

西藏扎仓茶卡盐湖卤水硼、锂的分布特征*

郑喜玉

(中国科学院青海盐湖研究所)

扎仓茶卡(张藏茶卡)是一个富硼、锂的现代内陆盐湖,位于西藏西部革吉县境内、冈底斯山北麓的一个断陷盆地中。这里气候干燥、降水少、蒸发量大,属大陆性气候。该湖由三个湖组成,自东向西分别为 I, II, III 湖,东西长 40 公里,南北宽 10 余公里,总面积 130 平方公里。其中 I 湖和 III 湖湖表卤水很少,经常处于半干涸状态;II 湖有湖表卤水。这些湖沿长轴方向呈串珠状排列在近东西向古湖盆地低洼处,湖面海拔 4300 米。湖盆受班公湖-怒江构造带深大断裂控制而成为地堑式断陷盆地。出露岩性为第三系砂砾岩、凝灰岩和早白垩系灰岩及花岗岩、花岗闪长岩等。湖岸沿断裂带方向有钙质泉华(含少量盐华)断续延伸 40 多公里,湖边现在还有温泉,说明这里过去火山和水热活动强烈。泉水赋含硼、锂等稀散元素,是该湖硼、锂等组分的主要补给源。

受青藏高原隆起影响,湖盆明显收缩,在干旱气候条件下,湖水不断蒸发、浓缩,形成了高含盐量富硼、锂卤水。该卤水目前已演化到自析盐阶段,出现大量蒸发盐沉积(图 1)。

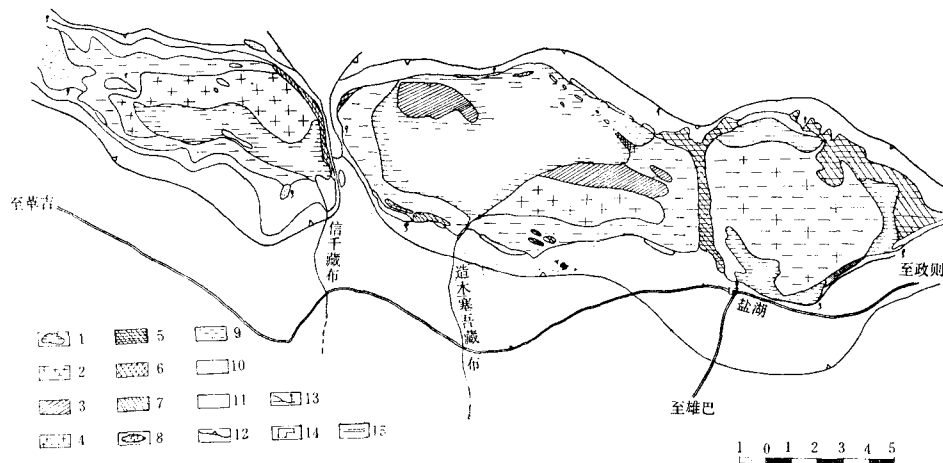


图 1 扎仓茶卡盐湖岩相图

1. 湖水; 2. 石盐沉积; 3. 芒硝沉积; 4. 石盐-淤泥沉积; 5. 柱硼镁石-库水硼镁石沉积; 6. 柱硼镁石沉积; 7. 柱硼镁石-粘土沉积; 8. 碳酸盐-柱硼镁石沉积; 9. 淤泥沉积; 10. 粘土沉积; 11. 沼泽地带; 12. 阶地; 13. 泉、河流; 14. 房屋; 15. 公路。

* 本文系 1976 年西藏盐湖考察的集体成果,参加考察的还有周康靖、徐昶、杨绍修、胡金泉、梁青生、田刚等同志。样品由单兰娣、林乐枝、王凤琴、王鲁英等同志分析。本稿承陈克造、孙大鹏、于昇松、黄麒等同志审阅、修改,刘青同志绘图,谨此致谢。

本刊编辑部收到稿件日期: 1979 年 6 月 28 日。

表 1 扎仓茶卡盐湖卤水平均化学成分

湖 名		海洋水	I 湖		II 湖		III 湖	
卤水类型			湖表水	晶间水	湖表水	晶间水	湖表水	晶间水
矿化度(克/升)		35	335.16	220.47	296.50	268.23	310.08	322.82
主要成分 (克/升)	Na ⁺	10.5	106	41.6	70.8	71.3	94	88
	K ⁺	0.38	10.9	99	12.9	17.5	10.24	15.6
	Ca ⁺⁺	0.4	0.28	0.19	0.27	0.12	0.27	0.02
	Mg ⁺⁺	1.2	8.37	8.53	9.95	12.8	8.43	13.95
	Cl ⁻	19	177.88	85.57	151.04	145.25	168.8	172.08
	SO ₄ ⁻	2.967	34.8	4.3	42.05	15.48	23.76	29.75
	CO ₃ ⁻	0.14	—	—	0.1	—	—	—
	HCO ₃ ⁻	0.14	0.23	0.46	0.30	0.36	0.25	0.29
稀散元素 (毫克/升)	B ₂ O ₃	15.44	1370.07	1985.0	1869.93	2303.33	1210	1685
	Li ⁺	0.2	525	553	630	780	800	1207
	Br ⁻	65	105.1		103.5		93.98	
	I ⁻	0.4	0.132		0.114		0.09	
	Rb	0.12	9.0		16.0		16.9	
	Cs	0.001	1.8		3.8		4.4	
	U	0.002	—		0.068		0.004	
	Sr	8	2.2		<2		<2	
	F	1.3	55.88		61.79		18.45	
	Th	7×10 ⁻⁴	<0.004		<0.004		<0.004	
	P	0.07	0.87		1.13		0.87	
	Si	3	3.90		6.15		2.20	
	As	0.001	3.15		2.60		1.70	
	NO ₂ ⁻	1.7	—		0.025		—	
	NO ₃ ⁻	2.2	1.0		—		1.9	
	Hg	3×10 ⁻⁵	0.4		—		—	
	NH ₄ ⁺	—	—		—		—	
	Al*	0.01	0.11		0.009		0.11	
	Fe*	0.01	0.85		0.48		0.46	
	Pb*	0.003	0.22		0.001		0.018	
	Sn*	0.003	0.01		0.011		0.016	
	Cr*	5×10 ⁻⁵	0.021		<0.004		0.006	
	Mn*	0.002	0.027		0.01		0.027	
	Ni*	0.005	0.019		<0.003		<0.003	
	Mo*	0.01	0.052		0.008		0.008	
	V*	0.002	0.007		0.018		0.003	
	Ti*	0.001	0.008		<0.007		<0.007	
	Cu*	6×10 ⁻⁴	0.067		0.0028		0.0008	
Ag*	0.003	0.067		0.030		0.065		
Zn*	0.001	0.342		0.12		0.15		
资料来源		日本海洋学会志, 1971。 理科年表	中国科学院青海盐湖研究所, 1977					

* 光谱半定量分析

一、盐湖卤水化学组成

该湖卤水分为湖表卤水和晶间卤水,略呈碱性, pH 值 7—8, 比重为 1.073—1.291 克/厘米³, 总矿化度为 230—350 克/升。内含近 40 种化学成分(表 1), 其中阳离子 Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺ 和阴离子 Cl⁻, SO₄⁻, HCO₃⁻, CO₃⁻ 为该湖卤水的主要化学成分, 占卤水总含盐量的 95% 以上, 它们决定了该盐湖类型及其成盐的基本特征。这些成分在卤水组成中较稳定, 具有一定规律性。主要阳离子为 Na⁺ > K⁺ > Mg⁺⁺ > Ca⁺⁺; 主要阴离子为 Cl⁻ > SO₄⁻ > CO₃⁻ (或 HCO₃⁻)。同海洋水成分比较, 阴离子含量顺序一致, 阳离子含量顺序略有差别(海洋水为 Na⁺ > Mg⁺⁺ > Ca⁺⁺ > K⁺)。除主要成分外, 还有许多稀散元素, 其中硼最高含量 1059 毫克/升, 最低含量 107.9 毫克/升, 平均含量 539.7 毫克/升; 锂最高含量 2120 毫克/升, 最低含量 94 毫克/升, 平均含量 583.5 毫克/升; 铷最高含量 45 毫克/升, 最低含量 1.52 毫克/升, 平均含量 13.9 毫克/升; 铯最高含量 12.5 毫克/升, 最低含量 0.3 毫克/升, 平均含量 3.3 毫克/升……。这是该湖卤水中的特征组分, 对评价和利用该湖卤水资源具有重要意义。

卤水分布和深度对其化学组成有影响, 因为湖表卤水在成盐演化过程中, 水-盐平衡体系依赖于该卤水的主要化学成分。如 II 湖湖表卤水分布面积 36 平方公里, 最大水深 1.2 米以上, 但处在强烈析盐阶段的高矿化卤水, 多分布于水深 10—30 厘米的湖南缘, 底部均有新盐沉积; 而水深在 50 厘米以上的卤水分布区, 由于含盐量低, 目前还没有达到自析盐阶段(图 2); I 湖和 III 湖湖表卤水分布范围小而且浅, 一般水深 10—15 厘米, 极易蒸发浓缩而达到饱和或过饱和状态, 甚至演化到自析盐阶段, 所以湖底都有一层新盐沉积。

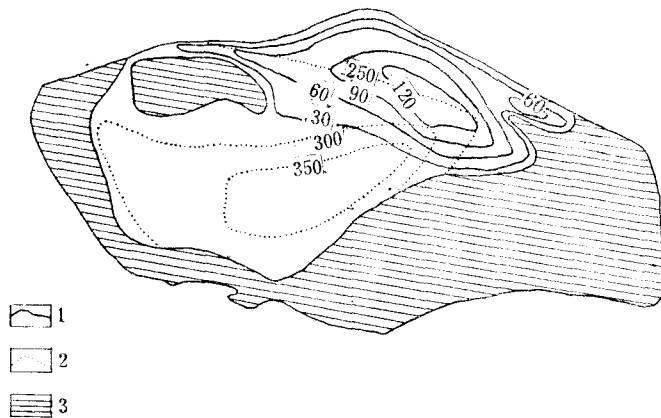


图 2 扎仓茶卡 II 湖卤水深度、总矿化度等值线图

1. 卤水等深线(厘米); 2. 卤水矿化度(克/升)等值线; 3. 湖相沉积。

二、盐湖卤水类型

根据库尔纳科夫-瓦里亚什科分类方法^[1], 该湖属于硫酸盐型盐湖, 其中 I 湖和 II 湖为硫酸钠亚型, III 湖为硫酸镁亚型(表 2)。三个盐湖卤水在干旱气候条件下, 虽然都能达到饱和或过饱和状态, 但演化阶段并非一致: I 湖和 II 湖湖表卤水处于硫酸钠亚型水

成盐阶段，卤水物理化学作用方向为硫酸钠亚型水向硫酸镁亚型水转化的过渡阶段；而 III 湖湖表卤水却演化到硫酸镁亚型水成盐阶段。具有代表性的变质系数，硫酸钠亚型为 $\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{MgSO}_4$ ，而硫酸镁亚型则为 $\text{MgSO}_4/\text{MgCl}_2$ 。在硼酸盐成矿作用上，硫酸钠亚型卤水和硫酸镁亚型卤水也有明显的差异，前者硼酸盐沉积矿物种类多，成矿规模亦较后者大。

表 2 扎仓茶卡盐湖湖表卤水化学分类

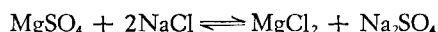
湖 别	盐湖类型		盐类组分	离子成分	变质系数				特征系数				平衡体系	盐类沉积
					K_1	K_2	K_{MK}	K_3	K_{n1}	K_{n2}	K_{n3}	K_{n4}		
I 湖	硫酸钠	亚型	Na_2SO_4 MgSO_4 (K_2SO_4) (CaSO_4) NaCl $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$ (CaCO_3)	SO_4^{2-} Cl^- (HCO_3^-) (CO_3^{2-}) Na^+ Mg^{++} K^+ (Ca^{++})	—	0.092	0	∞	0.002	1.01	36.73	0.16	$\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{++}, \text{Ca}^{++}/\text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$	芒硝 无水芒硝 钙芒硝 石膏 钾石膏 库水硼石 多水硼石 柱硼石 钠硼砂 (?)
III 湖	硫酸镁	亚型	NaCl MgCl_2 MgSO_4 (CaSO_4) $[\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$ (CaCO_3)	$\text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^-$ (HCO_3^-) $\text{Na}^+, \text{Mg}^{++}$ $(\text{K}^+), (\text{Ca}^{++})$	—	0	2.76 3.49	∞	0.002 0.01	0.67 0.72	22.52 93.84	0.16 0.61	$\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{++}, \text{Ca}^{++}/\text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$	石芒硝 石膏 钾石膏 柱硼石 钠硼解石

表 3 扎仓茶卡盐湖晶间卤水化学分类

湖 别	盐湖类型		盐类组分	离子成分	变质系数				特征系数				平衡体系	盐类沉积
					K_1	K_2	K_{MK}	K_3	K_{n1}	K_{n2}	K_{n3}	K_{n4}		
I 湖 ($\text{CK}_1 - \text{CK}_3$)	硫酸	硫酸钠	NaCl MgCl_2 KCl	Cl^- SO_4^{2-} (CO_3^{2-})	—	0	0.09 5.10	∞	0.004 0.02	0.08 0.84	4.71 15.91	0.52 0.97	$\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{++}, \text{Ca}^{++}/\text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$	芒硝 无水芒硝 石芒硝 库水硼石 柱硼石 钠硼解石
II 湖 ($\text{CK}_4 - \text{CK}_7$)	硫酸	硫酸镁	MgSO_4 (CaSO_4) (CaCO_3) (MgCO_3)	(HCO_3^-) Na^+ Mg^{++} K^+ (Ca^{++})	—	0	0.51 8.02	∞	0.002 0.01	0.52 0.86	339.66 1393.98	2.95 11.54	$\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{++}, \text{Ca}^{++}/\text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$	芒硝 无水芒硝 石芒硝 库水硼石 柱硼石 钠硼解石
III 湖 ($\text{CK}_8 - \text{CK}_{11}$)														

这说明该湖硼酸盐的大量沉积,主要发生在硫酸钠亚型水成盐作用早期阶段,即卤水中硫酸钠盐较低的物理化学环境中。水菱镁矿、文石等碳酸盐大量沉积后的某一过程,对硼酸盐的晶出是有利的。总之,不同盐湖水化学类型对硼酸盐沉积是有一定控制作用的,这对预测青藏高原盐湖硼酸盐沉积是有意义的。

硫酸盐型盐湖亚类在一定水-盐平衡体系中并不是一成不变的,这类盐湖盐类平衡为:



低温时析出硫酸钠盐,温度回升而形成氯化钠盐沉积。由于卤水化学组成发生变化而引起盐湖亚型改变也是存在的。

该湖(I, II, III湖)晶间卤水(钻孔混合水)皆属于硫酸镁亚型(表3)。

三、盐湖卤水硼、锂分布特征

该湖卤水成分比海洋水含量高,用盐湖卤水与海洋水离子比值反映的更为直观(表4),尤其是 B^{+++} , Li^+ , Rb^+ , Cs^+ 最明显。其中硼较海洋水含量高78—121倍;锂高2625—4000倍;铷高75—141倍;铯高1800—4400倍,较国外同类型盐湖卤水含量也高。 B^{+++} , Li^+ , Rb^+ , Cs^+ 等元素的高度富集,是该湖卤水的重要特征。

利用盐湖卤水离子系数阐明某些元素的分布规律,预测不同类型盐湖硼酸盐沉积和锂的富集特征是有现实意义的。该湖卤水水化学系数同海洋水比较,具有明显的规律性(表5),如 $\frac{\text{B}_2\text{O}_3}{\text{Mg}} \times 10^3$, $\frac{\text{B}_2\text{O}_3}{\text{Cl}} \times 10^3$, $\frac{\text{Li}}{\text{B}_2\text{O}_3} \times 10^2$ 系数较海洋水高,而 $\frac{\text{Cl}}{\Sigma \text{盐}^{1)}} \times 10^2$ 系数又接近海洋水,说明硼、锂在该湖卤水中具有高度聚集的地球化学背景。上述系数在各湖中虽然不同,但有一定规律: I湖和II湖的 $\frac{\text{B}_2\text{O}_3}{\text{Mg}} \times 10^3$ 系数最低值分别为172和142,最高值分别为255和231,较III湖最低值127和最高值149高。而I湖和II湖的 $\frac{\text{B}_2\text{O}_3}{\text{Cl}} \times 10^3$ 系数最低值0.75和0.79较III湖最低值3.77小,但I湖和II湖的该系数最高值13.63和18.92又较III湖的最高值11.94大。这说明硼镁系数值越大,硼氯系数的高值与低值离差大,对硼的富集和沉积是有利的。而锂硼系数值比海洋水越高,越有利于锂的富集。

该湖卤水中各种组分,在空间分布上具有不均一性和差异性的特点。如II湖的 B_2O_3 , Li^+ , Rb^+ , Cs^+ 及总矿化度等值线(图2—4),反映了各元素在湖表卤水中分布的趋势。在II湖偏南部卤水区形成一个近似东西向鸭蛋圆形的高异常区,自此区向东北方向,元素含量明显降低,而向西南部元素含量虽有变化,但幅度小,显然同湖表卤水蒸发、浓缩和水-盐平衡有关。因为湖区西南部接近石盐、芒硝和硼酸盐沉积区,高矿化度晶间卤水经常补给湖表卤水;而北部是沼泽地带,淡水对湖表卤水起冲淡作用。因此,在南部卤水中形成离子含量高值区,而北部深水地带出现离子含量低值区,是很自然的。湖底地形和气候影响也很重要,II湖南部湖底相对隆起,湖水蒸发作用强烈,有利于高矿化卤水的形成和硼、锂等元素的富集;而北部湖底低凹,水深50厘米以上,湖水蒸发作用减弱,对高矿化卤水的形成和硼、锂等元素的聚集不如前者有利。

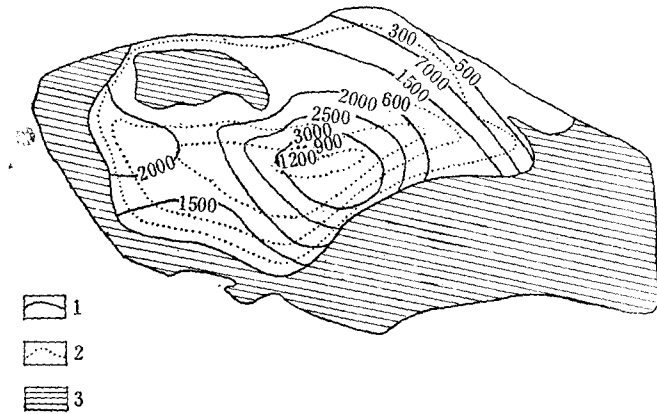
1) Σ 盐表示卤水含盐的总量。

表 4 扎仓茶卡盐湖卤水与海洋水化学成分比值表

盐湖卤水 海洋水	I 湖	II 湖	III 湖
Na ⁺	10.90	6.74	8.95
K ⁺	28.68	33.94	26.94
Mg ⁺⁺	6.44	7.65	5.96
Ca ⁺⁺	—	—	—
Cl ⁻	9.36	7.94	8.88
SO ₄ ⁻	11.71	14.17	7.17
CO ₃ ⁻	1.64	2.14	1.78
B ⁺⁺⁺	88.64	121.03	78.32
Li ⁺	2625	3195	4000
Br ⁻	1.61	1.68	1.44
I ⁻	0.33	0.28	0.22
Rb	75	133	141
Cs	1800	3800	4400
U	—	34	2
Th	5.7	5.7	5.7
F	42.9	47.5	14.2
Fe	85	48	46
Ag	—	—	—
P	12.4	16.1	12.4
V	3.5	9.0	1.5
Mn	13.5	5	13.5
Cu	111.5	50	108.3
Sn	3.3	3.6	5.3
As	3150	2600	1700
Si	1.3	2.05	—
Al	11	—	11
Mo	5.2	—	—
Cr	420	80	12
Ti	8	7	7
Pb	73.3	—	6.0
Ni	3.8	—	—
Zn	342	120	150
备注			

表 5 扎仓茶卡盐湖卤水的水化学系数

湖别	系数	$\frac{B_2O_3}{Mg} \times 10^3$	$\frac{B_2O_3}{Cl} \times 10^3$	$\frac{Li}{B_2O_3} \times 10^3$	$\frac{K}{Cl} \times 10^3$	$\frac{Cl}{\Sigma \text{盐}} \times 10^2$	$\frac{Li}{\Sigma \text{盐}} \times 10^3$	备注
I 湖		172—255	0.75—13.63	301.2	6.42	51.79	1.56	沉积大量硼酸盐
II 湖		142—231	0.79—18.92	302.2	9.57	51.31	2.12	沉积大量硼酸盐,并 储有富硼、锂卤水
III 湖		127—149	3.77—11.94	328.9	6.46	56.16	2.58	有硼酸盐沉积
海洋水		12.86	0.81	12.9	2.00	54.58	0.0057	

图 3 扎仓茶卡 II 湖卤水 B_2O_3 , Li 含量等值线

1. B_2O_3 含量(毫克/升)等值线; 2. Li 含量(毫克/升)等值线; 3. 湖相沉积。

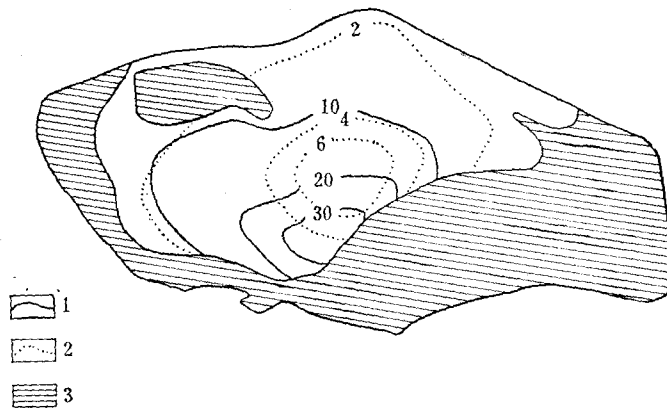


图 4 扎仓茶卡 II 湖卤水 Rb, Cs 含量等值线

1. Rb 含量(毫克/升)等值线; 2. Cs 含量(毫克/升)等值线; 3. 湖相沉积。

该湖卤水中, 硼、锂的赋存同钾、镁密切共生, 存在着共同富集、分散的规律(图 5)。图 6 和图 7 表明硼、锂、铷、铯、 Σ 盐的正比关系和近似正态分布的特征。根据这些特点,

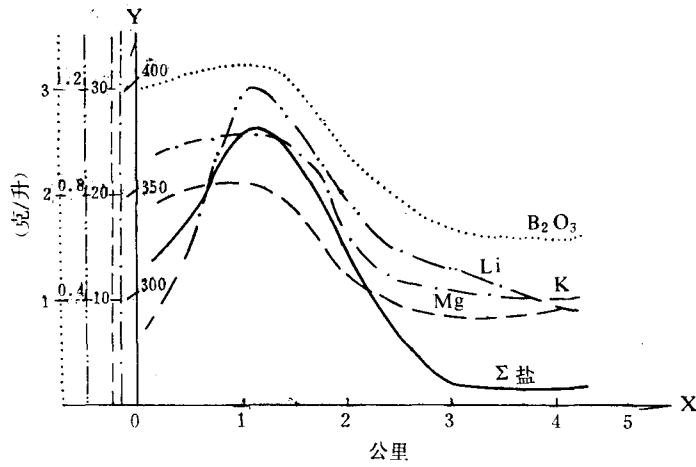


图5 扎仓茶卡 II 湖 II₄-II₄' 剖面硼、锂、钾、镁及 Σ 盐浓度曲线
X: 距离(公里); Y: 离子含量(克/升)。

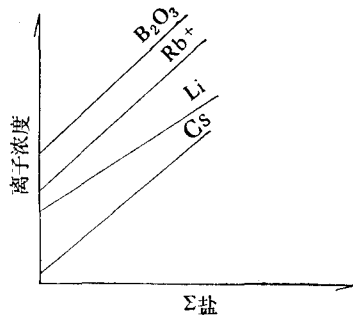


图6 扎仓茶卡盐湖卤水硼、锂、铷、铯浓度与 Σ 盐关系图

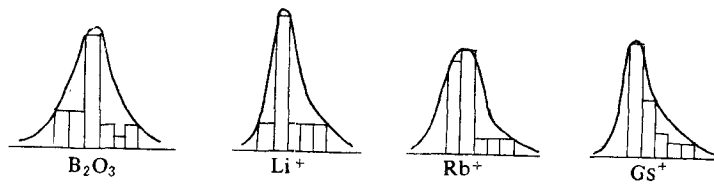


图7 扎仓茶卡盐湖卤水离子浓度频率分布图

利用天然条件提高上述组分在卤水中的含量,对评价和综合利用该湖卤水资源是有利的。

四、结 语

扎仓茶卡盐湖湖水为富含硼、锂的高矿化卤水,水型属于硫酸钠亚型(I湖和II湖)和硫酸镁亚型(III湖)。卤水中硼、锂平均含量分别为 539.7 毫克/升和 583.5 毫克/升,较海洋水含量高,为硼、锂的富集区。

利用水化学系数可以考察不同类型盐湖中硼、锂的富集程度¹⁾。在该类型盐湖中, 硼镁系数大于 150, 硼氯系数高值与低值离差大于 12, 有利于硼的富集和沉积。 锂硼系数大于 300, 锂盐系数较海洋水高数百倍, 是锂富集的标志。

该湖卤水突出的水化学特征是富含硼锂, 与钾、镁、铷、铯密切共生, 具有共同富集和分散的特点。说明有同一的物质来源, 同青藏高原的火山作用和水热活动有密切的成因联系。

参 考 文 献

- [1] 瓦里亚什科, M. Г., 1965。钾盐矿床形成的地球化学规律(范立等译)。中国工业出版社, 17—18 页。
 [2] 京斯, A. И.-李道夫斯基, 1965。盐湖矿床综合调查和勘探方法。中国工业出版社。
 [3] 洛谢夫, Н. А., 1960。稀有元素地球化学(南京大学地质系译)。科学出版社, 24—26, 230—233 页。
 [4] Тальте, Д. К., 1965。Геохимия бора издательство недр. стр. 57—62。

THE DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF B AND Li IN THE BRINE OF ZHACANG CAKA (ZHANGZANG CAKA) SALINE LAKE, XIZANG AUTONOMOUS REGION, CHINA

Zheng Xiyu

(Qinghai Institute of Saline Lake, Academia Sinica)

ABSTRACT

1. Composition of the Brine

The specific gravity of its surface brine is from 1.073 to 1.291. Its salinity is 230—350 g/l. It consists of more than 30 elements, such as Na^+ , K^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- , and so forth. In addition to the above elements, it has also B, Li, Rb etc. Hence it is highly mineralized with rich-B and rich-Li.

2. Type of the Lake

This saline lake belongs to the sulfate type. Of which lake I and lake II are of Na_2SO_4 subtype, lake III is of MgSO_4 subtype.

3. The Distributive Characteristics of B and Li in the Lake

(1) The concentrations of B and Li are higher than that in sea water, B being 78—121 times higher, Li being 2625—4000 times higher.

(2) A striking enrichment area of B, Li was formed in this brine lake.

(3) The concentrations of B and Li are related to total mineralization of this lake.

1) 参见: 中国科学院青海盐湖研究所, 1974。西藏盐湖硼矿研究报告。