

# 关于用声呐测量海床物质尺寸的研究

## 摘 要

水下声呐换能器已经在伯明翰大学研制成功,它能在400至600KHz频带以内有效地工作。利用这一换能器已经制成一种实验性自动水声测位仪,以测量海底表面的频响。声呐系统在这个带宽内,发射单个脉冲并用微处理机为基础的频率分析仪来获取频率响应。当发生多次布喇格散射时,利用这个系统测量响应曲线上的共振峰可以测出粒子的大小。

### 1. 引言

在先前的水下散射实验研究中,工作人员是用300至600KHz频段的镜向散射信号或波形来考察声信号的谱。在先前报告中,报导了在400至600KHz的频段内一些反向散射的观测值。一台实验性的声呐系统现在已经研制成功,它能够通过对斜入射波的反向散射信号的分析来取得鉴别表面的信息。本文将详述新近的发展和观察得到的结果。

建造了两台不同声呐系统用以检测在反向散射方向上是否发生布喇格散射。第一台系统应用脉冲载波信号在入射角为10与30度之间的方向上取得频率响应。发射载波频率固定在400KHz上,并且在接收时测量回波信号幅度。然后,载波频率以1KHz的步距增加。这个测量一直重复进行到在400至600KHz内复盖全为止。当散射从一个细小的表面面积上发出时,在频率响应上呈现出规则地间隔峰值,其频率间隔为:

$$f = C / (2D \sin \theta_1) \quad (1)$$

这里,  $C = 1500\text{m/s}$  是水中的声速,  $\theta_1$  是入射角,  $D$  是表面两个粒子之间的间距。由于表面上含有同样大小的散射体,致使在有限的表面区域上的散射谱和地产生了相关的表面波,于是就出现波峰。这时,在含有同等大小粒子的海床上,粒子区间  $D$  的大小将与粒子的大小一样。这就有可能利用方程式(1)来测量这样一些粒子的大小。测量可以适用于2.5mm至50mm之间的粒子。应用这个系统,数据的收集是一个慢过程,大约须20分钟才得到200个谱分量。在能够生产出任何分类系统设备之前,应当先研制出一种实时工作的声呐系统,以提取频率响应。这样的一种声呐,是本文所要报导的。

这种新的实验性声呐系统,使用一只微处理机控制突发模式的频谱分析仪,5分钟之内,它在相同的200个频谱样点上取得表面的频率响应。这个新系统是在先前报导过的实验水槽中进行了测试。最近的结果表明:使用这个新系统,可以取得布喇格共振数据。利用这种共振可以鉴别测试表面的类型差别。

### 2. 瞬态方法

物体对声信号的散射,是一个线性过程,目标的频率响应  $H(j\omega)$  是:

$$H(j\omega) = Y(j\omega) / X(j\omega) \quad (2)$$

这里,  $Y(j\omega)$  和  $X(j\omega)$  分别为接收信号和发射信号的功率谱密度。这个新的实验系统,见图1,使用方程式(2)获得表面的频率响应,它包括一个中央控制器,一个合成器,一个发射和接收换能器,一个分

析器和一个接口装置。

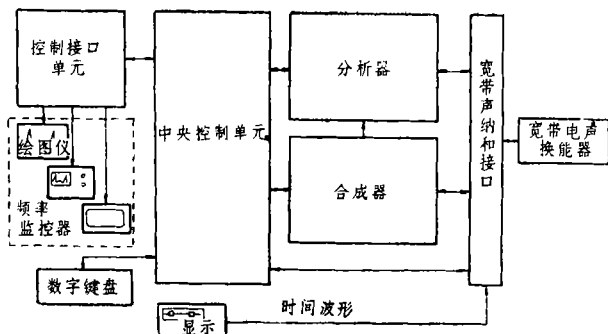


图 1

中央控制器和监视其它的装置，是以6502微处理器为基础的。它应用软件模拟（该模拟用辅助语言书写）并在 Acorn 盒式录音机操作系统的监督之下工作。合成器给发射器和本机振荡器在一个时分形式上产生信号，它由一只储存取样波形的储存器，一只数字模拟转换器和一只具有1KHz截止频率的低通滤波器组成。取样波形以2MHz时钟脉冲频率顺序读出。数字模拟转换信号经过滤之后，消除不必要的谐波。使用这个系统，任何具有已知数学描述的、带宽高至1MHz的最大脉宽为2ms的波形都能产生。为本机振荡器而产生两个375KHz的正交信号，发射信号是一个具有持续时间为 $T = 250\mu s$ 的和400至600KHz带宽的调频啁啾声波形。这个波形的简单数学描述是：

$$\cos(2\pi(ft + Bt^2/2T)) \quad (3)$$

其中， $B = (200\text{KHz})$ 是带宽，图2表明发射波形的功率谱密度。啁啾声的持续时间可以进行调整以增加发射脉冲中的能量，从而增大检测的可能性。

宽带发射换能器的构造和频率响应，

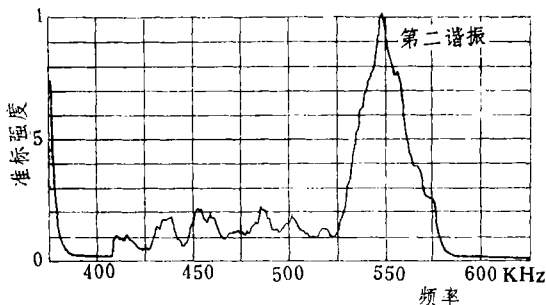


图 2

分别由图3a和图3b给出来，这个换能器由合成器来驱动，产生覆盖400KHz至600KHz频带的脉冲信号。分析器的任务是利用表面反向散射信号来计算 $H(j\omega)$ 值。分析器首先利用本机振荡器把接收到的信号转换成25至225KHz的频带，这时分析器使用写成汇编语言的512点的快速傅氏变换算法计算功率谱密度 $Y(j\omega)$ 。为了计算 $H(j\omega)$ 的值，分析器使用 $x(j\omega)$ 的样本值，这个样本值相当于平面全反射器在垂直入射方向上的反向散射频率响应。见图4。这个样本值储存在计算机内，是换能器双通道功能的产物，是声学通道和发射波形的功率谱密度。分析器应用方程式(2)来取得 $H(j\omega)$ 的值

设置在晶体管主振荡器中。

### 3. 实际的实验

用一组在10与30度倾斜入射角上的实验对新的声呐系统进行测试，并考查各种模型表面的频率响应。声学的测量结果，可以在一个尺寸为1m×1m×2m的水槽中取得，声呐系统发射250μs长啾啾声波形，它以40Hz的脉冲重复频率复盖400至600KHz频带。接收信号被监测，以保证多路径信号和混响不致出现。回波信号的振幅被选通、取样并储存在计算机内，对频率响应进行计算，并存储之以便显示和绘出曲线。

对于最初的实验，使用一块负载为铁和环氧树脂混合物的表面，它具有波长7.4mm的一维起伏表面作为测定基准，表1表示这种复合混合物的声学特性。

表 1 模拟表面的性质

变 量	数值	单位
阻抗	8	Mrayls
反射系数	68%	—
声速	1690	m/s
600KHz的波长	2—8	mm
铁粒尺寸	0.3—0.7	mm
铁粒尺寸与波长的比率	0.1—0.3	—
衰减系数	5	dB/cm

把材料的厚度选择为4cm，以使透入材料的声波有足够的衰减不致影响散射信号。图5为倾斜入射角为22度时表面的频率响应曲线中的布喇格共振散射峰值的图例。当共振频率曲线相对于 $\text{cosec}\theta$ 绘制出来时，就可以得到一条直线，如图6。直线的斜率是 $mc/2D$ 。这里 $m=2$ 是布喇格共振的模量。从图5和图6计算出的表面波长为7.45mm，这很接近于实际的数值，如有出入，主要是归因于实验中的误差。

这一系统也用模拟砂底进行过测试，

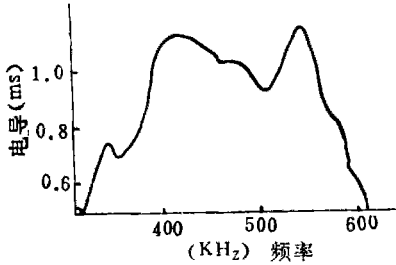
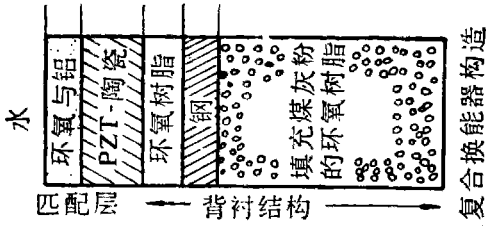


图3a、b

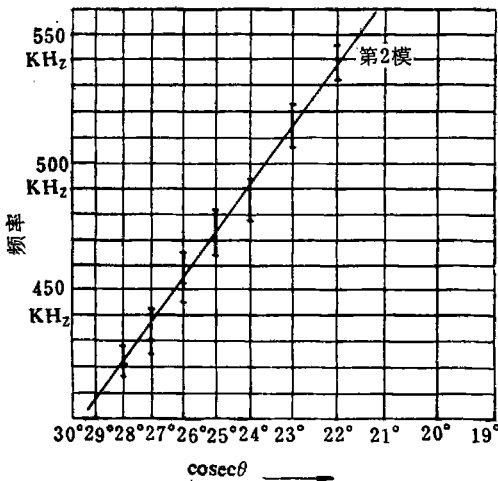


图 4

接口装置包括一块数字键盘，一只用作监控器的视觉显示装置 (VDU)，观察 $H(j\omega)$ 值的显示管 (CRT) 和一个智能 $x-y$ 绘图仪，可以提供频率响应的可读本，数字程序计时器用来控制声呐的变量，例如脉冲和选通的持续时间。这些都

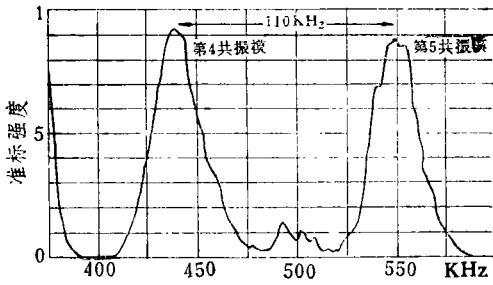


图 5

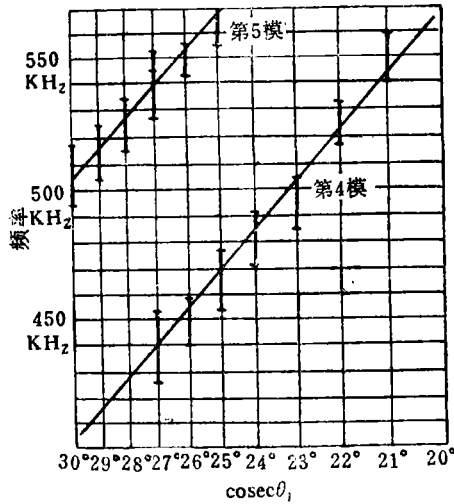


图 6

这个砂底是完全平坦的。由于小颗粒的粒子恰好在本系统的高端频率以上产生布喇格共振散射，所以，观察不到共振，这一情形是确实的，在图上可以看出，细小的峰值确实是沿着频率轴出现的，它们不会与共振峰相混淆，它们的尺寸很小，仅仅能够用眼看得出，这时系统的增益已增加到40dB。这些峰值是旁瓣，它们之所以被引入是因为（水下）声波照射区的尺寸是有限的。

钢球放置在一个平坦的表面上，距离

为14.5mm至15mm 由此分别地测出典型的功率谱和共振频率以  $\text{cosec}\theta$  为函数的变化。由第4和第5共振模估算的距离为14.5mm。这个测量和已知的距离相符。

对含有 28mm 平均尺寸的粒状表面进行了一组频率响应测量，可以分别测出在 33 度入射时表面的频率响应和以  $\text{cosec}\theta$  为函数的频率变化。通过应用图中所示的四个共振峰和  $\text{cosec}\theta$  线的斜度给出粒子大小的估计值为28.5mm。

进一步的实验正在进行用各种不同大小的粒子模拟海床表面，其过程是相同的，但希望对回声频谱作进一步的信号处理，以提供混合尺寸的统计测量值。

#### 4. 结论

这个新的实验系统说明：以微机为基础的频谱分析仪，利用一个发射脉冲，可以实时地提取沉积物的频率响应。这个技术是通用的，如果需要的话，处理时间可以通过应用实时多通道程序或平行处理技术进一步缩短。

实验证明：布喇格共振出现在规则表面的反向散射频率响应中。这些共振能为分类目的而提供鉴别特征，而且，如果已发展了适当的图形识别技术的话，还能用它进行自动地测量。这种系统将很容易地把平坦砂底表面和含有卵石或锰结核的表面区分开来。进一步的实验和统计测量是需要的，以获得表面的信号特征的分类表，为沉积物的分类所使用。在不规则粒子分类的信号处理技术上还应当继续发展这一技术。

（张金钰译自《Acoustics and Sea-bed》P.357 丁东校）