

SALN-1型水下噪声及信号遥测浮标

杭汝衡 孟 龙 陈文祥 王协成

(中国科学院东海研究站)

一、前 言

水下噪声及信号遥测浮标技术,国外在水声学、海洋地球物理、海洋地质、海洋声学以及军事方面,已经得到广泛的应用。作为一种先进的测量手段,它之所以受到许多国家的重视,是因为它有着许多独特的优点。例如在时间上很容易实现连续的,或者是自动定时的远距离遥测方式;在空间上容易在较宽间距之间实现多道测量和布阵技术的要求。浮标遥测在海上的应用,是海上声学测量技术的一大进步,可以避免早年使用调查船或测量船所带来的干扰和局限性,从而改善海上测量的质量和提高工作效率及安全性,同时还可降低海上试验的经费和损耗。

水下噪声及信号遥测浮标按照不同的测量要求,在尺度上有大小不等多种类型。其性能及功能有较完备的,也有较突出某一方面特殊要求的。但从使用的角度来看,设计的基本原则还是应该尽量适应当前实际应用的需要以及技术水平状况。首先,技术上的先进性、稳定性和可靠性是首要的出发点。其次,小型化、使用方便和适应性较强这些特点,也是我们设计时考虑的重要方面。

就遥测技术而言,主要有两种类型。一种是数字传输方式,具有高精度、高可靠性等特点,但与此同时,设备的复杂程度也较高。特别当要求遥测信号频带较宽及频率较高的情况下,就要求大大提高数码的传输率。可是,数码传输率的提高,则几乎与设备的复杂性成指数关系,这就不能不给数字方式带来一种局限性。遥测的另一种方式就是早

期开始的,直至目前在许多方面仍然继续使用的模拟信号传输技术。这种技术比较简单且使用普遍,但精度不及数字方式高,动态范围受限制。

从我们的实际要求来看,水声测量要有较大的动态范围和较高的频段,而且要能作绝对测量并具有一定的精度。同时,还要求有自动工作方式,尽量简单可靠。为解决这些问题,设计思想是集中两种方式的优点,保证在一定精度下,实现大动态范围压缩,同时又要具有简单而可靠的特点。这就产生了SALN-1型浮标所特有的“数字自动增益控制/频移键控”(DAGC/FSK)的遥测制式。

二、SALN-1 型遥测浮标的 特点

遥测浮标的基本工作原理是:在海区现场将浮标布放在海里,使水下被测声信号经过水听器转换为电信号,此电信号则经主放大通道放大,进入调制器,再送到超高频发射机从天线辐射出去;而远处接收后则将之解调出原来的声频信号。

SALN-1 型浮标及接收机见图1、图2。

为完成遥测所需的功能,SALN-1 型遥测浮标采用了自己特有的设计方式,其总系统原理方块图如下。

设计上的主要特点如下:

1. 数字自动增益控制的实现

数字自动增益控制的原理,是基于在主放大器中采用数字开关电路控制反馈深度来改变放大器的增益量。以运算放大器为例(见图5)

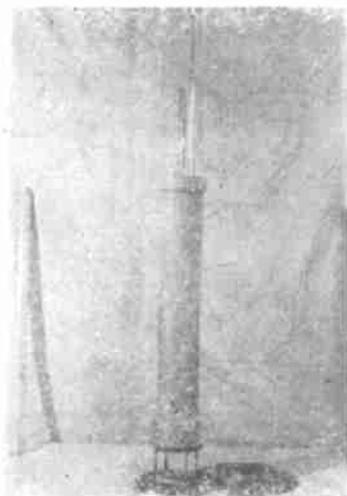


图1 SALN-1型遥测浮标

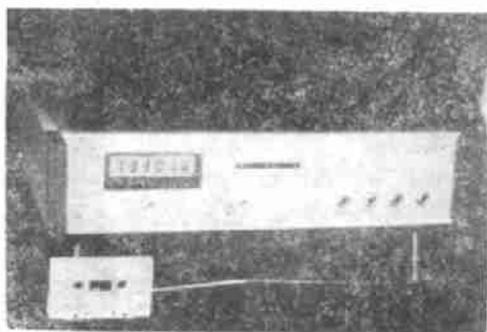


图2 SALN-1型遥测接收机

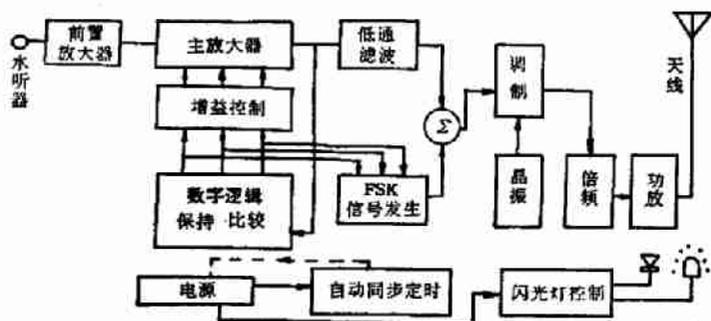


图3 SALN-1型遥测浮标发射部分方块图

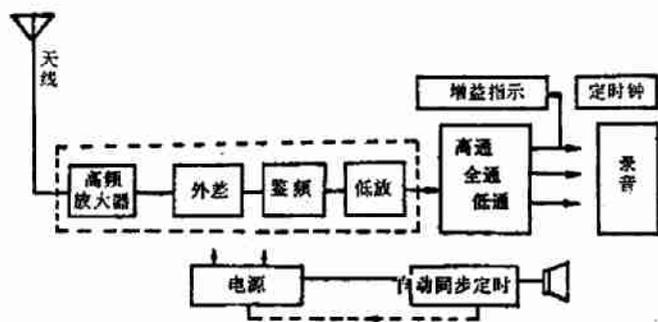


图4 SALN-1型遥测接收机方块图

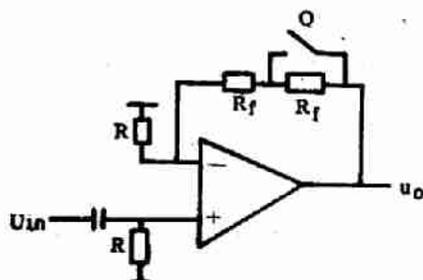


图5 数字增益控制示意图

$$K_o = \left(1 + \frac{R_f + R_f' Q}{R} \right),$$

{Q}为数码控制开关量。

Q取‘1’，

$$K_{on} = \left(1 + \frac{R_f + R_f'}{R} \right),$$

Q取‘0’，

$$K_{off} = \left(1 + \frac{R_f}{R} \right).$$

数码的状态完全受放大通道的输出量所控制。当放大通道增益量合适，输出信号电压落在阈值区间以内，此时{Q}保持恒值，亦即放大增益量不变。当输入信号电压变化过大，则输出信号电压超出上阈值，此时自

动实现 $\{Q\} - 1$ ，以使放大增益量降低。反之，如输入信号电压过小，则输出信号电压低于下阈值，此时电路自动实现 $\{Q\} + 1$ ，以提高放大增益量。通过这样的控制过程，可使放大器输出信号电压的量值重新以合适的增益量落在阈值范围以内，从而实现自动增益控制，达到大范围动态压缩的目的。

2. 信号的数字—模拟传输方式兼用

从上述 DAGC 技术的实施已经可以看到，对于输入到主放通道的电信号来说，即依其动态变化达84分贝范围，而放大输出电信号的线性波形部分却均处于18分贝以内。此时，被测信号是由主放的增益量及其输出线性波形所决定。而增益量的大小则完全由增益码 $\{Q\}$ 所决定。把数码 $\{Q\}$ 以及信号波形同时输送出去，而由接收端加以接收，可完全保留被测信号的信息。这就是数字—模拟混合方式。这样的方式其优点是显而易见的。实现84分贝大动态压缩，只要三位数码就已足够，用18分贝以内的模拟信号传送，对设备的要求也很低，而易于实施。

为了实现这种数字—模拟兼用传输方式，通过对数码使用熟知的频移键控技术 (FSK) 加以转换，可将 FSK 信号与模拟信号混合后单路输出，而作为遥测信号，这就是 DAGC/FSK 的原理。这样的设计使得84分贝动态的信号压缩在18分贝左右，这不仅使随后超高频 (VHF) 发射—接收设备的技术要求容易满足，而更为有意义的是只要使用普通的录音机，就能储存很大动态的信号，这是一个很大的优点。

3. 为声级绝对测量设置标准尺度

在进行浮标遥测时，利用 FSK 信号经过标定后作为声压绝对级的标准尺度，可满足绝对测量时必须对通道增益进行校准的要求，使被测信号的量级能直接加以校读。这一方法使用方便而且简单。

4. 对各种不同类型水下声信号测量的适应性

1) 对水下噪声遥测，可设计为 RMS 值控制增益型，同时还使用精确自动同步定时装置，以实现长期、连续抽样观测，使发射—接收遥测过程实现自动同步。

2) 对许多连续波形亦可作上述的处理。

3) 对脉冲序列信号或者爆炸声波这样的瞬态过程，选用峰值来控制增益，这样可以保持被测信号的波形不失真，增益量处在合适的档位上。与此同时，当控制增益的峰值通过以后，而在下一脉冲信号尚未到来之前，增益量能保留一段“记忆”时间。

4) 声频段系统独立工作，便于配置超高频或其他形式无线电收发电路，此外，还另配有专用校验仪。

5) 浮标小型化，结构简单可靠，使用方便。

三、主要技术指标

1. 浮标测量部分

水听器及前置放大器

1) 低灵敏度 - 200dB (参考级 1 伏/微帕), 前放 0dB, $V_{p-p} \leq 6$ 伏输入阻抗 ≥ 1.5 兆欧, 输出阻抗 < 100 欧;

2) 高灵敏度 - 180dB (参考级 1 伏/微帕),

前放 20dB, 等效电噪声相当于 Kundsens 零级海况;

主放大通道

1) 总增益量 84dB, 以 12dB 级进变档, 共分为 0、12、24、36、48、60、72、84dB 八级;

2) 增益量以数字方式自动控制;

3) 自动控制的阈值区间为 18dB;

4) 频率范围 100 赫—5000 赫 $\leq \pm 1.5$ dB;

5) 非线性失真 $< 2\%$ (额定输出 1 伏有效时);

6) 输入阻抗 15 千欧, 输出阻抗 < 100 欧;

数字自动增益控制及增益码 FSK 信号

1) 由 $Q_c Q_B Q_A$ 三位数码控制八种状态, 产生八个FSK信号;

2) 数码变换增益跳变过渡时间, 不大于100微秒;

自动同步定时器

1) 抽样时间调定1/2、1、2小时;

2) 取样开门时间2—5分钟可调;

3) 精确度每天误差 ≤ 2 秒;

超高频通道

1) 调制方式 PM; 功率不小于1.5瓦;

2) 载波频率 157.0 兆赫; 晶振稳定度 50×10^{-6} ;

3) 电源12.5伏, 400毫安;

闪光灯

傍晚黑夜自动闪光, 闪光周期5秒, 持续0.5秒;

电池 Ni-Cd蓄电池

机械结构

圆柱体仪器舱(外加助浮球体);

直径12厘米; 高90厘米; 体重14公斤;

水中净浮力11公斤。

2. 遥测信号接收机

超高频接收通道

1) 接收机频率157.0兆赫;

2) 接收机灵敏度不劣于1.5微伏(信噪比20分贝);

3) 接收机频率稳定度 50×10^{-6} ;

4) 额定工作电压12伏, 电流小于60毫安

滤波通道

1) 低频信号滤波通道

通频带0—5000赫, 波纹 < 0.5 dB。截止 $f_c = 5000$ 赫, 阻带衰减 > 36 dB; 特性阻抗1千欧;

2) FSK信号滤波通道

通频带 $f_c = 5400$ 赫高通滤波, 波纹 < 0.5 dB;

阻带衰减 > 36 dB, 特性阻抗1千欧;

输出最大不失真信号 $1V_{eff}$ 。

八级增益指示器

由八个发光二极管指示浮标主放增益量的现时值;

自动同步定时器

见发射浮标部分;

石英液晶显示定时钟

误差 < 2 秒/天, 能给出绝对时间。

电源 12.5伏

3. 功能与性能

1) 用于水下环境噪声连续、自动观测, 可连续(定时抽样)工作六昼夜;

2) 配合以激光测距仪, 或者利用浮标本身的无线电通道, 实现水下声波—无线电应答测距的原理, 可确定被测舰船与浮标之间的距离, 并实现舰船辐射噪声测量;

3) 可以测量水下声信号(连续声波、声脉冲序列以及水下爆炸波信号)在水声信道中的平均能量传输衰减特性;

4) 浮标系统可用来实现水下声系统的距离测定, 以及声发射和(声接收灵敏度校准);

5) 遥测系统精度在1.5分贝以内(距离5公里, 天线15米高);

6) 遥测系统测量非线性失真不大于3% (额定输出1000赫);

7) 遥测系统工作温度范围

0° 至 35°C 内, 引入温度误差不大于1.5分贝;

8) 浮标布设所适应的正常工作条件: 可在海况五级、流速 < 4 节下正常工作。

四、实际应用*

SALN-1遥测浮标经过多次在北海区、南海、东海海上试用, 对各类型水声信号进行了遥测试验, 均获得较好的结果。证明浮标性能达到设计技术要求, 可以提供有关部

* 实际应用的例子均取自《SALN-1型遥测浮标鉴定技术文件资料, ‘有关单位使用报告’》

门使用。

实际应用举例如下：

1) 在北方海区、南海、东海均进行了水下环境噪声遥测。图6和图7为福建厦门港口水下噪声的遥测谱级图。所遥测到的噪声系先作直接处理(图6)，然后用FSK标准校正得绝对谱级(图7)。

2) 船舶辐射噪声遥测。图8为机帆船噪声的节奏性波形以及相应的线谱的位置及强度；如用谱级来表示，则所得辐射噪声的绝对谱级如图9。由此可见，SALN-1浮标用于船舶辐射噪声测量是比较合适的。

3) 连续正弦声波及脉冲序列的遥测。从图10可看到经水声信道传输后的正弦声波波

形图及谱线。图11表明了脉冲波传播后接收到的信号多途效应显现得十分清楚。

4) 爆炸声源信号水下声遥测。用爆炸声源产生的瞬态信号经水声信号传输后为浮标所遥测接收。图12就是在1000米距离处接收到的雷管浅海传播波形及其能量谱级。如以频率为参数，将遥测谱级与距离关系绘制出来，就可得到遥测水声信号传播衰减TL曲线。图13是在南海实测的遥测TL。其衰减趋势符合浅海声传播的规律。

实际海上应用证明SALN-1浮标稳定可靠，对类似的情况（如交通噪声、机械噪声等）来说，只要将输入传感器加以改换，即可作为遥测装置使用。

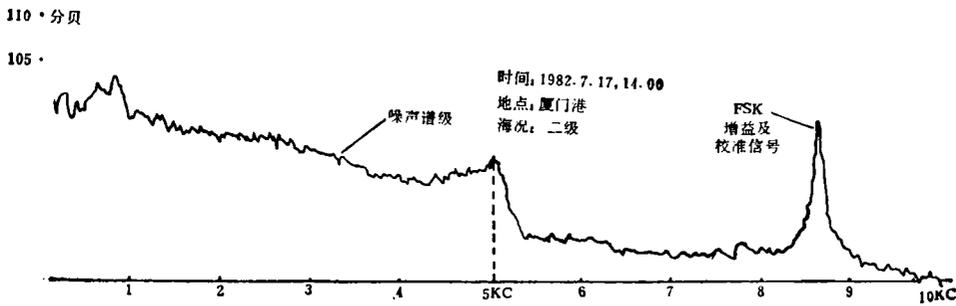


图6 SALN-1浮标遥测厦门港水下噪声直接处理谱级图(B&K 2031处理, 2305记录)

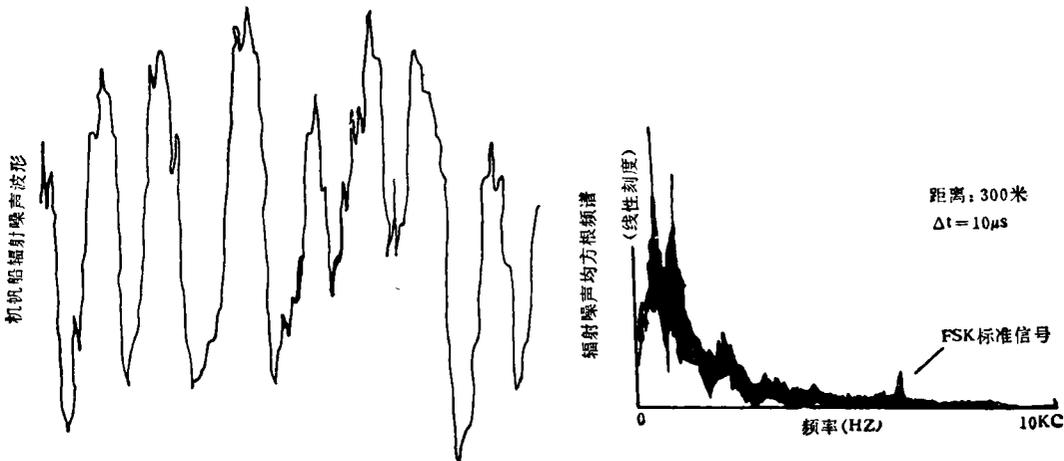


图8 机帆船柴油机辐射噪声线谱(DJS-130机处理)

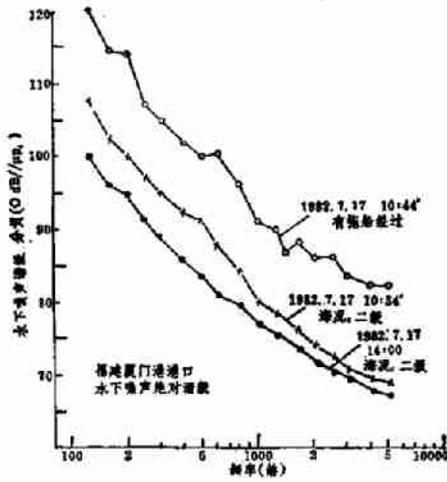


图7 直接处理噪声谱级经校准后得到的噪声绝对谱级图

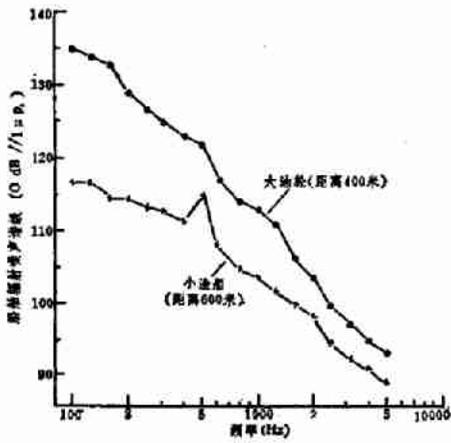


图9 船舶辐射噪声谱级(B&K 3348处理)

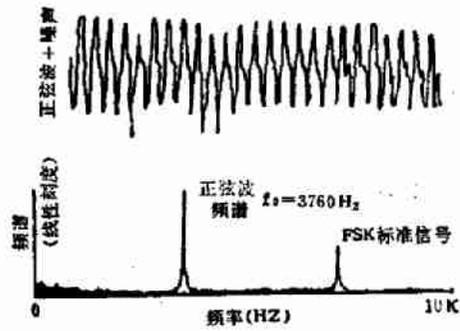


图10 水下正弦声呐传播信号谱测

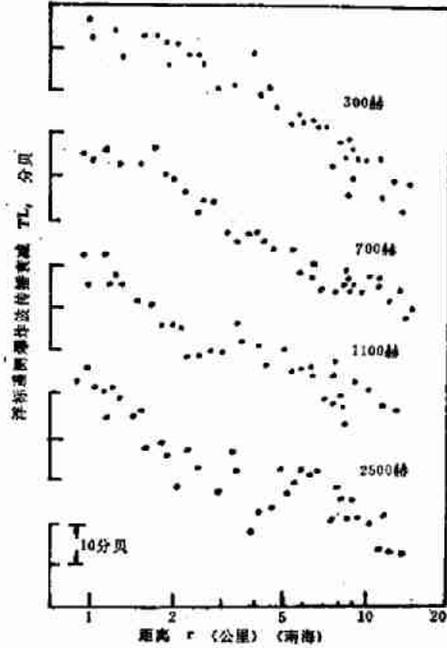


图13 SALN-1浮标测得爆炸声传播衰减TL

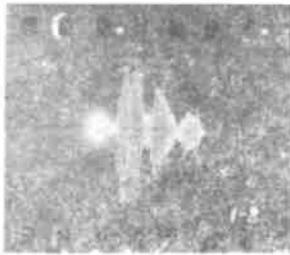


图11 正弦波脉冲序列信号谱测波形

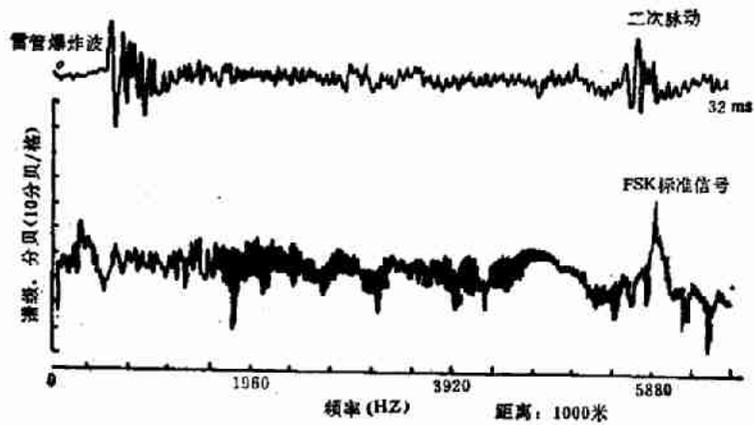


图12 SALN-1浮标测得雷管爆炸波传播信号