# 基于聚类分析的莱州湾晚第四纪介形虫群落结构研究

11

李守军1,崔肖辉1,张祥玉1,刘宝梅1,徐 华2,张 卓2

(1. 山东科技大学 地球科学与工程学院,山东 青岛 266590; 2. 山东省地质调查院,山东 济南 250013)

摘 要:为深入探讨渤海菜州湾晚第四纪介形虫的群落结构多样性特征,通过对渤海菜州湾 GK138 孔、GK111 孔、GK95 孔、GK59 孔、GK74 孔、GK79 孔和 GK89 孔中介形虫化石样本的实验处理和数据统计,结合 Q 型聚类及主成分分析对钻孔中介形虫的群落结构进行属种数据分析。结果显示,研究区内介形虫群落可以划分出 3 组代表不同沉积环境的化石组合,第 I 化石组合带主要以 Sino pontocythere subja ponica、Loxoconcha ocellata 和 Limnocythere dectyophora 等为优势种,沉积环境为潮上带-潮间带环境;第  $\parallel$  化石组合主要以 Bicornucythere bisanensis、Pistocythere is brady formis 和 Neomonoceratina dongtaiensis 等海相种组合为优势种,沉积环境潮间带至潮下带环境;第  $\parallel$  化石组合带主要以 Candoniella albicans 为优势种,沉积环境为河流浸滩至潮上带环境。

关键词:莱州湾;介形虫;晚第四纪;群落结构;聚类分析

中图分类号:P52

第36 卷 第2期

2017年4月

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2017)02-0011-08

# Clustering Analysis of Late Quaternary Ostracod Community Structure in Laizhou Bay

LI Shoujun<sup>1</sup>, CUI Xiaohui<sup>1</sup>, ZHANG Xiangyu<sup>1</sup>, LIU Baomei<sup>1</sup>, XU Hua<sup>2</sup>, ZHANG Zhuo<sup>2</sup>
(1. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;
2. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan, Shandong 250013, China)

Abstract: To make an in-depth exploration into the community structure characteristics of ostracods in Laizhou bay during the late Quaternary, samples were taken from boreholes GK138, GK111, GK95, GK59, GK74, GK79 and GK89 for experiment treatment and data statistics. Genus-species analyses were made of the community structure characteristics of ostracods in these boreholes by using Q-mode clustering analysis and principal component analysis. The results show that the ostracod communities in the study areas can be categorized into three microfossil assemblages representing different sedimentary environments. Assemblage I, with Sinopontocythere subjaponica, Loxoconcha ocellata and Limnocythere dectyophora as the dominant species, represents the supratidal-intertidal sedimentary environment; Assemblage II, with Bicornucythere bisanensis, Pistocythereis bradyformis and Neomonoceratina dongtaiensis as the dominant species, represents the intertidal-subtidal sedimentary environment; and Assemblage III, with Ammonia beccarii as the dominant species, represents the flood plain or the supratidal sedimentary environment.

Key words: Laizhou bay; ostracods; late Quaternary; community structure; clustering analysis

介形虫的生活领域十分广泛,对环境和气候条件的变化反应非常敏感,从数千米的深海到沼泽等环境都有分布,不同环境中介形虫属种的生态特征亦不相同,其区域性分带特征可用作古海岸线、古盐度及水深等

收稿日期:2016-05-18

基金项目:中国地质调查局"山东半岛蓝色经济区地质环境调查评价"项目(1212011220001);山东科技大学研究生科技创新基金项目(YC150320)

作者简介:李守军(1962—),男,山东临朐人,教授,博士生导师,主要从事古生物地层学和油气地质学方面的研究工作,本文通信作者. E-mail;lishoujun@126.com

的变化标志<sup>[1-2]</sup>。聚类分析是对样品或变量进行分类的一种多元分析方法,在古生物地理学及群落古生态研究中得到了较多应用。沈树忠等<sup>[3]</sup>利用聚类分析的方法识别出二叠纪早期腕足类的 3 个生物域和 6~7 个生物区。谢俊芳等<sup>[4]</sup>通过聚类分析和非度量性多元标度变换将二叠纪全球 381 个腕足动物属分布数据划分为 4 个腕足动物生物域和 9 个生物区。

第四纪晚期以来,受到全球气候变化、海平面升降及区域地质构造的影响,渤海莱州湾地区气候变化频繁,海陆交互相地层较发育,沉积物记录了丰富的环境演化信息 [5-6]。由于介形虫的古生态学可以提供重要的环境变化信息 [7],因此根据渤海莱州湾 GK138 孔、GK111 孔、GK95 孔、GK59 孔、GK74 孔、GK79 孔和GK89 钻孔中介形虫丰度、分异度和 Fisher- $\alpha$  等指数的变化特征,利用聚类分析方法对介形虫垂向分布进行研究,分析不同组合带中介形虫属种的变化特征,并结合岩性进一步探讨不同组合带中沉积环境的演化。

# 1 研究区概况

研究区地处莱州湾南岸,大地构造属济阳坳陷和沂沭断裂带<sup>[8]</sup>。自晚第四纪以来,我国渤海地区经历了 多次海陆变迁,构造运动呈间歇性持续坳陷沉降,形成了海相沉积和陆相沉积的交替地层<sup>[5,9]</sup>。

本研究所选的 GK138 孔、GK111 孔、GK95 孔、GK59 孔、GK74 孔、GK79 孔和 GK89 孔位于渤海莱州湾滨海平原海岸(图 1),是由鲁中山地北麓诸河流冲积形成的广阔平原,属海陆交互作用区,沉积速率较快,有利于介形虫壳体的保存,因此可详细记录海陆环境变化信息[10]。

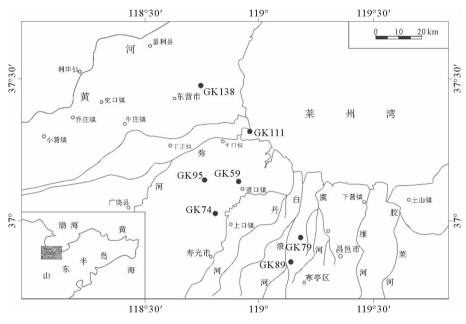


图 1 研究区及钻孔位置

Fig. 1 Map showing the location of the study area and the boreholes

# 2 研究材料及化石属种

#### 2.1 实验方法

实验样品取自研究区 GK138 孔、GK111 孔、GK95 孔、GK59 孔、GK74 孔、GK79 孔和 GK89 钻孔,样品间隔为  $0.2\sim0.8$  m,采用钻孔号加取样顺序的编码方式,共获得 447 个样品,其中,GK95 钻孔取样 77 个、GK111 钻孔取样 79 个、GK138 钻孔取样 99 个。所有样品按照标准的微体化石分析方法处理[9-10]:首先,将样品放入 50 ℃的烤箱内进行充分干燥,然后称取 20 g 干样,用自来水置于烧杯中浸泡  $2\sim3$  天,对于分散不好的样品加入几滴浓度为 10% 的  $H_2O_2$  溶液浸泡使其充分分散;等待样品浸泡充分散开后,采用孔径为 0.150 mm(100 目)及 0.063 mm(250 目)的标准筛叠合对样品进行冲洗;最后,收集两个网筛中的剩余样品

置于烘箱内烘干以备镜下鉴定。烘干后的样品在双目显微镜下进行属种鉴定,鉴定方法和步骤参考文献 [10-15]。对于部分介形虫含量丰富的沉积物样品,采取缩分法进行缩分,一般缩分至样品中有孔虫个数不少于 150 枚,对于介形虫含量的样品则统计全样微体化石。

#### 2.2 化石属种鉴定

本次研究共鉴定出介形虫 16 属 28 种,其中,GK138 孔 99 个岩心样品共发现介形虫壳瓣 1 486 枚,经过鉴定海相类 1 052 瓣,陆相类 434 瓣,由于样品中化石破碎较为严重,介形虫丰度最高为 196 瓣,多数为  $10\sim30$  瓣,简单分异度最高为 8 种;GK111 孔 79 个样品中共分析出 1 053 枚介形虫壳瓣,经鉴定海相类 812 瓣,陆相类 241 瓣,介形类丰度最高为 192 瓣,多数为  $5\sim20$  瓣,简单分异度最高为 10 种,多数为  $2\sim6$  种;GK95 孔 77 个样品中共发现 1 207 枚介形类壳瓣,经鉴定海相类 893 瓣,陆相类 314 瓣,介形类丰度最高为 186 瓣,多数为  $5\sim30$  瓣,简单分异度最高为 7 种,多数为  $3\sim6$  种;GK59 孔、GK74 孔、GK79 孔和 GK89 孔中介形虫的分析结果详见文献[13]。

在属种鉴定结果中,海相介形虫属种占有绝对优势,主要有东台新单角介 Neomonoceratina dongtaiensis、布氏形纯艳花介 Pistocytheteis Brady formis、腹结细花介 Leptocythere ventriclivosa、布氏纯艳花介 Pistocytheteis bradyi、近日本中华海花介 Sinopontocythere subjaponica、网纹半美花介 Hemicytheridea reticulata、美山双角花介 Bicornucythere bisanensis 和压印中华美花介 Sinocytheridea impreessa 等;其中,生活在水体较深的介形虫有眼点弯贝介 Loxoconcha ocellata、网纹豆艳花介 Leguminocythreis reticulata,而日本穆赛介 Munseyella japonica 等属种主要分布在水深 20~50 m 的浅水区;淡水介形虫主要有纯净小玻璃介 Candoniella albicans、粗糙土星介 Ilyocypris salebrosa 和布氏土星介 Ilyocyprisbradyi 等属种。

# 3 数据分析与介形虫化石组合特征

实验样品中的介形虫属种鉴定统计后,运用 PAleontological Statistics 3.0(PAST 3.0)软件对属种数据进行 Q型聚类分析和主成分分析<sup>[16-17]</sup>,并进一步根据分析结果探讨介形虫组合的环境意义。

#### 3.1 Q型聚类分析原理及实验结果

聚类分析是一种逐级归类的方法,主要思想是根据一定的相似性指标,按照研究对象的相似程度进行合理地归并和分类。能根据样品的多观测指标计算样品之间的相似程度,把相似的样品归为一类,同时把关系密切的归为一个小分类单位,关系不密切的归到一个大分类单位,把所有样品归类完毕后,形成一个由大到小的分类系统[17]。Q型聚类分析中样品的相似程度用相似系数、距离系数表示。

距离系数定义为:如果把在m个变量上进行观测的N个样品看成m维空间的N个点,任意两样品点 $x_i$ 与 $x_k$ 之间的相似程度可用m维空间两点间的距离表示,即

$$d_{jk} = \sqrt{\left[\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} (x_{ij} - x_{ik})^{2}\right]};$$
 (1)

其中, $x_i$ ,为样品i的第i个特征参数变量, $x_k$ 为样品k的第i个特征参数变量。

相似系数描述样品之间的相似程度,把每个样品看作m维度空间的向量,两样品 $x_j$ 与 $x_k$ 的相似程度定义为两向量夹角的余弦,即

$$\cos\theta_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^{m} x_{ij} \cdot x_{ik}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^{2} \cdot \sum_{i=1}^{m} x_{ik}^{2}}}$$
 (2)

根据式(2)对所有样品两两求相似系数,可得到相似矩阵,该矩阵为主对角线元素为 1 的对称矩阵,样品 j 与样品 k 越相似,相似系数越趋近于 1,反之则趋于  $0^{[17]}$  。

综合考虑Q型聚类分析方法的数理功能及其方法的优越性,本次分析选取研究区内介形虫百分含量超过2%的样品,剔除只在个别样品中出现的稀有种,并将环境指示意义相近的属种进行合并。对于筛选后的数据利用Past3软件进行Q型聚类分析[16](图2),聚类分析采用相关系数距离作为判别距离。

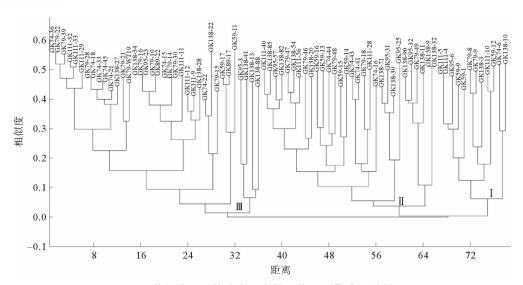


图 2 莱州湾7口钻孔介形虫样品的Q型聚类系统树图

Fig. 2 Dendrogram of Q-mode clustering analysis of the ostracod samples from seven boreholes in Laizhou Bay

通过图 2 可以看出,研究区 GK138 孔、GK111 孔、GK95 孔、GK59 孔、GK74 孔、GK79 孔和 GK89 钻孔的岩心样品可以分为 I、II 和 III 3 类。

#### 3.2 主成分分析原理及实验结果

由于 447 个岩心样品中包含数量不等的介形虫属种数据,因此造成介形虫群落结构分析过程中的维数灾难,导致过多变量无法在处理和分析中发挥作用,大量属种数据信息反而成为分析和解决问题的障碍。为解决这一难题,采用具有数据压缩和特征信息提取的主成分分析法,将多个相关的变量转化为少数几个相互独立的变量,减少数据的冗余,使得数据在一个低维的特征空间被处理,同时保持原始数据的绝大部分信息[18]。

设有 N 个样本,每个样本有 n 个判别指标,将判别指标原始数据写成矩阵  $\mathbf{X} = (x_{ij})_{N \times n}$  (其中  $x_{ij}$  为第 i 个指标第 j 个样本的原始数据),主成分分析步骤<sup>[18]</sup>如下:

- 1) 不同样品中介形虫属种数据的标准化,经过原始数据标准化后的数据仍记为 X。
- 2) 建立介形虫群落结构判别指标之间的相关系数矩阵  $\mathbf{R}, \mathbf{R} = \mathbf{X}\mathbf{X}'(N-1)^{-1}$ 。
- 3) 计算 R 的特征值和特征值贡献率。
- 4) 计算主成分累计贡献率 e,确定主成分个数 m 的值,累计贡献率计算公式为:

$$e = \frac{\sum_{k=1}^{m} \lambda_k}{\sum_{i=1}^{n} \lambda_i} . \tag{3}$$

式中, $\lambda$  为各主成分对应的特征值,k 为选定的主成分数,i 为全部主成分数。

5)选取大于 85%的累计贡献率确定 *m* 的取值,建立主成分模型。

为进一步分析研究区介形虫群落结构和沉积环境之间的关系,按照主成分分析的步骤,利用 PAST 3.0 软件,对聚类分析中的实验样本数据进行主成分分析,得到各成分碎石图(图 3)。

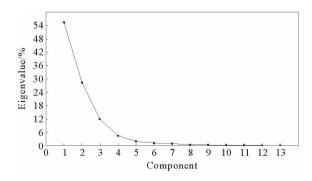


图 3 莱州湾 7 口钻孔介形虫样品的主成分碎石图

Fig. 3 Principal components gravel map of the ostracod samples from seven boreholes in Laizhou Bay

通过碎石图中各主成分信息量的分布规律及累计贡献率,选取前3个主成分时,选取的主成分数据包含了原始数据88.08%的信息量(表1),基本保留了原始数据变量反映的信息。

#### 3.3 介形虫组合特征及环境意义

为了进一步分析研究区介形虫群落结构和沉积环境 之间的关系,结合Q型聚类结果与主成分分析结果,将 研究区内的介形虫群落结构划分为3个化石组合带时, 能够较好地反映出沉积环境演化过程。

第  $\blacksquare$  介形虫化石组合特征:主要以 Bicornucythere bisanensis、Pistocythereis brady formis Neomonoceratina dongtaiensis、Sinocytheridea impreessa 和 Sinopontocythere subjaponica 等海相种组合为优势种(表 3)。主成分分析结果表明该组合主要受到 Pistocythereis brady formis、Neomonoceratina dongtaiensis、Bicornucythere bisanensis 和 Sinopontocythere subjaponica 等海相种的影响较大(图 4~5)。介形虫简单分异度介于 2~8,丰度主要介于 15~126 瓣。该组合海相种介形虫占有绝对优势,综合介形虫的丰度和分异度分析,显示该组合中介形虫生活在相对深水环境,认为其沉积环境为潮间带至潮下带。

第॥介形虫化石组合特征:主要以 Candoniella albicans 为优势种(表 4)。主成分分析结果表明第 III 化石组合主要受到 Candoniella albicans、Sinocytheridea impreessa 和 Ilyocypris bradyi 的影响(图  $4\sim5$ )。其中 Bicornucythere、Ilyocypris 及 Sinocytheridea 等介形虫组合代表滨海环境[12],并且组合中出现大量 Candoniella albicans 淡水种,说明其沉积环境受陆相因素的影响较大。根据介形虫的分异度及丰度分布变化,认为此层段的沉积环境应为河流漫滩至潮上带环境。

## 4 结论

通过 GK138 孔、GK111 孔、GK95 孔、GK59 孔、

GK74 孔、GK79 孔和 GK89 孔中介形虫化石的属种数据,结合 Q 型聚类分析和主成分分析,对渤海莱州湾地区的介形虫群落结构进行研究,主要取得了以下成果和认识:

#### 表 1 提取的主成分特征值及贡献率

Tab. 1 Characteristic values and contribution rates of the extracted principal components

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	53.24	56.76	56.76
2	28.46	24.85	81.61
3	11.92	6.47	88.08

# 表 2 第 I 化石组合中平均 丰度>2%的介形虫属种

Tab. 2 Averaged abundance of the species >2% of Assemblage I

第I化石组合介形虫属种	含量/%
Sinopontocythere subjaponica	25. 26
Loxoconcha ocellata	18.95
Limnocythere dectyophora	18.42
Neomonoceratina dongtaiensis	15.38
Bicornucythere bisanensis	10.52

# 表 3 第 II 化石组合中平均 丰度>2%的介形虫物种

Tab. 3 Averaged abundance of the species >2% of Assemblage II

第 II 化石组合介形虫属种	含量/%
Bicornucythere bisanensis	30.93
$Pistocythere is\ brady form is$	21.09
Neomonoceratina dongtaiensis	24.43
Sinocytheridea impreessa	8.61
Sinopontocythere subjaponica	7.23

# 表 4 第 III 化石组合中平均 丰度>2%的介形虫物种

Tab. 4 Averaged abundance of the species >2% of Assemblage III

第 III 化石组合介形虫属种	含量/%
Candoniella albicans	86.79
Ilyocypris bradyi	5.32
Sinocytheridea impreessa	4.10
Loxoconcha ocellata	3.67

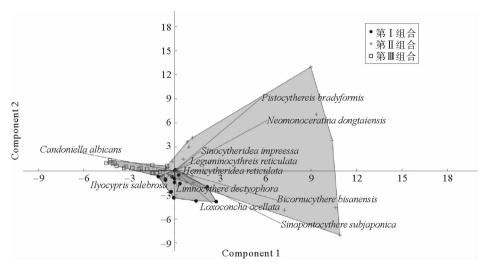


图 4 介形虫的主成分分析图(主成分1和主成分2)

Fig. 4 Principal component analysis of the ostracod species showing principal component 1 and 2

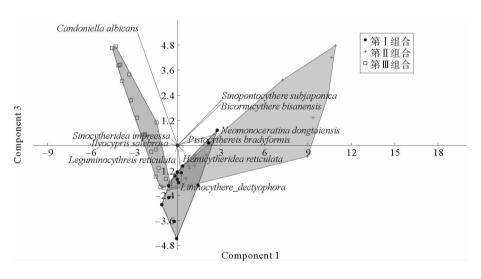


图 5 介形虫的主成分分析图(主成分1和主成分3)

Fig. 5 Principal component analysis of the ostracod species showing principal component 1 and 3

- 1) 渤海莱州湾沿岸的 GK138、GK111 和 GK95 孔岩心样品中共鉴定出介形虫 16 属 28 种,鉴定结果显示,海相种主要以 Sinopontocythere subjaponica、Loxoconcha ocellata、Limnocythere dectyophora、Bicornucythere bisanensis 和 Pistocythereis bradyformis 等滨海相种为优势种,淡水种主要有 Candoniella albicans、粗糙土星介 Ilyocypris salebrosa 和布氏土星介 Ilyocypris bradyi。
- 2) 通过 Q 型聚类分析,研究区 GK138 孔、GK111 孔、GK95 孔、GK59 孔、GK74 孔、GK79 孔和 GK89 钻孔的岩心样品可以分为 I、II 和 III 类。结合主成分分析结果,当选取前 3 个主成分时,选取的主成分数据包含了原始数据 88.08%的信息量。
- 3)结合Q型聚类结果与主成分分析结果,研究区内的介形虫群落结构可以划分为33组代表不同沉积环境的化石组合带。第I化石组合带主要以Sinopontocythere subjaponica、Loxoconcha ocellata和Limnocythere dectyophora等海相种组合为优势种,其沉积环境为潮上带-潮间带环境;第II化石组合中主要以

Bicornucythere bisanensis、Pistocythereis brady formis 和 Neomonoceratina dongtaiensis 等海相种组合为优势种,其沉积环境为潮间带至潮下带环境;第 III 化石组合带中 Candoniella albicans 占有绝对优势,其沉积环境为河流漫滩至潮上带环境。

### 参考文献:

- [1]张家武,何晶,陈硕,等. 第四纪湖相介形虫类壳体化石在古环境中的应用-种属组合研究进展与问题[J]. 地球科学进展, 2009,24(11):1229-1237.
  - ZHANG Jiawu, HE Jing, CHEN Shuo, et al. Applications of non-marine ostracods in Quaternary paleoenvironment-advances and problems in fossil assemblages [J]. Advances in Earth Science, 2009, 24(11):1229-1237.
- [2] 庄振业, 许卫东, 刘东生, 等. 渤海南部 S3 孔晚第四纪海相地层的划分及环境演变[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19 (2):27-35.
  - ZHUANG Zhenye, XU Weidong, LIU Dongsheng, et al. Division and environmental evolution of late Quaternary marine beds of S3 hole in the Bohai sea[J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1999, 19(2):27-35.
- [3]SHEN S Z,ZHANG H,SHI G R,et al. Early Permian (Cisuralian) global brachiopod palaeobiogeography[J]. Gondwana Research,2013,24(1):104-124.
- [4]谢俊芳,张华,沈树忠. 腕足动物数据库及定量古生物地理学研究:以全球二叠纪 Roadian-Wordian 期为例[J]. 古生物学报,2007,46(4):420-429.
  - XIE Junfang, ZHANG Hua, SHEN Shuzhong. Roadian-Wordian (Permian) global brachiopod database and quantitative palaeobiogeographic analysis[J]. Acta Palaeontologica Sinica, 2007, 46(4):420-429.
- [5] 陈永胜, 王宏, 裴艳东, 等. 渤海湾西岸晚第四纪海相地层划分及地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2012,42(3):747-759.
  - CHEN Yongsheng, WANG Hong, PEI Yandong, et al. Division and its geological significance of the late Quaternary marine sedimentary beds in the west coast of Bohai bay, China[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2012, 42(3): 747-759.
- [6]赵泉鸿,翦知湣,张在秀,等. 东海陆架泥质沉积区全新世有孔虫和介形虫及其古环境应用[J]. 微体古生物学报,2009,26 (2):117-128.
  - ZHAO Quanhong, JIAN Zhimin, ZHANG Ziaxiu, et al. Holocene benthic foraminifera and ostracoda from the shelf mud area of the East China sea and their paleoenvironmental implications [J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2009, 26(2):117-128.
- [7]林防,李凤林,李建芬,等. 渤海湾西北岸全新世介形虫组合特征及海进海退旋回[J]. 地球学报,2004,25(1):53-58.
  - LIN Fang, LI Fenglin, LI Jianfen, et al. Holocene ostracoda assemblages and marine transgression-regression cycle in the northwestern coastal area of the Bohai gulf [J]. Acta Geoscien Tica Sinica, 2004, 25(1):53-58.
- [8]牛成民. 渤海南部海域莱州湾凹陷构造演化与油气成藏[J]. 石油与天然气地质,2012,33(3):424-431.
  - NIU Chengmin, Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation of Laizhouwan depression in southern Bohai sea[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(3): 424-431.
- [9]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): 1-11.
  - ZHAO Xiuli, ZHANG Lei, ZHANG Xiangyu, et al. The Quaternary foraminifera and the paleoenviornments in northern Weifang of Shandong [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2017, 36(1):1-11.
- [10]李国刚,胡邦琦,毕建强,等. 黄河三角洲 ZK1 孔晚第四纪以来沉积层序演化及其古环境意义[J]. 沉积学报,2013,31(6): 1050-1058.
  - LI Guogang, HU Bangqi, BI Jianqiang, et al. Stratigraphic evolution of the Huanghe delta (Bohai sea) since the late Quaternary and its paleoenvironmental implications: Evidence from core ZK1[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2013, 31(6): 1050-1058.

- 「11 T林防,王建中,李建芬,等. 渤海莱州湾第四纪晚期以来微体化石组合特征和沉积环境演化「JT. 地质通报,2005,24(9): 879-884.
  - LIN Fang, WANG Jianzhong, LI Jianfen, et al. Characteristics of microfossil assemblages and evolution of the sedimentary environment since the late Quaternary in the Laizhou bay, Bohai sea[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(9):879-884.
- [12]王强, 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[]], 海洋地质研究, 1982, 2(3): 36-46,
  - WANG Qiang. The ostracod fauna of marine and marine terrestrial transitional facies in western coast of the Bohai gulf (North China) and paleogeography during Quaternary [J]. Marine Geological Survey, 1982, 2(3):36-47.
- [13]李守军,陈宇慧,赵秀丽,等. 潍坊北部晚第四纪介形虫与环境演变研究[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 north Weifang [J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2016, 35(1):1-11.
- [14] 侯佑堂,勾韵娴,陈德琼.中国介形类化石[M].北京:科学出版社,2002.
- [15]李小艳,赵泉鸿,姚政权,等. 渤海百万年以来的海侵记录: BH08 孔有孔虫和介形类证据[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2015,35(6):93-108.
  - LI Xiaoyan, ZHAO Quanhong, YAO Zhengquan, et al. Transgressive records of last million years in the Bohai sea, China: Evidence from foraminifera and ostracoda of core BH08[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2015, 35(6):93-108
- [16] ELEWA A M T. Quantitative analysis and palaeoecology of Eocene ostracoda and benthonic foraminifera from Gebel Mokattam, Cairo, Egypt [J]. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology, 2004, 211(3/4): 309-323.
- [17]唐俊,王琪,马晓峰,等. Q型聚类分析和判别分析法在储层评价中的应用:以鄂尔多斯盆地姬塬地区长 81 储层为例[J]. 特种油气藏,2012,19(6):28-31.
  - TANG Jun, WANG Qi, MA Xiaofeng, et al. Application of Q-type cluster analysis and discriminatory analysis in reservoir evaluation: Taking reservoir chang 81 of Jiyuan area in Ordos basin as an example [J]. Special Oil and Gas Reservoirs, 2012,
- [18]胡嘉良,高玉超,余继峰,等. 基于 PCA-BP 神经网络的非常规储层岩性识别研究[J]. 山东科技大学学报(自然科学版), 2016,35(5):9-16.
  - HU Jialiang, GAO Yuchao, YU Jifeng, et al. Lithology identification of unconventional reservoirs based on PCA-BP neural network[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2016, 35(5):9-16.

(责任编辑:高丽华)