

文章编号: 1006-6616 (2011) 04-0361-12

西藏札达盆地上新世—早更新世 气候变迁与湖泊演化

韩建恩¹, 余佳¹, 朱大岗¹, 孟宪刚¹, 邵兆刚¹, 杨朝斌²

(1. 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081;

2. 西藏自治区国土资源厅, 拉萨 850000)

摘要: 通过孢粉组合分析, 结合河湖相地层岩性特征和古地磁及电子自旋共振 (ESR) 法年龄测定结果, 探讨了西藏札达盆地上新世—早更新世的古气候变迁与札达古湖泊演化的关系。研究表明, 札达盆地古湖泊演化可划分为早 (湖泊形成期)、中 (稳定发展期)、晚 (湖泊消亡期) 三期。早期 (距今 5.41 ~ 4.40 Ma), 札达盆地为温凉而干旱的疏林草原植被气候, 随后转变为温暖稍湿的森林草原植被气候, 最后转变为温暖潮湿的亚热带针阔叶混交林气候, 这一时期古湖开始形成; 中期 (距今 4.40 ~ 2.57 Ma), 古气候进入寒温带期, 古植被表现为先由暖温带针阔叶混交林带向山地寒温带暗针叶林带过渡, 再由山地暖温带针阔叶混交林→山地寒温带暗针叶林交替出现的过程, 古湖泊进入发育期; 晚期 (距今 2.57 ~ 1.36 Ma), 湖区古气候环境进入寒冷期, 古植被为山地寒温带暗针叶林→山地暗针叶林向低矮灌木→干冷草原的变化, 古湖泊进入消亡阶段。古湖泊演化与古植被、古气候演变有很好的相关性, 高原隆升控制了古气候环境的变化, 进而影响湖泊水量的变化。

关键词: 西藏; 札达盆地; 上新世—早更新世; 气候变迁; 湖泊演化

中图分类号: P534.63

文献标识码: A

0 引言

近年来, 关于青藏高原晚新生代古气候和古大湖的研究获得了一系列重要进展^[1~6]。藏北高原东南部错鄂湖泊岩心的孢粉分析结果揭示了距今 2.8 Ma 以来的古植被与古气候特征^[3]; 青藏高原的古植物学、古动物学研究表明, 上新世时期, 高原的大部分地区曾分布有亚热带山地针叶林和亚热带草原^[7~9], 生活着三趾马、犀类等大型哺乳动物^[10~12], 气候温暖湿润; 早更新世时期, 分布以针叶树为主的温带山地针阔混交林, 气候温和半湿润^[13~15]。青藏高原古大湖方面, 根据古近纪—新近纪湖相地层的展布范围, 圈定出 63 个古

收稿日期: 2011-06-19

基金项目: 中国地质调查局项目“青藏高原第三纪重点古湖泊环境演变序列”(任务书编号: 科 [2005] 005—02; 工作项目编码: 1212010511902) 和国家自然科学基金项目 (编号: 40572134) 共同资助。

作者简介: 韩建恩 (1980-), 男, 陕西宝鸡人, 助研, 博士, 从事构造地质学、沉积相与古环境研究。E-mail: hanjianen@163.com

湖泊, 划分出 5 个成湖阶段、13 个成湖期^[5]; 第四纪时期出现 5 次高湖面期^[16]。但青藏高原晚新生代气候变迁及其与湖泊演化关系如何还未有定论, 值得进一步探究。

札达盆地地处中国西藏西部的阿里地区、象泉河流域, 介于喜马拉雅山及其北面支脉阿伊拉日居之间, 为一晚新生代断陷盆地^[17]。盆地呈北西—南东向展布, 宽约 70 km, 长 260 km 左右, 海拔在 4000 ~ 4500 m 之间, 属高原地带。盆地的基底为前侏罗纪灰岩、砂岩和浅变质岩, 上面不整合堆积了厚达近千米的新近纪上新世—第四纪早更新世河湖相沉积地层。发源于冈底斯山的象泉河, 由东向西穿过该盆地并切穿喜马拉雅山脉流入印度, 在象泉河两岸发育有十级以上的阶地, 阶地基座为河湖相地层。札达盆地是青藏高原上新世—早更新世古湖泊的典型代表, 因此, 札达盆地上新世—早更新世的气候变迁与古湖泊演变的研究, 对于区域上新世—早更新世地层的划分与对比、古地理与古环境的重建以及探索青藏高原隆起和该区构造运动特征等, 都具有重要的科学与实践意义。本文通过孢粉组合分析, 结合河湖相地层岩性特征和古地磁及电子自旋共振 (ESR) 法年龄测定结果, 探讨了札达盆地上新世—早更新世的古气候变迁与札达古湖演化的关系。

1 札达盆地河湖相地层划分及其时代确定

1.1 札达盆地河湖相地层划分

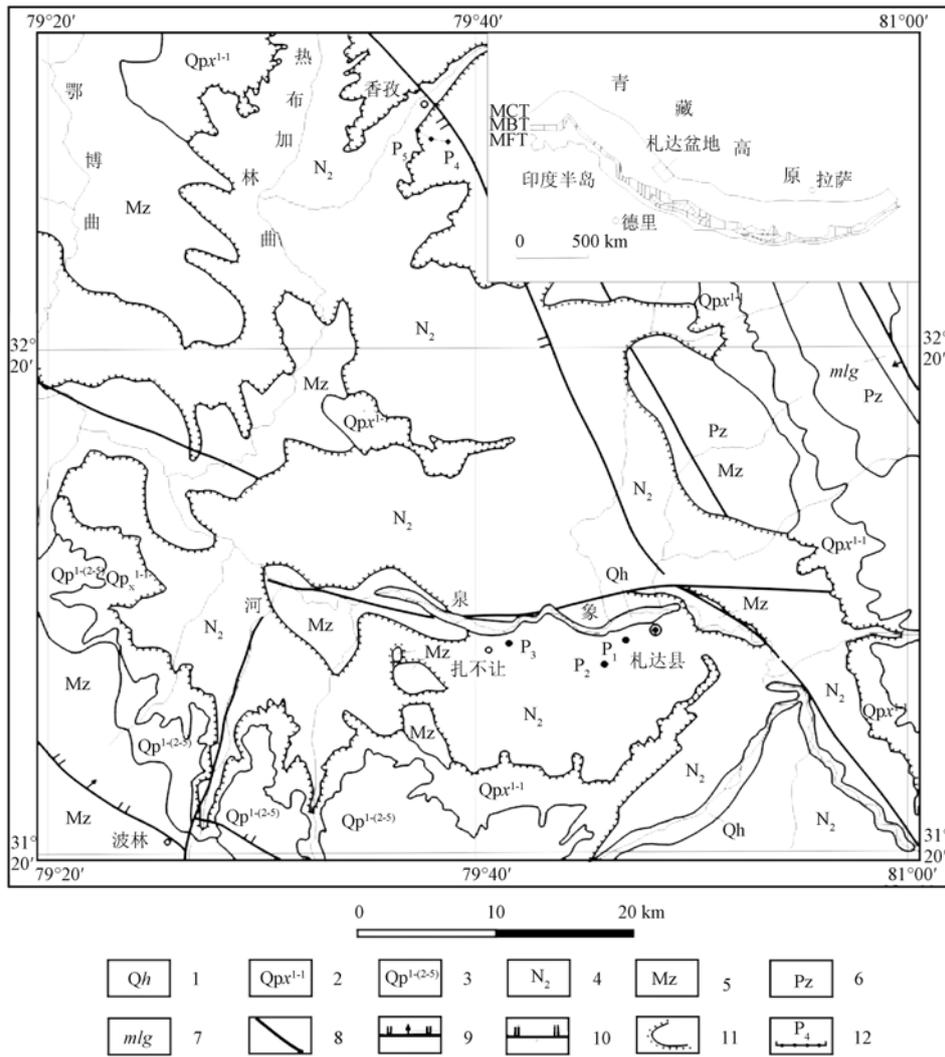
前人对札达盆地河湖相地层已进行过研究^[17-22], 对地层也进行了划分。笔者在札达盆地进行野外观测、实测地层剖面 (见图 1, P_1-P_5) 时发现在前人原称札达组中发育有一平行不整合面, 据此将上新统分成上、下两部分; 在上新统与下更新统之间发现了一角度不整合面^[23]。结合前人的资料, 将这套近水平产出、地层总厚度大于 906.7 m 的新近纪上新世—第四纪早更新世河湖相地层, 从老到新划分为: 上新统托林组 (N_2^1t), 厚 130 m; 上新统古格组 (N_2^2g), 厚 526.5 m; 下更新统香孜组 ($Qp^{1-1}x$), 厚 250.2 m。

1.2 河湖相地层的沉积年龄

在札达盆地河湖相地层中采集的 47 个 ESR 同位素测年样品均为河湖相细砂、粉砂或砂砾岩。经过校正的 ESR 同位素年龄测定结果详见文献 [24]。研究剖面除两个平行或小角度不整合外地层层序正常, 即上部新、下部老, ESR 测年结果随深度增加由小变大。在 47 个样品中, 除 P_1E_2 样品出现年龄偏离较大外, 其余样品年龄均与地层一致。ESR 测年结果表明札达盆地河湖相地层沉积时代大约为距今 5.40 ~ 1.36 Ma。

同时, 笔者在札达盆地中采集了 271 个样品进行古地磁测试, 全部样品测试在中国地质科学院地质力学研究所古地磁实验室美制立式 2G-755R 型超导磁力仪上完成, 样品的系统热退磁处理利用美制 TD-48 大型热退磁炉完成。样品的退磁间隔大致为 120 °C、200 °C、300 °C、350 °C、420 °C、480 °C、530 °C、580 °C、610 °C、630 °C、650 °C、665 °C, 样品的退磁处理和测试均在磁屏蔽空间内进行, 以避免外围磁场对测试结果的影响。样品的剩磁组分利用国际上通用的 Enkin 编制的古地磁软件包进行主向量分析, 获得了每个样品的特征剩磁方向。古地磁测试结果表明, 该套地层的古地磁年代介于距今 5.41 ~ 1.60 Ma 之间^[25]。

综合以上考虑, 笔者认为该套地层的时代为: 托林组 (N_2^1t) 形成时间介于距今 5.41 ~ 4.40 Ma, 属新近纪上新世早期; 古格组 (N_2^2g) 形成时间介于距今 4.40 ~ 2.57 Ma, 属新近纪上新世晚期; 香孜组 ($Qp^{1-1}x$) 形成时间介于距今 2.57 ~ 1.36 Ma, 属第四纪早更新世。



1—全新统；2—下更新统香孜组；3—更新统冰水冰碛堆积；4—上新统；5—中生界；6—古生界；
7—构造混杂岩类；8—断层；9—正断层；10—逆断层；11—不整合界线；12—剖面位置

图1 札达盆地区域地质构造简图^[24]

Fig. 1 A map showing the regional tectonics of the Zanda Basin

2 札达盆地上新世—早更新世古气候

2.1 孢粉组合反映的古气候变化

前人对区内孢粉进行研究后认为，札达盆地上新世是以亚高山针叶林为主的针阔叶混交植被^[26]；晚上新世是以高山荒漠小灌木、草原、亚高山常绿针叶林和中低山常绿针叶林为主的植被^[14~15]。笔者在西藏阿里札达盆地对新世—早更新世河湖相地层进行剖面测量的过程中连续采集了278个孢粉样品，在其中200个样品中共发现176个科、属，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29、34和113个科、属（孢粉由中国地质科学院水文地质环境地质研究所童国榜研究员鉴定）。主要孢粉类型分别为乔木植物花

粉: 松 (*Pinus*)、云杉 (*Picea*)、桦 (*Betula*)、榆 (*Ulmus*)、常绿栎 (*Cyclobalanopsis*)、落叶栎 (*Quercus*); 灌木植物花粉: 绣线菊 (*Spiraea*)、麻黄 (*Ephedra*)、木犀科 (*Oleaceae*)、芸香科 (*Rutaceae*)、桑科 (*Moraceae*)、水柏枝 (*Myricaria*) 等; 草本植物花粉: 藜科 (*Chenopodiaceae*)、蒿 (*Artemisia*)、禾本科 (*Gramineae*)、菊科 (*Compositae*)、蔷薇科 (*Rosaceae*)、唇形科 (*Labiatae*)、伞形科 (*Umbelliferae*)、十字花科 (*Cruciferae*)、狐尾草 (*Myriophyllum*) 等; 蕨类植物孢子: 水龙骨 (*Polypodium*)、凤尾蕨 (*Pteris*)、铁线蕨 (*Adiantum*)、鳞盖蕨 (*Microlepia*) 等。

依据札达剖面几种典型孢粉类型图示 (见图 2), 将其划分为 7 个大的孢粉带, 各孢粉带的特征、孢粉组合类型及反映的古环境本项组成员已做了详细的分析, 现仅引用其结论。自下而上分别为: ①孢粉 G 带 (距今 5.41 ~ 4.40 Ma), 属亚热带针阔叶混交林气候特征^[27]; ②孢粉 F 带 (距今 4.40 ~ 3.95 Ma), 属暖温带针阔叶混交林带环境特征^[28]; ③孢粉 E 带 (距今 3.95 ~ 3.50 Ma), 整个孢粉组合表现出由山地暖温带针阔叶混交林带向山地寒温带暗针叶林带过渡的气候变化趋势; ④孢粉 D 带 (距今 3.50 ~ 3.20 Ma), 属山地暖温带针阔叶混交林气候; ⑤孢粉 C 带 (距今 3.20 ~ 2.91 Ma), 反映出山地暖温带针阔叶混交林与山地寒温带暗针叶林交替出现的气候特征; ⑥孢粉 B 带 (距今 2.91 ~ 2.57 Ma), 特点是以喜阴的针叶林花粉为主, 呈山地寒温带暗针叶林气候特征; ⑦孢粉 A 带 (距今 2.57 ~ 1.36 Ma), 属于干冷草原气候特征^[29]。总的看来, 孢粉 D—G 带反映了札达盆地上新世早、中期 (距今 5.0 ~ 3.2 Ma) 为亚热带的针阔叶混交林湿润气候; 孢粉 B—C 带反映上新世晚期到早更新世早期 (距今 3.20 ~ 2.57 Ma) 盆地气候开始向干燥温凉的森林草原过渡带转变; 而孢粉带 A 带反映盆地在距今 2.57 Ma 之后变为干冷草原气候。植被类型表现为由亚热带针阔叶混交林→暖温带针阔叶混交林带→暖温带针阔叶混交林带向山地寒温带暗针叶林带过渡, 再由山地暖温带针阔叶混交林→山地暖温带针阔叶混交林与山地寒温带暗针叶林交替出现→山地寒温带暗针叶林→山地暗针叶林向低矮灌木→干冷草原的交替变化。

2.2 动物化石反映的古环境

犀类化石: 在上新统下部的托林组第 3 岩段 ($N_2^{1-3}t$) 中采集到额鼻角犀亚科 (*Dicerorhininae*) 某个动物第三趾骨的近端和远端化石。现代犀类主要生活在非洲及南亚的热带草原, 在札达盆地托林组中发现此类化石, 则说明当时是处于热带—亚热带湿热气候环境, 海拔不超过 1000 m^[11]。

鼠兔化石: 在托林组第 3 岩段 ($N_2^{1-3}t$) 中采集到鼠兔 (*Ochotona*) 的下左第 4 前臼齿 (p4) 化石, 该种与现代西藏鼠兔 (*O. tibetana*)、达乌尔鼠兔 (*O. daurica*) 相比差异很大, 其时代很可能是上新世 (或晚中新世)。鼠兔化石的发现说明本区上新世存在过鼠兔类动物群, 该区出现过温暖潮湿的环境^[12]。

腹足类化石: 在札达盆地上新统上部的古格组第四岩段 ($N_2^{2-4}g$) 灰色、灰黄色粉砂岩、泥岩中, 采集到 55 件腹足类化石, 经鉴定含 4 种肺螺类, 即 *Adelinella regularis* Yü, *Velutinopsis spiralis* Yü, *Radix zandaensis* sp. nov., *Hippeutis* sp., 因此其地质时代可能是晚上新世或早更新世, 而腹足类群的生存环境则是在较湿热的条件下。

介形虫化石: 采集的微体古生物的 231 块样品, 经常规处理分析, 在 94 块样品中发现丰富的介形虫化石共计 12 属 55 种。介形虫化石组合模式以湖花介属 (*Limnocythere*)、白花介属 (*Leucocythere*)、小湖花介属 (*Limnocytherellina*)、小白花介属 (*Leucocytherella*)、微湖花介属 (*Microlimnocythere*) 等典型湖相属为主。介形虫化石大致可分为 7 个化石组。第一

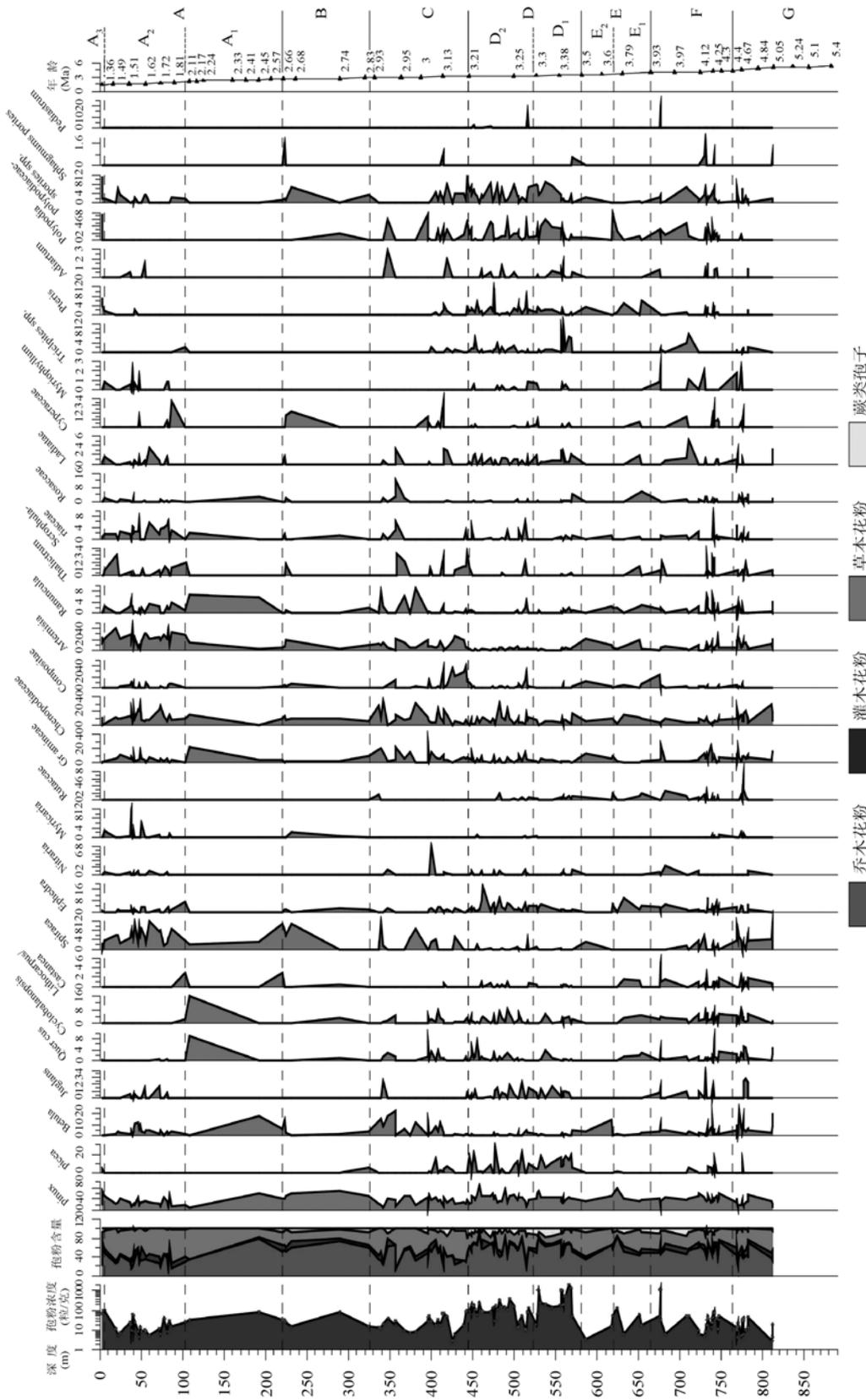


图2 札达盆地上新世—早更新世常见孢粉类型的百分含量变化图式 (据文献[30]数据修改, 采样位置见图1)

Fig.2 A map showing percentage changes of the common sporopollen types in Zhanda Basin from Pliocene to Eopleistocene

化石组合—第六化石组合中均见有喜温暖生物 *Ilyocypris* 属；第六化石组合中，即已出现喜凉介形虫 *Candonilla* 属；在第七化石组合中见丰富 *Candona* 和 *candonilla* 两属化石，均为喜凉生物。这一现象说明，上新世晚期札达盆地一带气候已经开始变冷，当时西喜马拉雅山和札达盆地可能均已具有较高的海拔高度。

2.3 札达盆地上新世—早更新世古环境演化

根据札达盆地沉积地层岩性演化、孢粉组合及地层中所含古动物化石记录，可将札达盆地上新世—早更新世古环境演化过程大致划分为湿热、潮湿、冷干3个阶段。

2.3.1 湿热阶段（距今 5.41 ~ 4.40 Ma）

本阶段沉积物岩性主要为砾岩、含砾岩屑砂岩，为源区短河水系的冲积扇相产物。本阶段上部产有三趾马、额鼻角犀、鼠兔类、小骨长颈鹿等化石，以及古植物化石、孢粉、介形类微古化石。孢粉组合为喜暖蕨类和耐旱草本凤尾蕨、石韦、瓦韦和菊科、藜科，属亚热带针阔叶混交林湿热气候^[11]。

2.3.2 潮湿阶段（距今 4.40 ~ 2.57 Ma）

本阶段沉积物主要为滨浅湖亚相的砾岩、含砾砂岩，湖泊发育中期的砂岩、粉砂质粘土、生物碎屑砂质粘土岩等。早期孢粉组合显示为暖温带针阔叶混交林温暖潮湿气候，中期呈现向山地中温带暗针叶林带过渡的气候变化，后期形成中温带偏冷潮湿气候环境，介形虫化石组合反映湖泊水体由小到大再萎缩的过程。

2.3.3 冷干阶段（距今 2.57 ~ 1.36 Ma）

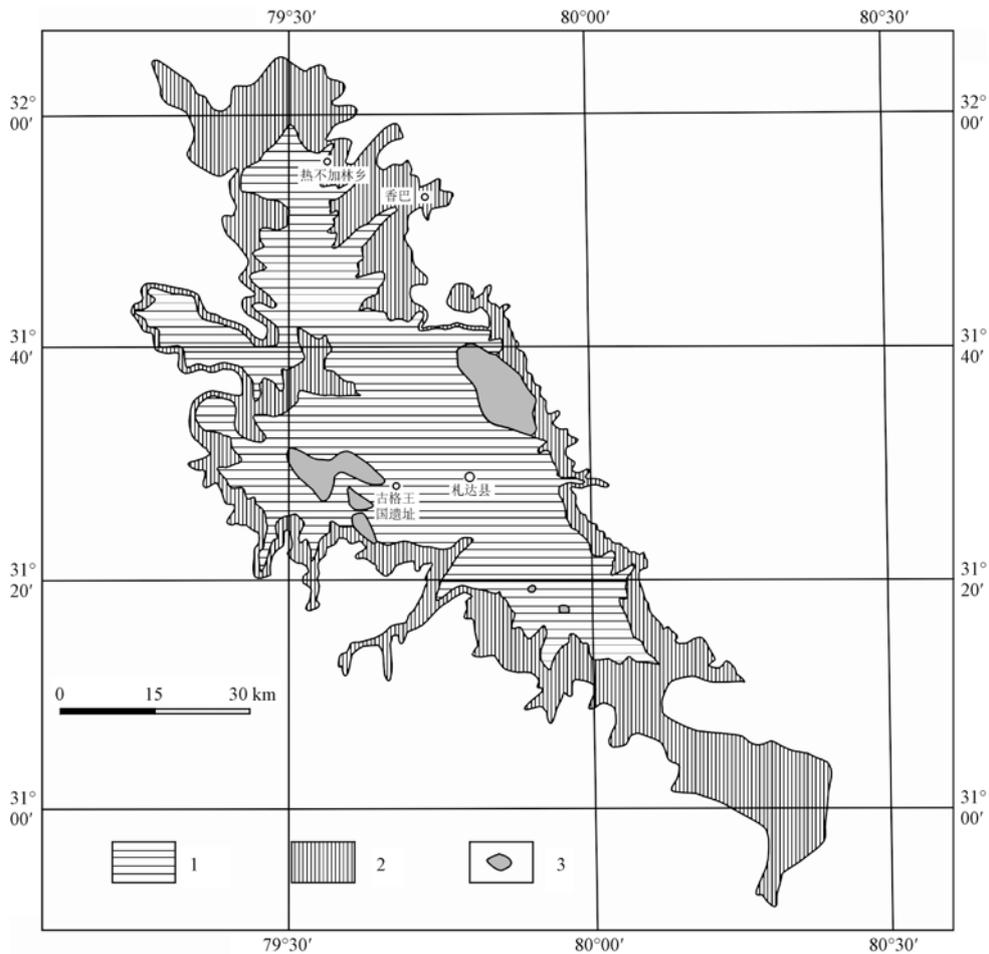
本阶段主要岩性为砾岩夹含砾岩屑粗砂岩、泥质粉砂岩、粘土质纹泥层，在 250.2 m 厚的沉积物中，砾岩、砂砾岩厚达 204 m，属冰缘区冲洪积和冰湖相巨厚砂砾岩层。本套地层中产孢粉和介形虫化石，介形虫中喜凉的 *Candona* 属、*Candoniella* 属化石丰度很高，而未见喜暖的 *Ilyocypris* 属，反映当时是寒温带气候偏凉的湖泊相沉积环境。孢粉组合中草本植物花粉占优势，主要为藜、蒿等，而云杉、栎类花粉及亚热带花粉成分少见，反映此时喜马拉雅山北坡已为干旱的高山冷荒漠^[29]。

3 上新世—早更新世札达古湖泊演变

札达盆地处于藏南谷地的西端，沉积了近千米河湖相地层，沉积年代介于距今 1.36 ~ 5.41 Ma 之间。本文根据前述研究结果，结合地层沉积物特征对札达古湖盆上新世—早更新世古湖泊的湖面变化（见图3）进行简要讨论。

3.1 古湖形成期——托林湖沼期（距今 5.41 ~ 4.40 Ma）

托林湖沼期沉积了整个托林组，地层主要发育交错层理和冲刷面。托林组的第1、第2岩性段为一套厚层砾岩—砂砾岩，该岩性段由于沉积物粒度粗大，未发现孢粉化石。托林组第3岩性段发现孢粉化石，相当于孢粉G带，该带总体表现属亚热带针阔叶混交林气候特征。依据孢粉百分比变化规律，该带又可细分为2个亚带：上新世 5.41 ~ 5.05 Ma 时期，早期为温凉而干旱的疏林草原植被气候，随后转变为温暖稍湿的森林草原植被气候；到了上新世 5.05 ~ 4.40 Ma 时期，转变为温暖潮湿的亚热带针阔叶混交林气候，同时在该层中曾采到的额鼻角犀（亚科）*Dicerorhininae* 和鼠兔 *Ochotona* sp. 前臼齿化石^[11~12]也从一定程度上反映了当时的气候较温暖湿润。从岩性上看，第3岩性段主要有含砾长石岩屑砂岩、薄层砂砾岩、薄层—厚层钙质长石碎屑粗砂岩和巨厚细砂岩。这表现为在中新世（距今 23.0 ~



1—古格湖期；2—香孜冰湖期；3—湖中岛屿

图3 札达古湖泊各期分布图

Fig. 3 Distribution map of Zanda paleo-lake during different period

5.4Ma), 印度板块向北推挤, 青藏高原进入陆内会聚阶段; 上新世 (距今5.4 Ma) 时, 由于喜马拉雅山快速抬升, 诱发北喜马拉雅正断层组的再次活动和藏南谷地基底断块的翘板式运动, 在“翘板”下降侧 (南侧) 形成札达盆地, 而在“翘板”上升侧发生北向逆冲^[31]。札达盆地在这一时期开始形成, 由于盆地与周围山系出现落差, 札达盆地内古气候环境为温暖稍湿的森林草原植被气候, 大气降水丰沛, 周边水体急剧汇聚到盆地, 盆地沉积以砾石为主的沉积物。随着时间的推移, 盆地水深逐渐加大, 盆地从早期的河湖相逐渐向湖相转变, 托林湖沼期结束。

3.2 古湖发育期——古格湖期 (距今 4.40 ~ 2.57 Ma)

古格湖期是札达古湖形成的主要时期, 这一时期的沉积地层厚度达 526.5 m, 相当于整个古格组的厚度。古格湖期经历了大约 1.83 Ma, 札达古湖从三角洲亚相→滨湖亚相→浅湖亚相→半深湖亚相→浅湖亚相→滨湖亚相, 为一个完整的湖泊演化旋回, 湖泊水平面表现为由低到高再到低的过程。然而湖泊水面上升和下降不是直线型的, 而是呈现波浪式上升和下降特点。结合沉积物特征和孢粉组合特征, 可将古格湖期划分为 5 个发展阶段。

第一阶段（距今 4.40 ~ 3.95 Ma），该阶段孢粉以松属为主，伴生少量桦属、榆属等，呈现出暖温带针阔叶混交疏林古植被景观。这些古植被特征表明该时段的气候温凉而干旱。札达古湖继承了早期的托林湖沼期进入湖泊发育期的湖泊三角洲期，湖泊水深逐渐加深。

第二阶段（距今 3.95 ~ 3.50 Ma），主要岩性有灰黄色中细粒长石岩屑砂岩、灰黄色粘土质粉砂岩、含铁质粉砂岩、中粗粒含砾岩屑砂岩等。孢粉组合特征分析可知，当时属于山地暖温带针阔叶混交林气候环境，气候由温凉干旱向温暖湿润过渡。这一阶段前期，气候温凉干旱，湖泊经历短暂的水面下降，之后湖区气候进入温暖湿润期，湖泊水位进一步上升。

第三阶段（距今 3.50 ~ 3.20 Ma），主要岩性为灰色、土黄色含砾中粗粒长石岩屑砂岩。本段孢粉组合反映该时期气候不稳定，呈现出频繁的干冷暖湿的交替变化，古植被属于针阔叶混交林，气候以温暖湿润为主。盆地的沉降范围和速度逐渐加大，新增湖泊面积增大，湖平面即将达最高值。在地层中水平层理增多，交错层理减少。

第四阶段（距今 3.20 ~ 2.91 Ma），为一套细碎屑岩。孢粉组合反映为山地暖温带针阔叶混交林与山地寒温带针叶林交替变化的气候特征，气候开始向干冷方向发展。这一阶段湖平面达到最高点，对应的沉积物以细粒的砂岩为主，细纹的水平层理也比较发育。

第五阶段（距今 2.91 ~ 2.57 Ma），岩性为砾岩与砂岩互层，中夹中粒钙质长石岩屑砂岩。孢粉组合中有少量喜冷湿的云杉属出现，桦属的含量明显增加，雪松属在该带消失，藜科较前带增大，耐寒喜干的麻黄属和白刺属少量出现，蕨类孢子减小。该时期植被覆盖率减少，属山地寒温带暗针叶林气候特征，气候持续干冷。这一阶段，湖泊萎缩加剧，湖水面降低，湖泊接近消亡。

3.3 古湖消亡期——香孜冰湖期（距今 2.57 ~ 1.36 Ma）

香孜冰湖期沉积物主要以厚—巨厚层砾岩为主，上部出现部分含砾粗砂岩及砂岩。孢粉组合特征为草本植物花粉占优势，湖泊进入第四纪，湖平面有一短暂的上升期，之后气候变得干旱寒冷，耐旱的草本植物孢粉蒿属大量出现，而沉积物中又发现有大量的冻融褶皱，气温下降，湖泊进入冰湖期。

4 讨论与结论

根据札达盆地在上新世—早更新世时期孢粉组合变化特征，札达盆地古植被具有明显的特点，距今 5.41 ~ 1.36 Ma，古植被表现出由亚热带针阔叶混交林→暖温带针阔叶混交林带→暖温带针阔叶混交林带向山地寒温带暗针叶林带过渡，再由山地暖温带针阔叶混交林→山地暖温带针阔叶混交林与山地寒温带暗针叶林交替出现→山地寒温带暗针叶林→山地暗针叶林向低矮灌木→干冷草原的交替变化。相应的古气候变化由亚热带→暖温带→中温带→寒温带→寒带逐渐转变。这种古植被与古气候变化认为是由于高原的快速隆升引起的。

札达古湖自上新世（距今 5.41 Ma）开始形成，至早更新世（距今 1.36 Ma）消亡，湖平面以波浪前进的方式上升。距今 5.41 ~ 4.40 Ma 时期为托林湖沼期，古湖开始形成，古植被为亚热带针阔叶混交林→暖温带针阔叶混交林带，古气候为亚热带、暖温带气候；距今 4.40 ~ 2.57 Ma 是湖泊的主要形成时期，由于高原整体隆升，古气候环境发生变化，由中温带进入寒温带，在古植被方面表现为暖温带针阔叶混交林带向山地寒温带暗针叶林带过渡，再由山地暖温带针阔叶混交林→山地暖温带针阔叶混交林与山地寒温带暗针叶林交替出现的过程，相应的湖平面经历一个由低到高再到低的完整旋回过程；距今 2.57 ~ 1.36 Ma，札达

古湖进入消亡期, 这时期高原总体已达一定高度, 湖区古气候环境进入寒冷期, 古植被为山地寒温带暗针叶林→山地暗针叶林向低矮灌木→干冷草原的交替变化, 这一时期湖平面虽然也表现为上升期, 但水源可能为冰川融水, 水量不大; 距今 1.36 Ma 之后, 湖平面未达到最大值即消亡。

札达盆地上新世—早更新世古气候变迁、湖泊演化与青藏高原的整体抬升有着密切的关系, 高原隆升控制了古气候环境的变化, 进而影响湖泊水量的变化。湖平面的变化表现为波浪式的脉冲形式, 可能与高原隆升的形式有关。

致谢: 野外工作期间得到西藏自治区国土资源厅王保生厅长、河南地质勘查局区域地质调查院王建平院长、河南地质勘查局区域地质调查队刘彦明队长、白朝军高级工程师、王丰收工程师、贾共祥工程师的热情帮助和全力支持, 使该项研究得以顺利进行; 研究工作中得到韩同林研究员、孙立蓓研究员、马天林研究员、钱方研究员、王建平研究员的具体指导, 在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 李炳元. 青藏高原大湖期 [J]. 地理学报, 2000, 55 (2): 174~182.
LI Bing-yuan. The last greatest lakes on the Xizang (Tibetan) Plateau [J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 55 (2): 174~182.
- [2] ZHENG Mian-ping, MENG Yi-feng, WEI Le-jun. Evidence of the Pan-Lake Stage in the Period of 40-28 ka B. P. on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Acta Geologica Sinica; English Edition, 2000, 74 (2): 266~272.
- [3] 吕厚远, 王苏民, 吴乃琴, 等. 青藏高原错鄂湖 2.8Ma 以来的孢粉记录 [J]. 中国科学: D 辑, 2001, 31 (增刊): 234~240.
LÜ Hou-Yuan, WANG Su-min, WU Nai-qin, et al. A new pollen record of the last 2.8 Ma from the Co Ngoin, central Tibetan Plateau [J]. Science in China: Series D, 2001, 31 (Supp.): 234~240.
- [4] 朱大岗, 赵希涛, 孟宪刚, 等. 西藏纳木错第四纪湖泊沉积与湖成地貌——兼论藏北高原古大湖问题 [J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2003, 33 (2): 156~162.
ZHU Da-gang, ZHAO Xi-tao, MENG Xian-gang, et al. On the Quaternary lacustrine deposits and the lacustrine landform of Nam Co, Xizang (Tibet) [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2003, 33 (2): 156~162.
- [5] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 青藏高原古近纪—新近纪古湖泊的特征及分布 [J]. 地质通报, 2006, 25 (1~2): 34~42.
ZHU Da-gang, MENG Xian-gang, SHAO Zhao-gang, et al. Characteristics and distribution of Paleogene-Neogene paleolakes on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (1~2): 34~42.
- [6] 蒋复初, 王书兵, 傅建利, 等. 青藏高原与东西两侧大陆的气温差异 [J]. 地质力学学报, 2006, 12 (4): 399~405.
JIANG Fu-chu, WANG Shu-bing, FU Jian-li, et al. Temperature difference between the Qinghai-Tibet Plateau and its contiguous areas [J]. Journal of Geomechanics, 2006, 12 (4): 399~405.
- [7] 孔昭寰, 刘兰锁, 杜乃秋. 从昆仑山—唐古拉山晚第三纪—第四纪的孢粉组合讨论青藏高原的隆起 [C]//中国科学院青藏高原综合科学考察队. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式问题. 北京: 科学出版社, 1981: 78~89.
KONG Zhao-huan, LIU Lan-suo, DU Nai-qiu. Neogene-Quaternary Palynoflora from the Kunlun to Tanggula ranges and the uplift of the Qinghai-Xizang Plateau [C]//Scientific Expedition Team of Qinghai-Tibetan Plateau, Chinese Academy of Sciences. The questions on the period, amplitude and type of the Qinghai-Tibetan Plateau. Beijing: Science Press, 1981: 78~89.
- [8] 刘兰锁. 青藏高原沿线上新世—早更新世孢粉组合及其意义 [C]//青藏高原地质文集 (4). 北京: 地质出版社,

- 1982: 136 ~ 150.
- LIU Lan-suo. The Pliocene-early Pleistocene spore-pollen assemblage along the Qinghai-Tibet highway and its significance [C]// Contributions to the geology of the Qinghai-Tibetan Plateau (4). Beijing: Geological Publishing House, 1982: 136 ~ 150.
- [9] 黄宝仁, 杨恒仁, 尤坤元. 西藏南部和西南部上新世及第四纪介形类 [C]//中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏古生物 (4). 北京: 科学出版社, 1982: 326 ~ 348.
- HUANG Bao-ren, YANG Heng-ren, YOU Kun-yuan. Pliocene and Quaternary Ostracoda of southern and southwestern Tibet [C]// Scientific Expedition Team of QingHai-Tibetan Plateau, Chinese Academy of Sciences. Palenontology in Tibet (4). Beijing: Science Press, 1982: 326 ~ 348.
- [10] 计宏祥, 徐钦琦, 黄万坡. 西藏吉隆沃马公社三趾马动物群 [C]//中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏古生物 (1). 北京: 科学出版社, 1980: 18 ~ 32.
- JI Hong-xiang, XU Qin-qi, HUANG Wan-po. Hipparion fauna in Woma, Jilong county, Tibet [C]//Scientific Expedition Team of QingHai-Tibetan Plateau, Chinese Academy of Sciences. Palenontology in Tibet (1). Beijing: Science Press, 1980: 18 ~ 32.
- [11] 孟宪刚, 朱大岗, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新统犀类化石的发现及意义 [J]. 地质通报, 2004, 23 (5-6): 609 ~ 612.
- MENG Xian-gang, ZHU Da-gang, SHAO Zhao-gang, et al. Discovery of rhinoceros fossils in the Pliocene in the Zanda Basin, Ngari, Tibet [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23 (5-6): 609 ~ 612.
- [12] 孟宪刚, 朱大岗, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新统鼠类牙齿化石的发现 [J]. 地质通报, 2005, 24 (12): 1175 ~ 1178.
- MENG Xian-gang, ZHU Da-gang, SHAO Zhao-gang, et al. Discovery of fossil teeth of Pliocene Ochotona in the Zanda Basin, Ngari, Tibet, China [J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24 (12): 1175 ~ 1178.
- [13] 黄赐璇, 李炳元, 张青松, 等. 西藏亚汝雄拉达涕古湖盆湖相沉积的时代和孢粉分析 [C]//中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏古生物 (1). 北京: 科学出版社, 1982: 97 ~ 106.
- HUANG Ci-xuan, LI Bing-yuan, ZHANG Qing-song, et al. The lacustrine deposited time of Dati paleobasin in Yaruxiongla, Tibet, and its pollen analysis [C]//Scientific Expedition Team of QingHai-Tibetan Plateau, Chinese Academy of Sciences. Palenontology in Tibet (1). Beijing: Science Press, 1982: 97 ~ 106.
- [14] 李建国, 周勇. 西藏西部札达盆地上新世孢粉植物群及古环境 [J]. 微体古生物学报, 2001, 18 (1): 89 ~ 96.
- LI Jian-guo, ZHOU Yong. Pliocene palynoflora from the Zanda Basin, west Xizang (Tibet), and the palaeoenvironment [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2001, 18 (1): 89 ~ 96.
- [15] 李建国, 周勇. 西藏札达盆地晚上新世古植被型分析 [J]. 古地理学报, 2002, 4 (1): 52 ~ 58.
- LI Jian-guo, ZHOU Yong. Palaeovegetation type analysis of the late pliocene in Zanda Basin of Tibet [J]. Journal of Palaeogeography, 2002, 4 (1): 52 ~ 58.
- [16] 郑绵平, 袁鹤然, 赵希涛, 等. 青藏高原第四纪泛湖期与古气候 [J]. 地质学报, 2006, 80 (2): 169 ~ 180.
- ZHENG Mian-ping, YUAN He-ran, ZHAO Xi-tao, et al. The Quaternary pan-lake (overflow) period and paleoclimate on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80 (2): 169 ~ 180.
- [17] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新世一早更新世河湖相地层年代学研究 [J]. 中国地质, 2007, 34 (6): 983 ~ 992.
- ZHU Da-gang, MENG Xian-gang, SHAO Zhao-gang, et al. Chronology of Pliocene-early Pleistocene lacustrine strata in the Zanda Basin, Ngari area, Tibet [J]. Geology in China, 2007, 34 (6): 983 ~ 992.
- [18] 张青松, 王富葆, 李炳元, 等. 西藏札达盆地的上新世地层 [J]. 地层学杂志, 1981, 5 (2): 11 ~ 15.
- ZHANG Qing-song, WANG Fu-bao, LI Bin-yuan, et al. Pliocene strata of Zhada Basin, Tibet [J]. Journal of Stratigraphy, 1981, 5 (2): 11 ~ 15.
- [19] 李炳元, 王富葆, 张青松, 等. 西藏第四纪地质 [M]. 北京: 科学出版社, 1983: 15 ~ 40.
- LI Bing-yuan, WANG Fu-bao, ZHANG Qing-song, et al. Quaternary geology of Tibet [M]. Beijing: Science Press, 1983: 15 ~ 40.
- [20] 钱方. 用古地磁方法对西藏阿里上新世以来水平运动的初步研究 [C]//中国地质科学院. 喜马拉雅岩石圈构造

演化——西藏地球物理论文集. 北京: 地质出版社, 1990: 198~206.

QIAN Fang. The Primary study of Pliocene level movement of Zhada, Tibet by Paleomagnetism [C]//Chinese Academy of Geological Sciences. Lithospheric tectonics evolvement of Himalayas: The thesis volume of physical geography on Tibet. Beijing: Geological Publishing House, 1990: 198~206.

- [21] 钱方. 青藏高原晚新生代磁性地层研究 [J]. 地质力学学报, 1999, 5 (4): 22~34.
QIAN Fang. Study on magnetostratigraphy in Qinghai-Tibetan Plateau in late Cenozoic [J]. Journal of Geomechanics, 1999, 5 (4): 22~34.
- [22] 郭铁鹰, 梁定益, 张宜智, 等. 西藏阿里地质 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1991: 103~104.
GUO Tie-ying, LIANG Ding-yi, ZHANG Yi-zhi, et al. Geology of Ngari, Tibet [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1991: 103~104.
- [23] 夏代祥, 刘世坤, 滕云, 等. 西藏自治区岩石地层 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 239~240.
XIA Dai-xiang, LIU Shi-kun, TENG Yun, et al. Lithostratigraphy of Xizang (Tibet) Autonomous Region [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1997: 239~240.
- [24] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新世—早更新世河湖相沉积中两个不整合面的发现及意义 [J]. 地质通报, 2004, 23 (5-6): 605~608.
ZHU Da-gang, MENG Xian-gang, SHAO Zhao-gang, et al. Discovery of two unconformities in Pliocene-early Pleistocene fluvio-lacustrine deposits in the Zanda Basin, Ngari, Tibet [J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23 (5-6): 605~608.
- [25] MENG Xian-gang, ZHU Da-gang, SHAO Zhao-gang, et al. Late Cenozoic stratigraphy and paleomagnetic chronology of the Zanda Basin, Tibet, and records of the uplift of the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82 (1): 63~72.
- [26] 李文漪, 梁玉莲. 札达盆地上新世湖相沉积的孢粉分析 [C]//中国科学院青藏高原综合科学考察队. 西藏第四纪地质. 北京: 科学出版社, 1983: 132~144.
LI Wen-yi, LIANG Yu-lian. Sporo-pollen analysis on the lacustrine deposits in Zhada Basin during the Pliocene [C]//Scientific Expedition Team of Qinghai-Tibetan Plateau, Chinese Academy of Sciences. Quaternary Geology of Tibet (Xizang). Beijing: Science Press, 1983: 132~144.
- [27] 吕荣平, 罗鹏, 韩建恩, 等. 西藏札达盆地托林剖面孢粉组合特征及其古气候意义 [J]. 地质通报, 2006, 25 (12): 1475~1480.
LÜ Rong-ping, LUO Peng, HAN Jian-en, et al. Features of the sporopollen assemblage at the Toling section in the Zanda Basin, Tibet, China, and its paleoclimatic significance [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (12): 1475~1480.
- [28] 余佳, 罗鹏, 韩建恩, 等. 西藏札达盆地古格剖面孢粉记录及其反映的古环境信息 [J]. 中国地质, 2007, 34 (1), 55~60.
YU Jia, LUO Peng, HAN Jian-en, et al. Sporopollen records in the Guge section of the Zanda Basin, Tibet, and paleoenvironmental information reflected by it [J]. Geology in China, 2007, 34 (1): 55~60.
- [29] 韩建恩, 余佳, 孟庆伟, 等. 西藏阿里札达盆地香孜剖面孢粉分析 [J]. 地质力学学报, 2005, 11 (4): 320~327.
HAN Jian-en, YU Jia, MENG Qing-wei, et al. Palynological records in the Qangze section of the Zanda Basin, Ngari, Tibet [J]. Journal of Geomechanics, 2005, 11 (4): 320~327.
- [30] 朱大岗, 孟宪刚, 邵兆刚, 等. 西藏阿里札达盆地上新世—早更新世的古植被、古环境与古气候演化 [J]. 地质学报, 2007, 81 (3): 295~307.
ZHU Da-gang, MENG Xian-gang, SHAO Zhao-gang, et al. Evolution of the paleovegetation, paleoenvironment and paleoclimate during Pliocene-early Pleistocene in Zhada Basin, Ali, Tibet [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81 (3): 295~307.
- [31] 邵兆刚, 孟宪刚, 朱大岗, 等. 西藏阿里札达盆地的“翘板式”形成机制 [J]. 地质论评, 2006, 52 (2): 215~218.
SHAO Zhao-gang, MENG Xian-gang, ZHU Da-gang, et al. Formation mechanism of seesaw type in Zanda Basin, Ngari, Xizang (Tibet) [J]. Geological Review, 2006, 52 (2): 215~218.

CHANGE OF THE PALEOCLIMATE AND EVOLUTION OF THE LAKE DURING PLIOCENE-EARLY PLEISTOCENE IN ZANDA BASIN, TIBET

HAN Jian-en¹, YU Jia¹, ZHU Da-gang¹, MENG Xian-gang¹,

SHAO Zhao-gang¹, YANG Chao-bin²

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

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

Abstract: According to the pollen combination analysis, paleomagnetic chronology, electron spin resonance (ESR) age of fluviolacustrine facies deposition and lithology characteristics, this paper discussed the relationship between paleoclimate and the evolution of Zanda paleolake during Pliocene-early Pleistocene in Zanda basin, Tibet. Study shows that the Zanda paleolake has went through three phases: early marsh period, the medium-term developing period and late drying out of lake period. The Zanda paleolake began to take shape in early period (5.41 ~ 4.40 Ma). The paleoclimate of Zanda basin firstly was woodland and grassland vegetation in arid climate with less warm, then into a warm and slightly wet climate of the forest-steppe vegetation, and finally into a warm and humid subtropical mixed forest climate. The Zanda paleolake was developing in the medium-term (4.40 ~ 2.57 Ma). The paleoclimate was into the cold period, reflected by the paleovegetation firstly from warm temperate zone of coniferous-broad leaf forests to mountain cool temperature zone of dark coniferous boreal forest, and then from mountain warm temperate zone of coniferous-broad leaf forests alternating process. The Zanda paleolake was disappearing in late period (2.57 ~ 1.36 Ma). Paleoclimate and paleoenvironment was into the cold period, with the paleovegetation alternating change from mountain dark coniferous forest and mountain dark coniferous forest to the low-shrub steppe and dry and cold grassland. Evolution of the Zanda paleolake has good relationship with the change of the paleovegetation and paleoclimate. Uplift of the plateau has controlled the paleoclimate and paleoenvironment changes, thereby affected the quantity of the lake changes.

Key words: Tibet; Zanda Basin; Pliocene-early Pleistocene; change of the paleoclimate; evolution of the lake