

海底浅地层剖面仪应用的若干问题*

唐 宝 珏

(中国科学院海洋研究所)

随着我国海洋地质研究工作和水下工程的迅速发展,为了探测海底以下地层的分层结构,要求以高速声学探测仪器代替或减少钻井的数量。浅地层剖面仪就是利用回声测深的原理研制成的,它可以在测船航行时,连续、自动地在记录纸上直接描绘出海底以下地层的剖面图。

目前,国外已有近百种浅地层剖面仪,我国也先后研制出了多种类型的产品。我所研制出的HDP-1型浅地层剖面仪,经过多次海上工作的考验,提供了数千公里的地层剖面资料。实践证明:仪器合理的安装和正确的使用,是获得良好资料的关键。

浅地层剖面仪是以地层为探测目标的一种声纳仪器,其探测地层的主要依据是地层声纳方程式,即:

$$(71 + 10l_g E + DI_r) - (20l_g 2(D_{水} + D_{底}) + 2\alpha D_{底} + RL) - (NL - DI_s) = DT$$

其中 $71 + 10l_g E + DI_r$ ——源级。

$10l_g E$ ——发射能量(分贝),

DI_r ——接收指向性增益(分贝);

$20l_g 2(D_{水} + D_{底}) + 2\alpha D_{底} + RL$ ——传播损失。

$20l_g 2(D_{水} + D_{底})$ ——球面扩展损失(分贝),

$2\alpha D_{底}$ ——地层中的衰减损失(分贝),

RL ——反射损失(分贝);

$NL - DI_s$ ——背景噪音(分贝)。

NL ——平均噪音谱(分贝),

DI_s ——发射指向性增益(分贝);

DT ——水听器处的检测阈(分贝)。

通常,总是希望获得较大的检测阈值。在水深和地层已知的情况下,传播损失是一定的。只有合理选择源级,尽量减小噪音,以增加检测阈。地层声纳方程式对于研制剖面仪参数的选择以及仪器的合理使用是有很大意义的。本文就是以声纳方程为依据,重点探讨仪器应用中的一些问题。

一、工作频率、发射脉宽、放大器通带的选择

由地震反射波法可知,若探测数千米地层,需数十周的频率(20—70周/秒),探测数百米地层,需用数百周的频率(200—500周/秒),探测数十米的地层则需用数千周的频率(1—7千周/秒)。这是因为地层衰减系数与频率成正比。

即:

$$\alpha = Af$$

其中 A ——系数,与物质类型有关,

f ——工作频率。

由此可见,选择较低的频率,就有较小的衰减系数,从而减小了传播损失,有利于检测阈的加大。

图1和图2是同一地区的两张记录。图1使用频率为4千周,只获得了10余米地层的剖面图。图2则是使用频率为2.5千周,可测得近

*承蒙道克敏、马秉琨、范守志、庄杰枣、朱鉴平、朱宏庆、刘玉珊、宋华中和李清等同志的大力协助,特此感谢。

50米的地层剖面。可见，根据探测的目的选择适当的频率是十分必要的。

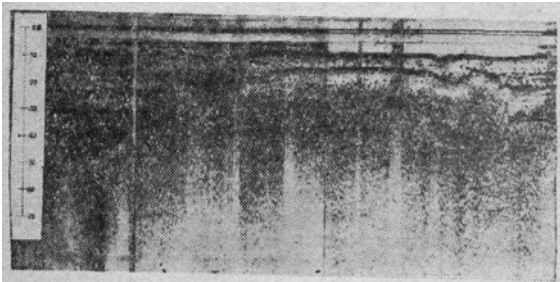


图1 频率为4千周的地层记录

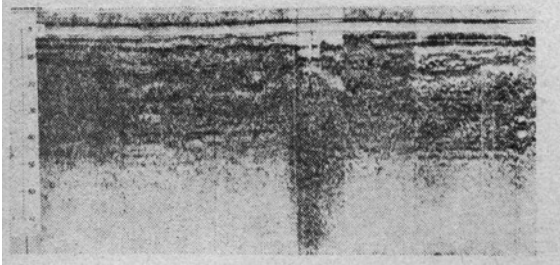


图2 频率为2.5千周的地层记录

至于分辨率，是指分开两个地层的最小距离。

$$S_{分} = \frac{1}{2} V t$$

其中 V ——层速度， t ——发射脉宽。

$$又 t = \frac{1}{f} \text{ (一个周期)} \quad f \text{——最低频率}$$

根据上面公式可得表1：（ V 取1,650米/秒）

表1给出了不同脉宽时，分辨地层的极限值，同时也给出了相应的最低频率。例如：若要分辨0.85米的地层，由表1可知，使用的脉宽不能大于1ms，最低频率则不能低于1kc。所以，必须根据分辨率的要求，选择适当的脉宽。另外，分辨率还和海底或地层引起的散射有关。当换能器指向角很大时，这些散射信号同时被接收记录，使脉冲“拖尾”，脉宽加大，不利于分辨。所以，较小的指向角是有利于分辨率的提高的。

表1 发射脉宽与分辨率及最低频率之关系

脉宽ms	0.3	0.5	0.7	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
分辨率M	0.26	0.43	0.60	0.85	1.65	2.55	3.40	4.25	5.10	5.95	6.80	7.65	8.50
最低频率kc	3.3	2	1.40	1	0.50	0.31	0.24	0.19	0.16	0.13	0.11	0.10	0.09

放大器的通频带 Δf 有以下公式：

$$\Delta f T = 1$$

其中 T ——放大器固有的延续时间。

经验表明：通频带选在0.4—2 KC之间为宜，（工作频率为1—7 KC）。过小的通频带会使记录拖尾，影响分辨，过宽的通频带不利于选择最佳信噪比。

二、发射功率和放大器增益的选择

浅地层剖面仪的发射功率和接收机的增益是根据新探测地区的水深、地层厚度、地层性

质、界面反射系数和噪音级综合考虑进行调整的。发射量过小时，得不到反射信号，反之，发射量过大会引起混响，也会使放大器过载，致使分辨率下降。

根据实际测量，较强的地层反射信号可达200—500 μ V（使用20微伏/微巴水听器）；而较弱的，可记录到的反射信号为20—40 μ V。一般工作船的噪音在30—100 μ V之间，可见弱的地层信号是和噪音接近的，依据地层信号的连续性，仍可在噪音背景上显示出地层。所以，调整增益值，使记录纸上出现较淡的噪音背景，即为较适宜的增益值。

这里提出一个问题，是否所有界面都可以得到记录呢？我们知道，地层反射信号的强度

与介质之间的物性有密切的关系，高介质之间的波阻抗相近时，反射损失可达30—40分贝，反射信号极弱，甚至无法检测。所以，不是所有的界面都可获得记录，只有波阻抗差别较大，界面反射损失较小，界面平滑连续时，才能得到较好的地层记录。

三、船速的选择

船在航行时，螺旋桨击水噪音和海水冲击水听器引起的噪音，都与船速有很大的关系。

图3是某调查船航速和航行噪音的实测曲线(使用水听器阵，未加防声装置)。由图可见，船速大于7节时，噪音迅速增加，掩盖了地层反射信号，所以，航速不能超过7节。此外，有些海区的海流速度很大(可达4—5节)，在逆

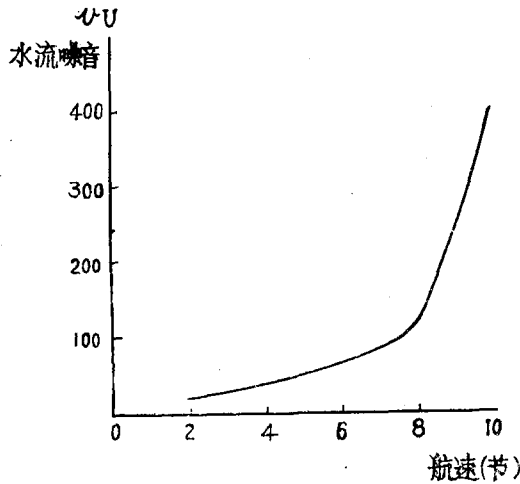


图3 航速和水流噪音关系

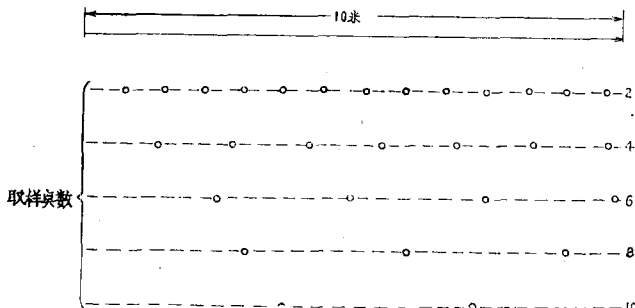


图4 船速影响“取样”示意图

水工作时，也应适当降低船速，以减小噪音。

更重要的是，船速直接影响所测地层反射点的“取样”数量。显然，在一定距离内，船速越慢，发射次数就越多，“取样点”越密。

图4绘出了在10米测距内，仪器重复频率为78次/分时，不同船速取样点数的示意图。由图看出，船速由2节加大到10节时，取样点数由13个减少到2个。对于单个水听器，其接收直径一般在0.3米以内，所以，相应地只能接收到0.15米左右的地层反射信号，实际上是进行“跳跃式”测量。当“取样点”足够多时，

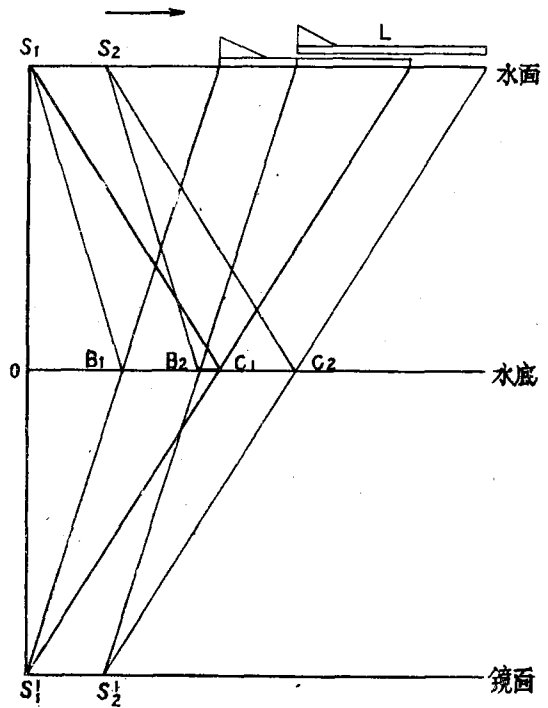


图5 覆盖原理示意图

各点之间距离减小，甚至可以重叠，当使用水听器阵时，重叠的比例就大些。我们把两次发射所测地层的覆盖量和相应地层长度的比值叫做覆盖率。

图5是水听器阵覆盖率示意图。 S_1 为一次发射点， L 为接收水听器，显然，接收地层 B_1C_1 为 $\frac{L}{2}$ ， S_2 为二次发射点，接收地层为 B_2C_2 ，也等于 $\frac{L}{2}$ ，

两次发射覆盖段为 $B_2C_1 = L/2 - VT$

$$\theta = \frac{L - VT}{L/2}, \theta \text{ 为覆盖率,}$$

其中 V ——船速

T ——发射周期

根据上式取 $L=1.5$ 米作出图 6。图 6 表明在不同航速时，不同的发射次数相对应的覆盖率。例如：航速 4 节时，要求有 20% 的覆盖率时，相应的发射次数为 210 次/分。实践证明：为了满足某些工程上的需要，最好在有覆盖的情况下工作。一般海洋调查中，因地层平坦，在无覆盖的情况下，也可以得到较好的记录。

图 7 和图 8 为同一地段，不同船速的记录，发射次数均为 78 次/分。

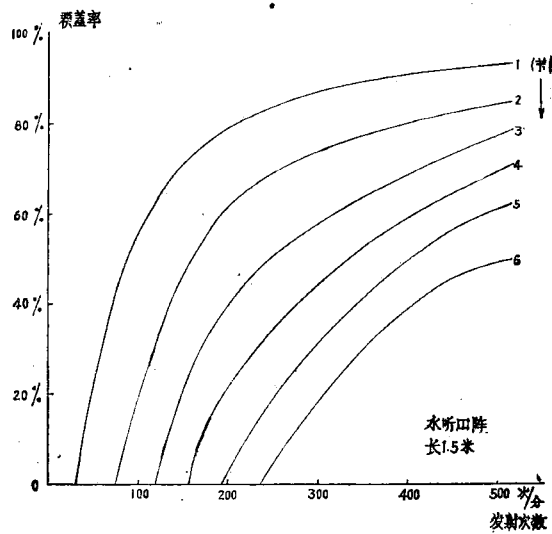


图 6 发射次数、航行速度与覆盖率的关系

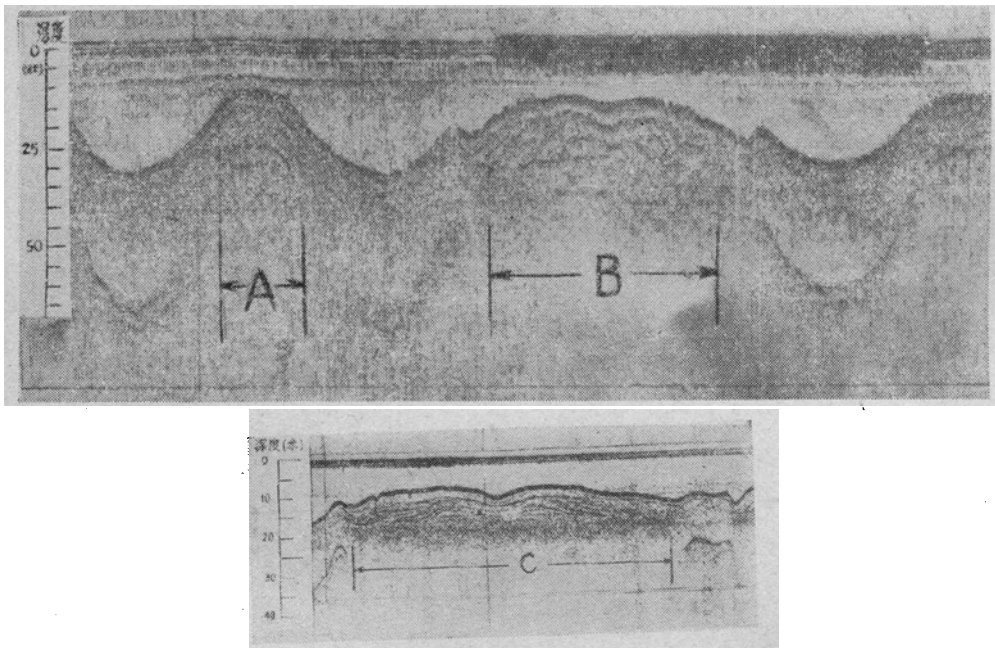


图 7、图 8 同一地段，不同船速的地层记录

A段：航速 9 节，共 234 个“取样点”记录无覆盖，地层不清楚

B段：航速 5 节，共 546 个“取样点”，记录无覆盖，地层较前好。

C段：航速 1.5 节，共 1,560 个“取样点”，覆盖率 35%，地层清楚可靠。

由此可见，减慢航速，增加“取样点”，尤其是出现覆盖后，地层面目清晰、可靠。

同样，在航速不变时，亦可加快发射次数，“取样点”。例如：“双针工作法”可以在不改变记录器皮带转速的前提下，增加发射次数。

图 9 就是这种“双针法”的示意图。它是利用皮带上的空余部分，增加了一组记录针和磁块，并使两组针和磁块的距离完全相等。假如两组距离不等时，调整磁块上的螺丝来改变磁块位置，或调整针长，以达到完全同步，这样，就可以使发射次数增加 1 倍。

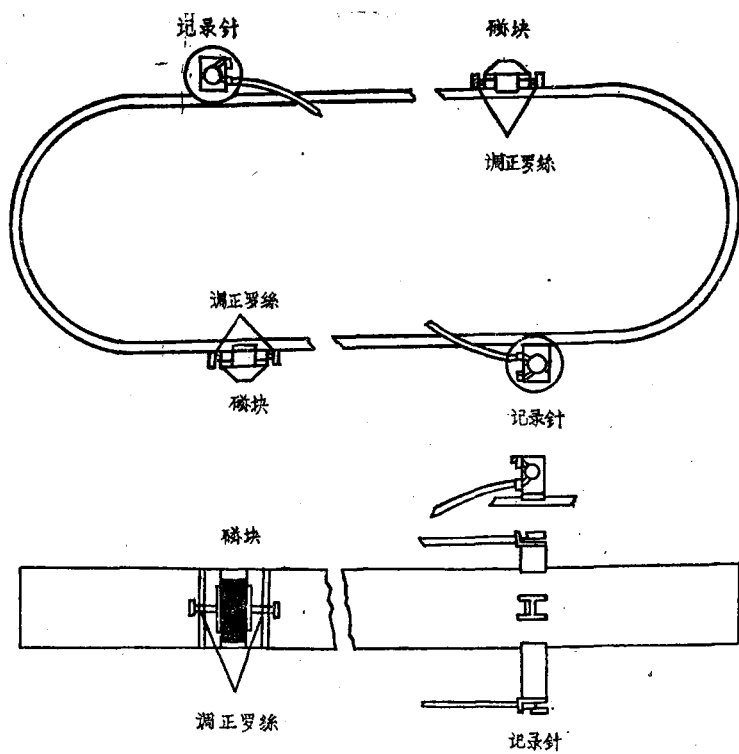
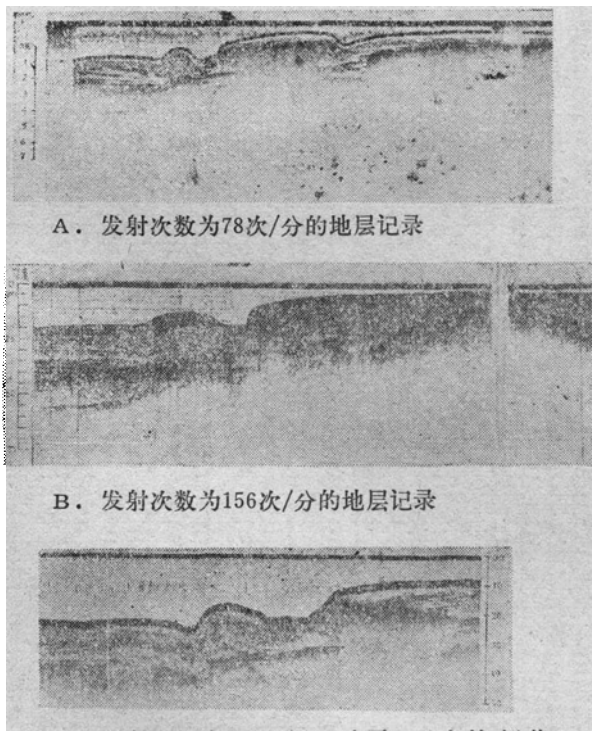


图9 “双针法”示意图



A. 发射次数为78次/分的地层记录
 B. 发射次数为156次/分的地层记录
 C. 发射次数为156次/分，水平、垂直比例均加大一倍的记录

图10 不同发射次数的地层记录

图10是在同一地区，同一船速，不同发射次数，所得地层记录。

由图可见，增加发射次数和降低船速一样，都可以增加“取样点”，适当选择水平和垂直比例，就可以得到良好的地层记录。

四、提高水听器信噪比的关键

1. 组阵 目前底层剖面仪使用的水听器有两种类型——“选频”、“宽频”。这两种水听器都可以组成“线阵”，压制某个方向上的干扰，以提高信噪比。

HDP-1型剖面仪是选用“增压”式晶体元件，组成一条半波长等间距六元线阵，该阵是属于“宽频”。

图11是六元等间距半波长线列阵指向性图。实测表明：当水听器接收角 θ 由 18° 增至 90° 时，灵敏度可增加13倍，也就是说，对于由轴向来的噪音干扰，有近20分贝的压制。

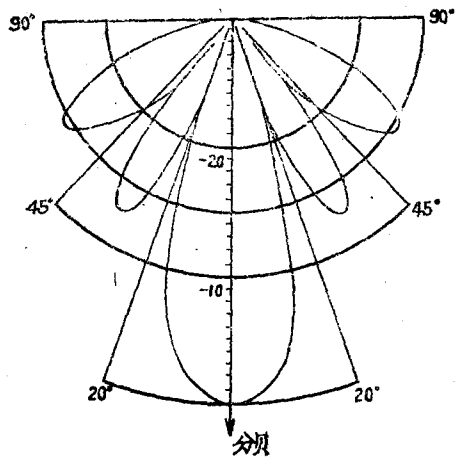


图11 六元等间距半波长线列阵指向性图

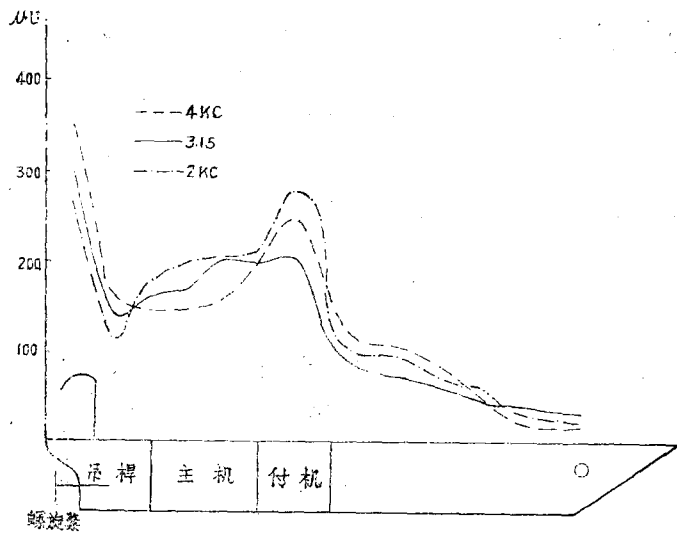


图12 某调查船不同位置时噪音曲线

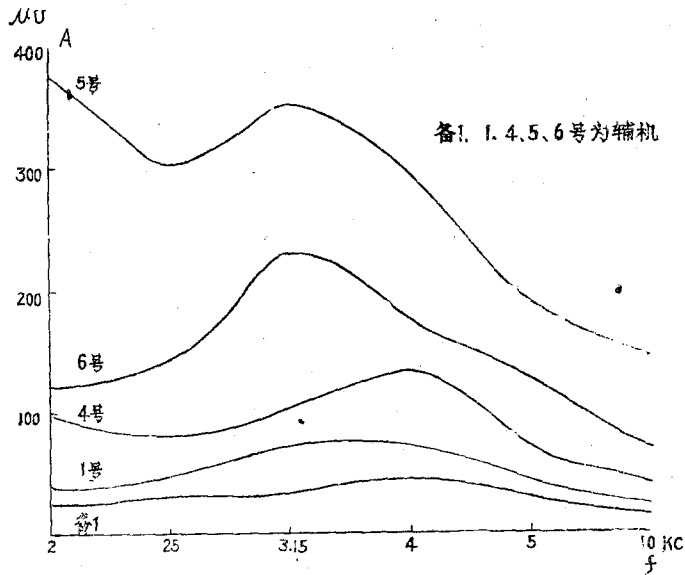


图13 某调查船不同辅机开动时噪音频谱

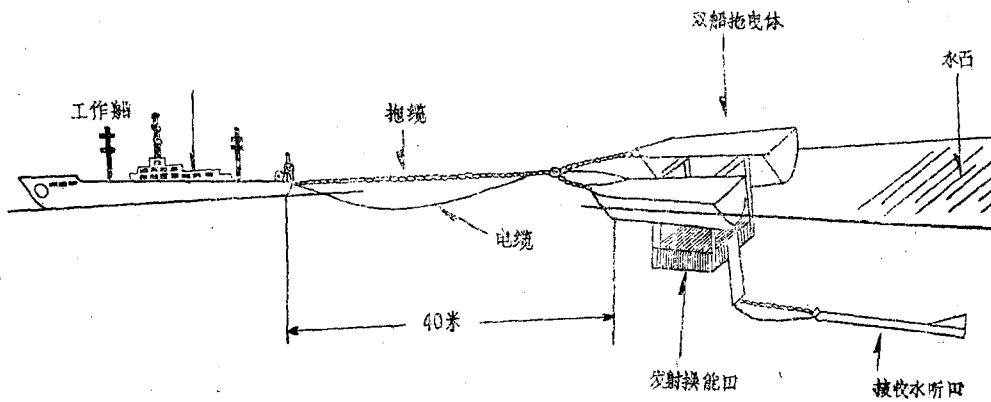


图14 双箱拖曳体示意图

2. 选位 水听器的安装位置,对于信噪比有很大的影响,船上各种机器产生的噪音,随位置不同,变化很大。

图12是某调查船上,不同位置时的噪音变化曲线。由此可见,在不同位置上的噪音可相差15倍,在辅机和螺旋桨处出现峰值,表明了选位的重要性。

此外,实测表明:水听器距噪音源10米左右时,噪音差减曲线陡度较大,而在20米以外则曲线较为平坦,所以水听器应放在距噪音源20米以外的地方。

3. 选机 船上不用辅机的噪音水平相差很大。图13是不同辅机工作时的噪音频谱。在2KC时,不同辅机噪音可相差12倍,所以经过认真的测量,关闭噪音大的机器,使用噪音小的机器,对于提高信噪比是很有用的。

4. 拖曳 水听器的固定方式目前有两种,一是在船边固定,装有专用支架,这种方式噪音较大而且笨重;另一种方式是拖曳,这种方式较简单,采用“软”联接,噪音较小。

另外,水听器应沉放在尽量浅的水中。实测表明:水听器沉放深度由5米至1米时,噪音可减少4分贝,但不得使其露出水面,否则,会出现较强的冲刷噪音。

综上所述,水听器在安装前,应进行一些基本测量,选择噪音小,气泡少,摇摆轻的地方,妥善固定水听器。

在工程上,有时需要在浅水中进行工作,一般收、发换能器是分别固定于船舷两边的,受发射角或折射波的影响,甚至会得不到记录。因此,将收、发换能器合为一体是有利的。

这里介绍一种“双箱拖曳体”,如图14所示。

将收、发换能器放于同一个拖曳体中,拖于工作船后40米左右的地方,工作时,用小吊

杆放于水中,更重要的是,它将远离机器和螺旋桨产生的噪声源,有利于提高信噪比,便于浅水区工作。至于直达声干扰,可用“时间增益控制”来消除。

五、干扰的识别和对记录的影响

各种干扰对记录影响很大,有时会把干扰误认为地层,也可能把记录全部干扰掉,所以,识别干扰并进一步克服之,对提高仪器信噪比是极为有利的,

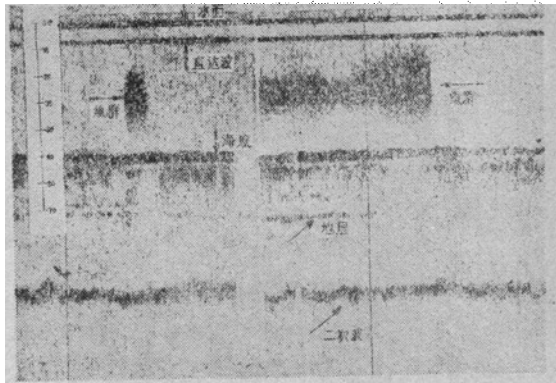


图15 鱼群干扰记录

1. 大面积鱼群干扰(图15)

鱼群面积有时很大,可延续5公里,而在垂直方向,鱼群密度很大时(有时鱼层厚度可达30米),挡住了发射信号,使地层信号减弱或消失。

2. 机械噪音干扰(图16)

由于高噪音机器起动,如:马达、水泵、风机等,在记录上表现出条状带,严重时会影响地层记录。

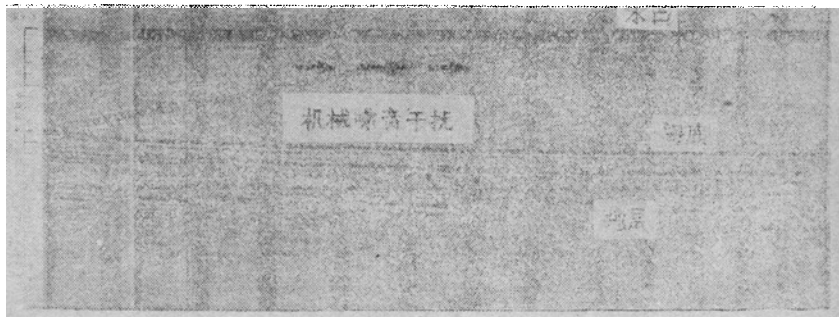


图16 机械噪音干扰记录

3. 二次或多次反射干扰 (图17)

当海底的波阻抗比较大时,海底的反射损失就较小,如果这时使用的频率又偏高,就会出现二次波或多次波。这是因为海底和水面二次或多次反射形成的,在深度上是海底的两倍或多倍。由于收、发换能器分别置于船的两边,所以,在浅水区记录到的水深大于真正水深。有时,地层也会形成二次波,但不如海底清楚、连续。

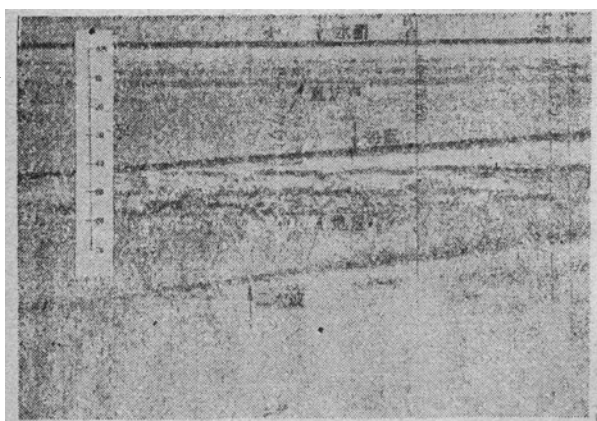


图17 二次波和直达波干扰记录

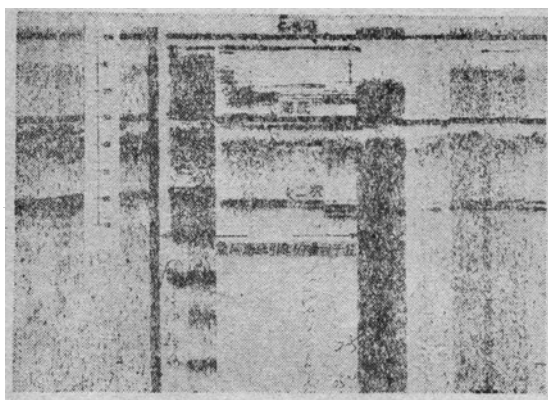


图18 鱼网和海草引起的噪音干扰

4. 浪花和水中漂浮物引起的噪音干扰 (图18)

在海况条件较差时,水听器有时会被抬出水面,浪花的冲击会引起极大的噪音,此外,海草、鱼网挂在水听器上,也会引起极大的噪音,使记录一片漆黑,严重干扰地层记录。

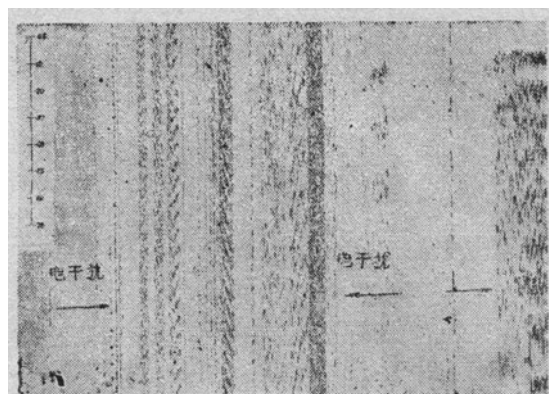


图19 电干扰记录

5. 电干扰 (图19)

在记录上表现为有规律的斜条纹。

电干扰主要是来自50周电源,在仪器屏蔽、接地或水听器有故障时出现,有时是因为附近有强大的电干扰源之故。

6. 直达波干扰 (图17)

在记录上表现为平行于水面的直线。因为船体屏蔽不好,发射信号直接传至水听器上,造成直达波干扰。有时,这种直达波可以在船体内多次反射,形成多次直达波,在浅水还工作时,干扰地层记录。

7. 二次冲击干扰 (图20)

在使用电火花发射器时,记录上表现为二次发射,形成两个海底,地层记录不清楚。这是因为电火花发生时,产生高温,高压,形成气泡,出现一次压力波,即一次发射。随之,气泡受海水静压力逐渐收缩,气泡内部压力则逐渐加大,直至不能压缩时,又开始二次膨胀,形成二次压力波,这样往复不断,直至气泡消失为止。

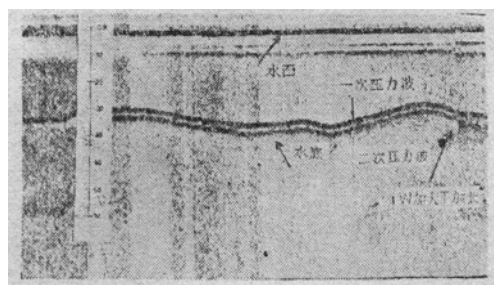


图20 二次冲击干扰记录

二次冲击的周期T有下列公式:

$$T = K \frac{W^{\frac{1}{3}}}{P_0^{\frac{5}{6}}}$$

其中 W——发射量,
 P_0 ——海水静压力 ($H + 10.3$),
 K——常数,与激发材料有关。

由上式可知, T和 $W^{1/3}$ 成正比。图20中, 当发射功率为625焦耳时, 周期约为2ms; 当发射功率为1,076焦耳时, 周期约为3.3ms。多次冲击可用组合的方法消除掉。

六、结束语

目前, 国内研制和引进的浅地层剖面仪已有多钟类型(见表2)

从我们的实践经验来看, 如果在以上五个方面进一步加以探索, 特别是认真选择频率和脉宽, 增加“取样点”, 加大复盖率, 合理安装以及采用船尾拖曳, 就可以提高检测阈, 仪器的记录效果会得到进一步的改善。

表2 几种浅地层剖面仪的技术特性

技术参数	型号	HDP-1	HOP-1 ^[6]	CK-1 ^[7]	SP-2 (日本)	PTR-106B (美国)
发射频率(千周)		0.2—8	4	1.54	1—7	7
发射脉宽(毫秒)		1.3	1—5	3—10	0.3	0.1—1
发射次数(次/分)		78—156	45—90	78—156	180—360	267—536
发射方式		电磁脉冲	压电晶体	压电晶体	磁致伸缩	压电晶体
水听器		六元线阵	十元线阵	七元线阵	单只压电晶体	单只压电晶体
接收机		选频—振铃	选频—振铃	宽带—直放	选频—直放	选频—直放
接收频率(千周)		2; 2.5; 3; 3.5; 4	2; 4; 8	宽 带	1.2—7	7
放大器增益(分贝)		150	140	150	140	106
低 速(毫米/分)		4.5—9—18	8—16 (12—24)	9—18	40—80	25—125
工作水深(米)		<100	<200	<50	<50	<50
探测地层深度(米)		<50	<50	<50	<40	<30
地层分辨率(米)		1—2	2	2	0.5—1	1
换能器工作方式		舷测安装拖曳	舷测安装	舷测安装	舷测安装	舷测安装收发合一



现代海洋沉积物中的矿物主要可分成两大类: 即自生矿物及陆源矿物。

自生矿物: 在现代海洋环境中由各种作用(如化学作用、生物—化学作用等)所形成的新生矿物, 通称自生矿物。它是一种指相矿物, 可以反映沉积环境的物理、化学条件。海洋是形成自生矿物的天然宝库。海洋沉积物中最典型的自生矿物如海绿石、磷钙石、锰结核、钙十字沸石等。

陆源矿物: 大陆剥蚀区母岩风化后由各种营力(如河流、波浪、海流和风等)搬运入海的原生矿物, 通称陆源矿物。它是陆源区的标志, 可以表明陆源区的母岩类型、沉积区的物质来源以及沉积物的搬运途径。

海洋沉积物中最典型的陆源矿物如石英、长石、云母、角闪石、绿帘石、钛铁矿、石榴石、锆石、绿泥石等。

(陈丽蓉)