

南海中东部表层沉积物矿物组合分区 及其地质意义*

杨群慧¹ 林振宏² 张富元² 林晓彤² 季福武³

¹(中国科学院广州地球化学研究所 广州 510640)

²(青岛海洋大学 青岛 266003)

³(国家海洋局海底科学重点实验室 杭州 310012)

提要 利用油浸系统鉴定法对南海中东部 286 个表层沉积物样品 63—125 μ m 粒级的矿物鉴定和分析结果表明, 沉积物中矿物种类丰富, 有 57 种; 矿物组成以轻矿物为主, 重矿物含量较低; 与中国其他海区相比, 以铁锰微结核、磁铁矿、普通辉石和火山玻璃的高含量为特征。根据矿物来源和成因的研究, 可分为陆源碎屑矿物、自生沉积矿物、火山碎屑矿物、生物骨屑矿物和宇宙来源矿物 5 类。为了定量地探讨沉积物中矿物组合及其空间分布, 根据特征矿物的相似性对 286 个样品 22 种矿物变量进行 Q-型聚类分析, 将南海中东部表层矿物分布划分为陆源、混合、自生、火山 4 个矿物组合区。各组合区中矿物组成和含量上的变化反映了物质来源和沉积环境的差异。

关键词 南海, 表层沉积物, 矿物组合区, 地质意义

中图分类号 P736

南海是西太平洋最大的边缘海之一, 它北靠中国大陆, 南临巽他陆架, 东侧通过巴士海峡与太平洋相连, 西侧紧依中南半岛; 气候上处于东亚季风带, 其独特的地理位置决定了它对环境变迁的敏感性以及物质来源的多样性, 近年来已成为国际古海洋研究的热点 (Wang P *et al.*, 2000; 赵泉鸿等, 1999)。通过对海底沉积物中碎屑矿物和自生矿物的矿物组合、标型特征及分布规律的研究, 可为阐明海底沉积物的来源、沉积机制和环境提供重要信息 (陈丽蓉等, 1986a, b; 林振宏等, 1996、1997; 方银霞等, 2000; Bayhan *et al.*, 2001; Diekmann *et al.*, 1999; Datta *et al.*, 1997)。前人 (陈丽蓉等, 1986b; 苏广庆等, 1992; 李志珍, 1987; 邱燕等, 1997) 曾对南海中西部表层沉积物的矿物特征进行过分析, 但对南海东部海域的矿物研究迄今为止仍是空白。作者通过对该海域密集采样获得的表层沉积物样品矿物特征、类型及分布规律的分析, 划分了矿物组合区, 并就其地质意义进行了探讨。

1 样品来源与分析方法

1.1 样品来源

研究区位于南海中东部 110°—121°14'E, 12°—22°N 的区域内, 沉积物多属半远洋—远

* 国家海洋局海底科学重点实验室第 2001-2 号课题和“九五”国家专项海洋地质地球物理重大资助项目部分研究成果。杨群慧, 女, 出生于 1969 年 12 月, 博士后, E-mail: qunhuiyang@yahoo.com.cn

收稿日期: 2001-12-08, 收修改稿日期: 2002-06-22

洋沉积。研究样品由国家海洋局第二海洋研究所于1998年采集,对202个站位的表层碎屑及自生矿物进行了鉴定分析测试。此外,还利用了1983年国家海洋局第二海洋研究所南海中部调查的84个站位的部分矿物分析原始数据,这些站位分布见图1。

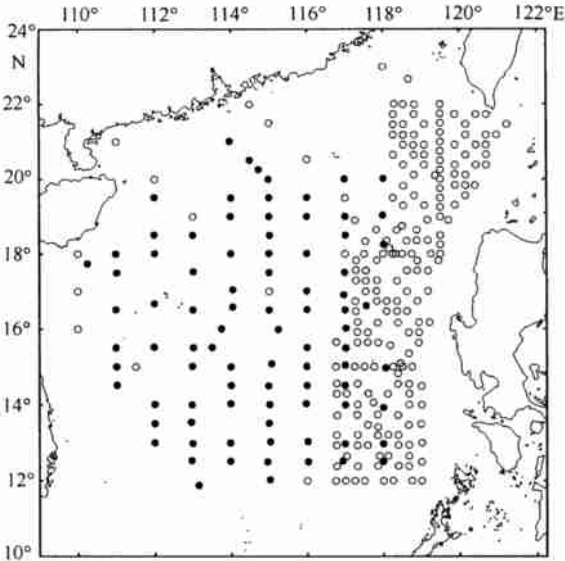


图1 取样站位图

Fig. 1 Location map showing the sampling sites
(○1998年取样站位; ●1983年取样站位)

1.2 分析方法

样品的处理和分析方法按《海洋调查海洋地质地球物理调查规范(GB/T 13909-92)》规定进行。将沉积物样品加偏磷酸钠浸泡直至样品完全离散后,用水筛冲洗取得63—125 μm 粒级部分(样品不足时,取125—250 μm 粒级),将其烘干、称重后采用重液分离法在三溴甲烷(CHBr_3 ,比重2.88 g/cm^3)中分离成轻组分和重组分,然后在实体和偏光显微镜下对轻、重组分矿物进行鉴定,鉴定的矿物颗粒数为300粒。其中不透明矿物以实体显微镜鉴定为主,透明矿物采用油浸系统鉴定法在Opton偏光显微镜下鉴定,个别疑难矿物辅以电子探针、扫描电镜、能谱和X射线衍射分析。最后根据鉴定结果求得单矿物的颗粒百分含量,

并根据此数据,利用SPSS软件包采取Q-型聚类分析方法(Swan *et al.*, 1995; Diekmann *et al.*, 1999; 吴晓军等, 1998)对286个样品进行了多元统计分析。

2 分析结果及讨论

2.1 矿物来源分类

南海中东部表层沉积物中矿物种类丰富,有57种矿物。矿物组成以轻组分矿物为主,平均含量高达98.89%;重组分矿物含量较低,平均为1.11%,最高含量为12.82%。轻组分中生物碎屑含量高,平均高达65.13%,个别站位接近100%;主要矿物为石英、长石、褐色和无色火山玻璃(含量较高,平均含量为15.98%,个别站位可达79.9%);重组分中矿物以普通角闪石、磁铁矿、铁锰微结核、普通辉石为主,其平均含量的总和占整个重矿物总量的65.17%。与中国其他海区相比,南海中东部以铁锰微结核、磁铁矿、普通辉石和火山玻璃的高含量为特征。通过对沉积物中矿物特征、来源和成因的研究,可将其分为陆源碎屑矿物、自生沉积矿物、火山碎屑矿物、生物骨屑矿物和宇宙来源矿物。

陆源碎屑矿物:主要分布于水深3000m以浅的北部陆坡和深海盆的东北部和西南部。常见轻矿物为石英、长石,重矿物有普通角闪石、磁铁矿、绿帘石、斜黝帘石、黑云母和白云母以及少量绿泥石、楣石、锆石、石榴石、钛铁矿、白钛石、褐铁矿、赤铁矿、阳起石、磷灰石、褐帘石、红帘石、透辉石、透闪石、蓝晶石等。此类矿物一般磨圆度较好,呈次棱角状、次圆状和浑圆状,长石等遭受不同程度的次生变化,具有长距离搬运和随水深而分异的特点。

自生沉积矿物:包括铁锰微结核、碳酸盐矿物、黄铁矿、海绿石等。铁锰微结核为黑色、暗黑色,形态变化大,呈球状、葡萄状和不规则状等,多为极细砂级大小,粒径很少有超过250 μ m;表面粗糙,疏松多孔,半金属光泽,无磁性,硬度低,容易压碎,主要分布于16°—20°N、水深3000—4000m的深海平原。碳酸盐矿物有自生方解石、菱镁矿等;黄铁矿和海绿石含量较低,零星分布。

火山碎屑矿物:主要有普通辉石、紫苏辉石、磁铁矿、普通角闪石、无色和褐色火山玻璃、石英、斜长石、岩屑以及微量磷灰石和锆石,个别站位偶见海底热液矿物黄铁矿、方铅矿和黄铜矿。这些矿物多数晶形较好,表面新鲜,常粘有火山玻璃,大多具泡壁结构;主要分布于南部深海盆地和火山群中。褐色火山玻璃为安山质,高值区范围偏东南,与辉石类、磁铁矿分布相近;而无色火山玻璃为流纹质,多与普通角闪石、玄武闪石相伴,分布范围偏北¹⁾。普通辉石与紫苏辉石是基性火成岩的特征矿物,常与褐色火山玻璃、磁铁矿等密切伴生;普通角闪石在中性和中酸性岩浆岩中大量出现,玄武闪石则常见于中基性和中酸性火山岩中,二者均与无色火山玻璃呈强正相关关系;结合分布特征,可进一步划分出以褐色火山玻璃、普通辉石、紫苏辉石为代表的中—基性火山矿物组合和以普通角闪石、玄武闪石、无色火山玻璃为主的中—酸性火山矿物组合。

生物骨屑矿物:乳白色、浅灰白色,多呈细粒微晶或隐晶质集合体,皮壳状或生物骨屑状,少数粒状,一般结晶程度不好,光学特性不明显。多为碳酸盐矿物,蛋白石含量较低。根据X射线衍射分析,碳酸盐矿物由方解石、文石和镁方解石组成,常共生产出,是轻组分中最普遍的矿物。

宇宙来源矿物:包括玻质和铁质宇宙尘,含量极少,仅在个别站位发现微量,平均含量约占重矿物总量的0.03%,最高值为1.5%(115°59.8'E,19°N)。

2.2 矿物组合分区及其地质意义

作为一个完整的地质作用系统,各个因素之间必然存在联系。矿物在被剥蚀、搬运和沉积的过程中,记录了沉积物的来源、沉积机制及气候、沉积环境等多种信息,通过对其中轻、重矿物组合以及某些轻、重矿物的比值、标志矿物等参数的研究,可以成功地进行物源识别,再造沉积环境(Hanamgond *et al*, 1999; Frihy *et al*, 1998; Schafer *et al*, 1997)。为了定量地探讨沉积物中矿物组合及其空间分布,追索物源和沉积环境,根据特征成因矿物的相似性进行样品归类,结合其平面投影,进一步划分组合区。

选择高含量或具示踪特征的18种重矿物作为变量,其平均含量总和占重矿物总量的93.74%,可以认为基本反映了重矿物的属性;此外还增加了轻矿物中无色火山玻璃、褐色火山玻璃、石英和长石4种特征矿物变量参与聚类分析。聚类分析谱系图因太大而从略。这样,根据286个样品22种矿物变量的Q-型聚类分析(修正距离在25以内)得出如下8组矿物(表1)。

1) 陆源矿物组:优势矿物为石英+云母类+长石+普通角闪石+绿帘石; 2) 陆源为主的混合矿物组:优势矿物为磁铁矿+钛铁矿+普通角闪石+云母类+石榴石; 3) 自生黄铁矿矿物组:优势矿物为自生黄铁矿+普通角闪石+磁铁矿; 4) 铁锰微结核矿物组:优势矿

1) 杨群慧,林振宏,张富元等,2002.南海东部重矿物分布特征及其影响因素.待刊

表 1 聚类矿物组平均含量(颗粒%)

Tab. 1 Average contents (grain number %) of the mineral derived from cluster analysis

合序号	岩屑	磁铁矿	钛铁矿	自生黄铁矿	铁锰微结核	白云母	黑云母	普通角闪石	阳起石	普通辉石	紫苏辉石	绿帘石	锆石	石榴石	榍石	玄武闪石	透闪石	透辉石	石英*	长石*	无色玻璃	褐色玻璃
1)	9.59	5.84	7.20	2.00	2.49	8.97	6.39	15.54	2.93	4.31	1.19	12.80	1.14	0.62	0.42	0.32	0.73	0.41	16.16	14.61	0.08	0.34
2)	3.99	20.53	10.41	1.47	0.00	3.39	4.64	10.30	0.39	5.37	0.92	1.64	0.31	2.04	0.04	0.00	0.39	0.00	0.63	0.13	0.04	0.58
3)	2.39	10.65	1.61	47.78	0.86	3.94	2.58	12.22	0.83	5.51	0.88	1.17	0.17	0.26	0.25	0.15	0.45	0.20	2.55	0.33	0.15	0.15
4)	1.93	6.94	0.87	0.0168	17.11	1.15	1.40	7.52	0.23	3.68	0.62	1.02	0.09	0.07	0.10	0.49	0.05	0.12	1.07	0.48	0.50	3.10
5)	3.46	14.23	6.16	0.0021	10.16	1.62	1.43	18.44	0.50	4.29	0.92	3.61	1.87	0.97	1.80	1.55	0.00	0.17	2.38	0.53	0.92	0.91
6)	7.56	14.30	2.41	0.03	1.63	0.62	3.88	50.68	0.29	3.54	0.73	0.75	0.06	0.04	0.02	3.26	0.13	0.09	10.07	3.65	17.82	12.26
7)	8.68	33.52	2.66	0.02	6.78	0.51	0.98	21.00	0.42	8.68	3.42	1.09	0.10	0.06	0.05	0.68	0.06	0.14	2.94	0.42	3.73	20.87
8)	2.67	12.57	1.03	0.30	1.12	1.14	2.20	19.15	0.53	34.81	1.09	1.10	0.02	0.10	0.01	1.80	0.04	0.30	1.61	3.01	1.61	18.50

* 为轻矿物,其含量为占轻组分颗粒百分数

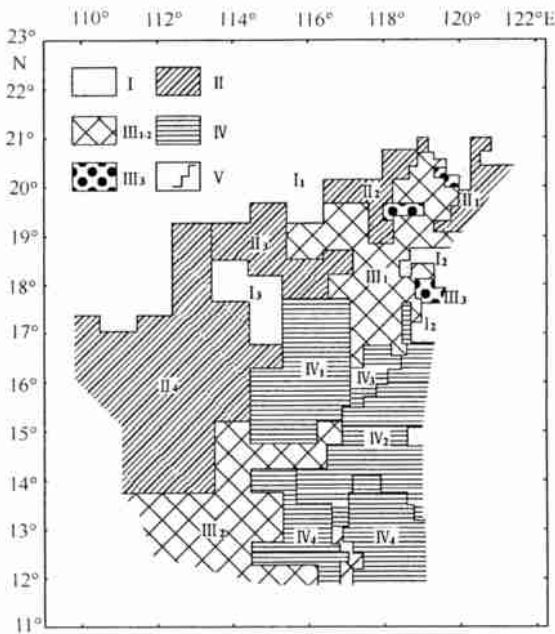


图 2 矿物组合分区

Fig. 2 The mineral assemblage provinces

I 陆源矿物组合区 (terigenous mineral assemblage province); II 混合矿物组合区 (mixed mineral assemblage province); III₁₋₂ 自生铁锰矿物组合亚区 (authigenic ferromanganese mineral assemblage sub-province); III₃ 自生黄铁矿组合亚区 (authigenic pyrite mineral assemblage sub-province); IV 火山矿物组合区 (volcanogenic mineral assemblage province); V 矿物组合区界 (mineral assemblage province borderline)

物为铁锰微结核+普通角闪石+磁铁矿;5) 含铁锰微结核矿物组: 优势矿物为铁锰微结核+普通角闪石+磁铁矿, 微结核含量较4) 低; 6) 中酸性火山矿物组: 优势矿物为普通角闪石+无色火山玻璃+磁铁矿+褐色火山玻璃+石英; 7) 中基性火山矿物组: 优势矿物为磁铁矿+普通角闪石+褐色火山玻璃+辉石类; 8) 基性火山矿物组: 优势矿物为普通辉石+普通角闪石+褐色火山玻璃+磁铁矿+云母类。

根据以上各矿物组中样品在南海中东部的空间分布情况,进行了组合区划分。由于单纯依靠数学分析难以全面精确地反映复杂的地质现象,因而作者在聚类分析数学统计的基础上,结合具体地质环境,综合考虑各矿物组中样品的空间分布,对部分分布零散、难以独立划分组合区的样品进行了适当的归并,将3)、4)、5)归并为自生矿物组合,6)、7)、8)归并为火山矿物组合。最终将南海中东部表层矿物划分为陆源矿物、混合矿物、自生矿物和火山矿物4大矿物组合区和14个矿物组合亚区(图2,表2)。

表 2 南海中东部表层沉积物矿物组合分区

Tab.2 The mineral assemblage provinces in surface sediments from the central-eastern South China Sea

矿物	陆源矿物组合区(I)				混合矿物组合区(II)				自生矿物组合区(III)				火山矿物组合区(IV)			
	北部陆坡亚区(I ₁)	澎湖湾槽亚区(I ₂)	西沙海槽亚区(I ₃)	巴士-巴林塘岛坡槽亚区(I ₄)	北坡-笔架海山亚区(II ₁)	双峰海山亚区(II ₂)	中西沙海台亚区(II ₃)	北部铁锰矿亚区(II ₄)	北部铁锰矿亚区(III ₁)	铁锰矿亚区(III ₂)	南部铁锰矿亚区(III ₃)	自生黄铁矿亚区(III ₄)	海山亚区(IV ₁)	山亚区(IV ₂)	珍珠贝-黄岩海山亚区(IV ₃)	壳北-壳南山亚区(IV ₄)
长石*	15.08	15.92	4.50	6.70	0.46	0.50	0.08	0.70	0.67	0.33	4.85	2.18	1.58	0.85		
石英*	15.65	23.71	7.83	7.93	0.17	0.20	0.29	2.40	0.62	3.19	0.27	11.33	6.23	1.48		
白云母	9.82	6.97	3.98	2.81	2.61	0.48	2.47	1.20	0.19	4.77	0.00	0.28	0.10	0.16		
黑云母	6.28	9.18	3.39	4.70	2.36	3.90	2.69	1.44	1.75	2.51	2.56	2.80	1.17	0.93		
绿帘石	14.38	5.67	4.33	1.77	2.25	0.18	2.18	0.71	2.08	0.94	0.26	0.66	0.4	0.91		
锆石 + 石榴石 + 榍石	2.46	0.80	0.18	0.15	0.61	0.13	0.89	0.60	0.44	0.66	0.20	0.13	0.07	0.26		
阳起石 + 透闪石 + 透辉石	4.13	1.98	4.19	1.81	2.22	0.52	0.53	0.57	0.46	1.50	0.28	0.43	0.73	0.50		
铁锰微结核	1.89	14.47	1.72	0.11	0.95	2.02	3.69	61.69	57.97	1.10	4.09	2.08	4.40	5.45		
自生黄铁矿	1.68	3.21	12.45	0.15	1.61	0.00	2.27	0.00	0.03	49.50	0.00	0.00	0.00	0.21		
普通角闪石	15.03	19.54	14.66	30.75	16.70	19.55	10.12	9.82	12.24	12.52	29.65	51.74	26.8	21.05		
玄武闪石	0.32	0.45	0.10	1.07	1.33	3.30	0.17	0.72	0.69	0.13	3.76	2.52	2.47	0.66		
无色玻璃*	0.06	0.71	0.00	0.63	0.14	0.52	0.09	0.80	1.24	0.19	13.16	19.64	9.88	2.03		
褐色玻璃*	0.12	5.08	0.08	1.93	0.34	0.25	0.13	2.06	5.24	0.19	27.58	16.44	18.52	30.78		
普通辉石 + 紫赤辉石	3.97	16.25	4.57	24.95	20.46	4.53	4.79	5.09	3.17	7.92	26.96	4.43	9.04	19.98		
磁铁矿	4.80	9.20	7.98	13.81	21.26	6.80	15.61	10.16	4.05	11.25	19.3	19.16	39.18	33.09		
钛铁矿	7.83	3.46	5.17	3.15	1.50	0.50	4.77	1.45	0.89	2.06	0.15	3.26	2.17	2.41		
岩屑	10.19	4.72	6.74	7.43	5.47	1.33	1.46	2.87	1.37	3.07	0.97	9.56	11.13	9.17		
地貌位置	陆坡、深海水道				深海平原				深海平原、海山							

* 号为轻矿物,其含量为占轻组分中的颗粒百分含量;其余均为重矿物,其含量为占重组分中的颗粒百分含量

陆源矿物组合区(I) 主要位于北部陆坡区(I₁)(110°—121°E, 20°—22°N), 呈NEE向分布。水深一般为500—3000m, 但沿澎湖海槽(I₂)和西沙海槽(I₃)可伸入水深近4000m的深海平原。沉积物类型主要为粘土质粉砂和粉砂质粘土; 矿物组合具有典型的陆源特征, 主要为石英、长石、普通角闪石、绿帘石、黑云母、白云母、磁铁矿、赤铁矿、钛铁矿和少量阳起石、榍石、锆石、电气石、石榴石、褐铁矿、白钛石以及微量海绿石、自生黄铁矿、绿泥石、独居石、金红石、萤石、褐帘石、斜黝帘石和棕闪石等。其物源和沉积环境都与其他矿物组合区有明显的区别, 从组成矿物看, 与北部陆架区的矿物组合一致(陈丽蓉等, 1986b; 朱素琳等, 1983; 陈华胄, 1993), 主要来源于华南地区; 台湾岛物质的输入对研究区东北部沉积有较大影响。

Damauth(1980)根据3.5kHz回声探测和活塞取芯及海底摄影资料认为, 在南海东北部和西南部存在着相当规模的沉积物块体运动, 尤其在台湾南部陆坡至马尼拉海沟向海一侧(22°10′—17°50′N), 平行于海沟底发育了一长达450km的浊流沉积物。研究区内陆源矿物组合亚区I₂、I₃与I₁区呈明显不连续分布, 且深水I₂、I₃区的沉积物分选较差, 平均粒径与I₁区相近, 从其所分布的海底地形和位置看, 显然与沉积物重力再搬运的块体运动沉积有关。

混合矿物组合区(II) 分布于研究区北部下陆坡和深海盆边缘区, 水深一般不超过3500m, 沉积物类型主要为粘土质粉砂和粘土, 矿物组合以陆源、火山和自生沉积矿物为特征。主要矿物有普通角闪石、辉石类、自生黄铁矿、磁铁矿、钛铁矿、石英、长石, 次要矿物有云母类和岩屑, 以及少量的锆石、石榴石、榍石、火山玻璃。不同的部位矿物的含量变化较大, 可进一步划分为4个矿物组合亚区, 即巴士-巴林塘岛坡脊亚区(II₁)、北坡-笔架海山亚区(II₂)、双峰海山亚区(II₃)和中西沙海台亚区(II₄)。组合区内物质来源比较复杂, 前两个亚区火山碎屑矿物较多, 磁铁矿、闪石类、辉石类矿物含量较高; 后两个亚区火山碎屑矿物含量减少, 自生沉积矿物增多。

研究发现, 在研究区东侧临近巴士海峡的混合矿物组合II₁亚区, 辉石类矿物平均含量为24.95%(最高含量达62%), 普通角闪石含量达30.75%, 磁铁矿为13.81%, 火山玻璃含量为2.56%, 且这些矿物的含量等值线分布呈现由东南向西北递减的趋势, 这可能是由于受到强烈构造抬升的吕宋岛等岛屿的剥蚀物由洋流经巴士海峡带入南海东北部(汪品先等, 1995), 并与来自北部陆架区的陆源物质混合的影响。孢粉(孙湘君等, 1999)等的研究为这一推断提供了佐证。

自生矿物组合区(III) 分布于南海北部的下陆坡区和深海平原, 水深多在3500—4500m之间。矿物组合以自生铁锰矿物为主, 个别站位重矿物全为自生铁锰微结核; 局部富集自生黄铁矿, 陆源矿物稀少, 但含有少量闪石类、辉石类、火山玻璃和磁铁矿等火山碎屑矿物。可进一步分为北部铁锰亚区(III₁)(位于117°—119°E, 16.5°—21°N, 海底地形较平坦)、南部铁锰亚区(III₂)(位于112°—116°E, 12°—14.5°N, 海底地形较复杂)和自生黄铁矿亚区(III₃)。

铁锰微结核多形成于水动力条件较弱、沉积速率较低的氧化环境(朱而勤等, 1988)。自生铁锰组合亚区水深大于3500m(碳酸盐补偿深度以下), 沉积物类型为粉砂质粘土; 沉积速率较低, 全新世以来约为 $3.29\text{g}/\text{cm}^2\text{ka}^{-1}$ (黄唯等, 1998); 沉积物中 Fe^{2+} 含量很低, pH

值为7.5左右, Eh值一般大于400mV, 属强氧化环境, 有利于微结核的形成。地球化学特征分析表明微结核中元素来源主要来自大陆(李志珍等, 1990)和海底玄武岩的海解作用(马淑兰等, 1987)。自生黄铁矿组合亚区位于研究区东北部, 呈斑块状分布于铁锰亚区附近。已有研究表明, 自生黄铁矿的最终形成决定于局部还原的微环境和总体富氧的地质背景, 指示有较强的上升流活动和不同水体的混合作用(初凤友等, 1995), 现代水文和生产力资料也证实南海东北部存在着稳定的上升流(Fang *et al.*, 1998; Jian *et al.*, 1999)。

火山矿物组合区(IV) 分布于研究区南部, 以普通角闪石、磁铁矿、普通辉石和紫苏辉石、玄武闪石、火山玻璃(包括无色和褐色火山玻璃)等火山碎屑矿物为主, 局部含有少量自生铁锰微结核, 陆源矿物含量极低, 自生黄铁矿贫乏, 岩屑含量变化大。依分布位置可进一步划分为4个亚区:(1)石星-涨中海山亚区(IV₁), (2)珍珠-黄岩海山亚区(IV₂), (3)宪北-宪南海山亚区(IV₃), (4)珍珠海山亚区(IV₄)。其中IV₂亚区闪石类矿物和无色火山玻璃含量相对较高;其余3个亚区磁铁矿和褐色火山玻璃含量相对较高, 褐色火山玻璃含量约为无色火山玻璃的2—15倍。

关于南海火山成因碎屑矿物的来源一直有争议, 认为是就地海底火山岩的剥蚀物(李志珍, 1989), 或是附近弧状列岛的火山喷发物通过风等方式搬运而来的(王慧中等, 1992)。南海东缘是琉球—台湾—菲律宾火山地震带, 南部为巽他火山地震带, 第四纪以来这两条中酸性火山地震带一直在活动, 对南海的沉积作用产生了极大的影响。1991年皮纳图博火山爆发后, 放置于南海115°16'E, 14°6'N位置的沉积物捕获器接收到了大量火山灰。据统计, 火山灰通量是火山爆发前颗粒物总通量的200—300倍。对捕获到的火山灰进行研究, 发现火山灰由浮岩、玻屑、普通角闪石、斜长石和少量镁铁闪石等组成(Wiesner *et al.*, 1995), 与研究区中酸性火山矿物组成成分相近;电子探针分析结果表明研究区表层沉积物中普通角闪石和无色火山玻璃的标型化学特征与捕获器样品以及皮纳图博火山灰的十分相似。而南海第四纪海底火山绝大多数都是由基性或超基性火山岩组成的(冯文科等, 1988)。因而从研究区内火山碎屑矿物的成分特征和分布位置可推测, 中酸性火山碎屑矿物有可能来源于附近弧状列岛的火山喷发物, 中基性火山碎屑矿物则可能来源于海底火山岩的剥蚀物, 二者混合构成了火山矿物组合区。

3 结论

3.1 南海中东部表层碎屑矿物种类丰富, 有57种;矿物组成以轻组分矿物为主, 平均含量高达98.89%;重组分矿物含量较低, 平均为1.11%, 最高含量为12.82%。与中国其他海区相比, 以铁锰微结核、磁铁矿、普通辉石和火山玻璃的高含量为特征。根据矿物特征、来源和成因的研究, 可分为陆源碎屑矿物、自生沉积矿物、火山碎屑矿物、生物骨屑矿物和宇宙来源矿物5类。

3.2 根据特征矿物的相似性对286个样品22种矿物变量进行Q-型聚类分析, 表明可将南海中东部表层矿物分布划分为陆源矿物、混合矿物、自生矿物和火山矿物4个矿物组合区和14个矿物组合亚区。各组合区中矿物组成和含量上的变化反映了物源和沉积环境的差异。

3.3 矿物特征揭示陆源矿物多分布于水深500—3000m范围的北部陆坡区, 主要来源于中国华南, 部分源于台湾岛或由洋流经巴士海峡带入;深海区的东北部和西南部存在沉积物

块体运动沉积; 铁锰微结核形成于沉积速率较低、陆源碎屑量较少、强氧化环境的深海平原, 自生黄铁矿则形成于总体富氧、局部还原的微环境; 火山碎屑矿物来源于海底火山岩的剥蚀物以及附近弧状列岛的火山喷发物。

参 考 文 献

- 马淑兰, 柴之芳, 毛雪瑛等, 1987. 南海铁锰沉积物的中子活化研究. 东海海洋, 5(1-2): 146-152
- 方银霞, 金翔龙, 2000. 东太平洋多金属结核的矿物组成及元素赋存特征. 海洋与湖沼, 31(4): 419-425
- 王慧中, 周福根, 翦知缙, 1992. 中沙台缘碳酸盐软泥中的火山碎屑及其古环境意义. 见: 业治铮、汪品先主编. 南海晚第四纪古海洋学研究. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 42-55
- 冯文科, 薛万俊, 杨达源, 1988. 南海北部晚第四纪地质环境. 广州: 广东科技出版社, 156-162
- 李志珍, 1987. 南海中部表层沉积物中的碎屑矿物及其受控因素. 东海海洋, 5(1-2): 136-143
- 李志珍, 1989. 南海深海表层沉积物中的火山碎屑矿物及火山作用. 海洋学报, 11(2): 176-184
- 李志珍, 张富元, 1990. 南海深海铁锰微粒的元素地球化学特征. 海洋通报, 9(6): 41-50
- 朱素琳, 梁百和, 吴华新等, 1983. 珠江口及邻近海岸表层沉积物重矿物的初步研究. 海洋通报, 2(1): 22-29
- 朱而勤, 王琦, 1988. 海洋自生矿物. 北京: 海洋出版社, 92-94
- 孙湘君, 李逊, 罗运利, 1999. 南海北部深海花粉记录的环境演变. 第四纪研究, 1: 18-26
- 陈丽蓉, 徐文强, 申顺喜等, 1986a. 冲绳海槽的矿物组合, 物质来源及原始岩浆的性质的初步探讨. 海洋与湖沼, 17(1): 3-11
- 陈丽蓉, 徐文强, 申顺喜等, 1986b. 南海北部和北部湾沉积物中的矿物组合及其分布特征. 海洋科学, 10(3): 6-10
- 陈华胄, 1993. 台湾海峡表层沉积物中重矿物特征及其物质来源. 台湾海峡, 12(2): 136-143
- 苏广庆, 王天行, 1992. 南海中北部表层沉积物的矿物沉积. 台湾海峡, 11(2): 118-124
- 邱燕, 姚伯初, 李唐根等, 1997. 南海西沙西南海域表层沉积物特征. 海洋地质与第四纪地质, 17(4): 41-53
- 吴晓军, 罗立强, 1998. 聚类分析法在地质样品分类中的应用研究. 岩矿测试, 17(3): 172-176
- 初凤友, 陈丽蓉, 申顺喜等, 1995. 南黄海自生黄铁矿成因及其环境指示意义. 海洋与湖沼, 26(3): 227-233
- 汪品先等, 1995. 十五万年来的南海. 上海: 同济大学出版社, 12
- 林振宏, 吕亚男, 1996. 冲绳海槽中部表层沉积物的重矿物分布和来源. 青岛海洋大学学报, 26(3): 361-368
- 林振宏, 吕亚男, 李学伦等, 1997. 冲绳海槽中部表层沉积物的热水铁锰氧化物. 海洋与湖沼, 28 增刊: 91-98
- 赵泉鸿, 汪品先, 1999. 南海晚第四纪古海洋学研究进展. 第四纪研究, 6: 481-501
- 黄 唯, 汪品先, 1998. 末次冰期以来南海深水区的沉积速率. 中国科学, 28(1): 13-17
- Bayhan E, Ergin M, Temel A, Keskin S, 2001. Sedimentology and mineralogy of surficial bottom deposits from the Aegean-Canakkale-Marmara transition (Eastern Mediterranean): effects of marine and terrestrial factors. Marine Geology, 175(1-4): 297-315
- Diekmann B, Kuhn G, 1999. Provenance and dispersal of glacial-marine surface sediments in the Weddell Sea and adjoining areas, Antarctica: ice-rafting versus current transport. Marine Geology, 158(1-4): 209-231
- Datta D K, Subramanian V, 1997. Texture and mineralogy of sediments from the Ganges-Brahmaputra-Meghna river system in the Bengal Basin, Bangladesh and their environmental implications. Environ Geol, 30(3-4): 181-188
- Damuth J E, 1980. Quaternary Sedimentation Processes in the South China Basin as Revealed by Echo-Character Mapping and Piston-Core Studies. In: Hayes D E ed. The Tectonic and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands, 105-125
- Frihy O E, El Askary M A, Deghidy E M, et al., 1998. Distinguishing fluvio-marine environments in the Nile Delta using heavy minerals. Journal of Coastal Research, 14(3): 970-980
- Fang G, Fang W, Fang Y et al., 1998. A survey of studies on the South China Sea upper ocean circulation. Acta Oceanographica Taiwanica, 37: 1-6
- Hanangond P T, Chavadi V C, 1999. Sediment movement as inferred from texture and heavy minerals, along Belekri Bay beaches, west coast of India. Indian Mineral, 33(1): 69-81

- Jian Z, Wang L, Kienast M *et al.*, 1999. Benthic foraminiferal paleoceanography of the South China Sea over the last 40000 years. *Marine Geology*, 156(1—4): 159—186
- Swan A R H, Sandilands M, 1995. Introduction to Geological Data Analysis. Blackwell, Oxford, 446
- Schafer J, Dorr W, 1997. Heavy mineral analysis and typology of detrital zircons: a new approach to provenance study (Saxothuringian Flysch, Germany). *Journal of Sedimentary Research*, 67(3): 451—461
- Wiesner M G, Wang Y, Zheng L, 1995. Fallout of volcanic ash to the deep South China Sea induced by the 1991 eruption of Mount Pinatubo (Phillipine). *Geology*, 23(10): 881—888
- Wang P, Prell W L, Blum P *et al.*, 2000. Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports, 184: 1—10

MINERAL ASSEMBLAGE PROVINCES FOR SURFICIAL SEDIMENTS OF THE CENTRAL-EASTERN SOUTH CHINA SEA AND THEIR GEOLOGICAL SIGNIFICANCES

YANG Qun-Hui, LIN Zhen-Hong^{*}, ZHANG Fu-Yuan^{**}, LIN Xiao-Tong^{*}, JI Fu-Wu^{*}

(*Guangzhou Institute of Geodesimetry, The Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, 510640*)

^{*}(*Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003*)

^{**}(*Key Lab of Submarine Geosciences, SOA, Hangzhou, 310012*)

Abstract Minerals from the very fine sand fraction (63—125 μ m) in surface sediments have been identified and analyzed from 286 stations in the central-eastern South China Sea. The results reveal that the mineral species are very abundant. Fifty-seven mineral species occur in surface sediment in the central-eastern South China Sea. The minerals mainly consist of the light mineral and the heavy mineral contents are lower. Compared with the other seas in China, the central-eastern South China Sea is characterized by relatively high ferromanganese micronodule, magnetite, augite and volcanic glass contents. According to their provenances and geneses, the minerals can be divided into five types: the terrigenous clastic mineral, authigenic mineral, volcanogenic clastic mineral, biogenic mineral and cosmogenic mineral. In order to discuss quantitatively the mineral assemblages and their spatial distribution, a Q-mode cluster analysis with 286 sediment samples and twenty-two mineral variables has been carried out. As a result, minerals in the central-eastern South China Sea have been divided into four mineral assemblage provinces: the terrigenous mineral assemblage province, mixed mineral assemblage province, authigenic mineral assemblage province and volcanogenic mineral assemblage province. The variations of composition and content among the mineral assemblage provinces reflect the differences of their provenances and sedimentary environments.

Key words South China Sea, Surface sediments, Mineral assemblage provinces, Geological significances