

ABSS 的研制及其观测水中悬沙含量的实验研究*

黄衍镇 粘宝卿 蒋志迪

(厦门大学 361005)

提要 为了声遥测浅海海底边界层上悬浮泥沙含量及其垂直分布,研制了声反向散射系统(ABSS)作为实验样机;介绍了该系统的设计原理及水中悬沙含量与其反向散射关系的实验研究,并分析了实验结果。

关键词 声遥测, 水中悬沙, 反向散射

作者研制 1.5 MHz 的声反向散射系统(ABSS),旨在用于浅海海底边界层上的定点遥测。

1 ABSS 的设计要点

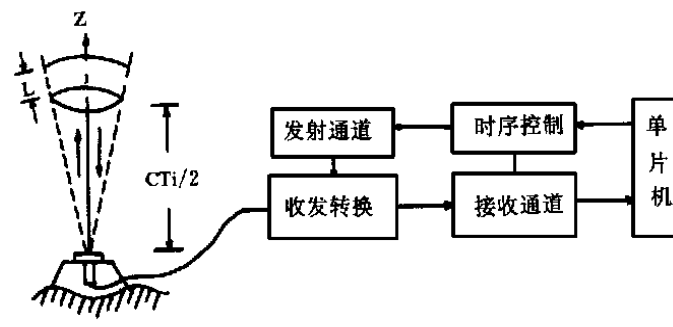


图 1 声反向散射系统方框图

Fig. 1 The block-diagram for the acoustic backscatter observing system

厦门港九龙江有自然水动力的情况下,悬沙为 $30 \sim 70 \mu\text{m}$ 。若取 $a = 100 \mu\text{m}$ 作为悬沙的上界粒径,声波的频率 f_s 为 1.5 MHz 时,仍满足 $kca \ll 1$ 。若系统工作于远场,1.5 MHz 高频信号因海水吸收和球面扩展将损失大部分能量。因此系统应工作于换能器的近场区: $Z \leq ka_0^2$ (式中 a_0 和 Z 分别为换能器半径和轴向上距离)^[4],现采用直径 $\phi = 30 \text{ mm}$ 的 1.5 MHz 换能器,由近场过度到远场的距离为 $ka_0^2 = 1.41 \text{ m}$ 。由此可见,声遥测海底边界层上方 1 m 之内的悬沙含量恰好应工作在近场区内。

研究水中悬沙声散射,把沙粒近似为均匀球形散射体是合理的^[2]。图 1 为系统方框图。由于水中悬沙反向散射的声场十分复杂,设计 ABSS 的技术关键是:

1.1 确定近场工作模式

当声波数 k_c 和粒子半径 a 满足 $kca \ll 1$ 时,粒子散射是属于瑞利散射。这类散射与粒子形状无关,但与粒径、密度、频率有关^[3];而且反向散射较前向强。经 240 目和 120 目标准筛过的细石英沙,粒径为: $63 \leq \leq 125 \mu\text{m}$,在没有水动力的情况下,会迅速沉降,不能悬浮于水中;而 $\leq 63 \mu\text{m}$ 的细沙粒,可处于缓慢沉降的悬浮态;只有 $< 10 \mu\text{m}$ 的粉沙才能悬浮于水中。

1.2 采用简单又有效的束控换能器

采用简单又有效的束控换能器,即换能器的辐射面全部镀银;激发面被分隔成内圆和外环两部分,分别镀银,内圆的面积占总面积的一半;激发内圆的电压幅度是激发外环的 3 倍。这样可得内圆和外环束控系数为 3

1。该换能器由无锡 721 厂加工。

1.3 平滑随机动态信号的起伏

由声反向散射估算水中悬沙含量 M_j ,不可避免要假设观测期间悬沙粒径分布不随时

* 福建省科学基金研究课题。
国家海洋局第三海洋研究所张民强高工提供参考资料,谨表谢意。
收稿日期: 1996 年 10 月 9 日

空而变化^[3], 只有含量 $M_j(z, t)$ 在变化。当由换能器向水中辐射一个矩形包络正弦载频声脉冲后, 水中各悬沙粒子 a_i 反向散射、由换能器所接收的信号 $S(t)$, 近似为随机振幅和相位的许多同频正弦信号的迭加^[5]:

$$S(t) = \sum_{i=1}^m b_i(t) \cos[\omega_s t + \varphi_i(t)] \quad (1)$$

由时序脉冲控制的距离选通门开启对 $S(t)$ 采样, 得到对应于换能器轴线上第 j 个被采样体积的反向散射声脉冲 $S_j(t)$ 为:

$$S_j(t) = e_j(t) \sum_{i=1}^n \cos[\omega_s t + \varphi_i(t)] \quad (2)$$

$S(t)$ 是随机的, 因而 $S_j(t)$ 也是随机的, 可视 $S_j(t)$ 为随机动态包络 $e_j(t)$ 调制着 (包含有) 许多同频正弦的脉冲。 $e_j(t)$ 是 $S_j(t)$ 的特征量, 它代表 $M_j(t)$ 的一个子样本。为了减少 $S_j(t)$ 的动态起伏误差, 必须平滑 $e_j(t)$, 即把 $e_j(t)$ 对其采样时间 τ 积分为 $\langle e_j(t) \rangle$:

$$\langle e_j(t) \rangle = \int_0^{\tau} e_j(t) dt \quad (3)$$

即把 $e_j(t)$ 的幅度电平变为 $e_j(t)$ 所包含的面积电平, 其实质是把无规则起伏的幅度包络 $e_j(t)$ 在时间 τ 里进行平滑, 相当于 $e_j(t)$ 对 τ 求

平均, 从而大大降低了信号的随机幅度起伏, 改善了信号的特征量。

1.4 信号过载检测和对集合求统计平均

由于待测量 M_j 及其现场的变化范围都是未知的, M_j 所对应的 $S_j(t)$ 有可能超过接收机预估设计的动态范围, 使系统处于信号过载的状态, 即 $e_j(t)$ 不模拟 M_j 。因此系统必须有信号过载检测^[1], 并能实时自动减载, 只让非过载 $e_j(t)$ 的数据进入微机作数据处理。

e_j 是随机量, 单次取样所得的测量结果是不准的, 必须要有足够子样本建立观测样本 (集合), 尔后对集合求平均。即 e_j 经积分为 $\langle e_j \rangle$ 、保持和 A/D 变换、过载检测后, 得到代表 1 个子样本 e_j 的数字量 X_j 。微机采集 40 个子样本 (因为 e_j 是随机量, 如采集次数太少, 误差就大), 得到代表 M_j 的一个样本集合:

$$\{X_j(i)\} \quad i = 1, 2, \dots, 40$$

式中 $X_j(i)$ —— 对第 j 个采样体积的第 i 次取数。对集合求平均:

$$\langle X_j \rangle = \frac{1}{40} \sum_{i=1}^{40} X_j(i)$$

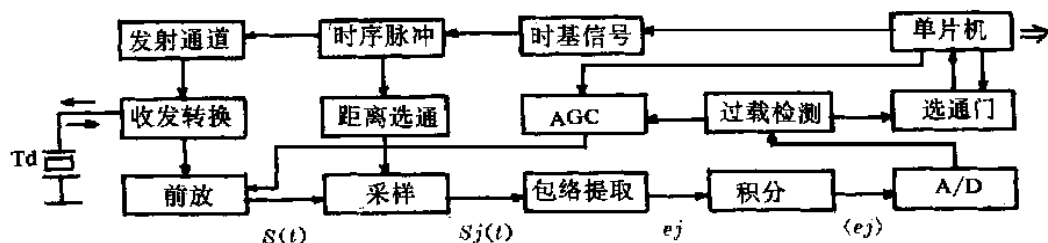


图 2 ABSS 电原理方框图

Fig. 2 The principle block-diagram of the ABSS circuits

式中 $\langle X_j \rangle$ —— 对第 j 个采样体积的取数平均值。这里用于求 $\langle X_j \rangle$ 的子样本个数为 32 个, 而不是 40 个。这是为了排除偶然出现的突发性脉冲干扰, 去掉 $\{X_j(i)\}$ 中 4 个最大值, 相应的要去掉 4 个最小值, 相当于每 10 个 $X_j(i)$ 中去掉一大一小后再求 $\{X_j(i)\}$ 的平均。微机在取数贮存和运算上采用了累计平均方法, 可减少 $e_j(t)$ 的取数 $X_j(i)$ 的随机起伏, 又一次平滑

了采样信号 $S_j(t)$ 的特征量 $e_j(t)$ 。

1.5 干扰源的对策

系统可能的干扰源是气泡、浮游生物和鱼类等。气泡干扰是明显的, 因为气泡的散射截面比等效粒径的悬沙散射更为有效得多。可是, 当提高了工作频率, 置 1.5 MHz 系统于水深超过 3 m 的海底, 气泡影响可以忽略不计。至于浮游生物和鱼类的散射信号较强, 经过载

检测后就被摒弃在数据点之外。

综上所述,设计声反向散射系统(ABSS),其电路结构如图2所示。

2 模拟实验

应用研制的ABSS,在实验室进行声遥测水中悬浮泥沙含量 M_j 的模拟实验。 M_j 是指单位体积水中所含悬浮泥沙的质量,预先制备已知粒径范围和含量不同的几种高岭土悬浮液,盛在圆形塑料槽中。高岭土经240目标准筛过

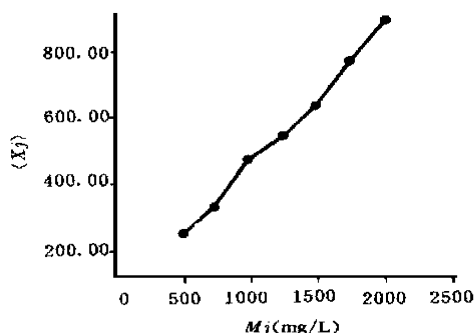


图3 不同 M_j 与其对应读数 $\langle X_j \rangle$ 关系曲线

Fig. 3 Relation between the different M_j and its measurement corresponding reading $\langle X_j \rangle$

每次实验时,充分搅拌高岭土悬浮液,使之尽可能均匀分布。为了消除因搅拌而产生的气泡,在停止搅拌后5s,微机才开始取数 $X_j(i)$, ($i=1, 2, \dots, 40$),并得到 $\langle X_j \rangle$ 。为便于比较,几种不同含量悬浮液的实验,都在同一个选通距离($Z_j=Z_2=20\text{ cm}$)处,对编号为第2的水体采样。实验结果由微机输出打印,其中一组数据示于表1和图3。为了考验系统的可靠性,对含量 1500 mg/L , $\Phi \leq 63\text{ }\mu\text{m}$ 的高岭土悬浮液进行重复性实验,其结果示于表2和图4。

3 结果和讨论

3.1 由表1和图3,对 $\Phi \leq 63\text{ }\mu\text{m}$ 的高岭土,在观测范围($M_j=500\sim 2000\text{ mg/L}$)内,

筛后, $\Phi \leq 63\text{ }\mu\text{m}$ 。收发合置的换能器置于桶底,垂直朝上。当ABSS发出一个 1.5 MHz 载频声脉冲后,经时间 $T_j(\mu\text{ s})$,由时序脉冲控制的距离选通门开启,对距离换能器面为 Z_j 的第 j 个水体采样,采样时间为 τ 。 T_j 是信号往返 Z_j 所经历的时间,如图1,即 $T_j=2Z_j/C$ 和 $L=C\cdot\tau/2$,式中 C 为水中声速, L 为采样水体的厚度。本系统取 $\tau=32\text{ }\mu\text{ s}$,则 $L=2.4\text{ cm}$,即观测剖面的垂直分辨率为 2.4 cm 。

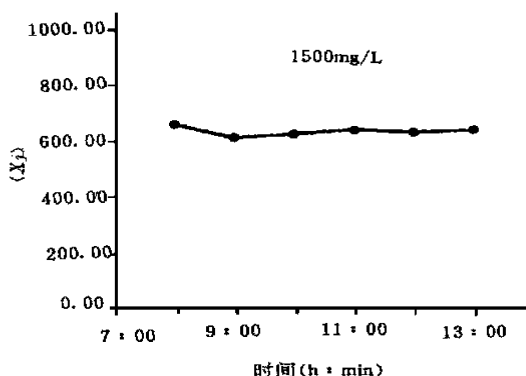


图4 系统测重重复性实验结果

Fig. 4 The experimental results of the repeatability of the system

声反向散射脉冲幅度包络 $e_f(t)$ 对时间平均 $\langle e_f(t) \rangle$ 所对应的读数 $\langle X_j \rangle$ 和含量 M_j 之间基本上是线性关系:

$$\langle X_j \rangle = A_0 + KM_j \quad (4)$$

由表1和图3可得,式中 $A_0 \approx 33$, $K=0.437$,式(4)可表示为:

$$M_j = (\langle X_j \rangle - A_0)/K = 2.29(\langle X_j \rangle - A_0) \quad (5)$$

3.2 在基本相同的状态下,对 $M_j=1500\text{ mg/L}$ 的高岭土悬浮液观测6次,所得都在 $\langle X_j \rangle = 639$ 的直线附近。实验的可重复性说明系统工作较稳定可靠。其中第一个数据点偏高($\langle X_j \rangle = 660.81$),其原因之一是刚配制的悬浮液未充分拌匀引起的。

表 1 ABSS 对不同 M_j 读取对应的读数 $\langle X_j \rangle$

Tab. 1 The corresponding reading $\langle X_j \rangle$ obtained from the different M_j by the ABSS

$M_j(\text{mg/L})$	500	750	1 000	1 250	1 500	1 750	2 000
读数 $\langle X_j \rangle$	251.94	340.38	481.19	548.66	646.19	785.16	907.50

表 2 ABSS 对相同 $M_j(1\ 500\ \text{mg/L})$ 不同时间读取的
读数 $\langle X_j \rangle$

Tab. 2 The reading $\langle X_j \rangle$ obtained for a same M_j
(1 500 mg/L) at the different times by the
ABSS

时间	8: 00	9: 00	10: 00	11: 00	12: 00	13: 00
读数 $\langle X_j \rangle$	660.81	612.59	625.58	639.75	630.53	638.09

由 3.1 和 3.2 可知, ABSS 设计原理可行, 工作较为稳定可靠, 观测数据的可信度良好。

3.3 实验中发现数据 $\langle X_j \rangle$ 和温度 T 有关。当 T 升高, $\langle X_j \rangle$ 增大。这是由于声速 C 是 T 的函数, 而 $k_a < 1$ 和 C 有关, 使得反向散射更强的缘故。

3.4 当 $M_j = 3\ 000\ \text{mg/L}$, 其数据点 $\langle X_j \rangle$ 会明显偏离、出现在图 3 直线的右下方。说明含量足够高时, 悬沙引起的散射衰减不可忽视, 必须对式 (4) 进行修正。这可由微机数据处

理时置入校正因子来解决。

3.5 式 (4) 中的 $K = 0.437$, 仅仅是对系统在实验室校准得到的。实际上 K 不是常数, 而是近场反向散射响应函数 $F(Z, T, P)$, 它是发射声强、距离 Z 、温度 T 和压力 P 的函数。因此必须把实验室校准和观测现场校准结合起来对系统进行定标。这是进一步完善系统所要

参考文献

- [1] 黄衍镇等, 1991. 电子测量与仪器学报 5(2): 24~ 29.
- [2] J. Sheng, *et al.*, 1988. *J. A. S. A.* 83(2): 598-610.
- [3] C. L. Bicki, *et al.*, 1989. *J. A. S. A.* 85(4): 1 501-1 511.
- [4] Y. Ma, *et al.*, 1987. *UFFC* 34(1): 3-7.
- [5] P. Wilhelmij, *et al.*, 1984. *J. A. S. A.* 76(6): 1 810-1 818.

DEVELOPMENT OF THE ABSS AND THE EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE TELEMETERING SUSPENDED SAND CONTENT IN WATER

Huang Yanzhen, Nian Baoqing and Jiang Zhidi
(Xiamen University 361005)

Received: Oct. 9, 1996

Key Words: Acoustic telemetering, Suspended sand, Backscatter

Abstract

The paper describes the principle and the key of the acoustic backscatter system (ABSS) to the technique of the design system, the experimental reacher on the relationship between the suspended sand content and its acoustic backscatter, and the analysis of the experimental results.