

山东省潍坊北部第四系有孔虫及古环境意义

赵秀丽^{1,2}, 章磊^{1,2}, 张祥玉^{1,2}, 李守军^{1,2}, 陈宇慧^{1,2}, 王丽丽^{1,2}, 马文昭^{1,2}, 徐华³, 张卓³

(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. 山东科技大学 地球科学与工程学院, 山东 青岛 266590; 3. 山东省地质调查院, 山东 济南 250013)

摘要:通过对潍坊北部第四系钻孔 GK89、GK79、GK74、GK59 岩心中 192 个微体古生物样品进行分析, 其中在 66 个样品中获得丰富的有孔虫化石, 鉴定出 17 个属 40 个种, 以广盐度 *Ammonia beccarii* 为优势种, 其次有 *Ammonia annectens*、*Elphidium* (多种)、*Protelphidium*、*Cribronion gnythosuturatum*、*Nonionella*、*Quinqueloculina* 等属种, 形成广盐性化石组合。根据有孔虫属种、丰度、分异度在垂向上的分布进行沉积环境分析, 划分出陆相、海陆过渡相及海相, 识别出 3 个海侵层, 对应该区更新世以来的 3 次海侵, 自上而下分别与黄河三角洲地区的垦利海侵、广饶海侵和晚沾化海侵同期。该研究对于潍坊北部第四纪海侵及环境变化, 尤其是加强山东半岛蓝色经济区地质环境调查工作具有重要意义。

关键词:古环境; 海侵; 有孔虫; 第四系; 潍坊

中图分类号: P52

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2017)01-0001-10

The Quaternary Foraminifera and Paleoenvironments in Northern Weifang, Shandong Province

ZHAO Xiuli^{1,2}, ZHANG Lei^{1,2}, ZHANG Xiangyu^{1,2}, LI Shoujun^{1,2}, CHEN Yuhui^{1,2},

WANG Lili^{1,2}, MA Wenzhao^{1,2}, XU Hua³, ZHANG Zhuo³

(1. Key Laboratory of Depositional Mineralization & Sedimentary Mineral of Shandong Province, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. College of Earth Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China; 3. Shandong Institute of Geological Survey, Jinan, Shandong 250013, China)

Abstract: Abundant foraminifera fossils were recovered from 66 samples taken from GK89, GK79, GK74, GK59 drilling cores in northern Weifang, Shandong province. 17 genera and 40 species were indentified with *Ammonia beccarii* as dominant species and *Ammonia annectens*, *Elphidium* (varied), *Protelphidium*, *Cribronion gnythusuturalis*, *Nonionella*, *Quinqueloculina* as genus-species, forming euryhaline fossil assemblages. According to the vertical distribution of species, abundance and diversity of foraminifera, the sedimentary environments were divided into continental, transitional and marine facies. Three marine interlayers were recognized, corresponding to Kenli, Guangrao and late Zhanhua transgressions in the Yellow River Delta region from upper to lower respectively. This study is of great significance for investigations into the geological environment in Shandong Peninsula Blue Economic Zone as well as the Quaternary transgression and environmental changes.

Key words: paleoenvironments; transgression; foraminifera; the Quaternary; Weifang

山东半岛蓝色经济区建设是山东省委省政府的重大战略任务, 目前进入加快发展阶段^[1]。当前区内各

收稿日期: 2016-04-24

基金项目: 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教学与科研工作。

E-mail: snowxiuli@sohu.com

城市均在编制发展规划,急需基础地质资料。为促进经济社会与生态环境协调发展,进一步加强该地区地质工作尤为重要。因此,山东省地质调查院在海岸带近岸海水 20 m 以浅到陆地经济区规划的边缘区域开展基础地质调查工作,建立三维立体地质信息系统,查明海岸带微地貌、地层结构、地质构造、地质环境等问题^[2]。

古环境是近年来全球环境变化研究的热点,可通过对过去环境变化的研究,加深对当前全球环境变化的认识和理解。第四纪气候变化频繁,冰期与间冰期交替,导致海平面升降和岸线迁移。有孔虫作为地质环境变化的敏感记录者,受到学者的广泛关注^[3]。有孔虫的生活环境以海洋为主,受温度、水体深度、盐度、基底性质等因素控制,从高盐度泻湖到半咸水或淡化河口地区都可找到,并且不同环境有孔虫的组合面貌差别很大,滨海地区以广适性属种为主,河口、三角洲地区以半咸水类型居多,正常浅海是底栖类型的活动领域^[4]。近年来,对滨海沼泽、海岸带及海区有孔虫的研究取得较多成果^[5-11],研究多集中在分布特征与环境的关系、水深以及有孔虫组成特征等。并在环渤海沿海地区开展了系统泥质海岸带近代和现代地质环境变化调查^[12-14]。

莱州湾滨海平原广泛分布的几个海相层标志着数次海侵的存在^[15-16],但关于海侵次数及晚更新世中期前的海侵时代尚存分歧,对位于莱州湾南岸的潍坊北部地区研究也较少,还需加密钻孔资料,以期查明不同时期海侵的波及范围。因此,本文对潍坊市北部滨海平原进行钻探(图 1),钻孔深度 60 m 左右,并在钻孔 GK89、GK79、GK74、GK59 岩心中采集微体古生物样品,样品采样间距 1 m,个别层位间距稍大。其中, GK89 孔 48 个样品, GK79 孔 54 个样品, GK74 孔 50 个样品, GK59 孔 40 个样品,共分析样品 192 块。

1 分析方法与鉴定结果

样品未固结成岩,比较松散,岩性多为粉土或粉质粘土,取样品 130 g 湿样,用清水浸泡 3~5 d,不添加任何松散剂,个别不易分散粘土含量较多样品,添加少许 10% 的 H₂O₂,然后用孔径 0.063 mm 的标准筛冲洗,筛上部分在烘箱中 60 °C 烘干后,在尼康 SMZ1000 实体显微镜下挑选化石、照相,并在中国科学院南京地质古生物研究所用扫描电镜对部分化石照相。据有孔虫鉴定相关资料^[6,17-19,20-22],在 66 块样品中发现有孔虫 17 个属 40 个种(主要属种见图版)。

常见的属种有:毕克卷转虫 *Ammonia beccarii*,同现卷转虫 *Ammonia annectens*,高锅卷转虫 *Ammonia takanabensis*,暖水卷转虫 *Ammonia tepida*,凸卷转虫 *Ammonia convexus*,丸桥卷转虫 *Ammonia marohasii*,青盛卷转虫 *Ammonia aomoriensis*,清晰希望虫 *Elphidium limpidum*,异地希望虫 *Elphidium advenum*,秋田九字虫 *Nonion akitaense*,扁九字虫 *Nonion depressulum*,耳状小九字虫 *Nonionella auricula*,洁净小诺宁虫 *Nonionella tersa*,颗粒先希望虫 *Protelphidium granusum*,光滑先希望虫 *Protelphidium glabrum* 等。

较少的属种有:拉马克五块虫 *Quinqueloculina lamarckiana*,明亮五块虫 *Quinqueloculina argunica*,半缺五块虫 *Quinqueloculina seminula*,亚恩格五块虫 *Quinqueloculina subungeriana*,阿卡尼五块虫圆形亚种 *Quinqueloculina akneriana rotunda*,亚四方五块虫 *Quinqueloculina subquadra*,索尔达抱环虫 *Spiroloculina soldanii*,三块虫属 *Triloculina*,不平块心虫 *Massilina inaequalis*,包裹块心虫 *Massilina secans*,细小箭头虫 *Bolivina pusilla*,条纹箭头虫 *Bolivina striatula*,假刺孔箭头虫 *Bolivina pseudopunctata*,简单缝口虫

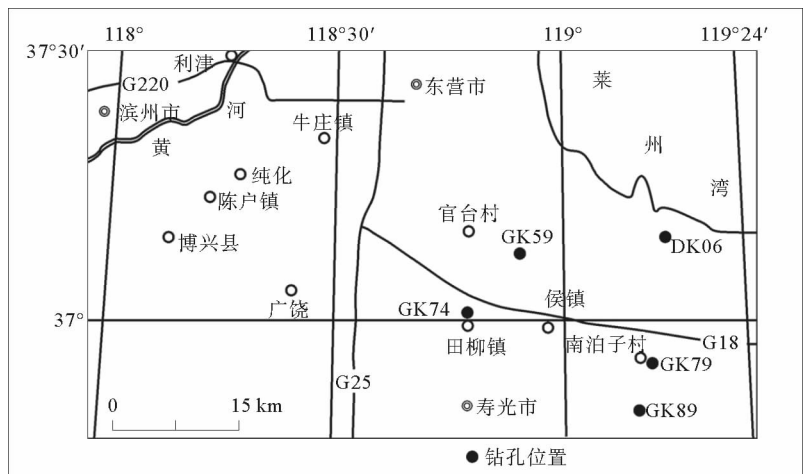


图 1 潍坊北部钻孔地理位置图

Fig. 1 Location of drilling in northern Weifang

Fissurina simplicita, 瓜子缝口虫 *Fissurina cucurbitasema*, 球形玫瑰虫 *Rosalina globularis*, 居中面颊虫 *Buccella modica*, 冷水面颊虫 *Buccella frigida*, 瓣状口室虫 *Stomoloculina lobata*, 多变假小九字虫 *Pseudonionella variabilis*, 意大利星诺宁虫 *Astrononion italicum*, 光滑星诺宁虫 *Astrononion glabrum*, 凹坑筛九字虫 *Cribrononion gnythosaturatum*, 北海道希望虫(比较种) *Elphidium cf. hokkaidoense*, 山东希望虫 *Elphidium sandongensis*。

2 有孔虫分布层位及沉积环境分析

利用有孔虫属种的空间分布重建古环境时,既要考虑有孔虫丰度、分异度,也要考虑优势种及特有生态指示种。本次地层中出现的有孔虫均为底栖类型,未出现浮游类型,据汪品先^[6]对东海底质中有孔虫分布特征研究,认为化石组合中主要属种分布在水体深度 25 m 以内沿岸地带。4 个钻孔中以 GK79 孔中含有孔虫化石的样品最多。根据 4 个钻孔中岩性、有孔虫数量、属种及轮藻等分布特征分析,将研究区沉积相划分为海相、海陆过渡相和陆相^[23](图 2)。

①海相:按海水覆盖程度分为潮下与潮间 2 个亚相。潮下带亚相主要是潮下带浅水环境,为水动力条件弱的区域,主要沉积物是粘土粉砂至粉细砂,含海相贝壳碎片,发育水平层理;潮间带为水动力条件较强的地带,泥质悬浮物被水流带出,以粉细砂沉积物为主,层理不明显。②海陆过渡相:为河口、淡化泻湖或潮上带高盐沼地带,盐度变化大,岩性以粉土为主,高盐沼地带常见铁质锈染、钙质结核;由于 Fe 与 O 的亲合力强,故 Fe_2O_3 必先于 MnO_2 晶出,形成红色铁质胶膜,或使同时存在的钙质团粒产生铁染。晚析出的黑色 Mn 质氧化物常被于 Fe 膜之上,或包裹形成黑色的 Fe-Mn 结核。可见近垂向生物潜穴,有孔虫数量和分异度降低,淡化泻湖中可见有孔虫和轮藻化石混生,生物组合为广盐性。③陆相:为陆地淡水河流的分支河道、河漫滩或沼泽环境,未见有孔虫,分支河道沉积物较粗,为粉砂岩,含长石石英质砂砾。

2.1 GK79 孔有孔虫分布及沉积环境分析

对 54 个样品进行分析,其中 26 个样品中发现有孔虫化石,主要分布在孔深 10~14 m、20.2~27.9 m、43~43.1 m,说明受到 3 次海侵的影响(图 3)。

①孔深 0~4.22 m,地层岩性为亮黄棕色至淡黄色粉土夹粘土层,未见层理,可见铁质锈染、钙质结核以及新鲜植物根茎,未见有孔虫,孔深 2.7~2.8 m 处见吊钩球状轮藻 *Sphaerochara diaogouensis* 两个,为陆相河流漫滩-沼泽相沉积。

②孔深 4.22~7.25 m,地层岩性为灰黄棕色粉土层,未见层理,可见淡水螺壳碎片及钙质结核,近垂向生物潜穴被棕灰色粉砂充填,粉砂中含少量海相双壳、腹足类碎片,见未完全腐烂的植物残骸。有孔虫化石较丰富,丰度变化大,10 粒/20 g~71 粒/20 g,具 7 属 12 种,优势种为 *Ammonia beccarii*, *Ammonia sobrina*, *Ammonia aomoriensis*, *Elphidium limpidum*, *Elphidium excavatum*, *Protelphidium granusum*, *Pseudonionella variabilis*, 其他还可见 *Triloculina*, *Stomoloculina lobata*, *Protelphidium sp.*, *Nonionella auricular*, *Bolivina dilatata* 等,见球形轮藻球形(变种) *Chara globularis* Thuil. Var. *globularis* 化石 1 个,为过渡环境滨海潮上带淡化泻湖。

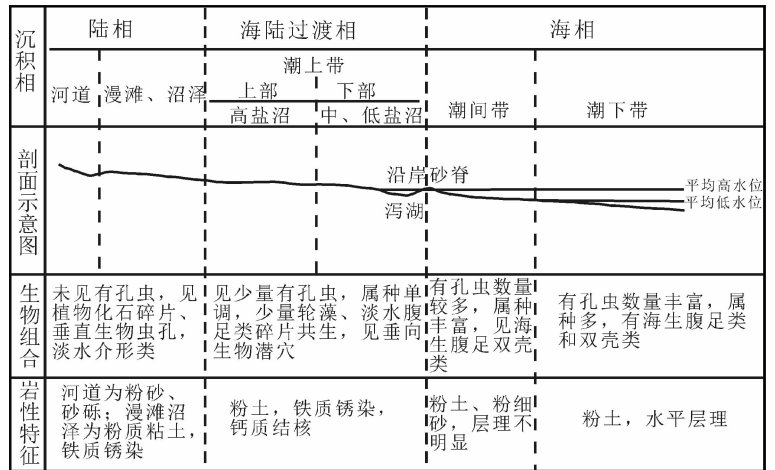


图 2 岩性、生物组合特征与沉积相划分示意图

Fig. 2 Sketch map of lithological and biological assemblage characteristics and sedimentary facies

③ 孔深 7.25~10 m, 地层岩性为黄棕色粉质粘土层, 未见层理, 可见铁质锈染和钙质结核, 未见贝壳碎片, 有孔虫化石数量降低, 优势种为 *Ammonia beccarii*, *Ammonia aomoriensis*, *Elphidium limpidum*, *Elphidium advenum*, *Nonion akitaense*, 其他有 *Protelphidium tuberculatum*, *Buccella modica*, *Elphidium sandongensis*, *Elphidium cf. hokkaidoense*, *Nonion depressulum*, *Gyroidina depressa*, *Pseudononionella variabilis*, *Cribronion cf. tsudai*, *Florilus sp.* 等。沉积环境为(过渡)滨海相潮上带高盐沼环境。

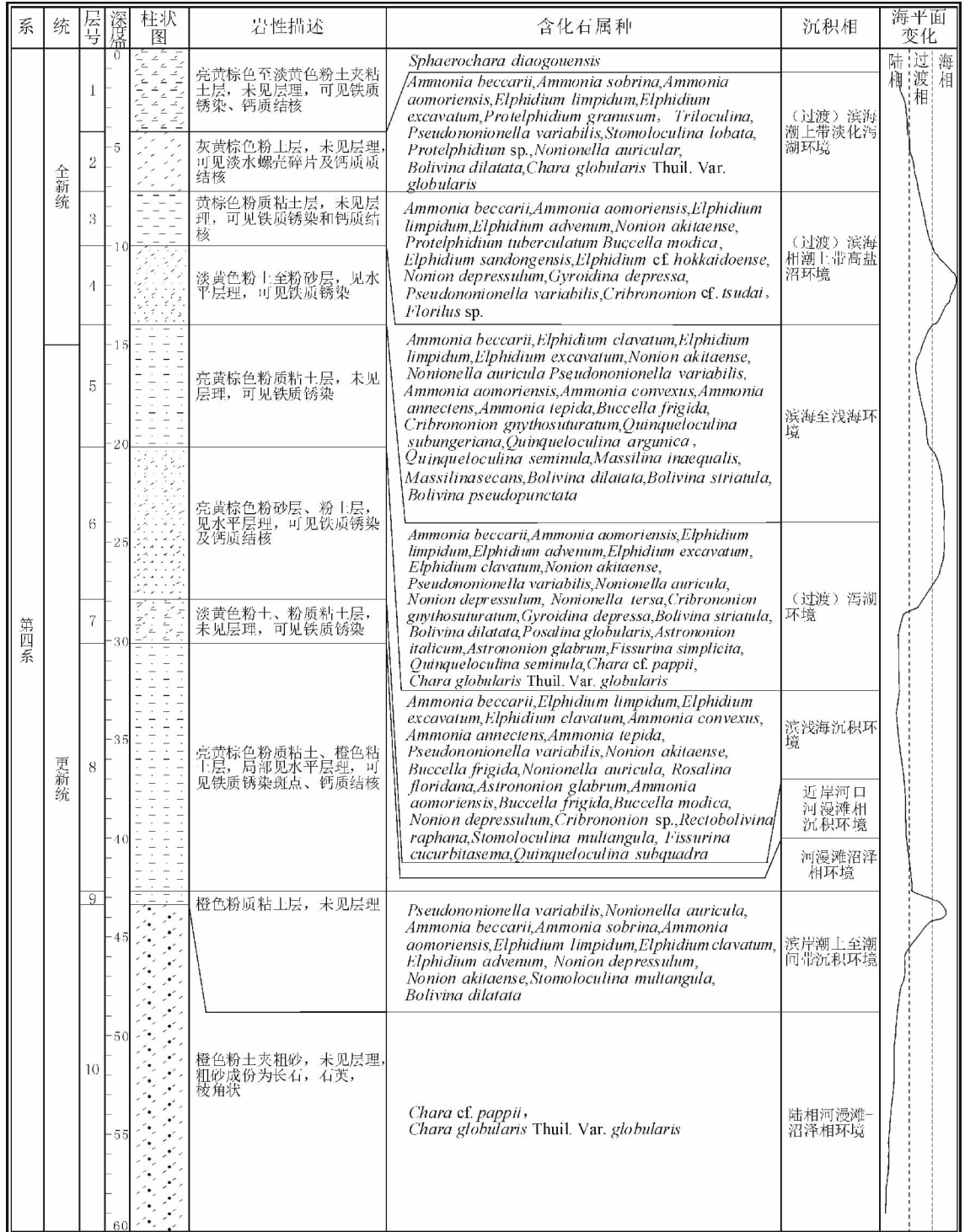


图 3 GK79 孔综合柱状图

Fig. 3 Comprehensive geological histogram of GK79 drilling

④ 孔深 10~14 m, 地层岩性为淡黄色粉土至粉砂层, 见水平层理, 可见铁质锈染, 含少量海相贝壳碎片。有孔虫化石最为丰富, 丰度可达 100 粒/20 g, 简单分异度最大为 11 属 22 种, 优势种 *Ammonia beccarii*, *Elphidium clavatum*, *Elphidium limpidum*, *Elphidium excavatum*, *Nonion akitaense*, *Nonionella auricula*, *Pseudononionella variabilis*, 其他可见 *Ammonia aomoriensis*, *Ammonia convexus*, *Ammonia annectens*, *Ammonia tepida*, *Buccella frigida*, *Cribrononion gnythosuturatum*, *Quinqueloculina subungeriana*, *Quinqueloculina argunica*, *Quinqueloculina seminula*, *Massilina inaequalis*, *Massilina secans*, *Bolivina dilatata*, *Bolivina striatula*, *Bolivina pseudopunctata* 等。沉积环境为滨海至浅海环境。

⑤ 孔深 14~20.2 m, 地层岩性为亮黄棕色粉质粘土层, 未见层理, 可见铁质锈染, 局部可见近垂向生物潜穴, 可见淡水螺壳碎片, 局部见帕普轮藻(比较种) *Chara cf. pappii* 和球形轮藻球形(变种) *Chara globularis* Thuil. Var. *globularis* 化石, 有孔虫含量与属种变化大, 优势种为 *Ammonia beccarii*, *Ammonia aomoriensis*, *Elphidium limpidum*, *Elphidium advenum*, *Elphidium excavatum*, *Elphidium clavatum*, *Nonion akitaense*, *Pseudononionella variabilis*, *Nonionella auricula* 等, 其他见 *Nonion depressulum*, *Nonionella tersa*, *Cribrononion gnythosuturatum*, *Gyroidina depressa*, *Bolivina striatula*, *Bolivina dilatata*, *Posalina globularis*, *Astrononion italicum*, *Astrononion glabrum*, *Fissurina simplicita*, *Quinqueloculina seminula* 等。该组合代表盐度变化较大的过渡环境泻湖。

⑥ 孔深 20.2~27.9 m, 地层岩性为亮黄棕色粉砂层、粉土层, 见水平层理, 可见铁质锈染及钙质结核。有孔虫化石丰富, 丰度可达 80 粒/20 g, 简单分异度最大为 13 属 24 种, 优势种为 *Ammonia beccarii*, *Elphidium limpidum*, *Elphidium excavatum*, *Elphidium clavatum*, *Ammonia convexus*, *Ammonia annectens*, *Ammonia tepida*, *Pseudononionella variabilis*, *Nonion akitaense* 等, 其他有 *Buccella frigida*, *Nonionella auricula*, *Rosalina floridana*, *Astrononion glabrum*, *Ammonia aomoriensis*, *Buccella frigida*, *Buccella modica*, *Nonion depressulum*, *Cribrononion sp.*, *Rectobolivina raphana*, *Stomoloculina multangula*, *Fissurina cucurbitasema*, *Quinqueloculina subquadra*。该组合代表滨浅海沉积环境。

⑦ 孔深 27.9~30.15 m, 地层岩性为淡黄色粉土、粉质粘土层, 未见层理, 可见铁质锈染及近垂直生物潜穴, 长石石英质砂砾含量由上到下渐渐增多, 砾径 1.5~10 mm, 含量由 25% 增到 50%。未见有孔虫及其他贝壳类。沉积环境为近岸河口、河漫滩相。

⑧ 孔深 30.15~42.68 m, 地层岩性为亮黄棕色粉质粘土、橙色粘土层, 局部见水平层理, 可见铁质锈染斑点、钙质结核。含少量长石石英砂粒, 可见轻微潜育化现象。未见有孔虫, 见淡水介形类化石。沉积环境为河漫滩沼泽相。

孔深 42.68~43.38 m, 地层岩性为橙色粉质粘土层, 未见层理, 可见网纹状铁质结膜和近垂向生物潜穴, 近垂向生物潜穴已被淡灰色粉砂充填。43 m 处样品有丰富有孔虫化石, 丰度达 136 粒/20 g, 优势种为 *Pseudononionella variabilis*, *Nonionella auricula*, *Ammonia beccarii*, *Ammonia sobrina*, *Ammonia aomoriensis*, *Elphidium limpidum*, *Elphidium clavatum*, *Elphidium advenum*, *Nonion depressulum*, *Nonion akitaense*, 较少的有 *Stomoloculina multangula*, *Bolivina dilatata*。该化石组合代表滨岸潮上至潮间带沉积环境, 反映了一次短暂的海侵。

孔深 43.38~60 m, 地层岩性为橙色粉土夹粗砂, 未见层理, 粗砂成分为长石, 石英, 棱角状。未见有孔虫。见腹足类碎片及口盖化石, 含淡水介形类, 见轮藻化石 *Chara cf. pappii*, *Chara globularis* Thuil. Var. *globularis*, 沉积环境为陆相河漫滩-沼泽相。

2.2 GK59 孔有孔虫分布及沉积环境分析

GK59 孔分析样品 40 个, 在 24 个样品中发现有孔虫, 丰度、分异度最大层位分布于深度 15~20 m、23~28.82 m、46.25~54 m 处, 包括 12 属 21 种, 反映受 3 次海侵影响(图 4(a))。

① 孔深 15~20 m, 地层岩性以棕黄色粉砂为主, 可见海相贝壳碎片, 发育水平层理, 有孔虫 12 属 21 种, 最大丰度 75 粒/20 g, 优势种 *Ammonia beccarii*, *Ammonia annectens*, *Ammonia convexus*, *Ammonia sobrina*, *Ammonia aomoriensis*, *Elphidium limpidum*, *Elphidium clavatum*, *Elphidium advenum*, *Nonion*

akitaense, *Pseudononionella variabilis* 等。该组合代表滨海-浅海环境。

② 孔深 23~28.82 m, 地层岩性以棕黄色粉砂为主, 可见细砂条带和铁质锈染, 发育水平层理, 可见海相贝壳碎片, 有孔虫 13 属 25 种, 最大丰度 50 粒/20 g, 优势种 *Ammonia beccarii*, *Ammonia annectens*, *Ammonia convexus*, *Ammonia sobrina*, *Ammonia aomoriensis*, *Elphidium limpidum*, *Elphidium clavatum*, *Elphidium advenum*, *Nonion akitaense*, *Pseudononionella variabilis* 等。该组合代表滨海-浅海环境。

③ 孔深 46.25~54 m, 地层岩性为棕黄色粉砂, 可见细砂条带和铁质锈染, 发育水平层理, 见海相贝壳碎片和生物潜穴, 有孔虫 6 属 12 种, 最大丰度 30 粒/20 g, 优势种 *Pseudononionella variabilis*, *Nonionella auricula*, *Ammonia beccarii*, *Nonion akitaense* 等, 该组合代表滨海-浅海沉积环境。

2.3 GK74 孔、GK89 孔有孔虫分布及沉积环境分析

GK74 孔分析 50 个样品, 在 22 个样品中发现有孔虫化石, 分布钻孔深度 15.5~18.8 m、20~22.5 m、35.4~55.3 m(图 4(a))。

① 孔深 15.5~18.8 m, 地层岩性为棕黄色含粘土粉砂岩, 偶见海相贝壳碎片, 可见钙质结核和铁质锈染, 有孔虫丰度达 170 粒/20 g, 分异度为 10 属 15 种, 优势种有 *Ammonia beccarii*, *Ammonia annectens*, *Ammonia convexus*, *Ammonia aomoriensis*, *Elphidium limpidum*, *Elphidium clavatum*, *Elphidium advenum*, *Nonion akitaense*, *Pseudononionella variabilis* 等。该组合代表潮间-潮下带环境。

② 孔深 20~22.5 m、35.4~55.3 m 处, 地层岩性为黄棕色粉质粘土, 可见铁质锈染和钙质结核, 虽然发现有孔虫化石, 但丰度等于或小于 10 粒/20 g, 并偶见海相贝壳碎片, 代表过渡环境潮上带。

GK89 孔共对 48 个样品进行古生物分析鉴定, 其中 14 个样品中发现介形类化石, 均为淡水介形类^[25], 在孔深 10 m、17.2~19.4 m、26.5 m 处发现有孔虫化石, 丰度 10 粒/20 g, 说明此孔受海侵影响较小, 为陆相河流或潮上带泻湖环境(图 4(b))。

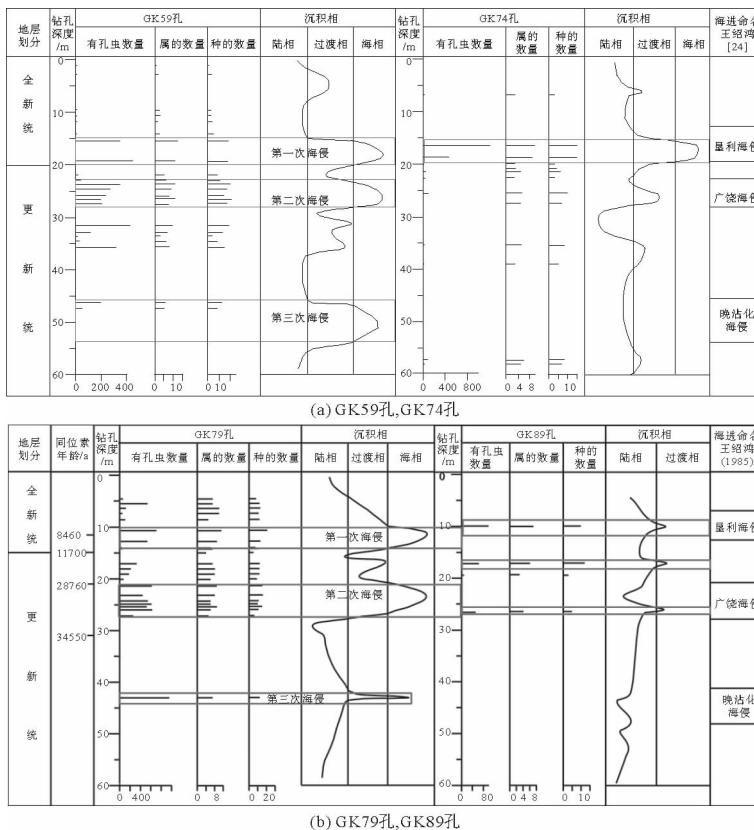


图 4 各钻孔有孔虫分布及沉积相分析图^[24]

Fig. 4 Analysis chart of foraminifera distribution and sedimentary facies of drillings

3 海侵及古海岸线位置

根据前人对黄河三角洲地区古海岸线位置的研究可知^[20,24,26],全新世海侵发生于4 000~8 000年间,称为垦利海侵,海进盛期海岸线大致在阳信—滨县—北镇—纯化—候镇一线附近(图5);更新世晚期2.5~4万年发生的海侵中心位于广饶附近,称广饶海侵;7~9万年发生的海侵为晚沾化海侵,在沾化一带形成中浅海。前人的研究区域主要位于莱州湾西岸,或者黄河三角洲地区,本次在潍坊北部4个钻孔中识别出的3个海相层分别代表3次海侵,因钻孔的同位素年龄样品分析结果未出,故参考其邻近的

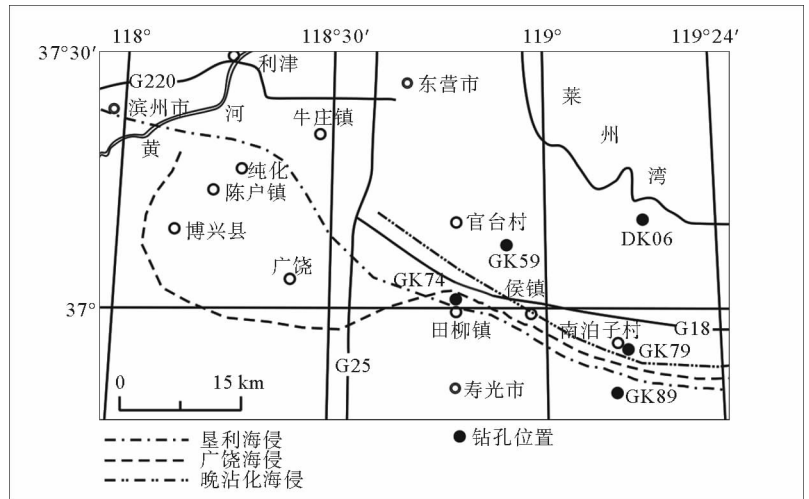


图5 潍坊北部古海岸线位置图

Fig. 5 Location of ancient coastline in northern Weifang

DK06孔(图5)的同位素样品分析结果,DK06孔深度为11.6~11.7 m处 C^{14} 同位素年龄为 $8\,460 \pm 240$ a,深度20.8~21.1 m处 C^{14} 同位素年龄为 $28\,760 \pm 900$ a,31.0~31.8 m处 C^{14} 同位素年龄为 $34\,550 \pm 1\,290$ a,GK79孔自上而下第一次海侵地层深度10~14 m,与垦利海侵同期,本次海侵波及到GK59孔、GK74、GK79孔,所以海岸线位置大体在田柳镇附近,向东位于GK79孔和GK89孔之间(图5),GK89孔处为过渡环境潮上带高盐沼区。GK79孔第二次海侵的地层深度位于20.2~27.9 m处,与广饶海侵同期,本次海侵波及到GK59孔、GK89和GK74孔为潮上带过渡环境;GK79孔第三次海侵地层深度位于40 m以下,与晚沾化海侵同期,并波及到GK59孔,GK89孔为陆相河流漫滩环境,GK74孔为潮上带,故推测该区域3次海侵的古岸线位置如图5所示。由图可以看出,3次海侵波及到的范围以最晚一次即垦利海侵最大,其次是广饶海侵,晚沾化海侵的范围最小。

4 结论

1) 在潍坊北部4个钻孔中发现了丰富的有孔虫化石,优势种为 *Ammonia beccarii* 毕克卷转虫、*Elphidium limpidum* 清晰希望虫、*Elphidium advenum* 异地希望虫、*Elphidium clavatum* 棍形希望虫、*Pseudonionella variabilis* 多变假小九字虫等,为滨海广盐性生物组合,有孔虫数量、属种在垂向上的分布反映出沉积环境纵向上的变化,可划分出陆相、海陆过渡相及海相。

2) 从钻孔中识别出3个海相层,反映了潍坊北部地区更新世以来的3次海侵,自上而下分别与黄河三角洲地区的垦利海侵、广饶海侵和晚沾化海侵同期。全新世垦利海侵在该区域范围最广,对潍坊北部地区更新世以来的海侵范围及环境变化的研究取得了初步进展。

参考文献:

[1]姜秉国,韩立民. 山东半岛蓝色经济区发展战略分析[J]. 山东大学学报(哲学社会科学版),2009,1(5):92-96.
JIANG Bingguo, HAN Limin. Strategies for building the Blue Shandong Peninsula Economic Zone[J]. Journal of Shandong University (Philosophy and Social Sciences), 2009,1(5):92-96.

[2]徐军祥,吴立进. 山东半岛蓝色经济区地质工作思路[J]. 山东国土资源,2011,27(2):1-3.
XU Junxiang, WU Lijin. Geological works in Shandong Peninsula Blue Economic Zone[J]. Shandong Land Resources, 2011, 27(2):1-3.

[3]SCOTT D B, MEDIOLI F S. Vertical zonations of marsh foraminifera as accurate indicators of former sea levels[J]. Nature, 1978,272(5653):528-531.

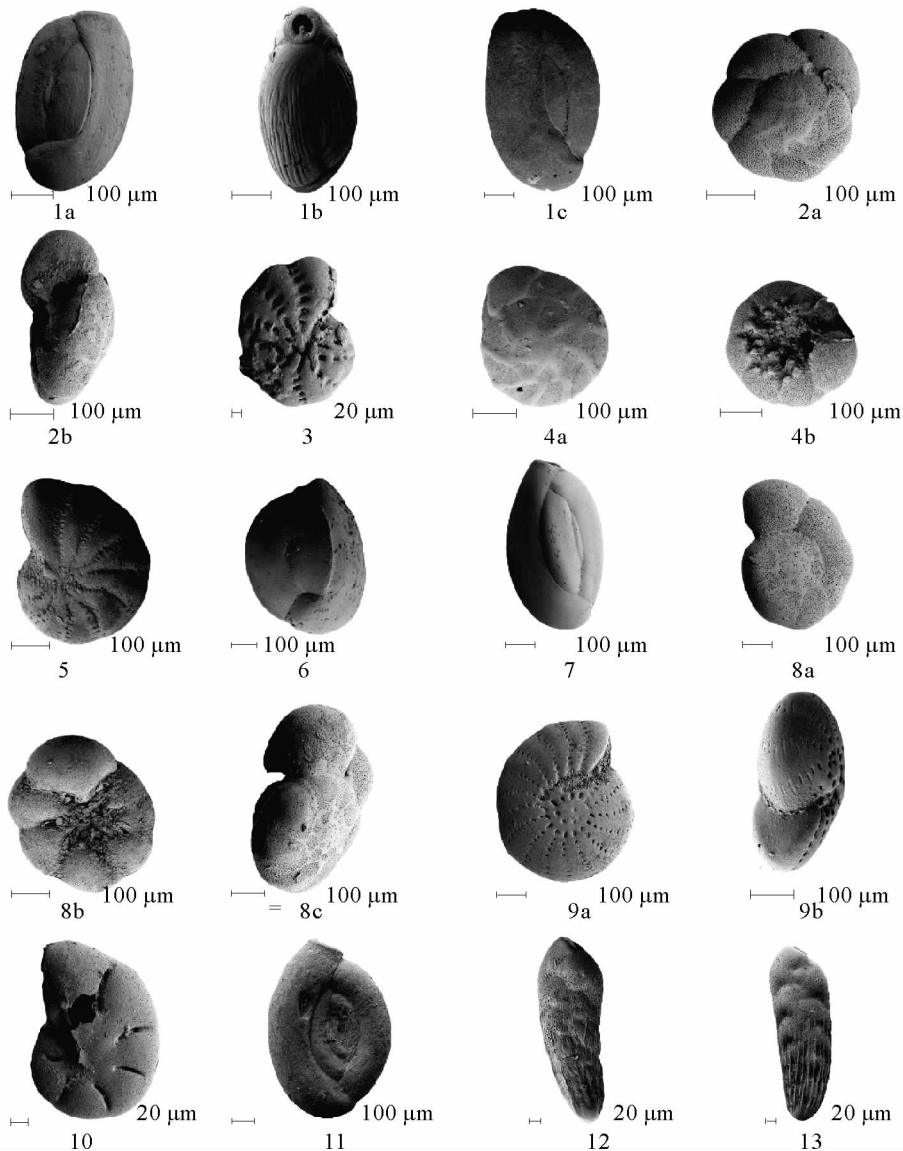
- [4]郝治纯,茅绍智.微体古生物学教程[M].武汉:中国地质大学出版社,1989:278-286.
- [5]汪品先,闵秋宝,卞云华,等.东海表层沉积物中有孔虫、介形虫组合的初步研究[J].同济大学学报,1979(2):90-108.
WANG Pinxian, MIN Qiubao, BIAN Yunhua, et al. A preliminary study of foraminiferal and ostracod assemblages' distribution in bottom sediments of the East China Sea[J]. Journal of Tongji University, 1979(2):90-108.
- [6]汪品先,章纪军,赵泉鸿.东海底质中的有孔虫和介形虫[M].北京:海洋出版社,1988:105-113.
- [7]吴乃琴,汪品先.我国海岸带胶结壳有孔虫分布的控制因素[J].科学通报,1989,34(12):924-927.
WU Naiqin, WANG Pinxian. Control factors of glue crust foraminifera distribution in coastal zone of China[J]. Chinese Science Bulletin, 1989, 34(12):924-927.
- [8]吴乃琴.弱海相性有孔虫群的特征及其代表的沉积环境[J].第四纪研究,1993,13(3):267-279.
WU Naiqin. Characteristics of low-marineness foraminiferal faunas in modern and Quaternary deposits and their geological implication[J]. Quaternary Sciences, 1993, 13(3):267-279.
- [9]陈一宁,朱晓东.苏北海岸带有孔虫 *Ammonia beccarii* 微环境分布的初步研究[J].微体古生物学报,2004,21(1):58-63.
CHEN Yining, ZHU Xiaodong. Spatial distribution patterns of foraminifera *Ammonia beccarii* in the micro-environment of Jiangsu coastal zone[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 2004, 21(1):58-63.
- [10]张静,林景星,剧远景,等.东海 E1 孔晚更新世以来的地层、生物与环境[J].地质学报,2004,78(1):9-16.
ZHANG Jing, LIN Jingxing, JU Yuanjing, et al. Stratigraphy, biology and environment of the E1 core from the East China Sea since late Pleistocene[J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78(1):9-16.
- [11]李建芬,商志文,王宏,等.渤海湾西部现代有孔虫群垂直分带的特征及其对全新世海面、地质环境变化的指示[J].地质通报,2010,29(5):650-659.
LI Jianfen, SHANG Zhiwen, WANG Hong, et al. Modern foraminifera assemblages: Vertical zonation and its indication for Holocene sea level and geoenvironmental reconstruction in Bohai bay, China[J]. Geological Bulletin of China, 2010, 29(5):650-659.
- [12]王宏,姜义,李建芬,等.渤海湾老狼坨子海岸带¹⁴C、¹³⁷Cs、²¹⁰Pb 测年与现代沉积速率的加速趋势[J].地质通报,2003,22(9):658-664.
WANG Hong, JIANG Yi, LI Jianfen, et al. ¹⁴C, ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb dating and accelerated tendency of the present sedimentation rate along the Laolangtuozi coast of the Bohai bay[J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22(9):658-664.
- [13]李建芬,王宏,李凤林,等.渤海湾牡蛎礁平原中部兴坨剖面全新世地质环境变迁[J].地质通报,2004,23(2):169-176.
LI Jianfen, WANG Hong, LI Fenglin, et al. Holocene geo-environmental changes at the Xingtuo section in the central part of the Oyster Reef plain, Bohai bay[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(2):169-176.
- [14]李凤林,王宏,王云生,等.渤海湾滨海平原全新统层型剖面地层划分与建组[J].地质通报,2005,24(2):124-135.
LI Fenglin, WANG Hong, WANG Yunsheng, et al. Stratigraphic division and establishment of a formation for the Holocene stratotype section in the coastal plain of the Bohai bay[J]. Geological Bulletin of China, 2005, 24(2):124-135.
- [15]韩有松,孟广兰,王少青.渤海莱州湾滨海平原晚第四纪地质事件与古环境[J].海洋科学集刊,1994,35(10):87-94.
HAN Yousong, MENG Guanglan, WANG Shaoqing. The geological events and paleo-environment of the coastal plain of Laizhou bay in Bohai sea during late Quaternary[J]. Studia Marina Sinica, 1994, 35(10):87-94.
- [16]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[J].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.
- [17]石油化学工业部石油勘探开发规划研究院,中国科学院南京地质古生物研究所.渤海沿岸地区新生代有孔虫[M].北京:科学出版社,1978.
- [18]林景星.河北东部第四纪有孔虫[J].中国地质科学院院报,1979,1(1):67-85.
LIN Jingxing. The Quaternary foraminifera in eastern Hebei[J]. Journal of China Academy of Geological Sciences, 1979, 1(1):67-85.
- [19]王水,黄仁金,王振,等.江苏地区白垩纪-第四纪轮藻化石[M].北京:地质出版社,1982.
- [20]杨怀仁,王建.黄河三角洲地区第四纪海进与岸线变迁[J].海洋地质与第四纪地质,1990,10(3):1-14.
YANG Huairan, WANG Jian. Quaternary transgressions and coastline changes in Huanghe River(Yellow River) delta[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 1990, 10(3):1-14.
- [21]单怀广,李经荣,姚益民,等.山东北部晚第三纪古生物群[M].北京:石油工业出版社,1997.
- [22]李东涛,孙鹏慧,王晓鸥,等.辽宁省海岸带渤海湾北岸第四系沉积环境与海面波动[J].地质与资源,2009,18(1):4-10.
LI Dongtao, SUN Penghui, WANG Xiaou, et al. Quaternary sedimentary environment and sea-level fluctuations on the northern coast of Bohai Bay, Liaoning province[J]. Geology and Resources, 2009, 18(1):4-10.

- [23] 阎玉忠,王宏,李凤林,等.渤海湾西岸BQ1孔揭示的沉积环境与海面波动[J].地质通报,2006,25(3):357-382.
YAN Yuzhong,WANG Hong,LI Fenglin,et al. Sedimentary environment and sea-level fluctuations revealed by borehole BQ1 on the west coast of the Bohai bay,China[J]. Geological Bulletin of China,2006,25(3):357-382.
- [24] 王绍鸿,马绣同.黄河三角洲沾4孔的软体动物化石群[J].海洋与湖沼,1988,19(1):81-89.
WANG Shaohong,MA Xiutong. Molluscan assemblage from the Huanghe river delta core Zh4[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica,1988,19(1):81-89.
- [25] 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.
- [26] 王绍鸿.莱州湾西岸晚第四纪海相地层及其沉积环境的初步研究[J].海洋与湖沼,1979,10(1):9-22.
WANG Shaohong. A preliminary study of marine bed and its depositional conditions in late Quarternary of the west coast of Laizhou bay[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica,1979,10(1):9-22.

(责任编辑:高丽华)

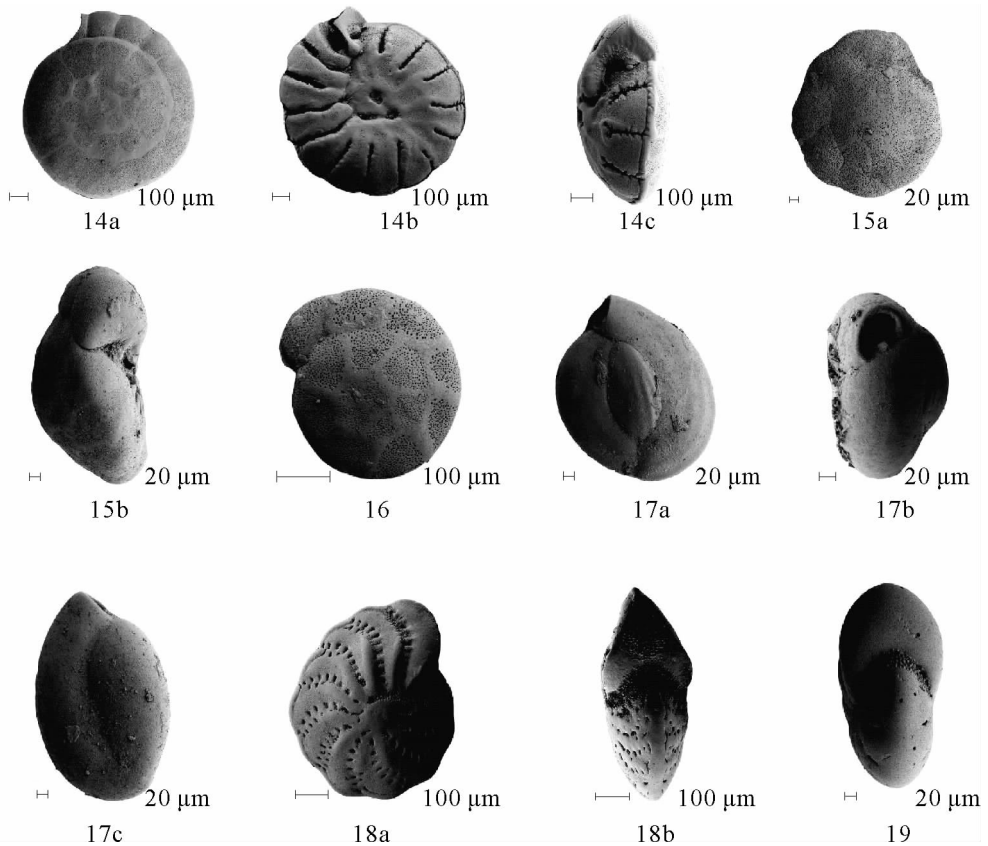
图版说明

(化石全部保存于山东科技大学微体古生物实验室)



图版 I

- 1 半缺五块虫 *Quinqueloculina seminula*, 1a 多室面视, 1b 口视, 1c 少室面视, GK79 孔;
- 2 毕克卷转虫 *Ammonia beccarii*, 2a 背视, 2b 壳缘视, GK89 孔;
- 3 耳状小九字虫 *Nonionella auricula*, 侧视, GK79 孔;
- 4 高锅卷转虫 *Ammonia takanabensis*, 4a 背视, 4b 腹视, GK59 孔;
- 5 颗粒先希望虫 *Protelphidium granusum*, 侧视, GK79 孔;
- 6 拉马克五块虫 *Quinqueloculina lamarciana*, 多室面视, GK79 孔;
- 7 明亮五块虫 *Quinqueloculina argunica*, 多室面视, GK79 孔;
- 8 暖水卷转虫 *Ammonia tepida*, 8a 背视, 8b 腹视, 8c 壳缘视, GK79 孔;
- 9 清晰希望虫 *Elphidium limpidum*, 9a 侧视, 9b 壳缘视, GK79 孔;
- 10 秋田九字虫 *Nonion akitaense*, 侧视, GK79 孔;
- 11 索尔达抱环虫 *Spiroloculina soldanii*, 侧视, GK79 孔;
- 12 13 条纹箭头虫 *Bolivina striatula*, GK79 孔。



图版 II

- 14 同现卷转虫 *Ammonia annectens*, 14a 背视, 14b 腹视, 14c 壳缘视, GK79 孔;
- 15 凸卷转虫 *Ammonia convexus*, 15a 背视, 15b 壳缘视, GK79 孔;
- 16 丸桥卷转虫 *Ammonia marohasii*, 背视, GK79 孔;
- 17 亚恩格五块虫 *Quinqueloculina subungeriana*, 17a 多室面室, 17b 口视, 17c 少室面视, GK79 孔;
- 18 异地希望虫 *Elphidium advenum*, 18a 侧视, 18b 壳缘视, GK79;
- 19 意大利星诺宁虫 *Astrononion italicum*, 壳缘视, GK79 孔。