

数字式水表皮温度计*

吴葆仁
(山东海洋学院)

测定接近水面一个薄层中海水的温度,对于研究和应用遥感资料是一项基础性的工作。海面的辐射主要取决于海水表面几毫米内的温度。在温度梯度较小的情况下,用通常的表层水温计或颠倒温度计测量的表层温度(1米深以内)当作海水表面温度还是比较准确的。但是,当表层附近温度梯度较大时,1米深处的温度与海水表面的温度就存在相

乙
四

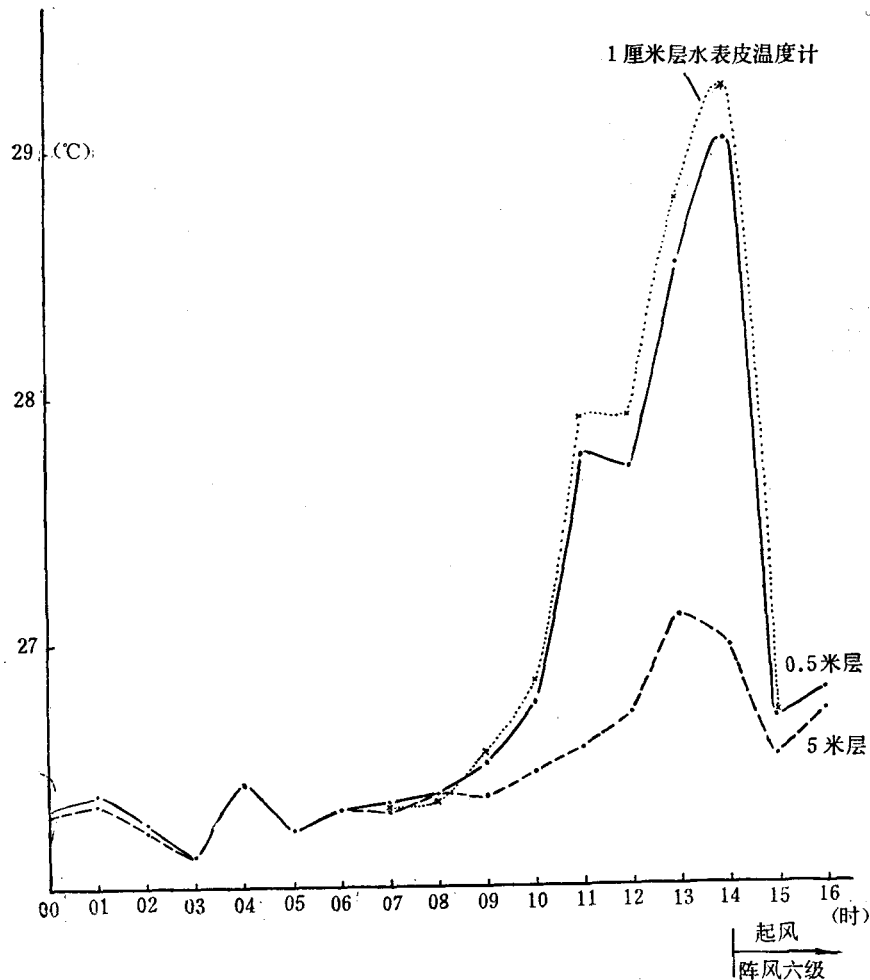


图1 在胶州湾实测的表层水温的变化

* 此项工作得到山东海洋学院王树温、刘安国等同志协助,特此致谢。
本刊编辑部收到稿件日期:1979年8月7日。

当大的偏差。这种情况,在无风浪的晴朗的夏天特别明显。为此,就应设法测定尽量靠近表面处的温度。本文所述的温度计,就是为此目的设计的。

图 1 所示为胶州湾锚地(水深 17.5—21 米,1979 年 8 月 27 日记录)在 0.5 米层和 5 米层用颠倒温度计测得的水温¹⁾,以及用本文所述仪器测得的水温。当日 14 时前为 1—0 级海况,天晴。上午 9 时以前 0.5 米层和 5 米层的温差不大,均不超过 0.1℃;9 时开始,0.5 米层水温迅速升高,而 5 米层水温则缓慢上升,其间温差接近 2℃,出现较大的温度梯度。14 时以后开始起风,达到三级海况。由于风浪的搅拌作用,至 15 时温差大为下降,温度梯度变小。用本文所述仪器得到的测量值,在小温度梯度时与 0.5 米层的数据很接近;而在温度梯度变大时,0.5 米层的数据就显著偏低,12 时和 13 时的记录偏低 0.2℃ 以上。据 0.5 米层及 5 米层的温度变化可以认为,本文所述仪器的测量值更接近于海水表面的真实温度。

为了测量接近水面的海水薄层的温度,所用敏感元件的尺寸必须很小,因此采用了珠状热敏电阻。为了使传感器和敏感元件停在所要求的位置,故必须将传感器做成具有漂浮能力的型式。再用几个渔网浮子使电缆同时浮在水面上,以减小电缆对传感器浮出高度的影响。传感器仅重 0.5 公斤,通过调整其配重,可以使敏感元件沉到靠近水面的 0.3—1 厘米的水层。传感器以碳化硅单晶热敏电阻为敏感元件,通过线性化的振荡电路变为调频讯号。数字式指示器用 MOS 中规模数字集成电路构成,能直接给出被测温度的数值。

为了减少太阳辐射的影响,在热敏电阻外面装有光亮的不锈钢护罩。

全套仪器见图 2,指示器上显示的数字是当时的室温。海上实验时的布置如图 3 所示。传感器与第一个浮子的距离,实验时约 0.6 米。仪器的各组成部分均较轻便。所用的电缆为 WTJNV-0.2 型三芯轻便电测电缆,110 米长仅重 5.5 公斤(强度 200 公斤,外径 6.5 毫米)。数字式温度指示器部分用干电池供电,包括电池在内重量为 3.6 公斤。因此,仪器不仅便于携带,而且可以在任何类型的船只上使用。

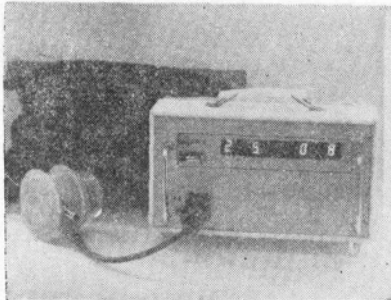


图 2 仪器的外观

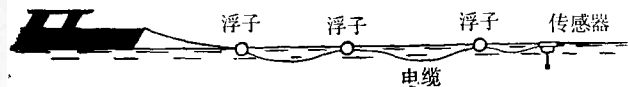


图 3 海上实验时仪器的布置

一、传 感 器

传感器外形、结构和电路如图 4 所示。为减轻重量,外壳采用有机玻璃和尼龙做成。电路中 R_{T1} 和 R_{T2} 为热敏电阻,是沈阳仪器仪表研究所研制的 M93 系列碳化硅单晶热敏电阻,具有长期稳定性^{2), [2]}。为安装方便,两个热敏电阻被封装在一个玻璃管的端部。

1) 根据国家海洋局北海分局丁兆山等同志同船测得的数据。

2) 制造厂提供的数据是:时间常数 ≤ 0.5 秒;标称阻值 $R_{25} = 3-5$ 千欧;稳定性 $0.009^\circ\text{C}/\text{年}$;特性常数 $B \pm 2200\text{K}$;使用温度范围 $-5^\circ\text{C} \sim +35^\circ\text{C}$ 。

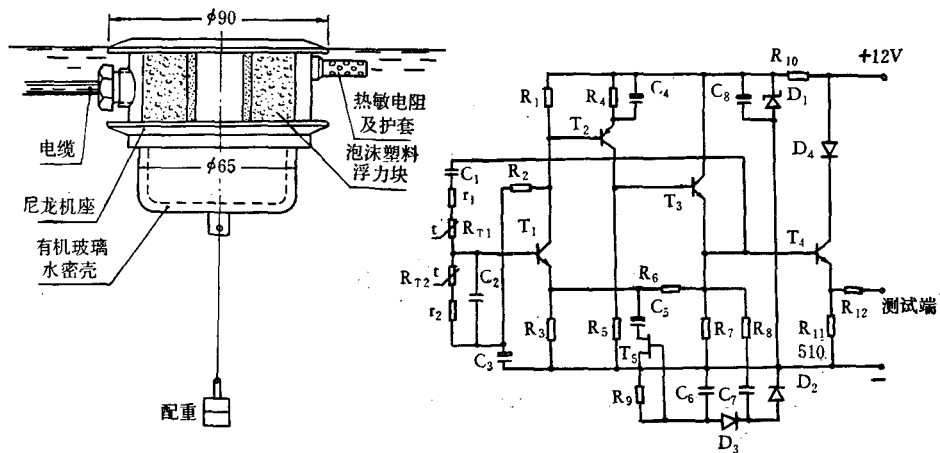


图4 传感器的外形与电路

传感器电路以文氏桥振荡器为基础,选频网络由 R_{T1} , r_1 , C_1 和 R_{T2} , r_2 , C_2 构成。为简化讨论起见,我们设 $R_{T1} = R_{T2} = R_T$, $r_1 = r_2 = r$, $C_1 = C_2 = C$, 并设 $R = R_T + r$ 。振荡频率即可表为:

$$F = \frac{1}{2\pi RC}, \quad (1)$$

用电导 $G = 1/R$ 代入得:

$$F = \frac{G}{2\pi C}。 \quad (2)$$

式(2)表明,在桥路对称条件下,文氏桥振荡器的频率与其中每条支路的电导值成正比。我们知道,一般热敏电阻的电阻值随着温度的升高而变小,其电导值随着温度的升高而变大;然而,它们与温度的关系都不是线性的。

$$R_T = R_a e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_a}\right)} \quad (3)$$

电导

$$G_T = \frac{1}{R_a} e^{B\left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T}\right)} \quad (4)$$

式中 R_a 是热敏电阻在绝对温度 $T_a(k)$ 时的阻值; B 是材料常数; $T(k)$ 是被测温度。文献[3]指出了给热敏电阻串联固定电阻,使电导与温度的关系线性化的可能性。文献[1]则介绍了同时加并联和串联电阻进行线性化的工作。

在测量范围为 $0-30^\circ\text{C}$ 的条件下,这里采取的办法是仅串联固定电阻 r , 即图4中的 r_1 和 r_2 。所谓线性化是相对的。采取下述措施之后,热敏电阻加固定电阻的特性还是非线性的,只不过比较接近直线而已。我们确定电阻 r 的出发点,是使文氏桥中每条支路的电导 $G = \left(\frac{1}{R_T + r}\right)$ 在量程的起点、终点和中间点落到理想的直线上。通常任何一条曲线,至少能有两个点落到一条直线上。如果有一条接近直线的曲线在不大的范围内能有三点落到理想直线上,在此范围内,整个曲线就能较好地接近理想直线。即达到较小

的非线性误差。

设热敏电阻 R_T 在 0°C 的阻值为 R_0 , 在 30°C 的阻值为 R_{30} , 在 15°C 的阻值为 R_{15} , 并设相应的电导值分别为 G_0 , G_{30} 和 G_{15} , 即有:

$$G_{15} = \frac{G_0 + G_{30}}{2},$$

即

$$\frac{2}{r + R_{15}} = \frac{1}{r + R_0} + \frac{1}{r + R_{30}}, \quad (5)$$

整理后得到:

$$r = \frac{R_0 R_{15} + R_{15} R_{30} - 2R_0 R_{30}}{R_{30} + R_0 - 2R_{15}}. \quad (6)$$

以样机所用热敏电阻的测值为例, $R_0 = 4.65$ 千欧, $R_{15} = 3.2$ 千欧, $R_{30} = 2.25$ 千欧, 代入式(6)计算即得 $r = 2.1$ 千欧。实际调试后所用的数值是 1.9 千欧。此电阻采用聚脂漆包锰铜线绕制而成。

为了使传感器具有良好的频率稳定性, 首先要求选频网络的元件具有良好的长期稳定性, 其中热敏电阻 R_T 和附加电阻 r 前面已经作了讨论, 电容 C 要采用密封云母电容。对放大器而言, 因其输入阻抗就是选频网络的负载, 所以必须有较高的数值; 放大器的增益还必需自动维持在产生等幅振荡所需的临界值上。为此, 在电路中用 R_6 对晶体管 T_1 提供仿真反馈, 可以得到兆欧级的输入阻抗; 用场效应管 T_5 构成自动增益控制。其控制电压, 由 D_1 和 D_2 将振荡器的输出检波来供给。传感器电路经过一年的观察, 稳定性达到 3×10^{-4} 。晶体管 T_4 用于把振荡电流耦合到电源线上; 因此, 传感器允许采用“单芯”电缆供给电源和传输讯号。振荡器输出约 0.5 伏, 耦合到电源线上的讯号电流约 1 毫安。

二、数字式温度指示器

仪器的方块图如图 5 所示。在数字式温度指示器中, 各数字逻辑电路主要用 MOS 中规模集成电路构成。温度传感器输出的调频讯号, 利用变压器 B_1 即可从电源线上分离出来。经放大、整形后分别送至计数门和数模转换单元。计数门受分配器的 Q_4 端控制。输入分配器的时基脉冲频率为 2.5 赫, 即周期为 0.4 秒, 分配器的重复周期为 4 秒, 采样时间 $a = 0.8$ 秒。

温度传感器在已实现线性化的条件下, 其输出频率可以表为:

$$F = St + F_0, \quad (7)$$

式中 S 为传感器的变换系数; F_0 为起始频率, 即在被测温度为 0°C 的频率; t 为被测温度。为了使仪器能直接给出温度的测值, 计数器部分应具有进行简单线性换算的功能, 其计数为:

$$N = [aF + (M - aF_0) - M]. \quad (8)$$

式中 M 是计数器的溢出值; a 为采样时间; $(M - aF_0)$ 为给计数器的预置码。将式(7)代入即得到计数 $N = aSt$, 这也就是指示器上显示出来的数字。这里 aS 是显示灵敏度。在要求分辨力达 0.01°C 的条件下, 就应当使 $aS = 100$, 因此要求 $S = 100/0.8 = 125$ (赫/ $^\circ\text{C}$)。这可以通过调整传感器中的 C_1 和 C_2 来达到。只要再标上小数点, 显示的

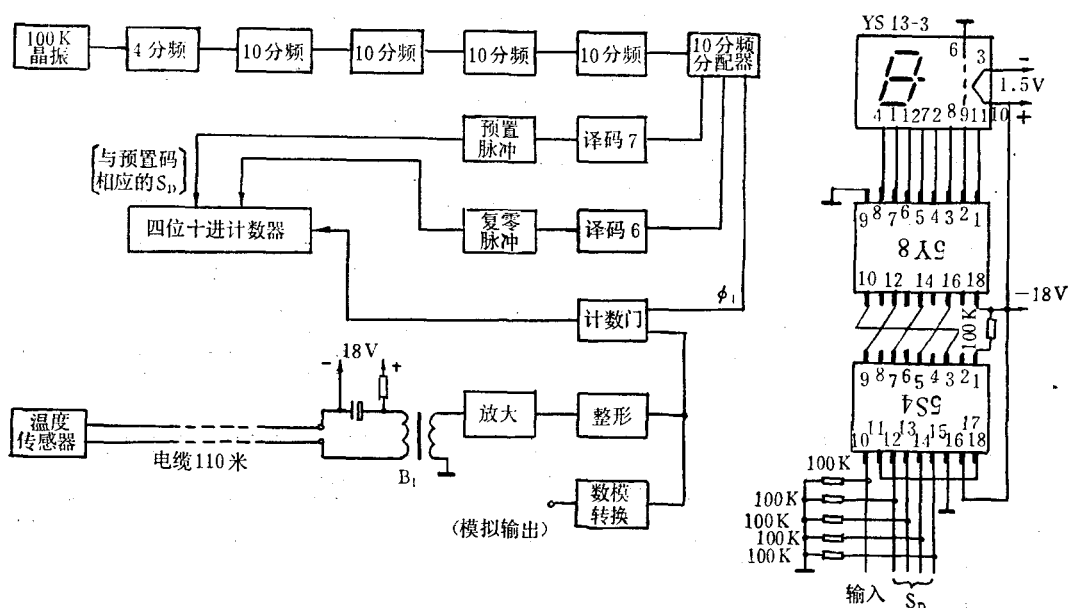


图5 仪器的方块图

就是温度值。

十进计数器由 MOS 集成块 5S4 和 5Y8 构成,配 8 段型萤光数码管,用 18 伏电池供电即能正常工作,图 5 只画出了其中的一位数。预置码是用 5S4 的直接置位端在计数门开启之前置入。把各个 S_D 端用 100 千欧电阻接地,在不外加讯号的条件下可以自然保持该单元由复零脉冲造成的“0”状态。只要把需要预置为“1”的端子接到发生“预置脉冲”的单元,在负脉冲“1”到来时,该单元即被置“1”。

仪器还具有模拟输出部分,可配用曲线记录器。

三、调整和测试

用以校正线性的附加电阻 r ,其实用数值在进行计算之后,还要通过实际调试才能最后确定。由于传感器采用了有机玻璃水密壳和“O 形”密封圈,因此能适应需要频繁地打开水密壳进行调整的情况。

在调试中发现,加上一定的附加电阻 r 之后,在 $0-3^{\circ}\text{C}$ 一段的变换系数仍显著低于整个范围的平均值。当所用 r 值逐渐加大到一定程度时,在量程的末端也会出现变换系数低于平均值的现象。当然,对于理想的直线而言,各处的变换系数(即斜率)应当是一样的。然而实际上的传感器却是不可能的。为了使整个量程中出现的非线性偏差较小,采取了把量程两端变换系数调到相近的做法,即在调整中以达到

$$\left(\frac{\Delta F}{\Delta t}\right)_{t=0-3^{\circ}\text{C}} \doteq \left(\frac{\Delta F}{\Delta t}\right)_{t=27-30^{\circ}\text{C}} \quad (9)$$

为目标。为节省调整时间,需同时备有三个水浴,温度分别保持在 3°C , 27°C 和 30°C ;再另备一个放置带水冰屑的容器,其温度可自然稳定在 $0^{\circ}\text{C} \pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 之内。

在线性调整完成之后,还要通过调整电容 C_1 和 C_2 再对变换系数进行调整。在传感器电路基本参数和频段已经确定的条件下,变换系数的调整具有一定的独立性。也就是说,在调整变换系数的过程中,传感器的线性基本上保持不变,这可由公式(2)得到解释。为了便于进行调整,电容 C_1 和 C_2 都是由若干个电容并联而成。在微调以后,两者的数值也可以不严格相等。样机中的 C 值约为 5600 微微法,即由 3900 微微法加上 1600 和 100 微微法并联而成。最后,应调整到使整个量程的频移达到 $30 \times 125 = 3750$ 赫。由于调整是利用改变并联电容进行的,而电容的分档值并不连续,因此很难恰好调整到 3750 赫。另外在调整过程中烙铁焊接的余热等因素引起的过渡过程,也会影响到调整的精确性。因此,对这项调整应规定一个公差。考虑到使 25°C 附近的正偏差降低,因此把公差规定为 $+0$ 赫到 -5 赫。

至于传感器的起始频率,可不必加以调整。因为,对于任何一个起始频率 F_0 ,都可以找到相应的预置码。改变计数器的预置码是较为简单的。在总体测试过程中,当我们发现误差的分布不够满意时,也可以随时对最低一位计数器的预置码进行改换。便可对仪器的特性进行平移性的微调。

仪器的总体测试结果如下表所示:

标准温度($^\circ\text{C}$)	0.00	2.50	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00
仪器读数($^\circ\text{C}$)	00.02	02.42	04.97	07.48	09.99	12.50	15.00
标准温度($^\circ\text{C}$)	17.50	20.00	22.50	25.00	27.50	30.00	
仪器读数($^\circ\text{C}$)	17.51	20.07	22.58	25.07	27.55	29.97	

由表中数据可见,仪器的最大偏差包括非线性在内不超过 0.1°C ,分辨力为 0.01°C 。当水浴中温度没有变动时,本仪器读数的稳定性为 0.01°C 。

海上实测表明,本仪器测量“水表皮”温度是可行的。图1的曲线告诉我们,表皮层有时确实会出现不同于1米层的温度。当然,这种漂浮型传感器只有在风浪较小情况下,才能停在所要求的位置上。其实,只有这时传感器在表层的深度才对测值有明显的影响。

给传感器挂上重锤亦可使它沉放到其它深度,由于敏感元件的时间常数很小,用此仪器还可以对水温的脉动进行探测。在近海水温确实存着脉动,国外也有文章专门讨论对它的测量^[4]。这种脉动并不是仪器造成的假象,因为仪器在水浴中调试时,在被测温度不变时读数的稳定性达到 0.01°C 。近海水温脉动的成因,主要是空间上水温分布不均匀,再加上混合运动及潮汐流,在固定的测量点就变成了水温相对于时间的脉动。

参 考 文 献

- [1] 沈阳仪器仪表研究所三室, 1976. 热敏电阻数字温度传感器. 仪器制造 5:9—12.
- [2] 沈阳仪器仪表研究所三室, 1977. 碳化硅单晶热敏电阻及其在仪表中的应用. 仪器制造 1:56—60.
- [3] Brown, N. L. and R. J. Diehl, 1965. An Expendable Bathythermograph. *Marine Science Instrumentation* 3:26.
- [4] Rolf, G. Lueck et al, 1977. The spectral response of thermistors. *Deep-Sea Research* 24:951—970.

A DIGITAL SEA SURFACE THERMOMETER

Wu Baoren

(*Shandong College of Oceanology*)

Abstract

The measurement of sea surface temperature is a fundamental work for remote sensing. The temperature of water under the surface within a depth of 0.3—1 cm can be measured with this instrument—the digital sea surface thermometer. The sensor of the instrument looks like a float. Each temperature value is converted into a frequency signal with linear relationship. The surface temperature value is shown on the digital display with MOS medium scale integration. Measuring range is 0—30°C, accuracy is 0.1°C, resolution is 0.1°C.