

西菲律宾海沉积物矿物组合及其地质意义*

石学法 陈丽蓉 李坤业 杨惠兰

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

摘要 用 X 射线衍射法测试了 1988 年取自西菲律宾海 3 个柱样共 52 个沉积物样品的矿物组成。结果表明,沉积物中主要矿物为方解石、石英、斜长石和钾长石,次要矿物为高岭石、绿泥石、角闪石、斜发沸石、水云母、蒙脱石和滑石。划分出两类矿物组合:(1)方解石+石英+斜长石+钾长石,水云母含量高,角闪石、斜发沸石和滑石含量低;(2)斜长石+方解石+石英+钾长石,角闪石、斜发沸石和滑石含量高,水云母含量低。(1)类矿物组合反映陆源物质较多,火山沉积作用较弱;(2)类组合反映火山沉积物较多,陆源物质较少。矿物组合的变化还具有地层学意义,并可反映古气候的演化。

关键词 西菲律宾海 矿物组合

对海洋沉积物矿物组合的研究,一般遵循两种途径,一是对特定粒级和比重的矿物进行

研究,这是一种经典的方法,我国迄今已积累了大量的资料;二是对沉积物全样矿物组合进行研究,借助于 X 射线衍射法完成。该方法发展较晚,但它测量简便,速度快,对样品无破坏作用,能直接测定沉积物中各粒组的矿物晶体的原始分布和结构,充分反映自然环境中原始矿物状态和沉积物组合。因而在海洋地质中的应用日见广泛(俞旭等,1984)。我国在这方面起步较晚,80 年代才开始进行研究(俞旭等,1982),至今少见报道。本文主要应用 X 射线衍射法,对“科学一号”考察船 1988 年取自西菲律宾海区的 3 个沉积物柱样(WP1, WP2 和 WP40)进行系统的矿物组合研究,引进成因矿物学方法,探讨沉积物的来源、沉积环境以及古气候特征,并进行地层划分。

1 研究区概况

研究区位于西菲律宾海域。WP1 柱样(13°47'N, 125°34'E, 水深 2 208m), 在吕宋岛东 600 km 处; WP2 柱样(6°20'N, 126°26'E,

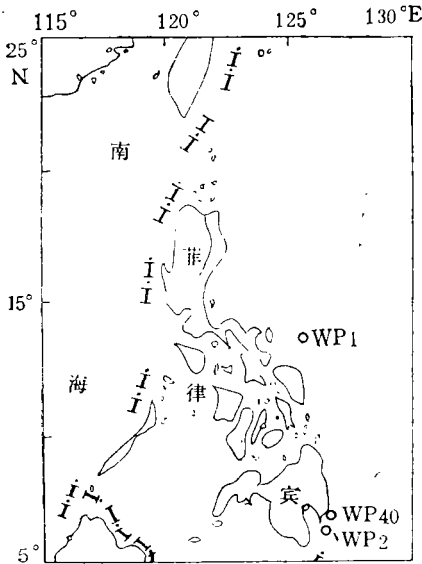


图 1 西菲律宾海取样站位图
Fig. 1 Sampling stations in West Philippine Sea

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2307 号。国家自然科学基金资助, 49176264 号。

收稿日期: 1993 年 1 月 30 日, 接受日期: 1994 年 1 月 9 日。

水深 1 580m) 和 WP40 柱样 (6°51'N, 126°38'E, 水深 2 540m), 西临棉兰老岛 (图 1)。从大地构造位置上看, 3 个柱样处于板块聚合带, 属构造活动区, 其中 WP1 柱样点位于菲律宾海沟东侧, WP2 和 WP40 柱样点位于海沟西侧。

2 柱样特征及实验方法

2.1 柱样特征 WP1 样长为 227cm, WP2 样长为 195 cm, WP40 为 175 cm。3 个柱样沉积物皆以粉砂质粘土为主, 夹粘土质粉砂, 其中 WP1 柱样含少量中细砂, 其他两个柱样含细砂。各柱样沉积物都可根据颜色变化分为 3 部分: 上部为黄褐色、棕红色交互; 中部为黄色; 下部为灰色、绿灰色。

2.2 实验方法 在进行 X 射线衍射分析之前, 先对沉积物做涂片, 在显微镜下观察, 发现沉积物的主要成分为长石、石英、生物碎屑、云母、粘土类矿物以及火山灰, 见有角闪石和辉石。

X 射线衍射分析法, 取原样 2g 左右, 烘干后在玛瑙钵中研磨成小于 200 目的粉末, 用压片法制成非定向片, 仪器为 DMAX-A 型强力转靶衍射仪(日本), Cu 靶, SS-1°, $R_s=0.15\text{mm}$, 扫描速度为 $2^\circ(2\theta)/\text{min}$, 扫描范围为 $4-60^\circ(2\theta)$, 所有样品均在同一实验条件下完成。

3 矿物组合特征

据衍射图谱上各矿物的特征衍射峰, 并核对其他的主要峰值, 共识别出 11 种矿物: 方解石、石英、斜长石、钾长石、高岭石、绿泥石、角闪石、斜发沸石、水云母、蒙脱石和滑石。水云母包括各种云母和伊利石。矿物定量计算所选择的特征峰和强度因子列于表 1。据表 1 计算 3 个柱样共 52 个样品的矿物含量。限于篇幅, 表 2 仅列出每个柱样的矿物含量变化范围和平均值。

表 1 矿物特征衍射峰及其强度因子

Tab. 1 Characteristic diffractive peaks and the intensity factors

矿物 特征峰(Å)	方解石 3.04—3.01	斜长石 3.21—3.16	钾长石 3.26—3.21	石 英 3.35—3.31	蒙脱石 16—14
强度因子	1.65	1.50	1.50	1.00	3.00
矿物 特征峰(Å)	高岭石+绿泥石 7.25—7.02	角闪石 8.59—8.27	斜发沸石 9.11—8.84	水云母 1.02—9.70	滑 石 9.61—9.25
强度因子	2.25	2.50	1.56	6	2.56

由表 2 可见, 沉积物中含量最高的 3 种矿物为方解石、斜长石和石英; 其次为钾长石。这 4 种矿物占沉积物总量的 75%—92%。沉积物的矿物组合主要指这 4 种矿物的组合。就平均含量来看, WP1 柱样方解石含量最高, 斜长石和石英次之, 二者含量相近; WP2 和 WP40 柱样斜长石含量最高, 其次为方解石, 再次为石英。总的来看, 研究区可划分出两类矿物组合: (1) 方解石+石英+斜长石+钾长石, 水云母含量高, 角闪石、斜发沸石和滑石含量低; (2) 斜长石+方解石+石英+钾长石, 角闪石、斜发沸石和滑石含量高, 水云母含量低。WP1 柱样大多为(1)类矿物组合, WP2 和 WP40 柱样主要为(2)类组合。

为更清楚地反映方解石、斜长石、石英和钾长石 4 种矿物的关系, 计算了石英/斜长石, 石英/方解石和石英/钾长石比值, 将其平均值和变化范围列于表 2。从这几个比值来

看,石英/斜长石比值可以作为一个标志性的比值;WP1 柱样石英/斜长石比值在 1 左右,WP2 和 WP40 柱样该比值皆小于 1;大部分样品的比值小于 0.5。

另外,值得注意的是,几乎所有样品斜长石衍射图谱中都呈明显的双峰, d 值分别为 $3.16\text{--}3.19\text{ \AA}$ 和 $3.19\text{--}3.21\text{ \AA}$,这显然说明沉积物中存在两种类型的斜长石。限于实验条件,目前不能区分二者的详细特征,暂以其峰高比值斜长石(1)/斜长石(2)表示二者的含量比(表 2)。

表 2 沉积物矿物含量(%)及特征矿物比值

Tab. 2 Mineral contents and characteristic mineral ratios of sediment in West Philippine Sea

矿 物	WP1($n = 17$)			WP2($n = 21$)			WP40($n = 14$)		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
方解石	14.7	42.7	27.6	14.6	41.5	28.0	17.2	34.5	24.4
斜长石	12.6	56.5	25.0	14.7	49.6	33.4	24.5	51.5	34.9
钾长石	2.7	23.9	8.6	0.0	9.7	4.9	1.7	13.6	5.6
石 英	13.6	28.7	21.5	8.0	16.1	11.6	7.7	24.6	15.6
高岭石+绿泥石	1.4	6.7	4.2	1.9	7.2	3.5	2.4	4.2	3.2
角闪石	0.8	9.8	2.7	1.4	19.9	5.3	1.4	9.3	3.7
斜发沸石	0.0	4.2	1.2	2.0	8.0	4.0	2.5	7.1	4.2
水云母	1.4	8.6	5.2	0.0	6.5	2.9	0.0	4.6	2.3
蒙脱石	2.1	5.5	3.8	0.0	8.0	4.7	2.6	4.6	3.4
滑 石	0.0	1.1	0.3	0.0	4.7	1.1	0.0	6.2	2.4
石英/方解石	0.25	0.93	0.50	0.13	0.51	0.26	0.22	0.67	0.40
石英/斜长石	0.24	2.06	1.09	0.22	0.77	0.38	0.15	0.88	0.51
石英/钾长石	0.86	5.45	3.26	0.95	6.89	3.00	1.38	7.22	3.50
斜长石(1)/斜长石(2) ¹⁾	0.83	3.30	1.50	0.51	3.00	1.30	0.67	1.70	1.10

1) 斜长石(1)指 $3.16\text{--}3.19\text{ \AA}$ 的斜长石;斜长石(2)指 $3.19\text{--}3.21\text{ \AA}$ 的斜长石。

4 矿物及矿物组合在纵向上的变化

虽然上面将 3 个柱样划分为两类组合,但每个柱样的各种矿物及其组合在纵向上都是变化的。选择了 6 种矿物和 3 个矿物对比值,绘制了它们依深度变化的柱状图,以便反映矿物含量及矿物组合随时间演化情况(图 2)。

4.1 WP1 柱样 综合主要矿物含量及其比值在剖面上的变化,将 WP1 柱样自下而上划分为 4 层(图 2)。

I(220—170cm) 石英含量自下而上从 23.1%—17.1%—22.5%,进而降至 13.6%,经历了高一低—高一低两个变化旋回,钾长石和方解石的变化趋势与石英相似,斜长石则与之相反,石英/斜长石比值的变化趋势与石英变化趋势相似。

II(170—91cm) 石英含量自下而上整体上呈增高趋势,在 130cm 处,增至最高值,方解石和钾长石含量的变化趋势仍与石英相似,斜长石与石英相反,石英/方解石、石英/斜长石的变化与石英相似。

III(91—37m) 石英含量自下而上整体上呈降低趋势,与前两层不同的是,方解石含量的变化趋势与石英相反,而斜长石含量的变化趋势与石英相似。

IV(37—0cm) 石英含量自下而上略有增高,斜长石则逐渐减少,方解石从 37—27

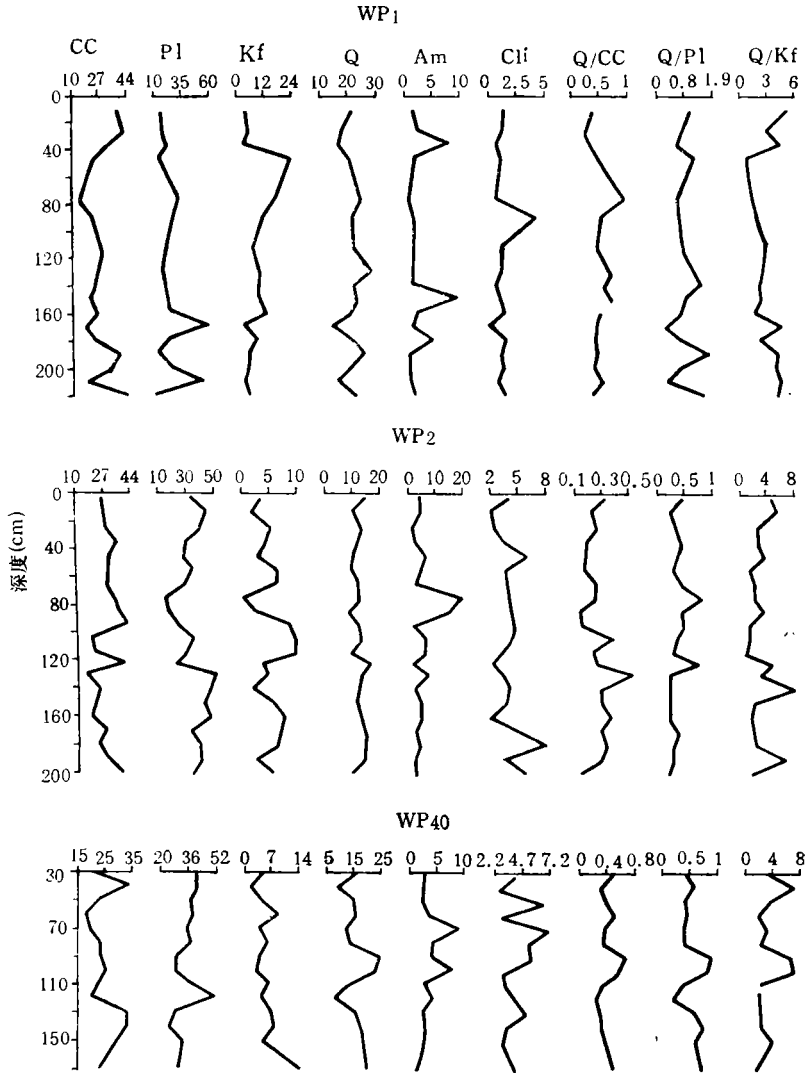


图 2 矿物含量(%)及其比值的柱状变化图

Fig. 2 Vertical changes of mineral contents (%) and their ratios

CC 为方解石; PL 为斜长石; Kf_为钾长石; Q 为石英; Am 为角闪石; Cli 为斜发沸石。

cm 处逐渐增高,然后减少,石英/钾长石急剧增大。

另外,角闪石除在 37cm 和 150cm 出现最高值(8.4%和 9.8%)外,一般都小于 2%;斜发沸石只在 91cm 处含量较高(4%);其余皆在 1%左右,变化不大。

4.2 WP2 柱样 本柱样自下而上划分为 3 层(图 2)。

I(200—122.5cm) 石英含量变化不大,200—150cm 处略有降低,150—122.5cm 处逐渐升高,在 122.5cm 处达到最高(16.1%)。斜长石从 200—130cm 处逐渐增高,然后

又逐渐降低,方解石的变化与斜长石相反。

II(122.5—55cm) 斜长石含量自下而上经历了低—高一低—高一高这样的韵律性的变化,方解石的变化趋势与之相反,石英的变化不明显,石英/斜长石比值的变化与斜长石的变化趋势相反。

III(55—0cm) 方解石含量自下而上总体上呈降低趋势,只在 35 cm 处有所升高,斜长石则呈现出高一低—高一低—高一低这样的韵律性变化,石英则总体上呈上升趋势。

4.3 WP40 柱样 自下而上划分为 4 层(图 2)。

I(170—120cm) 石英含量由高向低变化,方解石则呈现出低—高一低—高一低韵律性变化,斜长石的变化与石英相反。石英/斜长石和石英/方解石比值的变化均与石英一致。

II(120—90cm) 石英含量逐渐升高,斜长石则逐渐降低,方解石总的趋势是升高,石英/方解石和石英/斜长石均是由低到高变化。

III(90—60cm) 斜长石含量逐渐升高,方解石逐渐降低,石英表现出高一低—高一高的旋回性变化。

IV(60—30cm) 斜长石含量仍是逐渐升高,石英则表现出高一低—高一高的旋回性变化,钾长石含量的变化与之相似,方解石则与之相反。

由以上分析可知,3 柱样沉积物各主要矿物在垂向上的变化并非呈简单的消长关系,其变化是错综复杂的。对于 WP1 柱样来说,石英和方解石起主导作用;在 WP2 和 WP40 柱样中,斜长石起主要作用。

5 矿物组合的地质意义

5.1 物质来源和沉积环境 各柱样沉积矿物及其比值在纵向上的变化,主要是由物质来源和沉积环境的变化决定的。矿物组合在纵向上的变化可以反映物源和环境随时间演化的特点,而矿物组合的变化主要是方解石、石英、斜长石和钾长石 4 种矿物的相互消长关系的变化,特别是前 3 种矿物的变化。

研究区沉积物中的方解石主要是生物成因的,由碳酸盐有孔虫外壳及其碎片提供,代表了海洋生物组合。至于长石和石英,情况就比方解石复杂得多。Серова 等(1979)和 Горбунова(1991)曾对世界大洋中的石英和长石进行了系统的研究,他们认为石英和长石不仅可用作陆源搬运的指示剂,而且还可反映火山作用的强度。海洋沉积物中的石英绝大部分都是陆源来的;钾长石也主要是陆源来的,一般只有在干旱带和冰带的边缘海才常遇见。斜长石几乎在所有的海洋沉积物中都占优势,从整个世界大洋的情况看,它主要是海底火山提供的,同时在稳定的大陆边缘,也有较多的陆源斜长石。

就本区情况而言,石英几乎都是陆源的,在显微镜下所观察到的石英特征证实了这一点。而斜长石的情况就复杂得多。如前所述,在衍射图谱上区分出两类斜长石,但它们主要赋存在细粒级中,一时难于作详细研究,推测它们有不同的来源和成因。可以肯定的是,陆源斜长石小于火山源斜长石(WP2 和 WP40 柱样更是如此),斜发沸石的普遍存在和滑石的出现,显微镜下火山玻璃的发现都表明了火山作用的强烈影响。在此暂假定斜长石是火山来源的,用以代表火山物质组合。这样,石英/斜长石的地质意义是陆源组分与火山组分的比例,可以表征火山作用的强度和沉积区岩石的化学风化程度。该比值小于 1,说明火山作用占优势,且海底风化程度较浅;若该比值接近于 1,说明陆源作用较

强,该比值越大,反映的陆源沉积作用越强;石英/钾长石比值反映稳定的陆源物质同不稳定的陆源物质在搬运沉积过程中的分异情况;石英/方解石反映着沉积物中稳定陆源组分同海洋生物组分的消长关系。

在本文所划分的两种矿物组合中,(1)类组合反映了生物组分和陆源组分占优势;(2)类组合标志着火山作用较强。可见,WP1 柱样陆源物质较多,WP2 和 WP40 柱样火山组分占优势。这仅是总体情况,每个孔的矿物组合在垂向上又发生变化。这从对各个柱样的分析中很容易看出。以 WP1 柱样而论,总体上陆源物质多于其余 2 个柱样;而就该柱样本身而言,II 层(170—91cm)和 III 层(91—37cm)陆源物质最多。

5.2 地层划分和古气候 矿物组合的纵向变化决定于物质来源、沉积作用和沉积环境演变,因而也可作为地层划分的依据,并能反映古气候特征。就研究区的 3 个柱样来看,WP2 和 WP40 柱样火山物质含量多,而 WP1 柱样以陆源物质和生物物质为主,所以其矿物组合的变化具有气候学意义并可作为地层划分的依据。

由前述分析可知,WP1 柱样中 II,III 层的矿物组合类似,陆源物质含量高,与 I,IV 层有较明显的区别。也就是说,若以 37—170cm 为界,可将本孔划分为 3 层。这种划分与采用其他方法进行的划分相符¹⁾: I 层相当于末次冰期沉积时的亚间冰期沉积,沉积物呈灰色,绿灰色;II, III 层相当于冰期最盛期沉积,沉积物呈黄色;IV 层相当于全新世沉积,沉积物颜色为黄、红色交互。

可见,亚间冰期陆源碎屑沉积作用相对较弱,在矿物组合上表现为方解石、斜长石、蒙脱石含量较高,石英、钾长石、云母类矿物等含量较低;冰期最盛期沉积矿物组成与之相反;全新世沉积的显著特点是生物沉积作用较强。矿物组合的变化情况间接反映出古气候的演化情况。

应该指出的是,沉积物颜色往往可以反映环境条件。沉积物呈黄色,反映其来源区或沉积区风化不彻底,Fe 主要以 2 价态存在;若风化彻底,则 Fe 完全淋滤出来,以 3 价态存在,沉积物呈红色。WP1 柱样冰期沉积物呈黄色,主要是因为陆源物质在干冷条件下风化不彻底,而在沉积区又没有进一步氧化所致;全新世初期,冰期刚过,气候仍有波动,所以仍有黄色沉积物,随着气候的变暖,陆地风化作用加剧,出现红色沉积物。

5.3 黄色沉积物的来源和成因 综上分析可知,WP1 柱样中部的黄色沉积物属末次冰期的冰期最盛期沉积。应用比较沉积学的方法进行分析(何起祥等,1988),结合其他特征对比,认为 WP2 柱样的 120—45cm 段和 WP40 柱样的 140—50cm 段的黄色沉积皆属冰期最盛期沉积(石学法等,1993)。

冰期最盛期沉积物的特征是陆源物质显著增高。就 WP1 柱样(II 段)沉积物的涂片鉴定结果看,细砂石英和粉砂石英含量非常高,钾长石和云母类矿物含量也较高。而 WP1 柱样与周缘大陆和岛屿以海沟相隔¹⁾,细砂石英和大量粉砂石英等陆源物质不可能通过海底通道从大陆运移而来。

联系末次冰期时的气候背景,我们对本区冰期风积物的发育作如下推测性解释。末

1) 石学法,1992,西菲律宾海晚第四纪沉积作用和沉积环境演化,博士学位论文,122。

次冰期时,菲律宾海区的气候与现在相差不大,菲律宾陆地的岩石风化情况与今也相似¹⁾,因而风积物不可能来自菲律宾。但位于研究区北方的中国大陆与现在的气候却迥然不同。

气象学的研究资料表明,亚洲地区由于受海、陆及地形分布的强烈影响,破坏了行星环流带,形成了特别显著的季风环流层。冬季在亚洲大陆上形成了蒙古冷高压,它具有冷而干的气流,在中国东部沿海出现了西北、北、东北向季风(罗汉民等,1980)。冰期时的寒冷气候使蒙古高压得到了进一步加强,气流更加干冷。在冰期最盛期,中国东海海面下降可达 132m,岸线后退数百公里,大部分陆架出露,发生“沙漠化”,沿海发育了衍生沉积物——黄土,南海陆架也部分出露发生“沙漠化”(秦蕴珊等,1991)。冰期时风力较今为大,增强了对陆源物质的搬运,其时有许多风携沉积物进入海洋。西菲律宾海区黄色沉积物发育的时代恰与冰期相当,强大的冬季季风将北方中国大陆(特别是东部沿海)的碎屑物质搬运至海区沉积下来。应该说明的是,不仅仅是在西菲律宾海区发现了特征的黄色沉积物,在台湾海峡以东和冲绳海槽南端也均有发现(石学法,1993)。这说明黄色沉积物的分布是广泛的。

6 结论

6.1 用 X 射线衍射法对 WP1, WP2 和 WP40 等 3 个柱样进行分析,共鉴定出 11 种矿物,将沉积物划分为 2 个主要矿物组合:(1)方解石+石英+斜长石+钾长石,该组合中水云母含量高,角闪石、斜发沸石和滑石含量低;(2)斜长石+方解石+石英+钾长石,该组合中角闪石、斜发沸石和滑石含量高,水云母含量低。

6.2 (1)类矿物组合反映陆源物质较多,火山沉积作用较弱;(2)类矿物组合反映火山沉积物较多,陆源物质较少。矿物组合反映出 WP1 柱样有较多的陆源物质,WP2 和 WP40 柱样含大量的火山物质。

6.3 依据矿物组合的纵向变化,对受火山沉积作用影响较弱的 WP1 柱样进行了地层划分:220—170cm 为亚间冰期沉积,170—37cm 为冰期最盛期沉积,37—0cm 为全新世沉积。

6.4 冰期沉积物具有陆源矿物组合特征,全新世沉积物则有较多的生物物质。

6.5 依据矿物组合、环境和古气候分析,推测冰期最盛期陆源沉积物为风积物,来源于中国大陆,特别是东部沿海地带。

参 考 文 献

- 石学法、陈丽蓉,1993,西菲律宾海沉积物铁族元素地球化学,海洋地质与第四纪地质,1: 73—82。
何起祥等,1988,比较沉积学的理论与实践,海洋地质与第四纪地质,1:1—12。
罗汉民等,1980,气候学,气象出版社(北京),92—150。
俞旭等,1982,东海大陆架表层沉积物的 X 射线研究,黄、东海地质,科学出版社(北京),124—140。
俞旭、江超华,1984,现代海洋沉积矿物及其 X 射线衍射研究,科学出版社(北京),1—240。
秦蕴珊、赵松龄,1991,中国陆架沉积模式研究的新进展,中国海陆第四纪对比研究,科学出版社(北京),23—39。
Горбунова, З. Н., 1991, 新生代世界海洋沉积物中的石英和长石,石学法译,海洋地质动态,1992(2): 9—10。
Серова, В. В., Лисицин, А. П., 1979, Кварц и полевые шпаты в осадках, Геология океана, осадкообразование и магматизм океана, наука, Москва, С., 200—209。

1) Hashimoto, W., 1984, 菲律宾地质发展史,杨广泰译,1—140。

THE MINERAL ASSEMBLAGES IN THE SEDIMENTS IN THE WEST PHILLIPPINE SEA AND THEIR GEOLOGICAL IMPLICATION*

Shi Xuefa, Chen Lirong, Li Kunye, Yang Huilan
(*Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071*)

ABSTRACT

The mineral compositions in 52 sediment samples of three cores taken in 1988 in the West Phillipine Sea were obtained by X-ray diffraction method. The major minerals were calcite, quartz, plagioclase and potash feldspar, and the subordinate minerals were kaolinite, chlorite, amphibole, clinoptilolite, hydromica, smectite and tale. There were two mineral assemblages in these sediments: (1) calcite+quartz+plagioclase+potash feldspar, coexisted with hydromica of higher content and amphibole, clinoptilolite and tale of lower contents; (2) plagioclase+calcite+quartz+potash feldspar, coexisted with amphibole, clinoptilolite and tale of higher contents and hydromica of lower content. Assemblage (1) reflects that there were more terrigenous materials and fewer volcanic sediments in the sediments. Assemblage (2) reflects that there were more volcanic sediments and fewer terrigenous materials in the sediments. The changes of mineral assemblages have an important role in stratigraphic division and have geological implications in paleoclimate evolution.

Key words West Phillipine Sea Mineral assemblage

* Contribution No. 2307 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.