

文章编号: 1006-6616 (2003) 04-0355-08

西藏纳木错扎弄淌剖面 10000 年以来的 沉积间断和环境变化记录

朱大岗¹, 赵希涛², 孟宪刚¹, 吴中海¹
邵兆刚¹, 冯向阳³, 杨朝斌⁴, 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. 中国地质博物馆, 北京 100034; 4. 西藏自治区国土资源厅, 拉萨 850000)

摘要:通过对西藏纳木错全新统扎弄淌组 (Q_4^1z) 地层剖面的沉积特征观察, 易溶盐、磁化率、粒度、碳酸盐、孢粉分析和¹⁴C年代测定等综合研究表明, 扎弄淌组湖相地层沉积物记录了约自 10000aBP 以来的沉积间断和环境变化信息。资料显示该区自 9010 ~ 8560aBP 以来, 气候从偏冷干到偏湿再转变为轻湿; 在 4870 ~ 2350aBP 期间, 气候从暖湿到温暖湿润, 又从全新世气候适宜期转变为较湿润期。表明自全新世以来该区气候在逐渐变干的总趋势的基础上, 经历了两次大的气候变化旋回, 有过多次明显的冷暖与干湿波动。

关键词: 西藏; 纳木错; 扎弄淌剖面; 沉积间断; 环境变化

中图分类号: P534.63, X141

文献标识码: A

西藏是我国湖泊最多的省区, 藏北内流区则集中了西藏最多的湖泊和大湖。其中位于藏北内流区东南部、藏语意为“天湖”的纳木错, 则是西藏面积最大 (1940km²) 和海拔最高 (4718m) 的湖泊, 其周缘湖泊沉积与湖成地貌发育^[1,2], 是研究藏北高原湖泊演化、环境变化、古地理变迁的天然野外实验室。扎弄淌剖面位于西藏纳木错西北岸扎弄淌, 剖面线方向大体沿湖岸至山坡上, 起点坐标: E30°47'22.3", N90°16'45.9"; 终点坐标: E30°47'25.3", N90°16'56.5"。全新统扎弄淌组 (Q_4^1z) 湖相地层分布于 T₁ 和 T₂ 二级湖岸阶地, 水准仪测量表明其拔湖高度 T₁ 为 1.5 ~ 8.3m, T₂ 为 8.3 ~ 15.6m, 湖相地层出露的总厚度为 5.1m (未见底)^[3]。根据¹⁴C法年代学的初步研究, T₁ 阶地水草层¹⁴C测年结果为 2350 ~ 4870aBP; T₂ 阶地水草层¹⁴C测年结果为 8560 ± 90aBP、螺壳¹⁴C测年结果为 9010 ± 170aBP^{*}。因此, 纳木错扎弄淌剖面反映了全新世以来该区的环境变化^[4]。

收稿日期: 2003-05-28

基金项目: 本文为国土资源大调查项目“西藏纳木错地区第四纪环境演变调查研究”(编号: DKD2001006) 和“西藏当雄幅 1: 25 万区域地质调查”(编号: DKD9901001) 的阶段性研究成果。

作者简介: 朱大岗 (1951-), 男, 研究员, 从事区域地质、沉积相与古环境研究。

* ¹⁴C 年龄均由中国地震局地质所¹⁴C 实验室测定 (下同)。

1 剖面描述

全新统扎弄组 (Q_3^z) 主要分布于纳木错周边一带地势低洼处, 主要为一套湖相沉积。可划分为 T_1 与 T_2 两个部分 (图 1), T_1 为一套浅灰黄色、浅黄白色、浅灰绿色等含水草层的含粘土粉砂层和砂质粘土层, 含小螺壳 (耳萝卜螺 *Radix auricularia* Linne'), 水平层理有扰动现象^[5]; T_2 为一套浅灰、灰白、浅黄色等含小螺壳碎片及植物根系的含砾砂土层、砂砾层、中粗砂层、含粘土粉砂层、中细砂层和粉砂质粘土层。

T_1 : 出露厚度 2.7m, 未见底

层 16: 浅黄白色含粘土粉砂层, 具水平层理, 含小螺壳, 层内夹多层水草腐质层, 0.15m, 水草层 ^{14}C 测年结果为 $4830 \pm 120aBP$

层 15: 浅灰黄色粘土粉砂层, 具水平层理, 含小螺壳, 层内夹薄水草腐质层 (0.5~2cm 厚), 0.4m

层 14: 浅黄绿色含粘土粉砂层, 具水平层理, 层内夹多层 1~3cm 厚水草腐质层, 层内常见小螺壳, 0.11m

层 13: 浅灰黄色粉砂层, 底部 0.82~0.88m 间为水草腐质层, 具水平层理, 0.22m

层 12: 浅黄绿色含粘土粉砂层, 具水平层理, 含小螺壳, 底部 0.07m 间为水草腐质层, 0.27m, 水草层 ^{14}C 测年结果为 $2350 \pm 60aBP$

层 11: 浅灰绿色粉砂质粘土层, 具水平层理, 含小螺壳, 夹多层水草腐质层和薄层细砂层, 0.45m

层 10: 浅灰绿色粉砂质粘土层, 具水平层理, 含小螺壳, 夹透镜状水草层, 0.4m

层 9: 浅灰绿色粉砂质粘土层, 具水平层理, 含小螺壳, 夹薄水草层, 0.7m, 未见底, 水草层 ^{14}C 测年结果为 $4870 \pm 100aBP$

T_2 : 出露厚度 2.4m, 未见底

层 8: 弱土壤化浅灰绿色砂质粘土层, 分布于阶地面斜坡上, 表面散布砾石, 见小螺化石, 0.1m

层 7: 浅灰黄色含砾砂土层、含湖滨相砾石、见有植物根系, 0.25m

层 6: 浅灰绿色含粘土粉砂层, 具水平层理, 含小螺壳, 0.17m, 螺壳 ^{14}C 测年结果为 $9010 \pm 170aBP$

层 5: 浅黄色含细砾中粗砂层, 具水平层理, 含小螺壳, 0.08m

层 4: 浅灰绿色含粉砂粘土层 (亚粘土), 具水平层理, 含小螺壳, 小螺局部密集成薄层, 底部 0.5m 间夹较密集的水草腐质层, 0.95m, 水草层 ^{14}C 测年结果为 $8560 \pm 90aBP$

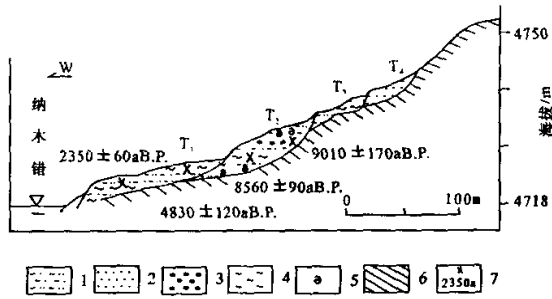


图 1 纳木错西岸扎弄淌湖相沉积实测剖面图

Fig.1 Measured section of lacustrine deposits of Zhanongtang on the west bank of Nam Co

- 1. 粘土质砂层; 2. 砂层; 3. 砂砾层; 4. 水草层; 5. 螺壳; 6. 基岩;
- 7. ^{14}C 样品采样位置及测年数据

层3：浅灰白色粉砂质粘土层，具水平层理，含小螺壳，0.45m

层2：浅棕黄色含中细砂层，具水平层理，含小螺壳，0.15m

层1：灰白色砂砾层，具水平层理，砾石含量 80%，中粗砂 20%，砾石砾径 0.5~2cm，分选好，扁圆状，具湖滨相砾石特征，0.25m，未见底

2 实验分析结果

野外湖相地层剖面样品按间距 2~3cm，个别间距为 5cm 采集。室内分别进行了易溶盐、碳酸盐、磁化率、粒度和孢粉分析，现就实验结果作以初步探讨。

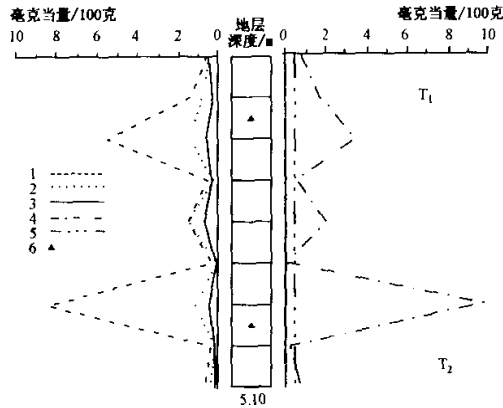


图2 纳木错西岸扎弄淌湖相沉积物样品易溶盐分含量变化曲线图

Fig.2 Variation curves of the contents of more soluble salts in lacustrine deposits at Zanongtang on the western bank of Nam Co

1. Ca^{2+} ; 2. Mg^{2+} ; 3. $\text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$; 4. SO_4^{2-} ; 5. HCO_3^{-} ; 6. ^{14}C 年龄样品位置

2.1 易溶盐

在扎弄淌 T_1 、 T_2 湖相沉积剖面内，共分析测试了 9 个样品，其易溶盐总含量百分比是： HCO_3^{-} 含量在 T_1 阶地中为 0.048%~0.049%；在 T_2 阶地中平均为 0.046%。 SO_4^{2-} 含量在 T_1 阶地中变化较大为 0.079%~0.344%；在 T_2 阶地中其变化范围在 0.009%~0.056% 之间。 Ca^{2+} 含量在 T_1 阶地中变化范围也较大为 0.055%~0.549%；在 T_2 阶地中的含量变化在 0.033%~0.15% 之间。 Mg^{2+} 含量在 T_1 阶地中的含量变化较大为 0.044%~0.14%；在 T_2 阶地中的变化范围在 0.008%~0.148% 之间。 $\text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$ 的含量在 T_1 阶地中为 0.208%~0.647%；在 T_2 阶地中的变化范围在 0.167%~0.67% 之间。扎弄淌湖相沉积剖面中阳离子以 K^{+} 、 Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主，阴离子以 HCO_3^{-} 、 SO_4^{2-} 为主（图 2）。总含盐量在 T_1 阶地中介于 0.0952%~0.337% 之间； T_2 阶地为 0.0431%~0.189% 之间，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。在拔湖 2.5~4.0m、8.9~10.2m、12.5~14.8m 的范围内， K^{+} 、 Na^{+} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 阳离子和 HCO_3^{-} 、 SO_4^{2-} 阴离子明显增加，总含盐量也提高到 0.189~0.337% 左右，可能是近地表蒸发造成盐份积累的结果。从整个剖面易溶盐份含量的变化看， T_1 阶地易溶盐大致有二个小的增高阶

段和一个小的降低阶段； T_2 阶地易溶盐有一个大的增高阶段，代表湖泊曾受到二个大的干湿旋回变化的影响。

2.2 磁化率、粒度和碳酸盐分析

在扎弄淌湖相沉积剖面内，共分析测试了 52 个样品。沉积物的粒度组成和粒度参数分析表明，粒度组成中砂、粉砂和粘土分别占 29.4% ~ 49.4%、52.4% ~ 69.4%、18.4% ~ 29.4%。砂中 > 1mm 粒级占有一定比重，而 < 0.005mm 粒级所占的百分含量远小于前者的百分含量，这种现象可能是反映物质来源发生的变化，而这种湖积物粒度随深度的变化应该是由多种原因造成的。随着湖水的侧向摆动和湖面高低的变化，湖内沉积地点与湖岸的相对距离发生变化，沉积地点上堆积的碎屑物质的粒度便会有所不同；湖内沉积地点与湖岸的相对距离越大，堆积的碎屑物质便越细，湖内沉积地点与湖岸的相对距离越小，堆积的碎屑物质便越粗。

扎弄淌剖面的磁化率、粒度和碳酸盐分析表明， T_1 — T_2 阶地中它们的变化幅度很大，在 T_1 — T_2 阶地内多处出现峰值（图 3）。 T_1 阶地中沉积物的中值粒径（Mz）变化在 6.6584 ~ 22.332 ϕ 之间； T_2 阶地中沉积物的中值粒径变化在 3.7791 ~ 12.29 ϕ 之间。 T_1 阶地中沉积物的磁化率变化在 $(0.8 \sim 4.5) \times (10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1})$ 之间； T_2 阶地中沉积物的磁化率变化在 $(0.3 \sim 6.4) \times (10^{-8} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1})$ 之间。 T_1 阶地中碳酸盐含量变化在 11.32% ~ 62.44% 之间； T_2 阶地中碳酸盐含量变化在 12.03% ~ 66.9% 之间。因此，从扎弄淌剖面的磁化率、粒度和碳酸盐分布特征看，在湖相层发育时期的碳酸盐含量波动频繁与磁化率和粒度的变化相关。这可能为在干冷的时期短暂的夏季风加强，导致降水增加在地层中的响应。

虽然磁化率、粒度和碳酸盐指标所反映的环境意义有所不同。但从总体上讲，本次测试

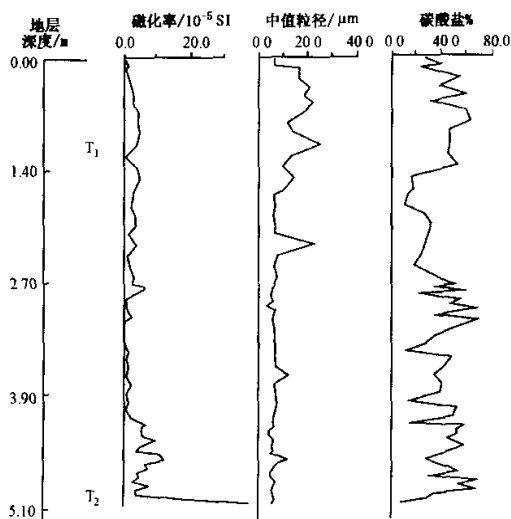


图 3 纳木错西岸扎弄淌湖相沉积物粒度、碳酸盐和磁化率分析结果

Fig.3 Results of grain-size, carbonate and susceptibility analyses of lacustrine sediments at Zangtang on the western bank of Nam Co

扎弄淌剖面中磁化率、粒度和碳酸盐曲线的峰值，却可大致反映出该区气候的 3 次温湿的波动，明显的谷值反映 3 次干冷的颤动。即冰后期可分为 3 个次一级的气候阶段，这与青藏高原其它剖面所指示的气候演化是一致的；扎弄淌剖面的碳酸盐曲线多个低值区表现更为直观，而且这些曲线特征也恰好与剖面中古土壤的地球化学特征及微形态特征给出的定性描述相一致。其温湿波动大体集中在 9000aBP、4800aBP 和 2300aBP 三个时段。磁化率、粒度和碳酸盐分析表明，纳木错地区在全新世以来，在相对总体干旱的背景上有 3 次低一级的冷热颤动，支持了格陵兰冰芯 GRIP 氧同位素曲线所揭示的冰后期气候的不稳定性观点^[6]，表明纳木错湖相沉积中含有极地北大西洋的气候信息，是全球变化研究的理想记录。同时，应当重视分析与认识气候变化的区域差异，以便更深入地理解古气候变化的驱动因素。

2.3 孢粉分析

T₁ 阶地：在 T₁ 剖面 25 个样品所统计的 3946 粒孢粉中。共发现 56 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 19、25 和 12 个科、属。在各样品中，以乔木和灌木与草本植物花粉居多数，其含量大体相当，分别占孢粉总数的 21.2% ~ 76.0% 和 21.9% ~ 77.8%，而藻类与蕨类孢子很少，仅占总数的 0.6% ~ 3.6%^[7]。在剖面中，它们的含量与种类是有明显变化的（图 4）。T₁ 剖面由下而上可划分为 3 个孢粉带，I 带见于阶地下部的 1.57 ~ 2.7m 处，为松（*Pinus*）—蒿（*Artemisia*）—莎草科（*Cyperaceae*）花粉带；II 带位于阶地中部的 0.45 ~ 1.57m 处，为松—桦（*Betula*）—蒿—莎草科花粉带；III 带位于阶地顶部的 0 ~ 0.45m 处，为松—桦—蒿花粉带^[8]。根据上述孢粉资料，可将 T₁ 的古

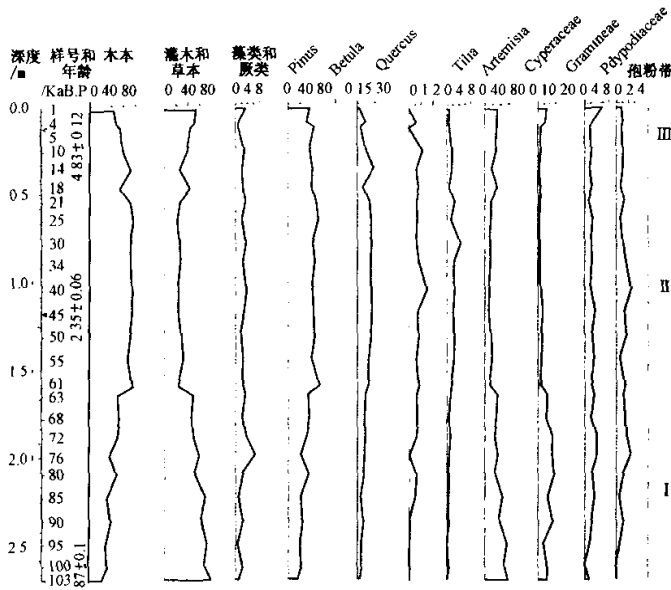


图 4 纳木错西岸扎弄淌 T₁ 湖相沉积孢粉式
(空三角形为¹⁴C 年龄)

Fig.4 Sporopollen diagram of T₁ lacustrine deposits at Zanongtang on the western bank of Nam Co

植被与古气候划分为如下三个阶段：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），气候偏干，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，气候温和湿润，气温至少比今高 5℃，降水量可能比今多 100~200mm 或 200~300mm，显然相当于全新世气候适宜期的晚期^[9]；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，但气候仍相对暖和较湿。

T₂ 阶地：在 T₂ 剖面 22 个样品所统计的 4652 粒孢粉中，共发现 51 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 18、24 和 9 个科、属。在各样品中，以乔木和灌木与草本植物花粉居多数，其含量后者略大于前者，分别占孢粉总数的 15.8%~68.3% 和 30.3%~83.3%，而藻类与蕨类孢子很少，仅占总数的 0~3.3%。在剖面中，它们的含量与种类自下而上有明显变化（图 5）。T₂ 剖面由下而上可划分为三个孢粉带，I 带位于阶地下部的 1.78~2.4m 处，为松—桦—蒿花粉带；II 带位于阶地中部的 0.6~1.78m 处，为松—蒿—莎草科—禾本科（Gramineae）花粉带；III 带位于阶地上部的 0~0.6m 处，为松—桦—蒿花粉带。根据上述孢粉资料，T₂ 的古植被为以蒿为主的草原，但松的含量在下部与上部较多，因而古植被与古气候可进一步划分为：早期为以蒿、松为主，含桦与少量冷杉

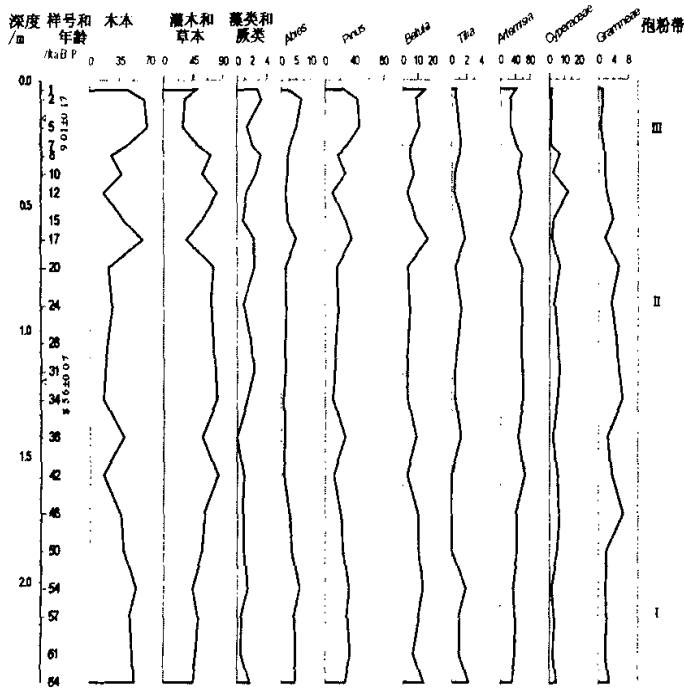


图 5 纳木错西岸扎弄淌 T₂ 湖相沉积孢粉式
(空三角形为¹⁴C 年龄)

Fig.5 Sporopollen diagram of T₂ lacustrine deposits at Zanongtang on the western bank of Nam Co

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;晚期为以松、蒿为主,含桦和少量冷杉、胡桃和椴的森林—草原或森林,气候温和偏湿。

3 结论和讨论

扎弄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沉积记录,而主要反映的是冰后期以来,在湖面升降波动中以不同湖积台地(阶地)表现出的沉积间断,即相对稳定时期的状况。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全新世西布冰期(Q₄)和新冰期时的多次冰川进退得到印证^[10]。

沉积物物理化学实验分析表明,在全新世以来,湖泊曾受到二个大的干湿旋回突变的影响,在相对总体干旱的背景上有过多次较大幅度冷暖的波动。10000年以来,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,扎弄湖组沉积时湖水有逐渐咸化的趋势。

纳木错自10000年以来沉积间断与气候变迁的基本特征是,T₁的湖水拔湖高度不小于1.5~8.3m,早期气候偏干,气温可能比今高2~3℃;中期气候温和湿润,气温至少比今高5℃,降水量可能比今多100~200mm或200~300mm,相当于全新世气候适宜期的晚期;晚期气温与湿度虽较前期降低,但气候仍相对暖和较湿;T₂的湖水拔湖高度不小于8.3~15.6m,早期气候温凉偏干或温和凉爽,气温相对较低;中期气候温和偏湿或略湿,气温与湿度略有回升;晚期气候温和偏湿。

现今纳木错的年平均气温与降水应介于当雄(1.3℃与486.9mm)与班戈(-1.2℃与301.2mm)之间而偏于班戈,属于半湿润向半干旱的过渡地带^[11]。而藏北高原在总体上,从湖泊发育的情况看,自全新世以来的气候变化应具有在逐渐变干的总趋势的基础上,经历了两次大的气候变化旋回,有多次明显冷暖与干湿波动的特点。

致谢:在野外工作期间得到了西藏地矿厅王保生、西藏地矿厅培训中心平错、中国地质调查局拉萨安全保障工作站李全文、河南省地质调查院王建平、河南地勘局区调队刘彦明等单位 and 同志们们的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,使该项调查研究工作得以顺利进行。孢粉分析鉴定工作由中国地震局地质所严富华研究员、麦学舜研究员承担,易溶盐分析由地质力学研究所茅文英高级工程师承担,粒度、碳酸盐和磁化率由地质力学研究所刘莉工程师测定,在此一并表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 西藏自治区地质矿产局,西藏自治区区域地质志[M].北京:地质出版社,1993.
- [2] 朱大岗,孟宪刚,赵希涛,等.纳木错湖相沉积与藏北高原古大湖[J].地球学报,2001,22(2):53-60.
- [3] 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.
- [4] 陈克造, Bowler J. M., Kelts K. 四万年来青藏高原的气候变迁[J].第四纪研究,1990,(1):21-30.
- [5] 韩同林.西藏东北部的新生界及其层序讨论[A],青藏高原地质文集(4)地层·古生物[C],北京:地质出版

- 社, 1983. 255~266.
- [6] 姚檀栋, 施雅风, 等. 占里雅冰芯中末次间冰期以来气候变化记录研究 [J]. 中国科学 (D 辑), 1997, 27 (5): 447~452.
- [7] 赵希涛, 朱大岗, 严富华, 等. 西藏纳木错末次间冰期以来的气候变迁与湖面变化 [J]. 第四纪研究, 2003, 23 (1): 41~52.
- [8] 黄锡敏, 梁毛莲. 藏北高原北部地区湖相沉积的孢粉分析 [A]. 见: 中国科学院青藏高原综合考察队编, 西藏第四纪地质 [C]. 北京: 科学出版社, 1983, 167~171.
- [9] 施雅风, 孔昭晋, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期气候与环境的基本特征 [A]. 见: 中国全新世大暖期气候与环境 [C]. 北京: 海洋出版社, 1992. 1~18.
- [10] 吴中海, 赵希涛, 朱大岗, 等. 念青唐古拉山西布冰川区的冰磧层 [J]. 地球学报, 2002, 23 (4): 343~348.
- [11] 中国科学院青藏高原综合科学考察队 (关应华, 陈传友, 区裕雄等). 西藏河流与湖泊 [M]. 北京: 科学出版社, 1984.

RECORDS OF DEPOSITIONAL BREAKS AND ENVIRONMENTAL CHANGE AT THE ZANONGTANG SECTION OF NAM CO, TIBET SINCE 10 ka BP

ZHU Da-gang¹, ZHAO Xi-tao², MENG Xian-gang¹, WU Zhong-hai¹, SHAO Zhao-gang¹,
FENG Xiang-yang³, YANG Chao-bin⁴, WANG Jian-ping¹

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

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

3. *National Geological Museum of China. Beijing 100034. China;*

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

Abstract: Studies of sedimentary structures, more soluble and ¹⁴C dating salts, magnetic susceptibility, grain size, carbonates, and sporopollen of the Holocene Zanongtang Formation have yielded information of depositional breaks and environmental change since 10 ka BP in the Nam Co area, Tibet. The data indicate the following: since 9010-8560 a BP the climate changed from slightly cold-dry through slightly moist to relatively moist; during 4870-2350 a BP the climate changed from warm-moist to warmer-moister and then changed from the Holocene climatic optimum to relatively moist. This suggests that in the Holocene the area experienced two major climatic cycles and multiple pronounced cold-warm and dry-moist oscillations on the basis of the general trend of gradual drying.

Key words: Tibet; Nam Co; Zanongtang section; depositional break; environmental changes