

doi: 10.12029/gc20210415

赵勇, 杨誉博, 李瑞杰, 杨吉龙, 王强, 李亚林, 王纯君, 魏波, 方同明, 王志辉. 2021. 永定河中下游 MIS7 以来地层沉积演化及新石器时代以来气候变化[J]. 中国地质, 48(4): 1188–1199.

Zhao Yong, Yang Yubo, Li Ruijie, Yang Jilong, Wang Qiang, Li Yalin, Wang Chunjun, Wei Bo, Fang Tongming, Wang Zhihui. 2021. Stratigraphic sedimentary evolution of the middle and lower region of the Yongding Rive since MIS7 and its climate evolution since the Neolithic[J]. *Geology in China*, 48(4): 1188–1199(in Chinese with English abstract).

## 永定河中下游 MIS7 以来地层沉积演化 及新石器时代以来气候变化

赵勇<sup>1</sup>, 杨誉博<sup>1</sup>, 李瑞杰<sup>1</sup>, 杨吉龙<sup>2,3</sup>, 王强<sup>2,3</sup>, 李亚林<sup>4</sup>, 王纯君<sup>1</sup>,  
魏波<sup>1</sup>, 方同明<sup>1</sup>, 王志辉<sup>5</sup>

(1. 北京市地质调查研究院, 北京 100195; 2. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 3. 中国地质调查局泥质海岸带地质环境重点实验室, 天津 300170; 4. 中国地质大学(北京), 生物地质与环境地质国家重点实验室, 北京 100083; 5. 中国地质科学院, 北京 100037)

**摘要:** 利用廊坊东 A27 钻孔岩心资料, 样品微体生物、孢粉特征综合分析, 结合 AMS<sup>14</sup>C 测年, 对永定河中下游地区 MIS7 以来的地层进行分析, 建立了 MIS7 以来的沉积地层格架, 并对其进行了年代厘定, 讨论了该地区大约 MIS7 阶段以来氧同位素分期气候下的地层及环境效应。结果表明, 永定河中下游地区晚第四纪可划分为 U1 ~ U8 共 8 个沉积单元, 分别对应于 MIS1 ~ MIS7 以及 MIS8 晚期的沉积地层, 与海洋氧同位素分期有很好的对应关系。U1 单元为 MIS1 形成的湖沼—河谷—泛滥平原沉积, U2 单元为 MIS2 形成硬质黏土(第 1 硬土层)—下切河谷—湖沼沉积, U3 单元为 MIS3 形成的湖沼—河谷—泛滥平原沉积, U4 单元为 MIS4 形成的河间地块沉积(第 2 硬土层, 暴露失水沉积), U5 单元为 MIS5 形成的湖沼夹分支河道沉积, U6 单元为 MIS6 形成的下切河谷夹短暂湖沼沉积, U7 单元为 MIS7 形成的以湖沼为主沉积, U8 单元为 MIS8 晚期形成的泛滥平原沉积, 重塑了 MIS7 以来沉积环境模式, 建立了本区晚第四纪精细年代地层框架。笔者认为永定河中下游在新石器时期以河湖共存为主, 在其晚期为湖沼发育达到顶峰, 出现泥炭层, 直至商周时期后在气候变化影响下湖沼消退转变为泛滥平原面貌, 为区域古地理环境及生态修复提供重要参考依据。

**关键词:** 古地理环境; 新石器时代; 晚第四纪; MIS7 以来; 地层划分; 永定河中下游; 地质调查工程; 京津冀地区  
**中图分类号:** P534.63; P512.2; X141 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2021)04-1188-12

### Stratigraphic sedimentary evolution of the middle and lower region of the Yongding Rive since MIS7 and its climate evolution since the Neolithic

ZHAO Yong<sup>1</sup>, YANG Yubo<sup>1</sup>, LI Ruijie<sup>1</sup>, YANG Jilong<sup>2,3</sup>, WANG Qiang<sup>2,3</sup>, LI Yalin<sup>4</sup>,  
WANG Chunjun<sup>1</sup>, WEI Bo<sup>1</sup>, FANG Tongming<sup>1</sup>, WANG Zhihui<sup>5</sup>

收稿日期: 2020-06-04; 改回日期: 2020-06-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(41972196)、中国地质调查局项目(12120114007701)及北京市地质矿产勘查开发局项目(PXM2019\_158203\_000005)联合资助。

作者简介: 赵勇, 男, 1983 生, 高级工程师, 主要从事区域地质与第四纪地质研究工作; E-mail: zhaoyong3068@163.com。

(1. Beijing Geological Survey Institute, Beijing 100195, China; 2. Tianjin Center, China Geological Survey Bureau, Tianjin 300170, China; 3. Key Laboratory of Muddy Coast Geo-Environment, China Geological Survey (CGS), Tianjin 300170, China; 4. State Key Laboratory of Biogeology and Environmental Geology, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 5. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China)

**Abstract:** Based on the core datas of A27 borehole and the characteristics of micropaleontology and sporopollen in the east of Langfang, combined with the AMS14C datas, analyzed the stratum, established the stratigraphic framework, since the MIS7, in the middle and lower region of the Yongding River. In addition, the stratigraphic and environmental effects under the oxygen isotope staging climate are discussed. The results show that stratigraphy can be divided into 8 sedimentary units (U1 ~ U8), respectively, and have a good correspondence with the marine isotope stage, which correspond to the MIS1 ~ MIS7 and late MIS8, in the Late Quaternary of the middle and lower region of the Yongding River. U1 unit is the lacustrine-valley-floodplain sediment formed during MIS1, U2 unit is the hard clay (the first hard clay) -incised valley-lacustrine sediment formed during MIS2, U3 unit is the lacustrine-valley-floodplain sediment formed during MIS3, U4 unit is massife sediment formed during MIS4 (including the second hard clay, exposed dewatered sediment), U5 unit is lacustrine and branch channel sediment formed during MIS5, U6 unit is incised valley during MIS6 with ephemeral Lake and marsh deposit, U7 unit is a lake-marsh deposit formed by MIS7, U8 is floodplain sediment formed during the late MIS8. It reshaped the sedimentary environment model since MIS7 and defined the geologic time scale in the late Quaternary. It is believed that rivers and lakes are coexisted in the Neolithic period, the lake reached its peak, and peat layer appears in its late era, in the middle and lower reaches of the Yongding River. Until the Shang-Zhou dynasties, the limnetic facies fade away and transform into flood plain facies under the influence of climate change. It can provide an important reference for regional palaeogeographic environment and ecological restoration.

**Key words:** paleogeographic environment; neolithic age; Late Quaternary; since MIS7; stratigraphic division; middle and lower region of Yongding river; geological survey engineering; Beijing-Tianjin-Hebei area

**About the first author:** ZHAO Yong, male, born in 1983, senior engineer, engages mainly in the study of regional geology and quaternary geology; E-mail: zhaoyong3068@163.com.

**Fund support:** Supported by National Science Foundation of China (No.41972196), China Geological Survey Project (No.12120114007701) and Beijing Geological Prospecting and Developing Bureau Project (No.PXM2019\_158203\_000005).

## 1 引言

永定河中下游在区域地理位置上处于东部沿海平原与陆相冲积平原过渡地带,所处位置具有充足的沉积可容空间,其第四纪沉积受海洋和陆地双重作用的影响。晚第四纪以来,全球气候冷暖变化,导致海平面的升降,造成河流等水体的进退改变,沉积物的输运过程、供给不断发生变化,地层发育特征及古气候复杂多变。中国东部沿海平原沉积环境演化主要受控于全球性海平面升降旋回(王靖泰等,1980;秦蕴珊等,1987;王强等,1999,2004,2009),其中第四纪海侵与气候(汪品先等,1981;杨怀仁等,1987,1988;李从先,1998;Cao et al.,2013;Ge et al.,2014)是重大的地学问题之一,地层连接性研究及海洋氧同位素分期在逐步深化和提升(Martinson et al.,1987;Liu et al.,2000;袁宝印等,

2002;王强等,2008;Liu et al.,2010;杨献忠等,2010)。

在永定河中下游地区由于受工作条件和技术方法的限制,加之以往研究的钻孔数量较少,对第四纪地层划分方面存在争议较大(张利利,2012;刘丹,2012;蔡向民等,2016;何静等,2019),另一方面海洋氧同位素分期地层划分在平原地区应用甚少,对其沉积地层演化、古气候环境研究较薄弱,且比较可靠的年代标尺的使用,目前仅限于晚第四纪以来渤海湾西岸—苏北废黄河口以北的滨海平原(王强,1982,1999;王强等,1983,2009;高秀林,1986;杨怀仁等,1988),并在永定河下游天津市域西北境内钻孔地层,以及廊坊南部地区钻孔地层中,已经发现河海交互沉积的状况(王强,1982;章红晖,1985)。因此,在永定河中下游地区需要开展进一步探索研究,追溯泛滥平原河流沉积与滨海平原海

洋氧同位素分期气候之间的关系,也是破解该流域地层沉积与环境变迁问题的关键所在。

本文利用北京1:50000安次县等3幅区调项目所获取的A27钻孔,在对岩心进行岩性地层、年代地层、微体生物、孢粉组合的综合研究基础上,引入了海洋氧同位素分期划分地层的手段,重点探讨了MIS7(约240 ka)以来地层沉积演化及其新石器时代以来气候环境的变迁,为探讨区域第四纪地层划分、推动海陆交汇的平原地区与沿海平原地层对比提供新的思路,为区域古地理环境及生态建设和修复提供重要参考依据。

## 2 钻孔概况

研究钻孔A27位于廊坊市城区东部西管地村北约300 m,地理坐标39.54°N, 116.75°E,孔口标高12.11 m,孔深80 m,钻具取心直径为110 mm,全孔取心率达90%以上,地理沉积位置隶属于永定河中下游沉积地区(图1)。

## 3 材料与方法

### 3.1 岩心与样品

A27钻孔为区调项目全取心标准孔,野外将岩心沿纵向剖开,一半用于保留,另一半用于岩性描述、分层、照相,同时采取<sup>14</sup>C、微体古生物、孢粉等测试分析样品。

### 3.2 实验测试

微体古生物、孢粉测试与鉴定的目的是分析判断古环境,并结合地层特征、浅部测年数据,辅助确定沉积环境背景,进行地层划分。微体古生物样品采集约60 g,以期获得较多的鉴定标本,样品分析处理和鉴定按照《海洋调查规范—海洋地质地球物理调查(GB/T12763.8-2007)》的要求进行,干样置于清水内以双氧水分解后,以240目分析筛淘洗,取筛上物置于蒸发皿内,烘干后放置显微镜下挑选标本;孢粉依据石油天然气行业标准分析方法

SY/T5245-91,取样50 g,经过泡酸、煮碱、氢氟

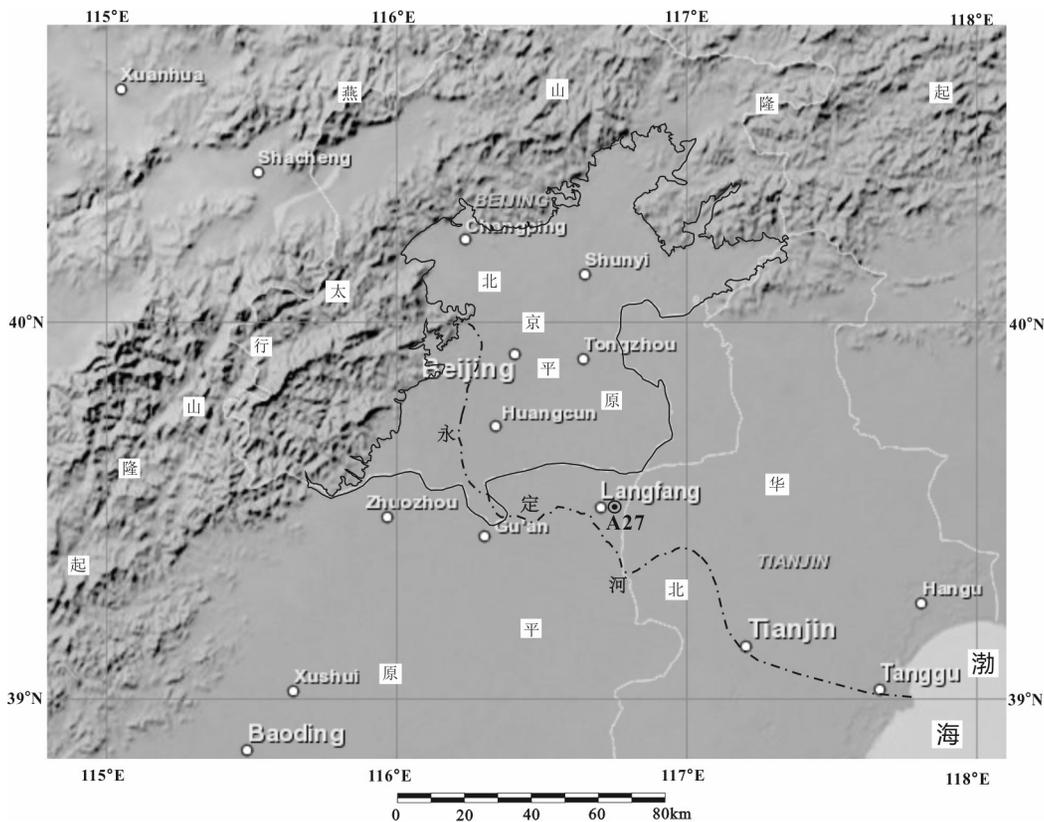


图1 区域地形地貌与钻孔A27位置图

Fig.1 Regional geomorphology and location of Borehole A27

酸处理后,用浓盐酸进行氧化,最后过筛集中孢粉并制片,鉴定依据石油天然气行业标准 SY/T5915-94 在显微镜下鉴定,最后用 Tilia 软件制作孢粉百分比图谱。AMS<sup>14</sup>C 测年由美国 Beba 实验室测试,采集含有机质的淤泥或沉积物 20~30 g,大块样品直接放入自封袋,避免造成污染,贴好标签并及时送至实验室测试,依据 AMS<sup>14</sup>C 年龄数据,可进行地层年代标定和判断。

## 4 结果与分析

### 4.1 AMS<sup>14</sup>C 测年

本次钻孔获取了 MIS3 以来地层 AMS<sup>14</sup>C 测年数据(表 1),为研究提供了必要年龄资料。

### 4.2 地层划分与沉积演化

以钻孔岩心材料为基础,结合年龄数据、微体古生物和孢粉样品鉴定结果,将该孔自上而下划分为 8 个(U1~U8)岩性组合单元,钻孔下部沉积物颜色以灰色、灰黑色为主,上部以黄褐色、棕红色为主,且识别出了 4 期显著的河谷充填沉积,总体沉积环境变化较大(图 2)。

U1 单元(0.00~12.10 m):0.00~1.50 m 为人工杂土堆积,1.50~4.25 m 为黄褐色粉砂质黏土,含有大量锈斑,底部 3.90~4.25 m 地层颜色稍变暗,显示含有机质物的出现。4.25~7.00 m 为灰黑色有机质黏土或淤泥,AMS<sup>14</sup>C 测年显示为(3860±30)a B.P. 以来沉积物,其下 7.00~11.80 m 为河谷充填沉积,11.80 m 处呈明显的冲刷面即为层序界面,推测砂层为受中全新世东亚季风较强时期持续大河流所在处。底部 11.80~12.10 m 为灰黑色有机质黏土或泥炭,该层上部 AMS<sup>14</sup>C 年龄为(7340±30)a B.P.,下部 12.20 m AMS<sup>14</sup>C 年龄为(12380±40)a B.P.,依据沉积速率推断 12.10 m 为全新世的底界位置所在,在该地区

全新世呈现出与下部地层连续的湖沼有机质沉积,可见在华北平原全新世早期海侵后,气候已逐步影响到内陆地带。U1 单元总体上中下部为湖沼相、河谷沉积为主,为河漫湖沉积体系,上部为泛滥平原沉积。

U2 单元(12.10~27.50 m):为一套氧化-还原变化层段,可分为 3 个亚沉积单元。

U2-1 亚单元(12.10~16.70 m):自下而上为灰黑色含有机质黏土沉积,13.75 m 样见有 2 瓣布氏土星介 *Ilyocypris bradyi* Sars,为末次盛冰期后气候转暖进入冰消期的显著体现,区域水文状况得到好转,显示湖沼相沉积。

U2-2 亚单元(16.70~23.45 m):为泛滥平原-河谷沉积,上部的砂层为末次盛冰期下切河谷沉积,之后逐渐积水,向上形成基底湖沼沉积或泥炭沉积。

U2-3 亚单元(23.45~27.50 m):以含典型铁锰质结核为主的一套黏土沉积,暴露在大气下遭受氧化而形成,依据年龄推测为 LGM 硬质黏土层位(李从先,1998;王强等,2009;杨献忠等,2010;李保华等,2010)。

U3 单元(27.50~47.60 m):自下而上依次是浅灰色、灰褐色黏土、粘质粉砂—贫营养湖、泛滥平原沉积,下伏棕红色黏土明显被侵蚀,反映了平原逐渐积水,向上转变为含有有机质的贫营养湖(积水洼地),再形成富营养湖环境的沉积层序。在 39.50~41.70 m 为灰黑色粉质黏土、黑色黏土,为富含有机质湖沼沉积,且在 39.70 m、41.60 m 样分别见有 4 瓣布氏土星介、3 瓣白小旋螺 *Gyraulus albus* (O.F. Muller), 40.50 m 样发现有 1 枚三室三缺虫 *Triloculina trigonula* (Lamarck), 40 倍双目立体显微镜下拍照见图 2。

由 41.70 m 处向上,有机质成分逐渐增多,沉积物颜色由黄褐色向灰色、深灰色转变,41.60 m 样孢粉和藻类不足 50 粒,为孢粉贫乏带,39.70 m、40.50 m 样孢粉组合中菊科 *Compositae* 和藜科 *Chenopodiaceae* 花粉植被多为在沿海滩涂湿地生长类型,水生草本植物香蒲属 *Typha*(7.3%)和蕨类孢子水龙骨科 *Polypodiaceae*(5.1%)有一定含量,说明约在 41.70 m 处地质环境可能变迁的转折点,结合微古鉴定,向上逐渐转变成滩涂湿地环境,气候较

表 1 A27 钻孔 AMS<sup>14</sup>C 测年数据

Table 1 AMS<sup>14</sup>C dating data from borehole A27

实验室编号	钻孔深度/m	测试材料	日历年龄/cal. a B.P.
Beta-428042	6.70	有机质黏土	3860±30
Beta-440049	11.85	有机质黏土	7340±30
Beta-440044	12.25	有机质黏土	12380±40
Beta-440042	14.60	有机质黏土	18870±60
Beta-428044	40.60	有机质黏土	29850±170

注:Beta 表示美国 Beta 实验室;<sup>14</sup>C 半衰期为 5568 a;计年由 1950 年起算。

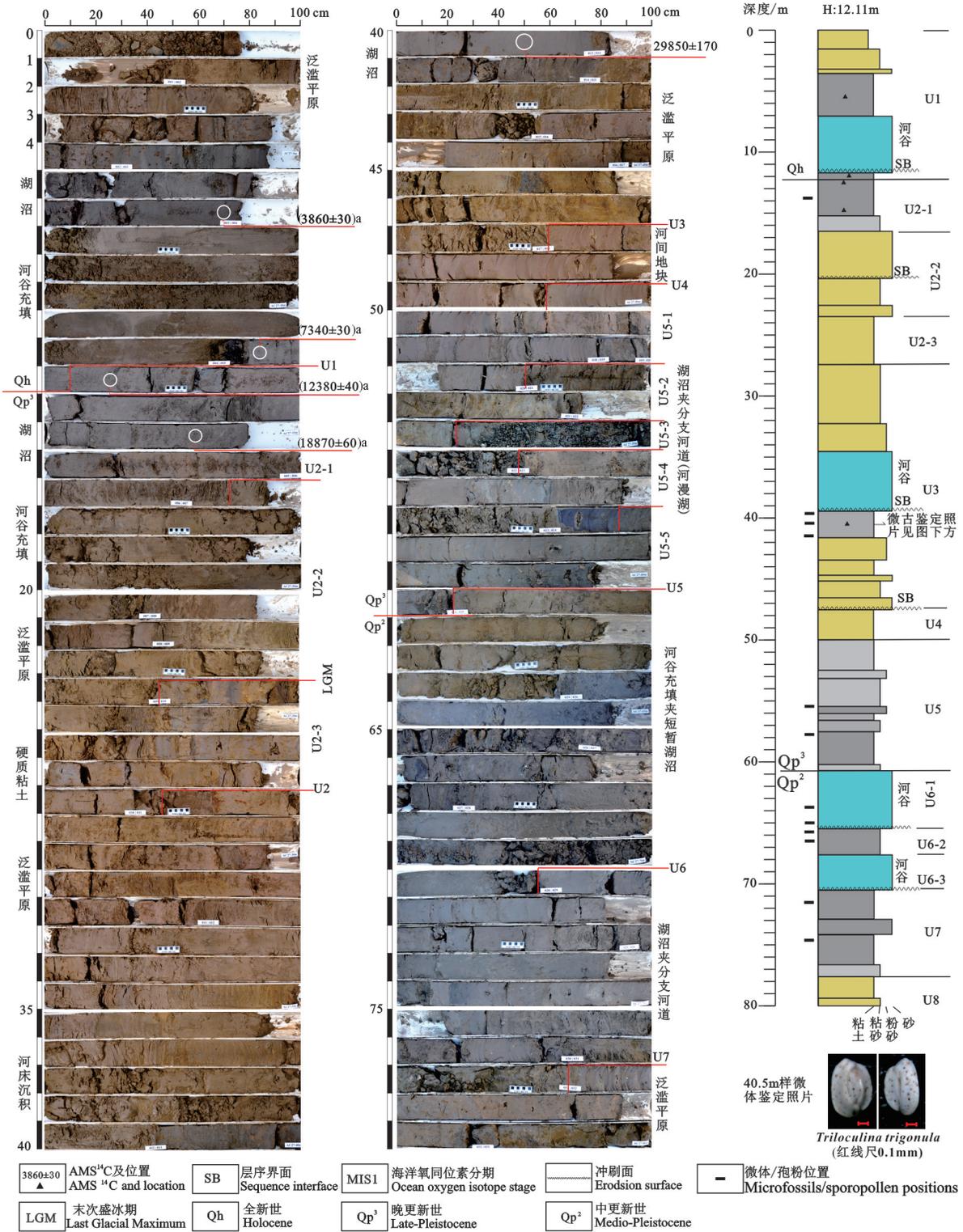


图2 A27孔岩心照片与柱状图(岩心缺失部位—工程勘察原状样品取样)  
Fig. 2 Core photos and column in borehole A27(The missing core—Sampling of undisturbed samples)

湿润偏湿环境。上部 27.50~39.50 m 为河谷、泛滥平原沉积体系,河流水体发育,39.50 m 处明显的不整合冲刷面接触为层序界面,其下滩涂—湖沼相灰黑色黏土顶部很可能存在被侵蚀的现象,在钻孔 40.50 m 有机质黏土层样品获(29850±170) a B.P. 测年数据。

U4 单元(47.55~49.60 m):棕红色、黄褐色黏土,下部可见 2~3 层薄层状黏质粉砂,厚度 2~4 cm,黏土沉积整体上呈显著氧化颜色,表现为缺乏有机质的河间地块沉积。

U5 单元(49.60~60.50 m):主体为湖沼夹分支河道沉积体系,可分为 5 个亚单元沉积。

U5-1 亚单元(49.60~52.50 m):灰色、灰黑色黏土,局部夹薄层黏质粉砂,层厚 2~4 cm,系河间洼地,由于暴露失水,从而顶部颜色发生淡化。

U5-2 亚单元(52.50~54.30 m):灰色、灰褐色黏质粉砂,发育显著的潜育化锈斑、铁锰结核和轻度的潜育化,底部见有钙质锥形,显示频繁的水位波动。

U5-3 亚单元(54.30~55.40 m):自下而上为灰黑色、浅灰棕色粉砂质黏土,含钙质结核,主体为湖沼相沉积。

U5-4 亚单元(55.40~57.80 m):自下而上为浅灰色黏质粉砂、发育水平纹层;上部中度潜育化呈灰褐色,局部呈黄褐色粉质黏土沉积,顶部约 10 cm 呈现棕褐色,底部 15~20 cm 呈现蓝灰色,发生强烈的潜育化。55.50 m 样见纯净小玻璃介 *Candoniella albicans* (Brady)、苏氏小玻璃介 *C. suzini* Schneider 以及小玻璃介未定种 *C. sp.*,属于近静水沉积。在 55.50 m、57.80 m 样所见孢粉和藻类不足 50 粒,为孢粉贫乏带,推测是沉积时期地质环境变迁导致植被不发育。

U5-5 亚单元(57.80~60.50 m):灰色、灰黑色黏土,富含有机质,系湖沼相沉积。

U6 单元(60.50~70.50 m):70.50 m 处存在显著的冲刷面,下伏黏土被侵蚀,为典型的层序界面,本段主体为一套河谷充填细粉砂沉积,局部夹有湖沼灰色粉砂质黏土层沉积(65.65~67.10 m),可见含钙质结核,在 65.90 m 黏土层草本植物花粉占绝对优势,平均含量为 94.12%,以蒿属 *Artemisia* (39.49%) 和藜科 *Chenopodiaceae* (35.23%) 花粉为主,其次为禾本科 *Gramineae* (8.52%)、毛茛科 *Ranunculaceae*

(5.97%) 花粉和莎草科 *Cyperaceae* (3.41%); 木本植物花粉稀少,平均含量为 8.57%,蕨类植物孢子稀少,反映气候较湿润。在 63.70 m、66.50 m 样极少见微体生物。该单元早期为河道沉积,中部气候短暂转暖,河道发生充填,为短暂的湖沼沉积,晚期再次发育河谷砂层堆积。

U7 单元(70.50~77.65 m):灰黑色、深灰色黏土,富含有机质,71.50 m、74.50 m 样分别见有 4 瓣白小旋螺 *Gyraulus albus* (O.F. Müller)、11 瓣布氏土星介 *Ilyocypris bradyi* Sars 系湖沼沉积。在 71.50 m、74.50 m 样草本植物花粉占绝对优势,平均含量为 97.35%,以蒿属 *Artemisia* (27.90%) 和藜科 *Chenopodiaceae* (29.25%) 花粉为主,其次为菊科(大网型) *Taraxacum type* (12.59%)、毛茛科 *Ranunculaceae* (10.54%)、禾本科 *Gramineae* (8.84%) 和莴苣属 *Lactuca* (4.42%); 木本植物、蕨类植物孢子稀少,显示该单元处于沿海滩涂环境,气候为较湿润状况。

U8 单元(77.65~80.00 m):自下而上依次见黄褐色、灰黄色粉质黏土夹小钙质结核,显示经历过水体浓缩,层中锈色发育,向上渐变为棕褐色黏土,见潜育化斑点和铁锰质结核发育,为泛滥平原沉积。

## 5 讨论

### 5.1 岩性单元时间序列

根据 A27 钻孔岩性变化及其沉积演化特征,参照区域上中国东部晚第四纪海侵研究及氧同位素分期气候下沉积地层特征(王强等,1999; Tian et al., 2002),结合钻孔地层测年数据,对其时间序列划分如下(图 3)。

U1 单元处于全新世,其沉积时期相当于 MIS1 阶段。发育了河谷—湖沼—泛滥平原沉积体系,依据 AMS<sup>14</sup>C 测年及沉积速率推算,在全新世~7300 a、4000~2200 a 为暖湿气候的湖沼沉积,7000~4000 a 本区以持续大河流所在处。

U2 单元既存在硬质黏土、也发育河谷和顶部的湖沼沉积,该单元应属于 MIS2。MIS2 时期全球气候干冷,东部海平面明显下降,黄土堆积也出现向南迁移(丁仲礼等,1989),深海氧同位素正值达到 MIS5 以来最大,末次盛冰期时发育了硬质黏土层。末次盛冰期后形成的灰黑色黏土沉积与全新世基

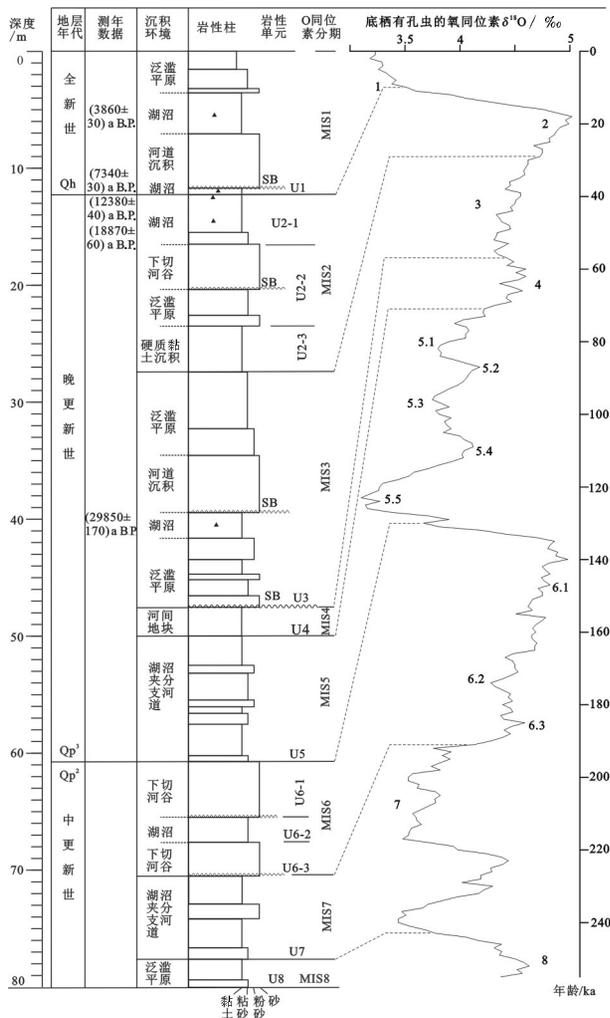


图3 沉积时间序列与氧同位素阶段对比图(图例同图2)  
(氧同位素序列见 Tian et al.,2002;标注数字为氧同位素阶段)  
Fig. 3 Correlation of stratigraphic units to marine Oxygen isotope stage(Legend is the same as figure 2)  
(Oxygen isotope sequence after Tian et al.,2002; the number is oxygen isotope stage)

底有机质沉积或泥炭显示了连续的沉积过程,未出现沉积间断,体现了永定河中下游地区该时期沉积环境和地层的特殊性。

U3单元区域上应属于MIS3。MIS3气候波动较小,海平面短暂的上升有明显暖湿气候,钻孔发育一套泛滥平原—湖沼—河谷—泛滥平原沉积体系,AMS<sup>14</sup>C测年显示大约在30 ka存在一期明显的暖湿气候下的湖沼沉积,与渤海西部地区基本相当(王强等,1995)。

U4单元区域上应属于MIS4。MIS4时期海平面下降,在陆域主要发育河间地块沉积,地层沉积

处于暴露失水的环境,发育棕褐色硬质黏土层。

U5单元区域上应属于MIS5。MIS5时期,三次温暖时期为高海平面,而相间的低海平面时期气候偏凉,在本次钻孔中地层沉积相基本吻合,在孔内出现了U5-1~U5-5的沉积亚单元演化,该时期与附近PGZ01钻孔研究认识基本一致(赵勇等,2018),与东部沿海出现海进现象研究成果也可对应(王强等,1999,2009)。

U6单元区域上应属于MIS6。MIS6全球多处处于冷干的气候,但是冷干的背景下仍有暖湿的波动,本次钻孔揭露了在MIS6期上、下为冷期低海平面时形成的下切河谷沉积,中部夹有短暂的暖期背景下的湖沼沉积(距今140~150 ka间的MIS6.3),可见与全球气候变化基本一致,也体现了永定河中下游地区气候变化的区域性。

U7单元区域上应属于MIS7。MIS7海平面变化也是呈现“两高夹一低”状态,此阶段全球都处于温暖湿润的气候,但是气候波动变化,暖湿的背景下仍有寒冷干旱气候的出现,本次研究在此阶段响应的比较明显,上下为暖湿气候的湖沼相沉积夹中部干冷气候下河谷砂层沉积。

上述分析可见,U1到U7单元在古季风作用下暖期(MIS1、3、5、7)时海面总体处于相对升高趋势,海水就可能顶托陆相冲积平原河水,使之下泄不畅,造成河流中下游形成牛轭湖类湖泊—湖沼沉积环境,以致地层样品中常见淡水介形类及局部海相有孔虫等,且前述沉积学关于气候冷期时海面下降,对下切河谷、硬质黏土的鉴别是正确的,在古季风气候影响下永定河中下游地层沉积与全球气候演变背景具有一致性,如极端气候条件下(LGM期)同样可以形成特殊沉积物(硬黏土层),又如AMS<sup>14</sup>C测年结果证实了该孔也同样存在着30~40 ka的MIS3阶段还原环境沉积,下伏氧化层段为MIS4阶段地层等现象。由此可将陆相第四纪地层学地层划分问题向更深度的发展,利于整个陆相冲积平原与东部滨海平原形成机制的进一步研究,也唯有如此,地层学研究方能发挥“地质学的脊梁”的作用。

## 5.2 海侵事件分析

有孔虫、海相介形类等海相生物在地层中的出现,历来是作为海侵的重要识别标志。在廊坊地区以东的天津市武清城关镇幅J50E003012等4幅

1:50000 区调项目<sup>①</sup>中,在几个钻孔见到 1~2 枚有孔虫,鉴于武清幅东侧、东南侧都有海侵记录,确定这些少量海相生物出现,皆为海侵波及所致。在廊坊地区南部煎茶铺钻孔曾见有海相介形类(章红晖,1985),近年在香河县梨园村 Q6 钻孔也见有零星海相生物,加之在 A27 孔深度上相当 MIS3 地层也见一枚有孔虫,整体都显示了海侵边缘区海相生物较少见的特征。在江苏镇江地区,由于古长江河道的海水上溯,仅一个钻孔见一枚小个体视为“易飘种”的有孔虫(杨献忠等,2010)。故而,经过本次工作,一方面可推断廊坊城区东当时可能存在着的潮汐河道,试探性地将原先海侵界限(章红晖,1985;王强等,1999)向北推进至廊坊城区东部一线,这对海侵事件强度、规模的认识具有重要地质指示意义,对今后开展工作亦有一定启发。另一方面,根据所见有孔虫标本表面的氧化特征,判断其也可能是在暴露的边滩层位,尚不能排除系由风、水、鸟从海岸再搬运来的可能。

### 5.3 LGM 硬黏土

永定河属于海河水系,在天津市区三岔口汇入海河,海河至塘沽入海(李从先等,2013)。据前述的沉积环境及其演化特征,可识别出 MIS6 冷期气候下存在的 2 期典型下切河谷和 MIS1、MIS3 时期存在的 2

期持续大河沉积环境。其中 MIS1 持续大河流位置,也可能受中全新世(5.5~4.6 cal ka B.P.)一次全球性较强的降温事件影响(张梦莹等,2012),河道侵蚀面下降,中下游地区排水能力加强,河道下蚀作用增强,岩心上可见其下淤积泥炭发生了明显的侵蚀,此间河道发育了粗颗粒砂层沉积,构成一次显著的侵蚀层序界面。MIS6 普遍认为是第四纪寒冷冰期时的强海退期(刘振夏等,2000,2001),在本区也有所响应,发育了 2 期明显的下切河谷沉积,沉积侵蚀面亦显著(图 2),MIS6 时期表现出上下发育两期沉积物粒度较粗下切河谷相砂层,中部出现含钙质结核的蓝灰色粉砂质黏土,其 2 期下切河谷层可以作为识别 MIS6 的标志层具有重要地质意义。

MIS2、MIS4 冷期分别发育 2 层硬质黏土层。在 MIS2 时期该区发育黄褐色、棕色含铁锰质结核黏土沉积,与区域上硬质黏土层可进行对比(陈庆强等,1998;李从先等,1999;Li et al., 2014;赵勇等,2018;Li et al.,2019),即本区第 1 硬质黏土层;在 MIS4 时期,沉积环境处于暴露失水状态,形成第 2 硬质黏土层,亦可作为 MIS4 的识别标志层。

### 5.4 全新世以来自然环境演化

#### 5.4.1 气候环境与沉积演化

由于华北平原地区地壳差异性断块构造作用

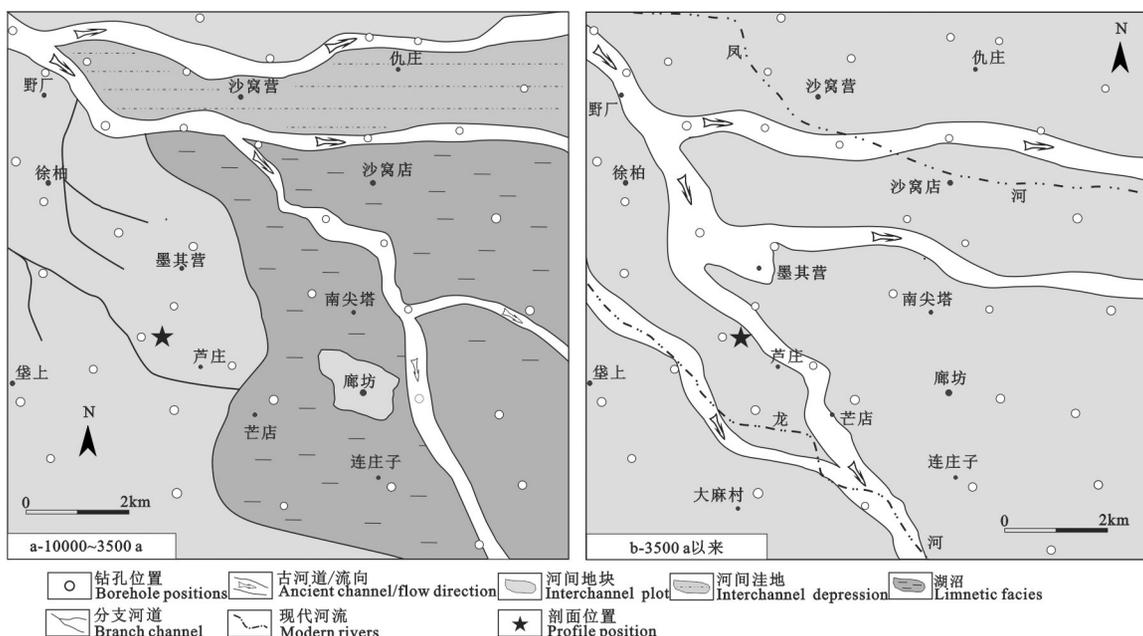


图4 永定河中下游地区全新世古地理图

Fig.4 Map of the Holocene paleogeographic in the middle and lower region of the Yongding River

和气候双重影响下,深刻改变了区域自然环境,在永定河中下游区域沉积了一套湖沼—河床—泛滥平原体系。在全新世早中期,即进入新石器时代,永定河中下游地势低洼、废弃的河道形成了湖沼广泛发育的古地理面貌(图4a),在新石器中晚期(5000~3750 a)露头剖面上(图5)孢粉以乔木植物花粉为主,均占总数87.3%,其中桦、栎、胡桃及椴等最多;灌木及草本植物花粉占总数9.6%;蕨类植物孢子占总数的3.1%,反映该期为一片具有森林草原景观的河—湖面貌,气候温暖湿润,湖沼得到进一步扩大演化,随之发育了泥炭层,据考古资料显示,发掘的遗址大多分布在远离永定河流域而靠近山前的一些丘、岗、台地而居(周昆叔,1989),且其重要交通要道主要沿太行山东麓南北一线地势较高分布(侯仁之,1983),反映该时期平原气候的温暖较湿,永定河流域大量湖沼、水体发育,自然条件阻碍人们交往,也未有发现文物的报道。进入3500 a(商周时期)以来,结合孢粉分析(图5),乔木植物花粉较多,均占总数的68.6%,以松属占优势(55.3%);灌木及草本植物花粉占总数的19.8%;蕨类植物孢子占总数的11.6%,可见该时期植被属森林型之针叶林,气候较之前转为温凉轻湿,降水量减少,先存河湖体系逐渐退缩和消失,河流发生频繁迁移,演化为冲积泛滥平原面貌(图4b),并且随着原来阻碍人

们活动的湖沼洼地因素消失,人类活动范围扩大,出现了大量文字记载的历史。可见,自然环境的演变对人类活动起到了主导作用。

### 5.4.2 人类活动与生态环境

京津地区自古以来为北方频繁交流的地区,而永定河流域占据着重要地理位置,3000多年以前殷商时代,出现了以“蓟”为中心的聚落,其形成和发展是人类长期共同开发和经营的结果。历史时期人类活动大规模地利用和改造自然条件,对永定河流域进行开凿、防洪、灌溉等工程兴建以及战争焚伐等,天然森林植被遭到破坏,永定河中、上游地区水土流失,尤其是元代时期破坏甚大(罗哲文,1962),造成中下游河流淤积加速,动荡不宁,泛滥和决堤频繁,永定河由先存的“地下河”逐渐演变为高于堤外泛滥平原的“地上河”状态,可见进入新石器时期,尤其是在晚近的人类历史期,人类活动对自然环境的影响越来越大,环境恶化严重。依据永定河中下游古沉积环境演化和地理条件,“以古为镜,可以知兴替”,只要措施得当,完全有可能逐步恢复生态环境,也是现代城市规划和保护区域生态环境重要的途径。

## 6 结论

(1)在陆相第四系精确年代地层对比难题下,

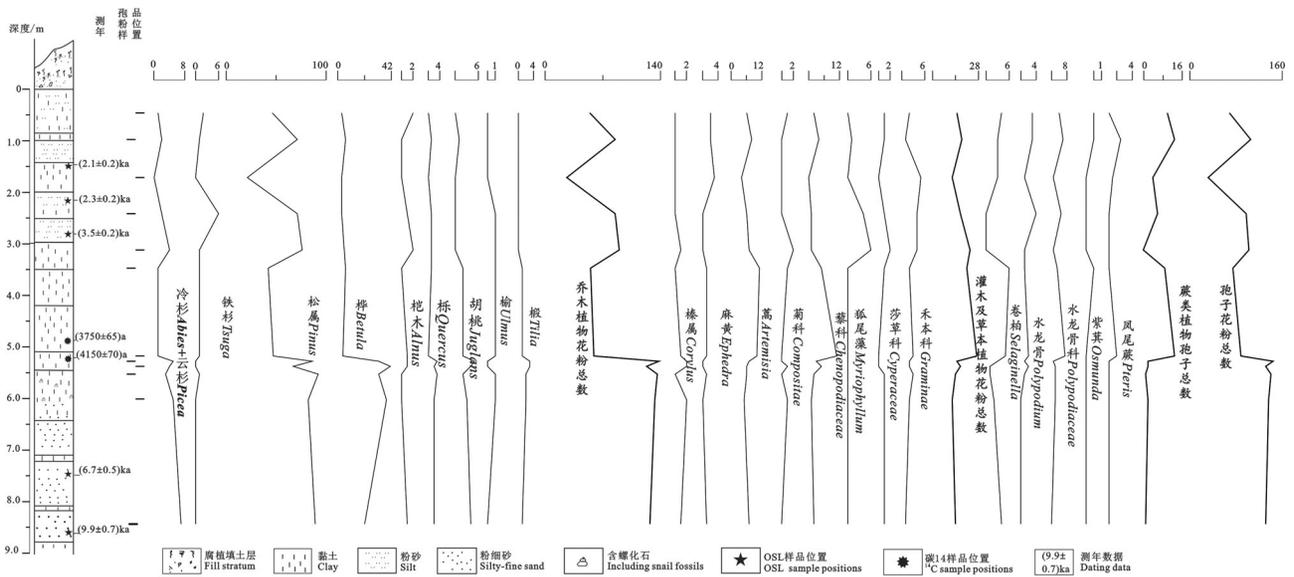


图5 剖面孢粉图

Fig.5 Sporopollen diagram of the section

按照钻孔氧化、还原层及沉积层序演化,使用海洋氧同位素分期进行地层划分的做法是可行的,将会为第四纪地层识别、划分对比提供新的思路,在年代划分基础上可规避同期异相的问题。

(2)以钻孔岩性组合为主,结合 AMS<sup>14</sup>C 测年、微体生物、孢粉等手段,在永定河中下游地区划分出了 8 个地层沉积单元,分别对应于 MIS1~MIS7、MIS8 晚期的沉积地层,并对其进行了精细刻画,重塑了 MIS7 以来沉积环境模式和序列,建立了晚第四纪的标准年代地层框架标尺。

(3)在永定河中下游识别出了 MIS2、MIS4 发育的 2 期硬质黏土层, MIS6 上、下时期发育下切河谷,中部出现短暂湖沼沉积,其可作为 MIS6 时期的标志层之一,可指导第四纪岩心野外识别的有效性。

(4)对全新世以来地层演化、气候环境与人类活动关系进行了探索。认为新石器时代以来大尺度的气候变化对自然环境的变迁影响较大,商周时期以来人类活动对生态环境的影响越来越大,河道迁移频繁,致使湖沼逐渐消退并演化为冲积泛滥平原之面貌。

**致谢:**感谢审稿专家和编辑部老师对本文的修改提出中肯的建议。

## 注释

①贾晓青,吴荣泽,陈星,朱翔鹏,田德培.2013.武清城关镇幅(J50E003012)、大口屯镇幅(J50E003013)、黄花店乡幅(J50E004012)、武清县幅(J50E004013)1:50 000 区域地质调查报告[R].天津市地质调查研究院。

②王继明,方同明,吕金波.2007.北京市多参数立体地质调查第二专题调查报告[R].北京市地质调查研究院,48-55。

## References

Cai Xiangmin, Zhang Lei, Guo Gaoxuan, You Shina, Fang Tongming, Lü Jinbo, Liang Yanan. 2016. New Progress in the study of Quaternary geology in Beijing Plain[J]. *Geology in China*, 43(3): 1055-1066(in Chinese with English abstract).

Cao Xianyong, Ni Jian, Ulrike Herzsuh, Wang Yongbo. 2013. A Late Quaternary pollen dataset from eastern continental asia for vegetation and climate reconstructions: Set up and evaluation[J]. *Review of Palaeobotany & Palynology*, 194: 21-37.

Chen Qingqiang, Li Congxian. 1998. Studies on origin of the Late Pleistocene stiff clays at the Yangtze Delta[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 18 (1): 53- 57(in Chinese with English abstract).

Ding Zhongli, Liu Dongsheng. 1989. Progresses of loess research in China (part1) loess stratigraphy[J]. *Quaternary Sciences*, 9(1):24-35 (in Chinese with English abstract).

Gao Xiulin, Wang Qiang, Li Yude, Du Naiqiu, Kong Zhaochen. 1986. On correlations between transgressions and climatic phases since Late Middle- Pleistocene based on data of drilling hole Ps in Tianjin[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 6(1):53-64(in Chinese with English abstract).

Ge Yonggang, Wei Mingjian. 2014. Comparison of climate and environment change of the Last Interglacial Period and Holocene in Beijing Area, China[J]. *International Journal of Geosciences*, 5 (8): 852-862.

He Jing, He Hanhan, Zheng Guisen, Liu Yu, Zhou Yuanxin, Xiao Jingze, Wang Chunjun. 2019. 3D geological modelling of superficial deposits in Beijing City[J]. *Geology in China*, 46(2): 244-254(in Chinese with English abstract).

Hou Renzhi. 1993. *Environmental Change Studies Part4*[M]. Beijing Ancient Books Publishing House, 126 (in Chinese with English abstract).

Li Baohua, Wang Qiang, Li Congxian. 2010. Correlation of stratigraphic architecture of sub-deltas of Changjiang River Delta[J]. *Journal of Palaeogeography*, 12 (6):685-698(in Chinese with English abstract).

Li Congxian, Chen Qingqiang, Fan Daidu, Zhang Jiaqiang, Yang Shouye. 1999. Palaeogeography and palaeoenvironment in Changjiang Delta since last glaciation[J]. *Journal of Palaeogeography*, 1(4): 12-25(in Chinese with English abstract).

Li Congxian, Wang Qiang, Fan Daidu. 2013. *Marine Delta Deposition, Chinese Sedimentology*[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 812-905(in Chinese with English abstract).

Li Congxian. 1998. The study on the change of Quaternary environment[J]. *International Academic Developments*, (8): 73-74 (in Chinese with English abstract).

Liu Dan. 2012. Grain-size Characteristics of Quaternary Sediments and its Sedimentary Environment Implication in Langfang City[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing)(in Chinese with English abstract).

Li Guangxue, Li Pin, Liu Yong, Qiao Lulu, Ma Yanyan, Xu Jishao, Yang Zigeng. 2014. Sedimentary system response to the global sea level change in the East China Seas since the last glacial maximum[J]. *Earth Science Reviews*, 139:390-405.

Li Manyue, Zhang Shengrui, Xu Qinghai, Xiao Jule, Wen Ruilin. 2019. Spatial patterns of vegetation and climate in the North China plain during the last glacial maximum and Holocene climatic optimum[J]. *Earth Sciences*, (8): 1279-1287.

Liu Jian, Saito Yoshiki, Kong Xianghuai, Wang Hong, Wen Chun, Yang Zigeng, Nakashima Rei. 2010. Delta development and channel incision during marine isotope stages 3 and 2 in the western South Yellow Sea[J]. *Marine Geology*, 278 (1/4): 54-76.

Liu Zhenxia, Berne Serge, L'ATALANTE scientific Party. 2000.

- Paleochannels and paleodeltas in the continental shelf of the East China Sea[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, (1): 9–14(in Chinese with English abstract).
- Liu Zhenxia, Berne Serge, Saito Yoshiki, Lericolais, Marsset.2000. Quaternary seismic stratigraphy and paleoenvironments on the continental shelf of the East China Sea[J]. *Journal of Asian Earth Science*, 18(4): 441–452.
- Liu Zhenxia, Yin Ping, Berne Serge, Trentesaux A, Zhuang Kelin, Li Chaoxin.2001.The quaternary transgression and regression of the East China Sea[J]. *Chinese Science Bulletin*, 46(S1): 74–79(in Chinese with English abstract).
- Luo Zhewen. 1962. A study of "rafting map" in Yuan Dynasty[J]. *Cultural Relics*, (10):19–23(in Chinese with English abstract).
- Martinson Douglas G, Pisias Nicklas G, Hays James D, Imbrie, John, Shackleton Nicholas J. 1987. Age dating and the orbital theory of the ice ages: Development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy[J]. *Quaternary Research*, 27(1): 1–29.
- Qin Yunshan, Zhao Songling. 1987. Sedimentary structure and environmental evolution of submerged delta of Changjiang River since Late Pleistocene[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, (3): 110–117 (in Chinese with English abstract).
- Tian Jun, Wang Pinxian, Cheng Xinrong, Li Qianyu. 2002. Astronomically tuned Plio–Pleistocene benthic  $\delta^{18}\text{O}$  record from South China Sea and Atlantic–Pacific comparison[J].*Earth and Planetary Science Letters*, 203: 1015–1029.
- Wang Jingtai, Wang Pinhsien. 1980. Relationship between sea–level changes and climatic fluctuations in East China since Late Pleistocene[J]. *Acta Geographica Sinica*, 47(4): 299–312(in Chinese with English abstract).
- Wang Pinxian, Min Qiubao, Bian Yunhua, Cheng Xinrong. 1981.Strata of quaternary transgressions in East China: a preliminary study[J]. *Acta Geologica Sinica*, (1): 3–15(in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang, Li Congxian. 2009. The type of quaternary sequence in The East China coastal plain[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 29 (4): 39–51(in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang, Li Fenglin. 1983. The changes of marine–continental conditions in the west coast of the Bohai Gulf during Quaternary[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, (4): 85–91 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang, Liu Lijun, Wang Weidong, Xu Haizhen, Sun Weiyi. 2004. The mechanism of quaternary palaeoenvironmental change in Circum–Bohai–Sea region and North China plain[J].*Geological Survey and Research*, (3): 129–138(in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang, Lü Jinfu. 1995. Sea level change and coast change[C]/Li Handing, Lü Jinfu, Wang Qiang.Peat and Environment in the North Coast of China[M]. Beijing: China Ocean Press, 109–128 (in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang, Tian Guoqiang. 1999. The neotectonic setting of Late Quaternary transgressions on the eastern coastal plain of China[J]. *Journal of Geomechanics*, (4): 43–50(in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang, Yuan Guibang, Hu Yunzhuang, Zhang Yufa, Chai Jingjing. 2008. Microfossils in tidal flat strata on the northern Huanghua area since the MIS3[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, (1):1–18.
- Wang Qiang. 1982. The ostracod fauna of marine and marinerrestrial transitional facies in western coast of the Bohai Gulf(North China) and paleogeography during Quaternary[J]. *Marine Geological Research*, (3): 38–88(in Chinese with English abstract).
- Wang Qiang. 1999. A preliminary study on the time domain of the early Holocene basement peat accumulation on the west coast of the Bohai Sea[J]. *Quaternary Sciences*, (1): 91–99(in Chinese with English abstract).
- Yang Huairan, Chen Xiqing. 1985. Quaternary sea level rise and fall, transgression and regression and shoreline change in eastern China[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, (4): 59–80(in Chinese with English abstract).
- Yang Huairan, Chen Xiqing.1988.A pilot study on the possible impacts of sea level rise on East China[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, (3): 187–200.
- Yang Huairan, Wang Qiang, Yang Dayuan. 1988. Micropaleontology in the drilling core 821 and the palaeoenvironment of the Taihu Lake[J].*Marine Geology & Quaternary Geology*, (2): 69–78(in Chinese with English abstract).
- Yang Xianzhong, Wei Naiyi, Wang Qiang, Yu Junjie, Jiang Ren, Zhang Zongyan, Zhao Ling. 2010. Sedimentary characteristics of an ancient river channel in Zhenjiang–Jiangdu segment of Yangtze River Delta[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, (5):11–18 (in Chinese with English abstract).
- Yang Xianzhong, Wei Naiyi, Ma Xue, Jiang Ren, Yu Junjie, Zhang Zongyan, Zhao Ling, Lao Jinxiu. 2010. The sedimentary characteristics of the ancient river valleys and the changes of their sedimentary centers during the post–glacial period in the Yangtze River Delta of Jiangdu District and Zhenjiang[J].*Resource Survey and Environment*, 31(3): 176–184(in Chinese with English abstract).
- Yuan Baoyin, Deng Chenglong, LüJinbo, Jin Changzhu, Wu Yushu. 2002. Late quaternary accumulation period and prehistoric flood in Beijing Plain[J]. *Quaternary Science*, (5): 474–482(in Chinese with English abstract).
- Zhang Honghui. 1985. Some new ostracodes from the Epipleistocene of the western coast Bohai gulf[J]. *Acta Micropalaeontologica Sinica*, (4): 361–367(in Chinese with English abstract).
- Zhang Lili. 2012. Quaternary Stratigraphic Division and Contradistinction Study of Langfang City[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing) (in Chinese with English abstract).

- abstract).
- Zhang Mengying, Fan Daidu, Wu Guoxuan, Shang Shuai, Chen Lingling. 2012. Palynological characters of Late Quaternary in the south flank of the Oujiang River Delta and their paleoclimate implications[J]. *Quaternary Sciences*, (6): 1234–1247(in Chinese with English abstract).
- Zhao Yong, Wang Qiang, Li Ruijie, Wei Bo, Xu Jixiang, Sun Yonghua, Zhang Xiaoliang, Wang Chunjun, Zhou Yuanxin, You Shina, LüJinbo. 2018. Quaternary stratigraphic division and its environmental significance of Borehole PGZ01 in southern Beijing plain area[J]. *Journal of Palaeogeography*, 20(2): 337–348(in Chinese with English abstract).
- Zhao Yong, Cai Xiangmin, Wang Jimin, Zhang Lei, Liu Yu, Lü Jinbo. 2015. The division of “small blocks” of structure in Beijing plain and a discussion on the activity of micro block in Quaternary period[J]. *Geology in China*, (6): 1876–1884(in Chinese with English abstract).
- Zhou Kunshu. 1989. Environmental Archaeology in Beijing[J]. *Quaternary Sciences*, (1): 84–94(in Chinese with English abstract).
- ### 附中文参考文献
- 蔡向民, 张磊, 郭高轩, 尤世娜, 方同明, 吕金波, 梁亚楠. 2016. 北京平原地区第四纪地质研究新进展[J]. *中国地质*, 43(3): 1055–1066.
- 陈庆强, 李从先. 1998. 长江三角洲地区晚更新世硬黏土层成因研究[J]. *地理科学*, 18(1): 53–57.
- 丁仲礼, 刘东生. 1989. 中国黄土研究新进展(一)黄土层[J]. *第四纪研究*, 9(1): 24–35.
- 高秀林, 王强, 李玉德, 杜乃秋, 孔昭宸. 1986. 从天津 P8 孔看中更新世末期以来海侵期、气候期对比问题[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 6(1): 53–64.
- 侯仁之. 1993. 环境变迁研究第四辑[M]. 北京古籍出版社. 126.
- 何静, 何哈哈, 郑桂森, 刘予, 周圆心, 肖景泽, 王纯君. 2019. 北京五环城区浅部沉积层的三维地质结构建模[J]. *中国地质*, 46(2): 244–254.
- 李保华, 王强, 李从先. 2010. 长江三角洲亚三角洲地层结构对比[J]. *古地理学报*, 12(6): 685–698.
- 李从先, 陈庆强, 范代读, 张家强, 杨守业. 1999. 末次盛冰期以来长江三角洲地区的沉积相和古地理[J]. *古地理学报*, 1(4): 12–25.
- 李从先, 王强, 范代读. 2013. 海洋三角洲沉积. 中国沉积学[M]. 北京石油工业出版社, 812–905.
- 李从先. 1998. 第四纪环境变化研究[J]. *国际学术动态*, (8): 73–74.
- 刘丹. 2012. 廊坊市第四纪沉积物粒度特征及沉积环境分析[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 刘振夏, Berne Serge, L'ATALANTE 科学考察组. 2000. 东海陆架的古河道和古三角洲[J]. *海洋地质与第四纪地质*, (1): 9–14.
- 刘振夏, 印萍, Berne Serge, Trentesaux A, 庄克琳, 李朝新. 2001. 第四纪东海的海进层序和海退层序[J]. *科学通报*, 46(S1): 74–79.
- 罗哲文. 1962. 元代“运筏图”考[J]. *文物*, (10): 19–23.
- 秦蕴珊, 赵松龄. 1987. 晚更新世以来长江水下三角洲的沉积结构与环境变迁[J]. *沉积学报*, (3): 110–117.
- 汪品先, 闵秋宝, 卞云华, 成鑫荣. 1981. 我国东部第四纪海侵地层的初步研究[J]. *地质学报*, (1): 3–15.
- 王靖泰, 汪品先. 1980. 中国东部晚更新世以来海面升降与气候变化的关系[J]. *地理学报*, 47(4): 299–312.
- 王强, 李从先. 2009. 中国东部沿海平原第四系层序类型[J]. *海洋地质与第四纪地质*, 29(4): 39–51.
- 王强, 李凤林. 1983. 渤海湾西岸第四纪海陆变迁[J]. *海洋地质与第四纪地质*, (4): 85–91.
- 王强, 刘立军, 王卫东, 徐海振, 孙维义. 2004. 环渤海地区及华北平原第四纪古环境变迁机制[J]. *地质调查与研究*, (3): 129–138.
- 王强, 吕金福. 1995. 海面变化与海岸变迁——中国北方沿海泥炭与环境[M]. 北京: 海洋出版社, 109–128.
- 王强, 田国强. 1999. 中国东部晚第四纪海侵的新构造背景[J]. *地质力学学报*, (4): 43–50.
- 王强. 1982. 渤海湾西岸第四纪海相及海陆过渡相介形虫化石群及古地理[J]. *海洋地质研究*, (3): 38–88.
- 王强. 1999. 渤海西岸全新世早期基底泥炭堆积时间域初步研究[J]. *第四纪研究*, (1): 91–99.
- 杨怀仁, 陈西庆. 1985. 中国东部第四纪海面升降、海侵海退与岸线变迁[J]. *海洋地质与第四纪地质*, (4): 59–80.
- 杨怀仁, 王强, 杨达源. 1988. 太湖 827 孔微体古生物研究及其环境变迁[J]. *海洋地质与第四纪地质*, (2): 69–78.
- 杨献忠, 魏乃颀, 马雪, 蒋仁, 于俊杰, 张宗言, 赵玲, 劳金秀. 2010. 长江三角洲江都—镇江冰后期古河谷沉积特征及其沉积中心的变迁[J]. *资源调查与环境*, 31(3): 176–184.
- 杨献忠, 魏乃颀, 王强, 于俊杰, 蒋仁, 张宗言, 赵玲. 2010. 长江三角洲镇江—江都河段古河谷沉积特征[J]. *海洋地质与第四纪地质*, (5): 11–18.
- 袁宝印, 邓成龙, 吕金波, 金昌柱, 吴玉书. 2002. 北京平原晚第四纪堆积期与史前大洪水[J]. *第四纪研究*, (5): 474–482.
- 张利利. 2012. 廊坊第四纪地层划分与对比研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京).
- 张梦莹, 范代读, 吴国瑄, 尚帅, 陈玲玲. 2012. 瓯江三角洲南翼晚第四纪孢粉、藻类记录及其古气候意义[J]. *第四纪研究*, (6): 1234–1247.
- 章红晖. 1985. 渤海湾西岸地区晚更新世介形类的几个新种[J]. *微体古生物学报*, (4): 361–367.
- 赵勇, 王强, 李瑞杰, 魏波, 徐吉祥, 孙永华, 张晓亮, 王纯君, 周圆心, 尤世娜, 吕金波. 2018. 北京平原区南部 PGZ01 孔第四纪地层划分及其环境意义[J]. *古地理学报*, 20(2): 337–348.
- 赵勇, 蔡向民, 王继明, 张磊, 刘予, 吕金波. 2015. 北京平原构造断块划分及微断块第四纪活动性探讨[J]. *中国地质*, (6): 1876–1884.
- 周昆叔. 1989. 北京环境考古[J]. *第四纪研究*, (1): 84–94.