

# 1.4 万年以来南海南部大陆架环境变化中的腹足类记录\*

冯伟民

(中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008)

**摘要** NS93-12-58 柱样含有丰富的微型腹足类. 对底栖腹足类和浮游腹足类(翼足类)的研究表明, 1.4 万年来南海南部陆架海平面经历了上升, 短期下降, 再次上升的过程. 在柱段底部到 200 cm, 腹足类个体普遍较大, 尤以 *Turritella filiola* 特别发育, 显示末次冰消期阶段主要为内陆架环境; 氧同位素曲线在柱样 200 ~ 150 cm 持续变轻, 腹足类复合分异度和简单分异度均呈高值, *T. filiola* 有规律地减少, 都显示了全新世早期海平面上升的特征. 尤其是这一时期翼足类特别发育, 它的含量甚至超过底栖腹足类, 表明早全新世曾出现过高海平面, 并导致南海周边海峡的开通. 但是在柱深 100 cm, *T. filiola* 再度极为发育, 可能指示了海平面发生过短期下降, 并有可能导致向南海峡的再次关闭. 在柱深 55 ~ 50 cm, *Scaliola glareosa* 喜冷种较为发育, 可以作为晚全新世气候变冷的一个标志.

**关键词** 南海南部大陆架 微型腹足类 古海洋环境

以深海沉积柱样为对象的古海洋学研究一直是研究大洋水体变化历史的主要途径, 而与人类关系更为密切的大陆架古海洋学研究, 尽管从有孔虫、介形虫、甲藻和底栖腹足类的角度作过探讨<sup>[1-4]</sup>, 却无论在研究方法和研究深度以及影响上均明显不如深海古海洋学. 陆架古海洋学研究的困难主要在于陆架沉积的不连续性. 第四纪发生的多期冰川造成了大陆架数次大规模出露海面, 陆架边缘强劲的海流也会影响大陆架的沉积作用. 因此, 在尽可能连续沉积的陆架区进行钻探取样是揭示陆架第四纪古海洋学研究的关键所在. 本文研究的 NS93-12-58 柱样位于南海南部大陆架外缘, 水深 140 m. 在晚更新世末次冰期南海南部大陆架海区海平面下降约 120 m<sup>[5]</sup>之时, NS93-12-58 柱样所在海底仍处在海平面约 20 m 水深. 该柱样氧同位素曲线(图 2)表明, 1.4 万年以来本区海洋环境变化的信息要比通常由深海柱样氧同位素所揭示的信息更复杂, 微体古生物化石的分析<sup>[5]</sup>也显示了末次冰期以来海洋环境反复波动的情况. 南海是一个被大陆和岛屿包围的近于封闭的袋状海盆. 海平面的升降和海峡的启闭将深刻影响海洋生物的繁殖和迁移. 微型腹足类是寿命较为短暂的一个类群, 对环境却有着灵敏的反映. 因此, 通过对微型腹足类的研究, 将对精细地研究较短时期里区域性的古气候和古海洋学特征, 尤其是反映末次冰期以来海平面升降和区域性的古地理变化提供重要的依据.

2000-08-12 收稿, 2000-11-16 收修改稿

\* 国家专项基金(97-926-03-03), 中国科学院创新基金和国家自然科学基金特殊学科人才基金共同资助项目

## 1 海洋环境、材料和研究方法

现代南沙群岛海区主要由外海水团和沿岸水团组成,外海水团是海区的主要水团,可分为表层水(南沙表层水和苏禄海表层变性水)、次表层水、中层水和深层水(上部),沿岸水团包括加里曼丹岛沿岸水和巴拉望沿岸水以及湄公河冲淡水.表层水厚约 75 m,温度大于 20.4℃,盐度为 34.46‰,属高温低盐水体;次表层水分布在 75 ~ 300 m 水深,温度为 11.4 ~ 23.2℃,盐度为 34.27‰ ~ 34.6‰,属高盐水体;沿岸水盐度变化大,为高温低盐水体<sup>[6]</sup>.南海南部大陆架主要由外海水团的表层水、次表层水(上部)组成,以及沿加里曼丹岛沿岸水,巴拉望沿岸水和湄公河冲淡水.

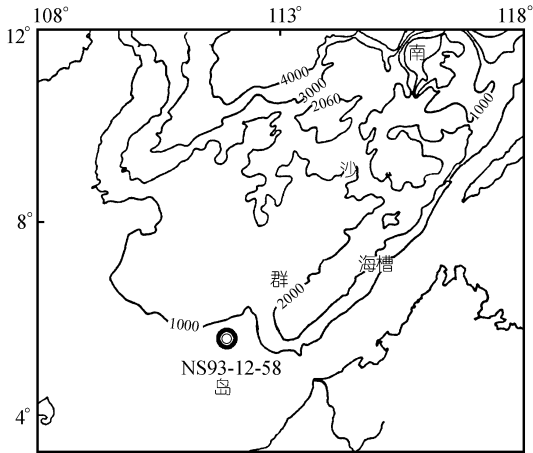


图 1 NS93-12-58 柱样位置图

NS93-12-58 柱样系中国科学院南沙群岛综合科学考察队 1993 年在南海南部大陆架外缘(地理位置为 112°04.70'E, 5°26.35'N, 水深 140 m)钻取的柱样(图 1).全样沉积连续,沉积特征基本无扰动现象<sup>[5]</sup>.该柱样岩芯全长 280 cm,取样 47 层,每样为 50 克,微型腹足类是在 0.063 mm 以上粒径中挑选出来.全样测有 2 个 <sup>14</sup>C 年龄,即柱深 131~135 cm 为(9110 ± 170) aBP,柱深 256~260 cm 为(13405 ± 250) aBP. <sup>14</sup>C 测年分析样品为沉积物原样,于 1994 年在中国科学院广州地球化学研究所同位素实验室的超低温液闪烁谱仪(型号: QUATULUS 1220)上测试完成.全新世与更新世的 11000 a 的界线划在柱深

约 195 ~ 200 cm 处.氧同位素值的测试是选用浮游有孔虫类的袋拟抱球虫(*Globigerinoides sacculifer*),经常规处理后,样品的测试是在地质矿产部海洋地质研究所同位素开放实验室的 Delta-S 仪器上完成,氧同位素曲线见图 2 和图 3.

对南沙群岛大陆架区表层沉积中底栖腹足类研究表明,本区可划分为 7 个底栖腹足类组合(表 1),表层水具 4 个组合,次表层水具 3 个组合.水团的理化性质和海底底质及陆源冲淡水对底栖腹足类的分布起着明显的控制,其中水团的理化性质起着决定性的控制作用<sup>[4]</sup>.本柱样优势种 *Turritella filiola*, *Argyropeza divina*, *Rigincula teremachii* 和优势属 *Scaliola* 具有不同的生态特征和指示意义. *T. filiola* 主要分布在内陆架区,是表层水的优势底栖腹足类,且水体越浅,个体越大,数量越丰富;海流作用越强,个体数量也变得越丰富<sup>[4]</sup>. *Scaliola* 在日本本洲—九州栖息于 5 ~ 30 m 水深的砂泥质海区<sup>[7]</sup>,在我国西沙群岛和中沙群岛<sup>[8]</sup>以及南沙群岛<sup>[9]</sup>主要分布于次表层水的海区,因此该属具喜冷的生态习性,可以指示水体深度的变化. *R. teremachii* 是热带亚热带次表层水种类<sup>[10]</sup>. *A. divina* 是热带次表层水的典型种类,在南沙群岛分布在水深 60 ~ 160 m 的粉砂质海底<sup>[9]</sup>.本文拟通过底栖腹足类和浮游腹足类(翼足类)的分析和分异度等参数的定量研究,比较现代海底表层腹足类遗壳的沉积分布规律和优势种类生态分布,探讨 1.4 万年来南海南部大陆架海平面的变化及与南海周边海峡的启闭状况.

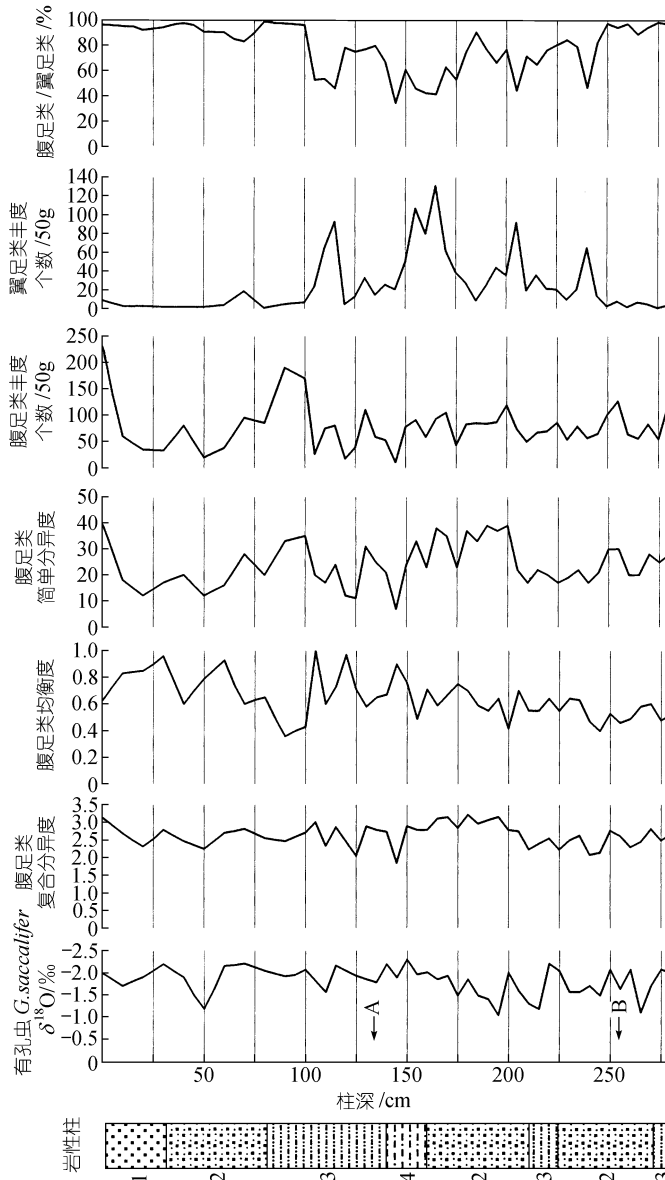


图 2 NS93-12-58 柱样底栖腹足类分异度、翼足类丰度分布图

图中 A 为(9110±180) aBP, B 为(13405±260) aBP. 1. 细砂, 2. 粉砂质细砂, 3. 粘土质粉砂, 4. 粉砂质粘土

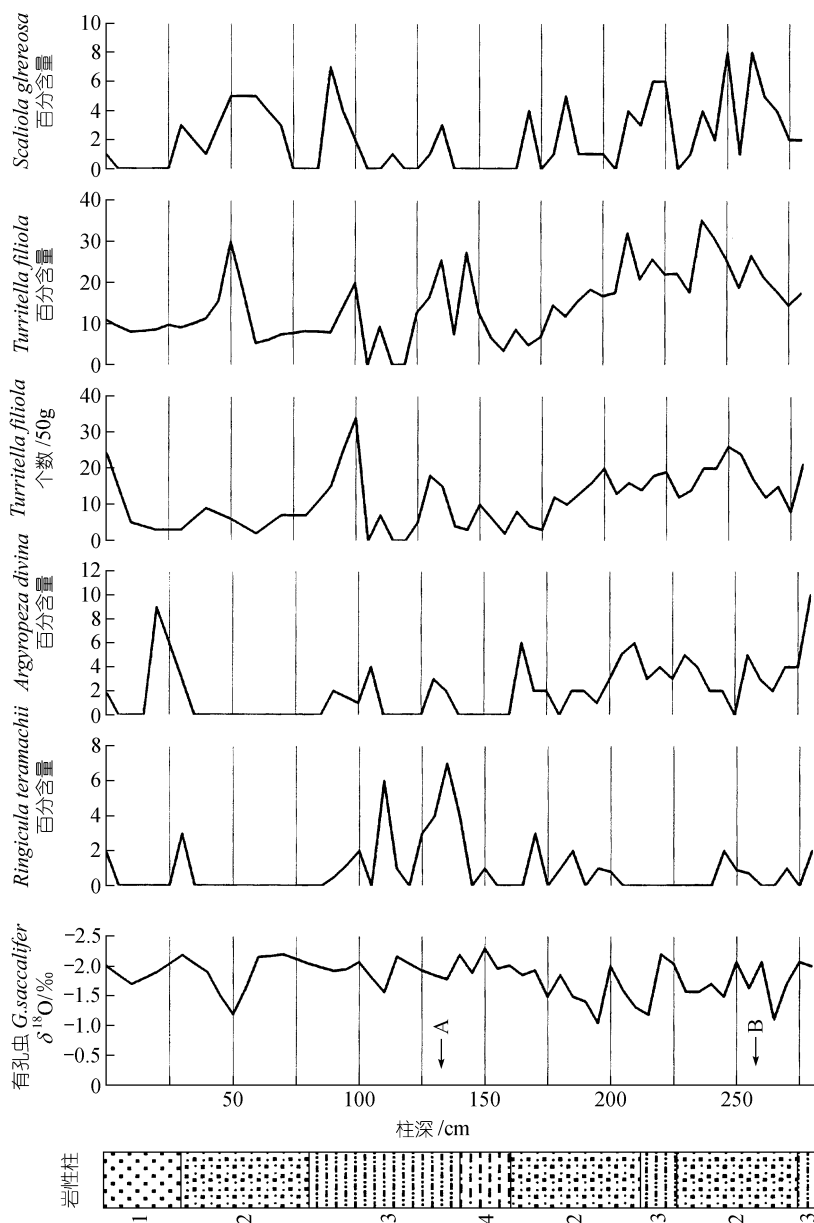


图 3 NS93-12-58 柱样底栖微型腹足类优势种百分含量分布图

图中 A 为(9110±180) aBP, B 为(13405±260) aBP. 其他说明同图 2

表 1 南沙群岛南部大陆架表层沉积中微型底栖腹足类组合特征

分区	I	II	III	IV		V	VI	
位置	湄公河三角洲区	内陆架区		外陆架区			珊瑚礁区	
水深/m	<50	<75		75~150			<70	
底质	生物碎屑砂				粉砂-砂	粉砂质粘土	生物礁复合体	
分异度	S	17	19	11	12	10	18	22
	H/S	2.5	2.3~3.3	2~2.5	2	2.8	3	3
组合	<i>Sigareoenus</i>	<i>Turritella</i>	<i>Lissotesta</i>	<i>Argyropeza-Pusia</i>	<i>Argyropeza-Turritella</i>	<i>Ringicula</i>	<i>Triphoriids-Clathrofenella</i>	
特征种	<i>Sigareornus planus</i> <i>Natica nipponensis</i> <i>Acteocina (Tormalis) exilis</i>	<i>Turritella filiola</i> <i>Cerithium biconaliferum</i> <i>Natica rula</i>	<i>Lissotesta alбата</i> <i>Limacina contorta</i>	<i>Argyropeza divina</i> <i>Pusia sagamiensis</i>	<i>Argyropeza divina</i> <i>Zafra smithi</i> <i>Turritella filiola</i>	<i>Ringicula musashinoensis</i> <i>Evalina waikiteensis</i>	<i>Liotia cf. Lurida</i> <i>Plesiosoma acutangulus</i> <i>Mastonia rubra</i> <i>Clathrofenella reticulata</i>	

## 2 腹足类的古环境意义

### 2.1 对海平面升降的指示意义

NS93-12-58 柱样腹足类具一系列有规律的变化特征. 图 2 表明, 底栖腹足类与翼足类(pteropods)的比较分析表明, 1.4 万年以来本区海平面总的变化模式为由浅变深、又由浅再变深的过程. 全新世高海平面可能出现在 175 ~ 150 cm 柱段. 此柱段翼足类特别发育, 翼足类含量甚至超过了底栖腹足类. 对南沙海区翼足类活体分布的研究表明, 翼足类通常发育在外陆架和陆坡上部<sup>[11]</sup>. 底栖腹足类的分异度表明, 200 ~ 150 cm 柱段底栖腹足类复合分异度(H(S))为高值区. 简单分异度(S)的高值在这一区间表现得更为显著, 与复合分异度完全对应. 底栖腹足类丰度曲线也与此相似. 这反映了温暖适宜的海洋环境使腹足类获得了空前的繁盛. 优势种的百分含量分析表明, 主要分布在内陆架的 *Turritella filiola* 含量在 250 ~ 145 cm 柱段呈下降趋势, 而主要出现在外陆架的 *Argyropeza divina*, *Ringicula teramachii* 则呈上升或开始发育, 显示海平面上升的趋势.

柱深 145 cm 以上, 简单分异度和丰度均显示明显变化的现象. 可以区分出 3 个阶段, 柱深 145 ~ 105 cm, 底栖腹足类低值区; 105 ~ 70 cm, 底栖腹足类高值区, 尤其底栖腹足类丰度达到本柱样第二个最高值. 70 ~ 0 cm, 底栖腹足类分异度和丰度由低迅速增高, 并达到最高阶段. 从底栖腹足类个体大小发育来看, 柱深 150 cm 以下个体较大, 且愈早愈大. 而从 150 cm 以上个体明显变小, 幼壳和胎壳大量出现. 对现代南沙海区陆架表层沉积中的底栖腹足类个体分析表明, 壳体一般地随着水体变深而变小. 因此, 本柱样在整体上反映了早期水体较浅, 晚期水体较深的趋势.

从上述腹足类特征研究中可知, 本柱样显示的 1.4 万年以来末次冰消期腹足类与冰后期全

新世腹足类在分异度、丰度和优势种等方面具有明显的区别。全新世腹足类的均衡度、丰度和分异度总体上明显高于冰消期的腹足类。翼足类主要发育在全新世,而以内陆架为主要栖息地的优势分子 *T. filiola* 和喜冷的 *Scaliola* 在冰消期更发育。

## 2.2 对冰消期阶段内陆架浅水环境的指示意义

末次冰期最盛时海平面下降约 120 m<sup>[5]</sup>,本柱样所在位置处在水深约 20 m。1.4 万年到 1.1 万年仍处于末次冰消期阶段。从腹足类优势种发育看,这个时期研究区主要为内陆架环境,因为主要发育在内陆架的 *Turritella filiola* 在此阶段特别发育,是 1.4 万年来最发育的时期(图 3)。*Scaliola* 尽管变化较大,显然也是其在本柱样很发育的阶段(图 3)。复合分异度( $H(S)$ )和简单分异度( $S$ )显得较低(图 2)。这种特征种非常发育,而  $H(S)$ 和  $S$  为低值的现象与南沙群岛西南部表层样 NS93 站号的情况十分相似<sup>[4]</sup>,该站号位于 50m 水深处,这一水深区一度为海平面停顿面<sup>[12]</sup>。另外,这个时期的腹足类个体普遍较大,表明当时海面为内陆架区的环境,为表层水所覆盖。

## 2.3 对周边海峡启闭的指示意义

末次冰期与冰后期的南海古地理构架有明显不同。冰期阶段,南海海域明显缩小,南海海平面下降幅度可达 120 m<sup>[5]</sup>,由此导致向南的卡里马塔海峡,马六甲海峡,向东的巴拉巴克海峡及北东向的台湾海峡的关闭。而巴士海峡和民都洛海峡也变浅和变窄。而冰后期阶段,随着气候转暖和海平面上升,南海海盆与周边海域连通,并形成南北向的季风海流。然而,由于南海南部海峡通道水深仅 10~30 m<sup>[13]</sup>,在冰后期的海平面波动式上升中,有可能再度关闭和开通。海峡的启闭和南海海盆与南部的爪哇海的连通势必影响腹足类的迁移变化。

NS93-12-58 柱样翼足类和底栖腹足类分析表明,约 10.23 kaBP (柱深 170 cm)左右,南海南部大陆架周边海峡有可能开通。表明这一现象的主要标志是,翼足类含量在本段上部形成了一个高值区间,丰度高达 130 个(图 2)。通常发育在外陆架区的底栖腹足类 *Ringicula teramachii* 也出现在本段上部。对比现代南沙海区翼足类和 *Ringicula teramachii* 的分布,它们均指示了水体较深的外陆架外缘的环境<sup>[10,11]</sup>。另一个重要标志是随着海水逐渐变深,原先极度发育的 *Turritella filiola* 百分含量逐渐下降,从 30%减到 3%,*T. filiola* 丰度的有序递减更明显地反映了水体变深的趋势(图 3)。研究表明在末次冰消期阶段主要发育表层水,随着冰后期海平面上升,来自北部的次表层水进入本区,而随着向南和向东海峡通道的开通,爪哇海和苏禄海的表层水与本海区产生了交流。

需要指出的是柱深 145 cm 底栖腹足类极度贫乏,分异度为 1.4 万年中最低值(图 2)。这一现象也出现在双壳类、有孔虫和介形虫中<sup>[5]</sup>。这可能表明当时海水很深,加上粉砂质粘土底质的不稳定性,造成了动物群的极不发育。

氧同位素资料表明,在海峡开通过程中同位素显示了逐渐变轻的现象,即从 11.27 kaBP ~ 9.37 kaBP(柱深 200 ~ 145 cm), $\delta^{18}\text{O}$  逐渐变轻,从  $-1.0\text{‰}$  到  $-2.2\text{‰}$ 。在柱样深约 150 cm 处达本柱样最轻值 $-2.3\text{‰}$ ,形成了这一时期水温渐高,海平面持续上升的过程。岩性在 210 ~ 160 cm 段为粉砂质细砂,160 ~ 140 cm 段为粉砂质粘土,显示了由粗变细的海侵序列<sup>[5]</sup>。这一阶段,底栖腹足类复合分异度和简单分异度均形成了一个高值区间,表明冰后期变暖过程中适宜的海洋环境使底栖腹足类的属种和丰度均达到了非常发育的程度。

柱深 100 mm,约 6.91 kaBP 左右则可能反映了南海向南的通道再次关闭。表明此现象的

一个显著标志是底栖腹足类 *Turritella filiola* 此时突然变得极为丰富, 绝对丰度达 1.4 万年来最高值, 含量达 20%。另一个特征是此柱段底栖腹足类分异度较高, 但均衡度很低(图 2), 为 1.4 万年来最低点, 反映了海洋环境震荡激烈, 使底栖腹足类各种发育极不平衡。

## 2.4 对晚全新世气候波动的指示意义

柱深约 55 ~ 50 cm 氧同位素  $\delta^{18}\text{O}$  突然变重, 达  $-1.5\text{‰}$ , 表明水温有明显的下降。此时底栖腹足类分异度和丰度均下降到很低点。而优势属中较发育的有 *Scaliola*。根据其从日本沿海到南沙群岛的分布规律, 显示该种此时并不代表浅水环境, 而是反映水体较深, 水温较低的现象。此现象亦出现在本柱样的双壳类和介形类中<sup>[5]</sup>。遗憾的是这些种类曾被只看作了浅水种而忽略了它们随纬度变化会发生分布深度变化的可能。实际上, 对比这些种在不同海区的分布规律, 可以发现它们具有喜冷的特性。它们在热带海区的大量出现, 反映了气候的变冷。据报道, 距今 4000~2000 年期间为东亚海区晚全新世气候变冷阶段<sup>[14]</sup>, 其依据来自有孔虫普林虫事件和所谓冲绳海槽温跃层变浅, 黑潮暖流有可能减弱或东移<sup>[15]</sup>。而 *Scaliola* 等喜冷类型的发育可能与此气候变冷有关。

## 3 结论

从以上讨论可得出以下结论:

- (1) 1.4 万年南海南部大陆架海平面经历了上升, 短暂下降又上升的过程。
- (2) 末次冰消期阶段主要为内陆架环境。
- (3) 在早全新世存在高海平面, 南海周边海峡开启。
- (4) 在中全新世有可能发生过短暂的海平面下降。
- (5) 在晚全新世发生过气候的变冷。

**致谢** 对中国科学院南海海洋研究所陈木宏研究员为研究提供 NS93-12-58 柱样化石材料, 蓝琇研究员审查全文, 并提供宝贵意见, 均表谢意。

## 参 考 文 献

- 1 Scott D B, Mudie P J, Vilks G, et al. Mar. Micropaleontol. Latest Pleistocene-Holocene paleoceanographic trends on the continental margin of Eastern Canada: foraminiferal, dinoflagellate and pollen evidence. Mar Micropaleontol, 1984, 9(3): 181~218
- 2 闵秋宝, 赵泉鸿, 汪品先, 等. 南海珠江口外陆架古海洋学初步探讨. 见: 业治铮, 汪品先主编, 南海晚第四纪古海洋学. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 108~118
- 3 高 良, 阎 军, 薛胜吉. 南海西北部陆架晚第四纪古海洋学研究. 见: 业治铮, 汪品先主编, 南海晚第四纪古海洋学. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 96~107
- 4 冯伟民. 南沙群岛南部大陆架表层沉积中腹足类的分布规律和沉积环境的关系. 见: 中国科学院南沙综合科学考察队主编, 南沙群岛及其邻近海区海洋生物分类区系与生物地理研究. 北京: 海洋出版社, 1994. 27~41
- 5 陈木宏, 蔡慧梅, 等. 南沙群岛及邻近海区的微体生物与环境研究. 科学通报, 1997, 42(11): 1121~1128
- 6 黄企洲, 岳 章. 1988 年夏季南沙群岛海区的温、盐度分布和水团. 见: 南沙群岛及其邻近海区海洋环境研究论文集(一). 武汉: 湖北科学技术出版社, 1991. 18~30
- 7 Habe T. Hoikusha Publishing Co. Ltd, 1979, 1~94, pls 1~44
- 8 冯伟民, 蓝 琇, 王金权. 中沙、西沙群岛海区表层沉积物中微型腹足类、双壳类的分布. 热带海洋, 1997, 16(4): 1~10,

图版 1, 2

- 9 冯伟民. 南沙群岛海区的微型腹足类. 见: 中国科学院南沙综合科学考察队主编. 南沙群岛及其邻近海区海洋生物分类区系与生物地理研究, II. 北京: 海洋出版社, 1996. 85~205, 图版 1~32
- 10 林光宇. 中国近海露齿螺属 *Ringiculla* (后鳃类)的研究. 见: 贝类学论文集(第一辑), 1983. 23~30
- 11 郑执中, 涂 霞, 蔡慧梅, 等. 沉积生物. 见: 中国科学院南沙综合科学考察队主编. 南沙群岛及其邻近海区综合调查报告, (一)下卷. 1989. 774~801
- 12 苏广庆, 陈绍谋. 南沙群岛海区沉积环境研究. 见: 南沙群岛及其邻近海区海洋环境研究论文集(一). 武汉: 湖北科学技术出版社, 1991
- 13 汪品先, 等. 十五万年来的南海. 上海: 同济大学出版社, 1995. 1~184
- 14 Li Bao hua, Jian Zhimin, Wang Pinxian. *Pulleniantina obliquiloculata* as a paleoceanographic indicator in the southern Okinawa Trough during the last 20000 years. *Marine Micropaleontology*, 1997, 32(1~2): 59~69
- 15 王吉良. 冲绳海槽北部全新世温跃层深度的变化. *第四纪地质*, 1998, (3): 281