

青藏高原盐湖 Li 地球化学

韩凤清

(中国科学院青海盐湖研究所, 青海西宁 810008)

摘要: 青藏高原是我国富 Li 盐湖的主要分布区域,这些富 Li 盐湖主要分布在柴达木盆地中部和西藏的中、西部地区。北部柴达木盆地盐湖 Li 的储量大、Mg/Li 比值高、卤水 Li 含量较高,南部西藏盐湖 Li 的储量较大、Mg/Li 比值低,Li 含量很高。青藏高原富 Li 盐湖主要分布在氯化物型—硫酸盐型过渡区内,其 Li 含量在 120~ 260mg/L 之间;西藏富 Li 盐湖主要分布在碳酸盐型—硫酸盐型过渡区内,其 Li 含量在 250~ 660mg/L 之间。在西藏各类盐湖中碳酸盐型盐湖含 Li 较低,这很可能与其参加到早期沉淀的碳酸盐矿物晶格中有关。盐湖卤水中 Li 的空间分布与其水源补给方向和蒸发环境紧密相关。Mg/Li 比值研究表明,盐湖中 Mg 和 Li 的含量成反比关系,即高 Mg 环境不利于 Li 的富集。

关键词: Li;盐湖;地球化学;青藏高原

中图分类号: p595 文献标识码: A 文章编号: 1008-858X(2001)01-0055-07

1 引言

青藏高原是新生代以来由于印度洋板块向欧亚板块俯冲而逐渐隆起的,现在海拔已超过 4000m,被称为“世界屋脊”,其独特地质地理环境特征,引起中外科学家的极大兴趣。青藏高原的隆升,阻挡了来自印度洋的暖湿气流,促使高原气候向干(旱)寒(冷)方向发展,在高原的中部、西部和北部形成了众多的盐湖。这些盐湖不仅记录了高原气候与环境演变的历史,而且为我们造就了丰富的盐湖资源,其中蕴藏的锂盐、钾盐、镁盐、锑盐和芒硝等无机盐资源在中国乃至世界上均具有重要的地位。

青藏高原盐湖的分布,东以青海湖—黄河源—纳木错为界,即大致与年降水量 300mm 等值线为准,北以祁连山为界,西以阿尔金山—西昆仑为界,南以雅鲁藏布江为界。在这约百万平方公里的面积上,发育有 350 多个盐湖,总面积超过 2 万 km²。

青藏高原北部的柴达木盆地、中部的长江源可西里地区、藏北、藏中和藏西是青藏高原盐湖的主要分布区。柴达木盆地盐湖化学类型以硫酸镁亚型为主,氯化物型次之;可可西里地区盐湖的水化学

类型与柴达木盆地盐湖类似;西藏盐湖化学类型比较丰富,硫酸镁亚型、硫酸钠亚型和碳酸盐型均有分布,但缺乏氯化物型盐湖。青藏高原由南向北,盐湖的水化学类型由碳酸盐型向硫酸盐型和氯化物型过渡。在青藏高原上升的地质历史时期,某干旱气候由南向北逐渐加强,导致盐湖发育北早南晚,因此,柴达木盆地盐湖的规模和形成时间上都远大于西藏盐湖。

自然界有两类 Li 矿床,一种是内生的 Li 矿床,另一种是外生的盐湖 Li 矿床。最近由于盐湖提锂工艺取得突破,其生产成本远低于内生 Li 矿,导致世界 Li 的生产转向盐湖。我国内生的 Li 矿床主要分布在新疆,以锂辉石为主,外生的盐湖 Li 矿床主要分布在青藏高原,以金属锂计达数百万 t,远远高于世界最大的盐湖锂盐生产国智利 126 万 t 的储量,因此青藏高原盐湖 Li 矿床在我国占有绝对的优势,并且在世界也有重要的地位。

Li 在自然界的丰度较低,地幔为 1.4mg/kg,地壳为 12mg/kg,在上地壳高达 20mg/kg,显然地球表层是 Li 的相对富集区。由于 Li 的离子半径同 Mg 非常接近,因此 Li 以类质同象替换的方式参加到硅酸盐 Mg 的晶格位置上。在超基性岩中 Li 仅为数个 mg/kg, Mg/Li 比值为 52 万,但在酸性岩中 Li 增加

收稿日期: 2000-07-12
基金项目: 中国科学院“西部之光”资助项目
作者简介: 韩凤清 (1962-),男,硕士,副研究员,从事同位素地球化学。

到 50mg /kg, Mg /Li 比值骤降到 140,故 Li 集中在岩浆作用的晚期。在沉积岩中 Li 在 17~ 207mg /kg 间变化,平均为 66mg /kg。自然界水体中 Li 的含量较低,海洋中仅为 0. 2mg /kg,而河水和淡水湖泊中则在 0. 01mg /kg 以下。

2 青藏高原盐湖 Li 的区域分布

2. 1 柴达木盆地盐湖

柴达木盆地盐湖(表 1. 1, 1. 2)主要分布在中西部,共计有近 30 个盐湖,以硫酸镁亚型盐湖为最多,氯化物型次之,硫酸钠亚型盐湖为最少,仅有 2 个。湖水的矿化度最大为 555g /L(牛郎织女湖),最小为 41g /L(芒崖湖)。湖水的酸碱度在 1. 60~ 8. 28 之间变化,靠近山区的湖泊的酸碱度较大,而远离山区湖泊的酸碱度较小。湖泊的海拔大部分在 2700~ 3000m 之间,湖水深度一般都小于 100cm。这里的盐湖有两类,一是地表有卤水的盐湖,其湖底一般是石盐沉积物,二是地表无卤水的盐湖,这类盐湖称为干盐湖,其表面是石盐沉积物,但在地下石盐等盐类矿物的孔隙间存在着丰富的地下卤水。

柴达木盆地盐湖中 Li 的分布有以下特点:最低为希里沟盐湖,其 Li 仅为 2. 8mg /L,最高为一里坪盐湖,为 262mg /L;柴达木盆地中部强烈拗陷带为高

Li 分布区,这里集中了盆地最富 Li 的几个盐湖,例如一里坪干盐湖、东西台吉乃尔盐湖、涩聂湖和别勒滩干盐湖的 Li 含量均超过了 124mg /L,这些高含量区盐湖的分布正好与柴达木盆地的主构造线一致,说明 Li 形成与区域构造发展史有关;相反,柴达木盆地东部盐湖中 Li 含量很低,如希里沟、柴凯、茶卡和可可盐湖的 Li 含量均低于 10mg /L。

从盐湖本身水化学类型来讲,硫酸镁亚型盐湖的 Li 含量最高,其 19 个盐湖平均值为 85mg /L,而硫酸钠亚型盐湖的 Li 含量最低,其 2 个盐湖平均值仅为 6. 4mg /L。

从柴达木盆地区域水化学来看,含 Li 高的盐湖分布于氯化物—硫酸盐过渡类型水化学区内,含 Li 的盐湖分布于碳酸盐水化学区内,而氯化物型和硫酸盐类型水化学区内盐湖中 Li 的含量介于以上两者之间。从 Li 的浓度分布梯度上讲,北缓南陡。

从离子比值来讲,Mg /Li、Ca /Li、Na /Li 和 Cl /Li 比值高的盐湖 Li 含量低,而那些比值低的盐湖 Li 含量高,因此柴达木盆地盐湖中的 Li 含量与 Mg 和 Ca 含量成反比例关系,这种类似的关系也出现在各类岩浆岩(火成岩)中,这说明 Mg 和 Li 的化学性质尽管有类似的地方,但在自然界其间的差异较大。

表 1. 1 柴达木盆地盐湖 Li 含量及其离子比值
Table 1. 1 Li contents and ion ratios of the salt lakes in Qaidam Basin

盐湖名称	Li (mg/L)	Mg /Li (10 ³)	Ca /Li	K /Li	Na /Li (10 ³)	Cl /Li (10 ³)	SO ₄ /Li (10 ³)	类 型
柴 凯	3. 60	3. 20	115	436	30. 0	52. 0	4. 60	Mg
可 可	7. 30	3. 80	31. 7	635	11. 0	26. 0	3. 20	Mg
茶 卡 (J)	8. 80	3. 00	14. 2	508	0. 91	21. 0	2. 70	Mg
察尔汗 (J)	15. 6	1. 80	65. 2	776	4. 60	13. 0	0. 41	Mg
德宗马海	17. 0	0. 92	10. 3	186	6. 30	10. 3	3. 10	Mg
尔斯库勒	24. 9	1. 20	16. 0	181	3. 10	7. 10	1. 80	Mg
达布逊 (J)	26. 0	1. 80	84. 4	732	1. 60	8. 50	0. 09	Mg
小柴旦湖	35. 8	0. 38	11. 7	98. 3	3. 00	5. 10	0. 88	Mg
大别勒湖	37. 0	0. 84	27. 4	229	2. 20	4. 80	1. 70	Mg
大浪滩 (J)	50. 0	0. 75	6. 40	330	1. 41	3. 20	0. 68	Mg
团 结 湖	59. 0	1. 67	0. 0	122	0. 10	4. 60	0. 67	Mg
小别勒湖	66. 3	1. 20	1. 27	286	0. 17	4. 00	0. 19	Mg
大柴旦湖	84. 9	0. 11	5. 34	37. 9	1. 04	1. 80	0. 20	Mg
达布逊湖	88. 4	1. 30	0. 95	8. 06	0. 01	3. 90	0. 07	Mg
别勒滩 (J)	124	0. 52	3. 50	187	0. 19	1. 90	0. 05	Mg
东台吉乃尔	141	0. 04	3. 08	26. 9	0. 83	1. 30	0. 13	Mg
涩 聂 湖	191	0. 06	1. 44	38. 0	0. 50	0. 99	0. 12	Mg
西台吉乃尔	256	0. 06	0. 77	33. 0	0. 40	0. 72	0. 14	Mg
一里坪 (J)	262	0. 09	1. 43	42. 1	0. 31	0. 75	0. 53	Mg
巴仑马海	4. 0	2. 32	917	606	26. 0	48. 0	0. 53	Cl
霍布逊 (J)	10. 3	2. 10	359	287	8. 10	19. 0	0. 15	Cl
昆特依 (J)	26. 8	1. 40	272	456	2. 00	8. 10	0. 03	Cl
协 作 湖	28. 6	2. 30	618	270	0. 56	8. 80	0. 01	Cl
牛郎织女湖	46. 7	1. 55	2100	14. 6	0	8. 20	0	Cl
希里沟湖	2. 8	4. 0	173	584	29. 0	43. 0	17. 0	Na
芒 崖 湖	10. 0	0. 11	96. 5	15. 0	1. 30	1. 95	0. 68	Na

● (J) 卤水为晶间卤水,其余为地表湖水; Mg 指硫酸镁亚型盐湖, Cl 指氯化物型盐湖, Na 指硫酸钠亚型盐湖(下同)。

表 1.2 柴达木盆地盐湖各参数平均值与变异系数

Table 1.2 The parameter averages and variance coefficients of the salt lakes in Qaidam Basin								
		Li	Mg /Li	Ca/Li	K /Li	Na /Li	Cl /Li	SO ₄ /Li
硫酸镁亚型	A	85.0	1138	20.1	263	3817	8594	1045
	V	0.98	0.99	1.58	0.92	1.81	1.43	1.29
氯化物型盐湖	A	23.3	1934	853	218	7332	18420	143
	V	0.72	0.22	0.87	0.83	1.49	0.93	1.55
硫酸钠亚型盐湖	A	6.4	2053	135	300	15150	22475	8842
	V	0.80	1.34	0.40	1.34	1.29	1.29	1.31

A: 平均值, V: 变异系数 (下同)

2.2 可可西里盐湖

可可西里位于青藏高原西部腹地,包括青藏公路以西,昆仑山以南,唐古拉山以北的可可西里山为主体的广大地区,面积达 83000km²,海拔在 4500~5000m 之间,其行政区划主要为青海省所管辖。

可可西里湖泊众多,但大部分为咸水湖和半咸水湖,少数为盐湖(表 2.1, 2.2),表 1.1 中所列湖泊是盐湖和咸水湖。湖底沉积物以石盐为主,另外还有芒硝、白钠镁矾、水钙芒硝和石膏等盐类矿物,部分湖泊有水藻和虫虫。

可可西里湖泊类型与柴达木盆地类似,大部分

为硫酸镁亚型,少部分为氯化物型,硫酸钠型仅为 1 个。

可可西里湖泊中 Li 含量分布有明显的区域特征,在西金乌兰湖和勒斜武担湖之间是该区高 Li 分布区,都超过了 100mg / L,而其他地区的都在 10mg /L 以下,最低的涟湖,仅有 3mg /L。

硫酸镁亚型湖泊中,盐湖的 Li 含量高于咸水湖数十倍至百倍,湖水的矿化度与 Li 含量有明显的关系,类似的关系也出现在氯化物型湖泊中。从离子比值来讲, Mg /Li、Ca /Li、Na /Li 和 Cl /Li 比值高的盐湖 Li 含量低,而那些比值低的盐湖 Li 含量高,两者出现反比关系,这与柴达木盆地盐湖有类似的地方。

表 2.1 可可西里盐湖 Li 含量及其离子比值

Table2.1 Li contents and ion ratios of the salt lakes in Kekexili region								
盐湖名称	Li (mg /l)	Mg /Li (10 ³)	Ca /Li	K /Li	Na /Li (10 ³)	Cl /Li (10 ³)	SO ₄ /Li (10 ³)	类 型
涟湖	3.0	665	345	82.2	3.00	5.80	1.96	Mg
库赛湖	5.0	192	71.0	37.2	1.80	3.00	0.38	Mg
特拉什湖	7.0	152	6.74	40.1	1.70	3.00	0.03	Mg
苟鲁错	8.3	107	17.0	52.5	1.40	2.20	0.26	Mg
盐湖	62.0	108	7.45	31.1	1.20	2.00	0.26	Mg
西金乌兰湖	101	24.6	12.7	31.0	0.92	1.51	0.04	Mg
苍错	389	103	0.0	28.3	0.16	0.46	0.15	Mg
苟弄错南山湖	12.0	160	110	16.1	0.87	1.90	0.11	Cl
勒斜武旦湖	171	12.8	16.7	13.6	0.26	0.47	0.01	Cl
苟鲁错西子湖	111	434	49.1	28.7	0.95	1.70	0.01	Cl
海丁诺尔	6.00	147	30.3	23.8	1.50	2.60	0.16	Na

表 2.2 可可西里盐湖平均值与变异系数

Table2.2 The parameter averages and variance coefficients of the salt lakes in Kekexili Region								
		Li	Mg /Li	Ca/Li	K /Li	Na /Li	Cl /Li	SO ₄ /Li
硫酸镁亚型盐湖 (8个)	A	73.0	177	60.3	39.7	1473	2572	392
	V	1.82	1.15	1.94	0.51	0.55	0.60	1.65
氯化物型盐湖 (3个)	A	98.0	72.1	58.6	19.5	693	1358	43.1
	V	0.82	1.08	0.81	0.42	0.54	0.57	1.33
硫酸钠亚型盐湖 (1个)		6.00	147	30.3	23.8	1500	2600	164

2.3 西藏盐湖

西藏的盐湖(表 3. 1, 3. 2)主要分布在西藏中西部地区,其北部为昆仑山和唐古拉山,南部为岗底斯山,东至纳木错,海拔在 4300~ 5000m 之间。西藏盐湖的发展史较短,其形成的年龄大部分在数万年以内。

西藏盐湖主要有硫酸钠亚型、硫酸镁亚型和碳酸盐型盐湖,缺乏氯化物型盐湖。西藏盐湖多数为有湖表水的盐湖,而干盐湖则很少。湖底沉积物有芒硝、石盐和硼酸盐等盐类矿物,矿化度在 50~ 350g / L 之间,pH 值在 7~ 10 之间变化,多属偏碱盐湖。西藏盐湖化学成分以富含 B、Li、Rb 和 Cs 为主要特征。

从表 3. 2 中看出,硫酸镁亚型盐湖中 Li 含量很高,平均高达 404mg / L,这可能与碳酸盐沉淀时 Li

参加到其矿物晶格有关,形成含 Li 碳酸盐(含 Li 白云石甚至是扎布耶石、碳酸锂),因此碳酸盐型盐湖从整体上讲不利于 Li 的富集。

西藏盐湖 Li 含量高值区与其水化学类型有一定的关系,含 Li 高的盐湖主要分布在硫酸钠亚型和碳酸盐型盐湖之间的水化学过渡地区,即狮泉河到措勤县之间的申扎县尼玛区。

在碳酸盐型盐湖中,含 Li 高的盐湖分布于班戈县和申扎县尼玛区,主要有班戈错、郭加林错和朋彦错;含 Li 高的硫酸钠亚型盐湖分布于措勤县以西,改则县以北到革吉县盐湖区,有扎布耶、恰茶卡、拉果错、洞错和聂尔错等盐湖;含 Li 高的硫酸镁亚型盐湖分布于申扎县尼玛区、改则县康托区和革吉县盐湖区内,主要有玛尔果茶卡、查那错、扎仓茶卡和噶尔昆沙错。

表 3. 1 西藏盐湖 Li 含量及其离子比值

Table 3.1 Li contents and ion ratios of the salt lakes in Tibetan Autonomous Region								
盐湖名称	Li (mg / l)	Mg / Li	Ca / Li	K / Li	Na / Li	Cl / Li	SO ₄ / Li	类 型
肖 茶 卡	14. 1	77. 9	2. 45	145	8700	1400	165	Mg
才多茶卡	24. 9	47. 8	4. 63	37. 1	1060	1648	231	Mg
马尔盖茶卡	30. 4	24. 9	0. 61	19. 9	933	1471	83. 4	Mg
错 尼	40. 5	52. 0	17. 4	20. 7	465	765	206	Mg
康如茶卡	77. 6	48. 9	3. 35	35. 2	1511	2397	158	Mg
仓 木 错	91. 0	4. 11	0. 48	8. 30	43. 5	78. 4	11. 5	Mg
扎西茶卡	141	70. 7	1. 99	28. 8	270	551	246	Mg
龙 木 错	171	86. 4	6. 75	24. 9	205	638	44. 9	Mg
鄂雅错琼	302	66. 2	2. 54	35. 1	171	435	35. 8	Mg
查 那 错	303	65. 5	0	33. 9	279	603	84. 8	Mg
玛尔果茶卡	323	39. 8	1. 55	17. 4	311	586	40. 8	Mg
扎仓茶卡	807	10. 3	0. 33	13. 0	117	209	29. 4	Mg
噶尔昆沙错	2926	0. 04	1. 26	7. 22	40. 3	63. 8	9. 53	Mg
扎东茶卡	8. 54	30. 8	0. 26	102	754	994	688	CO ₃ ⁼
台 错	18. 1	14. 8	0. 07	15. 8	268	258	91. 4	CO ₃ ⁼
冈 塘 错	41. 7	1. 45	0. 29	95. 4	598	922	34. 9	CO ₃ ⁼
茶 拉 卡	91. 1	0. 25	0. 07	44. 4	443	285	299	CO ₃ ⁼
才玛尔错	131	0. 31	0. 02	123	463	683	128	CO ₃ ⁼
阿 翁 错	141	4. 45	0. 04	10. 9	262	180	126	CO ₃ ⁼
郭加林错	151	0. 21	0	51. 9	338	274	245	CO ₃ ⁼
班 戈 错	247	0. 04	0. 01	51. 0	219	301	42. 2	CO ₃ ⁼
朋 彦 错	378	0. 06	0. 21	105	314	483	546	CO ₃ ⁼
扎木茶卡	5. 88	598	6. 29	130	2890	4380	2510	Na
热 邦 错	29. 3	10. 8	0. 40	86. 5	707	635	861	Na
达 瓦 错	31. 3	31. 4	0. 77	22. 4	269	118	628	Na
依布茶卡	43. 4	20. 5	3. 60	26. 8	781	1001	395	Na
布尔嘎错	55. 4	66. 3	1. 25	84. 8	754	1180	331	Na
昂达尔错	64. 6	3. 29	0. 37	17. 7	1068	1427	125	Na
孔孔茶卡	141	10. 7	0. 12	25. 0	883	1340	102	Na
别若则错	151	32. 4	0. 56	21. 2	212	23. 7	429	Na
查 波 错	182	22. 5	0. 57	57. 3	32. 4	552	103	Na
恰 茶 卡	252	1. 41	0. 31	32. 7	278	383	78. 7	Na
洞 错	271	14. 7	0. 30	32. 2	129	11. 9	313	Na
拉 果 错	535	2. 97	0. 09	10. 5	50. 6	78. 4	22. 4	Na
扎布耶茶卡	632	0. 03	0. 11	33. 5	148	194	27. 5	Na
聂 儿 错	661	24. 3	0	25. 7	60. 7	139	65. 7	Na

表 3. 2 西藏盐湖各参数平均值与变异系数

Table 3. 2 The parameter averages and variance coefficients of the salt lakes in Tibetan Autonomous Region

		Li	Mg /Li	Ca /Li	K /Li	Na /Li	Cl /Li	SO ₄ /Li
硫酸镁亚型盐湖 (13个)	A	404	46. 2	3. 35	32. 8	1085	834	104
	V	1. 95	0. 60	1. 38	1. 07	2. 15	0. 83	0. 83
硫酸型钠亚型盐湖 (14个)	A	218	60. 0	1. 05	43. 4	590	819	428
	V	1. 05	2. 60	1. 68	0. 79	1. 27	1. 40	1. 52
碳酸盐型盐湖 (9个)	A	134	5. 82	0. 108	66. 6	407	487	190
	V	0. 88	1. 81	1. 05	0. 61	0. 43	0. 63	1. 09

3 青藏高原盐湖 Li地球化学

3. 1 盐湖 Li地球化学

青藏高原盐湖卤水中 Li的含量从北(柴达木盆地)至南(西藏)逐渐增大,如柴达木盆地盐湖的 Li的平均含量为 67. 8mg /L,最低的希里沟盐湖,仅为 2. 8mg /L,最高为一里坪盐湖,达 262mg /L;可可西里地区盐湖 Li的平均含量为 73. 7mg /L,最低的是涟湖,仅为 3. 0mg /L,最高为仓错,达 389mg /L;西藏盐湖 Li的平均含量为 264mg /L,最低的是扎木茶卡,仅为 5. 88mg /L,最高为噶尔昆沙错,达 2926mg /L,是高原盐湖 Li的最大值

从整体上讲,西藏、可可西里和柴达木盆地盐湖共有 5个高 Li的分布区,西藏盐湖西部和北部有 2个高 Li的分布区,第一个为狮泉河到措勤县之间,第二个是申扎县尼玛区,其 Li含量分别超过了 500mg /L和 300mg /L;可可西里盐湖有勒斜武旦湖和西金乌兰湖为 2个高 Li的分布区,包括一里坪干盐湖、东台吉乃尔盐湖、涩聂湖和别勒滩干盐湖,其 Li含量超过了 125mg /L。

从盐湖类型上讲,1)硫酸镁亚型盐湖卤水中 Li的含量从北(柴达木盆地)至南(西藏)逐渐增大,柴达木盆地盐湖和可可西里地区盐湖 Li的平均含量为分别 85. 0mg /L和 73mg /L,而西藏则高达 404mg /L,后者是前者的 5~ 6倍。2)硫酸钠亚型盐湖在柴达木盆地和可可西里地区很少,西藏有 14个,其平均值为 218mg /L,最低的是扎木茶卡,仅为 5. 88mg /L,聂尔错最高,为 661mg /L。3)氯化物型盐湖主要分布在柴达木盆地和可可西里地区,柴达木盆地氯化物型盐湖 Li的平均含量为 23. 3mg /L,巴伦马海最低,为 4. 0mg /L,牛郎织女湖最高,为

46. 7mg /L,可可西里地区盐湖 Li的平均值为 98mg /L,最低的是苟弄错南山湖,为 12mg /L,最高为 171mg /L。4)碳酸盐型盐湖仅在西藏分布,9个盐湖 Li的平均值为 134mg /L,最低是扎东茶卡,为 8. 5mg /L,最高是朋彦错,为 378mg /L。

从区域分布特点上讲,柴达木盆地盐湖 Li的高值区在盆地中部的硫酸盐—氯化物过渡水化学区内,以硫酸镁亚型盐湖为主;在可可西里地区盐湖 Li的高值区分布在其西部的勒斜武旦湖和西金乌兰湖之间,水化学类型以硫酸镁亚型和氯化物型盐湖为主;西藏盐湖 Li的高值区分布在西藏西部,盐湖的水化学类型以硫酸钠亚型和硫酸镁亚型盐湖为主。

从盐湖的 Mg /Li、Ca /Li、K /Li、Na /Li、Cl /Li和 SO₄ /Li比值讲,Ca /Li比值降低 100多倍,Mg /Li比值降低 30多倍,K /Li、Na /Li、Cl /Li和 SO₄ /Li比值降低数倍至十几倍,因此,青藏高原盐湖中各类常量元素离子与 Li之比从北到南剧烈降低,表明 Li含量有较大幅度增加。

3. 2 盐湖 Li的空间分布特征

3. 2. 1 盐湖晶间卤水 Li的垂直分布

柴达木盆地盐湖有三种类型,一是盐湖晶间卤水 Li含量自下而上逐渐增大,这类湖泊有大柴达木湖和一里坪湖;二是盐湖晶间卤水 Li含量自下而上基本不变,这类盐湖有马海、尕斯库勒和别勒滩;三是盐湖晶间卤水 Li含量自下而上逐渐减小,这类湖泊有东台吉乃尔盐湖。

3. 2. 2 盐湖中 Li的平面分布

第一类是以河流补给为主的盐湖,其盐湖卤水 Li含量靠近河流补给处降低,远离河水补给处升高,这类湖泊以西台吉乃尔盐湖为代表,由于水量补给大,Li含量变化较大,在河流补给处仅为 25mg /

L,远离河水补给处高达 150mg /L;第二类是地下潜水(泉水)补给为主的盐湖,由于水量补给比较稳定,Li 含量在平面变化较小,这类湖泊以大柴达木盐湖为代表,其地下潜水(泉水)补给处为 110mg /L,远

离水体补给处为 140mg /L;第三类为地下水稳定补给的盐湖,卤水 Li 含量在中心高四周低,例如扎仓茶卡盐湖卤水 Li 含量在中心高达 1200mg /L,四周仅有 300mg /L

表 4.1 青藏高原各地区盐湖各参数平均值与变异系数

Table4. 1 The parameter averages and variance coefficients of the salt lakes in different regions on the plateau

		Li	Mg /Li	Ca/Li	K /Li	Na/Li	Cl/Li	SO ₄ /Li
柴达木盆地盐湖	A	67. 8	1353	183	278	5308	11442	1455
	V	1. 15	0. 87	2. 40	0. 86	1. 66	1. 28	2. 29
可可西里盐湖	A	73. 7	148	57. 4	33. 3	1280	2271	286
	V	1. 54	1. 16	1. 67	0. 57	0. 59	0. 61	1. 89
西藏盐湖	A	264	41. 3	1. 65	45. 4	723	741	251
	V	1. 89	2. 41	1. 95	0. 83	2. 03	1. 12	1. 74

表 4.2 青藏高原各类盐湖参数平均值与变异系数

Table4. 2 The parameter averages and variance coefficients of the salt lakes of different types on the plateau

		Li	Mg /Li	Ca/Li	K /LI	Na/Li	Cl/Li	SO ₄ /Li
柴达木硫酸镁	A	85. 0	1138	20. 1	263	3817	8594	1045
亚型盐湖 (19个)	V	0. 98	0. 99	1. 58	0. 92	1. 81	1. 43	1. 29
可可西里硫酸镁亚	A	73. 0	177	60. 3	39. 7	1473	2572	392
型盐湖 (8个)	V	1. 82	1. 15	1. 94	0. 51	0. 55	0. 60	1. 65
西藏硫酸镁亚	A	404	46. 2	3. 35	32. 8	1085	834	104
型盐湖 (13个)	V	1. 95	0. 60	1. 38	1. 07	2. 15	0. 83	0. 83
柴达木硫酸钠	A	6. 4	2053	135	300	15150	22475	8842
亚型盐湖 (2个)	V	0. 80	1. 34	0. 40	1. 34	1. 29	1. 29	1. 31
可可西里硫酸钠亚	A	6. 00	147	30. 3	23. 8	1500	2600	164
型盐湖 (1个)	V							
西藏硫酸钠亚	A	218	60. 0	1. 05	43. 4	590	819	428
型盐湖 (14个)	V	1. 05	2. 60	1. 68	0. 79	1. 27	1. 40	1. 52
柴达木氯化物	A	23. 3	19. 34	853	218	7332	18420	143
型盐湖 (5个)	V	0. 72	0. 22	0. 87	0. 83	1. 49	0. 93	1. 55
可可西里氯化物	A	98. 0	72. 1	58. 6	19. 5	693	1358	43. 1
型盐湖 (3个)	V	0. 82	1. 08	0. 81	0. 42	0. 54	0. 57	1. 33
西藏碳酸盐型	A	134	5. 82	0. 108	66. 6	407	487	190
盐湖 (9个)	V	0. 88	1. 81	1. 05	0. 61	0. 43	0. 63	1. 09

4 结论

- 1 青藏高原是我国富 Li 盐湖的主要分布区域,北部柴达木盆地盐湖 Li 的储量大、Mg /Li 比值高、卤水 Li 含量较低,而南部西藏盐湖 Li 的储量较大、Mg /Li 比值低,Li 含量较高
- 2 Mg /Li 比值研究表明,无论是盐湖还是火成岩中 Mg 和 Li 成互为消长关系,即高 Mg 环境不利于 Li 的富集
- 3 青藏高原富 Li 盐湖主要分布于水化学类型

- 过渡区域内,如柴达木盆地富 Li 盐湖主要分布在氯化物型 – 硫酸盐型过渡区内,其 Li 含量在 120~260mg /L 之间;西藏富 Li 盐湖主要分布在碳酸盐型 – 硫酸盐型过渡区内,此范围内 Li 含量在 250~660mg /L 之间。
- 4 从西藏盐湖类型看,碳酸盐型盐湖相对贫 Li,这很可能与其参加到碳酸盐矿物晶格有关
- 5 盐湖中 Li 的空间分布规律与其水源补给和蒸发环境紧密相关

参考文献:

- [1] 于升松, 唐渊. 青藏高原盐湖水化学特征 [J]. 海洋与湖沼, 1981, 14(4): 342-352.
- [2] 朱允铸, 等. 柴达木盆地新构造运动及盐湖发展演化 [M]. 北京: 地质出版社, 1994. 92-95.
- [3] 胡东生. 青海可可西里地区自然环境 [M]. 李炳元等主编: 北京: 科学出版社, 1996. 47-83.
- [4] 张彭熹, 等. 中国盐湖自然资源及其开发利用 [M]. 北京: 科学出版社, 1999. 69-98.
- [5] 张彭熹, 等. 柴达木盆地盐湖 [M]. 北京: 科学出版社, 1987. 1-229.
- [6] 陈克造, 等. 青藏高原盐湖 [J]. 地理学报, 1981, 36(1): 13-21.
- [7] 郑绵平, 等. 青藏高原盐湖 [M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1989. 34-103.
- [8] 郑绵平, 等. 论西藏的盐湖 [J]. 地质学报, 1983, 57(2): 184-194.
- [9] 郑喜玉. 青海柴达木盆地晚新生代地质环境演化 [M]. 中国科学院盐湖研究所编. 北京: 科学出版社, 1986. 133-147.
- [10] 郑喜玉, 等. 西藏盐湖 [M]. 北京: 科学出版社, 1988. 12-72.
- [11] 郑喜玉. 西藏扎仓茶卡盐湖卤水 B, Li 分布特征 [J]. 海洋与湖沼, 1983, 12(6): 498-511.
- [12] 韩凤清, 等. 柴达木盆地昆特依盐湖的地球化学及其古气候变化 [J]. 海洋与湖沼, 1995, 26(5): 502-508.

The Geochemistry of Lithium in Salt Lake on Qinghai- Tibetan Plateau

HAN Feng-qing

(Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining 810008, China)

Abstract The Tibetan Plateau is main distribution region of rich-Li salt lakes in China, the content of lithium varies from 2.8 to 2926 the latter is the greatest value of the salt lakes all over the plateau. Li-rich salt lakes on Tibetan Plateau are mainly situated in the hydrochemical transition zone the north(Qaidam Basin) Li-rich lakes are in the zone of chloride and sulfate type salt lakes, the south(Tibetan Autonomous Region) Li-rich lakes are in the zone of carbonate and sulfate type salt lakes.

Li reserves is much larger, Mg/Li ratio higher and Li content low in the north salt lakes (in Qaidam Basin) than in the south salt lakes(in Tibetan Autonomous Region).

Our study shows that there are inverse ratio between Li and Mg contents in the brine, namely, Li content increases when Mg content decreases.

Li content in the salt lake of carbonate type are relatively low in Tibet, this is results of Li taking part in carbonate mineral crystal lattice. Space distribution of Li in a salt lake is determined on water resource replenishment and evaporation condition.

Key words Lithium; Salt lake; Geochemistry; Tibdetan Plateau

声 明

1. 为适应我国信息化建设需要,扩大作者学术交流渠道,本刊已加入《中国学术期刊(光盘版)》和“中国期刊网”。作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意将文章编入该数据库,请在来稿时声明,本刊将作适当处理。

2. 本刊已入万方数据资源系统(China Info)数字化期刊群。