

南海颗粒物质的通量、组成及其与沉积物积累率的关系初探^①

陈建芳¹ 郑连福¹ 陈荣华¹ 郑玉龙¹ 陈文斌¹

M. G. Wiesner²

H. K. Wong²

1 (国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012) 2 (德国汉堡大学生物地球化学与海洋化学研究所 汉堡 D-20146)

提 要 通过大孔径时间系列沉积物捕获器的多年测量及对样品的多学科综合分析表明:南海北部与中部深海区 1 000 m 左右水深颗粒通量大约为 $90 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 在多数情况下, 季风期间的颗粒通量有比较明显的增高。颗粒物主要组成为钙质生物来源的 CaCO_3 、生物硅、岩源物质及海洋生物来源的有机质。颗粒通量与组成在水柱中的垂向变化表明, 生源组分中 CaCO_3 及有机质随深度具有较为明显的减少。颗粒物侧向运动可能是造成某些时段南海中部深层颗粒通量增加的主要原因。颗粒物质在进入深海沉积物之前, CaCO_3 、生物硅均在深层水与沉积物界面之间发生大量的溶解作用。有机质在沉降过程中的减少, 一方面是由于硅质与钙质壳体的溶解而使结合在壳体内部的有机质随之溶解造成; 另一方面可能与生物及生物地球化学作用有关。岩源物质除水柱沉降之外, 还可以通过浊流等底层搬运机制进入南海北部及中部海盆, 其中在南海北部这种搬运作用更为明显。

关键词 颗粒通量 物质组成 沉积速率 南海

第一作者简介 陈建芳 男 29 岁 硕士 助理研究员 海洋生物地球化学

南海作为边缘海, 其沉积物的积累速率及其来源问题一直是沉积学与古海洋学研究关注的热点之一。通常根据放射性同位素法、裂变径迹法、古地磁法、火山灰法、 $\delta^{18}\text{O}$ 和生物地层等方法来对南海沉积速率进行测算, 并通过矿物组成、元素组合等反映沉积物质的来源^[1]。但由于各种地层划分与年龄数值的可信度问题, 加上南海地形复杂, 通过重力流、底层流等作用造成的沉积物搬运与剥蚀现象相当常见, 因而对物质来源、堆积速率等结果的解释与分析存在着一定的差异^[2]。近十年来发展起来的时间系列沉积物捕获器不仅能从月际至年际尺度测量海洋不同水深的颗粒物质通量, 而且可以收集到实际的沉降颗粒样品供多学科综合分析, 因而在通量测量的同时也可追索颗粒物质的来源^[3]。本文试图通过中德合作放置于南海北部与中部多年的沉积物捕获器获得的有关资料, 来探讨南海颗粒物质的通量、来源及其与沉积物积累率之间的关系。

1 材料与方 法

沉降颗粒样品用 Mark V I 型时间系列沉积物

捕获器采集, 该设备可放于深海一年以上, 最多可自动连续取样 13 个。自 1987 年 9 月 10 日至 1988 年 10 月 21 日在南海北部站 (18. 41° N, 116. 02° E) 共布放 3 套; 1990 年 12 月 1 日至 1995 年 4 月 29 日在南海中部站 (14. 60° N, 115. 10° E) 共布放 9 套。有关捕获器的情况及详细的布放与回收我们曾作过介绍^[3]。捕获器放置前, 每个样品杯中事先加满过滤过的干净海水并放入 (3. 33 g HgCl₂ + 33. 3 g NaCl) / 100 ml 的毒化剂, 以防止颗粒物质由于微生物活动而改变。

样品预处理按 Jennerjahn 等^[4]描述的方法进行。湿样先通过 1 mm 孔径筛进行筛选, 以滤去较大的游泳生物, < 1 mm 部分利用旋转分样器将样品 (湿样) 均匀分成若干份, 分别用于做各项分析。样品中有机质 (有机碳乘以 1. 8 计算得到)、 CaCO_3 、生物硅及岩源物质按 Wiesner 等^[5]描述的方法进行分析; 氨基酸与糖类物质按 Michaelis 与 Ittekkot 描述的方法进行分析^[6]; 微体生物鉴定与统计按文献^[7]

① 中德合作与国家自然科学基金资助项目 (编号 49070269)

收稿日期: 1997-07-24 收修改稿日期: 1997-10-10

描述的方法进行;矿物组成资料引自注脚^①;沉积记录的有关数据引自已经发表的文献资料

表 1 南海北部与中部颗粒物质的通量与组成

Table 1 Fluxes and constituents of particulate matter in the northern and central South China Sea

站 位	捕获器 深度 /m	取样起始时间 (年 /月 /日)	取样终止时间 (年 /月 /日)	取样间隔 时间 /天	平均通量 /($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)				实际取样数*	资料 来源	
					总通量	CaCO ₃	生物硅**	有机质			岩源物质
南海北部 (3 750 m水深)	1000	87/09/10	88/03/23	15	90.0	42.9	1.4	7.1	38.6	13	文献[4]
	3350	87/09/10	88/03/23	15	78.3	34.7	1.2	3.9	38.5	13	文献[4]
	3350	88/04/13	88/10/21	14.75	69.9	30.6	1.5	3.3	34.5	13	文献[4]
南海中部 (4 310 m水深)	1191	90/12/01	91/05/21	28	81.1	43.3	15.2	7.1	15.5	4	文献[5]
	3731	90/12/29	91/05/21	28	97.0	43.4	25.7	3.4	24.5	5	文献[5]
	1191	92/03/20	93/05/09	31	79.7	30.1	25.4	7.5	16.7	13	文献[5]
	3728	92/03/20	92/07/25	31	144.1	22.5	47.5	3.2	70.9	4	文献[5]
	1235	93/05/26	94/05/23	28	85.4	41.2	17.3	6.8	20.0	13	本 文
	3771	93/08/19	94/05/23	28	90.3	32.7	23.7	4.3	29.7	11	本 文
	1208	94/06/24	95/04/29	28	91.6	35.6	31.1	8.1	16.8	11	本 文
	2243	94/05/27	95/04/29	28	87.2	32.3	29.1	5.5	19.5	12	本 文
3774	94/05/27	95/04/29	28	69.4	21.5	23.6	4.3	18.5	12	本 文	

* 捕获器预先设定的取样数由于故障有时不一定达到,这里为实际执行结果 ** 以 $\text{SiO}_2 \cdot 0.4\text{H}_2\text{O}$ 计算

2 南海颗粒物质的通量与组成

2.1 南海北部

南海北部的平均通量在 1 000 m 水深处为 $90.0 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (表 1) 其中 CaCO_3 约占 47.6%, 岩源物质占 42.9%, 有机质占 7.9%, 而生物硅只占 1.6%。两个最高的通量峰均出现于东北季风期间^[4], 分别可达 180.0 与 $166.1 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

微体生物镜下鉴定与统计表明^[7], 南海北部的沉降颗粒中含有十分丰富的浮游有孔虫壳体和丰富的腹足类、翼足壳体, 它们在 1987/1988 冬季东北季风期间颗粒最高峰时, 丰度分别可达 150×10^3 个有孔虫/克干样与 $2 700$ 个腹足类/翼足类/克干样。显然, CaCO_3 主要来源于这几类钙质生物壳。尽管这期间颗石藻也有约 200×10^3 个/克干样, 但由于其个体极微小, 故对 CaCO_3 的贡献不会太大。与钙质壳体相比, 硅质生物壳却不是那么丰富, 最丰富的硅藻其丰度比南海中部小一个数量级, 这也反映在生物硅含量只占 1.6% 上。是什么因素限制了南海北部这期间硅质生物的生长, 有待于进一步查明。

岩源物质中主要组成为斜长石、石英及伊利石, 约占 80% 以上, 其次还有高岭石、绿泥石并伴有少

量角闪石、蒙脱石及粘土矿物的不规则混层。令人感兴趣的是岩源物质的最高通量也是出现于冬季东北季风期间^[4], 而不是出现于珠江的丰水期(夏季)。文献[1]也表明, 现代南海流系不可能使北部近岸的陆源碎屑矿物大量输送至陆坡以外。这一方面可能是颗粒物质在强大的东北风影响下随海流由台湾海峡或巴士海峡带入南海, 另一方面, 东北季风期间, 大气搬运的颗粒物质对南海北部岩源物质也可能有重要影响。香港科技大学方明等人(个人通讯)曾于 1996 年春在香港地区收集到了大量具有我国北方黄土特征的气源颗粒物, 并以卫星图象及气象分析表明这种长距离的物质搬运可能性是存在的。

有机质中 C/N 比为 4.4~7.5 之间, 平均为 6.3, 具有海洋浮游生物来源的特征。水解氨基酸与糖类中的碳占总有机碳的百分比 ($T_{\text{AA}} + T_{\text{SUG}}$) (%) 为 32.6%, 水解氨基酸中的氮占总氮的百分比 $T_{\text{AA}}\%$ 为 52.2%, 这也表明, 有机物质的主要来源是近期生长的海洋生物^[8]。除了氨基酸中容易降解的含硫氨基酸、糖类物质中容易分解的葡萄糖含量与海洋生物体相比相对含量有较大的下降之外, 氨基酸与糖类物质的组成基本保留了生物体中的原生组成状态。另外, 次生的非蛋白质氨基酸 (U-丙氨酸,

① Wong H K, Wiesner M G. Mechanisms controlling particle sedimentation in the South China Sea Report Submitted to BMFT, Bonn, Germany. 1994.

V-氨基丁酸,鸟氨酸)可在微生物活动下由蛋白质氨基酸降解而来,捕获器样品中上述氨基酸含量在 1%~2% 之间,表明有机质非常新鲜。这一方面表明颗粒物沉降速率较快;另一方面表明岩源物质中原有的陆源有机质基本没有改变有机质以海洋生物源为主的特征

从捕获器的上下变化来看,对比 1987 年 9 月 10 日至 1988 年 3 月 23 日期间两层同期放置的捕获器(表 1),其总通量平均下降 13%。从各组分的通量变化来看,通量的减少主要是由碳酸钙的溶解以及颗粒有机质的减少造成的。有机质通量的纵向减少,一方面是由于 CaCO_3 壳体的溶解从而使结合在其中的有机质随之释放引起(有孔虫 CaCO_3 壳体中结合的有机质其丰度与颗粒物全样相当,另一方面,可能与生物和生物地球化学降解作用有关。岩源物质通量则基本没有变化。钙质生物在深层捕获器中的减少,尤其以腹足类、翼足类为甚,在通量最高的东北季风期间,几乎只剩原来的 10% 左右^[7]。腹足类、翼足类多由文石成其质壳,而大多数有孔虫壳则由方解石组成,文石比方解石更容易溶解。如 Broecker 等^[9]发现,南大西洋文石的溶跃面在 3 000 m 左右,而方解石的溶跃面在 4 000 m 以下。

2.2 南海中部

南海中部 1 200 m 左右水深年平均通量大约为 $80\sim 90 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$,大致与南海北部相当。通量的峰值大多出现于每年的冬季东北季风和夏季西南季风期间,表明季风对南海中部的颗粒通量也具有重要的影响。初步认为,这种通量的年周期变化是每年冬夏季风引发的表层海流及艾克曼(Ekman)垂向搬运引起的表层混合层加深从而使浮游生物增殖的结果^[5, 10, 11]。

在颗粒物组成方面, CaCO_3 平均大约占 25.3%~61.0%;生物硅占 15.3%~49.9%,远比南海北部的 1.4% 高出一个数量级;有机质占 1.6%~12.5%;岩源物质占 12.2%~42.0%,比南海北部的 33.0%~67.0% 低许多。微体生物鉴定与统计表明,有孔虫、颗石藻、腹足类、翼足类以及硅藻、放射虫、硅鞭藻等仍然是 CaCO_3 及生物硅的主要来源,但与南海北部相比,硅质生物要丰富得多。岩源物质通量及相对含量的下降可能是由于南海中部比北部更加远离大陆,无论是河流、海流搬运还是大气搬运都要经过更长的距离。另外硅质生物壳的稀释也是岩源物质相对含量比北部下降的一个原因。在岩源

物质中,斜长石占 20.3%~50.0% (平均 33.5%),石英占 21.3%~42.6% (平均 29.8%),伊利石占 17.2%~27.3% (平均 22%),其余如高岭石占 6% 左右,绿泥石占 5% 左右,有时见有少量的角闪石、蒙脱石及钾长石,其含量一般均在 3% 以下。有机质中 C/N 比、氨基酸与糖类物质的组成与南海北部颇为相似,表明有机物质也是来源于近期生长的有孔虫、硅藻、颗石藻、硅鞭藻、放射虫等海洋生物

南海中部颗粒通量的垂向变化则呈现多样的变化特征。其中一个比较有意思的现象是在同一时期内深层捕获器的总通量及各组分通量有时会超过浅层捕获器的通量,比较明显的如表 1 所列自 1990 年 12 月至 91 年 5 月,3 731 m 处生物硅及岩源物质的通量均要高于浅层 1 191 m 处的通量。再如 92 年 3 月 20 日至 92 年 7 月 25 日期间,3 728 m 处岩源物质及生物硅的通量均要大大高于浅层 1 191 m 处的通量,其中岩源物质在 92 年 3 月 20 日至 6 月 23 日深层 3 728 处的通量竟连续三个月(取样间隔 31 天)比浅层高出近 3 倍,而且有意思的是这期间斜长石的百分比也增高至 62%~63%。这些斜长石异常高的岩源物质究竟通过什么方式搬运进入南海,(斜长石+石英)/(伊利石+绿泥石)比值增高,更加接近于我国黄土的成分,是否可以归因于大气搬运的结果^[5],还需要进一步的证实

颗粒物通量深层比浅层高的原因不外乎三种情况,一是原先位于浅层捕获器(1 200 m 左右)与深层(3 730 m)之间的岩源物质与生物硅明显高于 1 200 m 以上水柱,然后在 3~4 个月时间内先后沉降至深层捕获器;二是附近海域中、深部水团的颗粒物通过侧向飘移而来;再是海底沉积物再悬浮或者海底火山喷发造成。但岩源物质中缺少火山活动的矿物学证据,再悬浮也不致于把沉积物上扬至离海底约 600 m 处的深层捕获器处,况且如果是再悬浮物质,上面提到的斜长石也不应那么高。再来看第一种情况,目前一般认为,深海的颗粒通量大多由较快沉降的颗粒物所贡献^[12],快速沉降的机制主要通过有机-无机相互作用形成较大的多面体颗粒,从而可以加快沉降速率。如挠足类的粪粒、有机粘液等可以吸附许多无机的粒子,包括粘土矿物、颗石藻壳体等,使得这些沉降非常缓慢的物质在几天至几周内即可沉降数千米^[13]。从浅层捕获器与深层捕获器氨基酸与糖类组成十分相似,非蛋白质氨基酸含量在深层捕获器中基本没有增加来看,南海中部颗粒

有机物质非常新鲜,这也佐证了颗粒物具有较快的沉降速率。由此看来,造成深层捕获器颗粒物通量反而高于浅层的主要原因最可能是颗粒物随着中深部水团侧向运动造成的。由于南海中部深部水团的运动情况目前尚缺乏可信的资料,这里也不便作更为深入的讨论。

当然,在其它许多时段也有比较符合通常情形的通量垂向变化。如 1994 年 6 月 24 日至 1995 年 4 月 29 日期间,除岩源物质平均通量在深层捕获器略有增高外, CaCO_3 有机质、生物硅均有不同程度的降低。

3 颗粒物通量与沉积物积累率的关系初探

为了比较颗粒物通量与沉积物积累之间的关系,我们给出了表 2 的计算结果。在南海北部, 3 350 m 处的颗粒物通量及岩源物质与生物硅通量均小于全新世的沉积物积累率,而碳酸钙及有机质的通量则大于沉积物中的积累率。 CaCO_3 通量与沉积物积累率的巨大差别应该是由 CaCO_3 在 CCD 处大量溶解引起的。而有机质通量与沉积物积累之间的差别可能有两个方面原因,一是由于钙质与硅质壳体在深层水中的溶解作用,使得结合在这

些壳体中的有机质随之释放(因此,从另一个角度说,与粘土等岩源物质结合的有机质可能更容易保存于沉积物中)二是由于有机质被生物和生物地球化学过程改造、降解。事实上,我们通过不同水层捕获器样品及表层沉积物氨基酸与糖类分析发现,有机质的溶解作用与生物地球化学改造、降解作用在沉积物界面变得尤为明显。生物硅通量在 3 350 m 处如此之低的原因可能是捕获器放置期间(1987 年 9 月 10 日至 1988 年 10 月 21 日)正好是硅质生物异常低的情况,因为南海北部沉积物中无论是生物硅还是放射虫及硅藻等都还是比较丰富的^[1]。岩源物质在沉积物中的积累率比颗粒通量高出 65%,在这一海区,文献^[14]所估算的沉积速率 $5.2 \text{ cm}^\circ \text{ ka}^{-1}$ 比起其它文献并不算过高的估算^[2],因此这种现象很可能是由于海洋底部重力流引起的沉积物搬运所致。南海北部沉积物捕获器附近,正处在陆坡前缘,浊流的频繁影响是不足为奇的^[16]。我们前面曾提到捕获器样品中的有机质绝大部分来自于近期生长的海洋浮游生物,而唐运干等^[17]根据捕获器附近 SO50-29KL 及 SO50-37KL 两个柱状样中生物标志化合物的分布认为有机质中陆源贡献与海洋生物来源占据同等重要的地位,显然,这是来自浅海及近岸的有机质通过海底浊流等搬运与水柱中沉降的有机质混合的结果。

表 2 南海颗粒物通量与沉积物积累率之间的关系

Table 2 Comparison in fluxes and accumulation rates between water column and sediments in the South China Sea

	水深 /m (n= 样品数)	总颗粒通量或积累率 /($\text{g}^\circ \text{ cm}^{-2}^\circ / \text{ka}^{-1}$)	各组分通量或积累率 /($\text{g}^\circ \text{ cm}^{-2}^\circ / \text{ka}^{-1}$)			
			CaCO_3	生物硅	有机质	岩源物质
南海北部 (水深 3 750 m)	1 000 m (n= 13)	3.29	1.57	0.05	0.26	1.41
	3 350 m (n= 26)	2.70	1.19	0.04	0.14	1.40
	沉积物* (全新世平均)	3.02	0.33	0.36	0.04	2.31
南海中部 (水深 4 310 m)	1 200 m 左右 (n= 41)	3.12	1.33	0.87	0.29	0.64
	2 240 m 左右 (n= 12)	3.18	1.18	1.06	0.20	0.72
	3 774 m 左右 (n= 32)	3.29	1.05	0.98	0.18	1.09
	表层沉积物*	1.68	0.03	0.16	0.02	1.45

* 南海北部沉积速率 ($5.2 \text{ cm}/\text{ka}$)按文献^[14] SO50-29KL ($18^\circ 26.08' \text{ N}$, $115^\circ 59.22' \text{ E}$)相关数据;中部沉积速率 ($2.75 \text{ cm}/\text{ka}$)据文献^[15] SO50-91KL ($14^\circ 38.3' \text{ N}$, $115^\circ 07.3' \text{ E}$)相关数据。沉积物中 CaCO_3 、生物硅、有机质及岩源物质数据根据文献^[1]、^[14]及我们补测的有关数据综合计算得到。南海北部按 CaCO_3 、生物硅、有机质、岩源物质顺序,其百分含量平均分别为 11.0%、12.1%、1.4%、76.6%;南海中部则为 1.8%、10.5%、1.2%、86.7%。

南海中部深海粘土类沉积物的沉积速率大致为 $3 \text{ cm}^\circ \text{ ka}^{-1}$ 左右^[1,2],因此文献^[15]估算的 SO50-91KL 的沉积速率 $2.75 \text{ cm}^\circ \text{ ka}^{-1}$ 看来是比较合理的。从表 2 来看,南海中部沉积物的积累率为 1.68 g

$\text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$, 只有 3 774 m 处的总通量 $3.29 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{ka}^{-1}$ 大约一半左右, 其主要原因是由于 CaCO_3 的大量溶解以及生物硅的溶蚀, 并由此引起有机质的随之溶解释放以及有机质的生物地球化学降解作用而造成的 (见表 2)。而与南海北部类似, 南海中部沉积物中岩源物质积累率也要高出 3 774 m 处的通量约 45%, 表明, 沉积物随底层重力流的搬运作用不仅局限于南海北部, 在南海中部只是强度有所减弱。汪品先^[18]最近总结了南海的沉积搬运作用, 认为陆源碎屑物可由河口或浅水区通过不同的阶段最后搬运至南海深海盆地, 本文的结果也进一步证实了这种看法。

4 结论

① 南海北部与中部颗粒物质的通量 (1 000~1 200 m) 大约为 $90 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 左右。在东北季风与西南季风期间通量常常有较大的增高。

② 颗粒物主要由钙质生物壳、生物硅、来自海洋浮游生物的有机物质以及岩源物质组成。岩源物质通过什么方式搬运入海尚需进一步证实。

③ 颗粒物在水柱垂向迁移过程中一方面发生 CaCO_3 生物硅的溶解以及有机质的溶解释放与生物地球化学降解作用使通量减少, 另一方面附近海域的颗粒物可以通过侧向运动使通量增加, 因此只有在长期 (多年) 观察的基础上才能比较客观地反映海洋通量的真实状况。

④ 颗粒物中的生源组分如 CaCO_3 生物硅及有机质在沉积于深海海底之前大多数溶解重新回到水柱, 只有少部分最终在沉积物中积累。岩源物质中除了来自水柱沉降的之外, 还有相当一部分是通过浊流等底层搬运进入深海沉积物, 这种作用自北部陆坡前缘至中部海盆逐渐减弱。

参 考 文 献

- 1 国家海洋局. 南海中部环境资源综合调查. 北京: 海洋出版社, 1988. 253~ 359
- 2 汪品先, 翦知 翕, 刘志伟. 南海晚第四纪沉积速率. 见: 业治铮, 汪品先主编. 南海晚第四纪古海洋研究. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1992. 23~ 41
- 3 陈建芳, 郑连福. 沉积物捕获器与全球变化研究. 海洋通报, 1996, 15(1): 41~ 47
- 4 Jennerjahn T C, Liebezeit G, Kempe S. Particle flux in the northern South China Sea. In: Jin X, Kudrass H R, Pautot G, eds. Marine geology and geophysics of South China Sea. Beijing: China Ocean Press, 1992. 228~ 235
- 5 Wiesner M G, Zheng L, Wong H K. Fluxes of particulate matter in the South China Sea. In: Ittekkot V, Honjo S, eds. Particle flux in the ocean. New York: John Wiley & Sons, 1996. 293~ 312
- 6 Michaelis W, Ittekkot V. Biogeochemistry of rivers field and analytical techniques. Hamburg: SCOPE/UNEP Sonderband, 1982, 52: 69~ 89
- 7 陈文斌, 徐鲁强. 南海北部颗粒通量初步研究. 见: 郑连福, 陈文斌主编. 南海海洋沉积作用过程与地球化学研究. 北京: 海洋出版社, 1993. 191~ 201
- 8 Cowie G L, Hedges J I. Biochemical indicators of diagenetic alteration in natural organic matter mixtures. Nature, 1994, 369: 304~ 307
- 9 Broecker W S, Takahashi T. The relationship between lysocline depth and in situ carbonate ion concentration. Deep Sea Research, 1978, 25: 65~ 95
- 10 Chao S Y, Shaw P T. Deep water ventilation in the South China Sea. Deep Sea Research, 1996, 43: 445~ 466
- 11 Shaw P T, Chao S Y. Winter upwelling of Luzon in the northeastern South China Sea. J. Geophys. Res., 1996, 101: 16 435~ 16 448
- 12 Honjo S. Fluxes of particles to the interior of the open ocean. In: Ittekkot V, Honjo S, eds. Particle flux in the ocean. New York: John Wiley & Sons, 1996. 91~ 154
- 13 Alldredge A L, Silver M W. Characteristics dynamics and significance of marine snow. Progress in Oceanography, 1988, 20: 41~ 82
- 14 Schonfeld J, Kudrass H R. Hemipelagic sediment accumulation rates in the South China Sea related to late Quaternary sea-level changes. Quaternary Research, 1993, 40: 368~ 379
- 15 徐征宇, 王星福, 钱江初. 南海中部沉积速率初步研究. 见: 郑连福, 陈文斌主编. 南海海洋沉积作用过程与地球化学研究. 北京: 海洋出版社, 1993. 85~ 92
- 16 陈文斌. 南海北部浊流沉积初步认识. 见: 郑连福, 陈文斌主编. 南海海洋沉积作用过程与地球化学研究. 北京: 海洋出版社, 1993. 124~ 135
- 17 唐运千, 郑士龙, 刘可文. 南海柱状样中生物标志化合物. 见: 郑连福, 陈文斌主编. 南海海洋沉积作用过程与地球化学研究. 北京: 海洋出版社, 1993. 136~ 150
- 18 汪品先. 南海十五万年来的沉积作用—沉积搬运作用. 见: 汪品先等编. 十五万年来的南海. 上海: 同济大学出版社, 1995. 39~ 45

Fluxes and Constituents of Particulate Matter in the South China Sea in Comparison with Sediment Accumulation Rates

Chen Jianfang¹ Zheng Lianfu¹ Chen Ronghua¹ Zheng Yulong¹
Chen Wenbin¹ M. G. Wiesner² H. K. Wong²

¹ (Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Hangzhou 310012)

² (Institute of Biogeochemistry and Marine Chemistry, Univ. Hamburg, D-20146 Hamburg, F. R. G.)

Abstract

Time-series sediment trap experiments covering the periods from September 1987 to October 1988 in the northern South China Sea and from December 1990 to April 1995 in the central South China Sea were carried out in order to measure the fluxes and constituents of particulate matter. Particle fluxes in northern and central South China Sea are about $90 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ and $85 \sim 90 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$, respectively. Significant increases of the fluxes are observed during the periods of northeast and southwest monsoons. The main components of the particulate matter in the central South China Sea are carbonate (25.3% ~ 61.0%), opal (15.3% ~ 49.9%), organic matter (1.6% ~ 12.5%) and lithogenic matter (12.2% ~ 42.0%). Interestingly, in the northern South China Sea, opal only comprised 0.4% ~ 2.5% of the total fluxes while lithogenic matter occupied 33.0 ~ 67.0%. Carbonate, opal and organic matter are mainly derived from recent calcareous and siliceous plankton, and as for lithogenic matter, besides fluvial sediment discharge, aeolian transportation may also play an important role to increase lithogenic flux.

The decreases of total flux as well as carbonate, opal, organic matter fluxes with depth are mainly caused by dissolution of carbonate and opal in water column. Organic matter loss with depth is attributed to dissolution of plankton shells which contain abundant organic matter as well as their biogeochemical degradation processes in water column. The much higher fluxes recorded in deep traps than in shallow traps in some sampling intervals suggest that advection of particulate matter in the water column is very frequent. In comparison with sediments in the deep basin of the South China Sea, it shows that most of the marine biogenic constituents such as carbonate, opal and organic matter dissolved before their reaching at the bottom. So it is obviously that the decreases of organic matter in sediments are not only result of decomposition of these organic matter, but also caused by dissolution of carbonate and opal. Lithogenic accumulation rates in sediment are much higher than its fluxes in the deep water column suggest that about 30% ~ 60% of the deep basin sediments are contributed by near bottom sediment transportation mechanisms such as turbidites, especially in the northern part of the deep South China Sea.

Key words particle flux constituents sediment accumulation rates South China Sea