

海底锰结核微生物荧光显微特征初步研究

胡文瑄^{1*} 顾连兴¹ 张文兰² 周怀阳³ 潘建明³ 张海生³

(1 南京大学地球科学系, 南京 2 南京大学成矿机制研究国家重点实验室, 南京

3 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州)

提 要: 对东太平洋海底锰结核的显微荧光研究发现, 其中发育大量微生物“活体”, 且与锰结核的形成密切相关。根据形态初步确定了两类微体菌类, 其一为丝状菌, 呈弧状或同心圆状向外逐层生长, 形成表面光滑的结核; 其二为丛状菌, 形成不规则菜花状且表面粗糙的结核体。也常见两种菌类交互生长, 形成各种形态复杂的结核体。

关键词: 锰结核 荧光 丝状菌 丛状菌

深海多金属结核作为未来潜在的金属矿产资源, 已日益引起人类的重视。时至今日, 人们已在许多海域发现了丰富的铁锰结核。但是对其形成机理, 还一直存在争议。大致可分为两种观点: 其一是微生物成因观点, 即认为(超)微生物群是铁锰结核体的建造者^[1-4]; 其二是化学成因观点, 认为是海底(局部)富多金属的热液直接沉淀而成, 或富多金属的流体因气候和微环境等因素沉淀形成^[6-8]。近来又有学者提出了生物-化学二元成因机制^[5]。从目前研究趋势看, 微生物的生命活动在锰结核形成中的作用越来越被重视。然而遗憾的是, 迄今为止谁也没能在结核体中发现正在起建造作用的微生物活体。正基于此, 作者利用研究生物体最有效的高精度荧光显微镜, 对 1997 年底刚从东太平洋采回的铁锰结核进行了系统的研究, 幸运地发现了建造这些结核的大量微生物“活体”(已死亡), 并对其生长特征及其与铁锰结核的成因关系进行了初步分析。

1 样品和研究方法

1.1 研究样品

研究样品为国家海洋局 97 年科学考察船采集的东太平洋深海结核。选取了两个取样点中的两种类型: 第一种类型, 样品号 161, 不规则菜花状锰结核, 表面粗糙, 底部有生长的根基, 采自 11°45.3'N、139°31.86'W, 深度为 4862 m 的软泥层中; 第二种类型, 样品号 23562, 扁平土豆状锰结核, 表面较光滑, 采自 10°07.50'N、154°07.50'W, 水深 5107 m。

1.2 研究方法

先用基本不发荧光且耐高温的 502 胶对锰结核进行固结, 然后沿垂直和平行结核生长方向分别切片制成光片, 即可用于显微观测。

显微荧光研究是在 OPTON 大型万能显微镜的荧光系统进行的。其工作原理是: 当用一定波长的光激发样品时, 不同成分便产生不同颜色的荧光。生物有机体荧光最强, 而绝大多

* 胡文瑄, 男, 1959 年生, 博士, 副教授, 从事矿床学、地球化学、沉积学及流体热力学研究。邮政编码: 210093

数无机矿物不发荧光。因此荧光显微镜是研究样品中生物有机物质的最有效手段。

2 微生物类型及其特征

边立曾等^[4]将锰结核中的生物化石划分为3种类型：外来者，寄居者和建造者。本文所关注的是后者——建造者，即是建造锰结核的生物种类，而且要找到这些建造者的有机体。通过对研究样品详细的显微荧光观察，发现锰结核中发育有大量发荧光的微生物或超微生物“活体”（死亡微生物遗体）。这些微生物有机体在高压汞灯光源（加特定滤色片）激发下，发出橘黄色荧光（照射时间稍长可变为褐黄色）。初步确定为两种类型的菌类：一种为丝状菌，另一种为丛状菌。

2.1 丝状菌

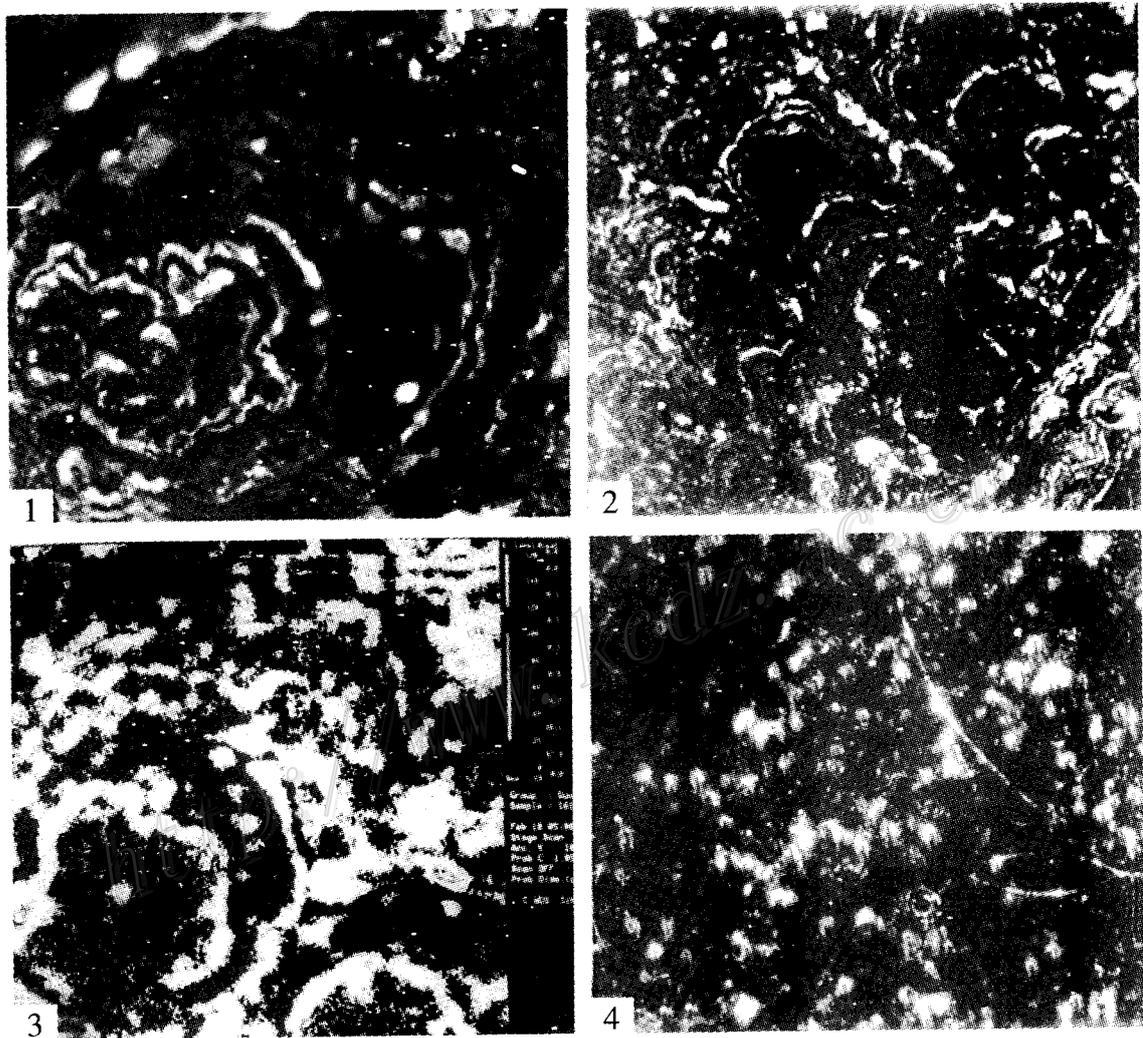
丝状菌在23562号土豆状结核中最为发育，在161-1号样品中也局部可见。其主要表现形式为各种复杂有机质条纹。与铁锰氧化物条纹共同组成叠层状、同心圆状结构（照片1、2）。这些有机条纹究竟是丝状菌单体，还是集合体，现在还难以分清。也许就是张富生等^[1]所发现的太平洋螺旋孢菌化石的“活体”。其主要特点是：①丝状菌有机条纹如丝如线，宽度十几至几十微米不等，呈不规则圆形或弧形与铁锰氧化物纹层密切共生、交替出现，且二者显著正相关，即丝状菌层宽，铁锰纹层就厚；丝状菌纹层细，铁锰纹层则薄；②与丝状菌纹层共生的铁锰质纹层也变化很大，延长方向上时粗时细，甚至断断续续；其两侧也凹凸不平。其内部也不致密，常见微孔分布，内含发光之有机体；③每个丝状菌与铁锰纹层组成的叠层状或不规则同心圆状集合体的最外层总是被丝状菌层所包裹，表明丝状菌的生长带动着结核体逐层向外生长。

为了确定发荧光的条纹是有机体，又将样品在电子探针上利用X射线扫描对有机碳进行成分分析。因为锰结核中不含碳酸盐矿物，X射线扫描所揭示的碳元素分布特征即是有机碳的分布特征，也代表着生物有机体的发育情况。照片3是23562号样品局部结核体的电子探针X射线扫描图象，清晰地显示出有机碳呈断续圆形或弧形分布的特点，与荧光显微镜下生物有机体的特征完全一致。从而进一步确定了锰结核中有机物的分布情况。

2.2 丛状菌

在161-1号和23562号样品中均有发育，其中161-1号样中最多。其主要特征是：①呈柱状单体集成丛状发育，并有一定方向性，都向着背离结核体根部的方向生长，非常类似于蜂巢珊瑚的生长特点（照片3）；②丛状菌单体都很小，长10~50 μm不等，个别100 μm以上，宽度3~10 μm。每个丛状菌单体均有两部分组成，其一为骨干肢体，呈细直的柱状，不发荧光，像骨骼一样支撑着丛状菌生长，探针分析表明其以MnO₂为主，含部分FeO，可能是一种含水的（铁）锰氧化物；其二为有机软体，荧光镜下呈（褐）黄色团状包裹裹在柱状骨干上部，像“帽子”似的戴在骨干上（照片4）。许多单体排在一起时，这些软体包裹便挤在一起，不分彼此，形成一片黄色。柱状骨干从不穿越软体包裹，其顶端几乎都处在包裹中心，呈现出正在生长的特点；③不同部位的丛状菌在个体形态上，也有一定差别。在大量菌体共同生长的地方，因为空间拥挤，每个单体都长得细长挺拔；而在个体稀少，特别是一些空洞附近，则长得相对粗短。

此外，丛状菌和丝状菌也常共生在一起。最常见的情况是，丛状菌在锰结核的核心部位发育，亦即在锰结核生长的早期阶段生长；而丝状菌在锰结核的外部层圈发育，即在晚期阶段形成。但对不同锰结核，乃至同一锰结核的不同部位，两种菌类的交互生长情况也不相同，甚至在丝状菌外围还生长有丛状菌。因此，由这些菌类生长所形成的铁锰结核体的形态也就各种各样，十分复杂。



照片说明

- 1 由丝状菌建造而成的铁锰结核。发荧光的丝状菌纹层与不发荧光的铁锰矿物纹层交替分布。越向外层有机质越丰富，往内铁锰矿物致密，色调黑。最外层为丝状菌所包裹。样品 2350-2, $\times 160$
- 2 丝状菌建造成的叠层石状结构。丝状菌层和铁锰质层均非常纤细，呈弧状向特定方向生长。样品 2350-2, $\times 160$
- 3 锰结核中碳元素的电子探针 X 射线扫描图象，显示出有机碳分布与铁锰质条纹或环带相一致
- 4 锰结核中丛状菌。由大量长柱状单体组成，均向同一方向生长。各单体以含水氧化锰矿物为骨干（黑色不发光），中上部被发荧光有机软体包裹所包裹。样号 161, $\times 160$

3 讨论

荧光显微镜所揭示的微生物有机体与铁锰无机物之间的共生特点,真实地反映了海底生命活动与无机矿物沉淀的密切联系。从所拍摄的照片上可以清晰地看出,微生物的生长带着金属矿物的沉淀如丛状菌是一铁锰矿物为骨干向上生长,有机包囊在上,像个黄色的倒“U”型帽子,铁锰矿物骨干在下边支撑。前者不断向上生长,后者也不断增长;而丝状菌则是逐层向外生长,生物有机纹层总是处在最外层,带动整个结核的生长。虽然控制其成层的原因尚不清楚,但微生物的生命活动带动结核生长的关系显而易见。此外,在微生物不发育的孔穴中,没有任何金属矿物的形成。只有微生物生长发育的地方,才有金属结核的生长,这也从另一方面说明了两者在成因上的密切关系。

对两种菌体中金属矿物骨架进行电子探针分析的结果表明,两者在成分上有明显差别。丛状菌骨架以 MnO_2 为主,可达 75%, FeO 不足 1%,其余为 SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , H_2O 等;丝状菌骨架虽以 MnO_2 为主,45%~46%,但含 FeO 亦较高,10%~17%, SiO_2 , Al_2O_3 也较高,其余为 H_2O , Na_2O , K_2O 等。用电子探针背散射电子成分像观察,丛状菌发育区明显亮于丝状菌发育区,也表明前者含锰高于后者。这可能意味着两种微生物的生存环境条件有所不同,或者各自吸收营养成分不同,即丛状菌为嗜锰细菌,而丝状菌嗜锰亦嗜铁。

不同的微生物有不同的生活习性和不同的生活方式。丛状菌呈束状、栉状垂直向上生长,故此长成不规则菜花状锰结核,且表面粗糙,有砂感;而丝状菌则呈复杂弧状、同心圆状逐层向外生长,故此形成表面光滑的结核体。宏观表现有其微观原因。当把其微观特征及形成过程认识清楚之后,其宏观特征,乃至其生成条件和分布特点也就易于把握了。

参 考 文 献

- 1 张富生,林承毅,边立曾等.深海锰结核中螺旋状超微化石的发现及其意义.高校地质学报,1995,1(1):109~1166.
- 2 陈建林,张富生,边立曾等.超微生物是大洋多金属结核成矿的建造者.科学通报,1997,42(4):337~343.
- 3 林承毅,边立曾,张富生等.深海锰结核中微生物的分类及串珠状超微体生物化石的研究.科学通报,1996,41(9):821~824.
- 4 边立曾,张富生,林承毅等.深海锰结核——核形石的新类型.地质学报,1996,70(3):232~236.
- 5 韩喜球,沈华梯,陈建林等.太平洋多金属结核的生物成因与生物-化学二元成矿机制初探.中国科学(D),1997,27(4):349~359.
- 6 Akira Usui & Akira Nishimura. Submersible observations of hydrothermal manganese deposits on the kaikata Seamount, Izu Ogasawara (Bonin) Arc. Marine Geology, 1992, 106: 203~216.
- 7 Eisenhauer A, Gogen K, Pernicka E et al. Climatic influences on the growth rates of Mn crusts during the late Quarternary. Earth and Planetary Science Letters, 1992, 109: 25~36.
- 8 Monty C L V. Les Nodules de manganese Sont des Stromatolites. Oceaniques. C. R. Acad. Sc: Paris, Ser. D, 1973, 276: 3285~3288.