

中太平洋海山区富钴结壳的钙质超微化石地层学研究

苏 新¹, 马维林², 程振波³

1. 中国地质大学岩石圈构造与深部过程及探测技术重点实验室, 北京 100083
2. 国家海洋局第二海洋研究所, 国家海洋局海底科学重点实验室, 浙江杭州 310012
3. 国家海洋局第一海洋研究所, 山东青岛 266071

摘要: 对“大洋一号”调查船在中太平洋采集的 N1-15 和 N5E-06 2 个富钴结壳样品进行了钙质超微化石及其生物地层学的研究, 这 2 个结壳从结构上分为 3 层: 致密型上层、疏松型中层和致密型下层。在研究中对各结构层和各层中有颜色或细微结构变化的层位都进行了详细的取样和分析, 在识别了 12 个新生代钙质超微化石事件的基础上, 确定了 2 个结壳致密型上层结壳都为晚更新世以来的沉积, 它们的疏松型中层结壳为上新世到中更新世的沉积, 对 N5E-06 富钴结壳来说, 其致密型下层结壳下部形成于中晚古新世到早渐新世的 59.7~32.8 Ma 期间, N1-15 富钴结壳致密型下层的形成时代目前暂定为中新世。研究注意到在 2 个结壳中都没有发现可信的晚渐新世到中新世的化石记录, 在个别层位之间存在着沉积间断。

关键词: 富钴结壳; 钙质超微化石; 生物地层学研究; 中太平洋海山区。

中图分类号: P736.21

文章编号: 1000-2383(2004)02-0141-07

收稿日期: 2004-01-13

Calcareous Nannofossil Biostratigraphy for Co-Rich Ferromanganese Crusts from Central Pacific Seamounts

SU Xin¹, MA Wei-lin², CHENG Zhen-bo³

1. Key Laboratory of Lithospheric Tectonics Deep-Level Process, China University of Geosciences, Beijing 100083, China
2. The Second Institute of Oceanography and Key Laboratory of Seafloor Science, National Oceanography Bureau, Hangzhou 310012, China
3. The First Institute of Oceanography, National Oceanography Bureau, Qingdao 266071, China

Abstract: Calcareous nannofossils in 2 Co-rich ferromanganese crusts, N1-15 and N5E-06, from the central Pacific seamounts were analyzed in order to estimate their depositional ages. These 2 crusts show 3 structural layers: compact upper layer, porous middle layer and compact lower layer. 12 Tertiary to Quaternary nannofossil events were recognized. The upper layers of these 2 crusts were deposited since Late Pleistocene, while their middle layers were formed from Pliocene to Middle Pleistocene. The age of the lowest sample from N5E-06 crust was estimated as 55.3–59.7 Ma in the Middle to Late Paleocene, and the duration for lower part of the lower layer was given between 59.7–32.8 Ma from the Middle Paleocene and Early Oligocene. For the lower layer of N1-15 crust, the age was roughly determined to be Miocene, due to the lack of reliable fossils. This study notes that no reliable Late Oligocene to Miocene nannofossil markers were found in these 2 crusts. Furthermore, sedimentation hiatus was observed.

Key words: Co-rich ferromanganese crust; calcareous nannofossil; biostratigraphy research; central Pacific seamount.

富钴结壳是一种沉积在洋区海山或岛屿斜坡上的黑色层状铁锰沉积, 主要赋存于水深为 1 000~

4 000 m 之间的海山或海台上 (Aplin and Cronan, 1985), 厚度变化较大, 最小不到 1 mm, 最大可达 40 cm, 是未来的重要海底金属矿藏资源。

国内外的许多学者对海底富钴结壳的矿物成分特征、矿元素组、成因及生长阶段等方面作了调查和研究工作, 但其研究的区域主要位于夏威夷群岛、马绍尔群岛和莱思群岛一带 (Aplin and Cronan, 1985; Hein *et al.*, 1985; 郭世勤等, 1994; 许东禹等, 1994), 而对中太平洋海山区的富钴结壳研究少有报道。本文对“大洋一号”调查船在中太平洋海山区采集的 2 个富钴结壳进行了钙质超微化石的研究, 从生物地层学角度探讨结壳的形成时代和生长阶段。

1 样品与方法

所分析的富钴结壳样品 N1-15 和 N5E-06 来自“大洋一号”调查船用拖网法在 N1 和 N5 海底平顶山上所采集的样品。山体顶部水深为 1 200~1 500 m, 基部水深为 3 500~4 000 m。

1.1 富钴结壳分层特征和分层取样

富钴结壳是一种结晶程度很低的铁锰氧化物、氢氧化物沉积, 具胶状结构。高倍显微镜观察表明, 结壳中有大量的铁锰矿物微晶, 又具有微晶质结构。典型的富钴结壳层状构造为 3 层: 上层为致密型结壳, 呈褐黑色, 致密块状, 硬度较大, 较纯净, 含杂质少, 光泽度好; 中层为疏松型结壳, 呈灰黑色, 裂隙和孔洞多, 含大量灰白色、褐黄色斑点或斑块状的沉积物杂质; 下层为致密型结壳, 呈亮黑色, 致密块状, 组成纯净, 沉积物杂质少, 断口呈贝壳状, 强金属光泽, 硬度较大 (马维林等, 2002)。

所分析的 N1-15 和 N5E-06 2 个富钴结壳均具有上述典型 3 层层状构造, 最下层覆盖在基底层 (基岩) 上。在分析中, N5E-06 号结壳从上到下可分为 III 层 (上层)、II 层 (中层)、I 层 (下层) 和基底层 (图 1, 2)。该结壳在致密的上层中部出现一个约 3 mm 宽、浅灰色杂质较多的沉积带; 在下层中部出现上下各厚约 1~2 mm 的黄白色杂质较多的沉积带 (图 1)。N1-15 号结壳从上到下也具备 3 层构造, 但是据结晶颗粒粗细、排列致密或疏松以及含浸染状物质的明显变化, 该结壳中层又可细分为 3 层。为了获得富钴结壳生长的更详细的年龄资料, 在进行钙质超微化石的研究中, 把该结壳由上至下编为 V 层、

IV 层、III 层、II 层、I 层和基底层, 其中 V 层相当于典型结构中的上层, IV 层、III 层、II 层属于中层, I 层相当于下层 (图 3, 4)。N1-15 和 N5E-06 2 个富钴结壳每层的主要结构或颜色标志特征总结于表 1。

为了确定每层的形成时代和生长速率, 在进行对结壳的钙质超微化石取样过程中, 对各层上下界面处或紧靠界面的部位分别取样, 如对 N5E-06 结壳的 I 层来说, 取样有 N5E-06-I-顶部样, N5E-06-I-底部样。为了得到更多的化石记录, 在一些层位中部也取样分析, 特别是中间有颜色变化的部位, 如 N5E-06-II-中部样、N5E-06-I-中上白层、N5E-06-I-中下白层。对基底层也采取了样品。

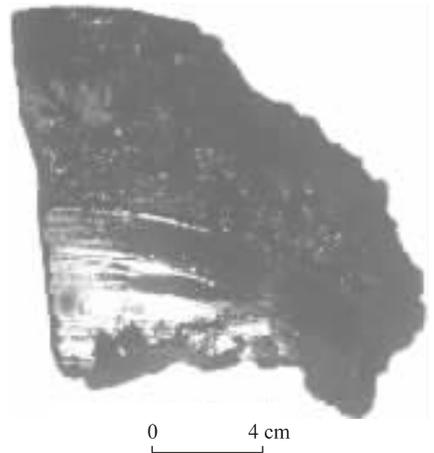


图 1 N1-15 富钴结壳照片

Fig. 1 Photography of Co-rich ferromanganese crust N1-15

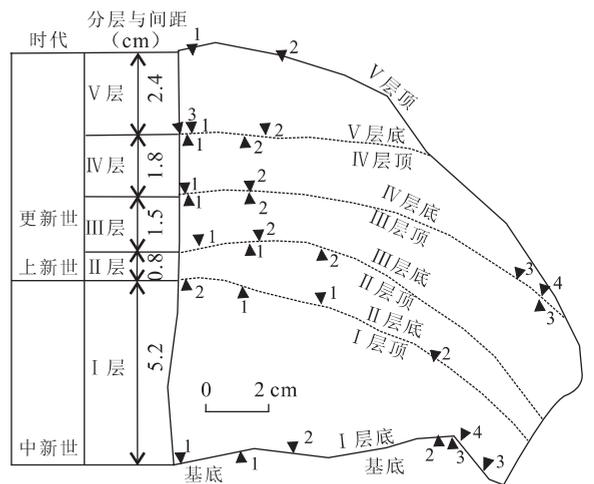


图 2 N1-15 富钴结壳结构分层和取样分层

Fig. 2 Generalized subdivision and sampling record of Co-rich ferromanganese crust N1-15

I—V 层顶、底, 各层顶底位置; ▼ 或 ▲, 取样位置; ▲1, 样品编号

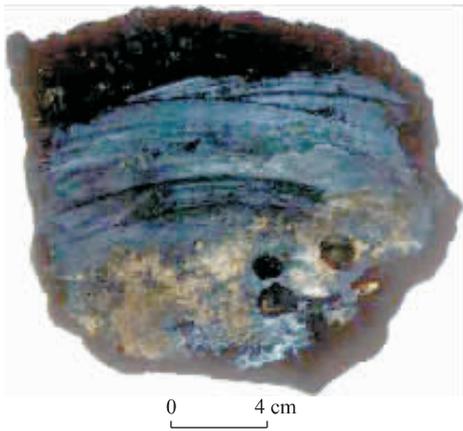


图 3 N5E-06 富钴结壳照片

Fig. 3 Photography of Co-rich ferromanganese crust N5E-06

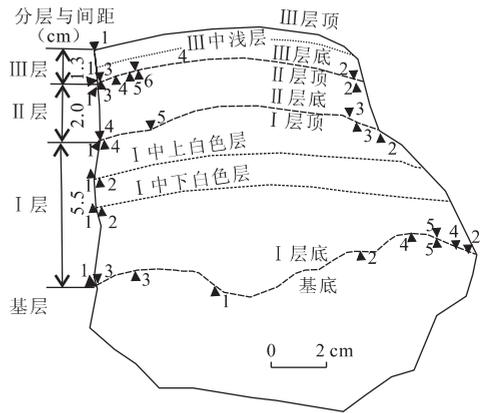


图 4 N5E-06 富钴结壳结构分层和取样分层

Fig. 4 Generalized subdivision and sampling record of Co-rich ferromanganese crust N5E-06

I—V 层顶、底, 各层顶底位置; ▼或▲, 取样位置; ▲1. 样品编号

表 1 富钴结壳样品的结构特征

Table 1 Structural features of Co-rich ferromanganese crusts

典型构造	各典型层特征	N5E-06 结壳分层	N5E-06 结壳各层特征	N1-15 结壳分层	N1-15 结壳各层特征
上层	致密、较纯、杂质少、光泽度好	III 层	致密、中间有约 3 mm 浅灰色带状	V 层	细粒致密
中层	疏松、孔隙多、含大量褐黄色斑点或斑块状杂质	II 层	细粒状、夹褐色细粒物质	IV 层	疏松细粒夹不规则黄色浸染物质
				III 层	致密
下层	致密、纯净、杂质少、贝壳状断口, 强金属光泽	I 层	细粒致密、中部具上下各厚约 1~2 mm 黄白色杂质沉积	II 层	夹黄色浸染薄膜状的薄层
				I 层	粗颗粒致密结构
基底层	多种岩性和颜色	基底层	浅黄色磷块岩	基底层	少量残留的浅黄色磷块岩

按上述分层, N5E-06 结壳共取 11 层分析, N1-15 结壳共取 12 层分析. 依分析和所获结果进展的需要, 分别在每层不同部位先后采了 1~5 个样. 各层间距和各采样位置均记录在采样素描图(图 2, 4)中.

1.2 样品制作和分析方法

取样时, 先用小刀除去各采样部位表面, 以避免污染. 然后在新鲜表面刮取样品粉末, 再将样品粉末放在一载物片上, 加蒸馏水后涂均匀, 干燥后用中性树胶和盖玻片制成观察片. 用德国 OPTON 偏光显微镜在放大 1 000 倍下观察和鉴定.

1.3 钙质超微化石地层年代学依据

对新生代以来的钙质超微化石事件多数以目前国际上通用的 Berggren *et al.* (1995) 给出的钙质超微化石事件的年龄值为标准. 化石分带方案采用

Martini(1971) 新生代以来的钙质超微化石分带. 少数数据则综合 Perch-Nielsen(1985) 和 Su(1996) 的结果. 本文识别或讨论中引用的各个化石事件及其与化石带和绝对年龄的关系总结于表 2.

2 结壳生物地层分析

2.1 N1-15 结壳生物地层分析

在 N1-15 结壳 6 层及其相应的 12 个顶底层的大部分样品中都发现了钙质超微化石. 根据化石的面貌来看, 这是一个从中新世到更新世的新生代钙质超微化石组合. 下面从结壳的上层向下介绍各个层位的分析结果.

表 2 本文引用的新生代钙质超微化石事件及其时代

Table 2 Tertiary calcarous nannofossil events and ages used in this study

时代	化石带	钙质超微化石事件	年龄/Ma
更新世(Q ₁)	NN21	FO <i>Emiliana huxleyi</i> Acme	0.09
		LO <i>Helicosphaera inversa</i>	0.16
		FO <i>Emiliana huxleyi</i>	0.26
	NN19	LO <i>Pseudoemiliana lacunosa</i>	0.46
		LO <i>Calcidiscus, macintyreii</i>	1.58
		FO <i>Gephyrocapsa</i> (medium) spp.	1.69
上新世(N ₂)	NN18	LO <i>Discoaster brouweri</i>	1.96
	NN16	LO <i>Sphenolithus</i> spp.	3.66
中新世(N ₁)	NN2	FO <i>Discoaster druggii</i>	23.20
渐新世(E ₃)	NP22	LO <i>Reticulofenestra umbilicus</i>	32.30
	NP21	LO <i>Ericsonia formosa</i>	32.80
始新世(E ₂)	NP20	LO <i>Discoaster saipanensis</i>	34.20
	NP15—16	<i>Birklundia staurion</i>	40.4~49.7
古新世(E ₁)	NP9	LO <i>Fasiculithus tympaniformis</i>	55.30
	NP4	FO <i>Fasiculithus tympaniformis</i>	59.70

注:资料据 Martini, 1971; Perch-Nielsen, 1985; Berggren *et al.*, 1995; Su, 1996.

V层顶层样品中含有丰富的晚更新世 Martini (1971) NN21 带的标志化石 *Emiliana huxleyi*, 由其较高的丰度来看, 可以推知该样品属于 *E. huxleyi* 高峰带以来的沉积, 因此其年龄小于 0.09 Ma. V层底层样品中发现了儿枚 *Helicosphaera carteri*, 该种从中新世到现代海洋都存在, 对该层的地层划分意义不大. 此外在该层的 2 个化石片中都各发现了一枚中央被溶蚀, 无法判断是 *E. huxleyi* 还是与它形态相似的小型 *Gephyrocapsa* 类的分子, 因此无法确定具体时代.

IV 的顶、中、底层都含 2 个不同时代的化石类别(表 3), 3 层中都出现并且丰度高的是以 *E. huxleyi* 和 *G. oceanica* 为代表的晚更新世类别. 这 3 层在晚更新世以前老化石类别上不同. 如顶层出现了

表 3 NI-15 结壳 IV 层的晚更新世化石与较老年化石的混杂情况

Table 3 Mixture of few Late Pleistocene with trace Oligocene to Miocene calcarous nannofossil events and ages from IV layer in NI-15

IV 层	3 层都出现的晚更新世类别	偶见其他时代类别
顶	<i>Emiliana huxleyi</i> , <i>Gephyrocapsa oceanica</i> , <i>Calcidiscus leptoporus</i> ,	<i>Discoaster brouweri</i> (N) <i>D. bellus</i> (N ₁ ²) <i>D. adamanteus</i> (E ₃ -N ₁)
中	<i>Helicosphaera carteri</i> , <i>Rhabdosphaera clavigera</i>	<i>C. macintyreii</i> (N ₁ -Q ₁ ¹) <i>D. adamanteus</i> (E ₃ -N ₁)
底	<i>Umbellosphaera irregularis</i> , <i>Umbilicosphaera sibogae</i>	<i>C. macintyreii</i> (N ₁ -Q ₁ ¹) <i>D. brouweri</i> (N)

中新世的 *Discoaster brouweri*, *D. adamanteus*, *D. bellus* 化石各一枚. IV 层中层有中新世—早更新世的 *Calcidiscus macintyreii* 和一枚分布时代为渐新世到中新世的 *D. adamanteus*. IV 层底层样出现中新世—早更新世的 *C. macintyreii* 和中新世的 *D. brouweri* 各一枚. 本文根据该层化石中的主要类别时代限于晚更新世的特点, 以及其相邻上下层时代也为晚更新世沉积的情况, 确定 IV 层为晚更新世沉积. 在此基础上, 据晚更新世的一个标志化石 *H. inversa* 在该壳壳中、底层 2 个邻近层位的出现, 确定它在 IV 层中层的最后出现为其未现面, 其时代为 0.16 Ma(表 4). 此外, IV 层为疏松细粒夹不规则黄色浸染物质沉积, 这种沉积在疏松细粒孔隙中或表面可能混杂了从较老地层中搬运来再沉积的中新世少数化石, 使本文有理由推测那些偶见的个别老化石属于再沉积化石.

III 层的顶、底层样品都只发现了很少的化石, 其中在顶层发现了一枚保存较好的 *E. huxleyi*, 该种在 III 层的底层样没有出现, 因此本文将 III 层顶层样推测为 *E. huxleyi* 的初现面 (0.26 Ma). 在 III 层的底层样发现了数枚中等个体的 *Gephyrocapsa* (medium) spp., 该类在这以下的层位没有出现, 故将 III 层底层样定为 *Gephyrocapsa* (medium) spp. 的初现面, 时代为 1.67 Ma.

II 层顶层样品中发现的多是上新世到晚更新世的一些时代长的分子, 如 *H. carteri*, *U. sibogae*, *Ceratolithus cristatus*. 此外只发现了中新世—上新

世的 *D. brouweri* 和一枚始新世到早渐新世的 *Ericsonis formosa*。考虑到该层大多数主要分子可以与 *D. brouweri* 共同分布于上新世,而 *D. brouweri* 的未现面的年龄为 1.95 Ma,故推测样品的年龄为上新世,大于或约等于 1.95 Ma。而把 *E. formosa* 作为再沉积化石,支持这个推测的是 II 层为夹黄色浸染薄膜状的薄层,可能与 IV 层情况类似,出现个别再沉积的化石。II 层底层样品经多次取样分析,均未发现化石。

I 层顶层、中层样品也经多次取样分析,均未发现化石。在底层的几个样品中都发现了保存差,同时新老混杂的化石。最常见的是中新世到现代都有分布的 *H. carteri*, *C. leptoporus*, 较少的是只出现在更新世的 *Gephyrocapsa (medium) spp.* 和少数几个上新世到更新世的 *Gephyrocapsa (small) spp.* 唯一时代老的化石是 *D. druggii*, 这是一个主要见于早中新世 NN1-NN2 带的分子,其初现面的年龄为 23.2 Ma(表 4),对其未现面没有十分准确报道,大致在 NN2 和 NN3 中,或大致为 19 Ma(Perch-Nielsen, 1985)。根据所发现的化石,该层的年龄有 2 种可能,其一是更新世,另一个是早中新世。由于前一种可能与上面发现了 *D. brouweri* 的 II 层顶层样品的上新世推测相矛盾,本文暂时采用第二种可能,即该样品的年龄约为早中新世,约在 19~23.2 Ma 之间。研究中注意到,该结壳有许多从表面纵向向下的较深裂隙,暂时推测那些年轻的化石是由表层沿裂隙下来的混杂沉积。

该结壳的基底层未发现钙质超微化石。

2.2 N5E-06 结壳生物地层分析

N5E-06 结壳是 2 个结壳中含化石最多的一个,在 3 层中 11 个顶、中、底层的大部分样品中都发现了钙质超微化石。该结壳中发现的是一个从古新世到更新世的新生代钙质超微化石组合(表 5)。下面从结壳的上层向下,介绍各个层位的分析结果。

III 层顶层样品中化石丰度低,但是类别较多,发现了晚更新世的 10 多个种类。其中以 *E. huxleyi* 为优势类别,由此应将样品定为 *E. huxleyi* 高峰带以来的沉积(年龄小于 0.09 Ma)。III 层中部有一浅灰线条状沉积,对其取样分析只发现了 3 枚化石,1 枚 *H. carteri* 和 2 枚 *C. leptoporus*。这 2 个种从中新世到现代海洋中都存在,因此无法对该层的年龄再做更精细的推测。III 层底层样品化石丰度较高,多样性也高,有晚更新世的十几个种类, *E. huxleyi* 仍很丰富,由于该种在以下的层位没有出现,它在这个层位的出现被定为初现面(0.27 Ma)。

II 层顶层样品中也是化石丰度低但类别较多,出现了早更新世的几个代表分子,如 *C. macintyreii*, *H. sellii*, *Pseudoemiliana lacunosa*, *G. lumina* 等。*C. macintyreii* 的未现面是早更新世的一个重要事件,据此,II 层顶层样品被定为是 *C. macintyreii* 的未现面(1.58 Ma)。II 层中层样品只出现了少数几枚时代分布较长的化石,如 *H. carteri*, *C. leptoporus*, 还有 2 枚 *G. sinosa*, 这是一个从上新世早期到更新世晚期出现的类别。从 *G. sinosa* 的

表 4 N1-15 结壳各层年代标志化石记录及其地质时代和年龄的估计

Table 4 Calcareous nannofossil events found from each layer of Co-rich ferromanganese crust N1-15 and geological ages estimated for these layers

分层	年代标志化石出现记录	地质时代和年龄估计
V 层	顶层	<i>Emiliana huxleyi</i>
	底层	<i>Emiliana huxleyi</i> (?)
IV 层	顶层	<i>Emiliana huxleyi</i>
	中层	<i>Helicosphaera inversa</i>
	底层	<i>Helicosphaera inversa</i>
III 层	顶层	<i>Emiliana huxleyi</i>
	底层	<i>Gephyrocapsa (medium)</i>
II 层	顶层	<i>Discoaster brouweri</i> ?
	底层	未见化石
I 层	顶层	未见化石
	中层	未见化石
	底层	<i>Discoaster druggii</i> ?
基底层	顶层	未见化石

表 5 N5E-06 富钴结壳各层年代标志化石与地质时代和年龄的估计

Table 5 Calcareous nannofossil events found from each layer of Co-rich ferromanganese crust N5E-06 and geological ages estimated for these layers

分层		年代标志化石出现记录	地质时代和年龄估计
Ⅲ层	顶层	<i>Emiliana huxleyi</i>	更新世, ≤ 0.09 Ma
	中层	未见年代标志化石	
	底层	<i>Emiliana huxleyi</i>	更新世, 0.26 Ma
Ⅱ层	顶层	<i>Calcidiscus macintyreii</i>	更新世, 1.58 Ma
	中部	未见年代标志化石	上新世
	底层	<i>Sphenolithus</i> spp. + <i>Pseudoemiliana lacunosa</i>	上新世, 3.66~4.5 Ma
Ⅰ层	顶层	未见化石	
	中上白夹层	<i>Ericsonia formosa</i>	渐新世, 32.8~34.2 Ma
	中下白夹层	<i>Birklundia staurion</i>	始新世, 40.4~49.7 Ma
	底层	<i>Fasciculithus pileatus</i> , <i>F. clinatus</i>	古新世, 55.3~59.7 Ma
基底层	顶层	未见化石	

存在以及缺乏典型的更新世分子来看,该化石组合应属于上新世,但无法再做更精细的推测. II层底层样品也含 *H. carteri*, *C. leptoporus*, *G. sinosa*, 以及典型的较大个体的 *P. lacunosa* 等. 此外还发现了一枚 *Sphenolithus neoabies*, 这类小型的楔石类的末现面年龄为 3.66 Ma, 早上新世晚期. 由于 *G. sinosa* 和 *P. lacunosa* 最早出现于早上新世(Perch-Nielsen, 1985; Su, 1996), 尤其是后者的典型较大个体类别在大西洋最早约出现于 4.5 Ma (Su, 1996), 综合起来推测该样品的年龄大致为 3.66~4.5 Ma.

I层的顶层样品未发现化石. 在该层中部的上白夹层发现了较丰富的早渐新世化石, 如 *Ericsonia formosa*, *Reticulofenestra bisectus*, *R. umbilicus*, *Chiasmolithus altus*, *D. tanii.*, *D. adamanteus*. 其中 *R. umbilicus* 的末现面年龄为 32.3 Ma, *E. formosa* 的末现面为 32.8 Ma, 而 *C. altus* 和 *D. adamanteus* 的分布下限只在早渐新世. 考虑到这些因素, 可以大致将该样品作为 *E. formosa* 的末现面, 为 32.8 Ma. 此外可以根据没有始新世分子 *D. saipanensis* (末现面 34.2 Ma) 出现, 将该样品的年龄定在 32.8~34.2 Ma 之间. 在该层中部的下白夹层发现了较丰富的 *R. bisectus* 和少数几枚 *E. formosa*, 和 1 枚 *Birklundia staurion*. 其中 *B. staurion* 只见于中始新世 NP15-16 带 (Perch-Nielsen, 1985), 而 *R. bisectus* 的最早出现也是约在中始新世 NP15-16 带. *E. formosa* 可以下延到早始新世的 NP12 带左右. 综合起来, 该样品的年龄应该为中始新世 NP15-16 带, 年龄为 40.4~49.7 Ma. I层的底

层样品所含化石较少, 以 *Fasciculithus* 类为主, 除了 *F. pileatus* 和 *F. clinatus* 外还有数枚保存不好、难以鉴定的 *Fasciculithus* 化石. 虽然没有可以更精细确定年龄的标志化石, 但就 *F. pileatus* 和 *F. clinatus* 在中晚古新世的分布来看, 其时代范围与中晚古新世标志化石 *F. tympaniformis* 的分布时代大致相当, 该种的上下分布时限为 55.3~59.7 Ma. 此外还发现 *Toweius eminens* 和 *Micula* sp. 各一枚, 前者见于中晚古新世, 后者常见于晚白垩世, 但个别分子可以上延到古新世. 由于化石保存不好, 难以准确鉴定该种. 综合起来, I层底层样品无疑属于中晚古新世, 从年代上来说, 大致范围为 55.3~59.7 Ma.

该结壳的基底层也未发现钙质超微化石.

3 结壳形成和生长时期的讨论和认识

对 N1-15 和 N5E-06 2 个富钴结壳根据钙质超微化石的记录进行的地层划分和地质年代确定结果总结于表 4, 5.

来自 N1 海山的 N1-15 富钴结壳含化石少, 保存较差, 而且有新化石混杂的现象或相互矛盾的记录, 导致了鉴定化石以及划分地层和确定时代的不确定性, 有几个层位的确定是建立在比较勉强的推理基础上的, 如 I 层和 II 层. 该结壳较连续和可信的化石序列出现于上新世到更新世期间. 按目前所推测的年代方案, 该结壳最底层的年龄范围为新近纪中新世 19~23.2 Ma, 其顶部表层为第四纪更新世 0.09 Ma 以来的沉积.

相对来说,来自 N5 海山的 N5E-06 富钴结壳含化石较多,保存也较好,提供了较丰富和相互对应一致的化石记录,获得了较确切的地层划分和确定时代的方案。该结壳较连续的化石序列出现于上新世到更新世期间的上部结壳层中,以及出现在中晚古新世到早渐新世的下部结壳层中。最底层的年龄范围为古近纪中晚古新世的 55.3~59.7 Ma,其顶部表层为第四纪更新世 0.09 Ma 以来的沉积。

比较上面 2 个结壳的生物地层学结果初步得到以下认识:(1)2 个结壳的上部都发现了较连续的上新世到更新世化石序列,与它们的层状构造相对比,这个序列可对应于典型 3 层层状构造的上层和中层。更准确地说,致密型上层结壳为晚更新世的沉积,而疏松型中层结壳为上新世到中更新世的沉积。致密型下层结壳的形成时代比较复杂,将在下面讨论。(2)本研究在 2 个结壳中都没有发现十分可信的晚渐新世到中新世的化石记录。实际上共发现了 2 枚分布时限限于中新世的化石,一枚是 N1 海山 N1-15 富钴结壳上部Ⅳ层中的 *D. bellus*,该化石目前作为再沉积化石。另一枚是该结壳Ⅰ层底部的 *D. druggii*,是在没有更可靠的化石记录情况下,用它指示该层的时代。N5 海山的 N5E-06 富钴结壳化石虽然较丰富,但也没有发现时限仅分布于晚渐新世到中新世的化石记录。在该结壳上部上新世到更新世序列和下部中晚古新世到早渐新世序列之间存在 1 个未发现化石的Ⅰ层顶层,目前无法了解它是属于晚渐新世还是中新世,或早渐新世晚期。因此,富钴结壳下层是否有部分形成于晚渐新世到中新世这一时期还有待于在未来工作中通过分析更多的富钴结壳来探讨。(3)就 N5 海山的 N5E-06 富钴结壳来说,其下层致密型结壳的下部包含的中晚古新世到早渐新世化石序列充分表明,这部分结壳形成于中晚古新世到早渐新世的 59.7~32.8 Ma 期间。(4)在个别层位之间存在着沉积间断,如 N5E-06 富钴结壳的Ⅲ层底层的时代为 0.26 Ma,而与它紧密相邻的Ⅱ层顶层的时代为 1.58 Ma,相差约 1.32 Ma,或者说在早更新世与晚更新世期间有一个时间长度为 1.32 Ma 的沉积间断。由于这个间断现象目前只发现于 N5E-06 富钴结壳,无法推测是 N5 海山的局部构造活动造成的还是其他原因造成的。

致谢:研究样品和航次相关资料由大洋协会提供,大洋航次海上调查人员为研究样品的取得付出了辛勤劳动。

References

- Aplin, A. C., Cronan, D. S., 1985. Ferromanganese oxide deposits from the Central Pacific Ocean, I. Encrustation from the Line Island Archipelago. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49: 427-436.
- Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, C. C. III, et al., 1995. A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy. In: Berggren, W. A., Kent, D. V., Swisher, C. C. III, et al., eds., *Geochronology, time scales and global stratigraphic correlation*. *Spec. Publ. Soc. Econ. Paleontol. Mineral (Soc. Sediment. Geol.)*, 54: 129-212.
- Guo, S. Q., Wu, B. H., Lu, H. L., et al., 1994. Geochemical study on ferromanganese crusts. Geological Publishing House, Beijing, 10-14 (in Chinese).
- Hein, J. R., Manheim, F. T., Schwab, W. C., et al., 1985. Ferromanganese crusts from Necker Ridge, Horizon Guyot and S. P. Lee Guyot; Geological considerations. *Marine Geology*, 69: 25-54.
- Ma, W. L., Jin, X. L., Chen, J. L., et al., 2002. Geological characteristics of Co-rich crusts from the Mid-Pacific seamounts area. *Donghai Marine Science*, 20(3): 11-21 (in Chinese with English abstract).
- Martini, E., 1971. Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In: Farinacci, A., ed., *Proc. 2nd Int. Conf. Planktonic Microfossils Roma*; Rome, 2: 739-785.
- Perch-Nielsen, K., 1985. Mesozoic calcareous nannofossils. In: Bolli, H. M., Saunders, J. B., Perch-Nielsen, K., eds., *Plankton stratigraphy*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 329-426.
- Su, X., 1996. Development of Late Tertiary and Quaternary coccolith assemblages in the northeast Atlantic. *Geomar. Report*, 48: 1-119.
- Xu, D. Y., Yao, D., Liang, H. F., et al., 1994. Paleogeographical environment of ferromanganese crusts. Geological Publishing House, Beijing, 21-41 (in Chinese).

附中文参考文献

- 郭世勤, 吴必豪, 卢海龙, 等, 1994. 多金属结核和沉积物的地球化学研究. 北京: 地质出版社, 10-14.
- 马维林, 金翔龙, 陈建林, 等, 2002. 中太平洋海山区富钴结壳地质特征. *东海海洋*, 20(3): 11-21.
- 许东禹, 姚德, 梁宏峰, 等, 1994. 多金属结核形成的古海洋环境. 北京: 地质出版社, 21-41.