

文章编号: 1000-0550(2014)01-0093-08

全新世以来巴里坤湖面积变化及气候环境记录^①

汪海燕¹ 岳乐平¹ 李建星² 杨利荣¹

(1. 西北大学地质系 大陆动力学国家重点实验室 西安 710069; 2. 中国地质调查局西安地质调查中心 西安 710054)

摘要 通过新疆北天山东段巴里坤山北麓巴里坤湖及周缘地区7个剖面的沉积相带划分、OSL测年、粒度分析、磁化率测试,研究了全新世以来巴里坤湖区湖面积变化:14 000 a B. P. 末次冰盛期晚期,东天山地区冰川发育,由于水体封存于巴里坤山冰川,导致巴里坤湖萎缩至1#剖面以北。8 000~4 000 a B. P. 巴里坤山冰川融化,巴里坤湖扩张进入全新世以来最大湖期,湖泊扩张至1#剖面以南,面积达到600 km²。东天山地区温暖湿润的全新世适宜期为8 000~4 000 a B. P.。其后湖泊逐渐萎缩,4 000~2 000 a B. P. 湖泊面积大约470 km²。2 000~1 000 a B. P. 面积萎缩至380 km²。在1 500 a B. P. 左右湖泊曾经基本干涸,在目前湖心地带出现泥坪沉积。其后巴里坤湖进入小湖期,湖泊面积在100 km²范围波动,时有扩张或干涸。全新世巴里坤湖水位变化主要受北半球夏季太阳辐射变化控制,具体表现在北半球冰盖由扩张转为融化背景下,全新世早期巴里坤山冰川发育和全新世中期的巴里坤湖冰川融水的注入扩张;巴里坤地区受东亚夏季风影响甚弱,西风环流带给的水量补充有限,全新世中晚期巴里坤地区向干旱环境发展。

关键词 巴里坤湖 湖面变化 古气候 古环境 全新世

第一作者简介 汪海燕 女 1981年出生 助理研究员 第四纪地质学 E-mail: hywang@nwu.edu.cn

中图分类号 P532 **文献标识码** A

0 引言

湖泊沉积有着良好的第四纪气候环境记录,近十多年来中国西北地区湖泊气候环境记录研究取得很大进展,郑喜玉等1995年^[1]研究了新疆地区的盐湖沉积。青海湖钻探计划项目也取得丰硕成果:Liu Weiguo *et al.* 通过碳氧同位素研究了青海湖气候环境记录^[2]。Xu H *et al.* 讨论了青海湖的温度变化^[3], Shen J *et al.* 研究了青海湖18 000年来古气候变化^[4], 宋春晖等研究了青海湖现代滨岸沉积微相及其特征^[5], 刘向军等研究了青海湖第四纪湖面变化^[6], 这些成果为湖泊研究提供了科学理论和先进的技术与方法。

巴里坤湖记录了丰富的气候环境信息,多年来很多科学家对巴里坤湖进行了研究,袁宝印、魏兰英、王振海等探讨了巴里坤湖15万年以来古水文演化^[7]; 韩淑媿、董光荣研究了巴里坤湖环境演化^[8]; 薛积彬、钟巍等根据沉积物粒度分析了区域风沙活动^[9], 研究了全新世气候环境变化与高低纬度间的变化联系^[10]。Zhong W *et al.* 通过碳、氧同位素等地球化学指标分析巴里坤湖全新世气候记录^[11]。Tao S C *et al.* 根据获得的花粉资料分析了巴里坤湖区植被,研

究了巴里坤湖16.7 ka B. P. 环境演化^[12]。Zhong W *et al.* 研究了巴里坤湖沉积物的Mg、Si、Ca、Rb元素含量、Ca/Al、K/Al、Y/Al比值,以及碳、氧同位素等地球化学指标,讨论了西风带对北疆地区影响^[13]。吕雁斌等研究了巴里坤湖粒度组分及其环境指示意义^[14]。顾兆炎等研究了巴里坤湖的蒸发岩记录^[15]等等。这些研究使我们对巴里坤湖的形成与演化,气候环境变化有了进一步的认识。前期巴里坤湖研究多是通过建立不同类型气候代用指标,如碳、氧同位素数值、蒸发岩含量、粒度、磁化率值等建立各种气候曲线讨论巴里坤湖区的气候环境变化,成功的讨论了各种气候记录并建立了各种模式。但是前人研究对全新世以来湖泊面积或湖岸位置的变化很少涉及,全新世各个阶段巴里坤湖的面积究竟是多少不甚清楚。前期研究多基于揭示湖泊记录的气候环境变化,因此样品多采集于湖心部位的钻孔,以获得湖泊完整的记录。而研究湖泊面积或湖岸位置的变化需要在湖泊边缘地带布置采样剖面,考虑湖岸地貌与阶地。作者在本次研究中根据巴里坤湖区不同的地貌地形位置及不同的等高线位置从湖泊边缘到湖心建立了7个剖面。本文的新意在于利用地貌学、湖泊沉积学、

^①国家自然科学基金项目(批准号:40802039、41072136)、西北大学大陆动力学国家重点实验室基金(编号:BJ12139)与哈密地区文物局联合资助
收稿日期:2012-10-08; 收修稿日期:2013-01-04

OSL 测年、粒度分析、磁化率分析等手段,研究了全新世以来巴里坤湖湖岸线变化,测算了不同时期湖泊面积,进而讨论古气候环境记录。

1 巴里坤湖区地质、地貌特征与样品采集

1.1 巴里坤湖区地质、地貌特征

巴里坤盆地是位于北天山东段巴里坤山与梅钦乌拉山之间的地堑式断陷盆地,巴里坤盆地南侧巴里坤山与北侧梅钦乌拉山隆升,在山地之间形成地堑式断陷盆地,形成内陆封闭式巴里坤湖,巴里坤湖位于新疆哈密地区巴里坤哈萨克自治县以西 15 km。

现代巴里坤湖海拔 1 575 m,流域面积超过 4 514 km²,目前湖泊面积约 100 km²,湖盆最大水深 1 m,盆地北部山地最高海拔 3 800 m,南部山地最高海拔 4 300 m,其中南部东天山有永久性冰雪覆盖。湖水补给大约 50% 通过径流,50% 通过冰雪融水。巴里坤盆地气候干燥属于亚热带气候区,年降水量 200 mm,蒸发量 1 600 mm。山区降水 300 mm,降水随海拔增高而增加,2 500 m 海拔山区降水量达到 400 ~ 500 mm。全新世晚期,由于气候向干热方向发展,成盐作用加强,湖水盐度急剧增大,至目前局部成为盐矿。

巴里坤山北坡地表堆积由末次冰期古冰川堆积物与全新世以来洪积物组成。中国西部地区冰川研究取得很多成果,末次冰期北天山地区被冰雪覆盖,

东天山地区包括巴里坤山区发育山岳冰川和山麓冰川,实际上截至目前天山地区仍然有山岳冰川发育,在冰期时天山地区发育冰川更不足为奇。冰后期气候转暖冰川退缩消失,全新世早中期冰川融水成为巴里坤湖重要的水源补充。

1.2 样品采集

作者在巴里坤湖区从湖泊边缘到湖心建立了 7 个剖面(位于不同的地貌地形位置及不同的等高线位置,见图 1)。采集了释光测年样品,粒度及磁化率样品,粒度及磁化率采样间隔为 2 cm。进行了野外沉积相描述与分析。通常研究不同阶段湖面应该根据湖区的地形地貌勾勒,由于这次研究重点是全新世中期 8 000 年以来的湖面变化,在短期内地形地貌变化比较细微,难以形成多级明显的阶地,另外湖泊萎缩时巴里坤山冲积扇跟进,冲积扇前缘覆盖早期湖泊沉积,对原始地貌也有一些破坏。因此作者在考虑地貌地形的同时,从湖泊外缘向内不同地貌地形位置(或不同等高线)寻找湖相沉积并测试其年代,以发现湖相沉积的位置作为该时期湖泊大致位置,进而计算湖泊面积,在勾勒计算湖泊面积时考虑了地形等高线。

2 样品测试分析

2.1 年龄标尺建立

为了建立剖面的时间标尺,对关键层位进行了 OSL 测年。7 个剖面共测试了 OSL 测年样品 16 个。

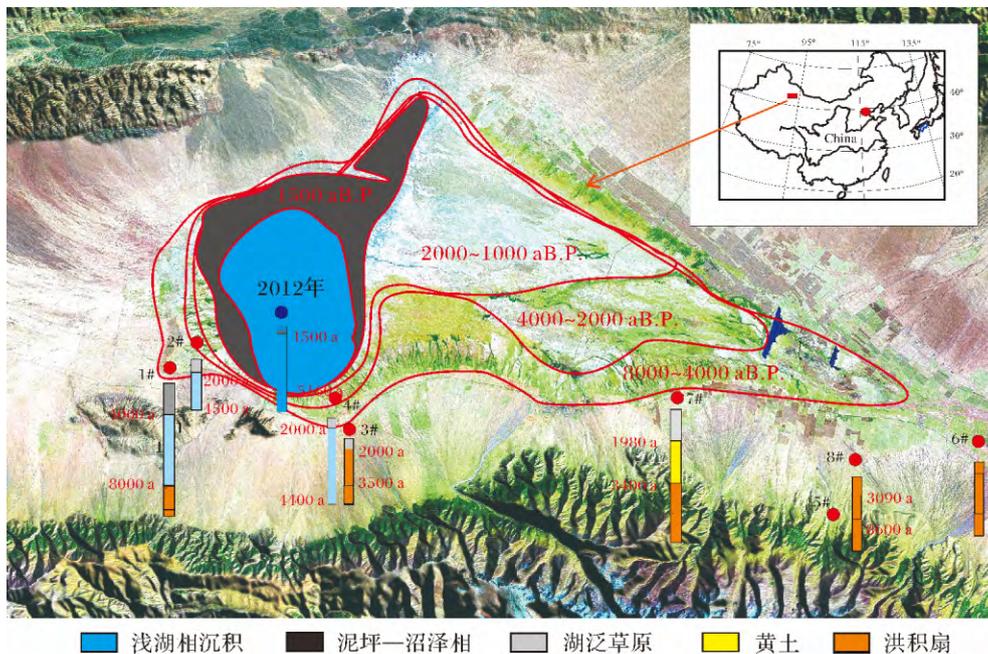


图 1 剖面位置及全新世以来巴里坤湖水面范围变化

Fig. 1 The site of sections and the changing of Barkol Lake area during Holocene

表1 巴里坤剖面的OSL测年结果

Table 1 OSL dating results of Barkol sections

实验编号	野外编号	剖面编号	深度	U (ppm)	Th (ppm)	K ₂ O /%	环境剂量率 /Gy·ka ⁻¹	含水量 /%	等效剂量 /Gy	年龄 /a
Isl-Lum-1639	BLK01-1	1#	0.1	5.91	10.20	1.83	0.21	0.18	0.54	140 ± 20
Isl-Lum-1641	BLK01-3	1#	0.6	2.18	7.22	2.25	0.19	0.13	13.13	4 080 ± 260
Isl-Lum-1642	BLK01-4	1#	1.5	1.58	6.44	2.13	0.16	0.07	26.13	8 430 ± 580
Isl-Lum-1643	BLK01-5	1#	1.9	2.54	7.74	1.44	0.15	0.12	37.05	13 900 ± 890
Isl-Lum-1646	BLK02-3	2#	1.2	4.73	13.90	2.58	0.17	0.18	13.14	3 070 ± 170
Isl-Lum-1647	BLK02-4	2#	1.5	3.25	10.50	2.2	0.16	0.21	15.00	4 690 ± 450
Isl-Lum-1648	BLK03-1	3#	0.2	3.81	11.60	2.02	0.20	0.02	0.20	50 ± 10
Isl-Lum-1649	BLK03-2	3#	0.5	2.39	11.00	2.2	0.19	0.02	8.88	2 210 ± 190
Isl-Lum-1650	BLK03-3	3#	1.6	1.93	9.85	1.95	0.16	0.01	12.20	3 400 ± 240
Isl-Lum-1651	BLK04-1	4#	0.1	2.39	8.92	1.73	0.21	0.15	1.17	400 ± 30
Isl-Lum-1653	BLK04-3	4#	0.6	2.67	9.08	1.77	0.19	0.15	7.53	2 510 ± 160
Isl-Lum-1654	BLK04-4	4#	1.2	2.07	10.50	1.78	0.17	0.19	11.64	4 160 ± 180
Isl-Lum-1658	BLK07-1	7#	0.3	3.18	9.70	1.85	0.20	0.01	7.69	1 980 ± 270
Isl-Lum-1659	BLK07-2	7#	0.9	3.27	11.10	2.24	0.18	0.01	14.89	3 400 ± 160
Isl-Lum-1660	BLK08-1	8#	0.3	1.94	9.96	1.74	0.20	0.04	10.31	3 090 ± 250
Isl-Lum-1661	BLK08-2	8#	1.3	2.18	10.90	1.53	0.17	0.04	27.64	8 600 ± 500

OSL测试工作在中国科学院西宁盐湖所释光实验室完成。试验中采用了赖忠平等采用的单片法技术^[16,17]。样品前处理在红光(600~700 nm)暗室里完成:(1)去除有机质和碳酸盐胶结物:30%双氧水(H₂O₂)和10%盐酸(HCl)先后反应去除有机质和碳酸盐胶结物;(2)筛选一定粒级的样品:筛取含量相对多的38~63 μm和90~180 μm粒级颗粒;(3)粗选出石英颗粒:用密度分别为2.62 g/cm³和2.7 g/cm³的多钨酸钠(polytungstate)重液分别将长石和黏土矿物分离出来,再用后者将石英从其它重矿物中分离出来。(4)分离出纯净石英:90~180 μm样品使用40%氢氟酸(HF),38~63 μm样品使用35%氟硅酸反应去除残余长石。

2.2 粒度、磁化率测试结果与沉积相划分

湖泊沉积物的粒度特征记录了沉积环境与古气候环境^[9,18]。粒度分析根据沉积物的碳酸钙胶结以及有机物状况,设计了适合于沉积物的样品前处理方法,步骤如下:

将样品放入干燥器中干燥以去除水分,使块状样品变得比较松散。取大约0.3 g样品放入200 mL烧杯中,加10 mL(10%)双氧水以去除有机质,之后加入10 mL(10%)盐酸溶液以去除碳酸钙胶结物,蒸馏水清洗。之后加10 mL六偏磷酸钠(浓度为1 000 mL水溶解36 g固态六偏磷酸钠),目的是活化颗粒。烧杯放在超声波池振荡中达到颗粒最理想的分散状态,振荡时间为10 min。进入样品池并加入蒸馏水进行测量。

所有样品使用英国马尔文公司出产的Mastersizer 2000型激光粒度仪测量。根据测定结果分析不同沉积相的粒度组成。测试结果见图2。

磁化率指标运用于黄土地层被看做是东亚夏季风的替代指标^[19],其后磁化率指标被引用到湖泊沉积^[20],风沙沉积研究领域^[21]。本研究中的磁化率测试主要运用于巴里坤湖区不同沉积相磁化率值的比较与分析,判断沉积相的变化。

2.2.1 巴里坤1#剖面(由下至上分为5层)

⑤ 淡灰黑色砂质黏土,深度200~190 cm。沉积物中值粒径约100 μm,<10 μm的黏土颗粒含量30%~40%,>63 μm的粉砂级物质含量约占40%,地层中含碳化植物根茎及弱土壤团粒结构,判断为湖泊沼泽相沉积。地层OSL年龄为13 900 a,末次冰期最晚期至全新世初期,气候寒冷冰川尚未融化,该时期巴里坤湖盆萎缩,该位置处于湖泊沼泽区。

④ 淡黄色砂砾石层,深度190~140 cm。沉积物中值粒径大大增加达到400~500 μm,>63 μm颗粒含量也达到80%以上。砂层中含有2~5 mm砾石及少量黏土,磁化率值突然升高3~4倍(与区域冲积扇前缘磁化率值相当),判断为冲积扇前缘与滨湖交互。地层OSL年龄约14 000 a~8 000 a为全新世早期,巴里坤湖依然是小湖时期,冲积扇深入湖区。

③ 淡黄色砂质黏土,夹多层灰黑色、淡绿色砂质黏土层,深度140~50 cm。沉积物中值粒径在10~15 μm之间,<10 μm的黏土颗粒含量较高为40%~

60% , >63 μm 的粉砂级物质含量为 10% ~ 20% , 磁化率值明显缩小。黏土质粉砂具微层理 , 含微小的石膏晶粒 , 判断为浅湖相。地层 OSL 年龄约 8 000 ~ 4 000 a , 为全新世适宜期 , 气候转暖 , 冰川融化 , 降雨增加 , 湖面积扩大 , 是全新世以来巴里坤湖大湖期。

② 黑色黏土 , 深度 50 ~ 20 cm 沉积物中值粒径约在 5 μm , <10 μm 的黏土颗粒含量较高为 50% ~ 70% , >63 μm 的粉砂级物质含量几乎为 0。地层无明显层理 , 具土壤结构 , 湖泊沼泽相。显示自 4 000 a B. P. 以后湖泊开始萎缩 , 该位置成为沼泽。

① 灰色粉砂质黏土 , 地层具微层理 , 具土壤结构 , 植物根系发育 , 判断为现代湖泛区草场。

由上可见 , 1#剖面显示: 该位置 14 000 a B. P. 为沼泽区; 14 000 ~ 8 000 a B. P. 为冲积扇前缘与滨湖交互相; 8 000 ~ 4 000 a B. P. 为大湖期; 4 000 a B. P. 后湖泊逐渐萎缩退出该区域。

2.2.2 巴里坤 2#剖面(地层由下至上分为 3 层)

③ 灰绿色黏土 , (未见底) , 深度 160 ~ 150 cm。沉积物中值粒径在 10 μm 之下 , <10 μm 的黏土颗粒含量达 50% ~ 60% , 含少量 >63 μm 的粉砂级物质 , 大约在 5% 左右。具不明显微细层理 , 含微细石膏晶体 , 浅湖相沉积。地层 OSL 年龄为 4 500 ~ 3 000 a , 系全新世适宜期 , 气候转暖 , 冰川融化 , 该时期巴里坤湖盆扩大 , 在该位置处于湖泊区。

② 淡黄色黏土夹薄层细砂 , 深度 150 ~ 20 cm。沉积物中值粒径在 10 μm 之下 , <10 μm 的黏土颗粒含量达 60% ~ 70% , 含少量 >63 μm 的粉砂级物质 , 大约在 5% 左右。下部颗粒较粗 , 有薄层细砂层 , 见微细层理 , 磁化率值略高。为浅湖—滨湖相沉积。

① 灰黑色黏土 , 底部见细砂层 , 深度 20 ~ 0 cm。含大量现代植物根系 , 含碳化植物根系 , 具土壤团粒结构。湖泛平原。

由上可见 2#剖面位置湖泊延续到 4 500 ~ 3 000 a B. P. 其后气候干旱湖泊已经退出该位置。同一时期 3 km 以外的 1#剖面在 4 500 a B. P. 时期也是湖泊 , 但 4 000 a B. P. 退出湖泊位置 , 而 2#剖面位置在 3 000 a B. P. 甚至在 2 000 a B. P. 左右依然为湖泊。

2.2.3 巴里坤 3#剖面(地层由下至上分为 3 层)

③ 淡黄色砂砾石层夹薄层砂或黏土 , 深度 200 ~ 140 cm。沉积物中值粒径达到 60 ~ 100 μm , >63 μm 颗粒含量也达到 40% 以上。砂层中含有 2 ~ 5 mm 砾石及少量黏土 , 磁化率值相对较高 , 判断为冲积扇前缘相。地层 OSL 年龄约 3 400 a。

② 灰黄色砂质黏土或黏土质粉砂 , 140 ~ 30 cm , 土壤团粒结构明显 , 具微碳化植物根茎 , 为湖泛草原沉积。地层 OSL 年龄大约在 3 400 ~ 2 200 a。

① 灰黄色砂质黏土 , 深度 30 ~ 0 cm。含大量现代植物根系 , 为现代草原土壤。

由上可见 3#剖面底部是冲积扇前缘 , 上部是湖泛草原 , 该位置位于全新世大湖的边缘 , 4 000 a B. P. 后更是远离湖盆。

2.2.4 巴里坤湖 4#剖面(地层由下至上分为 2 层)

② 淡黄色黏土夹薄层细砂 , 深度 130 ~ 15 cm。沉积物中值粒径在 20 ~ 40 μm 之下 , <10 μm 的黏土颗粒含量达 20% ~ 40% , >63 μm 的粉砂级物质大约在 10% ~ 35% 左右。粒度变化范围较大 , 见微细层理 , 含小石膏晶体 , 为滨湖相沉积 , 地层年龄大约在 4 000 a(OSL) ~ 2 500 a(OSL) ~ 2 200 a。

① 淡灰黑色砂质黏土 , 深度 15 ~ 0 cm。含大量现代植物根系 , 为现代湖泛草原土壤。

由上可见 4#剖面在 4 000 ~ 2 000 a B. P. 依然处于湖泊位置。

2.2.5 巴里坤 7# 8# 6#剖面及 BLK-1 孔^[10]

7#剖面厚 2 m , 下部 2 ~ 1 m 是冲积扇前缘砂砾石层 , 中部 1 ~ 0.8 m 是黄土地层 , 顶部是耕作土。8#剖面厚 2 m , 为冲积扇前缘砂砾石层 , 顶部是砂质草场。6#剖面厚 1.6 m , 底部是粗砂层 , 上部为冲积扇前缘砂砾石层。三个剖面位置均处于全新世巴里坤湖外围 , 控制了巴里坤湖全新世大湖期边界。BLK-1 钻孔显示全新世以来为湖泊沉积 , 但 1 500 a B. P. 由于气候干旱 , 湖盆萎缩 , 湖心地区曾成为沼泽。

3 全新世以来巴里坤湖水面范围变化及气候环境记录讨论

巴里坤盆地与湖泊的形成主要受构造控制。新构造运动促使巴里坤盆地南侧巴里坤山与北侧梅坎乌拉山隆升 , 在山地之间形成地堑式断陷盆地 , 及内陆封闭式巴里坤湖 , 其后的发育与迁移也受构造控制。但是对全新世短暂的时间段而言 , 其湖面巨大的变化主要受气候因素控制。作者在测年与沉积相分析的基础上 , 根据 7 个剖面不同时期湖泊沉积物位置或冲积扇位置 , 勾画了不同时期巴里坤湖水面范围变化 , 计算了不同时期巴里坤湖的面积: 首先根据湖泊沿岸地貌位置由湖泊外沿向湖泊方向建立剖面 , 根据剖面显示的沉积相确立不同沉积相特别是湖泊相在纵剖面上的位置或高程 , 测量不同沉积相特别是湖泊相

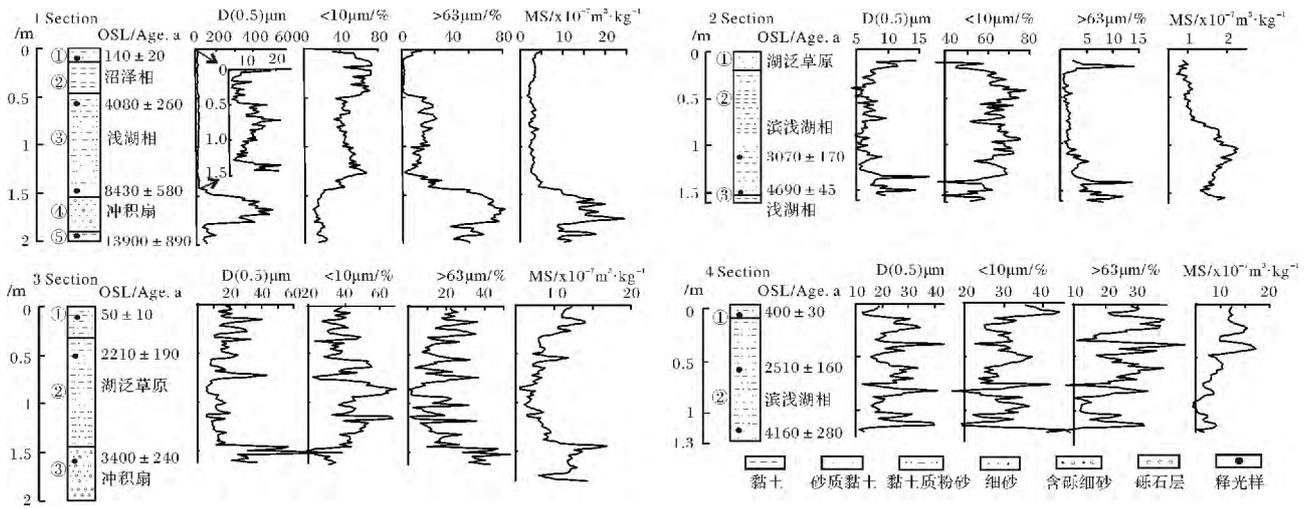


图 2 1# 2# 3# 4#剖面释光测年、粒度、磁化率测试及沉积相分析结果

Fig. 2 OSL dating , grain size , magnetic susceptibility measurement and sedimentary facies analysis of 1# 2# 3# 4# sections

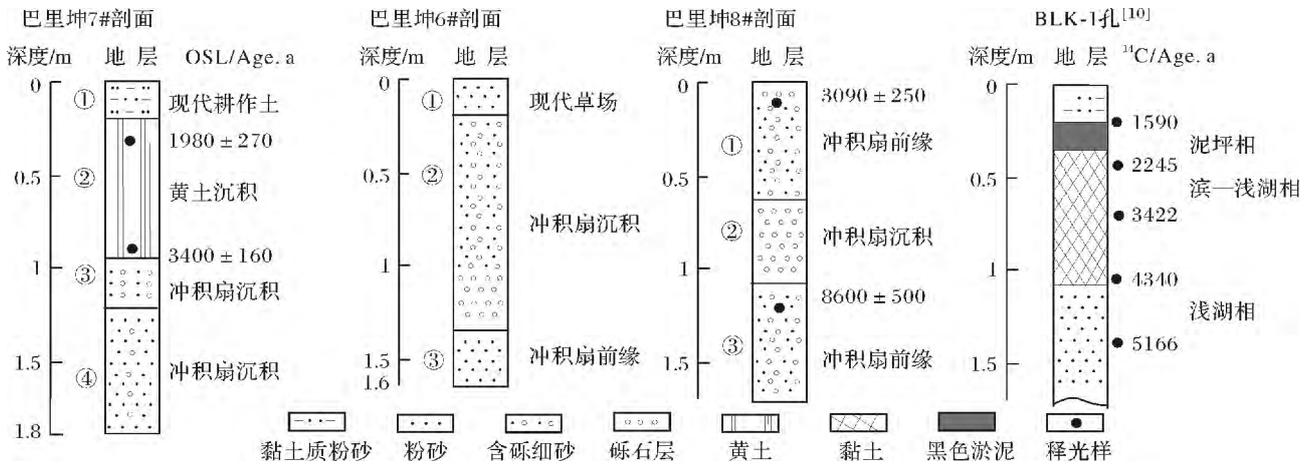


图 3 7#、6#、8#剖面释光测年结果及沉积相分析

Fig. 3 OSL dating and sedimentary facies analysis of 7# 6# 8# sections

节点的光释光年龄,依据 MAGS 技术参考地形图与地质图勾勒相关时间节点的等高线。由于湖泊表面是同一等高线,因此根据某一时间节点同一等高线圈定的面积计算该时段湖泊面积(图 1),本文主要选择了 OSL 测年数据的整数部分的 8 000 a, 4 000 a, 3 000 a, 2 000 a, 1 000 a 时间节点。

末次冰期晚期(14 000 ~ 11 000 a B. P.),天山地区冰川依然发育,水体被封存在山区冰川,巴里坤山北麓堆积冰碛垄,由于水体封存于冰川,巴里坤湖萎缩至 1#剖面以北,在 1#剖面 14 000 ~ 8 000 a B. P. 沉积了山前洪积扇扇尾沉积,巴里坤湖处于小湖期。8 000 ~ 4 000 a B. P. 进入全新世适宜期,冰川融化,大量的融水进入湖泊,同时降雨量也相对增加,巴里

坤湖进入大湖期,1#、2#、4#剖面在 4 000 a B. P. 前均记录到湖泊相沉积,面积达到 600 km²; 4 000 a B. P. 后气候逐渐干旱,并在相对湿润与干旱之间波动,湖泊再没有达到冰川大量融化时期的规模。其间受气候波动影响,在降雨增加的年份会出现短暂的大湖。4 000 ~ 2 000 a B. P. 面积大约 470 km², 2 000 ~ 1 000 a B. P. 面积大约 380 km²。1 500 a B. P. 气候继续向干旱化发展,巴里坤湖萎缩并一度干枯,湖心钻孔显示此时湖心出现黑色泥坪—沼泽。其后巴里坤湖进入小湖期,在 100 km²范围波动,时有扩张或干涸。

巴里坤湖区自晚冰期 14 000 a B. P. 至全新世早期 8 000 a B. P. 是小湖期,冰川尚未融化,反映了早全新世低温特征,这与贝加尔湖^[22]、挪威^[23]、冰岛^[24]

的气候记录一致,其基本趋势是全新世早期的低温期(图4 5 6)。在东天山地区表现为冰川依然大量存在,气温较低,冰雪融水尚未大量返回巴里坤湖,巴里坤湖处于低水位期。

表2 全新世以来巴里坤湖面积变化
Table 2 The changing of the lake area of Barkol Lake during Holocene

时代	年龄 /a	湖泊面积 /km ²	备注
全新世晚期	目前	100	湖泊萎缩
全新世晚期	2 000 ~ 1 000	380 ~ 100	期间1 500 a 湖泊干涸
全新世中晚期	4 000 ~ 2 000	470 ~ 380	冰川融水减少,天气趋于干旱
全新世适宜期	8 000 ~ 4 000	600 ~ 470	气温升高,冰川融化,降水增加
末次冰盛期晚期	14 000	<600	水体封存于天山冰川

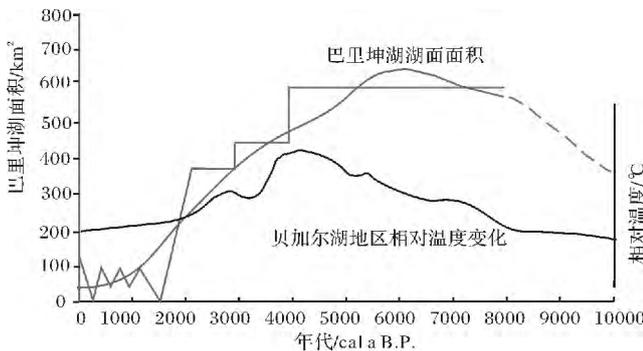


图4 巴里坤湖与贝加尔湖记录对比
Fig. 4 The records activities reconstructed by Barkol Lake and Baikal Lake

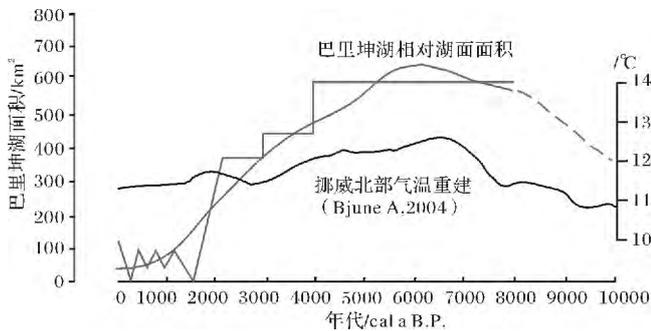


图5 巴里坤湖与挪威记录对比
Fig. 5 The records activities reconstructed by Barkol Lake and Norway

至全新世中期,8 000 ~ 4 000 a B. P.,北半球高纬度地区冰川大量消融,气温回暖,进入全新世适宜期,巴里坤湖由于冰川融水的加入达到全新世最大湖面积。这与贝加尔湖、挪威、冰岛的气候记录基本一致。但贝加尔湖记录的相对温暖期高峰值在4 000

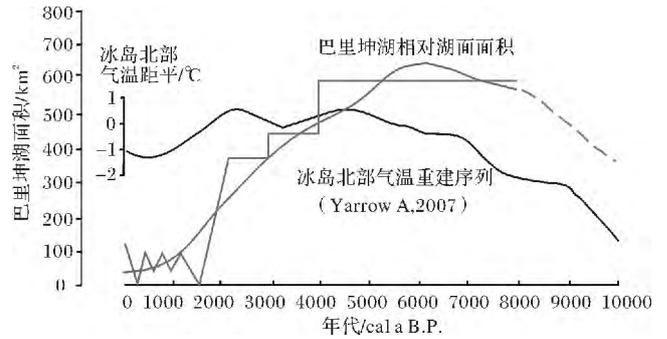


图6 巴里坤湖与冰岛记录对比
Fig. 6 The records activities reconstructed by Barkol Lake and Iceland

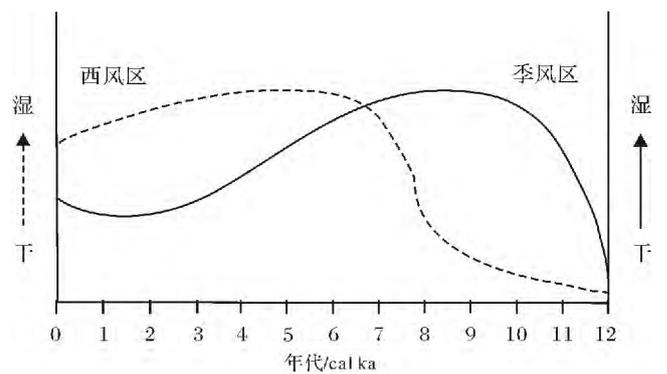


图7 全新世西风区与季风区气候对比
(根据 Chen et al 2008^[25] 绘制)
Fig. 7 The activities of Monsoon area and westerly circulation

a B. P.,其后气温突然降低;挪威北部气温高峰值在7 000 a B. P.其后缓慢降低;而冰岛自9 000 a B. P.升温持续到2 000 a B. P.才降温。但总体上巴里坤地区与北半球高纬度地区都是全新世中期升温,只不过时间记录有所不同。由此作者认为全新世早、中期巴里坤湖体增大在很大程度上受北半球夏季太阳辐射增强变化及区域冰雪融化控制。

全新世中晚期,4 000 ~ 2 000 a B. P.贝加尔湖、挪威、冰岛的气候记录是降温气候,巴里坤湖记录的是湖泊萎缩。但巴里坤湖的萎缩可能并不一定是区域降温所致,可能与东亚夏季风携带的湿润气流不能到达北疆地区,西风环流带来的水汽有限,冰雪融水减少相关。

有关中国内陆地区中全新世的湿润气候,陈发虎^[25]认为季风区早期湿润中晚期逐渐趋于干旱,而西风区全新世早期干旱中晚期后趋于湿润(图7)。是否是由于季风深入内陆导致西风区中全新世湿润,亟待深入开展研究。

总之,全新世巴里坤湖水位变化主要受北半球夏季太阳辐射变化控制,具体表现在北半球冰盖由扩张转为融化背景下,全新世早期巴里坤山冰川发育和全新世中期的巴里坤湖冰川融水的注入扩张;巴里坤地区受东亚夏季风影响甚弱,西风环流带给的水量补充有限,全新世中晚期巴里坤地区向干旱环境发展。

致谢 孙博雅博士参加了全部野外工作,完成了光释光测年等测试与解释,周晓龙硕士在野外和实验室给与了帮助,在此表示感谢。

参考文献 (References)

- 1 郑喜玉,等. 新疆盐湖[M]. 北京: 科学出版社,1995: 1-238 [Zheng Xiyu, *et al.* Xinjiang Saline [M]. Beijing: Science Press, 1995: 1-238]
- 2 Liu Weiguo, Liu Zhonghui, Fu Mingyi, *et al.* Distribution of the ³⁷C tetra-unsaturated alkenone in Lake Qinghai, China: a potential lake salinity indicator [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2008, 72, 988-997
- 3 Xu H, Liu X Y, Hou Z H. Temperature variations at Lake Qinghai on decadal scales and the possible relation to solar activities [J]. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 2008, 70, 138-144
- 4 Shen Jia, Liu Xingqia, Wang Sumina, *et al.* Palaeoclimatic changes in the Qinghai Lake area during the last 18,000 years [J]. *Quaternary International* 2005, 136: 131-140
- 5 宋春晖, 王新民, 师永民, 等. 青海湖现代滨岸沉积微相及其特征 [J]. *沉积学报*, 1999, 17(1): 51-57 [Song Chunhui, Wang Xinmin, Shi Yongmin, *et al.* Sedimentary characteristics and microfacies of shore zone in Qinghai Lake [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 1999, 17(1): 51-57]
- 6 刘向军, 赖忠平. 青海湖晚第四纪湖面变化研究进展 [J]. *地球环境学报* 2010, (2): 79-89 [Liu Xiangjun, Lai Zhongping. Lake level fluctuations in Qinghai Lake in the Qinghai-Tibetan Plateau since the last interglaciation: A brief review and new data [J]. *Journal of Earth Environment*, 2010, (2): 79-89]
- 7 袁宝印, 魏兰英, 王振海, 等. 新疆巴里坤湖十五万年来古水文演化序列 [J]. *第四纪研究*, 1998, (4): 319-327 [Yuan Baoyin, Wei Lanying, Wang Zhenhai *et al.* The Paleohydrological evolution sequence of Barkol Lake since 150 000 a. B. P. [J]. *Quaternary Sciences*, 1998, (4): 319-327]
- 8 韩淑媿, 董光荣. 巴里坤湖全新世环境演变的初步研究 [J]. *海洋地质与第四纪地质*, 1990, 10(3): 91-98 [Han Shutui, Dong Guangrong. Preliminary study of Holocene environmental evolution in the Balikun Lake [J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 1990, 10(3): 91-98]
- 9 薛积彬, 钟巍. 干旱区湖泊沉积物粒度组分记录的区域沙尘活动历史: 以新疆巴里坤湖为例 [J]. *沉积学报*, 2008, 26(4): 647-654 [Xue Jibin, Zhong Wei. Variation in dust event reflected by grain-size component of lacustrine records in Droughty area: A case study on Barkol Lake, Xinjiang, China [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2008, 26(4): 647-654]
- 10 薛积彬, 钟巍. 新疆巴里坤湖全新世气候环境变化与高低纬间气候变化的关联 [J]. *中国科学(D辑): 地球科学*, 2011, 41(1): 61-73 [Xue Jibin, Zhong Wei. Holocene climate variation denoted by Barkol Lake sediments in northeastern Xinjiang and its possible linkage to the high and low latitude climates [J]. *Science China (Series D): Earth Sciences*, 2011, 41(1): 61-73]
- 11 Zhong W, Xue J, Li X, *et al.* A Holocene climatic record denoted by geochemical indicators from Barkol Lake in the northeastern Xinjiang, NW China [J]. *Geochemistry International*, 2010, 48: 792-800
- 12 Tao S C, An C B, Chen F H, *et al.* Pollen-inferred vegetation and environmental changes since 16.7 ka B. P at Balikun Lake, Xinjiang [J]. *Chinese Science Bulletin* 2010, 55: 2449-2457
- 13 Zhong W, Pen Z, Xue J, *et al.* Geochemistry of sediments from Barkol Lake in the westerly influenced northeast Xinjiang: Implications for catchment weathering intensity during the Holocene [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012, 50: 7-13
- 14 吕雁斌, 赵家驹, 黄伟. 新疆巴里坤湖粒度组分分解及其环境指示意义 [J]. *沉积学报*, 2011, 29(1): 134-142 [Lü Yanbin, Zhao Jiaju, Huang Wei. Decomposition of the grain-size component and its climate implication from Lake Barkol, Xinjiang [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2011, 29(1): 134-142]
- 15 顾兆炎, 赵惠敏, 王振海, 等. 末次间冰期以来新疆巴里坤湖蒸发盐的沉积环境记录 [J]. *第四纪研究*, 1998, (4): 328-334 [Gu Zhaoyan, Zhao Huimin, Wang Zhenhai, *et al.* Evaporation salt records of environmental response to climate change in Barkol lake basin, northwestern China [J]. *Quaternary Sciences*, 1998(4): 328-334]
- 16 赖忠平, 苗晓东, 周杰, 等. 沙漠黄土边界带风成砂再生法单片技术等剂量分布 [J]. *核技术*, 2001, 24(12): 1022-1023 [Lai Zhongping, Miao Xiaodong, Zhou Jie, *et al.* Equivalent dose distribution of aeolian sand using regenerative-dose single-aliquot protocol [J]. *Nuclear Techniques* 2001, 24(12): 1022-1023]
- 17 赖忠平, 周杰, 卢演倩, 等. 风成沉积石英绿光释光测年的单片技术 [J]. *中国沙漠*, 1999, 19(4): 403-406 [Lai Zhongping, Zhou Jie, Lu Yanchou, *et al.* Luminescence dating of aeolian sediments using single aliquot technique [J]. *Journal of Desert Research*, 1999, 19(4): 403-406]
- 18 蒋庆丰, 刘兴起, 沈吉. 乌伦古湖沉积物粒度特征及其古气候环境意义 [J]. *沉积学报* 2006, 24(6): 878-882 [Jiang Qingfeng, Liu Xingqi, Shen Ji. Grain-size characteristics of Wulugu lake sediments and its palaeoclimate implication [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2006, 24(6): 878-882]
- 19 邓成龙, 刘青松, 潘永信, 等. 中国黄土环境磁学 [J]. *第四纪研究* 2007, 27(2): 193-209 [Deng Chenglong, Liu Qingsong, Pan Yongxin, *et al.* Environmental magnetism of Chinese loess-paleosol sequences [J]. *Quaternary Sciences*, 2007, 27(2): 193-209]
- 20 田庆春. 青藏高原腹地湖泊沉积物磁化率及其环境意义 [J]. *沉积学报* 2011, 29(1): 143-150 [Tian Qingchun. Magnetic susceptibility and its environmental significance of lake sediments in Tibet Plateau [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2011, 29(1): 143-150]

- 21 凌智永,李志忠,武胜利,等. 新疆伊犁晚全新世风成沙—古土壤序列磁化率特征及气候变化[J]. 沉积学报,2012,30(5):928-936 [Ling Zhiyong, Li Zhizhong, Wu Shengli, *et al.* Late Holocene climate change revealed by the magnetic susceptibility of palaeoaeolian sand paleosol sedimentary sequence in Yili Valley of Xinjiang [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2012, 30(5): 928-936]
- 22 Alexander A P, Galina K K, Elena V B, *et al.* Paleoenvironmental proxy records from lake Hovsgol, Mongolia, and a synthesis of Holocene climate change in the lake baikal watershed [J]. *Quaternary Research*, 2007, 68: 2-17
- 23 Bjune A, Bakke H, Seppa H. Holocene vegetation and climate history on a continental-oceanic transect in northern Fennoscandia based on pollen and plant macrofossils [J]. *Boreas* 2004, 33: 211-433
- 24 Yarrow A, Gifford H M, Aslaug G, *et al.* Holocene temperature history of northern Iceland inferred from subfossil midges [J]. *Quaternary Science Review*, 2008
- 25 Chen F H, Yu Z C, Yang M L, *et al.* Holocene moisture evolution in arid central Asia and its out-of-phase relationship with Asian monsoon history [J]. *Quaternary Science Reviews*, 2008, 27: 351-364

Changing of the Lake Area and Records of Climate and Environment of Barkol Lake During Holocene

WANG Hai-yan¹ YUE Le-ping¹ LI Jian-xing² YANG Li-rong¹

(1. Key Laboratory for Continental Dynamics of the Ministry of Education, Geology Department, Northwest University, Xi'an 710069;

2. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey(CGS), Xi'an 710054)

Abstract: The authors have studied 7 profiles in Barkol Lake and surrounding areas at northern foothills of Barkol Mount in the eastern Tianshan. By means of sedimentary facies analysis, OSL dating, grain size analysis and magnetic susceptibility measurement, the Holocene environmental evolution of Barkol Lakes were reconstructed. The glaciers of the East Tianshan area expanded during Last Glacial Maximum (LGM) at 14 000 a B. P. Water sealed in the glaciers of Barkol Mount, resulting in Barkol Lake shrink to the north to the #1 profile. The glaciers of Barkol Mount were shrank during 8 000 ~ 4 000 a B. P. Barkol Lake attained to the largest lake of the expansion since the beginning of the Holocene. The lake expanded to the south of the # 1 section, the area amounted to 600 km². East Tianshan area was warm and humid during Holocene Optimum at 8 000 ~ 4 000 a B. P. subsequently the lake was gradually shrink-ing. The lakes area was 470 km² at 4 000 ~ 2 000 a B. P. and shrank to 380 km² at 2 000 ~ 1 000 a B. P. The lakes dried up at around 1 500 a B. P. Appeared mud flat deposits in the current lake zone, subsequently Barkol Lake came into the small lake with the area changing at about 100km² when expansion or dry. The changing of lake level of the Barkol was mainly controlled by the summer solar radiation of Northern Hemisphere, which was manifested in the expansion and shrank of the Northern Hemisphere ice sheets. the expansion of the Barkol Mount glaciers in the early Holocene and water injected into Barkol Lake by glaciers shrank in middle Holocene). The Barkol influenced little by the East Asian summer monsoon, westerly circulation bring limited water to supple the area, which drive the Barkol to the arid environment during middle to late Holocene.

Key words: Barkol Lake; changing of lake level; ancient climate; palaeoenvironment; Holocene