

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

朱大岗¹ 孟宪刚¹ 赵希涛² 邵兆刚¹
杨朝斌³ 马志邦² 吴中海¹ 王建平¹

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;
2. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029; 3. 西藏自治区国土资源厅, 西藏 拉萨 850000)

提 要: 根据野外水准测量与室内实验分析, 本文探讨了西藏纳木错和藏北高原古大湖晚更新世以来的湖泊演化和气候变迁。在纳木错沿岸拔湖 48 m 以下, 发育了 6 级湖岸阶地, 拔湖 48~139.2 m 发育有高位湖相沉积。研究表明, 纳木错湖泊发育与藏北高原东南部古大湖演化可划分为 3 个阶段: ①116~37 ka B.P. 间的古大湖期; ②37~30 ka B.P. 间的外流湖期; ③30 ka B.P. 以来的纳木错期。在古大湖阶段, 包括纳木错、色林错和扎日南木错、当惹雍错等藏北高原东南部的一大批现代大、中、小型湖泊, 都是互相连通的一个古大湖, 其范围可能超过了现代的藏北内、外流(怒江)水系的分水岭。它或许还与藏北高原南部和西部的其他古湖相连, 成为统一的藏北高原“古大湖”。通过对纳木错湖相沉积形成时代与深海氧同位素对比, 易溶盐、pH 值、地球化学、介形类和孢粉分析等的综合研究发现, 湖相沉积记录了自晚更新世以来的湖泊演化和气候变迁信息。资料显示古大湖期湖面最高, 气候温和清爽; 外流湖期湖面急剧下降, 气温和湿度较现今略高; 纳木错期以来气候经历了全新世最宜期的暖湿后日益干旱化, 气温波动, 湖面持续下降。表明自晚更新世以来该区气候在逐渐变干的总趋势的基础上, 经历了多次明显的冷暖与干湿波动。

关 键 词: 西藏纳木错; 晚更新世; 湖泊演化; 气候变迁; 古大湖

中图分类号: P534.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3657(2004)03-0269-09

藏北高原第四纪环境变化, 特别是晚更新世以来高原隆升对全球环境变化的影响, 已成为青藏高原古气候、古环境研究中的热点问题之一, 也是研究近代气候、环境变化的有效途径。青藏高原是中国湖泊分布最多的地区, 藏北内流区则集中了西藏最多的湖泊和大湖。其中, 位于藏北高原东南部, 藏语意为天湖的纳木错, 是西藏面积最大(1920 km²)和海拔最高(4718 m)的大湖。湖泊演化则是高原环境演化的重要组成部分, 因而在全球环境变化研究中具有特殊意义。因此, 研究纳木错晚更新世以来的湖面变化, 不仅对于藏北湖群具有很好的代表性, 而且更为重要的是它在晚更新世时, 是通过湖水与藏北高原东南部的大多数大、中、小型湖泊一起, 组成了一个面积达十多万平方千米的巨型古大湖。纳木错晚更新世以来湖泊演化与环境变化的研究, 特别是藏北高原东南部古大湖的发现^[1], 对于该区第四纪地层的划分与对比, 古地理与古环境的重建, 沉积矿床尤其是盐类矿床的成因与物

源, 以及高原的隆升过程与新构造运动等研究, 都具有重大的科学与实践意义。

笔者在纳木错沿岸的野外地质调查与 1:25 万地质填图中, 开展了湖相沉积物的水准测量与采样及室内 U 系、¹⁴C 等同位素测年和其他项目的分析测试, 并陆续报道了有关藏北高原古大湖的发现、纳木错群的建立与念青唐古拉山冰川作用等阶段性研究成果^[2-3]。本文将介绍西藏纳木错和藏北高原古大湖晚更新世以来湖泊演化与气候变迁的初步研究成果。

1 纳木错沿岸湖泊沉积的水准测量及其同位素测年

1.1 湖岸阶地与湖相沉积的拔湖高度

环纳木错 7 条湖岸阶地和高位湖相沉积剖面的野外水准测量结果表明(图 1), 纳木错沿岸大体可划分出 6 级湖岸

收稿日期: 2003-07-15; 改回日期: 2004-04-16

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目(DKD2001006、DKD9901001)资助。

作者简介: 朱大岗, 男, 1951 年生, 研究员, 从事区域地质、沉积相与古环境研究; E-mail: dagangzhu @ sohu.com。

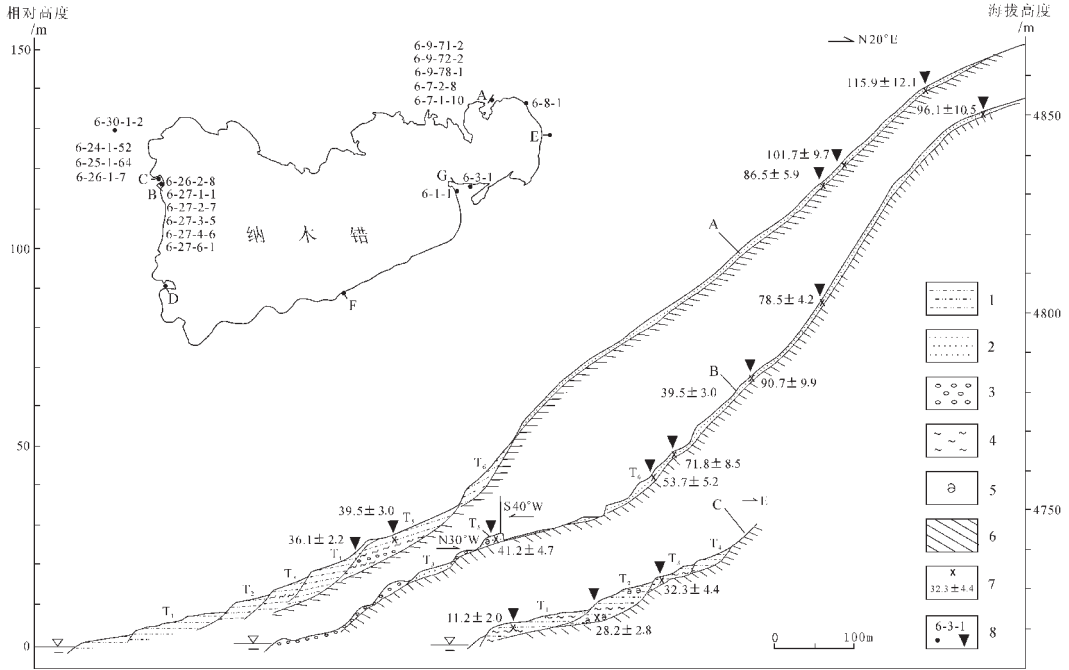


图1 纳木错沿岸湖相沉积及湖岸阶地实测剖面 and 平面位置图

1—粘土质砂层;2—砂层;3—砂砾层;4—水草层;5—螺壳;6—基岩;7—铀系样品采样位置及测年数据(kaB.P.);8—采样点及编号;实测剖面位置:A—干玛弄及西南;B—塔吉古日西南;C—扎弄淌;D—夺玛南;E—马尼洋淌;F—丁曲帕;G—多青岛西北

Fig. 1 Measured section of lacustrine deposits and lake terraces along Nam Co and their distribution

1—Clayey sands; 2—Sands; 3—Sands and gravels; 4—Waterplants; 5—Spiral shells; 6—Bedrocks; 7—Site and date (ka BP) of U-series samples; 8—Sampling site and sample number. The location of section: A—Ganmalong; B—Tajiguri; C—Zhalongtang; D—Duoma; E—Maniyangtang; F—Dingqupa; G—Duoqingdao

阶地(T₁—T₆),其拔湖高度由低至高依次为 1.5~8.3 m, 8.3~15.6 m, 14.0~19.9 m, 18.7~25.8 m, 26.0~37.3 m 和 38.3~47.6 m; 高位湖相沉积的拔湖高度为 48~139.2 m^[2]。

1.2 铀系法测年

文中所报道的 26 个铀系测年样品中,有 18 个样品采自纳木错沿岸,作为对比的 8 个样品位于藏北内流区与怒江水系分水岭上方靠外流区一侧。这些样品均为富含碳酸盐的湖相细砂、粉砂或粘土和湖滨相湖滩岩。因其均为不纯的碳酸盐,故笔者采用了全溶样品的等时线技术^[4],经过校正铀系等时线年龄测定结果列于表 2。这 26 个样品的编号、采样地点及其部位、拔湖及海拔高度、岩性及其碳酸盐含量等,按剖面的不同及拔湖的相对高度,由低至高排列(表 1)。将铀系等时线年龄与湖相和湖滨相沉积层位和地貌部位(图 1)相对照,可以发现在 26 个铀系年龄数据中,除 6-3-1 号样品的年龄数据可能较其他数据偏小外,绝大部分数据符合地貌部位愈高、年龄愈老的规律,只有 6-27-6-1 和 6-9-73-2 两样品与相邻样品稍有颠倒,但均在±1σ 的误差范围内,因而在地质上都是可以接受的。

1.3 ¹⁴C 法年龄测定

¹⁴C 法测年样品,均为湖相细砂、粉砂或粘土中的水草

层、螺壳或淤泥。全部样品采自纳木错沿岸,分别为西北岸的班戈县德庆乡扎弄淌、波曲河口,当雄县纳木错干玛弄、丁曲帕等地的 T₁ 和 T₂ 阶地。

根据纳木错湖相沉积的 ¹⁴C 法年代学的初步研究,T₁—T₂ 阶地湖相地层中的水草层 ¹⁴C 测年结果为 2 350~10 390 a, T₁—T₂ 阶地中的螺壳 ¹⁴C 测年结果为 5 290~9 030 a, T₁ 阶地中的淤泥 ¹⁴C 法测年结果为 13 820 a。因此,可以确定环纳木错的第一、二级湖积阶地的形成时代为全新世以来^[2]。其中 T₁—T₂ 阶地湖相地层中的水草层、螺壳 ¹⁴C 测年结果,均较 U 系法测定的数据偏小,其原因待查。

1.4 纳木错沿岸湖相沉积的形成年代与深海氧同位素对比

根据铀系等时线年龄研究结果可以确定,纳木错沿岸的高位湖相沉积形成于 115.9±12.1~71.8±8.5 ka B.P.时期,包括晚更新世早中期的末次间冰期,也就是深海氧同位素第五阶段(MIS 5)和末次冰期早冰阶,即深海氧同位素第四阶段(MIS 4);高阶地(第六至第三级阶地)分别形成于 53.7±4.2 ka B.P.、41.2±4.7~39.5±3.0 ka B.P.、36.1±2.2~35.2±3.0 ka B.P.和 32.3±4.4 ka B.P.,相当于晚更新世中晚期的末次冰期间冰阶,即深海氧同位素第三阶段(MIS 3);低阶地(第二与第一级阶地)分别形成于 28.2±2.8 ka B.P.之后和 11.2±2.0 ka B.P.前后

表 1 纳木错及邻区湖泊沉积的铀系测年结果

Table 1 U-series dates for lacustrine deposits of Nam Co and adjacent lakes

样品编号	剖面地点与采样部位	高度/m	海拔/m	岩性	CaCO ₃ %	年龄/kaB.P.	资料来源
6-24-1-52	班戈县扎弄淌东岸 T ₁ 中部	1.2	4719.2	细砂		11.2?2.0	本文
6-25-1-64	班戈县扎弄淌东岸 T ₂ 底部	8.0	4726.0	细砂	32	28.2±2.8	文献[4]
6-26-1-7	班戈县扎弄淌东岸 T ₃ 中部	16.1	4734.1	细砂	57	32.3±4.4	文献[4]
6-30-1-2	班戈县丘贡 T ₄ 上部	22	4740	粉细砂	24	35.2±3.0	文献[4]
6-7-2-8	当雄县干玛弄西南 T ₅ 中部	22.9	4744.3	粘土质粉砂		36.1±2.2	本文
6-7-1-10	当雄县干玛弄西南 T ₅ 上部	26.3	4744.3	粘土质粉砂	58	39.5±3.0	文献[5]
6-26-2-8	班戈县塔吉古日西南坡 T ₅ 下部	27.0	4745.0	粘土质粉砂	52	41.2±4.7	文献[4]
6-27-1-7	班戈县塔吉古日西南坡 T ₆ 中部	42.1	4760.1	粉砂	46	53.7±5.2	文献[4]
6-27-2-7	塔吉古日西南坡拔湖 47.5m 剖面下部	46.8	4764.8	粘土质细砂	43	71.8±8.5	文献[4]
6-27-3-5	塔吉古日西南坡拔湖 68.9m 剖面下部	68.4	4766.4	粘土质粉砂	61	90.7±9.9	文献[4]
6-27-4-6	塔吉古日西南坡拔湖 88.8 m 剖面下部	88.3	4806.3	粉砂质粘土	45	78.5±4.2	文献[4]
6-9-72-2	当雄县干玛弄西南高位湖相沉积	115.8	4833.8	粉砂质粘土		86.5±5.9	本文
6-9-73-2	当雄县干玛弄西南高位湖相沉积	119.8	4837.8	粉砂质粘土		101.7±9.7	本文
6-27-6-1	塔吉古日西南高位湖相沉积下部	128	4846	粉砂质粘土		96.1±10.5	本文
6-9-78-1	当雄县干玛弄西南高位湖相沉积	139	4857	粘土质粉砂		115.9±12.1	本文
6-1-1	多穷岛西南岸湖蚀台地基岩石缝中	15.4	4733.4	湖滩岩	>95	26.7±2.8	文献[5]
6-8-1	当雄县期波拉 16.8m 湖岸堤上部	16.5	4734.5	湖滩岩	<5	29.3±2.7	文献[5]
6-3-1	多青岛西北岸东溶洞底砂砾岩上部	20.5	4738.5	湖滩岩	78	18.7±3.8	文献[5]
3-10-2-3	那曲支流母各曲东岸夹不弄	32	4760	细砂		41.0?3.1	本文
7-11-1-3	班戈县久如错东岸 4805m 小丘西南	90	4768	粉细砂	35	47.5±3.3	文献[5]
7-1-1-5	班戈县仁错北岸马尺西	127	4775	粉细砂	38	39.4±4.5	文献[5]
5-16-2-7	错鄂西北岸洗夏达琼来钦玛	137	4725	粘土质细砂		44.2±4.7	文献[5]
5-17-3	错鄂东北岸那曲分水洼地错呀桑东岸	17	4532	砂质粘土		52.5?4.1	本文
3-9-6-2	错鄂东南岸嘎杂西北坡中下部	117	4632	粉砂		48.8?4.9	本文
3-8-6	蓬错东岸雄曲上游日阿南麓	234	4756	粉砂		43.9?4.7	本文
3-10-2-3	那曲夹不弄剖面下部		4760	细砂		41.0?3.7	本文

(其 ¹⁴C 年龄为 2 350~13 820 aB.P.), 大致相当晚更新世末期的末次冰期晚冰阶, 即深海氧同位素第二阶段 (MIS 2) 和全新世或冰后期即深海氧同位素第一阶段 (MIS 1)^[6]。

2 纳木错沿岸湖相沉积实验分析及其所反映的环境与气候变迁

2.1 易溶盐

按照常规的土壤易溶盐分析方法, 分析了纳木错湖区 7 个剖面样品的易溶盐含量。在纳木错湖相沉积剖面内, 其易溶盐总的状况是: 从 T₁ 阶地到高位湖相沉积, HCO₃⁻ 的含量变化范围在 0.021%~0.043% 之间; SO₄²⁻ 含量为 0.0034%~0.466%; Ca²⁺ 含量变化范围也较大, 为 0.0008%~0.146%; Mg²⁺ 含量为 0.0008%~0.039%; K⁺+Na⁺ 的含量为 0.0014%~0.033%。因此, 纳木错湖相沉积剖面中易溶盐的阳离子以 K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺ 为主, 阴离子以 HCO₃⁻、SO₄²⁻ 为主, 总含盐量在 0.04%~0.6% 之间, 出现了多次波动, 最小为 0.034%, 最大为 0.69% (图 2), 总体上保持了半咸水—微咸水湖, 以微咸水湖为主的特征。但在时代上从老到新, 湖水有逐渐咸化的趋势。

2.2 pH 值

纳木错环湖沉积剖面土样的 pH 值, 变动在 6.49~7.84 之间, 以 7.30~7.61 居多。pH 值在剖面上的变化规律 (图 3), 是从顶部向底部衰减, 中间在 8.3~15.6 m, 14.0~19.9 m, 18.7~25.8 m, 26.0~36.9 m 和 38.3~47.6 m 5 个深度段出现不同的小

峰值, 5 个小峰值之间插入 3 个低值。在 5 个小峰值段中间的 2 个峰附近, 尚存在次级的峰值和低值。

根据 pH 值的大小与年降水量成反比的相关关系^[7], 则峰值段代表相对干旱时段, 低值代表相对湿润时段。从总体上看, 纳木错湖相沉积剖面中的 pH 值介于 6.49~7.81, 反映当地长期保持着从湿润到轻湿—半干旱的气候环境。但这种气候环境的稳定程度, 并不是始终如一的, 其气候条件出现过短期的湿润。从 pH 值自古而后的变化趋势看, 气候环境是日益使干旱程度增加; 从 pH 值沿剖面的拔湖高度的变化看, 有 5 个相对较大的干旱阶段和 3 个相对湿润阶段。所以说, 日益干旱的进程是振荡式的。

2.3 地球化学特征

从 TiO/CrO、TiO/Ni₂O、TiO/ZnO、TiO/CuO、TiO/MnO₂ 及 TiO/PbO 的比值看^[8], 纳木错北部的干玛弄剖面从 T₁ 阶地到高位湖相沉积, 大致有 3 个峰值, 代表相对湿润阶段, 2 个低值代表相对轻湿—干旱阶段, 自下而上第一湿润时段包含 2 个次级湿润亚段; 第二、三干旱段各包含 2 个亚段。湿润程度变化以第一湿润时段变化幅度最大, 其余变幅均较小。湿润阶段之间为干旱阶段, 只是湿润阶段持续不长、振幅较小, 相反干旱阶段持续的时间较长 (表 2、图 4)。

2.4 孢粉分析结果

孢粉分析结果表明, 在纳木错湖相沉积的各样品中, 孢粉含量均非常丰富。据 103 个样品所统计的 15929 粒孢粉中, 共发现 72 个科、属, 计乔木植物花粉、灌木与草本植物花粉和藻类与蕨类孢子分别为 23、33 和 16 个科、属。兹将纳木

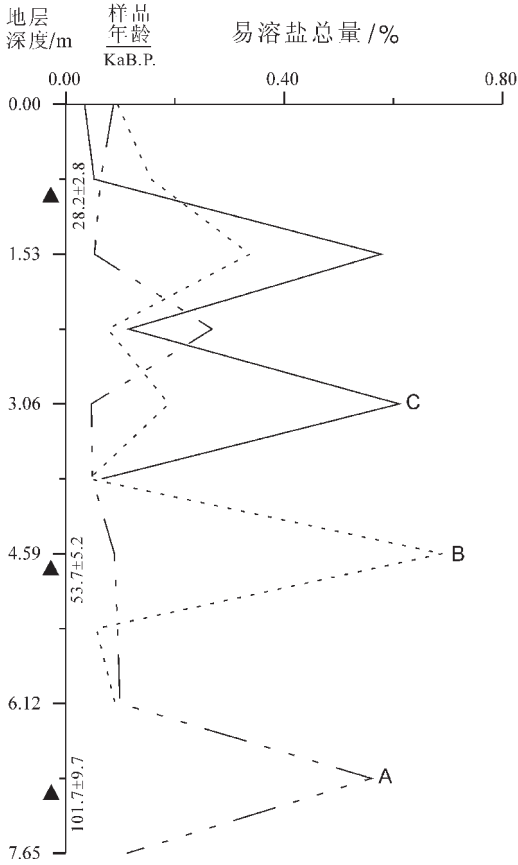


图2 纳木错湖相地层总含盐量变化曲线图
(黑三角形为 U 系年龄)
A—干马弄剖面;B—塔吉古日剖面;C—扎弄淌剖面
Fig. 2 Variation curve of the salt content in lacustrine deposits of Nam Co
(Black triangle denotes the U-series age)
A—Ganmalong section;B—Tajiguri section;
C— Zhalongtang section

错常见孢粉类型的百分含量(孢粉数量)变化表示于图5。必须说明的是,图5中高位湖相沉积各剖面或点位是按时间顺序排列的,与其拔湖高度顺序并不完全一致。

T₁ 阶地:由下而上可划分为3个孢粉带,Ⅰ带见于阶地下部的1.57~2.7 m处,为松(*Pinus*)—蒿(*Artemisia*)—莎草科(*Cyperaceae*)花粉带;Ⅱ带位于阶地中部的0.45~1.57 m处,为松—桦(*Betula*)—蒿—莎草科花粉带;Ⅲ带位于阶地顶部的0~0.45 m处,为松—桦—蒿花粉带。

T₂ 阶地:由下而上可划分为3个孢粉带,Ⅰ带位于阶地下部的1.78~2.4 m处,为松—桦—蒿花粉带;Ⅱ带位于阶地中部的0.6~1.78 m处,为松—蒿—莎草科—禾本科(*Gramineae*)花粉带;Ⅲ带位于阶地上部的0~0.6 m处,为松—桦—蒿花粉带。

T₃—T₆ 阶地及其高位湖相沉积:其花粉组合特点是:①乔木植物花粉占多数,在该两阶地及其高位湖相沉积中孢粉

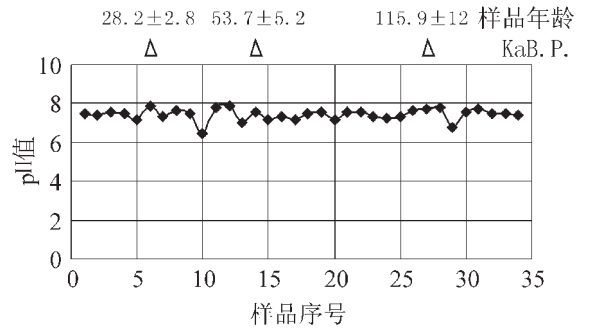


图3 纳木错湖相沉积剖面样品 pH 值变化曲线
(三角形为 U 系年龄)
Fig. 3 Variation curve of pH values of lacustrine deposits of Nam Co
(Triangle denotes the U-series age)

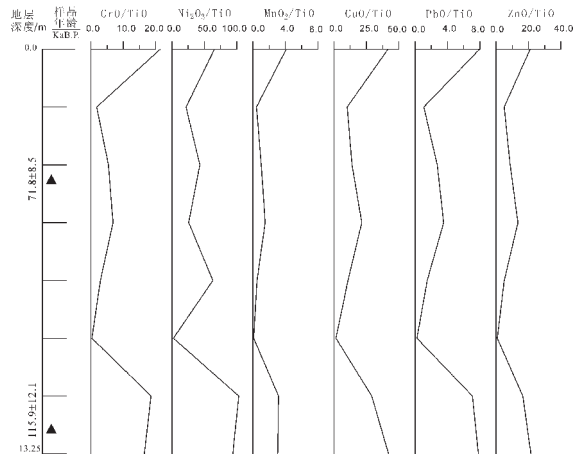


图4 纳木错西岸扎弄淌—塔吉古日剖面化学比值变化曲线图
(黑三角形为 U 系年龄)
Fig. 4 Variation curve of chemical ratios of the Zhanongtang-Tajiguri section on the western bank of Nam Co.
(Black triangle denotes the U-series age)

组合占总数的61%,其中又以松数量较多(48.4%~49.7%),其次为桦(10.4%~9.0%),再次为椴(*Tilia*)(1.7%~2.4%);②灌木及草本植物少,可占总数的2%左右;③蕨类植物孢粉很少,分别可占总数的2.2%、2.0%左右,其中又以水龙骨科(*Polypodiaceae*)孢子数量相对较多。

2.5 介形类分析结果

本区干马弄、扎弄淌和塔吉古日3条剖面中的介形类的初步鉴定结果表明,其介形类以湖花介属(*Limnocythere*)、美星介属(*Cyprinotus*)和白花介属(*Leucocythere*)等3个属为主。其介形虫组合的更迭,反映了主要为寒水—深水环境,鲜有浅湖及暂时性水体。与此同时,本区泥炭、草炭层又屡有出

表 2 纳木错湖相沉积剖面粘粒组分氧化物比值

Table 2 Oxide ratio of clay grain components in lake deposits of Nam Co

序号	样品编号	采样位置	TiO ₂ /Ni ₂ O ₃	TiO ₂ /ZnO	TiO ₂ /CuO	TiO ₂ /PbO	TiO ₂ /CrO	TiO ₂ /MnO ₂
1	6-24-1-13	扎弄淌 T ₁	5.507	0.388	2.261	0.156	0.921	0.054
2	6-25-1-51	扎弄淌 T ₂	21.757	1.804	14.189	0.582	3.275	0.385
3	6-26-1-4	扎弄淌 T ₃	23.299	6.909	14.632	2.572	5.365	1.260
4	6-26-2-11	塔吉古日 T ₅	18.357	3.847	7.659	0.998	2.418	0.467
5	6-27-1-8	塔吉古日 T ₆	18.913	5.749	9.045	1.438	4.271	0.644
6	6-27-2-13	塔吉古日 47.8m	27.230	5.435	7.987	1.189	2.928	0.602
7	6-27-3-4	塔吉古日 68.9m	18.506	5.345	12.463	1.593	1.904	0.667
8	6-27-5-5	塔吉古日高位湖相	23.784	5.806	9.134	1.452	2.791	0.702
9	6-7-3-7	干马弄 T ₁	65.584	21.123	41.733	7.986	21.393	4.106
10	6-9-4-4	干马弄 T ₃	21.630	5.063	10.230	1.098	1.750	0.429
11	6-7-2-5	干马弄 T ₄	42.928	8.793	13.973	2.760	5.386	1.030
12	6-7-1-28	干马弄 T ₅	25.875	13.556	21.454	3.546	6.817	1.505
13	6-9-1-4	干马弄 T ₆	63.123	5.129	10.863	1.510	2.912	0.491
14	6-9-2-19	干马弄 70m	2.160	0.824	1.542	0.243	0.296	0.089
15	6-9-3-5	干马弄 115m	103.028	16.579	29.184	7.092	18.527	3.156
16	6-9-78	干马弄 139m	93.791	21.557	42.175	7.838	16.474	3.058

现,且主要集中在研究区的北部及西北方向。这表明,在纳木错湖泊发展过程中,湖泊在东部及东南部明显发生过湖退过程,主要来水方向还是湖区东部和东南部的念青唐古拉山脉冰川融水,然而这些过程并未造成湖水咸化。淡水—微咸水种 *Eucypris gyirongensis* Yang 介形虫组合在扎弄淌剖面中大量出现,故表明纳木错湖水变咸主要是全新世以来才发生的。

3 纳木错和藏北高原东南部古大湖湖泊演化与气候变迁

3.1 古大湖期—古大湖发育阶段(116~37 ka B.P.)

纳木错沿岸高位湖相沉积的拔湖高度为 139.2~48 m, 轴系法年龄介于 115.9~71.8 ka B.P. 之间,其时代跨 MIS 5 到 MIS 4 初期。在晚更新世早期即末次间冰期(MIS 5)时,纳木错已发育成为一个充满盆地、面积巨大的网格状深水大湖——古羌塘湖,此时包括纳木错、色林错和扎日南木错、当惹雍错等藏北高原东南部的一大批现代大中小型湖泊,都是互相连通的古大湖,其范围可能超过了现代的内、外流水系(怒江)的分水岭。它或许还与藏北高原南部和西部的其他古湖相连,成为统一的藏北高原“古大湖”。其总面积可达 100 000~200 000 km² 以上,是现今湖泊面积的 10~20 倍^[8]。在 115.9 ka B.P. 的 MIS 5e 末期的最高湖面时期,其中仅古东湖的湖面面积即达 78 800 km²,为现今该区湖群湖面总面积 8 500 km² 的 9.2 倍(图 6),其流域总面积约为 167 000 km²。在 MIS 5 期间,包括纳木错在内的古大湖湖面的总趋势是下降的,但很可能包含两次升降变化。而在 MIS 4 期间,湖面则明显下降,从而形成了纳木错、错鄂、错那、蓬错、当惹雍错、当穷错等湖泊沿岸的高位湖相沉积。随着古大湖湖面的下降,其湖面的拔湖高度从 140 m 降到 26 m,湖水也由淡水向微咸

水转化。

约 115.9~101.7 ka B.P. 间,纳木错地区为以松与桦和蒿与麻黄为主的森林—草原,气候温和较干;96.1 ka B.P. 左右,为以松为主,含桦与少量冷杉、铁杉、椴、榆和胡桃等针、阔叶树种的针叶林,气候温和偏干。90.1 ka B.P. 左右,以蒿及水龙骨为主的灌木与草本植物和蕨类植物的比例有所增加,故当时植被为以松、桦、蒿与水龙骨为主的森林—草原,气候温和轻爽,湿度比较适中而气温可能略高于现今;86.5 ka B.P. 左右,松、桦等乔木植物比例大幅上升,胡桃、榆和冷杉等针、阔叶树种的针叶林,气候温和偏干,气温可能高于现今;78.5 ka B.P. 左右,虽然以蒿与水龙骨为主的灌木与草本植物和蕨类植物的比例也有所增加,但仍为以松为主,含桦及少量冷杉、铁杉和椴等针、阔叶树种的针叶林,气候温和偏干;约 71.8 ka B.P.,为以松、蒿、藜、禾及水龙骨为主的森林草原,气候温和轻爽。

在 53.7 ka B.P. 和 41.2~39.5 ka B.P. 前后的 MIS 3 早期,古大湖湖面曾发生过两次较明显的升降,形成了纳木错、当穷错等湖泊沿岸的第六级和第五级阶地。53.7 ka B.P. 前后该区的古植被为以松、蒿为主和少量桦、椴、冷杉、栎、藜科、禾本科、卷柏及水龙骨科的比较典型的森林—草原,气候温和稍干;在 41.2~39.5 ka B.P. 时期,本区的古植被为含有桦和少量冷杉与椴等针、阔叶树种而以松为主的针叶林,气候温和偏爽或温和略干,气温可能略高于现今或与今接近。

3.2 外流湖期——古大湖分裂阶段(37~30 ka B.P.)

大约在 40~35 ka B.P. 之间曾发生湖面的短期下降,当其再次上升之时(约为 37 ka B.P.),也就是末次冰期间冰段中期,藏北高原东南部古大湖湖面再次上升之时,可能湖水冲开了古大湖与怒江水系的分水岭而外泄,使古大湖湖面急剧下降和局部解体,从而使充填纳木错盆地的古湖——“古纳木错”

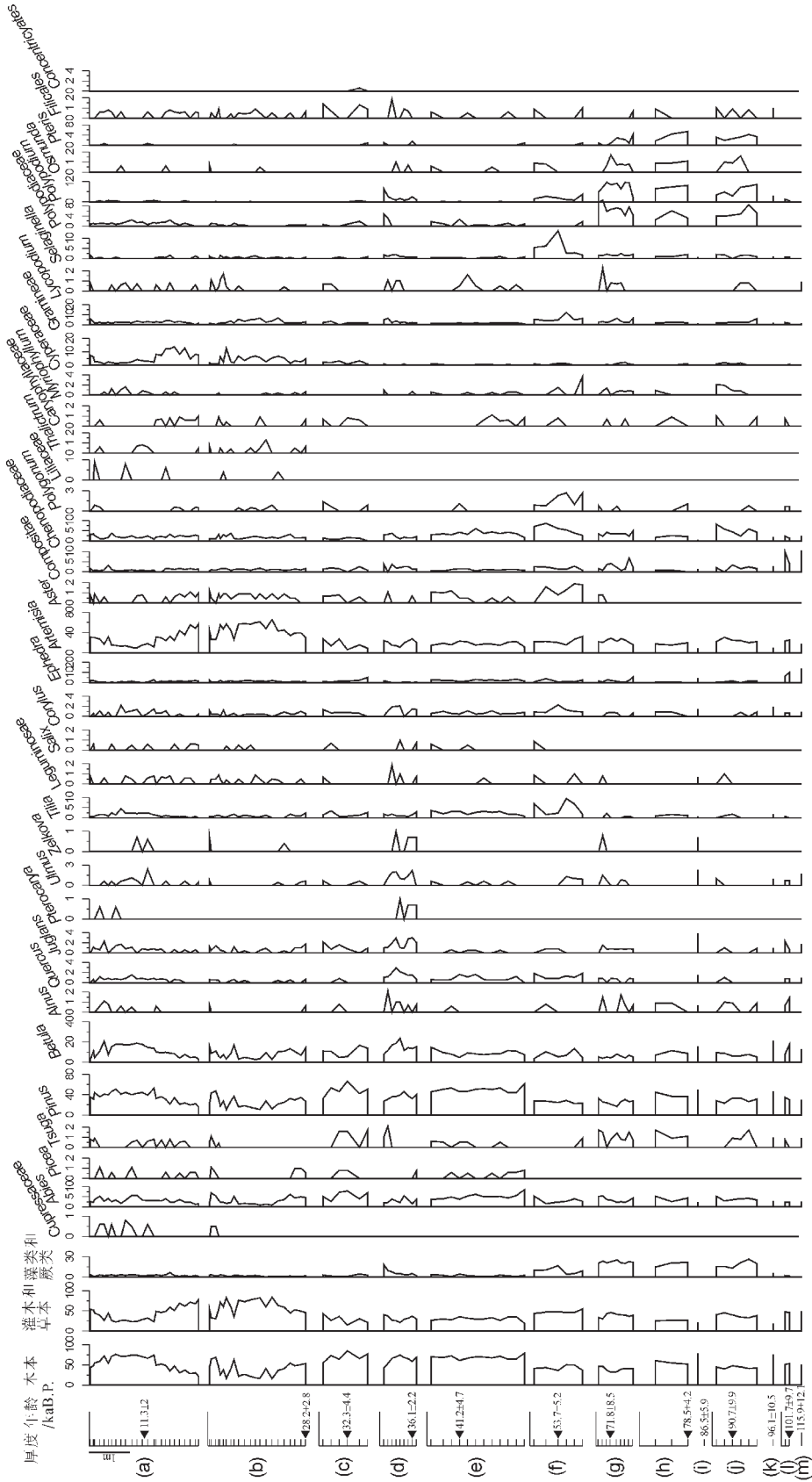


图5 纳木错沿岸末次间冰期以来常见孢粉类型的百分含量变化图式

a-f为 T₁-T₀; g-m 为高位湖相沉积; 剖面自上至下按时间顺序排列, 采样位置见图1, 年龄为 U 系法测定

Fig. 5 Variation diagram of the contents (%) of common sporopollen types since the last interglacial epoch along the bank of the Nam Co

A-f. T₁-T₀; g-m. highstand lacustrine sediments. For sampling sites, see Fig. 1; the ages were measured using the U-series method. The section is arranged from above downward in order of time

与“古东湖”的残留部分(其湖面高程可能略低于 4700 m)分离。并使在洞错到班公错的“古西湖”、扎日南木错—当惹雍错湖区范围内的“古南湖”与残留的古大湖分离。由于当时水气来源丰沛,使补给纳木错盆地的过剩湖水不得不从纳木错西北宽约 2 km、高出现今纳木错湖面约 26 m 的雄曲—那曲谷地向北西西方向溢出,再通过色林错、班戈错、错鄂之间的谷地向东流动而外泻。由于外泄河流的下切,古大湖湖面逐渐下降,从而形成了(35.2±3.0) ka B.P.前后,拔湖 18.7~25.8 m 的第四级阶地和拔湖 21.5~22.2 m 的湖蚀地形,此时湖水已呈微咸水。

在 35.2~32.3 ka B.P. 期间,某一短时间的湖面下降和(32.3±4.4) ka B.P.前后的湖面再次上升,并保持了相当时段,湖水继续从纳木错西北方向高出现今纳木错湖面近 20 m 的雄曲那曲谷地分水垭口处的谷底,向北西西方向溢出。从而形成了拔湖 14.0~19.9 m 的第三级阶地和拔湖 17.5~19.8 m、沿湖广泛分布的湖蚀地形。

在 36.1~35.2 ka B.P.间的 MIS 3 晚期,该区的古植被为含有桦及少量冷杉、椴、栎和胡桃等针、阔叶树种而以松为主的针叶林,气候温和轻爽或暖和略干,气温和湿度可能均比现今略高或较高,为 MIS 3 中环境条件最好时期;在

32.3 ka B.P.左右,古植被为含有桦和少量冷杉与椴等针、阔叶树种而以松为主的针叶林,气候温和偏爽或温和略干,气温虽然不及前两个时期,但仍可能略高于现今或与今接近。

3.3 纳木错期—残留湖盆阶段(30 ka B.P.以来)

即藏北高原东南部古大湖演化的晚期阶段。随着青藏高原上升到一定高度,成为南亚季风的屏障和末次冰期盛冰期即 MIS 2 的到来,藏北高原气候日渐干旱化,古大湖湖水的补给赶不上蒸发,湖面开始下降。当湖面降到雄曲—那曲谷地的分水垭口后,湖水再也不能外泄了,现代纳木错得以形成,其时间应在(32.3±4.4) ka B.P.之后和 T₂底部堆积形成的时间(28.2±2.8) ka B.P.之前,大致稍早于纳木错东北岸期波拉(29.3±2.7) ka B.P.的湖滨相沉积,故约为 30 ka B.P.左右。此后,纳木错湖面又经历了两次明显的波动和数十次小的停顿,从而形成了拔湖 8.3~15.6 m 和 1.5~8.3 m 的第二级与第一级阶地,以及多达 30 条的湖岸砂砾堤。而古大湖的残留部分则在此时期不断解体,形成了一个孤立的湖泊,尽管在中全新世气候暖湿时期曾一度扩大,但未影响其干缩、变咸的总趋势,并最终成为今天藏北湖群的面貌。此时湖水呈半咸水—微咸水,以微咸水湖为主。

MIS 2 晚期该区的古植被为以蒿为主的草原,但松的含



图 6 藏北高原“古东湖”分布图

- 1—湖泊及湖面海拔高程;2—古东湖的可能范围;3—陆地与古湖中的岛屿;4—主分水岭与分支分水岭;
- 5—山峰、垭口及其海拔高程;6—高位湖相沉积发现地点(有数字者为其最大海拔高度/m 和 U 系年龄/ka B.P.);
- 7—古湖的可能外泻通道

Fig. 6 Distribution of the "ancient eastern lake" in the northern Tibetan Plateau

- 1—Lake and its elevation above sea level; 2—Possible scope of the ancient east lake; 3—Land and island in the ancient lake;
- 4—Main and branch watersheds; 5—Mountain, col and elevation above sea level;
- 6—Site of highstand lacustrine deposits (the figures are its maximum elevation/m and U-series age/ka B.P.);
- 7—Possible outflow passageway of the ancient lake

量在 T₂ 阶地下部与上部较多,因而古植被与古气候可进一步划分为早、中、晚 3 个阶段,早期为以蒿、松为主,含桦与少量冷杉的疏林草原(草甸)或稀树草原(草甸),气候温凉偏干或温和凉爽,气温相对较低;中期为以蒿为主的草原或含松与少量桦的稀树草原,植被覆盖率较高,气候温和偏湿或略湿,气温与湿度略有回升;晚期以松、蒿为主,含桦和少量冷杉、胡桃和椴的森林—草原或森林,气候温和轻湿。

MIS 1 部分时段古植被与古气候可划分为如下 3 个阶段,早期为以蒿、莎草和松、桦为主的疏林草原(草甸)或稀树草原(草甸),气候暖湿,气温可能比今高 2~3℃;中期为以松、桦为主,含少量冷杉和椴等针、阔叶树种所组成的针阔混交林,气候温暖湿润,气温至少比今高 5℃,降水量可能比今多 100~200 mm 或 200~300 mm,显然相当于全新世气候最宜时期或大暖期;晚期为以松为主,但含桦与少量冷杉与椴等针、阔叶植物所组成的针叶林,气温与湿度虽较前期降低,但气候仍相对暖 and 较湿。

4 结论和讨论

由于湖相地层剖面位于纳木错湖岸而不是湖中,因而不可能获得连续的湖相沉积记录,而主要反映的是晚更新世以来,在湖面升降波动中接近波峰位置,即相对温暖湿润时期的状况。对于因阶地下切而在岸边缺乏沉积记录的时段,则主要反映的是湖面相对下降与气候相对冷干时期的状况,这可以从邻近的念青唐古拉山主峰地区晚更新世以来 4 次冰期和新冰期时的多次冰川进退得到印证^[9]。

沉积物物理化学实验分析表明,自晚更新世以来,湖泊曾受到多次气候干湿轮回变化的影响,在相对总体干旱的背景上有过多次较大幅度冷暖的波动。易溶盐分析表明晚更新世以来,纳木错基本上保持了半咸水—微咸水湖,以微咸水湖为主的沉积环境,且从老到新,纳木错湖相沉积时湖水有逐渐咸化的趋势。从 pH 值、地球化学分析可见,纳木错地区自全新世以来,气候在相对总体干旱的背景上有过多次较大幅度冷暖的波动。这与孢粉分析的结果大体相同。

纳木错自晚更新世以来湖泊演化和气候变迁的基本特征是:纳木错与藏北高原湖区湖面变化的总趋势为 MIS 5e 时湖面最高,以后则在波动中逐级下降;气候与环境的变化则有所不同,纳木错自 MIS 5d 以来,以全新世气候最宜期时最温暖湿润,而在 MIS 5 和 MIS 3 的相对温暖期时,气候相当或略高于现今,属温和轻爽或偏干,湿度稍大,相当或稍小于现今;但在 36~35 kaB.P. 时段,气温和湿度较现今略高或较高。这可能与研究地点位于藏北高原东南部的位臵有关。

现今纳木错的年平均气温与降水应介于当雄(1.3℃与 486.9 mm/a)与班戈(-1.2℃与 301.2 mm/a)之间而偏于班戈,属于半湿润向半干旱的过渡地带。而藏北高原在总体上,从湖泊发育的情况看,自晚更新世以来的气候变迁,应具有在逐渐变干的总趋势的基础上,经历了多次明显冷暖与干湿的波动。

致谢:在野外工作期间得到了西藏自治区国土资源厅王保生厅长、西藏自治区国土资源厅培训中心主任平错、中国地质调查局拉萨安全保障工作站负责人李全文、河南地质调查局区域地质调查院王建平院长、河南地质调查局区域地质调查队刘彦明队长等单位 and 同志们热情帮助和全力支持,以及地质力学研究所 1:25 万当雄幅填图项目组全体成员的大力协助,在此表示衷心感谢。

参考文献(References):

- [1] 朱大岗,赵希涛,孟宪刚,等.西藏纳木错与仁错—久如错连通和藏北高原古大湖的发现[J].中国地质,2001,28(12):40~42.
Zhu Dagang, Zhao Xitao, Meng Xiangang, et al. Connection of Nam Co with Rim Co—Jiuru Co in Tibet and discovery of an ancient large lake on the northern Tibet Plateau[J]. Chinese Geology (Geology in China), 2001, 28 (12): 40~42 (in Chinese).
- [2] 朱大岗,赵希涛,孟宪刚,等.西藏纳木错第四纪湖相地层划分及纳木错群的建立[J].地质通报,2002,21(11):708~716.
Zhu Dagang, Zhao Xitao, Meng Xiangang, et al. Division of Quaternary lacustrine strata in the Nam Co area and establishment of the Nam Co Group in Tibet[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21 (11): 708~716 (in Chinese with English abstract).
- [3] 朱大岗,赵希涛,孟宪刚,等.念青唐古拉山中段第四纪冰期划分[J].地球学报,2002,23(4):335~342.
Zhu Dagang, Zhao Xitao, Meng Xiangang, et al. The Division of Quaternary glacial epochs of middle Nyaiqiantangla Range[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23 (4) 335~342 (in Chinese with English abstract).
- [4] 马志邦,赵希涛,朱大岗,等.西藏纳木错湖相沉积的铀系年代学研究[J].地球学报,2002,23(4):311~316.
Ma Zhibang, Zhao Xitao, Zhu Dagang, et al. U-series chronology of lacustrine deposits from the Nam Co Lake, North Tibet Plateau [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23 (4): 311~316 (in Chinese with English abstract).
- [5] 赵希涛,朱大岗,吴中海,等.西藏纳木错晚更新世以来的湖泊发育[J].地球学报,2002,23(4):329~334.
Zhao Xitao, Zhu Dagang, Wu Zhonghai, et al. The development of Nam Co Lake in Tibet since Late Pleistocene [J]. Acta Geoscientia Sinica, 2002, 23 (4): 329~334 (in Chinese with English abstract).
- [6] 施雅风,李吉均,李炳元,等.高原隆升与环境演化[A].见:孙鸿烈,郑度主编.青藏高原形成演化与发展[C].广州:广东科学技术出版社,1998.73~138.
Shi Yafeng, Li Jijun, Li Bingyuan, et al. Uplift and environmental evolution of Qinghai—Xizang (Tibetan) Plateau[A]. In: Sun Honglie and Zheng Du (eds.). Formation, Evolution and Development of Qinghai—Xizang (Tibetan) Plateau [C]. Guangzhou: Guangdong Science and Technology Press, 1998.73~138 (in Chinese).
- [7] 夏正楷.第四纪环境学[M].北京:北京大学出版社,1997,38~104.
Xia Zhengkai. Quaternary Environmental Science [M]. Beijing: Peking University Press, 1997.38~104 (in Chinese).
- [8] Zhu Dagang, Zhao Xitao, Meng Xiangang, et al. Quaternary lake deposits of Nam Co, Tibet, with a discussion of the connection of Nam Co with ring Co—Jiuru Co[J]. Acta Geologica Sinica, 2002, 76 (3): 283~291.

Evolution and climatic change of Nam Co of Tibet and an ancient large lake in the northern Tibetan Plateau since the late Pleistocene

ZHU Da-gang¹, MENG Xian-gang¹, ZHAO Xi-tao², SHAO Zhao-gang¹,
YANG Chao-bin³, MA Zhi-bang², WU ZHONG-hai¹, WANG Jian-ping¹

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China;*

2. *Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;*

3. *Land and Resources Department of the Xizang (Tibet) Autonomous Region, Lhasa 850000, China)*

Abstract: The paper discusses the Evolution and climatic change of Nam Co of Tibet and an ancient large lake in the northern Tibetan Plateau since the late Pleistocene based on the field leveling survey and laboratory analysis. There are 6 lake terraces along the lake shore of Nam Co less than 48 m above the lake level and highstand lacustrine sediments 48 m to 139.2 m above the lake level. Research shows that the development of Nam Co and evolution of the ancient large lake in the southeast of the northern Tibetan Plateau underwent three stages: ① The ancient large lake stage at 116—37 ka BP, ② the outflow lake stage at 37—30 ka BP, and ③ the Nam Co stage since 30 ka BP. In the ancient large lake stage, a large number of large, medium-sized and small, modern lakes in the southeast of the northern Tibetan Plateau such as Nam Co, Siling Co, Zhari Namco Co and Tangra Yumco were joined together to form a single great lake, whose areal extent might overstep the watershed between the northern Tibet endorheic drainage system and exorheic drainage (Nujiang River) system. It might also be joined with other ancient lakes in the south and west of the north Tibetan Plateau, forming a unifying “ancient large lake” in the northern Tibetan Plateau. Through the comparison between the ages of the lacustrine sediments of Nam Co and the deep-sea oxygen isotope records and an integrated study of more soluble salts, pH values, geochemistry and ostracods and sporopollen, the authors have found that the lacustrine sediments record the information of lake evolution and climatic change since the late Pleistocene. Data show that: during the ancient large lake stage the lake level was the highest and the climate was mild and slightly dry; during the outflow lake stage the lake level lowered sharply and the air temperature and humidity were slightly higher than the present; and the climate got arid increasingly, temperatures fluctuated and the lake level dropped continuously after the warm and humid climate in the Holocene Climatic Optimum since the Nam Co stage. Based on the general trend of getting arid gradually, the climate in the region experienced several marked cold-warm and dry-humid fluctuations since Late Pleistocene.

Key words: Nam Co, Tibet; late Pleistocene Epoch; lake evolution; climatic change; ancient large lake