

青藏盐湖卤水演化及资源*

杨绍修

(中国科学院盐湖研究所, 西宁)

提要 本文通过揭示青藏盐湖卤水在浓缩过程中成盐元素的行为以及卤水水化学类型与pH值等的变化, 得出结论如下:

1. 卤水中主要离子的演化方向是按 $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{K}^+ \rightarrow \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Ca}^{2+}$ (阳离子)和 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$ (阴离子)顺序进行。

2. 除了析出固体外, 微量元素一般在最后的浓缩卤水和析盐后的残余卤水中高度富集。

已查明盐湖卤水中有63种元素, 其中钾、镁、硼、锂、铷、铯、铀、钍、稀土、氡已构成可以综合利用的宝贵资源。

一、盐湖卤水的类型及成分

(一) 盐湖卤水的类型及按卤水丰沛程度的盐湖分类

盐湖卤水是指存在于湖泊中的矿化度 $>50\text{g/L}$ (或 $>5\%$)的天然盐溶液。

按赋存状态, 盐湖卤水划分为湖表卤水和湖底地下卤水两类型。前者指存在于湖盆盆底以上的卤水; 后者指埋藏于盐湖沉积物(盐类、沉积物或碎屑沉积物)颗粒间与孔隙中的地下卤水, 又称晶间(含淤泥)卤水。

按盐湖卤水的丰沛程度, 将盐湖分成三类:

1. 卤水湖——充满湖表卤水的盐湖。这种湖一年四季, 不论干季还是雨季, 卤水始终充满整个湖体, 即卤水实际构成湖体容积。如青海的希里沟盐湖、西藏的错尼等。错尼东湖实测水深可达 58.7m^1 。

2. 半干涸盐湖——局部存在湖表卤水的盐湖。即使在雨季, 湖水也不能充满全湖, 盐类沉积常出现在补给水的对侧, 即这种湖既有晶间卤水, 亦有湖表卤水存在。如扎仓茶卡、尕斯库勒湖等。

3. 干盐湖——无湖表卤水的盐湖。不过这种湖并不是没有卤水, 而是盐湖沉积物中赋含有晶间卤水或淤泥卤水, 湖盆呈现宽阔平坦的盐滩, 如察尔汗、大浪滩、噶尔昆沙湖等。

(二) 卤水成分

盐湖卤水成分是指存在于盐湖卤水中(除水体本身的氢及氧外)的各种元素, 统称为成盐元素。

* 本文承蒙陈克造研究员审阅, 特此致谢。

1)据中国科学院南京地理与湖泊研究所提供的资料。

已有分析资料揭示, 青藏盐湖成盐元素是复杂的, 包括各种金属、非金属及过渡元素达 63 种, 占元素周期表中元素数量的 50% 以上。依其含量, 可将其划分为主要成盐元素与次要 (微量) 成盐元素两类。现分别叙述如下:

1. 主要成盐元素

青藏盐湖卤水的主要成分为阳离子 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 与阴离子 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 。这八种成分占卤水中离子总量 99% 左右。仅少数盐湖 (如牛郎织女湖、昆特依干盐湖等) 有较多的 NO_3^- 、 NO_2^- 存在。

主要成盐元素位于元素周期表的两侧, 属于 IA、IIA、IVA、VIA 和 VIIA 族, 原子序数 ≤ 20 , 原子量 ≤ 40.0784 , 离子电位值 ≤ 20 (表 1)。

表 1 主要成盐元素特性

Tab.1 Characteristics of Main Salifiable Elements

元素名称	族	原子序数	原子量	离子半径	离子电位	在水溶液中的特性
Na^+	IA	11	22.9898	0.98	1.020	呈碱金属离子
K^+	IA	19	39.0983	1.33	0.7518	
Mg^{2+}	IIA	12	24.3050	0.78	2.564	呈强基性离子
Ca^{2+}	IIA	20	40.0784	1.06	1.887	
Cl^-	VIIA	17	35.4527	1.81	-0.552	呈非金属络阴离子
S^{6+}	VIIA	16	32.066	0.34	17.647	
$[SO_4]^{2-}$				2.95	-0.678	
C^{4+}	IVA	6	12.011	0.20	20.000	
$[CO_3]^{2-}$				2.57	-0.778	

在这些成盐元素中, 离子电位值较高 (>17) 的 S^{6+} 和 C^{4+} , 电荷大, 半径小, 因而极化能力极强, 在水液溶中争夺氧并与氧结合形成坚固的络阴离子 $[SO_4]^{2-}$ 、 $[CO_3]^{2-}$, 而独立存在; 离子电位值最低的 Cl^- , 在水溶液中呈自由离子存在, 常与阳离子以离子键结合成 $NaCl$ 、 KCl 等从溶液中析出; 离子电位值较低的 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} , 电荷小, 半径大, 在水溶液中吸引电荷排斥正电荷的能力弱, 亦呈自由离子存在。

主要成盐元素在卤水浓缩时呈各种普通盐类, 如钙盐、钠盐、钾盐和镁盐析出, 成为盐湖固体矿产资源。

2. 次要 (微量) 成盐元素

青藏盐湖卤水的次要 (微量) 成分包括 Li、Be、B、N、F、Al、Si、P、Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、As、Se、Br、Rb、Sr、Y、Zr、Nb、Mo、Ag、Cd、Sn、I、Cs、Ba、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Ta、Au、Hg、Pb、Bi、Ra、Th、U 共 56 种元素, 占卤水中离子总量 1% 左右。

次要元素在卤水浓缩时, 除了析出部分固体矿产——硼酸盐、锂盐、锶盐、钡盐等以及在盐类矿物中呈流质包裹体或类质同象外, 绝大部分仍保留在卤水中, 与某些主要成盐元素一起构成价值更高的盐湖液体矿产资源。

为何盐湖卤水中成盐元素如此繁多? 根本原因在于水圈与大气圈和岩石圈的相互作用, 亦即长期进行着的物质交换作用, 使这些极不相同的元素呈分子、离子或络合物状态转入河水、冷泉、热泉等各种天然水中, 当其汇入湖泊后, 形成这些元素在盐湖中的复杂组合。

二、卤水演化

卤水演化研究是探讨盐湖形成、发展和演变的一条重要途径。对于探索湖泊水体淡化与浓缩过程、湖泊变迁、气候干湿交替历史、盐类矿物析出与消融程度, 以及成盐元素富集与分散原因等均有重要意义。

本文讨论的卤水演化主要是指盐湖卤水在浓缩过程中成盐元素的行为、卤水水化学类型及pH值变化等。

(一) 成盐元素在卤水浓缩过程中的行为

盐湖卤水在蒸发作用下逐渐浓缩, 依溶解度不同顺序析出各种盐类矿物。与此同时, 卤水中各成盐元素离子含量相应发生变化。为研究这种变化, 作者选取代表不同矿化度的63件盐湖卤水样品(羌塘36件^[1], 柴达木盆地27件^[2])分析资料, 作出矿化度与卤水中主要成盐元素离子含量关系图(图1、2、3、4)。自图中看出:

1. Cl^- 盐湖卤水中 Cl^- 含量范围为12.85—191.69g/L(羌塘)至121.13—382.41g/L(柴达木), 呈现随矿化度增高而逐渐增大的总趋势(图1)。

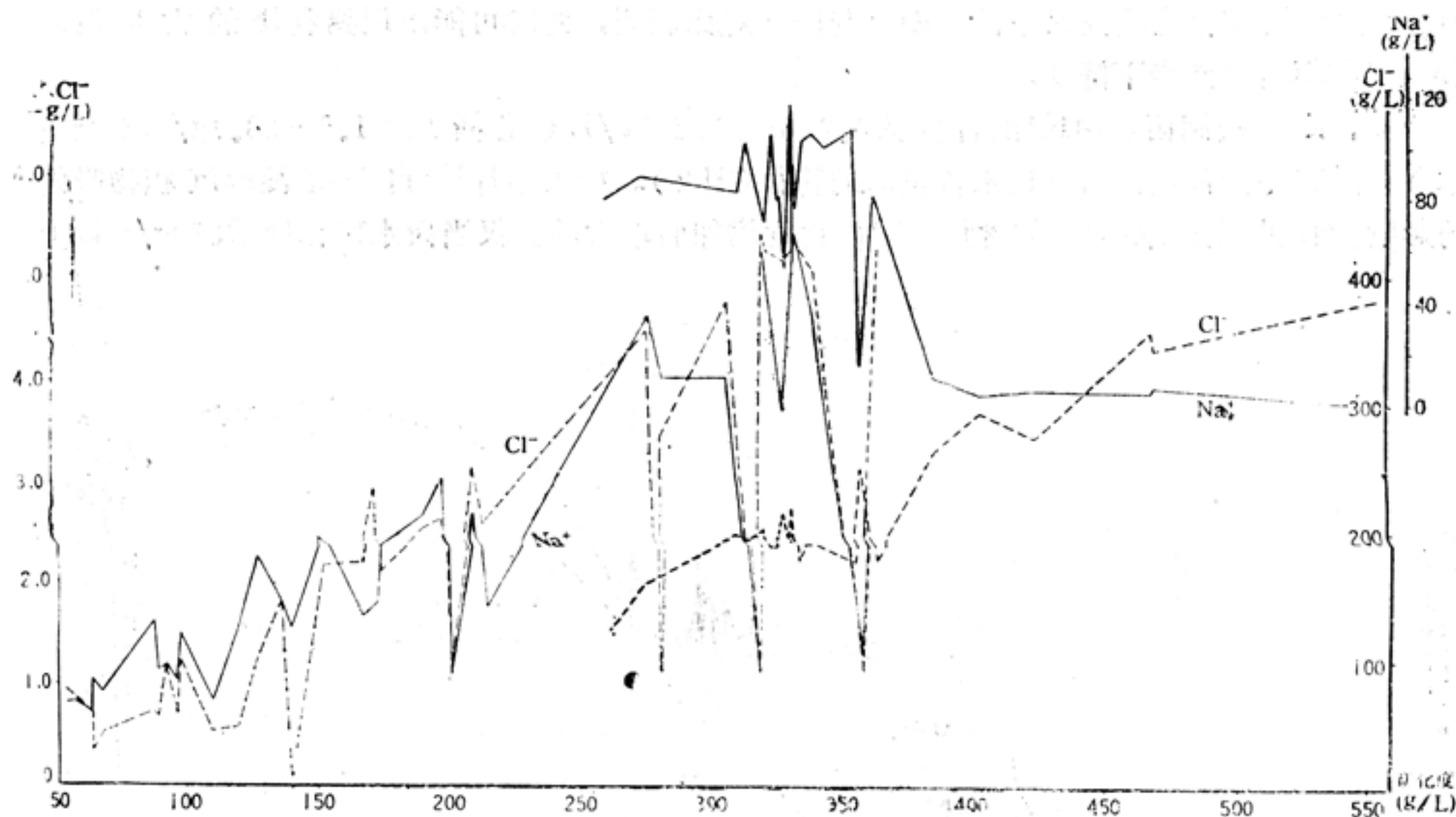


图1 青藏盐湖卤水矿化度与钠、氯离子含量关系图

左下: 羌塘 右上: 柴达木盆地

Fig.1 Relation between the Mineralization of Brine and Na^+ , Cl^- Content in Salt Lakes

在羌塘（即藏北高原），盐湖卤水矿化度为200g/L、318g/L和358g/L左右时， Cl^- 与 Na^+ 呈紧密同步消长关系，表明有大量石盐自卤水中析出。

在柴达木盆地，盐湖卤水矿化度为261g/L至274g/L时， Cl^- 与 Na^+ 呈共消长关系，与羌塘情况雷同，说明大量石盐沉积后， Cl^- 与 Na^+ 保留在卤水中随矿化度增加同步增减；但矿化度 $>274\text{g/L}$ 时， Cl^- 与 Na^+ 则呈反消长关系。将图1与图2、3对照得知， Na^+ 有时与 SO_4^{2-} 结合成芒硝， Cl^- 有时与 K^+ 、 Mg^{2+} 结合成钾镁盐而呈同步增减，故 Na^+ 与 Cl^- 此后不再随矿化度增加同步消长。

2. Na^+ 盐湖卤水中 Na^+ 的含量为16.98—124.37g/L（羌塘）至116.4—0 g/L（柴达木），且随矿化度变化急剧波动（图1）。

在羌塘，折线上的各个尖峰（代表 Na^+ 含量的高值），在矿化度未达333.32g/L的卤水中，是不断上升的，超过此值的卤水中则逐渐下降。各尖峰之间的低谷，为 Na^+ 发生沉淀之值。

在柴达木盆地，尖峰值以卤水矿化度331.53g/L为界，未达此值前不断上升，达此值后不断下降至零。一系列的低谷表明不断有 Na^+ 的矿物析出。

3. Mg^{2+} 盐湖卤水中 Mg^{2+} 的含量为0—20.09g/L（羌塘）至5.6—118.6g/L（柴达木），具羌塘低而柴达木高的特征（图2）。在羌塘，除去低谷——镁盐沉淀处外，尖峰（高值）的连线，显示卤水中 Mg^{2+} 含量随矿化度的增加而一直增高；在柴达木，矿化度低于470g/L的卤水中 Mg^{2+} 含量随矿化度变化的情况与羌塘一致。但高于470g/L的卤水中 Mg^{2+} 含量随矿化度增高而下降。图2与图3对比表明，此时可能出现泻利盐的大量沉淀（ Mg^{2+} 与 SO_4^{2-} 同步下降）。

4. K^+ 盐湖卤水中 K^+ 的含量为0.768—21.242g/L（羌塘）至1.6—23.1g/L（柴达木），具有羌塘含量低而柴达木含量高的特征（图2）。如果不计 K^+ 自身沉淀或沉积物吸附的影响，两区盐湖卤水中 K^+ 的含量是随矿化度增加而增大的。仅当卤水矿化度达358g/L以上

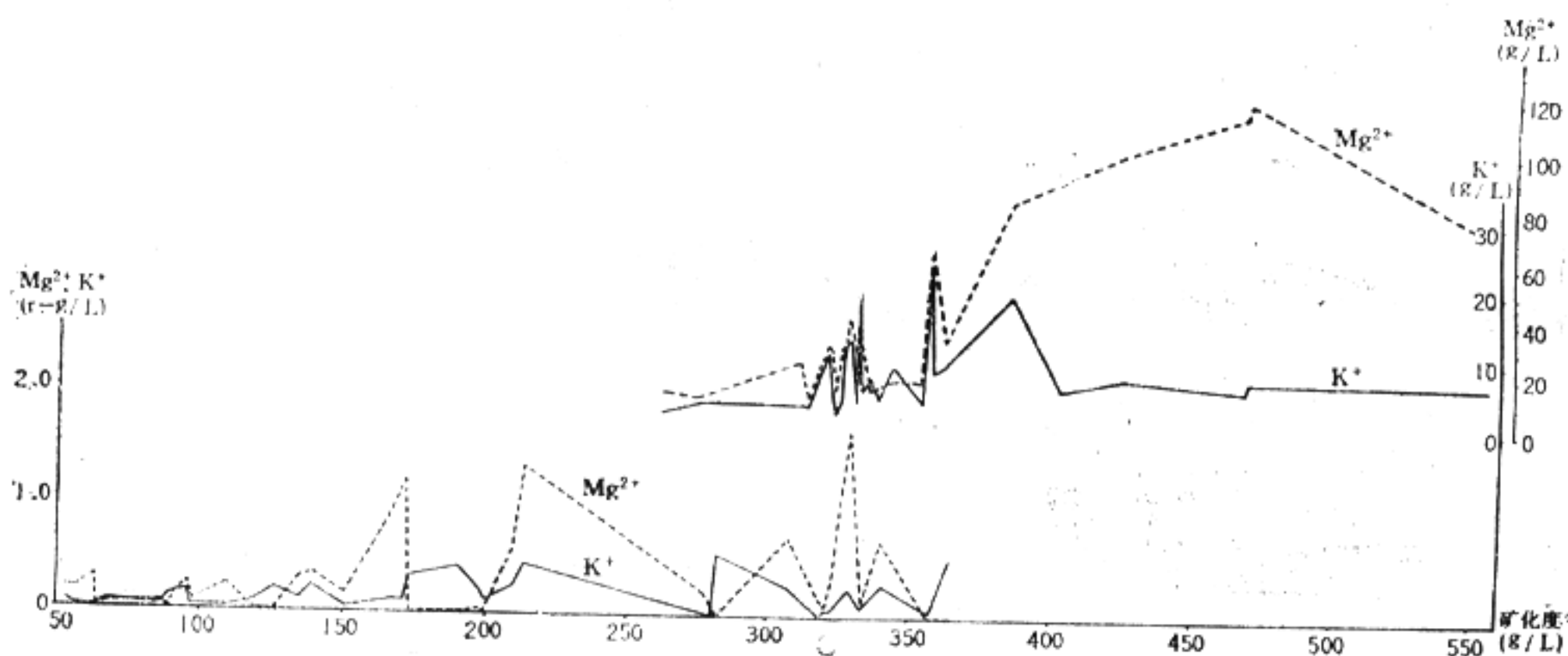


图2 青藏盐湖卤水矿化度与钾、镁离子含量关系图

左下：羌塘 右上：柴达木盆地

Fig.2 Relation between the Mineralization of Brine and K^+ , Mg^{2+} Content

时，柴达木才出现 K^+ 含量因大量析出而下降的情况。

5. Ca^{2+} 盐湖卤水中 Ca^{2+} 的含量为0.0016—3.706g/L（羌塘）至0.08—99.4g/L（柴达木），显示柴达木含量高而羌塘含量低的特征（图3）。

6. $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ 盐湖卤水中 $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ 的含量为0.056—20.976g/L（羌塘）至0.00007—0.9636g/L（柴达木），显示处于盐湖发展初期的羌塘含量高而处于晚期的柴达木含量极低的特点（图3）。两区卤水中 $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ 含量的连线均起伏较大，且在矿化度为63.45g/L、173.50g/L、282.63g/L（羌塘）和386.9g/L（柴达木）处分别达到最高值。但矿化度超过386.9g/L的柴达木卤水中，高峰值开始下降。

7. SO_4^{2-} 盐湖卤水中 SO_4^{2-} 的含量为1.457—84.934g/L（羌塘）至0—63.112g/L（柴达木），即羌塘含量高而柴达木含量低（图3）。两区卤水 SO_4^{2-} 含量分别以矿化度139.74g/L（羌塘）和362.885g/L（柴达木）高值为界，先呈跳动式上升然后下降。

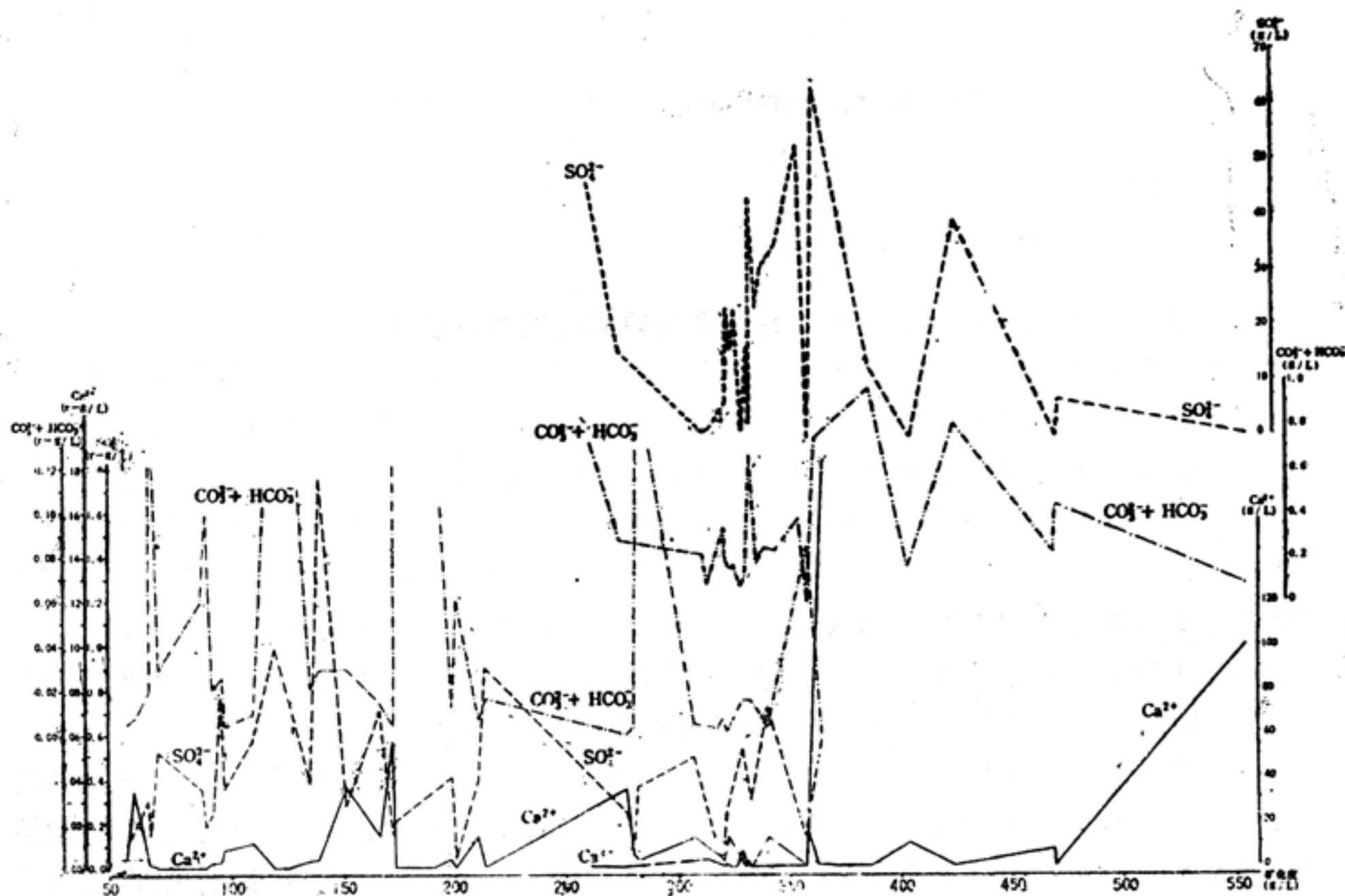


图3 青藏盐湖卤水矿化度与钙、硫酸根和碳酸根+碳酸氢根离子含量关系图

左下：羌塘 右上：柴达木盆地

Fig.3 Relation between the Mineralization of brine and Ca^{2+} , SO_4^{2-} , and $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ Content

8. B^{3+} 前述盐湖卤水中 B^{3+} 的含量为0.01586—0.98911g/L（羌塘）至0.0294—1.24469g/L（柴达木）（图4）。羌塘 B^{3+} 含量连线起伏幅度和次数均较大，说明不同矿化度的卤水中均可沉淀硼酸盐。柴达木 B^{3+} 含量连线表明，除两个富硼盐湖（矿化度分别为274.438g/L和339.074g/L）外，卤水中 B^{3+} 含量的高值是随矿化度增加而呈增大趋势。说明已演化到中、晚期的盐湖卤水愈浓缩， B^{3+} 愈富集。此结论对利用盐湖卤水中硼及其他微量元素资源有重大意义。

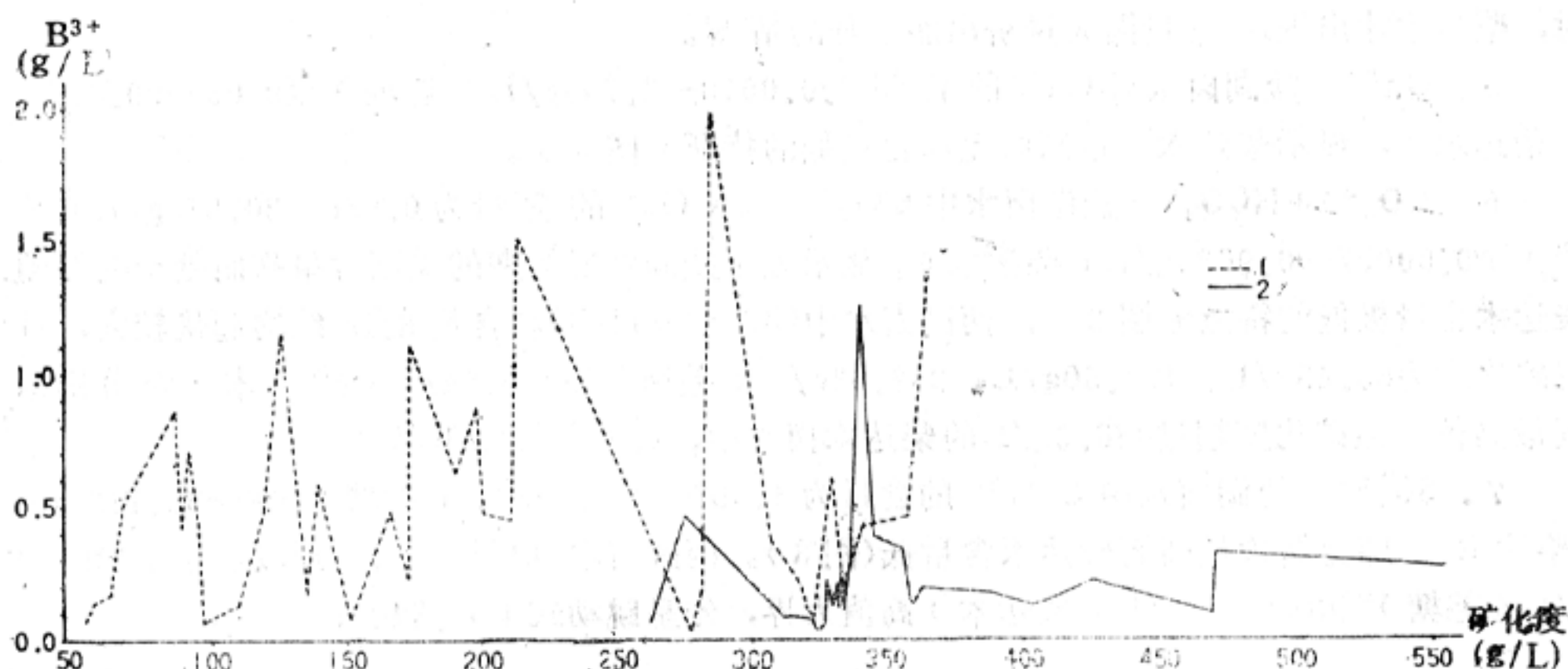


图4 青藏盐湖卤水矿化度与硼离子含量关系图

1.羌塘 2.柴达木盆地

Fig.4 Relation between Mineralization of Brine and B^{3+} Content in salt Lakes**(二) 卤水水质(水化学类型)与酸碱度在浓缩过程中的变化**

据前述63个盐湖卤水分析资料统计, 卤水水化学类型¹⁾、酸碱度与矿化度的关系如表2所示。随着矿化度的升高亦即浓缩程度的提高, 卤水的pH值逐渐降低, 而其水化学类型自碳酸盐型经硫酸盐型(硫酸钠亚型-硫酸镁亚型)向氯化物型演变。

这种水化学类型演变趋势在青藏各种水体主要成盐元素阳、阴离子三角投影图中表现得更加明显(图5、6)。在阴离子三角投影图中, 羌塘的淡水-半咸水(湖泊、河流、热泉等)的水化学类型由碳酸盐型I'至硫酸盐型(II+III)', 盐湖卤水则沿顺时针方向如图中箭头所示, 由碳酸盐型I经硫酸钠亚型II向硫酸镁亚型III, 即向着 $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ 含量减少的方向演变。在该区同一水化学类型由淡水-半咸水到盐湖的演变中, 无论是碳酸盐型I'→I, 或是硫酸盐型(II+III)'→II→III, 亦是如此。柴达木盆地的各种水体的水化学类型的演变过程与羌塘相似, 淡水-半咸水由碳酸盐型I'至硫酸盐型(II+III)', 盐湖则由硫酸钠亚型II经硫酸镁亚型III向氯化物型IV, 即向 $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ 减少和 Cl^- 含量增加的方向演变; 在阳离子三角投影图中, 羌塘的淡水-半咸水由碳酸盐型I'至硫酸盐型(II+III)', 即向贫 Ca^{2+} 、富 Na^+ 方向演变, 盐湖卤水由碳酸盐型I经硫酸钠亚型II向硫酸镁亚型III, 即向贫 Na^+ 、富 Mg^{2+} 方向演变。柴达木盆地的淡水-半咸水由碳酸盐型I'向硫酸盐型(II+III)', 盐湖则由硫酸钠亚型II经硫酸镁亚型III向氯化物型IV, 即向先是贫 Ca^{2+} 、富 Na^+ , 然后贫 Na^+ 、富 Mg^{2+} , 最后富 Ca^{2+} 方向演变。

总之, 在盐湖卤水浓缩过程中, 卤水中离子演化方向是, 阳离子从降 Ca^{2+} 开始经过 $Na^+ + K^+$ 、 Mg^{2+} 到富 Ca^{2+} 结束; 阴离子从降 $CO_3^{2-} + HCO_3^-$ 开始经过 SO_4^{2-} 至富 Cl^- 告终。据此可分别表达如下:

1) 依M.P.瓦良什科分类

阳离子: $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{K}^+ \rightarrow \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Ca}^{2+}$

阴离子: $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$

此结论与上节得出的结论基本吻合, 因此, 这是关于盐湖卤水演化的基本结论。

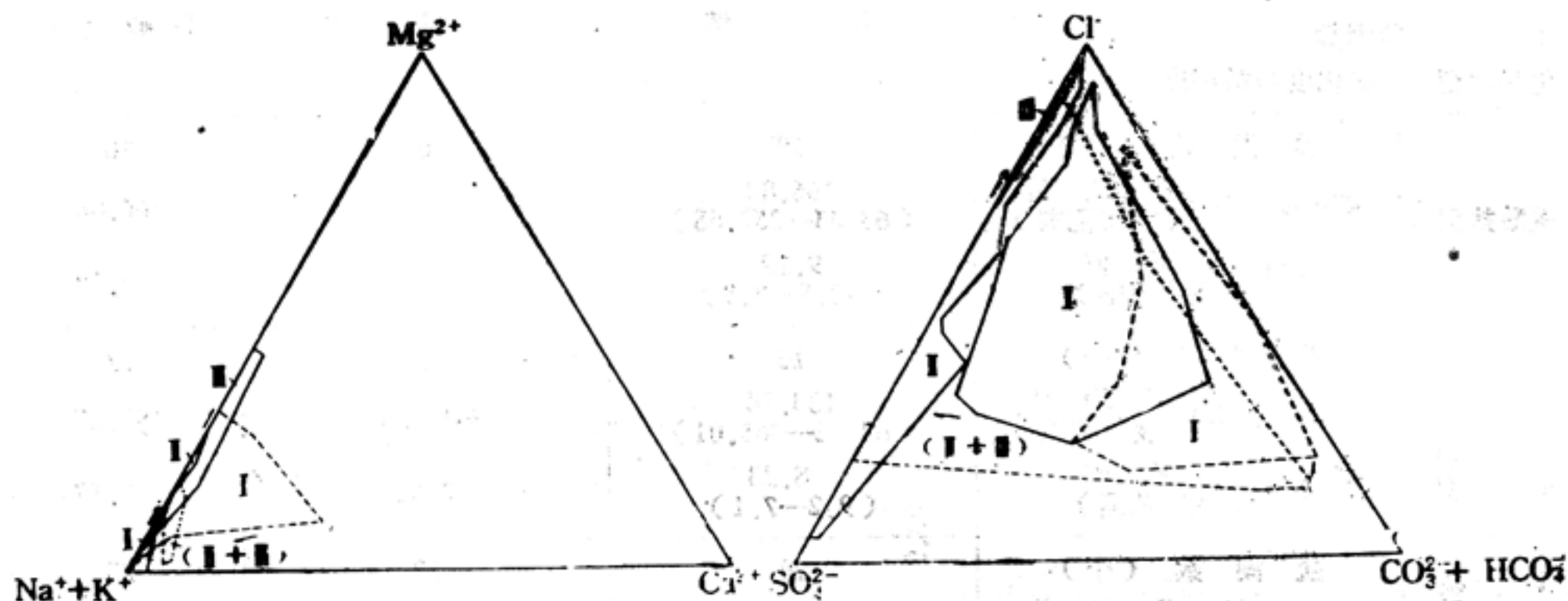


图5 羌塘各类水体主要成盐元素三角投影图

Fig.5 Main Salifiable Elemental Triangular Projective Geometry of Waterbodies in the Qiagtang

- I. 碳酸盐型盐湖卤水投影区; II. 硫酸盐型硫酸钠亚型盐湖卤水投影区; III. 硫酸盐型硫酸镁亚型盐湖卤水投影区;
 I'. 碳酸盐型湖泊、河、泉、雪水投影区; (I+III)'. 硫酸盐型湖泊、雪、河泉水投影区。箭头示水体演化方向。

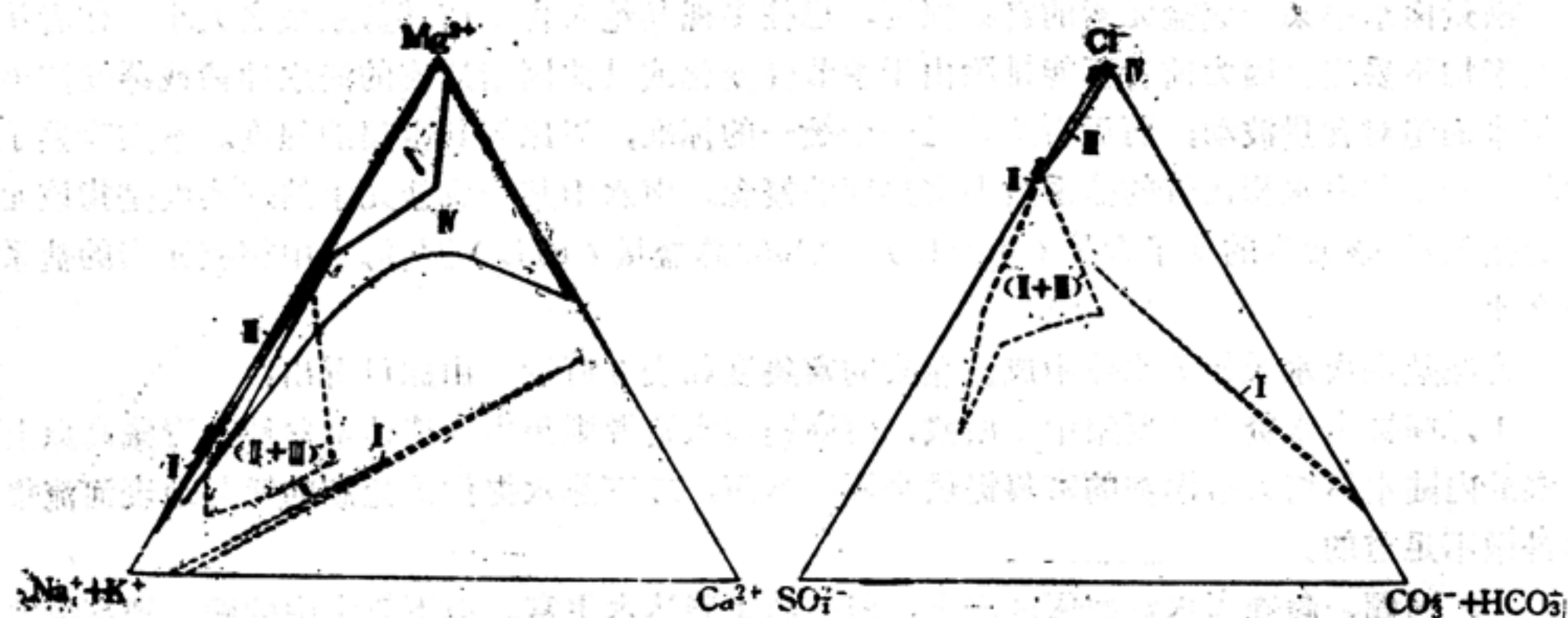


图6 柴达木盆地各类水体主要成盐元素三角投影图

Fig.6 Main Salifiable Elemental Triangular Projective Geometry of Waterbodies in the Qaidam Basin

- I. 硫酸盐型硫酸钠亚型盐湖卤水投影点; II. 硫酸盐型硫酸镁亚型盐湖卤水投影区;
 III. 氯化物型盐湖卤水投影区; I'. 碳酸盐型湖泊、雪、河、泉水投影区;
 (I+III)'. 硫酸盐型湖泊、雪、河、泉水投影区。箭头示水体演化方向。

表 2 青藏盐湖卤水水化学类型与酸碱度、矿化度关系
Tab.2 Relation between Chemical Types of Brine, pH
Value and mineralization

地 区		羌 塘	柴 达 木	青 藏 高 原
卤水 水化学类型	盐湖数、 矿化度与酸碱度			
碳酸盐型	盐 湖 数 (个)	10	0	10
	矿化度(g/L) 平 均 值	166.84		166.84
	(变化范围)	(63.45—357.68)		
	pH 平 均 值	9.19		9.19
硫 酸 盐 型	盐 湖 数 (个)	16	1	17
	矿化度(g/L) 平 均 值	184.74	261.468	189.25
	(变化范围)	(63.12—365.01)		
	pH 平 均 值	8.23	7.62	8.19
	(变化范围)	(9.2—7.1)		
盐 型	盐 湖 数 (个)	10	18	28
	矿化度(g/L) 平 均 值	226.13	348.45	304.72
	(变化范围)	(53.40—329.35)	(274.438—470.18)	
	pH 平 均 值	7.94	7.02	7.35
	(变化范围)	(9.22—7.0)	(7.95—5.32)	
氯化物型	盐 湖 数 (个)	0	8	8
	矿化度(g/L) 平 均 值		384.10	384.10
	(变化范围)		(311.235—555.065)	
	pH 平 均 值		5.84	5.84
	(变化范围)		(7.4—4.6)	

三、卤水中成盐元素的富集度

衡量卤水中某一成盐元素的富集程度，已往多视其绝对含量或其盐系数之大小。作者认为两者均不妥当。因为前者不能排除由于季节性变化或其他因素造成的淡水冲稀或蒸发浓缩而带来的绝对含量波动；而后者又缺乏一个统一的标准，以比较其富集的程度。本文有鉴于此提出一个与海水相比较的盐系数即富集度的概念。卤水中某一成盐元素的富集度是指该元素的盐系数[该元素的离子含量(mg/L) × 1000 / 总盐量(g/L)]与海水中相应元素的盐系数之比。

青藏盐湖卤水及相关水体中成盐元素的富集度如表 3 所示。由此可看出：

1. 高钾卤水资源主要集中于西藏，而高镁卤水资源则集中于柴达木盆地。青藏高原上众多的内陆水体均为盐湖钾的富集提供来源。然而，地下热水提供给盐湖的镁与地表河流相比是微不足道的。

2. 高硼、高锂卤水资源两区均有，但羌塘比柴达木更富。地下热水中的硼、锂富集度极高，因此，它以补给水的形式为盐湖硼、锂的富集提供主要来源是无疑的。

3. 高铷、高铯卤水资源两区均有。羌塘盐湖卤水的铷富集度比柴达木高 2—10 倍，铯富集度比柴达木高 10—500 倍。铷、铯富集度极高的地下热水是富铷、富铯盐湖物质来源最主要的提供者。

4. 柴达木盆地盐湖卤水比西藏盐湖卤水富锶，且其第三系地层中有天青石矿床。在西

续表 3-1

[illegible]

表 3-1 青藏盐湖水及其他水体中成盐元素的富集度
ental Enrichment in Brine of Qingzang Salt

[illegible]

表 3—2 青藏盐湖卤水及其他水体中成盐元素的富集度

地区	元素富集度及含量	钾		镁		硼		锂		铷		铯		铀		
		富集度 顺序	含量 (mg/L)	富集度 顺序	含量 (mg/L)	富集度 顺序	含量 (mg/L)	富集度 顺序	含量 (mg/L)	富集度 顺序	含量 (mg/L)	富集度 顺序	含量 (mg/L)	富集度 顺序	含量 (mg/L)	
																值
青 海	察尔汗别段(晶)	6	5.96	5	4.69		64147			5	5.9	7	3.12			
	察尔汗达段(晶)	8	5.28	6	3.63		46539									
	察尔汗察段(晶)	10	3.46	8	2.31		28667									
	察尔汗察段析盐后卤液															
	察尔汗霍段(晶)															
	大别勒湖	9	4.50	3	5.49		81572							6	9.63	
	小别勒湖														0.30	
	涩里湖															
	达布逊湖			1	6.60		119950									
	团结湖			2	6.01		98694							1	4.86	
海 南	钾湖(晶)			4	4.98		90213							2	2.53	
	小柴达木湖					9	27.89									
	大柴达木湖					10	13.1									
	西台吉乃尔湖(晶)					11	8.35									
	西台吉乃尔湖					8	152.84									
	牛栏织女湖															
	希里沟湖															
	尕斯库勒湖															
	昆特依(晶)	11	3.42	7	2.98		37917							2	2.94	
	一里坪(晶)	12	3.10											4	2.42	
海 南	巴龙马海															
	德宗马海															
	大柴达木热水		0.28		0.01		0.32		658.52					5	26.22	
	柴达木河水		1.28		1.06		31.74							7	8.74	
海 南	油桌子中10井油田水								97.80							
对比标准: 海洋水*		380	10.89	1350	38.6288	4.6	0.1316	0.17	0.0049	0.12	0.003433	0.0025	0.00007153	8	0.228898	0.0030.00008584

续表 3—2

地区	元素富集度及含量 湖盐及水体	钠		银		氟		溴		碘		金		稀土		其他															
		富集度 顺序值	含量 (mg/L)	富集度 顺序值	含量 (mg/L)	富集度 顺序值	含量 (mg/L)	富集度 顺序值	含量 (mg/L)	富集度 顺序值	含量 (mg/L)	富集度 顺序值	含量 (mg/L)	富集度 顺序值	含量 (mg/L)																
青海	察尔汗别段(晶)																														
	察尔汗达段(晶)	3	87.01	0.04																											
	察尔汗察段(晶)																														
	察尔汗察段析盐后卤液																														
	察尔汗霍段(晶)	5	101.11	0.036																											
	大别勒勒湖																														
	大小别勒勒湖																														
	涩布结湖																														
	达布逊湖																														
	钾湖(晶)																														
	柴达木湖																														
	小柴达木湖	3	114.67	0.036																											
	西台吉乃尔湖(晶)																														
	西台吉乃尔湖																														
	牛栏沟女湖	2	147.52	0.036	4	2.19	17.38																								
希里库勒湖																															
杂斯依(晶)																															
昆特依(晶)																															
巴里坪(晶)	4	111.36	0.04	5	1.49	19.63																									
巴德宗马海																															
柴达木热水																															
柴达木河水																															
油泉子中10井油田水																															
对比标准: 海洋水*		含盐量	0.00005	盐系数	0.00052579	含盐量	0.00004	盐系数	114 ⁻⁸	含盐量	1.3	盐系数	0.037196	含盐量	65	盐系数	1.8598	含盐量	0.06	盐系数	0.001717	含盐量	0.000004	盐系数	114 ⁻⁸	Nd含量	0.0000092	Nd盐系数	0.00026323	重水含量(r)	1

153.4②**

[142.5—181.0]

* 海洋水中各成盐元素的含量 (mg/L) 及其矿化度 (34.95g/L) 取自日本海洋学会志, 理科年表, 1977; 金和钽的含量取自美 R. A. 霍恩, 海洋化学, 1969.

** 样品数

藏, 一个矿化度仅为0.22g/L的确旦错, 其锑富集度达635.45, 将有可能演化为富锑盐湖。

5. 富铀、富钍卤水资源两区均有, 且羌塘卤水比柴达木更富铀和钍。淡水湖确旦错的钍富集度高达89001.91, 可能会演化为富钍盐湖。

6. 两区均存在富银、金盐湖。扎仓茶卡 I 湖的银富集度达174.74, 含银0.067mg/L。察尔汗盐湖析盐后的浓卤, 其金富集度可达27.76, 含金0.0016mg/L。

7. 稀土卤水资源: 扎布耶茶卡晶间卤水的钕富集度高达5881.79, 其钕含量为0.704 mg/L^[2]。提取盐类后的察尔汗残余卤水中, 含 Tr_2O_3 1.99ppm/ml (或1.99mg/L), 可利用日晒使其成为“卤干”供综合利用。

8. 卤族元素的富集度表明: ①热泉为盐湖氟的富集提供来源; ②盐湖卤水及热泉中的溴, 其富集度均低于海水, 是大陆成因的标志之一; ③盐湖卤水的碘富集度尚不及油田水, 单独提取其碘不太合算。

9. 重水资源: 据黄麒等人研究(1975)^[4], 盐湖卤水的重水含量比海水为高, 前者为2.5r (42个样品平均值), 后者为1.0r。追索原因, 是盐湖卤水富氘(^2H 或D)和重氧(^{18}O)之故。作为潜在能源的氘, 在盐湖卤水中的含量是较高的^[5]。

总之, 当卤液中所含成盐元素(特别是微量元素)经天然富集或简易处理后, 达到足够于工业提取的富集度时, 即可构成能综合利用的盐湖卤水资源。而表3所列盐湖卤水各成盐元素的富集度顺序, 可供择优开发盐湖卤水资源时参考。

参 考 文 献

- [1] 郑喜玉等, 西藏盐湖, 科学出版社, 1988。
- [2] 张彭熹等, 柴达木盆地盐湖, 科学出版社, 1987。
- [3] 郑绵平、刘文高、向军, 西藏扎布耶盐湖的研究, 国际交流地质学术论文集(4), 地质出版社, 173-183; 1985。
- [4] 黄麒等, 我国某盆地盐湖重水分布特征的研究, 地球化学, 第1期, 55-62, 1975。
- [5] 张保珍等, 青藏高原盐湖氘的分布规律研究, 中-澳第四纪学术讨论会论文集, 科学出版社, 124-132, 1987。

THE BRINE EVOLUTION AND ITS RESOURCES OF SALT LAKES IN QINGHAI XIZANG PLATEAU

Yang Shaoxiu

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

Abstract

The salifiable elemental behaviour on concentration as well as the variation of brine chemical types and pH value have been revealed. Some conclusions were drawn:

1. The main ionic evolutionary direction of brine is incremental in the order, $\text{Ca}^{2+} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{K}^+ \rightarrow \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{Ca}^{2+}$ (cation) as well as $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{Cl}^-$ (anion).

2. In addition to the Separation of solid salt, the trace elements have a high degree of centralization in the final concentrative brine and the remanent brine after salt separation.

More than 63 elements have been investigated in brine, such as K, Mg, B, Li, Rb, Cs, Sr, U, Th, Tr, D(^2H), ect. Which have constituted a precious resources with comprehensive use.