

吕宋岛东部海域黏土矿物组合特征及物源分析

池 野^{1,2}, 李安春¹, 蒋富清¹, 万世明¹

(1. 中国科学院 海洋研究所 海洋地质与环境重点实验室 山东 青岛 266071; 2. 中国科学院 研究生院 北京 100049)

摘要:应用 X 射线岩石(XRD)方法对吕宋岛附近东部海域的两个重力柱状样 ph03 孔和 ph04 孔的 201 个沉积物样品 $<2\ \mu\text{m}$ 黏土组分进行了分析。结果表明,本研究区的黏土矿物组合特征是蒙皂石含量最高(平均 50%),高岭石+绿泥石次之(平均 45%),伊利石含量最低(平均 5%)。根据黏土矿物的矿物学特征,并结合扫描电子显微镜(SEM)和 X 射线能谱(EDS)分析,认为蒙皂石主要来源于吕宋岛弧基性火山物质的蚀变;高岭石大多结晶程度不好,主要来自吕宋岛屿;大部分的绿泥石来自附近吕宋岛的变质岩;伊利石可能主要以风尘形式从中国大陆搬运而来。

关键词:黏土矿物; 矿物组合; 物源; 吕宋岛
中图分类号:P67 **文献标识码:**A

文章编号:1000-3096(2009)09-0080-09

黏土矿物是现代海洋环境中广泛分布的矿物,在浅海区的沉积物中约占 25% 左右,在半深海、深海区更是沉积物的主要成分^[1]。黏土矿物组分、组合、形态、结构等特征的研究,对阐明沉积作用、物质来源、沉积环境及气候状况有着重要的意义^[2]。

前人对于菲律宾海沉积物中黏土矿物的研究,主要集中于菲律宾海沟以东的区域^[3~6],Kolla 等^[7]对整个菲律宾海盆的表层黏土矿物的分布和物质来源做过讨论,石学法等^[5]也对位于菲律宾海沟西侧邻近棉兰老岛的 WP2 和 WP40 孔进行了沉积学与矿物学方面的研究,但对邻近吕宋岛屿,菲律宾海沟以西的区域关于黏土矿物方面的研究还少见报道。此外,本区域作为黑潮由源区向北流动的必经之路,对其进行沉积学与矿物学方面的研究是极其必要的。因此,作者拟通过研究区柱状样中黏土矿物的分析,根据黏土矿物的相对含量(简称含量)及其组合特征来探讨黏土矿物的成因及其物质来源,进而也为研究本区域的古环境演化提供可以参考资料。

1 研究区概况

研究区位于西菲律宾海西部,吕宋岛东部的岛坡上,东面的菲律宾海沟将 Ph03(124.36°E,14.57°N,样长 190 cm,水深 2 070 m)和 Ph04(123.49°E,14.87°N,样长 212 cm,水深 772 m)与西菲律宾海盆隔开(图 1)。菲律宾海沟长约 1 400 km,宽约 60 km,海沟窄而深,一般深达 9 000 m,最大深度 10 479 m^[8]。Ph03 孔底质为黄褐色粉砂质黏土,质软性黏,含有

孔虫,岩性均一。Ph04 孔底质为灰褐色黏土质砂,无异味,弱黏性,岩性均一,沉积物的含水量由上向下降低,由松软到致密。

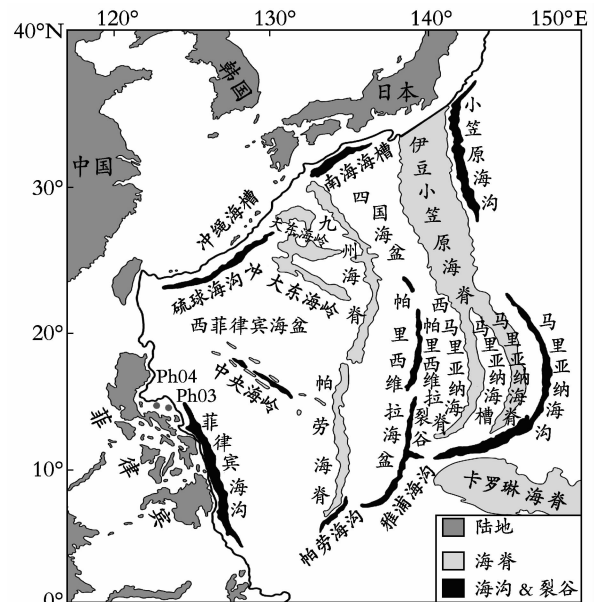


图 1 岩芯站位图

Fig. 1 Location of cores

收稿日期:2009-06-02;修回日期:2009-07-15

基金项目:国家重点基础研究发展规划项目(2007CB411703);中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-211)

作者简介:池野(1984-),男,河南桐柏人,硕士研究生,从事海洋沉积与矿物方面的研究,E-mail:cy112student@163.com;李安春,通信作者,电话:0532-82898521,E-mail:acli@ms.qdio.ac.cn

2 材料和方法

实验所用样品由中国科学院海洋研究所“科学一号”海洋调查船于 2004 年 12 月在吕宋岛岛坡采用重力活塞取样器获得,对 201 个样品进行了黏土矿物的分析,重点样品进行了 SEM+EDS 形貌观察与能谱分析。

取沉积物原样 $1\sim 2\text{ cm}^3$,加入 10% 的 H_2O_2 和 HAC 去除有机质和碳酸盐后,经蒸馏水稀释去盐至产生抗絮凝作用,然后转入烧杯。依据 STOKES 定律提取 $<2\text{ }\mu\text{m}$ 黏土组分,制成自然风干的定向片(自然片),并使用同一定向片作乙二醇饱和片(乙二醇片 60°C 烘 12 h),部分样品制成 490°C 加热片(加热 2 h)和浓盐酸(80°C 水浴 1 h,6 mol/L)处理片(酸处理片),然后上 X 射线衍射仪测试。X 射线衍射(XRD)分析在中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室完成,仪器型号及仪器工作条件为:德国布鲁克公司 D8 Advance 粉晶 X 射线衍射仪,Cu-K α 辐射,电压 40 kV,电流 40 mA,步长 0.02° ,步频 0.5 s/步 ,扫描范围 $3^\circ\sim 30^\circ(2\theta)$,黏土分析误差为 10%。

黏土矿物相对含量的半定量计算据 Biscaye^[9]的方法,即选用乙二醇饱和片图谱上蒙皂石(1.7 nm)、伊利石(1 nm)、绿泥石和高岭石(0.7 nm)4 种矿物的 3 个特征峰的峰面积作为基础数据进行计算,其强度因子分别为 1,4,2。每个波峰参数的半定量计算使用 Topas2p 软件在饱和乙二醇曲线上进行。同时,利用乙二醇曲线计算伊利石和蒙皂石的矿物学特征。蒙皂石和伊利石的结晶度计算使用积分宽度(IB)来代替 FWHM(半高宽),即与目标峰等面积等高度的一个矩形的宽度($\Delta^\circ 2\theta$)^[10],该高度即峰最大强度值。根据结晶度指数 IB 的大小,Ehrmann^[11]给出了结晶度分类,伊利石:结晶程度极好(<0.4)、结晶程度好($0.4\sim 0.6$)、结晶程度中等($0.6\sim 0.8$)、结晶程度差(>0.8);蒙脱石:结晶程度好(<1.5)、结晶程度中等($1.5\sim 2.0$)、结晶程度差(>2.0)。伊利石的化学指数(EI)计算采用 $0.5\text{ nm}/1\text{ nm}$ 的强度比^[10]。Esquevin^[12]认为:高的伊利石化学指数(>0.4)对应于富铝伊利石(白云母型);低的化学指数

(<0.15)对应于富铁镁的伊利石(黑云母型);铁镁代替八面体中的铝,会使化学指数降低。蒙皂石丰度(S/I)为蒙皂石(1.7 nm)强度和伊利石(1 nm)强度的比值,反映了蒙皂石和伊利石的相对重要性^[13]。

用于 SEM-EDS 分析的样品经前处理去掉了有机质和碳酸盐,随后提取 $<2\text{ }\mu\text{m}$ 黏土组分。为了均匀分散黏土矿物单矿物颗粒,采用了抽滤法,即离心后样品加蒸馏水超声波分散后用 $0.45\text{ }\mu\text{m}$ 孔径的醋酸纤维滤膜经真空泵过滤。裁剪下合适大小滤膜后,镀铂上机分析,选择合适的矿物颗粒拍照和 EDS 测量成分。扫描电镜为日本 JEOL 产 JSM-6700F,最小分辨率为 1 nm,所配 X 射线能谱为英国牛津大学所产 InCA, MnK α 线半高宽优于 133 keV,能谱定量准确度 2%。

3 结果

3.1 黏土矿物的 XRD 分析

黏土矿物的鉴定和解释主要依据四种测试条件下获得的 XRD 叠加图谱的综合对比(如图 2)。在自然定向片黏土矿物的 X 射线衍射图谱上可以看到 1.4 nm,1 nm,0.7 nm,0.5 nm,0.47 nm,0.35 nm 和石英(0.33 nm)、长石(0.28 nm)衍射峰。蒙皂石和绿泥石的混合叠加峰在自然定向片的衍射图谱上显示为一系列的基面反射峰(1.5 nm 附近),在乙二醇饱和处理后,特征峰分异为 1.7 nm 蒙皂石衍射峰、1.4 nm 绿泥石衍射峰。这是蒙皂石矿物在经乙二醇饱和后膨胀,衍射峰前移至 1.7 nm 的结果,这也证实了蒙皂石的存在。1 nm,0.5 nm 反射峰可以看见,是伊利石存在的反映,经乙二醇饱和处理后,特征峰位置和强度无明显变化。高岭石和绿泥石矿物在自然定向片图谱上都出现了 0.7 nm,0.35 nm 两个特征峰,这里 0.35 nm 特征峰大多样品没有出现明显的双峰现象,但在经过浓酸处理后,绿泥石的特征峰明显减弱(1.4 nm 和 0.47 nm),而高岭石和绿泥石的叠加峰(0.7 nm 和 0.35 nm)也明显减弱,证明了绿泥石的存在。经 490°C 加热处理后,蒙皂石脱水转化为伊利石,1.7 nm 衍射峰完全消失,由于蒙皂石转变为伊利石,衍射峰强度有所增强,0.7 nm 和 0.35 nm 衍射峰明显减弱,表明了高岭石的存在。

此外,自然片 1.4 nm 处的峰肩宽且不对称、加热片 1.4~1.0 nm 之间存在平台、而乙二醇饱和片 1.7 nm 峰非常宽,可以判断伊利石/蒙脱石随机混层矿物的存在,这里将伊利石/蒙皂石随机混层矿物归为蒙皂石一大类^[10,14]。

由于本区沉积物样品大多绿泥石和高岭石在 25°(2θ)左右 0.354 nm/0.357 nm 附近的双峰特征

不够明显,难以准确区分两种矿物,不过从双峰特征较明显的沉积物样品分析来看,两者的比值将近 1 : 1。由此,可将蒙皂石、伊利石、绿泥石和高岭石 4 种黏土矿物的总含量校正为 100%,而绿泥石和高岭石不予区分。从图 2 可以看出,本区的大多数样品绿泥石的第一级和第三级基面反射较弱,而第二级和第四级基面反射较强,说明绿泥石有富铁的特征^[15]。

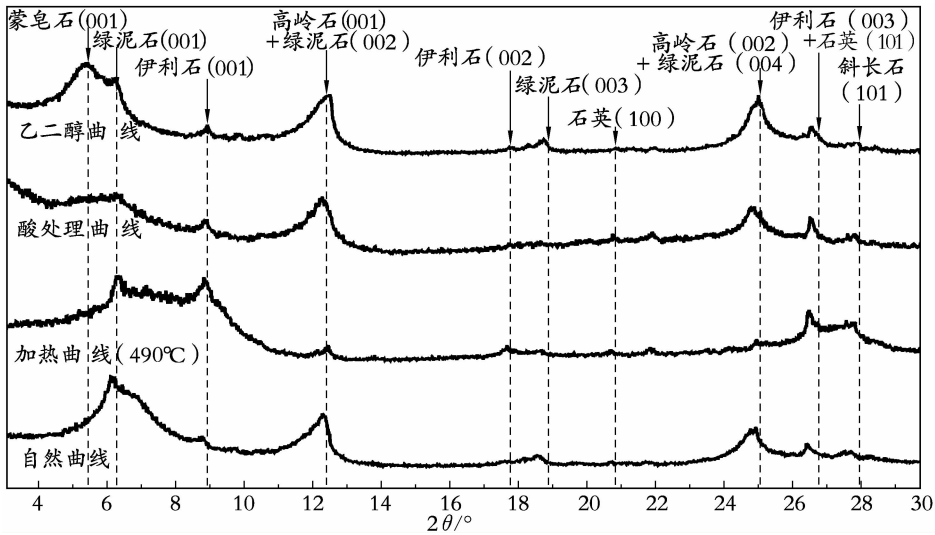


图 2 Ph04 孔样品典型 X 射线衍射图谱(40~42 cm 层位)

Fig.2 Typical XRD spectra of core ph04 at the tephra 40~42 cm

3.2 黏土矿物含量分布特征

表 1 Ph03 孔黏土矿物含量及矿物学特征

Tab.1 Characteristic of clay mineral content and mineralogy in core Ph03

取值	黏土矿物含量(%)			蒙皂石 IB	伊利石 IB	伊利石 EI	S/I
	蒙皂石	伊利石	高岭石+绿泥石				
最大值	71	15	59	2.55	0.42	0.96	18.68
最小值	39	2	24	1.28	0.23	0.34	2.62
平均值	50	7	43	1.69	0.31	0.47	5.81

如表 1 所示,Ph03 孔沉积物中黏土矿物主要有蒙皂石(平均质量分数为 50%),次为高岭石+绿泥石(平均质量分数为 43%),伊利石最少(平均质量分数为 7%)。蒙皂石 IB 显示蒙皂石结晶程度中等偏差;伊利石 IB 则显示伊利石的结晶程度极好-好。伊利石 EI 平均为 0.47,属于富铝伊利石。蒙皂石丰度

较大,变化为 2.82~18.68。

由图 3 可以看出,蒙皂石与高岭石+绿泥石含量变化相反,高岭石+绿泥石、伊利石含量变化大体一致,只是在 110~130 cm 层位变化相反。蒙皂石、高岭石+绿泥石、伊利石含量向上逐渐变稳定。蒙皂石 IB 在 80 cm 以上层位相对较小,即蒙皂石的结

晶程度变好;伊利石 IB 在 80 cm 以上层位变化不够 130 cm 层位 EI 指数明显变大,并且 S/I 在 130~
明显。伊利石 EI 在大部分层位比较稳定,在 110~ 110 cm层位变化较大,值也偏高。

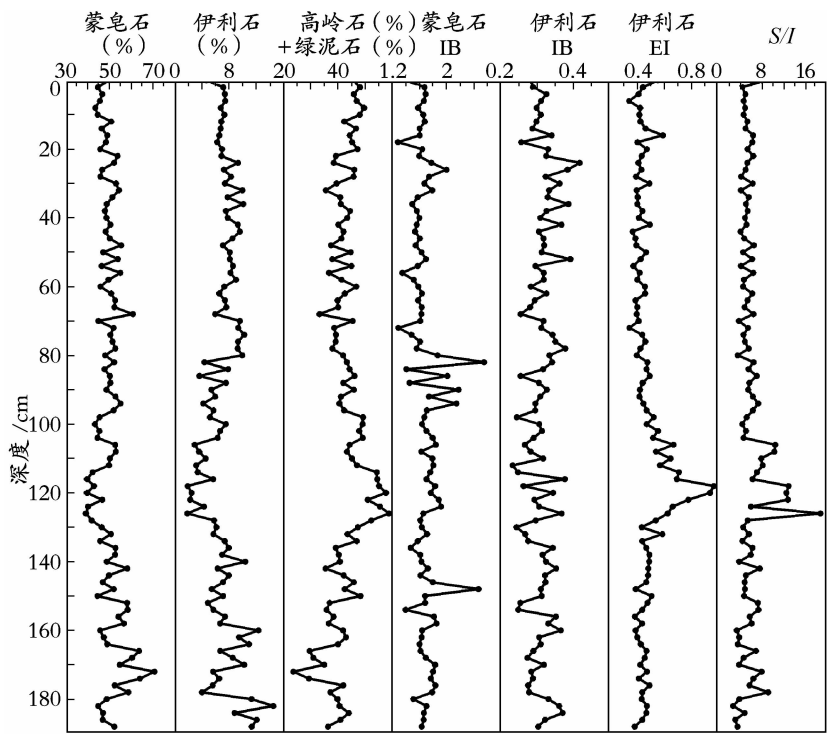


图 3 Ph03 孔黏土矿物含量分布

Fig. 3 Distribution of clay mineral content in core Ph03

表 2 Ph04 孔黏土矿物含量及矿物学特征

Tab. 2 Characteristic of clay mineral content and mineralogy in core Ph04

取值	黏土矿物含量(%)			蒙皂石 IB	伊利石 IB	伊利石 EI	S/I
	蒙皂石	伊利石	高岭石+绿泥石				
最大值	63.0	18.2	53.7	2.57	0.49	0.91	33.95
最小值	40.7	0.9	35.4	1.24	0.18	0.13	1.92
平均值	50.3	3.6	46.1	1.65	0.29	0.57	12.38

由表 2 可以看出,Ph04 孔的黏土矿物组成中,蒙皂石含量最高,高岭石+绿泥石含量次之,伊利石含量最低。蒙皂石 IB 显示蒙皂石结晶程度中等偏差;伊利石 IB 则显示伊利石的结晶程度极好-好。伊利石 EI 平均为 0.57,属于富铝伊利石。S/I 较大,变化为 1.92~33.95。

由图 4 可以看出,蒙皂石变在 210~164 cm 层位含量逐渐增加,162 cm 处突然从 60%降低到 45%

以下,到 132 cm 处由开始突然上升,到 128 cm 达到极大值,随后虽有波动,整体趋势下降并趋于稳定;伊利石在 90 cm 以下层位含量很低,大多不超过 3%,其变化很小,90 cm 以上含量较高,且略有增高的趋势(平均 6%);高岭石+绿泥石的变化与蒙皂石相反。蒙皂石和伊利石的 IB 整体变化不大。而伊利石 EI 在 90 cm 向上则有明显变低的趋势,S/I 则在 90 cm 以下比较稳定,向上变低。

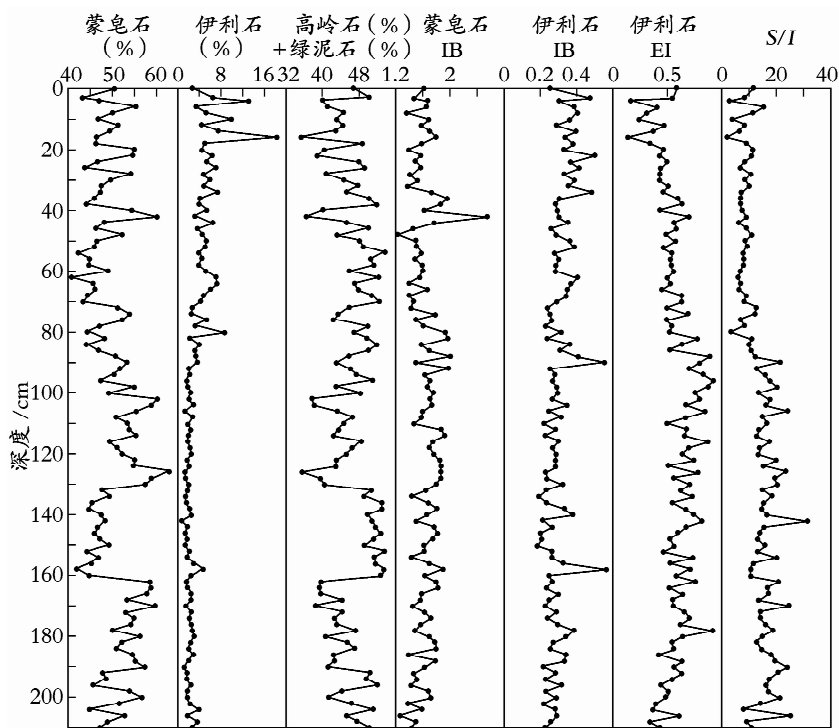


图 4 Ph04 孔黏土矿物含量分布

Fig. 4 Distribution of clay mineral content in core Ph04

3.3 扫描电子显微镜(SEM)观察和 X 射线能谱(EDS)分析

电子显微镜能够清晰地观察到矿物表面的微形貌特征,通常矿物形成的环境特征在其形貌上都有

所表现,这可为研究矿物的形成及其来源提供直接证据。本文对个别层位的样品进行了 SEM 观察,并结合黏土矿物 EDS 数据,给出了黏土矿物的种类命名。

表 3 黏土矿物的能谱分析结果

Tab.3 The results of EDS analysis on single clay mineral particles

EDS 测点	黏土矿物的能谱分析结果(%)									矿物分类
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	
03148-2	4.63	4.21	21.73	51.40	—	4.13	—	—	13.90	蒙皂石
04188-5	—	5.80	22.14	58.54	0.62	1.28	0.62	—	11.00	蒙皂石
0350-4	—	6.59	20.18	64.34	—	0.79	0.24	—	7.86	蒙皂石
0430-4	—	5.53	33.06	52.38	—	—	—	—	9.03	绿泥石
0430-5	—	5.95	23.93	57.11	0.43	0.92	—	—	11.65	绿泥石
03148-1	—	2.87	37.00	55.03	0.31	—	—	—	4.79	高岭石
04128-4	—	0.48	38.29	54.32	—	2.89	—	—	4.01	高岭石
04128-5	6.47	0.35	17.53	67.56	6.42	0.88	0.39	—	0.40	伊利石

注:“—”表示检测限以下或没有

4 讨论

4.1 研究区 Ph03 和 Ph04 孔黏土矿物组合特征

由研究区的 Ph03 孔和 Ph04 孔的黏土矿物分析

来看,两孔的黏土矿物差别不大:都是蒙皂石含量最高,平均 50%,高岭石+绿泥石次之,并且两者的含量相近,伊利石含量最少。只是 Ph03 孔伊利石含量稍高,为 7%,而 Ph04 孔较低,为 4%,基本上不影响本区的黏土矿物组合特征。

4.2 研究区黏土矿物成因及物源分析

通过对部分典型样品的 SEM-EDS 分析,结合黏土矿物的分布形态,可以判断出陆源碎屑矿物和海底火山物质都是研究区内黏土矿物的来源。

4.2.1 蒙皂石

本区的蒙皂石含量相当高,含量在 50%左右,它远远高于一般的陆源海蒙皂石含量(表 4),而与菲律宾海沟西侧邻近棉兰老岛的 WP2 (54%)、WP40 (56%)南太平洋(53%)^[1] 比较接近。南太平洋的火山活动普遍比较强烈,该区的蒙皂石经常和火山玻璃、钙十字沸石等共生,一般认为是海底风化的产物^[1]。石学法^[16]的研究认为,以陆源为主的黏土矿

物中蒙皂石的含量一般不超过 25%,大都小于 20%。从整个菲律宾海来看(表 4),可以发现在菲律宾海沟以东区域(西菲律宾海盆、帕里西维拉海盆西北部、WP1 孔)具有蒙皂石含量低,伊利石含量高的特点,与本区形成了鲜明的对比。例如,蒋富清对 Ph05 孔(位于 Ph04 孔以东约 90 n mile 的本哈姆高原上,被菲律宾海沟阻隔)黏土矿物的分析显示(未发表),蒙皂石含量平均值为 30%,伊利石含量平均值为 48%,高岭石含量平均仅为 7%。这是因为受到海沟以及通过海沟的黑潮阻隔,来自菲律宾群岛的黏土矿物等物质难以抵达海沟以东区域,以致海沟东、西两侧的沉积物黏土矿物组成特征差异显著。

表 4 研究区及周边区域黏土矿物含量平均值
 Tab.4 Clay mineral content from the study area and its surrounding areas

研究区域	黏土矿物含量平均值(%)			数据来源
	蒙皂石	高岭石+绿泥石	伊利石	
东海陆架	12	29	60	[17]
南海陆架	12	38	50	[17]
南太平洋	53	26	21	[18]
西菲律宾海	46	21	33	[20]
四国海盆	15	25	60	[19]
本研究区 Ph03	50	43	7	本文
Ph04	50	46	4	本文
WP1	37	47	16	[16]
WP2	54	40	7	[16]
WP40	56	37	7	[16]
帕里西维拉海盆西北部	35	18	47	[6]
ODP1146 站	34	22	45	[20]
冲绳海槽	25	13	61	[17]
马里亚纳海槽	80	10	10	[4]
马里亚纳海槽	75	10	15	[7]

本区沉积物全岩样品的涂片在镜下发现有火山玻璃,并且在火山玻璃丰富的层位,蒙皂石的含量相对较高。在 SEM 下观察到细长板条状、花朵状、薄片状,边缘模糊明显具有火山物质特点的蒙皂石(图 5a,b,c),Fe₂O₃ 的含量在 7.86%~13.90%,MgO 的含量在 4.21%~6.59%,已有的研究证明,海洋沉积物中“自生成因”的蒙皂石矿物的化学成分富含铁及少量镁^[21~24]。

据报道吕宋岛北部河流中的黏土矿物几乎全部由蒙皂石组成^[25],这可能是由于吕宋岛上的火山活动形成的基性岩,在湿热条件蚀变而成。另外,本区的蒙皂石 IB 变化为 1.24~2.58,平均为 1.7,结晶程度中等偏差。一般来说,来自基性火山物质蚀变而成的蒙皂石结晶程度都很差^[26]。因此可以说明,本区的蒙皂石主要是由基性火山物质蚀变而来的,主

要来自于附近的吕宋岛弧。4.2.2 伊利石
 一般来说,伊利石是黏土矿物中最稳定的物相,是海洋沉积物中最常见的黏土矿物。伊利石可以在不同的气候条件和不同的碱性环境中形成。本研究区的伊利石含量极低,最高不超过 20%,最低约 1%,平均 5%。

目前普遍认为海洋中的伊利石来自陆地,河流和风为其主要营力^[1]。Kolla^[7]发现菲律宾海表层沉积物中富伊利石区主要分布在西菲律宾海盆北部、帛琉-九州-大东海脊、四国海盆和硫磺岛海脊,含量在 60%以上,向西南方向含量逐渐降低,并且认为伊利石主要来自中国大陆的河流如黄河、长江,中国台湾以及日本列岛一些河流携带而来,并且黏土矿物的分布相当清晰地反映了表层洋流的循环。此外,

菲律宾海的伊利石也有可能从中亚的沙漠通过风吹扬过来^[27]。

在扫描电镜下(图 5d)没有见到边缘有“细针”的伊利石^[28],石学法^[16]认为西菲律宾海的伊利石是陆源的,并且来自于寒冷干旱的环境,不大可能来自热带,而是通过风从中国大陆搬运而来。研究区的伊利石含量极低,平均不到 10%,这可能主要是由于火山灰蚀变而成的大量蒙皂石的冲淡作用^[16]。

本区的伊利石 IB 变化为 0.18~0.49 之间,平均为 0.30,表明伊利石结晶程度好。伊利石 IB 与长江沉积物伊利石 IB(0.31)比较接近,而比马兰黄土(伊利石 IB 为 0.43)略小^[20]。伊利石 EI 变化为 0.31~0.96 之间,平均为 0.51,但与南部撰他陆架的化学指数(0.8~1.0)相差较远^[29]。

因此,可以认为本区的伊利石是陆源的并且主要与中国大陆的伊利石有关。

4.2.3 高岭石和绿泥石

本区的高岭石和绿泥石很高,虽然无法准确计算每个层位两者的相对含量,但从少量样品可以判断出本区高岭石与绿泥石含量相近。

高岭石是强烈的化学风化的产物,多在热带和亚热带低纬度地区由长石淋滤风化而成。这种地区由于碱金属和碱土金属的流失,介质呈酸性条件。海洋中的高岭石一般来自陆地,本研究区紧靠菲律宾群岛,推测高岭石应是来自菲律宾岛屿。扫描电镜下见到浑圆呈颗粒状的高岭石(图 5f),另外本区的大多高岭石在 XRD 慢速扫描下也无法与绿泥石分开,可能是由于高岭石晶形较差的缘故。

从世界大洋来看,绿泥石在极地海洋中含量最高。有前面可知,本研究区的绿泥石有富铁的特征。虽然有文献报道^[30,31]火山物质在强烈的化学风化作用下由三水铝石转变而成,但本区的绿泥石都富含铁,并且在 SEM 形貌上呈边缘不规则的片状,角钝圆,边缘不平直(图 5e),这是来自于母源碎屑物质的他生绿泥石特征^[2]。此外,本区的绿泥石含量高,而伊利石含量低,可能是由于吕宋岛分布着富含绿泥石的结晶片岩,进而提供了大量的绿泥石^[32]。据铃木和尉元^[33]对菲律宾群岛构造地质的研究,本研究区附近的波利略群岛及卡坦瑞内斯岛分布着结晶片岩类。石学法^[16]认为西菲律宾海的绿泥石和伊利石相似,均来自较冷的大陆。又根据本区伊利石含量很低(5%左右),而中国大陆风尘中绿泥石含量一般都要低于伊利石^[20],从而推测本研究区的伊利石和小部分绿泥石来自北方的大陆,而大部分的绿泥石则是来自吕宋岛屿。

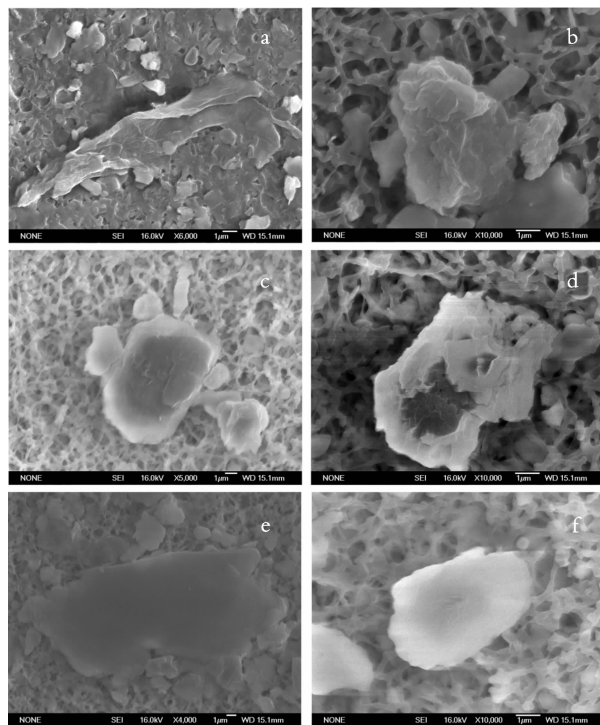


图 5 黏土矿物的 SEM 照片

Fig. 5 The SEM photographs of clay minerals

5 结论

研究区内黏土矿物组合特征是蒙皂石含量高(平均 50%),高岭石+绿泥石次之(平均含量 45%),伊利石含量最低(平均 5%)。根据黏土矿物组合和结晶学特征,并结合扫描电子显微镜(SEM)和 X 射线能谱(EDS)分析,认为蒙皂石主要来源吕宋岛弧基性火山物质的蚀变,高岭石大多结晶程度较差,主要来自吕宋岛。大部分的绿泥石来自附近吕宋岛的结晶片岩,伊利石可能主要与中国大陆的伊利石有关,风力的吹扬为其主要的输送方式。

致谢:中国科学院海洋研究所科学一号全体成员和“黑潮源区古环境研究”考察队员在 2004 年 10~11 月期间为采集样品付出了辛勤劳动,在此表示衷心的感谢。

参考文献:

- [1] 俞旭,江超华. 现代海洋沉积矿物及其 X 射线衍射研究 [M]. 北京: 科学出版社, 1984. 1-240.
- [2] 张天乐,王宗良. 中国黏土矿物的电子显微镜研究 [M]. 北京: 地质出版社, 1978. 175.
- [3] Chamley H. Clay sedimentation and Paleoenvironment in Shikoku Basin since the Middle Miocene (Deep Sea Drilling Project Leg58, North Philippine Sea) [A]. deVries Klein G, Kobayashi K, Chamley H, *et al.* Initial Report of Deep Sea Drilling Project (58) [C]. Washington: U. S. Government Printing Office, 1981, 669-678.

- [4] 张德玉. 马里亚纳海槽和西菲律宾海盆更新世以来沉积物中的黏土矿物 [J]. 沉积学报, 1993, **11**(1): 111-120.
- [5] 石学法, 陈丽蓉, 李坤业. 西菲律宾海域黏土沉积物的成因矿物学研究 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 1995, **15**(2): 61-71.
- [6] 靳宁, 李安春, 刘海志. 帕里西维拉海盆西北部表层沉积物中黏土矿物的分布特征及物源分析 [J]. 海洋与湖沼, 2007, **38**(6): 504-511.
- [7] Kolla V, Nadler L, Bonatti E. Clay mineral distributions in surface sediments of the Philippine Sea [J]. **Oceanologica Acta**, 1980, **3**(2): 245-250.
- [8] 星野通平, 岩渊义郎, 青木斌, 等. 深海地质学 [M]. 王德文, 薛金声, 范元炳, 等译. 北京: 海洋出版社, 1980. 5-310.
- [9] Biscaye P E. Mineralogy and sedimentation of recent deep sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent sea and oceans [J]. **Bulletin of the Geological Society of America**, 1965, **16**: 803-832.
- [10] Petschick R, Kuhn G, Gingele F. Clay mineral distribution in surface sediments of the South Atlantic: sources, transport, and relation to oceanography [J]. **Marine Geology**, 1996, **130**: 203-229.
- [11] Ehrmann W. Implications of Late Eocene to Early Miocene clay mineral assemblages in McMurdo Sound (Ross Sea, Antarctica) on paleoclimate and ice dynamic [J]. **Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology**, 1998, **139**: 213-231.
- [12] Esquevin J. Influence de la composition chimique des illites surcristallinite [J]. **Bull Centre Rech Rou-SNPA**, 1969, **3**(1): 147-153.
- [13] Chamley H. Clay Sedimentology [M]. Berlin: Springer, 1989. 1-623.
- [14] Boulay S, Colin C, Trentesaux A, *et al.* Mineralogy and sedimentology of Pleistocene sediment in the South China Sea (ODP Site 1144) [A]. Prell W L, Wang P, Blum P. *et al.* Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results(184) [C]. College Station Ocean Drilling Program, 2003, 1-21.
- [15] 杨雅秀, 张乃嫻, 苏昭冰, 等. 中国黏土矿物 [M]. 北京: 地质出版社, 1994. 143-150.
- [16] 石学法. 西菲律宾海晚第四纪沉积作用和沉积环境演化 [D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 1992.
- [17] 李国刚. 中国近海表层沉积物中黏土矿物的组成、分布、及其地质意义 [J]. 海洋学报, 1990, **12**(4): 470-479.
- [18] Griffin J, Windom H, Goldberg E D. The distribution of clay minerals in the world ocean [J]. **Deep-sea Res.**, 1968, **15**: 433-459.
- [19] Nagel U, Muller G, Schumann D. Mineralogy of sediments cored during Deep Sea Project Leg 58-60 in the North and South Philippine Sea: Results of X-ray Diffraction Analyse [A]. Hussong D M, Uyeda S, Blanchet R, *et al.* Initial Report of Deep Sea Drilling Project (60) [C]. Washington: U. S. Government Printing Office, 1982. 415-435.
- [20] Wan Shiming, Li Anchun, Clift P D, *et al.* Development of the East Asian monsoon: Mineralogical and Sedimentologic records in the northern South China Sea since 20 Ma [J]. **Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology**, 2007, **254**: 561-582.
- [21] Aoki S, Kohyama N, Ishizuka T. Sedimentary history and chemical characteristics of clay minerals in cores from the distal part of the Bengal Fan(ODP116) [J]. **Marine Geology**, 1991, **99**(1-2): 175-185.
- [22] Aoki S, Kohyama N. The vertical change in clay mineral composition and chemical characteristics of smectite in sediment cores from the southern part of the Central Pacific Basin [J]. **Marine Geology**, 1991, **98**(1): 41-49.
- [23] Aoki S, Kohyama N. Modern sedimentation in the Japan Trench: implications of the mineralogy and chemistry of clays sampled from sediment traps [J]. **Marine Geology**, 1992, **108**(2): 197-208.
- [24] 何良彪. 中太平洋西部深海沉积物中的火山碎屑与黏土矿物[J]. 科学通报, 1986, **31**(6): 450-461.
- [25] Liu Zhifei, Tuo S, Colin C, *et al.* Detrital fine-grained sediment contribution from Taiwan to the northern South China Sea and its relation to regional ocean circulation [J]. **Marine Geology**, 2008, **255**: 149-155.
- [26] Jeong G Y, Yoon H I, Lee S Y. Chemistry and microstructures of clay particles in smectite-rich shelf sediments, South Shetland Islands, Antarctica [J]. **Marine Geology**, 2004, **209**: 19-30.
- [27] Griffin J, Goldberg E D. Clay mineral distribution in the Pacific Ocean [A]. Hill M N. The Sea (3) [C]. New York: Inter Science, 1963. 728-741.
- [28] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 东海地质 [M]. 北京: 科学出版社, 1987. 81-92.
- [29] Gingele F X, Deckker P D, Hillenbrand C D. Clay mineral distribution in surface sediments between Indonesia and NW Australia-source and transport by ocean currents [J]. **Mar Geology**, 2001, **179**: 135-146.
- [30] Griffin J, Windom H, Goldberg E D. The distribution of clay minerals in the world ocean [J]. **Deep-sea Res.**, 1968, **15**: 433-459.
- [31] Swindate L D, Pow-Foong Fan. Transformation of gibbsite to chlorite in ocean bottom sediments [J]. **Science**, 1967, **157**: 799-800.
- [32] Gervasio G C. Age and nature of orogenesis of Philippines [J]. **Tectonophysics**, 1967, **4**: 374-402.
- [33] 铃木, 尉元. 沈耀龙译. 菲律宾群岛地质构造发育史 [J]. 地质新闻, 1989, **1**: 16-29.

Assemblage and provenance of clay minerals off the east of Luzon Island

CHI Ye^{1,2}, LI An-chun¹, JIANG Fu-qing¹, WAN Shi-ming¹

(1. Key Laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Graduate School, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Received: Jun. , 2, 2009

Key words: clay minerals; mineral assemblage; provenance; Luzon Island

Abstract: The mineralogy, composition, assemblage, and provenance of clay minerals off the the east of the Luzon island, were studied. 201 sediment samples of cores Ph03 and Ph04 were analyzed using XRD, and several samples were analyzed using SEM and EDS techniques. Smectite, kaolinite+chlorite and illite were the main clay components. The results indicate that smectite is the most abundant(50%); kaolinite+chlorite is moderate(45%); and illite is lowest(5%). Surface morphology and chemistry of single clay mineral particle were studied with SEM and EDS. According to the mineralogy of clay minerals, SEM and EDS, provenance study shows that smectite was origianted mainly from basalt alteration in Luzon island; kaolinite with poor crystalization was derived mainly from Luzon island; most amounts of chlorite were supplied from the metamorphic rocks on Luzon island; illite probably was derived from the China Mainland and wind was the main agent for transporting illite from land to ocean.

(本文编辑:刘珊珊)

(上接第 79 页)

Analysis on erosion evolution of the Diaokou River's coastal of the Feiyantan oilfield sea area

FAN Yan-guo, LI Rui-hua

(College of Geo-Resource and Information in China University of Petroleum, Qingdao 266555, China)

Received: May, 1, 2009

Key words: Feiyantan oilfield; coastal erosion; evolution rule

Abstract: In order to discuss the erosion evolution rule of subaqueous delta in the Diaokou River's coastal of the Feiyantan oilfield sea area. In this paper, analysis on the overall changes in coastal erosion and deposition is performed by using software—Surfer, and the analysis data are many years' measured water depth data in this sea area. Water depth comparison diagrams of five profiles—CS3~CS7 were completed by using software—Origin, from this diagram, we analysed the change and accumulative depth of erosion and sedimentation of the same profile in different years, and analysed the causes and rules of erosion evolution, and can provide a theoretical basis for coastal erosion management and protection.

(本文编辑:刘珊珊)