

北太平洋中部沉积作用的探讨

赵全基 张壮域

(国家海洋局第一海洋研究所, 青岛)

提要 为探索深海的沉积作用, 将大量调查和分析资料作了详细研究, 认为该区的沉积物可分为钙质软泥、硅钙软泥和红粘土。沉积物类型的分布受水深等因素的控制, 调查区东部以钙质软泥为主, 西部以红粘土为主; 钙质软泥多在 5 200m 以浅, 硅钙软泥一般在 5 200~5 300m, 5 300m 以深以红粘土为主。5 300m 左右是该区的碳酸钙补偿深度。本文还较深入地分析了该区的正常沉积和再沉积作用。

自 1983 年以来我们对北太平洋中部进行过几次以了解锰结核为目的的调查研究, 并对所采样品作过粒度、矿物、地球化学、孢粉、微体古生物等项目的分析。本文据 1983 和 1985 年两航次所取得的资料对该区深海沉积作用作进一步探讨。

一、概 况

该区位于马绍尔群岛和夏威夷群岛之间的中太平洋海盆, 区内无岛屿, 外围除夏威夷群岛的一些火山岛外, 其它多为珊瑚岛, 富含钙质。

调查范围为: 北纬 7~13°, 西经 165~178°, 共约 70 万平方公里(图 1)。调查区海底地形起伏, 东北部为圣诞海脊的余脉, 水深最浅处仅 1 400 余米; 西南部为麦哲伦海隆, 水深约为 3 000m; 东南部有几处水深小于 400m, 其余海域水深都超过 5 000m, 最深达 6 500m。麦哲伦海槽沿北西-南东向斜插调查区(图 2)。

海洋中有大规模的环流, 包括表层流和底层流。影响本区的表层流是自东向西的北赤道流和自西向东的赤道逆流; 底层流是南极底层流的一个分支。此底层流的中段、北段流速分别为 16cm/s 和 5cm/s; 由于地形的影响, 有的地方底层流流速较大, 如在海脊附近底层流流速可达 20~100cm/s^[1](图 3)。

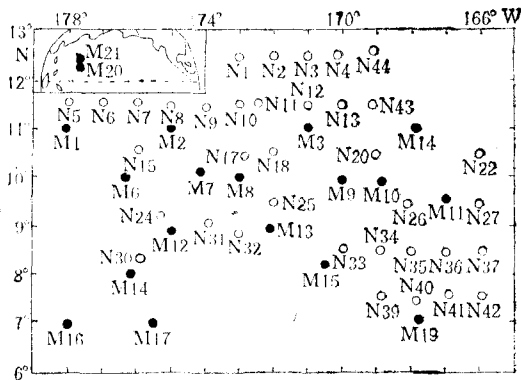


图 1 沉积物分析站位
Fig. 1 Locations of stations
N 为 83 航次; M 为 85 航次。

二、沉积物类型和分布

区内沉积物是典型的大洋沉积, 其分类目前尚不统一, 本文参考谢帕德(Shoemaker)的分类原

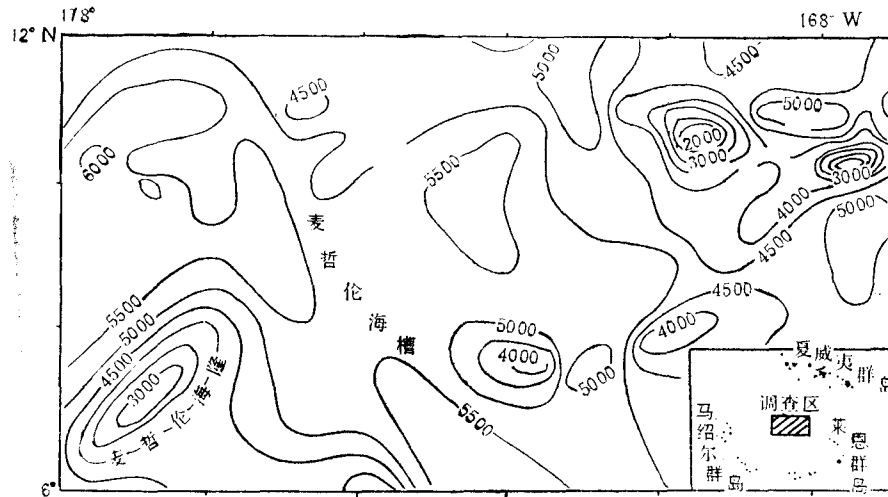


图 2 调查区海底地形

Fig. 2 Submarine topography of the study area

则^[3]。CaCO₃ > 30% 为钙质软泥，SiO₂ + CaCO₃ < 30% 为红粘土，SiO₂ > 30% 为硅质软泥，SiO₂ + CaCO₃ > 30% 为硅钙质软泥。据该区沉积物的特征，特别是粒度分析参数和化学分析参数，将沉积物分为钙质软泥、硅钙软泥和红粘土三类(表 1)^[1,2]。

1. 钙质软泥

呈白色、浅灰色或淡黄色；松散；粒度稍粗，砂含量为 2% 左右，泥含量低，一般 < 70%，中值粒径 $Md_{\phi} < 8.5$ ；CaCO₃ > 30%；为有孔虫高含量区，有孔虫个体 > 600 枚/g，以浮游有孔虫的完整壳体为主，有孔虫组合属种较复杂，有的站含鲨鱼齿等；火山物质含量较低，锰微球粒和锰结核少见。

2. 红粘土

也叫褐色粘土，呈棕、黄褐、褐黄等色；有不同深浅色调的微层理，层理多呈透镜状；一般厚为 3—10mm，最厚的约为 2cm；火山物质丰富，含较多沸石，为锰微球粒和锰结核的主要伴生沉积物；宇宙尘多见，具可塑和滑腻感，较致密，粒度极细，不含或很少含砂粒，泥粒含量一般 > 80%；中值粒径 $Md_{\phi} > 9.5$ ；CaCO₃ 含量低，一般 < 10% 或无有，含极个别有孔虫壳碎片，无完整有孔虫壳体，有放射虫。

3. 硅钙软泥

是介于钙质软泥和红粘土之间的一类沉积物，呈灰白、浅黄色；含砂粒很少，一般小于 1%，泥粒含量为 65~70%；中值粒径 Md_{ϕ} 为 8.5~9.5；CaCO₃ 含量中等，为 10~30%，

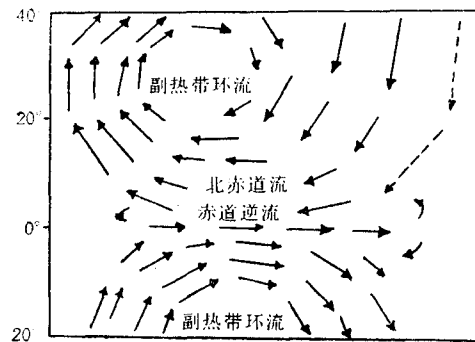


图 3 大洋表层环流分布(据 A. N. 斯特拉勒, 1978)

Fig. 3 Distribution of oceanic superficial layer circulation

表 1 表层沉积物简表

Tab. 1 Superficial layer sediment

站号	水深(m)	粒度分析结果						化学分析结果(%)			沉积物类型	
		沙(%)	粉沙(%)	泥(%)	Md_{ϕ}	Qd_{ϕ}	Sk_{ϕ}	名称	SiO ₂	Al ₂ O ₃		CaCO ₃
M1	5 396	1.3	12.7	86.0	9.65	1.04	-0.01	泥	21.72	32.29	3.14	红粘土
M2	4 552.6	5.8	39.1	55.1	8.3	2.265	0	粉沙质泥	6.34	8.39	69.77	钙质软泥
M3	5 478.9	1.1	12.4	86.5	9.67	1.058	-0.005	泥	22.13	30.0	4.18	红粘土
M6	5 188.5	1.2	32.8	66.0	9.2	2.045	0.005	粉沙质泥	12.02	15.80	48.50	钙质软泥
M7	4 680	2.9	49.8	47.3	7.88	1.775	-0.005	泥质粉砂	10.90	8.09	71.13	钙质软泥
M8	5 265	0.3	20.4	79.3	9.51	1.07	-0.06	粉砂质泥	19.57	23.92	16.15	硅钙质泥
M9	4 342.8	2.5	70.4	27.1	6.63	1.725	0.325	泥质砂粉				钙质软泥
M10	5 227	0	24.6	75.4	9.6	1.635	0.015	粉砂质泥	19.99	21.58	19.20	硅钙质泥
M11	4 928	0.4	28.1	71.5	9.49	1.72	0.01	粉砂质泥	19.38	17.01	34.23	钙质软泥
M15	5 430.8	0	21.4	78.6	9.52	1.12	0	粉砂质泥	22.15	24.56	6.15	红粘土
M16	5 201.1	1.2	32.3	66.5	9.29	2.01	0	粉砂质泥				硅钙质泥
M19	4 866.5	1.7	29.2	69.1	9.38	1.855	-0.005	粉砂质泥	12.57	8.28	48.55	钙质软泥

SiO₂ > 30%；有孔虫含量较低，一般每克干样中含有孔虫壳体小于 100 枚，浮游有孔虫组合简单；火山物质、锰微球粒、锰结核和宇宙尘含量介于上两类型之间。有的站位还采到一些砾石，其岩性主要为玄武岩、安山岩或中酸性凝灰岩，多呈棱角或半棱角状，有的表面被铁锰壳包裹。凝灰岩多呈片状，具层理，风化较强，最大的为 27×16×4cm。

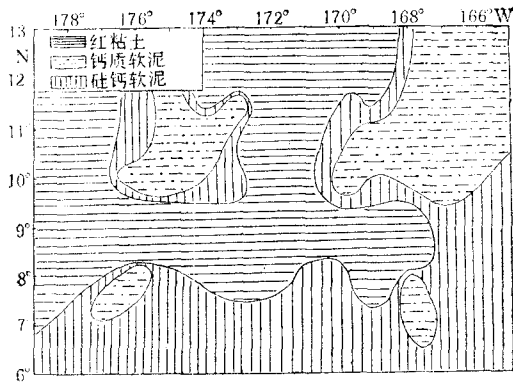


图 4 表层沉积物类型

Fig. 4 Types of surface sediment

从该区三类沉积物的平面分布看，红粘土主要分布在中西部，钙质粘土主要分布在东部，硅钙软泥分布在上述二类分布区的过渡带(图 4)。造成这种分布格局的主要因素是生物的生产力、水深和火山活动。

三、碳酸盐补偿深度

大洋上层海水中的碳酸钙是饱和的或过饱和的；向下，由于海水温度下降，压力增大，碳酸钙的溶解度相应增高，当达一定深度，碳酸钙的饱和度大大降低，浮游有孔虫的壳体的溶解现象迅速增强，使大量的壳体溶蚀消失，即为“溶跃面”；再向下数百米，到达碳酸盐溶解速度超过碳酸盐供应速度的转折深度，即为“补偿深度”；在此深度之下，碳酸盐沉积和有孔虫消失。

该区虽因底层流的侵蚀等原因,使某些海域出现沉积间断和新老沉积物的混杂现象(M14站)。但总的来说,该区为水动力活跃带,上升流强。由于距赤道较近,上层水中,生物生产力极高,生物遗体的硬组织数量极大,沉积速率亦大, CaCO_3 和 SiO_2 的含量亦高,使碳酸盐的溶跃面和补偿深度与其他海域相比发生很大变化,即比含碳酸盐低的海区补偿深度深,比含碳酸盐高的海区补偿深度浅。赤道太平洋西部海域与本区补偿深度的差别就是例证^[2],如按碳酸盐含量 10% 作为划分补偿深度的标准, M₁(3.14%), M₃(4.18%) 和 M₁₅(6.15%) 站, 碳酸钙含量在 10% 以下, 它们的水深分别在 5 396m 和 5 430.8m(表 1), 已不含完整的有孔虫壳体。再根据不同抗溶程度的浮游有孔虫百分含量曲线随水深变化的突变性, 确定本区补偿深度的起始深度, 大约在 5 300m。在水深 5 300 m 处几个特征性种 *Globobotalia tumida*, *Globoquadrina duterleyi* 等的丰度及溶解指数发生突变。从表层沉积物中钙质超微化石属种及抗溶种随水深的变化看, 在水深 5 200 m 左右发生急剧溶蚀变化, 化石属种迅速减少; 在水深 5 400m 左右已无钙质超微化石保存, 进一步证明确定该区的碳酸盐补偿深度在 5 300m 左右是可信的^[3]。其实, 影响碳酸盐补偿深度的因素不仅是表层水的生物生产力的大小, 它还受深层水团物理化学性质差异的影响。确定补偿深度碳酸钙的含量标准并未统一, 有标定为 10% 的, 还有标定为 20% 的, 应随不同海区的具体情况而定。该区沉积物中 CaCO_3 和泥含量与水深呈明显相关变化(图 5)。按等比制(ϕ 标准) 粒级分类, 将沉积物中 $<0.004\text{mm}$ 物质称作“泥”(粘土)。

由图 5 可以看出, 本区沉积物类型分布很有规律地受海水深度的控制, 也与碳酸盐补偿深度有关。红粘土分布在水深 5 000m 以深, 即碳酸钙补偿深度以下的麦哲伦海槽等处; 钙质软泥分布在海脊、海隆等突起的海底地形上, 水深在 5 200m 以浅; 硅钙软泥分布在钙质软泥和红粘土分布区之间, 水深在 5 200~5 300m 范围。但上述这种分布并不是绝对的, 随着物质来源和地形的不同而变化。例如, 东北部虽然地势高, 水较浅, 但火山物质特别丰富, 钙质软泥分布在更浅的海底。不过, 总的趋势是: CaCO_3 由浅而深减少, 泥粒级的含量由浅而深增加。

四、沉积作用

该区的深海沉积作用, 可总括为正常沉积和再沉积两个方面。

1. 正常沉积作用

这是该区主要的沉积作用, 其物质有生物沉积和非生物沉积物。生物沉积物是指生物骨屑, 由于该区的上升流发育, 气温适宜, 生物生产力高, 大量的生物骨屑象下雨一样从

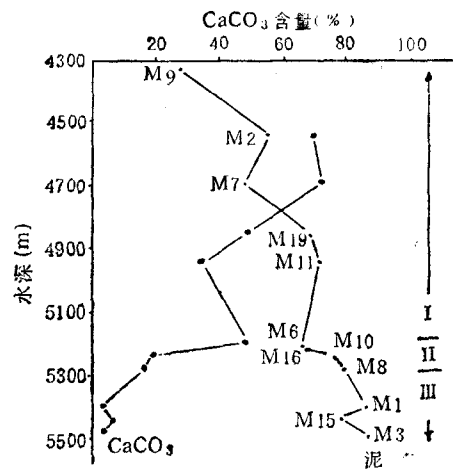


图 5 泥、 CaCO_3 与水深的关系
Fig. 5 Relationship of depth with content of CaCO_3 and mud

I. 钙质软泥; II. 硅钙质软泥; III. 红粘土。

海水的上部向洋底坠落。随海底水深的不同,海水对这些骨屑的溶蚀量不同,一般由浅而深,溶蚀量增大保存在海底的钙质骨屑量不断减少:在较浅的海隆、海山上骨屑含量高,向低处随水深增加,骨屑减少,到补偿深度以下含骨屑极少或不含。含硅质多的硅藻和放射虫等生物骨屑的保存地形较低。有些有机质也可保存在海底。

非生物沉积物,包括粘土矿物、微细石英、火山灰、宇宙尘等,它们是由表层流、风、浮冰等从大陆、岛屿搬来的陆源物质、火山喷发物质和宇宙物质。这些物质中的大部分混杂在絮状物或粪粒中,沉淀较快(10^{-2} — 10^{-3} m/s)。其中一些极微细颗粒的垂向沉淀非常缓慢(10^{-4} — 10^{-6} m/s)^[4]。其实,在沉淀过程中,非生物物质与生物物质是混杂沉降的,这些物质还可能发生一系列的物理化学作用,并可能被底层流和浊流侧向搬运。它们沉淀在海底一般是均匀分布的,只因生物骨屑在海底的含量由浅而深减少,相对非生物沉积物的含量由浅而深增加,直至碳酸盐补偿深度以下的沉积物成为含碳酸盐很少或不含的红粘土,随水深变浅依次沉积硅钙软泥、钙质软泥。

沉积物中元素含量的变化也与沉积物类型和水深呈规律性变化。除Ca, Sr外,大部分金属元素(如Al, Mn, Mg, Fe, Ti, B, Ba, Ca, V, Y)依钙质软泥—硅质软泥—红粘土顺次增加,即在水深4 000—6 000m的深度范围内由浅而深增加。锰结核的丰度变化与元素含量的增减趋势是一致的。

在深海沉积物中,特别是其中的红粘土中,发现大量的钙十字沸石,它们为多呈球粒状的集合体,偶见柱状结晶、十字双晶,呈褐黄色,性脆。有的学者认为,它们是在深海底由碱性火山玻璃风化而成的。但有的海区在大范围内无火山玻璃供给,沸石却连续产出,这被认为在缓慢的沉积速度下由硅质微化石壳和粘土矿物形成^[5]。

沉积物中普遍存在火山物质,有玄武岩、安山岩、凝灰岩、浮石碎块,还有由火山灰在海底形成的蒙脱石^[6]。这都来自大洋底或附近岛屿的火山喷发。

粘土矿物是海洋沉积物的重要组分,对它的研究有助于对沉积物的来源、搬运、沉积过程和形成机制的认识。人们普遍认为,大部分粘土矿物特别是其中的伊利石,绿泥石、高岭石是在大陆风化作用中形成的。由河流和风搬运至海中,使粘土矿物在海中的分布与陆地按纬度的分布在大范围大体一致,另外,部分海洋沉积物中伊利石的年龄与相邻大陆基岩的年龄相当,为数亿年,老于洋盆的年龄。在北太平洋20—40°N为一宽阔的伊利石高含量带,这个伊利石高含量带与微细石英的高含量带是一致的,这个高含量带又与欧亚大陆的荒漠草原等干燥地区及强气流范围是一致的。所以认为这伊利石和微细石英大部分来自欧亚大陆,而该区位于此高含量带南侧的北太平洋中部,按搬运沉降过程,该区伊利石必然低于黄海、东海,而高于赤道太平洋。

太平洋绿泥石的高含量区在高纬度,可高达30%,相邻陆地绿泥石也高,可能由冰川和河流带入海洋。在阿拉斯加西南部有多种类型的岩石含绿泥石和云母,如变质岩、硬沙岩和粉砂岩,这里的部分绿泥石可能由亲潮暖流和加利福尼亚海流自高纬度向南搬运。夏威夷滨外就有一绿泥石高含量带。亚洲大陆含量也较高。这些在搬运沉降中也可造成绿泥石在该区高于赤道太平洋而低于高纬度的局面。

1) 赵全基,北太平洋沉积物中的粘土矿物。

高岭石形成于湿热的酸性土壤,多生于低纬度的陆地,如澳大利亚大陆;而纬度较高的北美和亚洲大陆缺少形成红壤的有利条件,因而高岭石含量有自高纬度向低纬度升高的趋势,该区比赤道太平洋的高岭石含量低是合乎分布规律的。

该海区内无岛屿,距离最近的属夏威夷群岛的章斯岛也在调查区以北 700km 以外,大部分岛距该区 2 000km 左右,这些岛屿多为富含钙质的珊瑚岛,少数为火山岛,不足以形成如该区含量的伊利石、绿泥石和高岭石,且这些岛与大陆相比,面积小得多。所以认为该区的这三种粘土矿物来自周围群岛的数量不太多,主要来自大陆。

孢粉一般产生于陆上植物,周围岛屿也有植被,其中夏威夷群岛植被较发育,它们可能是该区孢粉的重要来源之一。不过该区已查清的孢粉以裸子和蕨类为主,而上述岛屿上目前没有裸子植物生长,裸子植物作为外来种靠自然增加也很困难,可能是来自更远的大陆。

2. 再沉积作用

从 M14 柱有孔虫、超微化石、放射虫等的分析看^[1],整个柱状岩芯中出现新老化石混杂现象,从表层至底部混有第三纪的少数属种。对超微化石的鉴定认为,在岩芯上缺失年代判定种 *E. huxleyi* (CN 15) 带,该带出现于 27 万年前,说明该岩芯顶部缺失现代沉积,不但缺失全新世沉积,晚更新世沉积亦不完全。据地磁测定,距顶部的 20cm 处,岩芯的磁化参量和磁化模式与附近其他几个柱状岩芯连续沉积的正常模式不同,可能也显示该处存在地层缺失现象^[3]。其实,太平洋发生地层缺失的现象普遍存在,且出现多次,始新世—渐新世、第三纪晚期、更新世至全新世都发生过沉积间断,只是不同海域发生沉积间断的时期有所差别,如区内的 H79-1 站发生沉积间断的时期为中新世中期—上新世后期, GH80-5 站为中新世后期—上新世初期^[6]。

上述事实表明,该区沉积存在侵蚀、搬运和再沉积现象。虽然我们对该区沉积未作详细的沉积相分析,无法划分所谓的“河流状”、“陆坡裙”、“海底扇”等沉积相,但从沉积物的粒度、海底地形和海底坡度等的分析结果说明,确存在再沉积作用,而且存在由其造成的沉积相。关于该区再沉积作用方式,因条件限制未能进行深入研究,根据沉积物的结构、岩性特征、沉积物的物理性质、海底地形及海底坡度等推测,既有重力驱动作用造成的块体搬运,也有由深水流对海底作用造成的颗粒搬运。

五、结 语

该区沉积物可分为钙质软泥、硅钙软泥和红粘土。从平面分布看,其西部以红粘土为主,东部以钙质软泥为主。水深与沉积物类型相关,钙质软泥多在 5 200m 以浅,硅钙软泥所处水深一般为 5 200~5 300m, 5 300m 以深为红粘土, 5 300m 左右是该区碳酸钙补偿深度。

该区的沉积作用可分为正常沉积和再沉积,它们为沉积物特征所反映。

参 考 文 献

- [1] 国家海洋局, 1986. 中太平洋北部锰结核调查综合研究报告. 海洋出版社, 18~69 页。
- [2] 赵全基, 1984. 赤道太平洋西部深海沉积作用. 海洋学报, 6(5): 647~656。

- [3] 谢帕德, E. B., 1973. 海底地质学(梁元博译)。科学出版社, 21~50 页。
[4] 米纳德, H. W., 1964. 太平洋地质(郝颐寿译)。科学出版社, 34~77 页。
[5] 西村昭, 1986. 深海における堆積作用とマンガン団塊。地球, **8**(5): 283~287。
[6] 西村昭, 1983. 中部太平洋マンガンノジュール分布域の堆積物。海洋科学, **15**(7): 421~425。

SEDIMENTATION IN AREAS OF THE MIDDLE NORTH PACIFIC OCEAN

Zhao Quanji and Zhang Zhuangyu

(First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao)

ABSTRACT

The sediments in this area can be classified into calcareous ooze, silico-calcareous ooze and clay based on investigation of two cruises No. 83 and No. 85. It can be seen from the distribution that the red clay dominates in the west of the area, and calcareous ooze in the east. Calcareous ooze is found mostly at above 5 200m depth, silico-calcareous ooze between 5 200m and 5 300m, red clay below 5 300m. Therefore, the depth of about 5 300m can be considered as the compensation depth for carbonate of line in this area.

Some of the sedimentation in this area may be considered as resedimentation as reflected by characteristics of sediments.