

茶卡盐湖物理化学调查研究*

柳大纲 陈敬清 徐晓白 招禄基 高世扬

(中国科学院青海盐湖研究所, 西宁 810008)

摘要 本文比较系统地介绍了属于硫酸盐型、硫酸镁亚型的茶卡盐湖的地理位置和环境, 盐湖液相及固相沉积物的组成和分布, 盐湖卤水的季节性变化以及晶间卤水的化学组成及其随深度的变化, 通过对该盐湖卤水的蒸发与冷冻实验, 给出了相关体系的相图, 提出茶卡盐湖资源的开发利用方案。

关键词 茶卡盐湖 硫酸盐型 化学组成 相图 资源利用

一、前言

茶卡盐湖位于东经 $99^{\circ}18'$, 北纬 $36^{\circ}41'$ 。属青海省海西州乌兰县管辖。东距西宁市 300 公里, 西距都兰县所在地察汗乌苏 142 公里, 北距天峻县 80 公里。为青藏、青新两公路之交点。青藏铁路拟在西北 33 公里处设察汗诺站。

茶卡地区为一椭圆形闭流与山系走向一致的小山间盆地, 位于祁连山脉完言迎布(北山)及旺尕秀(南山)之间, 形成西北—东南间的狭长盆地。盆地长轴约 80 公里, 宽约 30 公里, 面积达 2200 平方公里。茶卡盐湖位于盆地偏西部分, 距茶卡区 4 公里, 湖面高程为 3214 米, 西北—东南轴长 15.8 公里, 东北—西南最宽为 9.2 公里, 面积为 104 平方公里。

茶卡地区气候属于半沙漠干旱大陆性气候, 少雨多风, 相对湿度小, 蒸发量大。1956~1960 五年统计平均年蒸发量为 2464mm, 为年降雨量的 11.4 倍, 平均日照为 69%, 平均风速为 3.2 米/秒。

茶卡盆地的水系并不发育。常年河流不多, 流量不大, 全部汇集于盐湖中, 盐湖在北部有八条, 南部有十条。其中较大的有西北的漠河, 东南的黑河和东北的尕巴河。其流量和化学组成见表 1。另外大大小小的泉水很多。

从表 1 可见每年流入水量不计漠河达 1060 万立方米。每年补给的盐量达 1 万多吨。按现有 5 亿吨石盐储量, 盐源的发育史不超过五万年。这与李忠扬根据盐湖湖岸线缩小统计推出盐湖历史为四万年相近。

据现有资料茶卡盐湖自清乾隆 28 年即定盐税征收, 生产的食盐供青海当地和四川某些少

* 参加本工作, 尚有张长美, 刘子琴, 江研因, 李玉柏, 甘冬菊, 薛方山, 李洪海, 宁光来, 李庆山

表 1 茶卡盐湖外围淡水主要河流流量及化学组成

河流名称	位置	流量测定时间 年月日	流量		取样地点	取样深度	pH	化			学			组			成			毫克/升		变态系数	
			m ³ /月	m ³ /年				干基	CaCO ₃	Ca(HCO ₃) ₂	Mg(HCO ₃) ₂	CsSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	KCl	NaCl	NaHCO ₃	$\frac{KCl}{NaCl}$	$\frac{MgSO_4}{MgCl_2}$				
黑河	盐湖东南角	56.8.29	601,000	7209,000	上游	表面	8.2	2780.5	37.8	204	93.8		291.8	487	25.34	1785		0.014	∞				
黑河	盐湖东南角				中游	表面	8.2	1882.0	33.3	67.2	315.8		38.2	453	23.6	1782		0.013	∞				
黑河	盐湖东南角				下游	表面	8.2	3402.5	29.2	210	160.1		224.1	685	33.2	1140		0.029	∞				
K ₂ 河	海口三角架东北约500米	56.8.11	9,160	109,000	上游	表面	8.1	847.5	18.9	130.5	94.4		39.7	192	9.17	431		0.021	∞				
K ₂ 河	海口三角架东北约500米				中游	表面	8.1	710.0	25.02	101	163.1			167.1	14.9	346	5.9	0.043	∞				
K ₂ 河	海口三角架东北约500米				下游	表面	8.1	681.4	18.9	68.3	169.3			165.5	10.9	360	16.8	0.028	∞				
莫河					上游	表面	7.9	777.9	37.8	221.5	78.3		137.8	75.0	10.65	320		0.033	∞				
莫河					中游	表面	7.9	1126.3	18.9	279		8.1	182.2	93.7	10.9	654		0.017	∞				
尕巴河	尕把三角架西北	56.8.11	71,000	851,000																			
K ₃ 河	海口三角架东北	56.8.11	17,000	204,000																			
K ₄ 河	海口东三角架洼地	56.8.11	63,000	760,000																			
巴河	海口东北	56.8.11	103,510	1,245,000																			
6河	尕巴三角架东	56.8.29	21,200	251,000																			
			合计		886,570 10,629,000																		

数民族地区食用。李烛塵等曾由国民党经济部组织西北考察团到此了解并初估该湖区石盐储量在三亿吨以上。1943 年袁见齐亦曾来湖考察取样。1956 年轻工业部盐务总局盐源勘探队详细勘探该湖,确定石盐储量为五亿吨。配合勘探与开采,北京地质学院研究茶卡盐湖矿床地质与水文地质。中国科学院化学研究所研究该湖的物理化学特征。

二、茶卡盐湖的固相分布

茶卡盐湖除东南黑河附近有常年积水外,其它均是季节有水,故为干湖。但结晶石盐受水溶解再结晶形成白色,阳光辐射极其强烈。

茶卡盐湖通过详细勘探及研究,湖内存在的盐类矿物有石盐、芒硝、泻利盐、白钠镁矾和石膏五种。物理结构有盐盖、盐层、淤泥和沙质粘土等层。现分述于后:

1、石盐:石盐为盐湖中最主要的固相沉积,分布于整个盐湖。颗粒大小一般为 5~10 毫米,颜色为无色及白色,许多晶体含有黑色淤泥呈青色。中药中的青盐即是此色石盐。

2、泻利盐:颜色为白色或青白色,一般沉积于盐湖底部。湖中部厚盐层区少见。与石盐、石膏、白钠镁矾及芒硝共生。单晶大者达 20 毫米,一般为 5~10 毫米,味苦涩。

3、白钠镁矾:其颜色及存在状态同泻利盐。唯独晶体颗粒小些,呈聚合体。

4、芒硝:为无色或浊白色,常见于盐层底部,味涩有冷感,湖的北部及东北部分布最多,层厚达 1 米。

5、石膏:为白色,淡黄色或淡青色。湖中心较多而边缘较少,厚度有的 2 米,薄的几十厘米,最厚达 4 米。多是共生物。

上述典型矿物的化学组成及鉴定见表 2。

表 2 茶卡盐湖典型矿物化学组成物相鉴定

名 称	取样 地点	化学组成(重量/%)				光 学 性 质				差 热 分 析		
		NaCl	芒硝	泻利盐	白钠 镁矾	晶系	光性	色散	拆 光 率			
									α		β	γ
NaCl	CK57/61	99.89				立方	均质		1.5442			
NaCl	溶洞	99.39		0.48		立方	均质		1.5442			
Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	生产区 东 南		100			二轴	(—)					30°,40°,100°,230°,241℃
NaSO ₄ ·10H ₂ O	CK75/24					二轴	(—)					30°,40°,108°,110°,112°, 262°,270°
MgSO ₄ ·7H ₂ O	CK12/60	0.76		98.61		二轴	(—)	γ>V 弱	1.4610	1.4554	1.4326	
MgSO ₄ ·7H ₂ O	Cl999/66					二轴	(—)		1.4605	1.4555	1.434	50°,60°,88°,109°,115°, 120°,134°,148°,158°, 174°,256°,273°,325°,363°
Na ₂ SO ₄ · MgSO ₄ ·4H ₂ O	CK33/76	1.45		31.1	70.5							

柱状分布今选择六个典型钻孔即 99/66,102/10,71/58,43/20, 27/79 和 75/24,它们分别位于盐湖的西南、西北、中部、东北、东南和中部偏北地带,其中前五个钻孔的化学组成见表 3。

平面分布今选择西北—东南和东北—西南两条剖面线表述之。前者剖面与盐湖走向一致,

后者与前者成正交,即垂直于盐湖走向。这二条剖面的变化见图 1。

依据盐源勘探队的勘探结果统计,基本无石膏亦即纯石盐区只占全湖面积 4.25%,基本无芒硝及白钠镁矾亦即只有石盐和少量石膏地区占全湖面积的 23.27%,含有石膏及芒硝地区占全湖面积 34.69%,含有泻利盐及白钠镁矾地区占全湖面积 65.31%。

表 3 茶卡盐湖柱状剖面化学组成

钻孔 号码	取样 深度 米	取样 年月	化 合 物 组 成 (重量%)										复盐组成(重量%)						
			CaCO ₃	Ca (HCO ₃) ₂	Mg (HCO ₃) ₂	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂	NaCl	KCl	不溶物	乾基	NaCl	Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	MgSO ₄ · 7H ₂ O	Na ₂ SO ₄ MgSO ₄ · 4H ₂ O	CaSO ₄ · 2H ₂ O	
99/66	0.00~ 0.06	56.10		0.081		0.054	0.897		2.54	83.16	0.29	1.00	87.31	80.18				0.065	
99/66	0.06~ 2.79	56.10		0.13		9.21	3.45		1.76	78.90	0.24	1.78	86.34	76.55		4.10		4.17	
99/66	3.66~ 4.14	56.10		0.11		5.63	3.77		1.40	70.27	1.75	5.92	79.20	68.50		5.53		7.15	
99/66	5.46~ 6.24	56.10		0.13		0.79	40.46		0.84	16.44	0.10	6.63	59.06	15.41		81.60		1.00	
102/10	0.03~ 1.01			0.12		3.36	1.38		2.30	61.71	0.37	18.55	67.46	59.89				4.21	
102/10	1.01~ 1.39	56.10		0.11		2.24	1.11		2.44	50.85	0.55	28.50	55.62	48.12				2.84	
102/10	1.39~ 1.63	56.10		0.17	0.08		24.97	21.35		12.89	0.24	17.42	56.10	11.71		2.52	50.20	9.02	
71/58	0.00~ 0.07	56.10		0.08			0.48		1.26	89.43	0.15	1.33	92.32	85.93					
71/58	0.07~ 4.08	56.10	0.03	0.04		0.14	0.60		1.21	89.05	0.15	3.36	92.00	85.58		0.24		0.18	
71/58	4.08~ 8.82	56.10	0.02	0.05		5.58	0.91		1.13	82.56	0.15		87.96	79.09		0.86		7.09	
71/58	8.82~ 9.18	56.10		0.08		6.20	1.08		0.43	82.18	0.07	1.78	87.17	80.43		0.84		7.87	
43/20	0.00~ 0.04	56.10		0.03		0.02	0.38			90.46	0.03	2.74	91.39	90.10		0.26		0.02	
43/20	0.04~ 1.47	56.10		0.06		0.92	0.72		0.92	90.60	0.02	2.84	92.04	90.27		1.12		1.17	
43/20	1.47~ 1.69	56.10	0.56			0.79	2.38	0.83		89.27	0.12	1.65	93.73	86.63	4.75	1.46	1.95	1.00	
43/20	1.69~ 2.10	56.10		0.42		3.71	3.41	0.93		70.66	0.19	8.39	78.46	66.50			2.16	471	
43/20	2.10~ 2.45	56.10		0.43		5.59	26.87	29.66		16.18	0.13	11.80	74.58	13.72	5.35	65.10		7.10	
43/20	2.45~ 2.63	56.10		0.05		10.27	8.58	24.43		4.72	0.01	15.09	38.89	4.56	32.62	23.65		13.04	
43/20	2.63~ 3.11	56.10		1.21		1.49	2.89	37.17		2.10	0.12	19.76	43.43	0.27	8280		5.36	1.89	
43/20	3.11~ 3.66	56.10		0.23		2.04	6.09	29.26		2.83	0.15		46.65	0.55	55.65		13.62	2.59	
43/20	3.66~ 4.00	56.10		0.19		1.62	3.35	25.50		2.28	0.15		33.30		54.00		5.98	2.06	
27/79	0.00~ 0.35	56.10		0.08		0.14	3.17		2.02	86.35	0.15	4.52	90.16	84.20				0.18	
27/79	0.35~ 0.80	56.10		0.10		0.49	8.46		0.96	74.91	0.06	3.26	85.38	73.05		16.00		0.62	
27/79	0.80~ 1.70	56.10		0.16		0.73	27.88	13.15		28.44	0.07	14.95	70.37	27.64		32.90	30.92	0.93	
27/79	1.70~ 1.90	56.10		0.19		0.74	23.10	25.63		8.19	0.34	13.87	69.59	3.93	16.43		60.30	0.94	
27/79	1.90~ 2.25	56.10		0.24		1.29	33.95	33.23		3.55	0.51	12.38	73.19				78.80	1.56	
27/79	2.25~ 3.20	56.10		0.15		3.14	25.00	26.66		6.78	0.31	16.64	60.74	2.32	2.94		59.80	3.99	
27/79	3.00~ 3.50	56.10		0.07		3.24	2.93	1.05		5.33	0.14	69.24	10.69	3.28		1.04	2.47	411	

至于盐层厚度分布,石盐层在 8 米以上占全湖面积 11.20%,而石盐储量占全湖石盐总储量的 25.53%;5—8 米石盐层地区占全湖总面积的 22.50%,而石盐储量占总储量的 30.98%;1—5 米石盐层地区占总面积的 52.21%,而石盐储量只占总储量的 37.13%;其它石盐层厚度不到一米的地区为总面积的 13.22%,而石盐储量值为总储量的 1.98. %。

此外,湖底沉积我们曾在 35/58 及 71/58 两钻孔进行部分取样分析,其结果见表 4。

表 4 茶卡盐湖湖底沉积的化学组成(重量%)

钻孔 位置	取样深度 米	水分	干基	水不 溶物	烧失重 (950℃)	Ca(HCO ₃) ₂	CaSO ₄	MgSO ₄	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	KCl
35/58	6.50~6.90	43.3	4.47	83.0	15.9	微量	2.41	0.32		0.30	0.89	痕量
	6.99~7.39	19.59	7.12	84.51	13.6	微量	3.09	0.36		0.42	3.22	痕量
	7.39~11.07	5.90	1.46	98.7	11.5	微量	0.33		0.07	0.29	0.89	痕量
	11.07~13.62	6.60	1.63	97.9	6.3	微量	0.37		0.39	0.27	4.12	痕量
	24.17~26.35	15.11	3.60	96.0	9.3	微量	0.29		0.29	.078	2.57	痕量
	37.27~40.27	17.70	6.61	92.6	10.4	微量	0.54		0.17	1.45	4.37	痕量
71/58	9.18~10.17	18.18	6.15	75.8	13.8	微量	2.75	1.35		0.38	1.70	痕量
	10.17~13.27	18.60	5.54	80.4	12.9	微量	3.06	0.31		0.26	1.73	
	20.42~21.70	20.80	2.70	97.3	2.7	微量	0.48		0.13	0.38	1.76	痕量
	21.70~25.52	25.50	3.02	96.7	12.8	微量	0.47		0.31	0.47	1.72	痕量

三、茶卡盐湖的液相分布

茶卡盐湖的盐层间含有晶间卤水,依据盐源勘探队的勘探报告卤水总储量达 13686 万立方米。初步统计卤水中石盐储量达 2,017 万吨,KCl 储量达 197 万吨,MgSO₄ 储量达 738 万吨,MgCl₂ 储量达 1826 万吨。我们在湖区取样分析,其结果见表 5 及图 2 和图 3。

整个湖水为硫酸盐类型的硫酸镁亚型。硼锂含量与柴达木盆地某些盐湖相比还是比较低的(B₂O₃ 为 0.022%,Li 为 0.0051%)。

茶卡盐湖卤水均处于 NaCl 饱和阶段。在 Na⁺、Mg²⁺//Cl⁻,SO₄²⁺—H₂O 四元体系相图(图 2)上也是落在 NaCl 相区内。冬季温度降低后,有的处于芒硝相区。在夏季蒸发时,析出纯 NaCl 后即有 NaCl 与泻利盐同时析出。也即是图 3Na⁺,K⁺,Mg²⁺//Cl⁻,SO₄²⁻—H₂O 五元体系介稳相图^{〔1〕}中的 MgSO₄·7H₂O 相区。

从表 5 及图 2 和图 3 可以看出,茶卡盐湖因补给水和季节的不同不但有浓度上的变化,而且也有化学组成上的差异。总的来说,盐层厚的中部地带变化小些,而在边缘地带与固相组成相似,硫酸盐含量较大,也因此说卤水组成并不是均匀的。

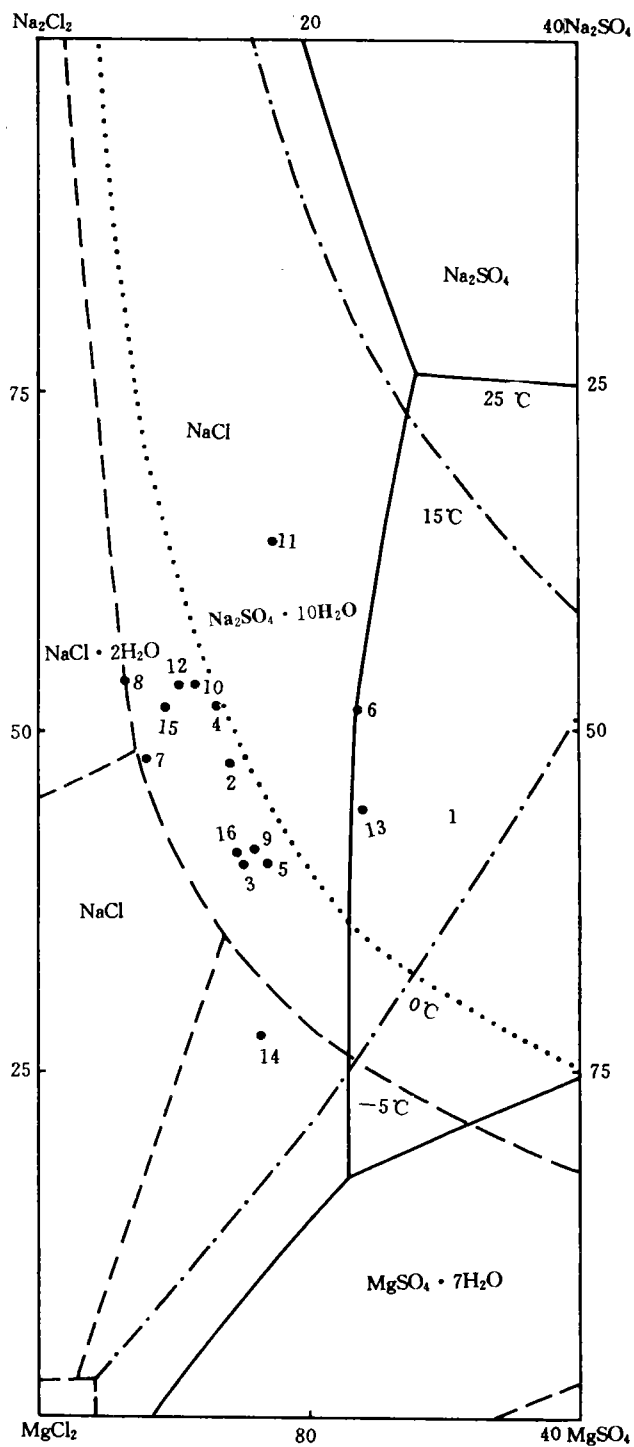
选择与盐湖走向一致的及垂直的二条剖面的卤水化学组成(见表 6)叙述之。其中东北—西南剖面上系在 Na⁺,K⁺,Mg²⁺//Cl⁻,SO₄²⁻—H₂O 五元体系相图上处于一条直线上的上下变化,也即是说以浓度上变化为主,而在西北—东南剖面上则变化较大,特别表现在边缘卤水组成中 SO₄²⁻含量高。

表 5 茶卡盐湖晶间卤水化学组成

地点	取样深度 米	水温 ℃	比重	取样 年月	化学组成(重量%)						投 影 数					变态系数					
					NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄ ·3CaHCO ₃	CaCO ₃	干基	K ₂ +SO ₄ +Mg=100M			SO ₄ +Cl ₂ =100m							
											K ₂	SO ₄	Mg	H ₂ O	SO ₄	Mg	H ₂ O	MgSO ₄ MgCl ₂	KCl NaCl		
93/13	0.2~0.5	11.0	1.228	56.6	14.56	0.87	8.50	3.07		0.04	27.24	4.03	17.46	78.52	2764	10.41	46.82	1648		0.361	0.0598
盐场	表面	11.0		56.6	15.65	0.80	7.79	2.78	0	03	27.14	3.98	17.17	78.85	3006	9.47	43.47	1657		0.357	0.0511
35/58	2.00~2.80	10.5	1.230	56.10	14.02	0.97	3.87	8.28	0.02	0.04	27.36	4.21	20.95	74.84	2611	13.16	47.00	1640		2.14	0.0692
35/75	0.00~0.60	11.2	1.247	56.6	10.60	1.10	11.13	4.97		0.025	28.35	357	19.93	76.50	1917	16.14	61.93	1552		0.447	0.1038
35/75	2.00~2.50	10.0	1.252	56.6	11.46	1.07	10.41	5.23	0.08	0.02	28.44	3.51	21.35	25.14	1952	1687	59.44	1544		0.502	0.0934
73/23	1.00~1.20	14.0	1.232	56.6	14.63	0.88	8.33	3.40		0.02	27.04	4.04	18.99	76.97	2727	11.71	47.46	1681		0.408	0.0602
73/59	0.00~0.60	14.0	1.247	56.6	11.15	1.16	10.95	4.62		0.025	28.08	3689	19.16	76.95	1992	14.97	60.11	1556		0.422	0.104
73/59	5.50~6.00	10.0	1.249	56.6	11.09	1.15	10.94	4.60		0.003	28.10	3.98	19.15	76.87	2001	14.94	59.18	1561		0.442	0.1037
73/59	9.50~10.00	8.0	1.250	56.6	11.34	1.18	10.04	4.70		0.02	28.12	3.94	19.70	76.36	2014	15.27	59.18	1561		0.442	0.1041
33/60	0.001~0.60	9.0	1.229	56.6	14.15	1.00	8.06	4.33	0.25		27.69	4.07	22.23	73.70	2455	14.62	48.45	1614		0.537	0.0707
33/60	1.50~2.00	7.5	1.294	56.6	10.99	0.98	9.04	4.25		0.02	27.56	3.86	20.49	73.65	2334	14.24	52.57	1622		0.470	0.0754
75/24	4.60~5.40	9.8	1.230	56.10	17.50	0.64	4.48	4.98		0.02	28.05	3.42	30.78	65.80	2972	17.04	36.42	1654		1.112	0.0394
27/79	1.70~2.50	9.0	1.267	56.10	11.50	0.97	7.21	9.87	0.02	0.11	29.72	2.62	33.19	64.19	1706	28.98	56.05	1498		1.369	0.0243
102/10	0.80~1.60	12.0	1.265	56.10	7.46	1.51	10.21	5.27	0.008		28.66	409	17.72	78.19	1602	16.48	72.72	1490		0.371	0.2024
99/66	5.20~6.00	9.5	1.270	56.10	11.78	1.09	9.25	7.36	0.13		29.57	3.21	26.85	69.94	1718	22.94	59.74	1467		0.796	0.0925
71/58	2.20~3.00	1.0	1.252	57.1	10.28	1.13	11.67	3.95	0.12		27.40	3.92	18.94	77.14	2094	14.66	59.69	1620		0.338	0.1105
71/58	5.20~6.00	1.5	1.260	57.1	11.17	1.22	10.6	4.89	0.12		27.79	4.10	20.29	75.61	2003	15.98	59.54	1577		0.467	0.1092
71/58	8.20~9.00	3.0	1.250	57.1	10.93	1.13	10.60	4.39	0.12		27.39	3.92	18.94	77.14	2094	14.66	59.69	1621		0.414	0.1034
73/27 东南	表面	11.5	1.306	56.10	17.09	0.78	2.72	8.03	0.04		29.76	3.13	39.76	57.11	2326	26.31	37.78	1539		0.295	0.0436
59/38 东南	表面	-4.5	1.222	57.1	14.05	0.86	8.71	2.09	0.08		25.13	4.32	13.09	82.58	3126	7.39	46.64	1766		0.240	0.0612
55/42 东南	表面	-1.0	1.226	57.1	12.57	0.95	9.90	2.23	0.12		26.26	4.27	1285	82.88	2731	8.11	52.35	1725		0.234	0.0756
43/20	1.80~2.60	9.0	1.250	56.10	12.95	1.03	6.63	7.67			28.27	3.42	31.13	65.45	2123	23.29	48.95	1588		1.157	0.0795
33/72 东南	表面	10.5	1.200	56.10	11.22	1.10	10.75	4.60	0.13		27.81	3.74	1932	76.94	2026	15.01	59.78	1574		0.428	0.098

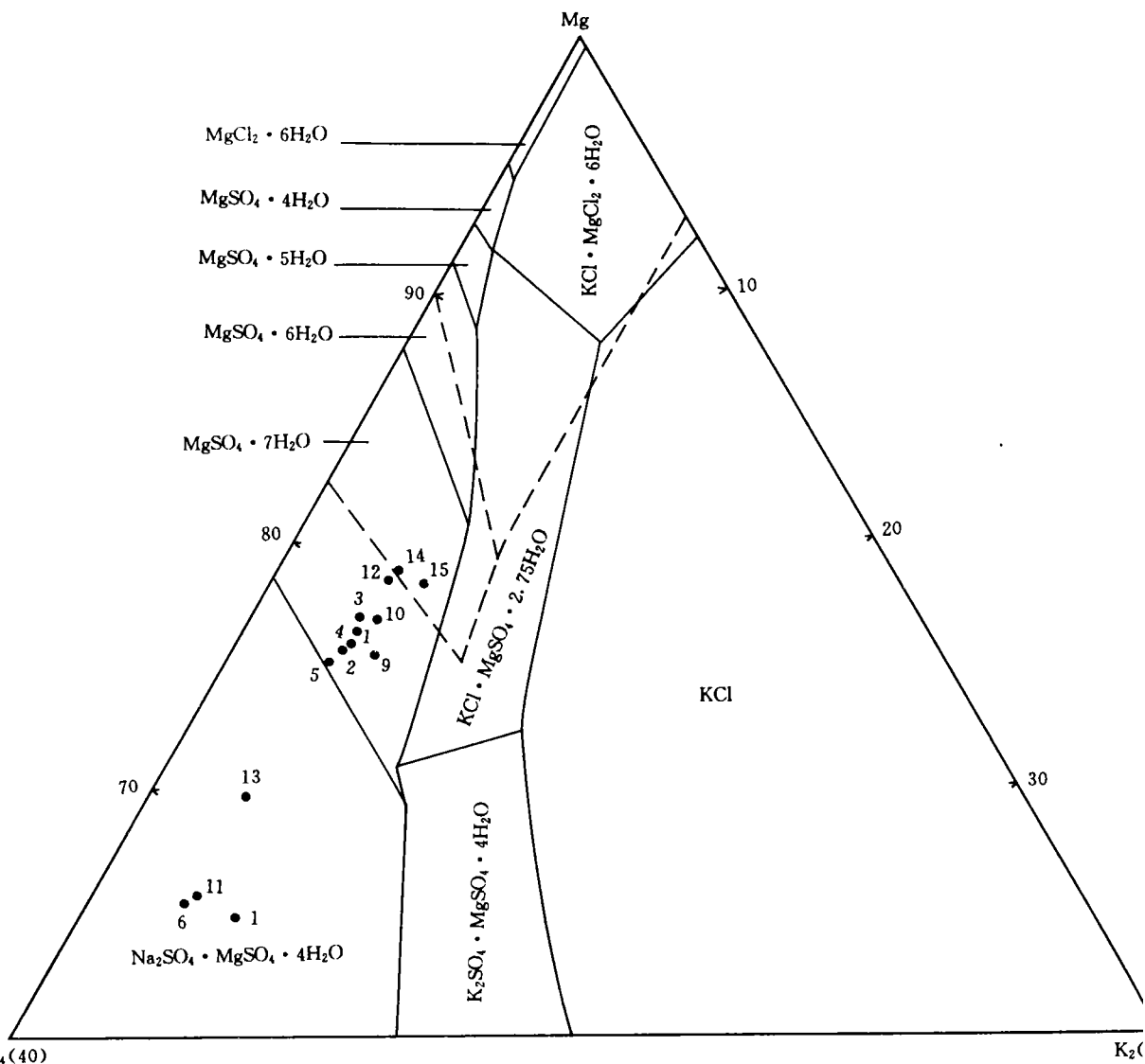
表 6 茶卡盐湖平面剖面化学组成

地点	取样深度 米	水温 ℃	比重	取样 时间 年月	化学组成(重量%)				投 影 数						MgSO ₄ / MgCl ₂			
					NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄ ·Cat(HCO ₃) ₂	干基	K ₂ +Na ₂ +Mg=(Cl ₂ +SO ₄ =100M								
										Na ₂ +K ₂	Mg	SO ₄	Cl ₂	K ₂		SO ₄		
西 北 东 南 线																		
102/10	0.80~1.60	12.0	1.265	56.10	7.46	1.51	14.21	5.27	0.008	28.66	27.40	72.60	16.49	83.51	4.07	17.71	78.02	0.371
75/24	4.60~5.40	9.8	1230	56.10	17.50	0.69	4.48	4.98	0.016	28.05	63.59	36.41	17.04	82.96	3.48	31.42	65.10	1.112
35/58	2.00~2.80	10.5	1.230	56.10	14.02	0.97	3.8	828	0.04	27.36	51.46	48.54	13.09	86.91	4.00	20.35	75.65	2.140
27/79	1.70~2.50	9.0	1.267	56.10	11.50	0.97	7.21	9.87	0.11	29.72	44.00	56.00	28.98	71.02	5.37	29.67	70.33	1.369
东 北 西 南 线																		
43/20	1.80—2.60	9.0	1.250	56.10	11.23	1.10	10.75	4.60		27.81	40.28	5972	15.01	84.99	3.71	19.34	76.94	0.428
75/24	4.60—5.40	9.8	1.230	56.10	17.50	0.69	4.48	4.98	0.016	28.05	6359	36.41	17.04	82.96	3.48	31.42	65.10	1.112
71/58	5.20—6.00	7.9	1.249	56.10	11.41	1.16	10.29	4.83		27.91	41.23	5877	15.82	84.18	3.94	20.37	75.69	0.469
99/66	5.20—6.00	9.5	1.270	56.10	11.78	1.09	9.25	7.36		29.57	44.20	5580	23.20	76.80	3.21	26.95	69.94	0.796



1、27/79 2、33/60 3、33/72 4、35/58 5、35/75 6、43/20 7、55/42
 8、59/38 9、71/58 10、73/23 11、75/24 12、93/13、13 99/66 14、102/19
 15、盐场 16、73/59

图2 茶卡盐湖卤水 Na, Mg//Cl, SO₄-H₂O 体系相点图



1, 27/79 2, 33/60 3, 33/72 4, 35/58 5, 35/75 6, 43/60 7, 55/42
8, 50/38 9, 71/58 10, 73/23 11, 75/24 12, 93/13 13, 99/66
14, 102/10 15, 盐场 16, 73/59

图3 茶卡盐湖卤水 Na, K, Mg//Cl, SO₄-H₂O 相点图

茶卡盐湖卤水在不同深度垂直变化中选择不同位置五个钻孔(见表7)述之。

从表7可以看出,中部盐层厚的二个钻孔(71/58与73/59)变化较小,差别不大。而边缘三个钻孔(99/66, 43/20及35/75)相对来说变化大些。

茶卡盐湖卤水的季节变化,其水温与比重变化选择两个代表性钻孔见图4及图5。化学组成及体系上相组成变化见表8及图6、7、8、9。

从上述六个钻孔长观的比重来看,每年10月到翌年5月基本上是逐渐增加,5~8月由于雨季降水及淡水补给稀释造成下降,8~10月由于大量蒸发又继续回升。而水温是10月开始

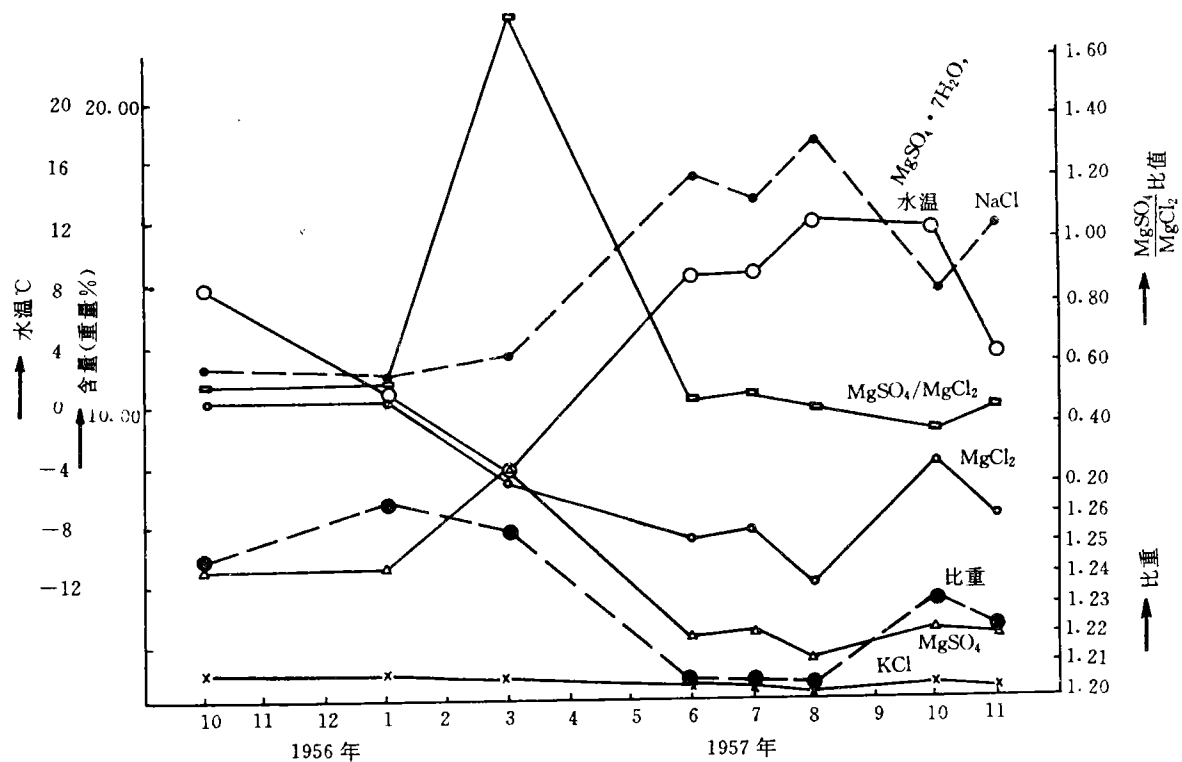


图4 71/158 中部(5.20—6.00)长期观测化学组成变化

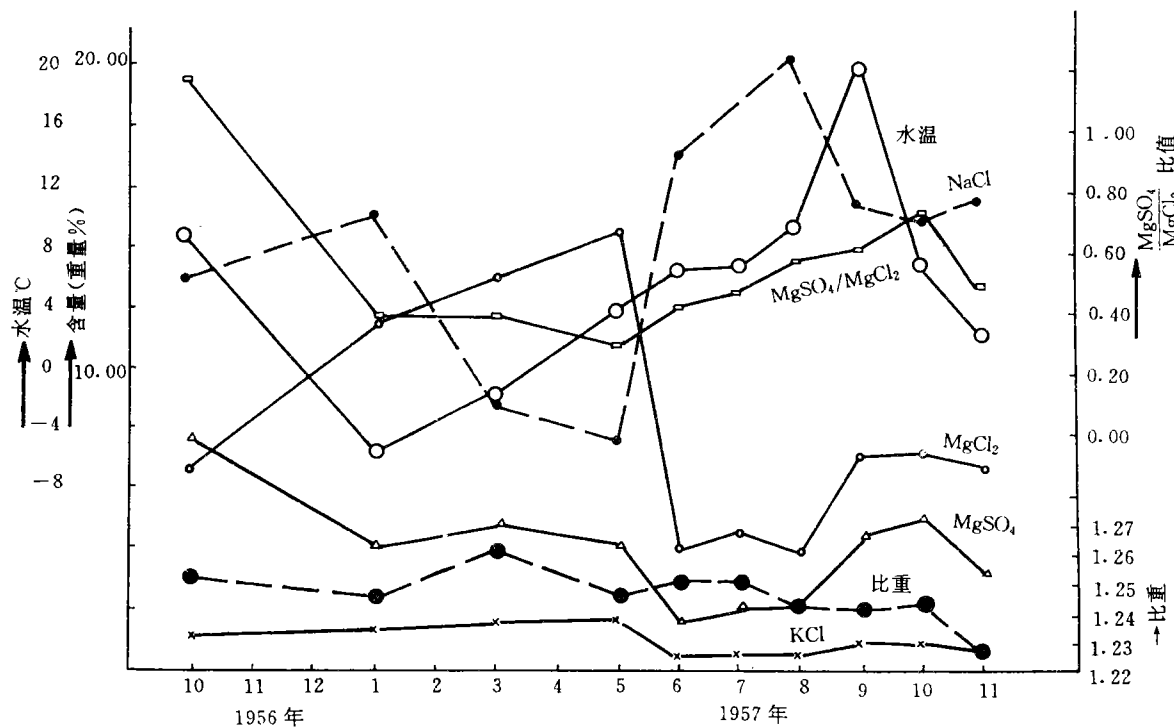
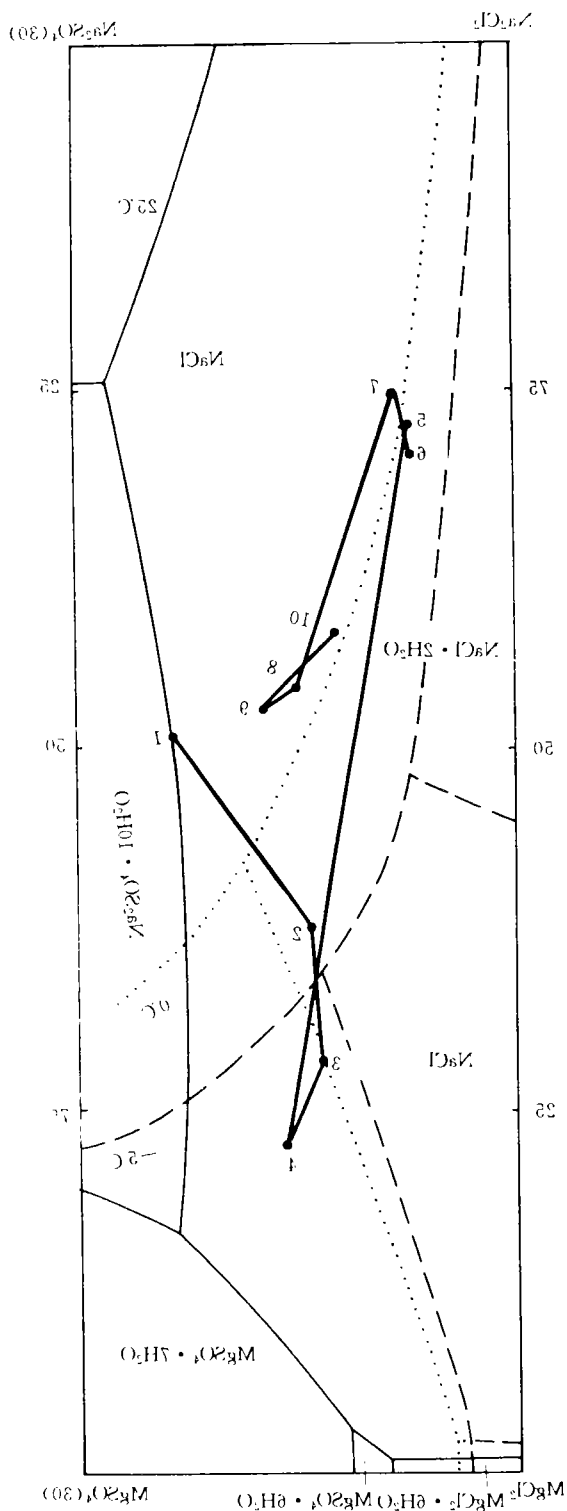


图5 43/20 钻孔卤水长期观测化学组成变化

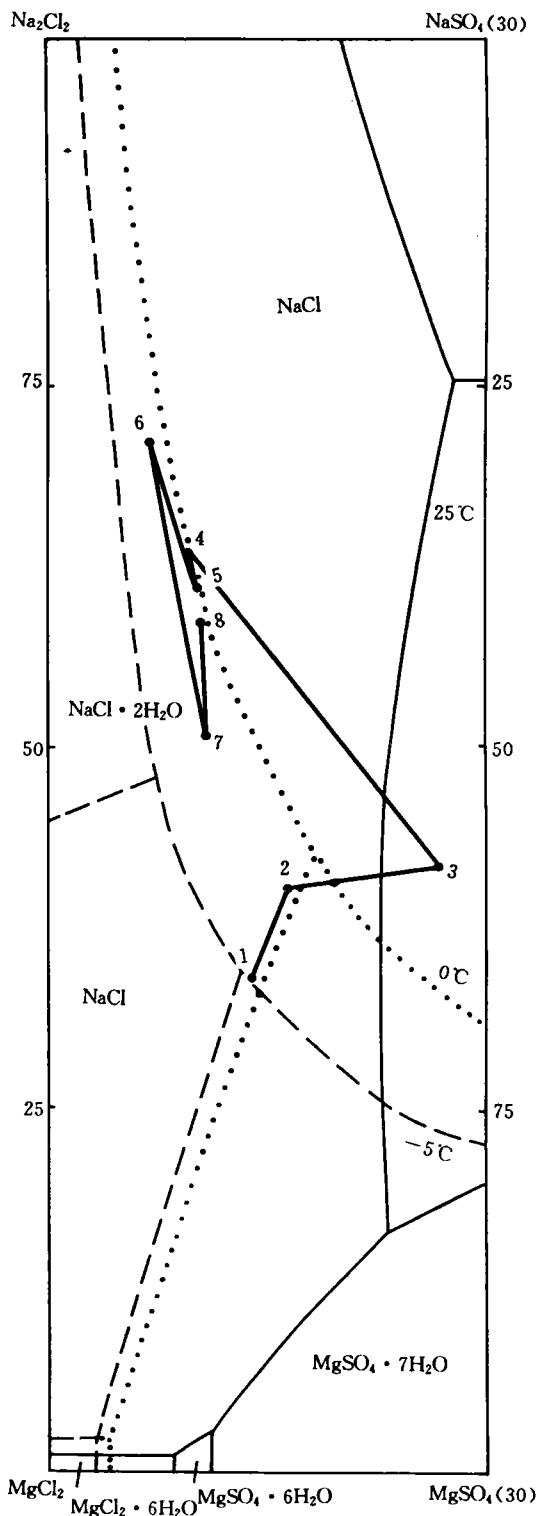
表 7 茶卡盐湖晶间卤水不同深度的化学组成

地 点	取样 时间 年月	取样深度 米	水温 ℃	比重	化学组成(重量%)					投 影 数			
					NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄	干基	K ₂ + SO ₄ + Mg = 100M			Na ₂ + K ₂ + Mg = Cl ₂ + SO ₄ = 100M
										K ₂	Mg	SO ₄	
99/66	56.10	2.63—3.03	13.1	1.26	10.40	1.05	10.98	6.42	29.15	3.05	72.91	24.04	63.77
99/66	5610	5.20—6.00	9.5	1.250	11.78	1.09	9.25	7.36	29.57	3.21	69.94	26.95	55.80
71/58	57.1	2.20—3.00	1.0	1.252	10.23	1.13	11.67	3.95	27.40	3.84	79.47	16.69	62.37
91/58	57.1	5.20—6.00	1.5	1.250	11.17	1.22	10.46	4.89	27.79	4.07	75.63	20.29	59.54
91/58	57.1	5.20—6.00	1.5	1.250	11.17	1.22	10.46	4.89	27.79	4.07	75.63	20.29	59.54
91/58	57.1	8.20—9.00	3.0	1.250	10.93	1.13	10.60	4.39	27.39	3.89	77.27	18.84	59.75
43/20	51.10	1.80—2.60	9.0	1.250	12.95	1.03	6.63	7.67	28.37	3.39	64.58	31.12	48.96
43/20	56.10	3.00—3.80	9.0	1.250	12.95	1.03	6.63	7.67	28.37	3.39	64.58	31.12	48.96
43/20	56.10	3.00—3.80	9.0	1.250	14.81	0.94	5.76	7.55	28.85	3.26	64.29	32.48	48.29
35/75	56.6	0.00—0.60	11.2	1.247	10.60	1.10	11.13	4.97	28.35	3.54	76.58	19.88	61.82
35/75	56.6	2.00—2.50	10.0	1.252	11.46	1.07	10.41	5.23	28.44	3.51	75.14	21.35	59.43
73/59	56.6	0.00—0.60	14.0	1.247	11.15	1.16	10.95	4.62	28.08	3.88	76.92	19.20	58.98
73/59	56.6	5.50—6.00	10.0	1.249	11.09	1.15	10.94	4.60	28.10	3.86	76.98	19.16	59.95
73/57	56.6	9.50—10.00	8.0	1.250	11.34	1.18	10.64	4.70	28.12	3.96	76.34	19.64	59.05



1 56.10 2 57.1 3 57.3 4 57.6 5 57.7
6 57.8 7 57.10 8 57.11

图6 71/58 钻孔卤水季节变化



1 56.10 2 57.1 3 57.3 4 57.5 5 57.6
6 57.7 7 57.8 8 57.9 9 57.10 10 57.11

图7 43/20 钻孔卤水季节变化图

表 8 茶卡盐湖卤水季节变化(化学组成)

地 点	取 样 时 间 年 月	取 样 深 度 米	水 温 ℃	比 重	化 学 组 成 (重 量 %)					投 影 数				
					NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄	干 基	K ₂ + Mg + SO ₄ = 100M			Cl ₂ + SO ₄ = Na ₂ + K ₂ + Mg = 100M	
										K ₂	Mg	SO ₄		
43/20	56.10	1.80—2.60	9.0	1.250	12.95	1.03	6.63	7.67	28.39	3.39	65.48	31.15	48.81	23.30
43/20	57.1	1.80—2.60	—5.5	1.244	15.07	1.32	11.59	4.15	27.39	4.03	78.71	17.26	37.65	15.73
43/20	57.3	2.40	—1.5	1.26	8.80	1.62	12.98	4.92	27.80	4.72	77.54	1774	32.71	15.52
43/20	57.5	1.80	4.0	1.245	7.68	1.71	14.67	4.23	27.72	4.67	81.57	14.76	28.81	13.05
43/20	57.6	2.30	7.0	1.250	17.05	0.51	4.04	1.68	22.92	4.63	76.60	18.77	27.42	6.78
43/20	57.7	2.30	7.0	1.250	18.71	0.61	4.73	2.16	26.32	4.54	15.53	19.93	28.46	7.56
43/20	57.8	2.25	9.5	1.241	20.30	0.60	3.79	2.27	26.40	4.80	72.18	23.02	25.51	7.91
47/20	57.9	2.30	20.5	1.240	15.36	1.06	7.42	4.55	27.46	4.39	72.46	23.15	45.52	14.86
43/20	57.10	3.00	7.0	1.242	14.94	1.07	7.35	5.23	27.80	4.17	70.57	25.26	47.20	17.01
43/20	57.11	2.05	30	1.208	15.85	0.92	6.94	3.39	26.47	4.52	74.83	20.65	41.65	11.59
102/10	56.10	0.80~1.60	12.0	1.265	7.46	1.51	14.21	5.27	28.66	4.23	78.02	17.75	72.68	16.49
102/10	57.1	0.80—1.60	—9.0	1.250	9.36	1.23	12.33	4.06	27.38	3.97	79.69	16.34	64.99	13.38
102/10	57.3	0.80—1.60	—8.0	1.25	9.91	1.15	11.52	4.14	27.15	3.87	78.80	17.33	62.97	13.86
102/10	57.5	0.80—1.60	—0.5	1.24	11.12	1.16	10.89	4.49	27.76	3.91	75.97	19.12	59.85	14.94
102/10	57.7	0.10~1.50	7.5	1.261	18.33	1.82	5.59	2.91	26.87	4.87	73.59	21.54	33.59	9.90
102/10	57.10	0.55~1.35	12.0	1.235	16.03	0.98	6.87	3.78	27.13	4.64	73.17	22.19	41.87	12.70
27/79	56.10	1.70—2.50	9.0	1.267	11.50	0.97	7.21	9.87	29.72	5.37	70.33	29.67	56.00	28.98
27/79	57.1	1.20—2.00	—9.5	1.23	12.81	0.89	9.77	2.35	25.93	4.07	83.12	12.81	51.51	8.23
27/79	57.3	1.20—2.00	—8.5	1.24	10.10	1.19	11.67	4.20	27.32	3.95	79.70	17.35	62.65	13.87
27/79	57.5	1.20—2.00	7.0	1.252	9.79	1.18	11.51	4.15	27.08	3.99	78.67	17.34	63.03	13.91
27/79	57.7	1.00~1.80	9.0	1.238	20.07	0.58	4.17	2.12	26.62	4.69	74.26	21.05	25.90	7.41
27/79	57.10	1.10—1.90	8.0	1.251	14.71	1.07	7.12	5.97	30.04	3.95	68.82	27.23	48.34	19.27
99/66	56.10	2.20—3.00	13.1	1.260	10.40	1.05	10.98	6.42	29.15	3.05	72.91	24.04	63.77	21.08

续表 8

地 点	取样 时间 年月	取样深度 米	水温 ℃	比重	化学组成(重量%)					投 影			数	
					NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄	干基	K ₂ +Mg+SO ₄ =100M				
										K ₂	Mg	SO ₄		
													Cl ₂ +SO ₄ =Na ₂ + K ₂ +Mg=100M	
99/66	57.1	2.20—3.00	—3.5	1.256	9.65	1.25	11.98	440	27.43	4.04	78.42	17.54	64.22	24.44
99/66	57.3	2.20—3.00	—5.0	1.262	9.86	1.13	11.89	4.12	27.52	3.74	79.29	16.97	63.52	13.65
99/66	57.7	1.50~2.30	8.5	1.244	17.01	0.89	6.53	3.04	27.12	4.77	75.15	20.08	38.25	10.28
99/66	57.10	3.20—4.00	11.5	1.230	13.26	125	8.99	5.52	28.35	4.28	72.26	23.46	54.54	17.51
71/58	57.1	2.20—3.00	1.0	1.252	10.23	1.13	11.67	3.95	2740	3.84	79.47	16.69	62.16	13.11
99/66	57.3	2.20—3.00	—3.5	1.206	10.18	1.19	11.36	4.18	27.51	4.06	78.29	17.65	61.89	13.96
99/66	57.5	2.20~3.00	6.5	1.307	12.74	0.99	9.94	3.10	27.37	3.96	79.25	16.79	53.53	11.36
99/66	57.6	2.20—3.00	9.0	1.21	16.94	1.09	7.48	3.13	27.41	5.26	75.97	18.77	40.72	10.13
99/66	57.10	2.20—3.00	13.0	1.237	14.31	0.97	5.83	3.03	26.54	4.34	78.90	16.76	47.78	10.21
99/66	57.11	2.20—3.00	4.0	1.231	14.13	1.01	8.96	3.20	26.66	4.38	78.46	17.16	48.60	10.69
99/66	56.10	5.20—6.00	7.9	1.242	11.41	1.16	10.29	4.83	27.91	3.94	75.69	20.37	58.58	15.82
99/66	57.1	5.20—6.00	1.5	1.260	11.17	1.22	10.46	4.89	27.79	4.07	75.64	20.29	59.34	16.18
99/66	57.3	5.20—6.00	—4.0	1.25	11.19	1.07	7.65	8.20	29.08	3.19	68.44	30.37	57.86	26.41
99/66	57.6	5.20—6.00	9.5	1.202	17.89	0.74	5.95	2.75	26.72	4.34	75.58	20.08	35.79	9.59
99/66	57.7	5.20—6.00	9.5	1.200	17.18	0.81	6.38	3.06	26.76	4.38	75.12	20.50	37.75	10.38
99/66	57.8	5.20—6.00	13.0	1.200	19.18	0.57	4.67	2.01	25.94	4.80	72.78	22.42	28.30	7.13
99/66	57.10	5.20—6.00	12.5	1.230	14.23	1.01	8.86	3.20	26.71	4.40	78.33	17.27	48.25	10.70
99/66	57.11	5.20—6.00	4.5	1.220	16.47	0.80	6.77	3.02	28.53	4.20	76.07	19.73	39.66	10.35
	57.1	8.00—9.00	3.0	1.250	10.93	1.13	10.60	4.39	27.39	3.89	77.22	18.89	59.54	14.65
	57.5	8.00—9.00	5.5	1.245	12.46	0.88	9.31	4.10	27.24	3.42	76.86	19.72	53.13	13.69
	57.8	8.00—9.00	12.0	1.238	18.45	0.73	5.90	312	26.87	4.10	74.18	21.72	35.08	10.35
	57.10	8.00—9.00	12.0	1.224	14.11	0.95	8.73	3.09	26.60	4.26	78.61	17.13	48.00	10.52

表 9 茶卡盐湖卤水 25℃ 等温蒸发液相结果

编号	比重	化 学 组 成 (重量%)					克分子数/1000 克分子水					投 影 数				因 相
		NaCl	KCl	MgSO ₄	MgCl ₂	总盐量	MgSO ₄	MgCl ₂	K ₂ Cl ₂	Na ₂ Cl ₂	Na ₂ +K ₂ +Mg= Cl ₂ +SO ₄ =100M					
											Mg	SO ₄	Mg	K ₂	SO ₄	
1	1.241	12.33	1.12	5.02	10.22	27.93	10.45	26.75	1.88	24.90	58.16	16.34	75.13	3.76	21.11	NaCl
2	1.249	11.74	1.16	5.05	10.50	28.05	10.52	27.59	1.95	25.14	58.44	1612	75.89	3.84	20.79	NaCl
5	1.264	8.84	1.39	6.25	12.93	29.38	13.27	34.52	2.40	19.29	68.79	19.09	75.33	3.76	20.91	NaCl
6	1.260	8.49	1.43	6.44	13.24	29.59	13.72	45.52	2.46	18.58	70.07	19.51	75.28	3.76	20.96	NaCl
7	1.270	7.68	1.49	4.64	13.83	29.72	14.15	37.14	2.56	16.84	72.58	20.02	75.44	3.75	20.86	NaCl
8	1.277	6.84	1.62	7.17	14.65	30.26	15.37	39.73	2.82	15.09	75.49	21.06	75.19	3.83	20.98	NaCl
9	1.282	5.90	1.66	7.47	15.40	30.43	16.05	41.87	2.90	13.05	78.43	21.73	75.35	3.77	20.88	NaCl+MgSO ₄ ·7H ₂ O
10		5.52	1.72	7.68	15.94	30.83	16.91	43.50	3.02	12.29	79.73	22.05	75.38	3.77	20.88	NaCl+MgSO ₄ ·7H ₂ O
11	1.295	4.45	1.89	7.96	17.28	31.55	17.43	47.72	3.32	9.92	83.11	22.22	75.86	3.86	20.28	NaCl+MgSO ₄ ·7H ₂ O
12	1.297	3.99	1.98	7.51	18.33	31.80	16.22	50.53	3.54	9.01	84.29	20.66	77.09	4.04	18.89	NaCl+MgSO ₄ ·7H ₂ O
13	1.300	3.61	2.14	7.04	19.31	32.09	15.75	54.52	3.88	8.29	85.25	20.74	78.14	4.30	17.51	NaCl+MgSO ₄ ·7H ₂ O
14	1.305	3.00	2.21	6.82	20.49	32.15	15.14	51.42	3.95	6.83	87.07	18.15	79.18	4.31	16.51	NaCl+MgSO ₄ ·6H ₂ O
15	1.311	2.41	2.38	6.37	22.02	33.18	14.52	62.33	4.31	5.55	88.60	16.49	80.49	4.54	14.98	NaCl+MgSO ₄ ·6H ₂ O
16		2.41	2.63	5.89	23.03	33.94	13.34	65.86	4.80	5.62	88.36	14.88	81.37	4.93	13.70	NaCl+MgSO ₄ ·6H ₂ O+KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O
17	1.316	1.50	1.72	5.30	24.95	33.46	11.91	70.94	3.11	3.47	92.64	13.32	84.65	3.18	12.17	NaCl+MgSO ₄ ·6H ₂ O+KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O
18	1.318	1.22	1.54	5.17	25.70	33.59	11.67	73.09	2.82	2.79	93.80	12.90	85.42	2.83	11.75	NaCl+MgSO ₄ ·6H ₂ O+KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O
19		1.19	1.03	4.71	26.83	33.73	10.66	76.54	1.88	2.77	94.95	11.61	87.44	1.87	10.69	NaCl+MgSO ₄ ·6H ₂ O+KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O
20	1.331	0.71	0.57	4.34	29.07	35.20	10.04	84.88	1.06	1.70	97.18	10.27	89.54	1.00	9.46	NaCl+MgSO ₄ ·6H ₂ O+KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O
21	1.338	0.53	0.15	4.13	30.75	35.51	9.61	90.08	0.28	1.31	98.56	9.49	90.99	0.26	8.76	NaCl+MgSO ₄ ·6H ₂ O+KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O+MgCl ₂ ·6H ₂ O
22	1.344	0.66	0.13	3.92	31.77	36.44	9.27	94.68	0.28	1.62	98.21	8.76	91.57	0.24	8.17	NaCl+MgSO ₄ ·6H ₂ O+KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O+MgCl ₂ ·6H ₂ O
23	1.340	0.69	0.13	2.76	33.18	36.70	6.53	99.15	0.25	1.68	98.42	6.07	93.98	0.24	5.79	NaCl+MgSO ₄ ·6H ₂ O+KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O+MgCl ₂ ·6H ₂ O
24	1.337	0.91	0.15	2.62	33.22	36.83	6.21	99.48	0.29	2.22	97.93	5.75	94.21	0.25	5.54	NaCl+MgSO ₄ ·6H ₂ O+KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O+MgCl ₂ ·6H ₂ O

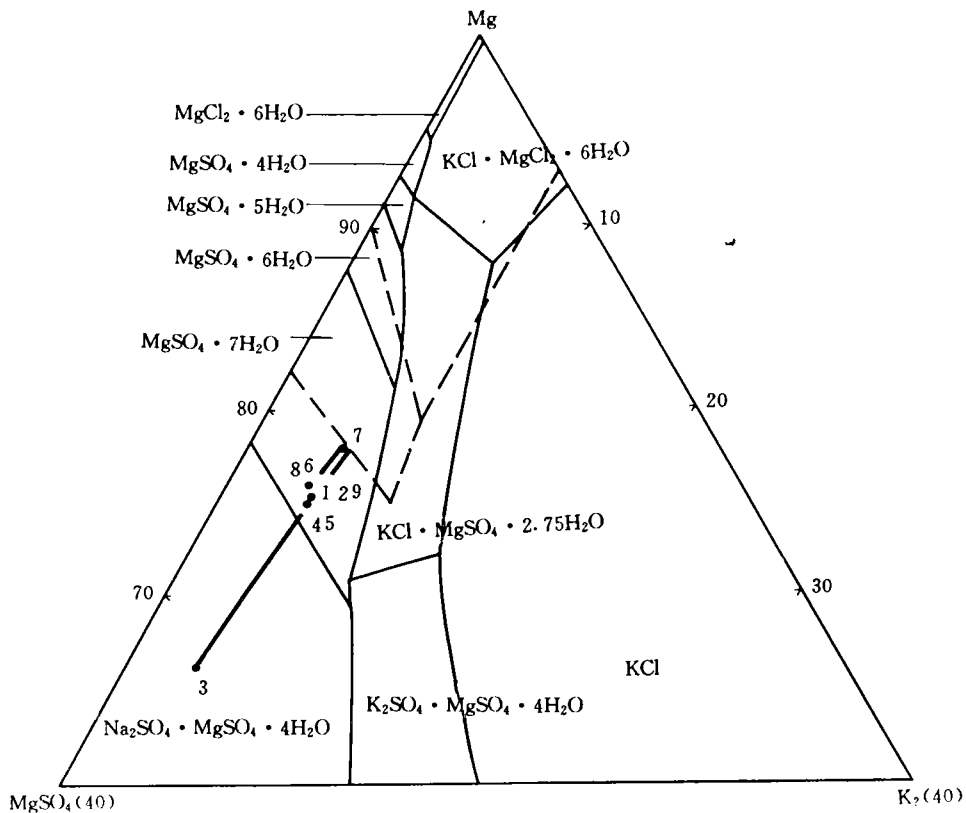


图 8 71/58 钻孔卤水季节变化

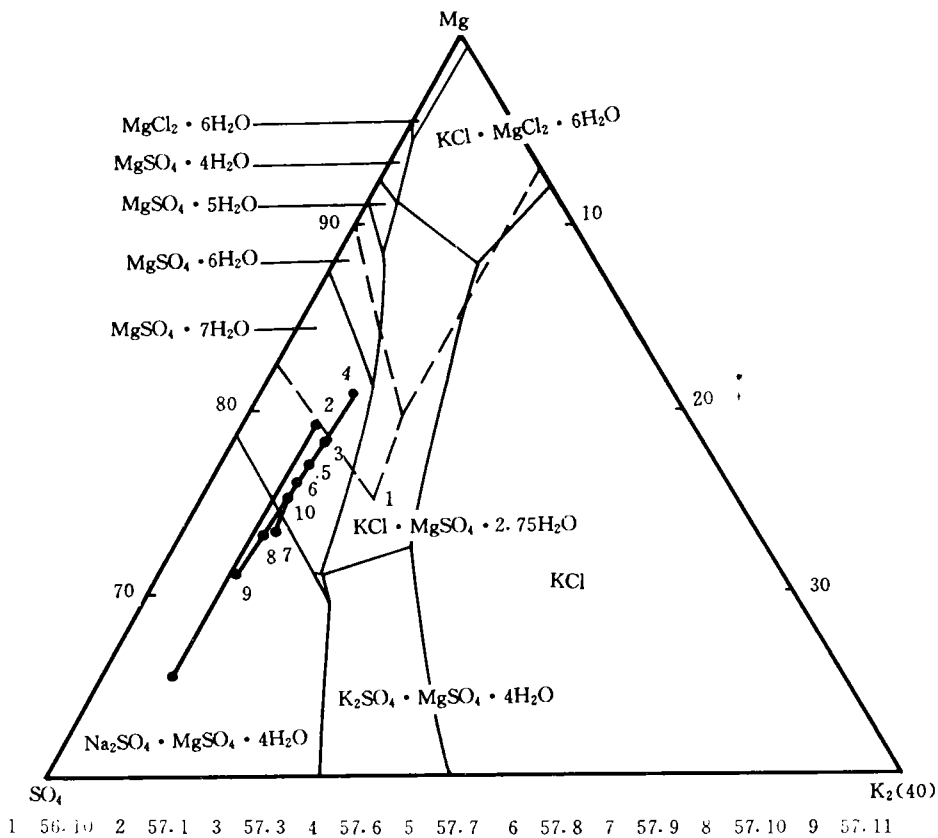


图 9 43/20 钻孔卤水季节变化

下降直到翌年 1 月开始回升。在化学组成上,Na⁺,Mg²⁺//Cl⁻,SO₄²⁻-H₂O 四元体系投影图上形成直角三角形变化。而在 Na⁺,K⁺,Mg²⁺//Cl⁻,SO₄²⁻-H₂O 五元体系投影图上是在一条直线上变化。

四、茶卡盐湖卤水的蒸发与冷冻

为了阐明盐湖发生与演变规律以及盐湖卤水综合利用的途径,卤水的蒸发与冷冻研究是非常必要的。卤水蒸发我们进行了 71/58 钻孔晶间卤水的 25℃ 及 10℃ 等温蒸发,其液相结果见表 9 及 10。卤水蒸发结晶路线与海水体系相同,见图 10、11、12 及 13,走的都是介稳路线,两个温度析出的固相均有 NaCl,MgSO₄ · 7H₂O,MgCl₂ · 6H₂O 和 KCl · MgCl₂ · 6H₂O。另在 25℃ 还有 MgSO₄ · 6H₂O 及低于六水的硫酸镁盐。

表 10 10℃ 等温蒸发液相分析结果

编 号 比 重		化学组成(重量%)					SO ₄ +K ₂ +Mg=100M			固	相
		NaCl	KCl	MgCl ₂	MgSO ₄	总盐量	K ₂	Mg	SO ₄		
0	1.241	11.31	1.11	10.22	4.95	27.59	3.78	75.35	20.87	NaCl	
3	1.245	10.38	1.16	10.69	5.15	27.88	3.82	75.38	20.80	NaCl	
5	1.253	9.20	1.32	12.02	5.89	28.43	3.76	75.24	21.00	NaCl	
6	1.262	7.26	1.47	13.70	5.85	28.28	3.86	75.28	20.76	NaCl+MgSO ₄ · 7H ₂ O	
7	1.260	7.01	1.72	14.69	6.05	29.47	4.27	76.99	17.92	NaCl+MgSO ₄ · 7H ₂ O	
10	1.261	5.85	1.77	16.49	5.21	29.32	4.92	81.66	13.42	NaCl+MgSO ₄ · 7H ₂ O	
11	1.265	4.12	2.04	18.05	4.54	28.76	4.46	81.09	14.45	NaCl+MgSO ₄ · 7H ₂ O	
12	1.270	4.17	2.08	19.15	4.26	29.62	4.87	82.73	12.40	NaCl+MgSO ₄ · 7H ₂ O + KCl · MgCl ₂ · 6H ₂ O	
13	1.284	2.87	2.42	22.20	3.42	30.93	5.29	85.44	9.27	NaCl+MgSO ₄ · 7H ₂ O + KCl · MgCl ₂ · 6H ₂ O	
14	1.291	1.60	1.66	24.91	3.03	31.21	3.45	88.74	7.80	NaCl+MgSO ₄ · 7H ₂ O + KCl · MgCl ₂ · 6H ₂ O	
15	1.298	1.40	0.78	27.06	2.63	31.87	1.57	91.68	6.74	NaCl+MgSO ₄ · 7H ₂ O + KCl · MgCl ₂ · 6H ₂ O + MgCl ₂ · 6H ₂ O	
17	1.319	0.74	0.27	29.92	2.51	33.44	0.06	94.09	5.85	NaCl+MgSO ₄ · 7H ₂ O + KCl · MgCl ₂ · 6H ₂ O + MgCl ₂ · 6H ₂ O	
19	1.325	0.65	0.25	30.47	2.52	33.89	0.04	94.22	5.78	NaCl+MgSO ₄ · 7H ₂ O + KCl · MgCl ₂ · 6H ₂ O + MgCl ₂ · 6H ₂ O	
20	1.329	1.09	0.19	30.70	2.52	34.38	0.04	94.22	5.74	NaCl+MgSO ₄ · 7H ₂ O + KCl · MgCl ₂ · 6H ₂ O + MgCl ₂ · 6H ₂ O	

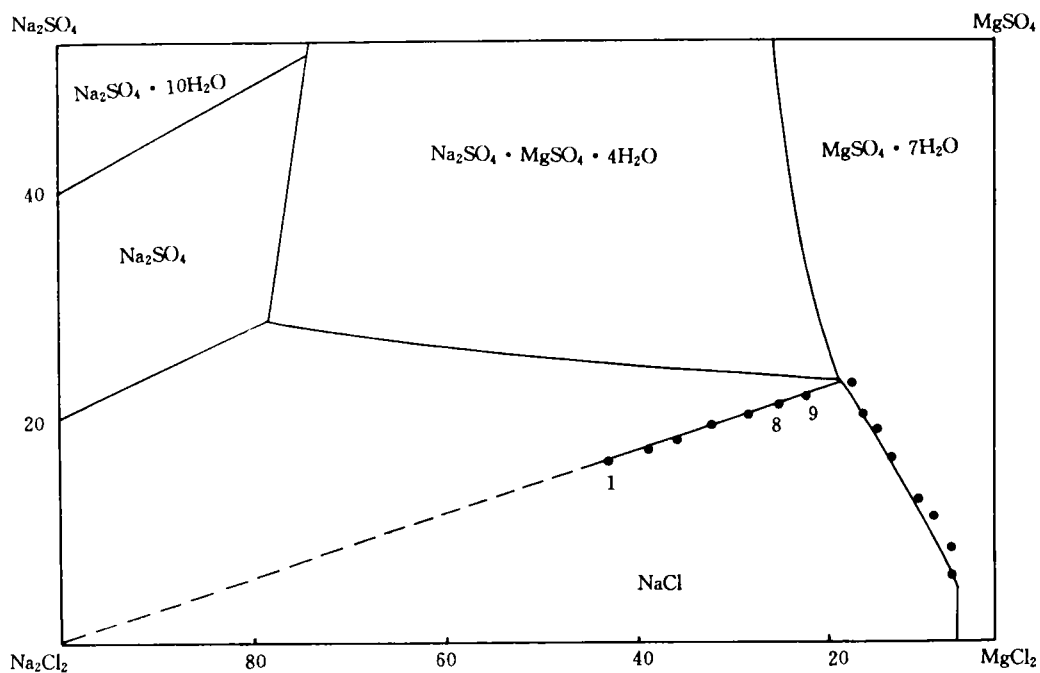


图 10 茶卡盐湖卤水 25℃ 等温蒸发 Na, Mg//Cl, SO₄-H₂O 结晶路线图

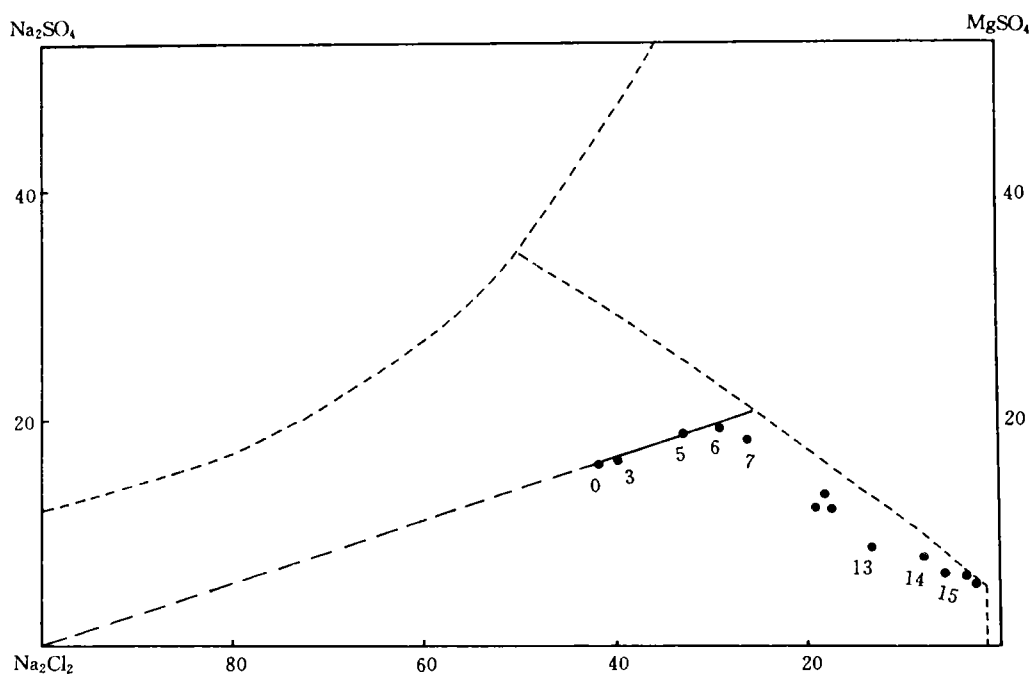


图 11 茶卡盐湖卤水 10℃ 等温蒸发 Na, Mg//Cl, SO₄-H₂O 结晶路线图

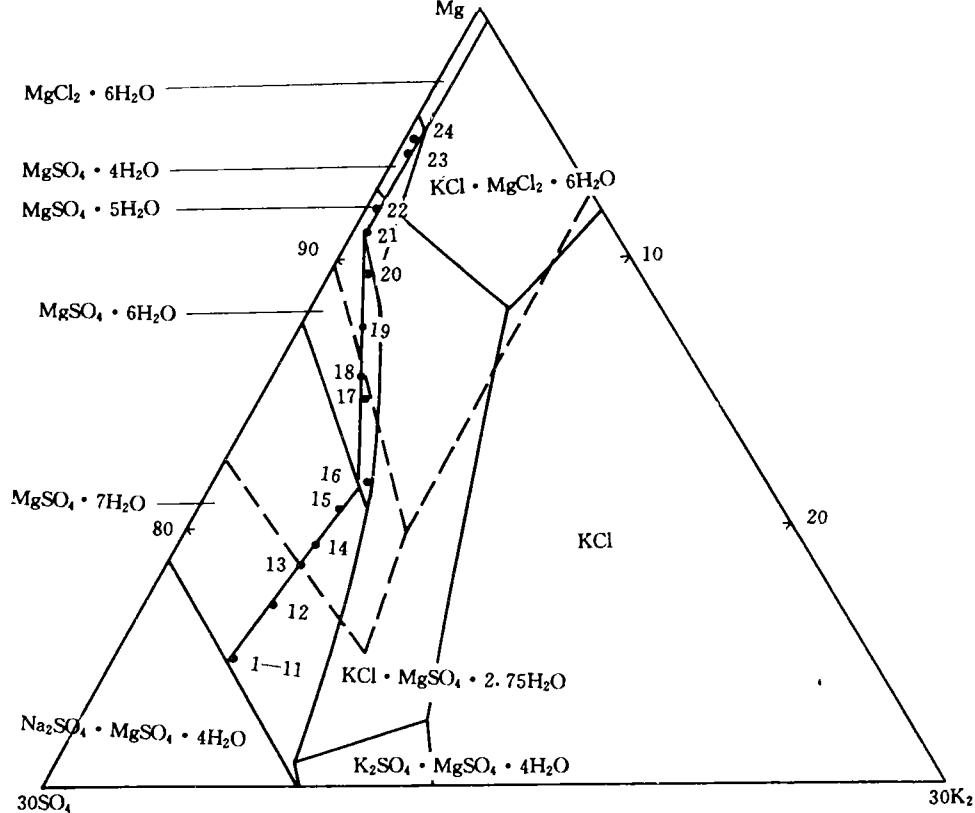
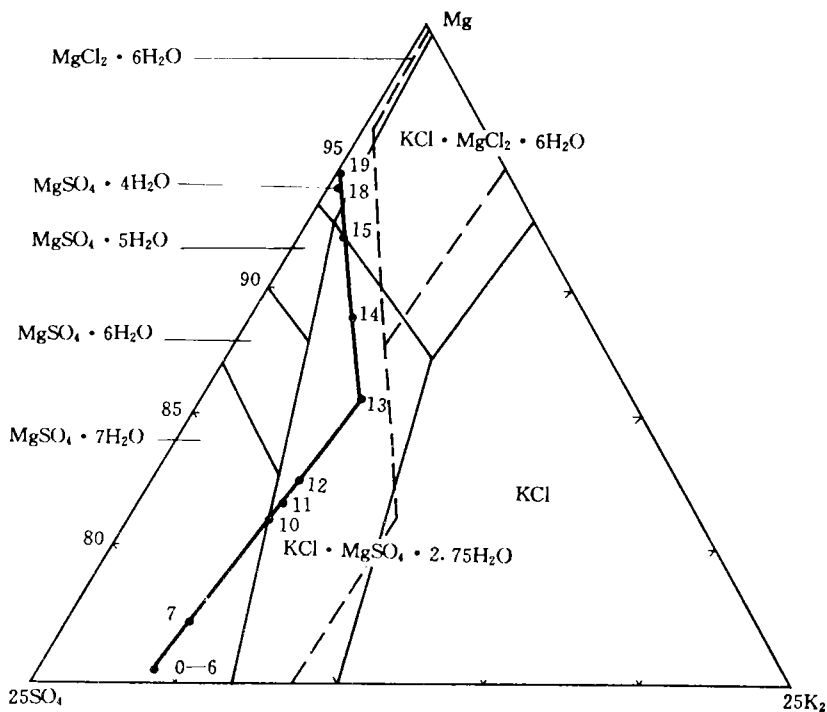


图 12 茶卡盐湖卤水 25℃等温蒸发 Na, Mg//Cl, SO₄-H₂O 结晶路线图



实线: 25℃稳定相区; 虚线: 0℃稳定相区

图 13 茶卡盐湖卤水 10℃等温蒸发 Na, K, Mg//Cl, SO₄-H₂O 结晶路线图

盐湖卤水的冷冻工作进行了 0°, -5°, -10°, -20℃ 四个温度的冷冻, 其结果见表 11。析出的矿物 0° 及 -5℃ 仅有 NaCl, 而 -10° 及 -20℃ 还有 Na₂SO₄ · 10H₂O。

从蒸发和冷冻结果来看, 盐湖的发育与发展基本上是岩石风化并通过水的搬运汇集于小山间盆地的地理环境内, 又通过干旱大陆性气候而造成茶卡盐湖。湖中存在的固相以石盐为主并析出一定量石膏, 目前还处于析出石盐阶段。至于湖中存在着泻利盐和芒硝固相乃是冬季温度降低, 使两种盐处于饱和而析出的盐类矿物。至于白钠镁矾依卤水的组成来看, 多数地区

表 11 茶卡盐湖卤水冷冻试验结果

冷却 温度 ℃	编号	冷却 天数	液相化学组成(重量%)					Na, Mg//Cl, SO ₄ -H ₂ O 投影数		固 相	备 注
			Na	K	Mg	Cl	SO ₄	Mg	SO ₄		
	原卤水		4.25	0.63	3.70	15.18	3.71	60.20	15.25		
0	1	1.5			3.71	15.04	4.30				
0	2	4			3.70	15.02	4.07			NaCl	
0	3	7			3.71	14.97	4.22			NaCl	
0	4	10	4.21	0.61	3.70	14.86	4.03	60.44	16.70	NaCl	
-5	1	0	4.21	0.61	3.70	14.86	4.03	60.44	16.70	NaCl	-2℃分离取样析 出固相为卤水的 0.45%
-5	2	2.5			3.71	14.93	4.48			NaCl	
-5	3	5			3.71	14.84	4.12			NaCl	
-5	4	9			3.72	14.81	4.11			NaCl	
-5	5	12			3.72	14.76	4.17			NaCl	
-5	6	16			3.72	14.84	4.04			NaCl	
-5	9	18	4.19	0.62	3.71	14.82	4.11	60.64	16.90	NaCl	
-10	0	0	4.60	0.58	3.55	15.15	3.85	57.59	15.78	NaCl	
-10	1	2.4				15.70	2.77			NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-10	2	3				15.76	2.77			NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-10	3	4				15.72	2.69			NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-10	4	6				15.63	2.76			NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-10	5	7				15.78	2.67			NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-10	6	8				15.74	2.64			NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-10	7	9				15.74	2.68			NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-10	8	10	4.12	0.60	3.72	15.76	2.70	61.20	11.20	NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-20	0	0	4.16	0.65	3.72	15.39	3.22	60.83	13.72	NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-20	1	2			3.75	15.06	2.84			NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-20	2	6			4.21	15.81	2.00			NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-20	3	9	2.83	0.69	4.22	15.81	2.03			NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-20	4	13			4.19	15.79	1.61			NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-20	5	15	2.64	0.64	4.20	15.78	1.52			NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	
-20	6	18	2.92	0.65	4.21	15.82	2.05	70.76	8.79	NaCl+Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	

还未达到析出阶段,只有个别地区且水温在 20℃ 以上有可能出现白钠镁矾。大多数地区可以认为是泻利盐和芒硝在卤水介质下发生反应而出现的。总之,湖中存在的盐类矿物出现都是正常的。

五、茶卡盐湖的开发利用

茶卡盐湖的石盐开采已有数百年历史,通过盐源勘探队的勘探和我们的调查研究,对于石盐开采首先应在无石膏地区,然后逐步扩大到基本无芒硝、无泻利盐或无白钠镁矾地区。而且越近中部偏南地区石盐纯度越高,越近边缘地区石盐纯度越低。从卤水长观季节变化来看,开采石盐的最好季节为 5~8 月。至多扩展到 3—10 月。在 11 月至翌年 3 月因水温低容易有芒硝或泻利盐析出夹杂于石盐中,尤其在边缘地带。要是现代化全年生产,提高设备利用率那就要分区开采并采用不同的加工方法。

其次,茶卡地区有良好修建日晒场条件,可考虑建立日晒场,夏季生产石盐、泻利盐和光卤石等,冬季可用来冷冻卤水生产高质量芒硝。顺便指出茶卡盐湖喀斯特溶洞数量多且分布广,冬季都能析出很多高质量芒硝。这两种芒硝都是生产元明粉的优质原料。至于芒硝脱水可将卤水与芒硝兑卤配成析出芒硝或无水芒硝组成点,然后加入芒硝通过蒸发及相转化获得无水芒硝。

日晒出来的光卤石和泻利盐可通过溶解再日晒出高质量软钾镁矾进一步生产硫酸钾。

参 考 文 献

[1] Курнаков П. С. и Пискарев В. И. Исследования в СССР 1938 Том Ф 333—366

The Physical Chemistry Investigation and Studies of Chaka Salt Lake

Liu Dagang Chen Jingjing Xu Xiaobai

Zao Luji Gao Shiyang

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

Abstract

The location and environment of Chaka Salt lake which belongs to sulphate—type, MgSO_4 —subtype were introduced. The compositions and distribution of the brine and deposits, and the seasons—parameters of brine and the depth—parameters of inter crystal brine were given. The phase diagram of the relative systems of brine have been provided by the evaporating and freezing experimental results, comprehensive utilization of the salt lake were suggested.

Keywords Chaka salt lake, Sulphate — type, Chemical composition, Phase diagram, Comprehensive utilization.