

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2012.04139

东菲律宾海帕里西维拉海盆第四纪 黏土矿物组合特征及物源分析

明洁^{1,2}, 李安春¹, 孟庆勇¹, 万世明¹, 闫文文³

(1 中国科学院 海洋研究所 海洋地质与环境重点实验室, 青岛 266071;

(2 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3 国家海洋局 第一海洋研究所, 青岛 266061)

摘要:应用X射线衍射(XRD)方法对东菲律宾海帕里西维拉海盆的两个重力柱状样F090815和F100609的第四纪沉积物进行了黏土矿物分析。结果表明,南北两个柱状样黏土矿物呈现不同的组合特征。南部的F090815岩心蒙皂石含量(平均50%)最高,伊利石(平均37%)次之,含少量的绿泥石和高岭石(平均13%);北部的F100609岩心为伊利石含量(平均47%)最高,蒙皂石(平均39%)次之,含少量的绿泥石和高岭石(平均14%)。根据黏土矿物含量及特征变化可将两根柱状样划分为4段,并根据黏土矿物组合特征及化学指数和结晶度,认为蒙皂石主要来源于研究区东部紧邻的马里亚纳海槽基性火山物质的蚀变;伊利石主要来源于物理风化作用强烈的陆地,并很可能与亚洲风尘有关;绿泥石与伊利石有着相同的来源;高岭石在此区含量非常低,也证明了与伊利石和绿泥石来源相同。另外,两柱状样黏土矿物特征变化趋势不同,是由于整个F090815孔所揭示的地层大概只相当于F100609孔的第IV段沉积期,是该沉积期更高分辨率的反映。

关键词:黏土矿物; 物源; 第四纪; 东菲律宾海; 帕里西维拉海盆

中图分类号:P736.2

文献标识码:A

文章编号:0256-1492(2012)04-0139-10

黏土矿物是天然产出的颗粒细小的一类矿物。它是母岩风化的产物,其组分、形态、结构等特征指示着源区母岩的岩性及风化环境^[1]。同时,黏土矿物作为海洋沉积物的重要组成部分,其组成特征受控于物源、物源区气候以及搬运途径(洋流、风)^[2],可以用来指示物源。近年来,利用黏土矿物组合特征来判断海洋沉积物物源已取得了很多显著的成果^[3-10]。

帕里西维拉海盆位于西太平洋最大的边缘海盆——菲律宾海盆东部,与四国海盆并称为世界上最大的两个弧后盆地^[11]。它东邻西马里亚纳海脊,北接四国海盆,西连帕劳海脊,南部是复杂的岛弧、海沟和断裂带系统,平均水深4 800 m左右,海底地形复杂,迄今对该区的研究还很少。2004年随着“科学一号”调查船在该区进行的科考调查,我国首次对该区进行了一系列的研究分析^[12-15]。靳宁等(2007)研究了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,将研究区划分为两个组合分

区——富伊利石分区和富蒙皂石分区并进行了物源分析^[12];徐兆凯等(2008)通过对东菲律宾海近代深海黏土沉积物粒度、稀土元素组成及其赋存状态和铀系同位素年代学的综合研究,探讨了研究区沉积物的特征与物质来源^[13-14];孟庆勇等(2010)对帕里西维拉海盆西侧F090102孔进行了系统的古地磁和岩石磁学分析,得到约2 Ma以来的地球磁场相对强度变化曲线^[15]。但是,这些研究多集中在表层分布特征上,在纵向上研究程度还较薄弱。因此,本文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)、组合特征及化学指数和结晶度等来探讨黏土矿物的成因及其物质来源,为加深理解边缘海盆的物质来源、输运过程、沉积环境和气候演化等提供参考。

1 材料与方法

本文中所使用样品是由中国科学院海洋研究所“科学一号”海洋调查船于2002—2004年期间在帕里西维拉海盆内用重力活塞取样器获得的两根柱状样(图1),F090815(15°58' 84''N, 139°32' 82'E, 水深5 513 m, 长439 cm)和F100609(19°30' 55''N, 137°53' 73''E, 水深5 212 m, 长410 cm),以2、4和5 cm为间距取样,对此两个柱样共281个样品进行XRD

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2007CB411703)

作者简介:明洁(1985—),女,博士生,从事海洋沉积学研究,
E-mail:mingjie0203@126.com

通讯作者:李安春,E-mail:acli@qdio.ac.cn

收稿日期:2012-07-06; 改回日期:2012-07-18. 文凤英编辑

分析(F100609 从 120~150 cm 之间的 30 cm 缺失)。

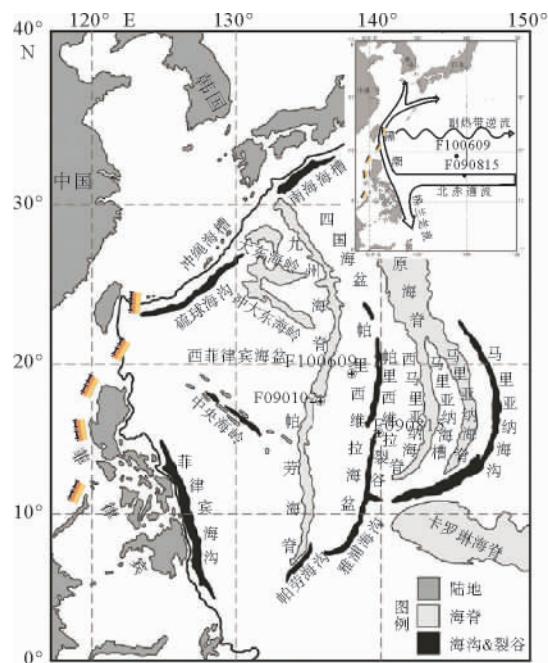


图 1 研究区岩心站位图

Fig. 1 Location of cores

取 1.5~4 g 的干样至离心瓶中,加入 30 mL 10% 的 H_2O_2 除去有机质(60 °C 水浴 60 min)后,直接加去离子水离心(3 500 rpm, 5 min)清洗 2 次,洗盐并使样品发生抗絮凝作用。样品充分超声(60 s)分散后转入烧杯,按 Stock 原理确定的沉降时间,吸取上部黏粒组分<2 μm 的悬浮物至离心管中,加入 1 滴 5% 的 NaCl 溶液(作为絮凝剂)以加速沉淀,静置 30 min 后再次离心(3 500 rpm, 6 min),倒出上层清液,将下部含样品混浊液小心超声分散 20 s 后用涂片法制成自然风干的定向薄片(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),进行 X 射线衍射仪测试,并对个别典型乙二醇饱和片加热至 550 °C(加热片 2 h)再上 X 射线衍射仪测试。该实验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。仪器为德国产 D8 Advance X 衍射仪($CuK\alpha$ 辐射,管压 40 kV,管流 40 mA,扫描角度 $3^\circ \sim 30^\circ (2\theta)$,步长 0.02°,步频 0.5 s/step)。

黏土矿物的鉴定主要对 3 种条件下制成的薄片测试获得的 XRD 叠加图谱的综合对比得出^[16]。黏土矿物相对含量的半定量计算是根据 Biscay(1965)的方法利用 Topas2p 软件在乙二醇曲线上进行。

用乙二醇曲线上蒙皂石(17 Å)、伊利石(10 Å)、绿泥石和高岭石(7 Å)衍射峰峰面积各自乘以其强度因子 1、4 和 2;绿泥石和高岭石两者的含量比例从绿泥石(3.54 Å)和高岭石(3.58 Å)的衍射峰面积求得,最后将这 4 种黏土矿物的特征峰面积校正为含量 100%。同时,利用乙二醇曲线计算伊利石的化学指数(CI),即 5 Å/10 Å 峰面积比,大于 0.5 时为高度风化的富 Al 伊利石,代表强烈的水解条件;小于 0.5 时为未风化的富 Fe-Mg 伊利石(云母),代表物理风化的结果^[17]。结晶度用来表征黏土矿物的有序度和晶体颗粒的大小。伊利石的结晶度用 10 Å 的半峰宽(FWHM)来表示,结晶度值越低,代表结晶度越高,指示陆地物源区水解作用弱,气候条件干冷^[6,18],可以示踪物源区和搬运路径;蒙皂石丰度(S/I)为蒙皂石(17 Å)强度和伊利石(10 Å)强度的比值,反映了蒙皂石和伊利石的相对重要性^[17]。由于蒙皂石的特征峰形态较不规则,积分宽度(IB)就比半峰宽(FWHM)更加准确,所以蒙皂石的结晶度用积分宽度(IB)^[19-20],根据 Ehrmann(1998)提出的基于 IB 的蒙皂石结晶度分类,分为结晶程度好(<1.5)、结晶程度中等(1.5~2.0)、结晶程度差(>2.0)。

2 结果

2.1 黏土矿物的 XRD 分析

根据本区两个柱状黏土矿物的 XRD 分析,可以看出本区的黏土矿物主要由蒙皂石、伊利石、绿泥石和高岭石组成,非黏土矿物有石英、长石等。在自然定向片黏土矿物的 X 射线衍射图谱(图 2)上可以看到 14 Å、10 Å、7 Å、5 Å、4.7 Å、3.5 Å、石英(3.3 Å)和长石(2.8 Å)衍射峰。在自然定向片的衍射图谱上 15 Å 附近的一系列的基面反射峰为蒙皂石和绿泥石的混合叠加峰,在经乙二醇饱和处理后,此特征峰分离为 17 Å 蒙皂石衍射峰和 14 Å 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 17 Å 的结果,就此证实了蒙皂石的存在。在自然定向片的衍射图谱上 10 Å 和 5 Å 反射峰清晰明显,经乙二醇饱和处理后,特征峰位置和强度无明显变化,是伊利石存在的反映。高岭石和绿泥石矿物在自然定向片图谱上都出现了 7 Å 和 3.5 Å 两个特征峰,3.5 Å 特征峰出现了双峰现象说明了两种矿物的同时存在。经加热处理后,高岭石矿物变成非晶质物质而消失。大部分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^[21]。

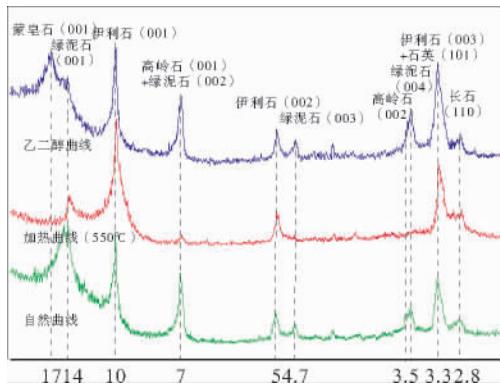


图2 东菲律宾海F100609柱状样中典型黏土矿物X射线典型衍射图谱

Fig. 2 Typical XRD spectra of clay minerals in core F100609

2.2 黏土矿物的特征与分布

2.2.1 F090815孔

F090815孔沉积物中黏土矿物含量主要以蒙皂石(平均50%)为主,伊利石(平均37%)次之,绿泥石(平均9%)和高岭石(平均4%)较少。蒙皂石结晶度(IB)显示其结晶度中等;伊利石结晶度(FWHM)平均为0.31,代表结晶度较高,指示形成于气候寒冷且水解作用弱的陆地物源区;伊利石风化指数(CI)平均为0.31,小于0.5,指示形成于物理风化结果;蒙皂石丰度平均为1.10,整体变化不大(表1)。

根据该孔黏土矿物特征及变化可将其划分为4段:第Ⅰ段为底部至356 cm处,该段蒙皂石含量从底部的60%逐步减小到40%左右,然后在50%左右波动,伊利石与蒙皂石呈相反的趋势,绿泥石与伊利石趋势一致,高岭石含量有所波动但上下差别不明显,蒙皂石结晶度(IB)、伊利石结晶度(FWHM)和化学指数(CI)比较稳定,说明当时源区气候和研究区沉积环境均相对稳定。第Ⅱ段356~256 cm,

该段的前半段蒙皂石突然增大,后半段又降低,伊利石变化正相反,绿泥石与伊利石变化趋势一致,高岭石自下而上呈逐渐减少的趋势,蒙皂石结晶度(IB)和伊利石结晶度(FWHM)波动幅度也由大到小,说明此时沉积环境和源区气候变得不稳定,伊利石化学指数(CI)波动幅度较大,指示了源区气候的干湿程度转变加剧。第Ⅲ段256~176 cm,该段各值以大幅度波动为特征,蒙皂石含量在此段分别出现了该孔的最大值(81%)和最小值(15%),但总体上蒙皂石的重要性下降,高岭石和绿泥石也先后出现最大值,蒙皂石结晶度(IB)变化幅度极为剧烈,说明蒙皂石的形成环境很不稳定。第Ⅳ段为176 cm至顶部,蒙皂石含量经历了由低到高再到低的过程,随后又增高并稳定在55%左右,该段高岭石含量波动较大,其余各值较上段波动幅度减小,蒙皂石/伊利石比值略显增加的趋势(图3)。

2.2.2 F100609孔

F100609孔沉积物中黏土矿物含量主要以伊利石(平均47%)为主、蒙皂石(平均39%)次之、绿泥石(平均10%)和高岭石(平均4%)较少。蒙皂石结晶度(IB)显示其结晶度为中等偏好;伊利石结晶度(FWHM)平均为0.32,代表结晶度较高,指示形成于气候寒冷且水解作用弱的陆地物源区;伊利石CI平均为0.32,小于0.5,指示形成于物理风化;蒙皂石丰度平均为0.81,较F090815孔蒙皂石的整体重要性下降(表2)。

根据黏土矿物含量变化特征该岩心也可划分为4段:第Ⅰ段自底部至334 cm处,蒙皂石先减小随后增大到最大值约60%,伊利石与蒙皂石变化趋势相反,绿泥石变化趋势与伊利石相一致,而高岭石与之有所不同,但波动较大,蒙皂石结晶度(IB)、伊利石结晶度(FWHM)和化学指数(CI)变化波动较大,说明当时气候环境较不稳定。第Ⅱ段334~256 cm,该段蒙皂石含量开始逐渐减小,伊利石逐步增大,绿泥石在此段波动较大,也呈增大趋势,高岭石含量略有增加趋势,蒙皂石结晶度(IB)、伊利石结晶度

表1 东菲律宾海F090815孔黏土矿物含量及矿物学特征

Tab. 1 Characteristic of clay mineral content and mineralogy in core F090815

	黏土矿物含量/%				蒙皂石 IB	伊利石 FWHM	伊利石 CI	蒙皂石/ 伊利石
	蒙皂石	伊利石	绿泥石	高岭石				
最大值	81	61	24	12	4.10	0.46	0.59	1.97
最小值	15	13	3	0	1.04	0.23	0.12	0.57
平均值	50	37	9	4	1.70	0.31	0.31	1.10

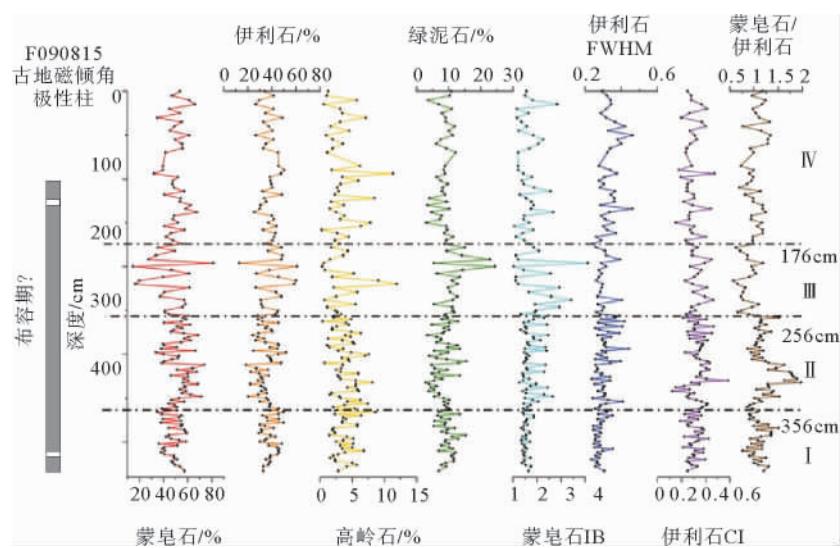


图3 东菲律宾海F090815孔黏土矿物含量分布特征

Fig. 3 Distribution of clay mineral content in core F090815

表2 东菲律宾海F100609孔黏土矿物含量及矿物学特征

Tab. 2 Characteristic of clay mineral content and mineralogy in core F100609

	黏土矿物含量/%				蒙皂石	伊利石	伊利石CI	蒙皂石/伊利石
	蒙皂石	伊利石	绿泥石	高岭石	IB	FWHM		
最大值	60	67	19	11	2.14	0.47	0.56	1.35
最小值	16	30	2	0	0.97	0.24	0.15	0.39
平均值	39	47	10	4	1.45	0.32	0.32	0.81

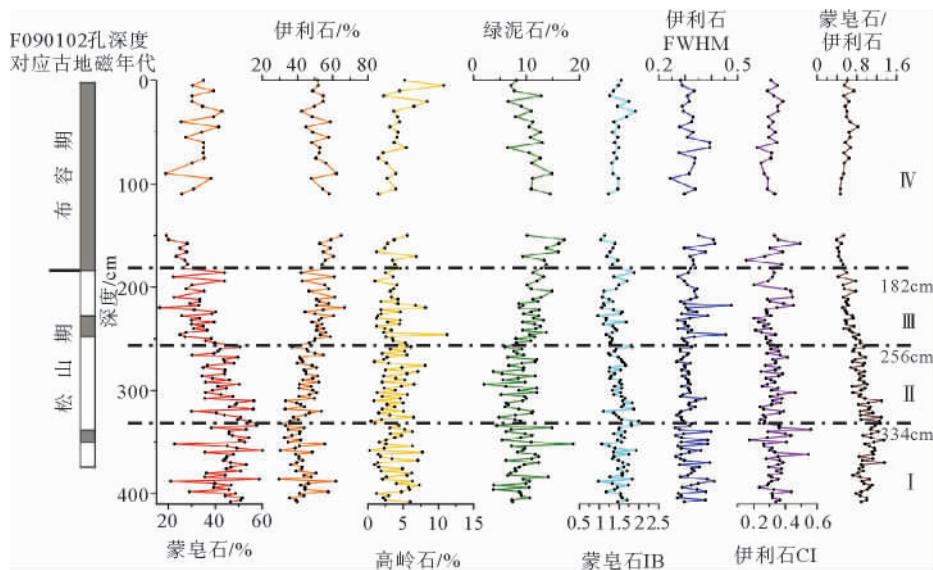


图4 东菲律宾海F100609孔黏土矿物含量分布特征

Fig. 4 Distribution of clay mineral content in core F100609

(FWHM)和化学指数(CI)的波动较小,说明当时源区气候及沉积环境较稳定。第III段256~182 cm,

蒙皂石的含量大幅度降低至30%左右然后又有所增加,伊利石和绿泥石含量则明显增加,高岭石含量

前半段波动较大后来波动减小,并略有减少的趋势,蒙皂石与伊利石的含量比值明显降低,蒙皂石结晶度(IB)、伊利石结晶度(FWHM)和化学指数(CI)有较大幅度的波动,这与F090815孔第III段的沉积环境有较好的对应关系。第IV段自182 cm至顶部,该段蒙皂石含量又有所增加并稳定在35%左右,伊利石与绿泥石含量大致呈减小的趋势,高岭石含量在此段变化较明显,呈逐步增大趋势,尤其在上部30 cm大幅度增加,蒙皂石与伊利石的含量比值明显增加,蒙皂石结晶度(IB)、伊利石结晶度(FWHM)和化学指数(CI)波动幅度逐步减小(图4)。

3 讨论

3.1 研究区黏土矿物成因及其物源分析

(1) 蒙皂石

蒙皂石是大洋沉积物中分布极广的一种黏土矿物。海洋沉积物中的蒙皂石既可以来源于周边大陆温暖至半干旱气候条件下母岩的水解作用^[18],表现为陆源碎屑成因;也可由海底基性火山物质经长时间海解作用形成^[18]。

在本研究区内,蒙皂石的平均含量大于39%,多数在50%左右。前人研究认为,在以陆源物质为主要来源的海域,蒙皂石的相对含量一般不超过

20%^[7],这说明本区的蒙皂石主要来源不是陆源物质。另外,扫描电镜(SEM)显示蒙皂石矿物边缘模糊,大多呈片状、花朵状、蜂窝状,X射线能谱(EDS)表明蒙皂石中Fe、Mg含量高^[12],并且,在蒙皂石含量高的站位火山玻璃也很丰富,说明该处蒙皂石具有火山物质蚀变的自生成因。蒙皂石结晶度(IB)多为中等偏差,也说明是由基性火山物质蚀变来的^[22]。从图5可以看出研究区周边存在两个蒙皂石高值区,一个是位于西菲律宾海盆西部的吕宋岛,另一个是研究区东部紧邻的马里亚纳海槽。吕宋岛的蒙皂石来自于吕宋岛弧基性火山物质的蚀变,含量在65%左右甚至更高^[7-8,23],且蒙皂石结晶度中等偏差^[8],但是考虑到帕劳、九州海脊将研究区和吕宋岛相隔及其洋流条件——北赤道流自东向西输送,吕宋岛很难向研究区提供大量的蒙皂石。因此,研究区的蒙皂石最可能来自于其东部紧邻的马里亚纳海槽,帕里西维拉盆地西北部表层的黏土矿物中蒙皂石含量自东南向西北方向递减也证明了这一点^[12]。

(2) 伊利石

海洋沉积物中的伊利石几乎全为陆源碎屑成因。但是,秦蕴珊等(1987)曾报道过东海沉积物中有以晶体边缘有“细针”为特征的海洋自生伊利石。研究区表层沉积物黏土矿物扫描电镜(SEM)则显示伊利石主要为边缘磨圆度较好的薄片状,未见边缘有“细针”^[12],说明本研究区中伊利石为陆源碎屑成因。

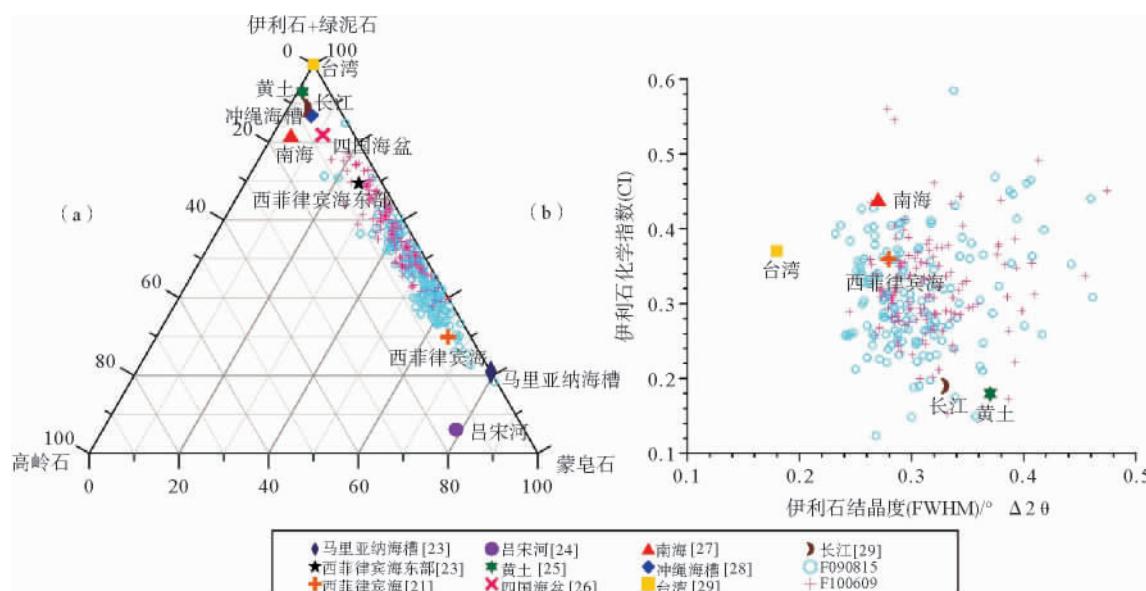


图5 东菲律宾海F090815孔和F100609孔及其周边的黏土矿物特征的三角图(a)和相关关系图(b)

Fig. 5 Ternary(a)and correlation(b) diagrams showing variation in clay minerals compositions of sediments from core F090815,F100609 and surroundings

本区的伊利石平均含量南北差异较大,南部柱样平均含量为37%,北部柱样平均含量为47%,超过蒙皂石而成为最主要的黏土矿物。纵观研究区周边,伊利石含量高值区几乎呈中国黄土-冲绳海槽-四国海盆-西菲律宾海盆东部-本研究区-马里亚纳海沟一线呈递减趋势分布(图5),且该区表层沉积物的伊利石高值区也呈西北向东南方向递减^[12],可以初步推测出本区的伊利石来源于西北部陆地。另外,从上述地形及洋流条件上看,伊利石也不可能来自于西部的菲律宾陆地,因为那里的伊利石含量最高不超过21%^[8,10],不可能成为本研究区的主要来源。台湾地区的黏土矿物虽然富含伊利石,但无论是结晶度还是化学指数都与该区相差较远(图5)。分析黏土矿物的矿物学特征发现,伊利石化学指数变化范围为0.12~0.59,平均值0.32(<0.5),说明形成于干冷气候条件下的物理风化;伊利石结晶度变化范围为0.23°~0.47°Δ2θ之间,平均为0.32°Δ2θ,与中国内陆黄土和古土壤中的伊利石结晶度接近(分别为0.22°~0.33°Δ2θ和0.22°~0.42°Δ2θ)^[29],说明研究区的伊利石来源与中国内陆的黄土可能有关联。根据地形和洋流情况判断,研究区的伊利石来自河流的可能性不大,风的输运可能为主要方式^[30-31]。基于以上分析可知,本区的伊利石很可能与亚洲风尘有关。

(3) 绿泥石

绿泥石往往由陆地低级变质岩、火成岩及古老沉积岩低温机械侵蚀而成^[32],形成于高、中纬区干

冷气候环境,与伊利石并称为“两极型矿物”,深海沉积物中大多数绿泥石是陆源碎屑成因的^[33]。从两根柱状样中绿泥石与伊利石较弱的正相关及与蒙皂石较弱的负相关可以看出与伊利石有着相同的来源(图6、图7),并且其XRD图谱特征说明本区的绿泥石有富铁特征,而典型的中国内陆黄土中的绿泥石也具有富铁特征^[34]。

(4) 高岭石

大洋中的高岭石一般都是来自陆地,因为海洋的碱性、弱碱性环境,不适合高岭石的自生条件^[33]。高岭石是在潮湿气候下酸性介质中岩石被强烈淋滤的条件下形成的,多为低纬度地区的产物,因此在研究区西部吕宋岛和南海的高岭石含量相对较丰富,但在中高纬度地区的古土壤和黄土中也存在一定量的高岭石。该区两根柱样的高岭石含量变化为0~12%,平均仅为4%,与其他黏土矿物含量相关性均较弱(图6、图7),并且表层沉积物黏土矿物中的高岭石含量高值区呈斑状分布^[8],没有明显规律。由于本区伊利石几乎为风尘来源,我们可用伊利石与高岭石的比值来判断是否与伊利石的物源有关联,结果F090815孔两者的比值为9.3,F100609孔为11.8,与黄土的8.9^[23]较为接近,证明了高岭石与伊利石、绿泥石有同样的来源。

3.2 柱状样黏土矿物特征变化趋势分析

根据黏土矿物特征变化趋势两根柱状样均可划分为4段,但其变化趋势不同。南部的F090815孔

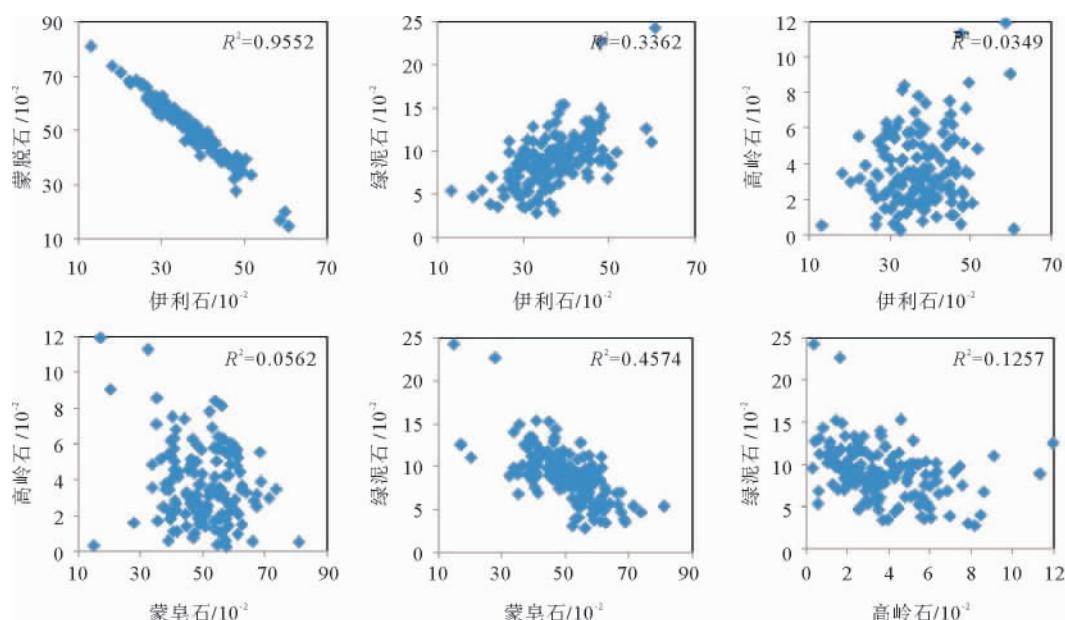


图6 东菲律宾海F090815各黏土矿物间的相关性

Fig. 6 Correlation diagrams between clay minerals of core F090815

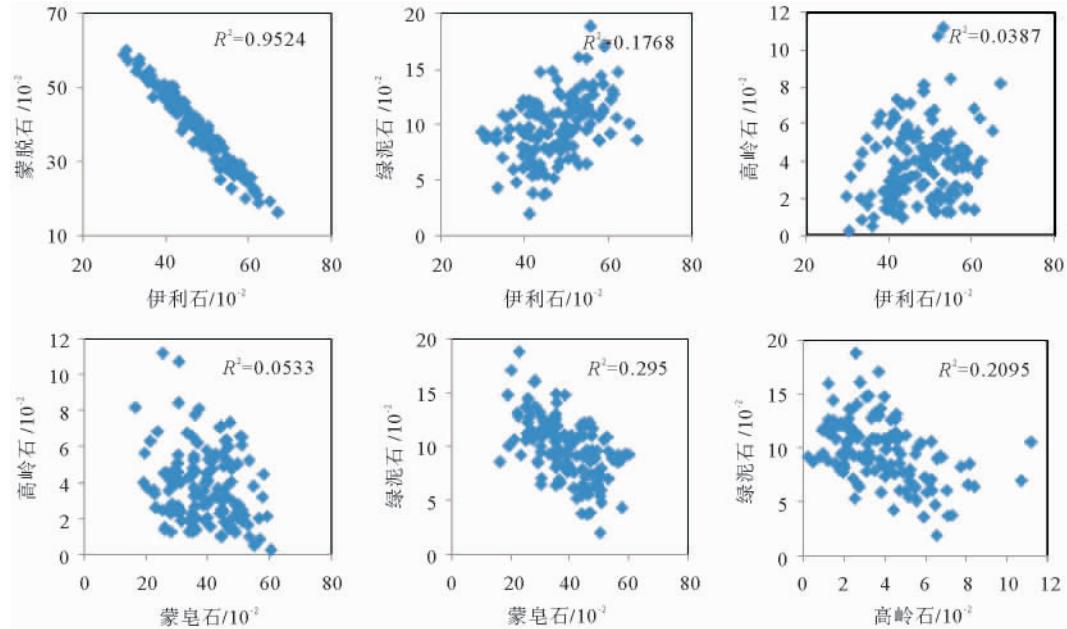


图7 东菲律宾海F100609各黏土矿物的相关性

Fig. 7 Correlation diagrams between clay minerals of core F100609

黏土矿物含量呈多次波动旋回;北部F100609孔黏土矿物含量自第II段开始便呈波动增加或减小的趋势。南部F090815孔的蒙皂石、伊利石结晶度和化学指数最稳定期处在第I段,向上变不稳定;北部F100609孔最稳定期处在第II段。

F100609孔没有进行过年代测试,但由于与F090102孔经纬度相差 1.5° 左右(图1),且均位于盆地北部,后者虽临近九州海脊,水深较浅,却也位于CCD以下,其黏土矿物含量自底部至150 cm处也呈现波动增加或减小的趋势^[12],可认为其物质来源和沉积环境与前者相似,因此,其大体年代数据可以借鉴位于帕里西维拉海盆西侧的F090102孔($17.921^{\circ}\text{N}, 135.878^{\circ}\text{E}$;水深4 350 m,柱长378 cm)。孟庆勇等(2010)对F090102孔沉积物进行了系统的古地磁和岩石磁学分析,得到了该孔沉积物记录的地球磁场相对强度变化及古地磁年代数据。研究区处于发育成熟的弧后盆地中,东西均被海脊与物源供应区阻隔,因此沉积速率非常低,F090102孔在布容正极性期内的沉积速率约为 1.49 mm/ka ;在松山反极性期约为 2.31 mm/ka ;平均沉积速率仅为 1.82 mm/ka ,其底部年龄为2 Ma左右^[15]。

南部F090815孔顶部90 cm无法取到古地磁,从90 cm往下,基本上都呈现正的地磁极性,处于布容正极性期内,期间有两个小的反极性事件,还需要详细的测年资料来证实,可以推断出该柱样底界的年龄在0.73 Ma以内(据孟庆勇尚未发表资料),据

此估算该孔沉积速率约为 5.9 mm/ka 。

由此可见,相对北部F100609孔而言,南部的F090815孔沉积速率较大。这可能是由于该孔靠近裂谷,水深较大,又临近马里亚纳海槽,接受马里亚纳海槽的物质来源多的缘故,这也与该孔黏土矿物中的高蒙皂石含量相符。基于以上分析可知,与北部F100609孔相比,南部F090815孔相对年轻,其沉积大概相当于F100609孔第IV段沉积期,是该段沉积期更高分辨率的反映。

4 结论

(1)帕里西维拉海盆南北两柱状样的黏土矿物具有不同的组合特征。南部的F090815孔黏土矿物含量以蒙皂石(平均50%)最高,其次为伊利石(平均37%),绿泥石(平均9%)和高岭石(平均4%)较低为特征;北部F100609孔黏土矿物含量以伊利石(平均47%)最高,其次为蒙皂石(平均39%),较低的绿泥石(平均10%)和高岭石(平均4%)为特征。

(2)研究区蒙皂石主要来自东部紧邻的马里亚纳海槽基性火山物质的蚀变;伊利石主要来源于以西的物理风化作用强烈的陆地,并很可能与亚洲风尘有关;绿泥石与伊利石有着相同来源;高岭石在此区含量非常低,也证明了与伊利石和绿泥石有着相同来源。

(3) 帕里西维拉海盆两柱状样的黏土矿物含量变化均可划分为4段,但南北两柱状样的黏土矿物特征变化趋势不同。南部的F090815孔黏土矿物含量呈多次波动旋回;北部的F100609孔黏土矿物含量自第II段开始便呈波动增加或减小的趋势。南部F090815孔的蒙皂石、伊利石结晶度和化学指数最稳定期处在第I段,向上变不稳定;北部F100609孔最稳定期处在第II段。这是由于整个F090815孔所揭示的地层大概只相当于F100609孔的第IV段沉积期,是该沉积期更高分辨率的反映。

参考文献(References)

- [1] Park Y A, Kim B K. Clay minerals of the recent fine-grained sediments on the Korean continental shelves [J]. Continental Shelf Research, 1990, 10(12): 1179-1191.
- [2] Gingele F X, De Deckker P, Girault A, et al. History of the south Java current over the past 80 ka [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2002, 183(3-4): 247-260.
- [3] Kolla V, Nadler L, Bonatti E. Clay mineral distributions in surface sediments of the Philippine Sea [J]. Oceanologica Acta, 1980, 3(2): 245-250.
- [4] 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, 76(7): 803-832.
- [5] Aoki S, N Kohyama. 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.
- [6] 刘志飞, Trentesaux A, Clemens S C, 等. 南海北坡ODP1146站第四纪黏土矿物记录:洋流搬运与东亚季风演化[J]. 中国科学D辑, 2003, 33(3): 271-280. [LIU Zhifei, Trentesaux A, Clemens S C, et al. Mineralogical and sedimentologic records of ODP1146 in north slope of the South China Sea: Ocean currents carrying and east Asia monsoon evolution[J]. Science in China(Series D), 2003, 33(3): 271-280.]
- [7] 石学法, 陈丽蓉, 李坤业, 等. 西菲律宾海西部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. [SHI Xuefa, CHEN Lirong, LI Kunye, et al. Study on mineralogy of the clay sediment in the west of Philippine Sea [J]. Marine Geology and Quaternary Geology, 1995, 15(2): 61-71.]
- [8] 池野, 李安春, 蒋富清, 等. 吕宋岛东部海域黏土矿物组合特征及物源分析[J]. 海洋科学, 2009, 33(9): 80-88. [CHI Ye, LI Anchun, JIANG Fuqin, et al. Assemblage and provenance of clay minerals off the east of Luzon Island[J]. Marine Science, 2009, 33(9): 80-88.]
- [9] 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. [ZHANG Deyu. Clay mineralogy of the sediments deposited since the Pleistocene in the Mariana Trough and the West Philippine Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1993, 11(1): 111-120.]
- [10] Liu Zhifei, Tuo Shouting, Cristophe 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.
- [11] 任建业, 李思田. 西太平洋边缘海盆地的扩张过程和动力学背景[J]. 地学前缘, 2000, 7(3): 203-213. [REN Jianye, LI Sitian. Spreading and dynamic setting of marginal basins of the western Pacific [J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(3): 203-213.]
- [12] 靳宁, 李安春, 刘海志, 等. 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. [JIN Ning, LI Anchun, LIU Haizhi, et al. Clay minerals in surface sediment of the northwest Parece Vela Basin: distribution and provenance [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2007, 38(6): 504-511.]
- [13] 徐兆凯, 李安春, 蒋富清, 等. 东菲律宾海沉积物的地球化学特征与物质来源[J]. 科学通报, 2008, 53(6): 695-702. [XU Zhaokai, LI Anchun, JIANG Fuqing, et al. The geochemical characteristics and material sources in the eastern Philippine Sea [J]. Chinese Science Bulletin, 2008, 53(6): 695-702.]
- [14] 徐兆凯, 李安春, 蒋富清, 等. 东菲律宾海深水铁锰结壳发育站位沉积物的粒度及黏土矿物学特征[J]. 海洋学报, 2007, 29(2): 150-155. [XU Zhaokai, LI Anchun, JIANG Fuqing, et al. Grain-size and clay mineral characteristics of sediments under deep water ferromanganese crusts in the eastern Philippine Sea [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2007, 29(2): 150-155.]
- [15] 孟庆勇, 李安春, 蒋富清, 等. 近2Ma来东菲律宾海地球磁场相对强度变化的沉积记录[J]. 海洋与湖沼, 2010, 41(4): 606-613. [MENG Qingyong, LI Anchun, JIANG Fuqing, et al. A geomagnetic paleointensity record over the last 2 Ma from the east Philippine Sea [J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 2010, 41(4): 606-613.]
- [16] Moore D M, Reynolds R C. X-ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals [M]. Oxford University Press, Oxford, 1997.
- [17] Gingele F X. Holocene climatic optimum in Southwest Africa—evidence from marine clay mineral record [J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1996, 122(1): 77-87.
- [18] Chamley H. Clay Sedimentology [M]. Berlin: Springer, 1989.

- [19] 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 (3-4): 213-231.
- [20] 万世明. 近2千万年以来东亚季风演化的南海沉积矿物学记录[D]. 博士学位论文. 北京:中国科学院海洋研究所, 2006. [WAN Shiming. Evolution of the East Asian monsoon: mineralogical and sedimentologic records in the South China Sea since 20 Ma [D]. Dissertation for the Doctoral Degree. Beijing: Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, 2006.]
- [21] 杨雅秀, 张乃娴, 苏昭冰, 等. 中国黏土矿物[M]. 北京: 地质出版社, 1994: 143-150. [YANG Yaxiu, ZHANG Naixian, SU Zhaobing, et al. Clay Minerals in China [M]. Beijing: Geological Press, 1994: 143-150.]
- [22] 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.
- [23] Wan Shiming, Yu Zhaojie, Clift P D, et al. History of Asian eolian input to the West Philippine Sea over the last one million years [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2012, 326-328(1): 152-159.
- [24] Wan Shiming, Li Anchun, Xu Kehui, et al. Characteristics of clay minerals in the northern South China Sea and its implications for evolution of East Asian Monsoon since Miocene [J]. *Journal of the China University of Geosciences*, 2008, 19(1): 23-37.
- [25] Nagel U, Muller G, Schumann D, et al. Mineralogy of sediments cored during Deep Sea Project Leg 58-60 in the North and South Philippine Sea: Results of x-ray diffraction analyses[C]// In: Hussong D M, Uyeda S, Blanchet R, et al. (Eds.). Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. Washington: U. S. Government Printing Office, 1981, 60: 415-435.
- [26] Huang Jie, Li Anchun, Wan Shiming. Sensitve grain-size records of Holocene East Asian summer monsoon in sediments of northern South China Sea slope [J]. *Quaternary Research*, 2011, 75: 734-744.
- [27] 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. [LI Guogang. The composition, distribution and geological significance of the clay minerals in China offshore surface sediment [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 1990, 12(4): 470-479.]
- [28] 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(3-4): 561-582.
- [29] Ji Junfeng, Chen Jun, Lu Huayu. Origin of illite in the loess from the Luochuan area, Loess Plateau, Central China [J]. *Clays and Clay Minerals*, 1999, 34(4): 525-532.
- [30] Pettke T, Halliday A N, Hall C M, et al. Dust production and deposition in Asia and the north Pacific Ocean over the past 12 Myr [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2000, 178(3-4): 397-413.
- [31] Arnold E, Merrill J, Leinen M, et al. The effect of source area and atmospheric transport on mineral aerosol collected over the North Pacific Ocean [J]. *Global and Planetary Change*, 1998, 18(3-4): 137-159.
- [32] Griffin J J, Windom H, Goldberg E D. The distribution of clay minerals in the world ocean [J]. *Deepsea Research*, 1968, 15(4): 433-459.
- [33] Windom H L. Lithogenous material in marine sediments[C]// *Chemical Oceanography*, Volume 5. New York: Academic Press, 1976: 103-135.
- [34] Kolla V, Nadler L, Bonatti E. Clay mineral distributions in surface sediments of the Philippine Sea [J]. *Oceanologica Acta*, 1980, 3(2): 245-250.

QUATERNARY ASSEMBLAGE CHARACTERISTIC AND PROVENANCE OF CLAY MINERALS IN THE PARECEVELA BASIN OF THE EAST PHILIPPINE SEA

MING Jie^{1,2}, LI Anchun¹, MENG Qingyong¹, WAN Shiming¹ YAN Wenwen³

(1 Key laboratory of Marine Geology and Environment, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2 Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China.)

Abstract: Using XRD method, the clay minerals of two Quaternary cores F090815 and F100609 located in Parece Vela Basin, East Philippine Sea were studied in this article. The results show that there are some differences in mineral assemblage between the north and the south. In the southern core F090815 the most abundant content is smectite (50%), then illite (37%), and the lowest is kaolinite and chlorite (13%); however, in the northern core F100609 the most abundant content is illite (47%), then smectite (39%), and the lowest is kaolinite and chlorite (14%). According to contents and characteristic of clay minerals, both the cores F090815 and F100609 can be divided into four parts. According to assemblage characteristic, chemical index and crystallinity of clay minerals, we think that smectites were originated from submarine basalt alteration in the Mariana Trough; while illites were derived mainly from the west continent under strongly physical weathering probably associated with the formation of loess in the East Asia continent, so were kaolinite and chlorite.

Key words: clay minerals; provenance; Quaternary; East Philippine Sea; Parece Vela Basin