

青海湖硼同位素地球化学初步研究

孙大鹏 肖应凯 王蕴慧 祁海平

(中国科学院青海盐湖研究所, 西宁 810008)

关键词 硼同位素、地球化学、青海湖

硼同位素地球化学是80年代中后期才开始兴起的一个新的研究领域。它的研究涉及了许多方面,如:海水与海底洋壳^[1]、海相和非海相蒸发硼酸盐^[2]、熔岩^[3]、硫化物矿床^[4,5]和地热水系^[6],以及现代盐湖^[7,8]等。我们所从事的现代盐湖硼同位素地球化学研究,也基本上是在此同一时期开始的^[9-11]。然而,对青海湖这种一般湖泊硼同位素地球化学研究在国内外仍是首次。

青海湖位于青藏高原东北部祁连山南侧的一个山间断陷盆地中。它是一个典型的大陆微咸水湖,其盐度为14.23%,属硫酸钠亚型^[12]。本文主要根据1989年对青海湖现场考察所采集的样品及其湖水天然蒸发实验过程中所获得的样品硼同位素的测定结果进行讨论。

1 实验方法

1989年在野外现场用定深取样器采集了青海湖、海晏湾和尕斯库勒湖不同深度的湖水样品,同时用Piston采集了湖底淤泥样品。另外,在青海湖和尕斯库勒湖水天然蒸发实验过程中也采集了其不同浓缩阶段的水样和某些析出的固样(水菱镁矿)。

1.1 样品处理方法

为了进行硼同位素测定,对上述水样首先酸化,经过离子交换、淋洗和再蒸发浓缩。对湖底淤泥用水溶处理,然后进行酸化等。对水菱镁矿先用纯水洗涤后过滤,再用1:1盐酸溶解,然后再经上述离子交换、淋洗和再蒸发浓缩。

1.2 样品分析方法

样品中硼的含量是用等离子光谱(ICP)、甘露醇法或甲亚胺-H法测定。其硼同位素组成是依照肖应凯等人以前建立的在石墨存在下测定 CS_2BO_3^- 离子的热电离质谱法进行测定的^[10]。所采用的仪器为VG-354型质谱计。所测得的SRM 951标准样品 $^{11}\text{B}/^{10}\text{B} = 4.04883 \pm 0.0024$,校正系 $(K) = 4.04362/4.04883 = 0.99871$ 。所有样品的 $\delta^{11}\text{B}$ 值系按照下列公式计算:

$$\delta^{11}\text{B}\text{‰} = [(^{11}\text{B}/^{10}\text{B})_{\text{样品}} / (^{11}\text{B}/^{10}\text{B})_{\text{标准}} - 1] \times 1000.$$

2 实验结果与讨论

2.1 青海湖湖水硼同位素组成

从该湖湖水硼同位素测定结果来看(表1), (1)青海湖及其东北侧子湖(海晏湾、尕斯库勒湖)

表1 青海湖湖水及其外围河水硼同位素组成

样 品	$^{11}\text{B}/^{10}\text{B} \pm \text{SD}$	$\delta^{11}\text{B}\%$
△海水	4.2075 ± 0.002	+40.53
渤海湾地下卤水(Q)		
△B-SK ₁ (深16m)	4.2081 ± 0.0145	+40.68
△B-SK ₆ (3.4—22m)	4.2094 ± 0.003	+40.998
青海湖湖水		
1) 东北部		
QH-IV-表(表层)	4.0932 ± 0.012	+12.26
QH-IV-1(6m)	4.0782 ± 0.060	+8.6
QH-IV-2(13m)	4.0922 ± 0.013	+12.01
2) 东南部和南部		
QH-V-1(6m)	4.0976 ± 0.012	+13.35
QH-蒸-1(二郎尖)	4.1032 ± 0.006	+14.73
海晏湾湖水		
HG-1(东岸,表层)	4.1126 ± 0.0012	+17.1
HG-3(中部,12m)	$4.1047 \pm ?$	+15.1
尕斯库勒湖水		
G-表(中部,表层)	4.1112 ± 0.0086	+16.7
G-1(中部,4m)	4.1111 ± 0.0068	+16.7
G-2(中部,8m)	4.1113 ± 0.0043	+16.7
尕斯库勒湖底淤泥		
*G-固-1(0—9cm)	4.0493 ± 0.0063	+1.41
*G-固-4(115—121cm)	4.0491 ± 0.0007	+1.36
外围河水		
布哈河	$4.0607 \pm$	+3.72
黑马河	4.0849	+9.70
倒淌河	4.0642 ± 0.015	+4.58
柴达木盆地盐湖		
大柴旦湖	$4.0661 - 4.0699$	+5.5—+6.5
小柴旦湖	4.06159 ± 0.032	+4.4
德尊马海湖	4.02647 ± 0.059	-4.24

* 水溶处理。

△ 河北南堡新生盐场钻孔水。

△ 太平洋(28°29'93"N, 126°53'36"E, 250m 深)。

水的 $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ 比值为 4.0782—4.1126, $\delta^{11}\text{B}$ 值为 +8.6—+17.1‰。它们都低于海水和渤海湾地下卤水(4.2075, +40.53; 4.2081—4.2094, +40.68—+40.998)。这说明青海湖系大陆成因, 与海水无关。(2)青海湖及其子湖湖水硼同位素组成随深度无明显变化, 而它们彼此间硼同位素组成的变异是比较明显的。青海湖的 $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ 比值和 $\delta^{11}\text{B}$ 值均低于海晏湾和尕斯库勒, 这种情况与后者湖底大量水菱镁矿析出有关。(3)青海湖湖水 $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ 比值和 $\delta^{11}\text{B}$ 值均高于外围河水, 这应是该湖长期演化的结果。(4)青海湖湖水与柴达木盆地某些现代盐湖湖表卤水硼同位素组成存在着比较明显的差异, 这主要是由于它们形成和演化的地质历史不同所引起的(前者开始形成于中更新世, 后者为新生的溶蚀湖)。

2.2 青海湖湖水蒸发过程中硼同位素组成的变异

通常, 在盐湖卤水天然蒸发过程中其硼同位素组成不产生变异(无硼酸盐析出)。大柴旦

湖湖表卤水蒸发过程中就是这样^[9]。然而,青海湖和尕斯库勒湖水天然蒸发实验过程中硼同位素组成发生了明显的变异(表 2),在水菱镁矿析出过程中(直到石盐开始析出),其液相的 $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ 比值和 $\delta^{11}\text{B}$ 值逐步地在增高,这说明了碳酸盐析出过程中有硼同位素分馏作用存在(应是硼与碳酸盐发生共沉淀所引起的)。从其析出的水菱镁矿硼同位素测定的结果来看(表 2),也证明了此点。上述海晏湾和尕斯库勒湖水的 $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ 比值和 $\delta^{11}\text{B}$ 值均高于青海湖湖水也正是由于这种原因所引起的。

表 2 青海湖湖水天然蒸发实验过程中硼同位素组成的变化

样 品	比 重	析出盐类	$^{11}\text{B}/^{10}\text{B} \pm \text{SD}$	$\delta^{11}\text{B}\%$
青海湖湖水				
青-蒸-1 (原始样品)	1.010	文石	4.1032 ± 0.0085	+14.73
青-蒸-2	1.025	水菱镁矿	4.1024 ± 0.0021	+14.54
青-蒸-3	1.071	水菱镁矿	4.1060 ± 0.0078	+15.43
青-蒸-4	1.237	开始析出石盐	4.1116 ± 0.0004	+16.81
青-蒸-5	1.256	石盐	4.1092 ± 0.0022	+16.22
水菱镁矿 (1.071 时析出)			4.09856 ± 0.0058	+13.59
水菱镁矿 (1.10 时析出)			4.09455 ± 0.0051	+12.60
尕斯库勒湖水				
尕-蒸-1 (原始样品)	1.024	文石	4.1023 ± 0.0014	+14.5
尕-蒸-2	1.050	水菱镁矿	4.1064 ± 0.0023	+15.53
尕-蒸-3	1.107	水菱镁矿	4.1072 ± 0.0033	+15.72
尕-蒸-4	1.267	石盐	4.1039 ± 0.0057	+14.91
尕-蒸-5	1.288	石盐+无水芒硝	4.1044 ± 0.0045	+15.03

表 3 某些盐湖湖水与湖底沉积物间硼同位素分馏系数

地 点	湖底沉积物	硼分配系数 $\left(\frac{B_{\text{水}}}{B_{\text{沉}}}\right)$	硼同位素分馏系数
柴达木盆地			
大柴旦湖			
*4-4	灰色碳酸盐质淤泥	0.1706	1.012
*6-6	同上	0.1671	1.013
*8-8	同上	0.1116	1.013
*9-9	同上	0.0331	1.013
尕斯库勒			
△G-1	黑色碳酸盐质淤泥	0.1328	1.015
△G-4	同上	0.3232	1.015
南澳大利亚			
*Eliza 湖	方解石、镁方解石、白云石	0.1176	1.0285
*Coorong 湖	文石、方解石	0.0355	1.019
*Fellmongery 湖	文石、镁方解石、方解石	0.0251	1.021

* 系酸溶处理。

△ 水溶处理。

碳酸盐析出所引起的硼同位素分馏作用在自然界应是比较普遍的,但前人未注意到此问题。从柴达木盆地大柴旦温泉水蒸发实验所获得样品硼同位素测定结果来看,原始母液比重为

1.001, $\delta^{11}\text{B}$ 值为 -0.31‰ ; 在方解石析出后母液比重增至1.029, $\delta^{11}\text{B}$ 值增至 $+1.73\text{‰}$ 。由此同样说明了碳酸盐析出过程中有硼同位素分馏作用存在。另外, 这种作用在自然界也是比较明显的。从大柴旦湖和南澳大利亚某些盐湖来看(表3), 其湖底碳酸盐沉积物中的硼含量比湖水富集得多(数倍至数十倍), 因而这样产生了硼同位素的分馏作用。大柴旦湖湖表卤水与其湖底沉积物硼同位素的分馏系数为1.012—1.013, 南澳大利亚盐湖其分馏系数为1.019—1.029。这两个地区分馏系数的差异, 主要是由于其盐湖成因不同所致(后者与海水有关)。

2.3 青海湖硼同位素的分配及其形成机理的探讨

从表1可以看出青海湖硼同位素的分配与大柴旦湖相似, 湖水 $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ 比值和 $\delta^{11}\text{B}$ 值高于外来补给水, 也高于湖底沉积物。这种情况与青海湖水体的形成和演化有着密切联系。孙大鹏等人在文献[12]中曾指出: “青海湖湖水的演化过程与其沉积过程紧密相联系”, “在此沉积过程中由于大量 CaCO_3 从湖水中沉淀, 导致具有其外围河水组成的青海湖原始水体向当前青海湖湖水的方向演化”。在此沉积作用过程中, 由于硼酸盐-硼与 CaCO_3 (文石和方解石) 共沉淀从而导致硼同位素的分馏作用在湖水与沉积物之间长期不断地进行(尤其是晚更新世以来), 这样就造成了当前青海湖湖水具有较高的 $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ 比值和 $\delta^{11}\text{B}$ 值。又由于海晏湾和尕斯库勒湖水演化于青海湖之前和湖底水菱镁矿等碳酸盐的析出进一步导致其湖水 $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ 比值和 $\delta^{11}\text{B}$ 值高于青海湖本身湖水。此外, 在青海湖演化及其硼同位素组成发生变异的过程中大量有机质富集和粘土沉积对硼的吸附作用也同样会产生硼同位素的分馏作用。

上述青海湖硼同位素地球化学特征是硼的地球化学行为及其在本区活动的特点所决定的, 是水-沉积物长期相互作用的结果。

参 考 文 献

- [1] Spivack, A. J., Edmond, J. M., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1987, 51: 1033—1043.
- [2] Swihart, G. H., Moore, P. B., Callis, E. L., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1986, 50: 1297—1301.
- [3] Palmer, M. R., *Geology*, 1991, 19: 215—217.
- [4] Palmer, M. R., Slack, J. F., *Contrib. Mineral Petrol.*, 1989, 103: 434—451.
- [5] Slack, J. F., Palmer, M. R., Stevens, B. P. J., *Nature*, 1989, 342 (6252): 913—916.
- [6] Masaaki Musashi, Masao Nomura, Makoto Okamoto et al., *Geochemical Journal*, 1988, 22: 205—214.
- [7] Vengosh, A., Chivas, A. R., Mcculloch, M. T. et al., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, 55: 2591—2606.
- [8] Vengosh, A., Starinsky, A., Kolodny, Y. et al., *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1991, 55: 1689—1695.
- [9] 孙大鹏、王蕴慧、祁海平, 科学通报, 1988, 33(11): 855—859.
- [10] Xiao Ying-kai, Sun Da-peng, Wang Yun-hui et al., *Geochimica et Cosmo Chimica Acta*, 1992, 56: 1561—1568.
- [11] 祁海平、王蕴慧、肖应凯、孙大鹏, 科学通报, 1993, 38(7): 634—637.
- [12] 孙大鹏、唐洲、许志强、韩智明, 科学通报, 1991, 36(15): 1172—1174.