

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

海南岛三亚湾表层沉积中的 自生铁矿物组合

王琦 朱而勤 张建华 冯伟文
(山东海洋学院)

海南岛三亚湾表层沉积物中存在着氧化态不同的三种自生铁矿物: 海绿石、菱铁矿和黄铁矿。海绿石是本区分布最广泛的自生矿物, 形态主要呈团粒状。菱铁矿多呈直径为 80—200 μ 的微球体或微球的连生体。黄铁矿多呈莓球状充填于有孔虫壳腔内。这三种铁矿物分别富集在不同的沉积相中, 在丰度的空间变化上彼此呈不显著的负相关。它们的形成条件虽有较大差异, 但有时可在同一样品中共生, 因此, 微环境的变化对它们的形成有重要作用。

不同形式的铁矿物, 从来被认为是划分沉积岩或沉积物地球化学相的重要而可靠的标志^[1,2]。但我们在研究三亚湾的表层沉积³⁾时, 却发现海绿石、菱铁矿和黄铁矿三种氧化态不同的自生铁矿物, 同时出现在一个小海湾内, 甚至存在于同一样品中。这一特殊的共生组合, 为查明所包含的指相矿物的形成环境及相互关系提供了有利的条件, 显然, 所获得的资料将对沉积地球化学的一些方面予以补充。

三亚湾位于海南岛最南端的崖县境内(东经 109°21'—30', 北纬 18°10'—24'), 水深 5—30m (图 1)。湾内的沉积物在 15m 水深内主要为砂, 更深的地段为粉砂^[3]。沉积物由石英、长石碎屑及钙质生物骨骼组成; 前者来自陆源, 后者来自盆内。

一、自生铁矿物的特征

本区产出的自生铁矿物有海绿石、铁(锰)碳酸盐(以菱铁矿为主, 并有一定量的菱锰矿和少量锰方解石)及黄铁矿。这些矿物的丰度虽很低(在全样中含量多 <1%), 但分布却广泛。

(一) 黄 铁 矿

本区的自生黄铁矿, 多在有孔虫、介形虫等微体生物壳腔内呈莓球状集合体产生(图版-1), 但少量也可呈裸露的单个莓球出现(图版-4)。壳体内的莓球群, 由直径为 15—25 μ 的金黄色小莓球组成, 有时因氧化而变为红褐色。莓球充填壳腔的程度不一致, 水深较大的区域(深度 >15m) 多已填满, 但在浅水区仅部分充填壳腔的可占含莓球壳体总数的一半以上。在同一样品中, 小的有孔虫壳被充填的频率高, 直径为 0.25mm 以上的壳被充填

本文 1985 年 1 月收到, 6 月改回, 罗正华编辑。

1) 样品系由“海南岛现代海洋碳酸盐沉积联合考察团”于 1978 年采集。

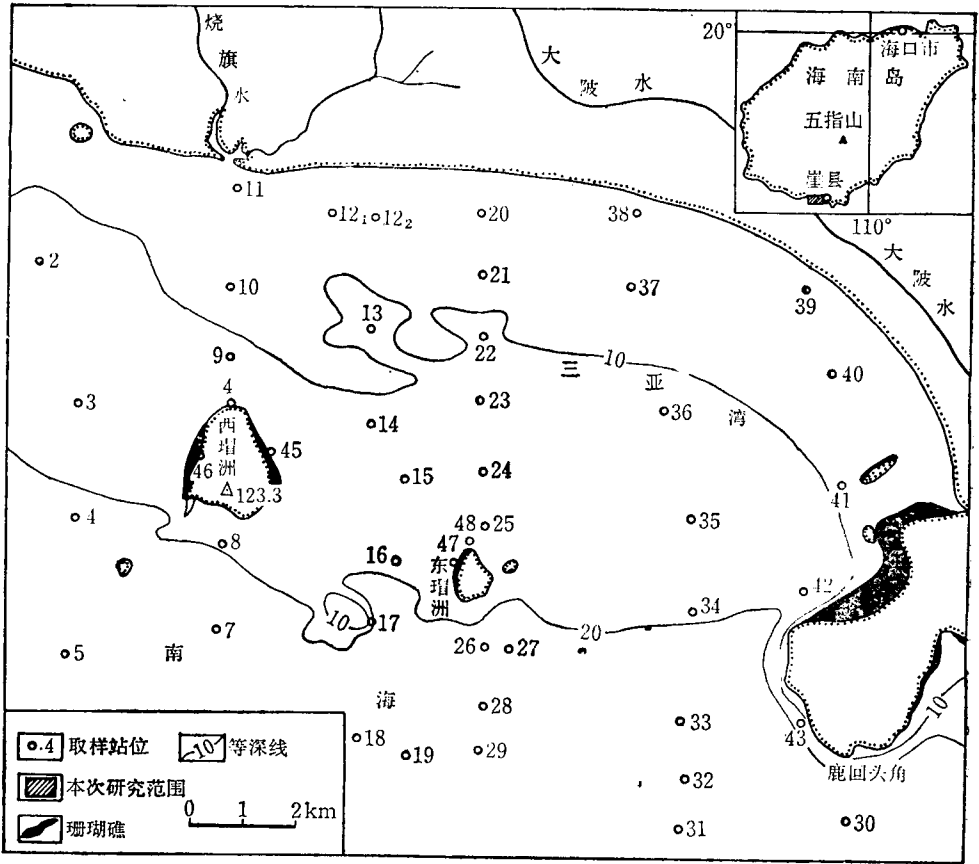


图 1 三亚湾表层沉积物取样站位图

Fig. 1 Map showing the sampling stations of surface sediments in the Sanya Bay

的几率很低。以上情况表明，水深较大条件下较小（ $< 0.25\text{mm}$ ）有孔虫壳腔内的微环

表 1 三亚湾自生黄铁矿的 X 射线衍射资料¹⁾

Table 1 X-ray diffraction data of authigenic pyrite in the Sanya Bay¹⁾

三亚湾自生黄铁矿 (35 号样)		标准值 ^[4]	
Authigenic pyrite of the Sanya Bay (sample No. 35)		Standard values	
$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I
3.12	2	3.12	5
2.70	3	2.71	9
2.42	2	2.42	8
2.209	2	2.21	7
1.912	3	1.912	7
1.632	3	1.635	10

1) 由山东省地质矿产局中心实验室分析。实验条件： $\text{CuK}\alpha$ ，40kV，30mA。

境有利于自生黄铁矿的形成。

在扫描电镜下可见每一莓球是由许多八面体微晶结合而成(图版-2), 八面体直径 $3-5\mu$ 。微晶部分很自形, 但大多不完善, 有些具骸晶特征。八面体之间没有填隙物。此种八面体形态可能系等轴硫铁矿的继承象。X射线衍射资料表明, 莓球群的矿物相为黄铁矿(表1)。通过能谱分析确定此黄铁矿的化学成分为: Fe 45.78%; S 54.22% (图2); 与理论值 (Fe 46.55%, S 53.45%) 相差不大。

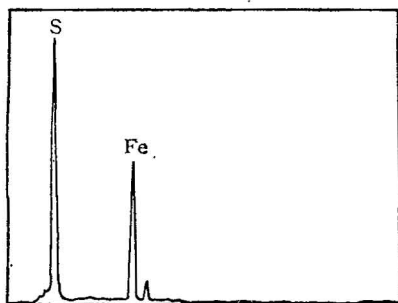


图2 自生黄铁矿(35号样品)的能谱曲线
Fig. 2 Spectrum line of authigenic pyrite
(Sample No. 35)

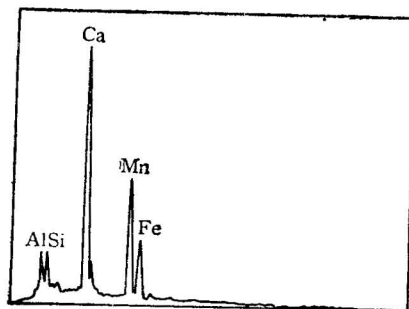


图3 自生锰方解石(23号样品)的能谱曲线
Fig. 3 Spectrum line of authigenic manganese
calcite (sample No. 23)

(二) 铁、锰碳酸盐矿物

本区铁、锰碳酸盐矿物呈现三种形态: 自形菱面体; 微球及其连生体(图版-3, 5, 6)及生物内模状。微球是最常见的形态, 菱面体及生物内模状都很稀少。菱面体的长 $\times$ 宽约为 $(100-80) \times (50-70)\mu$ 。微球的直径多为 $80-200\mu$, 小者可为 $15-20\mu$ 。微球可单独存在或连生成哑铃状、三球状、葡萄状(多连体); 多连体的最大粒径也仅1mm。微球中常包裹有石英碎屑, 后者可突出在球体表面上(图版-3)。在薄片中有时可见微球具同心层状构造, 中心色深, 外圈色浅, 但各圈的化学成分没有明显的差异(表2中样品22-(3)、(4))。微球亦具有与黄铁矿莓球相似的结构, 即每个球体实际是一微晶簇, 由菱面体微晶(大者可达 $3-6\mu$)组合而成。在扫描电镜下可见菱面体微晶成近似平行排列(图版-8), 由于这种排列方式而具有相似的光性方位, 故在显微镜下微球表现为球粒结构。从现有资料看, 形态与矿物成分间也没有什么明显的联系, 各种形态均可是铁、锰碳酸盐中的某种矿物。

铁锰碳酸盐矿物的颜色多样, 有无色、淡黄、褐黄、灰绿等色, 以淡黄和褐黄为主。由电子探针分析资料(表2)看来, 颜色和成分之间也没有明显的联系。

本区铁锰碳酸盐矿物的化学成分变化很大(表2), 主要矿物相为菱铁矿, 其次为菱锰矿, 还有少量锰方解石。组成它们的四种阳离子 Ca、Mg、Fe 和 Mn 彼此可发生广泛的类质同象, 因此形成复杂多变的矿物相, 几乎每个微球的成分均有差异。用油浸法测得菱锰矿微球的 $N_0 = 1.818$, $N_c = 1.599$; 菱铁矿的 $N_0 \gg 1.82$, $N_c = 1.629$ 。

铁锰碳酸盐矿物经X射线照射12小时后 (CuK α , 40kV, 25mA, 上海硅酸盐研究

表 2 三亚湾自生铁、锰碳酸盐矿物的化学成分(电子探针分析资料)¹⁾

Table 2 Chemical composition of authigenic ferric-manganese carbonates in the Sanya Bay (EPMA)

顺序号 Number	样号 Sample No.	主要化学成分		Chemical composition						化 学 式 Chemical formula	矿物名 Mineral
		MnO		FeO		CaO		MgO			
		wt.% ¹⁾	mol.%	wt.	mol.%	wt.%	mol.%	wt.%	mol.%		
1	23-(1)	20.54	35.40	28.39	48.34	5.21	11.38	1.63	4.98	(Fe ₄₈ Mn ₃₈ Ca ₁₁ Mg ₅)CO ₃	菱锰铁矿M
2	23-(2)	1.38	2.38	53.72	91.34	0.97	2.12	1.36	4.16	(Fe ₉₁ Mg ₄ Mn ₃ Ca ₂)CO ₃	菱铁矿 S
3	23-(3)	54.92	94.59	0.18	0.31	1.02	2.23	0.94	2.87	(Mn ₉₃ Mg ₃ Ca ₂)CO ₃	菱锰矿 R
4	23-(4)	1.35	2.36	53.07	91.34	1.28	2.84	1.10	3.41	(Fe ₉₁ Mg ₃ Ca ₄ Mn ₂)CO ₃	菱铁矿 S
5	23-(5)	2.27	3.99	50.92	88.44	1.71	3.81	1.20	3.75	(Fe ₈₈ Mn ₄ Ca ₄ Mg ₂)CO ₃	菱铁矿 S
6	22-(1)	4.94	8.55	46.73	79.78	3.30	7.24	1.44	4.43	(Fe ₈₀ Mn ₉ Ca ₇ Mg ₄)CO ₃	菱铁矿 S
7	22-(2)	0.81	1.46	52.96	93.93	0.54	1.23	1.06	3.38	(Fe ₉₄ Mg ₃ Mn ₂ Ca ₁)CO ₃	菱铁矿 S
8	22-(3)	57.12	94.22	0.22	0.36	1.11	2.32	1.07	3.10	(Mn ₉₄ Mg ₃ Ca ₃)CO ₃	菱锰矿 R
		56.35	94.25	0.22	0.37	1.04	2.20	1.08	3.18	(Mn ₉₃ Mg ₃ Ca ₃)CO ₃	菱锰矿 R
9	22-(4)	8.64	14.72	44.62	75.14	2.00	4.32	1.94	5.81	(Fe ₇₂ Mn ₁₃ Mg ₆ Ca ₄)CO ₃	菱铁矿 S
		8.56	14.77	44.61	76.04	1.55	3.38	1.91	5.80	(Fe ₇₂ Mn ₁₃ Mg ₆ Ca ₃)CO ₃	菱铁矿 S
10	22-(5)	2.25	6.19	26.97	73.39	2.13	7.41	2.68	13.00	(Fe ₇₃ Mg ₁₃ Ca ₉ Mn ₆)CO ₃	菱铁矿 S
11	22-(6)	22.31	29.11	10.53	13.57	26.71	44.13	5.75	13.20	(Ca ₄₄ Mn ₁₉ Fe ₁₄ Mg ₁₃)CO ₃	锰方解石 MC

1-7 为褐黄色微球体 (Brown-yellow micropellet); 8a, 9a, 为褐黄色微球体中心 (Center of brown-yellow micropellet); 8b, 9b 为微球体外层 (Outer circle of micropellet); 10, 11 为淡黄色微球 (Pale-yellow micropellet); M-Mangano-spherite; S-Siderite; R-Rhodochrosite; MC-Manganese calcite.

1) 注: 1-9 由武汉地质学院北京研究生部分析; 10 由山东测试中心分析; 11 为能谱分析资料(曲线见图 3)。

所分析),在慢速曝光底片上所显示的线条较弥散宽化,说明微晶颗粒细小(数百 Å)。但基本数据仍表明其矿物相是菱铁矿和菱锰矿(表 3)。

表 3 三亚湾自生菱铁矿、菱锰矿 X 射线粉晶分析数据

Table 3 X-ray powder diffraction data of authigenic siderite and rhodochrosite

22 号样品		23 号样品		菱铁矿标准值 ^[4]		菱锰矿标准值 ^[4]	
Sample No. 22		Sample No. 23		Standard values of siderite		Standard values of rhodochrosite	
$d(\text{Å})$	I	$d(\text{Å})$	I	$d(\text{Å})$	I	$d(\text{Å})$	I
3.67	m	3.67	m			3.65	6
3.60	m	3.60	m	3.59	6		
3.33	s(q)	3.33	s(q)				
2.85	s	2.85	s			2.846	10
2.78	s	2.78	s	2.78	10		
2.39	w	2.39	w			2.384	4
2.34	w	2.34	w	2.34	5		
2.16	m	2.16	m			2.173	7
2.00	w	2.00	w			1.997	5
1.96	w	1.96	w	1.962	5		
1.765	w	1.765	w			1.766	8
1.535	w	1.535	w			1.534	4
1.380	m	1.380	m			1.378	4

m-中 (medium); w-弱(weak); s-强(strong); q-石英 (quartz)

(三) 海 绿 石

海绿石是本区表层沉积物中分布最广泛的自生矿物。海绿石呈黄绿、暗绿、黄褐及黑色,在薄片为绿黄及黄绿色。水浅处色较浅(黄绿色)的颗粒占优势,水深处深色(黑色及黄褐色)的增多。海绿石形态主要为团粒状及椭圆形厚板状(图版-7),少量为生物内模状(图版-9)及蠕虫状(图版-10)。团粒状、厚板状者表面常具不规则裂纹。内模状系充填有孔虫壳腔而形成的铸模,亦有极少数充填介形虫壳体或盘管虫虫管者。海绿石的颗粒粒径主要介于 0.25—0.063mm 之间,少数可为 0.50—0.25mm。在镜下可见海绿石颗粒由显微鳞片集合体组成,显集合偏光,有时包裹石英碎屑。

本区海绿石得到了 X 射线衍射资料的证实(表 4, 山东省地质矿产局中心实验室分析, CuK α , 40kV, 30mA), 加热至 500℃ 后结构无变化。红外光谱分析表明,其特征峰与海绿石的标准峰相同(图 4); 和东海、南海的亦类似,均含有一定量的膨胀层。

由电子探针分析得知(表 5),本区海绿石中的 SiO₂ 含量为 45.22—46.18%, 与东海海绿石的平均值接近, Al₂O₃ 量显著增大, FeO (全铁)量显著减小,但仍与世界有些海区的海绿石的平均含量¹⁾接近^[5]。本区海绿石含 K₂O 量不高(2.48—4.41%),说明成熟

1) 大西洋全新世海绿石的化学成分: SiO₂ 45.7—46.9%; Al₂O₃ 6.1—9.8%; FeO + Fe₂O₃ 20.9—25.0%; K₂O 2.3—6.6%。

表 4 三亚湾自生海绿石 X 射线衍射资料

Table 4 X-ray diffraction data of authigenic glauconite of the Sanya Bay

三亚湾海绿石 (19 号样品) Glauconite of the Sanya Bay (Sample No. 19)		标准值 ^[4] Standard values	
$d(\text{\AA})$	I	$d(\text{\AA})$	I
10.00	2	10.20	10
5.00	1	4.98	3
4.50	2	4.53	8
3.34	10 (混有石英)*	3.33	6
2.60	1	2.59	10
2.20	1	1.99	2
1.98		1.815	1
1.817	2 (混有石英)*		

* mixed with quartz.

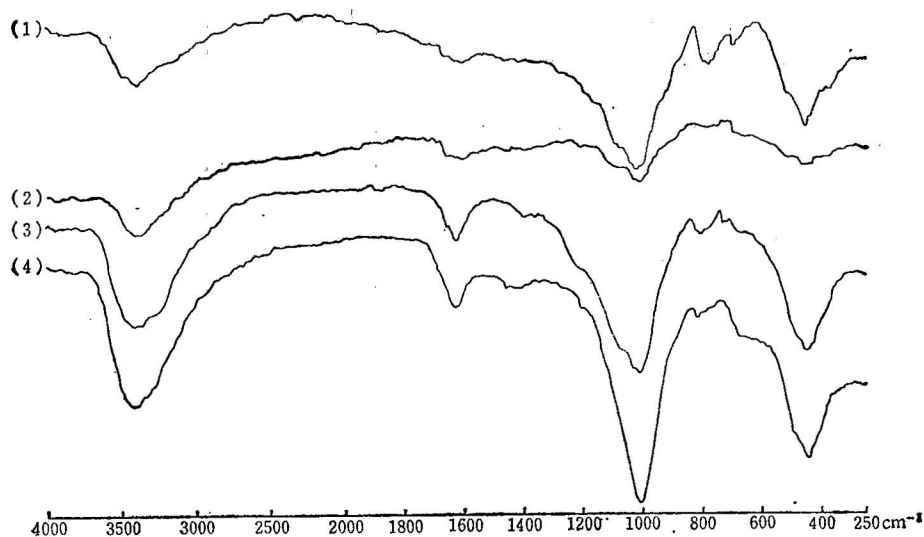


图 4 海绿石的红外谱

Fig. 4 Infrared bands of glauconite

- (1) 三亚湾黄绿色海绿石 (yellowish-green glauconite of the Sanya Bay, sample No. 18);
 (2) 三亚湾黑色海绿石 (black glauconite of the Sanya Bay, Sample No. 19); (3) 东海海绿石 (glauconite of the East China Sea, 31°N, 127° 44.9'E); (4) 南海北部陆架海绿石 (glauconite of the northern shelf of the South China Sea)

度较低。

黄铁矿、菱铁(锰)矿、海绿石这三种自生矿物在结构上具有共同的特点,即都为微晶集合体,反映了它们形成时的温度低,结晶速度快。在成分上都复杂多变,系由于微环境中各种离子的活度有差异所造成。

表 5 三亚湾自生海绿石电子探针分析资料
Table 5 EPMA data of authigenic glauconite of the Sanya Bay

化 学 成 分 Chemical composition	黑色海绿石(样品号 19) Black glauconite (Sample No. 19)				黄绿色海绿石(样品号 18) Yellowish-green glauconite			黄绿色海绿石 (样号 19) Yellowish-green glauconite (Sample No. 19)	东海海绿石 ^(G)
	测点 1 Point 1	测点 2 Point 2	测点 3 Point 3	平均 Average	测点 1 Point 1	测点 2 Point 2	平均 Average		
SiO ₂	45.61	46.8	46.13	46.18	45.78	45.46	45.62	45.22	44.65
TiO ₂	0.72	0.39	0.00	0.37	0.00	0.07	0.04	1.30	—
Al ₂ O ₃	11.58	11.45	11.55	11.53	12.09	12.18	12.14	14.74	4.95
MgO	5.55	5.45	5.29	5.43	4.96	5.03	5.00	6.21	4.87
FeO	21.95	21.91	21.84	21.90	22.76	22.46	22.61	18.36	25.26
CaO	0.80	1.09	0.96	0.95	1.90	2.08	2.00	0.83	1.62
Na ₂ O	0.03	0.06	0.04	0.04	0.13	0.11	0.12	0.08	0.44
K ₂ O	4.41	4.20	4.61	4.41	2.50	2.46	2.48	3.99	4.48
P ₂ O ₅	0.19	0.20	0.35	0.25	0.57	1.07	0.82	0.09	0.15

(G)-Glauconite of East China Sea.

二、自生铁矿物的组合关系

本区各种自生铁矿物在空间上的分布有一定的规律,彼此间存在着一定的消长关系。由所求得的相关系数(表 6)可看出,黄铁矿、菱铁矿、海绿石彼此均为负相关,但相关性都不显著。其中,菱铁矿和海绿石、黄铁矿的负相关性较之后二者之间的要显著些。

表 6 自生铁矿物的相关矩阵

Table 6 Correlation matrix of authigenic iron minerals

	海 绿 石 Glaucinite	黄 铁 矿 Pyrite	菱 铁 矿 Siderite
海 绿 石 Glaucinite	1	-0.1620	-0.2324
黄 铁 矿 Pyrite		1	-0.2573
菱 铁 矿 Siderite			1

$$r_{0.05} = 0.3165$$

自生铁矿物的丰度与沉积物平均粒径 (M_z) 有明显的关系。由表 7 可看出,黄铁矿表现了与 $M_z(\phi)$ 呈正相关的线性关系,即主要富集在细粒沉积物中;而菱铁矿则相反,显示了与 M_z 成负相关的线性关系。含泥质较多的沉积物有机质含量高,促进了硫酸根的还原作用,因而有利于黄铁矿的形成。颗粒较粗的砂质沉积渗透性好,有利于铁、锰离子的扩散,故也促进了铁锰碳酸盐的形成。

表 7 自生铁矿物丰度与沉积物 $M_z(\phi)$ 的线性回归显著性检验

Table 7 Significance tests of linear regression between the abundance of authigenic iron minerals and the $M_z(\phi)$ of sediments

	海 绿 石 Glaucinite	菱 铁 矿 Siderite	黄 铁 矿 Pyrite
实际 r Actual	0.1967	-0.4455	0.5717
$r_{0.05}$	0.3165	0.3165	0.3165

本区沉积物可划分为五种沉积相^[1]: 水下三角洲相、礁翼相、滨岸相、湾顶相和滨外相(图 5)。一定的自生铁矿物与一定的沉积相之间存在着明显的依存关系(表 8)。由表可见,海绿石在各相中分布较普遍且频率较高,尤其在滨外粉砂相中特别富集。此相位于水深大于 20m 的开阔海域,以含钙屑的陆源粉砂为主,底质为弱氧化环境。黄铁矿由于主要赋存在有孔虫壳体内,故分布也较普遍,但以半封闭的湾顶区最富集。此相的沉积物粒度较细(泥质粉砂),有机质含量高,且常见椭球状粪粒,因而为黄铁矿的形成提供了有利的低 Eh 环境。菱铁矿分布范围很局限且频率很低,以礁体及礁石相中较为富集。此相

表 8 自生铁矿物在各沉积相中的分布频率
Table 8 Frequency distribution of authigenic iron minerals in various sedimentary facies

	水下三角洲相 Underwater delta facies	礁体及礁后相 Reef and backreef facies	滨岸相 Nearshore facies	湾顶相 Head-bay facies	滨外相 Offshore facies
黄铁矿 (%) ¹⁾ Pyrite	0.67	2.96	2.43	17.33	7.38
菱铁矿 (%) ²⁾ Siderite	0.67	1.17	0.10	0.33	0.05
海绿石 (%) ³⁾ Glauconite	1.92	2.17	2.71	2.04	4.95

1) 黄铁矿的含量是指它在 0.125—0.063mm 粒级中重部分的含量(It represents the content of pyrite in heavy fraction ranging from 0.125—0.063mm); 2) 菱铁矿系指它在 0.25—0.125mm 粒级重部分的含量 (It represents the content of siderite in heavy fraction ranging from 0.25—0.125mm); 3) 海绿石是指它在 0.125—0.063mm 轻部分中的含量(It represents the content of glauconite in the light fraction ranging from 0.125—0.063mm).

粒度较粗,钙质骨屑(以珊瑚碎屑为主)丰度高,由于位于波影区,水动力作用也较弱。

根据自生铁矿物在平面上的分布可以划分出三个自生矿物区:黄铁矿区、菱铁矿区及海绿石区(图 5)。

三、成因探讨

铁在常温条件下可以两种不同价态的矿物相存在,其稳定性是自然体系氧化还原电位的函数。pH 对它们的形成虽也有重要影响,但在海洋条件下(包括埋藏不深的成岩环境)其值变化的幅度很小。海绿石产出的 Eh 值条件与铁碳酸盐、硫化物的有较大差异,是在海水-沉积物界面间的弱氧化环境下。菱铁矿、黄铁矿形成在还原条件下,有机质使高价铁(锰)矿物被还原,产生的 Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 进入底质溶液。在硫酸根供给充分且活性有机质又足够多时,则出现 S^{2-} 高活度场, Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 就可与之化合生成硫化物。当硫酸根供给不充分或产生的 H_2S 易向外逸出(如砂质沉积中)时, Fe^{2+} 、 Mn^{2+} 在 CO_3^{2-} 活度场控制下就易于形成铁锰碳酸盐。

控制本区三种自生铁矿物形成的主要因素是介质的氧化还原状态和 S^{2-} 、 CO_3^{2-} 的活度,而这些又受沉积物粒度、沉积速率、有机质含量及水动力状况等因素的影响^[7]。开阔海区的砂、粉砂沉积(如滨外粉砂相)由于波浪等的作用使溶解氧不断带人,故有利于海绿石的形成。而本区沉积速率较高,故海绿石颗粒细小,成熟度低。波浪作用较弱地段的富含有机质的泥质沉积(如湾顶泥质粉砂相),最有利于黄铁矿的形成;但与这一条件相似的微环境广泛存在,如微生物壳体内或有机质局部集中处,故即使近岸的砂质沉积中也可见到少量黄铁矿。菱铁矿是出现在有机质含量较高、水动力作用较弱的砂质沉积中(礁体及礁后相),虽属还原环境但 S^{2-} 活度不高。这三种矿物形成条件有较大差异,但它们有时可

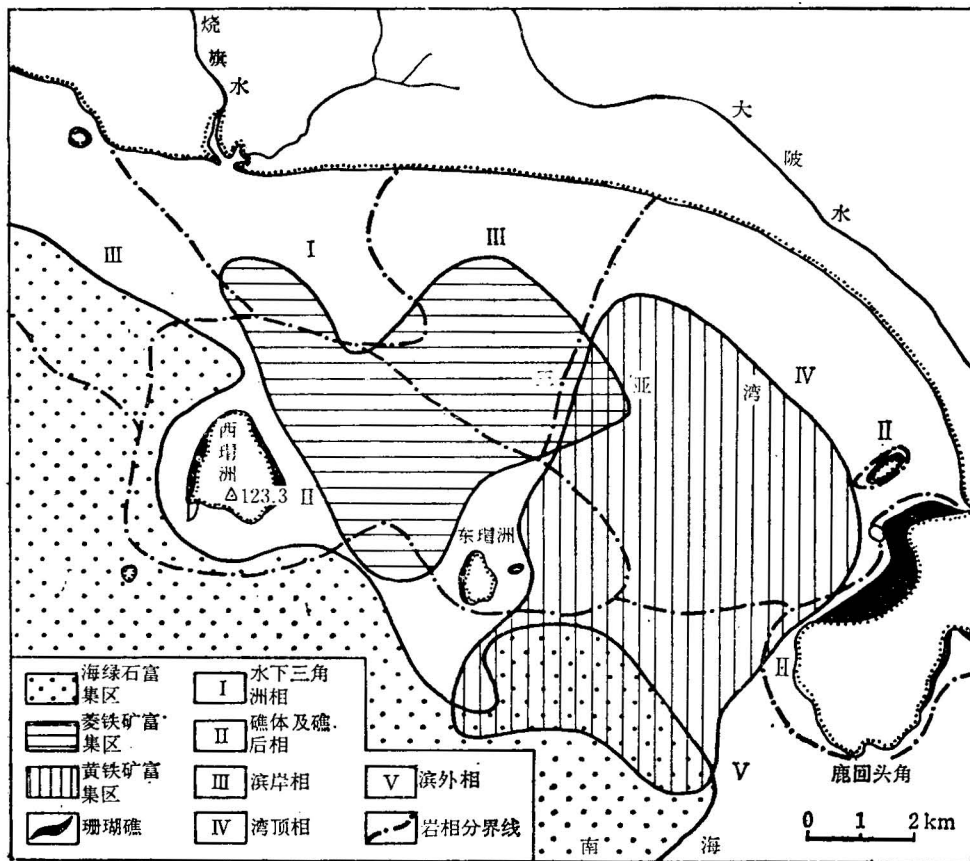


图 5 三亚湾自生铁矿物的分区图

Fig. 5 Distribution pattern of authigenic iron minerals in the Sanya Bay

Area of solid circles—Area abundant in glauconite; Area of horizontal lines—Area abundant in siderite; Area of vertical lines—Area abundant in pyrite; Black area—Coral reef;

I—Underwater delta facies; II—Reef and backreef facies; III—Nearshore facies; IV—Head-bay facies; V—Offshore facies; Lines plus solid Circles—Boundary of facies

在同一样品中共生,由此可看出,微环境的存在对它们的生成有重要意义。

参 考 文 献

- [1] Curtis, C. D. and Spears, D. A., 1968, The formation of sedimentary iron minerals. *Econ. Geol.*, Vol. 63, pp. 257—270.
- [2] Berner, R. A., 1981. A new geochemical classification of sedimentary environments. *J. Sed. Petrol.*, Vol. 51, pp. 359—365.
- [3] 冯增昭, 王琦, 周莉, 张建华, 张尧沂, 叶孟杰, 1984, 海南岛三亚湾现代碳酸盐沉积. *沉积学报*, 第2卷, 第2期。
- [4] 贵阳地球化学研究所, 1978, 矿物 X 射线粉晶鉴定手册. 科学出版社。
- [5] Odin, G. S., 1981. De glauconiarum origine. *Sedimentology*, v. 28, pp. 611—641.
- [6] 陈丽萍, 俞旭, 时英民, 徐文强, 申顺喜, 李坤业, 郑开云, 黄雅天, 1980, 东海沉积物中海绿石的研究. *地质科学*, 第3期, 第205—217页。
- [7] Suess, E., 1979, Mineral phases formed in anoxic sediments by microbial decomposition of organic matter. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 43, pp. 339—352.

THE ASSEMBLAGE OF AUTHIGENIC IRON MINERALS IN SUPERFICIAL SEDIMENTS OF THE SANYA BAY, HAINAN ISLAND

Wang Qi, Zhu Erqin, Zhang Jianhua and Feng Weiwen

(Shandong College of Oceanography)

Abstract

There exist three authigenic iron minerals of different oxidation states in superficial sediments of the Sanya Bay; they are glauconite, siderite and pyrite. Of these, glauconite is the most common. It mainly occurs as pellets but is also found as biogenic casts and in the worm-like form. It is light-coloured (yellowish green) in shallow waters, and darkens with increasing depth of the sea. Siderite occurs as micropellets and their aggregates 80—200 μm in diameter. Micropellets are in fact microcrystal druses composed of rhombohedrons 3—6 μm in diameter. As Fe cations in siderite may be isomorphously replaced by Mg, Ca and Mn, forming rhodochrosite, manganospherite and manganese calcite, this carbonate shows complex and varied mineral phases. Pyrite mostly occurs as framboidal aggregates filling the tests of foraminifers, particularly the tests with a diameter of less than 250 μm . The three authigenic iron minerals display an indistinct negative correlation in respect of their abundances, and are concentrated in certain sedimentary facies respectively. Glauconite principally occurs in the open sea at a depth of more than 20 meters; pyrite mostly occurs in muddy silts at the head of the semi-closed bay; siderite is present in sandy sediments of the wave shadow zone. Though the conditions under which these three iron minerals are formed are quite different, they sometimes may be found in the same sample. Therefore, it can be seen that the variation of microenvironments plays an important part in the formation of the three minerals.

图 版 说 明

1. 三亚湾自生黄铁矿在有孔虫壳腔内呈莓球状集合体 (Authigenic pyrite occurring as framboids in the shell of foraminifera in the Sanya Bay) (SEM);
2. 组成黄铁矿莓球的八面体微晶 (Octahedron microcrystals constructing pyrite framboids) (SEM);
3. 三亚湾自生菱铁矿微球体 (S) 及其所包裹的碎屑石英 (Q) (Siderite micropellet(s) and its inclusion of quartz (Q) in the Sanya Bay) (SEM);
4. 黄铁矿的单个莓球体 (Individual framboid of pyrite) (SEM);
5. 哑铃状自生菱铁矿 (Dumbbell crystals of authigenic siderite) (SEM);
6. 葡萄状自生菱铁矿 (Grape crystals of authigenic siderite) (SEM);
7. 三亚湾的团粒状及厚板状海绿石 (Granular and tabular Glauconite of the Sanya Bay);
8. 菱铁矿微球体中的菱面体微晶 (Rhombohedral microlites of siderite microspheres) (SEM);
9. 生物内模状海绿石 (Glauconite occurring as biogenic cast);
10. 蠕虫状海绿石 (Vermicular glauconite).

