫酸盐型盐湖卤水同属硫酸盐型,但在光卤石和水氯镁石析出时,卤水密度值相差不大。茶卡盐湖卤水析出光卤石时的卤水密度为1.286,析水氯镁石密度为1.340。大柴旦盐湖卤水析该二种盐时的密度为1.340及1.380。导致此种差异原因可能是因为茶卡盐湖卤水中稀有元素(如锂盐,硼酸盐含量较小的缘故。此外,由图2还可看出,在泻盐近饱和的欲析出时,各组分的含量均有突变。这是由于形成泻盐,带走结晶水,使卤水中各组分含量增浓的缘故。

3.4　卤水的浓缩、析盐

在卤水蒸发浓缩析盐过程中,卤水的浓缩率、析盐率、蒸失水率,结果列于表4。由表4可见,氯化钠区卤水的成卤率、析盐率、等失水率最大,其次为钾混盐区。这说明卤水氯化钠、钾混盐的产出率较高,有利于硫酸钾的生产。

3.5　卤水浓缩过程中,硼、锂、溴等稀有元素的实际情况列于表5。原始卤水蒸发至 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 饱和,卤水被浓缩4.70倍。

4　结论

4.1　茶卡盐湖卤水在蒸发浓缩过程中,其蒸发结晶路线遵循($Na^+, K^+, Mg^{2+} \parallel Cl^-, SO_4^{2-}-H_2O$,25℃)介稳固相化学规律。

4.2　析出新相时,相变点液相化学组成、密度、各阶段蒸失水率、固相析出率、卤水浓缩率等参数可作为盐田日晒的控制参数。

参考文献

〔1〕中科院青海盐湖研究所二室编,"卤水和盐的分析方法",1988

〔2〕金作美,肖显志等,化学学报,1980,38

〔3〕陈敬清等,东台吉乃尔湖晶间卤水25℃等温蒸发与天然蒸发试验,盐湖科技资料,1980,1—2

Study of Evaporating Experiment of the Surface Brine of Chaka Salt Lake by Imitating the Matural Conditions of this Sat Lake

Li Haimin

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

Abstract

The evaporation, concentration and crystalliztion behavior of Chaka Salt lake brine were studied by imitating the matural conditions of this Salt lake. The results about evaporation and crystallization and the species of the evaporated mineral were presented.

Keywords: Brine　Evaporation　Crystauization