

回声测深仪在海洋地质调查中的应用

陈庆 袁迎如

(海洋地质调查局)

一、水深测量在海洋地质调查中的作用

由于回声测深仪可在走航中自动连续地测绘出完整的海底地形剖面，而且在一些情况下，还能获得有关底质类型及其分布范围、海底浅层沉积物结构和层理的信息。因而在海洋地质调查部门，不但把回声测深仪作为一种常规调查仪器，而且水深测量已作为综合海洋地质调查的常规调查项目，被列入海

洋调查规范。水深测量在海洋地质调查中的作用，归纳起来有以下五个方面：

1. 为编制海底地形图和地貌图提供资料

在综合海洋地质调查中，海底地形测量主要是在海洋地质调查时，进行 1:50 万比例尺的水深测量，为编制海底地形图(如图 1)和进一步的海底地貌图(如图 2)提供资料。近几年来，我局在近十万公里水深测量的基础上，编制了南黄海、东海的海底地形图、地貌图，进行了南黄海、东海海底地貌特征

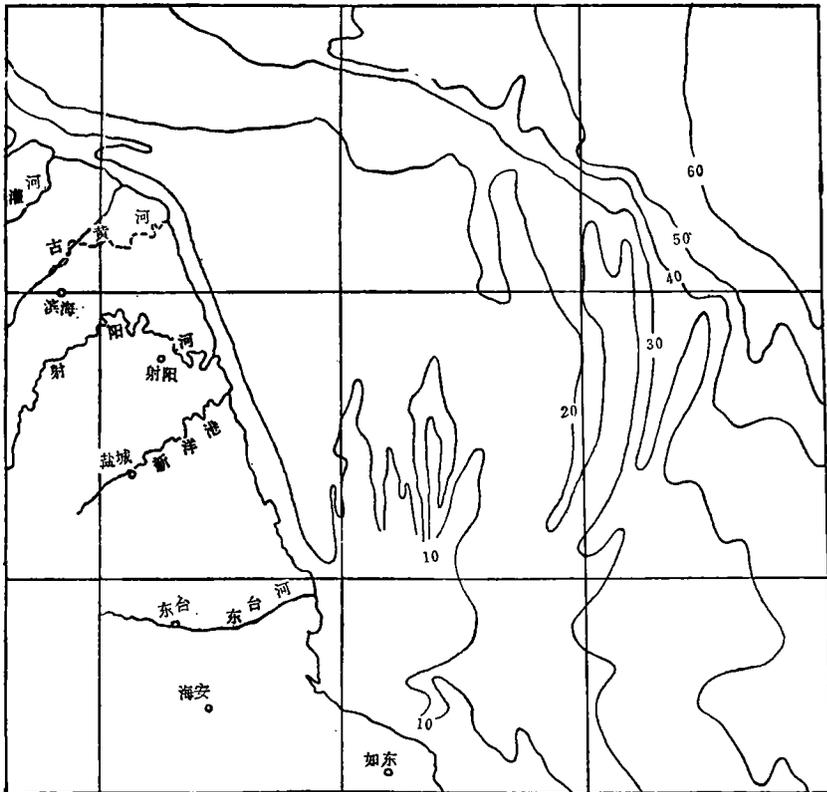


图1 古黄河水下三角洲地形图^[5]

3. 为海上石油钻井提供精确的水深资料

料

在海上进行石油钻探,完成一口钻井,往往需要数月时间,因此需将石油钻井装置进行严格的固定。从目前情况来看,海上石油钻井装置有坐底式、由几条大型支柱插入海底的自升式以及用多条巨型锚缆固定的钻井浮船。这些钻井装置都有各不相同的精确水深要求。因此,精确的水深资料是设计井位的重要依据之一,如果水深超过某一钻井装置的极限工作水深,则再好的油气构造亦无法钻探。

东海平湖一井的水深在自升式钻井平台极限工作水深 91 米附近。为了对平湖一井的水深获得比较可靠的数值,在平台就位前,对井位水深进行了多次实测,并将所获数据进行了对比分析,确认平湖一井的水深应为 89.7 米。从而下定决心,就位开钻。精确的水深资料保证了钻探平台在平湖一井施工期间的安全,打出了工业油气流,开创了东海石油普查工作的新局面。

4. 为普查海底油气资源的地质构造提供某些数据

海底构造有时能从海底地形上反映出来,如海底储油的穹隆构造,有时表现为正的地形等等。因此,我们可以利用水深测量资料,应用地貌法,根据海底地形推断海底地质构造情况,为寻找海底油气资源服务。比如,美国近海有大量盐丘分布,墨西哥湾北部海上油气田类型,大多数分布在密西西比河古河道内的深成盐丘上,普查工作首先根据水深测量发现古河道,确定海底正地形。墨西哥湾盐丘构造的发现,大部分就是根据测深资料,后经重力勘探证明的^[2]。在东海,海底地形与东海陆架玉泉构造高点有着一定的对应关系,地质构造高点与地形隆起基本一致,从而在水深大于 90 米的玉泉构造,可以获得自升式钻井平台就位插桩的所需水深。因此,利用地貌法在河口三角洲、陆架

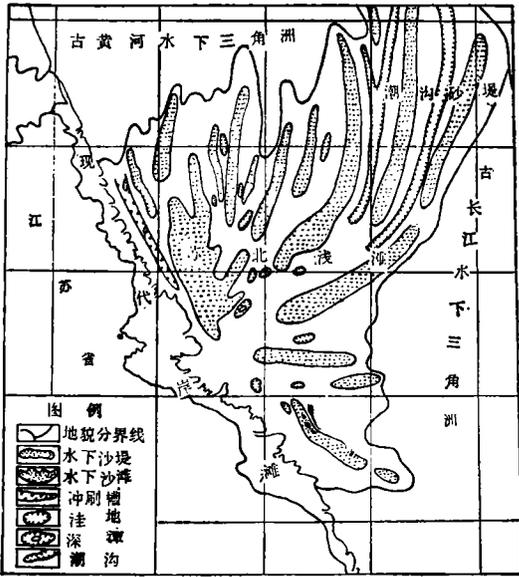


图 2 苏北浅滩地貌图

(据周长振孙家淦试论苏北岸外浅滩的成因略加修改)

和区划的探讨,发现了古黄河、古长江等水下古河道,并了解了苏北海底潮成沙洲群的分布特征。可见,通过对海底地形和地貌特征的研究,结合其他有关资料,对于进一步探讨第四纪以来海平面的变化、海岸线变迁、海陆相对升降运动、环境地质以及寻找陆架固体矿产资源等,都有非常重要的理论和实际意义。插图 1, 2。

2. 为海洋地球物理勘探所需的水深资料提供依据

由于远程武器和人造地球卫星及海上石油勘探事业的发展,世界各国都十分重视地壳的重力测量。在海洋重力测量时,由于海水密度小,水体将导致地壳重力值的减小,一般每一米水深覆盖,海底重力值将相应减小 0.0432 毫伽。有人曾对海洋重力测量的水深测量均方误差进行过计算,结果表明,水深增加 500 米,由于水深误差引起的布格改正均方误差,以公差 1.03 毫伽成等差级增加^[1]。由此可见,精确的水深资料是高质量的海洋重力资料的保证。

和陆坡地区,指出隆起可能存在的位置,对于寻找储油构造,普查海底油气资源有一定的现实意义。

5. 为海洋环境和海洋地质基础理论研究提供基础资料

在现代沉积过程的研究中,有人用3.5千赫的回声测深仪发现了我国南海盆地存在一个25000平方公里等密线流形成的浊流沉积物^[5]。同时通过南黄海综合海洋地质调查,发现苏北海底潮成砂洲群,单个砂洲长度可达100公里,而不同时间的测深资料对比表明,海底地形在变化着,大风浪前后尤为明显,水深最大变化可达10多米。

目前,随着回声测深仪性能的不断改进,现在已能从回声测深记录中提取更多有用的信息。通过对全球洋底地形的全面了解,发现了环球性的洋中海岭和环太平洋的深海沟。中央海岭平均高出洋底2000米左右,有的地方高达4000米,甚至高出海面成为岛

屿,而海沟水深一般为6000~8000米,最深的马里亚纳海沟深达11022米^[4]。中央海岭和环太平洋深海沟的发现,已经海洋磁测资料所证明,表明大洋海底向海岭两边的扩张速度是一样的,从而为板块构造假说提供了证据。

回声测深仪还能提供淤泥厚度和浅地层分层结构。根据回声测深记录颜色的浓淡和线条的宽窄,还能粗略提供海底沉积物类型及其分布情况。所以在航道测量和疏浚、湖泊和水库的淤积研究、水下工程与海洋地质调查的应用中有着广阔的前景。回声测深仪作为海洋开发手段而受到有关方面的重视是理所当然的。

二、目前我局回声测深仪应用现状

根据海洋地质调查的目的和要求不同,

表1 仪器类型及主要性能一览表

型 号	换能器型式	工作频率(KHz)	精 度	主 要 性 能
测深 I 型 (国 产)	磁致伸缩	29.3	<20米±0.5米 20—200米±2.5米 >200米±2%	工作量程1~500米,模拟记录。
681型 (国 产)	电致伸缩	20.1	1—10米<±0.5米 10—100米<±2.5米 >100米<±2%	工作量程1—2000米,模拟记录的同时,可转换氙灯闪光式深度显示。
RAYTHEON DE-741 (美 国)	电致伸缩	24	±1%(加上船电的任何偏差)	0—1370寻(0—2500米),模拟记录,走纸速度6吋(15.4cm)/小时。
RAYTHEON CESP-III-T 测深系统 (美 国)	电致伸缩	3.5	记录扫描稳定度0.7/10000	LSR-1811 单道剖面模拟记录和PDD-200C数字化仪,配CESP-III-T相关处理器,可进行浅地层剖面探测。
ELAC LAZ -17KD (西 德)	磁致伸缩	12	模拟记录读数误差: 0—900米档±2.5米 0—1800米档±5米 数字±0.5%	深海万米测深仪,模拟记录和数字显示,配子记录器,可提高记录精度,减小读数误差。
KRUPP ATLAS DESO-20 (西 德)	电致伸缩	33 210	模拟 ±0.12%±1.5cm 数字 ±0.12%±1位数 ±1.5cm	0—1500米,双通道精密测深,模拟和数字记录,配备声速校正和海态补偿装置。

海洋地质调查船配备了不同类型的测深仪，用以开展不同海区、不同项目的海洋地质和地球物理调查。使用的仪器和其性能见表 1。

美国雷声 CESP-III-T 测深系统，采用了相关接收的方法，因此在提供上万米水深剖面的同时，还能提供数十米的浅地层剖面。由于测量精度高，操作简便，在海洋地质调查部门有较大的实用意义。

西德阿特拉斯 DESO-20 双通道精密回声测深仪，设计新颖，功能较多，技术上比较先进。由于该仪器具有高和低两个测深通道，可以给我们提供海底深度的双通道记录，并给出海底淤泥的厚度，从而使我们能更准确地评价海底特征，这在现代沉积研究和海洋工程地质评价中有较重要的现实意义。

西德埃拉克 LAZ-17KD 型深海测深仪，由于深度量程范围大，而记录纸宽仅 204 毫米，不可避免地带来了模拟记录读数误差大的缺点，为了弥补这方面的不足，该设备还配接了一个子记录器。子记录器可将感兴趣的地方进行扩展记录，更好地显示微地貌。但由于该仪器是电子管和半导体混合组件产品，体积较大，在海洋地质调查部门应用，其实用价值越来越小。

测深 II 型和 681 型测深仪都是国内六十年代的产品。从使用情况来看，681 型比测深 II 型好一些，都只有模拟记录，无数字化，水深资料无法从卫导接口自动记录到磁带上。机械传动噪声大，精度较低，今后海洋地质调查已不会再使用。

三、回查测深记录的判读与地质解释

回声测深仪得到的是一张连续的水深剖面图形记录。但由于调查时的水深、海底地形、底质性质、海中生物活动以及船只性能、仪器调整的好坏甚至海况影响等种种原因，

水深记录图形面貌差别很大，特别是当各种干扰讯号出现时，往往又会叠加到海底地形剖面上，从而给地质解释带来困难，因此，要仔细判读。

1. 记录中干扰的识别

1) 鱼群干扰

因为鱼的反射面积小，并且反射能力也较差，它们的反射信号通常没有象海底回声那样强。鱼群回声讯号的强弱，主要决定于鱼群的密度和鱼的大小。如果鱼群的面积很大，而且在垂直方向鱼的密度又很高时，常常会挡住发射讯号，使海底反射讯号减弱甚至消失。图 3 示单尾鱼的记录图形，图 4 为中层稀疏鱼群的记录。由鱼所形成的干扰，其特点是图形拖尾长，影形明星。



图 3 近表层单尾鱼记录



图 4 中层稀疏鱼群

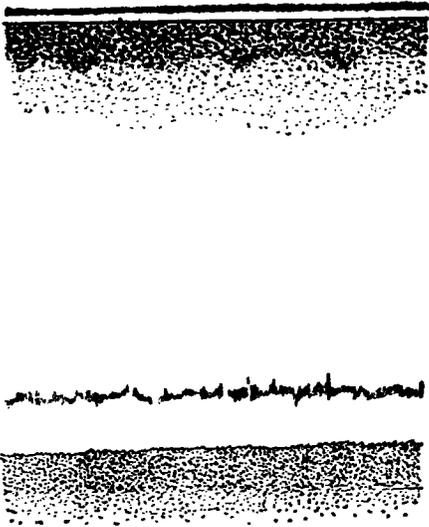


图5 近底层密集鱼群

2) 鱼网和海草引起的噪声干扰

鱼网和海草一旦挂到换能器上，常常使换能器声波发射不出去，同时所产生的水流噪声干扰，使记录满纸灰黑，海底回声无法辨认。我局奋斗七号雷声测深系统工作时，换能器由海底门伸出 0.3—0.5 米，有一次因挂上破鱼网，不但因严重噪声影响了原始测深资料的质量，造成记录的报废，而且还导致了整个换能器的损坏。

3) 机械噪声干扰

当换能器的安装位置不当时，船上马达、水泵、推进器和排水噪声，也常常会记录下来，有时呈雾状，有时呈条带状，严重地影响了记录面貌。

4) 另一回声测深仪干扰

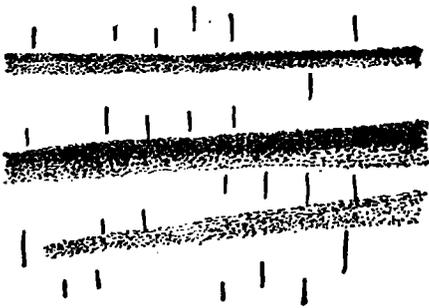


图6 另一回声测深仪干扰

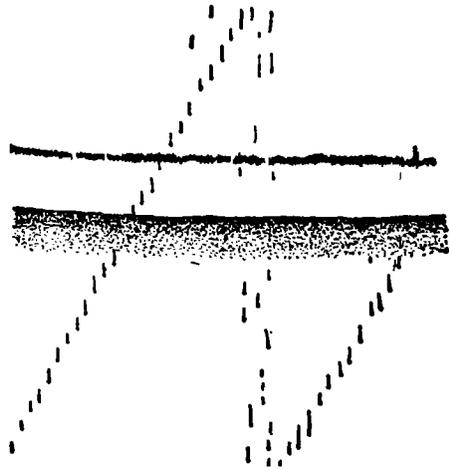


图7 另一回声测深仪干扰

我局海洋地质调查船一般都装有两台不同型号的回声测深仪，当同时开机时，此时另一台测深仪的发射脉冲一般会以规则的随时间而推移的短线出现在记录图形上。如图 6 和图 7 所示。

5) 海洋杂乱回波干扰

当海面上波浪翻滚时，海水撞击船体产生的噪声，也会以不规则直线的形式在记录图上反映出来，这时在海底回声记录图上可以看到间隙，并且在零位线上出现延长的垂线。如图 8 所示。

6) 水流气泡干扰



图8 海洋杂乱回波干扰



图9 水流气泡干扰

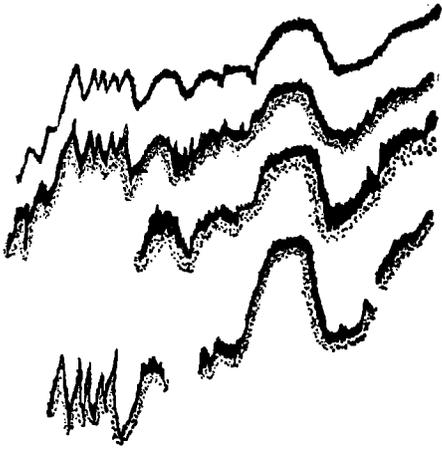


图10 多次反射干扰

船只在倒车时，螺旋桨产生富含大量气泡的水流，通过换能器时，声波会被全部吸收，造成记录的部分缺失。如图 9 所示。

7) 多次反射干扰

当海底回声讯号较强时，如果记录放大器有足够的增益，在记录图上会出现二次或多次反射现象。这是由于海底和水面二次或多次反射造成的。其特点是形状与海底相似，在间隔上是水深的二倍或多倍，但颜色灰度一次比一次淡。如图 10 所示。

由此可见，要获得一张好的回声测深记录，必须避免各种干扰的产生，为此，换能器的安装位置显得特别重要。实践表明，为了提高信噪比，固定式换能器的安装位置，应避免湍流水、气泡和强烈振动的地方。大多数船只，如 3000 吨海洋号型调查船，换能器安装的最好位置，约为离船首 1/3 的船底部。而 1000 吨的奋斗七号调查船，由于是平底型，其换能器安装的最好位置是船底的中心部位。对于便携式换能器而言，换能器一般临时性安装在船舷，但必须远离螺旋桨、主付机、水泵、风机及船上配置供电用的其它发电机附近。安装架应有足够的强度，与船体的连接处最好衬垫橡胶或海绵。同时，从换能器到船首方向不应有其它突出物体和排水孔，换能器的沉放深度一般为 1 到 1.5 米。

恶劣的海况是造成杂乱回波的主要原因，对便携式回声测深的影响更大。同时，由于海况引起船只剧烈摇晃，也会严重的影响回声测深记录图形的质量。必须选择较好的天气作业。

2. 几种典型记录的解释

1) 断裂和地堑

由于太平洋板块向欧亚板块下方进行俯冲挤压，因此冲绳海槽和琉球海沟断层相当发育，海底山和深切谷相继出现，并伴有地叠和地堑，形成非常复杂的海底地形。图 11 为冲绳海槽中央的一个地堑。在琉球海沟南端，我们在水深 6610 米处，还见到一个大型地堑，地堑宽达 20 公里，槽深达 1.2 公里，在陆坡处，海底断裂比较发育。如图 12。海底断裂和地堑一般也能从地震记录上得到验证，如图 13。

2) 弧形交叉曲线

当水深较大，海底地形起伏变化悬殊而且频繁时，由于换能器指向性辐射面变大的原因，回声不但来自船只正下方的海底，而且也来自海底山坡面不同的地方。如果只是在测线前进的方向出现陡峭的海底地形，回声记录呈图 14 那样的新月形交叉曲线。如果测线附近海底地形崎岖有海沟，则海沟内外的回声会使记录呈现新月形反射交叉的情况，如图 15。在图上量取水深值时，两新月形曲线的交点即为谷底的深度。

3) 短暂中断记录

在海底地形复杂、高低变化悬殊，海底山倾角变化大的情况下，几乎无反射发生，接收不到回声讯号，从而使记录图颜色变淡，甚至完全无色而出现记录的短暂消失。近岸岛礁和海槽沟地区的海山及海谷陡坡带常可见到这种突然中断的现象，如图 16。如要复原海底地形，只能把缺失的两点自然连接。

4) 海底锯齿波

由于海况很差，船只左右剧烈摇晃，使原来平坦的海底表面出现锯齿形记录面貌。



图11 地堑记录



图12 陆坡外缘阶梯状断裂陡坎



图13 海底断裂和地堑的地震记录

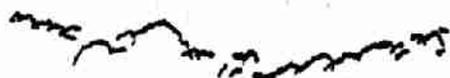


图14 弧形交叉曲线



图15 群山重叠面貌的弧形交叉曲线

其特点是大小相似，为有规律的重复，如图17。量取水深值时，应取锯齿波波峰和波谷联线的中点。

5) 沙波地貌

沙波的起伏频率很低，波动和缓可以与锯齿波区别。苏北海底潮成沙洲群和长江口水下三角洲，以及舟山海区，有时能见到这种大型沙波地貌，如图18。沙波有对称型和不对称型二种，波长从数十米到数百米，波

高从数十厘米到1~2米。根据沙波指数，我们可以分析水动力作用的大小。有趣的是，通过旁侧扫描声呐，我们在这种大型沙波上，还发育有许多小型沙波，如图19。



图16 短暂中断记录



图17 海底锯齿波记录

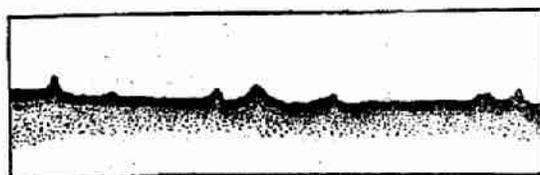


图18 海底大型沙波

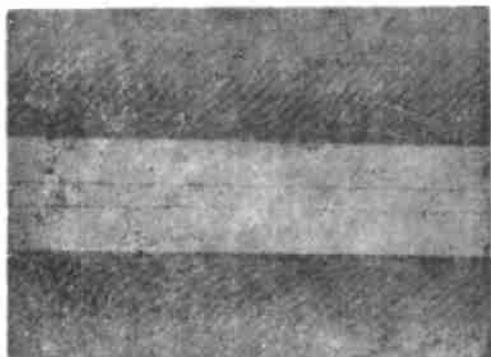


图19 旁侧声纳记录显示大型砂波上的小砂波



图22 浅地层剖面记录显示基岩出露海底



图20 浊流运移沉积波记录^[21]

6) 浊流沉积和滑坡体

海底滑坡体主要发生在三角洲前缘，大陆坡和岸边地带。浊流主要发生在大陆架边缘、海槽和深海盆中。利用3.5千赫的测深系统，有时能发现浊流沉积和滑坡的存在。典型的浊流运移沉积波如图20所示，其波长范围从5公里到小于200米，波幅范围从小于5米到10米。

7) 基岩出露海底记录

当基岩出露海底时，由于基岩对声波的反射通常要比泥质海底强得多，即使岩石被淤泥薄薄地复盖起来，一般也可以鉴别出来。图21表明回声测深发现有一基岩出露海底，而同步作业的浅地层剖面记录（图22）和旁侧扫描声纳（图23）则进一步验证了基岩的存在、形状和大小。



图21 回声测深记录显示基岩出露海底

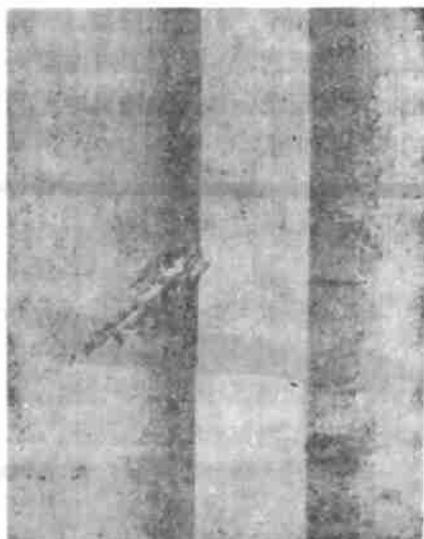


图23 旁侧扫描声纳记录显示基岩出露海底情况

8) 浅地层记录

回声测深仪有时还能提供沉积物的分层结构。3.5千赫雷声CESP-III-T测深系统，在理想底质条件下，有时能获得数十米的浅地层记录。测深II型测深仪有时也能获得10多米的浅地层记录，如图24。

9) 线条宽窄和灰度变化的记录

由于回声测深仪接收到的回波讯号强弱与海底的底质性质有关，因而根据回声记录

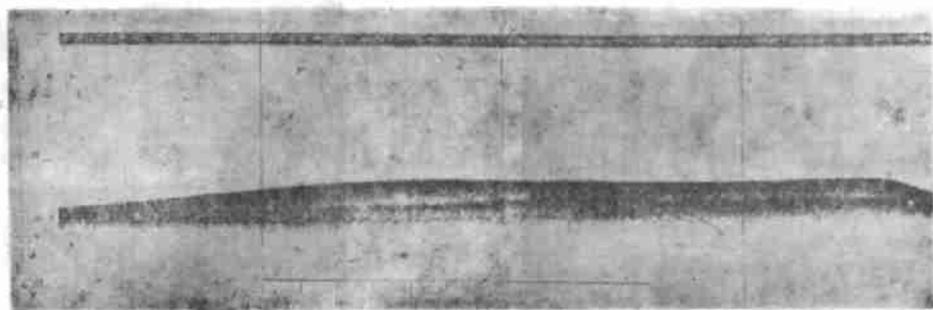


图24 浅地层分层结构

线条的宽窄和灰度特性，可以大致判别海底底质类型及其分布情况。一般泥质海底声波反射弱，穿透性好，所得记录拖尾长，宽度大，甚至显示浅地层，但记录灰度一般为中等至暗淡色，如图 25。而岩质和砂质海底对声波的反射强，没有足够的能量向下穿透，因而记录线条较窄，但灰度深黑，细而清晰，甚至出现多次反射，如图 26。有时在同一条测线上，根据记录面貌，也能概略地判别出底质的变化，如图 27。



图25 泥质海底记录



图26 岩质和砂质海底记录



图27 底质性质的变化与相应的记录面貌



图28 双回声线探测淤泥厚度

10) 双回声线

如果在浅海作业，利用 DESO-20 双通道精密测深仪，根据双回声线，可以判别海底淤泥覆盖的厚度，如图 28。如果用于航道检查疏浚质量的情况，根据水深剖面 and 双回声线，就能快速地判别航道断面和疏浚情况，提供航道的沉积特征。

(下转封三)

(上接第38页)

五、结 语

1. 随着水声技术的发展、回声测深仪的应用领域不断扩大, 目前已成为海洋开发的重要手段之一。

2. 回声测深仪在海洋地质调查部门有着特殊的作用。海洋地质调查事业的发展对回声测深仪也提出了更高的要求。如应用微处理机控制, 实现量程自动转换, 故障自动检测以及回波讯号的数字储存、数字处理和数字显示。同时要备有接口能与计算机和船上其它仪器相连接。

3. 由于声波在传播的途径中不断地与海洋各种介质相互作用, 因此回声测深记录具有丰富的信息。它不但能为我们提供水深

剖面、海底地形地貌等数据, 而且有时还能提供底质性质、浅地层结构和基底埋藏深度等资料。充分利用这些信息, 并认真进行分析和研究, 就能使水声技术更好地为海洋开发服务, 为我国的四个现代化作出更大的贡献。

本文在写作过程中得到许新康、赵顺昌等同志的帮助, 在此表示衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 彭守民 海洋重磁测量精度衡量 海洋实践 1981年3月
- [2] 地质部海洋地质考察组 美国近海石油地质概况 海洋地质研究 1980年3月
- [3] J. E 戴马思 GEOLOGY 1979年11月P520—523 海洋地质 1981年1月
- [4] B. M 法列耶夫等 世界大洋海沟最大深度资料 海洋科技 1980年6月