西藏扎布耶盐湖超大型 B、Li 矿床成矿物质来源研究

刘喜方^{1,2,3)},郑绵平^{1,2,3)},齐文^{1,2,3)}

1) 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室,北京,100037; 2) 中国地质科学院矿产资源 研究所,北京,100037; 3)中国地质科学院盐湖与热水资源研究发展中心,北京,100037

内容提要:扎布耶盐湖位于西藏高原腹地,是一个现代盐湖矿床。对扎布耶地区地球化学背景的研究表明:变 质岩及蚀变岩石中硼锂含量很高以及电气石脉的出现,暗示着扎布耶地区深部曾产生含硼锂高的热流体;沉积岩 中除晚石炭世砂岩含硼锂稍高外,其他岩石均低于同类岩石的平均含量;火山岩中除早白垩世基性岩的硼锂含量 高于基性岩平均含量外,其他均很低;该区大量发育的第四纪钙华含硼锂非常高,表明早期的热水系统曾提供过大 量的成矿物质;河流及泉水中的硼锂含量是世界河水平均含量的数倍至数百倍,表明地表和近地表条件下的水-岩 相互作用的产物也是成矿物质来源之一。

关键词:西藏扎布耶;B、Li 矿床;地球化学背景;成矿物质来源

扎布耶盐湖位于西藏高原腹地,冈底斯山脉北 侧,隶属于日喀则地区仲巴县,靠近阿里地区。地理 坐标为东经 84°04′,北纬 31°21′,湖面海拔 4421 m。 向东约150 km沿便道可达阿里地区措勤具,向北 约180 km 可达改则县。交通不便(图1)。



图 1 西藏扎布耶盐湖位置简图 Fig. 1 Location map of Zabuye Salt Lake in Tibet

扎布耶盐湖面积 243 km²,是一个干盐滩与表 面卤水共存的半干盐湖,以富含硼、锂、钾和铷、铯、 溴等为特征。本世纪初中国地质科学院盐湖与热水 资源研究发展中心对扎布耶盐湖进行勘查,勘查结 2007

地质背景 1

扎布耶地区属于冈底斯-念青唐拉区的措勤-申 扎分区,区内出露的地层自老至新依次为石炭系、二 叠系、白垩系、古近系、新近系和第四系(图 2)。

石炭系分布于扎布耶盐湖北西部,其下部为一 套碎屑岩,上部为碳酸盐岩;二叠系位于扎布耶盐湖 北部,为江马复式背斜的翼部,缺失全部上二叠统, 底部以碎屑岩为主,上部以碳酸盐岩为主(含燧石条 带,团块),其下与上石炭统断层接触;白垩系广泛出 露于扎布耶盐湖南部及西南部,为一套火山-沉积 岩;古近系分布在扎布耶盐湖东部,为一套陆相碎屑 岩-火山岩;新近系分布在扎布耶盐湖西部,为一套 火山碎屑岩。第四系分布于扎布耶湖盆及边坡上, 主要为残坡积物、河流沉积、湖泊沉积及泉华,此外 尚有少量冰碛、冰缘堆积、风积物等。

扎布耶地区的侵入岩主要为中酸性侵入岩,基 性岩仅见有辉绿岩脉,未见超基性岩,中酸性侵入岩 主要有折古岩体、扎布耶岩体、隆格尔雪山科嘎岩 体。岩石化学成分研究表明岩石的 SiO₂含量变化

果表明其 B₂O₂储量达超大型、LiCl 储量属大型,此 外尚有 KCl、NaCl、Na₂ SO₄、Na₂ CO₃ + NaHCO₃ 和 Rb、Cs、Br 等矿产资源可供综合利用。

注:本文为国家自然科学基金项目(编号 49672115)资助的成果。

收稿日期:2007-09-07;改回日期:2007-10-22;责任编辑:周健。

作者简介:刘喜方,男,1968年生,副研究员,从事盐湖学及矿床地球化学研究。通讯地址:100037,北京百万庄大街26号;电话:010-68999550; Email: Liuxifang369@163. com.



为 61%~74%,在闪长岩至花岗岩的成分范围内, 各主要化学组分随 SiO₂的增高表现为 Al₂O₃、全铁 (Fe₂O₃+FeO)、CaO、MgO 含量呈降低趋势,总碱 (Na₂O+K₂O)含量增加。早期的折古侵入岩体以 地幔分异为主,晚期为活动板块边缘一板块碰撞前 消减地区,这也与同位素年代及冈底斯板块与欧亚 板块碰撞时代一致。

扎布耶地区变质岩极不发育,仅有零星出露。变 质岩石类型主要为接触变质岩、动力变质岩两大类。

扎布耶地区经历了漫长的构造变形过程,自华力 西晚期至第四系均有表现。出露的地层、火成岩均遭 受了不同程度的变形和变质(蚀变)作用,与区域构造 相伴生的有侵入作用、火山作用及接触变质作用。构 造形迹主要有北西一北西西向褶皱和断裂,北东向和 近东西向断裂。北西一北西西向断裂规模宏大,延伸 数十至数百千米,为陡倾逆冲推覆断裂,断面倾向北 东,倾角多在 60°~85°之间;褶皱主要有江马复式破 背斜,纳布扎-其底勒破背斜等;北东向断裂主要有隆 格尔雪山剪切带,查布野岛断裂等(图 2)。

2 野外取样及样品分析

为了确保分析数据的可靠性,尽可能使这项研究工作更有意义,野外采样尽可能选择未经风化的 岩石,采集了扎布耶盐湖周围除第四纪以外所有时 代的各种岩石样品,第四纪仅采集了大量钙华样品, 样品数量基本上按各时代岩石出露多少而定,另外 也采集了一定量的河流及泉水样品。

样品定量化学分析由国家地质实验中心负责完成。

3 结果及讨论

3.1 岩石中锂的含量

锂在不同火成岩类型中,由超基性岩、基性岩到

	Table 1 Boron and lithium contents in various types of rock in the Zabuye area $(\times 10^{-6})$													
	山工米山	n+ (1)	1-X I 4-K		平北	勾值		T 和	W [®]	$B^{\textcircled{O}}$				
石口尖型		111	性前剱	В	Li	В	Li	В	Li	В	Li			
	甘格巴	古近系	2	10.8	18	<u>е</u> Б	24 0	-	17	5	15			
		早白垩世	3	7.3	29.33	0.0	24.0	5	17	5	15			
中性岩	闪长岩	燕山晚期	6	6.8	22.8	7 14	21.06	9	28	15	20			
	安山岩	早白垩世	10	7.34	20.01	1.14								
酸性岩	花岗岩	志 山 吃 邯	4	5.65	9.98	29.53 2		10	40	15	40			
	含电气石花岗岩	<u> </u>	1	400	76.8									
	流纹岩	新近系	2	1.15	12.5		21.89							
		古近系	1	17.0	22.0									
		早白垩世	13	11.58	24.89									
砂岩		早白垩世	2	12.5	11.5	97 5	15 95	25	15					
		晚石炭世	2	42.5	19.0	27.5	15.25	30	15	-	-			
	七 山	早白垩世	7	<1.28	2.67	< 2. 2			_					
灰石		早二叠世	7	<5.33	6.14	< 3. 3	4.4	4.4	5	-	-			
脉岩	石英脉	喜马拉雅期?	1	4.9	16									
	长英质脉	喜马拉雅期?	1	12	12									
	含电气石长英质脉	喜马拉雅期?	1	9000	66									
	电气石脉	喜马拉雅期?	1	37000	92									

表 1 扎布耶地区各类岩石中 B、Li 平均含量(×10⁻⁶)

注:①据 K. Turekian 和 K. Wedepohl (1961);②据 А. П. ВИОГРАДОВ (1962)。

中性岩和酸性岩,其含量逐步增高,这与岩浆作用过 程中锂的地球化学行为特性有关,但在本区火成岩 中并未体现这一规律(表 1),在中性岩和酸性岩中, 锂的含量大致相当,但都低于 K. Turekian 和 K. Wedepold 的平均含量(赵伦山和张本仁,1991),但 在隆格尔雪山科嘎岩体的含电气石花岗岩中,锂的 含量较高,达76.8×10⁻⁶,这是因为这里的花岗岩 遭受了岩浆期后富硼、锂的气-热液作用的交代。在 基性岩中锂的含量高于中性岩和酸性岩,略显正异 常,尤其是早白垩世基性岩的锂含量高出平均含量 近一倍,这可能与本区白垩系地层中火山岩大部分 遭受后期热液蚀变有关,如橄榄玄武岩中的橄榄石 几乎全部发生了蛇纹石化、纤维状滑石化和绿泥石 化,其他岩石也多发生绿泥石化、绿帘石化而呈灰 绿--黄绿色。

本区砂岩和灰岩的锂含量基本与相应沉积岩类 的平均含量大致相当,但是晚石炭世砂岩含量稍高, 这可能与碎屑物来源有关,因为这些砂岩中含大量 火山凝灰和岩屑。

脉岩中含电气石长英质脉和电气石脉锂含量较 高,分别为66×10⁻⁶和92×10⁻⁶,而早白垩世火山 岩中的长英质脉含量仅为12×10⁻⁶,蚀变辉绿岩脉 和斜长岩脉含量分别为 34×10⁻⁶ 和 31×10⁻⁶。

3.2 岩石中硼的含量

本区基性岩中硼的含量为 8.5×10⁻⁶,略高于 平均含量,中性岩中硼的含量仅为 7.14 \times 10⁻⁶,低 于平均含量。在酸性岩中除去含电气石花岗岩外, 硼含量也低于平均含量,含电气石花岗岩中,硼的含 量达 400×10⁻⁶,电气石在花岗岩中呈长柱状、放射 针柱状集合体,与花岗岩中的钠长石脉为同期产物, 是花岗岩形成之后富硼热液作用的产物。

砂岩中硼的含量大大低于平均含量,灰岩中硼 的含量最低,小于 3.3×10⁻⁶,但生物灰岩中含硼较 高为 30×10⁻⁶,这与生物对硼的吸收富集有关。

科嘎剪切带附近的长英质脉岩中,局部出现纹 脉状电气石集合体,硼含量高达 9000×10⁻⁶,而花 岗岩中的石英脉含硼仅为 4.9×10⁻⁶。早白垩世火 成岩中的长英质脉中硼含量为12×10⁻⁶。

3.3 钙华中锂硼的含量

据不完全统计,扎布耶地区的钙华达16处之多 (不包括扎布耶北湖中星罗棋布的数百个钙华岛), 基本上分布在断裂带附近,其中查布野钙华岛仍有 大量泉水流出,曲依错温泉有地下热水及气体涌出, 其他钙华均无地下水露头。

3.3.1 钙华的 Li、B 含量

本区钙华的 B、Li 含量见表 2。含锂最高的钙 华位于秋里南木,锂含量为 302×10⁻⁶,最低为 6.9 ×10⁻⁶,位于昂拉陵错东南畔棕黑山;含硼最高为 800×10⁻⁶,位于曲依错,含硼最低的钙华位于鲁居 藏布西,硼含量<2×10⁻⁶。钙华中的 Li、B 平均含 量分别为 76.8×10⁻⁶(14 个样品)和 143.1×10⁻⁶ (36个样)。

样晶号 采样地点 Li В As 样品号 采样地点 В G013 棕黑山 6.9 54 S230 江戈错 145G119 西扎错 4.0 130 S231 曲依错 98 S203 618 S232 曲依错 111 800 曲依错 143 S204 47 458 扎布耶北西 曲依错 200 S233 94 S205 S234 鲁居藏布 曲依错 69 4.4 S209 鲁居藏布 80 S235 南湖北部 230 S212 鲁居藏布 < 2 S236 曲依错 145 S213 秋里南木 302 600 67 S237 黄羊滩 5130 S214 秋里南木 52280 90 S238 曲依错 S215 扎布耶北湖西 33 S239 南湖北西 52 S222 西扎错 31 101 S240 曲依错 78 S223 西扎错 44 104 S241 曲依错 38 S224 西扎错 53 170S242 曲依错 84 S225 90 190 S243 查布野岛 100 西扎错 38 S226 西扎错 42 101 S244 曲依错 145 S227 62 101 S245 曲依错 24西扎错 41 S228 西扎错 61 200 S246 曲依错 102 S229 西扎错 133 380 29 S247 扎布耶南岸 94

表 2 扎布耶地区钙华的锂、硼含量(×10⁻⁶)

Table 2 Lithium and boron contents ($\times 10^{-6}$) in travertine in the Zabuye area

3.3.2 钙华的成因分析

本区钙华呈锥状、冢状或台阶状,由于风化作用,有些散块状堆积。新鲜面为白色,风化面呈浅 黄一棕黄色,空隙非常发育,多呈不规则状,有些钙 华成层性不明显。微晶、亮晶结构,栉壳等厚边结 构,葡萄状构造,环带构造。主要成分为碳酸钙,含 量达 95%。

对该区一些钙华中砷含量的分析表明(表 2), 钙华含砷较高。含砷较高是热水成因的标志之一, 如中国西藏羊八井地热田数十平方千米范围具砷异 常,美国 Salton 地区地下热卤水砷的含量已达到成 矿热液的浓度(赵伦山和张本仁,1991),中国西藏色 米、搭格架、谷露地热水的砷含量分别为 3.3 mg/L、 6.5 mg/L、1.2 mg/L(郑绵平等,1995)。在曲依错 钙华的一个垂直的泉水通道中(泉水没有溢出),表 面温度达 40℃,向深部水温增高。砷的平均含量为 618×10^{-6} 。

扎布耶地区一些有代表性钙华 δ^{13} C、 δ^{18} O 同位 素分析结果见表 3。从表中可以看出,扎布耶湖周 钙华的 δ^{13} C 值的变化范围为 1.3‰~4.7‰,全部落 在热液碳酸盐的 δ^{13} C 变化范围(+10‰~-14‰, PDB,魏菊英和王关玉,1988);其中 S203、S204 号样 品的 δ^{13} C 值较低,这与其流经围岩的岩石成分有 关,因为温泉附近主要为 J-K 的火成岩,而火成岩 的 δ^{13} C 较低;S246 号样品的 δ^{13} C 值较 S243 样品变 化较大,可能与有机碳的参与(混入)有关,因S246

表 3 钙华的碳、氧稳定同位素组成

Table 3 Carbon and oxygen isotopic

compositions of travertine

样品是	平样抽占	样显夕	$\delta^{13}C$	$\delta^{18}O$	$\delta^{18}O$	Ζ	
	不住追忌	17 111 7	(‰,PDB)	(‰,PDB)	(%,SMOW)		
S203	曲依错	钙华	2.3	-13.9	16.6	125.1	
S204	曲依错	钙华	1.3	-13.6	16.9	123.2	
S213	秋里南木	钙华	4.7	-5.2	25.5	134.3	
S214	秋里南木	钙华	4.4	-7.5	23.2	132.6	
S225	西扎错	钙华	3.9	-10.9	19.6	129.9	
S229	西扎错	钙华	3.0	-12.8	17.7	127.1	
S243	查布野岛	钙华	3.8	-8.2	22.4	131.0	
S246	查布野岛	钙华	1.9	-9.2	21.3	126.6	

注:Z=2.048(δ^{13} C+50)+0.498(δ^{18} O+50)。

样品取自泉水入湖处的现代钙华,而泉口至入湖处 之间有大量水草。

Clayton 等(1968)对 Salton Sea 热水体系中碳酸盐的研究表明,热水碳酸盐的 δ^{18} O 值变化在 -7.95‰~24.03‰之间,热水碳酸盐的 δ^{18} O 相对 于围岩发生了 δ^{18} O 值变低的"漂移",且"漂移"幅度 随深度(温度)增加而增加,扎布耶盐湖周围的钙华 δ^{18} O 值基本上落在 Clayton 等(1968)的热水碳酸盐 的 δ^{18} O 范围内,其中样品 S213 和 S214 的 δ^{18} O 值 略高,这可能表示形成钙华的热水温度较高。

综上所述,扎布耶地区的钙华主要应属热水成因。

3.4 天然水中的 Li、B 含量

扎布耶地区及邻区河水的水化学组成见表 4。

样品号	采样地点	总盐量	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Li ⁺	Cl-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	$\rm CO_3^{2-}$	B_2O_3		历程时间
		(g/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	$(imes 10^{-6})$	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	$(\times 10^{-6})$	pm	取件的问
T154	脚步曲上游	0.240	4.10	19.0	30.5	10.2	0.20	9.9	/	162.9	0	4.9	7.3	84年6月①
T155	脚步曲中游	0.470	5.55	89.0	14.2	13.3	0.55	51.4	9.0	257.5	0	27.6	8.9	84年6月①
65	脚步曲下游	0.799	25.30	223.8	16.0	22.0	1.10	156.0	74.4	385.0	27	61.3	8.9	82 年 7 月 ①
88	浪门嘎曲下游	0.819	13.20	97.6	32.1	48.0	1.90	50.3	24.0	521.7	0	26.9	8.5	82年7月*
GW- 9	得阿壤河	0.0799	0.75	2.18	13.7	1.15	0.01	0.0	5.1	57	0	0.0	8.8	97年7月
GW-11	穷波曲	0.2027	1.44	18.29	27.1	4.10	0.03	2.6	14.9	131	0	3.2	8.6	97年7月
GW-12	呀弄多嘎河	0.0833	1.19	5.05	14.9	1.57	0.07	0.9	7.0	51	0	1.6	8.0	98年9月
GW-15	阿翁藏布下游	0.1676	1.95	8.33	23.9	6.93	0.03	1.9	19.1	103	0	2.4	8.5	98年9月
GW-16	阿翁藏布上游	0.1307	0.94	5.84	20.4	3.86	0.01	0.2	24.8	72	1	1.6	8.6	98年9月
GW-17	甲布藏布上游	0.0977	0.93	6.74	15.4	2.17	0.03	1.0	13.0	56	0	2.4	8.7	98年9月
GW-18	甲布藏布下游	0.2096	1.63	31.67	15.9	4.22	0.07	12.2	17.8	115	0	11.2	8.5	98年9月

表 4 扎布耶地区及邻区河流水化学组成 Table 4 Hydrochemical composition of river water in the Zabuye area

注:①据郑绵平等,1989。

由表中可以看出,扎布耶地区河水的 Li 含量较邻区高,是世界河水平均值(23×10⁻⁹±10×10⁻⁹)的 10 ~50倍;硼的含量也较邻区高得多,是世界河水平 均值(0.01×10⁻⁶)的数十到上百倍。邻区河水的 Li、B最高含量分别为世界河水平均含量的 30 多倍 和100多倍。

自表中还可看出,无论是扎布耶地区还是邻区 河流,自上游向下游,河水的盐度增高明显,Li、B含 量增加也很明显。由此来看,河水中的硼锂可能主 要来自第四纪沉积物,因为第四纪沉积物中的硼锂

表 5 扎布耶地区及邻区泉水水化学组成(据郑绵平等,1989)

Table 5 Hydrochemical composition of spring water in the Zabuye area (after Zheng et al., 1989)

样品	取样位置	矿化度	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg^{2+}	Li ⁺	Cl-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	B_2O_3	TT /+-
		(g/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	$(\times 10^{-6})$	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	$(\times 10^{-6})$	pH 伹
Q-1	扎布耶北	0.518	7.40	76.00	38.31	18.15	0.39	55.40	71.73	239.55	0.00	11.17	7.8
Q -2	扎布耶北	0.488	5.30	100.00	25.04	7.56	0.29	53.09	88.46	189.18	0.00	19.55	7.9
Q -3	扎布耶西	0.629	8.40	121.00	19.45	16.64	0.80	40.56	91.57	299.13	0.00	31.85	8.1
Q -4	扎布耶北	0.364	5.70	36.00	29.53	17.37	0.24	12.53	40.65	214.37	0.00	7.91	8.1
Q -5	扎布耶北	0.577	6.60	62.00	59.76	17.24	0.63	14.18	35.86	372.22	0.00	9.00	7.9
Q -6	扎布耶北	3.229	84.0	820.00	4.99	14.58	3.64	267.10	632.40	73.71	495.00	833.82	9.1
Q -7	扎布耶东南	0.217	1.20	2.00	42.50	6.90	<0.05	9.56	18.89	135.13	0.00	0.87	7.9
Q -8	扎布耶东南	0.591	5.90	50.00	67.40	30.25	0.24	90.02	60.73	276.40	0.00	10.51	7.5
Q -9	扎布耶东南	0.670	5.20	100.00	48.46	17.12	0.43	61.00	32.04	374.68	0.00	31.37	7.7
Q -10	扎布耶南	1.166	96.5	275.00	20.35	20.39	1.47	326.50	131.50	246.92	0.00	47.10	8.2
Q -11	扎布耶南	0.732	22.2	35.00	63.85	37.82	1.39	316.60	61.21	163.38	0.00	30.23	8.2
Q -12	扎布耶岛	0.425	5.20	70.00	24.74	13.01	0.28	23.28	61.69	210.07	0.00	16.59	
Q -13	扎布耶北	0.359	5.20	70.00	11.17	8.47	0.63	13.19	53.80	178.74	2.42	15.49	
GW-1	扎布耶西	0.124	1.00	5.77	23.60	1.39	0.03	1.90	10.44	74.00	3.00	3.20	
GW-3	扎布耶西	0.226	1.22	9.48	29.70	12.10	0.02	3.80	13.15	153.00	0.00	3.20	
57	扎布耶南	0.469	8.6	69.1	53.10	22.70	0.02	129.4	59.6	169.6	0	8.00	7.70
64	扎布耶南	1.990	71.3	675.0	3.40	3.40	4.70	582.5	220.5	297.6	144	137.76	9.35
92	扎布耶南	0.546	25.0	155.3	12.00	6.10	1.00	98.6	86.5	257.5	0	32.92	8.55
93	扎布耶南	0.574	12.9	98.1	68.10	28.20	0.80	246.4	34.6	140.3	0	14.71	
68	扎布耶岛	0.410	5.0	80.7	50.50	14.20	0.40	26.6	73.0	292.9	0	13.01	7.30
69	扎布耶岛	0.396	5.7	69.2	47.10	12.80	/	24.8	57.6	284.9	0	10.40	7.15
78	扎布耶岛	0.355	5.0	65.7	46.10	11.20	0.50	21.6	53.3	280.7	6	11.03	7.35
71	扎布耶岛	0.256	3.7	24.5	50.10	15.10	0.20	57.8	24.5	152.5	0	3.14	8.40
192	钙华岛	0.402	7.1	80.5	36.27	10.40	2.20	32.6	36.5	284.3	0	19.80	7.52
208	钙华岛	0.342	7.5	33.0	58.12	13.13	0.45	12.8	25.0	295.0	0	4.90	7.86
89	色列岛	0.250	11.7	54.0	15.80	11.90	0.50	18.8	37.0	191.0	0	4.57	8.10
90	色列岛	0.503	18.9	116.1	27.50	13.00	0.90	39.0	86.6	350.8	0	28.52	7.70
96	色列岛	0.664	55.3	200.0	5.40	1.80	1.50	174.1	100.9	219.7	0	14.80	9.60

主要以吸附形式存在于粘土矿物中。

扎布耶地区及邻区泉水的水化学组成见表 5。 自表中可以看出,扎布耶地区泉水的 Li 含量普遍高 于邻区的 Li 含量,大部分比海水(0.194×10⁻⁶)高 数倍至数十倍。泉水的硼含量大部分是邻区的数倍 到 20 多倍,也比海水(4.5×10⁻⁶)高得多。

3.5 成矿物质来源分析

3.5.1 深部物质

通过前面对扎布耶地区地球化学背景的研究, 本文认为扎布耶地区地下深部含富 Li、B 物质,这主 要表现在:

(1)钙华:钙华是低温热泉沉淀。前人对许多地 热水的研究表明大部分地热水具明显的大气降水深 循环成因特点。大气降水沿地表岩石的空隙、构造 破碎带等透水通道渗入地下深部,受地温梯度或局 部热源(如岩浆房等)影响温度升高,形成热对流系 统。大气降水在深循环过程中浸滤围岩中的成分, 可以使水中某些元素的含量大大提高,如美国加里 福尼亚州南部萨尔冬地区 1600 m 深的地下热卤水 矿化度高达 25.9%;在中国西藏羊八井热田数十平 方千米范围内的土壤均发现 Hg、As、Sb、Bi 等元素 异常(赵平等,1998)。地下热水对围岩的浸取与地 下热水的温度、盐度、酸碱度等因素有关,扎布耶地 区现存的大量钙华中,Li、B 含量相当高,表明形成 钙华的泉水中 Li、B 含量很高,而泉水中的 Li、B 物 质来自与深循环地下水接触的围岩。

(2)隆格尔雪山科嘎构造带:对隆格尔雪山构造 带的研究表明,该地曾经历长期的构造岩浆活化。 岩浆活动表现在:早期的基性岩浆活动阶段主要形 成一些基性火成岩,后经变质作用,形成斜长角闪 岩;中期的中性岩浆活动期,形成了闪长岩、花岗闪 长岩;晚期的酸性岩浆阶段形成花岗岩;由于 Li、B 趋向于在岩浆晚期富集,隆格尔雪山含电气石花岗 岩中含 Li、B 很高。斜长角闪岩 Li、B 含量高,很可 能是变质热液中含 Li、B 较高的缘故,构造活动表现 为早期是挤压作用形成韧性剪切带,后经拉张作用, 韧性剪切带破碎,热液沿破碎面贯入,形成电气石细 脉或"表膜",最后由于挤切作用,使电气石细脉或 "表膜"表面形成擦痕。含电气石花岗岩的形成及电 气石脉的贯入表明地下深处曾存在富 Li、B 热液。

由此可知,扎布耶地区地下深处存在着富Li、B 物质,这些物质在适当的条件下,可以通过地下热水 循环、岩浆热液及变质热液带至地表。

3.5.2 地表物质

由地球化学背景研究可知,扎布耶地区各时代地 层的 Li、B 含量较低(晚石炭世地层 Li、B 含量较其他 时代地层略高),但是该区的河流及泉水中 Li、B 含量 较世界河水平均含量高得多,这表明该区岩石中的 Li、B 极易被渗入其中的大气降水浸出,而在扎布耶 盐湖形成前期一中晚更新世初期"泛湖期"的湖盆面 积非常大(郑绵平,2001),汇水面积更广,所以除了含 B、Li 一般的地表物质外,还汇聚了附近富含 B、Li 等 成矿物质的中新世火山沉积(将另文讨论)。

4 结论

(1)扎布耶地区各时代地层中的硼、锂含量普遍 较低。该区大量发育第四纪钙华,绝大多数钙华中 的硼锂含量都非常高,这表明该区曾发育热水系统, 且热水中富含硼锂等成矿物质。

(2)扎布耶地区的侵入岩中,除科嘎一带的含电 气石花岗岩外,其他均低于世界平均含量。科嘎一 带云英岩化的发育、含电气石花岗岩的出现及电气 石脉的存在,表明该区的岩浆期后气成-热液中富含 硼、锂等成矿物质。

(3)扎布耶地区的河流及泉水中硼、锂含量很高,表明该区第四纪沉积物、地表风化物及地下岩石中的硼锂物质容易被水浸出,并随河流及泉水汇聚 到湖泊中。

(4)由于扎布耶盐湖在"泛湖期"汇水范围广阔, 后期聚集了大量 B、Li 成矿物质,包括最近在附近发 现的中新世富 B、Li 火山沉积,是值得重视的一个重 要物质来源。

总之,扎布耶地区早期存在大量的热水系统,深 部热水与其围岩相互作用并获取大量的硼锂成矿物 质携至地表湖水中,是扎布耶盐湖成矿物质主要来 源。地表富 B、Li 岩石的长期风化淋滤以及第四纪 沉积物中大量硼和锂随河水、泉水汇聚到湖中也是 重要的成矿物质来源之一。

致谢:在该项研究过程中,刘丹阳高工帮助完成 岩矿鉴定工作;费振壁研究员对论文提供很多修改 建议;野外作业时杨兆文同志提供了很大帮助。在 此表示衷心感谢!

参考文献

魏菊英,王关玉.1988.同位素地球化学.北京:地质出版社. 赵伦山,张本仁.1991.地球化学.北京:地质出版社. 赵平,多吉,梁廷立,金建,张海政.1998.西藏羊八井地热田气体 地球化学特征.科学通报,43(7):691~696.

- 郑绵平,向军,魏新俊,郑元. 1989. 青藏高原盐湖. 北京:北京科 学技术出版社.
- 郑绵平,王秋霞,多吉,刘杰,平措旺杰. 1995. 水热成矿新类型---西藏铯硅华矿床. 北京:地质出版社.

郑绵平. 2001. 青藏高原盐湖资源研究的新进展. 地球学报, 22:97

 $\sim 102.$

Clayton R N, Muffler L J P, White D E. 1968. Oxygen isotope study of calcite and sillicates of the River Ranch No. 1 well, Salton Sea geothermal field, California. Amer. J. Sci., 266: 968~979.

Sources of Ore-Forming Materials of the Superlarge B and Li Deposit in Zabuye Salt Lake, Tibet, China

LIU Xifang^{1,2,3)}, ZHENG Mianping^{1,2,3)}, QI Wen^{1,2,3)}

1) Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environment, Ministry of Land and Resources, Beijing, 100037

2) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

3) R & D Center of Saline Lake and Epithermal Deposit, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037

Abstract

Located in the interior of the Tibetan Plateau, Zabuye Salt Lake is a modern salt lake deposit. Study of the geochemistry of the Zabuye Salt Lake area indicates that: very high Li and B contents and appearance of tourmaline veins in metamorphic rocks and altered rocks imply lithium- and boron-rich hydrothermal fluids occurred at depths in the Zabuye area; the Li and B contents in sedimentary rocks of all ages are lower than the average contents of their analogues except for Late Carboniferous sandstone which has slightly higher lithium and boron contents; the Li and B contents in volcanic rocks are lower than the average contents in basic igneous rocks except for Early Cretaceous basic igneous rocks which have higher lithium and boron contents; Quaternary travertine, which occurs in large amount in the area, has very high lithium and boron contents, which suggests that the early-stage hydrothermal system afforded substantial amounts of ore-forming materials such as lithium and boron; the lithium and boron contents in rivers and springs are a few to a few hundred times the average contents of the world river water, suggesting that the product of water-rock interaction at the surface and in the subsurface is also one of the sources of ore-forming materials.

Key words: Zabuye; Tibet; B and Li deposit; geochemical setting; ore-forming materials