

大柴旦盐湖硼、锂分布规律(续)*

李家棧

(中国科学院青海盐湖研究所, 西宁 810008)

2.3 晶间卤水及喀斯特卤水中硼、锂的分布

大柴旦盐湖晶间卤水赋存于盐层孔隙中, 分上、下两层, 中间为一层厚 5—6m 的粉砂质粘土层所分隔. 上层晶间卤水分布面积 130 多 Km², 层厚各区变化较大, 湖区西南部厚达 10m 左右, 湖水区厚 6~7m, 东南部边缘仅厚达 3m 左右. 该层晶间卤水硼、锂含量资料如表 7 所列. 下层晶间卤水分布面积 30 多 Km², 厚一般 3—5m, 最厚可达 10m, 主要分布于矿区西南部. 该层晶间卤水硼、锂含量资料也列于表 7 中.

表 7 大柴旦盐湖晶间卤水硼锂含量

级 别	成分 层 次	B ₂ O ₃ (Mg/L)		Li(Mg/L)	
		上 层	下 层	上 层	下 层
最 小		1265.53	1452.49	5.95	11.9
最 大		2384.62	2763.50	427.4	395.49
一 般		2000±	2000±	185±	213

注: 资料来源于青海地质局第一地质队

表 8 提供了我们多年来对上层晶间卤水所获得代表性的硼、锂平均含量资料, 其与表 7 资料相对比, 总的说来是一致的.

表 8 大柴旦盐湖上层晶间卤水硼、锂含量多年资料

含 时 量 期	1961.6.	1972	1973.7—8.
B ₂ O ₃ (mg/L)	1786.5	2497.6	2643.3
Li(mg/L)	145.0	225.0	137.5

就总体而言, 上、下两层晶间卤水硼的含量没有太大的差别, 锂的含量则下层稍高于上层在局部区段亦可见到上晶间卤水锂含量稍高于下层的相反情况. 在同一层晶间卤水中的上、下部, 硼、锂含量虽没有呈现悬殊的差别, 但一般的趋势是上部含量稍低于下部. 例如, 在某钻孔的晶间卤水中, 其 B₂O₃ (mg/L) 含量, 在上部为 1572.50, 中部为 1586.30, 下部则增至 2000.90.

上层晶间卤水的硼、锂含量以矿区西南部最高, B₂O₃ 一般含量为 2000mg/L 左右, 锂含量

* 上接本刊 1994 年第一期第 24 页.

一般为 295mg/L(Li)左右;湖水区晶间卤水 B_2O_3 含量一般为 2000mg/L 左右,锂含量一般为 180mg/L(Li);西南及东南部边缘晶间卤水硼、锂含量最低, B_2O_3 含量一般仅为 1200mg/L 左右,锂含量一般仅为 82mg/L(Li)左右。

下层晶间卤水硼锂含量以西部较高, B_2O_3 含量最高达 2764mg/L,锂最高达 395mg/L(Li);东部地区 B_2O_3 含量最低为 1452mg/L,锂含量最低为 11.9mg/L(Li)。

硼、锂在晶间卤水中的分布,在总体上呈现一致性的趋势。晶间卤水高硼区与高锂区,低硼区与低锂区在空间分布上是一致的,在水平分布上也可看到这种景象。

晶间卤水中硼锂的上述分布态势,受着诸多因素所制约,其中尤为重要的因素是晶间卤水的形成和赋存条件,以及各区段水文、水化学条件的差异性。

大柴旦盐湖喀斯特(盐溶洞)较为发育,多分布于新盐滩区域和湖水区,老盐滩区较少。它们形成的初期阶段,无疑是地下淡水涌而溶蚀盐层的结果。但大部分喀斯特经过长期发展已经老化和卤化,故喀斯特水的硼、锂含量均较高。表 3 已给出喀斯特卤水硼、锂含量的一般资料,现把 1961 年 6 月获得的喀斯特卤水硼、锂平均含量列于表 9 中。

表 9 大柴旦盐湖喀斯特卤水硼、锂含量

含 量	湖底喀斯特卤水	老盐滩喀斯特卤水	新盐滩喀斯特卤水
B_2O_3 (mg/L)	2661.1	2008.5	2343.9
Li(mg/L)	185.0	172.9	176.4

2.4 卤水中硼锂及其与其他组分的相关性

大柴旦盐湖卤水硼、锂得以高度富集,无疑是在特定的地质、地球化学背景和一定的气候条件下形成的。

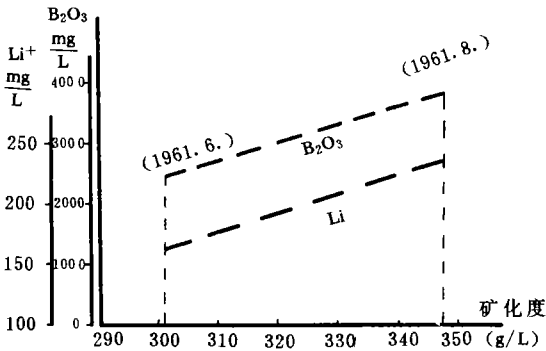


图 7 大柴旦盐湖不同季节湖水硼锂与矿化度相关图

硼、锂的含量总是伴随矿化度的变化而呈现正相关的变化趋势,图 7 提供了这种资料。

各类型卤水中硼、锂之间及它们与某些组分之间,在分布上都呈现一定的相关性。

在湖水中硼、锂呈现明显的正相关性,这在图 5、8、9 中得到清楚的显示;在图 9 中还表示了湖水中硼锂比值在整个湖水区是相当均一和相当稳定的景象。湖水中硼、锂与钾、镁的分布也呈现正相关性(图 8),而硼、锂与 Na/K 则呈现负相关性(图 9)。形成上述各组分正相关的直

接原因,显然是因为这几种组分与矿化度之间都有着正相关性的缘故.湖水中硼、锂与 Na/K 值呈现负相关性的直接原因,则是钾与矿化度呈现正相关性,而钠与矿化度呈现一定的负相关性的缘故,这完全受该盐湖现阶段的水化学特征和析盐条件所制约.

表 10 大柴旦盐湖卤水硼盐、硼锂系数

卤水	系数	$B \cdot 10^3 / \Sigma \text{盐}$	$Li \cdot 10^3 / \Sigma \text{盐}$
湖水		2.25	0.46
晶间卤水		1.85	0.58
盐喀特水		2.75	0.60

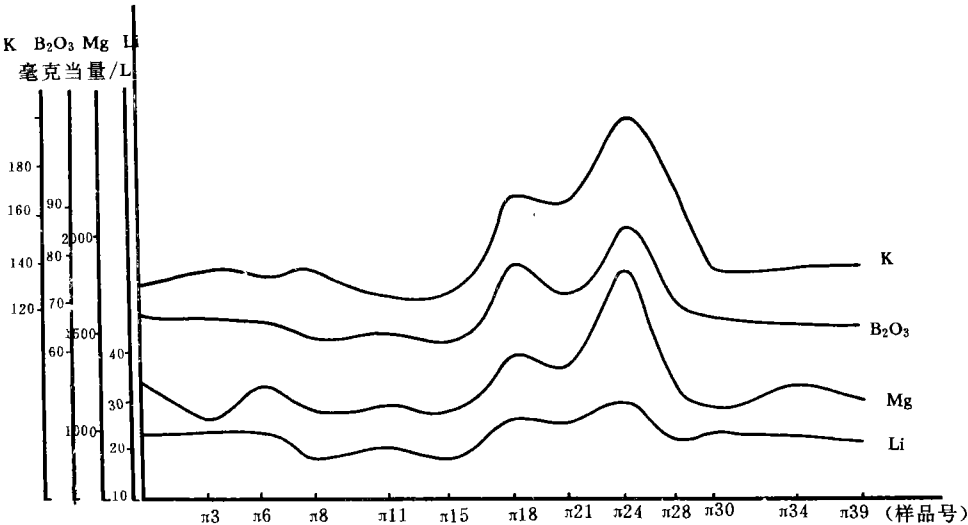


图 8 大柴旦盐湖湖水 B_2O_3 、Li、K、Mg 相关图

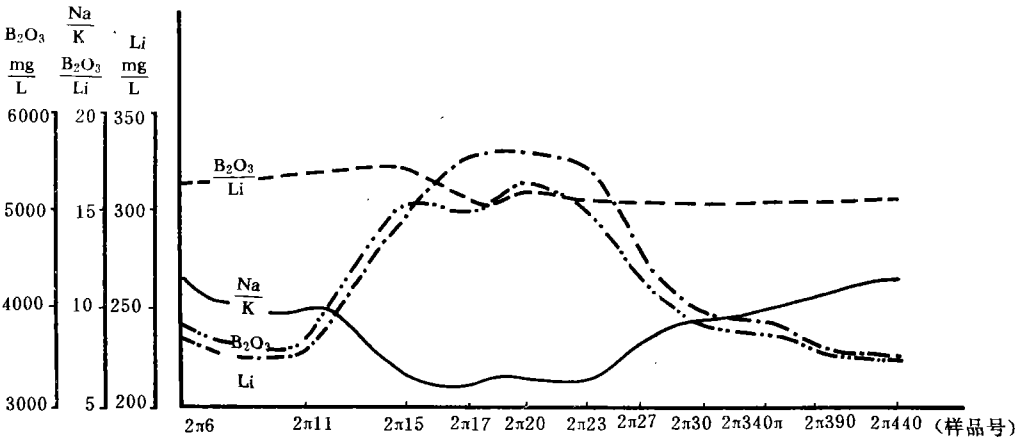


图 9 大柴旦盐湖湖水 B_2O_3 、Li、Na/K、 B_2O_3/Li 相关图

3 外围水体中硼、锂的含量

大柴旦盐湖外围具代表性的水体中的硼、锂含量资料(表 11)表明,各种水体均普遍地赋含硼、

锂,其中尤以温泉沟的温泉水含量最高.

表 11 大柴旦盐湖外围水体硼、锂含量

含 水 体	大柴旦温泉水	外围溪流水	井水	湖滨溪水、泉水
B(ppm)	40±	1.24~4.44	0.55~0.67	2.20~47.08
Li(ppm)	>3	0.076~0.25	0.028~0.15	0.02~0.28

如不考虑温泉水,则表 11 所列资料还表明,自外围至湖滨区,其他水体硼、锂的含量均呈现逐渐增高的趋势.但也应指出,硼增高的趋势比锂更为明显;而且,偶尔也能见到湖滨区某些溪流水中锂的含量与外围水体差别不大的现象.这种情况表明,硼、锂在迁移过程中的地球化学行为有一定的差别性,例如锂在迁移过程中更易为粘土等所吸附.

4 沉积物中硼、锂的分布

大柴旦盐湖沉积物中均普遍赋含硼、锂,但它们在各类沉积物中的集散程度存在一定差别.硼除以分散状态存在外,还普遍以固体硼酸盐形式存在;锂则只以分散状态存在,至今未发现锂盐矿物.

从表 12、13 所提供的资料中显示,大柴旦盐湖各类表层沉积物和盐湖地下含盐沉积物(包括盐层、含盐粘土层、含盐砂质粘土层及含硼酸盐硼矿层)中,硼、锂都呈现了明显的地球化学富集.

表 12 大柴旦盐湖湖区表层沉积物中硼、锂含量

沉积物名称	沼泽腐植泥			粘土及含盐粘土			钠硼解石粘土			盐 霜			薄层盐壳			粉 砂 土			含盐亚砂土			亚 砂 土		
样品数	6			5			6			2			6			5			4			3		
含量级别	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均	最小	最大	平均
B(ppm)	13	879	313	32	809	247	4113	24936	10837	92	2832	1462	63	3598	1021	8	82	46	270	3177	1677	110	240	173
Li(ppm)	15	325	123	5	254	100	19	146	91	7	45	26	5	104	58	1	182	45	14	125	71	32	109	83

表 13 大柴旦盐湖淤泥及含盐碎屑沉积物硼、锂含量

沉积物	湖底淤泥及含盐淤泥			地下含盐碎屑沉积物		
样品数	17			90		
含量级别	最小	最大	平均	最小	最大	平均
B(ppm)	533	2564	1256	3	17613	1147
Li(ppm)	19	120	56	0	122	49

地表各类沉积物中硼平均含量比其地壳克拉克值高 14.4~903.1 倍,一般高数十至数百倍;锂的含量相应高 0.8~10.2 倍,一般高数倍.硼的最高含量见于地表硼矿区的钠硼解石粘土层中,锂的最高含量见于沼泽腐植泥中.此外,还应关注到湖底淤泥也呈现了硼、锂高含量的景况.

地下含盐沉积物硼、锂的含量资料见表 13(根据 5 个钻井的资料统计)及图 10.这些资料综合地显示:硼、锂平均含量高出其地壳克拉克值分别为 95.1 倍及 49 倍.硼、锂的分布呈现一定程度的正相关性,硼的地球化学富集程度明显地高于锂的富集程度.硼的集散与 SO_4^{2-} 的分布呈现一定程度的正相关性,但与 Cl^- 无明显的相关性.无疑,硼含量最高的层段,是与存在硼酸盐矿层直接相关的.锂的分布,在多数层段其含量是比较稳定的,但在两个含盐的砂质粘土

层段中呈现最高值。

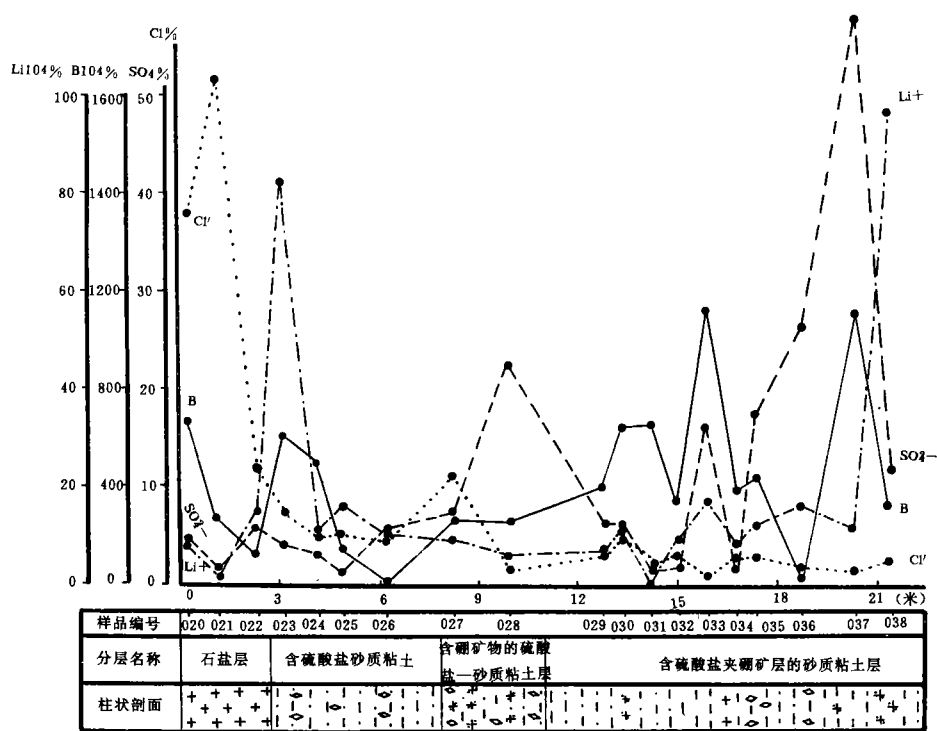


图 10 大柴旦盐湖 I 号钻孔早期含盐沉积物中硼、锂分布规律

上述资料表明,在含盐沉积物或地表沉积物中硼、锂的分布规律,既有共性也有差异性,这说明,硼、锂在沉积层或沉积物中的地球化学行为存在差异性. 首先,硼除以外散状态存在外,能形成硼酸盐沉积,而锂则只以分散状态存在,至今在该盐湖中尚未发现其以独立的锂矿物形式存在. 高硼沉积物无疑地与硼酸盐的存在有关;另一种情况,即在某些碎屑沉积物中(例如砂质沉积物)的高硼含量可能与其中存在电气石碎屑有关. 还应当指出,锂的分布规律无疑地是与其存在状态有关. 锂易被粘土吸附是得到公认的,因而大柴旦盐湖的粘土层或砂质粘土层中锂呈现高含量也是必然的. 锂和硼在湖底淤泥及沼泽腐植泥中均呈明显的地球化学富集,这显然与有机质吸附作用有关,在表 14 的资料中提供了锂含量同淤泥中有机碳含量的关系。

表 14 大柴旦湖湖底淤泥中锂与有机炭含量关系表

样品号	Ⅱ ₂ -A-5	Ⅲ ₃ -A-6	Ⅲ ₁ -A-7	Ⅳ-A-9	Ⅳ ₂ -A-10	Ⅳ ₃ -A-11	V ₄ -A-15	Ⅵ ₂ -A-8
C _{有机} %	0.15	0.08	0.14	0.40	0.31	0.32	0.42	0.23
Li(ppm)	5.36	6.35	13.0	26.8	6.79	6.87	45.4	4.55

根据表 15 中所提供的资料,可以认为锂在沉积物中的存在状态是多样性的:部分锂被粘土和有机质所吸附;部分锂赋含于粘土类矿物或其他矿物碎屑中;某些盐类矿物中也含少量的锂。

表 15 大柴旦盐湖代表性样品分部溶样中锂含量

沉积物	样品数	Li(ppm)		
		水溶	酸溶	碱溶
粉砂土	2	13	10	114
含盐粘土	8	3	3	10
沼泽腐植泥	2	8	63	115

最后应当提及,大柴旦盐湖所赋存的硼酸盐均为 Mg、Na、Ca 的含水多硼酸盐.有关该盐湖硼酸盐矿物的资料可参阅文献^{[1][3]}.关于该盐湖硼酸盐的形成条件问题,无疑是一个很复杂的问题,因受篇幅所限,本文不作深入探讨.对此问题有兴趣者可参阅文献^{[1][3]}及其文中所列的有关文献.笔者在此仅提出一点管见:在该盐湖硼酸盐形成的诸多条件之中,硼酸盐的形成(原生或后生)时的水化学条件(尤其是组分的含量比例)无疑是其重要条件之一.因此,对这个条件的野外和室内研究都应该进一步加以关注.

5 盐类矿物及植物中的硼、锂含量

大柴旦盐湖盐类矿物中的硼、锂含量及硼酸盐中锂的含量资料列于表 16 中.

表 16 大柴旦盐湖盐类矿物中硼、锂含量

样品编号	矿物名称	B(ppm)	Li(ppm)	备注
旦一盐-1	石盐	18	28	
旦一盐-2	石盐	21	25	
旦一盐-3	粗晶体石盐	15	21	
Ⅲ _{CS} -盐-2	石膏	24	<10	
Ⅲ _{C4} -盐-2	石盐-石膏	39	<10	
	硼酸盐		3.70~43.53	据文献 ^[1] 资料综合

这些资料表明,石盐和石膏中都普遍赋含硼、锂,且其含量趋于同一水平.在硼酸盐矿物中则普遍含锂,但各种硼矿物中的锂含量显示明显的差异性,锂的最高含量见于水方硼石($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)中.石盐中的硼、锂一般认为是以杂质混入物的形式存在的,尤以存在于石盐的液态包裹体中为主要.石膏中的硼、锂也可能是以杂质混入物的形式存在.硼酸盐中的锂一部分为杂质混入物形式存在,也不排除部分锂进入硼酸盐晶格中的可能性.

表 17 中提供了大柴旦湖湖周地带,特别是湖滨沼泽带分布最广的 9 种不同植物共 14 个植物灰分样品中硼、锂含量的光谱分析资料.硼的最高含量见于芦苇、盐吸草及苔草中,锂的最高含量见于硼草、芦苇及苔草中.湖区植物中硼、锂高含量的现象,无疑具有重要的生物地球化学意义.

表 17 大柴旦湖湖周地带某些植物灰分中硼、锂含量

样品数	B (ppm)			Li (ppm)		
	最低	最高	平均	最低	最高	平均
14	15.5	1550	811	300	3000	1514

6 硼、锂地球化学带

根据大柴旦盐湖区域硼、锂地球化学集散的特征及地球化学作用条件等因素,可划分出 4 个地球化学带.(见图 11 及表 18)

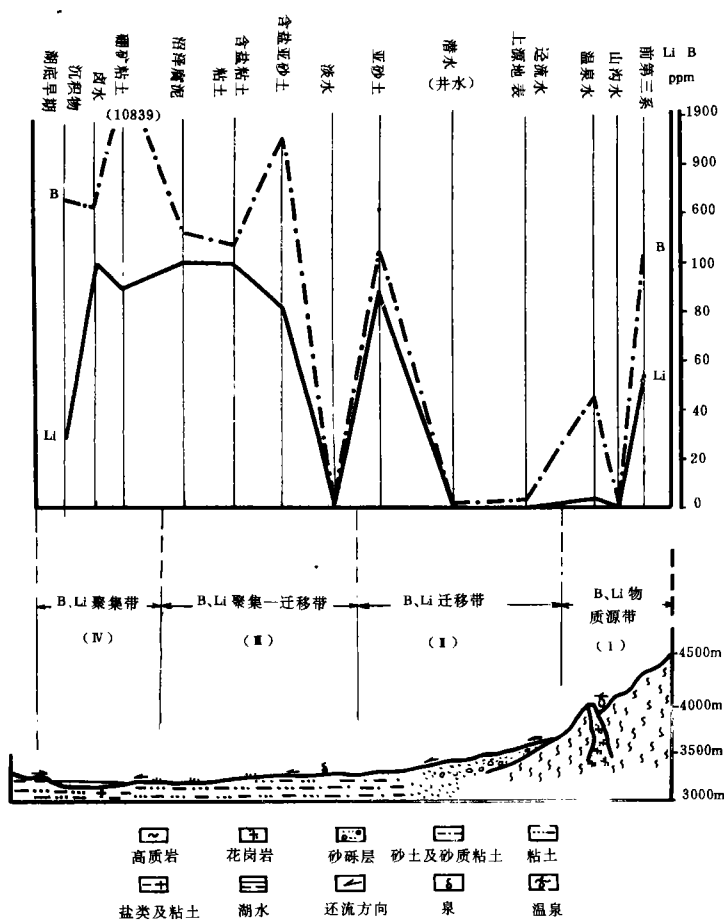


图 11 大柴旦盐湖硼锂地球化学集散分带示意图

硼、锂物质来源带:此带是大柴旦盐湖硼、锂物质来源区. 部分硼、锂通过地表风化作用而把岩石中部分硼、锂转入水溶液中迁移出来;但是对于某些原岩矿物,如电气石,则以机械搬运作用迁入碎屑沉积层中. 此带河水中硼、锂含量都较低. 此带温泉水富含硼、锂,是盐湖硼、锂的主要物质来源. 据青海地质局第一地质队资料,温泉水每年汇入大柴旦盆地的硼量达 74.5 吨(B_2O_3),锂量达 11.4 吨($LiCl$);自上更新世以来,温泉水汇入盆地总硼量达 447 万吨(B_2O_3),总锂量达 68.4 万吨.

硼、锂迁移带:该带水体中硼、锂趋于分散,但是物质来源带可溶性硼和锂都是通过该带水体长期地迁入湖盆地的. 该带水体为弱碱性,很利于硼、锂的搬运和迁移. 该带亚砂土中硼、锂含量同物质来源带岩石的硼、锂含量十分近似,故其硼、锂含量主要反映了碎屑物中的硼、锂含量,处于吸附状态的硼、锂只是很小的一部分.

硼、锂聚集—迁移带:该带一方面接受上述迁移带迁入的硼、锂;另一方面,硼、锂在此带将得到一定的聚集;同时,硼、锂还不断向湖盆聚集. 此带中粘土和泥质沉积物吸附硼、锂的现象

极为明显,腐植泥及植物中硼、锂含量富集程度也是较高的.

表 18 大柴旦盐湖硼、锂地球化学带水体 B、Li 水化学资料表

地球化学带	水 体	取样时间	B (mg/L)	Li (mg/L)	$\frac{B}{Li}$	$\frac{B \cdot 10^3}{\Sigma \text{盐}}$	$\frac{B \cdot 10^3}{Cl}$	$\frac{Li \cdot 10^3}{\Sigma \text{盐}}$	$\frac{Li \cdot 10^3}{Cl}$
B、Li 物质源带	山沟水	61. — 73.	0.45	0.076	5.92	1.78	17.46	0.30	2.95
	温泉水	1980. 4.	42.84	3.30	12.98	41.52	124.81	3.20	9.61
B、Li 迁移带	人民胜利渠河水	63.8	4.44	0.25	17.76	17.78	78.58	1.00	4.42
	柴旦河中游河水	61.7.	1.24						
	井水 (饮用井)	61.7.	0.67	0.028					
		73.6.	0.55	0.15	3.67		8.33		2.27
B、Li 聚集迁移带	阶地泉水	1961.6—8.	2.2	0.02	110	2.98	6.56	0.039	0.09
	东部溪水	1961.6—8.	3.32	0.02	166	3.33	8.09	0.020	0.05
	沼泽水		3.14	0.128	24.53	3.41		0.14	
	沼泽水		50.43	0.277	182.06	32.96		0.19	
	溪 水		47.08	0.277	169.96	31.81		0.19	
B、Li 聚集带	湖水	1961.6	629	135	4.7	2.50	4.60	0.54	0.99
	晶间卤水	1961.6	461	121	3.8	2.00	3.40	0.53	0.95

硼、锂聚集带:该带主要包括卤水分布区及含盐沉积物分布区,以及地表硼矿区.在这带中,湖水和晶间卤水,以及含盐沉积物的硼、锂都得到了高度的富集.此带沉积层中,硼、锂的地球化学集散特征的差异性主要表现为,硼在一定条件下能形成硼酸盐沉积;而锂虽也呈现一定的地球化学富集,却未见形成独立的锂盐矿物,仅以各种分散状态存在.

结 论

大柴旦盆地为富硼、锂地球化学区.该区温泉水特别富含硼、锂,并为湖盆长期不断地提供物质来源.

大柴旦盐湖各类卤水中硼、锂均呈现较高的地球化学富集,二者在空间分布上呈现正相关性.在湖水中硼、锂呈现明显的方向性和分区性分布规律.卤水中的硼、锂与钾、镁在空间分布上呈现明显的正相关性,硼、锂与 Na/K 则呈现明显的负相关性.

在盐湖沉积物中,硼的富集程度明显地高于锂.硼能形成硼酸盐沉积;而锂却未见形成锂盐矿物沉积,仅以各种分散状态存在.在淤泥及湖区植物中,硼、锂均呈现明显的地球化学富集.

在湖盆区域中硼、锂的迁移和集散,具有明显的地球化学分带性.在各地球化学带中,硼、锂的地球化学集散特征,既有共性也有差异性.

参 考 文 献

1 张彭熹等,《柴达木盆地盐湖》,北京:科学出版社,1987.

- 2 郑喜玉,柴达木盆地 B、Li 地球化学,中国科学院青海盐湖研究所编,青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化,北京:科学出版社,1986.
- 3 曲懿华、韩蔚田,矿物岩石,1981,1(3.4):86—93.
- 4 李家炎,盐湖研究,1993,1(4):21—33.
- 5 中国科学院贵阳地球化学研究所《简明地球化学手册》,北京:科学出版社,1977.
- 6 V. M. 戈尔德施密特,地球化学,北京:科学出版社,1959.

Distributive Regularity of Boron and Lithium in Da Qaidam Salt Lake

Li Jiayan

(*Qinghai institute of salt lakes, Academia sinica, Xining, 810008*)

ABSTRACT

In this paper Da Qaidam basin is demonstrated as a geochemical region which is rich in Boron and Lithium, and the distributive regularity of Boron and Lithium of brines, supply water, surface deposits, rock system bearing salt, salt minerals and plant ashes is completely and systematically discussed; geochemical belt of B, Li gather — disperse is divided.

Keywords Geochemical region rich in Boron and Lithium, Distributive regularity, Geochemical region, Da Qaidam salt lake