

南海深水海盆区现代沉积作用的初步探讨*

李粹中

(国家海洋局第二海洋研究所)

研究在各种现代海洋环境下出现的沉积作用过程及其所形成的各类沉积物特征是海洋沉积学的一个重要内容,南海的自然条件为我们开展这一研究提供了理想的场所。以往国内外的研究工作主要集中在南部海域包括暹罗湾在内的巽他陆架以及北部中国沿海陆

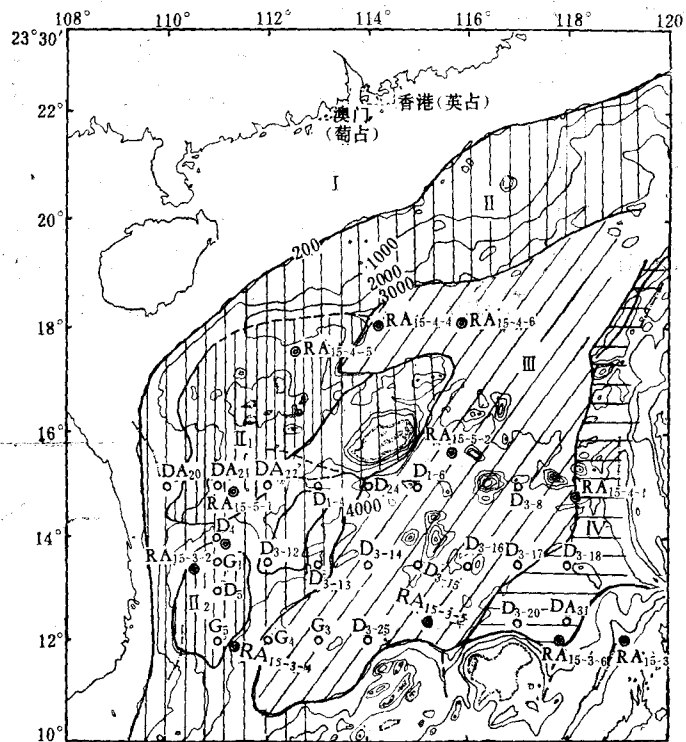


图1 北纬12°以北的南海海底地貌分区略图

(附取样站位, RA₁₅字头的站位系美国海军海洋局采集的柱状样位置)

I 南海大陆架区; II 大陆斜坡区 II₁ 西沙群岛破碎边缘海台,
II₂ 越南岸外海台; III 深海平原区; IV 岛坡和沟槽系。

—— 海谷, ——— 马尼拉(菲)海沟。

* 本文资料来自中国科学院南海海洋研究所。海上调查由陈绍谋、古森昌等同志完成,所引用的室内分析数据由沉积室王天行、梁美桃、朱袁智、王淦漪、李云章等同志提供,特致深切谢意。
收稿日期: 1982年10月4日。

架(包括台湾海峡邻近海域),而关于南海中部深水海盆区的资料不多。“实验号”调查船于1977—1978年间,在 12° — 15° N的南海中央海盆区采集了23个样品(取样深度从449m到4380m,位置见图1及表1),已完成粒度、 $>62\mu$ 粒组的矿物成分、微古、全样化学常量分析以及微量元素的光谱定量分析,其中少量样品并作了 $<2\mu$ 的X射线衍射分析及电镜观察^[1]。本文通过对该区沉积物的粒度及矿物特征的研究,探讨深水海盆区沉积作用特征。关于该区沉积物的矿物及地球化学特征拟另文发表。

一、地形-地貌特征

南海海盆主要地形特征是呈NE-SW向的偏菱形盆地。它由大陆边缘台地、深海平原、珊瑚礁滩构成。北部中国沿海陆架和南部巽他陆架以地形平坦宽阔著称,同属堆积型陆架,西部越南东海岸陆架变窄。拉长的斜方形的深水海盆位于南海的中心部分,在深海平原区的中央,海山群耸立,一般高出海底平原500—900m。联接陆架与深水海盆的大陆坡具明显阶梯状特征,如西北大陆坡即由一系列台阶组成,多珊瑚礁浅滩,其中西沙群岛底座即座落在1250m水深的西沙台阶之上,该陆坡由于海沟、谷切割而分成若干块段,由大陆斜坡麓伸展到深水海盆时水深一般突降到3500m。中央海盆根据此次调查实测资料,其最大深度为4462m。南海海盆东界则为狭窄的陆架、岛坡和坡脚下的海沟槽系统。在构造上据研究认为南海海盆曾经经过南北向的扩张及东西向压缩等构造演化^[2](Ben-Avraham, Z. 等, 1973)。南海海盆亚洲大陆边缘岸侧广泛出露有沉积岩、中酸性花岗岩及其它火成岩、变质岩,其风化产物通过大陆主要河系——珠江、红河、湄公河、湄南河等大量输入海,而东南菲律宾—印度尼西亚岛弧则以新生代沉积物和火山堆积物(凝灰岩、角砾岩及熔岩流)广泛发育为特征。无疑它们对南海海盆沉积物形成有着巨大的影响。

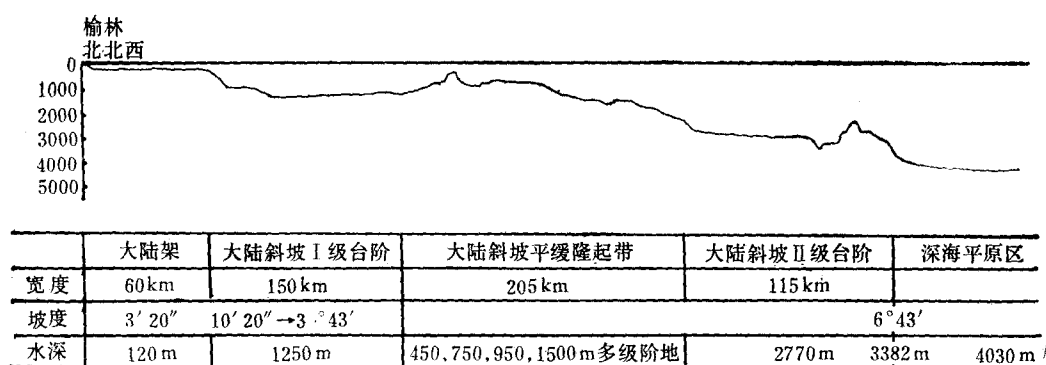


图2 回声实测地形示意剖面

二、沉积物的粒度分布

从南海深水海盆取得的表层样品主要由灰色、青灰色泥或灰黄色、黄褐色泥所组成,肉眼未见明显的结构差异,沉积物中生物遗壳种类和含量随深度改变而有所不同,在调查区中、西部的沉积物中,常见有黑色岩屑(见表1)。

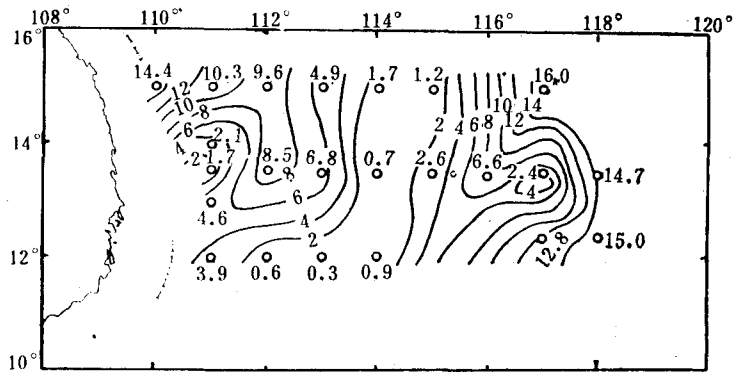


图3 >62μ砂级颗粒的重量百分含量图

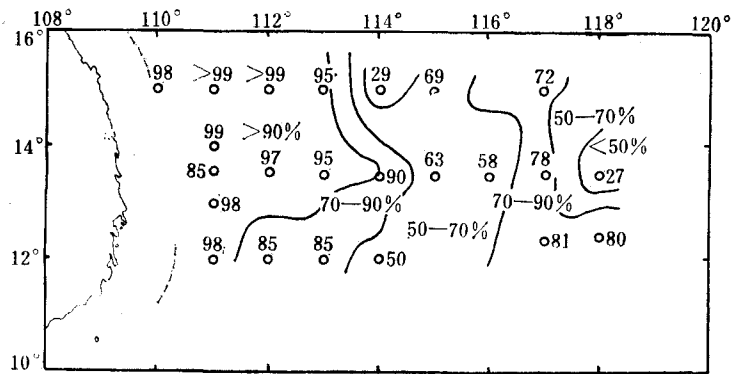


图4 >62μ砂级颗粒中生物碎屑百分含量

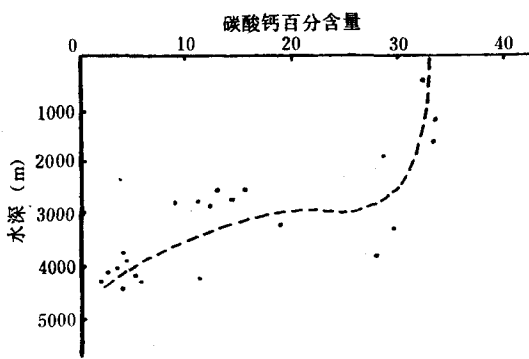


图5 南海碳酸钙含量与水深关系

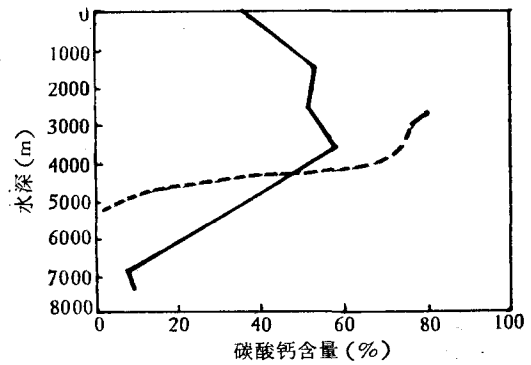


图6 太平洋、大西洋碳酸钙补偿深度
—— 大西洋深处； ---- 太平洋深处

沉积物用福克统计方法计算了粒度参数。其主要特征为：平均粒径 (M_z) 从 6.96ϕ (8.0μ) 变化到 8.95ϕ (2.1μ)，其值高于北太平洋沉积物的粒径平均值 0.94μ (10.01ϕ) (Horn, 1974)，略高于菲律宾海深海红粘土平均粒径值的变化范围 7.76ϕ (4.6μ)— 9.52ϕ (1.4μ)^[2]。沉积物分选程度差和很差，标准离差 σ_1 值变化范围为 1.49 — 2.79ϕ ，大部分样品具有负偏态值 (SK_1)，即偏向粗端。沉积物样品中平均含有 6.2% 砂粒级，变化

表 1 沉积

地 貌 区	站 号	水深 (m)	沉 积 物 简 要 描 述
越南岸外边缘海台	DA ₂₀	449	灰黄色泥,多有孔虫、生物碎片、海棉骨针。
越南岸外海台	D ₄	2760	灰黄色泥,均匀,有孔虫较少。
	G ₁	2800	灰色泥,均匀。
	D ₅	2720	黄色泥,有团块,有生物遗迹,有孔虫较少。
	G ₅	2500	灰黄色泥,不均匀,含有孔虫。
西沙群岛破碎边缘海台	DA ₂₁	1190	灰色泥,含细砂,多生物贝壳碎片、有孔虫、海棉骨针等。
	DA ₂₂	1640	黄灰色泥,其它同 DA ₂₁ 。
海台	D ₃₋₁₂	1860	浅灰黄色泥,含生物介壳、黑色碎屑矿物。
大陆斜坡外缘	D ₁₋₄	3750	青灰色泥,有少量黑色颗粒,表面黄褐色。
	D ₃₋₁₃	3090	深灰色泥,含有孔虫,甲壳类,有两块 2cm 大小褐色物。
南沙群岛北陆基	D ₃₋₂₀	3760	黄褐色泥,含贝壳碎屑、有孔虫,有褐色矿物粒。
	DA ₃₁	3310	黄色泥,有贝壳碎屑、有孔虫。
马尼拉海沟西岛坡	D ₃₋₁₈	3840	灰黄色泥,有黑色矿物颗粒。
	D ₃₋₈	2960	黄褐色泥,含有孔虫壳体,有黑色矿物粒,有泥块。
中央深海盆地	G ₃	4330	灰色泥,均匀,表面黄褐色。
	D ₃₋₁₄	4360	青灰色泥,含黑色矿物粒,表面黄褐色。
	D ₃₋₁₅	4040	灰黄色泥,有黑色矿物粒,表面灰褐色。
	D ₃₋₁₆	4100	黄褐色泥,有黑色矿物粒。
	D ₃₋₁₇	4220	青灰色泥,有黑色矿物粒,表面黄褐色。
	D ₁₋₆	4260	青灰色泥,有少量黑色矿物粒。
	DA ₂₄	4220	灰色泥,均匀、细腻,表面黄褐色。
	G ₄	4100	灰色泥,均匀、细腻。
	D ₃₋₂₃	4380	青灰色泥,表面黄褐色。

范围为 0.3—16.0%。它们大多数具有双众值或三众值粒度分布特点。

上述特征的形成显然与以下两个事实有关: (1) 这些物质堆积在离陆中等远近的深水海盆中,它们受大陆陆源物质、珊瑚礁浅滩的生物碎屑物质及系列海岛群的火山物质影响较大,特别是后者引起了平均粒径的地方性偏高;(2) 砂和粉砂粒级存在使沉积物分选性很差,出现负偏态值。

三、沉积物的矿物组份

1. >62 μ 粗碎屑部分的组份

物一般特征

CaCO ₃ %	砂级%	粉砂级%	粘土级%	粒 度 特 征				沉积物命名
				M _Z	σ ₁	SK ₁	K _q	
32.38	14.4	54.3	31.3	7.09	2.65	-0.13	1.43	有孔虫泥
11.25	2.1	30.8	67.1	8.61	1.61	-0.16	0.82	钙质粉砂质粘土
12.03	1.7	46.8	51.5	8.29	2.08	0.03	0.90	钙质粉砂质粘土
14.61	4.6	32.9	62.5	8.51	2.02	-0.20	1.00	钙质粉砂质粘土
15.60	3.9	31.4	64.7	8.68	1.88	-0.22	0.80	钙质粉砂质粘土
33.49	10.3	29.0	60.7	8.46	2.31	-0.26	1.21	生物贝壳泥
33.37	9.6	33.5	56.9	8.35	2.23	-0.21	1.18	生物贝壳泥
28.48	8.5	38.8	52.7					生物贝壳泥
4.08	4.9	58.0	37.1	7.92	1.94	0.14	1.16	粘土质粉砂
19.03	6.8	40.1	53.1	8.25	2.15	-0.13	1.08	钙质粉砂质粘土
27.90	12.8	39.8	47.4	7.56				生物贝壳泥
29.53	15.0	26.1	58.9	7.77	2.79	-0.37	0.94	生物贝壳泥
4.43	14.7	39.4	45.9	7.42				粉砂质粘土
25.69	16.0	48.7	35.3	6.96				有孔虫泥
6.29	0.3	26.9	72.8	8.74	1.48	-0.16	0.92	粘土
4.07	0.7	60.3	39.0	7.93	1.48	0.29	0.80	粉砂质粘土
3.65	2.6	33.3	64.1	8.35	1.66	-0.45	0.94	粉砂质粘土
2.66	6.6	25.2	68.2	8.67	2.18	-0.44	1.04	粘土
11.31	2.4	32.9	64.7	8.52	1.84	-0.21	0.91	钙质粉砂质粘土
5.73	1.2	76.8	22.0	7.61	1.46	0.44	1.44	粉砂
5.99	1.7	27.9	70.4	8.69	1.50	-0.17	0.86	粘土
4.69	0.6	33.7	65.7	8.26	1.99	-0.33	0.87	粉砂质粘土
5.56	0.9	24.8	74.3	8.95	1.58	-0.28	0.85	粘土

>62 μ 粗碎屑部分作了镜下矿物学研究¹⁾。(1) 粗碎屑部分主要为生物遗壳及碎屑物质,含量变化在 27.2—>99%。以抱球虫属、圆幅虫属浮游型为主的有孔虫遗壳、放射虫和硅藻的硅质壳及少量的海绵骨针在大多数样品中均有出现。其生物属种、数量随水深而变化。极少数离岸近(如 DA₂₀)或离珊瑚礁浅滩近(如三千多米水深的 DA₃₁)的站位上有少量珊瑚贝壳碎屑。生物成因碎屑其矿物成分为方解石和蛋白石,沉积物中生物种类和矿物成分(硅藻可能例外,电镜中不同水深站位均有发现)随深度分带现象十分明显,一般以水深 3000 m 为界。3000 m 以深主要是放射虫和海绵骨针,矿物成分以蛋白石为主

1) 详细鉴定结果表可查阅文献[1]中表 4(表 4 中自生矿物、铁锰小球粒除,成因有争议)。

或蛋白石方解石组成, 3000 m 以浅主要是有孔虫的抱球虫、圆幅虫属或珊瑚贝壳碎屑, 矿物成分以方解石为主或方解石、蛋白石组成。上述情况与沉积物中 CaO 、 CaCO_3 含量随水深变化特点极为一致。由此可见, 南海的碳酸盐补偿深度与世界大洋相比, 明显要浅一些, 其原因比较复杂, 可能与沉积物源的供给数量、颗粒质点大小、生物属种抗溶能力强弱、质点下沉速度以及南海环流特征等有关, 尚待深入研究。(2) 粗碎屑部分中非生物碎屑颗粒包括有以下几种不同成因物质: 陆源碎屑矿物、火山成因岩屑、海成自生矿物和宇宙成因球粒(?)。粗颗粒岩矿主要成分为火山玻璃、凝灰岩屑、长石、云母等。火山岩屑以绿褐色为主, 其次为浅绿褐色和褐黑色, 透明玻璃光泽、尖棱角状、气孔多、似浮石, 有些具杏仁状结构, 大部分为非晶质, 偶见长石斑晶, DA_{31} 站火山岩屑 X 粉晶分析结果表明以无定形物质为主, 石英、长石次之, 或为长石、石英、方解石和粘土矿物。此外, 尚见有少量白绿色松软凝灰质团块。火山岩屑在非生物组成的碎屑颗粒中所占百分含量变化很大, 从 0 到 63.2%, 高含量区明显分布在研究区的西部(图 7)。长石呈板状粒状, 有些可见聚片双晶。云母(褐绿色)、角闪石(深绿色为主)在很多样品中普遍存在, 但量不多, 一般不超过 1% (马尼拉海沟西岛坡过渡到深水海盆的站位例外, 含量 $>1\%$), 颗粒周围有玻璃质、有气孔。辉石很少出现。以上情况表明火山喷发对南海海区沉积物来源有着重要作用。海成自生矿物仅在少数站位见有少量的黄铁矿和海绿石, 前者为细粒状集合体, 呈球状或

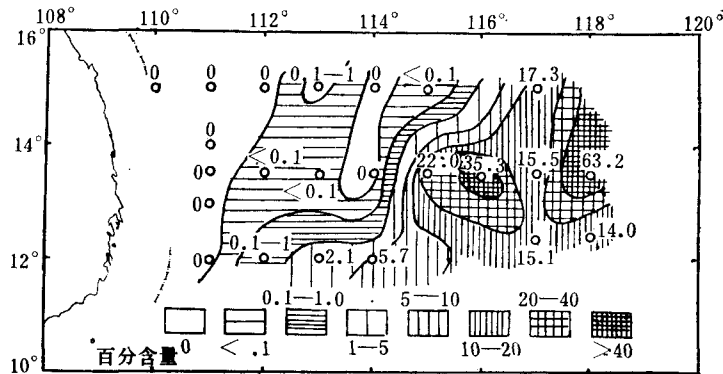


图 7 $>62\mu$ 砂级颗粒中火山玻璃+凝灰岩屑百分含量

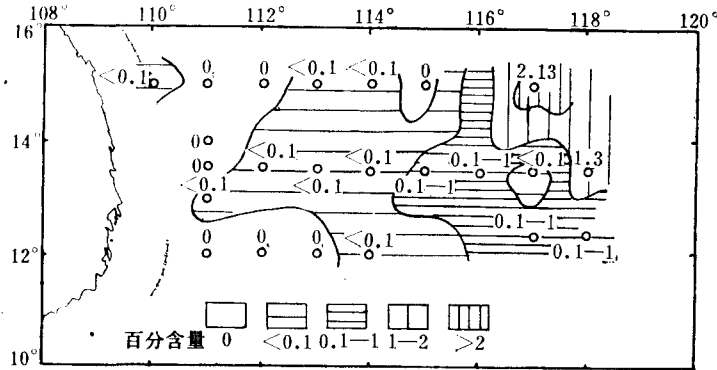


图 8 $>62\mu$ 砂级颗粒中角闪石百分含量

生物内膜,有的充填在生物壳体中;后者呈粘土球状集合体或呈生物内膜,多数分布在大陆斜坡站位上,最大水深达 3760m(南沙群岛北陆基的 D_{3-20} 站),对 DA_{20} 站的所谓海绿石作 X 粉晶分析后,表明它们有部分并不是一种单矿物,鉴定结果为蒙脱石、绿高岭石、海绿石、石英、方解石,说明其成因比较复杂。推测在沉积比较缓慢的中深水区,除与层状硅酸盐有关外,可能还与火山玻璃蚀变有关。自生沸石仅在 D_{3-23} 站有发现,略带白色,板状,少数为纤维状,似放射状花瓣。

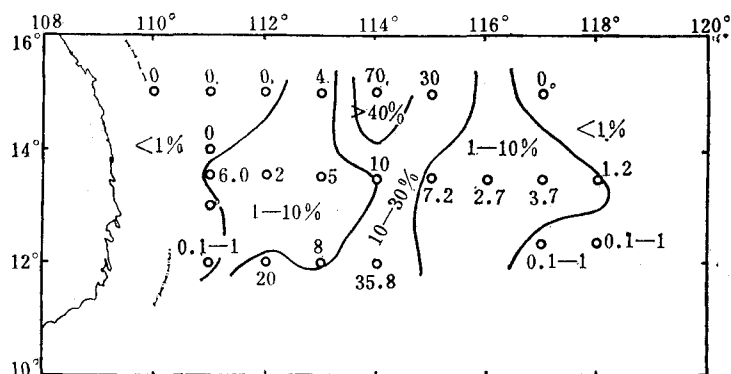


图9 $>62\mu$ 砂级颗粒中黑褐色小球体百分含量

南海深水海盆沉积物粗碎屑颗粒组成的另一个重要特点是:普遍存在相当数量的黑色小球体¹⁾,它们多半为褐黑色圆角粒状、致密,但也有呈不规则粒状、质地疏松、具星点状光泽、似炉碴、无磁性。颗粒粗细大小不一,其最大百分含量可达 $>62\mu$ 颗粒总量的 70%。 DA_{31} 站黑色小球体(微球状,致密)微化分析有 MnO_2 反应,铁的反应较弱,X 射线粉晶分析未有衍射线。总之,目前对其成分和结构还不很清楚,难以确切作出成因判断。从国外报道来看^[4],深海沉积物中存在的这种小球体可源于宇宙(铁、石质微陨石和玻璃质微球粒)、火山起因的陆源派生颗粒和工业污染颗粒(煤、焦炭燃烧后飘灰沉降物)。仅从外部特征和内部结构研究不足以判别其来源,而矿物和化学的组份研究才是确定其起因的重要依据。关于南海深水海盆中普遍存在的这些小球体是否属宇宙成因颗粒也只有通过细致的化学分析、电子显微探针分析以及 X 射线衍射等手段才能为其成因提供确切的组份论据。

2. $<2\mu$ 粘土组份

目前已完成的 7 个样品的粘土分析结果表明,伊利石是主要粘土矿物(占粘土矿物总量的平均值为 57.2%),高岭石其次(占 24.3%),绿泥石和蒙脱石含量的平均值分别为 11.1% 和 5.4%。其中 DA_{31} 站中高岭石含量特别高,达 40.7%。根据前人研究资料,南海海盆粘土矿物分布模式明显受相邻陆地的区域地质和土壤的影响,整个海盆虽以伊利石为优势粘土矿物,但不同海区的粘土矿物相对含量变化仍造成各区粘土矿物组合的差异。

1) 在南海海盆,虽见有“深水区发现有铁锰结核或小结核体”的报道^[7](美国海军海洋局),但根据所提供资料还不足以说明其存在的确实性。1980 年南海指挥部综合大队与美拉蒙蒂地质研究所合作,用“维玛”号船拖网作业,在 $18^{\circ}30' - 19^{\circ} N, 116^{\circ} E$, 水深 2982—3879 m 处采得一块玄武岩,其表面见有厚约 1 mm 锰铁皮壳。因此作者在此把小球体仍暂归属于球外物质。作者对此所作的推测最近通过中国科学院南海海洋研究所的进一步工作,已得到初步证实(见热带海洋 1982 年第 1 期)。

Chen (1978) 据此首先把南海粘土矿物区分为大陆源及群岛源两大类¹⁾。上述7个样品的粘土矿物组份在绿泥石+高岭石、伊利石、蒙脱石三角图解上都落入大陆源范围,这可能意味着深水海盆区的粘土矿物主要受亚洲大陆供给源的控制,是陆地上风化产物被河流搬运入海后经海流重新分配而形成的。电镜下粘土颗粒形状及2M复型伊利石的广泛分布是粘土陆源成因的一些佐证。

四、沉积作用特点探讨

1. 南海深水海盆沉积物由以下几种成因物质组成: 陆源粘土矿物及少量碎屑矿物、火山碎屑物质、生源物质(有孔虫钙质沉积物、放射虫、硅藻皮壳等硅质沉积物)、海成自生矿物(黄铁矿、海绿石、沸石)和宇宙物质(尚待进一步研究证实)。

火山碎屑物质的广泛分布,说明其对南海深水海盆沉积物形成有着重要作用,美国海军海洋局在15调查区采集14个岩芯¹⁾,其中西部站位岩芯中(RA₁₅₋₃₋₅、RA₁₅₋₃₋₆等岩芯)都发现有数层火山灰沉积,向东仅见玄武玻璃碎屑,至大陆斜坡台阶上很少见有火山成因物质,火山物质在上述垂直岩芯中的分布特点,大致与表层沉积物中火山碎屑分布趋势相似。

沉积物平均粒径M_z有自东、西两端向中央变细趋势,>62μ砂粒级百分含量图(图3)及>62μ砂粒级中,火山玻璃加凝灰岩岩屑重量百分含量图(图7)和角闪石百分含量图(图8)表明有两个物质来源区,一是西北面亚洲大陆物质经水流搬运而来,二是亚洲大陆边缘菲律宾—印度尼西亚岛弧火山岛屿物质。南海深水海盆中沉积物分布与表面流筒

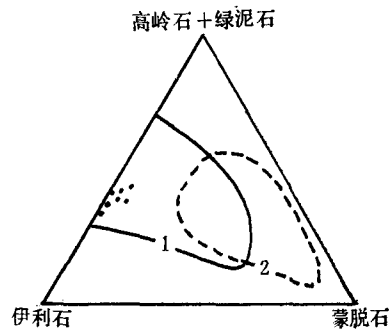


图10 粘土矿物组份的三角图解
1——大陆源; 2——群岛源。
黑点为南海中央海盆的沉积物。

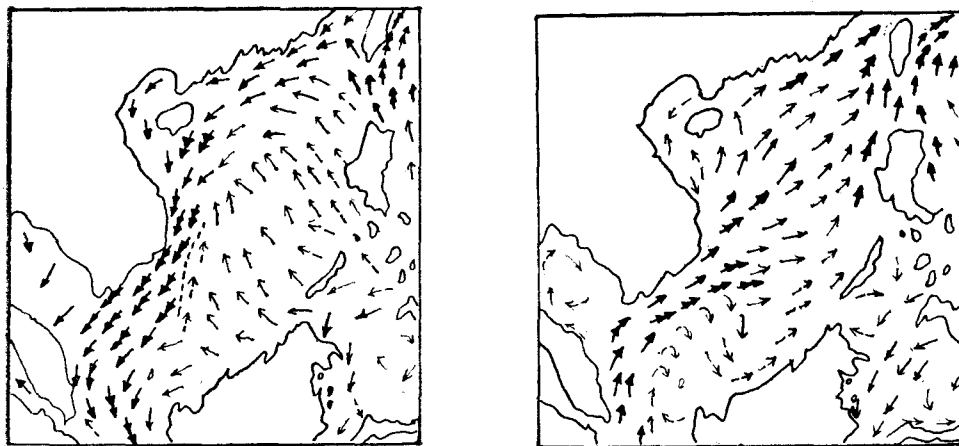


图11 季风控制下南海表面流
(a) 二月流势; (b) 八月流势(据 Laford, 1966)
←6海里/天 ←12海里/天 ←24海里/天 ←36海里/天

1) Sanko. P. and C. Lair, 1975。中国南海的岩芯分析和海底照片。海洋科技资料3: 1—59。

单模式对比（特别是火山岩屑分布与表面流二月流势）显示海流对碎屑沉积物搬运、沉积起着重要作用。

2. 南海是深水海盆，此次调查测得最大水深为 4462m。深度对沉积物性质（特别反映在微体生物种群方面）有着重要影响，但并不是决定沉积物诸般特性的唯一因素。南海深水海盆的沉积物，其岩性、生物、化学特性明显受大陆地质结构、陆坡台阶的珊瑚礁浅滩以及菲律宾—印度尼西亚火山岛屿物质来源的影响。其沉积物组分的研究表明，它们不属于典型的纯深海—远洋沉积物（即软泥和粘土），较恰当的是反映了近海—深海环境下的半深海—远洋沉积物（即泥）。按 W. H. Berger (1974) 的深海沉积物分类系统，主要隶属于有孔虫泥（生物骨骼遗骸的碳酸钙大于 30%）和陆源泥（碳酸钙小于 30%）。

3. 南海深水海盆中深度对沉积物的影响，表现在各类型沉积物具有特定水深分布的倾向性。南海深水海盆的碳酸钙补偿深度 (CCD) 约位于 3000 m 水深处，以此为界大致划分了两个沉积相带，即在 CCD 界面以上为钙质沉积物，以下为非钙质沉积物。整个沉积物的分布模式受深度控制。生物属种、数量也随深度变化而各异，浮游有孔虫组成钙质沉积物主体，而非钙质沉积物中有较多放射虫、硅藻和海绵骨针。此外，相对较粗的陆源物质或火山物质参与了南海深水海盆的沉积形成作用，如位于深海平原的 D₁₋₆ 站（水深 4260m）粉砂级含量可以达 76.8%。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南海海洋研究所，1982。南海海区综合调查研究报告(一)。科学出版社，69—98页。
- [2] Chen, J. C., 1976. Mineralogical and geochemical studies of deep sea sediments from the Philippine Sea. *Petroleum Geology of Taiwan* 13: 163—178.
- [3] Chen, P. Y., 1978. Minerals in bottom sediments of the South China Sea. *Geol. Soc. America Bull.* 89: 211—222.
- [4] Doyle, L. J., 1976. Black Magnetic spherule fallout in the eastern gulf of Mexico. *Science* 4270: 1157—1159.
- [5] Lin Fei-Jan, 1980. Mineralogy and geochemistry of shelf sediments adjacent to South China Sea. *Acta Oceanographica Taiwanica, Science Reports of the National Taiwan University.* 11: 180—199.

A PRELIMINARY STUDY ON MODERN DEEP SEA SEDIMENTATION OF SOUTH CHINA SEA

Li Cuizhong

(Second Institute of Oceanography, National Bureau of Oceanography)

ABSTRACT

The grain size and mineralogy of 23 surface samples (water depth: 449—4380 m) from 12°—15° N of the South China Sea have been studied in order to understand the characteristics of deep sea sedimentation.

The grain size and mineral compositions of the sand fraction ($> 62\mu$) and mud fraction ($< 2\mu$) show that the deep sea basin sediments of central South China Sea belong to the semipelagic type of deposit. The general trend of the distribution of surface sediments appears to be of facies distribution at a given water depth. The calcite compensation depth (CCD) of the South China Sea is at approximately 3000 meter depth, with the calcareous muds (planktonic foraminifera, skeletal CaCO_3 30%) above the CCD and the non-calcareous muds (terrigenous mud with diatom and radiolarian) below. The overall pattern is depth-controlled.

The mean grain size of sediment (M_z), the percentage of $> 62\mu$ sand fraction (Fig. 3) as well as the percentage of volcanic rock fragments (such as volcanic glass and tuff) in the $> 62\mu$, sand fraction (Fig. 7) show clearly that the sediments are also influenced by the relatively coarse materials derived from the terrigenous sediments of the Asian continent, the biogeneous remains of coral reef shoals of continent slope and the volcanic fragment materials of Phillipine-Indonesia arc. It indicates that the current effect is one of important factors controlling the dispersal and distribution of the sediments.