

相应的阵元数。为了验算程序的正确性，曾经以阵中心处阵元。

$$f(x, y) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

为初始数据，进行FFT变换，所获得的频率分量 $F(u, v)$ 与参考文献[4]进行比较，结果为正确的。

### 参考文献

[1] H·F·哈默思等著，姬树森、郑德连译：“电子线路法声成象”。国防工业出版社，1983

[2] R·C·Gonzalez, P·Wintz, Digital Image Processing, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, 1977.  
[3] R·J·Offen, VLST Image Processing, Collins, London, 1985.  
[4] A·罗申菲尔特, A·C·卡克著, 余英林等译：“数字图象处理”。人民邮电出版社出版，1982年9月。  
[5] F·W·Hughes, Op Amp Handbook, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 1981.

## 南海深海混响的测量

金国亮 李玉昕 杨颐华 李志宽 吴先鸿 刘立章

(中国科学院声学研究所)

我们在南海深海(海深3600)进行了混响强度的测量。使用炸药量为1公斤的定深爆炸源，以悬挂在不同深度上的无方向性水听器接收混响信号。本文给出了声源和接收器深度约为450米、200米、100米时的典型深海混响波形结构。从近程混响中可区分出体积、海面 and 海底混响，由此能估算出海面和海底的散射强度以及深海散射层的层强。文中给出了频率为500赫至16千赫范围内的海面散射强度与掠角的关系(掠角范围为9度至44度)以及频率为500赫至8千赫范围内的海底散射强度与掠角的关系(掠角范围为35度至75度)不同频段的散射强度的角度依赖关系有明显的差别，这与具体界面散射的机理有关。

### 一、引言

海中混响是由声信号在介质的不均匀性和界面不平整性上的散射所引起。通常这些散射可分为体积散射(包括深海散射层)，海面散射和海底散射三类。在深海有可能从接收到的混响信号中区分出这几类散射，从而能分别估算出体积，海面和海底的散射强

度[1]、[2]、[3]。这对进一步研究混响的衰减规律及介质的特性是很有必要的。1983年我们在南海海深为3600米的区域进行了混响强度的测量。对深海混响的典型波形结构作了具体的分析，并分别估算了海面和海底的散射强度。对于不同的频段，散射强度的角度依赖关系也不相同，这与具体界面散射的机理有关，对此我们作了初步的讨论。

## 二、深海混响的波形结构

在混响实验中，我们使用的是炸药量为1公斤的定深爆炸源，以悬挂在不同深度上的无方向性水听器接收混响信号。测量混响时海面风速约34—40节，由底质采样分析得知实验海区的底质为粉砂质粘土。接收到的混响信号经宽带放大后用磁带录音机记录，在实验室回放时，经1/3倍频程滤波后用2305声级记录仪记录混响级。

深海混响的典型波形结构如图1所示。图中给出了声源和接收器深度近似为450米，200米，100米时频率为2千赫的收一发合置混响波形。不同的频率除了其幅度和衰减规律有所差别外，其基本的波形结构是相同的。爆炸后首先出现的是海面反射信号及紧随着的一段海面散射，它衰减得很快，其后出现的是海底反射，底—面，面—底及面—底—面反射信号和紧随着它们的海底散射，由于收发深度不很大，这组反射信号相互间靠得很紧，在100米深度的混响波形图上几乎分辨不出来，但在450米深度的混响波形图上还比较明显。其中底—面和面—底反射信号是同时到达的，所以合在一起形成波形图上中间那个较大的反射信号。随着海底反射次数的增多，这组反射信号及紧随着的海底、海面散射周期性地出现，幅度逐渐衰减，其出现的周期就是声线在海底和海面间垂直来回反射一次所经历的时间，所以由此也可确定海深。整个混响大约可持续30余秒，主要贡献来自于海面和海底的散射。此外，从直达声和海面反射声之间的那段照相记录上还可观察到深海散射层引起的体积混响，由此能估算出深海散射层的层强(另文发表)。

## 三、海面散射强度

在深海中当声源和接收器离海面较近时

可由海面反射与第一次海底反射到达之间的那段混响信号估算出海面散射强度。海面散射强度 $M_s$ 的表式为：

$$M_s = 10Lg m_s \quad (1)$$

其中 $m_s$ 是海面散射系数，它定义为从单位面积的海面上散射到单位立体角内的声功率与入射声强 $I_i$ 之比：

$$m_s = \frac{w_s}{I_i S} \quad (2)$$

式中 $w_s$ 是面积为 $S$ 的海面区域散射到单位立体角内的功率，实验中我们使用的爆炸源和接收器都是无指向性的。在界面散射是各向同性的假设下，由混响时间和爆炸源的等效脉宽(取决于滤波器带宽)可确定对该时刻混响有贡献的散射区域的面积。通过对声源级的测量可最后估算出海面散射强度。在确定散射强度所对应的掠角时，我们还考虑了声线折射的影响。图2给出了不同频率下海面散射强度与掠角的关系。测量的频率范围为500赫至16千赫，掠角变化范围为44度至9度。总的趋势是海面散射强度随着掠角减小而减小，但下降的速率与频率有关。在低频段( $f \leq 2$ 千赫)掠角从44度减小至9度，散射强度下降了约20分贝。例如500赫时从-36.2分贝下降至-55.9分贝。但对高频段( $f \geq 5$ 千赫)，在相应的掠角范围内散射强度只下降了约10分贝，例如16千赫时从-32.6分贝下降至-42.3分贝。同时还可看出，当掠角较大时散射强度的频率关系不很明显，但当掠角变小时，散射强度随频率增高而增大的趋势比较明显。通常海面散射同时包括不平整海面引起的散射和海面下风致气泡层引起的散射，出现上述现象的原因可能与这两种散射的贡献随频率和掠角的变化不同有关。一般说对于高频段气泡层散射的影响比较明显，特别是本次实验中海面风速较大，这是造成高频段主要是小掠角时散射强度较大的一个原因。此外，我们还估算了深海散射层的影响，结果表明在我们测量的掠角范

围内，它对估算海面散射强度的影响可以忽略。

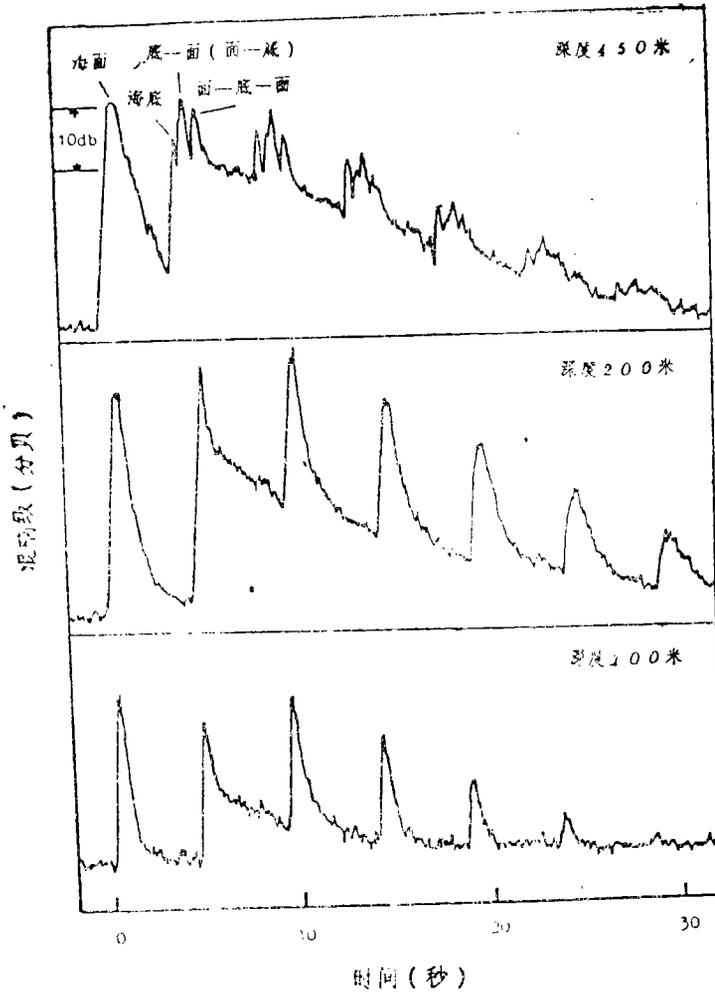


图7 深海混响的波形结构

#### 四、海底散射强度

从第一次海底反射到达后的那段混响信号中可以估算出海底散射强度。我们仍使用(1)，(2)式来计算海底散射强度，但现在 $w_s$ 代表海底上面积为 $S$ 的那部分区域散射到单位立体角内的功率。在具体估算海底散射强度时，我们考虑了四条路径的作用，即到达海底的直达和海面镜反射路径以及散射后直接返回接收器和经海面镜反射返回的路径。

由于收发深度不很大(我们具体分析深度为200米的数据)，这四条路径的时间差很小，无法把这四条路径对应的散射贡献区分开来。我们假设它们按能量迭加，并近似取海面反射系数为1，则合成的混响强度将比单条路径的强度高6分贝。在估算散射强度时只需减去6分贝就行。但由于四条路径存在一定的程差，对确定的时刻它们各自对应的在海底的掠角有所不同，我们只能取其平均值，这就会引进一定的角度模糊，掠角越小，模糊程度越小。对不同频率我们求得的海底散

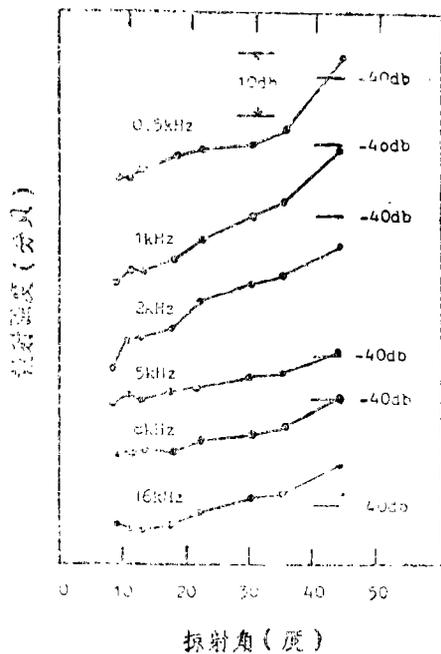


图2 海面散射强度的角度关系

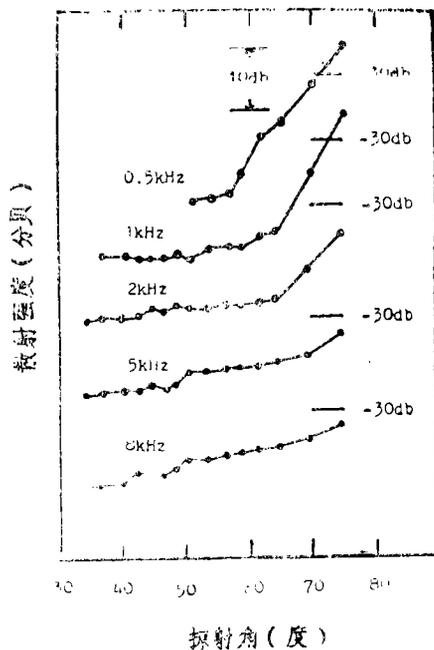


图3 海底散射强度的角度关系

射强度的掠角关系示于图3。测量的频率范围是500赫至8千赫，掠角范围是75度至35度。当掠角很大时(大于75度)，低频段(500赫至1千赫)的散射强度甚至比高频段的还大，例如500赫比8千赫时的强度高出约6分贝。但随着掠角的减小，低频段的散射强度迅速下降，在掠角减小至50度左右时500赫频率的散射强度已比8千赫处的低13分贝，这时海底散射强度单调地随频率增高而增高。出现这现象的可能原因是海底由两类不平整性组成，即在大尺度不平整性上迭加有小尺度不平整性。在掠角很大时散射主要是由倾斜度大的大尺度不平整表面上的反射所致。由实验数据可知，低频段的海底垂直反射系数比高频段大，因而会出现低频段散射强度比高频段大的现象。当掠角逐渐减小时，小尺度不平整性引起的散射的作用增大，由于它随频率增高而增高，这时低频段的散射强度比高频段低得多。

把测得的海底散射强度与海面散射强度相比，在共同复盖的掠角范围内两者具有大致相同的量级，在有些频率上海面散射强度甚至比海底更大，这大概与本次实验测量时的高海况有关。

张仁和同志在整个实验及数据分析过程中给予了指导和帮助。董仲奎同志协助进行了数据处理的工作，作者在此表示感谢。

#### 参考文献

- [1] Robert J. Urick, "Principles of underwater Sound" Second edition 1975.
- [2] 布列霍夫斯基“海洋声学”(中译本)科学出版社, 1983.
- [3] R. J. Urick, D. S. Saling, "Backscattering of explosive Sound from the deep-sea bed, "J. A. S. A. 34, P. 1721(9162).