

马里亚纳海槽和西菲律宾海盆更新世以来沉积物中的粘土矿物¹

张德玉

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

摘要 根据三个沉积岩芯的研究, 马里亚纳海槽和西菲律宾海盆更新世以来的沉积物中粘土矿物明显不同: 前者以海槽内基性火山物质蚀变形成的蒙皂石为主, 伴随少量铁镁绿泥石和伊利石; 后者以来自海盆以西陆上岩石风化形成的伊利石为主, 其次为蒙皂石、普通绿泥石和高岭石。这种差别除与物源有关外, 主要与两个海盆中的火山活动有关。海槽内粘土矿物也有差异, 迷可能与海底热液活动的影响有关。古气候对粘土矿物也有影响, 但在海槽则被频繁火山活动所掩盖。

关键词 马里亚纳海槽 西菲律宾海盆 粘土矿物 成因 影响因素

作者简介 张德玉 男 42 岁 助理研究员 海洋沉积学及粘土矿物学

引言

对马里亚纳海槽和西菲律宾海盆沉积物中的粘土矿物, 前人已做过一些研究。Kolla et al (1980) 曾就菲律宾海表层沉积物中粘土矿物的分布进行了研究; Latouche et al (1982)、Nagel et al (1982) 及 Chamley (1980) 对该海区深海钻探岩芯中的粘土矿物进行了研究; Desprairies (1982) 对马里亚纳海槽的自生粘土矿物也进行了研究。这些研究为深入了解两个海盆的发育历史、火山活动以及沉积作用特征等提供了重要资料。

本文拟对 1988 年中-西德合作“太阳号”57 航次在上述两海盆中取得的三个有代表性的沉积岩芯 (61KL、57KL、85KL) 进行粘土矿物研究。其中 61KL 和 57KL 分别取自马里亚纳海槽 Pagan 断裂带以南 4690m 深的轴部裂谷内和该断裂带以北 3680m 深的断块海山上 (图 1), 并均由富

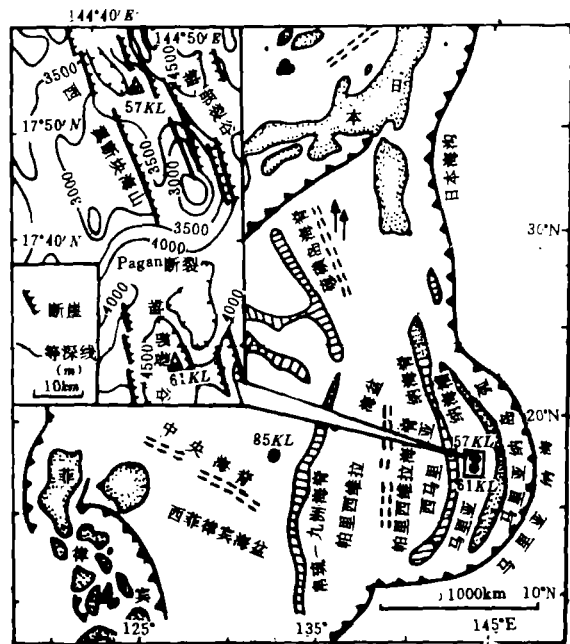


图 1 岩心位置图

Fig.1 Location of the cores studied

¹ 化学分析由本所周希林、高素兰协助完成, 图件由吴颖生、刘建立清绘, 在此一并致谢。

含火山灰的粘土质粉砂或粉砂质粘土组成；85KL 取自西菲律宾海盆东部、帛琉-九州海脊西麓 5900m 水深处（图 1），并主要由深海褐色粘土组成。根据古地磁、微体古生物和钙质超微体化石资料，这三个岩芯均为更新世以来的沉积。本文旨在论述其中的粘土矿物特征及分布，并对其来源、成因及影响因素等进行探讨。

1 分析方法

从上述岩心共取样 79 个进行 X 射线分析，对其中 32 个样品进行了化学分析。

各项分析均在 $< 2\mu\text{m}$ 粘土组分中进行。该组分是在除去可溶性盐类、经超声波分散后，用沉降法反复提取获得。其中 CaCO_3 和有机质分别用 3% 冷 HCl 和 30% H_2O_2 去除。

X 射线分析主要在涂抹定向片上，利用 Y-2 型 X 射线衍射仪， $\text{CuK}\alpha$ 辐射，Ni 滤波进行。对同一块涂抹片分别做了未处理、乙二醇蒸气饱和、加热 $350^\circ\text{C} / 2\text{h}$ 和 $550^\circ\text{C} / 1\text{h}$ 等处理。

粘土矿物鉴定及其半定量估算主要依 Biscaye (1965) 和 Brindley et al (1980) 的方法进行。其中铁镁绿泥石和普通绿泥石主要按照 Sudo et al (1978) 提出的方法，根据其底面反射强度来区分。对蒙皂石结晶度的评价主要按 Biscaye 的方法进行。关于各粘土矿物的衍射特征和鉴定可参见图 2。

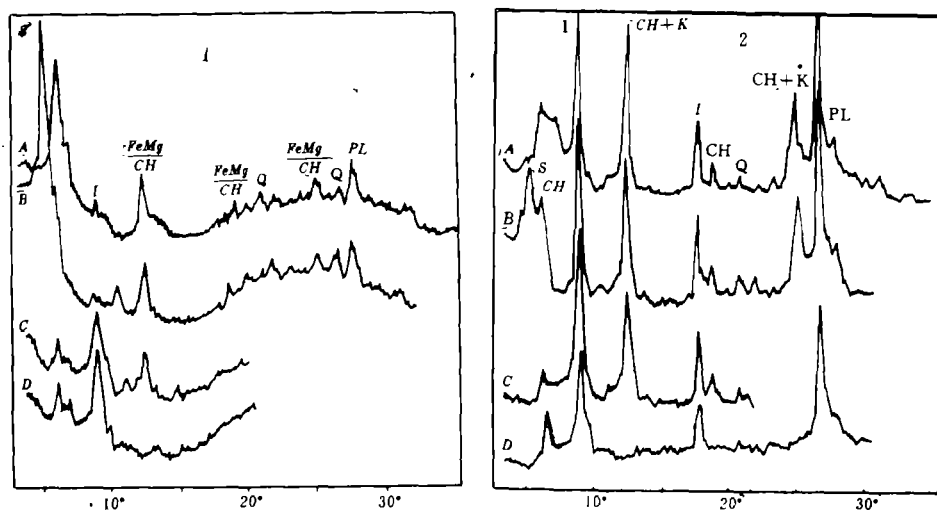


图 2 马里亚纳海槽和西菲律宾海盆岩芯中粘土矿物的 X 射线衍射图谱

Fig.2 X-ray diffractograms of clay minerals in the cores from the Mariana Trough and the West philippine Basin

1. 马里亚纳海槽轴部裂谷内的岩芯 (61KL); 2. 西菲律宾海盆的岩芯 (85KL); A-未处理; B-乙二醇饱和处理; C-加热 $350^\circ\text{C} / 2\text{h}$; D-加热 $550^\circ\text{C} / 1\text{h}$; I-伊利石; S-蒙皂石; FeMg CH-铁镁绿泥石; CH-普通绿泥石; K-高岭石; 非粘土矿物; PL-斜长石; Q-石英

粘土化学成分分别用 Y-2 型原子吸收光谱仪 (K、Na、Ca、Mg、Mn、Fe) 和 ICP-ASS 方法 (Si、Al、Ti) 进行法。

2 分析结果

2.1 粘土矿物组合及分布特征

X 射线分析表明, 马利亚纳海槽主要以富含蒙皂石为特征, 伴有少量铁镁绿泥石和伊利石, 未见高岭石 (图 2-1)。蒙皂石结晶较好 ($V/P=0.7-0.8$), 并具典型的二八面体结构特征 ($d(060)=1.498-1.513\text{\AA}$)。其含量普遍高于 60%, 而铁镁绿泥石和伊利石大都低于 20% (图 3, 4)。在不同构造部位, 粘土矿物特征及分布有明显差异。在轴部裂谷内

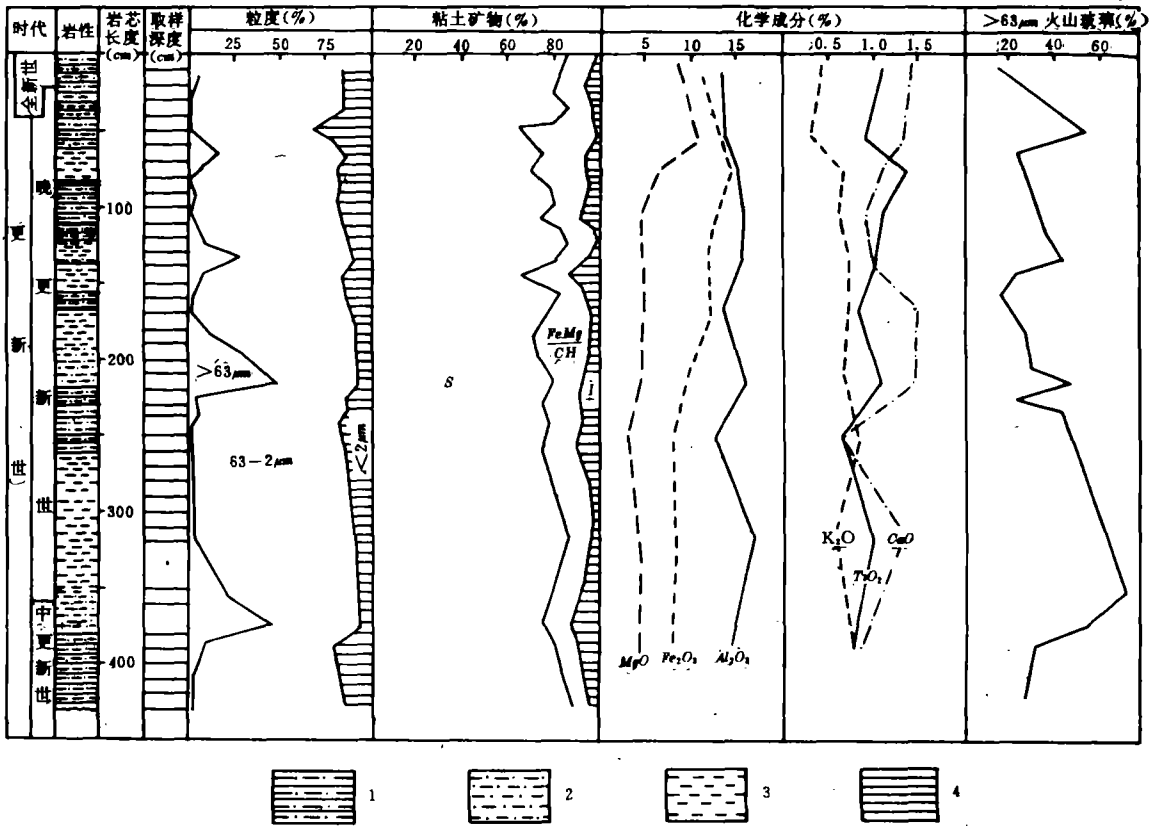


图 3 61KL 岩芯中粘土矿物的分布

Fig.3 Clay mineral distribution in Core 61KL

1.粘土质粉砂; 2.砂质粉砂; 3.粉砂; 4.粘土

(61KL, 图 3), 蒙皂石含量普遍较高 (>65%; 平均: 75%), 而伊利石含量普遍较低 (<13%; 平均: 6%); 但在断块海山上 (57KL, 图 4), 蒙皂石普遍减少 (<65%, 平均: 63%), 而伊利石明显增多 (最高达 30%, 平均: 20%)。FeMg 绿泥石含量变化不大

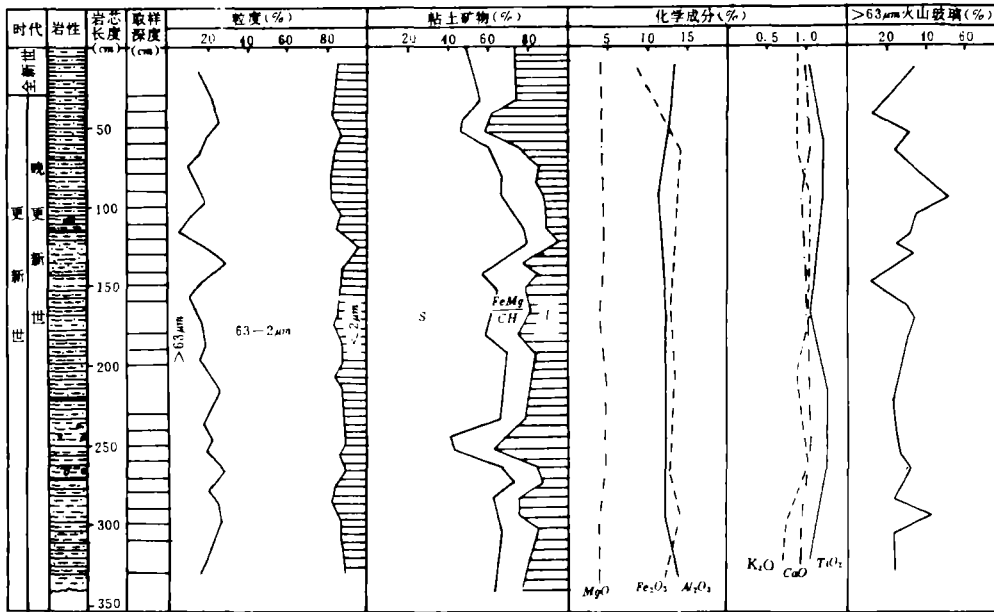


图4 57KL岩芯中粘土矿物的分布

Fig.4 Clay mineral distribution in Core 57KL

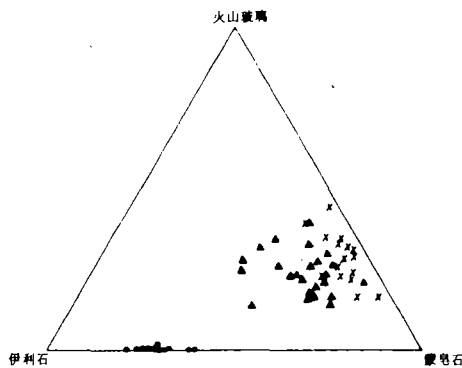


图5 火山玻璃-蒙皂石-伊利石之间的关系

Fig. 5 Relations among volcanic glass, smectite and illite

X-61KL; ▲-57KL; ●-85KL

(图3, 4)。在垂向分布上, 主要特征是蒙皂石和铁镁绿泥石的含量变化与火山玻璃的多少有关, 而伊利石则与此无关(图3, 4)。由图5也可看出, 当火山玻璃含量较高时, 蒙皂石含量相应较高, 而伊利石含量却很低。经镜下鉴定, 火山玻璃主要以基性为主。此外, 蒙皂石和伊利石与沉积物粒度之间的关系也不同: 蒙皂石含量与粉砂(63-2µm)量有关, 而与<2µm粘土量无关; 但伊利石则主要与粘土量有关(图3, 4)。这些特征反映出蒙皂石以及铁镁绿泥石在成因和来源上可能与伊利石完全不同。关于不同构造部位粘土矿物特征上的差异, 主要表现在蒙皂石的d(060)上: 在轴部裂谷内, 其d(060)均在1.498Å-1.507Å内; 而在断块海山口, 大都在1.5030Å-1.513Å

内。二八面体蒙皂石的d(060)一般随其结构层中含铁量增高而加大(Russell et. al, 1978)。因此上述差异反映出海槽内不同构造部位的蒙皂石含铁量可能不同。

西菲律宾海盆则以结晶较好的伊利石为主, 其次为结晶较差的蒙皂石 ($V/P=0.5-0.6$) 及少量普通绿泥石和高岭石 (图 2-2)。伊利石含量普遍大于 50%, 平均为 56%; 而蒙皂石最多在 30% 左右, 平均仅 24%; 其余两种矿物总平均含量仅占 20% (图 6)。在垂直方向上, 各粘土矿物含量变化幅度都很小。此外, 伊利石和蒙皂石的分布均与粘土量有关, 而与粉砂量无关 (图 6)。这些特征与海槽的粘土矿物形成了鲜明的对比, 反映了两海盆中粘土矿物来源和成因的不同。

2.2 粘土矿物化学特征

由表 1 可见, 马里亚纳海槽和西菲律宾海盆的粘土化学成分明显不同: 前者 Fe、Mg 含量相对较高、Al、K 含量相对较低; 后者恰好相反。在海槽内不同构造部位、粘土化学成分也不同: 相对于轴部裂谷的粘土而言, 断块海山上的粘土含 Fe 量较高, 而含 Al、Mg 量较低。这反映出粘土矿物的化学特征可能有较大不同。

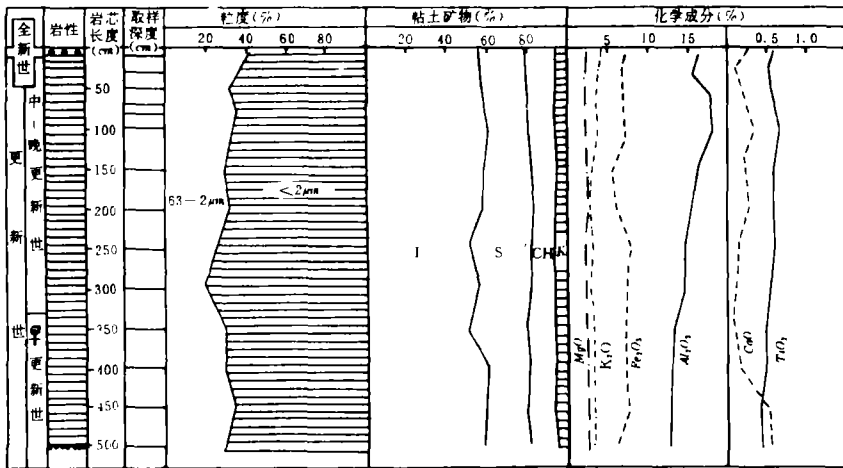


图 6 85KL 岩芯中粘土矿物的分布

Fig.6 Clay mineral distribution in Core 85KL

表1 马里亚纳海槽和西菲律宾海盆岩芯中 $<2\mu\text{m}$ 粘土的平均化学组成Table1 Average chemical composition of the $<2\mu\text{m}$ clay in the cores from the Mariana Trough and the West Philippine Basin

化学成分	岩芯	马里亚纳海槽		西菲律宾海盆
		57KL (%)	61KL (%)	85KL (%)
SiO ₂		50.49	51.59	49.64
Al ₂ O ₃		12.68	14.69	15.22
Fe ₂ O ₃		12.57	10.99	6.89
MnO		0.43	0.20	0.85
MgO		4.02	5.96	3.75
CaO		0.88	1.15	0.24
K ₂ O		0.96	0.63	2.39
Na ₂ O		1.49	1.30	3.87
TiO ₂		1.13	0.97	0.54
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		4.00	3.54	3.31
Ti/Al		0.10	0.08	0.04
Fe/Al		1.30	1.11	0.06
Al/Al+Fe+Mn		0.43	0.47	0.59

* 去除 CaCO 后的化学成分

表2 粘土矿物与 $<2\mu\text{m}$ 粘土中有关化学成分的相关分析Table2 Correlation analysis between clay minerals and some chemical compositions in the $<2\mu\text{m}$ clay fraction

化学成分	相关系数 (r)	粘土矿物	马里亚纳海槽						西菲律宾海盆		
			61KL			57KL			85KL		
			蒙皂石	FeMg 绿泥石	伊利石	蒙皂石	FeMg 绿泥石	伊利石	蒙皂石	伊利石	普通绿泥 石
Fe ₂ O ₃			-0.7	0.8	/	0.6	-0.2	/	0.2	/	-0.1
Al ₂ O ₃			0.3	/	/	-0.7	/	/	-0.2	0.5	/
MgO			-0.3	0.7	/	0.5	0.4	/	-0.4	/	0.8
K ₂ O			/	/	0.6	/	/	0.6	/	0.6	/

然而, 仅就 $<2\mu\text{m}$ 粘土的化学成分很难准确地了解各粘土矿物的化学特征。但通过主要粘土矿物与粘土中有关化学成分的相关性分析, 则可大体了解它们的某些化学特征。表 2 所列为粘土矿物与有关化学成分的相关系数 (r)。该结果与图 3 至图 5 中粘土矿物和这些化学成分分布基本相符。由表 2 中结果可得到如下初步认识: (1) 马里亚纳海槽轴部裂谷内的蒙皂石可能含 Fe、Mg 较少; 而断块海山上的蒙皂石可能含 Fe、Mg 较多, 含 Al 较少。该结果与上述蒙皂石的 $d(060)$ 变化基本相符; (2) FeMg 绿泥石以含大量 Fe、Mg 为特征, 至于海山岩芯中出现的它与 Fe_2O_3 和 MgO 的不正常关系, 可能与该处蒙皂石也含较多 Fe 有关; (3) 西菲律宾海盆的蒙皂石很少或基本不含 Fe, 而绿泥石主要以富 Mg 为特征, 至于伊利石, 主要以富 K、Al 为特征。

此外, 在马里亚纳海槽和西菲律宾海盆, 粘土的 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 Fe/Al 、 Ti/Al 以及 $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 均明显不同 (表 1)。这对于分析粘土矿物来源和成因具有一定意义。

3 讨论

3.1 粘土矿物的来源和成因

伊利石 主要是来自菲律宾海以西和西北周围陆上岩石的风化产物。其主要依据是: (1) 菲律宾海以西和西北陆地或岛屿上出露有大量火成岩、变质岩和较老的沉积岩。它们自晚中新世以来向该海区提供了大量富含伊利石的沉积物; (2) 根据深海钻探研究, 在整个菲律宾海伊利石由西向东逐渐减少。该趋势自晚中新世以来基本未变; (3) 根据 Fe/Al , 东陆源物质减少, 火山物质增多。这与伊利石的分布趋势相吻合。

绿泥石 西菲律宾海盆的绿泥石为远洋沉积物中常见的普通绿泥石。它主要由陆上岩石, 特别是变质岩和较老沉积岩风化剥蚀而成。因此它和伊利石一样主要来自菲律宾海以西陆地, 特别是变质岩和较老沉积岩分布区。Kolla et. al (1980) 和 Chamley (1980) 的研究为此提供了大量证据。

关于马里亚纳海槽的 FeMg 绿泥石, 根据它与火山玻璃的关系, 很可能是由海槽内基性火山物质蚀变而成。Desprairies (1982) 的研究也证明, 该矿物是海槽内普遍存在的一种由洋底玄武岩蚀变形成的自生矿物。Siever et. al 对洋底拉斑玄武岩蚀变的研究则进一步表明, 该矿物是此类岩石蚀变序列中某一阶段的产物 Copenland, et. al, 1991, 此外, 根据该矿物仅发现于马里亚纳海槽这一事实, 也说明它是形成于该海槽的自生矿物。

蒙皂石 根据上述该矿物的含量、结晶度、与火山玻璃和沉积物粒度之间的关系以及粘土组分中 Fe/Al 、 Ti/Al 和 $\text{Al}/(\text{Al}+\text{Fe}+\text{Mn})$ 比值等, 可以断定马里亚纳海槽的蒙皂石主要由海底基性火山物质就地蚀变而成。由前人对菲律宾海中蒙皂石分布特征的研究 (在马里亚纳海槽, 蒙皂石含量最高; 向其周围, 则明显降低。) 也可证明, 该矿物主要形成于马里亚纳海槽。当然, 因矿物颗粒大小不同而产生的颗粒重力分异作用也会造成由陆向海蒙皂石增多的趋势, 但如此形成的蒙皂石结晶度往往较低, 而且其最高含量也不会如此集中于马里的海槽。因此有理由认为, 该矿物主要是由海槽内基性火山物质就地蚀变而成的自生矿物。这与 Desprairies (1982) 得出的结论一致。

然而, 西菲律宾海盆的蒙皂石则很可能是在它地形成后, 经过搬运和沉积作用的碎屑矿

物。特别是该海盆岩芯中火山物质的缺失,进一步说明它不可能是由火山物质就地蚀变而成。其来源主要有两种可能:一是火山碎屑矿物来源于该海盆东部帛琉-九州海脊上基性火山物质的蚀变;其次是陆源碎屑矿物来源于该海盆以西陆上非火山岩石的风化。但目前对后一种来源尚有争议。笔者根据此处蒙皂石与大量陆源碎屑矿物伴生这一事实,认为该来源是存在的,但由它带入的蒙皂石量可能很少。

高岭石 仅见于西菲律宾海盆岩芯。根据 Chamley (1980),它主要是西南亚州大陆上的火成岩在温暖潮湿条件下形成的风化产物。

3.2 影响粘土矿物组合、分布的主要因素

3.2.1 火山活动

据深海钻探研究,马里亚纳海槽开始形成于晚中新世晚期,而至今仍是一个活动着的年青海盆 (Karig, 1975)。其中火山活动十分频繁,尤其在 NW 向延伸的小扩张脊上,新的火山活动时时有发生。位于海槽东界的马里亚纳岛弧上火山活动也未间断过,向该海槽提供了大量火山物质,为大量蒙皂石的形成提供了雄厚的物质基础。西菲律宾海盆则形成于始新世,至中中新世其活动已基本停止。因此中中新世以前它和今天的马里亚纳海槽一样,火山活动频繁,蒙皂石含量也相应很高。但自中中新世以后,由于火山活动逐渐减弱,火山物质不断减少,而陆源物质相应增多。因此晚中新世以来,蒙皂石不断减少,而伊利石等陆源碎屑矿物不断增加。可见,火山活动是控制这两个海盆中粘土矿物组合、分布的最重要因素。

3.2.2 物质来源

如上所述,由于火山活动的变化,西菲律宾海盆和马里亚纳海槽所接受的物质也发生变化,从而导致西菲律宾海盆以陆源碎屑粘土矿物为主,而马里亚纳海槽则以火山物质蚀变而成的自生粘土矿物为主。关于马里亚纳海槽不同构造部位粘土矿物含量的差别,也可能与来自海槽东面火山裙的大量火山浊积物有关。

3.2.3 海底热液活动

马里亚纳海槽不同构造部位上蒙皂石化学特征的不同可能是受海底热液活动的影响所致。根据目前的研究,海底玄武岩与海水反应(海解作用)往往形成 Al 多 Fe 少的粘土矿物,但与海底热液反应则多形成 Fe 多 Al 少的矿物 (Alt et. al, 1984)。关于该海槽热液活动的存在,已被众多新的发现所证实。如 1988 年中-西德合作“太阳号”57 航次就在 57KL 岩芯以北约 35km 处发现大量热液烟囱物;在该岩芯西北 40km 处也发现有热液活动 (Londale)。另据 Abbott et. al (1983) 报导,在该海槽沉积厚度小于 100-150m 的区域普遍存在着热液循环作用。这种情况在海山上存在的可能性较大,而在裂谷内可能性较小。因此断定,轴部裂谷内的蒙皂石主要与烂物质的海解作用有关,而断块海山上的蒙皂石可能与海底热液活动的影响有关。

3.2.4 古气候变化

据孢粉研究,自晚中新世以来全球出现不定期变冷的气候。此种气候使成土作用减弱,从而不利于高岭石形成,但却有利于伊利石形成。西菲律宾海盆大量伊利石的存在可能与这种气候变化有关。然而马里亚纳海槽内此种影响却无任何反映,这主要是由于海槽内大量的火山活动已将气候变化的影响掩盖起来所致。可见,在火山活动区观察气候对粘土矿物的影响是相当困难的。

几点认识

(1) 马利亚纳海槽和西菲律宾海盆更新世以来沉积物中粘土矿物明显不同: 前者以基性火山物质蚀变形成的自生粘土矿物为主; 后者则以来自海盆以西陆上岩石风化形成的碎屑粘土矿物为主, 但其中大部分蒙皂石主要来自海盆东部基性火山物质的蚀变。

(2) 火山活动和物质来源是影响两海盆中粘土矿物组合、分布的主要因素, 古气候变化也有影响, 但在火山活动强烈的海区此种影响常被掩盖。

(3) 海水和海底热液与基性火山岩反应常形成化学成分不同的粘土矿物。马利亚纳海槽不同构造部位蒙皂石化学特征的不同很可能与海底热液活动的影响有关。

收稿日期: 1991 年 4 月 12 日

参 考 文 献

- (1) Kolla, V., Nadler, L. & Bonatti, E., 1980, Clay mineral distributions in surface sediments of the philippine sea. *Oceanologica Acta*, vol. 3, p.245-250
- (2) Latouche, C. & Maillet, N., 1982, X-ray mineralogy studies. Deep Sea Drilling Project Leg 60, In: Hussong, D. M. et al., (eds) Initial Reports of DSDP, vol.60, p.437-453
- (3) Nagel, U. & Schumann, D., 1982, Mineralogy of sediments cored during Deep Sea Drilling Project Legs 58-60 in the north and south Philippping Sea: Results of X-ray diffraction analyses. In: Hussong, D. M. et al., (eds) Initial reports of DSDP, vol. 60, p.415-435
- (4) Chamley, H., 1980, Clay sedimentation and paleoenvironment in the Shikoku Basin since the Middle Miocene, (Deep Drilling project, Leg 58, North philippine Sea), Initial reports of DSDP, vol. 58, p.669-678
- (5) Desprairies, A., 1981, Authigenic minerals in volcanogenic sediments cored during Deep Sea Drilling Project Leg 60. In: Hussong, D. M. et al. (eds.), Initial reports of DSDP, Vol.60, p.455-465
- (6) Biscaye, P. E. 1965, Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Am. Geol. Soc. Bull.*, vol.76, p.803-832
- (7) Brindley, G. W. & Brown, G., 1980, crystal sturctures of clay minerals and their X-ray identification. Mineralogical Society, London, P.495
- (8) Sudo, T. & Shimoda, S., 1978, Clays and clay minerals of Japan. *Development in Sedimentology*, 26, Amsterdam, p.20-70
- (9) Russell, J. D. & Clark, D. R., 1978, The effect of Fe for Si substitution on the b-dimension of nontronite. *Clay Minerals*, vol.13, p.133-137
- (10) Copeland, R.A. et al., 1971, origin of clay minerals in a Mid-Atlantic Ridge sediments. *Earth Planet. Sci. Lett* vol.10, p.133-137
- (11) Karig, D. E., 1975, Basin genesis in the philippine Sea. In: D. K. Karig, et al. (eds.), Initial reports of DSDP, vol.31, p.857-880
- (12) Alt, J. C. & Honnorez, J., 1984, Alteration of the upper oceanic crust, DSDP site 417: Mineralogy and chem-

istry. *Contrib. Mineral Petrol.*, vol.87, p.149-169

- (13) Londale, p. & Hawkins, J., 1985, Silicic volcanism at an off-axis geothermal field in the Mariana Trough back-arc basin. *Am. Geol. Soc. Bull.*, vol.96, p.940-951
- (14) Abbott, D. H., Menke, W. & Morin, R., 1983, Constraints upon water advection in sediments of the Mariana Trough. *J. Geophys. Res.*, vol.88, p.1075-1093.

Clay Mineralogy of the Sediments Deposited Since the Pleistocene in the Mariana Trough and the West Philippine Basin

Zhang Deyu

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao, China)

Abstract

Clay mineralogy of the sediments deposited since the Pleistocene in the Mariana Trough and the West Philippine Basin was investigated by means of X-ray diffractometry and chemical analysis, based on three sediment cores (61KL, 57KL, 85KL) collected during the "SONNE" Cruise 57 in 1988. Predominant, well-crystallized smectite, with certain amount of Fe Mg chlorite, small amount of illite and no kaolinite, were identified in the sediments of the Mariana Trough (61KL, 57KL). Smectite and Fe Mg chlorite are authigenic in origin and were mainly formed by submarine alteration of basic volcanic material in the Trough, whereas illite is detrital in origin and was mainly derived from the continents west of the Philippine Sea. In the sediments of the West Philippine Basin (85KL), however, illite is predominant, followed by certain amount of poorly-crystallized smectite, small amount of normal chlorite and kaolinite. These minerals are chiefly detrital in origin and were mostly derived from the continents west and northwest of the Philippine Sea, except for smectite which may be mostly derived from the alteration of basic volcanic material on the Palau-Kyushu Ridge east of the basin, but at least small part of the smectite may probably be derived from the nonvolcanic rocks on the land.

The main factors affecting the associations and distributions of clay minerals in the Mariana Trough and the West Philippine Basin were discussed. The volcanic activity is the most important factor controlling the clay mineral associations and distributions of the two basins. Material sources also play an important role. The variations in chemical characteristics of clay minerals found in the Mariana Trough may reflect the influence of submarine hydrothermal activities possibly present in this basin. The changes in paleoclimate is an important factor controlling the clay mineral distributions, but in the Mariana Trough such an influence is seriously masked by the frequent volcanic activities.