

可可西里盐湖及其沉积特征初步研究

庞小鹏^{1,2}, 韩凤清¹, 吕亚平¹, 罗重光^{1,2}, 周 敬^{1,2}

(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)

摘 要:通过对可可西里地区盐湖的沉积学、地球化学和遥感学的研究,发现该地区盐湖的水化学类型多数为硫酸镁亚型,个别为氯化物型,而没有碳酸盐型盐湖。盐湖水化学特征为矿化度高, pH 值中性到偏弱酸性,密度在 1.10 g/L 左右; B L 微量元素具有共生元素对属性, SrBa AsHg 等具反生元素对属性。盐湖中的锂、硼等物质很可能来自于与火山和断裂构造有关的地下热泉。沉积的盐类矿物主要为石盐、芒硝、无水芒硝,另有少量的水钙芒硝、白钠镁矾、方解石、石膏、菱镁矿等盐类矿物。依据现有数据和沉积剖面推测,可可西里最早的盐类沉积很可能达到 60 ka 左右。

关键词:可可西里;盐湖;基本特征;古气候
中图分类号: P534. 63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008—858X(2010)01—0009—06

引 言

自然界的盐湖主要分布于地球表面的干旱和半干旱气候带,大致划分为北半球盐湖带和南半球盐湖带。另外,沿东非裂谷也有一个盐湖分布带。南半球盐湖带集中分布在南纬 20°~30°,其最有代表性的盐湖有纳米比亚的埃托沙干盐湖、博茨瓦纳的 Makgadikgadi 干盐湖^[1]、澳大利亚的 Eyre 湖和 Prine 湖、智利的 Atacama 湖^[2]和玻利维亚的 Uyuni 湖^[3]。北半球盐湖带主要盐湖区集中于北纬 30°~40°之间,主要有阿尔及利亚和突尼斯的干盐湖、利比亚的艾季达比亚和埃及马特鲁的干盐湖、土耳其的 Tuz Golu 湖^[4]、以色列的死海^[5]、伊朗的 Fars 湖和 Umi a 湖^[6]、美国的大盐湖和 Searles Lake。

中国盐湖分布于北纬 30°~45°之间,是北半球盐湖带的重要组成部分。青藏高原盐湖区向来受国内外广泛关注,可可西里盐湖区是青

藏高原盐湖区中的一个重要的亚区。由于该地区处于青藏高原的腹地,自然条件极端严酷,对该地区自然与环境的考察很少,各类研究资料比较缺乏。近年来,青藏高原科学考察和研究不断深入,特别是 1989 年和 1990 年可可西里地区的综合科学考察对该地区的自然环境有了初步的认识^[7],该地区的湖泊及其沉积环境得到了初步的研究^[8-9]。此外,还对可可西里地区的现代冰川、火山岩、地层、地震以及现代环境进行了考察^[10-11]。这些工作对开展可可西里地区盐湖的研究起到了先导的作用。

1 研究区概况

1.1 地质概况

可可西里地区介于北纬 34°~36°,东经 89°30'~94°30',面积约为 8.2×10⁴ km²,平均海拔约 5 000 m。

收稿日期: 2009—05—12; 修回日期: 2009—12—17
基金项目: 国家自然科学基金 (40772079)
作者简介: 庞小鹏 (1983—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为盐湖矿床学。
通信作者: 韩凤清。 E-mail: hanfq@isl.ac.cn

可可西里地区湖泊众多,据初步统计,面积超过 1 km^2 的有 359 个,其中含盐沉积的 21 个,咸水与半咸水湖 172 个,淡水湖 166 个,分别占区内湖泊总数的 5.8%、48%、46.2%。区内湖泊以半咸水、咸水湖数量最多,淡水湖次之,而具有盐类沉积和湖水矿化度大于 50 g/L 的盐湖并不多。总的来说,该区成盐作用尚不强烈,大多数湖泊处于由咸水湖向盐湖演化的阶段,与其北部相邻的柴达木盆地最早成盐期相比较^[12],这里成盐时代较新,成盐强度亦弱。

1.2 可可西里盐湖简介

前人认为可可西里盐湖有勒斜武担湖、盐

湖、西金乌兰湖、苍错、明镜湖等 5 个^[8]。作者根据对前人资料的分析^[13-14]和遥感地质解译,认为多秀盐湖(69道班西)、苟鲁错、布查盐湖、茶错等也是盐湖,因此可可西里盐湖至少达到 9 个(表 2)。

该区大的盐湖主要分布在可可西里的西部(勒斜武担湖、明镜湖和西金乌兰湖)和北部(多秀盐湖),一些较小盐湖分布在东南部(苟鲁错和茶错),这与该区降雨量由东南向西北部逐渐降低的趋势是一致的,气候环境应是盐湖形成的主要因素。

表 1 可可西里地区主要盐湖特征一览表
Table 1 Main characteristics of salt lakes in Hoh Xil region

湖名	地理位置 北纬 东经	海拔 /m	面积 / km^2	水深 /m	水化学 类型*	湖泊沉积简况
勒斜武担湖	35°46′/90°12′	4 867	227.0	1.5	C1	岸边有季节性石盐
西金乌兰湖	35°14′/90°22′	4 769	346.2	4.7	SM	湖底有石盐,芒硝,石膏等
明镜湖	35°04′/90°34′	4 790	88.1	—	SM	石盐沉积
苟鲁错西端子湖	34°45′/92°15′	4 660	0.6	—	C1	石盐沉积
苟鲁错	34°36′/92°28′	4 665	23.5	1.3	SM	有卤虫
茶错	34°22′/92°43′	4 527	6.50	—	SM	淤泥
布查盐湖	34°03′/92°42′	4 460	0.3	0.2	SM	石盐沉积
苍错湖	34°28′/92°43′	4 570	0.25	0.3	SM	石盐沉积
盐湖	35°32′/93°24′	4 440	32.8	2.0	SM	石盐+白钠镁矾+水钙芒硝+无水芒硝+石膏
多秀盐湖	35°25′/93°29′	4 400	4.0	0.5	SM	石盐,有地表卤水,发育很多盐溶洞

*: SM—硫酸镁亚型; C1—氯化物型

湖水浅是可可西里地区盐湖的普遍规律,湖水深度一般为几十厘米到几米。最大的盐湖西金乌兰湖,湖水面积为 346 km^2 ,实测水深 4.7 m ^[7];而最浅的是布查盐湖,仅有 0.2 m 。可可西里地区诸盐湖的平均含盐量为 227.2 g/L 最高可达 357.5 g/L (苍错)(表 2)。该地区的盐湖中大都富集硼、锂等稀有元素,硼的平均含量为 157.6 mg/L 其中苍错盐湖中硼的含量高达 608.0 mg/L ;锂的平均含量为 291.0 mg/L 锂的含量高达 930.8 mg/L ^[13](表 3)。

2 样品采集及测试方法

采集水样不加化学稳定剂,所有样品均由

中科院青海盐湖所实验室完成(表 2 和表 3)。水样主要化学组分采用常规化学分析法,用重量法测定钾和硫酸根,测试精度 1%左右;用滴定分析方法测试钙、镁、硼、碳酸根、碳酸氢根和氯,测试精度为 0.2%~0.3%。硼采用吸光光度法,测试精度为 1%^[15]。

水样中的微量化学元素采用 ICP-3520 光谱仪测定,测试精度 10%~15%^[15]。年代数据采用 U 系法测定,由中科院青海盐湖所实验室测定,年龄误差在 5%左右。

3 盐湖的水化学特征及微量元素组合规律

3.1 盐湖主要元素水化学特征

从对所有盐湖样品所测得的平均值(表 2)

可知: Na^+ 为 68.84 (g/L 下同); K^+ 为 3.06; Mg^{2+} 为 9.04; Ca^{2+} 为 1.55; Cl^- 为 130.49; SO_4^{2-} 为 12.50; CO_3^{2-} 为 0.06; HCO_3^- 为 1.01; 阳离子的比值 $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$ 为 44.41/1.97/5.83/1, 阴离子的比值 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}/\text{CO}_3^{2-}/\text{HCO}_3^-$ 为 129.20/12.38/0.06/1。

由上述数据得知, 盐湖中的 Na^+ 、 K^+ 和 Mg^{2+} 分别是 Ca^{2+} 的含量的数倍至数十倍, 而 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 与 HCO_3^- 的含量变化范围特别大。这些变化表明, 湖泊水体中阳离子含量比率较稳定, 阴离子含量比率相差较大。另外统计资料也表明^[8], 湖水在由淡水湖经半咸水湖、咸水湖往盐湖的水体变质过程中, 其主要组分的含量是累积增长的, 仅有 CO_3^{2-} 离子含量在盐湖中呈下降的态势。当湖水主要组分如 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 的含量达到一定浓度时, 便会导致某种盐类的结晶及析出; 而微量元素除部分受盐类矿物晶格置换作用和粘土矿物沉降吸附作用发生少量的带出减少外, 大部分微量元素在湖水中以离

子态的形式继续滞留下来 (不同元素有不同的滞留时间), 并且在湖水前进 (或正向) 变质过程中发生微量元素组分的浓集, 以至形成有利用价值的卤水资源。

各个盐湖的矿化度平均 227.2 g/L 在空间上呈现一个西北高东南部低的分布特征; 西北部的盐湖面积比东南部的盐湖也大得多, 而且部分盐湖已经干涸变成了干盐滩, 如多秀盐湖。

可可西里地区的盐湖 pH 值平均值为 7.23, 属中性, 但个别盐湖如苟鲁错湖 pH 值为 8.40, 呈弱碱性; 苟鲁错西端子湖和苍错 pH 值较低, 为 6.70, 呈弱酸性。盐湖酸碱度的主要特点是: 1) 分布于可可西里西部的勒斜武担湖、西金乌兰湖等 pH 为中性; 可可西里中部的苟鲁错湖明显偏碱性; 而可可西里东部的盐湖如苍错等已经呈弱酸性了; 2) 盐湖的 pH 值随矿化度的增加而降低。由表 2 可以看出, 随着盐湖矿化度的升高, pH 值有明显的下降趋势。密度在 1.02 ~ 1.25 g/mL 之间变化。

表 2 可可西里地区盐湖水体主要化学组分												
Table 2 Chemical composition of salt lakes in the Hoh Xil region												
湖泊名称	数据 来源	密度 / (g/mL)	pH	矿化度 / (g/L)	化学组分 /(g/L)							
					Na^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	$\text{CO}_3^{2-} /$ (mg/L)
西金乌兰湖	1	1.16	7.13	256.7	93.0	3.13	2.48	1.28	152.4	4.11	0.370	10.8
勒斜武担湖	1	1.09	7.00	135.5	44.8	2.32	2.19	2.85	81.1	2.11	0.166	9.1
盐 湖	1	1.15	6.85	221.4	72.4	1.93	6.68	0.462	123.3	15.9	0.892	—
盐 湖	2	—	—	314.7	94.1	2.5	10.7	—	183.7	—	—	—
明镜湖	1	1.08	7.80	105.4	34.3	1.08	3.54	0.227	60.1	5.66	0.407	61.2
苟鲁错湖	1	1.02	8.40	33.7	11.8	0.433	0.880	0.139	17.7	2.14	0.417	172.9
苟鲁错西 端子湖	1	1.21	6.70	307.6	105.1	3.19	4.82	5.45	187.7	0.865	0.404	—
苍 错	1	1.25	6.70	357.5	63.8	11.0	40.1	—	179.6	58.5	4.39	—
多秀盐湖 (69道班)	2	—	—	—	100.3	1.95	10.0	0.408	188.8	10.7	—	—

(1, 据胡东生, 1997; 2, 据任振基等, 1988)

3.2 盐湖微量元素水化学特征及分布规律

可可西里地区湖水中微量元素的含量及其组合各有差异, 相应流域内微量元素的含量也不相同。从整体而言, 可可西里地区水体中 B、Li、Sr、Ba、As、Hg 等元素含量较高, 在

盐湖中有富集的趋势 (表 3), 可能说明可可西里地区的岩石或热泉都富含丰富的稀有元素。

水体中富含稀有分散元素化学组分, 一方面与区域地球化学背景有关, 另一方面与湖水演变有关。经过对微量元素分布状态及组合的

表 3 可可西里地区水体微量元素含量一览表

Table 3 Content of microelements in salt lakes of the Hoh Xil region (mg/L)

地点	数据来源	B	Li	Sr	Ba	As	Hg
西金乌兰乌湖	1	89.85	100.6	26.75	0.224	2.04	0.205
勒斜武担湖	1	88.00	171.0	0.333	0.533	0.567	0.167
盐湖	1	40.00	62.0	5.00	0.050	4.35	0.450
苟鲁错	1	14.25	8.25	6.35	0.033	0.475	0.110
苟鲁错西端子湖	1	238.0	111.0	236.0	2.00	7.00	0.600
苍错	1	608.0	389.0	14.00	0.200	12.0	1.00
盐湖	2	83.4	930.8	46.0	—	—	—
多秀盐湖 (69道班盐湖)	2	99.3	555.0	33.4	—	—	—
泉水	1	1.90	0.406	0.680	0.032	0.078	0.009
勒斜武担湖水系	1	0.450	0.150	0.250	0.015	0.100	—
西金乌兰乌湖水系	1	0.650	0.525	0.668	0.055	0.005	—
布坎达坂气泉 (深部)	1	180.0	96.0	56.00	16.0	46.0	0.060
布喀达坂气泉 (浅部)	1	0.500	0.010	0.070	0.040	0.100	0.002
红水河	1	4.37	2.22	1.47	0.067	0.333	0.001

(1:据胡东生, 1997; 2:据任振基等, 1988)

综合分析发现,可可西里地区水体中微量元素表现出一些特征地球化学属性——元素对。有些元素对具有协同增长关系,称为共生元素对;有些元素对具有反消长关系,称为反生元素对。

共生元素对。可可西里地区水体中 B、Li 分布趋势清晰地表明,二者含量变化在同一数量级范围以内。从区域含量变化趋势上看,B、Li 元素存在协调消长的特征,说明二者的物质来源、搬运条件及富集环境具有相似性。

反生元素对。其含量本底相差 10 mg/L 具有高含量的元素称为元素对的主元素,具有低含量的元素称为元素对的副元素。Sr-Ba 元素对中, Sr 为主元素, Ba 为副元素; As-Hg 元素对中, As 为主元素, Hg 为副元素。Sr-Ba、As-Hg 分布趋势表明,在具有盐类沉积的盐湖卤水中呈相对富集状态,而在未饱和的盐湖卤水中,元素对的主、副元素存在反消长关系。这种变化状态表明, Sr-Ba、As-Hg 元素对的主、副元素的物质来源具有相反的地球化学特征,从而决定了主、副元素本底值的反消长关系。

4 盐湖形成年代

可可西里地区部分湖水的含盐量已经达到盐湖的标准,但是有大量盐类沉积的湖泊比较少。从图 1 可以看出,西金乌兰湖是可可西里地区盐类沉积较厚的盐湖之一,目前揭露的盐层厚度至少有 50 cm,其间有明显的沉积间断面(距地表约 30 cm)。据中科院青海盐湖所实验室 1992 年对沉积间断面上下石盐的 U 系法年龄测定,间断面上部石盐的年龄为 11 ka,下部为 22 ka 显示该沉积间断已持续了 11 ka 早在 22 ka 以前就已经有石盐沉积了,而且在 11~22 ka 之间是一个相对暖湿的气候环境。假设沉积速率不变,推测其开始沉积石盐的年龄应该在 30 ka 左右。有人推测西金乌兰湖干盐湖底的石盐层沉积厚度至少 1.5 m^[7],西金乌兰湖开始沉积石盐的年龄应该在 60 ka 左右,这个时间段正好与晚更新世的古气候变得干冷相呼应。但是,与柴达木盆地第四纪盐湖的最早成盐年龄数百万年相比^[12],可可西里地区还是一个非常年轻的盐湖成盐区。

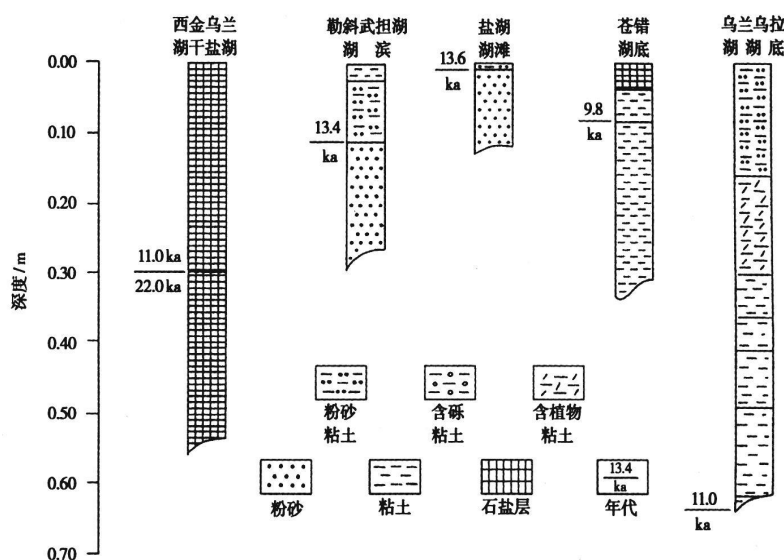


图 1 可可西里地区盐湖沉积地质剖面对比图^[7]

Fig 1 Profile section correlation of salt lakes in the Hoh Xil region^[7]

5 结 语

可可西里地区的湖盆主要是由晚新生代以来的青藏高原整体持续抬升中的差异运动(相对沉降作用)所形成。可可西里地区盐湖沉积历史很短,依据现有数据和沉积剖面推测,可可西里最早的盐类沉积很可能为 60 ka 左右。湖泊大多处于咸水湖阶段,进入饱和卤水自析盐的盐湖数目不多。目前发现的盐类矿物组合主要属石盐沉积,该区盐湖的演化尚未达到氯化物沉积的最后阶段,表明含盐盆地的成盐作用方兴未艾。该地区盐湖的水化学类型多数为硫酸镁亚型盐湖,个别为氯化物型盐湖,而没有碳酸盐型盐湖。沉积的盐类矿物主要为石盐、芒硝、无水芒硝。盐湖化学特征为矿化度高, pH 值中性到偏弱酸性,密度 1.10 g/l 左右。该区分布较多的泉水、热泉和泉华析出物,是本区地热活动频繁的反映,深层水的长期补给,是湖盆成盐物质的主要来源之一。整个可可西里地区都有盐湖分布,这说明该地区很多湖泊已经开始进入盐湖演化阶段了,由于构造、气候的原因,东部的盐湖面积比较小,而西部的盐湖面积比较大。该区的水化学特征表明,该地区存在

元素共生组合关系,且整个可可西里地区都富有硼、锂等稀有元素,这对今后寻找硼、锂等盐湖矿床有重要的指导意义。

参考文献:

- [1] Eckardt F D, Bryant R G, McCulloch G, et al The hydro-chemistry of a semi-arid pan basin case study: Sua Pan, Makgadikgadi Botswana [J]. Applied Geochemistry, 2008, 23(6): 1563-1580.
- [2] Kampf S K, Tyler S W, Ortiz C A, et al Evaporation and land surface energy budget at the Salar de Atacama Northem Chile [J]. Journal of Hydrology, 2005, 310(1-4): 236-252.
- [3] Banks D, Markland H, Smith P V, et al Distribution, salinity and pH dependence of elements in surfacewaters of the catchment areas of the Salars of Coipasa and Uyuni Bolivian Altiplano [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2004, 84(3): 141-166.
- [4] E. Tekin T, Ayyıldız I, Gündoğan, et al Modern halolites (halite oolites) in the Tuz Gölü Turkey [J]. Sedimentary Geology, 2007, 195(3-4): 101-112.
- [5] Möller P, Rosenthal E, Geyer S, Guttman J, et al Hydro-chemical processes in the lower Jordan valley and in the Dead Sea area [J]. Chemical Geology, 2007, 239(1-2): 27-49.
- [6] Morteza D, Jacques-Louis B, Madjid S, et al A late Pleistocene long pollen record from Lake Urmia NW Iran [J]. Quaternary Research, 2008, 69(3): 413-420.

- [7] 李炳元, 顾国安, 李树德 . 青海可可西里地区自然环境 [M]. 北京: 科学出版社, 1996, 47—83.

[8] 胡东生. 可可西里地区湖泊水体地球化学特征 [J]. 海洋与沼泽, 1997, 28(2): 153—164.

[9] 郑喜玉, 张明刚, 徐昶, 等 . 中国盐湖志 [M]. 北京: 科学出版社, 2002, 178—188.

[10] 李世杰, 李树德 . 青海可可西里地区第四纪冰川与环境演化 [J]. 冰川冻土, 1992, 14(4): 316—323.

[11] 史连昌, 郭通珍, 杨延兴, 等 . 可可西里湖地区新生代火山岩同位素地球化学特征及火山成因、源区性质讨论 [J]. 西北地质, 2004, 37(1): 19—25.
- [12] 黄麒, 韩风清 . 柴达木盆地盐湖演化与古气候波动 [M]. 北京: 科学出版社, 2007, 91—92.

[13] 任振基, 郝太平, 王强 . 不冻泉幅 I—46—4 1/20 万区域地质调查报告 (矿产部分) [R]. 1988, 13—19.

[14] 陈方本, 郑冠军 . 沱沱河幅 I—46—15 章岗日松幅 I—46—16 1/20 万区域地质调查报告 (矿产部分) [R]. 1989, 28—31.

[15] 中科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.

A Preliminary Study of Salt Lakes and Their Sedimentary Characteristics in Hoh Xil Region

PANG Xiao-peng^{1, 2}, HAN Feng-qing¹, LÜ Ya-ping¹, LUO Chong-guang^{1, 2}, ZHOU Jing^{1, 2}
 (1. Qinghai Institute of Salt Lakes Chinese Academy of Sciences Xining 810008, China;
 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences Beijing 100039, China)

Abstract: Based on sedimentologic, geochemical and remote sensing analysis of the salt lakes in Hoh Xil region, the authors discovered that most of the salt lakes are sulfate type, a few of them are chloride type and there is no carbonate type in hydrochemistry. The common evaporates are halite, mirabilite and the-
 nardite and there are a few quantity of hydroglauberite, bloedite, calcite, gypsum and magnesite. The
 depositional history of salt lakes is very short in Hoh Xil, which is only about 30 ka. According to the ex-
 isting data and sedimentary section, it can be said that the oldest sedimentary time is about 60 ka. The
 salt lakes are high salinity, salineness and neutral to weak acid in pH value. The density is 1.10 g/L ap-
 proximately. There are coordinative element couple B-Li and antagonistic element couples Sr-Ba or As-
 Hg, B-Li elements in the lakes probably come from underground hot springs related to volcanic and fault-
 ing activity. The results provide a scientific basis to understand the evolution of salt lakes and the envi-
 ronment changes in Hoh Xil.

Key words: Hoh Xil, Salt lakes, Characteristic, Palaeoclimate