

西藏札达盆地上新世托林组剖面环境变化记录

余佳¹⁾ 罗鹏²⁾ 韩建恩¹⁾ 孟庆伟¹⁾
吕荣平¹⁾ 孟宪刚¹⁾ 朱大岗¹⁾ 邵兆刚¹⁾

1) 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081; 2) 长安大学资源学院, 陕西西安 710054

摘要 对西藏札达盆地上新世托林组的孢粉、沉积物粒度、磁化率、碳酸盐、易溶盐和 ESR 年代等测试数据的综合分析, 得到 5.40 ~ 4.40 Ma 时期环境变化的丰富信息。5.24 ~ 4.72 Ma 时期, 气候温凉干旱, 属于针阔叶疏林草原环境特征; 4.72 ~ 4.67 Ma 时期, 河流水量增多, 气候湿润, 孢粉组合表现出温带森林草原环境特征; 4.67 ~ 4.40 Ma 时期, 气候进一步向温暖湿润方向发展, 属于暖温带针阔叶混交林环境特征。

关键词 西藏, 札达盆地, 托林组剖面, 环境变化

Records of Environmental Change in Pliocene along Tuolin Formation in Zanda Basin, Tibet

YU Jia¹⁾ LUO Peng²⁾ HAN Jian'en¹⁾ MENG Qingwei¹⁾ LÜ Rongping¹⁾
MENG Xiangang¹⁾ ZHU Dagang¹⁾ SHAO Zhaogang¹⁾

1) Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081; 2) School of Earth Science and Land Resource, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054

Abstract Based on an analysis of such measured data of environmental proxies as sporopollen, grain size, magnetic susceptibility, carbonate content, soluble salts and ESR dating, It is held that Tuolin section contains abundant information of environmental changes from 5.40 Ma to 4.40 Ma. During 5.24 ~ 4.72 Ma, the climate was warm and dry, and the forest vegetation consisted of needle leaf and broadleaf veld; during 4.72 ~ 4.67 Ma, the river flow increased, the climate was warm and wet, and the vegetation comprised temperate forest and veld; during 4.67 ~ 4.40 Ma, the climate became more and more warm and wet, and the vegetation was composed of warm temperate deciduous and broadleaf veld.

Key words Tibet, Zanda Basin, Tuolin Formation, environmental change

西藏西部阿里地区的札达盆地, 介于喜马拉雅山与阿伊拉日居山之间, 为一晚新生代断陷盆地(图1)。盆地呈北西—南东展布, 长约 240 km, 宽约 37 ~ 55 km, 海拔在 4000 ~ 4500 m 之间。盆地的大地构造位置位于青藏高原西部帕米尔、喀喇昆仑和喜马拉雅三大褶皱系的交汇地带(西藏自治区地质矿产局, 1991)。盆地的基底为侏罗系灰岩、砂岩和三叠系浅变质岩, 其上不整合堆积了厚达数百米

的以往被称为札达群的晚新生代河湖相地层。20 世纪 80 年代, 青藏高原综合科学考察队张青松、李炳元、王富葆等人对西藏阿里札达盆地进行了研究, 并由张青松等将这套地层命名为札达组, 时代为上新世(张青松等, 1981; 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 1983); 随后地质部高原地质调查大队的钱方、浦庆余、吴锡浩等人也进行了研究, 认为札达盆地为青藏高原上新世—更新世地层发育最好的地

本文由国家自然科学基金项目(编号: 40572134)和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”(编号: 20031300066)联合资助。

责任编辑: 刘志强; 收稿日期: 2006-08-15; 改回日期: 2006-12-22。

第一作者简介: 余佳, 女, 1979 年生, 硕士研究生, 主要从事第四纪地质和环境研究; 通讯地址: 100081, 北京海淀区民族大学南路 11 号地质力学研究所; 电话: 010-68422370; E-mail: yujia_1018@sohu.com。

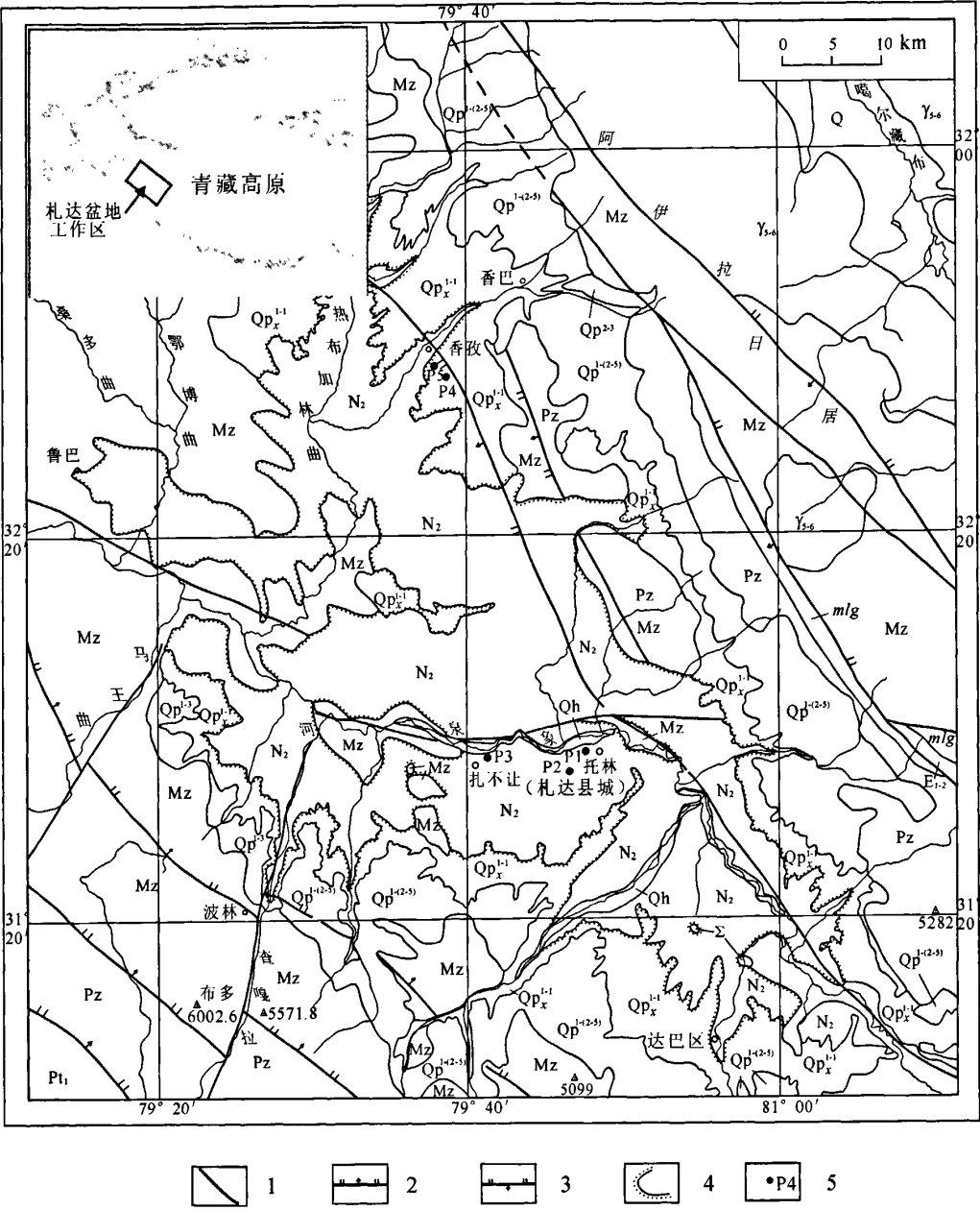


图 1 西藏札达盆地构造地质图

Fig. 1 Tectonic and geological map of the Zanda Basin, Tibet

Qp¹⁻¹x-下更新统香孜组; Qp¹⁻⁽²⁻⁵⁾x-更新统冰碛冰碛堆积; Qp²⁻³x-中上更新统冰碛冰碛堆积; Q-第四系; N₂-上新统含托林组及古格组; Mz-中生界; Pz-古生界; Pt₁-古元古界; mlg-构造混杂岩类; γ₅₋₆-花岗岩类; Σ-超基性岩; 1-断层; 2-正断层; 3-逆断层; 4-不整合界线; 5-剖面及编号

Qp¹⁻¹x-Lower Pleistocene Xiangzi Formation; Qp¹⁻⁽²⁻⁵⁾x-Pleistocene marine and glacial deposit; Qp²⁻³x-Middle and Upper Pleistocene marine and glacial deposit; Q-Quaternary; N₂-Pliocene Tuolin Formation and Guge Formation; Mz-Mesozoic; Pz-Palaeozoic; Pt₁-Paleoproterozoic; mlg-tectonic mélange; γ₅₋₆-granitoid; Σ-ultrabasic rock; 1-fault; 2-normal fault; 3-reverse fault; 4-unconformity; 5-section and its serial number

区(钱方等,1982),钱方并根据古地磁测年建立了札达组和香孜组(钱方,1990;1999);对盆地中的晚新生代沉积地层还进行过孢粉与古环境(李文漪等,1983;李建国等,2001a, 2001b;)以及沉积环境(王维亮等,2004)等方面的研究。自2003年起,朱大岗、孟宪刚等人在札达盆地进行更深一步的研究,并在研究区内发现了两个不整合面,据此将札达盆地自下到顶细分为托林组、古格组和香孜组,认为托林组和古格组属于新近纪地层,香孜组属于更新世地层(朱大岗等,2004a,2004b)。

在前人对该套地层研究的基础上,项目组于2003~2005年重新测制了地层剖面。本文用剖面中托林组的孢粉、粒度、磁化率、碳酸盐和易溶盐几项环境代用指标,来综合分析讨论西藏札达盆地上新世托林组的环境变化。

1 剖面描述

托林剖面位于札达县西5 km 象泉河南岸。该剖面在野外由两个小剖面 P1 和 P3 直接相连,总厚度约130 m。直接不整合覆盖于盆地基底之上,沉积韵律清晰,冲刷面明显,斜层理、交错层理发育,属于湖泊发育初期的河流相沉积地层。根据野外观察,按岩性特征,将剖面由下至上划分为26层,各层特征如下:

上覆:上新统古格组(N ₂ g)	
—————平行不整合—————	
托林组(N ₂ t)	
26、灰色含砾粗粒长石岩屑砂岩	2.7 m
25、灰色砾岩	1.8 m
24、灰色含砾粗粒长石岩屑砂岩	2.2 m
23、灰黄色含砂质粘土岩	1.8 m
22、灰黄色(泥质)粉砂岩夹中细粒岩屑砂岩	3.0 m
21、浅灰白—灰红褐色中粗粒岩屑砂岩夹细砂质粉砂岩	2.4 m
20、浅灰红色含砾细砂质粉砂岩	1.4 m
19、灰黄色中细粒钙质长石岩屑砂岩	4.2 m
18、暗灰色中粗粒长石岩屑砂岩	1.0 m
17、灰黄色含细砂粉砂岩	0.2 m
16、灰褐色中粗粒长石岩屑砂岩	0.3 m
15、浅灰白色粉砂岩	1.5 m
14、灰褐色含砾中粗粒长石岩屑砂岩与中粗粒长石岩屑砂岩互层,并见额鼻角犀(亚科)Dicerorhininae 和鼠兔 Ochotona sp. 前白齿化石	6.6 m
13、灰黄色细砂岩	2.7 m
12、灰黄色中粗粒钙质长石岩屑砂岩	4.5 m

11、灰黄色含砾中粗粒长石岩屑砂岩	9.2 m
10、灰色细粒钙质长石岩屑砂岩	1.3 m
9、灰黄色细粒钙质长石岩屑砂岩	1.7 m
8、灰黄色含结核细粒钙质长石岩屑砂岩	3.8 m
7、灰色含砾钙质砂岩	3.1 m
6、灰白色含砾中粗粒钙质长石岩屑砂岩	5.0 m
5、杂色砾岩	0.6 m
4、灰白色细粒长石岩屑砂岩与粉砂质粘土岩互层	2.9 m
3、灰白色中粗粒钙质长石岩屑砂岩与含砾中粗粒钙质长石岩屑砂岩互层	10.0 m
2、灰色砾岩夹含砾粗砂岩	7.0 m
1、灰色厚层砾岩	1.8 m
~~~~~角度不整合~~~~~	
下伏地层:侏罗系(J)	

2 实验分析结果

2.1 孢粉分析

对托林剖面测量连续分层采集的样品中,去除粒度较粗、不适合进行测试的孢粉,共送出测试样品20个。经中国地质科学院水文地质环境地质研究所童国榜先生鉴定,共鉴定到2218粒孢粉,平均每样110.9粒。孢粉平均浓度为17.6粒/g,分属180个类型。

依据札达剖面几种典型孢粉类型图示(图2),初步将其划分为3个大的孢粉带。从下至上为:

A带(5.05~4.72 Ma)孢粉浓度为3~45.9/g粒。组合中以乔木植物花粉占优势,含量为45%,主要为松属(*Pinus*),其次为桦属(*Betula*),出现少量落叶栎(*Quercus*)、常绿栎(*Cyclobalanopsis*)和栗/石栎属(*Castanea/Lithocarpus*),表明气候温凉干燥,森林景观为针阔叶混交林。草本植物花粉含量为41%,主要有禾本科(*Gramineae*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、蒿属(*Artemisia*)和伞形科(*Umbelliferae*),这些植物不仅耐干旱,还十分耐寒,指示气候偏干凉。灌木植物花粉含量为11%,主要为麻黄(*Ephedra*)和绣线菊(*Spiraea*)。蕨类孢子较少,含量为3%,主要有水龙骨(*Polypodiaceasporites*)。由以上分析可推测,当时属于针阔叶疏林草原植被景观。这些古植被景观表明该时期气候温凉而干旱。

B带(4.72~4.67 Ma)孢粉浓度为6.8~13.5/g粒。乔木植物花粉略有降低,含量为41%,但仍以松属和桦属为主,同时还出现了一些阔叶树花粉栎属,其中落叶栎含量增大。草本植物中仍以禾本科、藜科和蒿属占优势,但禾本科花粉有所减少。该带的显著特点是胡桃的出现和麻黄的消失,表明

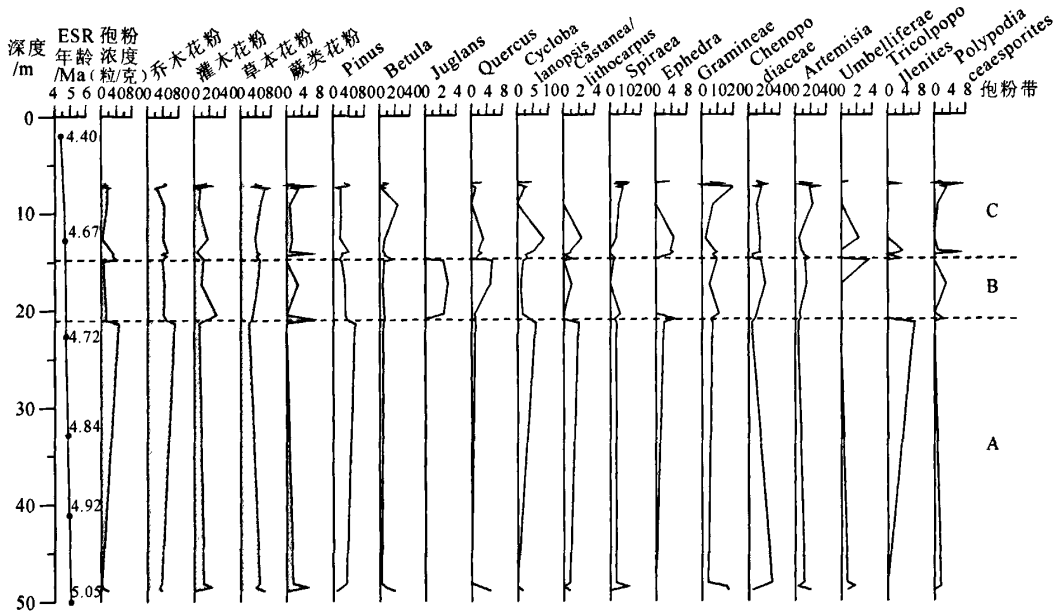


图 2 托林组剖面孢粉百分比图示  
Fig. 2 Spore-pollen percentage of the Tuolin Formation

温度较前温暖,湿度也有所增加。据剖面中孢粉分析可推测,当时属于温带森林草原的气候环境。

C带(4.67~4.40 Ma)孢粉浓度为4.4~39粒/g。草本植物花粉有明显的增加,含量为48%。乔木植物仍然以松属和桦属为主,胡桃消失。亚热带乔木树种常绿桉含量增加,且出现整个剖面的最高值。草本植物中仍以禾本科、藜科和蒿属占优势,藜科和蒿属含量有所降低。灌木花粉麻黄和绣线菊含量增大。喜湿热的蕨类孢子比前带增加。与前两个时段相比,该时期温度继续上升,降雨量增大,湿度随之增大,气候特征为亚热带—暖温带型,属于暖温带针阔叶混交林植被景观。

2.2 磁化率、粒度和碳酸盐分析

在托林组河流相沉积剖面内,对39个样品进行了磁化率、粒度和碳酸盐分析测试。其中粒度使用中国科学院南京地理湖泊所研制的CG-1离心沉降式粒度分布测定仪测定,磁化率测定使用SUS-942磁化率仪完成,碳酸盐含量使用中科院南京地理与湖泊研究所研制的碳酸盐含量分析仪测定。

札达盆地托林组剖面的磁化率、粒度和碳酸盐分析表明(图3),这三项指标存在着明显的韵律波动,详细的记录了西藏札达古湖发育的过程。粒度的变化范围在7.7~66.6 μm之间,磁化率在(7.1

~73.9) × 10⁻⁶ SI之间,碳酸盐含量变幅在0.01%~44.3%之间。

2.2.1 磁化率、粒度和碳酸盐所指示的环境意义

(1) 粒度:湖泊沉积物的粒度特征由沉积物物源的原始颗粒、流体搬运能力及沉积环境共同控制。随着湖面的扩张和收缩,沉积物的粗细也随之变化,细粒和粗粒分别代表湖泊的高水位时期和低水位时期。当气候湿润时,湖水补给充分,水深度增大,湖泊处于高水位时期,沉积点上堆积的碎屑物质较细,但是,气候湿润条件下地表径流增大,较粗颗粒也可以被带到离湖岸更远的地方,甚至湖心;反之,气候干旱时,因湖面降低而沉积粗颗粒,而较弱的地表径流也会造成粗颗粒物质的搬运能力下降。因此,利用粒度特征判识气候环境的变化,还必须结合磁化率、碳酸盐等其他环境指标综合分析(陈敏安等,1999;郑度等,2004)。

(2) 磁化率:粒度分析表明,沉积物中磁性物质细颗粒组分含量高时磁化率较高,当粗颗粒组分含量高时磁化率较低(胡守云等,1998;张普纲等,2003)。在研究区,由于札达盆地沉积物来自于紧邻盆地两侧的喜马拉雅山和阿依拉居两大山系,物源搬运距离近,风化产物无法达到很微小的粒级,而碎屑沉积物中的磁性物质一般都存在于重矿物组

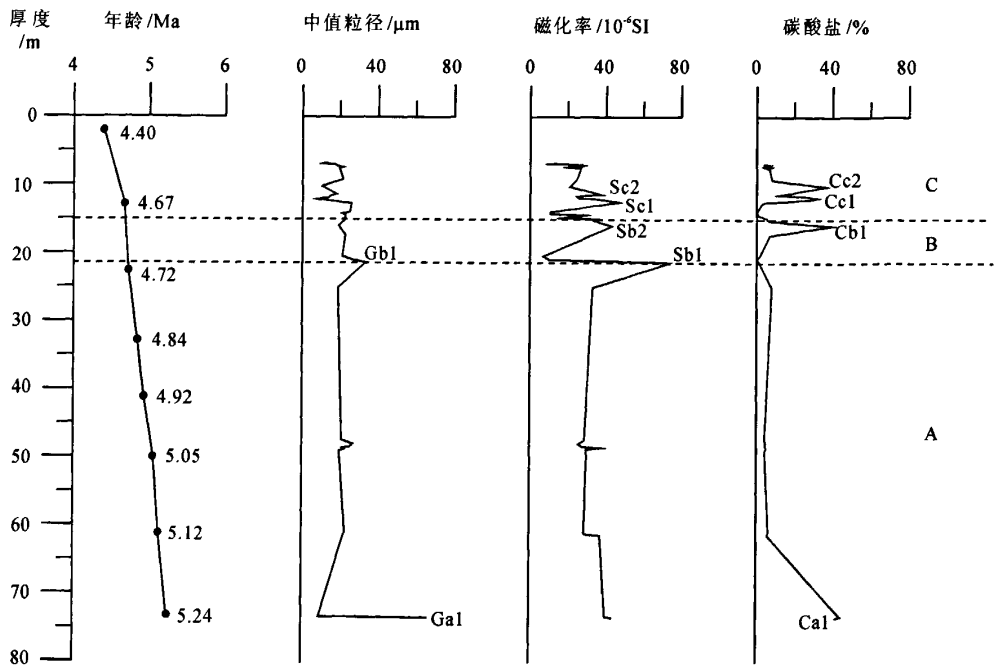


图3 西藏札达盆地托林组湖相沉积物粒度、碳酸盐和磁化率分析结果  
Fig. 3 Grain size, carbonate and susceptibility analysis in Tuolin Formation, Zanda Basin, Tibet

合之中,相同水动力条件下,磁性矿物颗粒往往与更粗的轻矿物颗粒一同搬运。在曲线中反映磁化率高极值对应的粒度值也较高,说明在本区,磁性物质只有在水动力条件达到一定程度时才能从物源区被搬出,而当水动力条件进一步增强,随着磁性组分中粗粒组分含量的加大,沉积物随之又表现为低磁化率特征。即在本区磁化率高值常与沉积物中高粒度值和低碳酸盐值对应,是湖泊入水量增加、气候朝湿润方向发展的反映。

(3) 碳酸盐含量: 碳酸盐含量的变化受制于湖区的气候特征和入湖水量变化。当蒸发量远远大于降水量,湖水中的  $\text{Ca}^{2+}$  出现过饱和状态,碳酸盐开始结晶沉淀;而入湖水量增大时,湖水淡化,湖泊沉积物碳酸盐含量降低(卢演传,1981;王建等,1996;谭红兵等,2003)。在本区,碳酸盐沉积含量的变化还与源区内该时期碳酸盐总的溶蚀量有关,即要有充足的降雨量,保证碳酸盐在源区内的大量溶蚀。

2.2.2 磁化率、粒度和碳酸盐变化特征

A带(5.24~4.72 Ma),沉积物粒度总体处于较高水平,碳酸盐含量由高向低变化,表明此时沉积环境由于干旱向湿润方向发展。粒度在开始阶段出现了一次明显的高极值(Ga1),对应高的碳酸盐含量

(Ca1),反映湖泊处于开始发育阶段,湖泊水位较低,气候温凉干旱。

B带(4.72~4.67 Ma),该带粒度变化趋于平稳,波动幅度不大。磁化率在该段出现2次较明显的高极值(Sb1、Sb2)。其中前一个磁化率高极值(Sb1)分别对应高粒度极值(Gb1)和低的碳酸盐含量,反映整个流域水动力条件增大,流体搬运能力增强。后一个磁化率高极值(Sb2)幅度较小,对应低碳酸盐含量,反映经过前一个湿润周期后,地表水动力条件的又一次增强,整个阶段反映水体逐渐加深,环境向湿润方向发展的过程。而随后高碳酸盐含量Cb1的出现代表了在整体湿润的背景下出现的一次较明显的干旱事件。

C带(4.67~4.40 Ma),该带沉积物粒度存在明显的韵律波动特征,但总体粒度值有所下降,湖泊水位相对较高。碳酸盐含量出现2次高极值(Cc1、Cc2),反映在总体气候湿润,水量供应充沛的环境下,大量易溶盐被带入湖泊水体中,相应使干旱阶段的碳酸盐沉积量增加。另外在该带出现2次高磁化率值(Sc1、Sc2),分别与高粒度值和碳酸盐低值对应,代表了2次水动力条件增大的湿润事件。整个阶段反映气候持续向温暖湿润方向发展。

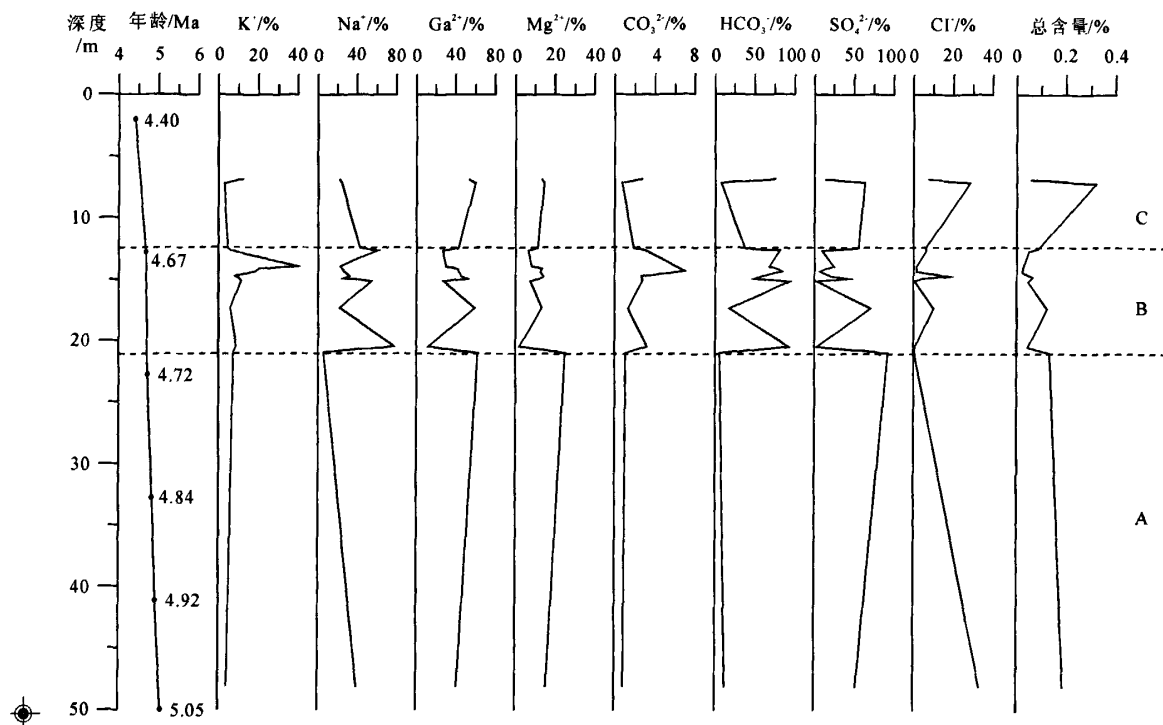


图4 西藏札达盆地托林组沉积样品易溶盐宏量组分变化及总含量特征图

Fig. 4 Component variation and total amount characteristics of easily dissolved salt samples in the Tuolin Formation, Zhada Basin, Tibet

### 2.3 易溶盐

湖盆内的元素大都是湖盆汇水区内地表岩石风化的产物,以岩石、矿物、离子溶液及被吸附的形式带入盆地内。这一作用过程与气候、地形、岩性、水文及构造等因素有关,其中气候是最活跃的因素。气候越温暖潮湿,风化搬运作用就越强,较不活泼的元素也能大量迁移进入湖盆沉积下来,而活泼的元素难以迁移至湖盆,以化学方式沉积下来。因此,可根据各时代地层中的化学元素分析当时的古气候环境(张玉芳等,1998)。

在托林组河流相沉积剖面内,共分析测试了14个易溶岩样品,所有样品都在风干后过18目筛,一律取 $\leq 18$ 目土样50g,统一制备成5:1水土比浸出液,分别进行诸项滴定。将阴离子和阳离子分别进行统计,计算出了它们的相对含量(图4)。由图中可以看出,易溶盐中阳离子以 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 为主,其次为 $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ 含量最少,阴离子以 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 为主,其次为 $\text{Cl}^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$ 含量一直处于较低值。

A带(5.05~4.72 Ma), $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ 呈上升趋势,

势, $\text{Na}^+$ 呈下降趋势, $\text{Cl}^-$ 也呈明显的下降趋势,而 $\text{SO}_4^{2-}$ 逐渐上升,代表气候逐渐向湿润方向转变。

B带(4.72~4.67 Ma), $\text{Ca}^{2+}$ 和 $\text{Mg}^{2+}$ 存在明显的由低到高,再由高到低的变化过程,而 $\text{Na}^+$ 变化与其呈镜像关系,存在由高到低,再由低到高的一个过程,体现了气候相对由于干旱—湿润—干旱的一个轮回。与此对应, $\text{Cl}^-$ 在该处也存在由低到高再到低的变化,而 $\text{SO}_4^{2-}$ 含量变化特征也反映了这一规律, $\text{HCO}_3^-$ 与其呈镜像关系,二者呈高低相间的韵律变化规律。易溶盐总含量也由低—高一低变化,体现了气候由于干旱—湿润—干旱的变化过程。

C带(4.67~4.40 Ma), $\text{Ca}^{2+}$ 在整条剖面中含量最大,且呈逐渐增大的趋势,而 $\text{Na}^+$ 含量由大变,与此对应, $\text{Cl}^-$ 也逐渐增大, $\text{SO}_4^{2-}$ 含量占主导, $\text{HCO}_3^-$ 与其呈镜像关系,易溶盐总含量在该段最高,代表气候进一步向温暖湿润方向发展。

### 3 结论

(1) 5.40~4.40 Ma时期,为喜马拉雅山慢速

隆升阶段。在该地层上产有三趾马、额鼻角犀、鼠兔类化石,其产出层位 ESR 测年年龄为 4.70 Ma^①。喜马拉雅山高度约在 2000 m 以下,尚不能阻挡印度洋的暖湿气流侵入湖区,表明当时所在地带气候温暖湿润(李廷栋,1995;朱大岗等,2006)。札达盆地托林组沉积物的孢粉、粒度、磁化率、碳酸盐和易溶盐分析结果很好地反映了札达盆地托林组沉积环境的变化。且各项指标之间有很好的对应关系,分析结果相互吻合。

(2) 在 5.24 ~ 4.72 Ma 时期,孢粉分析表现为针阔叶疏林草原植被景观,粒度、磁化率和碳酸盐变化显示湖泊处于开始发育阶段,湖泊水位较低,气候温凉干旱。

(3) 在 4.72 ~ 4.67 Ma 时期,整个流域水动力条件增大,流体搬运能力逐渐增强,水量增多,水深增大。气候向温暖湿润环境转变,孢粉组合表现出温带森林草原的气候环境。

(4) 在 4.67 ~ 4.40 Ma 时期,温度升高,湿度增大,气候适宜,植被发育,属于暖温带针阔叶混交林环境特征,粒度、磁化率、碳酸盐和易溶盐分析结果显示气候进一步向温暖湿润方向发展。

### 参考文献

- 陈敏安,万国江. 1999. 云南洱海沉积物粒度组成及其环境意义辨识. 矿物学报, 19(2): 175 ~ 182.
- 胡守云,王苏民, Appel E, 等. 1998. 呼伦湖湖泊沉积物磁化率变化的环境磁学机制. 中国科学(D辑), 28: 334 ~ 339.
- 李文清,梁玉莲. 1983. 札达盆地上新世湖相沉积的孢粉分析. 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.
- 李建国,周勇. 2001a. 西藏西部札达盆地上新世孢粉植物群及古环境. 微体古生物学报, 18(1): 89 ~ 96.
- 卢滨涛. 1981. 黄土地层中 CaCO₃ 含量变化与更新世气候旋回. 地质科学, (2): 122 ~ 131.
- 李建国,周勇. 2001b. 西藏札达盆地晚上新世古植被型分析. 古地理学报, 4(1): 52 ~ 59.
- 李廷栋. 1995. 青藏高原隆升的过程和机制. 地球学报, (1): 1 ~ 9.
- 钱方,浦庆余,吴锡浩. 1982. 念育唐古拉山东南麓第四纪冰川地质. 见:青藏高原地质文集(4)—第四纪地质、冰川. 北京: 地质出版社, 34 ~ 50.
- 钱方. 1990. 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. 见: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, 198 ~ 206.
- 钱方. 1999. 青藏高原晚新生代磁性地层研究. 地质力学学报, 5

(4): 22 ~ 34.

- 谭红兵,马海州,张西营. 2003. 碳酸盐研究与其记录的环境变化. 盐湖研究, 11(4): 20 ~ 27.
- 王建,刘泽纯,姜文英,等. 1996. 磁化率与粒度、矿物的关系及其古环境意义. 地理学报, 51(2): 155 ~ 163.
- 王维亮,张进江,张波. 2004. 西藏札达盆地构造与沉积特征. 北京大学学报(自然科学版), 40(6): 872 ~ 878.
- 西藏自治区地质矿产局. 1991. 西藏自治区区域地质志. 北京: 地质出版社.
- 张普纲,樊行昭,霍俊杰. 2003. 磁性参数的环境指示意义. 太原理工大学学报, 34(3): 301 ~ 308.
- 张青松,王富葆,李炳元,等. 1981. 西藏札达盆地的上新世地层. 地层学杂志, 5(2): 11 ~ 15.
- 张玉芳,张俊牌,徐建明,等. 1998. 黄河源区距今 13 万年来古气候演变. 地质力学学报, 4(4): 69 ~ 75.
- 郑度,姚檀栋. 2004. 青藏高原隆升与环境效应. 北京: 科学出版社.
- 中国科学院青藏高原综合科学考察队. 1983. 西藏第四纪地质. 北京: 科学出版社, 15 ~ 40.
- 朱大岗,孟宪刚,邵兆刚,等. 2004a. 西藏阿里札达盆地上新世一早更新世河湖相沉积中两个不整合面的发现及意义. 地质通报, 23(5-6): 605 ~ 608.
- 朱大岗,孟宪刚,邵兆刚,等. 2004b. 西藏阿里札达盆地上新世一早更新世沉积相及其构造演化特征. 地质力学学报, 10(3): 245 ~ 252.
- 朱大岗,孟宪刚,邵兆刚,等. 2006. 西藏札达盆地形成演化与喜马拉雅山隆升. 地球学报, 27(3): 193 ~ 200.

### References

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Xizang Autonomous Region. 1991. Geology of Xizang(Tibet) Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Chen Min'an, Wan Guojiang. 1999. Sediment particle size distribution and its environmental significance in Lake Erhai, Yunnan Province. Acta Mineralogica Sinica, 19(2): 175 ~ 182 (in Chinese with English abstract).
- Hu Shouyun, Wang Sumin, Appel E, et al. 1998. Environmental mechanism of magnetic susceptibility changes of lacustrine sediments from Lake Hulun China. Science in China (Series D), 28: 334 ~ 339 (in Chinese with English abstract).
- Li Tingdong. 1995. The Uplifting Process and Mechanism of the Qinghai-Tibet Plateau. Acta Geoscientica Sinica, (1): 1 ~ 9 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenyi, Liang Yulian. 1983. Sporo-pollen analysis on the lacustrine deposits in Zanda Basin during the Pliocene. In: The Comprehensive Scientific Expedition to the Qinghai-Xizang Plateau, Academia Sinica ed. Quaternary Geology in Xizang. Beijing: Science Press (in

① ESR 年龄由成都理工大学 ESR 实验室梁兴中教授测试, 2004.

- Chinese).
- Li Jianguo, Zhou Yong. 2001a. Pliocene palynoflora from the Zanda Basin, West Xizang (Tibet), and the palaeoenvironment. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, 18(1): 89 ~ 96 (in Chinese with English abstract).
- Li Jianguo, Zhou Yong. 2001b. Paleovegetation type and analysis of the Late Pliocene in Zanda Basin of Tibet. *Journal of Palaeogeography*, 4(1): 52 ~ 59 (in Chinese with English abstract).
- Lu Yanchou. 1981. Pleistocene Climatic Cycles and Variation of  $\text{CaCO}_3$  Contents in a Loess Profile. *Sci Geol Sinica*, (2): 122 ~ 131 (in Chinese).
- Qian Fang, Pu Qingyu, Wu Xihao. 1982. Quaternary glaciogeology at the southeastern foot of the Nyainqentanglha Range. In: Contributions to the Geology of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau (4). Beijing: Geological Publishing House, 34 ~ 50 (in Chinese).
- Qian Fang. 1990. The Primary study of Pliocene level movement of Zhada, Tibet by Paleomagnetism. Lithospheric tectonics evolvement of Himalayas-The Thesis Volume of Physical Geography, Tibet. Beijing: Geology Publishing House, 198 ~ 206 (in Chinese).
- Qian Fang. 1999. Study on magnetostratigraphy in Qinghai-Tibetan Plateau in late Cenozoic. *Journal of Geomechanics*, 5(4): 22 ~ 34 (in Chinese with English abstract).
- Scientific Expedition Team of Qinghai-Tibetan Plateau. 1983. Chinese Academy of Sciences (Li Binyuan, Wang Fubao, Zhang Qingsong et al.), Quaternary Geology of Tibet. Beijing: Science Press, 15 ~ 40 (in Chinese).
- Tan Hongbing, Ma Haizhou, Zhang Xiyang, et al. 2003. Study on Carbonates and its Record for Environmental Changes. *Journal of Salt Lake Research*, 11(4): 20 ~ 27 (in Chinese with English abstract).
- Wang Jian, Liu Zechun, Jiang Wenying, et al. 1996. A Relationship between Susceptibility and grain-size and minerals, and their Paleoenvironmental Implications. *Acta Geographica Sinica*, 51(2): 155 ~ 163 (in Chinese with English abstract).
- Wang Weiliang, Zhang Jinjiang, Zhang Bo. 2004. Structural and Sedimentary Features in Zanda Basin of Tibet. *Universitatis Pekinensis (Acta Scientiarum Naturalium)*, 40(6): 872 ~ 878 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Du, Yao Tandong. 2004. The uplifting and environmental effectivity in Qinghai-Tibet plateau. Beijing: Science Press (in Chinese).
- Zhang Pugang, Fan Xingzhao, Huo Junjie. 2003. Environment designating singification of magnetic parameters. *Journal of TaiYuan University of Technology*, 34(3): 301 ~ 308 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yufang, Zhang Junpai, Xu Jianming, et al. 1998. THE Palaeoclimatic Evolution OF the Yellow River Source Area Since 130 ka B. P. *Journal Of Geomechanics*, 4(4): 69 ~ 75 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qingsong, Wang Fubao, Li Binyuan, et al. 1981. Pliocene strata of Zhada basin, Tibet. *Journal of Stratigraphy*, 5(2): 11 ~ 15 (in Chinese).
- Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. 2004a. Discovery of two unconformities in Pliocene-early Pleistocene fluvio-lacustrine deposits in the Zanda basin, Ngari, Tibet. *Geological Bulletin of China*, 23(5 ~ 6): 605 ~ 608 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. 2004b. Features of Pliocene-lower Pleistocene sedimentary facies and tectonics evolution in the Zanda basin, Ngari area, Tibet. *Journal of Geomechanics*, 10(3): 245 ~ 252 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Dagang, Meng Xiangang, Shao Zhaogang, et al. 2006. The Formation and Evolution of Zanda Basin in Tibet and the Uplift of the Himalayas. *Acta Geoscientica Sinica*, 27(3): 193 ~ 200 (in Chinese with English abstract).