

浅地层剖面测量和海底摄像联合应用确定 平顶海山富钴结壳分布界线

何高文^{1,2}, 梁东红², 宋成兵², 吴水根³, 周建平³, 张学华²

1. 中山大学地球科学系, 广东广州 510275

2. 广州海洋地质调查局, 广东广州 510760

3. 国家海洋局第二海洋研究所, 浙江杭州 310012

摘要: 平顶海山富钴结壳分布上界的确定对准确估算结壳资源量至关重要。长期以来, 这一问题未能有效解决。通过浅地层剖面测量和海底摄像的首次联合应用, 发现浅地层剖面测量揭示的海山浅部地层结构与海山结壳的分布具有明显的相关性, 沉积物分布的上界往往与结壳分布下界对应。通过对浅剖测量结果的分析, 并对比海底摄像资料, 可以确定沉积物分布的下界, 进而推断结壳分布的上界, 据此判断西太平洋某海山结壳分布的上界水深为 1 560 m 左右。

关键词: 浅地层剖面; 海底摄像; 平顶海山; 富钴结壳; 分布界线。

中图分类号: P229

文章编号: 1000-2383(2005)04-0509-04

收稿日期: 2005-01-18

Determining the Distribution Boundary of Cobalt-Rich Crusts of Guyot by Synchronous Application of Sub-bottom Profiling and Deep-Sea Video Recording

HE Gao-wen^{1,2}, LIANG Dong-hong², SONG Cheng-bing², WU Shui-gen³, ZHOU Jian-ping³,
ZHANG Xue-hua²

1. Department of Earth Sciences, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China

2. Guangzhou Marine Geological Survey, Guangzhou 510760, China

3. Second Institute of Oceanography, State Ocean Administration, Hangzhou 310012, China

Abstract: Determining the upper boundary of the cobalt-rich crust distribution of a guyot is important for estimating the mineral resources available, however, it has also long been an unsolved question. Correlations between the sub-bottom structure, revealed by sub-bottom profiling, and crust distribution can be revealed for the first time by the synchronous application of sub-bottom profiling and deep-sea video recording. The lower boundary of the sediment corresponds with the upper boundary of the crust. By analysis of these two kinds of data, the lower boundary of the sediment can be determined; therefore, the upper boundary of the crust distribution can be deduced. According to this method of analysis, the water depth of the upper boundary of crust distribution of a seamount in the western Pacific is about 1 560 m.

Key words: sub-bottom profiling; deep-sea video recording; guyot; cobalt-rich crust; distribution boundary.

国际海底区域蕴藏着丰富的矿产资源, 富钴结壳是其中一类重要的海底固体矿产。富钴结壳赋存于海山表面, 由于其富含钴、镍、铜、铂族元素、稀土元素等多种金属, 倍受各国关注, 20 世纪 80 年代初以来, 俄、美、德、法、日、英、韩等国纷纷投入巨资开展调查 (Halbach and Puteanus, 1984; Halbach,

基金项目: 中国大洋协会国际海底区域研究开发“十五”计划 DY105-16A 航次及“资源勘查与评价”项目 (No. DY105-01-02-1; No. DY105-01-01-1)。

作者简介: 何高文 (1968—), 教授级高工, 在职博士, 主要从事大洋矿产资源勘查研究工作。E-mail: gwhe@21cn.com

1984; Hein, *et al.*, 1985; Aplin and Cronan, 1985), 目前联合国国际海底管理局正着手制定相关勘探规章, 以保证这一活动的有序进行. 我国的富钴结壳调查工作始于 20 世纪 90 年代中后期(何高文等, 2001; 潘家华等, 2002; 张海生等, 2004; 史跃中等, 2004), 为使我国在这第二次“蓝色圈地”运动中争取主动, 圈定出优质矿区, 在“十五”期间, 加大了富钴结壳的调查力度, 并列入大洋工作的重点.

根据海山顶部形态划分, 目前我国富钴结壳(简称“结壳”)资源调查的海山(位于太平洋)主要包括两大类, 一为平顶海山, 二为尖顶海山. 后者由于顶面较小, 坡面相对较大, 结壳分布的上界较易确定, 而前者顶面一般较大且平坦, 由稳定的沉积层构成, 早期形成的结壳往往被后期的沉积物覆盖, 因此, 结壳分布的上界通常与沉积物分布的下界(尖灭处)有关.

确定结壳分布的上下界, 对准确估算结壳资源量至关重要, 也是矿区圈定的关键, 长期以来, 受调查手段的制约, 平顶海山结壳分布上界的问题无法解决, 困扰着结壳资源评价工作. 在“大洋一号”科学考察船 2004 年执行的 DY105—16A 航次中, 有针对性地在平顶海山布设了较多的长剖面海底摄像测站, 同时同步进行浅地层剖面测量, 另外在浅部实施了定点浅钻取样, 这些手段的首次联合应用, 有助于揭示结壳分布的界限.

1 资料采集与处理

浅地层剖面测量采用的是挪威 Kongsberg Defence & Aerospace AS-Simrad 公司生产的 TOPAS PS018 参量浅地层剖面仪(TOPAS PS018 Parametric Subbottom Profiler), 该系统是目前具先进水平的浅地层剖面测量设备之一, 由发射/接收单元(功率放大器、收发转换器、船底换能器阵)、操作控制台和输出设备等组成^①(图 1). 最大测量(穿透)深度 150 m, 分辨率可达 30 cm, 工作主频率 12.5~17.5 kHz, 次级频率为 0.5~5 kHz, 实时校正横摇、纵倾、升沉等参数. 可以通过多种脉冲方式进行操作, 包括 Ricker 子波、Bursts 子波、Chirps 子波等等. 不同方式的选择取决于不同的调查目的和水深变化: 若要进行高分辨率测量或水深较浅, 可选择 Ricker 子波; 若要获得高穿透或水深较深, 则需选

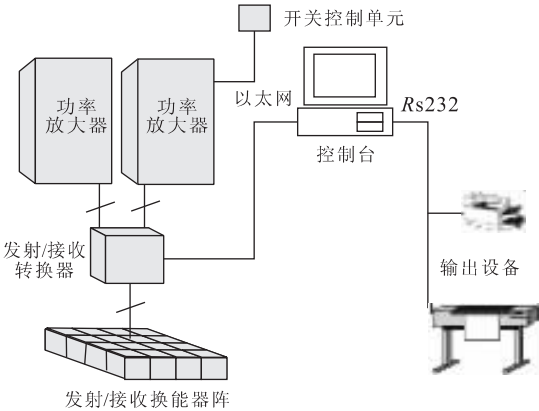


图 1 TOPAS PS018 系统组成
Fig. 1 TOPAS PS018 system

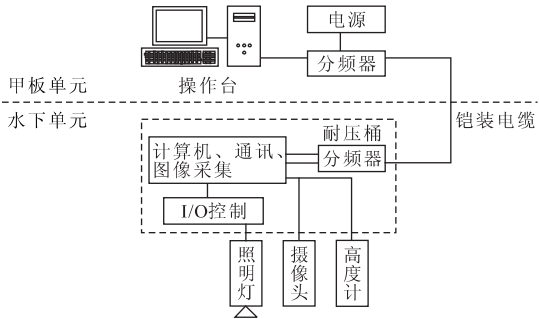


图 2 海底摄像系统组成
Fig. 2 Deep-sea video recording system

择 Chirps 子波.

海底摄像采用的是中国地质科学院矿产资源研究所顾玉民、李云达研制的 DY-DEEPSEAVID-EO2001—2(大洋深海摄像系统第 2 代). 该系统由水下单元和甲板单元 2 部分组成. 两者之间的通讯通过万米铠装同轴电缆进行(图 2). 采用甲板供电, 可长时间在水下工作.

在调查过程中, 沿预先设计好的测线从海山平顶顶部往海山斜坡方向作业, 利用万米铠装电缆拖曳海底摄像系统近海底拍摄海底景观, 离底高度一般控制在 3~5 m, 保证图像清晰. 浅地层剖面仪同步工作, 多波束测深系统记录水深数据, 工作过程中根据水深变化, 分别使用 Ricker 波、Chirp 波和 Burst 波, 并随时调整发射间隔和延迟时间, 以期获得较为理想的剖面记录资料. 作业过程中船舶航行速度控制在 1~2 节左右, 航向稳定.

对浅地层剖面资料进行了实时匹配滤波、带通滤波、时变滤波、时变增益等处理, 对海底摄像进行了数字记录采集、位置初步校正.

^①Kongsberg Defence & Aerospace AS, 2002. TOPAS PS 018 Operator Manual.

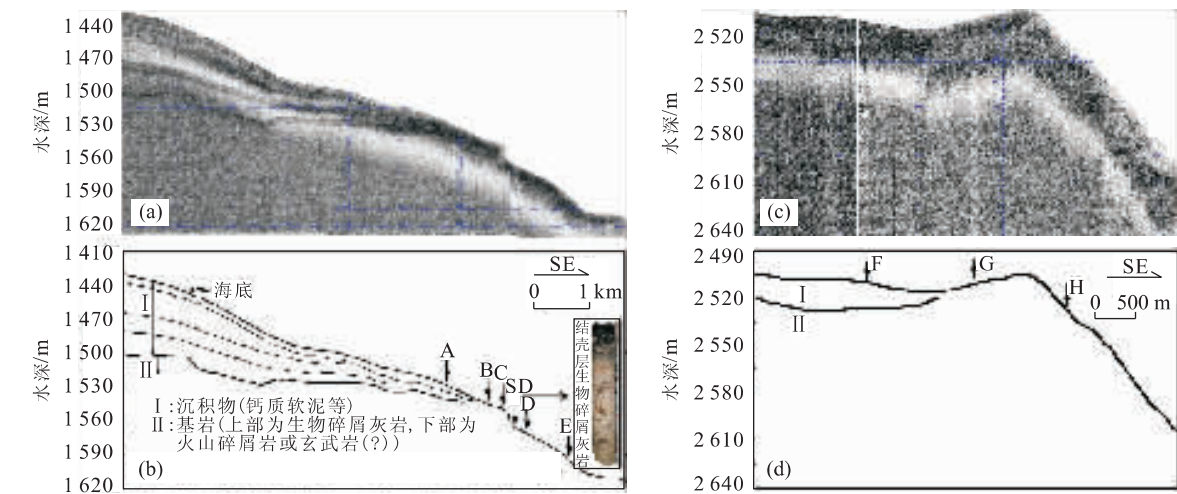


图 3 某摄像测站浅地层剖面

Fig. 3 Section A of sub-bottom profile from some video recording site

A—H 为图 4 中对应的图号,SD 为浅钻取样位置;a,b. A 段(水深 1 425~1 620 m);c,d. B 段(水深 2 505~2 610 m);a,c 为实测剖面;b,d 为解释结果

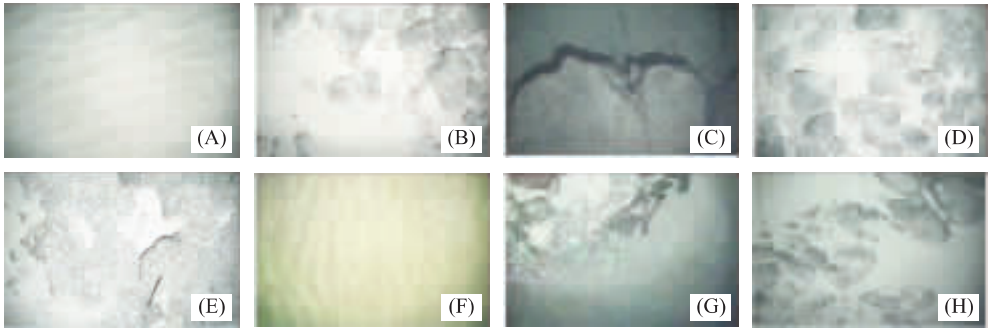


图 4 某摄像测站特征位置

Fig. 4 Pictures of special location from a video recording site

A. 沉积物;B. 砾状结壳;C. 板状结壳;D. 砾状、板状结壳;E. 板状结壳;F. 沉积物;G. 砾状、板状结壳;H. 砾状结壳

2 结果和讨论

对西太平洋多个平顶海山进行联合调查的结果表明,浅地层剖面测量揭示的海山浅部地层结构与海山结壳的分布具有明显的相关性。

图 3 为某海山在海底摄像过程中同步获得的浅地层剖面 A、B 两段(局部)及其解释结果,对比地震剖面^②和大洋钻探(ODP)资料(Abrams *et al.*, 1992; Bergersen, 1995; Janet and Isabella, 1995),可以将所揭示的海山浅部地层划分为两大层,自上往下,为层 I 和层 II(图 3b, d),其中层 I 为沉积物,主要由钙质软泥(有孔虫砂)组成,层 II 为基岩,其上部为生物碎屑灰岩,下部为火山岩建造(火山碎

屑岩和玄武岩)。层 II 中灰岩与火山岩之间的界限,可以结合地震资料进一步划分。图 3b 中 SD 处为本次实施浅钻取样获得的柱状岩芯的位置,岩芯样长约 40 cm,其中结壳(含角砾)层约 10 cm,其余为生物碎屑灰岩,二者呈紧密接触。由此可见,在海山斜坡上段,结壳基岩应以灰岩为主,在以往拖网取样中,大多拖获以火山碎屑岩或玄武岩为基岩的结壳样品,这可能是后者易风化,拖网取样易于获取,这些样品应该分布于斜坡下段。

从海底摄像可以看到(图 4),在海山顶部沉积物分布的区域(A),几乎没有结壳出现,从沉积物尖灭处开始,结壳开始出露(B)。在海山斜坡,地形平坦部位,往往也是沉积物堆积的理想场所,在此沉积物表面(F),结壳一般不发育,偶见砾状结壳,而与之相邻的基岩表面(G),结壳往往发育得好。

②杨胜雄,初凤友,何高文,等,2004. DY105—16A 航次现场报告(内部).

因此,根据浅地层剖面揭示的海山浅部地层结构,可以划分出沉积物分布区域,从而确定出结壳不发育区或空白区,以便结壳资源评价时,扣除该区域的面积,达到提高评价精度的目的。根据浅地层剖面结果分析(图 3),西太平洋某海山结壳分布的上界水深为 1 560 m 左右。通过分析海山不同部位浅地层剖面测量结果就可以圈定结壳上界的分布范围,剖面资料愈多,所圈定的范围愈准确。

目前,这 2 种资料的采集尚存在不足之处,主要表现在:海底摄像拖体水下位置不能准确确定,建议今后采用水下定位或增加压力传感器;浅地层剖面测量仪在地形变化大及深水处信号难以有效跟踪。

3 结论

(1)利用浅地层剖面资料,可以确定海山顶部沉积物分布的下界,进而推断结壳分布的上界。(2)对比分析浅地层剖面资料和地形特征,可以判断地形与沉积物分布之间的关系,为沉积物分布区域的圈定提供参考,从而为结壳分布面积的有效确定服务。(3)结壳分布界线和不发育区或空白区的确定是平顶海山结壳资源评价的基础,浅地层剖面测量和海底摄像的联合应用是解决此问题的有效手段。通过对浅剖测量结果的分析,确定沉积物分布的下界;对比分析海底摄像资料,判断结壳分布的深度范围;结合浅钻取样结果,推断在一定范围内结壳的厚度。据此,进行结壳资源评价,提高资源量估算精度。

致谢:海上资料采集由“大洋一号”船在 DY105—16 航次中完成,在此谨向航次首席科学家杨胜雄高工、李家彪研究员、船长陆会胜和航次全体科考人员表示衷心感谢!同时感谢中山大学地球科学系孙晓明教授对本文的有益指导。

References

Abrams, L. J., Larson, R. L., Shipley, T. H., et al., 1992. The seismic stratigraphy and sedimentary history of the East Mariana and Pigafetta basins of the western Pacific. In: Proceedings of the Ocean Drilling Program. *Scientific Results*, 129: 551—569.

Aplin, A. C., Cronan, D. S., 1985. Ferromanganese oxide deposits from the central Pacific Ocean, I. Encrustations from the Line Islands Archipelago. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49: 427—436.

Bergersen, D. D., 1995. Physiography and architecture of Marshall islands guyots drilled during Leg 144: Geophysical constraints on platform development. In: Proceedings of the Ocean Drilling Program. *Scientific Results*, 144: 561—583.

Halbach, P., Puteanus, D., 1984. The influence of the carbonate dissolution rate on the growth and composition of Co-rich ferromanganese crusts from central Pacific seamount areas. *Earth and Planetary Science Letters*, 68: 73—87.

Halbach, P., 1984. Deep-sea metallic deposits. *Ocean Management*, 9: 35—60.

He, G. W., Zhao, Z. B., Zhu, K. C., et al., 2001. Cobalt-rich crust resources in the Pacific. Geological Publishing House, Beijing (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.

Janet, A. H., Isabella, P. S., 1995. Comparison of the origin and evolution of Northwest Pacific guyots drilled during leg 144. In: Proceedings of the Ocean Drilling Program. *Scientific Results*, 144: 935—949.

Pan, J. H., Liu, S. Q., Eric, D. C., 2002. The effects of marine phosphorization on element concentration of cobalt rich crusts. *Acta Geoscientia Sinica*, 23(5): 403—408 (in Chinese with English abstract).

Shi, Y. Z., Hu, C. Y., Fang, N. Q., et al., 2004. Carbon isotopic composition of organic matter in Co-rich ferromanganese crust and its implication for paleoceanography. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(2): 148—150 (in Chinese with English abstract).

Zhang, H. S., Zhao, P. D., Hu, G. D., 2004. Geochemical features of multi-metallic crust in the middle Pacific Ocean. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 29(3): 340—346 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

何高文,赵祖斌,朱克超,等,2001. 西太平洋富钴结壳资源. 北京:地质出版社.

潘家华,刘淑琴,Eric, D. C., 2002. 大洋磷酸盐化作用对富钴结壳元素富集的影响. *地球学报*, 23(5): 403—408.

史跃中,胡超涌,方念乔,等,2004. 富钴结壳中有机碳同位素组成特征及其古海洋意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(2): 148—150.

张海生,赵鹏大,胡光道,2004. 中太平洋多金属结壳的地球化学特征. *地球科学——中国地质大学学报*, 29(3): 340—346.