科 学 通 报
第 42 卷 第 11 期 Chinese Science Bulletin 1997 年 6 月

【专题评述】

南沙群岛及邻近海区的微体生物与环境研究

陈木宏① 蔡慧梅① 涂 霞① 陆麟黄②
(①中国科学院南海海洋研究所，广州 510301；②中国科学院南京地质古生物研究所，南京 210008)

关键词 南沙海区 微体生物 分布规律 古环境变化

由中国科学院组织的南沙综合科学考察队近 10 年来在我国南沙群岛及其邻近海区进行了包括地球科学各个领域的综合考察，取得丰硕的科学研究成果. 其中的微体生物(包括微体古生物及其现代类群)研究中，共分析了 177 个站位的表层样和 7 个岩芯柱的 937 个分层样(图 1)，开展了包括有孔虫、介形类、放射虫、苔藓虫、腹足类、双壳类、硅藻、沟鞭藻、孢粉和钙质超微化石(颗石藻)等 10 个大类群的分析研究工作，几乎涉及微体生物的所有门类. 该项成果以分类学研究为前提，讨论它们的现代区系特征、生态特征和沉积埋藏特征，进而分析微体生物各浮游类群和底栖类群分布与海洋环境的关系，从中总结和归纳可作为指示环境变化的指标；在此基础上进一步分析柱状样品，依据各柱状样包含的晚第四纪以来微体生物组合与演

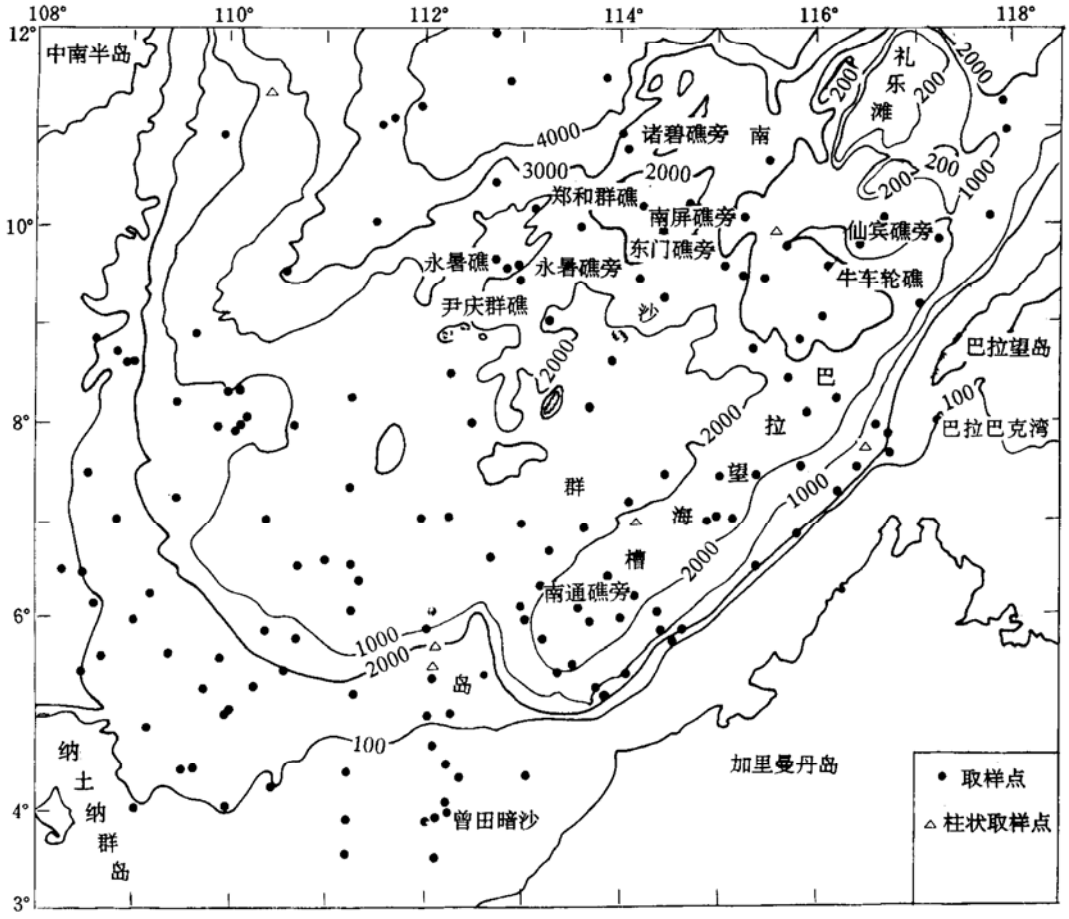

图 1 南沙群岛及其邻近海区微体生物分析站位图

替特征，从中提取信息，结合氧同位素与^{14}C等测年资料，最后达到探讨该海区晚第四纪以来古环境演变特征的目的，从而也为研究过去全球变化提供信息与资料.

在南沙海区微体生物的研究中，经过十几位科研人员的不懈努力，先后已发表和出版了一批论文与专著[1~12]，其中主要的成果体现在论文集 *Quaternary Biological Groups of the Nansha Islands and the Neighbouring Waters* 和研究专著《南沙群岛及邻近海区晚第四纪的微体生物与环境》这两本书中，前者所含11篇文章主要讨论各生物门类的分类学特征与分布特征，并附有标本照相图版说明，后者是整个海区的综合性研究结果，将微体生物的10个门类作为一个群落整体进行分析与讨论.

1 微体生物的系统分类

对南沙海区的微体生物做了较为全面的鉴定统计，对其中的2 083个常见属种进行系统分类，含有孔虫339种、介形虫208种、放射虫248种、双壳类100种、腹足类374种、苔藓虫134种、硅藻277种、颗石藻41种、沟鞭藻29种和孢粉333种类型，获得大批我国新记录的种类，其中共发现并建立59个新种.

2 微体生物的现代分布规律

在南沙海区不同的地貌单元中，微体生物群落与埋藏均显示了各自的组成与结构特征. 一级划分为陆架群落、陆坡群落、海盆群落、海槽群落和珊瑚礁群落. 次级划分则依据各个门类(包括了群落分布区中的海底底栖类群与上覆水体中的浮游类群)不同的生态习性与分布特征产生不同的结果，各个生物群落具有立体结构的特点. 成果中对上述内容作了详细的综合讨论，并分析了每个群落中的典型代表与各个门类的主要种类，对群落与群落之间特征的共同性和差异性也作了分析比较，从而使人们对南沙海区的微体生物(含10个门类)有一个较为全面的基本认识.

生物的组合特征既代表了生物群落面貌的主成分，也反映了一定环境下生物群内部的联系与差别，是说明生物与环境的一个主要方面. 由于各微体生物门类的生态习性和营养方式不同，造成各自适应环境和分布特征的差异. 成果中对每一类微体生物在本海区的各个不同环境中的组合情况及其与环境关系做较为详细的讨论和划分.

底栖类群的生活状态主要受水深、底质类型、食物链、水团及其他海水中物化条件影响和控制，其特征因区域而不同. 因此，该项研究对岛礁区、陆架区、陆坡区和海盆区分别进行具体分析，重点讨论了各类底栖微体生物的行为方式、活动方式、摄食方式和适应环境方式，并结合生物体结构和壳体形态，探讨了南沙海区中底栖微体生物的生态特征. 而浮游类群在海底沉积物中所表现的是生态与沉积的综合特征，在不同的环境中，浮游类群的沉积过程和作用所造成的影响效果不同，它们在沉积物中的组成特点存在明显差异，一定程度上反映了它们的生态分布，也对沉积环境具指示意义. 在微体生物群的类型和保存状态问题讨论中，分别对浮游类、游泳类和底栖类(包括表生动物和内生动物二类)进行分析. 依据各自的生态分布、沉积特征和沉积物的类型与性质，从中寻找互相联系与影响的线索，并说明其保存状况的因果关系. 在对微体生物埋藏与生态关系的分析中，提出一定的埋藏群特征对应于一定的沉积类型的看法，指出生物遗壳的混合是埋藏群的一个普遍现象，并将其区别为：浮游生物与底栖生物遗壳的混合、原地底栖生物遗壳与异地底栖生物遗壳的混合和不同时代生物遗壳的混合(包括残留

沉积生物遗壳的混合和再沉积生物遗壳的混合)等混合类型,同时说明这些混合类型在南沙海区的特征与分布,从而阐明有效识别原地埋藏群分子的方法,指出其鉴别的主要特征. 通过对微体生物埋藏群与生物活体分布的比较研究,揭示了埋藏群与生态的关系及其分析手段,进而说明埋藏群对生态的指示作用.

3　微体生物信息的环境指示意义

微体生物与海洋环境的关系应该说是千丝万缕、涉及了存在于海洋环境中的方方面面的因素,因为海洋环境是一个包含诸多因子的错综复杂的综合体. 侧重于分析和研究底栖类群与各水层、浮游类群与表层水、底栖类群与水深、浮游类钙质壳体与碳酸盐溶解等关系,以及孢粉类型与海洋环境和某些壳体化学特征的环境意义探讨. 这些问题探索的目的是为进一步解释古环境提供更加完善而有对比应用价值的方法和资料.

底栖微体生物群的生态分布受水深的控制较明显,无论是种类的分异度,还是个体的丰度,都随着水深而变化. 各个门类呈现了有所不同的变化特征,不同的种类甚至局限分布于一定的水深范围,利用这些"指示种"的组合特征,可综合说明它们所代表的水深环境. 因此,对这些有意义的信息分门别类地进行了较为仔细的提取、分析和归纳(图 2). 同时,还分析了各类微体底栖生物对不同水团性质的底层水的反应,讨论它们之间的一些相互关系,其中也注意到温度、盐度、透光性、溶解氧含量等因素对一些特征种和有关参数的影响,从而为南沙海区微体底栖生物与环境关系的深入研究开拓了更加广阔的视野.

浮游微体类群的生态分布主要与海洋的表层水团有关,表层水中的温度、盐度、营养盐和初级生产力是限制各类浮游微体生物生长、发育与分布的主要因素. 在分析了各类群对温度和盐度适应性的基础上,讨论了南沙海区几个主要不同性质水团对硅质类群和钙质类群分布的影响,分析造成这二大类群分布差别的原因,还分析了浮游类群中的硅藻、颗石藻与初级生产力在分布上的相关性,并将南沙海区与世界各海区的有关环境条件作了比较,从中得出以下几点认识:(1)南沙海区中浮游性的钙质类群比硅质类群更适于发育,而硅质类群中以放射虫占优势;(2)南沙海区中的微体生物总丰度以至生物资源在世界海洋中可能属中等偏上水平;(3)利用浮游硅藻和颗石藻在沉积物中的含量,可以作为推测海洋古生产力的一种新手段,其中必需在实测资料与推测结果之间建立一种转换函数.

孢子花粉虽来自陆上植被,也属海底沉积物中生物记录的一部分. 着重分析了孢粉在南沙海区表层沉积物中的分布特征,划分出 5 个不同特点的分布区,并对孢粉分布与海洋沉积环境中的地理位置、离岸距离、水深、沉积物类型、季风和海流等主要因素的关系作了分析讨论.

4　生物地层与古海洋环境变化特征

为了较全面地了解南沙海区晚第四纪的沉积环境,并为研究生物地层和生物相提供详细的背景资料,对取自不同区域的 7 个柱状样进行了沉积层层序特征分析. 由于陆架区对沉积环境变化的反应较灵敏,沉积物源多而类型复杂,成果中选取 NS93-12-58 柱(水深 140 m)作重点讨论,从中归纳出了 3 套变化有规律的沉积层,代表 3 个主要沉积旋回. 以该柱为基点,还与其他各取自深水的柱样作比较分析,说明在不同的区域,由于沉积物源和沉积作用的不同,从而造成沉积层层序特征的不同,对此,可采用不同的分析方法分别对待,以达到区域可对比性的目的.

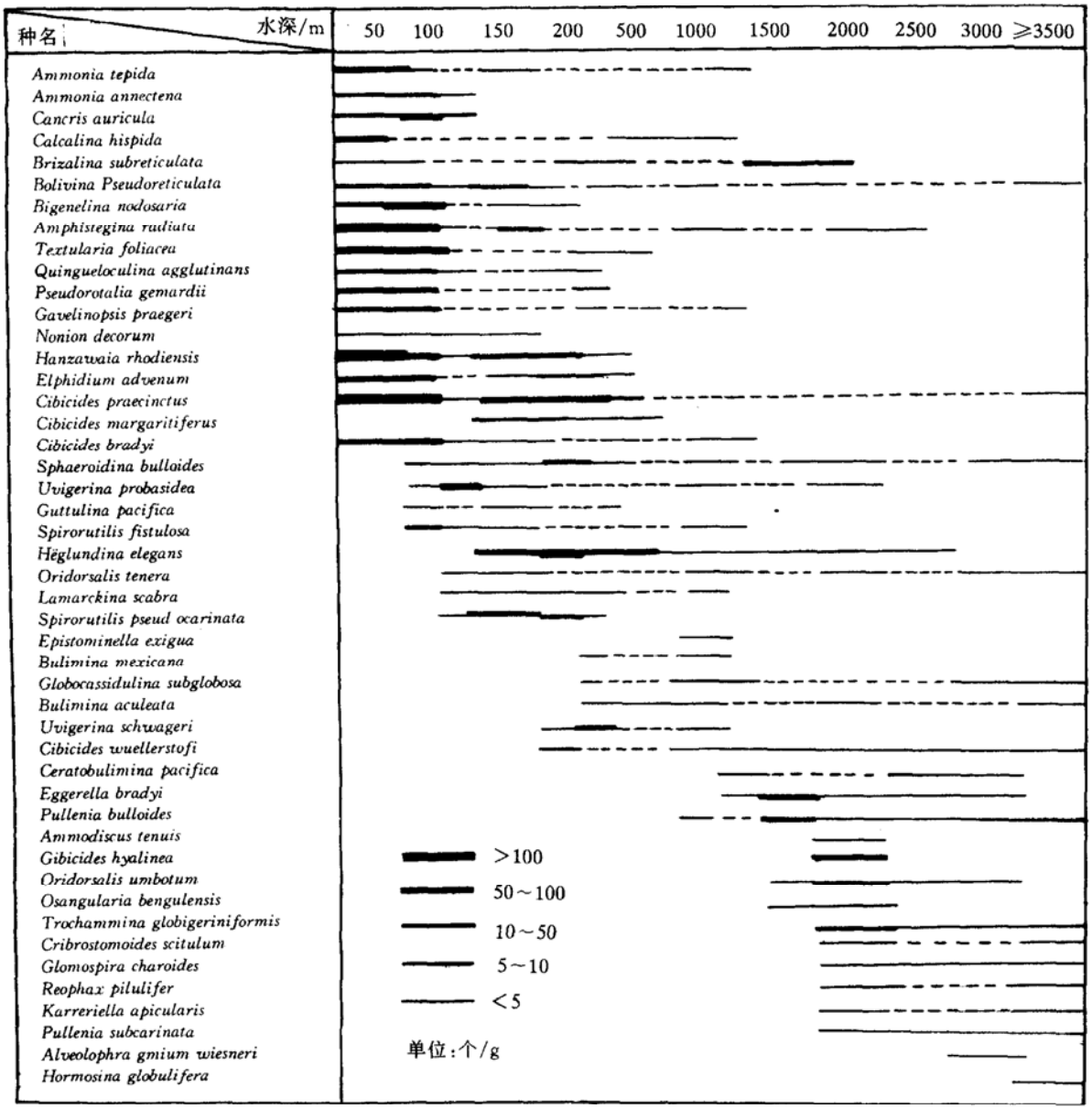

图 2 底栖有孔虫特征种深度分布

在世界海洋的第四纪生物地层中[13~16],前人采用传统方法所建立的各类“化石带”,由于种种原因显然难以被普遍用于地层划分,尤其对晚第四纪地层的应用更是显得无能为力. 对此,根据生物的生态原理,利用一些特征种与气候或上层海水温度的关系,结合国际公认的晚第四纪氧同位素各期所代表的全球气候特征作对比,尝试建立浮游有孔虫、硅藻、超微化石和放射虫的“微体生物带”,以其特征和规律的可对比性,应用于取自不同区域,甚至其他海区的生物地层划分中. 同时,还结合一些具有地层意义的特征事件在各柱样的揭示,讨论南沙海区柱状样的生物地层划分、对比和地质年代问题,对该海区的晚第四纪生物地层作了初步的综合性总结(图 3). 氧同位素分析是目前国际上解决晚第四纪古气候变化与地层年代等问题的有效方法之一,因此,将地层年代推测与氧同位素分析结合进行. 通过氧同位素的分析结果及其

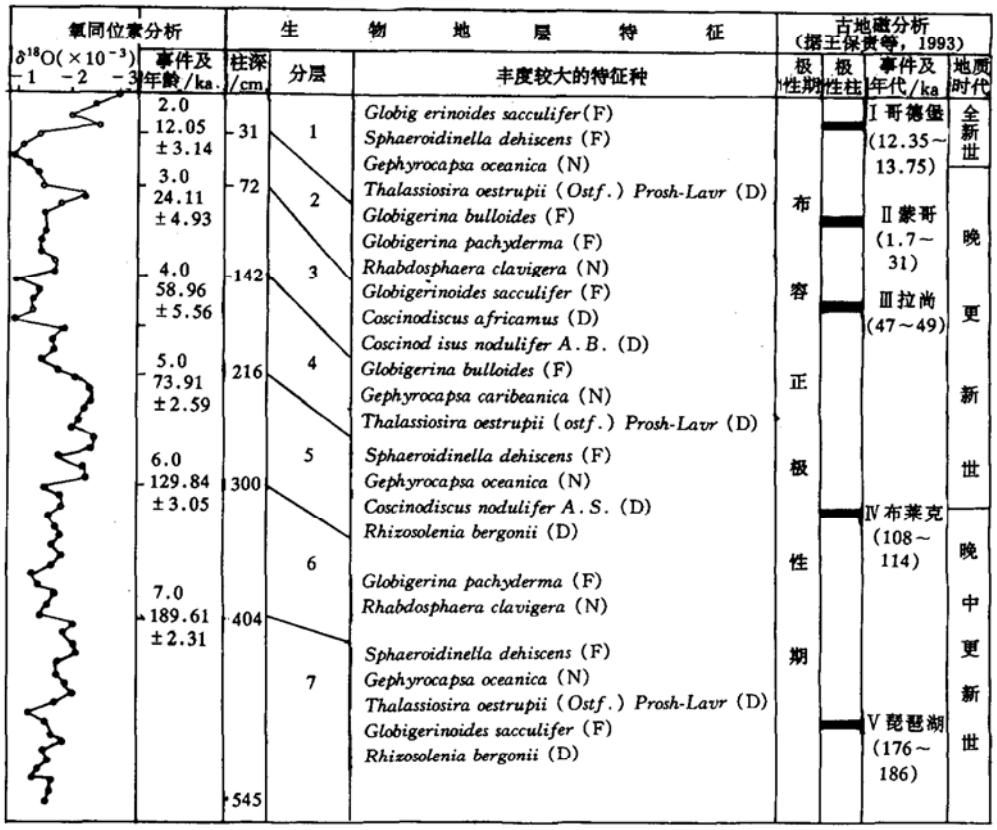

图 3　南沙海区 NS-90-10 柱生物地层特征及年代对比

界线上的时间可比性，对各地层年代作了进一步的讨论．在综合分析各种地层特征的基础上，对南沙海区与其他海区的晚第四纪地层均作了初步对比和区域性比较(图 4)．

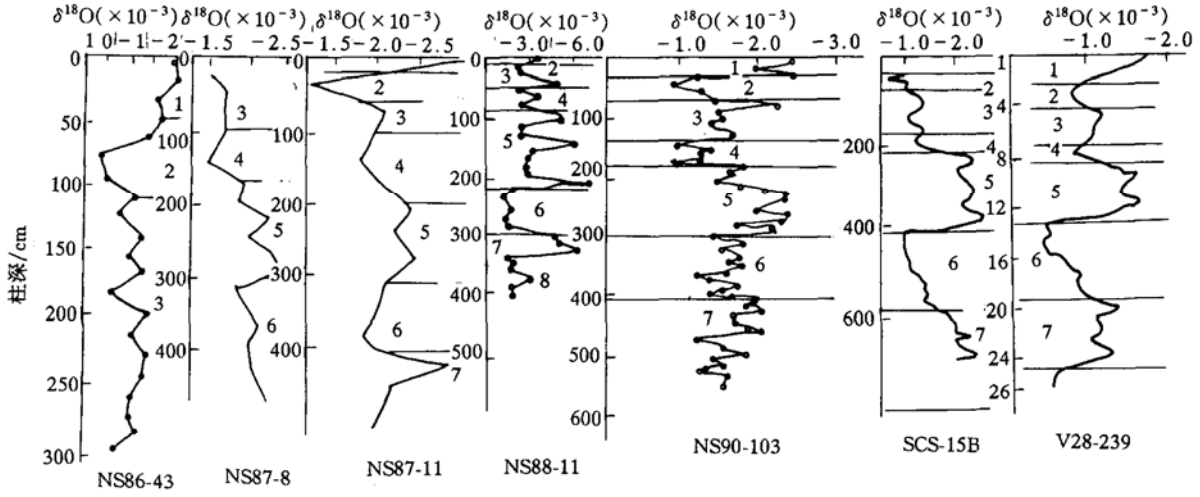

图 4　氧同位素曲线对比

NS86-43(据顾兆炎，1991)，SCS-15B(据 Wang and Chen, 1990)

南沙海区晚第四纪古环境演化是古全球变化中的一部分，而且由于南沙海区在世界海洋中的特殊地理位置，使研究该海区的环境演化具有重要意义．从研究现代微体生物与环境的

结果表明,它们之间息息相关. 微体生物群的演替,是环境变化的结果. 利用取自不同区域或地貌单元的柱状样,对南沙海区晚第四纪以来的微体古生物群特征及其演替做了详细分析,分别说明每个地质时期中微体古生物群的组成特征,认为微体古生物群的演替在晚第四纪中经历了5个阶段,各阶段的微体古生物群特征是古环境演化的具体记录与反映. 利用浮游有孔虫、钙质超微植物群、放射虫和孢粉等分析,对南沙海区晚第四纪以来的古气候变化作了讨论,划分出250 ka以来的5个古气候期,并阐明各期中的气候与微体古生物特点,从而揭示该时期中的古气候变化历史.

在研究南沙海区表层古水温变化特征中,采用浮游有孔虫丰度分析、氧同位素曲线分析和转换函数计算等三种方法相结合的手段,结果表明三者之间有着很好的一致性. 总体表现了南沙海区250 ka以来的表层古水温的变化:在氧同位素第5期表层古水温较高,冰后期与其接近;氧同位素4期和6期的冬季表层古水温比较接近,均高于2期的冬季表层古水温,冬季古水温的波动普遍大于夏季;第5期与2期各柱的季节温差为1～5℃,比热带西太平洋海区温差略大,显示了边缘海的放大效应,也说明季风对该海区的影响较明显. 88-11柱中第6期的温度相对较低,主要原因可能是该海区的南通道处于完全封闭状态,受东北季风与地形影响,在该区域形成上升流,使底部的低温水与表层水混合,造成海区表层水的温度较低.

地质学中的特征事件,往往是地层年代对比和环境突变辨认的关键性环节,具有重要的研究意义. 分析揭示晚第四纪以来的几个典型特征事件在南沙海区地层中的表现特征,并将之与南海北部海区以及世界其他海区作了比较. 这些特征事件是:粉红色 *Globigerinoides ruber* 壳体绝灭事件、末次冰期极盛期事件、新仙女木事件和冰后期中的温暖事件. 由于充分利用了南沙调查中已取到的分布于不同区域的柱状样,包括具高沉积速率的陆架区样品,使这些特征事件以及它们所代表的年龄在南沙海区均得到较好反应与揭示.

海平面变化可引起一系列的环境变化,因此它是研究全球变化的重要课题之一. 重点对取自南沙中部陆架区水深140 m的NS93-12-58柱样(位于5°26.35′N,112°04.70′E)开展了海平面变化及其环境特征的分析研究. 采用微体古生物组合的环境分析、氧同位素 $\delta^{18}O$ 值分析、沉积物粒度分析、碳酸钙含量分析和 ^{14}C 测年等多种方法相结合的手段,尤其是利用一些底栖类型对陆架环境的灵敏反应特征,对该柱样的沉积年代与环境变化特征作了讨论,以此说明南沙海区距今14.6 ka以来海平面变化的几个主要特征:(1)海平面变化经历了低～高～略低的3个基本阶段;(2)末次冰期晚期的海平面比现代的海平面约低90 m;(3)冰后期存在着高海面现象,发生在距今11.7～5.51 ka时期;(4)高海面与低海面相对交替出现,认为是气候调节与动态平衡作用所致,最低海面可能达现代海平面以下约120 m深处;(5)南沙海区在末次冰期顶盛期的海平面可能低于现今海底120 m的等深线;(6)末次冰期以来南沙海区的东部、南部和西部通道曾处于完全关闭状态,必然引起南沙海洋环境的一系列相应变化(图5).

5 主要结论

(1)南沙海区14.6 ka以来海平面总体上经历了低～高～略低的3个基本阶段,末次冰期晚期的海平面比现代的海平面约低90 m,顶盛期可能低于现今海底120 m的等深线,冰后期的高海面现象主要发生在距今11.7～5.5 ka时期. 由于气候调节与海洋动态平衡作用造成高海面与低海面相对交替出现,表明末次冰期以来南沙海区的东部、南部和西部通道曾处于完全关闭状态,由此必然引起南沙海洋环境的一系列相应变化.

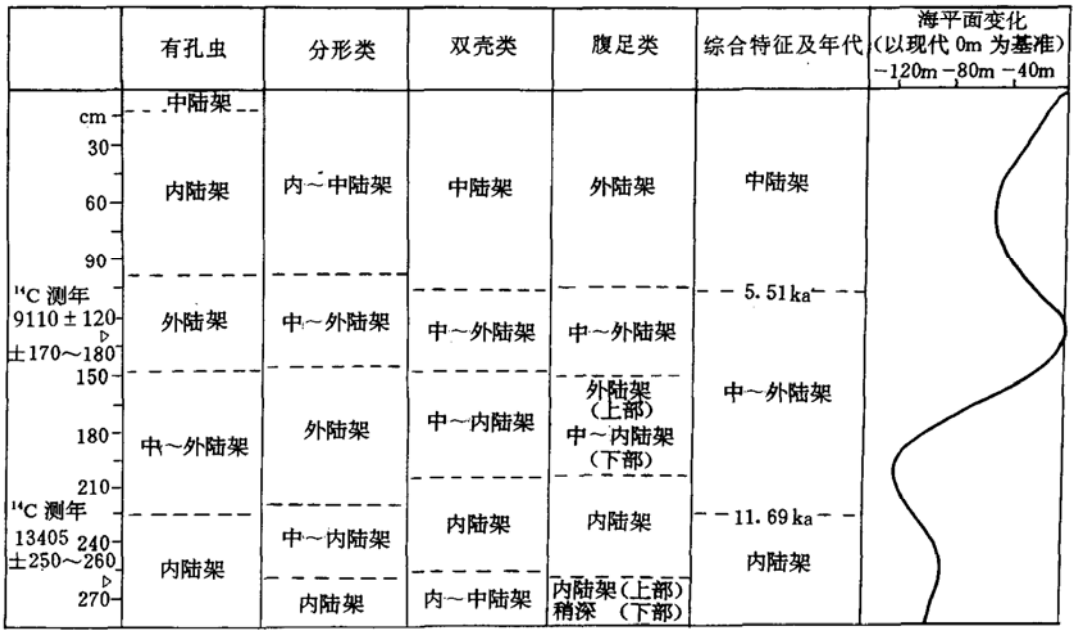

图 5　微体生物分析综合环境特征

(2)南沙海区陆架区末次冰期晚期以来沉积了 3 套变化有规律的沉积层,代表 3 个主要沉积旋回;在陆坡和海盆等不同的区域,由于沉积物源和沉积作用的不同,造成沉积层层序特征与陆架区的不同.

(3)根据生物的生态原理,利用一些特征种与气候或上层海水温度的关系,结合国际公认的晚第四纪氧同位素各期所代表的全球气候特征作对比,认为采用特征种的丰度曲线对比作为提高生物地层分辨率的方法是有效的,因此初步尝试建立了南沙海区晚第四纪浮游有孔虫、硅藻、超微化石和放射虫的"微体生物带".

(4)南沙海区 250 ka 以来的表层海水古水温特征是:在氧同位素第 5 期冬季表层古水温较高,与冰后期接近,4 期和 6 期比较接近,均高于 2 期的冬季表层古水温,冬季古水温的波动普遍大于夏季,5 期与 2 期的季节温差为 1～5℃,比热带西太平洋海区温差略大,显示了边缘海的放大效应,也说明古季风对该海区的影响较明显.

(5)南沙海区晚第四纪以来的沉积物中记录的典型特征事件主要是:粉红色 *Globigerinoides ruber* 壳体绝灭事件、末次冰期极盛期事件、新仙女木事件和冰后期中的温暖事件. 这些事件均具世界性意义,在南沙海区的被揭示对讨论地层与气候的世界对比可发挥重要作用.

(6)发现微体生物 59 个新种,其中 17 个微型腹足类新种多数只出现在个别的科中,表明南沙海区具有独特的生物区系特征.

(7)南沙海区中微体生物浮游性的钙质类群比硅质类群更适于发育,而硅质类群中以放射虫占优势;微体生物总丰度以至生物资源在世界海洋中可能属中等偏上水平;浮游类群中的硅藻和颗石藻与初级生产力在分布上明显存在相关性.

(8)微体生物在南沙海区普遍发育,类型繁多,在不同地貌单无和环境条件中具有明显不同的群落特征,在陆架和岛礁区以繁盛的底栖类群为统治,在陆坡和海盆区则明显由丰富的浮游类群占优势,具硅质的浮游类群在海盆区中成为主要分子.

(9)微体生物的埋藏群特征对应于一定的沉积类型,分析结果表明生物遗壳的混合是埋藏群的一个普遍现象,可将其区别为:浮游生物与底栖生物遗壳的混合、原地底栖生物遗壳与异地底栖生物遗壳的混合和不同时代生物遗壳的混合(包括残留沉积生物遗壳的混合和再沉积生物遗壳的混合)等混合类型. 这些混合类型的鉴别是利用埋藏群分析古生态以及古环境的重要手段.

(10)分析结果表明:底栖微体生物群无论是种类的类型和分异度,还是个体的丰度都随着水深而变化,利用"指示种"的组合特征,可综合说明它们所代表的水深环境.

致谢 本工作为国家专项(927)资助项目.

参 考 文 献

1 郑执中,涂 霞,蔡慧梅,等. 沉积生物. 见:南沙群岛及其邻近海区综合调查研究报告(一),下卷. 北京:科学出版社,1989. 774~801

2 蔡慧梅,郑 范,陈木宏,等. 生物遗壳的沉积作用. 见:南沙群岛及其邻近海区综合调查研究报告(一),下卷. 北京:科学出版社,1989. 530~540

3 兰 秀. 双壳类动物群. 见:南沙群岛及其邻近海区综合调查研究报告(一),下卷. 北京:科学出版社,1989. 467~471

4 余家桢. 南沙群岛东南部海区沉积分布与环境关系. 见:中国科学院南沙综合科学考察队编. 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. 252~258

5 涂 霞,郑 范. 南沙群岛东部海区有孔虫分布趋向. 见:中国科学院南沙综合科学考察队编. 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. 259~278

6 Lu Linhuang, Cai Huimei, Tu Xia, et al. Quaternary Biological Groups of the Nansha Islands and the Neighbouring Waters (Edited by The Multidisciplinary Oceanographic Expedition Team of Academia Sinica to the Nansha Islands). Guangzhou: Zhongshan University Publishing House, 1991, 1~552, pls. 1~102

7 陆麟黄,聂宝符,钟晋梁. 曾母暗沙海区全新世唇口目苔藓虫. 南海海洋科学集刊,1992,(10):92~112

8 陆 钧,钟石兰. 南沙群岛海域第四纪颗石藻初步研究. 热带海洋,1993,12(1):32~38

9 涂 霞,陆麟黄,蔡慧梅,等. 南沙群岛及其邻近海区微体生物特征. 见:中国科学院南沙综合科学考察队编. 南沙群岛及其邻近海区第四纪沉积地质学. 武汉:湖北科学技术出版社,1993. 48~57

10 涂 霞,郑 范,陈木宏,等. 微体古生物分布. 见:涂 霞等著. 南沙群岛海区晚第四纪古海洋学研究(一). 北京:科学出版社,1995. 1~33

11 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

12 陈木宏,蔡慧梅,涂 霞,等. 见:中国科学院南沙综合科学考察队编. 南沙群岛及邻近海区晚第四纪的微体生物与环境. 北京:海洋出版社,1996. 1~210

13 Bolli H M, Premalli S I. Oligocent to recent planktonic foraminifera and stratigraphy of the leg 15 sites in the Caribbean Sea. Initial Rep Deep Sea Drill Proj, 1973, (15): 475~497

14 Boudrecaux J E, Han W W. Calcareous nannoplankton and biostratigraphy of the Late Pliocene-Pleistocene-recent sediments in the submarine cores. Rev Esp Micropaleontol, 1969, (1): 249~292

15 Nigrini C A. Radiolarian zones in the Quaternary of the equatorial Pacific ocean. In: Funnell B M, Riedel W R, eds. The Micropaleontology of Oceans. Cambridge: Cambridge University Press, 1971. 443~462

16 Okada H, Bukry D. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). Mar Micropaleontol, 1980, 5(3): 321~325

(1997-01-14 收稿,1997-03-18 收修改稿)