

EM122 多波束测深系统在大洋多金属结核资源调查中的应用

朱 峰, 于宗泽

(中国地质调查局广州海洋地质调查局, 广州 510075; 国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广州 510075)

摘 要:大洋多金属结核作为潜在的战略资源, 日益得到人们的重视。依据海洋六号船的 EM122 多波束测深系统在太平洋海盆的实测背散射强度数据, 证实多波束测深系统的背散射强度数据与多金属结核分布存在一定的联系, 从而可以为大洋资源调查中多金属结核矿区的圈定提供前期数据参考。

关键词:多金属结核; 多波束测深系统; 背散射强度

中图分类号:P229.1; P744

文献标识码:A

DOI:10.16028/j.1009-2722.2015.09009

多金属结核广泛分布于太平洋、印度洋和大西洋的海盆的沉积物表层^[1]。随着陆地矿产资源的日益枯竭, 多金属结核作为一种潜在的战略资源, 逐渐吸引了人们的目光。

多波束测深系统也称条带测深系统, 是利用声波在水下的传播特性来测量水深。安装于水下的声基阵发射扇形声波束, 并接收海底反射回波信号, 根据各角度声波到达的时间或相位, 就可以得到海底多个点的水深值。多波束测深系统是当代海洋基础勘测中的一项高新技术产品, 是计算机技术、导航定位技术和数字化传感器技术等多种高新技术的高度集成, 是一种全新的高精度全覆盖式测深系统^[2]。多波束测深系统在海底地形测量中具有高效率、高精度、高分辨率等诸多优点, 因此多波束测量方法在海洋测绘领域得到了广泛的应用。

多波束测深系统不仅可以快速获取调查海区

的全覆盖高精度的海底地形图, 而且根据多波束测深系统的背散射数据可以对海底底质进行简单分类, 为海底矿产资源的矿区圈定提供前期数据参考。

国外很早就利用多波束背散射数据进行海底底质分类识别方面的研究, 特别是在 20 世纪八九十年代已有很多的相关资料。1990 年美国杜克大学的 Alexandrou 和 Pantzartzis^[3]应用神经网络方法对海底底质分类进行了研究; 1993 年挪威计算中心的 Huseby 等^[4]利用多波束测深系统背散射强度数据对海底底质进行特征提取和统计分类研究。在国内金绍华等^[5,6]等基于 EM 多波束系统回强度数据展开分析, 但对于多波束测深系统的海底声像图生成、处理及底质分类等方面的研究还处于起步阶段。

1 多波束测深系统工作原理

1.1 多波束测深原理

多波束测深系统的发射基阵和接收基阵采用相互垂直的“T”形结构。发射基阵平行于船体的首尾线安装, 而接收基阵垂直于船体的首尾线安装。图 1 为多波束测深系统的基本工作原理示意

收稿日期:2015-05-25

基金项目:中国大洋协会国际海域资源调查不开发“十二五”项目“富钴结壳资源勘查技术方法体系与勘查方案研究”(DY125-13-R-09)

作者简介:朱 峰(1987—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要从事多波束调查、物理海洋调查方面的研究工作。E-mail: wotson2231111@163.com

图,其原理是:发射基阵通过波束形成技术将声能量集中在垂直于船航向的方向上的一个波束中;接受基阵通过多波束形成技术在若干个预成波束角方向上形成若干个平行于船航向的波束,分别测量出与每个波束对应点的声信号到达时间;利用测量得到的声速剖面进行声线跟踪,即可得到波束对应点的深度值。多波束测深系统单次发射接受即可获得船航向的垂直方向上的带状水深图,因此多波束测深系统也称条带测深系统。

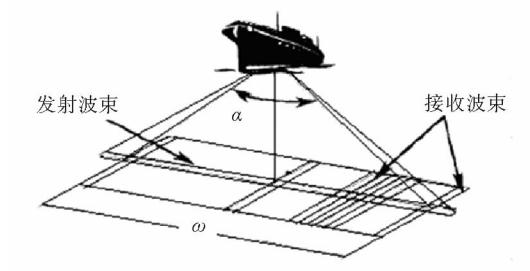


图 1 多波束测深系统工作原理

Fig. 1 Operating principle of multi-beam system

1.2 多波束背散射强度与底质类型的关系

背散射强度可以理解为海底介质对声波反射和散射能力的一种反应,其依赖于声波入射角、海底粗糙程度、沉积物的声学参数(如密度、声速、衰减等),这些参数反映了海底底质类型的特征。由于软质沉积物含有大量的水,其声速和密度都远小于硬质沉积物,因此,软质沉积物的背散射强度能量也小于硬质沉积物,从而可依据背散射强度大小对沉积物的声学性质进行简单分类,可以为沉积物的判别提供一定的依据。

海底背散射强度可表达为:

$$BS = BS_0 + 10 \lg A$$

式中: A 为波束照射区面积,可以通过脉冲宽度(τ)、发射波束宽度(θ_t)、接收波束宽度(θ_r)以及波束的入射角(θ)求出。当入射角位于中央波束附近($\theta \approx 0^\circ$)时, $A = \theta_t \theta_r R^2$; 当入射角为其他值时, $A = \frac{1}{2 \sin \theta} c \tau \theta_t R$, c 为声速。 BS_0 为海底的固有散射强度,通常情况依赖于波束的入射角,当 $\theta \approx 0^\circ$ 时, BS_0 通常近似为一常数(BS_n); 当 $0^\circ < \theta < 25^\circ$ 时,有研究表明,海底固有散射强度随入射角作线性

变化,且变化较大;当 $\theta \geq 25^\circ$ 时,海底固有散射强度不但取决于波束的入射角,还依赖于海底底质类型特征,其变化服从 Lambert 定律 $BS_b = BS_0 + 10 \lg \cos^2 \theta$, BS_0 为斜入射时海底底质背散射强度。综上所述

$$BS = BS_0 + 10 \lg \cos^2 \theta + 10 \lg \left(\frac{c \tau \theta_t R}{2 \sin \theta} \right) \quad \theta \geq 25^\circ$$

因此,对多波束背散射数据 BS 进行 Lambert 法则改正(消除 $10 \lg \cos^2 \theta$ 项)、波束照射区面积改正(消除 $10 \lg A$ 项),即可获得仅反映海底底质特征的纯量 BS_0 [7]。

多波束测深系统在获取船下方的水深数据的同时,也记录了背散射强度数据,对背散射强度数据进行地形修正和中央波束强反射信号进行处理分析,即可通过计算获得纯粹反映海底底质特征的背散射强度(BS_0)信息。通过对多个扇区(ping)、多条测线的的背散射强度数据按照一定的原则拼接、镶嵌,形成海底声呐影像图,即可为海底底质类型划分以及地貌解译提供基础数据和判读依据[8]。

2 EM122 多波束测深系统实测数据分析

2.1 EM122 多波束测深系统简介

现安装于“海洋六号”调查船的 EM122 多波束测深系统是由挪威 Kongsberg 公司生产的一套能在全海洋深度进行条带式水深测量的地形地貌调查设备。由船底固定安装的声呐发射接收与处理单元、现场操作与监控工作站以及多种外部设备(其中包括 GPS 导航定位系统、涌浪补偿仪、罗经、表层声速计、声速剖面仪、1PPS 时间同步器等)共同组成。EM122 系统信号频率为 12 kHz;测深范围为换能器下 20~11 000 m;波束宽度为 $1.0^\circ \times 1.0^\circ$;测深精度为 0.3% 倍水深。

自 2009 年投入生产以来,EM122 系统已随“海洋六号”船完成 4 个航次的太平洋科考调查任务,每个航次均完成 3 万 km 左右的多波束调查任务,为我国太平洋深海资源调查与科考活动立下了汗马功劳。

2.2 背散射强度数据对比

当发射能级相同时,接受到的回声信号的声能级不仅受海底背散射强度影响,还受声信号在海水中往返传播损失的影响^[9]。因此,为探究沿不同航向进行多波束测量时所获取到的背散射强度数据的异同,笔者选择了航向相同、相反和垂直的 3 对测线的背散射强度数据加以分析。

图 2 是航向相同的 2 条测线背散射强度数据对比,左侧和中间数据分别是 2 条同向测线获得的背散射强度数据,右侧数据是两者的差值。根

据公式

$$\beta = \pm \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \text{abs} \left(\frac{h_i}{h_i} \right) \times 100 \%$$

计算得出相对误差为 3.057 6%。

同样计算得出反向测线和垂直测线的相对误差分别为 3.077 6%和 4.769 3%。

通过以上 3 对测线背散射强度数据对比分析,表明沿不同航向获取到的背散射强度数据一致性较好,航向上的差异性并不会导致背散射数据存在显著差异。说明当水深一致时,海水中的声传播损失不足以影响背散射数据质量。

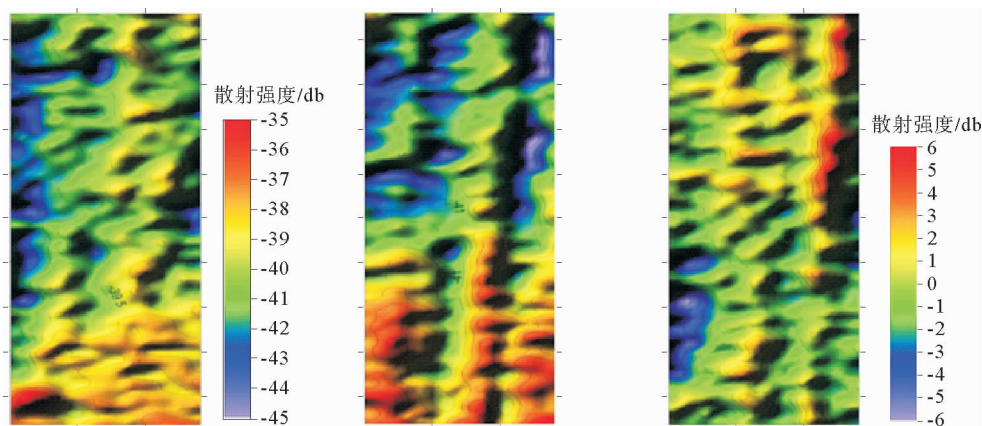


图 2 同向测线背散射强度数据对比

Fig. 2 Comparison of back-scatter intensity data along the survey lines in one direction

2.3 太平洋某海盆实测数据分析

图 3 是多波束测量工区地形图。该区位于太平洋某海盆的深海平原内,总体地形平坦,西南部和西北部分别有一海山和海丘。西南部海山长轴呈 NE 向,长 20 km,宽 13 km,水深变化范围在 5 640~3 810 m 之间,相对高差 1 830 m,海山坡度 20°;西北部海丘规模比较小,相对高差 500 m,从海丘的地形剖面图可以看出,其顶部存在一直径为 800 m、最大深度为 65 m 的疑似火山口构造地貌,说明该海丘年代比较新。

除海山、海丘之外,区域内地形平坦,水深变化不大,最深点出现在区域西北部,呈现中间深,两侧水深相对较小的特点。水深变化范围在 5 750~5 600 m 之间,坡度变化在 0.1°~1° 之间。

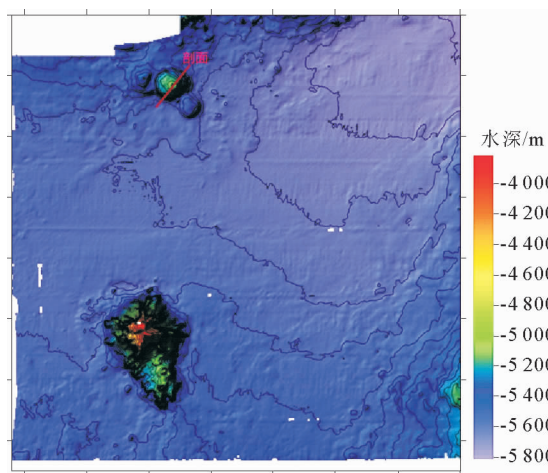
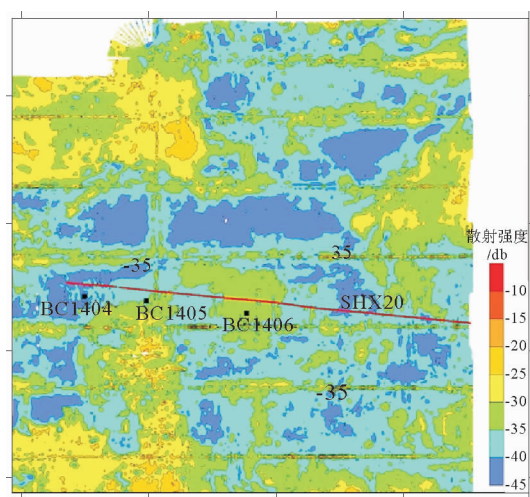


图 3 多波束测量工区地形图

Fig. 3 Topographic map of the measuring area

图 4 是多波束测量工区背散射强度变化图。从图中可以看出,除在工区的西南和西北存在一

定的一20~-30 db的高背散射强度区域外,该调查工区的多数海域的背散射强度在-35~-45 db之间,表明该海域以软质沉积物为主。对比图3调查工区的地形图可以发现,除海山位置的高背散射强度是由水深和沉积物性质差异共同导致之外,其余高背散射强度区域的沉积物性质应与调查区中部的低背散射强度区域的沉积物性质存在较大差异。



红色线为海底摄像拖体位置(使用超短基线数据)

图 4 多波束测量工区背散射强度草图

Fig. 4 Back-scatter intensity of the measuring area

在图4中可明显看出沿航迹方向的强背散射强度的条带区域,这是因为船底垂直正下方的中央波束区附近由于受到镜面反射的影响,多波束换能器接受到的多为反射信号,强度远大于其他波束区的背散射信号,因此表现为沿航迹线上的高强度条带。要去除中央波束区的反射信号对背散射强度的影响,一般有2种方法:①在中央波束附近设定一个范围,直接剔除这一区域的反射数据;②选择水深和地质都比较均衡的包含中央波束及一定范围的边缘波束区,根据不同波束的背散射强度数据计算得出一个加权系数,然后利用此加权系数对全部范围的背散射强度数据进行加权平均,从而达到消除中央波束反射信号的影响^[10]。

从图4中可以发现,BC1404的背散射强度在-45~-40 db之间,而BC1405和BC1406测站的背散射强度在-35~-30 db之间。这3个站

位对应的多金属结核覆盖率分别为80%、80%和72%;丰度分别为27.6、38.52和28.08 kg/m²。仅从这3个测站的结果分析得出,背散射强度与多金属结核覆盖率与丰度之间存在一定的联系,如BC1405测站的背散射强度要明显高于BC1404测站,其丰度也是明显高于BC1404测站,但是BC1405和BC1406测站相比,背散射强度与丰度之间的关系不是那么简单,因此,海底背散射强度数据与多金属结核分布之间的联系仍需要进一步的验证工作。

由海底摄像资料可以发现,在该测线上存在高密度、高覆盖率、高丰度的多金属结核分布,而由图5可知该测线的背散射强度都在-30~-40 db左右,表明该背散射强度下的海域可能存在多金属结核分布,从而可依据该海域的背散射强度数据简单的圈定多金属结核矿区的覆盖范围,有利于后续的多金属结核资源重点调查研究。

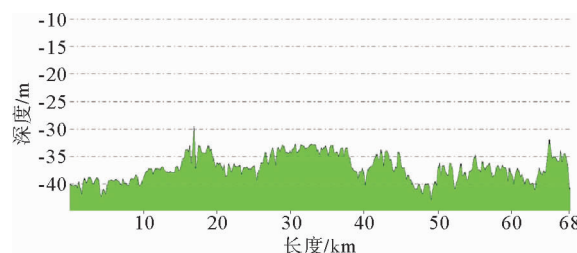


图 5 SHX20 测线背散射强度

Fig. 5 Back-scatter intensity of SHX20 survey line

3 结语

大洋多金属结核作为一种潜在的战略资源,世界各国相继展开了大规模的科考调查,获得了大量科研成果,在东太平洋CC区和印度洋中央海盆等地圈定了多块富矿区。我国的大洋矿产资源调查工作起步较晚,虽然从20世纪80年代中期开始,经过多个航次的调查研究,获得了一大批成果,并成功在东太平洋CC区提出我国的多金属结核申请区,成为第5个先驱投资者。但是在大洋深处,仍然有许多未知的多金属结核矿区在等待着去探寻和发掘。

依据安装于“海洋六号”船的EM122多波束测深系统在太平洋某海盆调查到的实测背散射强

度数据,结合多金属结核取样站位实际取样结果和海底摄像资料分析表明,海底背散射强度与沉积物的声学性质存在一定的联系,因此,可依据多波束系统的背散射强度数据对大洋多金属结核资源的矿区进行简单圈定。

由于多波束测深系统在海底地形测量中具有高效率、高精度、高分辨率等诸多优点,不仅可以快速获取调查海区的全覆盖高精度的海底地形图,而且根据多波束测深系统的背散射强度数据可以对海底底质进行简单分类,为大洋多金属结核资源的矿区圈定提供前期数据参考。因此,多波束测深系统将在大洋多金属结核资源以及其他海底表层矿产资源的调查发挥更大的作用,为我国大洋多金属结核等矿产资源调查与开发做出更大的贡献。

参考文献:

- [1] 何高文. 大洋多金属结核和富钴结壳底质地球化学特征与成矿机制对比研究[D]. 广州:中山大学,2006.
- [2] 刘尧芬. 多波束测深信息处理技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2008.
- [3] Alexandrou D, Pantartzis D. Seafloor classification with neural network [C]// Proceeding of OCEANS'90. Engineering in the Ocean Environment, 1990:18-23.
- [4] Huseby R B, Milvang O, Solberg R. Seabed classification from multibeam echosounder data using statistical methods [C]// Proceedings of OCEANS'93. Engineering in Harmony with Ocean. 1993,3(3):229-233.
- [5] 唐秋华,周兴华,丁继胜,等. 多波束反向散射强度数据处理研究[J], 海洋学报,2006,28(2):51-55.
- [6] 赵建虎,刘经南. 多波束测深及图像处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2008:298-304
- [7] 金绍华,翟京生,刘雁春,等. Simrad EM 多波束声呐系统回波强度数据的分析与应用 [J], 海洋技术,2011,30(1):48-51.
- [8] 金绍华,翟京生,刘雁春,等. Simrad EM 多波束反向散射强度数据精处理研究 [J]. 测绘科学,2010,35(2):106-108.
- [9] 孙文川,金绍华,肖付民,等. 用于海底地质分类的多波束声强数据选取研究 [J]. 海洋测绘,2012,32(3):18-20.
- [10] 唐麟,黄微,李先华. 多波束后向散射数据地形校正的算法研究 [J], 测绘科学,2011,36(2):24-26.

APPLICATION OF EM122 MULTIBEAM SYSTEM IN THE OCEAN POLYMETALLIC NODULE RESOURCE SURVEY

ZHU Feng, YU Zongze

(Guangzhou Marine Geological Survey, CGS, Guangzhou 510075, China;

Key Laboratory of Marine Mineral Resources, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510075, China)

Abstract: Oceanic polymetallic nodules, as a kind of potential strategic resource, are getting more attention. The back-scatter intensity data from the Pacific Basins of the EM 122 multi-beam system on the Haiyang-6 vessel, have proven that the back-scatter intensity is related to certain degree with polymetallic nodules. Thus, it could be used a reference for the delineation of polymetallic nodule in the oceanic resource survey.

Key words: polymetallic nodule; multi-beam system; back-scatter intensity