Pre-pub. on line: www.geojournals.cn/georev

河北平原北部蓟县西南头营剖面地层沉积特征与沉积环境研究

石光耀[1,2)]，张运强[3)]，张欢[4)]，潘志龙[4)]，李庆喆[4)]，张金龙[4)]，张鹏程[4)]，吕可欣[5)]，闫皓[6)]

1)河北省战略性关键矿产资源重点实验室，河北地质大学，石家庄，050031；
2)地质调查研究院，河北地质大学，石家庄，050031；
3)中国地质调查局廊坊自然资源综合调查中心，河北廊坊，065000；
4)河北省区域地质调查院，河北廊坊，065000；
5)河北省地球物理勘查院，河北廊坊，065000；
6)四川省冶金地质勘查院，成都，610000

内容提要：本文通过详细测量河北平原北部天津市蓟县西南部桑梓镇头营剖面，结合粒度分析数据、孢粉分析数据、^{14}C 和光释光测年数据，系统分析了该剖面地层形成年龄和沉积特征。实测剖面显示地层可以划分为 18 层，沉积物以黏土质粉砂、粉砂质黏土、黏土为主。^{14}C 和光释光测年数据显示该剖面沉积物主要为晚更新世晚期以来沉积。粒度分析结果显示 14 个粒度样品频率分布曲线均为不对称的单峰态，表明沉积物成分单一，为相对稳定的水能条件下形成；概率累积曲线以细粒型为主，样品主要由跃移总体和悬浮总体组成。根据孢粉组合特征，可将剖面划分为 3 个孢粉带，孢粉带Ⅰ：气候温和湿润；孢粉带Ⅱ：气候寒冷干旱；孢粉带Ⅲ：气候温暖湿润。实测剖面测年结果与古里雅冰芯氧同位素曲线作对比可知，剖面形成时代对应 MIS3~MIS1 阶段，头营剖面经历了暖—冷—暖的气候变化，与孢粉组合反映的气候特征一致。综上可知，头营剖面晚更新世以来沉积物应属漫滩或洼地相沉积，整体处于相对稳定的低水流条件，沉积环境稳定。

关键词：粒度特征；^{14}C 和光释光测年；孢粉组合；沉积环境；河北平原

京津冀地区自新生代以来，活动断裂十分发育，受断裂影响河北平原形成了一系列北东向展布的小型断陷盆地和隆起区，其中北北东向的活动断裂主要控制了河北平原北部第四纪沉积和地貌的发育。不同构造单元的第四系沉积物具有成因类型复杂、厚度变化大、连续性差的特征，因此，对河北平原开展不同构造单元第四纪沉积环境的研究，对于全面认识其沉积古环境变化、地貌演化和气候变化十分必要。粒度分析通常是古环境和古气候研究的首要步骤（管后春，2009），沉积物的粒度分布特征有助于判断沉积环境和水动力条件（陈建强等，2004），它普遍应用于河流相沉积作用规律研究中，已成为古气候和古环境研究的一个重要指标（丁仲礼等，1999；吕连清等，2004）。另外，孢粉分析作为较好的且备受重视的环境重建指标之一，也被广泛地应用于古环境重建中（孙雄伟等，2005；倪爱武等，2011；林钟扬等，2019）。孢粉分析的结果有助于推测当时的环境背景，进而了解其环境变化。

目前，沉积物粒度和孢粉分析已被广泛应用于沉积环境的研究中（李玉嵩等，2011；李瑞杰等，2019；石光耀等，2021；吕可欣等，2022；黄明等，2022），一些学者通过沉积物粒度和孢粉分析对河北平原北部三河市周边沉积环境进行了研究，刘智荣等（2016）通过三河地区晚更新世地层沉积物粒度特征分析，对其沉积环境进行了研究；陈亚亚等（2017）通过分析夏垫活动断裂沉积物粒度特征，总结了晚更新世以来该处地层沉积环境的变化；白相东等（2018）通过对潮白河下游沉积物粒度分析，认

注：本文为中国地质调查局项目（编号：DD20160060，DD20160042），河北省自然资源厅项目（编号：13000022P00F2D4101216，13000023P00F2D410251H），河北地质大学国家预研项目（编号：KY2024QN25）的成果。收稿日期：2023-09-14；改回日期：2024-06-02；网络首发：2024-07-20；责任编辑：李明，章雨旭。Doi：10.16509/j.georeview.2024.07.022 作者简介：石光耀，男，1988 年生，博士，主要从事第四纪地质与区域地质工作研究；Email：sguangyao0001@163.com。

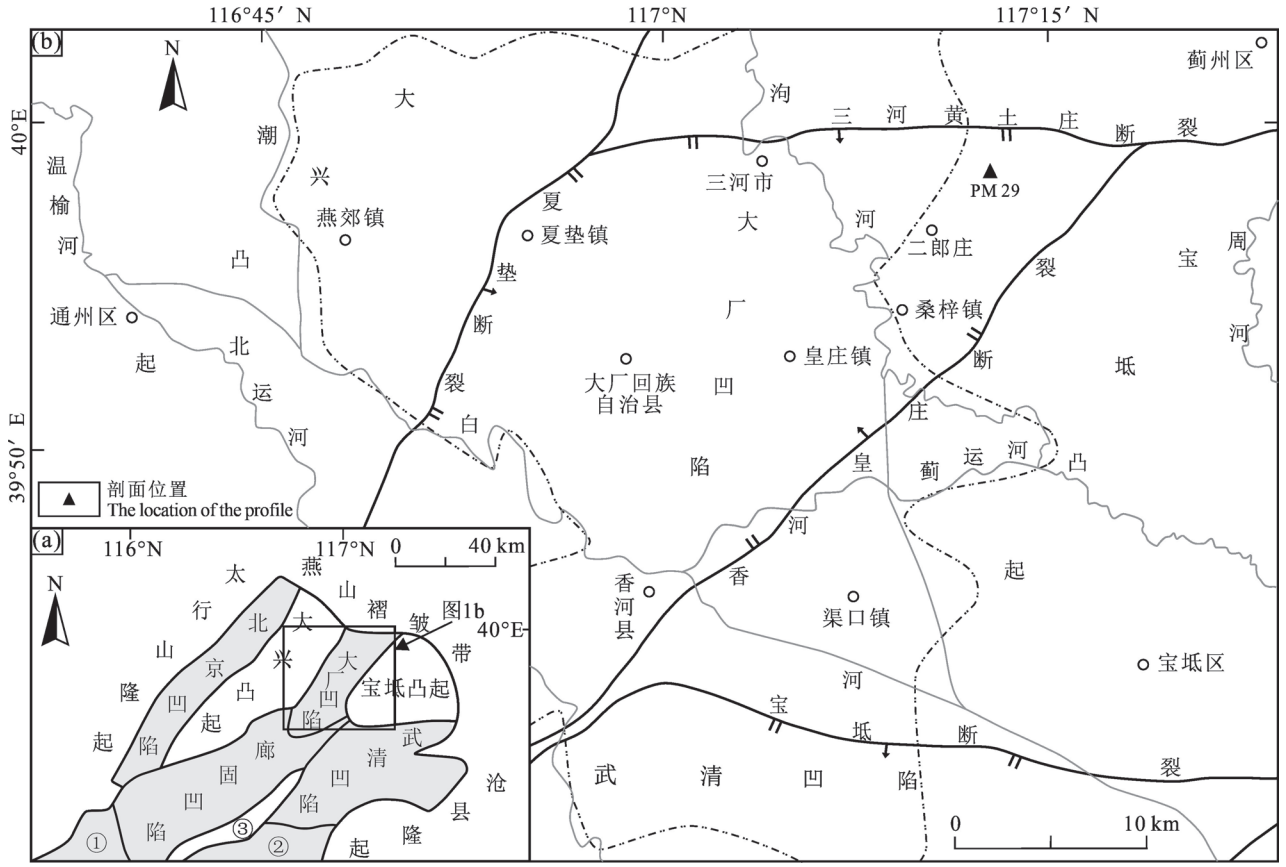

图 1 天津市蓟县西南部桑梓镇头营剖面位置图

Fig. 1 Location map of Touying section in Sangzi Town, southwestern Jixian County, Tianjin

为该区域晚更新世晚期—全新世早期沉积环境为泛滥平原沉积,进而对该区沉积环境的研究提供了一些启示;刘智荣等(2021)对河北平原中部保定凹陷内西伯章剖面进行了沉积物粒度和光释光测年分析,对该区域晚第四纪沉积环境进行了研究;石光耀等(2021)对大厂凹陷北部 S9 孔进行了钻孔地层划分和年代学研究,为区域地层的对比研究提供了一些参考;吕可欣等(2022)通过大厂凹陷北部 S9 孔的沉积物孢粉数据分析,对河北平原东北部沉积环境的演变提供了基础资料。大厂凹陷位于河北平原北部,关于其沉积环境变化的资料和成果较少,研究程度较低。因此,本文以蓟县西南部头营剖面为研究对象,通过分析其沉积物粒度特征,并结合年代学和孢粉数据,探讨了该地区晚更新世以来沉积环境的变化,以期为理解大厂凹陷的沉积环境演化提供一些参考。

1 地质概况和实测剖面

研究区位于河北平原北部,北侧紧邻燕山山脉,构造上处于大厂凹陷内,区内第四纪活动断裂较为发育,主要包括北北东向展布的夏垫断裂,北东向展布的香河—皇庄断裂及近东西向展布的三河—黄土庄断裂、宝坻断裂。石油物探和钻孔资料显示,大厂凹陷新生代地层主要为古近系沙河街组、东营组,新近系馆陶组、明化镇组及第四系(张宇飞,2017),受区内断裂的影响,大厂凹陷持续沉降,沉积中心第四系沉积物厚约 600~700 m,区内第四纪沉积物主要为河流冲、洪积作用形成的泥和砂。地球物理及钻孔资料揭示,研究区在古近纪晚期逐渐夷平,新近纪以来准平原化。进入第四纪,块体性沉降作用不明显,活动断裂控制了局部的沉积厚度,沿这些断裂形成了局部的沉降中心。大厂凹陷北部三河—黄土庄断裂两侧新生代沉积厚度差异较为显著,区内断裂北侧新生代厚度一般小于 100 m,个别区域甚至不足 50 m;断裂南侧仅第四系厚度就约 100~150 m,而古近系和新近系厚更是达到了 200~700 m(徐锡伟等,2002)。

剖面 PM29 位于大厂凹陷北部,三河—黄土庄断裂的上盘,坐标为北纬 39°58′13″,东经 117°13′10″(蓟县西南部头营村)(图 1),沉积物主要受洵河冲

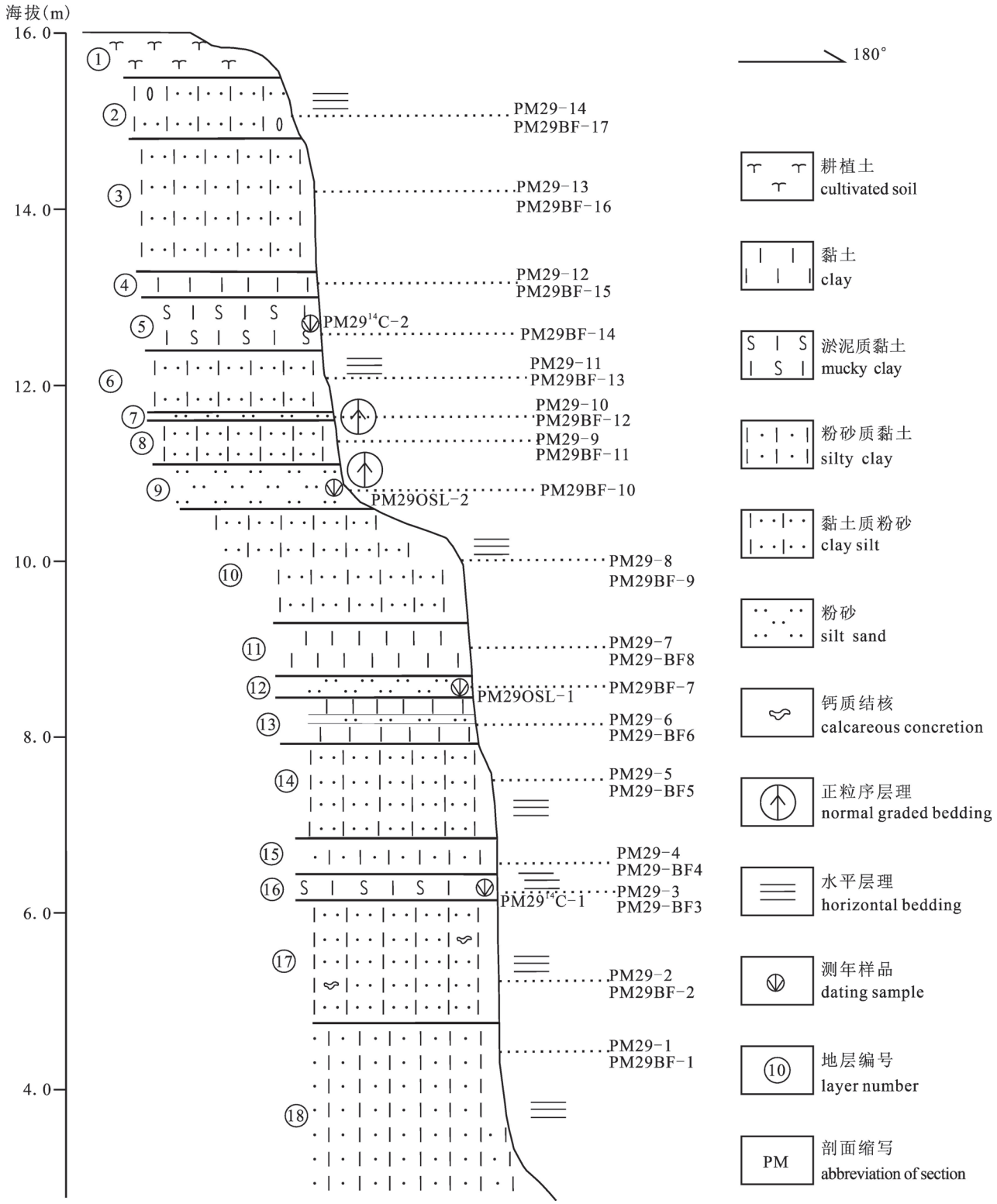

图 2 蓟县西南部头营实测地层剖面图

Fig. 2 Measured stratigraphic section map in Touying, southwestern Jixian County

洪积作用的影响。剖面地层厚度为 13.25 m,岩性以黏土质粉砂、黏土为主,整体粒度较细。本剖面为人工采土坑,主要控制了浅表第四系地层,底部起始于棕红色粉砂质黏土,顶部结束于人工耕植层。剖面自上而下分为 18 层,共采集粒度样品 14 件,自下而上样品依次编号为 PM29-1~PM29-14,^{14}C 测年样

品 2 件,编号为 PM29^{14}C-1~PM29^{14}C-2,光释光测年样品 2 件,编号为 PM29OSL-1~PM29OSL-2,孢粉分析样品 17 件,编号为 PM29BF-1~PM29BF-17(图 2)。剖面岩性特征等详细描述见表 1。

通过野外路线调查,可知从山前一直到该剖面位置,地表沉积物岩性从砂砾石—含砾粉砂—含黏粉砂、粉砂质黏土过渡,砾石含量逐渐变少,沉积物粒度逐渐变细(图 3)。

2 ^{14}C 和光释光测年

本文通过^{14}C 测年和光释光(OSL)测年法测定了该剖面的地层年代,^{14}C 样品测试在北京大学考古文博学院^{14}C 加速实验室完成,实验采用加速器质谱法(AMS),所用^{14}C 半衰期为 5568 a,树轮校正所用曲线为 IntCal13 atmospheric curve,数据处理所用程序为 OxCal v4.2.4;光释光测年在北京光释光科技有限公司完成,实验仪器为 Daybreak 2200 光释光仪,所有样品采用细颗粒简单多片再生法获得等效剂量值,采用饱和指数方法进行拟合,详细的试验流程见陈宏强等(2023)。在剖面深度 3.40 m 和 9.85 m 处采样取得 2 个^{14}C 样品,结果分别为 9369±40 a BP 和 32829±176 a BP(表 2)。在深度 5.15 m

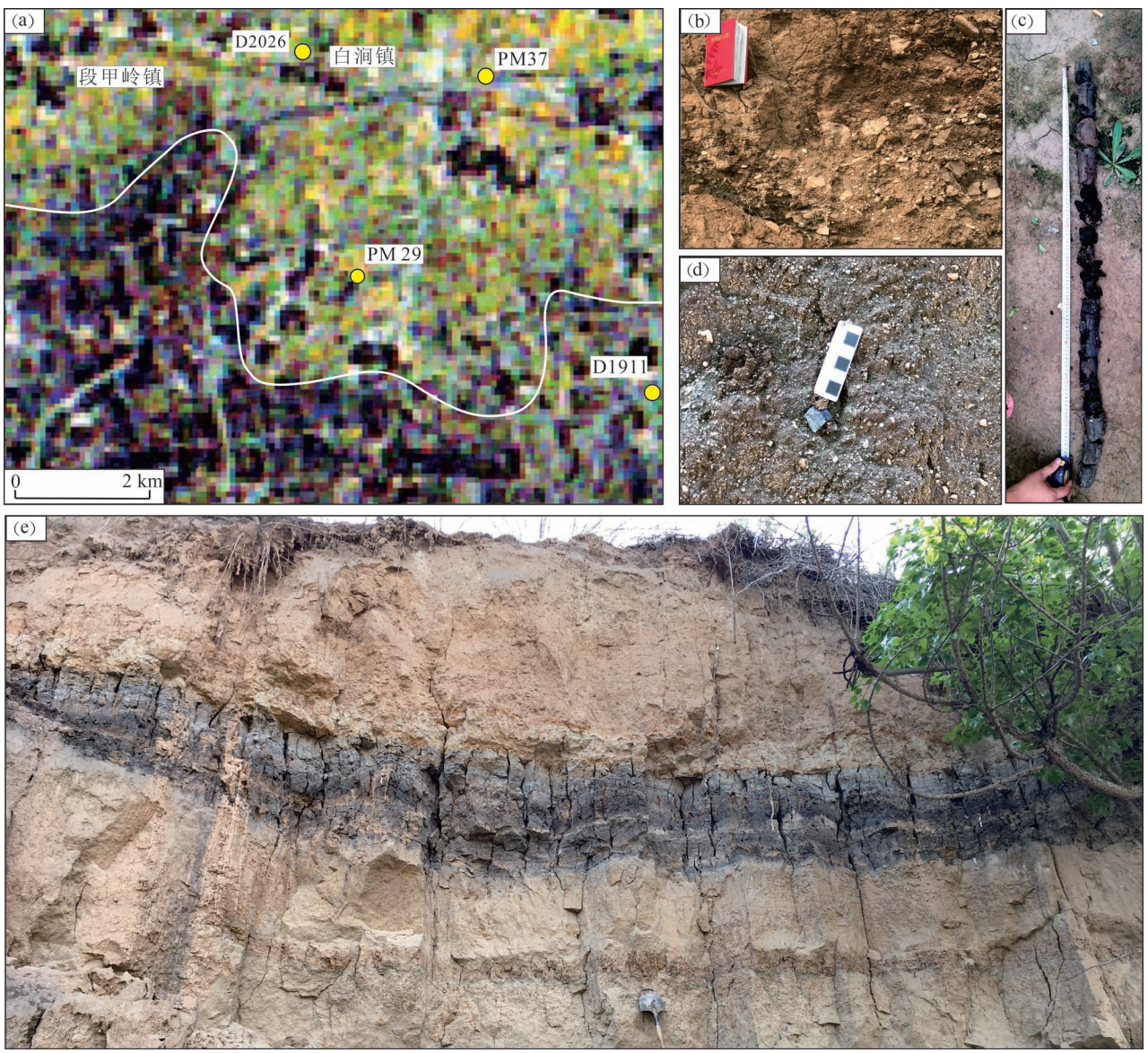

图 3 大厂凹陷北部沉积物粒度特征:(a)地质点和剖面位置;(b)D2026 砾石层;(c)D1911 泥炭层;(d)PM37 砂砾层;(e)PM29 黏土质粉砂

Fig. 3 The grain-size characteristics in the northern Dachang depression: (a) the location of geological dots and section; (b) gravel beds of D2026; (c) peat layer of D1911; (d) sandy gravel of PM37; (e) clay silt of PM29

表 1 蓟县西南部头营剖面岩性特征

Table 1 Lithology of Touying section in southwestern Jixian County

层号	岩性特征	地层深度(cm)	厚度(cm)
1	人工耕植土	50	50
2	棕黄色黏土质粉砂(含砾),偶见水平层理	120	70
3	棕黄色黏土质粉砂	270	150
4	浅青灰色黏土	300	30
5	灰黑色淤泥质黏土	360	60
6	棕黄色含黏粉砂,发育小型水平层理	440	80
7	灰绿色粉砂	450	10
8	棕红色黏土质粉砂	500	50
9	浅灰黄色粉砂	550	50
10	棕色黏土质粉砂	680	130
11	深棕色黏土夹不稳定薄层粉砂	730	50
12	浅灰黄色粉砂	760	30
13	棕褐色黏土夹浅灰黄色粉砂	810	50
14	灰棕色黏土质粉砂,偶见水平层理	920	110
15	棕黄色、土黄色粉砂质黏土	960	40
16	灰黑色淤泥质黏土	990	30
17	棕黄色、土黄色黏土质粉砂,含钙质结核	1130	140
18	棕红色粉砂质黏土(未见底)	1325	195

和 7.45 m 处采得 2 个 OSL 测年样品,结果分别为 16.3±1.0 ka 和 27.0±1.3 ka(表 3)。

通过剖面测量可知沉积物岩性较为单一,推测该剖面沉积环境变化较小,地层沉积速率相近,可用剖面顶和底年代之差推算平均沉积速率,进而推测剖面的沉积时代。根据剖面获得的两个^{14}C 测年和两个 OSL 测年结果计算了各段地层的沉积速率(表 4),以各段地层沉积速率的平均值作为剖面地层的平均沉积速率为 0.29 mm/a,由此推算出剖面的形成时代约为 45170 a,为晚更新世以来沉积。实测剖面第 5 层岩性为灰黑色淤泥质黏土,剖面第 6 层为一套具氧化暴露特征的沉积物,沉积物岩性为黏土质粉砂,呈砖红色,质地较致密。通过对比第 5 层和第 6 层沉积物特征,推断该处气候发生了明显变化。前人研究结果显示河北平原全新世底界主要为一套富含有机质的灰黑色、黑色黏土(蔡向民等,2016;代鹏等;2019;刘智荣等,2021;石光耀等,2021,2023),同时,第 5 层灰黑色淤泥质黏土^{14}C 测年结果为 9369±40 a BP,因此,第 5 层沉积物应该为全新世间冰期气候转暖条件下的富有机质沉积,故而将第 5 层的底部划定为全新世与晚更新世的界限。

3　沉积物粒度特征

3.1　粒度测试

粒度分析测试工作在河北省区域地质调查院实验进行,测试方法为激光粒度分析法,测量仪器为 Mastersizer 3000 激光粒度仪,测量范围 0.01~3000 μm,重复测量相对误差<3%。测试之前首先对样品进行预处理:① 取 5 g 样品放入 350 ml 烧杯中,加入 10%H_2O_2 溶液,在通风橱内控制电热板上加热,直到不再有气泡产生,除去样品中的有机物。待无气泡产生后,继续用电热板加热,使反应剩余的 H_2O_2 挥发出来。② 蒸完放凉后加入适量 10% HCL,再静置 24 h,溶解生物钙。③ 用 pH 试纸测试其 pH 值,加入蒸馏水稀释,直至沉积物再次沉积(24 h),滴管析出清液,重复该步骤,直至 pH 值呈中性。处理完成以后,对样品进行测试。对原始数据通过表达式:$d/\Phi=-\log_2(d/\mathrm{mm})$进行换算计算样品的平均粒径(以 Φ 为单位)等参数,进而绘制频率曲线和概率累积曲线。

3.2　粒度参数特征

粒度参数能够反映沉积物粒度分布特征,从而

表 2 蓟县西南部头营剖面^{14}C 样品信息及测年数据

Table 2 Statistics of information and dating data of the ^{14}C specimens from Touying section, southwestern Jixian County

样品编号	深度	样品岩性	δ^{13}C (‰)		pMC (%)		^{14}C 年代(a BP)
			δ^{13}C	1σ	pMC	1σ	
PM29^{14}C-1	9.85	淤泥质黏土	−23.64	0.60	1.679	0.036	32829±176
PM29^{14}C-2	3.40	淤泥质黏土	−24.94	0.38	31.150	0.157	9369±40

表 3 蓟县西南部头营剖面 OSL 样品信息及测年数据

Table 3 Statistics of information and dating data of the OSL specimens from Touying section, southwestern Jixian County

样品编号	样品深度	U (μg/g)	Th (μg/g)	K (%)	含水量 (%)	等效剂量 (Gy)	年龄 (ka)
PM29OSL-1	7.45m	2.27	7.98	1.91	13.0	90.65±2.40	27.0±1.3
PM29OSL-2	5.15m	1.80	8.55	1.94	7.0	55.82±2.14	16.3±1.0

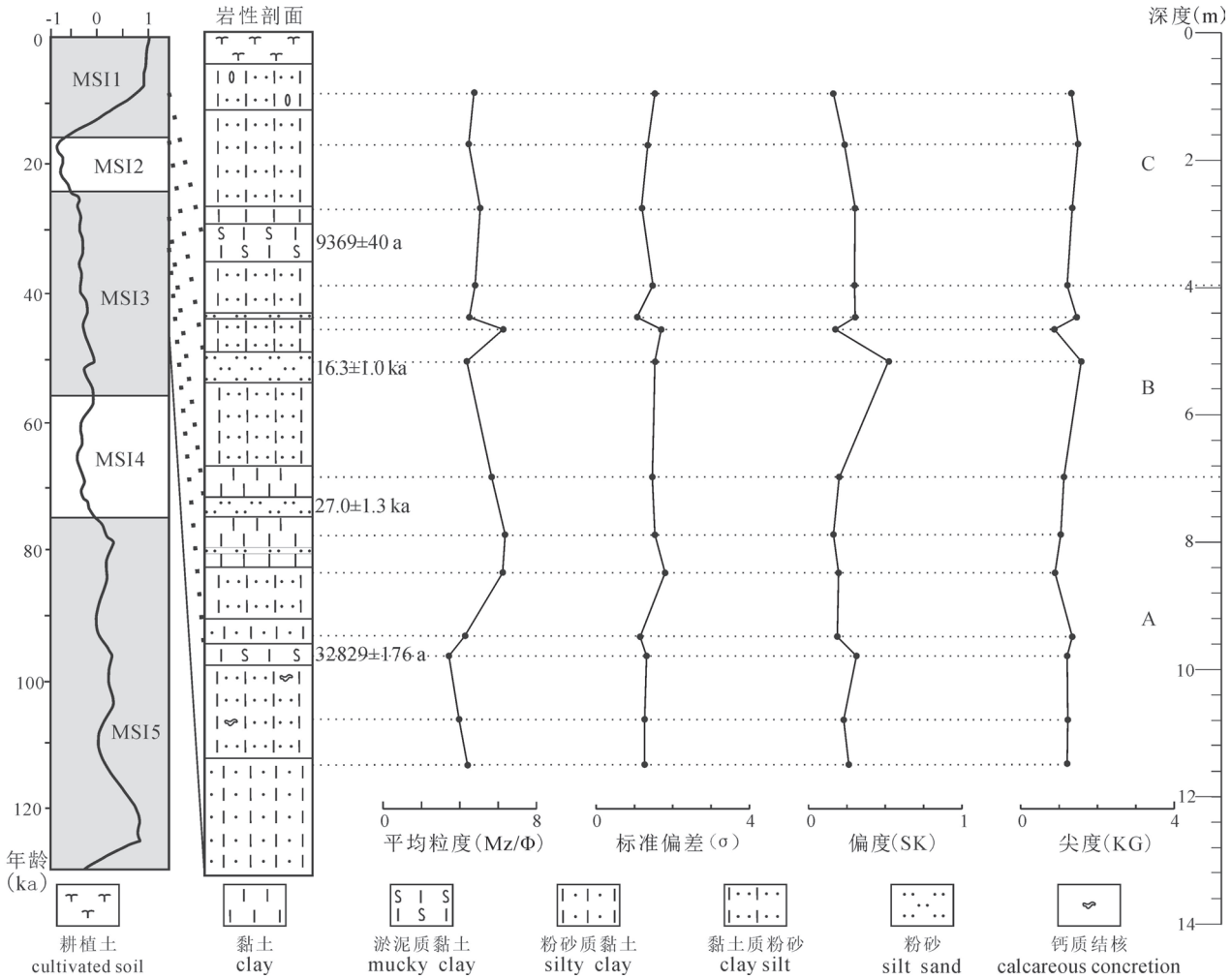

图 4 蓟县西南部头营剖面沉积物粒度参数变化曲线

Fig. 4 Curves showing change tendency of grain size parameters of sediment samples from Touying section, southwestern Jixian County

反映沉积时的水动力条件,进而推断其沉积环境(陈敬安等,2003;陈建强等,2004;范天来等,2010;潘峰等,2011;赵俊香等,2012)。本文以粒度分析为主要参考依据,分析研究区沉积环境及其演变。通常反映沉积物粒度特征的参数包括平均粒径(Mz/Φ)、标准偏差(σ_i)、偏度(SK)和峰态(KG)。表 4 为蓟县西南部头营村剖面沉积物粒度参数,图 4 为沉积物粒度参数垂向变化特征,根据粒度参数特征和曲线形态将剖面大致划分为 3 段,可能代表 3 种不同的沉积环境,间接反映了当时不同的气候变化特征。根据^{14}C 和 OSL 的测年结果,结合沉积速率推算出剖面的形成时代约为 45170 a,与古里雅冰芯氧同位素变化曲线对比(施雅风,2011),头营剖面地层沉积时代大致对应于深海氧同位素 MIS3 阶段,第 5 层灰黑色淤泥质黏土^{14}C 测年结果为 9369±40 a BP,大体相当于深海氧同位素 MIS1 阶段开始时期。华北平原晚更新世 MIS3 阶段为末次冰期内一个小间冰阶,气候相对比较温暖湿润,MIS2 阶段为末次盛冰期,该时期气候温低,MIS1 阶段对应全

表 4 蓟县西南部头营剖面沉积速率统计

Table 4 Statistics of deposition rate of the Touying section, southwestern Jixian County

年龄 (a)	埋深 (mm)	沉积厚度 (mm)	沉积时间 (a)	沉积速率 (mm/a)
9369	3400	1750	6931	0.25
16300	5150			
16300	5150	2300	10700	0.22
27000	7450			
27000	7450	2400	5829	0.41
32829	9850			

表 5 蓟县西南部头营剖面沉积物样品粒度参数

Table 5 Grain size parameters of sediment samples from Touying section, southwestern Jixian County

样品名称	深度(m)	平均粒度(Mz/Φ)	标准偏差 σ	偏度(SK)	尖度(KG)
PM29-1	11.5	4.42	1.27	0.26	1.23
PM29-2	10.8	3.99	1.28	0.23	1.25
PM29-3	9.8	3.43	1.32	0.32	1.23
PM29-4	9.5	4.24	1.15	0.19	1.35
PM29-5	8.5	6.38	1.81	0.20	0.91
PM29-6	7.9	6.38	1.54	0.16	1.07
PM29-7	7	5.70	1.48	0.20	1.15
PM29-8	6.2	6.43	1.52	0.20	1.06
PM29-9	4.7	6.29	1.72	0.18	0.90
PM29-10	4.5	4.51	1.07	0.31	1.48
PM29-11	4	4.82	1.50	0.30	1.22
PM29-12	2.8	5.07	1.20	0.31	1.37
PM29-13	1.8	4.47	1.35	0.24	1.50
PM29-14	1	4.74	1.54	0.17	1.35

新世大暖期,气候温暖湿润,因此,剖面形成时代对应 MIS3～MIS1 阶段,经历了暖—冷—暖的气候变化。

平均粒径(Mz/Φ)能够反应粒度分布的集中趋势和沉积介质的平均动能。该剖面样品的平均粒径范围为 3.43～6.38 Φ,粒度总体集中于黏土质粉砂、粉砂质黏土和黏土(表 5、图 4)。

标准偏差(σ_i)即分选程度,表示沉积物颗粒大小的均匀程度和围绕集中趋势的离差。沉积物处于水动力条件强的环境,分选程度相对就高;反之,分选程度就低。该剖面样品的 σ_i 值位于 1.07～1.81 之间(表 5、图 4),沉积物总体分选较差,表明沉积处于水动力条件较弱的环境。

偏度(SK)是表示频率曲线的不对称性的参数。不同的偏度值代表不同形态的频率曲线特征,单峰对称曲线反映沉积物成分单一;双峰对称曲线反映沉积物由两种主要成分组成;正偏态曲线表示沉积物以粗颗粒为主,负偏态曲线表示沉积物以细颗粒为主。该剖面样品 SK 值大多数位于 0.1～0.3 之间(表 5、图 4),呈正偏,表明沉积物大多数分选较差。

3.3　粒度频率曲线和概率累积曲线

频率曲线能够直观的反映粒度分布特点、分选好坏、粒度分布的偏度和尖度等。蓟县西南部头营地区样品粒度分布曲线均为不对称的单峰态(图 5),表明沉积物成分单一,为相对稳定的低水能条件下形成。

样品 PM29-1、PM29-2、PM29-3、PM29-4 粒度参数和频率曲线相似,仅粒度分布范围有所不同,PM29-1 粒度范围在 1.5～11 Φ 之间,PM29-2 粒度范围在 0.5～10.5 Φ 之间,PM29-3 粒度范围为 1～10.5 Φ,PM29-4 粒度分布范围为 0.5～11 Φ。频率曲线为不对称单峰态,平均粒径 3.43～4.43 Φ,分选系数在 1.29～1.51 之间,分选性较其他样品相对较好,偏度值分布在 0.19～0.32 之间,偏度为正偏,峰态窄,范围为 1.22～1.36。4 个样品沉积物以黏土质粉砂、粉砂质黏土为主,沉积物颗粒较细,该处地层为低水动能的沉积环境。

样品 PM29-5、PM29-6、PM29-7、PM29-8 和 PM29-9 频率分布曲线较相似,粒度范围在 2.5～11 Φ 之间,平均粒径 5.69～6.43 Φ,分选系数在 1.48～1.82 之间,分选中等,分选性较其他样品相对较差,偏度值分布在 0.16～0.20 之间,偏度为正偏。峰态中等,范围为 0.89～1.15。5 个样品沉积物以黏土质粉砂、黏土为主,沉积物颗粒较细,该处地层处于较弱水动力条件的沉积环境。该段沉积物较上一阶段沉积物粒径变细,反映降雨量较上一阶段减少,气候相对变冷。

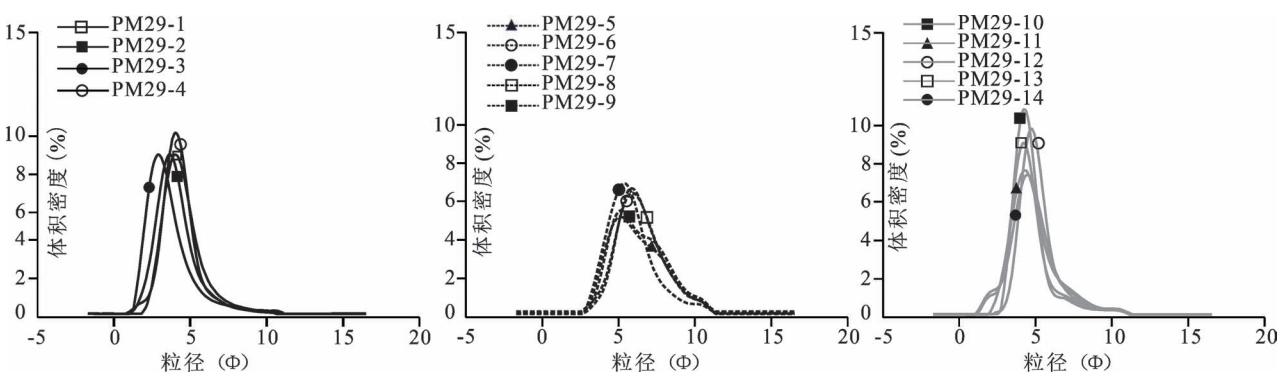

图 5 蓟县西南部头营剖面沉积物频率曲线分布图

Fig. 5 Frequency distribution curves of sediment samples from Touying section, southwestern Jixian County

样品 PM29-10、PM29-11、PM29-12、PM29-13 和 PM29-14 频率分布曲线较相似,仅粒度分布范围有所不同,PM29-10 粒度范围在 2.5~11 Φ 之间,PM29-11 粒度范围在 1.5~11 Φ 之间,PM29-12 粒度范围为 2~11 Φ,PM29-13 粒度分布范围为 1~11 Φ,PM29-14 粒度分布范围为 0.5~11 Φ。频率曲线为不对称单峰态,平均粒径 4.51~5.08 Φ,分选系数在 1.07~1.54 之间,分选较好,偏度值分布在 0.16~0.31 之间,偏度为正偏,峰态窄,范围为 1.21~1.51。6 个样品沉积物以黏土质粉砂、黏土为主,沉积物颗粒较细,该段地层为低水动力条件的沉积环境。该段沉积物较上一阶段沉积物粒径变粗,反映降雨量较上一阶段增加,气候相对变暖。

通常不同沉积环境的沉积物粒度分布特征不同(范天来等,2010)。概率累计曲线相比粒度参数更能有效地反映沉积环境,从而揭示沉积过程的细节信息(李萍等,1979;李长安等,2009;罗祎等,2010;司贺园等 2011)。沉积物的搬运主要分为 3 种方式:悬移、跃移和推移。在概率累积曲线上分别对应悬浮总体、跳跃总体、滚动总体(牵引总体),有些组分可能由 2 段组成,各个组分的含量不同表明其搬运方式也不同(施雅风,2011)。

采用曹伯勋(2003)提出的,以 3 Φ(粒径 d = 0.125 mm)为界,将正态概率曲线分为粗粒型和细粒型,粗粒型曲线的特征为第一截点所对应粒径小于 3 Φ,且砂砾含量大于 50%;细粒型曲线的特征为第一截点所对应粒径大于 3 Φ,且以黏土质粉砂、粉砂质黏土为主。

头营剖面粒度分析样品中,概率累计曲线以细粒型为主,主要由 3 段直线组成(图 6)。样品 PM29-1、PM29-2、PM29-3、PM29-4 的概率累计起点小于 2 Φ,累积量小于 3%,牵引总体部分很少,样品主要由跃移总体和悬浮总体组成,主体粒径在 3.4~4.4 Φ 之间,反映沉积物粒度分布范围窄,以黏土质粉砂、粉砂质黏土为主,该组曲线对应的地层处于相对低水能量环境,属于漫滩相沉积。

样品 PM29-5、PM29-6、PM29-7、PM29-8 和 PM29-9 概率累计是从 2 Φ 开始的,不存在牵引总体部,由跃移总体和悬浮总体组成,属于跳跃加悬浮式。主体粒径在 5.6~6.4 Φ 之间,沉积物颗粒总体很细,以黏土质粉砂和黏土为主,该段沉积物形成于较弱水动力条件的沉积环境,为片流或洼地相沉积,该段沉积物较上一阶段沉积物粒径变细,反映降雨量较上一阶段减少,气候相对变冷。

样品 PM29-10、PM29-11、PM29-12、PM29-13 和 PM29-14,其中 PM29-10、PM29-11、PM29-12 概率累计是从 2 Φ 开始的,不存在牵引总体部,由跃移总体和悬浮总体组成;PM29-13 和 PM29-14 的概率累计起点小于 2 Φ,累积量小于 2%,牵引总体部分很少,样品主要由跃移总体和悬浮总体组成,主体粒径在 4.5~5.1 Φ 之间,处于相对较弱水动力条件的沉积环境,为漫滩或洼地相沉积,该段沉积物较上一阶段沉积物粒径变粗,反映降雨量较上一阶段增加,气候相对变暖。

4 孢粉组合特征

4.1 孢粉测试

生物特别是植物对生长地的古地理、古气候的适应和演变最为敏感,运用孢粉研究古地理、古气候是一种可行有效的方法(仲新等,2019)。本次工作在剖面 PM29 共采集了 17 件孢粉样品,孢粉样品的鉴定分析由中国科学院南海海洋研究所完成,采用

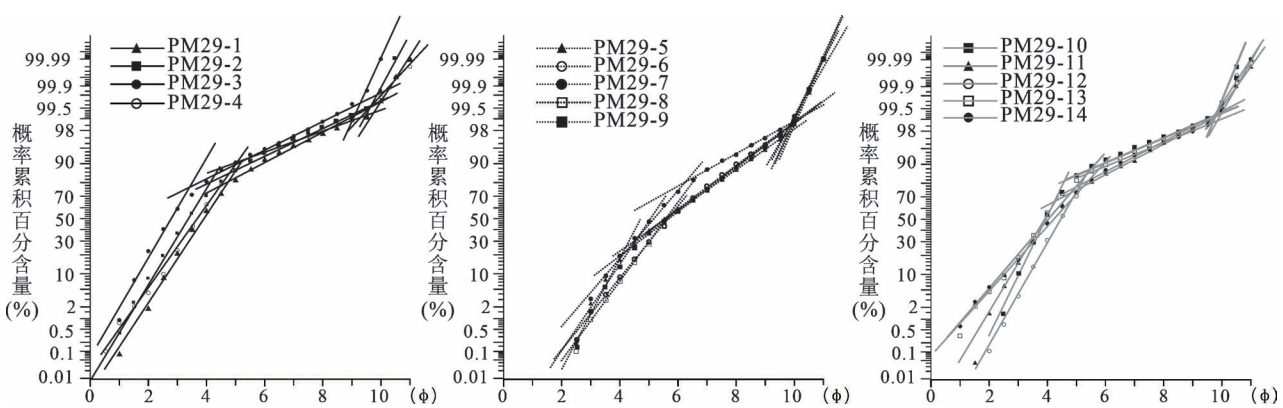

图 6 蓟县西南部头营剖面沉积物概率累积曲线

Fig. 6 Probability accumulation curves of sediment samples from Touying section, southwestern Jixian County

常规的实验室分析处理方法,孢粉的化学提取流程主要包括 HCl 去除钙质,氢氧化钾热水浴,过 300 μm 筛后用重液(重液密度为 2)浮选法提取花粉,然后根据样品情况选择过氢氟酸和 7 μm 筛(超声波振荡),最后制成玻片。在 FOTON 显微镜下对每个样品的玻片进行观察和鉴定统计。

4.2　测试结果

在头营剖面的 17 件样品中,共鉴定出 9 个孢粉种类。结果显示该剖面以草本植物(91.67%)为主,其次为木本植物(8.33%),而蕨类孢子植物含量最低为 0。草本植物主要有藜科(*Chenopodiaceae*)、蒿属(*Artemisia*)、禾本科(*Gramineae*)、菊科(*Compositae*)以及湿生植物莎草科(*Cyperaceae*)。木本植物主要有松属(*Pinus*)、桦木属(*Betula*)、榛属(*Corylus*)和野桐属(*Mallotus*)。该剖面孢粉种类整体偏少,可能是因为该剖面当时处于一种氧化环境,另外该剖面整体处于冲积泛滥平原沉积,导致孢粉难以保存。

根据孢粉组合特征、结合岩性特征和测年结果,可将剖面从老到新依次划分为 3 个孢粉带(图 7),各带特征简述如下:

Ⅰ孢粉带(藜科—松属—禾本科孢粉组合带,13.25~6.8 m):本带包含 8 个样品,岩性为粉砂质黏土或黏土。本带孢粉浓度较高,平均约为 49 个/g。孢粉类型以草本植物为主(94.74%),主要为藜科、本科、蒿属,还出现了湿生植物莎草科,以藜科含量占优势,反映出该带以草原植被为主;木本植物(5.26%)仅有喜温干的针叶树松属花粉,表明气候温暖湿润;蕨类孢子植物含量为零。根据孢粉组合特征推测,研究区当时处于温和湿润的气候条件。

Ⅱ孢粉带(蒿属孢粉组合带,6.8~3.6 m):本带包含 5 个样品,岩性为黏土质粉砂或黏土。本带孢粉浓度和孢粉粒数相比Ⅰ带明显降低,孢粉种类单一,只有代表草原植被的蒿属花粉,未发现其他类型花粉,推测该时期是一个典型的冷事件,突然的大幅度降温极大地损害了当时的生态平衡,木本消失,

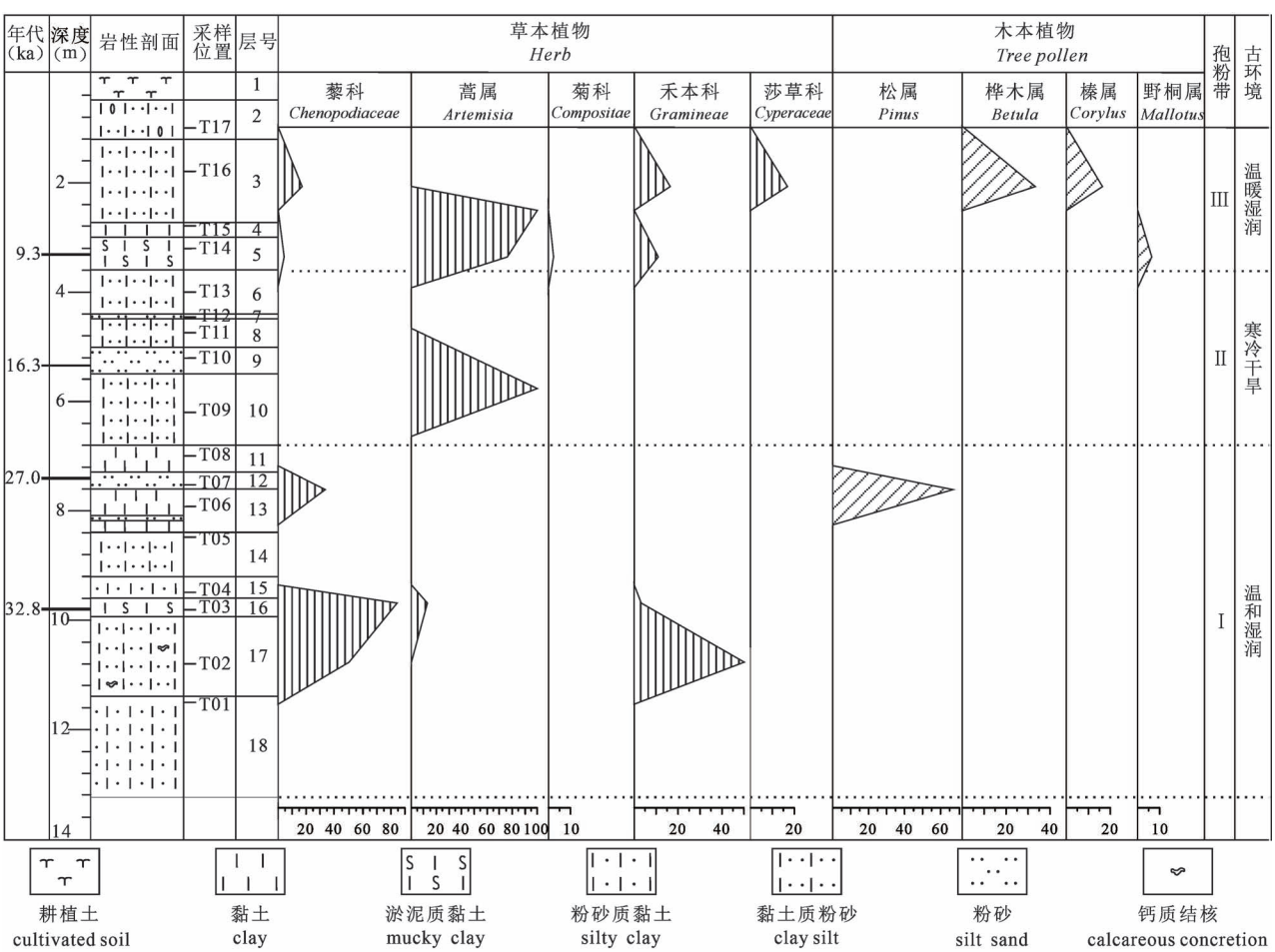

图 7 蓟县西南部头营剖面孢粉图示

Fig. 7 Sporopollen diagram of Touying section, southwestern Jixian County

只生长草本植物，而且物种单一，反映了寒冷干旱的气候条件。

Ⅲ孢粉带（松属—藜科—蒿属孢粉组合带，3.6~0 m）：本带包含 4 个样品，岩性为粉砂质黏土。本带为剖面中孢粉最为丰富的一段，孢粉整体浓度相比Ⅱ带明显增加。本带仍以草本植物为主（62.50%），主要为蒿属、藜科、禾本科和莎草科，出现湿生植物莎草科；其次为木本植物（37.50%），含量明显增加，主要为桦木属和榛木属，表明气候明显回暖；蕨类孢子植物含量为零。根据孢粉组合特征推测，研究区当时应是气候回暖，降雨量增加，为温暖湿润的气候条件。

5 沉积环境分析

根据沉积物类型、粒度参数特征、孢粉组合特征，结合区域气候变化，讨论该剖面所在地区沉积环境的演化。实测剖面沉积物类型和平均粒径反映该剖面沉积物颗粒整体较细，推测地层形成的水动力条件较弱。剖面样品粒度频率曲线均为不对称的单峰态，表明沉积物成分单一，形成于相对稳定的低水能条件。概率累计曲线显示样品主要由跃移总体和悬浮总体组成，属于跳跃加悬浮式，含有较多的粉砂和黏土沉积物，粒径在 3.4~6.4 Φ 之间，属于漫滩或洼地相沉积。概率累积曲线与频率曲线所反映的分组情况基本一致，对应的沉积环境也相似，二者之间具有很好的相关性。头营剖面沉积物的粒度特征分析结果显示，该剖面沉积物类型比较单一，沉积韵律相对稳定，推测所处的沉积环境比较稳定。

孢粉组合反映的气候变化趋势可与冰芯记录与深海氧同位素曲线作良好对比。Ⅰ孢粉带（13.25~6.8 m），孢粉组合特征反映气候温和湿润，测年结果显示该段地层大致相当于华北平原 MIS3 阶段，为末次冰期一个比较温暖的时期，气温回暖，降水增加；Ⅱ孢粉带（6.8~3.6 m），孢粉种类和孢粉粒数相比Ⅰ带明显降低，表明气候发生急剧变化，反映降雨量减少，气候寒冷干旱，该段地层大致相当于华北平原 MIS2 阶段，为末次盛冰期，该时期气候温低，降雨量少，郭盛乔等（2000，2005）研究了华北平原末次盛冰期的气候变化特征，认为 20~16 ka BP 是一个凉湿—冷偏湿—冷干的变化过程，研究剖面孢粉样品较少，无法进行详细分析；Ⅲ孢粉带（3.6~0 m），孢粉种类和孢粉粒数相比Ⅱ带明显升高，反映气候回暖，降雨量增加，该段地层对应于 MIS1 阶段，代表了末次冰消期结束并向温暖的全新世过渡，进入全新世大暖期（Zheng Libo et al.，2016），此时华北地区期降水量增多，气候湿润。研究表明，孢粉组合中木本和草本植物含量的比值能够反映气候的变化。当木本植物花粉与草本植物花粉的比值升高，此阶段气候变暖，反之，气候相对寒冷干燥，降水量相对减少（Hu Yaqin et al.，2016，Li Jie et al.，2018）。Ⅲ孢粉带相比于Ⅰ孢粉带，木本植物花粉与草本植物花粉的比值升高，表明气候相对变暖，这也与 MIS1 阶段和 MIS3 阶段的温度变化特征相符合。

晚第四纪以来，渤海湾发育 3 次海侵，分别对应深海氧同位素 MIS5、MIS3、MIS1 阶段（胥勤勉等，2011；张晓飞等，2021），受海侵作用和构造沉降的影响，渤海湾附近钻孔在 MIS3、MIS1 阶段多为湖沼相沉积，钻孔中沉积物为灰黑色泥炭或黏土（张晓飞等，2021）。通过头营剖面测量，在距离里地表 3.0 m 和 10.1 m 的位置，发育两套泥炭层，分别厚 0.6 m 和 0.3 m，第一套泥炭层 ^{14}C 测年结果为 32829±176 a BP，相当于华北平原 MIS3 阶段晚期，华北平原东部沿海发生了晚更新世以来的第二次海侵事件，称献县海侵，此时全球气候温暖湿润，海平面上升。研究结果表明 40~30 ka BP 在全球冰期的背景下气候又转向暖湿，古气候研究发现该时期气温较高，降水较多，已达到了间冰期的气候环境（施雅风等，2003），研究区表现为降雨量增加；第二套泥炭层在该区域山前位置普遍发育，厚约 0.5~1.0 m 不等，^{14}C 测年结果为 9369±40 a BP，对应于 MIS1 阶段，为全新世早期相对温暖湿润气候条件下的产物，该时期华北地区湖沼分布，海洋扩张。在第二套泥炭层之下识别出一套具氧化暴露特征的沉积物，岩性为黏土质粉砂，呈砖红色，质地较致密，反应该时期气候以冷干气候为主，符合末次盛冰期偏氧化环境的认识（王强等，2008），推测沉积时间对应于 MIS2 阶段，该时期为末次冰期最为寒冷的时期。头营剖面位于三河—黄土庄断裂的南侧，为断裂的下降盘，地势低洼。钻探资料显示，断裂两侧新生代沉积厚度差异极为显著，区内断裂北侧新生代厚度一般小于 100 m，断裂南侧仅第四系厚度就接近甚至超过了 100 m（徐锡伟等，2002）。晚更新世末次冰期间冰阶和全新世早期，由于气候变暖，海平面上升，华北平原北部表现为降雨量增加，河流泛滥，从而在低洼地区形成了与献县海侵、黄骅海侵相对应的两套泥炭层。

根据剖面的测年结果与深海氧同位素曲线对

比,头营剖面经历了暖—冷—暖的气候变化,与孢粉组合反映的气候特征一致。沉积物粒度特征反应头营剖面晚更新世以来处于一种相对较弱水动力条件的沉积环境,沉积物应属漫滩或洼地相沉积。刘智荣等(2021)对河北平原中部保定凹陷内西伯章剖面的研究显示,该剖面晚更新世以来经历了暖—冷—暖的气候变化。头营剖面的气候变化特征与西伯章剖面一致,从而为河北平原区晚更新世以来沉积环境的研究提供了参考。

6　结论

(1)头营剖面形成时代约为 45170 a,对应古里雅冰芯氧同位素 MIS3 阶段,沉积物主要为晚更新世以来沉积,沉积速率约为 0.29 mm/a。

(2)头营剖面测年结果对应古里雅冰芯氧同位素 MIS3~MISS1 阶段,华北平原 MIS3 阶段为末次冰期一个比较温暖的时期,MIS2 阶段为末次冰期最为寒冷的时期,MIS1 阶段进入全新世大暖期,气候温暖湿润,剖面经历了暖—冷—暖的气候变化。

(3)头营剖面地层以黏土质粉砂、粉砂质黏土和黏土为主,整体粒度较细,样品频率曲线均为不对称的单峰态,表明沉积物成分单一,为低能水动力条件下形成。

(4)概率累计曲线以细粒型为主,主要由 3 段直线组成,样品主要由跃移总体和悬浮总体组成,属于跳跃加悬浮式,含有较多的粉砂和黏土沉积物,粒径在 3.4~6.4 Φ 之间,属于漫滩或洼地相沉积。

(5)根据孢粉组合特征,可将头营剖面划分为 3 个孢粉带,13.25~6.8 m 孢粉组合反应气候温和湿润,6.8~3.6 m 孢粉组合反应气候寒冷干旱,3.6~0 m 孢粉组合反应气候温暖湿润。

(6)头营剖面晚更新世以来处于一种相对较弱水动力条件的沉积环境,经历了暖—冷—暖的气候变化,为河北平原区晚更新世以来沉积环境的研究提供了参考。

致谢:感谢审稿专家提出的宝贵修改意见;感谢中国科学院南海海洋研究所罗传秀老师在孢粉测试分析中提供的帮助。

参　考　文　献　/　References

(The literature whose publishing year followed by a "**&**" is in Chinese with English abstract; The literature whose publishing year followed by a "**#**" is in Chinese without English abstract)

白相东, 张艳, 关成尧, 袁四化, 陆丽娜, 马旭东, 李开玉. 2018. 潮白河下游晚更新世晚期—全新世早期地层粒度特征. 科学技术与工程, 18(17): 7~13.

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. 中国地质, 43(3): 1055~1066.

曹伯勋. 2003. 地貌学及第四纪地质学. 武汉: 中国地质大学出版社: 1~288.

陈建强, 周洪瑞, 王训练. 2004. 沉积学及古地理学教程. 北京: 地质出版社: 74~75.

陈敬安, 万国江, 张峰, David Dian Zhang, 黄荣贵. 2003. 不同时间尺度下的湖泊沉积物环境记录——以沉积物粒度为例. 中国科学 D 辑, 33(6): 563~568.

陈亚亚, 沈军, 张金国, 赵江涛, 胡铭塬. 2017. 夏垫活动断裂沉积物粒度分析及沉积环境研究. 防灾科技学院学报, 19(3): 17~27.

陈宏强, 专少鹏, 赵华平, 杨瑞, 陈超, 段炳鑫, 李庆喆. 2023. 河北省唐山地区古滦河冲积扇第四纪以来演化与变迁. 地质力学学报, 29(1): 138~152.

代鹏, 邓晓红, 王盛栋, 武军杰, 张全. 2019. 平原区固安 G01 孔岩芯特征及第四纪地层划分. 第四纪研究, 39(2): 399~407.

丁仲礼, 孙继敏, 刘东生. 1999. 联系沙漠—黄土演变过程中耦合关系的沉积学指标. 中国科学 (D 辑), 29(1): 82~87.

范天来, 范育新. 2010. 频率分布曲线和概率累积曲线在沉积物粒度数据分析中应用的对比. 甘肃地质, 19(2): 32~37.

管后春, 李运怀, 刘正茹. 2009. 合肥市滨湖新区全新世沉积物粒度特征及其古环境意义. 安徽地质, 19(2): 91~95.

郭盛乔, 王苏民, 杨丽娟. 2005. 末次盛冰期华北平原古气候古环境演化. 地质论评, 51(4): 423~427.

郭盛乔, 王玉海, 杨丽娟, 肖宇. 2000. 宁晋泊地区末次冰消期以来的气候变化. 第四纪研究, 20(5): 490.

黄明, 马春梅, 何锟宇, 唐淼, 徐佳佳, 朱诚. 2022. 成都平原宝墩遗址中晚全新世孢粉记录的环境变迁及人类活动. 第四纪研究, 42(4): 1078~1093.

李长安, 张玉芬, 袁胜元, 杨勇. 2009. 江汉平原洪水沉积物的粒度特征及环境意义——以 2005 年江汉大洪水为例. 第四纪研究, 29(2): 276~281.

李萍, 王靖泰. 1979. 几种现代砂的概率累积曲线. 同济大学学报: 自然科学版, 7(2): 27~34.

李瑞杰, 赵勇, 魏波,孙永华,王强. 2019. 永定河中下游廊固凹陷北部 ACX02 钻孔地层年代学研究. 地质力学学报, 25(2): 249~256.

李玉嵩, 陈建强, 赵硕, 王海英, 李欣. 2011. 唐山地区晚更新世以来孢粉组合特征及其与临区的对比. 地球学报, 32(2): 178~188.

刘智荣, 沈军, 黄静宜, 陈耀飞. 2016. 河北三河晚更新世地层粒度特征分析. 地质学报, 90(5): 997~1005.

刘智荣, 薛怀宇, 王昌盛. 2021. 河北平原中部保定西伯章剖面晚第四纪沉积特征及其环境意义. 地质力学学报, 27(6): 1011~1023.

罗祎, 苏新, 陈芳, 黄永样. 2010. 南海北部 DSH-1C 柱状样晚更新世以来沉积物磁性特征及其环境意义. 现代地质, 24(3): 521~527.

吕可欣, 石光耀, 张欢, 张金龙, 李庆喆, 张鹏程. 2022. 河北平原三河市 S9 钻孔第四纪孢粉记录及其气候指示意义. 中国地质调查, 9(1): 64~72.

吕连清, 方小敏, 鹿化煜, 韩永翔, 杨胜利, 李吉均, 安芷生. 2004. 青藏高原东北缘黄土粒度记录的末次冰期千年尺度气候变化. 科学通报, 49(11): 1091~1098.

倪爱武, 田明中, 薛新明, 王金平. 2011. 山西芮城桃花涧剖面中全

新世晚期的孢粉分析及环境变化. 现代地质, 25(2): 349~355.

潘峰, 林春明, 李艳丽, 张霞, 周健, 曲长伟, 姚玉来. 2011. 钱塘江南岸 SE2 孔晚第四纪以来沉积物粒度特征及环境演化. 古地理学报, 13(2): 236~244.

石光耀, 潘志龙, 张欢, 吕可欣, 张金龙, 张运强, 李庆喆, 张鹏程. 2021. 河北平原三河 S9 孔岩心特征及第四纪地层划分研究. 现代地质, 35(5): 1332~1342.

石光耀, 潘志龙, 李庆喆, 吕可欣, 张金龙, 张欢, 张运强, 张鹏程, 闫浩. 2023. 大兴凸起北部 D1 钻孔岩心特征及第四纪地层划分. 地质通报, 42(12): 2132~2141.

施雅风, 于革. 2003. 40~30 ka BP 中国暖湿气候和海侵的特征与成因探讨. 第四纪研究, 23(1): 1~11.

施雅风. 2011. 第四纪冰川新论. 上海: 上海科学普及出版社, 138~140.

司贺园, 侯雪景, 丁旋. 2011. 鄂霍次克海南部 OS03-1 岩心 MIS6 期以来的沉积记录及其古环境意义. 现代地质, 25(3): 482~488.

孙雄伟, 夏正楷. 2005. 河南洛阳寺河南剖面中全新世以来的孢粉分析及环境变化. 北京大学学报 (自然科学版), 41(2): 289~294.

王强,张玉发,袁桂邦,张文卿. 2008. MIS3 阶段以来河北黄骅北部地区海侵期与气候期的对比. 第四纪研究,28(1): 79~95.

徐锡伟,吴卫民,张先康,马胜利,马文涛,于贵华,顾梦林,江娃利. 2002. 首都圈地区地壳最新构造变动与地震. 北京: 科学出版社: 1~376.

胥勤勉,袁桂邦,张金起,秦雅飞. 2011. 渤海湾沿岸晚第四纪地层划分及地质意义. 地质学报,85(8): 1352~1367.

赵俊香, 于慎谔, 刘智荣. 2012. 山西应县护驾岗冲沟阶地地层粒度特征与沉积环境. 现代地质, 26(4): 716~722.

张宇飞. 2017. 大厂凹陷南段复杂断裂带地震资料深度解释研究. 导师: 易远元. 荆州: 长江大学硕士学位论文: 1~72.

仲新, 孙新春, 辜平阳, 李小强, 郭兵, 刘晔. 2019. 张掖国家地质公园早白垩世孢粉植物群及其环境意义. 西北地质, 52(4): 241~249.

张晓飞, 李继军, 张学斌, 黄猛,樊航宇,李明辰,张永义,吴荣泽,韩荣文. 2021. 渤海湾西北岸中更新世中期以来的气候环境和沉积环境演变. 地质学报,95(6): 1868~1888.

Bai Xiangdong, Zhang Yan, Guan Chengyao, Yuan Sihua, Lu Lina, Ma Xudong, Li Kaiyu. 2018&. Grain size analysis of the Late Pleistocene—Early Holocene sediments in the lower Chaobai River. Science Technology and Engineering, 18(17): 7~13.

Cai Xiangmin, Zhang Lei, Guo Gaoxuan, You Shina, Fang Tongming, Lv Jinbo, Liang Yanan. 2016&. New Progress in the study of Quaternary geology in Beijing Plain. Geology in China, 43(3): 1055~1066.

Cao Boxun. 2003#. Geomorphology and Quaternary Geology. Wuhan: China University of Geosciences Publishing House: 1~288.

Chen Jianqiang, Zhou Hongrui, Wang Xunlian. 2004#. Sedimentary and Palaeogeography. Beijing: Geological Publishing House: 74~75.

Chen Jingan, Wan Guojiang, Zhang Feng, David Dian Zhang, Huang Ronggui. 2003&. Environmental records of lakesediments at different timescales: A case study of sediment grain-size. Science in China (Series D), 33(6): 563~568.

Chen Yaya, Shen Jun, Zhang Jinguo, Zhao Jiangtao, Hu Mingyuan. 2017&. Grain-size analysis and sedimentary environment research of Quaternary sediments on Xiadian active fault. Journal of Institute of Disaster Prevention, 19(3): 17~27.

Chen Hongqiang, Zhuan Shaopeng, Zhao Huaping, Yang Rui, Chen Chao, Duan Bingxin, Li Qingzhe. 2023&. Evolution and changes of the ancient Luanhe fluvial fan since the Quaternary in Tangshan, Hebei Province. Journal of Geomechanics, 29(1): 138~152.

Dai Peng, Deng Xiaohong, Wang Shengdong, Wu Junjie, Zhang Quan. 2019&. Core characteristics and stratigraphic classification of G01 borehole in Gu'an, Hebei Plain. Quaternary Sciences, 39(2): 399~407.

Ding Zhong Li, SUN Jimin, LIU Dongsheng. 1999#. A sedimentological proxy indicator linking changes in locss and deserts in the Quaternary. Science in China (Series D), 29(1): 82~87.

Fan Tianlai, Fan Yuxin. A comparison of grain size expression methods: a case study. 2010&. Gansu Geology, 19(2): 32~37.

Guan Houchun, Li Yunhuai, Liu Zhengru. 2009&. Grain size features of the Holocene sedimentsin the Binhu new District of Hefei City and their paleo-environmental implications, 19(2): 91~95.

Guo Shengqiao, Wang Sumin, Yang Lijuan. 2005&. Climaticand Environmental Change in North China Plain during the Last Glacial Maximum. Geological Review, 51(4): 423~427.

Guo Shengqiao, Wang Yuhai, Yang Lijuan, Xiao Yu. 2000&. Climatic change in the Ningjin Lake region since the last deglaciation. Quaternary Sciences, 20(5): 490.

Huang Ming, Ma Chunmei, He Kunyu, Tang Miao, Xu Jiajia, Zhu Cheng. 2022&. Environmental changes and human activities recorded by the pollen in the Middle—Late Holocene at Baodun site, Chengdu Plain. Quaternary Sciences, 42(4): 1078~1093.

Hu Yaqin, Cao Xianyong, Zhao Zhijun, Li Yiyin, Sun Yonggang, Wang Hui. 2016&. The palaeoenviromental and palaeoclimatic reconstruction and the relation with the human activities during the Early an Middle Holocene in the upper Western Liao River region. Quaternary Sciences, 36(3): 530~541.

Li Changan, Zhang Yufen, Yuan, Shengyuan, Yang Yong. 2009&. Grain size characteristic sand environmental significance of Han jiang 2005 flood sediments. Quaternary Sciences, 29(2): 276~281.

Li Jie, Li Rihui, Yang Shixiong, Chen Xiaohui, Chen Shanshan. 2018&. Pollen spore assemblages and induced palaeoenvironmental changes in the western Bohai Sea since Late Pleistocene. Marine Geology and Quaternary Geology, 38(2): 115~128.

Li Ping, Wang Jingtai. 1979#. Probability cumulative curves of certain recent sand bodies. Journal of Tongji University (Natural Science), 7(2): 27~34.

Li Ruijie, Zhao Yong, Wei Bo, Sun Yonghua, Wang Qiang. 2019&. Stratigraphic geochronology of ACX02 borehole in the middle and lower region of the Yongding River, the north of the Langgu Depression. Journal of Geomechanics, 25(2): 249~256.

Li Yusong, Chen Jianqiang, Zhao Shuo, Wang Haiying, Li Xin. 2011&. Sporopollen assemblages in Tangshan area since Late Pleistocene with a correlation to those in adjacent areas. Acta Geoscientica Sinica, 32(2): 178~188.

Liu Zhirong, Shen Jun, Huang Jingyi, Chen Yaofei. 2016&. Grain Size Analysis of the Late Pleistocene Sediments in Sanhe County, Hebei Province. Acta Geologica Sinica, 90(5): 997~1005.

Liu Zhirong, Xue Huaiyu, Wang Changsheng. 2021&. Late Quaternary depositional characteristics and environment significance of the Xibozhang section in Baoding, central Hebei Plain, China. Journal of Geomechanics, 27(6): 1011~1023.

Luo Yi, Su Xin, Chen Fang, Huang Yongxiang. 2010&. Magnetic properties of Late Pleistocene sediments in core DSH-1C from

northern South China Sea and their environment significance. Geoscience, 24(3): 521~527.

Lv Kexin, Shi Guangyao, Zhang Huan, Zhang Jinlong, Li Qingzhe, Zhang Pengcheng. 2022&. Qua ternary sporopollen records from S9 borehole in the Hebei Plain and their climatic implications. Geological Survey of China, 9(1): 64~72.

Lü Lianqing, Fang Xiaomin, Lu Huayu, Han Yongxiang, Yang Shengli, Li Jijun, An Zhisheng. 2004#. Millennialscale climate change since the last glaciation recorded by grain sizes of loess deposits on the northeastern Tibetan Plateau. Chinese Science Bulletion, 49(11): 1091~1098.

Ni Aiwu, Tian Mingzhong, Xue Xinming, Wang Jinping. 2011&. The sporo—pollen analysis and paleoenvironment change in Taohuajian profile of Ruicheng County, Shanxi Province. Since Late Mid-Holocene, 25(2): 349~355.

Pan Feng, Lin Chunming, Li Yanli, Zhang Xia, Zhou Jian, Qu Changwei, Yao Yulai. 2011&. Sediments grain-size characteristics and environmental evolution of core SE2 in southern bank of Qiangtang River since the Late Quaternary. Journal of Palaeogeography, 13(2): 236~244.

Shi Guangyao, Pan Zhilong, Zhang Huan, Lv Kexin, Zhang Jinlong, Zhang Yunqiang, Li Qingzhe, Zhang Pengcheng. 2021&. Core Characteristics and Stratigraphic Classification of Borehole S9 in Sanhe, Hebei Plain. Geoscience, 35(5): 1332~1342.

Shi Guangyao, Pan Zhilong, Li Qingzhe, Lv Kexin, Zhang Jinlong, Zhang Huan, Zhang Yunqiang, Zhang Pengcheng, Yan Hao. 2023&. Core characteristics and stratigraphic classification of D1 borehole in the north of Daxing uplift. Geological Bulletin of China, 42(12): 2132~2141.

Shi Yafeng, Yu Ge. 2003&. Warm—humid climate and transgressions during 40~30 ka B. P. and their potential mechanisms. Quaternary Sciences, 23(1): 1~11.

Shi Yafeng. 2011#. New Understanding of Quaternary Glaciations in China. Shanghai: popular science press. 138~140.

Si Heyuan, Hou Xuejing, Ding Xuan. 2011&. Sedimentary Record in Core OS03-1 from the Southern Okhotsk Sea since the Last Interglacial and the Paleoenvironmental Significance. Geoscience, 25(3): 482~488.

Sun Xiongwei, Xia Zhengkai. 2005&. Paleoenvironment Changes Since Mid-Holocene Revealed by a Palynological Sequence from Sihenan Profile in Luoyang, Henan Province, 41(2): 289~294.

Wang Qiang, Zhang Yufa, Yuan Guibang, Zhang Wenqin. 2008&. Since MIS3 Stage the correlation between transgression and climatic changes in the north Huanghua area, Hebei. Quaternary Science, 28(1): 79~95.

Xu Xiwei, Wu Weimin, Zhang Xiankang, Ma Shengli, Ma wentao, Yu guihua, Gu menglin, Jiang Wali. 2002#. The Recent Crust Tectonic Deformation and Earthquake in the Capital Region. Beijing: Science Press: 1~376.

Xu Qinmian, Yuan Guibang, Zhang Jinqi, Qin Yafei. 2011&. Stratigraphic division of the Late Quaternary Strata along the coast of Bohai Bay and its geology significance. Acta Geologica Sinica, 85(8): 1352~1367.

Zhao Junxiang, Yu Shene, Liu Zhirong. 2012&. Grain size characteristic sand deposit environment of stratain Hu jiagang river terracein Yingxian, Shanxi province. Geoscience, 26(4): 716~722.

Zhang Yufei. 2017#. The Study on Seismic Interpretation in Further Domain of Complex Fault Zone in Southern Section of Dachang Depression. Tutor: Yuanyuan Yi. Jingzhou: Master Thesis, Yangtze University: 1~72.

Zhong Xin, Sun Xinchun, Gu Pingyang, Li Xiaoqiang, Guo Bing, Liu Ye. 2019&. Early cretaceous palynoflora in zhangye national geopark and its palaeoenvironmental significance. Northwestern Geology, 52(4): 241~249.

Zhang Xiaofei, Li Jijun, ZhangXuebin, Huang Meng, Fan Hangyu, Li Mingchen, Zhang Yongyi, Wu Rongze, HanRongwen. 2021&. Evolution of the climate and sedimentary environment since the middle Pleistocene on the northwestern coastof the Bohai Bay. Acta Geologica Sinica, 95(6): 1868~1888.

Depositional characteristics and environment research of the Touying section in southwestern Jixian County, Northern Hebei Plain

SHI Guangyao[1,2], ZHANG Yunqiang[3], ZHANG Huan[4], PAN Zhilong[4], ZHANG Jinlong[4], LI Qingzhe[4], ZHANG Pengcheng[4], LÜ Kexin[5], Yan Hao[6]

1) *Hebei Key Laboratory of Strategic Critical Mineral Resources*, *Hebei GEO University*, *Shijiazhuang*, 050031;

2) *Institute of Geological Surveying*, *Hebei GEO University*, *Shijiazhuang*, 050031;

3) *Natural Resources Comprehensive Survey Center*, *China Geological Survey*, *Langfang*, *Hebei*, 065000;

4) *Regional Geological Survey Institute of Hebei Province*, *Langfang*, *Hebei*, 065000;

5) *Geophysical Exploration Academy of Hebei Province*, *Langfang*, *Hebei*, 065000;

6) *Sichuan Metallurgical Geological Exploration Institute*, *Chengdu*, 610000

Objectives: The study of Quaternary sedimentary environment of different tectonic units in Hebei Plain is helpful to understand the change of sedimentary paleoenvironment. Dachang depression is located in the north of Hebei Plain, and the work on its sedimentary environment are few. We study the change of sedimentary environment since late Pleistocene in the Touying section in the northern Dachang depression, and to provide some references for understanding the evolution of sedimentary environment of Hebei Plain.

Methods: The grain-size characteristics of the Touying section has been studied by grain size samples. The formation age of the profile was analyzed by ^{14}C and OSL dating. Samples were taken from the profile for sporopollen research.

Results: The Touying section can be divided into 18 layers and the sediments are dominated by clayey silt, silty clay and clay. The probability accumulation curve is dominated by fine type, and the sample is mainly composed of saltation population and suspension population. ^{14}C and OSL dating results show that the measured stratigraphic section be accumulated at the end of late Pleistocene. According to the characteristics of palynology assemblage, the profile can be divided into three palynology belts. Along sporopolen zone Ⅰ, the climate was warm and moist. Along sporopolen zone Ⅱ, the climate was cold and dry, Along sporopolen zone Ⅲ, the climate was warm and moist.

Conclusions: The comparison between the measured section dating results and the oxygen isotope curve of the Guliya ice core showed that the Touying section experienced a warm—cold—warm climate change, which was consistent with the climate characteristics reflected by the palynology assemblage. The age of the section corresponds to MIS3—MIS1 stage. The sediments of Touying section should belong to floodplain or depression facies since late Pleistocene. The Touying section was formed on relatively stable low-flow conditions and the sedimentary environment was stable.

Keywords: Grain size characteristic; ^{14}C and OSL dating; Sporopollen assemblages; Deposit environment; Hebei Plain

Acknowledgements: This paper was financially supported by the China Geological Survey Project (No. DD20160060, No. DD20160042), the Project of Department of Natural Resources of Hebei Province (No. 13000022P00F2D4101216, No. 13000023P00F2D410251H) and the National Pre-study Project of Hebei GEO University (No. KY2024QN25).

First author: SHI Guangyao, male, born in 1988, Ph. D., is major in quaternary geology; Email: sguangyao0001@163.com

Manuscript received on: 2023-09-14; Accepted on: 2024-06-02; Published online on: 2024-07-20

Doi: 10.16509/j.georeview.2024.07.022 **Edited by**: LI Ming, ZHANG Yuxu