# 黄河源区哈江盐池和苦海(豆错) 的地球化学特征研究

周 敬<sup>1,2</sup>,韩凤清<sup>1</sup>,庞小朋<sup>3</sup>,罗重光<sup>1,2</sup>,闫建平<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院青海盐湖研究所,青海西宁 810008,2 中国科学院研究生院,北京 100039,
3. 江苏华东有色地勘局地球化学勘查与海洋地质调查研究院,江苏南京 210007)

摘 要: 黃河源区位于青海省中南部,属青藏高原东北部,面积约 2 28×10<sup>4</sup> km<sup>2</sup>,平均海拔 4 300~5 000 m 2009年 5月对该区的哈江盐池与苦海进行了初步调查研究,对其中的固体和液体样品进行了化学组分,矿 物组成及 X射线能谱的分析与测试。通过对化学组分及水化学特征系数的研究,发现哈江盐池与苦海的阴 离子以硫酸根和氯离子为主,而阳离子以钠和镁离子为主,它们的水化学类型均为硫酸镁亚型。哈江盐池 具有较高的矿化度,是一个干盐湖,仅在多雨季节湖表有少量的卤水存在,而苦海仅是一个咸水湖。哈江盐 池盐类沉积物以石盐为主,苦海底泥矿物成分为石荚、绿泥石以及比较少见的单水方解石。单水方解石存 在说明苦海盐度增加,湖水开始咸化,加之苦海的 Mg/Ca摩尔比值增大,随后的咸水环境及低温为单水方解 石的保存提供了较好的条件。

关键词:黄河源;哈江;苦海;水化学;单水方解石 中图分类号: <sup>P</sup>343 3 文献标识码: A

文章编号: 1008-858X(2010) 03-0018-05

## 0 前 言

黄河源区地理坐标介于 33°55′~35°30′N 与 95°53′~98°23′E之间, 位于青海省中南部, 属青藏高原东北部, 面积约 2 28×10<sup>4</sup> k<sup>n1</sup>, 为 湖盆宽谷带。西部为雅合拉达合泽山, 东界为 阿尼玛卿山西北部, 北为布尔汗布达山, 南为长 江与黄河两大水系分水岭的巴颜喀拉山脉 (如 图 1)。源区平均海拔4304~5000<sup>m</sup>,四周山 地呈东西和北西向延伸。源区地势西北高, 东 南低, 总的地貌特征是一系列近于平行的低山 与宽谷, 相对高度一般 300<sup>m</sup>左右之间。黄河 源地区气候为典型高原大陆性高寒山地气候, 年均气温—4°C, 年均降水量 300~400<sup>mm</sup>, 呈 现高山草甸和草原景观。湖盆一端的约古宗列 曲是黄河的发源地,黄河源有两大湖泊,分别是 扎陵湖和鄂陵湖。鄂陵湖湖水呈青蓝色,水质 好,矿化度0.376<sup>g</sup>/L总硬度为167.23<sup>mg</sup>/L, 叶植为849,水化学类型为HCQ。CT。C<sup>â+</sup> <sup>• M<sup>g+</sup></sup>型。扎陵湖湖水呈灰白色,水质良好,矿 化度055<sup>g</sup>/I左右,水化学类型为HCQ。CT-N<sup>a+</sup> • M<sup>g+</sup>。C<sup>â+</sup>型。黄河源区湖泊类型复杂, 从湖水水化学特征来看,以淡水湖泊为主,如扎 陵湖、鄂陵湖(以后简称"两湖")以及尕拉拉 错、星星海和阿涌吾儿马错;微咸水湖及卤水湖 次之,前者以"两湖"周围的子湖及茶木措湖为 代表,后者以茶措、南错和龙日阿错为代表。从 河湖关系来看,既有吞吐湖,又有无(或有)源 闭流湖和有(或无)源外泄湖<sup>[1-2]</sup>。

2009年 5月对黄河源地区的哈江盐池和 苦海两个湖泊进行了实地考察。哈江盐池距离

收稿日期: 2010-04-08 修回日期: 2010-05-17

基金项目: 国家自然科学基金 (40772079)

作者简介:周 敬(1983-),女,硕士生,主要研究方向为盐湖地球化学。 E-mail quietshil@163. com





图 1 黄河源区简图(上)及哈江盐池(左下)与苦海(右下)概图 Fig 1 Sketch map of Hajiang salt pond and Kuhai

鄂陵湖东岸约 10 km, 是一个干盐湖, 仅中心区 覆盖。苦海位于 ④214 国道附近, 西岸距离花 域存在少许卤水, 大多数地方由石盐层和淤泥 石峡镇约 33 km。两个湖泊概况见表 1。

表 1 哈江盐池和苦海概况

Table 1 Sur	vey of Hajiang	sa]t pond	and Kuhai
-------------	----------------	-----------	-----------

名称	面积 / km <sup>2</sup>	<b>海拔</b> /m	地理座标	水深 / m	沉积状况
哈江 盐池	10. 4	4 247	35°01′24″~ 35°03′17″N 97°52′55″~ 97°55′08″E	10	盐类沉积
苦海	45	4 126	35° 15′14″ ~35° 21′24N 99° 06′40″~99° 13′27″E	50~100	湖底淤泥

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

#### 1 样品采集及测试

1.1 样品采集

卤水样品直接用塑料桶采取,采样前先用 所取卤水洗涤 5次,采样量为5 认现场封口作 为实验室分析。固体样品采用塑料样品袋封 装,保存。具体采样情况见表 2。

1.2 测试方法

卤水样品元素分析项目包括 N<sup>a<sup>+</sup></sup>、K<sup>+</sup>、 C<sup>a<sup>+</sup></sup>、M<sup>g<sup>+</sup></sup>、HCO<sub>3</sub>、CO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>-</sup>、CI、L<sup>†</sup>、 B<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、IFI值及密度。常量离子、B<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、微量元 素 L含量、IFI值及密度,根据《卤水和盐的

表 2 黄河源区采样点概况

Table <sub>2</sub>	Summary	of sampling	'n Yellow F	₹iver s	source area
--------------------	---------	-------------	-------------	---------	-------------

样品类型	样品编号	样品名称	样点座标
——————————————————————————————————————	HJ-2	哈江盐池	35°03′28. 02″N 97°54′39. 54″E
洲农凶小	KHL-1	苦海	35° 20′ 35. 58″N 99° 11′ 34. 86″E
沉积物	HJ1-1	哈江盐池	35°03′28. 02″N 97°54′39. 54″E
	KH-1	苦海	35°20′52. 08″N 99°11′43. 68″E
	KH-2	苦海	35°20′38. 70″N 99°11′38. 10″E

分析方法》<sup>[3]</sup>在中科院青海盐湖所分析测试部 进行。其中 K<sup>+</sup>、SQ<sup>-</sup> 采用常规重量法(误差 小于 0 5%); C<sup>a<sup>+</sup></sup>、M<sup>g+</sup>、HCQ<sup>-</sup>、CQ<sup>-</sup>及 C1 采用滴定法(误差小于 0.2%); 差减法计算 N<sup>a<sup>+</sup></sup>的含量; B<sub>2</sub>Q含量使用甘露醇法(误差小 于 2%)。微量元素 L<sub>i</sub>原样稀释 100倍后,采 用磷酸钠原子吸收光谱法(GBC-908)(RSD<

2%)。固体样品分析测试在青海盐湖所分析 测试部采用 XRD( XperPr)及 X射线能谱分析 ( EDS;87)完成, XRD确定矿物组成,利用 EDS 对底泥样品采用无标样定点、线分析法,测定元 素组成的质量分数,进行 X射线能谱微区化学 成分分析。

表 3 黄河源区哈江和苦海常量离子特征

Table 3 Characteristics of ordinary on in Hajiang salt pond and Kuhai mg/L

编号				项	目					水化学米刑
	HCO	$CO_3^{2-}$	CF	$SO_4^{-}$	$K^+$	Na+	$Ca^{p+}$	M&+		小心于天堂
KHL-1	675	96	8 3 18	4 810	156	4 394	59	1 836	20. 4	硫酸镁亚型
HJ-3	990	—	9 1497	14 126	631	92 839	887	19 637	220. 6	硫酸镁亚型

## 2 结果与讨论

#### 2.1 常量与微量元素地球化学特征

根据测试结果 (表 3)可见, 苦海的矿化度 仅为 20.4  $^{g}/L$ 未达到盐湖标准, 为咸水湖; 而 哈江盐池的矿化度达到 220  $^{g}/L$ 是一个非常典 型的盐湖。来自苦海的样品 KHL4 阳离子含 量顺序为  $N^{a}$ 、 $M^{g+}$ 、 $K^{+}$ 、 $C^{a+}$ , 来自哈江的样 品 HJ—2阳离子含量顺序为  $N^{a^{+}}$ 、 $M^{g+}$ 、 $C^{a^{+}}$ 、  $K^{\dagger}$ 。二者的  $N^{d}$ 含量都在阳离子中占绝对优势, 分别占阳离子总量的 68%与 88%。二者的 阴离子含量顺序从大到小均为 CI、 $Q_{4}^{-}$ 、  $HQQ_{5}^{-}$ 、 $Q_{3}^{-}$ 。样品 KHL<sub>4</sub>与 HJ<sub>2</sub>的 BQ分 别为 33 <sup>mg/</sup>I与 118 <sup>mg/</sup>L, L<sup>†</sup>分别为 0.8 <sup>mg/</sup>L 与4 <sup>mg/</sup>L, 可见苦海和哈江盐池中的 BQ、微 量元素 L<sup>†</sup>含量均不高, 只是哈江盐池中的微 量元素 BQ、L<sup>†</sup>含量高于苦海。根据瓦利亚 什科的分类原则, 苦海与哈江盐池的水化学类 型均为硫酸镁亚型。

#### 2.2 黄河源区湖泊沉积矿物学特征

根据此次野外调查, 哈江盐池湖表为盐层 覆盖, 对所取固样 HJ1通过 XRD进行矿物成 分分析 (图 2)鉴定为石盐。而对苦海湖底沉积 物样品 KH-1矿物成分分析得知其矿物成分为 石英、方解石以及绿泥石。另一样品 KH-2其 矿物成分除前面提到的 3种矿物外还含有单水 方解石。绿泥石是岩石风化早期阶段产物, 冷 干气候条件下由物理风化作用形成。单水方解 石(CaQ, H, O)是一种少见的含水碳酸盐矿 物, 具有重要的环境意义, 由于不稳定而很少出 现。在吉尔吉斯斯坦境内的伊塞克湖<sup>[4]</sup>及我 国西藏纳木错、柴达木盆地的苏干湖<sup>[5]</sup>的湖底 沉积物中也有发现。单水方解石属三方晶系, 空间群  $I_{3}^{0}$ -B<sub>21</sub> 或  $I_{3}^{0}$ -B<sub>12</sub> 晶胞参数 8 =1.0602 <sup>m</sup>, 8 = 0.7548 <sup>m</sup>, Z =9,柱状晶体,天 然产出者晶体细小,呈纤维状集合体<sup>[6]</sup>。单水 方解石的形成经过化学沉积过程,  $C_{4}^{2^{+}}$ 先与 HCO<sub>3</sub> 相结合, 然后 再与 OH 结合而成 C<sub>2</sub> CO<sub>3</sub> · H<sub>2</sub>Q反应进行的条件是生成自由能  $\Delta G < 0^{7}$ 。

单水方解石是一种过渡态矿物,通常在高 盐度和高 <sup>Mg/C</sup> 化的水化学条件下沉淀<sup>[8-9]</sup>, 这与苦海现代湖水化学状况吻合,苦海为咸水 湖 (矿化度 20.4 <sup>g/L</sup>), <sup>Mg/C</sup> 摩尔比值 (36 5) 较高,另外咸水环境和低温则是该矿物保存的 必要条件。

表 4 沉积物 X射线能谱分析

Table4 X-ray energy spectrum analysis of sedments

样只给早						样品组分	的质量:	分数 /%					
ᆥᆂᇚᆁᆐᄾ	С	0	Na	Mg	Al	Si	S	Cl	Κ	Ca	Fe	Ti	Pb
H⊣1	_	15 2	30. 2	2 0	_	-	0.58	49 6	_	04	_	—	2.5
KH-1	18. 0	50 8	1. 3	16	5.3	13 2	0.5	0 6	1. 9	4 5	2.2	_	—
KH-2	58	58 4	0.7	14	3.8	10 4	0.4	06	1.4	14 8	2.1	0 2	—



图 2 湖底沉积物样品的 X衍射图 (上图:样品 HJI-1,中图:样品 KH1-1;下图:样品 KH1-2) Fig 2 XRD diffraction diagram of bottom mud samples

#### 2.3 黄河源区湖泊沉积物元素含量

<sup>2</sup>射线能谱测试得到主要元素及部分杂质 元素的定性和定量信息,结果见表 4. 哈江的 石盐沉积,主要元素为 N<sup>a</sup>和 Cl二者含量占 70%以上,其它元素为 <sup>Mg</sup> Ca K 苦海湖底沉 积物氧元素的含量超过 50%, Si C Ca元素含 量次之,含有少量的 <sup>Na</sup>和 Cl

### 3 结 论

1)虽然黄河源区淡水湖泊众多,但大部分 湖泊属非封闭的湖泊,其蒸发量大于降雨量4~ 5倍,出现哈江盐池这样的干盐湖,物源的作用 可能比其他地区盐湖要大一些,当然也不能否 认圈闭构造和气候的作用。干旱年份,降雨量 少,蒸发强烈,使湖水位下降,湖水咸化加剧,使 小湖泊变成季节性湖泊,甚至变成小盐湖。

2)哈江盐池和苦海的水化学类型同属硫酸镁亚型,不过哈江盐池具有较高的矿化度,是

一个干盐湖,仅在多雨季节湖表有少量的卤水 存在,而苦海仅是一个咸水湖。

3)哈江盐池和苦海的水化学组分阴离子 以硫酸根和氯根为主,而阳离子以钠和镁离子 为主,其它的含量离子是碳酸氢根离子、碳酸根 离子、钙离子与钾离子。

4)哈江盐池矿物成分以石盐为主, 元素分 析表明除了主要元素钠、氯外, 还有氧、硫, 表明 含有硫酸盐型矿物。苦海底泥沉积物矿物类型 主要为石英、方解石以及绿泥石, 另外湖泊沉积 物中还含有自然界比较少见的单水方解石矿 物。单水方解石目前在我国仅在高寒的西藏纳 木错和干燥的柴达木盆地苏干湖有所发现, 在 青南地区是首次发现, 该矿物的出现指示苦海 湖水盐度增加, <sup>Mg/C</sup>化值增大。 的沉积特征及环境意义[J.高原地震, 2009, 21(01): 32 -35.

- [2] 尚小刚,张森琦,马林,等.黄河源区湖泊萎缩的原因初步分析[].高原地震,2006,18(02):49-54
- [3] 中国科学院青海盐湖研究所分析室. 卤水和盐的分析方 法[M.北京:科学出版社. 1988. 35-64. 252-263.
- [4] Sapozhnikov D G Zvetkov A J Separation of aqueous calcium carbonate on the bottom of Lake IssYk-Kul J. Dokladay Akademii N auk SSSR 1959 124 (2): 402-405
- [5] 周爱锋,陈发虎,强明瑞,等.内陆干旱区柴达木盆地苏 干湖年纹层的发现及其意义[J].中国科学 D辑,2007, 37(7):941-948
- [6] 何法明, 刘世昌, 白崇庆, 等. 盐类矿物鉴定手册 [<sup>M</sup>]. 北 京: 化学工业出版社, 1988, 227-228
- [7] 李明慧,朱立平,康世昌.西藏纳木错沉积物中单水方解石的发现及成因分析[J].矿物岩石,2008,28(1):1-7
- [8] 戴永定. 生物矿物学 [<sup>M</sup>]. 北京: 石油工业出版社, 1994 13-71.
- [9] Skinner H CW, O shaki ston G W, W iher A N Monohydro. calcite in a guinea pigbladder stone a novel occurrence J. American Minera kg ist 1977, 62(3-4): 273-277.

#### 参考文献:

[1] 陈有顺,魏海成,李善平.黄河源区日玛曲流域古堰寒湖

## Prelim inary Investigation of Hajiang Salt Pond and Kuhai Lake in Yellow R iver Source A rea

ZHOU Jing<sup>2</sup>, HAN Feng qing, PANG X iao peng, IUO Chong guang<sup>2</sup>, YAN Jian ping<sup>2</sup>

- (1. Qinghai Institute of Salt Lakes Chinese Academy of Sciences Xining 810008 China
  - 2 Graduate University of Chinese Academy of Sciences Beijng 100039, China
- 3 Institute of Geochem ical and Marine Geological Survey East China Mineral Exploration and Development Bureau for Nonferrous Metals Nanjing 210007, China)

A bstract The Yellow R iver source region is located in the central and southern Qinghai province and in the northeastern part of Qinghai Tibet Plateau with the area about 22 800 km<sup>2</sup> and average elevation of 4 304 ~ 5 000 m. In May 2009, a preliminary investigation has been done for the solids and liquid sam. Ples from the Hajiang salt pond and Kuhai lake by hydrochemical composition mineral composition and X- ray energy dispersive analysis. In these samples, sulfate and chloride are the main anions, and sodium and magnesium are the main cations, which indicate their hydrochemical types are magnesium sulfate subtype. Hajiang salt pond is actually a playa, with a high salinity and a small amount of brine in rainy season, while Kuhai is a brackish lake. Sediments from Hajiang salt pond are mainly rock salt and the sediment mineral composition of Kuhai are quartz calcite, chlorite and monohydrocalcite (CaCO<sub>3</sub> ~ H, O<sub>1</sub>, indicating increased salinity in Kuhai lake

Key words Yellow River source area, Hajang salt pond Kuhai lake Hydrochemistry Monohydrocalcite