

沉积物声速现场测量装置

张 卫

(国家海洋局第三海洋研究所)

引 言

关于海底沉积物声传播速度的测量方法,是多种多样的。为了尽可能减少样品的扰动和所处环境的差异,以获得可靠的测量数据,应采用现场测量技术。据报道,国外已开展这方面的研究,目前被认为较为完善的是 Anderson 和 Shirley 等人设计的可穿透 9m 的声管,以用于测量沉积物的声速和衰减。但是,由于重力取样管高速插入沉积物的摩擦和相对弱耦合的影响,会使表层(即泥—水界面)的测量精度降低。

一般地说,环鸣法和脉冲时延法,都是现场测量声速的有效方法。但是,声在浅海

沉积物中的传播情况相当复杂,声速变化范围大;还有传播衰减和混响,使得接收信号的起伏十分剧烈。采用环鸣法测量声速,被测样品的声速与环鸣效率成正比。若在声路较短的情况下,当出现高声速层时,接收信号较长的振铃拖尾将有可能干扰下一次直达信号,而脉冲时延法却能弥补这一不足。测量时只须保证系统的工作稳定性,就可获得高精度的测量数据。同时还可兼测相对于海水的声衰减。为此,本装置声速测量部分系采用脉冲时延法设计。

LDC1-1 静力取样器可获得 2.8m 深的沉积物样品,用其采样箱体作为换能器载体,其最大优点在于可清除沉积物与换能器之间相对运动的影响,而得到可靠和较精确的测

的安装带来方便,并适合业余无线电音响爱好者制作高传真放声设备。鉴于目前音响系统领域发展快,潜力大,预料大批生产后其销售市场是很广的。这种新颖集成电路的诞生,肯定会受欢迎。事实上,日本的夏普公司,已在生产的中高档立体声收录机如 GF-7600Z、GF-700Z 中使用了集成化的多频音调控制器,该电路用了三个集成块运算放大器与有关阻容元件构成双通道 5 点控制的多频音调电路,控制量为 $\pm 10\text{dB}$ 。如果我们能够将所有运算放大器全部集成在一块芯片上,依照本文设计的音调电路,参照夏普公司生产录音机的多频音调电路中模拟电感设计上的内阻小、电感量大的优点,那么由此组合成的新颖的“多频音调控制集成电路”的生产后

问世也一定是大有意义的。

这种集成电路,可按下述基本要求制作。

1. 单电源供电,并适应在很宽的电压范围内(6~15V)工作。

2. 所有运算放大器都应采用内频率补偿、内偏置电路,功耗不大,噪声要低。

3. 适合立体声双通道的需要。电路内部应设两组独立的放大器,每组均应有独立的内置稳压源与接地端引出线。

4. 在多数场合使用的音调电路,其控制范围大致为 $\pm 12\text{dB}$ 左右,因此可以固定增益 G,即将模拟电感的内阻全制作在芯片中。

5. 为方便维修与调换元件的需要,其外型应该设计成双列直插式的。

量结果。同时还可获得足够的相对不扰动样品，供实验室比测和作沉积物力学性质试验。

装置的主要技术指标

1. 声速测量范围：1400~1800 m/s；
2. 声速测量误差：±5m/s（国外一般水平为±18m/s）；
3. 最大可测沉积物深度：2.8m；
4. 深度指标误差±0.08m；
5. 最大工作水深：100m；
6. 采样箱体截面积：160×160mm²；
7. 固定声路径距离：160mm；
8. 交流供电——整机功耗小于80W（包括X-Y记录仪）；
9. 配合X-Y记录器，可连续自动绘出声速和声衰减垂直剖面。

测量原理

所谓脉冲时延法测量声速，即在固定声路径上测量声脉冲通过样品的时间。然后换算成对应的声速值。即：

$$C = \frac{L}{T} \quad (1)$$

式中， C 为声传播速度； L 为声路径距离； T 为声脉冲传播时间。

沉积物的声速一般仅在1400~1800m/s之间变化，为了提高系统稳定性和测量灵敏度，只需测出400m/s的相对变化量。则有：

$$\Delta C = C_0 \frac{\Delta T}{T} \quad (2)$$

式中， C_0 为某一特定的声速值， ΔT 为相对时延变化。当声速变化很小时，亦即 $\Delta T \ll T$ ，式(2)便可简化为：

$$\Delta C = C_0 \frac{\Delta T}{T_0} \quad (3)$$

T_0 为对应 C_0 的声脉冲传播时间。

ΔC 与 ΔT 之间可近似认为满足线性关系。而在实际中，可在记录器打上相应的时标，然后对记录曲线作分段线性处理。

图1是电测原理图，由发射和接收两部

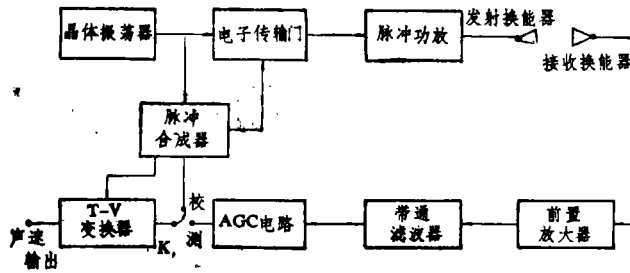


图1 声速测量系统原理框图

部分组成。100KHz晶振信号整形后由脉冲合成器输出调制脉冲和各延时脉冲。晶振信号经调制门，得到正弦调制脉冲发射信号。由脉冲功放后激励发射换能器。接收信号经前放和滤波后，一路信号送入记时电路，由T-V积分器和二次取样保持电路输出对应于声速变化的电压值。另一路由峰值检测电路送出代表接收幅度的电压信号。

还有深度指示由加有固定电压的多圈电位器提供。其轴上固定一只绕有丝线的转盘，丝线与上下支架连结。当箱体与底座相对位移时，丝线带动转盘使电位器动臂转动。因而可送出相对于某一深度的电压值。现场采样时，反映声速、衰减和深度的电压，分别输给函数记录仪 Y_1 、 Y_2 和 X 通道。该函数记录仪便可自动地连续给出沉积物声特性剖面。

电路讨论

对于电测系统来说，适当地选择工作频率是十分重要的。脉冲前沿的测量精度与频率成正比，但信号的衰减也随之而增加。为此，以采样箱体为声路径，权衡衰减与精度之间的矛盾，选用标称载频和换能器谐振频率 $f_0=100\text{KHz}$ 。为消除声路径内混响的影响，脉冲重复频率定为 $F_0=250\text{Hz}$ 。

由晶振电路产生的高稳度发射载频（在室温下频稳度可达 10^{-5} ），也可做为脉冲合成时基，产生各种延时触发脉冲，供电路校正和比测。为满足各种沉积类型测量的需要，应保证有足够的脉冲发射功率（一般应大于10W）。选用高Q型发射换能器，可提高电声

效率;而使用低 Q 型接收换能器,可缩短换能器稳态建立时间,提高前沿脉冲识别的可靠性。接收信号经滤波后可减少各种干扰噪声的影响。 AGC 电路可使强弱变化的信号,输出幅度基本一致。采用浮动触发电平整形电路,则可减少随机触发电时延,保证足够的测量精度。

现场测量时,工作环境多变,而测量系统提供直流输出以供记录。因此,必须认真考虑电路温漂的影响。通常实际测量时间是很短的(一般只需几秒钟)。若在取样之前,送出一组代表相应声速的时延信号,然后对记录曲线进行校正和分段线性处理,这样不仅可以克服温漂的影响,同时还可对直读测量曲线提供了方便。

以下将对部分有关电路进行讨论。

1) 脉冲合成器

脉冲合成器原理如图 2 所示。其目的在于以 100KHz 晶振信号为节拍时基,产生几种稳定的延时脉冲。

电路由 5G600 系列 PMOS 数字集成器件构成。 100KHz 晶振信号整形后,经由两只 5G652 同步计数器组成的 400 分电路,可得重复工作时基。通过单稳态多谐振荡器 5G672 输出脉宽为 $40\mu\text{s}$ 、频率为 250Hz 的传输门控信号。

由工作时基控制的 5G658 十分制分配器定时工作。通过选择脉冲可取出时延为 $90\mu\text{s}$ 、 $100\mu\text{s}$ 、 $110\mu\text{s}$ 和 $120\mu\text{s}$ 的脉冲信号。其中 $90\mu\text{s}$ 时延脉冲为起始记时信号,由此而实现相对测量原理还可减少 $T-V$ 积分器的非线性失真。其他 3 组信号均为校正信号。不同的时延代表不同的声速,通过校正可基本克服电路温漂的严重影响。

2) 电子传输门

为了便于分辨微弱的接收信号,对发射

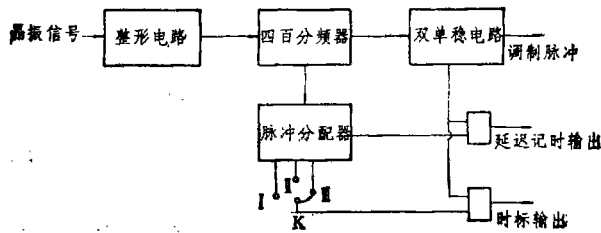


图 2 脉冲合成器原理图

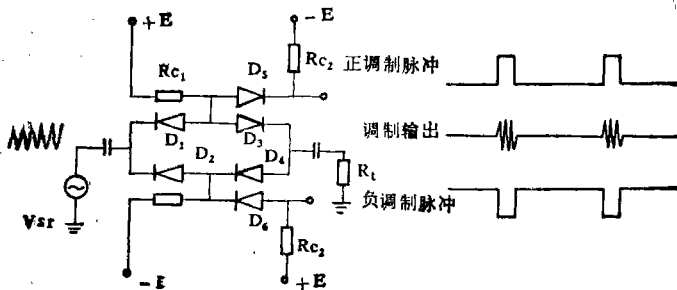


图 3 电子传输门原理图

信号的信漏比有较高的要求。电子传输门是造成漏信号的关键。

如图 3 所示,信号门由 6 只二极管组成,是一个开关特性优良、漏信号极小的脉冲调制器。当控制脉冲超过开门电平时, D_5 、 D_6 被截止, D_1 ~ D_4 同时导通,输入端截频信号通过传输二极管送至负载。输出端有正弦脉冲串输出。反之亦然, D_1 ~ D_4 被截止,传输门关闭,输出端无信号输出。实质上,由于二极管结电容的影响,仍有微小的载频信号输出。

电路中 D_1 ~ D_6 均选用 2AK05 型点接触开关管。设计特性参数为: $R_d=250\Omega$ 、 $R_L=200\Omega$ 、 $R_{C1}=13\text{K}\Omega$ 、 $R_{C2}=10\text{K}\Omega$ 、 $C_d=1\text{pF}$, 其中 R_d 为二极管正向导通电阻; R_L 是传输

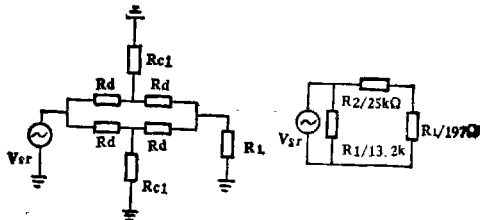


图 4 传输门开门期间等效图

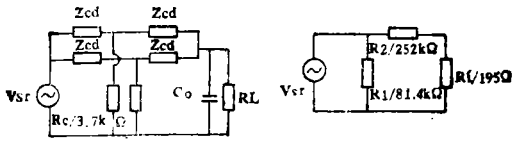


图5 传输门关门期间等效图

门负载电阻； R_{C1} 、 R_{C2} 是限流电阻； C_d 为实测二极管零偏极间电容。

由上图中电子传输门开门期间和关门期间的等效电路可得传输门增益 A_0 (对载波的传输系数)：

$$A_0 = \frac{V_{SC}}{V_{Sr}} = \frac{197}{197 + 254} = 43.3\% \quad (4)$$

式中 V_{SC} 为输出端载波幅度； V_{Sr} 为输入端载波幅度。关门期间信号传输系数 K_L ：

$$K_L = \frac{V_{SCL}}{V_{Sr}} = \frac{195}{3520 \times 10^8 + 195} = 0.55 \times 10^{-4} \quad (5)$$

式中， V_{SCL} 为关门期间漏信号幅度。

最大漏信比 K_{LC} ：

$$K_{LC} = \frac{V_{SCL}}{V_{SC}} = \frac{V_{SCL}}{V_{Sr}} \bigg/ \frac{V_{SC}}{V_{Sr}} = \frac{K}{A} = 1.27 \times 10^{-4} \quad (6)$$

据理论分析，传输门输出端漏信比可控制在万分之二数量级内。而在线路实测漏信比为 0.1%，达到了设计要求。若能在信号源上适当的屏蔽，并采取一定的隔离措施，则输出漏信比还能进一步减小。

3) 脉冲功率放大器

为使该装置适用于浅海各种不同底质情况的测量，要求激励电路具有良好的脉冲响应和足够的功率输出。图 6 为电路原理图和

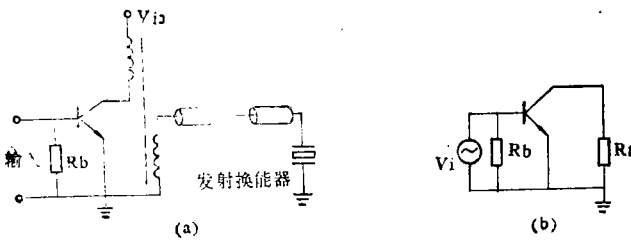


图6 脉冲功放原理图及等效图

等效图。由于压电陶瓷换能器本身具有良好的滤波特性，因而设计了单管乙类谐振功放电路。

功放管选用 3DD12， $f_T \geq 1 \text{ MHz} \gg 100 \text{ KHz}$ ，足以满足电路脉冲响应的需要。

该电路不仅具有瞬时输出功率大、效率高、脉冲响应好等特点。而且结构十分紧凑、简单，性能可靠，便于调整和维修。通过实际使用，其效果比较理想。实测瞬态功率输出可达 15W，达到了设计要求。

4) 带通滤波器

图 7 是多路负反馈带通滤波器电路，与无源滤波器相比具有优良的隔离性能，抗干扰能力强，有一定的电路增益等特点，尤其适合在水声仪器中采用。

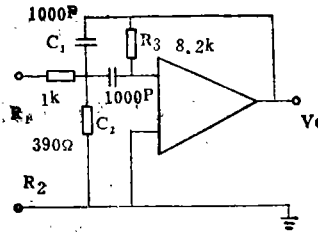


图7 滤波器原理图

当电路中满足 $C_1 = C_2 = C$ 时，由带通滤波器幅频及相频特性可导出以下各式：

$$K = \frac{R_3}{2K_1} = -4.1 \quad (7)$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{1}{R_3} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} = 102 \text{ KHz} \quad (8)$$

$$Q = \frac{1}{2} \sqrt{R_3 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)} = 2.7 \quad (9)$$

式中， K 为电路放大系数； f 为滤波器中心频率； Q 为电路特性参数。

滤波器的有源器件选 5G28 高阻高速型运放。各方面性能指标可基本满足设计需要。电路采用金属膜电阻和聚苯乙烯电容，工作稳定，受温度影响较小，适用于前置电路。

5) AGC 电路

当接收信号通过滤波器后，一路经过检波、低通电路，得到信号包络。再由峰值检测电路获得包络最大值，即瞬时信号最大幅度，放大后为信号幅度输出，可作为研究沉积物声传播衰减的参考值。

另一路输入由幅度信号控制的压控衰减器，其衰减量与信号幅度成正比。因此，强弱不等的信号经 AGC 电路变得较为平稳，使整形电路减少随机时延。防止误触发，提高系统可靠性。图 8 为 AGC 电路原理框图。

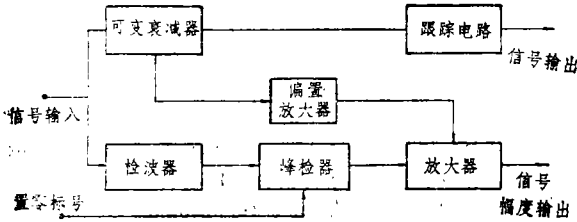


图 8 AGC 电路原理框图

由于该电路各单元电路均采用集成元件，性能可靠，控制范围大，实测输入信号变化 20dB 时，尚能保证触发电路正常工作。

6) T-V 变换电路(见图 9)

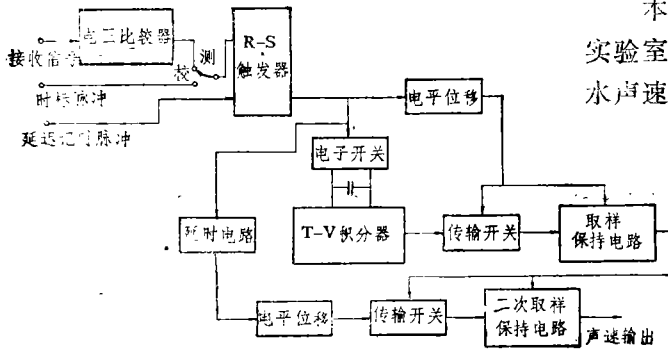


图 9 T-V 变换器原理框图

它控制积分开关定时工作，把时间量转换为锯齿信号。同时，取样保持电路可跟踪积分信号，输出锯齿峰值电压。由于取样时间是随声速变化的，对于记录精度有较大的影响。尤其在声速变化剧烈时更是如此。这样

设计了两次取样保持电路，采用固定取样时间，便可克服这一不足之处。

由于采取了时间校正措施，因而电路可基本清除温漂的影响；延时计时信号的输入，可大大减少电路的积分非线性；选用吸附效应较小的聚苯乙烯电容，从而获得较为理想的跟踪特性。

图 10 为电测线路各部分原理波形。

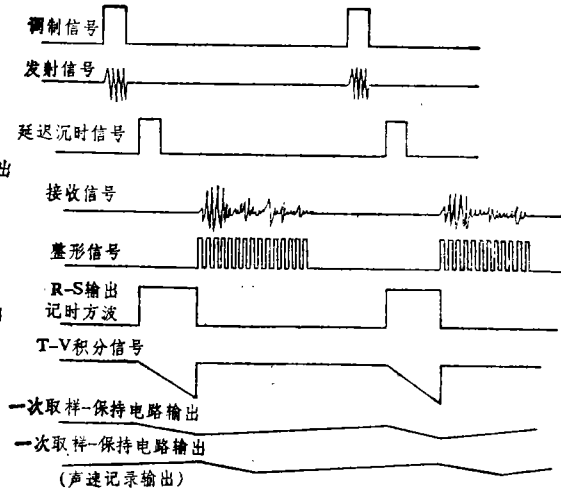


图 10 电测系统主要脉冲信号示意图

实验室和海上试用情况

本装置在研制过程中和样机完成后，在实验室进行标定。在不同的盐度和温度与海水声速仪进行比测。结果其误差仅有 $\pm 2\text{m/s}$ 。(见表 1)并对所采集的几种沉积物样品和人工配制的样品进行测量。其结果与 Hamilton 所测数据基本一致。

海上试验主要在厦门港内进行。曾先后对 12 个站位进行现场实测，获得了令人满意的声速剖面记录曲线。例如 1983 年 10 月在厦门港 26 号站的现场实测记录中，发现在海底 1.4m 深处出现高声速、强衰减沉积层。分析结果表明在该处发现 5cm 厚的泥质中砂夹层。以上情况与 Shirley 和 Anderson 于 1972 年在 Teaxs, Baffin 湾所得结果基本相符。样品中的声速

表 1 测量装置与标准声速比测值

(单位: m/s)

标准值	1595.5	1583.8	1556.8	1526.2	1538.8	1515.0
测量值	1595.28	1586.07	1558.99	1527.23	1539.76	1516.65
误差	-0.22	+2.27	+3.19	+1.03	+0.94	+1.68
标准值	1498.7	1488.5	1468.0	1464.0	1454.1	1435.7
测量值	1500.41	1488.85	1466.77	1465.94	1455.01	1436.23
误差	+1.41	+0.35	-1.23	+1.94	+0.91	+0.43

* 标准声速采用 LSC1-2 型海水声速测得, 其精度为 $\pm 0.1\text{m/s}$ 。

与含砂量有关。当测得高速层时, 相应的接收信号幅度会减小。

结 束 语

我们认为本装置基本能满足浅海表层声特性现场测量的需要, 为我国研究沉积物声特性, 探测海底构造, 提供了一种有效工具。但是本装置在精度、工作稳定性和数据处理自动化等方面还有待改进。同时, 在 LDC1-1 型静力取样器上还可附上其他声特性探头, 如测量声阻抗的换能器等, 以臻完善。

参 考 文 献

- [1] Allman Richard, L. 1974 "Equipment for in situ Measurement of Sediment Sound Velocity and Attenuation" Naval Undersea Center, San Diego CA 92132
- [2] Shirley D. J., and Anderson A. L. 1974 "Compressional Wave Profilometer for Deep Water Measurements" Applied Research Laboratories, University of Texas at Austin, Teech, Rep ART-TR-71-51
- [3] Kenneth C. Baldwin, et al, 1981 "Marine Sediment Acoustic Measurement System" Oceanengineering, Vol.8, No.5, PP481-488
- [4] Anderson A. L., and Hampton L. D. 1974 "A Method for Measuring in situ Acoustic Properties during Sediment Coring" Physics of Sound in Maine Sediments. PP.357-372
- [5] 李允武 1982 "研究海底物理特性的声学方法" 海洋技术 Vol.1 PP10-17
- [6] 吴家仁 1982 "LDC1-1 型静力采样器" 海洋技术 Vol.2, pp32-36
- [7] 吴家仁等 1974 "LSC1-2 型声速仪" 海洋仪器, Vol.4, pp31-36
- [8] 吴家仁等 1984 "海洋沉积物声特性的现场测量方法. Vol.1, pp69-77
- [9] 李清泉, 黄昌宁 "集成运算放大器原理和应用"
- [10] 角铁房, 胡永珍 1980 "漏信比达 10^{-4} 的传输门的探讨" Vol.10, pp14-17

(上接第62页)

反接, 和将图 3 中比较器(521) 的输入作相应的改变, 此电路也能工作在正脉冲状态。

在使用此电路时, 需注意以下几点:

(1) 接收到回波脉冲列中脉冲的宽度(它与脉冲 G 的宽度有关) 要很窄, 以避免相继的脉冲重叠起来。因为此电路的工作原理是建立在回波脉冲与参考电平相比较这一基础上, 参考电平的选取应该在噪声电平之

上。故需要检出脉冲的最低电平亦在此噪声电平之上。

(2) 脉冲 G 的重复频率要相当低, 使得下一个 G 到达时, 被选取的脉冲已经送入取样保持电路, 但是也不能太低, 以致保持电容器上的电压有明显的下降。

[陆玲珍 译自 Rev. Sci. Instrum., Vol.54, No.4, April 1983]