

大洋锰结核地质环境的声学调查

任来法 凌鸿烈

(中国科学院东海研究站)

锰结核是赋存在深海大洋底部表层的多种矿物结核,是富有前景的海底资源,但探查工作相当困难。本文介绍了应用深地层剖面仪进行地质环境探查,以圈划锰结核赋存区域的声学调查方法,这是大洋锰结核综合调查的有效手段之一。本文分析了探测方法给出了一些地层剖面图,并与深海取样作了对照。

一、概述

锰结核是沉积在深海大洋底部表面的多种矿物结核,它含有锰、铁、镍、钴等多种矿物,是一种富有前景的海底资源。二十多年来,许多国家特别是发达国家进行了大量探查工作,发现了锰结核的富集区,并进行了采矿实验^[1,2]。

通常,锰结核赋存在四、五千米的大洋底,探查工作相当困难,常用的方法是深海取样,深海照相及地球物理探测,一般采用综合调查方法^[3]。地球物理探测是海洋调查的重要手段,在大洋锰结核调查中应用的有重磁法、测探法、地质环境调查和回波信号分析等,除重磁法外,这些手段都应用声学技术。本文介绍了使用深地层剖面仪进行锰结核地质环境调查的方法。

二、锰结核地质环境 调查讨论分析

国外有关研究指出^[1],主要控制深海锰

结核矿床的是有效的金属来源和沉积速率。金属是由陆地岩石溶解出来的,也由深海火山在各种途径上提供,它们被溶解后,由于底流的作用,可以被搬运得很长距离。对深海锰结核的形成来说,沉积率必须是低的。所以,在深远海区的沉积区,锰结核就极其丰富。锰结核与沉积速率呈负相关关系,意味着靠近火山岛屿范围测站多半呈低赋存率。文^[4]指出,本海域(中部太平洋)的结核赋存状况几乎是全部结核赋存于海底表层厚5—10公分的高含水率的浮泥状沉积物中。

上述研究结果表明,锰结核的赋存率与海底表层物性有关,或者说与沉积速率有关,对软表层(也谓“透视层”)区域就可能赋存高丰度的锰结核,而火山区域或洋中脊区则沉积层厚度薄,同时由于普遍的火山作用形成新地壳,不利于锰结核生长,赋存率低。因此,深海大洋锰结核矿源调查的一个重要方法是应用地层剖面仪进行地质环境调查。获取地层剖面图,现场分析地层构造和表层沉积物物性,以圈划锰结核所能赋存的区域。国内应用地层剖面仪在测区内作了大量探测

工作[3]。

DDC1—1型深地层剖面仪适用于深海大洋的地质调查，可探测水深6000米以上的海区，它由电火花声源、拖电线列阵、回波信号处理及记录器、磁带录音机等组成。剖面仪安装在调查船上，电火花声源的水下放电电极和拖曳线列阵则拖在船尾水中。在调查船航行过程中，剖面仪在记录器的同步脉冲作用下，使沉放在水下的电火花声源放电电极按一定周期辐射宽带声脉冲，它传播到海底并穿透地层。由海底及其下的地层界面反射所产生的回波经回波信号处理设备处理后馈送给记录器，从而在记录器的记录纸上描绘出形象化的反映海底及其下地层构造的剖面图。

应用深地层剖面仪作大洋锰结核地质环境调查，要求记录的剖面图的地层分辨高、清晰度好，可以其灰阶和特性来鉴别海底表面沉积物物性。实践表明，必须选用合适的工作频段。我们在现场，根据地层纳方程，对有关参数进行了数值分析、选定了最佳工作频段，从而迅速获得成效。

在忽略了微小的地层界面透射损失之

后，深地层剖面仪地层声纳方程式如下[5]

$$SL_f = 20 \log[2(H+R)] + 2\alpha_f R + RI + NL_f + DT \quad (1)$$

式中：

SL_f —声源谱级(分贝)，参考级1微巴。

H —探测海区的水深(米)。

R —地层穿透深度(米)。

α_f —地层对声波的吸收系数(分贝/米)与频率有关。

RI —所能探测的目的层界面反射损失(分贝)。

NL_f —拖曳线列阵噪声谱级(分贝)，参考级1微巴。

DT —检测阈(一般取6分贝)。

$20 \log[2(H+R)]$ —声波扩散损失(分贝)。

在大洋锰结核地质环境调查海域的水深(H)很深，可达5000米左右，由此而引起的声波扩散损失很大。达80分贝，而在这样深的海区，地层穿透深度 R (几百米)所附加的扩散损失很小、仅零点几分贝，可以忽略。于是可将 $20 \log[2(H+R)]$ 简化为 $20 \log[2H]$ 。在此条件下，我们将可用于地层

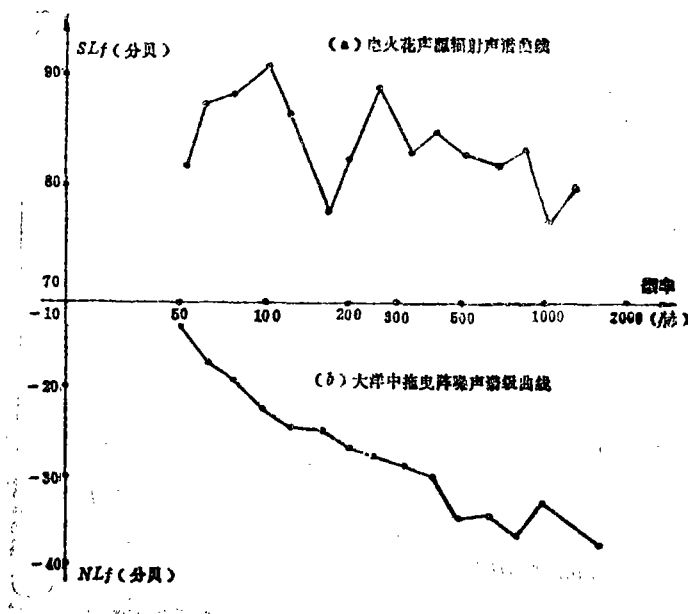


图1 电火花声源的声源谱级 SL_f 和海洋中拖曳阵噪声谱级 NL_f 曲线图

吸收衰减的信噪比量值定义为信号余量 S_e ，则由(1)式可得：

$$S_e = 2 \alpha_i R = SL_i - 20 \log[2H] - RI - NL_i - DT \quad (2)$$

$$R = \frac{S_e}{2 \alpha_i} \quad (3)$$

图1是电火花声源的声源谱级 SL_i 和海洋的拖曳阵列噪声谱级 NL_i 曲线图（它比近海数值低10分贝，船速6.5节）。由 SL_i 、 NL_i 和 Hamilton 给出海底沉积物吸收衰减特性曲线数据 α_i （选用下面一条）[6]，并取 RI 为15分贝， DT 为6分贝、 H 为5000米，则由(2)、(3)式可求得表1结果。由图1曲线也可看出，

声源谱级在 160 赫附有一凹陷区，拖曳阵列噪声谱级在较宽频带内随频率升高而下降（约每倍频程下降分贝）。因此，在200赫以上的较宽频段内，不仅避开了声源谱级的凹陷区，而且声源谱级相对于拖曳阵列噪声谱级的差值也最大，即前面所定义的信号余量也最大。虽然在该频段内地层吸收比更低频段大，表1的结果表明，在200—800赫频段内可穿透地层 300 米左右。由于地层分辨率与探测的工作频带宽度有关，带宽大，分辨率高，根据大洋锰结核地质环境调查要求，选用240—1200赫频段。这样不仅地层分辨率高、剖面图清晰度也好。

表1、深海大洋地层穿透深度计算结果

声波频率 f(赫)	声源谱级 SL _i (分贝)	大洋中拖曳阵列噪声谱级 NL _i (分贝)	地层吸收衰减系数 α_i (分贝/米)	所定义的信号余量 S _e (分贝)	地层穿透深度 R(米)
80	87.8	-18.4	0.0048	5.2	540
100	91.4	-21.8	0.006	12.2	1000
125	86.4	-24.3	0.0075	9.7	640
160	77.0	-24.0	0.0096	0	0
200	82.2	-26.0	0.012	7.2	300
250	89.2	-27.1	0.015	15.3	510
400	85.1	-29.2	0.024	13.3	280
630	82.4	-32.6	0.0378	14.0	190
800	84.0	-35.8	0.048	19.5	200

三、锰结核地质环境调查的地层剖面图

图2是太平洋锰结核地质环境调查的地层剖面图之一。此海域水深5100—5400米(剖面仪水深移位3500米)、剖面图左端和中间部分清晰地显示了“穿透层”地层结构，地层穿透深度200米。此类地层沉积过程有利于锰结核生长，左端处深海采样结果，锰结核丰度高。中间部分处于调查船探测航程中，未经深海采样。而剖面图右端显示透视层地

层，不利于锰结核生长锰结核稀少。

图3是太平洋锰结核地质环境调查的地层剖面图之二。此海域水深 5200 米(剖面仪水深移位3500米)，地层穿透深度240米，图中在平坦的海底下有一火成岩“潜山”，此种海域较难赋存锰结核，深海采样结果锰结核稀少。

图4是太平洋锰结核地质环境调查的地层剖面图之三。剖面图左端“透视层”记录很淡，表明海底损失很大，底质的声特性阻抗接近海水，比较稀。此处锰结核丰度很高。

图5是太平洋锰结核地质环境调查地层

剖面图之四。其右部为海底山。图中右部海底山处有三次水深移位，除山谷处有些沉积

物外，基本上无沉积层，右端深海取样表明无锰结核。

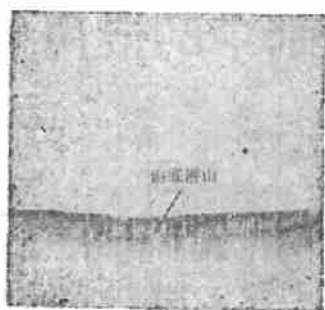


图2 太平洋锰结核地质环境调查地层剖面图之一



图3 太平洋锰结核地质环境调查地层剖面图之二

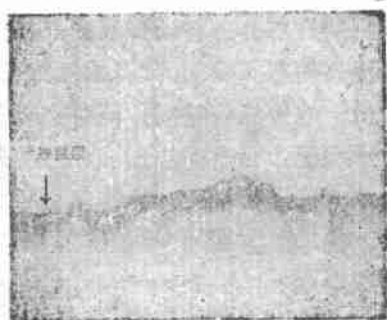


图4 太平洋锰结核地质环境调查地层剖面图之三



图5 太平洋锰结核地质环境调查地层剖面图之四

四、结束语

应用DDC1-1深地层剖面仪进行大洋锰结核地质环境调查在国内是首次尝试，由于在现场解决了最佳参数的选用、使用最合适的工作频段，将深地层剖面仪作为深海中层剖面仪应用，获得了很好的效果。文中给出的部分地层剖面图证明了DDC1-1深地层剖面仪是大洋锰结核综合调查的有效手段之一，可以根据剖面图的地层结构，并根据声学原理大致判断海底沉积物的物性（探测时

仪器参数是保持不变的），圈划锰结核的赋存区；还可根据剖面图显示的沉积层厚度变化、分析锰结核沉积环境古地理，探讨锰结核的成因和富集条件。

每一种物探手段都有一定的局限性，如将深地层剖面仪与其它声学探测仪器相结合，并作典型的深海采样，则将是很可取的有效方法。为了保证探测达到满意的效果，DDC1-1深地层剖面仪使用时，调查船的航速应限制在7~8节，海况4级以下。

作者对马水深、华祖根、朱柏康等同志的协作表示感谢。

（下转第19页）

式中 $S(\alpha_0)$ 是声线的跨距(循环距离); $L(\alpha_1)$ 是从声源向上发出的射线到第一个反转点的水平距离(见图1)。

会聚增益为:

$$F = \frac{2.83 |S(\alpha_1)|}{|\dot{S}(\alpha_1)|} \left(\frac{k(z_2)}{a} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

我们根据图1给出的声速剖面计算了频率为200赫,声源深度为500米,接收深度为1000米的反转点会聚区的增益,它与实验值的比较列于表4,表中 $G = 10 \log F$ 。

表4 0.2KHz, 500米发射—1000米接收的会聚增益G

会聚区号数		1	2	3
会聚区位置 (Km)	实验值 Re	42	63	105
	计算值 Rt	38	52	97
会聚区增益 (dB)	实验值 G	12	11	9
	计算值 G	13.2	13.2	13.2

从表4可看出理论值与实验值基本一致。

结 语

上接第23页

参 考 文 献

- [1] Neville Fexon, “中太平洋锰结核矿床及其随纬度的变化”, 海洋地质, 1984年第4期。
- [2] 发达国家加紧研究锰结核开采技术”, 海洋科技动态, 1984年第2期, P.11。
- [3] “锰结核调查专辑”, 海洋地质, 1984年第2/3期, P.8。

实验和理论都表明,在深海声道轴上出现规律性很强的第Ⅲ类反转点会聚区,并且发射源越靠近声道轴,会聚现象越强,这对大洋中远距离的探测是有意义的

参加本工作的还有李光洲、符才安、吴文光、李广德等同志,作者对他们表示感谢。

参 考 文 献

- [1] Ewitt, M. and Worzel, J.L., “Long-range sound transmission”, Geol.Sos.Am, Mem, 27(1948)
- [2] willams, A.O.and Norre, W, “Axial focusing of sound in the SOFAR channel,” J.Acoust Soc Amer, 41(1967)189—198.
- [3] Nicholas, N.c, and Uberall, H, “Normal-mode propagation calculations for a parabolic velocity profile”, J.Acoust. Soc.Amer., 48(1970), 745—752
- [4] Guthrie, M. M. et al., “Lang-range low-frequency CW propagation in the deep ocean, Antigua—Newfoundland,” J. Acoust.Soc. Amer, 56(1974), 58—69
- [5] 张仁和, “反转点附近声场的渐近理论”, 第四届全国声学会议, 1985。

- [4] “关于GH76—1航海海域(中部太平洋)锰结核的赋存状况”, 海洋地质, 1979年第6期。
- [5] 任来法等, “电火花和气枪声源在深地层剖面仪中应用分析”, 海洋技术, 1984年第4期。
- [6] Hamilton E.L, “Compressional wave Attenuation in marine Sediment Properties”, Geophysics.Vol.37.No.4, 1972年。