



论旁侧声纳图像镶嵌技术*

李廷桓

(地质矿产部广州海洋地质调查局, 510075)

提要 本文介绍了新一代旁侧声纳系统的技术性能; 论述了关于海底声纳图像的镶嵌方法; 讨论了影响声纳镶嵌图质量的若干问题; 还通过区域性海底地貌研究, 局部场地调查, 搜寻海底目标等实际例证来阐明声纳镶嵌图的广泛用途。

随着海洋矿产资源勘探开发的广泛开展, 有必要在区域性的潜在资源区和局部场地进行详细的海底填图。为了保证海上构筑物安装部署和生产作业的安全, 需要查明海底滑坡、岩石露头等地质地貌条件和各类人为障碍物, 如废弃井口等情况; 也需要了解可能引起海底变化的潜在灾害因素, 如高能沉积物搬运作用和海底斜坡不稳定性^[8]。旁侧声纳系统作为海底调查的重要手段, 广泛地应用于生产和科研各个领域之中。声纳图像能够直观地揭示连续的海底形态的空间特征, 为海底填图提供丰富的基础性资料。声纳镶嵌图对于海底地质和工程条件评价具有十分重要的意义^[2,5,8]。

一、声纳系统的组成和性能

自从第一台实用的旁侧声纳在 60 年代初期投入使用以来, 声纳技术日臻完善^[1,3,8]。当代旁侧声纳系统应用了微计算机技术^[3,5,6], 由配有微计算机的主机、声纳换能器(也称“拖鱼”)、数字磁带机和电缆所组成。主机为换能器提供讯号源, 处理回波信号和显示声纳图像。数字磁带机记录经过处理的声纳资料, 供进一步处理和重新回放用。在回放过程中, 可以选择不同的显示参数, 获得最佳的图像面貌。旁侧声纳系统的基本工作流程如图 1 所示。

应用微计算机技术, 可以对声纳图像进行以下一系列校正^[1,3,5,6]。

1. 信号强度校正 以固定的时变增益方式对来自不同距离的反射点的回波信号进行补偿, 使图像的信号强度直接反映海底沉积物的硬度、密度等特性。有助于分析和比较海底底质特性的差异, 划分不同性质的表层沉积物的分布范围。

2. 斜距校正 根据实测的拖鱼距离海底的垂直高度, 将各反射点的回波信号的斜程传播距离自动换算成对应点至拖鱼航迹线的真实水平距离, 克服图像记录中的横向失真。

* 美国 John E. Chance Inc. 的 William K. Behrens 高级地球物理学家为本文提供部分声纳资料; 陈俊仁高级工程师对本文提出宝贵意见, 特此致谢。

收稿日期: 1989 年 9 月 10 日。

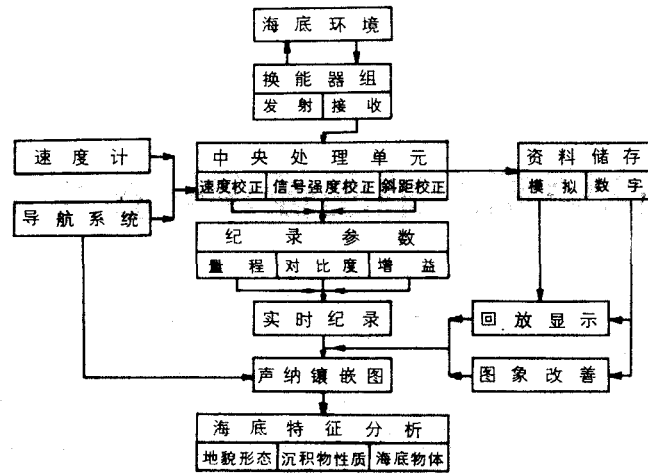


图1 旁侧声纳系统工作流程示意图(据文献[6]修改)

Fig. 1 Illustration of the functions and uses of side scan sonar system

3. 速度校正 根据输入的实时航速,自动调节记录速度,将所有的海底特征体按比例显示在相应的实际位置上。避免由于航速变化可能在图像上产生的沿航迹方向的比例失调。

应用微计算机进行上述技术处理,能够恢复海底特征体的几何形态和真实位置,为准确地制作声纳镶嵌图提供了必要的条件^[3,6]。无论是实时记录或是回放显示的图像资料均可用于拼制海底镶嵌图,其最终图像类似于—幅航空照片,按比例准确地展现出各种海底特征体的形态、位置及变化特点。

二、声纳图像的镶嵌方法

进行海底声纳图像镶嵌工作的必要前提是布置合适的测网,保证声纳资料100%覆盖整个预定的调查区。在海上调查时,声纳的单侧扫描量程必须大于 $\frac{1}{2}$ 测线间距。譬如,测线间距为400m,声纳的单侧扫描量程选择为250m(或更宽)档,则相邻测线之间存在一个100m宽的资料重叠带。此外,要保证理想地完成海上作业,还有赖于先进、可靠的导航技术辅助。

制作镶嵌图的过程中,首先把每一条测线的记录按照航迹图所标的测线位置和方向顺次序展开排列。考虑到拖鱼至调查船定位天线之间存在着一定的水平距离,所以,把各张声纳图像沿各自的航迹方向向后偏移相应比例的距离,使声纳图像中反映的各种海底特征体基本回归到其实际位置上^[1,7]。拖鱼距离的变化也是图像偏移所要考虑的因素。解释人员要根据声纳记录中显示的特征把相邻测线图像的相同部分叠置对接,大致确定各张图像的偏移位置。

由于各种原因影响,调查船在海上不可能完全沿着设计测线直线行驶。而每张声纳图像均代表一条测线的情况,它们似乎总是“笔直”的。当实际航迹与设计测线在方向和位移方面误差不大,近似一直线时,往往忽略其误差。而在实际航迹以较大的角度和位移

偏离原设计测线,明显呈折线状时,镶嵌时在转折处把图像记录切割开,将转折段的记录以相应的夹角与前面的记录段相连接,消除显著的方向性误差,使周围的海底特征体较好地吻合。

把调查区内所有的声纳图像依序相拼接,可以制成大面积的声纳镶嵌图。在调查区覆盖面积广大,声纳镶嵌图不易制作的情况下,可以首先在若干个小面积范围内各自进行镶嵌,分别摄影拍照。然后将各分幅的镶嵌图进一步拼接起来,构成一幅完整的镶嵌图。另外,通过选择不同的缩放参数进行摄影复制,可以获得不同比例的镶嵌图,满足各种填图的要求^[4]。

三、声纳镶嵌图的应用

声纳镶嵌图在海底调查中广泛应用。通过声纳技术所获得的地质资料既可用于区域性的海洋地质研究,也能直接应用于局部场地的工程调查项目,还可以作为考古评价的重要依据和搜索沉没体残骸的有效手段^[8]。对于不同目的、不同范围的工作,选择不同类型的旁侧声纳系统会收到高效率、低成本的良好效果^[4,9,10]。下面通过部分例证来说明声纳镶嵌图的应用。

1. 区域性地貌研究

图2是大西洋亚速尔群岛西北部地区的区域性海底声纳镶嵌图,由计算机进行校正和镶嵌之后展现在墨卡托投影面上^[5]。这幅镶嵌图揭露了一段大西洋中脊,覆盖面积约10 000km²。在阿拉斯加近海地区的区域性声纳镶嵌图也揭示了该地区海底大面积受到流冰刻蚀作用^[8]。

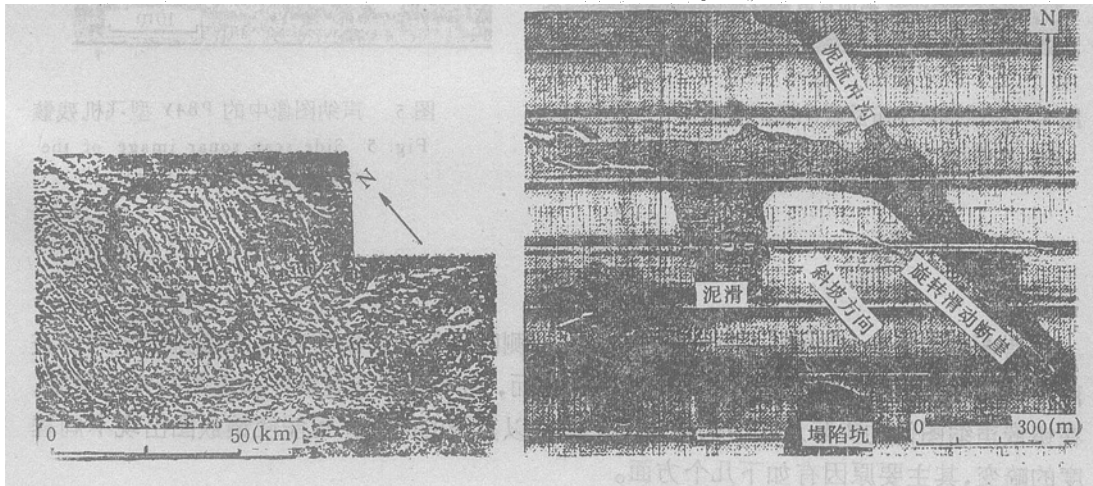


图2 声纳镶嵌图所反映的一段大西洋中脊^[5]

Fig. 2 Side scan sonar mosaic showing a section of the Mid-Atlantic Ridge^[5]

图3 声纳镶嵌图所反映的密西西比三角洲泥滑区的局部地貌

Fig. 3 Side scan sonar mosaic showing the local seafloor geomorphology in the Mississippi Delta area

2. 局部场地调查

局部场地的声纳镶嵌图反映了更为详尽的海底面貌,图3显示了墨西哥湾密西西比三角洲泥滑区的局部海底特征。源于陆架边缘的泥流顺下坡方向滑动,在上陆坡切割出形态和规模不一的沟谷。泥质坡积物堆积到一定程度后在重力作用下沿斜坡曲面旋转滑动,或呈块状塌陷,形成各种不规则的地貌。在墨西哥湾和北海地区,声纳镶嵌图的应用是非常普遍的。

3. 搜寻海底目标

图4清晰地反映了墨西哥湾一个井场遗址。钻井平台座落海底后,向中部的预定井位移动过程中在海底留下了明显的擦痕。在平台底座的凹部可以识别出井口,以及向西南方向延伸的输油管道等形迹。图5所示的是西亚图附近华盛顿湖底部一架PB4Y型飞机的残骸。此外,搜寻散落在大西洋的“挑战者号”航天飞机的碎片、沉没在莺歌海的“爪哇海号”钻井船的残骸等工作都是有助于旁侧声纳扫描而完成的。

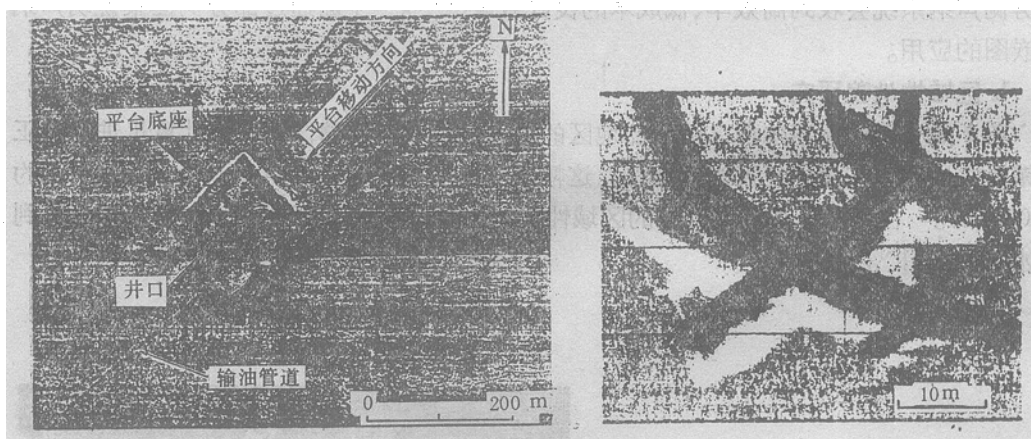


图4 声纳镶嵌图所反映的墨西哥湾中一个井场遗迹

Fig. 4 Side scan sonar mosaic showing evidence of a drilling site in the Gulf of Mexico

图5 声纳图像中的PB4Y型飞机残骸

Fig. 5 Side scan sonar image of the wreck of a PB4Y aircraft

四、讨 论

结合先进的导航技术,可以高精度地设计测网以保证声纳资料全部覆盖预定的调查范围^[6]和高质量地完成海上资料采集任务。然而,由于受到客观条件和应用技术的限制,在镶嵌声纳图像的实际过程中仍会遇到一些难以克服的问题,可能使镶嵌图出现不同程度的畸变,其主要原因有如下几个方面。

1. 讯号的不连续性

实际上,声纳讯号的发射和回波的接收都是不连续的。以 Sea MARC II 型旁侧声纳系统为例,换能器的讯号发射周期为 1—16s (相对于 0.5—5km/单侧扫描量程)^[10]。讯号的不连续性会导致相邻测线图像的同—特征体不吻合一致。

2. 输入速度的误差

输入速度的误差直接影响图像校正的效果,校正不足或校正过度都会使图像变形失真,从而影响镶嵌图的质量。

(1) 若航速由旋转测速器测量,当调查船在顺流和逆流双向航行时,旋转测速器分别相对于不同方向的水流作相对运动。顺流行驶时,旋转测速器相对运动减慢,所测得的速度值降低;逆流行驶时,测速器相对运动加快,速度值提高。在这种情况下,即使调查船是匀速行进,由于沿相反方向行驶,旋转测速器所测得的速度值与拖鱼的真实运动速度均有误差。这个问题在水流活动强烈的海区较为显著。

(2) 若航速由操作员在定位系统上读取然后输入,由于人工读数的频率和跟踪速度受到限制,不可能准确地反映变化的瞬时速度。因而,这种速度输入方式不可避免地产生较大的误差。

(3) 若航速由导航系统直接输入,其精度较高。但在海上作业过程中,有时需要根据海底地形起伏变化而适当调整电缆长度,控制拖鱼距离海底的高度保持在合适的范围内。当在测线上施放电缆,降低拖鱼距离海底的高度时,拖鱼的实际速度将低于定位系统所测得的航速;反之,在回收电缆升高拖鱼的高度时,其实际速度则高于所测得的航速。在这些情况下,微计算机仍按照导航系统提供的船体航速进行校正,由于它并不代表拖鱼的真实速度而产生一定的误差。这个问题通常在地形多变的大面积区域性调查中较为突出。

(4) 声纳系统本身的速度跟踪精确度只达到 0.1kn(或者更低),往往与实际的瞬时速度存在一定的误差。

3. 拖鱼的运动状态不正常

拖鱼在水下的运动状态不正常会导致图像中的物体发生变形。譬如,拖鱼受底流的作用在一定幅度范围内上下起伏波动,距离海底的垂直高度近似周期性地变化,从而令到海底物体形态在声纳图像中呈现波状畸变,相邻测线的图像无法准确地镶嵌连接。

4. 实际工作条件的限制

调查船的实际航迹与设计测线往往不完全重合。只要两者之间误差不是十分显著,镶嵌时不再对资料进行调整。实际上这些资料无论在方向和位移方面均与真实情况存在着误差,这些误差的不断积累会影响镶嵌图的精度。

综合考虑上述各种原因,要提高镶嵌图的精度,除了声纳系统的技术性能有待进一步完善以外,笔者建议在海上作业和室内整理时要分别注意以下方面。

海上作业过程中,调查船沿设计测线保持一致的航向和均匀的航速;校正速度资料从定位系统直接输入声纳系统内;不随意改变拖鱼的位置和仪器的其它工作参数。使所有声纳图像的记录参数尽可能保持一致,便于资料对比解释。

室内解释过程中,对于已知有明显速度误差的资料,通过主机输入合适的速度值重新处理回放,获得准确的资料。镶嵌时充分利用已知的海底固定标志物作为参考坐标系,如现存的平台等。没有这类标志物时则利用吻合相邻测线图像中的地貌形态的方法慎重制图。但是采用这一方法时也要从整体考虑,不能简单行事,否则会出现顾此失彼,矛盾重重的局面。

五、结 语

1. 声纳镶嵌图是海洋地球物理调查的一项重要成果。它是研究区域性海底地貌的主要手段;可以为海洋考古评价、局部场地工程条件评价提供有价值的依据;也是搜索、寻找海底管线或沉没体遗骸的有效方法。

2. 声纳镶嵌图代表连续的两维空间图像,以直观的形式展示各种海底地貌形态和地质体特征。通过解释声纳图像中色阶变化的意义,结合测深和浅地层剖面等其它地球物理资料,可以得出海底特征的三维空间解释。

3. 声纳镶嵌图中存在包括方向上和距离上的累积误差,特别是远距离的标志物之间的方位和距离均不是十分准确。所以,声纳镶嵌图不适宜作为精确的等比例图使用。

4. 声纳镶嵌图目前仍然主要由人工制作。随着数据存贮能力的增大和处理能力的进一步提高,可以期待将来能够在解释工作站的大型高分辨率显示屏幕中实现自动化图像镶嵌。

参 考 文 献

- [1] Clifford, P. J., F. R. Germain and R. L. Caron, 1979. A totally new approach to seafloor mapping. Proceedings of the 11th Offshore Technology Conference (OTC 3548) 3: 1681—1690.
- [2] Hussong, D. M., D. M. Hills, J. F. Campbell et al., 1988. High-resolution acoustic seafloor mapping. Proceedings of the 20th Offshore Technology Conference (OTC 5779) 3: 305—310.
- [3] Klein, M., 1984. High-resolution seabed mapping: new developments. Proceedings of the 16th Offshore Technology Conference (OTC 4718) 2: 73—78.
- [4] Kosalos, J. G., 1984. Ocean bottom imaging. Proceedings of the 16th Offshore Technology Conference (OTC 4717) 2: 65—72.
- [5] Paluzzi, P. R., R. D., Toaz, D. G. Roberts et al., 1981. Computer rectification and mosaicking of side-looking sonar images. Proceedings of the 13th Offshore Technology Conference (OTC 4018) 2: 103—114.
- [6] Prior, D. B., J. M. Coleman and R. L. Caron, 1979. Sea floor mapping by microcomputer-assisted side-sonar. Proceedings of the 13th International Symposium on Remote Sensing of Environment 1: 195—208.
- [7] Prior, D. B., J. M. Coleman and L. E. Garrison, 1981. Geologic mapping for offshore engineering, Mississippi Delta. Proceedings of the 13th Offshore Technology Conference (OTC 4119) 4: 35—42.
- [8] Prior, D. B., J. M. Coleman and M. H. Roberts, 1981. Mapping with side-scan sonar. *Offshore* 41(4): 151—161.
- [9] Richards, A. F. and J. J. A. Hartevelt, 1984. Marine engineering geology: scope and new developments. Proceedings of the 27th International Geological Congress 17: 261—275.
- [10] Tyce, R. C., 1986. Deep seafloor mapping system—a review. *Marine Technology Society Journal* 20(4): 4—16.

TECHNIQUES FOR SIDE SCAN SONAR IMAGE MOSAICKING

Li Tinghuan

(Guangzhou Marine Geological Survey, MGMR, Guangzhou, 510075)

ABSTRACT

The exploration and development of the offshore mineral resources make it necessary to conduct detailed seafloor mapping of potential areas and/or specific sites. The sophisticated microcomputerized side scan sonar system is an effective tool for seafloor mapping. Sonar mosaics, composed of numerous adjacent sonographs, visually reveal continuous high resolution spatial context of the seafloor in a large area, locate and identify the geohazards and constraints. Side scan sonar data provide the basic geological information for the safety of various offshore activities, e.g. platform installation and pipeline laying. Sonar mosaics can also be extensively applied to regional geomorphological studies, marine archeology assessment and searching for submerged objects and wrecks.

This paper describes the advanced technical properties of the up-to-date side scan sonar system and the principles of signal amplitude correction, slant range correction and speed correction. The methods and techniques for sonar image mosaicking are expounded in detail. The problems that affect the quality of sonar mosaics are discussed in the following aspects: (1) discontinuity of sonar signal; (2) error of input speed; (3) anomalous operational state of towfish; and (4) survey condition restraints. Suggestions for achieving optimum side scan sonar survey results are brought forward.