

doi: 10.12029/gc20160325

江南,王永,闵隆瑞,等. 内蒙古中部全新统沉积特征与地层划分[J]. 2016, 43(3): 1033–1040.

Jiang Nan, Wang Yong, Min Longrui, et al. Sedimentary characteristics and division of Holocene strata in central Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 2016, 43(3): 1033–1040(in Chinese with English abstract).

## 内蒙古中部全新统沉积特征与地层划分

江南<sup>1</sup> 王永<sup>1</sup> 闵隆瑞<sup>1</sup> 杨劲松<sup>2</sup> 董进<sup>1</sup> 迟振卿<sup>1</sup> 姚培毅<sup>1</sup>

(1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037; 2. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 河北 石家庄 050061)

**摘要:** 文章对内蒙古中部辉腾锡勒湖相沉积剖面及好鲁库风成砂–古土壤剖面全新世地层的沉积特征及<sup>14</sup>C、OSL测年结果进行了综合论述, 根据岩性特征及测年结果确定了全新统的底界。对内蒙古中部全新统沉积序列进行了系统分析, 并将其划分为 3 段: 全新统下部(开始于 12.5~11.4 ka, 结束于 8.2~7.0 ka)辉腾锡勒为灰黑色黏土、粉砂质黏土, 沉积特征指示由冲积相转变为湖相沉积, 湖面开始上升; 好鲁库沙丘主要为中粗砂, 为风成砂堆积。全新统中部(开始于 8.2~7.0 ka, 结束于 4.5~2.3 ka)辉腾锡勒为灰褐色粉砂质黏土, 富含有机质及双壳和螺类化石, 为典型湖泊相发育阶段; 好鲁库沙丘发育黑色砂质古土壤, 气候温暖湿润。全新统上部(开始于 4.5~2.3 ka)辉腾锡勒为黏土质粉砂, 含植物碎屑, 为湖滨相沉积, 指示湖泊开始退缩; 好鲁库沙丘为灰黄色中粗砂, 沙丘重新活化, 气候干旱。

**关键词:** 内蒙古; 全新统; 沉积特征; 地层划分

中图分类号: P534.63<sup>+</sup>2; P535

文献标志码: A

文章编号: 1000–3657(2016)03–1033–08

## Sedimentary characteristics and division of Holocene strata in central Inner Mongolia

JIANG Nan<sup>1</sup>, WANG Yong<sup>1</sup>, MIN Long-rui<sup>1</sup>,  
YANG Jin-song<sup>2</sup>, DONG Jin<sup>1</sup>, CHI Zhen-qing<sup>1</sup>, YAO Pei-yi<sup>1</sup>

(1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*; 2. *Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Shijiazhuang 250013, Hebei, China*)

**Abstract:** The Holocene strata of central Inner Mongolia were investigated using sedimentological features and <sup>14</sup>C\OSL dating data. The authors present two Holocene profiles that illustrate different sediments from a sand dune in Haoluku, and a lake in Huitengxile. Holocene stratigraphic boundaries are defined by lithological indicators and dating results. The Holocene sequences can be divided into three units. In Huitengxile Lake, the beginning (11.4 ka) of the Holocene was associated with a lake level rise, which led to lithological succession from fluvial clastic sedimentation to lacustrine organic deposition. Sand dune was formed during this period (about 12.5 ka). During the middle Holocene, typical limnological facies (8.2 to 4.5 ka) appeared in Huitengxile Lake, and the

收稿日期: 2015–12–31; 改回日期: 2016–04–12

基金项目: 中国地质调查局项目(1212011120115, 12120113005600)资助。

作者简介: 江南, 女, 1989年生, 硕士生, 研究方向为第四纪地质与环境; E-mail: jiangn\_2014@163.com。

通讯作者: 王永, 男, 1968年生, 研究员, 主要从事第四纪地质与新构造研究; E-mail: wangyong@cags.ac.cn。

climate turned to be warmer and more humid with the occurrence of thick palaeosoil layers (7.0–2.3 ka) in the dune. Evolution of lacustrine environment followed by nearshore environment was evident from 4.5 ka in late Holocene in Huitengxile Lake, and the period (2.3 ka~) of sand dune reactivation during the drought stage was recorded.

**Key words:** Inner Mongolia; Holocene; sedimentary characteristics; division of strata

**About the first author:** JIANG Nan, female, born in 1989, majors in Quaternary geology and paleoenvironment;

E-mail: jiangn\_2014@163.com.

**Fund support:** Supported by China Geological Survey Program (No.1212011120115, 12120113005600).

新一代区域地质志编制项目中,部分省区第四纪地层划分有了很大的进展,特别是对全新世地层进行了系统的划分,为详细研究区域生态环境演变及气候环境变化提供了基础资料。内蒙古自治区中部位于现代季风气候的过渡地带,广泛发育全新世以来的冲洪积相、河湖相、风成相等沉积,其地层出露完整、沉积厚度较大,是研究全新世地层、沉积特征及古气候变迁的理想场所。目前,对内蒙古中部全新统的研究主要集中于利用各种气候替代性指标恢复过去气候环境变化<sup>[1-7]</sup>,而对于全新统沉积特征的系统研究甚少。基于全新世气候变化在全球变化研究中的作用和内蒙古地区的区域敏感性,同时由于陆相地层受水文、地貌等因素的控制,区域内相变较大、连续性差,对典型剖面的选择和进行地层划分对比研究增加了难度<sup>[8]</sup>。本文在总结前人工作的基础上,根据中国区域地质志项目第四纪专题近年来的研究成果,对内蒙古中部湖相沉积以及风成砂-古土壤沉积剖面岩性特征及测年结果分析,对内蒙古中部地区全新统沉积物的组成特征、形成时代进行了研究,并对全新世地层进行了初步划分。

## 1 研究区概况

内蒙古中部位于现代季风气候的过渡地带,区内全新统主要沉积类型有冲洪积相、河流相、湖相和风成砂-古土壤沉积。其中湖相沉积和风成砂沉积分布范围最广,出露良好,发育较完整,地层层序清晰。因此重点对辉腾锡勒湖相沉积和好鲁库风成砂-古土壤剖面进行了测量、采样和综合研究。

辉腾锡勒位于内蒙古中部乌兰察布市察哈尔右翼中旗和卓资县交界处,为新生代玄武岩喷发形成的台地,地理坐标为东经 112°33'~112°42',北纬

41°05'~41°12',是阴山山脉大青山的东部延伸,地势平坦,海拔约2000 m。由于受西伯利亚和蒙古高原冷空气的影响,多寒潮大风,冬季漫长而酷冷,夏季短促而凉爽。年平均气温为-1.3℃,最低气温-39.9℃,最高气温28.2℃;年平均降水量385 mm。由于地势高而平坦,且降水比较充沛,蒸发量小,台地上发育了众多封闭的小型湖泊,辉腾锡勒剖面为玄武岩台地上的一个湖泊沉积剖面<sup>[9,10]</sup>,位于察哈尔右翼中旗西南约10 km。

好鲁库位于内蒙古赤峰市克什克腾旗西北部,地处大兴安岭山脉与阴山山脉的交汇处,地理坐标为北纬42°54'~42°59',东经116°41'~116°52',平均海拔约1000 m。属中温带大陆性季风气候区,主要特点是:春季干旱低温;夏季短促;秋季多偏雨,常常伴有霜冻;冬季漫长,寒冷多雪。年平均气温2~4℃,年降水量250~500 mm。好鲁库风成砂剖面为

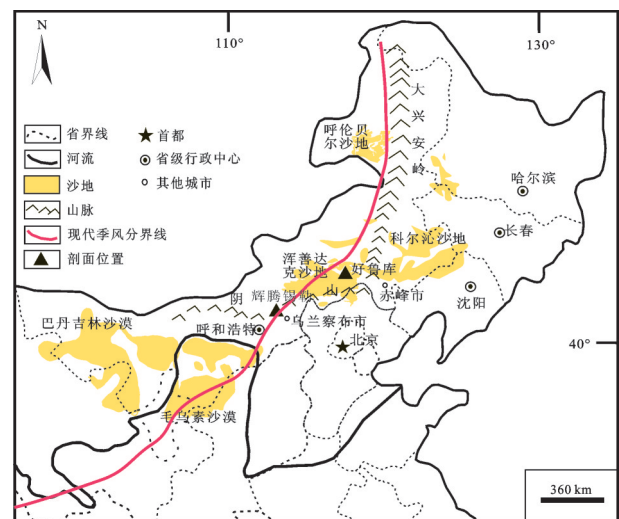


图1 研究区剖面位置图

Fig.1 Locations of the studied sections

浑善达克沙地东北侧的一个固定沙丘剖面,位于浩来呼热乡105省道南侧水泥厂旁。

## 2 全新世地层剖面

### 2.1 辉腾锡勒湖相沉积剖面

剖面(10ZQ)位于乌兰察布市察右中旗辉腾锡勒玄武岩台地之上,厚度为410 cm,以黏土为主,自上而下岩性描述如下:

1. 灰褐色粉砂质黏土,其中1~10 cm颜色稍浅,植物根茎发育。20 cm
2. 灰黑色黏土质粉砂,顶部颜色较浅。20~39 cm含少量螺类碎片。55 cm
3. 灰褐色粉砂质黏土,底部从95 cm开始有植物碎屑及少许贝壳碎片。23 cm
4. 灰褐色粉砂层,富含植物碎屑及双壳和螺类。5 cm
5. 灰褐色粉砂质黏土。111~141 cm含少量贝壳碎片。91 cm
6. 灰黑色黏土质粉砂。53 cm
7. 灰黑色黏土。38 cm
8. 灰黑色粉砂质黏土。40 cm
9. 灰黄色粉砂,底部含有细砂砾,可见绿色泥团。85 cm

—————不整合—————

下伏:上新世玄武岩。

### 2.2 好鲁库风成砂剖面

剖面(HLK)位于浑善达克沙地北缘,为一古沙丘,厚度为1200 cm(未见底),该剖面自上往下岩性特征如下:

1. 黄灰色中粗砂,底部夹有灰色中粗砂不规则条带,含植物根系。25 cm
2. 灰黄色、黄灰色中粗砂,近水平层理。775 cm
3. 黑色砂质古土壤层,较致密,无层理。250 cm
4. 灰褐色中砂与灰黄色细-中砂互层分布,可见粗砂,无层理。为古土壤向砂层的过渡层。40 cm
5. 灰黄色中-粗砂,发育高角度斜层理(119°∠29°)。110 cm

## 3 年代测定

辉腾锡勒湖相沉积剖面(10ZQ)共采集7个有机质样品,在北京大学加速器质谱实验室进行AMS<sup>14</sup>C年龄的测定,测年材料为沉积物中的有机质。将得到的年龄根据IntCal 13数据使用OxCal4.2校正程序转换为日历年龄(表1)。利用沉积速率进行线性内插/外推获得其他层位的日历年龄,由此建立了辉腾锡勒

表1 内蒙古辉腾锡勒剖面 AMS<sup>14</sup>C 测年结果  
Table 1 AMS<sup>14</sup>C dating results of sediments from Huitengxile profile

实验室编号	样品编号	深度 /cm	<sup>14</sup> C 年龄 /a BP	日历年龄 /cal a BP
BA101604	10ZQ-30	30	1505±25	1384
BA101605	10ZQ-70	70	4060±30	4541
BA101606	10ZQ-90	90	4885±30	5619
BA101615	10ZQ-260	260	8795±40	9819
BA101616	10ZQ-285	285	8980±40	10176
BA101617	10ZQ-320	320	9705±40	11155
BA101618	10ZQ-370	370	11125±50	13002

湖相沉积剖面的年代标尺(图2)。

好鲁库沙丘剖面的风成砂层及古土壤层共采取5个OSL样品,在南京大学释光实验室进行年代测定(如表2)。剖面底部11 m处OSL年龄为(12.5±0.5) ka。利用沉积速率进行线性内插/外推,建立了好鲁库风成砂-古土壤的年代标尺(图3)。

## 4 全新统划分及区域对比

### 4.1 全新统划分依据

国际上全新世底界是根据格陵兰冰芯多种环境指标及年纹层计数确定的<sup>[11]</sup>,而全新世内部地层划分主要以气候演变阶段为依据,可以概括为3个时期<sup>[12]</sup>,即升温期、高温期和中温期,相当于全新世早、中、晚期。国内关于全新世地层划分主要以气候演化阶段来进行,早期主要以7.5 ka BP和2.5 ka BP为界。近年来,国内主要采用施雅风等的观点,认为在8.5 ka BP和3.0 ka BP之后均有明显的气候变化,所以将8.5 ka BP和3.0 ka BP作为早中全新世和中晚全新世的界限<sup>[13]</sup>,相当于全新世大暖期(适宜期)的上下界限,本文即以此为依据。而国际上全新世也采取三分,主要依据气候事件进行划分,拟以8.2 ka和4.2 ka为界划分为早全新世、中全新世和晚全新世,但这一方案还没有最终确定<sup>[14]</sup>。

### 4.2 内蒙古中部全新统划分

根据岩性变化、地层层序等特征,结合<sup>14</sup>C、OSL测年等,将内蒙古中部全新统划分为3段。

全新统下段:辉腾锡勒剖面以325 cm为界,之下为灰黄色粉砂,含细小砂砾石,之上(325~194

表2 内蒙古好鲁库风成砂-古土壤剖面光释光测年年龄  
Table2 OSL ages of Eolian Sand- Paleosoil profile in Haoluku, Inner Mongolia

样品名称	深度/cm	岩性特征	含水量/%	U/10 <sup>-6</sup>	Th/10 <sup>-6</sup>	K/%	剂量率/(Gy/ka)	古剂量/Gy	年龄/ka
HLK-70	70	中粗砂	1.8	0.40±0.03	2.11±0.10	2.16±0.06	2.42±0.06	0.40±0.06	0.17±0.02
HLK-670	790	中粗砂	1.6	0.37±0.03	1.49±0.09	2.28±0.06	2.47±0.06	5.57±0.13	2.3±0.1
HLK-790	910	古土壤	2.2	0.66±0.04	2.12±0.10	2.01±0.06	2.29±0.06	12.01±0.30	5.2±0.2
HLK-890	1010	古土壤	2.7	0.60±0.04	2.34±0.11	2.00±0.06	2.26±0.06	14.70±0.27	6.5±0.2
HLK-980	1100	中粗砂	0.4	0.35±0.03	1.18±0.07	1.96±0.06	2.14±0.05	26.74±0.74	12.5±0.5

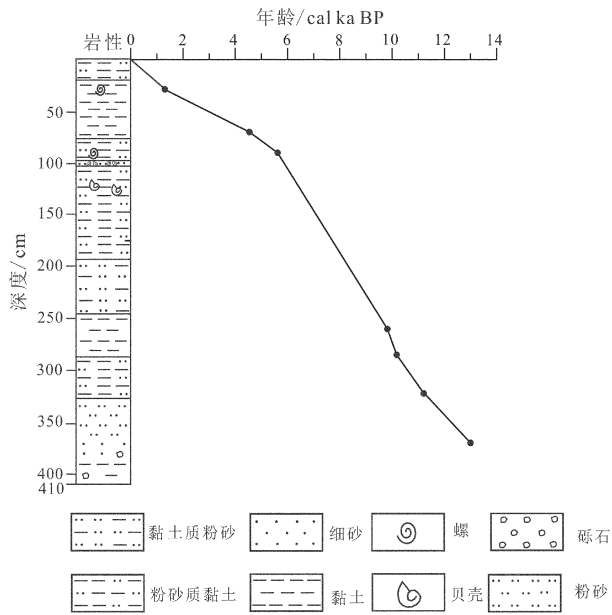


图2 内蒙古辉腾锡勒湖泊沉积年龄与深度的对应关系  
Fig. 2 Relationship between age and depth for lake sediments in Huitengxile profile, Inner Mongolia

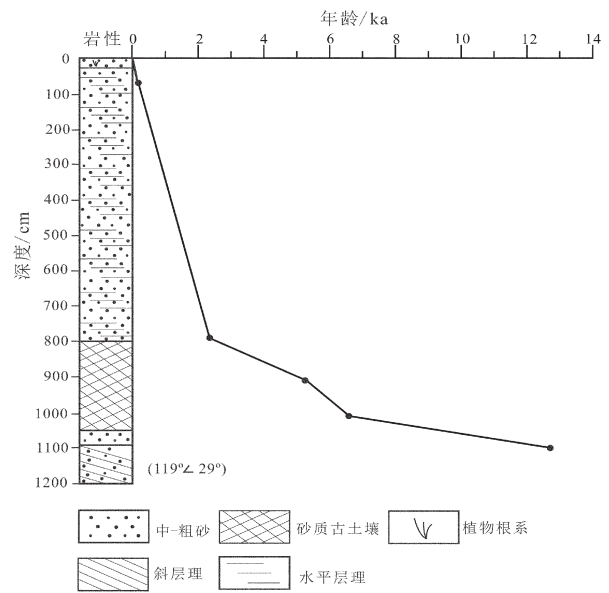


图3 内蒙古好鲁库风成砂-古土壤剖面年龄与深度的对应关系  
Fig. 3 Relationship between age and depth for Eolian sand-paleosoil profile in Haoluku, Inner Mongolia

cm)为灰黑色粉砂质黏土,沉积特征显示由冲积相逐渐转变为湖相沉积。考虑到剖面下部沉积连续无间断,根据平均沉积速率推断该界限年龄约为11.4 cal ka BP,可以作为全新世底界。好鲁库风成砂-古土壤剖面以1090 cm为界,之下为中-粗砂,发育高角度交错层理,为风成砂堆积,之上(1090~1050 cm)为中砂与细-中砂互层分布,无层理,为风沙向古土壤的过渡层。界限上下1010 cm与1100 cm处的年龄分别为(6.5±0.5)ka和(12.5±0.5)ka,由于风成砂堆积的不连续性,不宜直接用沉积速率计算界限年龄,结合沙丘沉积的特征,确定1090 cm为全新统底界,年龄小于12.5 ka。

全新统中段:辉腾锡勒剖面(325~194 cm)岩性

为灰褐色粉砂及粉砂质黏土层,富含有机质及双壳类和螺类,为典型的湖泊相沉积,起止年龄为8.2~4.5 cal ka。好鲁库风成砂-古土壤剖面(1050~800 cm)发育黑色砂质古土壤层,该段开始于约7.0 ka,结束于约2.3 ka。该段沉积特征反映气候温暖湿润,相当于全新世适宜期。

全新统上段:辉腾锡勒剖面(194 cm)为灰黑色黏土质粉砂、灰褐色粉砂质黏土,分选较差,零星可见到螺类碎片,沉积特征指示为湖滨沉积,湖面退缩。好鲁库风成砂-古土壤剖面(800 cm)为灰黄色、黄灰色中粗砂,发育近水平层理,与现代典型的风成砂沉积特征相似,表明沙丘重新活化,气候干旱。该段开始于4.5~2.3 ka,沉积特征总体反映该时

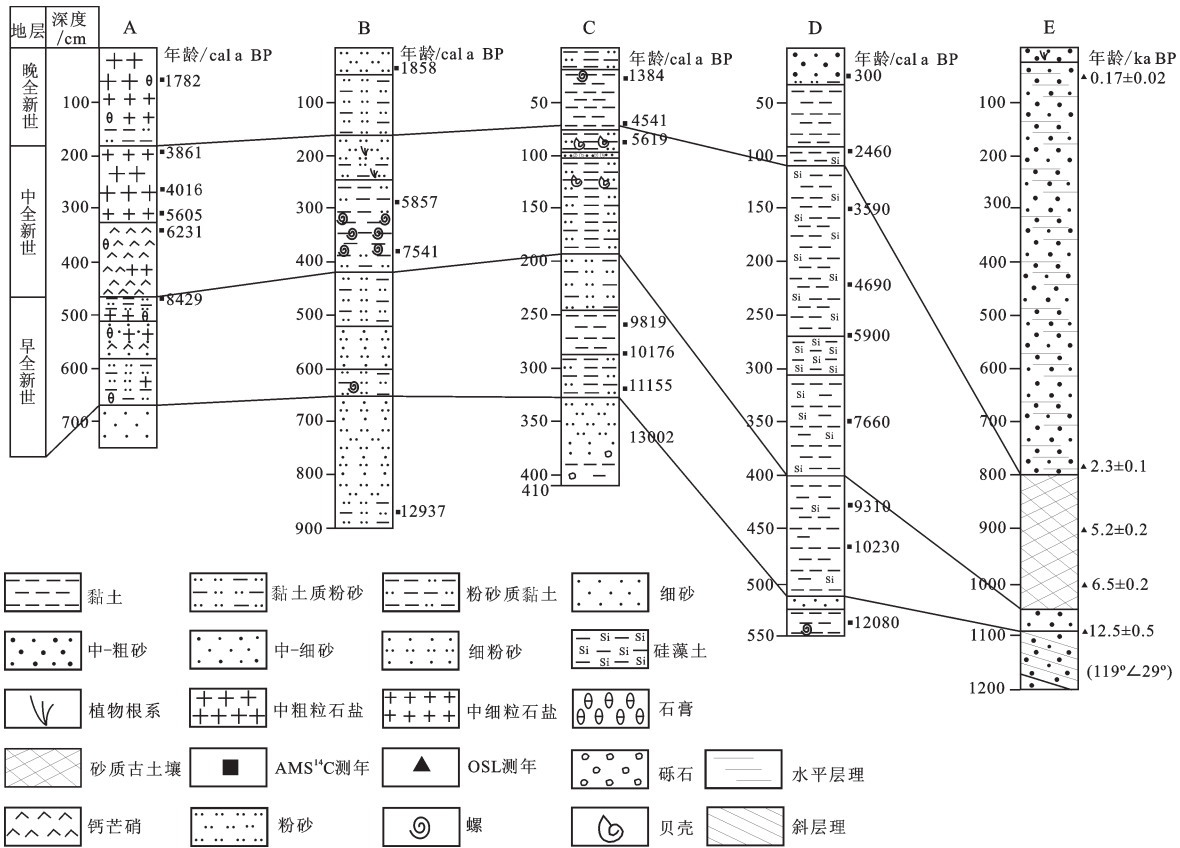


图4 内蒙古中部全新统沉积特征与区域对比

A—吉兰泰盐湖钻孔岩心<sup>[15]</sup>;B—黄旗海陈家村剖面<sup>●</sup>;C—辉腾锡勒湖泊剖面;D—浩来呼热剖面<sup>[5]</sup>;E—好鲁库风成砂—古土壤剖面

Fig.4 Holocene stratigraphic division and correlation in central Inner Mongolia

A—Core of Jilantai Salt Lake<sup>[15]</sup>; B—Chenjiacun profile in Huangqihai Lake<sup>●</sup>; C—Huitengxile profile; D—Haolaihu profile<sup>[5]</sup>; E—Eolian sand-paleosol profile in Haoluku

段气候趋于干旱化。

### 4.3 区域对比

内蒙古全新统沉积类型多样,由于不同沉积物的连续性、沉积速率等的差异,区域对比主要考虑沉积序列及其所反映的气候环境变化阶段性(图4)。

全新世早期,内蒙古西部吉兰泰盐湖(11.7~8.2 ka)沉积物中出现石膏、石盐等盐类矿物,湖水盐度增加,湖泊开始咸化<sup>[15]</sup>。同时期岱海<sup>[16,17]</sup>(11.0~7.9 ka)、黄旗海<sup>●</sup>(10.6~7.8 ka)、浩来呼热古湖<sup>[5]</sup>(11.5~8.6 ka)及达里湖<sup>[18,19]</sup>(11.5~7.6 cal ka)等湖泊的沉积记录均指示湖面逐渐升高,气候相对干燥,为全新世升温期。而巴丹吉林沙漠<sup>[20,21]</sup>、毛乌素沙漠<sup>[22-25]</sup>、浑善达克沙地<sup>[26,27]</sup>在全新世早期(11.7~7.5 ka)主要沉积厚层粗砂,局部地区开始发育古土壤,沙丘处

于活动状态,环境指标揭示出气候比较干燥。东部呼伦贝尔沙地砂质土壤层开始发育<sup>[28]</sup>,气候相对温凉,为半荒漠的自然景观<sup>[29]</sup>。全新统下段沉积序列的区域对比表明,内蒙古中东部湖泊沉积与风成砂主要是在全新世初期增温的背景条件下形成的,同时受区域性干旱气候影响。

全新世中期,吉兰泰盐湖达到硫酸盐沉积阶段<sup>[15]</sup>(8.2~3.7 ka),阿拉善高原居延泽和猪野泽在7.0~5.0 ka的中全新世出现湖滨相或冲积砂,指示存在大范围干旱时期<sup>[30]</sup>。而中东部的岱海在中全新世时气候总体温暖湿润<sup>[16,17]</sup>,气候条件相当适宜<sup>[31,32]</sup>;黄旗海<sup>●</sup>(7.8~3.9 ka)为典型的湖泊相沉积;浩来呼热该时段(8.6~2.9 ka)湖水比较适宜各种硅藻生存<sup>[5]</sup>;查干淖尔古湖也于6.83~4.26 ka发育高湖面,

●郝彩. 内蒙古察哈尔右翼前旗黄旗海1.4万年以来环境变迁研究[D].中国地质大学(北京),硕士学位论文.2015.

气候适宜<sup>[33]</sup>; 达里湖在全新世中期(7.60~3.45 cal ka)保持高湖水面, 气候暖湿但存在冷暖波动<sup>[18, 19]</sup>。巴丹吉林沙漠<sup>[20, 21]</sup>、毛乌素沙漠<sup>[22-25]</sup>、浑善达克沙地<sup>[26, 27]</sup>在全新世中期均发育厚层古土壤, 植被覆盖良好, 沙丘固定, 流沙南界向北退缩约 200 km<sup>[34]</sup>。呼伦贝尔沙地在全新世中期 9~4 ka 气候湿润, 主要发育砂质古土壤<sup>[28]</sup>、孢粉组合<sup>[29]</sup>及地球化学<sup>[35]</sup>等指标均反应该时期气候温暖湿润。沉积记录显示, 内蒙古中东部全新世中期存在适宜期, 而西部全新世中期的干旱化被认为是夏季风衰退季风降水减少引起的<sup>[30]</sup>。

全新世晚期, 吉兰泰盐湖(3.7 ka)进入氯化物沉积阶段<sup>[15]</sup>; 岱海<sup>[16, 17]</sup>(2.9 ka)、黄旗海<sup>①</sup>(3.9 ka)、查干淖尔古湖<sup>[33]</sup>(4.26 ka)、达里湖<sup>[18, 19]</sup>(3.45 cal ka)、浩来呼热古湖<sup>[5]</sup>(2.9 ka)均出现河流-沼泽相沉积, 湖泊开始退缩, 指示气候向干旱转化。巴丹吉林沙漠 2.5 ka 以来<sup>[20, 21]</sup>、毛乌素沙漠 2.9 ka 以来<sup>[22, 23]</sup>、浑善达克沙地 2.3 ka 以来<sup>[26, 27, 34]</sup>沉积厚层风成砂, 风沙活动强烈, 沙丘又重新活化, 气候总体上为干旱。呼伦贝尔沙地晚全新世 4 ka 以后风沙层开始增多, 气候趋于干旱<sup>[28, 29, 35]</sup>。全新世晚期湖泊沉积及风成砂沉积的各种指标均指示内蒙古中东部气候趋于干旱, 受相对统一的气候背景控制。

## 5 结 论

内蒙古自治区中部全新统分布较广泛, 沉积类型主要为湖积相以及风成砂-古土壤, 岩性和厚度变化较大, 发育较完整。全新统不同类型沉积的代表性剖面所揭示的气候环境演变过程及地层序列在区域上具有可比性, 全新世中部古土壤层和湖相标志层发育较好, 为区域地层划分和对比提供了依据。

根据岩性特征及 <sup>14</sup>C、OSL 测年等资料, 内蒙古中部全新统可以分为 3 段。下段: 开始时间为 12.5~11.4 ka, 结束时间为 8.2~7.0 ka, 开始发育湖泊沉积, 同时期的沙丘处于活动状态, 为风沙堆积期。该阶段沉积环境变化较频繁, 气候不稳定, 主体为升温期。中段: 以出现典型湖泊相/古土壤作为中全新世开始, 时间为 8.2~7.0 ka, 结束于 4.5~2.3 ka, 该时期全区气候相对暖湿, 湖泊持续扩大, 沙丘发育砂质古土壤, 相当于全新世适宜期。上段: 开始于 4.5~

2.3 ka, 该时期内蒙古中部气候偏干, 湖泊开始退缩, 沙丘重新活化, 以风成砂堆积为主。

**致谢:** 全国地质志编制项目负责人李廷栋院士、丁孝忠研究员、姚建新研究员对第四纪专题研究给予帮助和指导, 在此表示感谢!

## 参考文献(References):

- [1] Xiao J, Xu Q, Nakamura T, et al. Holocene vegetation variation in the Daihai Lake region of north-central China: a direct indication of the Asian monsoon climatic history[J]. *Quaternary Science Reviews*, 2004, 23(14-15): 1669-1679.
- [2] 王永, 姚培毅, 迟振卿, 等. 内蒙古黄旗海全新世中晚期环境演变的沉积记录[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2010, 29(2): 149-156. Wang Yong, Yao Peiyi, Chi Zhenqing, et al. Middle-Late Holocene environmental changes recorded by lacustrine sediments from Huangqihai Lake, Inner Mongolia[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2010, 29(2): 149-156 (in Chinese with English abstract).
- [3] Wen R, Xiao J, Chang Z, et al. Holocene climate changes in the mid-high-latitude-monsoon margin reflected by the pollen record from Hulun Lake, northeastern Inner Mongolia[J]. *Quaternary Research*, 2010, 73(2): 293-303.
- [4] 王君兰, 李晖, 邓伟, 等. 内蒙古嘎顺诺尔湖泊沉积物磁化率与粒度的古环境意义[J]. *中国沙漠*, 2012, 32(03): 661-668. Wang Junlan, Li Hui, Deng Wei, et al. Paleoenvironmental significance of magnetic susceptibility and grain size of lake sediments from Gaxun Nur, Inner Mongolia, China[J]. *Journal of Desert Research*, 2012, 32(03): 661-668 (in Chinese with English abstract).
- [5] 关友义, 王永, 姚培毅, 等. 内蒙古克什克腾旗浩来呼热古湖泊全新世以来的环境演变[J]. *地质通报*, 2010, 29(6): 891-900. Guan Youyi, Wang Yong, Yao Peiyi, et al. Environmental evolution since the Holocene in the Haolaihu ancient lake, Keshiketengqi, Inner Mongolia, China[J]. *Geological Bulletin of China*, 2010, 29(6): 891-900 (in Chinese with English abstract).
- [6] 申洪源, 贾玉连, 李徐生, 等. 内蒙古黄旗海不同粒级湖泊沉积物 Rb、Sr 组成与环境变化[J]. *地理学报*, 2006, 61(11): 1208-1217. Shen Hongyuan, Jia Yulian, Li Xusheng, et al. Environmental change inferred from distribution of Rb and Sr in different grain size fractions from lacustrine sediments in Huangqihai Lake, Inner Mongolia[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(11): 1208-1217 (in Chinese with English abstract).
- [7] Wang W, Feng Z. Holocene moisture evolution across the Mongolian Plateau and its surrounding areas: A synthesis of climatic records[J]. *Earth-Science Reviews*, 2013, 122: 38-57.
- [8] 姚建新, 李亚, 侯鸿飞, 等. 中国地层学研究近期面临的主要问题

① 郝彩. 内蒙古察哈尔右翼前旗黄旗海 1.4 万年以来环境变迁研究[D]. 中国地质大学(北京), 2015, 硕士学位论文.

- 题[J]. 地球学报, 2015, 36(5): 515–522.
- Yao Jianxin, Li Ya, Hou Hongfei, et al. Some problems in recent stratigraphic researches of China[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2015, 36(5): 515–522(in Chinese with English abstract).
- [9] 邢连连, 杨贵生. 内蒙古辉腾锡勒地区鸟类研究[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2003, 34(6): 663–667.
- Xing Lianlian, Yang Guisheng. Studies of the birds in Huitengxile district, Inner Mongolia[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Nei Mongol*, 2003, 34(6): 663–667(in Chinese with English abstract).
- [10] 马保连, 燕红, 朱宗元, 等. 内蒙古辉腾锡勒自然保护区植物资源[J]. 内蒙古环境保护, 2006, 18(2): 52–54.
- Ma Baolian, Yan Hong, Zhu Zongyuan, et al. The plant resources of Huitengxile nature reserve of Inner Mongolia[J]. *Inner Mongolia Environmental Protection*, 2006, 18(2): 52–54(in Chinese with English abstract).
- [11] Walker M, Johnsen S, Rasmussen SO, et al. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records[J]. *Journal of Quaternary Science*, 2009, 24(1): 3–17.
- [12] 刘嘉麒, 倪云燕, 储国强. 第四纪的主要气候事件[J]. 第四纪研究, 2001, 21(03): 239–248.
- Liu Jiaqi, Ni Yunyan, Chu Guoqiang. Main Palaeoclimatic events in the Quaternary[J]. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(03): 239–248 (in Chinese with English abstract).
- [13] 施雅风, 孔昭宸, 王苏民, 等. 中国全新世大暖期的气候波动与重要事件[J]. 中国科学(B辑), 1992, (12): 1300–1308.
- Shi Yafeng, Kong Zhaochen, Wang Sumin, et al. The fluctuations and important events of Holocene Megathermal in China[J]. *Science in China(Series B)*1992, (12): 1300–1308 (in Chinese).
- [14] Walker M J C, Berkelhammer M, Björck S, et al. Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of Intimate (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommission on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy)[J]. *Journal of Quaternary Science*, 2012, 27(7): 649–659.
- [15] 于志同, 刘兴起, 王永, 等. 13.8 ka 以来内蒙古吉兰泰盐湖的演化过程[J]. 湖泊科学, 2012, 24(04): 629–636.
- Yu Zhitong, Liu Xingqi, Wang Yong, et al. Evolution of Jilantai Salt Lake, Inner Mongolia in the last 13.8 ka[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2012, 24(04): 629–636 (in Chinese with English abstract).
- [16] 许清海, 肖举乐, 中村俊夫, 等. 全新世以来岱海盆地植被演替和气候变化的孢粉学证据[J]. 冰川冻土, 2004, 26(01): 73–80.
- Xu Qinghai, Xiao Jule, Toshio Nakamura, et al. Pollen evidence of vegetation and climate changes in Daihai Lake area during the Holocene[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(01): 73–80 (in Chinese with English abstract).
- [17] 许清海, 肖举乐, 中村俊夫, 等. 孢粉资料定量重建全新世以来岱海盆地的古气候[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2003, 23(04): 99–108.
- Xu Qinghai, Xiao Jule, Toshio Nakamura, et al. Quantitative reconstructed climatic changes of Daihai Basin by pollen data[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2003, 23(04): 99–108(in Chinese with English abstract).
- [18] Xiao J, Si B, Zhai D, et al. Hydrology of Dali Lake in central-eastern Inner Mongolia and Holocene East Asian monsoon variability[J]. *Journal of Paleolimnology*, 2008, 40(1): 519–528.
- [19] Wang H, Liu H, Cui H, et al. Terminal Pleistocene/Holocene palaeoenvironmental changes revealed by mineral-magnetism measurements of lake sediments for Dali Nor area, southeastern Inner Mongolia Plateau, China[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001, 170(1/2): 115–132.
- [20] 董光荣, 高全洲, 邹学勇, 等. 晚更新世以来巴丹吉林沙漠南缘气候变化[J]. 科学通报, 1995, 40(13): 1214–1218.
- Dong Guangrong, Gao Quanzhou, Zhou Xueyong, et al. Climate changes of southern fringe of Badain Japan Desert since late Pleistocene[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1995, 40(13): 1214–1218 (in Chinese).
- [21] 高全洲, 董光荣, 李保生, 等. 晚更新世以来巴丹吉林南缘地区沙漠演化[J]. 中国沙漠, 1995, 15(04): 345–352.
- Gao Quanzhou, Dong Guangrong, Li Baosheng, et al. Evolution of southern fringe of Badain Japan Desert since late Pleistocene[J]. *Journal of Desert Research*, 1995, 15(04): 345–352 (in Chinese with English abstract).
- [22] 马冀, 岳乐平, 杨利荣, 等. 毛乌素沙漠东南缘全新世剖面光释光年代及古气候意义[J]. 第四纪研究, 2011, 31(1): 120–129.
- Ma Ji, Yue Leping, Yang Lirong, et al. OSL dating of Holocene sequence and Palaeoclimate change record in southeastern margin of Mu Us Desert, North China[J]. *Quaternary Sciences*, 2011, 31(1): 120–129 (in Chinese with English abstract).
- [23] 鲁瑞洁, 王亚军, 张登山. 毛乌素沙地 15ka 以来气候变化及沙漠演化研究[J]. 中国沙漠, 2010, 30(02): 273–277.
- Lu Ruijie, Wang Yajun, Zhang Dengshan. et al. Climate changes and desert evolution of Mu Us Desert since 15 ka BP[J]. *Journal of Desert Research*, 2010, 30(02): 273–277 (in Chinese with English abstract).
- [24] 曹红霞, 张云翔, 岳乐平, 等. 毛乌素沙地全新世地层粒度组成特征及古气候意义[J]. 沉积学报, 2003, 21(03): 482–486.
- Cao Hongxia, Zhang Yunxiang, Le Yueping, et al. Characteristics of grain size composition Holocene deposits and its Paleoclimatic significance in Mu Us Sandy Land[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(03): 482–486 (in Chinese with English abstract).
- [25] 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[J]. 中国沙漠, 1994, 14(01): 22–30.
- Chen Weinan, Gao Shangyu, Sun Zhong. On the Holocene geochemical landscape characteristics and its Paleoclimatic

- meaning, Mu Us Sand Sea[J]. *Journal of Desert Research*, 1994, 14(01): 22–30 (in Chinese with English abstract).
- [26] 周亚利, 鹿化煜, Mason J A, 等. 浑善达克沙地的光释光年代序列与全新世气候变化[J]. *中国科学(D辑:地球科学)*, 2008, 38(04): 452–462.
- Zhou Yali, Lu Huayu, Mason J A, et al. OSL sequence and Holocene climate change in Hunshandak Desert [J]. *Science in China(Series D:Earth Sciences)*, 2008, 38(04): 452–462 (in Chinese).
- [27] 李明启, 靳鹤龄, 张洪, 等. 浑善达克沙地磁化率和有机质揭示的全新世气候变化[J]. *沉积学报*, 2005, 23(04): 683–689.
- Li Mingqi, Jin Heling, Zhang Hong, et al. Climate change revealed by magnetic susceptibility and organic matter during the Holocene in Hunshandak Desert[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(04): 683–689(in Chinese with English abstract).
- [28] 曾琳, 鹿化煜, 弋双文, 等. 末次盛冰期和全新世大暖期呼伦贝尔沙地的环境变化[J]. *第四纪研究*, 2013, 33(02): 243–251.
- Zeng Lin, Lu Huayu, Ge Shuangwen, et al. Environmental changes of Hulun Buir Dunefield in northeastern China during the Last Glacial Maximum and Holocene Optimum[J]. *Quaternary Sciences*, 2013, 33(02): 243–251 (in Chinese with English abstract).
- [29] 汪佩芳. 全新世呼伦贝尔沙地环境演变的初步研究[J]. *中国沙漠*, 1992, 12(04): 16–22.
- Wang Peifang. Preliminary study on the environmental changes of Hulun Buir sandy since the Holocene[J]. *Journal of Desert Research*, 1992, 12(04): 16–22 (in Chinese with English abstract).
- [30] 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[J]. *科学通报*, 2004, 49(1): 1–9.
- Chen Fahu, Wu Wei, Zhu Yan, et al. A mid-Holocene drought interval as evidenced by lake desiccation in the Alashan Plateau, Inner Mongolia[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(1): 1–9(in Chinese).
- [31] 孙千里, 周杰, 沈吉, 等. 北方环境敏感带岱海湖泊沉积所记录的全新世中期环境特征[J]. *中国科学:D辑*, 2006, 36(9): 838–849.
- Sun Qianli, Zhou Jie, Shen Ji, et al. Characteristics of the Holocene Optimum in the environment sensitive zone in North of China recorded by core sediments of Daihai Lake, North China[J]. *Science in China(Series D:Earth Sciences)*, 2006, 36(9): 838–849 (in Chinese).
- [32] 孙千里, 肖举乐. 岱海沉积记录的季风/干旱过渡区全新世适宜期特征[J]. *第四纪研究*, 2006, 26(05): 781–790.
- Sun Qianli, Xiao Jule. Characteristics of the Holocene Optimum in the monsoon arid transition belt recorded by core sediments of Daihai Lake, North China[J]. *Quaternary Sciences*, 2006, 26(05): 781–790 (in Chinese with English abstract).
- [33] 刘美萍, 哈斯. 中全新世以来查干淖尔古湖面波动[J]. *中国沙漠*, 2015, 35(02): 306–312.
- Liu Meiping, Ha Si. Mid Holocene Paleolake fluctuation of the Qehan Lake, Inner Mongolia, China[J]. *Journal of Desert Research*, 2015, 35(02): 306–312(in Chinese with English abstract).
- [34] 徐志伟, 鹿化煜, 弋双文, 等. 末次盛冰期和全新世大暖期毛乌素沙地的空间变化[J]. *第四纪研究*, 2013, 33(2): 218–227.
- Xu Zhiwei, Lu Huayu, Ge Shuangwen, et al. Spatial variations of the Mu Us Dune Field (North Central China) during the Last Glacial Maximum and Holocene Optimum[J]. *Quaternary Sciences*, 2013, 33(2): 218–227 (in Chinese with English abstract).
- [35] 刘瑾, 王永, 姚培毅, 等. 末次冰消期以来内蒙古东部气候变化——基于风成砂-古土壤序列的地球化学记录[J]. *中国地质*, 2015, 42(4): 1103–1114.
- Liu Jin, Wang Yong, Yao Peiyi, et al. A study of paleoclimate changes in east Inner Mongolia since the Last Deglaciation on the basis of aeolian sand paleosol series geochemical records[J]. *Geology in China*, 2015, 42(4): 1103–1114(in Chinese with English abstract).