

## 内蒙古额济纳旗嘎顺淖尔 XK<sub>1</sub> 孔揭示的第四纪晚期沉积特点及古环境\*

迟振卿, 王永, 姚培毅, 闵隆瑞

(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

**摘要:**通过对嘎顺淖尔 XK<sub>1</sub> 孔沉积岩芯的岩性特征及多种环境代用指标的综合分析, 初步认为: 中更新世早中期, 29.6-42.5m(推测时代为距今 218.3 kaBP 以前), 气候温凉偏干, 滨湖与洪积交替; 距今 218.3-172.8 kaBP 气候温凉偏湿, 湖泊面积扩大, 以滨浅湖-浅湖沉积为主, 并一度出现半深湖环境; 距今 172.8-93.4 kaBP, 沉积环境为湖滨相与洪积交替, 气候特点是冷凉干旱; 距今 93.4-67.4 kaBP, 沉积环境以淡水浅湖为主, 夹湖滨相. 气候温偏湿; 距今 67.4-54.0 kaBP, 湖滨相沉积为主, 气候温凉偏干; 距今 54-48.9 kaBP, 气候暖湿的浅湖环境, 气温较高; 距今 48.9-42.6 kaBP, 凉而且干旱的气候特点, 沉积相为湖滨相; 42.6-0 kaBP, 气候暖湿、凉干交替, 浅湖相为主.

**关键词:**嘎顺淖尔; 第四纪晚期; 沉积特点; 古环境

## Sedimentary features of XK<sub>1</sub> core and palaeoenvironment in Gaxun Nür of Inner Mongolia since late Quaternary

CHI Zhenqing, WANG Yong, YAO Peiyi & MIN Longrui

(Institute of Geology, CAGS, Beijing 100037, P. R. China)

**Abstract:** Ejinaqi is far from ocean and located in Asian hinterland where the atmospheric circulation is hindered by high mountains. Ejinaqi is controlled by this geographic setting, especially the rapid uplift of Qinghai-Tibet Plateau since the late Quaternary, which undoubtedly influences the climate and environment in Ejinaqi. One of our objectives is to establish the palaeoclimatic evolution sequence and to reveal the character of palaeoclimatic changes since the late Quaternary through comprehensively analyzing physical, chemical and biological proxy of sediment in Juyanhai Lake.

The sediment character, pollen and ostracode assemblage, minerals, and geochemical elements of 42.5 m long core in middle-west of Gaxun Nür and of JYH-E section in Quyanhai indicate that there are 8 climate stages and the climate was mainly warmer and cool or warmer with obvious fluctuating from dry to wet since middle-Pleistocene. It was cooler and relative wet before 218.3 kaBP; From 172.8 kaBP to 218.3 kaBP, the climate was cooler and relative wetter and the lake expanded to a deeper lake; the climate turned to be colder or cooler and dry from 172.8 to 93.4 kaBP; from 93.4 kaBP to 67.4 kaBP, the lake shrank to be a shallow lake, showing the climate probably was mild with little humidity; from 67.4 to 54.0 kaBP, the salinity of the lake increased and the climate was cooler and relative dry; from 54 kaBP to 48.9 kaBP, the climate was warmer and wetter; the climate was cool and dry from 48.9 kaBP to 42.6 kaBP; after 42.6 kaBP, the climate alternated with warmer-wetter and cooler-dry.

**Keywords:** Gaxun Nür; late Quaternary; sedimental feature; palaeoenvironment

额济纳旗位于内蒙古最西部的阿拉善盟. 地质上, 这里曾被看作是华北地台西缘的一部分. 近年的研究表明<sup>[1]</sup>, 本区南北分属两个不同的构造单元: 北部属哈萨克斯坦-准噶尔板块大陆边缘东延的一部分,

\* 国家自然科学基金(40202017, 40572100)及中国地质调查项目(200212300009)共同资助.  
2005-05-11 收稿; 2005-08-03 收修改稿. 迟振卿, 女, 1970 生, 博士, 副研究员.

南部则属塔里木板块的北缘.西面是北山构造带,东面为阴山山脉及贺兰山,南面被龙首山所阻隔.区内主要部分为巴丹吉林沙漠所覆盖.新生代早期本区未见有大面积的沉积,属于以隆起为主要特征的地区.第四纪时形成了广泛的洪积、风成和河湖相的沉积,形成了一个大型的内陆盆地.特别是第四纪晚期以来,由于气候干旱,风成沙在区内广泛分布,黑河两岸形成了大片的河流冲积物.近年来,国内大专院校及科研所在该区开展了第四纪的湖泊研究,对全新世晚期以来的环境变迁作了初步探讨<sup>[2,3]</sup>,相邻的地区也做了较多的地质环境研究工作<sup>[4-9]</sup>,但对西居延海,即嘎顺淖尔的研究还是空白.居延海地区的湖泊沉积为本次研究的主要内容,研究成果为今后的进一步工作提供基础资料.

2002年,在进行地质调查工作过程中,于嘎顺淖尔湖的中东部用汽车钻施工完成一深42.5m的钻孔(XK<sub>1</sub>孔,地理坐标为100°57'49"E,42°20'02"N)并人工发掘一深3.6m的浅坑作为辅助剖面(图1).笔者对钻孔岩心沉积物古地磁、孢粉、介形类、矿物及地球化学元素含量进行了系统分析,结合岩性、结构等特征,对该孔岩心的沉积特点及沉积环境进行讨论.

## 1 样品采集与实验分析

### 1.1 岩心及地层序列描述

根据沉积物的颜色、粒度等特征归纳为5段及14个亚段.

29.65-42.5m 红棕色、棕褐色、褐色泥质砂砾岩及砾岩,夹少量灰绿色粘土,有一定程度的固结,砾石分选和磨圆度较差,其成份为石英岩,石英碎屑岩及黑色火山岩等;

24.55-29.6m 红棕色与黄褐色粘土夹砂砾层,其中29m处含较多的炭屑;

17.2-24.55m 黄褐色砂砾层与棕红色泥质胶结的砂层互层,22.5m以上含较多的钙结核;砾石分选磨圆中等;

2.9-17.2m 棕褐色粘土夹黄色、红褐色砂层,含砂砾层;

0-2.9m 灰黄、褐或棕褐色粘土互层,夹粘土质砂砾层.顶部为黄灰色盐壳层,岩性为粉砂质粘土.

### 1.2 采样及分析方法

对柱状岩芯以不同的间隔连续取了古地磁、矿物及化学元素分析、介形类及孢粉分析样品.其中古地磁在整个钻孔剖面采样间隔为20cm.共采集样品336个.所有样品装在2cm×2cm×2cm的立方体塑料盒中,所有样品的系统测试在台北中央研究院地球所古地磁实验室进行测试.在天然剩磁NRM测试前,先用Bartington MS2型磁化率仪对所有样品进行了体积磁化率测量.样品的剩磁测量工作,均在美国2G Enterprise公司755 SRM长岩心低温超导磁力仪上进行.采用MAC SCIENCE MXP-3型X光粉末绕射分析仪(X-Ray Powder Diffractometer简称XRD)对部分沉积物的矿物组成进行了分析,共分析XK<sub>1</sub>孔样品71件.对XK<sub>1</sub>孔的部分样品采用X光荧光分析法(X-Ray Fluorescence,简称XRF)进行了地球化学分析,实验采用Rigaku RIX2000型主机.XRD及

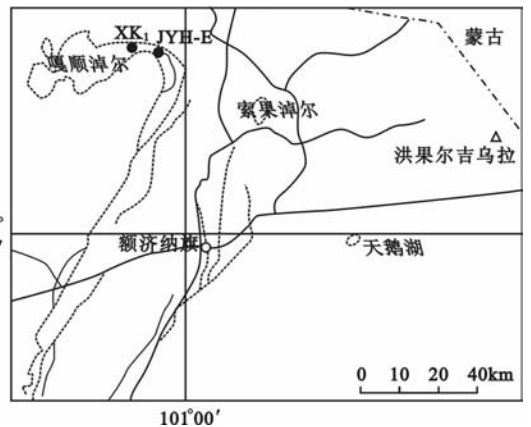


图1 剖面位置图

Fig. 1 Location of sections

XRF在台湾大学地球科学学院XRD-XRF实验室完成,共计分析样品68件.孢粉分析样品99件,介形类139件样品.矿物、化学元素及古生物分析样品的采样间距依据岩性不同从4.5cm至3m不等.

## 2 分析结果

### 2.1 地层年代序列的建立

XK<sub>1</sub>孔古地磁结果均属于布容正极性时,记录中更新世中晚期以来的沉积,但结果并未显示为稳定的

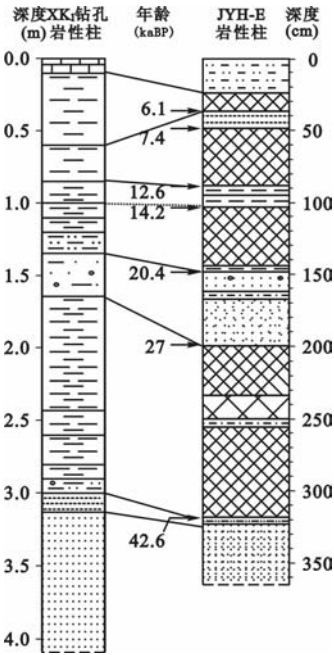


图2 XK<sub>1</sub>孔上部与JYH-E剖面岩性对比

Fig. 2 Lithostratigraphic Correlation between XK<sub>1</sub> core and JYH-E Section

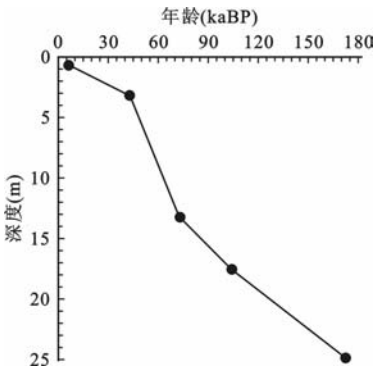


图3 XK<sub>1</sub>孔年龄与深度的关系

Fig. 3 the Relationship between Age and Depth in XK<sub>1</sub> Core

VII带: 0.01 - 2.6 m, 松 - 桦 - 蒿 - 藜孢粉带, 温和略湿气候期及森林类型植被段。

### 2.3 粘土及其相关矿物组合

矿物组成主要有伊利石、绿泥石、斜长石、方解石、白云石及以坡缕石为主的其它粘土矿物。从下至上可

正极性。可能是受沉积物中磁性矿物成分与结构的影响或是否受钻进过程的影响有待考虑。结合热释光年龄, 初步认为16 - 17 m处的反向事件可能为布莱事件, 年代为110 kaBP。3.4 - 3.85 m间的反向事件为拉尚反向事件, 事件年龄为40 ka。根据地层对比(图2), 认为JYH-E 40 cm相当XK<sub>1</sub>孔的60 cm处的年龄为6.100 kaBP; 而JYH-E 320 cm处的沉积可以对比XK<sub>1</sub>孔300 cm处的沉积层, 年龄为42.600 kaBP; 另外在13.3 m、17.5 m及24.8 m处测得的热释光年龄分别为73.4 ka、103.4 ka和172.8 kaBP。由于古地磁事件界线不明显, 本文主要采用绝对年龄数据利用内插获得不同深度的年龄(图3)。

### 2.2 介形类及孢粉组合

16 m以下不含介形类化石; 12 - 16 m含淡水属种 *Ilyocypris* cf. *errabundes*, 7 m左右以低半咸湖相属种 *Limnocythere sanctipatrici*, *Limnocythere* sp. 为主; 5.4 m以半咸水种 *Cyprideis littoralis* 为主; 亦有新种 *Ilyocypris elliptica*; 0.01 - 2.65 m以 *Limnocythere dubiosa* 为主, 亦有 *Ilyocypris cornae*。

孢粉经鉴定和统计共得各类孢粉12459粒, 将这些孢粉进行分类, 可归入66个植物自然分类科、属之内。该孔孢粉之组合特征是: 乔木花粉较多, 可占总数的50.4% - 80.7%; 灌木及草本植物花粉较少, 可占总数的13.8% - 38.1%; 蕨类孢子只有2.6% - 15.8%。这些孢粉的种类及数量在该孔的纵向上有一定的变化, 由下而上可分为七个孢粉带<sup>[10]</sup>:

I带: 29.6 - 39.5 m, 松 - 桦 - 蒿花粉带, 温和较湿气候期及森林类型植被。在该段沉积期间之植被, 当属针叶林或含一定量阔叶植物的针阔叶林, 气候温和较湿, 温度及湿度可能均比现今该地区较高。

II带: 24.0 - 29.4 m, 松 - 冷杉 - 桦 - 蒿花粉带, 该带可划分为两个亚带。25.75 - 29.4 m, 温凉偏湿气候期及森林类型植被亚带, 该亚段沉积时期之气候相对比较凉湿。24.0 - 25.4 m, 温和较湿气候期及森林类型植被亚段, 性喜凉湿环境之冷杉明显少于下部亚带, 气候温和较湿。

III带: 16.1 - 23.8 m, 松 - 桦 - 冷杉 - 蒿花粉带, 温和较湿气候期及森林类型植被, 气候温和较湿。

IV带: 11.8 - 16.0 m, 松 - 桦 - 蒿 - 藜花粉带, 温和略湿气候期及森林类型植被。

V带: 8.18 - 11.65 m, 松 - 桦 - 蒿花粉带, 温和较湿气候期及森林类型植被, 孢粉组合特点与带相似, 但乔木植物数量略多, 反映了温和较湿的森林类型植被。

VI带: 2.7 - 8.08 m, 松 - 桦 - 蒿 - 禾本带, 温和偏湿气候期及森林类型植被。

分为五段(图4):

I段:32.6-39.5 m 本段以石英为主,平均占67%,其次为斜长石,平均占21%,方解石约占8.3%;粘土矿物主要为坡缕石等,平均占3.1%,绿泥石少量,基本不含伊利石。

II段:24.2-29.6 m,出现粘土矿物伊利石,含量较少,坡缕石含量增多,平均为7.12%;石英矿物的含量较段少,占52.79%,方解石含量上升为24.5%,斜长石数量降低为13.7%。

III段:17.4-23.8 m,本段坡缕石的含量明显下降,平均占1.11%;伊利石含量变化不大,为1.41%,绿泥石含量下降,只有0.41%,石英、斜长石和方解石的含量分别为:60.13%,15.29%和28.24%。其中23.8 m处方解石的含量达90.05%,岩性描述为风化的白色物质。

IV段:2.88-15.5 m,该段矿物变化频繁而且幅度较大,伊利石、绿泥石的变化规律较明显,可分为4个亚段。

V段:0.01-2.65 m,本段白云石的含量明显上升,平均占3.46%,而在下面几段中只是断续出现,平均含量只有0.36%;伊利石含、绿泥石含量增多,分别为6.39%和8.04%,坡缕石为2.31%;石英、斜长石和方解石的含量分别为:50.46%,12.07%和13.71%。

化学元素在该剖面在垂向上的变化从下至上亦明显划分为五个带:

I段:29.4-32.6 m,该段只有三件样品,各元素的氧化物含量较为稳定, $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 含量呈逐渐下降的趋势, $\text{MnO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 则呈上升趋势。

II段:24.3-28.9 m,该段含样品五件, $\text{SiO}_2$ 含量仍呈下降趋势, $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 含量略有上升。

III段:16.9-23.8 m,该段 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 及 $\text{P}_2\text{O}_5$ 含量明显下降, $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 及 $\text{Na}_2\text{O}$ 含量较段上升。该带底部为一次明显的环境改变,各种化学成分变化幅度大, $\text{SiO}_2$ 含量达剖面最低值,只有11.53%。其它元素含量也处于低谷,只有 $\text{CaO}$ 含量大幅上升,达整个钻孔剖面的最高值51.9%。

IV段:2.95-15.5 m,各类化学成分变化幅度较大且变化频繁。

V段:0.01-2.88 m,该带 $\text{SiO}_2$ 含量平均值为整个钻孔最低值带, $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 及 $\text{P}_2\text{O}_5$ 平均值为最高含量带。

### 3 结论与讨论

沉积物中的矿物组合类型和含量在一定程度上可指示当时的气候特点,它的形成及转变与其所处环境有着密切的关系,在古环境研究中,常被用来指示当时的气候特点<sup>[11-14]</sup>。粘土矿物绿泥石、伊利石、坡缕石和石英的相对富集与比较干燥的气候有关。一般认为伊利石形成于干冷的气候环境中<sup>[12]</sup>,XK<sub>1</sub>孔沉积物所含的粘土矿物为伊利石、绿泥石才坡缕石,不含高岭石,说明该区以冷干的气候环境为主,但绿泥石含量高并不一定指示干冷的气候特点,尤其是西北干旱地区<sup>[13,14]</sup>。XK<sub>1</sub>孔的综合分析表明,在相对湿润的时期风化较为彻底,形成较多的粘土矿物,而在相对冷干时期,沉积物中的粘土矿物含量明显减少。孢粉反映的古环境特点与其他指标在一定适度上存在矛盾,并且以森林植被为主,这可能是由于嘎顺淖尔的水源主要为来自祁连山的黑河,河水带来的大量山区的植物孢粉所致。化学元素Mg/Ca比值大多数情况下随盐度的上升而升高;化学元素Al、Fe、Ti、Mn反映了暖湿的气候特点;而Ca、Mg则在过渡型气候(半潮湿、半干旱)对其富集较为有利;K、Na在干旱的气候下最有利于富集<sup>[15,16]</sup>。 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、TOFe、TiO在表生地球化学条件下是相对稳定的元素<sup>[17]</sup>,气候越暖湿,富集程度越高。Al+Fe+Ti+Mn增高,可以解释为当时气候具有偏暖偏湿的环境变化。 $\text{SiO}_2$ 含量高与干冷多风的环境有关<sup>[18]</sup>,因此Al+Fe+Ti+Mn可作为温度变化的替代性指标, $\text{Si}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Ti}+\text{Mn})$ 比值的相对反映气候干湿的波动。在干旱、半干旱地区,矿物和化学元素是比较可信的反映环境的指标。剖面的Al+Fe+Ti+Mn平均含量为19.43%,各带平均值与其比较,分为五个相对的气温级别:暖(>26%)、温(20%-26%)、温凉(19.13%-20%)、凉(16%-19.43%)和冷凉(<16%); $\text{Si}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Ti}+\text{Mn})$ 比值平均为3.16,将其作为湿度的有效指标,分为四个级别:湿(<2)、偏湿(2-3)、偏干(3-4)和干(>4)。对XK<sub>1</sub>孔多项环境代用指标的变化特征进行综合分析,获得不同沉积时期的环境特点(图4)。

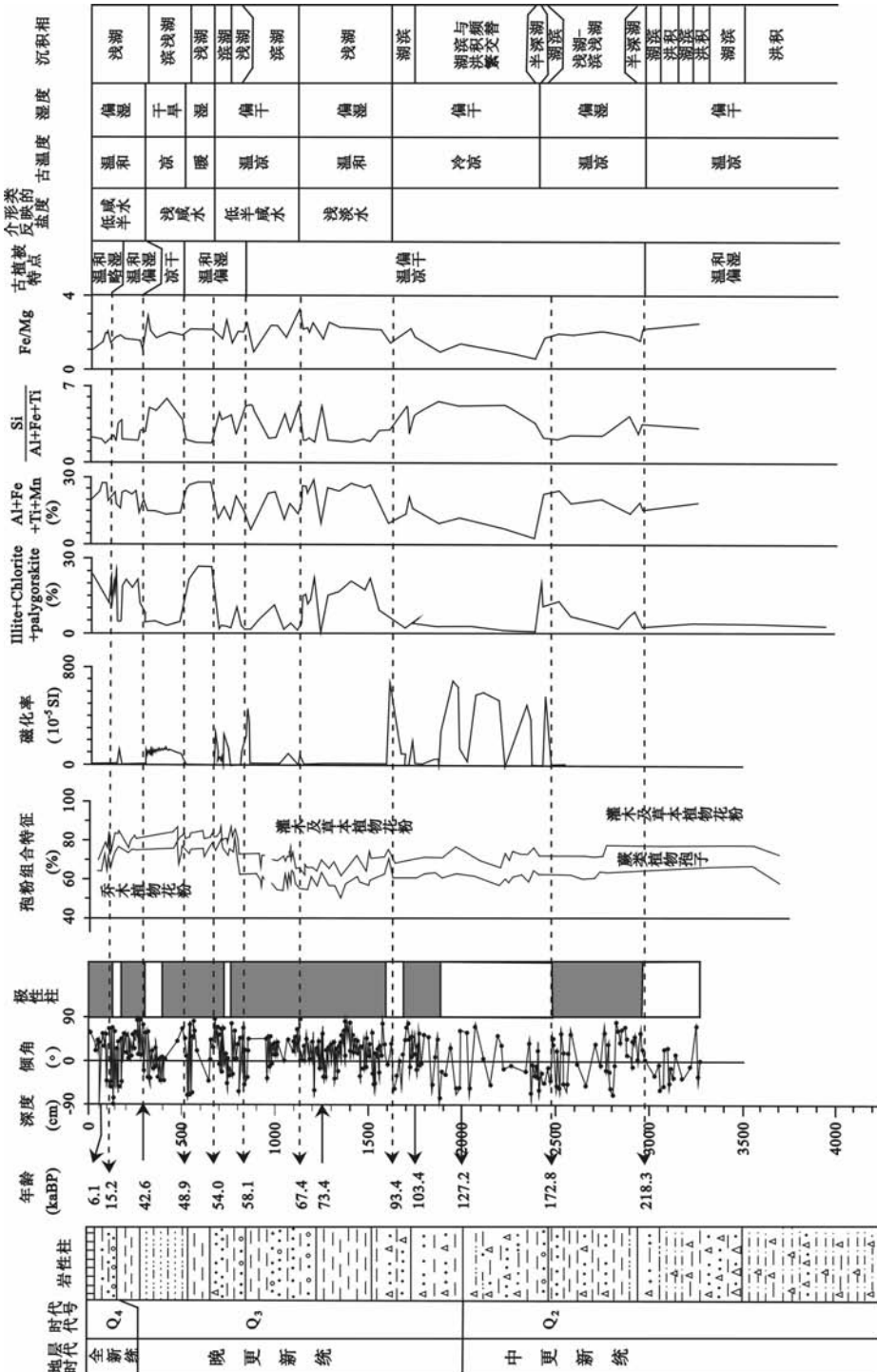


图4 内蒙古额济纳旗XK1孔多种指标反映的古气候、古环境特征

Fig. 4 Paleoenvironmental Feature illustrated by Environmental proxy of the XK1 Core

中更新世早中期, 29.6 - 42.5 m, 推测时代为距今 218.3 ka 以前相对湿润时期沉积褐色或黄褐色湖滨相的砂砾层, 而在相对干旱的时期, 湖水后退, 洪水期沉积红棕、棕褐色的泥质胶结砾石层。由孢粉特征及其所反映的植被类型, 可见在该段沉积期间当属针叶林或含一定量阔叶植物的针阔叶林。坡缕石 - 石英 - 斜长石组合, 碳酸盐矿物方解石、白云石少量、形成于暖湿气候下的元素 Al、Fe、Ti、Mn 含量之和为 17.63 及  $(Al + Fe + Ti + Mn) / (Mg + Ca + K + Na)$  比值 1.34、 $Si / (Al + Fe + Ti + Mn)$  比值 3.43, 均反映气候温凉偏干。气候温凉偏干, 滨湖与洪积相交替。

24.8 - 29.6 m, 约 172.8 - 218.3 kaBP 沉积较细粒的褐色与红棕色粘土, 反映气温相对较高, 以氧化环境为主。在半深湖沉积时期沉积灰绿色粘土。这一阶段的气候较为适宜, 湖泊周围及沿河道周围的植被较为发育, 沉积物中出现较多的碳屑。孢粉反映温凉偏湿气候期及森林类型植被。坡缕石 - 石英 - 斜长石 - 方解石组合, 坡缕石、方解石含量较下部增多,  $Si / (Al + Fe + Ti + Mn)$  比值减少为 2.78, Al、Fe、Ti、Mn 增加为 19.98,  $(Al + Fe + Ti + Mn) / (Mg + Ca + K + Na)$  比值 1.32, Fe/Mg 比值较带略有下降, 为 1.84, 但仍处峰值, 风化强度仍较强。气候温凉偏湿, 气温虽较前期下降, 但湿度增加。水体扩大, 以滨浅湖 - 浅湖沉积为主, 并一度出现半深湖环境。

16.1 - 24.8 m, 大约 93.4 - 172.8 kaBP 滨湖沉积物为褐色或褐色砂砾层, 干旱气候下的洪水期沉积棕黄、棕红色泥质砂砾层, 含较多干旱条件下易形成的钙质结核。该段沉积期间之植被亦属森林型之针叶林。石英 - 斜长石 - 方解石组合, 粘土矿物只有少量的伊利石, 方解石略有上升。Al、Fe、Ti、Mn 元素含量明显下降, 只有 12.41%,  $(Al + Fe + Ti + Mn) / (Mg + Ca + K + Na)$  比值处低谷, 为 0.88, 而  $Si / (Al + Fe + Ti + Mn)$  比值处于明显的峰值 4.28, Fe/Mg 比值为 1.49, 反映风化作用较弱。Mg/Ca 比值反映盐度较低。本段磁化率值明显地高, 反映了相对氧化的环境特征。本段反映的气候特点是冷凉干旱, 湖滨相与洪积相交替。

11.3 - 16.1 m, 大约 67.4 - 93.4 kaBP, 棕褐色粘土为主, 夹灰绿色、黄色粘土条带及精细砂层, 出现介形类化石, 其组合反映了浅淡水环境。孢粉反映该段沉积时期之植被, 虽主要仍属森林型, 但也具森林草原植被之性质, 其时气候可能温和略湿, 湿度比 V 段、III 段时低。伊利石 - 绿泥石 - 坡缕石 - 石英 - 斜长石 - 方解石组合, 粘土矿物的含量明显增加, 方解石稍有下降, 斜长石含量减少; Al、Fe、Ti、Mn 元素含量增加至 22.86%,  $(Al + Fe + Ti + Mn) / (Mg + Ca + K + Na)$  比值处峰值, 达 1.81, 而  $Si / (Al + Fe + Ti + Mn)$  比值 2.44 处于明显的低谷, Fe/Mg 比值为 2.17, 表明风化作用较强。Mg/Ca 比值为 0.99, 介形类主要为淡浅水相的 *Ilyocypris cf. errabunde*。说明沉积环境的盐度略有上升, 但仍为淡水浅湖为主, 夹湖滨相。气候温偏湿。

6.8 - 11.3 m, 大约 54.0 - 67.4 kaBP, 沉积灰黄色砂砾层; 并有湖水加深的波动, 形成棕褐色粘土层。8.18 - 11.65 m (58.1 - 67.4 kaBP) 乔木植物明显增多, 冷杉含量降低。孢粉组合特征与 III 段相似, 但乔木植物数量略多, 反映了温和较湿的森林植被类型。坡缕石 - 石英 - 斜长石 - 方解石组合带, 本带粘土矿物明显下降, 含少量伊利石、绿泥石和坡缕石。; Al、Fe、Ti、Mn 元素含量由 IV 带的 22.86% 下降为 16.05%,  $(Al + Fe + Ti + Mn) / (Mg + Ca + K + Na)$  比值降为 1.18, 而  $Si / (Al + Fe + Ti + Mn)$  比值上升为 3.91, Fe/Mg 比值为 2.09。湖水盐度增加, 以 *Limnocythere sanctipatrici*, *Limnocythere sp.*, 为主, 亦有低半咸水种 *Eucypris sp.*, 反映为低半咸水湖相。相当于末次冰期早冰阶, 气候温凉偏干, 湖滨相沉积为主,

5.1 - 6.8 m, 大约 48.9 - 54 kaBP, 形成棕褐色粘土, 植被以松等针叶植物为主的针叶林, 沉积物中含一定量的炭屑。伊利石 - 绿泥石 - 坡缕石 - 石英 - 斜长石 - 方解石 - 白云石组合, 伊利石、绿泥石和坡缕石的含量达 23.09%, 其它矿物不同程度地减少。粘土矿物的含量上升, 表明化学风化程度增强, Fe/Mg 比值为 2.15, Al、Fe、Ti、Mn 元素含量增至 26.85%,  $(Al + Fe + Ti + Mn) / (Mg + Ca + K + Na)$  升为 2.02, 而  $Si / (Al + Fe + Ti + Mn)$  比值降为 1.94。属风化程度较强的暖湿气候。气温较高, 浅湖环境。

3 - 5.1 m, 大约 42.6 - 48.9 kaBP 沉积相为湖滨相黄褐色砂沉积, 孢粉反映的仍是森林植被。石英 - 斜长石组合。绿泥石、伊利石和坡缕石的含量下降为 5.05%, 石英、斜长石含量增加, 分别为 74.0% 和 14.54%。Al、Fe、Ti、Mn 元素含量为 16.16%,  $(Al + Fe + Ti + Mn) / (Mg + Ca + K + Na)$  比值 1.71, 而  $Si / (Al + Fe + Ti + Mn)$  比值达到剖面最高, 为 4.41, Fe/Mg 比值为 2.1, Mg/Ca 比值为 1.22。介形类以半咸水种 *Cyprideis littoralis* 为主, 亦有新种 *Ilyocypris elliptica*, 反映风化作用较弱, 湖水具有一定盐度, 气候凉干的浅咸水环境。

0-3 m, 约 0-42.6 kaBP, 灰黄、褐或棕褐色粘土互层, 顶部为黄灰色盐壳层, 岩性为粉砂质粘土. 孢粉反映的是一种温和略湿的森林植. 矿物组合为伊利石-绿泥石-石英-方解石-白云石, 粘土矿物的含量明显上升, 伊利石、绿泥石、坡缕石的总和达 16.73, 石英由 74% 下降为 50.46%. Al、Fe、Ti、Mn 元素含量为 22.26%, (Al + Fe + Ti + Mn)/(Mg + Ca + K + Na) 比值 1.37, 而 Si/(Al + Fe + Ti + Mn) 比值为 2.38, Fe/Mg 比值为 1.55, Mg/Ca 比值为 0.65. 介形虫为淡水-半咸水的 *Limnocythere dubiosa* 及 *Ilyocypris cornae*, 表明风化作用较弱, 气候暖湿、凉干交替, 具有一定盐度的浅湖环境.

XK<sub>1</sub> 孔自 93.4 kaBP 以前表现为明显的构造隆升, 形成以粗碎屑沉积物为主的沉积, 在隆升相对缓慢或气候相对湿润的时期形成湖相沉积物, 而在冷干或构造抬升相对强烈的时期, 形成洪积相的砂砾石层. 黄土研究表明, 在 250 kaBP 前后, 我国北方干旱区有一次普遍的干旱化事件, 主要原因是青藏高原隆升<sup>[19-21]</sup>, 西南季风对北方输送的水汽明显减少<sup>[22]</sup>, 青藏高原多项指标表现出了 480-160 kaBP 期间温度偏低和干旱的环境面貌<sup>[23]</sup>. XK<sub>1</sub> 孔多种代用指标表明, 在以温凉或冷凉偏干的气候格局之下, 于 172.8-218.2 kaBP 气温和湿度有所回升, 植被特征亦表明温度、湿度要高于现在, 而 29 m 处含较多的炭屑, 反映了 200 kaBP 左右, 曾有短期的暖湿环境, 在矿物和化学元素含量上都有所反映, 沉积物亦显示了半深湖环境. 根据武威盆地内的一系列源于祁连山的河流阶地变形状况分析, 约 150 kaBP 前有一期构造抬升活动, 形成 T7 阶地; 100-150 kaBP 间又有一期活动, 形成 T6 阶地<sup>[24]</sup>. XK<sub>1</sub> 孔则表现为两次干冷夹一次相对湿润期, 反映了构造、气候的耦合关系. 100 kaBP 之后, 武威盆地内的河流阶地表现出至少五次构造抬升, 在嘎顺淖尔沉积物则表现为较前期更为频繁的气候波动, 温和偏湿、温凉偏干的气候交替, 水位相对升高, 形成较为典型的湖相沉积, 以滨、浅湖相为主, 沉积物为棕褐色、黄褐色粘土夹细砂层. 67.4-93.4 kaBP, 为浅淡水湖环境, 相当于末次间冰期中后期. 青藏高原古里雅冰芯研究表明, 4 阶段(75-58 kaBP)冷期持续了 17 ka<sup>[25]</sup>, 而 XK<sub>1</sub> 孔在 67.4-54.0 ka 期间表现为温凉偏干的气候特点, 湖水咸化, 为半咸水的滨浅湖, 冷期开始的时间相对青藏高原要晚而且时间短. 48.9-42.6 kaBP 阶段出现凉干的气候, 与之对应, 古里雅冰芯在 47-43 kaBP 阶段出现冷谷<sup>[25]</sup>, 42.6 kaBP 之后, 居延海地区气候温和偏湿, 降雨增加, 形成浅湖环境, 与邻区腾格里沙漠古湖的形成期 42 kaBP 相一致<sup>[26]</sup>, 而在这一时期内, 腾格里沙漠西北部曾存在“腾格里大湖”<sup>[27]</sup>, 大青山南部的呼包盆地在 47-28 kaBP 湖泊水位也维持着较高的水平<sup>[28]</sup>; 泥河湾盆地井儿洼钻孔多项环境代用指标说明 45-20 kaBP 期间, 泥河湾地区为暖湿的气候特点<sup>[29]</sup>, 在我国的西南、西北广大地区都存在异常的湖泊急剧扩张<sup>[30,31]</sup>, 研究结果表明这一暖湿时期具有广泛的气候意义.

致谢: 本文得到中国科学院南京地理与湖泊研究所沈吉研究员和刘兴起副研究员的指点, 中国地震局地质研究所严富华研究员和南京古生物研究所黄宝仁研究员分别协助完成孢粉、介形类的分析鉴定工作; 台湾大学的陈惠芬博士协助完成 XRD 矿物分析; 在此深表谢意!

#### 4 参考文献

- [1] 刘训, 傅德荣, 韦光明等. 从沉积特征研究格尔木-额济纳旗地学断面走廊域地体德构造演化史. 地球物理学报, 1995, 38(增刊): 114-129.
- [2] 张振克, 吴瑞金, 王苏民等. 2600 年来居延海环境演变的湖泊沉积记录. 湖泊科学, 1998, 10(2): 156-161.
- [3] 瞿文川, 吴瑞金, 王苏民等. 近 2600 年来内蒙古居延海湖泊沉积物的色素含量及环境意义. 沉积学报, 2000, 18(1): 13-17.
- [4] 李容全, 郑良美, 朱国荣. 内蒙古高原湖泊与环境变迁. 北京: 北京师范大学出版社. 1990.
- [5] 陈发虎, 吴薇, 朱艳等. 阿拉善高原中全新世干旱事件的湖泊记录研究, 科学通报, 2004, 49(1): 1-9.
- [6] 陈发虎, 朱艳, 李吉均等. 民勤盆地湖泊沉积记录的全新世千百年尺度夏季风快速变化. 科学通报, 2001, 46(17): 1414-1419.
- [7] 贾铁飞, 何雨. 全新世内蒙古自然环境演变及其特点, 干旱区地理, 1996, 19(4): 19-25.
- [8] 朱震达等. 内蒙西部古居延-黑城地区历史时期环境的变化与沙漠化过程, 中国沙漠, 1983, 2: (3).

- [9] 景 爱. 古居延绿洲的消失与荒漠化——从考古和卫星遥感观察. 中国历史文物, 2003, **2**: 43 - 49.
- [10] 迟振卿, 姚培毅, 王 永, 闵隆瑞, 刘 训, 王大宁, 嘎顺淖尔盆地新近纪以来孢粉组合与古环境特征. 宁夏工程技术, 2004, **3**(3): 203 - 206.
- [11] Singer A. The paleoclimatic interpretation of clay minerals in sediments - a review. *Earth Science Review*, 1984, **21**: 251 - 293.
- [12] 蓝先洪. 粘土矿物作为古气候指标矿物的探讨. 地质科技情报, 1990, **9**(4): 31 - 35.
- [13] 师育新, 戴雪荣, 李节通等. 末次间冰期兰州黄土记录中的粘土矿物及其环境意义探讨. 海洋地质与第四纪地质, 1997, **17**(1): 87 - 94.
- [14] 程 捷, 唐德翔, 张绪教等. 粘土矿物在黄河源区古气候研究中的应用. 现代地质, 2003, **17**(1): 47 - 51.
- [15] 陈渭南, 高尚玉, 孙 忠. 毛乌素沙地全新世地层化学元素特点及其古气候意义. 中国沙漠, 1994, **14**(1): 22 - 30.
- [16] 李后信, 李保生, 祝一志等. 150 kaBP 以来萨拉乌苏河流域主元素变动旋回. 地球化学, 2002, **31**(5): 424 - 432.
- [17] 关有志, 陈振英, 贾惠兰. 萨拉乌苏河地区第四纪地层中的元素分析与古气候. 中国沙漠, 1986, **6**(1): 32 - 35.
- [18] 李云卓, 李保生, 高全洲等. 丹吉林查格勒布剖面记录的 150 kaBP 以来的常量化学元素波动. 中国沙漠, 2005, **25**(1): 8 - 14.
- [19] 郭正堂, 吴海斌, 魏建昌等. 用古土壤有机质碳同位素探讨青藏高原东南缘的隆升幅度. 第四纪研究, 2001, **21**(5): 392 - 398.
- [20] 吕厚远, 王苏民, 吴乃琴等. 青藏高原错鄂湖 2.8 Ma 来的孢粉记录. 中国科学(D 辑), 2001, **31**(增刊): 234 - 240.
- [21] 潘保田, 郭光剑, 王义祥等. 祁连山东段沙沟河阶地的年代与成因. 科学通报, 2000, **45**(1): 2669 - 2675.
- [22] 吴海斌, 郭正堂, 方小敏等. 250 kaBP 前后中国北方干旱区的扩张及其原因. 科学通报, 2002, **47**(17): 1341 - 1346.
- [23] 薛 滨, 王苏民, 夏威夷等. 若尔盖 RM 孔提示的青藏高原 900 kaBP 以来的隆升与环境变化. 中国科学(D 辑), 1997, **27**(6): 543 - 547.
- [24] 郑文涛, 杨景春, 段锋军. 武威盆地晚更新世河流阶地变形与新构造活动. 地震地质, 2000, **22**(3): 318 - 328.
- [25] 姚檀栋, Thompson L G, 施雅风等. 古里雅冰芯中末次冰期以来气候变化记录研究. 中国科学(D 辑), 1997, **27**(5): 447 - 452.
- [26] 张虎才, 马玉贞, 彭金兰等. 距今 42 - 18 ka 腾格里沙漠古湖泊及古环境. 科学通报, 2002, **47**(24): 1847 - 1857.
- [27] 张虎才, Wünnemann B. 腾格里沙漠晚更新世以来湖相沉积年代学及高湖面期的初步确定. 兰州大学学报(自然科学版), 1997, **33**(2): 87 - 91.
- [28] 马保起, 李德文, 郭文生. 晚更新世晚期呼包盆地环境演化与地貌响应. 第四纪研究, 2004, **24**(6): 630 - 637.
- [29] 闵隆瑞, 迟振卿等. 河北阳原盆地西部第四纪地质. 北京: 地质出版社, 2003: 120.
- [30] 王苏民, 王富葆. 全新世气候变化的湖泊记录. 见: 施雅风主编. 中国全新世大暖期气候与环境. 北京: 海洋出版社, 1992: 146 - 152.
- [31] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民. 中国全新世大暖期鼎盛阶段的气候与环境. 中国科学(B 辑), 1993, **23**(8): 865 - 873.