

引用格式:赵秀丽,章磊,张祥玉,等.莱州湾沿岸 GK138 孔孢粉组合特征及其环境意义[J].山东科技大学学报(自然科学版),2018,37(1):82-91.

ZHAO Xiuli,ZHANG Lei,ZHANG Xiangyu,et al.Characteristics and environmental significance of sporopollen assemblages of GK138 borehole in Laizhou bay[J].Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science),2018,37(1):82-91.

莱州湾沿岸 GK138 孔孢粉组合特征及其环境意义

赵秀丽¹,章磊¹,张祥玉¹,李守军¹,徐华²,张卓²,陈宇慧¹,王丽丽¹

(1.山东科技大学 山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室,山东 青岛 266590;

2.山东省地质调查院,山东 济南 250013)

摘要:通过对渤海莱州湾 GK138 钻孔的 79 个沉积物样品中孢粉定量统计分析,在 34 个样品中发现丰富的孢粉,共统计孢粉 5 757 粒,鉴定为 83 个属种,自下而上划分为 7 个孢粉组合带,组合带 I (66.00~70.80 m):*Pinus-Quercus-Artemisia-Chenopodiaceae* 孢粉带,组合带 II (51.34~54.44 m):*Chenopodiaceae-Cyperus-Typha* 孢粉带,组合带 III (48.85~51.34 m):*Pinus-Quercus* 孢粉带,组合带 IV (34.11~39.60 m):*Pinus-Quercus-Polypodiaceae-Typha* 孢粉带,组合带 V (20.56~34.11 m):*Picea-Pinus-Chenopodiaceae* 孢粉带,组合带 VI (15.65~20.56 m):*Pinus-Chenopodiaceae-Artemisia-Typha* 孢粉带,组合带 VII (10.72~15.65 m):*Pinus-Artemisia-Quercus* 孢粉带。孢粉组合带特征呈现喜冷和喜暖的植物群落的相互演替,反映了莱州湾西部沿海地区晚更新世至全新世以来的古气候冷暖交替变化。

关键词:孢粉组合;古气候;GK138 孔;莱州湾

中图分类号:P52

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2018)01-0082-10

DOI: 10.16452/j.cnki.sdkjzk.2018.01.008

Characteristics and Environmental Significance of Sporopollen Assemblages of GK138 Borehole in Laizhou Bay

ZHAO Xiuli¹,ZHANG Lei¹,ZHANG Xiangyu¹,LI Shoujun¹,
XU Hua²,ZHANG Zhuo²,CHEN Yuhui¹,WANG Lili¹

(1. Key Laboratory of Depositional Mineralization & Sedimentary Minerals of Shandong Province,

Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan, Shandong 250013, China)

Abstract: In this paper 79 sporopollen samples of GK138 borehole in Laizhou Bay were analyzed. among which 34 samples were found to contain abundant sporopollens with a total of 5 757 grains. These grains were identified to belong to 83 genera. From bottom to top, the grains were divided into 7 sporopollen assemblages, as follows: Assemblage I (66.00~70.80 m): *Pinus-Quercus-Artemisia-Chenopodiaceae*; Assemblage II (51.34~54.44 m): *Chenopodiaceae-Cyperus-Typha*;

收稿日期:2017-06-05

基金项目:国家自然科学基金项目(41472042,41372134);山东半岛蓝色经济区地质环境调查评价项目(1212011220001);山东省沉积成矿作用与沉积矿产重点实验室(山东科技大学)开放课题(DMSM201411);山东省研究生教育创新计划项目(SDYC14043)

作者简介:赵秀丽(1968—),女,山东单县人,副教授,博士,主要从事古生物学与地层学研究。

E-mail:snowxiuli@sohu.com

odiaceae-Cyperus-Typha; Assamblage III (48.85~51.34 m); Pinus-Quercus; Assemblage IV (34.11~39.60 m); Pinus-Quercus-Polypodiaceae-Typha; Assemblage V (20.56~34.11 m); Picea-Pinus-Chenopodiaceae; Assemblage VI (15.65~20.56 m); Pinus-Chenopodiaceae-Artemisia-Typha; and Assemblage VII (10.72~15.65 m); Pinus-Artemisia Quercus. The sequence of the pollen assemblages is characterized by the alternate succession of the cold and warm plant community, reflecting the alternation of the palaeoclimatic changes since the late Pleistocene to the Holocene in the western coastal areas of Laizhou Bay.

Key words: sporopollen assemblages; palaeoclimate; GK138; Laizhou Bay

第四纪孢粉研究是目前国际上孢粉学研究最活跃、最深入、人数最多的领域。近几十年以来,国内外研究人员通过孢粉分析方法,对更新世以来古气候古环境演变的研究逐渐深入^[1-3]。对于渤海湾地区,则主要是对渤海西部和近岸海域的孢粉研究。国内外诸多学者^[4]对该区的研究表明植被的纬度变化及陆架盆地物质来源的差异,但受测年技术等限制,孢粉分析对于晚更新世以来环境变化的解释并不充分。近年来,随着测年技术的发展,部分学者利用测年数据对沉积剖面的孢粉做了进一步分析,揭示了该区晚更新世以来的环境演变和气候变化^[5-6]。本文通过莱州湾西岸的 GK138 孔岩芯 79 个孢粉样品分析,统计孢粉样品的属种及数量,根据聚类分析结果划分孢粉组合,结合该钻孔测年数据,恢复莱州湾地区更新世以来古气候和古环境的演变规律。研究结果丰富了该区已有的气候演变资料,为研究第四纪的地质演化、冰期间冰期交替提供了依据。

1 研究区概况

莱州湾是渤海三大海湾之一,位于渤海南部,海底平坦,滩涂广阔,湾内水深较浅,海岸线长约 319 km,湾口西起现代黄河新入海口,东至龙口妃姆岛高角。本区第四系沉积由河湖相、海陆交互相和黄土堆积组成。地势平缓,以剥蚀残丘和剥蚀台地为主。本文所选的 GK138 钻孔(37°28'N,118°44'E)位于莱州湾滨海地区(图 1),属滨海冲积海积平原地貌,为淤泥质平原海岸,岸线顺直,多沙土浅滩,普遍发育新生界松散沉积地层^[7-11]。

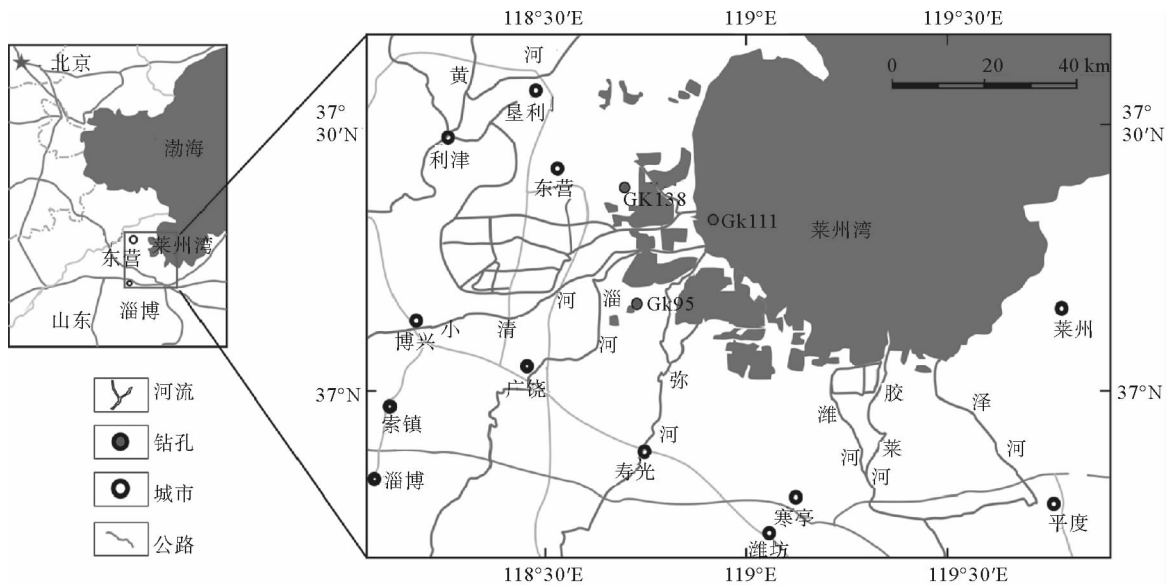


图 1 研究区及钻孔位置图^[12]

Fig. 1 Location map of the study area and the borehole

2 材料和方法

本文所研究的孢粉样品采集自渤海莱州湾沿岸 GK138 钻孔,采样深度为 10.72~88.30 m,采样间隔为 0.1~0.2 m,每块岩芯沉积物样品重约 200 g,共计 79 块样品。其中 4 处有精确的年龄数据^[13](表 1)。孢粉样品分析采用重液浮选法^[1,14],步骤如下:

- 1) 将样品烘干,碾碎,用孔径 0.3 mm 的标准筛过筛。
- 2) 称取 30 g 样品置入塑料烧杯中,缓缓加入过量的 HF 溶液,待充分反应后,洗至中性。再用 15% 的盐酸浸泡样品 12 h,充分反应后洗至中性。
- 3) 重液浮选 配制密度为 2.0 g/cm³ 的 ZnBr 重液浮选两次,将浮选出的样品洗去重液。
- 4) 用 10 μm 尼龙筛网对浮选出的样品在超声波清洗机中过筛,收集筛上材料加入甘油保存。
- 5) 制片观察,孢粉鉴定。

3 孢粉组合特征

本文中孢粉定名采用自然命名法。孢粉的鉴定参考大量现代和化石孢粉的研究文献^[1,15-19]。

对 79 个样品进行镜下观察,并进行拍照和统计记录。发现 34 个样品中含有丰富的孢粉,共统计出孢粉 5 757 粒,隶属 33 科 83 属种,孢粉种类以木本植物花粉(37.8%~73.6%)和

陆生草本植物花粉(16.2%~82.9%)为主,而水生草本植物花粉含量和蕨类植物孢子含量则相对较少。

木本及灌木植物花粉:裸子植物花粉共有 4 科 7 属,松科中的松属(*Pinus*)、云杉属(*Picea*)、铁杉(*Tsuga*)、冷杉(*Abies*)、落叶松(*Larix*)、柏科(Cupressaceae)、麻黄科(Ephedraceae)的麻黄属(*Ephedra*)以及杉科(Taxodiaceae)中的开裂杉(*Taxodiaceae*);被子植物花粉共有 11 科 18 属,桦科(Betulaceae)的桦属(*Betula*)、鹅耳枥属(*Carpinus*)、榛属(*Corylus*)、桤木属(*Alnus*)、山毛榉科(Fagaceae)的栎属(*Quercus*)、栗属(*Castanea*)、栲属(*Castanopsis*)、胡桃科(Juglandaceae)中的胡桃属(*Juglans*)、山核桃(*Carya*)、枫杨属(*Pterocarya*)、榆科(Ulmaceae)的榆属(*Ulmus*)、桑科(Moraceae)桑属(*Morus*)、阿丁枫科(Altingiaceae)的枫香属(*Liquidambar*)、杨柳科(Salicaceae)的柳属(*Salix*)、漆树科(Anacardiaceae)漆树属(*Rhus*)、椴科(Tiliaceae)椴属(*Tilia*)、木犀科(Oleaceae)柞属(*Fraxinus*)、木兰科(Magnoliaceae)木兰属(*Magnolia*)等。

草本植物花粉:陆生草本植物花粉共有 11 科,4 种鉴定到属。禾本科(Gramineae)、菊科(Compositae)包括蒿属(*Artemisia*)、藜科(Chenopodiaceae)、莎草科(Cyperaceae)莎草属(*Cyperus*)、毛茛科(Ranunculaceae)唐松草属(*Thalictrum*)、蓼科(Polyponaceae)、桑科(Moraceae)葎草属(*Humulus*)、龙胆科(Gentianaceae)杏菜属(*Nymphoides*)、唇形科(Labiatae)、石竹科(Caryophyllaceae)、百合科(Liliaceae);水生草本植物花粉主要为香蒲科(Typhaceae)香蒲属(*Typha*)、黑三棱科(Sparganiaceae)的黑三棱(*Sparganium*)等。

蕨类植物孢子主要有 8 科,卷柏科(Selaginellaceae)、水龙骨科(Polypodiaceae)、凤尾蕨科(Pteridaceae)中包括蕨属(*Pteridium*)、骨碎补科(Davalliaceae)、桫欏科(Cyatheaceae)、紫萁科(Osmundaceae)、石松科(Lycopodiaceae)、水蕨科(Parkeriaceae)水蕨属(*Ceratopteris*)等。

对统计结果用 TILIA 软件进行聚类分析,根据孢粉组合特征和在垂直方向的变化,自下而上划分为 7 个孢粉组合带(图 2、图 3、图 4)。各个组合带孢粉特征如下:

表 1 GK138 孔测年数据^[11]

Tab.1 Age dating data of GK138 borehole

样品编号	深度/m	测年方法	年龄
GK138-1	12.70	AMS ¹⁴ C	8.43±4.1/Ka B. P.
GK138-2	23.27	AMS ¹⁴ C	28.76±9/Ka B. P.
GK138-3	33.42	OSL	86.45±1.2/Ka
GK138-4	43.26	OSL	108.73±8.2/Ka

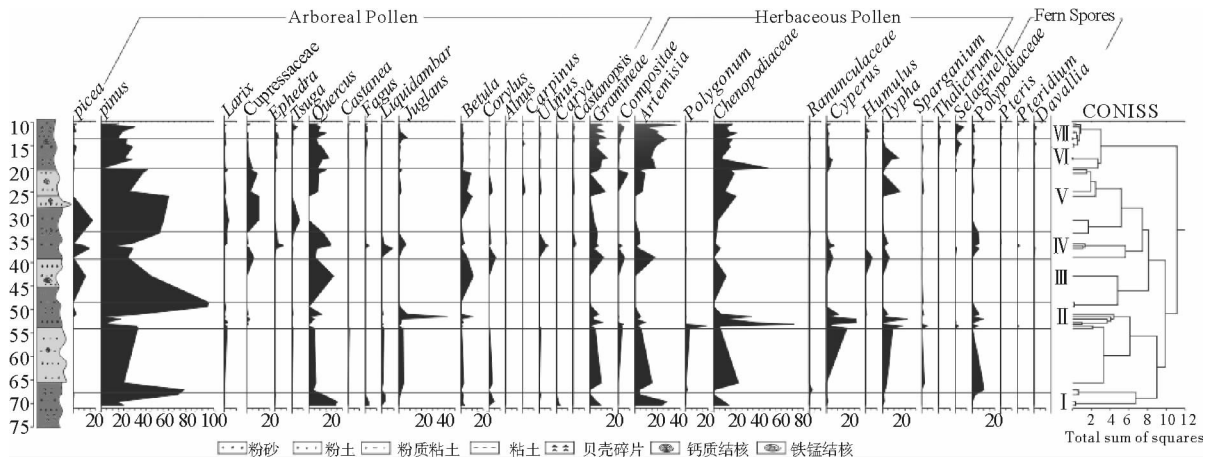


图 2 GK138 孔孢粉图谱

Fig. 2 The sporopollen assemblage composition of GK138 borehole

组合带 I (66.00~70.80 m) Pinus-Quercus-Artemisia-Chenopodiaceae 带:

该组合带样品深度为 66.00~70.80 m,共包含 5 个样品(GK138-75 至 GK138-79),地层岩性主要为棕黄色粉砂岩。该组合带总体以木本植物花粉为主,草本植物花粉含量次之,蕨类植物孢子含量很少。木本植物以松属(*Pinus*)和栎属(*Quercus*)为主。草本植物花粉中以陆生草本植物的花粉含量居多,主要为藜科(*Chenopodiaceae*)、蒿属(*Artemisia*)、禾本科(*Gramineae*),藜蒿比小于 1。

在组合带 I 和组合带 II 之间,有 10 m 多的层位中未发现孢粉样品。

组合带 II (51.34~54.44 m) Chenopodiaceae-Cyperus-Typha 带:

本孢粉带样品为 GK138-51 至 GK138-62 共 12 个样品,样品深度为 51.34~54.44 m,总体以木本植物花粉为主,约占孢粉总数的(37.8%~77.8%),草本植物花粉含量次之,为(28.7%~46.6%),蕨类植物孢子含量(1.8%~20.9%)很少。木本植物以松属(*Pinus*)和栎属(*Quercus*)为主,松属占孢粉总数的 34.3%~74.2%,栎属占孢粉总数的 14.3%~45.7%,其他有少量的胡桃属(*Juglans*)、桦木属(*Betula*)、枫香属(*Liquidambar*)、榛属(*Corylus*)等,以及零星云杉(*Picea*)、落叶松(*Larix*)、麻黄(*Ephedra*)等花粉。草本植物花粉中以陆生草本植物的花粉含量居多,主要为藜科(*Chenopodiaceae*)、蒿属(*Artemisia*)、禾本科(*Gramineae*),可见少量莎草(*Cyperus*)、蓼属(*Polygonum*)、毛茛科(*Ranunculaceae*)、龙胆科杏菜属(*Nymphoides*)。水生植物花粉主要为香蒲属(*Typha*)、黑三棱(*Sparganium*)、眼子菜(*Potamogeton*)。蕨类植物孢子几乎全为水龙骨科(*Polypodiaceae*)孢子,出现有水蕨属(*Ceratopteris*)孢子。

组合带 III (48.85~51.34 m) Pinus-Quercus 带:

本孢粉带采样深度 48.85~51.34 m,此孢粉带中仅有(GK138-40,GK138-51,GK138-53,GK138-54)4 个孢粉样品中见植物花粉及孢子,地层岩性主要为浊黄色粉砂质粘土,可见海相生物碎屑,钙质结核。其中木本植物花粉含量(88.9%~100%)最高,草本植物花粉含量(0~11.1%)次之,蕨类植物孢子含量最低。木本植物花粉中主要组分为松属(*Pinus*)花粉,占全部木本花粉的 50%~96.9%,还可见山毛榉科栎属(*Quercus*)、胡桃属(*Juglans*)等花粉,零星可见云杉(*Picea*)、落叶松(*Larix*)、开裂杉(*Taxodiaceae*)等花粉。草本植物花粉中仅见零星禾本科(*Gramineae*)及藜科(*Chenopodiaceae*)陆生草本植物花粉。仅一个样品中可见少量蕨类植物孢子,包含水龙骨科(*Polypodiaceae*)孢子及紫萁孢(*Osmunda*)孢子。

在组合带 III 和组合带 IV 之间有近 10 m 的层位中未发现孢粉。

组合带 IV (34.11~39.60 m) Pinus-Quercus-Polypodiaceae-Typha 带:

本孢粉带采样深度 34.11~39.60 m,共包含(GK138-26,GK138-29,GK138-30,GK138-31,GK138-33)5 个有效样品,地层岩性主要为棕灰色粉砂夹粉砂质粘土。孢粉总特征为,木本植物花粉(78.5%~65.5%)为主要组分,草本植物花粉含量(13.9%~22.4%)较少,蕨类植物孢子含量(8.6%~6.3%)相对较低。木本植

物花粉中被子植物松属(*Pinus*)、云杉(*Picea*)含量(38.1%~68.5%)较高,具一定量的麻黄(*Ephedra*)、柏科(*Cupressaceae*)、落叶松(*Larix*)等花粉;所含裸子植物的种属较多,栎属(*Quercus*)含量(9.4%~26.3%)较高,胡桃属(*Juglans*)、枫香属(*Liquidambar*)、榆属(*Ulmus*)、桦木属(*Betula*)、榛属(*Corylus*)、青冈属(*Fagus*)、栲属(*Castanopsis*)等花粉均具一定含量,零星可见桤木属(*Alnus*)、椴属(*Fraxinus*)、椴(*Tilia*)、柳(*Salix*)、木兰(*Magnolia*)等花粉。草本植物花粉中陆生草本植物花粉以禾本科(*Gramineae*)、藜科(*Chenopodiaceae*)、蒿属(*Artemisia*)、莎草(*Cyperus*)等花粉为主要成分,水生草本植物花粉中香蒲属(*Typha*)具较高含量(1.8%~5.8%),也可见少量黑三棱(*Sparganium*)花粉。蕨类植物孢子的分布量较高,种属较多,水龙骨科(*Polypodiaceae*)、桫欏孢(*Cyathea*)、卷柏(*Selaginella*)、骨碎补(*Davallia*)、蕨属(*Pteridium*)等孢子均具一定含量。

组合带 V (20.56~34.11 m) *Picea-Pinus-Chenopodiaceae* 带:

该组合带的采样深度为 20.56~34.11 m,在(GK138-15、GK138-19、GK138-20、GK138-24)4个样品中有少量孢粉出现,为孢粉含量最低的孢粉带。总体特征为,木本植物花粉(51.8%~93.1%)占最大优势,草本植物花粉含量(6.9%~36.4%)较少,基本无蕨类植物孢子。木本植物花粉主要以松属(*Pinus*)为主(47.5%~66.7%),栎属(*Quercus*)花粉也具较高含量(6.8%~17.2%),可见零星云杉(*Picea*)、柏科(*Cupressaceae*)、落叶松(*Larix*)、桦木属(*Betula*)等花粉。草本植物花粉数量较少,陆生草本植物花粉主要组分为藜科(*Chenopodiaceae*)、禾本科(*Gramineae*)、蒿属(*Artemisia*)花粉,仅其中一个样品中具香蒲属(*Typha*)及黑三棱(*Sparganium*)等水生草本植物花粉。

组合带 VI (15.65~20.56 m) :*Pinus-Chenopodiaceae-Artemisia-Typha* 孢粉带:

本孢粉带中,采集的孢粉样品为 GK138-11-GK138-14 共 4 个样品,样品深度为 15.65~20.56 m,地层岩性主要为棕灰色粉砂质粘土夹粉砂质粘土。孢粉带中的孢粉含量较之前有所增长。其中草本植物花粉含量与木本植物花粉含量相近,分别为 31.5%~80.3%和 17.5%~66.2%,蕨类植物孢子含量较少(2.2%~3.0%)。草本植物花粉中主要组分为藜科(*Chenopodiaceae*)、蒿属(*Artemisia*),其中藜科含量为 6.5%~47.2%,具一定含量的禾本科(*Gramineae*)、莎草(*Cyperus*),可见毛茛科(*Ranunculaceae*)、葎草(*Humulus*)、菊科(*Compositae*),具较多香蒲属(*Typha*)(1.5%~13.8%)及少量黑三棱(*Sparganium*)等水生植物花粉。木本植物花粉中,松属(*Pinus*)、栎属(*Quercus*)、柏科(*Cupressaceae*)、桦木属(*Betula*)花粉含量较高,云杉(*Picea*)、落叶松(*Larix*)、麻黄(*Ephedra*)、胡桃属(*Juglans*)、榛属(*Corylu*)、鹅耳枥(*Carpinus*)、榆属(*Ulmus*)、栲属(*Castanopsis*)等花粉均可见。蕨类植物孢子含量少,但所具种属较多,水龙骨科(*Polypodiaceae*)、桫欏孢(*Cyathea*)、卷柏(*Selaginella*)少量分布,蕨属(*Pteridium*)、骨碎补(*Davallia*)、希指蕨属(*Schizaea*)、水蕨属(*Ceratopteris*)孢子零星可见。

组合带 VII (10.72~15.65 m) :*Pinus-Artemisia-Quercus* 孢粉带:

本孢粉带中,采集的孢粉样品为 GK138-1-GK138-10 共 10 个样品,仅 GK138-9 样品中未发现孢粉,样品深度为 10.72~15.65 m,地层岩性主要为棕黄色粉砂质粘土和粉砂质粘土互层。在所有孢粉带中孢粉含量最高且种属最多。总特征为,草本植物花粉含量(33.0%~67.4%)最高,木本植物花粉含量(24.1%~54.6%)其次,蕨类植物孢子含量(1.5%~11.4%)最低。陆生草本植物中蒿属(*Artemisia*)含量(10.1%~37.3%)最高,藜科(*Chenopodiaceae*)、禾本科(*Gramineae*)、菊科(*Compositae*)、莎草(*Cyperus*)、葎草(*Humulus*)、唐松草(*Thalictrum*)等花粉均具有较高含量,其他种属的陆生花粉也可见零星分布有毛茛科(*Ranunculaceae*)、百合属(*Lilium*)、龙胆科杏菜(*Nymphoides*)、山萝卜(*Scabiosa*)等。含量最多的水生草本植物花粉为香蒲属(*Typha*),含量可达 1.1%~13.9%,泽泻(*Alisma*)、柳叶菜(*Epilobium*)、狐尾藻属(*Myriophyllum*)均具有一定含量。孢粉带中木本植物花粉种类较多,以松属(*Pinus*)14.3%~28.4%和栎属(*Quercus*)6.2%~17.6%为主要成分,胡桃属(*Juglans*)、桦木属(*Betula*)、云杉(*Picea*)、铁杉(*Tsuga*)、单束松(*Pinus*)、柏科(*Cupressaceae*)、麻黄(*Ephedra*)、青冈属(*Fagus*)等花粉均具有一定含量。蕨类植物孢子卷柏(*Selaginella*)、水龙骨科(*Polypodiaceae*)的孢子含量较高且分布较均匀,骨碎补(*Davallia*)、蕨属(*Pteridium*)、凤尾蕨(*Pteris*)、桫欏孢(*Cyathea*)、紫萁孢(*Osmunda*)等孢子数量也较多。

4 古植被更替与古气候演变

孢粉组合能较好地反映一个地区的古植被及古环境^[15]。花粉具有不同的形态特征,因而沉降速度也会有所不同。草本植物花粉大多呈球形,不具气囊从而具有较快的沉降速度,而松属花粉具气囊且体型一般较大,故沉降速度较慢,因此在沉积物中,可以通过草本植物花粉和松属花粉含量的对比分析海平面变化。一般蒿属、藜科、禾本科等草本花粉在近岸沉积物中含量较多,松属花粉离岸越近,含量越少^[20]。根据沉积物样品中所发现的孢粉组合,再造当时的古植被,通过与现在植被相对比,可以推断当时沉积时的气候条件。因此,根据 GK138 钻孔中划分的 7 个孢粉组合带的垂直变化特征,可以推测莱州湾沿岸地区各孢粉带所对应 7 个阶段的古植被演替及古气候变化情况(表 2)。

第一阶段(组合 I): 针叶、落叶阔叶混交林

本阶段植被类型主要为栎属和松属,还有部分的蒿属、藜科、禾本科植物,藜蒿比小于 1,反映了较为温凉干燥的气候特征,应属于冰期。

第二阶段(组合 II): 针叶、落叶阔叶混交林—草原

本阶段植被类型主要为松属、栎属,其中落叶阔叶属种较多,胡桃属、桦木属、枫香属、榛属、榆属、青冈属等。草本植物主要为禾本科、蒿属、藜科,其中蒿的含量多于藜。此孢粉带中草本植物花粉与松属花粉的比值 H/P 为 1.87,反映此时钻孔离岸较近,即海平面处于较高阶段,气候温暖^[18]。见生长于潮湿环境中的香蒲属、黑三棱、眼子菜等水生植物,说明存在湖沼或低洼积水处,蕨类孢子以水龙骨科为主,此孢粉带反映当时植被为针叶落叶阔叶混交林—草原,气候温暖湿润,处于间冰期。

第三阶段(组合 III): 针叶林

本阶段中孢粉含量明显减少,植被的数量及种属种类大幅下降,主要组分为松属、栎属,及少量云杉、落叶松等,仅含少量草本旱生禾木科和藜科花粉,零星水生水龙骨科孢子,紫萁孢子等。藻类含量极低。植被稀少,为针叶林,且大部分时期无植被分布,反映了当时气候寒冷干燥,海面下降,陆架裸露,为冰期。

第四阶段(组合 IV): 含常绿阔叶的针叶、落叶阔叶混交林

本阶段植被主要以松属、栎属为主,其他常绿阔叶以及落叶阔叶属种如桦木属、枫香属、胡桃树、桤木属、麻黄属、榆属、栲属等均较频繁出现。草本植物禾本科、藜科、蒿属含量不断减少,体现气候有转为湿润的趋势,莎草及水生植物香蒲、黑三棱等分布较为均匀,表明具潮湿湖沼等水域。蕨类以水龙骨科为主,并具桫欏孢、骨碎补、蕨属及喜温的石松孢,反映气候温暖湿润,处于间冰期。

第五阶段(组合 V): 含云杉的针叶林

本阶段以耐寒的云杉、松属为主,气候趋于寒冷,并具落叶松、柏科、铁杉等树种,草本植物中藜科、禾本科占主要优势,以及少量蒿属、菊科,显示此阶段气候干燥,蕨类孢子极少。仅见少量生长于淡水环境的环纹藻,表明此时为海退阶段的低海平面时期,为低洼湖沼等淡水环境,海岸部分地区出露成陆,为大量针叶林的生长提供环境,气候寒冷干燥,应处于冰期。

第六阶段(组合 VI): 针叶落叶阔叶混交林

本阶段气温开始逐渐回升,植被种属及数量大幅增长,以松属、栎属、柏科为主,出现少量桦木属、麻黄、胡桃属、椴属、落叶松等,草本植物中藜科、蒿属及禾木科数量较多,藜蒿比值 C/A 在本阶段开始时较高,为 2.6~3.8,随后降低至 0.47~0.52,即气候由干旱逐渐转变为潮湿。水生植物开始生长,具有一定的莎草、

表 2 各阶段古植被和古气候特征

Tab. 2 Characteristics of paleovegetation and paleoclimate

	古植被特征	古气候特征
第一阶段(组合 I)	针叶、落叶阔叶混交林	温凉干燥
第二阶段(组合 II)	针叶、落叶阔叶混交林-草原	温暖湿润
第三阶段(组合 III)	针叶林	寒冷干燥
第四阶段(组合 IV)	含常绿阔叶的针叶、落叶阔叶混交林	温暖湿润
第五阶段(组合 V)	含云杉的针叶林	寒冷干燥
第六阶段(组合 VI)	针叶落叶阔叶混交林	温凉略湿
第七阶段(组合 VII)	含大量常绿阔叶的针叶落叶阔叶混交林	温暖潮湿

香蒲属、黑三棱等,均指示了气候逐渐向潮湿转变。海生藻类刺球藻、刺甲藻大量出现,体现了此阶段气候由冰期的寒冷干燥逐渐开始转为暖湿,海平面开始逐步上升,整体气候温凉略湿,为冰期晚期。

第七阶段(组合Ⅶ):含大量常绿阔叶的针叶落叶阔叶混交林

此阶段最大特点为常绿阔叶树的花粉量及种属显著增加,以松属、栎属、蒿属、藜科、禾本科为主,具常绿阔叶及落叶阔叶树种如桑科、柏科、麻黄、铁杉、青冈属、桦木属、桤木属、鹅耳枥、栲属、胡桃属等,同时林中混有栗属、榆属、枫杨属、椴属、柳属、山毛榉、山核桃等。草本植物中,莎草、葎草、唐松草、菊科均较多分布,可见香蒲属、黑三棱、泽泻等水生植物,它们生长于低凹的积水处,较多的喜湿植物,说明了此阶段气候潮湿。蕨类孢子主要以卷柏及水龙骨科为主,凤尾蕨、骨碎补、石松孢等也具少量分布,此阶段气温持续上升,处于温暖潮湿气候,为高海平面时期,植被茂盛,种类繁多,处于冰后期。

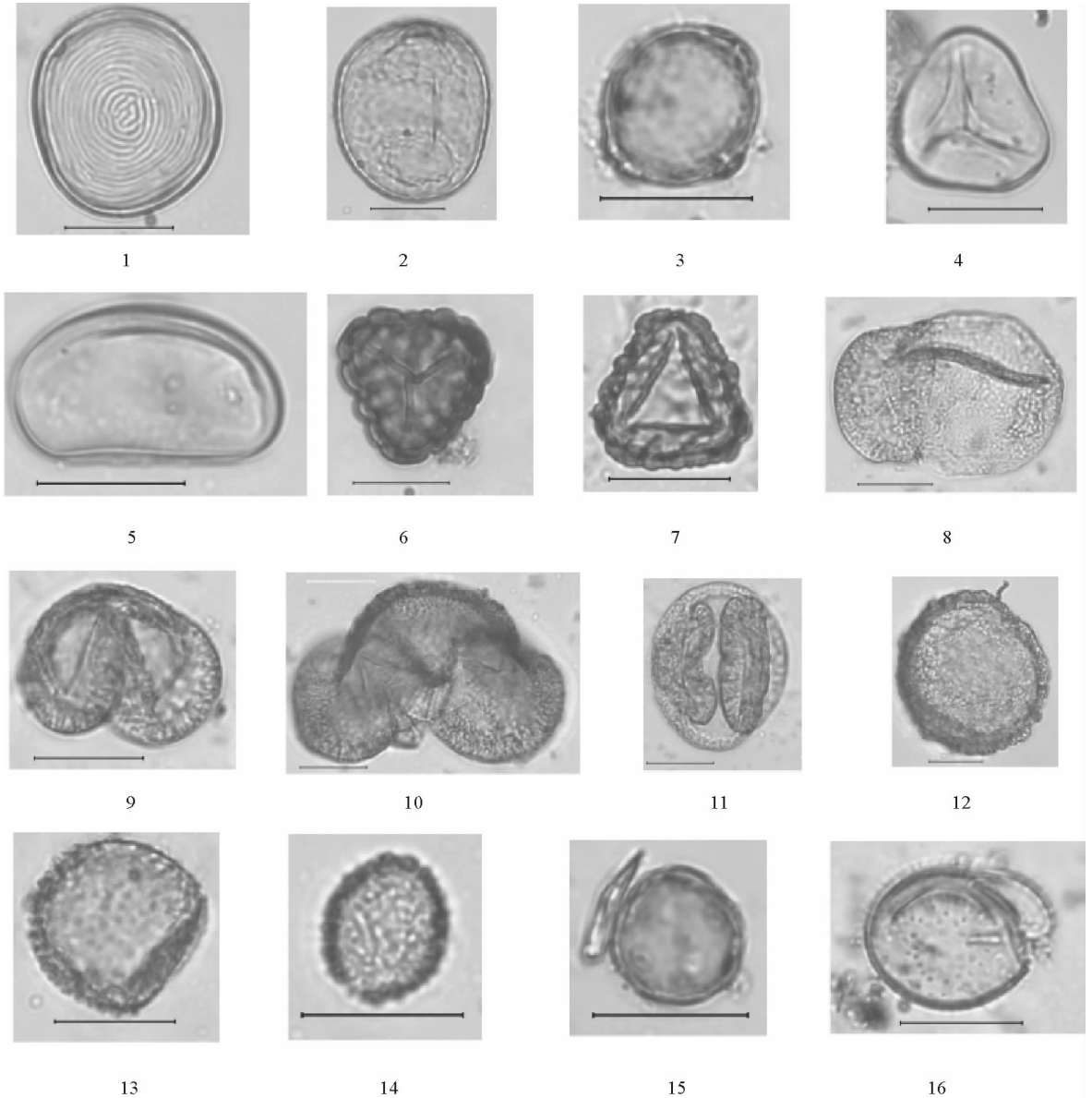


图3 GK138 钻孔主要孢粉属种照片(I)

Fig. 3 Main sporopollen species of GK138 borehole

1—环纹藻(Concentricystes);2—藻类(Alage);3—狐尾藻(Myriophyllum);4—蕨属(Pteridium);5—水龙骨科(Polypodium);6—卷柏(Selaginella);7—凤尾蕨(Pteris);8—云杉(Picea);9—松(Pinus);10—冷杉(Abies);11—单束松(Pinus);12—铁杉(Tsuga);13—水鳖(Hydrocharis);14—眼子菜(Potamogeton);15—唐松草(Thalictrum);16—莲属(Nelumbo). 比例尺:黑色线段均代表 20 μm

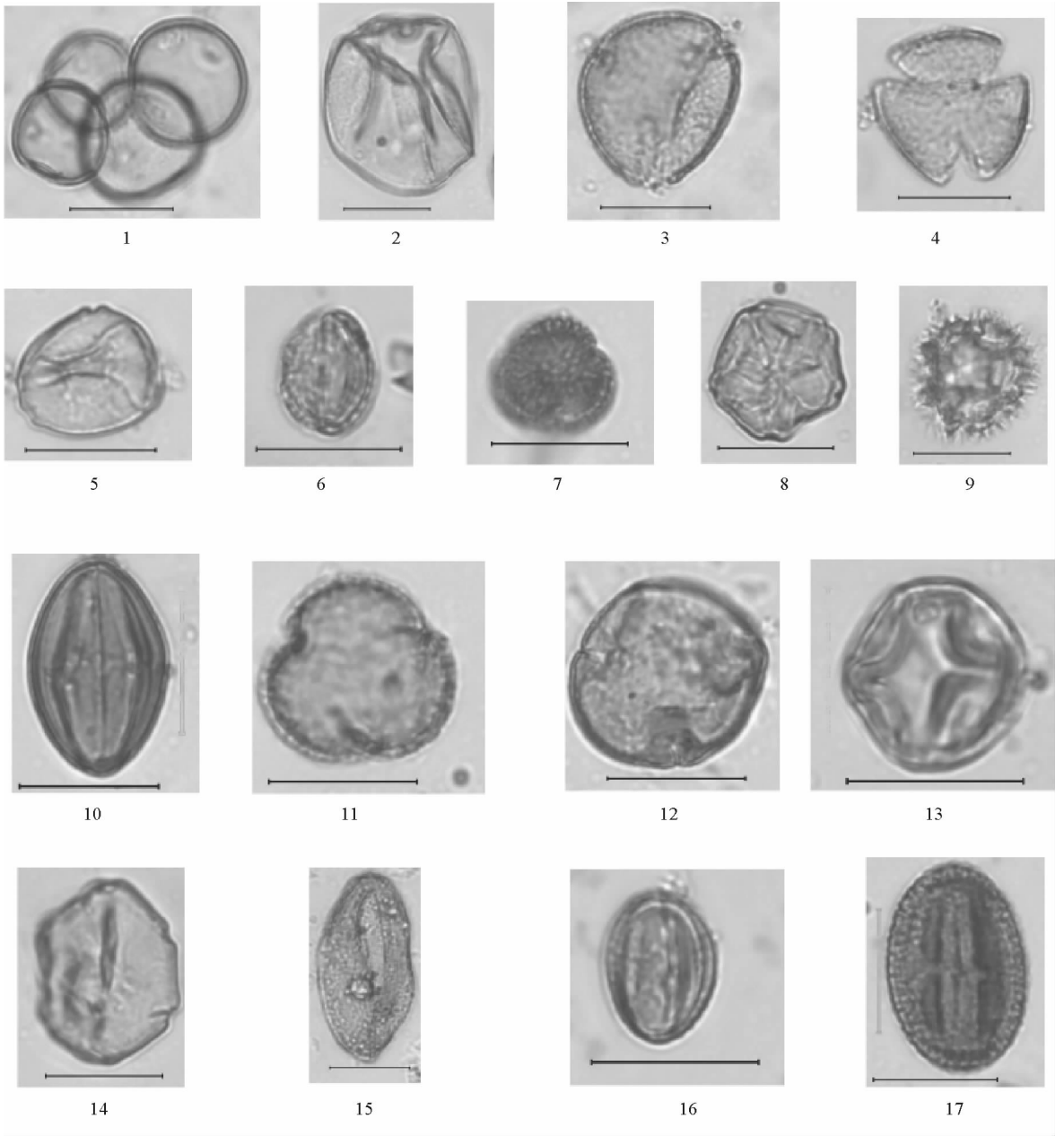


图 4 GK138 钻孔主要孢粉照片 (II)

Fig. 4 Main sporopollen species of GK138 borehole

1—香蒲 (*Typha*); 2—禾本科 (*Gramineae*); 3, 4—毛茛 (*Ranunculus*); 5—鹅耳枥 (*Carpinus*);
 6, 7—柳 (*Salix*); 8—桤木 (*Alnus*); 9—菊科 (*Compositae*); 10—漆树 (*Rhus*);
 11—栎 (*Quercus*); 12—椴 (*Tilia*); 13—栗 (*Castanea*); 14—胡桃 (*Juglans*);
 15—百合 (*Liliaceae*); 16—青冈 (*Fagus*); 17—蓼 (*Polygonum*). 比例尺: 黑色线段均代表 20 μm

5 结论

研究区孢粉组合带特征呈喜冷和喜暖植物群落的相互演替,反映了莱州湾西部沿海地区晚更新世至全新世以来的古气候冷暖交替变化。

将分析结果与之前研究较为详细的第四纪孢粉、有孔虫等资料进行对比^[21-26],此孢粉带所反映的植被种属演化及气候冷暖交替均与全球变化基本一致。自更新世以来至早全新世共出现 3 次暖湿期和 2 次冷干

期。而到了早全新世,气候开始由冰期的寒冷干燥转为温暖湿润,出现大量藻类,淡水的环纹藻及海生的刺球藻、刺甲藻,并具喜湿的莎草及水生的香蒲属、黑三棱,即植被演变情况由第五阶段的含云杉的针叶林演变为第六阶段的针叶落叶阔叶混交林。

因此,GK138 钻孔孢粉组合特征反映的莱州湾晚更新世以来的气候变化趋势为温凉干燥—温暖湿润—寒冷干燥—温暖湿润—寒冷干燥—温凉略湿—温暖湿润,与全球气候变化一致。

参考文献:

- [1]王开发,徐馨.第四纪孢粉学[M].贵阳:贵州人民出版社,1987:1-48.
- [2]LOPATINA D A,ZANINA O G. Subrecent spore-pollen spectra from the Lower Kolyma River basin and their importance for the reconstruction of the Quaternary paleogeography of the region[J]. Stratigraphy & Geological Correlation,2016,24(2):203-211.
- [3]MATTHEW S,MCGLONE. A late Quaternary pollen record from marine core P69,southeastern North Island,New Zealand [J]. New Zealand Journal of Geology & Geophysics,2001,44(1):69-77.
- [4]李杰,杨士雄,梅西,等.中国陆架海区第四纪孢粉学研究进展[J].海洋地质前沿,2015,31(2):42-51.
LI Jie,YANG Shixiong,MEI Xi,et al. Progress of Quaternary palynology researches in Chinese shelf areas[J]. Marine Geology Frontiers,2015,31(2):42-51.
- [5]刘恩峰,张祖陆,沈吉.莱州湾南岸滨海平原晚更新世以来古环境演变的孢粉记录[J].古地理学报,2004,6(1):78-84.
LIU Enfeng,ZHANG Zulu,SHEN Ji. Spore-pollen records of environmental change on south coast plain of Laizhou bay since the Late Pleistocene[J]. Journal of Palaeogeography,2004,6(1):78-84.
- [6]陈金霞,石学法,乔淑卿.渤海地区全新世孢粉序列及古环境演化[J].海洋学报,2012,34(3):99-105.
CHEN Jinxia,SHI Xuefa,QIAO Shuqing. Holocene palynological sequences and palaeoenvironmental changes in the Bohai sea area[J]. Acta Oceanologica Sinica,2012,34(3):99-105.
- [7]WANG Z C,DENG Q D,DU X S,et al. Active fault survey on the Tanlu fault zone in Laizhou bay[J]. Acta Seismologica Sinica (English Edition),2006,19(5):530-541.
- [8]李守军,崔肖辉,徐华,等.渤海莱州湾晚第四纪底栖有孔虫分布特征及古环境意义[J].地质学报,2017,91(2):287-301.
LI Shoujun,CUI Xiaohui,XU Hua,et al. Distribution characteristics of Benthic foraminifera of the Late Quaternary in Laizhou bay,Bohai sea,China and its palaeoenvironmental significance[J]. Acta Geologica Sinica,2017,91(2):287-301.
- [9]吴国强,吕修祥,周心怀,等.新生代郟庐断裂活动在莱州湾地区的响应[J].石油实验地质,2013,35(4):407-413.
WU Guoqiang,LÜ Xiuxiang,ZHOU Xinhuai,et al. Response of cenozoic Tan-Lu fault activity in Laizhou bay area,Bohai sea[J]. Petroleum Geology and Experiment,2013,35(4):407-413.
- [10]黄雷,王应斌,武强,等.渤海湾盆地莱州湾凹陷新生代盆地演化[J].地质学报,2012,86(6):867-876.
HUANG Lei,WANG Yingbin,WU Qiang,et al. Cenozoic tectonic evolution of the Laizhouwan sag in Bohai bay basin[J]. Acta Geologica Sinica,2012,86(6):867-876.
- [11]YANG Q,WANG R,XU S,et al. Hydrogeochemical and stable isotopic characteristics of brine in Laizhou bay[J]. Geological Review,2016,62(2):343-352.
- [12]赵松龄,杨光复,苍树溪,等.关于渤海湾西岸海相地层与海岸线问题[J].海洋与湖沼,1978,9(1):15-25.
ZHAO Songling,YANG Guangfu,CANG Shuxi,et al. On the marine stratigraphy and coastlines of the western coast of the gulf of Bohai[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica,1978,9(1):15-25.
- [13]李守军,崔肖辉,徐华,等.莱州湾晚第四纪介形虫分布特征与沉积环境演化[J].第四纪研究,2016,36(6):1475-1488.
LI Shoujun,CUI Xiaohui,XU Hua,et al. Distribution characteristics of ostracods and evolution of the sedimentary environment of the Late Quaternary in the Laizhou bay,Bohai sea[J]. Quaternary Sciences,2016,36(6):1475-1488.
- [14]李小强,杜乃秋.第四纪花粉的无酸碱分析法[J].植物生态学报(英文版),1999,41(7):782-784.
LI Xiaoqiang,DU Naiqiu. The acid alkali free analysis of quaternary pollen[J]. Acta Botanica Sinica,1999,41(7):782-784.
- [15]王开发,王宪曾.孢粉学概论[M].北京:北京大学出版社,1983:1-6.
- [16]唐领余,毛礼米,舒军武,等.中国第四纪孢粉图鉴[M].北京:科学出版社,2016:1-400.
- [17]宋之琛,尚玉珂.中国孢粉化石(第二卷)[M].北京:科学出版社,2000:10-200.
- [18]王伏雄,钱南芬,张玉龙,等.中国植物花粉形态[M].北京:科学出版社,1995:11-190.
- [19]XU Q H,LI Y C,YANG X L,et al. Quantitative relationship between pollen and vegetation in northern China[J]. Science

in China (Series D; Earth Sciences), 2007(4): 582-599.

- [20] 蔡庆芳, 刘冬雁, 贾培蒙, 等. 孢粉指标在我国海岸带古气候、古海面变化中的应用现状[J]. 地质学刊, 2015, 39(4): 621-626.
- CAI Qingfang, LIU Dongyan, JIA Peimeng, et al. Application status of pollen proxies to paleoclimate and paleo sea-level changes in Chinese coastal zone[J]. Journal of Geology, 2015, 39(4): 621-626.
- [21] 赵秀丽, 章磊, 张祥玉, 等. 山东省潍坊北部第四系有孔虫及古环境意义[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2017, 36(1): 1-10.
- ZHAO Xiuli, ZHANG Lei, ZHANG Xiangyu, et al. The Quaternary foraminifera and the paleoenvironments in Northern Weifang of Shandong[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science), 2017, 36(1): 1-10.
- [22] YAO J, YU H, XU X, et al. Paleoenvironmental changes during the Late Quaternary as inferred from foraminifera assemblages in the Laizhou Bay[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2014, 33(10): 10-18.
- [23] LIU D, LIU L, DI B, et al. Paleoenvironmental analyses of surface sediments from the Bohai sea, China, using diatoms and silicoflagellates[J]. Marine Micropaleontology, 2015, 114(114): 46-54.
- [24] 李守军, 陈宇慧, 赵秀丽, 等. 潍坊北部晚第四纪介形类与环境演变研究[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2016, 35(1): 1-11.
- LI Shoujun, CHEN Yuhui, ZHAO Xiuli, et al. Late Quaternary ostracoda and environmental evolution in the North Weifang [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology(Natural Science) , 2016, 35(1): 1-11.
- [25] YAO Z, SHI X, LI X, et al. Sedimentary environment and paleo-tidal evolution of the eastern Bohai sea, China since the last glaciation[J]. Quaternary International, 2016, 440(1): 129-138.
- [26] YANG S, LI J, LIU K, et al. Pollen-spore distribution in the surface sediments of the western Bohai sea, China[J]. Quaternary International, 2016, 392: 213-223.

(责任编辑:高丽华)

(上接第 81 页)

- [9] 赵靖舟, 吴少波, 武富礼. 论低渗透储层的分类与评价标准: 以鄂尔多斯盆地为例[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(3): 28-33.
- ZHAO Jingzhou, WU Shaobo, WU Fuli. The classification and evaluation criterion of low permeability reservoir: An example from Ordos Basin[J]. Lithologic Reservoirs, 2007, 19(3): 28-33.
- [10] 龙一慧, 杨斌, 朱冉, 等. BP 神经网络在碳酸盐岩储层参数测井解释中的应用[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2015, 34(6): 32-39.
- LONG Yihui, YANG Bin, ZHU Ran, et al. Logging interpretation of carbonate reservoir parameters by using the neural network[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2015, 34(6): 32-39.
- [11] 王贵文, 郭荣坤. 测井地质学[M]. 北京: 石油工业出版社.
- [12] 宋子齐, 程国建, 杨立雷, 等. 利用测井资料精细评价特低渗透储层的方法[J]. 石油实验地质, 2006, 28(6): 595-599.
- SONG Ziqi, CHENG Guojian, YANG Lilei, et al. A method for fine evaluation in extra-low permeability reservoirs logging data[J]. Petroleum Geology & Experiment, 2006, 28(6): 595-599.
- [13] 徐延勇, 邹冠贵, 曹文彦, 等. 测井曲线标准化方法对比研究及应用[J]. 中国煤炭地质, 2013, 25(1): 53-57.
- XU Yanyong, ZOU Guangui, CAO Wenyan, et al. Comparative study and application of logging standardization methods [J]. Coal Geology of China, 2013, 25(1): 53-57.
- [14] 刘佳. L 区块测井曲线的标准化研究[J]. 国外测井技术, 2015, 208(4): 15-18.
- LIU Jia. Study on the logging curve standardization in L block[J]. World Well Logging Technology, 2015, 208(4): 15-18.
- [15] 高树芳, 范玲, 梁晓宇, 等. 测井曲线标准化方法及其对测井解释结果的影响[J]. 国外测井技术, 2008, 23(2): 17-21.
- GAO Shufang, FAN Ling, LIANG Xiaoyu, et al. Log normalization and effect on well logging interpretation[J]. World Well Logging Technology, 2008, 23(2): 17-21.
- [16] 陈焘. 测井曲线标准化方法研究[J]. 当代化工, 2015, 44(2): 328-330.
- CHEN Xi. Standardization of well logging curve metgods[J]. Contemporary Chemical Industry, 2015, 44(2): 328-330.

(责任编辑:李 磊)