

晚第四纪柴达木盆地东部古湖泊 高湖面光释光年代学

樊启顺^{1,2)}, 赖忠平¹⁾, 刘向军^{1,2)}, 孙永娟^{1,2)}, 隆浩^{1,2)}

1) 中国科学院盐湖资源与化学重点实验室, 中国科学院青海盐湖研究所, 西宁, 810008;

2) 中国科学院研究生院, 北京, 100049

内容提要:高湖面是湖泊演化的鼎盛期, 指示区域的温暖湿润气候。关于青藏高原湖泊高湖面的年代有不同的观点。一种观点(主要是基于¹⁴C 测年)认为在氧同位素三阶段晚期青藏高原普遍存在“大湖期”或“泛湖期”, 并且其温度和降水可能比全新世还高。另一种观点(主要基于释光、铀系测年等)认为青藏高原湖泊的最高古湖面出现在氧同位素五阶段, 之后湖面逐渐下降。柴达木盆地位于青藏高原的东北部, 其高湖面年代的研究可为认识青藏高原环境演化提供基础资料。本文选择柴达木盆地东部的托素湖和尕斯库勒湖高出现代湖面的湖相沉积和湖岸砂堤为研究对象, 利用石英光释光测年方法建立其年代序列。根据沉积物沉积特征和光释光年代结果认为, 尕斯库勒湖和托素湖古高湖面出现在 82~73 ka, 63~55 ka, 34.4 ka 和全新世早期。通过与青藏高原及周边湖泊高湖面年代记录对比, 认为尕斯库勒湖和托素湖的最高湖面主体出现在氧同位素五阶段, 之后湖面逐渐下降。

关键词: 古高湖面; 光释光年代学; 柴达木盆地东部; 晚第四纪

青藏高原分布有众多的湖泊(目前主要是盐湖)(Zheng, 1997), 保留在湖泊周围的湖岸砂堤、湖积阶地和高位湖相沉积物是研究湖面变化的良好地貌证据。自 20 世纪 80 年代开始, 国内外学者通过对青藏高原湖泊的考察和研究, 获得了丰富的基础数据和理论框架。但对青藏高原湖泊高湖面年代目前持有不同的观点(陈克造等, 1985; 郑绵平, 1996, 2006; 李炳元, 2000; 施雅风等, 1999, 2002; 贾玉连等, 2001; 朱大岗等, 2004; 张虎才等, 2007; 赵希涛等, 2009; Zheng et al., 2000; Shi et al., 2001; Zhu et al., 2004; Madsen et al., 2008; Fan et al., 2010a; Liu et al., 2010a; Rhode et al., 2010; Sun et al., 2010)。部分学者(主要是基于¹⁴C 测年)认为在深海氧同位素三阶段晚期青藏高原地区普遍存在“泛湖期”(40~28 ka)(郑绵平, 1996, 2006; Zheng et al., 2000)、“大湖期”(40~25 ka)(李炳元, 2000)或“暖湿期”(40~30 ka)(施雅风等, 1999, 2002; Shi et al., 2001)。虽然处于末次冰期的间冰阶, 但此时青藏高原气候异常温暖湿润, 温度比现在高 2~4℃, 达到间冰期(末次间冰期和全新世)程

度, 降水比现在增加 40%~100% 以上, 出现了许多湖面高出现代湖面 30~200 m 以上的淡水大湖(施雅风等, 1999, 2002)。而这些气候事件也在青藏高原周边地区, 如腾格里沙漠、巴丹吉林沙漠和塔克拉玛干沙漠的古湖相沉积物中也被发现(Pachur et al., 1995; Yang et al., 2003, 2006, 2010; Zhang et al., 2002, 2004)。

近几年来, 随着测量技术的发展和精度的提高, 光释光测年方法被成功地应用于中国干旱半干旱地区湖岸砂堤或湖相沉积物的测年(马志邦等, 2002; 陈发虎等, 2008; Owen et al., 2006; Yang et al., 2006; Madsen et al., 2008; Fan et al., 2010a, b; Lee et al., 2009; Liu et al., 2010a, b; Long et al., 2010a, b; Rhode et al., 2010; Sun et al., 2010)。而新近有些年代结果表明, 青藏高原湖泊的最高古湖面出现在氧同位素五阶段, 之后湖面逐渐下降(朱大岗等, 2004; 赵希涛等, 2009; Zhu et al., 2004; Madsen et al., 2008; Fan et al., 2010a; Liu et al., 2010a; Rhode et al., 2009)。

高湖面是湖泊演化的鼎盛期, 指示区域的温暖

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40872119、41002060)和中科院“百人计划”项目(编号 A0961)资助的成果。

收稿日期: 2010-08-28; 改回日期: 2010-09-25; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 樊启顺, 男, 1980 年生。博士。从事湖泊环境演化及释光年代学研究。通讯地址: 青海省西宁市新宁路 18 号; Email: qsfan@isl.ac.cn; 通讯作者: 赖忠平, Email: zplai@isl.ac.cn, zplai@yahoo.com.cn。

湿润气候。柴达木盆地位于青藏高原的东北部(图 1),其高湖面年代的研究不仅可为研究干旱区湖泊演化提供年代框架,而且可为认识青藏高原环境演化提供基础资料。因此,本文选择柴达木盆地东部的托素湖和尕斯库勒湖周围高出现代湖面的湖相沉积和湖岸砂堤为研究对象,利用石英光释光测年方法建立其年代序列,讨论了托素湖和尕斯库勒湖的高湖面年代。

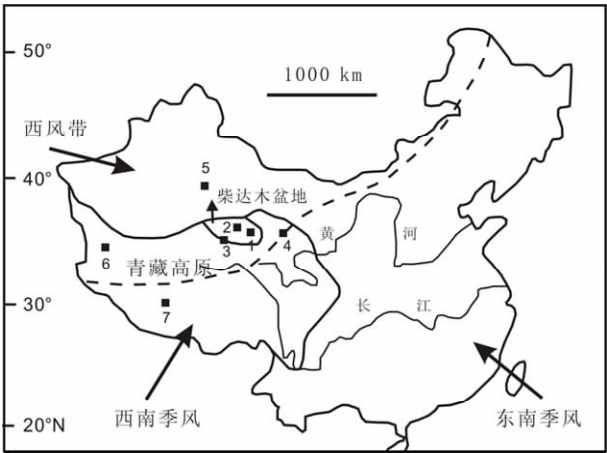


图 1 研究区位置图及古高湖面记录点

Fig. 1 Map of study area

文中提到的古高湖面记录点:1—尕斯库勒湖和托素湖;2—小柴旦湖;3—昆仑古湖;4—青海湖;5—罗布泊;6—甜水海湖;7—纳木错湖。虚线表示目前东亚夏季风北界(据高由禧,1962)
Sites mentioned in the text: 1—Gahai Lake and Tuson Lake; 2—Xiao Qaidam Lake; 3—Paleolake Kunlun; 4—Qinghai Lake; 5—Lop Nur; 6—Tianshuihai Lake; 7—Namco Lake. Dotted line represents the limit of East Asian summer monsoon (after Gao, 1962)

1 研究区概况

尕斯库勒湖和托素湖位于柴达木盆地东部,其北部为宗务隆山,南部为巴音山和牦牛山。尕斯库勒湖盆位于德令哈市的东部,是新生代的沉降盆地,盆地内充填冲积、湖积粉砂粘土和含盐淤泥,湖表有薄层石盐沉积,边缘有冲积、洪积砂砾石及平坦戈壁沉积,接近湖滨还有盐碱沼泽沉积(郑喜玉等,2002)。无常年性地表河流,湖水依靠大气降水或地下潜水补给。而托素湖和可鲁克湖位于德令哈市西部,是德令哈盆地汇水的中心。巴音河常年注入可鲁克湖,经过水通道与托素湖相连接。湖区是典型的干旱荒漠气候,年平均温度为 4℃ 左右,年平均降水量为 160~170 mm,年蒸发量在 2000~2200 mm 之间。德令

哈盆地现代植被主要以荒漠植物种属为主,包括藜属、蒿属和麻黄植物(Zhao et al., 2008)。

2 样品的采集与实验测量

2.1 样品的采集

通过对尕斯库勒湖和托素湖周围湖岸地貌的调查,在尕斯库勒湖东部发现有高出目前湖面(海拔 2850 m) 25 米的湖岸砂堤和湖相沉积物剖面(图 2)。由于铁路复线的修建,该剖面出露完整,厚约 13 m,从沉积地层中由上到下共采集 7 个光释光年代样品(GH-01~07)(图 3)。该剖面(37°07'55"N, 97°35'16"N)最高处的海拔高度为 2875 m,以下简称为 GH 剖面。



图 2 柴达木盆地东部尕斯库勒湖剖面位置图

Fig. 2 Picture of Gahai Lake section in the eastern Qaidam Basin

另外,在托素湖西北处发现一个被河流切割出来的天然湖相沉积剖面(图 4a),厚约 2 m,从沉积地层中由上到下共采集 4 个光释光年代样品(TSH-01~04)(图 4b)。该剖面(37°11'37.2"N, 96°52'35.5"N)最高处海拔高度为 2804 m,高出目前湖面 6 m 左右,以下简称为 TSH 剖面。

为了判断德令哈盆地湖泊湖相沉积物在搬运过程中的晒退情况,在托素湖采集了一个现代湖相样品(TSH-湖表),主要由青灰色含粘土粉砂组成。为了避免样品在采集过程中的曝光,我们在水下垂直把长度为 20 cm 的钢管压入沉积物中,取出之后迅速密封。

野外采集剖面光释光年代样品时,首先挖去剖面表层,露出垂直的新鲜沉积剖面,用不锈钢管(直径 6 cm,长 20 cm)在剖面上垂直打进,然后用黑色棉布封住钢管两端,并用不透明黑色塑料袋包好密封,确保不曝光、水分不散失。

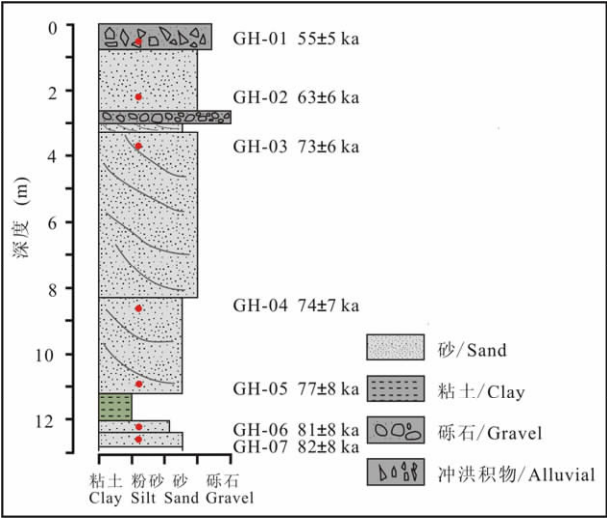


图 3 柴达木盆地东部尕斯库勒湖剖面柱状图及光释光年代结果

Fig. 3 Section and OSL dating results of Gahai Lake in the eastern Qaidam Basin

2.2 光释光年代样品的前处理和实验测量

所有样品的前处理都在红光(波长为 600~700nm)暗室内操作。取出采样管两头的样品用于年剂量和含水量的分析,中间部分的样品用于等效剂量测量。等效剂量的样品首先用浓度为 10% 的稀盐酸和 30% 的双氧水分别浸泡以除去样品中的碳酸盐和有机质,然后将样品冲洗并烘干。干筛分出粒径 38~63 μm 或者 88~125 μm 的颗粒。38~63 μm 样品直接用 40% 的氟硅酸溶蚀约 2 周去除

剩余的长石(Lai and Wintle, 2006; Lai et al., 2007),再用 10% 的盐酸洗去残留的氟化物(Berger et al., 1980)。对于 88~125 μm 颗粒用重液去除长石(重液密度为 2.62g/cm³)和重矿物(密度为 2.66g/cm³),分选出的石英颗粒用 40% 的氢氟酸溶蚀约 60 分钟,最后用 10% 的盐酸洗去表面残留的氟化物。由于长石的污染会导致年龄低估(Lai et al., 2008a),所以经过上述前处理后用红外(830nm)检测释光信号,对未发现有明显的长石信号的样品直接上机测量。

等效剂量是在中国科学院青海盐湖研究所释光测年实验室 Ris ϕ TL/OSL-20 释光仪上测量完成的。用单片再生剂量法(Murray and Wintle., 2000)测量样品的等效剂量。单片再生剂量法的优点是应用一个实验剂量产生的释光信号来校正正在测量过程中光释光信号灵敏度的变化。另外,在实验过程中,应用六个实验室再生剂量(包括四个再生剂量、一个零剂量和最后一个重复剂量)建立再生剂量的生长曲线,用内插法得到该测片的等效剂量。一个样品最终的等效剂量是所有测片等效剂量的平均值。

样品的铀、钍和钾含量在中国原子能科学院采用中子活化法测定完成。宇宙射线的年剂量是按照公式(Prescott and Hutton., 1994)计算获得。对于 38~63 μm 粒径的样品,根据 Lai 等(2008b)的研究, α 系数取 0.035 $\pm$ 0.003。对于 88~125 μm 粒径的样品,假定氢氟酸溶蚀过程中已经溶蚀掉了表层受 α 射线的影响的物质,因此不考虑 α 射线的贡献。

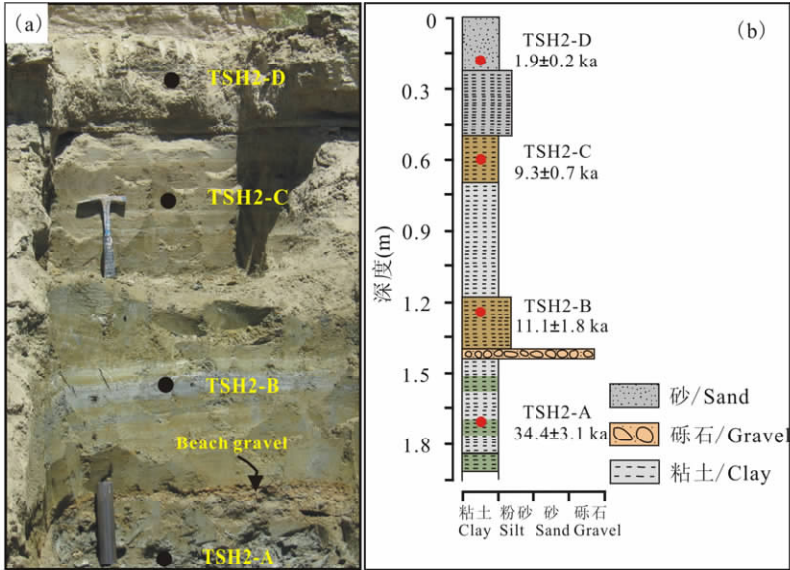


图 4 柴达木盆地托素湖剖面柱状图及光释光年代结果

Fig. 4 Section and OSL dating results of Toson Lake in the eastern Qaidam Basin

样品的含水量是根据剖面地层沉积特征来估计的。现代湖相沉积物的饱和含水量为 30% (在实验室实测值)。GH 剖面主要沉积了湖相和湖滨沉积物 (年代大致在 80~60 ka), 在沉积后 (即从约 60 ka 以来) 不久湖水干涸, 所以含水量估计为 10% ± 5%。TSH 剖面从下到上 (除底部沉积了一层砾石层外) 都为湖相沉积物。由于从约 35 ka 至约 2 ka 都是水下环境, 因此底部的样品 (TSH2-A) 含水量估计为 25% ± 5%; 其余样品 (TSH2-B~D) 含水量估计为 20% ± 5%。

3 释光特征及试验条件测试

在实验中为了选择测试等效剂量时合适的预热温度, 我们选择样品 GH-03 (88~125 μm) 测试了 220~300℃ 之间的预热坪实验。结果表明在 220~280℃ 之间, 等效剂量不随温度发生明显的变化, 产生了一个预热坪。因此, 我们选择预热坪中间的预热温度 260℃ (预热时间为 10 s), cut-heat 为 220℃ (预热时间为 10 s) 来测定所有样品的等效剂量。剂量恢复实验可以检验实验条件的适宜性, 包括预热温度, 实验剂量等 (Murray and Wintle., 2003)。首先用蓝光 100 s 辐照使其自然释光信号完全晒退或达到一个可忽略的水平, 接着用 β 源辐照一个已知辐射剂量 (202 Gy), 然后按照单片再生法流程测量其等效剂量。获得了六个片子的平均实验室恢复剂量值为 192 ± 16 Gy, 恢复系数为 0.95 ± 0.08。结果表明实验室可以很好地恢复已知剂量, 选取的测试条件适合样品的等效剂量的测定。

图 5a 和 5b 显示了样品 GH-03 石英光释光信号的衰减曲线和生长曲线。从图 5a 上我们可以看出样品的释光信号衰减很快, 在前 2s 内衰减到背景值, 是典型的石英信号特征。因此, 我们计算等效剂量时应用前 0.64s 快速组分信号。图 5b 是剂量生长曲线, 可以使用线性加指数方程很好的拟合。从图中可以看到, 信号在再生剂量达到 300 Gy 时仍然没有饱和, 说明尕斯库勒湖和托素湖剖面中这些样品都能够用光释光测年技术来测定其年代值。当再生剂量大于 200 Gy 时, 释光信号出现明显的线性增长, 这种现象在中国的黄土沉积物 (Lai et al., 2009, 2010; Lai, 2010)、湖泊沉积物 (Fan et al., 2010a; Liu et al., 2010a; Long et al., 2010a; Sun et al., 2010) 和冰川沉积物 (Ou et al., 2010) 测试中均有发现。目前对生长曲线大于 200 Gy 时的线性生长机制仍不是很清楚 (Lai, 2010)。

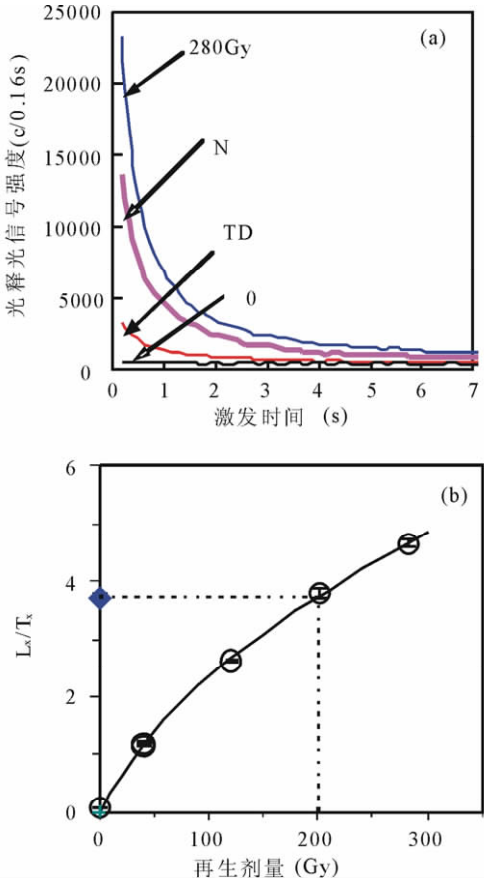


图 5 样品 GH-03 衰减曲线(a)和生长曲线(b)
Fig. 5 OSL decay curves (a) and the growth curve (b) of sample GH-03

根据上述条件测试了所有样品的等效剂量。样品在埋藏前的曝光程度是样品年代可靠性的关键。一般来说, 样品测试的单片等效剂量的频率分布可以获得该样品在沉积时的曝光历史 (Bailey and Arnold., 2006)。对于研究区大部分样品, 其等效剂量的分布基本上呈正态分布, 说明研究区样品在沉积之前具有较好的曝光条件。另外, 现代湖相样品 TSH-湖表测量的等效剂量为 1.7 ± 0.1 Gy, 年代结果为 0.72 ± 0.08 ka。为了避免采样过程中的曝光, 在实验室我们仅用采样管中间的样品测量了其年代, 因此, 0.7 ka 代表水下 10 cm 处沉积物的年龄, 而托素湖表层湖相沉积物年代应该小于 0.7 ka。这个结果也表明研究区湖相沉积物具有较好的曝光, 且对于讨论更老的湖滨或湖相沉积物来说是可以忽略的。所有样品的采样深度、年剂量值和年代等测年信息见表 1。

4 剖面地层和年代测定结果

尕斯库勒湖和托素湖样品的年代结果分别为 82~

表 1 样品光释光测量结果

Table 1 Sample information, environment radioactivity and OSL dating results

实验室编号	野外编号	深度(m)	粒径 (μm)	含水量(%)	U×10 ⁻⁶	Th×10 ⁻⁶	K(%)	Cosmic dose rate(Gy/ka)	总剂量率 (Gy/ka)	等效剂量(Gy)	样片	年代 /ka
ISL-Lum-040	GH-01	0.50	88-125	10±5	2.44±0.14	8.89±0.21	2.41±0.10	0.308±0.04	3.50±0.26	192±10	14	55±5
ISL-Lum-041	GH-02	2.60	88-125	10±5	1.32±0.10	5.89±0.14	2.05±0.09	0.210±0.01	2.66±0.21	168±8	14	63±6
ISL-Lum-042	GH-03	3.60	88-125	10±5	1.01±0.10	4.77±0.12	2.36±0.10	0.196±0.01	2.78±0.22	202±7	11	73±6
ISL-Lum-044	GH-04	8.40	88-125	10±5	1.45±0.12	6.58±0.16	1.97±0.09	0.054±0.03	2.51±0.21	187±8	11	74±7
ISL-Lum-045	GH-05	10.80	88-125	10±5	1.46±0.12	5.75±0.13	1.86±0.08	0.039±0.01	2.34±0.19	179±12	11	77±8
ISL-Lum-046	GH-06	12.30	88-125	10±5	1.45±0.14	5.97±0.14	1.69±0.08	0.035±0.01	2.20±0.18	178±10	12	81±8
ISL-Lum-047	GH-07	12.70	88-125	10±5	1.42±0.11	6.24±0.14	1.75±0.08	0.034±0.01	2.27±0.19	187±7	20	82±8
ISL-Lum-059	TSH-湖表	0.20	38-63	30±5	2.28±0.21	7.18±0.29	1.80±0.06	0.326±0.16	2.36±0.23	1.7±0.1	10	0.72±0.08
ISL-Lum-061	TSH2-A	1.75	38-63	25±5	2.50±0.23	11.2±0.38	2.01±0.05	0.245±0.02	3.30±0.23	99.1±5.9	9	34.4±3.1
ISL-Lum-062	TSH2-B	1.27	38-63	20±5	2.97±0.23	13.1±0.42	2.16±0.06	0.266±0.02	3.69±0.26	38.5±5.5	10	11.1±1.8
ISL-Lum-063	TSH2-C	0.60	38-63	20±5	2.33±0.20	12.3±0.38	2.11±0.05	0.299±0.03	3.47±0.24	30.4±1.3	9	9.3±0.7
ISL-Lum-064	TSH2-D	0.25	38-63	20±5	3.85±0.25	11.5±0.39	2.09±0.05	0.317±0.07	3.73±0.26	6.8±0.6	9	1.9±0.2

55 ka 和 34.4~1.9 ka, 年代都在末次间冰期、末次冰期间冰阶和全新世的范围内, 且在地层剖面中没有发生倒置的现象(图 3 和图 4)。

GH 剖面(图 3)底部(11.0~13.0 m)沉积有灰绿色粘土、粉砂和细砂沉积物, 在整个剖面中粒径最小, 指示深湖相的沉积环境。从粉砂和细砂层采集两个样品(GH-06 和 GH-07)的光释光年代分别为 82 ± 8 ka 和 81 ± 8 ka。说明约在 80 ka 尕斯库勒湖保存有一个较大的湖, 高出目前湖面至少 12 m。剖面中间(3.0~11.0 m)沉积发育有斜层理的细砂和粗砂层, 粒径从下到上逐渐变粗。从细砂和粗砂层中采集的三个样品(GH-03、GH-04 和 GH-05)光释光年代在 77~73 ka 之间。说明在氧同位素五阶段末期湖面处于较为稳定的状态。这些沉积物之上, 沉积了一层厚为 0.40 m 的砾石, 磨圆好, 砾石大小在 2~10 cm 之间, 说明此时湖面低于或接近湖滨砾石堆积物。砾石层之上又沉积了发育交错层理的湖滨含砾粗砂层(0.80~2.60 m), 在该层的底部采集一个样品(GH-02), 其光释光年代为 63 ± 6 ka。剖面最上部(0~0.80 m)沉积了棱角状的冲洪积物, 在该层的最底部采集一个样品(GH-01), 其光释光年代为 55 ± 5 ka。说明在 63~55 ka 湖面再次上涨。由于 GH 剖面的最上部沉积了冲洪积物, 说明古大湖在 55 ka 之后逐渐下降。目前我们没有发现高出 GH 剖面的湖相或者湖滨沉积物, 说明 GH 剖面是代表尕斯库勒湖最高湖面的地貌证据。

TSH 剖面(图 4)底部(1.43~1.90 m)沉积有灰绿色、灰白色粘土层, 层理清晰。从灰绿色粘土层(1.75 m)采集一个样品(TSH2-A)的光释光年代为 34.4 ± 3.1 ka, 说明在氧同位素三阶段晚期托素湖湖面较高, 至少高出目前湖面 4 m 左右。其上, 沉积了 3 cm 厚的含砂砾石层, 从砾石层上下岩性特征和年代结果来看, 在氧同位素三阶段之后湖面明显下降, 沉积了湖滨砾石, 时间应该对应于末次盛冰期。在剖面中间(0.55~1.40 m)沉积有灰黄色粉砂质粘土、灰色和灰白色粘土层, 韵律清晰; 采集两个样品(TSH2-B 和 TSH2-C)的光释光年代分别为 11.1 ± 1.8 ka 和 9.3 ± 0.7 ka。说明在全新世早期湖面再次上涨, 沉积了层理清晰的湖相沉积物。剖面顶部(0~0.55 m)沉积有灰黄色粉砂、灰色粘土层; 采集的一个样品(TSH2-D)的光释光年代为 1.9 ± 0.2 ka, 说明在晚全新世湖面下降。

5 区域对比与讨论

通过总结尕斯库勒湖和托素湖周围湖滨沉积物地貌

证据、湖相沉积物岩性变化及光释光年代结果, 认为尕斯库勒湖东岸的 GH 剖面是至今发现的最高湖面证据, 其高湖面主要集中在两个时段: 82~73 ka 和 63~55 ka; 55 ka 之后湖面是逐渐下降。因为从 GH 剖面来看顶部沉积了冲洪积物, 说明当时尕斯库勒湖的水文平衡发生了明显的变化; 另外, 到目前为止我们没有发现比 GH 剖面更高的湖滨或湖相沉积物。从 TSH 剖面湖相沉积物岩性变化特征来看, 在 34.4 ka 和全新世早期(托素湖 TSH 剖面)湖泊出现了高湖面。

新近的研究结果也报道了许多青藏高原及周边地区古高湖面记录(朱大岗等, 2004; 郑绵平等, 2006; 王富葆等, 2008; 赵希涛等, 2009; Zhu et al., 2004; Madsen et al., 2008; Fan et al., 2010a; Liu et al., 2010a; Sun et al., 2010; Rhode et al., 2010)。

“昆仑古湖”(图 1 中地点 3)位于青海省格尔木市昆仑河上游, 通过对野牛沟和纳赤台西北两个剖面湖相沉积物样品的电子自旋共振法和铀系法测年, 结合介形类化石分析认为, 在约 120~95 ka 的末次间冰期早期, 是昆仑古湖的发育时期, 而 40~30 ka 只是大湖分解过程中的一个阶段(赵希涛等, 2009)。

青海湖(图 1 中地点 4)位于尕斯库勒湖的东部, 是中国最大的内陆咸水湖。已有的研究报道, 在青海湖的南岸(江西沟、黑马河和倒淌河等)发现了许多的湖滨砂堤或高位湖相沉积物。Madsen et al (2008)和 Rhode et al (2010)通过青海湖周围地貌的考察, 发现青海湖南岸沉积有高出目前湖面 20~66 m 的湖岸砂堤和湖相沉积物。根据光释光年代结果认为, 青海湖高湖面出现在 110~75 ka, 之后湖面下降, 氧同位素三阶段湖面甚至比现在还要低, 直到全新世才出现次高湖面(Madsen et al., 2008; Rhode et al., 2010)。Colman et al (2007)总结青海湖钻孔湖相沉积物 $\delta^{18}\text{O}$ 记录认为, 青海湖在氧同位素三阶段不存在高湖面。然而, Liu et al (2010a)通过对青海湖周围地貌的考察, 对发现的湖相沉积物光释光测年, 其结果表明高湖面出现在 90 ka、60~54 ka 和 40 ka。

罗布泊(图 1 中地点 5)位于塔里木盆地的东部和青藏高原的北部。盐湖的北岸和东岸普遍发育三级湖积台地, 根据释光(热释光和光释光)和 ^{14}C 年代, 认为它们分别形成于 130~90 ka、约 30 ka 和 7.5~7.0 ka(王弭力等, 2001; 王富葆等, 2008)。

甜水海湖(图1中地点6)位于青藏高原的西北部,在湖泊周围发育了许多的湖岸砂堤和湖积阶地。通过对最高湖积阶地(高出目前湖面90~100m)的热释光年代测试,其结果为110 ka(李世杰等,2008)。

纳木错湖(图1中地点7)是目前西藏地区湖泊面积最大、海拔最高的一个湖泊。朱大岗等(2004)通过对湖泊周围多个地段考察,发现湖泊周围保留有多级湖积阶地和高位湖相沉积物。根据铀系、 ^{14}C 和电子自旋共振法年代,认为古大湖出现在110~40 ka(Zhu et al., 2004)。

小柴旦湖(图1中地点2)又称小柴达木湖,位于柴达木盆地中部的一个咸水湖。通过对小柴旦湖周围湖岸地貌的考察,发现有多级湖岸阶地,其中高出现代湖面12 m的湖岸阶地的光释光年代为11~3 ka(Sun et al., 2010)。

郑绵平等(2006)对青藏高原不同位置的17个湖区进行地质调查,并结合卫星照片、地形图解译和年代值,认为青藏高原第四纪晚期存在多期高湖面,它们分别出现在132~112 ka、110~95 ka、91~72/83~75 ka、65~53 ka和40~35/30 ka;后两期被称为“泛湖期”,此时高原为巨大的相互连通泛湖系所覆盖。

通过对比青藏高原和周边地区古高湖面记录,发现虽然有些湖泊在某个时期高湖面记录具有不同的认识(如青海湖氧同位素三阶段高湖面),或者没有发现更高的湖相或湖滨证据(如小柴旦湖、托素湖),但是通过综合大部分湖泊的古湖面变化,可得知最高湖面出现在氧同位素五阶段,之后湖面逐渐下降。这个结果也得到青藏高原扎布耶盐湖自生碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 记录的证实(郑绵平等,2007)。湖泊自生或生物成因碳酸盐的 $\delta^{18}\text{O}$ 是反映湖泊有效湿度和区域降水的良好指标,碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 值越高说明气候越干冷(顾兆炎等,1993;刘兴起等,2006)。自128 ka以来扎布耶盐湖钻孔岩芯自生碳酸盐 $\delta^{18}\text{O}$ 值虽有波动,但总体趋势是偏正,说明青藏高原气候自末次间冰期以来是总体干旱化的过程,这与湖面逐渐下降是相呼应的。

6 结论

通过对尕斯库勒湖和托素湖湖滨和湖相沉积物释光特性的研究,认为光释光测年法可以获得较为可靠的年代框架。根据沉积物沉积特征和光释光年代结果认为,尕斯库勒湖和托素湖古高湖面出现在82~73

ka、63~55 ka、34.4 ka和全新世早期。通过与青藏高原及周边湖泊高湖面年代记录对比,认为尕斯库勒湖和托素湖的最高湖面主体出现在氧同位素五阶段,之后湖面逐渐下降。

参 考 文 献

- 陈克造, Bowler J M. 1985. 柴达木盆地察尔汗盐湖沉积特征及其古气候演化的初步研究. 中国科学(B辑), 11: 1218~1231.
- 陈发虎, 范育新, 春喜, 等. 2008. 晚第四纪“吉兰泰—河套”古大湖的初步研究. 科学通报, 53(10): 207~1219.
- 顾兆炎, 刘嘉麒, 袁宝印, 等. 1993. 12000年来青藏高原季风变化——色林错沉积物地球化学的证据. 科学通报, 38(1): 61~64.
- 贾玉连, 施雅风, 王苏民, 等. 2001. 40 ka以来青藏高原的4次湖涨期及其形成机制初探. 中国科学(D辑), 31(增刊): 241~251.
- 李炳元. 2000. 青藏高原大湖期. 地理学报, 55(2): 174~182.
- 李世杰, 张宏亮, 施雅风, 等. 2008. 青藏高原甜水海盆地 MIS 3阶段湖泊沉积与环境变化. 第四纪研究, 28(1): 122~131.
- 刘兴起, 沈吉, 王苏民, 等. 2006. 晚冰期以来青海湖地区气候变迁受西南季风控制的介形类壳体氧同位素证据. 科学通报, 51(22): 2690~2694.
- 马志邦, 赵希涛, 朱大岗, 等. 2002. 西藏纳木错湖相沉积的铀系年代学研究. 地球学报, 23(4): 311~316.
- 施雅风, 刘晓东, 李炳元, 等. 1999. 距今40~30 ka青藏高原特强夏季风事件及其与岁差周期关系. 科学通报, 44(14): 1475~1480.
- 施雅风, 贾玉连, 于革, 等. 2002. 40~30kaBP青藏高原及邻区高温大降水事件的特征、影响及原因探讨. 湖泊科学, 14(1): 1~11.
- 王弼力, 刘成林. 2001. 罗布泊盐湖钾盐资源. 地质出版社, 47~67.
- 王富葆, 马春梅, 夏训诚, 等. 2008. 罗布泊地区自然环境演变及其对全球变化的响应. 第四纪研究, 28(1): 150~153.
- 张虎才, 雷国良, 常风琴, 等. 2007. 柴达木盆地察尔汗贝壳堤剖面年代学研究. 第四纪研究, 27(4): 511~521.
- 郑喜玉, 张明刚, 徐昶, 等. 2002. 中国盐湖志. 科学出版社, 173~174.
- 朱大岗, 孟宪刚, 赵希涛, 等. 2004. 西藏纳木错和藏北高原古大湖晚更新世以来的湖泊演化与气候变迁. 中国地质, 31(3): 269~277.
- 郑绵平, 刘俊英, 齐文. 1996. 从盐湖沉积探讨40ka BP以来青藏高原古气候演替. 见: 郑绵平主编第六届国际盐湖学术论文选集(盐湖资源环境与全球变化). 北京: 地质出版社, 6~20.
- 郑绵平, 袁鹤然, 赵希涛, 等. 2006. 青藏高原第四纪泛湖期与古气候. 地质学报, 80(2): 169~180.
- 郑绵平, 袁鹤然, 刘俊英, 等. 2007. 青藏高原扎布耶盐湖128 ka以来沉积特征与古环境记录. 地质学报, 81(12): 1608~1617.
- 赵希涛, 郑绵平, 李道明. 2009. 青海格尔木三岔河组年龄测定与昆仑古湖发育. 第四纪研究, 29(1): 89~97.
- Bailey R M, Arnold L J. 2006. Statistical modeling of sing grain quartz D_e distributions and an assessment of procedures for

- estimating burial dose. *Quaternary Science Reviews*, 25: 2475~2502.
- Berger G W, Mulhern P J, Huntley D J. 1980. Isolation of silt sized quartz from sediments. *Ancient TL* 11: 8-9.
- Colman S M, Yu S Y, An Z S et al. 2007. Late Cenozoic climate changes in China's western interior: a review of research on Lake Qinghai and comparison with other records. *Quaternary Science Reviews*, 26: 2281~2300.
- Fan Q S, Lai Z P, Long H et al. 2010a. OSL chronology for lacustrine sediments recording high stands of Gahai Lake in Qaidam Basin, northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Quaternary Geochronology*, 5: 223~227.
- Lai Z P. 2006. Testing the use of an OSL standardized growth curve (SGC) for De determination on quartz from the Chinese Loess Plateau. *Radiation Measurements*, 41: 9~16.
- Fan Y X, Zhao H, Chen F H. 2010b. The equivalent dose of different grain size quartz fractions from lakeshore sediments in the arid region of north China. *Quaternary Geochronology*, 5: 205~211.
- Lai Z P, Brckner H, Zller L et al. 2007. Existence of a common growth curve for silt sized quartz OSL of loess from different continents. *Radiation Measurements*, 42: 1432~1440.
- Lai Z P, Brckner H. 2008a. Effects of feldspar contamination on equivalent dose and the shape of growth curve for OSL of silt-sized quartz extracted from Chinese loess. *Geochronometria*, 30: 49~53.
- Lai Z P, Brckner H, Zller L et al. 2008b. Effects of thermal treatment on the growth curve shape for OSL of quartz extracted from Chinese loess. *Radiation Measurements*, 43: 763~766.
- Lai Z P, Kaiser K, Brckner H. 2009. Luminescence dated aeolian deposits of late Quaternary age in the southern Tibetan Plateau and their implications for landscape history. *Quaternary Research*, 72: 421~430.
- Lai Z P, Zhang W G, Chen X et al. 2010. OSL chronology of loess deposits in East China and its implications for East Asian monsoon history. *Quaternary Geochronology*, 5: 154~158.
- Lai Z P. 2010. Chronology and the upper dating limit for loess samples from Luochuan section in Chinese Loess Plateau using quartz OSL SAR protocol. *Journal of Asian Earth Sciences*, 37: 176~185.
- Lee J, Li S H, Aitchison J C. 2009. OSL dating of paleoshorelines at Lagkor Tso, western Tibet. *Quaternary Geochronology*, 4: 335~343.
- Liu X J, Lai Z P, Fan Q S et al. 2010a. Timing of high lake levels of Qinghai lake in the Qinghai-Tibetan Plateau since Last Interglaciation based on quartz OSL dating. *Quaternary Geochronology*, 5: 218~222.
- Liu X J, Lai Z P, Madsen D et al. 2010b. Lake level variations of Qinghai Lake in northeastern Qinghai-Tibetan Plateau since 3.7 ka based on OSL dating. *Quaternary International*, in press, doi:10.1016/j.quaint.2010.08.009.
- Long H, Lai Z P, Fan Q S et al. 2010a. Applicability of a quartz OSL standardised growth curve for De determination up to 400 Gy for lacustrine sediments from the Qaidam Basin, China. *Quaternary Geochronology*, 5: 212~217.
- Long H, Lai Z P, Wang N et al. 2010b. A combined luminescence and radiocarbon dating study of Holocene lacustrine sediments from arid northern China. *Quaternary Geochronology*, in press, doi:10.1016/j.quageo.2010.06.001.
- Madsen D B, Ma H Z, Rhode D et al. 2008. Age constraints on the late Quaternary evolution of Qinghai Lake, Tibetan Plateau. *Quaternary Research*, 69: 316~325.
- Murray A S, Wintle A G. 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements*, 32: 57~73.
- Murray A S, Wintle A G. 2003. The single aliquot regeneration dose protocol: potential for improvements in reliability. *Radiation Measurements*, 37: 377~381.
- Owen L A, Finkel R C, Ma H Z et al. 2006. Late Quaternary landscape evolution in the Kunlun Mountains and Qaidam Basin, Northern Tibet: A framework for examining the links between glaciation, lake level changes and alluvial fan formation. *Quaternary International*, 154~155, 73~86.
- Ou X J, Xu L B, Lai Z P et al. 2010. Potential of quartz OSL dating on moraine deposits from eastern Tibetan Plateau using SAR protocol. *Quaternary Geochronology*, 5: 257~262.
- Prescott J R, Hutton J T. 1994. Cosmic ray contribution to dose rates for luminescence and ESR dating: Large depths and long term time variations. *Radiation Measurements*, 23: 497~500.
- Pachur H J, Wnnemann B, Zhang H C. 1995. Lake Evolution in the Tengger Desert, Northwestern China, during the Last 40,000 Years. *Quaternary Research*, 44(2), 171~180.
- Rhode D, Ma H Z, Madsen D B et al. 2010. Paleoenvironmental and archaeological investigations at Qinghai Lake, western China: Geomorphic and chronometric evidence of lake level history. *Quaternary International*, 29~44.
- Shi Y F, Yu G, Liu X D et al. 2001. Reconstruction of the 40 30ka BP enhanced Indian monsoon climate based on geological records from the Tibetan Plateau. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 169(1-2), 69~83.
- Sun Y J, Lai Z P, Long H et al. 2010. Quartz OSL dating of archaeological sites in Xiao Qaidam Lake of the NE Qinghai-Tibetan Plateau and its implication for palaeoenvironmental changes. *Quaternary Geochronology*, 5: 360~364.
- Wintle A G, Murray A S. 2006. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. *Radiation Measurements*, 41: 369~391.
- Yang X P, Liu T S, Xiao H L. 2003. Evolution of megadunes and lakes in the Badain Jaran Desert, Inner Mongolia, China during the last 31000 yrs. *Quaternary International*, 104: 99~112.
- Yang X P, Preusser F, Radtke U. 2006. Late Quaternary environmental changes in the Taklamakan Desert, western

China, inferred from OSL-dated lacustrine and aeolian deposits. *Quaternary Science Reviews*, 25(9-10):923~932.

Yang X P, Scuderi L A. 2010. Hydrological and climatic changes in deserts of China since the late Pleistocene. *Quaternary Research*, 73:1~9.

Zhang H C, W nneemann B, Ma Y Z et al. 2002. Lake Level and Climate Changes between 42,000 and 18,000 ¹⁴C yr B. P in the Tengger Desert, Northwestern China. *Quaternary Research*, 58: 62~72.

Zhang H C, Peng J L, Ma Y Z et al. 2004. Late Quaternary palaeolake levels in Tengger Desert, NW China. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 211: 45 ~ 58.

Zhao Y, Yu Z C, Chen F H et al. 2008. Sensitive response of desert vegetation to moisture change based on a near-annual resolution pollen record from Gahai Lake in the Qaidam Basin, northwest China. *Global and Planetary Change*, 62: 107~114.

Zhu D G, Meng X G, Zhao X T et al. 2004. Evolution of an Ancient large lake in the southeast of the Northern Tibetan Plateau. *Acta Geologica Sinica*, 78(4):982~992.

Zheng M P. 1997. An introduction to saline lakes on the Qinghai-Tibet Plateau. Kluwer Academic Publishers, 19: 45~54.

Zheng M P, Meng Y F, Wei L J. 2000. Evidence of the pan-lake stage in the period of 40~28ka BP on the Qinghai Tibet Plateau. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 74(2): 266~272.

Luminescence Chronology of High Lake levels of Paleolakes in the Late Quaternary eastern Qaidam Basin

FAN Qishun^{1,2)}, LAI Zhongping¹⁾, LIU Xiangjun^{1,2)}, SUN Yongjuan^{1,2)}, LONG Hao^{1,2)}

1) *Key Laboratory of Salt Lake Resource and Chemistry, Qinghai Institute of Salt Lakes, Chinese Academy of Sciences, Xining, 810008;* 2) *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049*

Abstract

High lake levels of terminal lakes indicate warm and humid climatic conditions. Controversial views exist regarding the ages of high lake levels on the Qinghai-Tibetan Plateau. One view (mainly based on ¹⁴C dating) proposes that the pan-lake period (40~28 ka BP) or great lake period (40~25 ka BP) generally existed in the late part of the Marine Isotope Stage (MIS) 3, during which the temperatures and precipitation were probably much higher than those in the Holocene. However, another view (mainly based on Optically Stimulated Luminescence (OSL) and U-series dating) argues that the highest lake level of paleolakes on the Qinghai-Tibet Plateau occurred in MIS 5 and later lowered gradually. Gahai Lake and Toson Lake are located in the eastern Qaidam Basin, northeastern Qinghai-Tibet Plateau. Here we report quartz OSL age estimates of highstand lacustrine sediments and beach deposits to establish the lake level history for the two lakes. The results imply that the high lake stands existed at 82~73 ka, 63~55 ka, 34.4 ka and early Holocene (11~9 ka), and that the highest lake level occurred in MIS 5 in the Late Quaternary.

Key words: high lake levels; OSL chronology; eastern Qaidam Basin; Late Quaternary