2003年3月

南海东北部表层沉积中微体化石 与碳酸盐溶跃面和补偿深度

陈荣华1,徐 建2,孟 翊3,汪东军1,刘传联2,黄宝琦2,张富元1

(1. 国家海洋局海底科学重点实验室/国家海洋局第二海洋研究所,浙江 杭州 310012;2. 同济大学 海洋地质教育部重点实验室,上海 200092;3. 华东师范大学河口海岸研究所,上海 200062)

摘要:通过对南海东北部(12°~22°N,116°~122°E)表层沉积中的浮游有孔虫、底西 有孔虫、钙质超微化石、硅质与钙质生物丰度和比值的定量分析以及碳酸盐含量的画 定,发现碳酸盐含量、浮游有孔虫、钙质超微化石丰度以及钙质生物比值随水深的增 大迅速减小,而底栖有孔虫占有孔虫全群的比值和硅质生物比值以及底栖有孔虫胶 结质壳类的百分含量却随水深的增大迅速增加.研究表明,调查区内微体化石丰度和 比值以及碳酸钙含量的高低,与碳酸盐溶跃面(lysocline)和碳酸盐补偿深度密切相 关,碳酸盐溶跃面和碳酸盐补偿深度南、北还存在一定差异,碳酸盐溶跃面南部较地 部深,南部在2 600 m上下,北部则在2 200 m上下;碳酸盐补偿深度也是南部的较深, 南部为 3 600 m上下,而北部在3 400 m上下. 关键词:微体古生物;碳酸盐溶跃面和补偿深度;表层沉积;南海

中图分类号: Q915.1(182.5); P578.6(182.5) 文献标识码: A 文章编号: 0253 - 4193(2003)02 = 0048 = 09

1 引言

在深海大洋的海水垂向剖面上,自上而下有两个非常重要的界面——碳酸盐溶跃面和碳酸盐补偿深度(CCD),其中碳酸盐溶跃面是指钙质生物(浮游有孔虫等)溶解速度急剧增大^[1] 或碳酸盐含量明显降低^[2]的水深界面.以往在南海的工作中,有关碳酸盐旋回和补偿深度^[3~8]以及碳酸盐溶跃面变化^[9~10]方面的研究已取得丰硕成果.类似的研究在南海东北部 业已开展^[11~13],但一般所用碳酸盐溶解作用的替代性指标比较单调.因此,本文研究旨在通 过对南海东北部表层沉积中浮游有孔虫、底栖有孔虫、钙质超微化石、硅质与钙质生物的比值等 定量分析以及碳酸盐含量的测定,探讨并确定了南海东北部海区现代碳酸盐溶跃面和碳酸盐补

基金项目:国家海洋局海底科学重点实验室基金资助项目(9903);国家自然科学基金资助项目(49999560).

作者简介:陈荣华(1956一),男,浙江省临安市人,研究员,从事海洋地质和微体古生物研究。E-mail: chrhta mail. hz. . . . ch

收稿日期: 2002-01-18;修订日期: 2002-04-27.

偿深度的分布及区内南部溶跃面和碳酸盐补偿深度分布与北部的差异,为古海洋研究提供依据,

2 材料和方法

南海东北部表层沉积样品位于 12°~22°N, 116°~122°E, 水深 780~4 772 m, 其北部陆坡 区沉积物主要为粉砂质泥, 中部海盆区为硅质软泥, 南部岛坡区则主要为钙质软泥.本文共分 析浮游有孔虫和底栖有孔虫样品 184 个、超微化石样品 155 个、钙质与硅质生物比值分析样品 182 个以及 141 个样品的碳酸盐含量测定.

按标准方法处理和分析浮游有孔虫和底栖有孔虫样品^[12];超微化石样品也按常规方法 处理,在1000倍偏光镜下进行鉴定、统计,通常鉴定10个视域(化石特别少时则观察20个视 域),并计算出化石丰度和属种含量^[13].表层沉积物中钙质与硅质生物的比值通过对沉积物 涂片的镜下鉴定分析而获得^[11],共处理分析样品182个.用涂刮法制成固定片,然后在偏光 镜下进行生物和碎屑矿物种类的定量鉴定、统计,一般在镜下观察3个相邻视域,并计算出各 组分的百分含量.碳酸盐含量测定按海洋规范中的容量法进行.

3 表层沉积中钙质微体化石丰度和碳酸盐含量的分布

微体化石中浮游有孔虫和底栖有孔虫丰度、底栖有孔虫占有孔虫全群的比值、胶结质壳底 栖有孔虫占底栖有孔虫比值以及超微化石总丰度、碳酸盐含量等都是深海碳酸盐溶解作用的 良好指标.为了更好地了解研究区内碳酸盐溶跃面和补偿深度的分布差异,以17°N为界将研 究区分成南、北两部分进行讨论.微体化石丰度和碳酸钙含量一般是南、北陆坡区较高,中部 海盆区较低,底栖有孔虫占有孔虫全群的比值、胶结质壳底栖有孔虫占底栖有孔虫全群的比值 则相反.

3.1 浮游有孔虫丰度

调查区表层沉积中的浮游有孔虫丰度,从0枚每克干样至8399余枚每克干样不等,相差 十分悬殊.南部陆坡区最高,北部陆坡区次之,中部海盆区明显偏低(见图1a).为了能更好地 看出浮游有孔虫和底栖有孔虫随水深的变化趋势,我们舍去了一些异常高值站位.

浮游有孔虫的垂向剖面图(见图 2a)显示,在调查区北部,其丰度从2 200 m开始快速下降,至3 400 m以下大多数站位的丰度接近于 0 或等于 0;南部浮游有孔虫的丰度约从2 600 m 开始快速下降(见图 2d),至3 600 m以下大多数站位的丰度接近于 0 或等于 0,显示了浮游有 孔虫丰度在垂向上的分布明显受与水深有关的碳酸盐溶解作用所控制,并且南部与北部还存 在一定的差异.

3.2 底栖有孔虫

3.2.1 底栖有孔虫丰度

调查区表层沉积中的底栖有孔虫丰度总体上较低,从 0.2 枚每克干样至 166 枚每克干样 不等,相差较大.底栖有孔虫丰度分布趋势与浮游有孔虫的大致相当,也是南部和北部陆坡区 较高,中部深水区较低.如图 2b,e 所示,在水深小于3 500 m的区域底栖有孔虫丰度总体较 高,在水深大于3 500 m的区域底栖有孔虫丰度明显低,在许多站位其丰度小于 10%或接近于 0,且多数为抗溶的胶结质壳类.结果表明,底栖有孔虫丰度分布在一定程度上也受到与水深 有关的深海碳酸盐溶解作用的影响.



图 1 南海东北部表层沉积中浮游有孔虫丰度、钙质生物和硅质生物比值及碳酸 钙含量分布(根据徐建^[12]和孟翊^[11]改编)

3.2.2 底栖有孔虫与有孔虫全群比值

调查区底栖有孔虫与有孔虫全群的比值跟浮游有孔虫和底栖有孔虫丰度分布正好相反,为 南部和北部陆坡区低,中部海盆区明显升高.从底栖有孔虫与有孔虫全群比值的垂向剖面图(图 2c,f)可清楚看出,在北部水深小于2200m的区域其比值大多在20%以下,在水深 2200~3500m的区域其比值快速增高,许多站位在40%以上,而在水深大于3400m的区域许 多站位达到100%,平均达50%以上;在南部水深小于3600m的区域其比值大多在10%以下,在 水深大于3 600 m的区域其比值迅速增高,许多站位达到 100%,多数在 50%以上.结果表明,底 栖有孔虫与有孔虫全群的比值除随水深的增加而迅速增高外,南部与北部也存在一定的差异.



图 2 南海东北部表层沉积中浮游有孔虫、底栖有孔虫、底栖有孔虫与有孔虫全群的比值跟水深关系 图中垂线表示水深在 2 200~2 600 m 为碳酸盐始溶线,在 3 400~3 650 m 为 CCD 线

3.2.3 胶结质壳底栖有孔虫与底栖有孔虫全群比值

图 3 a, b 中胶结质壳底栖有孔虫与底栖有孔虫全群比值的垂向分布清楚显示,在南部水 深小于2 500 m的区域其含量一般都在 10%以下,在水深2 500~3 600 m的区域其比值快速增高,而在水深大于3 600 m的区域在大多数站位其比值达 80%以上,在相当一部分站位达

100%;在北部胶结质壳底栖有孔虫与底栖有孔虫全群比值总体较高,在水深小于3 400 m的区 域多数站位在 50%以上,而在水深大于3 400 m的区域其比值明显升高,与南部一样,在多数 站位达 80%以上,相当一部分站位达 100%.结果表明,胶结质壳底栖有孔虫与底栖有孔虫全 群的比值跟底栖有孔虫与有孔虫全群的比值一致,随水深的增加而迅速增高,南部与北部也存 在一定的差异;与浮游有孔虫丰度分布一样,其分布也明显受到深海碳酸盐溶解作用的影响.



图 3 南海东北部表层沉积中胶结质壳底栖有孔虫与底栖有孔虫全群比值、钙质超微化石丰度跟水深关系 图中垂线表示在 2 200~2 600 m 为碳酸盐始溶线,在 3 400~3 650 m 为 CCD 线

3.3 钙质超微化石丰度

钙质超微化石丰度分布与有孔虫的类同,但相差较为悬殊(0~1000余枚每10个视域),这

从钙质超微化石丰度的垂向剖面图(见图 3 c, d)中可看出,在北部水深小于2 200 m的区域丰度 随水深的增加而升高,在2 200~3 400 m丰度则随水深的增加而降低,在3 400 m以深在多数站位 不含超微化石;在南部水深小于2 800 m的区域超微化石丰度较高,在2 800~3 600 m随水深的增 加而呈下降趋势,在3 600 m以深丰度明显降低,在许多站位不含超微化石.结果表明,随水深的 逐渐变深,超微化石丰度有从低到高再到低的趋势,同时南、北也存在一定差异^[13].

3.4 硅质生物与钙质生物比值

钙质生物比值分布与浮游有孔虫丰度分布一致,也是南、北陆坡区高,中部海盆区低,而硅质生物的比值分布趋势则相反,随水深的加深呈现上升趋势(见图 1c,b). 硅质生物与钙质生物的比值垂向分布如图 4a,b 所示,在水深小于3 500 m的区域硅质生物与钙质生物比值一般



图 4 南海东北部表层沉积中硅质生物与钙质生物比值、碳酸盐含量跟水深关系 图中垂线表示在 2 200~2 650 m 为碳酸盐始溶线,在 3 400~3 700 m 为 CCD 线

较低,多数不足 10%,而在水深大于3 500 m的区域其比值快速增高,平均在 70%以上,在多数 站位达到 100%,变化非常明显。由于在南部小于3 500 m 的区域分析样品数量少,故南、北分 布差异不易讨论。结果表明,在3 500 m以深的海区,钙质生物由于受碳酸盐溶解作用的强烈 影响,含量急剧减小,在许多站位溶失,而被硅质生物所控制,在3 500 m以浅的海区则主要由 钙质生物控制。

3.5 碳酸盐含量

调查区表层沉积中的碳酸盐含量在 0.18% ~ 61.60%, 差距也很大.分布趋势与浮游有孔 虫和底栖有孔虫丰度一样, 南部和北部陆坡区高, 中部海盆区低(见图 1d).

碳酸盐含量的垂向剖面显示(见图 4c, d), 在北部水深小于2 200 m的区域含量较高, 在 2 200~3 400 m的区域内含量呈下降趋势, 而在水深大于3 400 m的区域大多数样品含量都在 2%和 1%以下;在南部水深小于3 600 m的区域含量较高, 在3 600 m以深的区域含量快速下降; 在大多数站位也都在 2%和 1%以下, 与北部一样, 界线相当明显. 结果表明, 在3 400~3 600 m以深区域其含量快速下降, 多数在 2%和 1%以下.

从上述各类垂向剖面图中还可看出,与深海碳酸盐溶解作用有关的水深并不是控制钙质 微体化石丰度和碳酸钙含量高低的惟一因素.在水深大于3 400~3 600 m的区域,有少量站 位的浮游有孔虫、钙质超微化石和钙质生物丰度以及碳酸钙含量等仍然较高,这可能与浊流沉 积等因素有关.在北部陆坡区浮游有孔虫、钙质超微化石和碳酸钙含量等明显低于南部陆坡 区,可能是北部陆坡区离大陆较近,陆源物质的冲淡作用扮演了重要角色.

4 现代碳酸盐溶跃面和补偿深度位置

碳酸盐补偿深度的定义是:在某一水深界面之上有碳酸钙沉积,而在这一水深界面之下碳 酸钙的供给速率等于溶解速率,碳酸钙的沉积缺失^[14~16].本文研究的样品中碳酸钙含量没有 等于 0 的,小于 0.5%的站占 19.1%,小于 1%的站占 32.6%,小于 2.0%的站占 53.2%(表 1).也就是说,在北部水深大于3 400 m和南部水深大于3 600 m的区域,绝大部分站位为低含 量(小于 2.0%),相当一部分站的碳酸钙含量已在分析误差范围内(0.5%),因此本文将碳酸 盐补偿深度界面定在3 400 m(北部)至3 600 m(南部)处.

区域	水 深/m	分析站位数	碳酸钙平均含量(%)	占总站位百分率(%)
17°N以北	<2 200	15	10.5	19.2
	2 200 - 3 400	22	3.5	28.2
	>3 400	41	1.2	52.5
17°N 以南	< 2 600	5	44.5	7.9
	2 600 ~ 3 600	13	21.1	20.6
	>3 600	45	2.6	71.4

表 1 南海东北部表层沉积中碳酸钙含量分析结果

在以往的研究中多数人认为南海的碳酸盐溶跃面在2 500 m和3 000 m,碳酸盐补偿深度

在3 400~4 000 m^[3,6,9~13,17~18],也有人认为碳酸盐补偿深度在4 000 m以下^[19~20].对深度 界面的确定有较大出入,原因之一可能是南海海区大,各人的研究区域和范围不同,导致一定 差距;原因之二可能是分析设备的精度误差造成的.本文通过对浮游有孔虫等微体化石丰度、 比值以及碳酸盐含量等各类指标的综合分析,初步确定了研究区北部碳酸盐溶跃面在2 200 m 深度上下,南部在2 600 m上下;北部碳酸盐补偿深度在3 400 m上下,南部在3 600 m上下.结 果表明,碳酸盐溶跃面北部比南部约浅400 m,碳酸盐补偿深度约浅200 m.造成本研究区南、 北碳酸盐溶跃面和补偿深度差异的主要原因可能与北部受陆源物质的冲淡作用和碳酸盐不饱 和的大洋水团由巴士海峡入侵等因素有关,而真正原因有待进一步分析研究.

5 结论

(1) 浮游有孔虫、底栖有孔虫和钙质超微化石丰度以及碳酸盐含量皆随水深的增加呈明显下降趋势,在水深3 400~3 600 m出现低值;底栖有孔虫与有孔虫全群的比值、胶结质壳底栖有孔虫与底栖有孔虫全群的比值以及硅质生物与钙质生物比值随水深的增加呈明显上升趋势,在水深3 400~3 600 m达到高值.

(2) 微体化石丰度、比值以及碳酸盐含量等随水深呈明显的上升或下降,主要受控于深海 碳酸盐溶解作用,陆源物质的冲淡作用、浊流沉积也会起关键作用.

(3)研究区内碳酸盐补偿深度在南部较北部深,南部约在3600 m水深,而北部在3400 m 上下;碳酸盐溶跃面也是南部较北部深,分别在2600和2200 m水深上下.

本文承翦知皆博士提出许多宝贵建议,在此谨表谢意!

参考文献:

- BERGER W H. Planktonic foraminifera: selective solution and paleoclimatic interpretation [J]. Deep-Sea Research, 1968, 15: 31-43.
- [2] 潘志良,梁寿生,丁培民.冲绳海槽微体化石群的地质意义[A].地质矿产部海洋地质综合研究大队,中国地质大学(北京).冲绳海槽第四纪微体生物群及其地质意义[M].北京:地质出版社,1988.119—144.
- [3] 汪品先, 卞云华, 王律江. 深海碳酸盐旋回[A]. 汪品先, 等, 十五万年来的南海[M]. 上海: 同济大学出版社, 1995. 96-114.
- [4] ROTTMAN M L. Distribution of planktonic foraminifera and pteropods in South China Sea sediments [J]. J Foraminiferal Res, 1979, 9(1): 41-49.
- [5] THUNELL R C, MIAO Q, CALVERT S E, et al. Glacial-Holocene biogenic sedimentation patterns in the South China Sea: productivity variations and surface water $p_{CO_7}[J]$. Paleoceanography, 1992, 7(2):143-162.
- [6] 郑连福, 郭育廷, WINN K, et al. 南海北部晚第四纪碳酸盐旋回及其地层学意义[A]. 郑连福, 陈文斌. 南海海洋沉积 作用过程与地球化学研究[M].北京:海洋出版社, 1993. 109-123.
- [7] MIAO Q, THUNELL R C. Glacial-Holocene carbonate dissolution and sea surface temperature in the South China and Sulu Seas [J]. Paleoceanography, 1994, 9(2): 269-290.
- [8] 汪品先. 西太平洋边缘海的冰期旋回[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(1): 1-11.
- [9] 郑连福. 南海中部海区表层沉积中有孔虫的初步研究[J]. 东海海洋, 1987, 5(1~2): 19-41.
- [10] 李粹中. 南海深水碳酸盐沉积作用[J]. 沉积学报, 1989, 7: 35-43.
- [11] 孟 翊,严肃庄,陈荣华,等. 南海东北部表层沉积中生源和矿物碎屑组分分析及其古环境意义[J].海洋地质与第四 纪地质,2001,22(3):17-22.
- [12] 徐 建,黄宝琦,陈荣华,等. 南海东北部表层沉积中有孔虫的分布及其环境意义[J]. 热带海洋学报, 2001, 20(4):

6---13.

- [13] 刘传联, 邵 磊, 陈荣华, 等。南海北部表层沉积中钙质超微化石的分布[J]。海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(3): 23-28.
- [14] BRAMLETTE M N. Pelagic sediment [A]. SEARS. Oceanography [M], No. 67. American Association for the Ad vancement of Science Publication, 1961.345-366.
- [15] KENNETT J. Marine Geology; Paleoceanographic and Sediment History of the Ocean Dasin [M]. N J. America: Prentic-Hall, Inc, Englewood Clishs, 1982. 688—692.
- [16] FARREL J W, PRELL W L. Climatic change and CaCO₃ preservation; an 800 000 year bathymetric reconstruction from the central equatorial Pacific Ocean [J]. Paleoceanography, 1989, 4(4): 447-466.
- [17] 翦知皆,郑连福,南海中部表层沉积中的底栖有孔虫与深部水团[A],北治铮,汪品先,南海晚第四纪古海洋学研究 [M].青岛;青岛海洋大学出版社,1992,119—140.
- [18] 国家海洋局,南海中部海域环境资源综合调查报告[R].北京;海洋出版社,1988.1-519.
- [19] 罗乂郎,劳焕年,王渌漪,南海东北部表层沉积类型与粒度特征初步研究[J]. 热带海洋,1985,4(1):33-41.
- [20] 钱建兴.晚第四纪以来南海古海洋学研究[M].北京:科学出版社. 1999. 1-167.

Microorganisms and carbonate lysocline depth and CCD in surface sediment of the northeastern South China Sea

CHEN Rong-hua¹, XU Jian², MENG Yi³, WANG Dong-jun¹, LIU Chuan-lian², HUANG Bao-qi², ZHANG Fu-yuan¹

(1. Key Laboratory of Submarine Geosciences of State Oceanic Administration, Hangzhou 310012, China; 2. Laboratory of Marine Geology, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Institute of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Based on the quantitative analyses of abundances of planktonic foraminifera, benthic foraminifera, calcareous nannofossil and ratios of calcareous and siliceous microorganisms as well as carbonate content in the surface sediment of the northeastern South China Sea, it has been found that the carbonate content, the abundance of planktonic foraminifera and calcareous nannofossil, and the ratio of calcareous microorganisms decrease rapidly while the ratio of the benthic foraminifera to the total foraminiferal fauna, ratio of siliceous microorganisms, and the percentage of the agglutinated tests in the benthic foraminiferal fauna increase rapidly with the increase of water depth. The results indicate that the microfossil abundance and ratio, and the carbonate content are closely related to the carbonate lysocline depth and CCD in the study area. In addition, the carbonate lysocline depth and the CCD are different between the southern and northern areas. The carbonate lysocline depth is deeper in the southern area(2 600 m) than in the northern one(2 200 m). The CCD is 3 600 m deep in the southern area, and 3 400 m deep in the northern one.

Key words: microfossil; carbonate lysocline depth and carbonate compensation depth; surface sediment; South China Sea