

# 宁波北仑全新世有孔虫群落变化及古环境意义<sup>\*</sup>

王晓燕<sup>1,2)</sup> 李保华<sup>1)</sup> \*\* 郭启梅<sup>1)</sup> 钟石兰<sup>1)</sup>

1) 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008, bh-li@nigpas.ac.cn;

2) 现代古生物学和地层学国家重点实验室, 南京 210008

**摘要** 通过对宁波北仑 NBBL 钻孔约 6.5 m 长柱状样中的有孔虫进行分析及定量统计, 结合 AMS<sup>14</sup>C 测年结果, 恢复了宁波北仑中晚全新世古环境变化历史。研究结果显示, 该区在全新世经历了一个完整的海进-海退演变过程。早中全新世(~7 300 Cal aBP 以前), 宁波北仑为陆地; 自~7 300 Cal aBP 开始, 海水开始影响北仑地区, 该区域为滨岸沼泽相; ~7 150—2 480 Cal aBP 演变为近岸浅海环境, 此时段为海侵最盛期; ~2 480 Cal aBP 以后, 海水影响逐渐减弱; 其后海水完全退出该地区, 北仑地区变为陆地。

**关键词** 有孔虫 海进 海退 全新世 北仑 宁波

## 1 前言

宁绍平原是浙北平原的一部分, 海拔一般在 10 m 以下, 其依山临海, 南部为崇山峻岭, 钱塘江、浦阳江等河流自南而北流经平原注入杭州湾和东海。宁绍平原是全新世海平面迅速变化、海岸线迅速变迁、河道系统迅速改变的典型地区之一。滨海地区是至今海岸尚在波动的淤积滩涂(覃军干, 2006)。

宁绍平原也是中国东部史前文化活动最重要的场所之一, 河姆渡文化、良渚文化、跨湖桥文化等在此区域被广泛发现。这些史前文化的分布、兴衰等与全新世海平面波动也有显著关系(吴立等, 2012)。恢复宁绍平原全新世古环境变化, 追踪古海岸线变迁历史具有重要意义。

尽管据孢粉资料推测宁绍平原全新世高温期存在, 但尚无资料证实其精确时限(覃军干, 2006)。王宗涛(1986)、张雪尧、陈俊仪(1990)虽对宁波北仑地区钻孔中有孔虫进行了研究, 仍缺乏明确的测年资料。本研究通过对宁波北仑 NBBL 钻孔中有孔虫群落进行分析, 结合碳屑和贝壳的 AMS<sup>14</sup>C 测年结果, 较为精确地恢复了宁波北仑全新世古环境变化历史。

## 2 材料与方法

研究 NBBL 孔是 2013 年在浙江省宁波市北仑区河南顾钻取, 位于 29°52′57.7″N, 121°55′40.9″E (插图 1), 经测量钻孔地面高程为 2.45 m (1985 国家高程基准)。该浅钻柱状样长 6.55 m。按照沉积物岩性变化, 从上向下依次可分为五层:

层位 I 0—30 cm, 现代耕作层, 褐黄色粘土, 多含有植物根系残体。

层位 II 30—110 cm, 黄褐色含砂质粘土, 质地硬、含水量低。颗粒粗, 以石英、长石颗粒为主, 分选、磨圆差。

层位 III 110—172 cm, 黄褐色粘土, 质地中等偏硬、含水量低。颗粒细, 以石英、长石为主, 分选、磨圆差。

层位 IV 172—650 cm, 青灰色粉砂质粘土, 质地软、含水量高, 沉积物颗粒细。部分层位含有贝壳碎片, 635—640 cm 层位含有大量碳屑。

层位 V 650—655 cm, 青灰色粗砂, 含水量中等, 分选、磨圆差。

本研究根据岩性变化以 5—80 cm 不等间隔采样, 每个样品采集 50 ml, 共分析样品 19 个。有孔

收稿日期: 2017-11-01

<sup>\*</sup> 中国科学院战略性先导科技专项(XDA05120601, XDA11030104)、国家自然科学基金(41776073, 41276044, 41106035)、中国科学院战略性先导科技专项(B类)(Grant No. XDPB05)和现代古生物学和地层学重点实验室基金(Y026160413)联合资助。

<sup>\*\*</sup> 通讯作者: 李保华, 研究员, 主要从事新生代海相地层古生物研究。

虫分析采用微体古生物标准分析方法,将湿样置于烘箱中 70℃ 烘干后,称取 20 g 干样,置于自来水中浸泡 2 天,不添加任何分散剂。将分散的样品过 250 目铜筛(孔径 63  $\mu\text{m}$ ),用自来水冲去细粒成分。将粗组分(>63  $\mu\text{m}$ )置于烘箱中烘干后,在

显微镜下观察,挑尽有孔虫,并进行属种鉴定及定量统计。有孔虫分类鉴定标准参考何炎等(1965)、郑守仪等(1978)、汪品先(1980)、汪品先等(1980,1988)以及郑守仪、傅钊先(2001)等的属种描述。

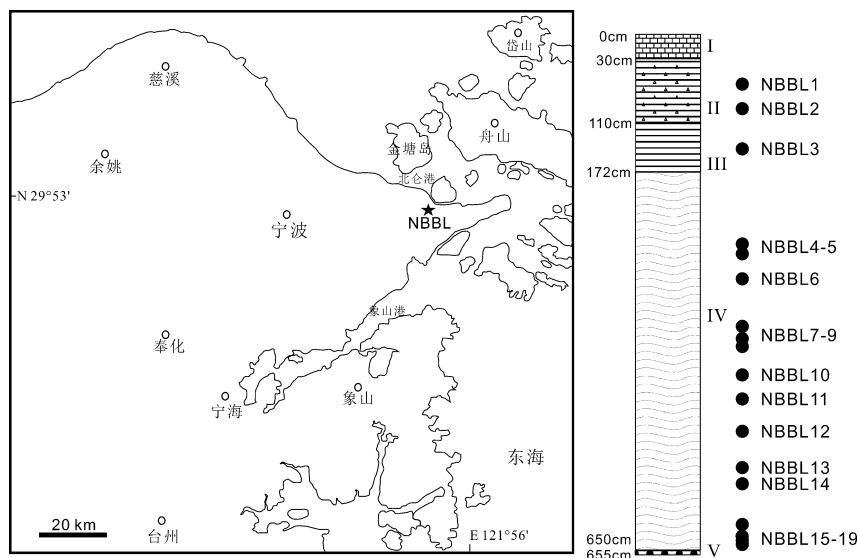


插图 1 NBBL 钻孔地理位置及岩性地层柱状图

Location of Core NBBL and comprehensive stratigraphic column.

I. 耕作土; II. 褐色粘土夹碎屑; III. 褐色粘土; IV. 灰色粉砂质粘土; V. 灰色粗砂。NBBL 1—19. 采样号。

I. cultivated soil; II. brown clay with debris; III. brown clay; IV. gray silty clay; V. gray coarse sand. 1—19. Sampling numbers.

宁绍平原是海岸线迅速变迁、河道系统迅速改变的地区,沉积过程较为复杂,难以找到具有较好测年结果的柱状样。NBBL 钻孔所在的河南顾,位于一个小面积的海岸平原,北临金圻水道,东、西、南三面被中生代火山岩组成的低山丘陵所环抱(王宗涛,1986),便于连续沉积。本研究通过显微镜下观察,从粗组分中挑选出贝壳碎片、木炭碎屑等材料(>20 mg),供 AMS  $^{14}\text{C}$  测年。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 测年结果

本研究从 300—302 cm、470—475 cm、510—520 cm、640—645 cm 及 645—650 cm 五个层位挑选出贝壳碎片,且从 290—295 cm、635—640 cm 层位挑选出碳屑,数量比较充足,分别在北京大学及美国 Beta 实验室进行 AMS  $^{14}\text{C}$  测年,共获得了 7 个较为可靠的测年数据(表 I)。

#### 3.2 有孔虫群落变化及古环境讨论

NBBL 钻孔中沉积物大于 63  $\mu\text{m}$  的粗组分以石

英、长石为主,部分样品中含有较多的云母及植物碎屑等。粗组分含量变化与有孔虫化石的产出有一定的相关性。粗组分含量较高时,样品中有孔虫较少或者几乎不含有孔虫。而粗组分含量较低的层位,有孔虫的含量则较为丰富。在 0—170 cm 层位,粗组分含量高达 20%,样品中未发现有孔虫化石。278—645 cm 层位,粗组分的含量较低、为 10% 以内,样品有孔虫化石连续产出。645—655 cm 层位,粗组分的含量又显著升高、达 25% 以上,样品中无有孔虫。

NBBL 钻孔中发现的有孔虫化石保存状态较好,壳体透明、壳内无填充,大部分壳体完整,极少量样品壳体有破损。另外,钻孔中有孔虫均为底栖有孔虫且均为玻璃质壳,未见胶结壳和瓷质壳类型。每 50 g 干样中含有 0—2 100 枚有孔虫化石,经鉴定为有孔虫 8 属 13 种。单个样品中含有 2—10 种有孔虫,复合分异度  $H(s)$  为 0.2—1.1。

研究钻孔中底栖有孔虫以 *Ammonia beccarii* vars. 为绝对优势属种,含量高达 69%—94%,另有 *Elphidium advenum*, *Elphidium hispidulum*, *Cribrononion subincertum*, *Cribrononion vitreum* 等较为常见, *Elphidiella kiangsensis*, *Elphidium lim-*

*pidum*, *Nonionella atlantica*, *Protelphidium tuberculatum*, *Elphidium magellanicum* 等属种常见, 偶见 *Hanzawaia mantaensis*, *Rectoelphidiella lepida*, *Ammonia annectens* 等属种(见插图 2)。

表 I NBBL 钻孔测年结果

AMS  $^{14}\text{C}$  ages in Core NBBL.

样品编号	实验室编号	深度(cm)	材料	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$	con. $^{14}\text{C}$ 年龄(a BP)	日历年	测试单位
1	140646	290—295	碳屑		2 685±30	2 480—2 200	北京大学
2	140647	300—302	贝壳		3 260±25	3 200—2 980	北京大学
3	412517	470—475	贝壳	+1.2	6 420±30	6 880—6 655	Beta 实验室
4	412511	510—520	贝壳	+0.8	6 620±30	7 150—6 890	Beta 实验室
5	412512	635—640	碳屑	-27.6	6 380±30	7 415—7 350	Beta 实验室
6	412510	640—645	贝壳	-0.9	6 850±30	7 365—7 165	Beta 实验室
7	412513	645—650	贝壳	0.7	6 790±30	7 295—7 135	Beta 实验室

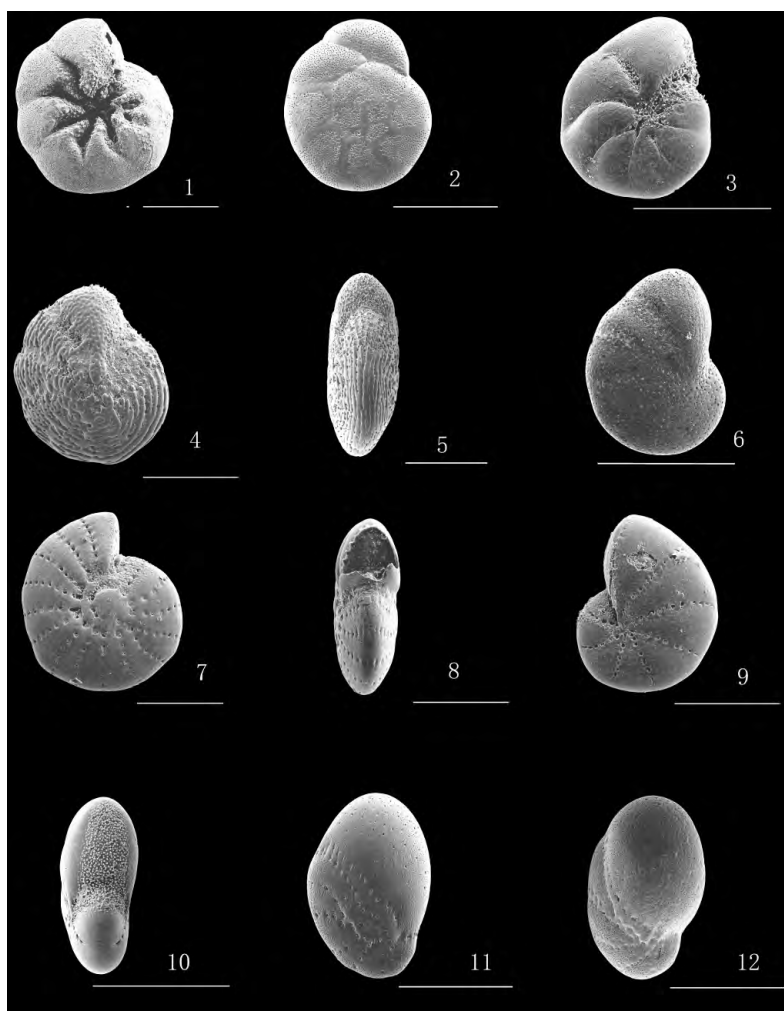


插图 2 NBBL 钻孔中产出的底栖有孔虫

Benthic foraminiferal fossils in Core NBBL.

1, 2. 毕克卷转虫 *Ammonia beccarii* (Linné) vars., 1. 腹视 (Ventral view); 2. 背视 (Dorsal view), 孔深 (depth): 278—283 cm. 3. 缝裂希望虫 *Elphidium magellanicum* Heron-Allen and Earland, 侧视 (Lateral view), 孔深 (depth): 321—326 cm. 4, 5. 茸毛希望虫 *Elphidium hispidulum* Cushman, 4. 侧视 (Lateral view); 5. 口面视 (Apertural view), 孔深 (depth): 555—560 cm. 6. 江苏小希望虫 *Elphidiella kiangsensis* Ho, Hu and Wang, 侧视 (Lateral view), 孔深 (depth): 278—283 cm. 7, 8. 清晰希望虫 *Elphidium limpidum* Ho, Hu and Wang, 7. 侧视 (Lateral view); 8. 口面视 (Apertural view), 孔深 (depth): 515—520 cm. 9, 10. 清晰筛九字虫 *Cribronion vitreum* Asano, 9. 侧视 (Lateral view); 10. 口面视 (Apertural view), 孔深 (depth): 405—410 cm. 11, 12. 精美直小希望虫 *Rectoelphidiella lepida* Ho, Hu and Wang, 11. 侧视 (Lateral view); 12. 口面视 (Apertural view), 孔深 (depth): 440—445 cm. 所有标本采自宁波北仑 NBBL 钻孔, 图中比例尺均为 200  $\mu\text{m}$  (All figured specimens are from Core NBBL in Beilun, Ningbo. The magnification is shown by the scale bar, which represents 200  $\mu\text{m}$ ).

本研究计算了有孔虫的丰度、简单分异度、复合分异度、粗组分含量及 *Ammonia beccarii* vars., *Elphidium advenum*, *Elphidium hispidulum*, *Cri-*

*brononion subincertum*, *Cribrononion vitreum* 等主要属种的相对含量变化,以恢复区域古环境演化过程(插图 3)。

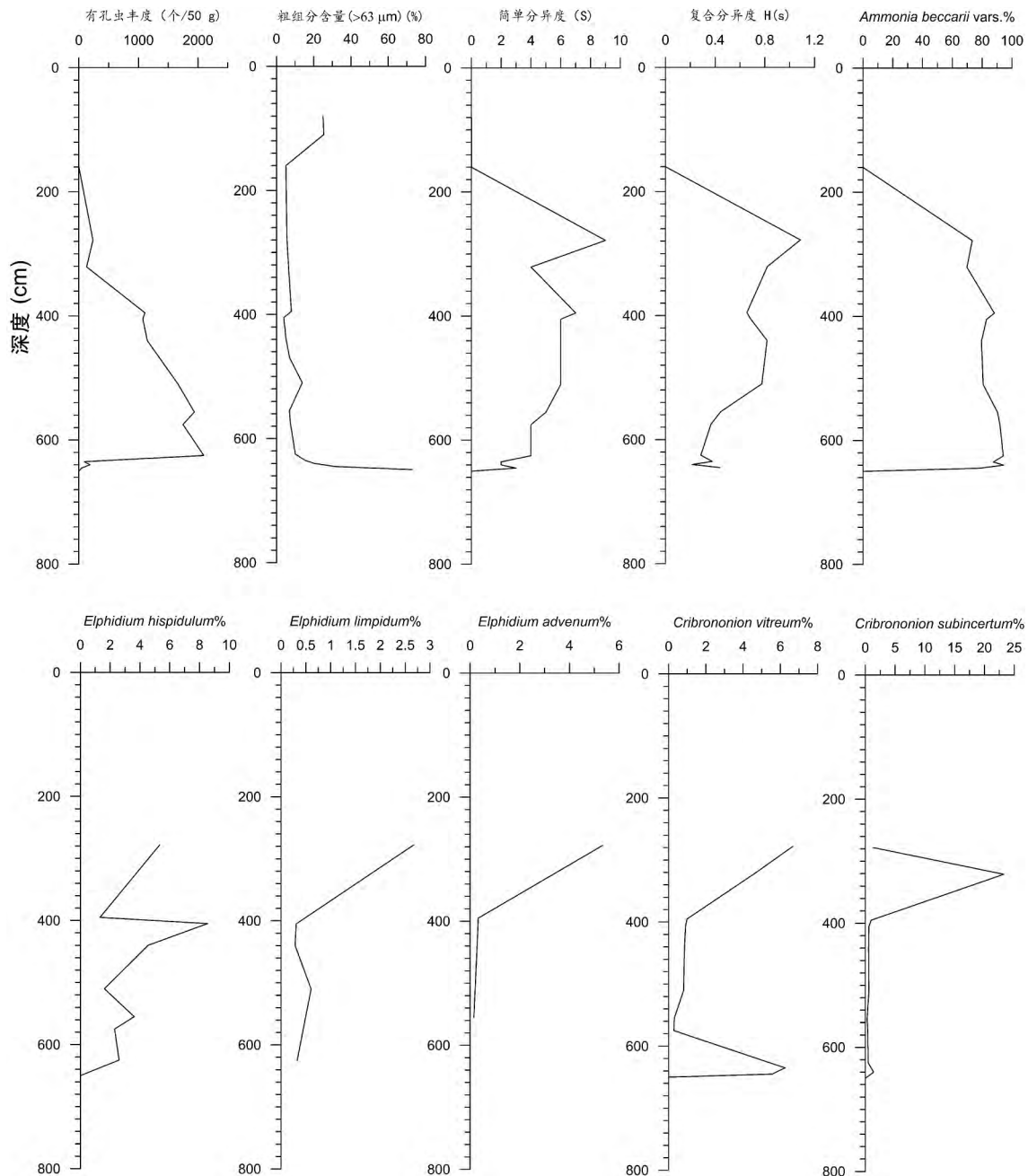


插图 3 NBBL 钻孔中有孔虫丰度、简单分异度、复合分异度  $H(s)$ 、 $>63 \mu m$  粗组分百分含量及主要有孔虫属种百分含量变化

Foraminifera abundance, simple diversity (S), composite diversity  $H(S)$ , coarse fraction and the percentage of main foraminifera species variations in Core NBBL.

655—650 cm 层段:未发现 有孔虫,推测此层段为陆相沉积,海水对该区域尚无影响。

625—650 cm 层段:见有少量的底栖有孔虫,但有孔虫属种数量偏低、每个层位仅含有 2—3 个种。该层段中底栖有孔虫仅为 *Ammonia beccarii* vars., *Cribrononion vitreum* 或 *Cribrononion subincertum*, 且有孔虫的数量较少,挑尽样品,有孔虫丰度

为 47.5—190 枚/50 g。另外,在 635—640 cm 层位中还发现了大量保存完好的植物碳屑,测年显示其为 7415—7350 Cal aBP。在 7000 年左右,余姚河姆渡、慈溪、镇海、上虞白马湖等,均有泥炭层的发现(史威等,2008)。大陆—海洋过渡地区,是泥炭集中

地区,泥炭沼泽发育于海面相对稳定的半咸水环境(张树夫,1991)。根据有孔虫群落分析结果,结合泥炭的出现,说明 625—650 cm 层段应为靠近海洋的微咸水沼泽环境,为滨岸沼泽相。即自~7 300 Cal aBP 以来,宁波北仑地区处于缓慢的海侵过程,海水开始影响宁绍平原地区。

625—327 cm 层段:有孔虫较为丰富,每个层位含有 4—9 种;有孔虫丰度也大大增加,每个层位中可以达到 1 100—2 100 枚/50 g,有孔虫复合分异度  $H(s)$  达 0.4—1.08。该层段中底栖有孔虫以 *Ammonia beccarii* vars., *Cribronion subincertum*, *Cribronion vitreum* 等为优势种,其中 *Ammonia beccarii* vars. 含量高于 80%。另外,该层段 *Elphidium advenum*, *Elphidium simplex*, *Elphidium hispidulum*, *Elphidium limpidum* 等属种含量也较为常见, *Hanzawaia mantaensis*, *Rectoelphidiella lepida* 等少量产出。

326—278 cm 层段:有孔虫丰度大大降低,为 130—230 枚/50 g,含有 4—9 种有孔虫,分别为: *Ammonia beccarii* vars., *Cribronion vitreum*, *Cribronion subincertum*, *Nonionella atlantica*, *Elphidiella kangsensis*, *Elphidium advenum*, *Elphidium hispidulum*, *Elphidium limpidum*, *Rectoelphidiella lepida*, *Elphidium magellanicum* 等。其中 *Ammonia beccarii* vars. 为优势种,含量略有下降,约为 70%。复合分异度  $H(S)$  为 0.8—1.08。625—278 cm 层段的有孔虫组合与浙江沿岸水深<20 m 的化石群组成(严钦尚、洪雪晴,1987)较为相似,说明此层段,在宁波北仑为浅海环境。测年结果显示,孔深 630—395 cm 年龄为 7 350—6 610 Cal aBP,孔深 295—290 cm 处,发现大量碳屑,其测年结果为~2 480—3 200 Cal aBP,说明在 7 350—2 480 Cal aBP 时段,宁波北仑地区处于高海平面时期,为全新世海侵最盛期,沉积了厚度较大的海侵序列沉积层。

278—170 cm 层段:海水影响逐渐减弱并最后退出本区域。直至 170—30 cm 层位,挑尽样品,均未发现有孔虫产出。推测~2 480 Cal aBP 以后的全新世晚期,本区域为陆相环境。考古研究在 NB-BL 钻孔南部的北仑沙溪发现了生活于 5 000—3 800 年的良渚文化遗址(蒋乐平、徐军,2005)。有孔虫群落研究结果与考古的研究结果较为一致,说明古人类在距海不远的滨岸繁衍生息。

## 4 结 论

本研究通过对 NBBL 钻孔中有孔虫定量统计分析,结合 AMS<sup>14</sup>C 测年结果,恢复了浙江北仑全新世以来的古环境演化历史。早全新世(~7 300 Cal aBP 以前),北仑地区为陆地。自~7 300 Cal aBP 开始,海水开始影响北仑地区,该区域为滨岸沼泽相,此后,~7 150—2 480 Cal aBP 演变为近岸浅海环境,且此时段为全新世海侵最盛期;~2 480 Cal aBP 之后,海水缓慢退出该地区,北仑地区变为陆地环境。因此,NBBL 钻孔记录了北仑地区全新世一个完整的海进-海退演化序列。同时,本研究结果与前人在长江三角洲南部平原的研究结果也较为一致(严钦尚、洪雪晴,1987)。

致谢 李忠和、杜开明在野外钻孔取样过程中付出辛勤劳动,同济大学赵泉鸿老师对文稿提出宝贵修改建议,特此致谢。

## 参 考 文 献 (References)

- He Yan (何 炎), Hu Lan-ying (胡兰英), Wang Ke-liang (王克良), 1965. Quaternary Foraminifera in the east region of Jiangsu Province. *Memoirs of Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Science (中国科学院地质古生物研究所集刊)*, 4: 51—162 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Le-ping (蒋乐平), Xu Jun (徐 军), 2005. Brief report on the excavation of Neolithic sites in Beilun, Shaxi. *Relics from South (南方文物)*, 1: 1—13 (in Chinese).
- Qin Jun-gan (覃军干), 2006. Palynological Study of Ningshao Plain and Paleoenvironmental Significance since Late Pleistocene. A Dissertation Submitted to Tongji University in Conformity with the Requirements for the Degree of Doctor of Sciences. 1—148 (in Chinese with English abstract).
- Shi Wei (史 威), Ma Chun-mei (马春梅), Jiao Feng (焦 峰), Zhu Cheng (朱 诚), Wang Fu-bao (王富葆), 2008. Archaeological sites, buried peat and fluctuation of sea-level in Holocene in the Ningshao Plain in Zhejiang Province, China. *Acta Oceanologica Sinica (海洋学报)*, 30(4): 169—175 (in Chinese with English abstract).
- Wang Pin-xian (汪品先), 1980. Collection of Papers on Marine Microfossil. Beijing: China Ocean Press. 1—204 (in Chinese with English abstract).
- Wang Pin-xian (汪品先), Min Qiu-bao (闵秋宝), Bian Yun-hua (卞云华), Zhang Ji-jun (章纪军), 1980. Micropaleontologic characteristics of relict sediments of the East China Sea. *Acta*

- Oceanologica Sinica (海洋学报), 2(1): 67—78 (in Chinese with English abstract).
- Wang Pin-xian (汪品先), Zhang Ji-jun (章纪军), Zhao Quan-hong (赵泉鸿), Min Qiu-bao (闵秋宝), Bian Yun-hua (卞云华), Zheng Lian-fu (郑连福), Cheng Xin-rong (成鑫荣), Chen Rong-hua (陈荣华), 1988. Foraminifera and Ostracods in Bottom Sediments of the East China Sea. Beijing: China Ocean Press. 1—438 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zong-tao (王宗涛), 1986. Quaternary marine strata in Beilun harbor area and their paleogeographical significance. Marine Geology & Quaternary Geology (海洋地质与第四纪地质), 6(1): 43—52 (in Chinese with English abstract).
- Wu Li (吴立), Zhu Cheng (朱诚), Zheng Chao-gui (郑朝贵), Li Feng (李枫), Ma Chun-mei (马春梅), Sun Wei (孙伟), Li Su-yuan (李溯源), Shui Tao (水涛), Wang Xin-hao (王鑫浩), Shao Shi-xun (邵仕训), Zhou Yao (周曜), He Ting-ting (何婷婷), 2012. Response of prehistoric culture to climatic environmental changes since Holocene in Zhejiang, East China. Acta Geographica Sinica (地理学报), 67(7): 903—916 (in Chinese with English abstract).
- Yan Qing-shang (严钦尚), Hong Xue-qing (洪雪晴), 1981. Holocene transgression in the southern plains of the Yangtze River Delta. Acta Oceanologica Sinica (海洋学报), 9(6): 744—752 (in Chinese).
- Zhang Shu-fu (张树夫), 1991. The peat in Ning Shao plain of Zhejiang Province and its reflection on the sea-level changes. Journal of Nanjing Normal University (Natural Science) (南京师范大学学报, 自然科学版), 14(1): 75—84 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xue-yao (张雪尧), Chen Jun-yi (陈俊仪), 1990. The sedimentary environment of Ningbo Formation and the opinion on its evolution in Beilun harbor district, Zhejiang Province. Geology of Zhejiang (浙江地质), 6(1): 7—19 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Shou-yi (郑守仪), Fu Zhao-xian (傅钊先), 2001. Fauna Sinica-phylum Granuloreticulosa, Class Foraminifera, Agglutinated Foraminifera. Beijing: Science Press. 1—78 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Shou-yi (郑守仪), Cheng Tsi-chuang (郑执中), Wang Xi-tang (王喜堂), Fu Zhao-xian (傅钊先), 1978. The Quaternary foraminifera of the Dayuzhang irrigation area, Shandong Province, and a preliminary attempt at an interpretation of its depositional environment. Studia Marina Sinica (海洋科学集刊), 13: 16—78 (in Chinese with English abstract).

## HOLOCENE VARIATION OF THE FORAMINIFERAL ASSEMBLAGE AT BEILUN, NINGBO, ZHEJIANG AND ITS PALAEOENVIRONMENTAL IMPLICATION

WANG Xiao-yan<sup>1, 2)</sup>, LI Bao-hua<sup>1)</sup>, GUO Qi-mei<sup>1)</sup> and ZHONG Shi-lan<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Nanjing Institute of Geology and Palaeontology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China, bh-li@nigpas.ac.cn;

<sup>2)</sup>State Key Laboratory of Palaeobiology and Stratigraphy, Nanjing 210008, China

**Key words** Foraminifera, transgression, regression, Holocene, Beilun, Ningbo

### Abstract

Based on the quantitative analysis of foraminifera from Core NBBL and the AMS<sup>14</sup>C dating, Holocene sedimentary environment change at Beilun, Ningbo was reconstructed. The result showed that a

transgression-regression cycle occurred in this area during the middle and late Holocene. At ~7300 cal. aBP, the environment of Beilun was influenced by the marine setting. During ~7150—2480 cal. aBP, the sediment was under a shallow marine facies. After ~2480 cal. aBP, the sea water became shallower, and finally retreated from this area.