

doi:10.3799/dqkx.2010.104

南海表层沉积物中的碳酸钙含量分布及其影响因素

张兰兰, 陈木宏, 陈 忠, 向 荣, 刘建国

中国科学院边缘海地质重点实验室, 中国科学院南海海洋研究所, 广东广州 510301

摘要: 通过测定南海 213 个表层沉积物样品中的碳酸钙含量, 综合分析整个南海海域碳酸钙含量分布特征及其控制因素。结果表明, 不同的区域海洋环境, 控制表层沉积物中碳酸钙含量变化的因素也不尽相同: 大陆架区, 碳酸钙含量主要受陆源非碳酸盐物质的稀释作用而较低; 大陆坡区, 碳酸钙因丰富的物源量、低的陆源物质输入量和弱的碳酸钙溶解作用等因素而呈较高含量; 深海盆区, 碳酸钙含量因强烈的溶解作用而较低。根据碳酸钙含量在南海整个表层沉积物中的分布趋势, 推测南海纬度 14°N 以北的海域碳酸钙补偿深度(CCD)为 3 700 m 左右, 纬度 14°N 以南的海域 CCD 为 4 000 m 左右。Pearson 相关分析表明, 南海表层沉积物中钙质超微化石对碳酸钙的含量分布具有较高的贡献率。

关键词: 碳酸钙; 表层沉积物; 分布特征; 沉积学; 南海。

中图分类号: P588.2

文章编号: 1000-2383(2010)06-0891-08

收稿日期: 2009-10-12

Distribution of Calcium Carbonate and Its Controlling Factors in Surface Sediments of the South China Sea

ZHANG Lan-lan¹, CHEN Mu-hong¹, CHEN Zhong¹, XIANG Rong¹, LIU Jian-guo¹

CAS Key Laboratory of Marginal Sea Geology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China

Abstract: This paper determines the calcium carbonate content in 213 surface sediment samples from the South China Sea (SCS) in order to have a comprehensive analysis of the distribution character of calcium carbonate and its controlling factors in surface sediments of the SCS. The results show that there are different influence parameters in distributions of calcium carbonate in various regions: In the shelf, calcium carbonate contents are low owing to largely terrigenous material input; In the slope, calcium carbonate contents are high due to abundant supply of calcareous organisms, low terrigenous material input and weak dissolvability; In the deep basin, calcium carbonate contents are very low because of strong dissolvability. According to the distribution character of calcium carbonate content in surface sediments in the SCS, it is concluded that the carbonate compensation depths (CCD) are about 3 700 m in the north of 14°N and about 4 000 m in the south of 14°N. Pearson Correlation shows that calcareous nannofossils had significant contribution to the calcium carbonate content in surface sediments in the SCS.

Key words: calcium carbonate; surface sediments; distribution characters; sedimentology; South China Sea.

碳酸钙是海洋沉积物中最重要的生源沉积之一, 海底沉积物中的碳酸钙含量既与海水中钙质壳体生物生产力和碳酸钙溶解作用有关, 又受到非碳酸钙物质的稀释和自生碳酸钙的集结等因素的影响控制。南海具有独特的周边海洋环境, 是西太平洋最大的半封闭型边缘海, 入海河流较多, 且拥有水深超过 4 000 m 的深水海盆。因此, 详细分析和揭示南海

表层沉积物中碳酸钙含量的分布及其影响因素对研究南海第四纪的碳酸钙保存与溶解、沉积物物源变化具有重要的科学意义。此外, 对南海碳酸钙的溶解补偿深度(CCD)的研究一直备受关注(涂霞, 1984; 陈木宏和陈绍谋, 1989; 陈芳等, 2003; 陈荣华等, 2003; 郭建卿等, 2006; 王勇军等, 2007), 然而, 对沉积物中碳酸钙含量的分布特征研究则相对较少, 主

基金项目: 国家自然科学基金项目(Nos. 40631007, 40906030); 中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿项目(No. SQ200808); 国家“973”项目子课题(No. 2007CB815905); 中科院知识创新工程重要方向项目(No. KZCX2-YW-228); 国家科技支撑计划课题(No. 2006BAB19B03)。

作者简介: 张兰兰(1978—), 女, 助研, 博士, 主要从事海洋微体古生物与环境研究。E-mail: llzhang@scsio.ac.cn

要集中在南沙海槽西南部(陈忠等,2002)、南海西部(李学杰等,2004)等局部海域,尚未见对南海整个海域碳酸钙含量分布特征研究的报道。

本文对南海 213 个表层沉积物样品中的碳酸钙含量进行测定,借助于中科院南海海洋研究所海洋地质研究室对历年来南海各调查航次所采集的表层沉积物样品的完好保存,从整个海域的角度来深入探讨南海碳酸钙含量的近代沉积特征;综合分析影响控制碳酸钙含量分布的各种环境因素;并利用现有的资料,探讨南海表层沉积物中碳酸钙含量与其钙质物源量的相关关系;以期为南海现代海洋和古海洋环境研究提供更为详尽的基础科学依据。

1 材料与方 法

研究样品为中国科学院南海海洋研究所历年来所采集的表层沉积物样品,共选取了 213 个(图 1),站位遍及大陆架、大陆坡和深海盆,样品水深为 14~4 410 m。南海中部海盆区所采集的样品较为稀疏,但深海盆地沉积中碳酸钙含量一般变化不大,因此,文中所采用的样品数量及其分布具有较好的代表性。

沉积物碳酸钙含量的测定采用气量法即二氧化碳气体体积法(赵建青,1996),先将样品置于烘箱中(60℃以下)烘干,选择一天中气温相对稳定的时段,每测定 5 个沉积样品就测定两次碳酸钠标样,同时记录室内气温,最后以同一温度下标准碳酸钠的克数为横坐标,其所产生二氧化碳的体积毫升数为纵坐标,绘制标准曲线, R^2 值要达到 0.98 以上。碳酸钙与盐酸反应而放出二氧化碳($\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \uparrow$)。根据相同温度下测得的样品产生二氧化碳的体积数,在标准曲线上查出对应标准碳酸钠的含量,然后根据碳酸钠和碳酸钙的分子量差值以及所反应样品的重量换算出沉积物样品中碳酸钙的百分含量。可见,该方法不仅快速,而且还省略了气压表和二氧化碳的比重表。经计算,该方法的相对误差小于 3%。

2 结果与讨论

2.1 碳酸钙含量变化

南海 213 个表层沉积物样品中碳酸钙的含量平均值为 23.25%;最低为 1.49%,其中低于 2% 的有 8 个站位,均位于水深大于 3 500 m 的深海区;最高

的达到 99.43%,高于 80% 的有 4 个站位,均位于水深小于 1 000 m 的大陆架或大陆坡区。同南海表层沉积物中钙质超微化石丰度分布以纬度 14°N 为界,南北存在较大差异一样(王勇军等,2007),南海表层沉积物中碳酸钙含量也表现出以纬度 14°N 为界,南北分布趋势存在较大差异:即南海纬度 14°N 以北的海域表层沉积物中碳酸钙含量由大陆架向陆坡区逐渐增高,然后往深海盆降低,在陆坡处含量最高;而在纬度 14°N 以南的海域表层沉积物中碳酸钙含量分布相对比较复杂(图 2)。我们认为这种南北分布差异可能主要与地形和河流入海径流量有关:南海南部较北部有更多的珊瑚岛礁和暗礁分布,为碳酸钙沉积提供了丰富的物质基础;位于南部的湄公河的径流量、输沙量和浊度均远大于北部的珠江(杨守业等,2000),这可能会对碳酸钙的沉积分布也有较大的影响。

碳酸钙沉积是海洋生源沉积物中的重要组分,其来源于有孔虫、钙质超微化石、翼足类、双壳类和介形类等钙质生物的壳体和珊瑚碎屑。有孔虫和钙质超微化石个体虽小,但数量巨大、分布广泛,尤其在深海区是整个海洋钙质生物壳体沉积的主要来源。目前已有学者对整个南海表层沉积物中钙质超微化石进行了系统的研究(王勇军等,2007),即使硅质生物放射虫也有了系统的分析与研究(陈木宏等,2008a,2008b),但可惜对钙质生物浮游有孔虫的研究仍是一些局限性的,如徐建等(2001)对南海东北部、李学杰等(2004)对南海西部、郭建卿等(2006)对南海北部和崔喜江等(2006)对南海南部表层沉积物中的浮游有孔虫分布分别进行了区域性的研究。为了比较分析起来方便,本文根据以上学者发表的各个区域表层沉积物中的浮游有孔虫丰度数据,统一单位后综合绘制在同一张图中(图 3),从图 3 可看出,浮游有孔虫丰度在陆架区介于 10~1 000 个·g⁻¹,陆坡区如东沙群岛、西沙群岛和南沙群岛大于 1 000 个·g⁻¹,深海盆区小于 10 个·g⁻¹,黄色阴影区域除外。

钙质超微化石在整个南海表层沉积物中的含量分布见图 4,最高丰度出现在西沙群岛和南沙群岛,且有东北—西南走向的分布趋势;最低丰度出现在珠江口和湄公河口以及深海盆区;在水深大于 3 000 m 的深海盆区如黄色阴影区域钙质超微化石丰度仍旧相对比较高(王勇军等,2007)。

图 2 中黄色阴影标注区域水深达到 3 000 m 左右,在如此深的海区表层沉积物中碳酸钙含量达到



图 1 进行碳酸钙分析测试的 213 个表层沉积物样品站位分布

Fig. 1 Distribution of 213 surface sediment samples for CaCO₃ determination

15%~50%，明显高于其相邻站位，前人未发现该深海区域存在油流沉积(罗又郎等,1994)，因而排除了是由强大的海底水动力作用将其邻近具有较高碳酸

钙的浅水海域携带而来的可能。从图 3 和图 4 中可以明显地看出，3 个黄色阴影海域浮游有孔虫和钙质超微化石丰度均比较高，所以该海域较高的碳酸

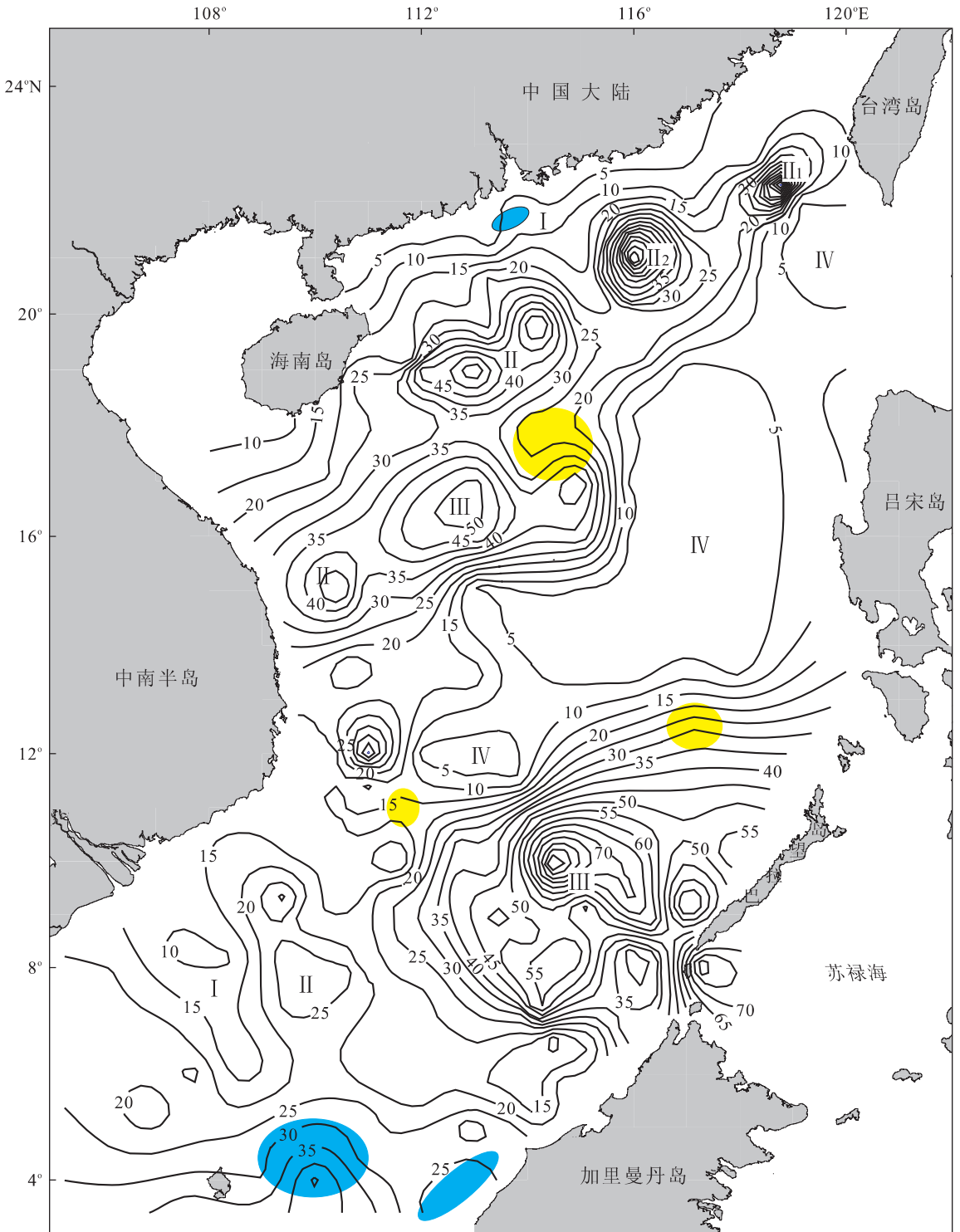


图 2 南海表层沉积物中碳酸钙含量(%)分布

Fig. 2 Distribution of calcium carbonate content (%) in surface sediments of SCS

圆点代表取样站点;蓝色区域为残留沉积区;黄色区域为深水区高碳酸钙含量分布区; I. 河流入海口的浅水陆架区; II. 陆坡区; II₁. 陆坡上升流区; II₂. 陆坡甲烷渗漏区; III. 珊瑚礁区; IV. 深海盆地

钙百分含量可能仅是由钙质生物壳体的大量供应导致的,表明浮游有孔虫和钙质超微化石在沉积物中的分布特征与碳酸钙含量密切相关,并一定程度影响碳酸钙含量在深水区域的分布特征. 碳酸钙含量

在南海表层沉积物中的总体分布趋势与钙质超微化石丰度分布较为相近;本文与王勇军等(2007)所分析南海表层沉积物中钙质超微化石的站位相同的有 98 个,对该 98 个站位样品中的钙质超微化石丰度

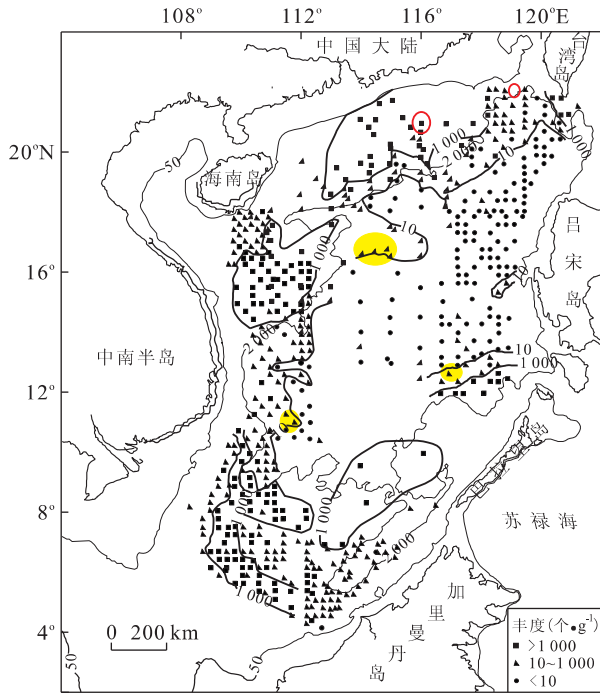


图 3 南海表层沉积物中浮游有孔虫丰度(个·g⁻¹)分布(徐建等,2001;李学杰等,2004;郭建卿等,2006;崔喜江等,2006)

Fig. 3 Distribution of plankton foraminifer abundance (individuals · g⁻¹) in surface sediments of SCS

黄色区域与图 2 相对应,红色区域对应着图 2 中的高碳酸钙含量

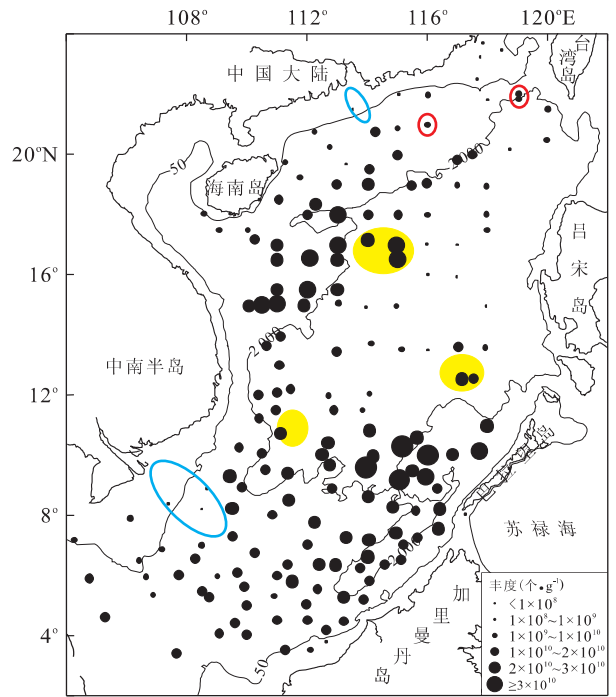


图 4 南海表层沉积物中钙质超微化石丰度(个·g⁻¹)分布(王勇军等,2007)

Fig. 4 Distribution of calcareous nannofossils abundance (individuals · g⁻¹) in surface sediments of SCS

黄色区域与图 2 对应,红色区域与图 3 对应,蓝色区域为河流入海口处

和碳酸钙含量进行 Pearson 相关分析,在显著性水平为 0.01 时,二者的相关系数达到 0.64. 本文与崔喜江等(2006)所分析南海南部表层沉积物中浮游有孔虫的站位相同的有 22 个,对该 22 个站位表层沉积物中的浮游有孔虫丰度和碳酸钙含量进行 Pearson 相关分析,在显著性水平为 0.01 时,二者的相关系数达到 0.78. 由于浮游有孔虫数据仅为 22 个,可能会影响到统计相关的准确性,但至少表明南海表层沉积物中钙质超微化石对碳酸钙含量具有较高的贡献量.

2.2 控制南海碳酸钙沉积分布的影响因素

海底沉积物中碳酸钙沉积主要受碳酸盐物源量、溶解作用以及稀释作用三大因素所控制,然而不同的区域海洋环境,其控制碳酸钙含量分布的主控因素也不尽相同. 根据南海表层沉积物中碳酸钙含量分布的主控因素的差异,分为以下 4 部分(图 2).

I. 河流入海口的浅水陆架区主要为珠江和湄公河三角洲,表层沉积物中碳酸钙百分含量相对较低,这主要是因为淡水与海水交接混合海域,海底受扰动影响比较强烈,不利于钙质生物壳体的埋藏保存;碱性较弱的淡水大量混入海水中,使海水的 pH 值下降,无疑对碳酸钙的溶解起了一定的促进

作用;该区域淡水径流比较大,带来了大量的陆源物质,冲淡和稀释了表层沉积物中的碳酸钙含量. 其中,陆源非碳酸盐物质的冲淡稀释作用对碳酸钙的沉积含量起着最为重要的控制作用.

II. 水深 200 m~1 000 m 的陆坡区,受陆源物质稀释和碳酸钙溶解作用的影响均相对较弱,海底表层沉积物中较高的碳酸钙含量主要是由丰富的碳酸盐物源供应控制. 其中,II₁ 海域碳酸钙含量有一个高值中心,该海域处于上升流发育区(洪华生等,1991),营养盐相对比较丰富,钙质生物生产力相对比较高,尽管该区域浮游有孔虫缺乏研究站位(图 3),但钙质超微化石丰度明显较周围海域高(图 4).

II₂ 高值中心处于甲烷渗漏区(陈忠等,2006),冷泉钙质生物比较聚集,且具有冷泉自生碳酸钙结核,这些可能是导致该海域表层沉积物中碳酸钙含量较高的主控因素.

III. 西沙群岛和南沙群岛,该海域发育许多珊瑚礁、暗滩,营养盐非常丰富,钙质生物浮游有孔虫和钙质超微化石均在该海域富集(图 3,图 4). 因此,大量的珊瑚和繁盛的钙质生物给表层沉积物中的碳酸钙带来了非常丰富的物质来源,从而导致该海域表层沉积物中碳酸钙含量比较高.

IV. 深海盆区, 碳酸钙含量小于 5%, 该海域远离大陆, 营养盐相对比较贫乏, 钙质生物生产力较低, 水深大于 3 000 m, 碳酸钙的溶解作用比较强, 尤其是处于碳酸钙补偿深度以下. 该海域表层沉积物中非常低的碳酸钙含量无疑是由溶解作用影响控制的.

此外, 大陆架上碳酸钙含量比较低, 且越靠近大陆含量越低, 然而巽他陆架的东南部却出现一个背向海洋的高值区(图 2), 前人研究发现该海域属于残留沉积分布区(见图 2 中蓝色标注区)(吴时国和罗又郎, 1994; 罗又郎等, 1994). 残留沉积是在冰期低海平面时形成的, 有利于钙质生物遗壳的沉降和保存; 该残留沉积区不受现代陆源物质覆盖, 但强烈的水动力条件会将该区域的粘土或细小的颗粒带走, 因而较粗的生物颗粒将被富集, 尤其是钙质生物壳体. 所以该残留沉积分布海域表层沉积物中碳酸钙含量相对比较高.

2.3 南海碳酸钙溶解深度 CCD

南海碳酸钙溶解深度 CCD 界线争议较大. 涂霞(1984)根据南海中部海区浮游有孔虫数量以及保存特征, 推测南海的 CCD 界线为 3 000~3 500 m; 罗又郎等(1985)认为南海的 CCD 应大于 4 200 m; 陈木宏和陈绍谋(1989)根据南海深海沉积物中碳酸钙含量和浮游有孔虫溶解指数的变化, 推测南海碳酸钙补偿深度为 4 000 m; 陈芳等(2003)根据南海西部表层沉积物中碳酸钙分布, 认为 CCD 大于 4 300 m; 陈荣华等(2003)根据南海东部微体化石丰度和比值以及碳酸钙含量高低, 认为南海碳酸钙补偿深度东南部为 3 600 m, 东北部为 3 400 m; 王勇军等(2007)根据南海表层沉积物中钙质超微化石随水深的变化, 推测南海碳酸钙补偿深度应在 4 000 m 左右. 以上学者所研究的海域不同, 多为南海的局部海域, 研究过程中所采用的参数依据也不尽相同, 由此而推测的 CCD 深度界线自然会存在较大的差异.

测定某一沉积物相对于 CCD 的位置, 有化学方法和古生物方法两种. 化学方法就是测定沉积样品中碳酸钙的含量, 一般将碳酸钙含量 < 10% 的沉积物划为 CCD 以下(汪品先, 1985). 多数学者将碳酸钙含量 10% 作为确定 CCD 界线的标准(高建西等, 1982), 在碳酸钙补偿深度 CCD 以下, 沉积物中的碳酸钙含量 < 10%, 甚至几乎不含碳酸钙(郑连福和陈荣华, 1982). 理论上, CCD 界线以下钙质生物遗壳完全溶解, 那么 CCD 界线以下碳酸钙含量应为 0. 实际上, 海底表层沉积物中含有短时间内未被完全

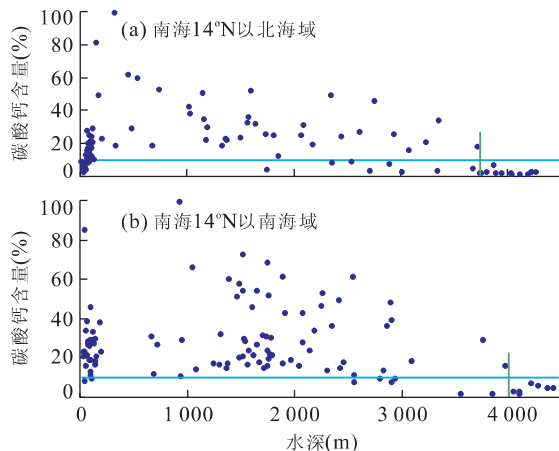


图 5 南海表层沉积物中碳酸钙含量与水深的散点分布图
Fig. 5 Variance of calcium carbonate content versus water depth in surface sediments of SCS

溶解的壳体; 钙质生物遗壳可能会被大型海洋生物的粪粒包裹、沉降至海底, 不受碳酸钙的溶解作用; 沉积物间隙水中也含有一定量的碳酸钙. 郑连福和陈荣华(1982)曾指出钙质生物壳体如浮游有孔虫壳即使到了海底还会发生很长时间的溶解作用. 此外, 测定碳酸钙含量的任何方法都可能存在一定的误差, 本论文所用的方法测定误差小于 3%.

为了分析南海表层沉积物中碳酸钙含量随水深的变化趋势, 对南海 213 个表层沉积物样品中的碳酸钙含量和其所处的水深作一散点图(图 5). 如图 5a 所示, 南海纬度 14°N 以北海域碳酸钙含量在 3 714 m 水深的海底表层沉积物中急剧下降, 然后随着水深增加而含量基本稳定在较低的数值, 由此可以推测南海纬度 14°N 以北海域的 CCD 为 3 700 m 左右; 如图 5b 所示, 南海纬度 14°N 以南海域碳酸钙含量在 4 000 m 水深的海底表层沉积物中迅速下降, 在大于 4 000 m 水深的海底均稳定在较低的含量, 因此认为, 南海纬度 14°N 以南 CCD 深度大约在 4 000 m. 根据以上推测的南海碳酸钙补偿深度 CCD, 在该 CCD 以深的南海海底表层沉积物中碳酸钙含量均低于 10%(图 5), 从而进一步证实在碳酸钙补偿深度 CCD 以下, 沉积物中的碳酸钙含量 < 10%(汪品先, 1985; 郑连福和陈荣华, 1982; 高建西等, 1982).

3 结论

南海 213 个表层沉积物样品碳酸钙的含量介于 1.49%~99.43%, 平均值为 23.25%. 不同的海洋

区域环境,控制表层沉积物中碳酸钙含量变化的主导因素也不相同:水深低于 200 m 的大陆架表层沉积物中碳酸钙含量低,主要受陆源非碳酸钙物质的稀释作用和残留沉积物类型影响;水深为 200~1 000 m 的大陆坡区碳酸钙含量比较高,与较弱的陆源物质稀释和碳酸钙溶解作用、钙质壳体生物量高以及冷泉区自生碳酸钙结核等因素有关;西沙群岛和南沙群岛碳酸钙含量普遍较高,归因于众多的珊瑚礁提供了丰富的物源;深海盆区碳酸钙含量非常低,碳酸钙的溶解作用无疑是最主要的控制因素。

南海表层沉积物中碳酸钙含量以纬度 14°N 为界,南北分布趋势差异比较大。根据碳酸钙含量的分布趋势,推测南海纬度 14°N 以北的海域碳酸钙补偿深度 CCD 大约在 3 700 m,纬度 14°N 以南的海域 CCD 大约在 4 000 m 左右。

Pearson 相关分析表明,南海表层沉积物中碳酸钙含量与浮游有孔虫和钙质超微化石均呈现较好的相关性。由于浮游有孔虫数据仅为 22 个,可能会影响到统计相关的准确性,但至少表明南海表层沉积物中钙质超微化石对碳酸钙含量具有较高的贡献量。

References

- Chen, F., Li, X. J., Chen, C. Y., et al., 2003. Distribution of calcareous plankton and dissolution of carbonate in surface sediments of the western South China Sea. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 23(2): 33—38 (in Chinese with English abstract).
- Chen, M. H., Chen, S. M., 1989. On carbonate dissolution and the distribution model of deep sea sediment types in South China Sea. *Tropic Oceanology*, 8(3): 20—26 (in Chinese with English abstract).
- Chen, M. H., Zhang, L. L., Zhang, L. L., et al., 2008a. Distributions of radiolarian diversity and abundance in surface sediments of the South China Sea and their environmental implications. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 33(4): 431—442 (in Chinese with English abstract).
- Chen, M. H., Zhang, L. L., Zhang, L. L., et al., 2008b. Radiolarian assemblages in surface sediments of the South China Sea and their marine environmental correlations. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 33(6): 775—782 (in Chinese with English abstract).
- Chen, R. H., Xu, J., Meng, Y., et al., 2003. Microorganisms and carbonate lysocline depth and CCD in surface sediment of the northeastern South China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 25(2): 48—56 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z., Gu, S. C., Yan, W., et al., 2002. Carbonate sediment characteristics of surface sediments in the southern Nansha Trough and adjacent sea area. *Acta Oceanologica Sinica*, 24(5): 141—146 (in Chinese with English abstract).
- Chen, Z., Yan, W., Chen, M. H., et al., 2006. Discovery of seep carbonate nodules as new evidence of gas venting on the northern continental slope of South China Sea. *Chineses Science Bulletin*, 51(10): 1228—1237.
- Cui, X. J., Xiang, R., Zheng, F., et al., 2006. A preliminary study of living planktonic foraminifera distribution and its affecting factors in southern South China Sea. *Journal of Tropical Oceanography*, 25(4): 25—30 (in Chinese with English abstract).
- Gao, J. X., Lü, C. G., Liu, B. C., et al., 1982. A preliminary study of carbonate and foraminifera in sediments in the Central Pacific. *Acta Oceanologica Sinica*, 4(5): 586—594 (in Chinese).
- Guo, J. Q., Chen, R. H., Zhao, Q. Y., et al., 2006. Distribution of planktonic foraminifera in the surface sediment in the northern South China Sea and its environmental significance. *Journal of Marine Sciences*, 24(1): 19—27 (in Chinese with English abstract).
- Hong, H. S., Qiu, S. Y., Ruan, W. Q., et al., 1991. Minnan-Taiwan Bank fishing ground upwelling ecosystem study. In: Hong, H. S., Qiu, S. Y., Ruan, W. Q., et al., eds., Minnan-Taiwan Bank fishing ground upwelling ecosystem study. Science Press, Beijing, 1—17 (in Chinese).
- Li, X. J., Chen, F., Liu, J., et al., 2004. Distribution and its dissolution of carbonate in seafloor surface sediment in the western South China Sea. *Geochimica*, 33(3): 254—260 (in Chinese with English abstract).
- Luo, Y. L., Feng, W. W., Lin, H. Z., 1994. Bottom sediment types and depositional characteristics of sediments of the South China Sea. *Tropic Oceanology*, 13(1): 47—54 (in Chinese with English abstract).
- Luo, Y. L., Lao, H. N., Wang, L. Y., 1985. A preliminary study on the surface sediment types and their grain size characteristics of the northern part of the South China Sea. *Tropic Oceanology*, 4(1): 33—41 (in Chinese with English abstract).
- Tu, X., 1984. Dissolution of planktonic foraminifera in the central waters of the South China Sea—a preliminary study on carbonate dissolution. *Tropic Oceanology*, 3(4): 18—23 (in Chinese with English abstract).
- Wang, P. X., 1985. Hydrochemistry in paleo-ocean. In: Ocean Geology Department, ed., Introduction to paleoceanog-

raphy. Tongji University Press, Shanghai, 1—316 (in Chinese).

Wang, Y. J., Chen, M. H., Lu, J., et al., 2007. Distribution of calcareous nannofossils in surface sediments of South China Sea. *Journal of Tropical Oceanography*, 26(5): 26—34 (in Chinese with English abstract).

Wu, S. G., Luo, Y. L., 1994. The relict sediments in the south shelf of South China Sea. *Tropic Oceanography*, 13(3): 47—53 (in Chinese with English abstract).

Xu, J., Huang, B. Q., Chen, R. H., et al., 2001. Distribution of foraminifera in surface sediments of northeastern South China Sea and its environmental implications. *Journal of Tropical Oceanography*, 20(4): 6—13 (in Chinese with English abstract).

Yang, S. Y., Liu, S. G., Li, C. X., 2000. Chemical fluxes of Asian rivers into the ocean and their controlling factors. *Marine Science Bulletin*, 19(4): 22—28 (in Chinese with English abstract).

Zhao, J. Q., 1996. Determination on calcium carbonate in the soil. *Journal of Modern Agriculture*, 11: 20—21 (in Chinese with English abstract).

Zheng, L. F., Chen, R. H., 1982. Dissolution of planktonic foraminifera and carbonate in deep sea. *Marine Geological Collection of Translation*, 5: 41—49.

附中文参考文献

陈芳, 李学杰, 陈超云, 等, 2003. 南海西部表层沉积物钙质浮游生物分布与碳酸盐溶解. *海洋地质与第四纪地质*, 23(2): 33—38.

陈木宏, 陈绍谋, 1989. 南海碳酸盐溶解与深海沉积物类型. *热带海洋*, 8(3): 20—26.

陈木宏, 张兰兰, 张丽丽, 等, 2008a. 南海表层沉积物中放射虫多样性与丰度的分布与环境. *地球科学——中国地质大学学报*, 33(4): 431—442.

陈木宏, 张兰兰, 张丽丽, 等, 2008b. 南海表层沉积物中放射虫的组合特征与海洋环境. *地球科学——中国地质大学学报*, 33(6): 775—782.

陈荣华, 徐建, 孟翊, 等, 2003. 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. *海洋学报*, 25(2):

48—56.

陈忠, 古森昌, 颜文, 等, 2002. 南沙海槽南部海区表层沉积物的碳酸盐沉积特征. *海洋学报*, 24(5): 141—146.

陈忠, 颜文, 陈木宏, 等, 2006. 南海北部大陆坡冷泉碳酸盐结核的发现: 海底天然气渗漏活动的新证据. *科学通报*, 51(9): 1065—1072.

崔喜江, 向荣, 郑范, 等, 2006. 南海南部活体浮游有孔虫分布特征及其影响因素初探. *热带海洋学报*, 25(4): 25—30.

高建西, 吕成功, 刘彬昌, 等, 1982. 中太平洋西部沉积物中有孔虫和碳酸钙的初步研究. *海洋学报*, 4(5): 586—594.

郭建卿, 陈荣华, 赵庆英, 等, 2006. 南海北部表层沉积物中浮游有孔虫分布特征与环境意义. *海洋学研究*, 24(1): 19—27.

洪华生, 丘书院, 阮五崎, 等, 1991. 闽南—台湾浅滩渔场上升流区生态系统研究概述. 见: 洪华生, 丘书院, 阮五崎, 等编, 闽南—台湾浅滩渔场上升流区生态系统研究. 北京: 科学出版社, 1—17.

李学杰, 陈芳, 刘坚, 等, 2004. 南海西部表层沉积物碳酸盐分布特征及其溶解作用. *地球化学*, 33(3): 254—260.

罗又郎, 冯伟文, 林怀兆, 1994. 南海表层沉积类型与沉积作用若干特征. *热带海洋*, 13(1): 47—54.

罗又郎, 劳焕年, 王泳漪, 1985. 南海东北部表层沉积物类型与粒度特征的初步研究. *热带海洋*, 4(1): 33—41.

涂霞, 1984. 南海中部海区浮游有孔虫的溶解——碳酸盐溶解作用初探. *热带海洋*, 3(4): 18—23.

汪品先, 1985. 古海水化学. 见: 同济大学海洋地质系编, 古海洋学概论. 上海: 同济大学出版社, 1—316.

王勇军, 陈木宏, 陆钧, 等, 2007. 南海表层沉积物中钙质超微化石分布特征. *热带海洋学报*, 26(5): 26—34.

吴时国, 罗又郎, 1994. 南海南部大陆架的残留沉积. *热带海洋*, 13(3): 47—53.

徐建, 黄宝琦, 陈荣华, 等, 2001. 南海东北部表层沉积中有孔虫的分布及其环境意义. *热带海洋学报*, 20(4): 6—13.

杨守业, 刘曙光, 李从先, 2000. 亚洲入海河流的化学通量及其控制因素. *海洋通报*, 19(4): 22—28.

赵建青, 1996. 土壤中碳酸钙的测定. *现代农业*, 11: 20—21.

郑连福, 陈荣华, 1982. 浮游有孔虫与深海碳酸盐溶解作用. *海洋地质译丛*, 5: 41—49.