

晶体管等电阻接触式测波仪的研制***

郑 大 钧

(中国科学院海洋研究所)

继电器接触式测波仪, 由于使用了近百个继电器组及相应的电线和触头, 显得相当笨重, 在使用中还对其它同步测量的信号产生干扰; 在此基础上发展的电阻接触式测波仪, 在设计中需反复逐步实验才能达到直线性, 而当盐度发生变化时还会产生不可忽视的非线性, 因此使用上十分困难。根据上述问题, 作者研制了新的等电阻接触式自动测波仪。

一、工作原理

将波高的变化直线性地转变为电阻的变化, 然后将电阻的变化用恒流的方式变成电压和电流的变化, 这就是测波杆的工作原理。这种仪器用一系列串联电阻作为测波感应器, 根据测量精度的要求, 制作 n 个触头和选用 n 个电阻, 惯例需解 n 个 (n 一般等于 50—100 个以上) 电路方程组, 十分繁难, 但从物理概念上可知: 要直线性地将波高 H 变为电压 V , 在任何时刻水下电阻值 R 都必须保持一个常数值; 此时, 水面上电阻值的变化即为波高 H 的变化。该水下电阻用 R'_x 表示。它是由海水介质、电阻 R_i 、触头金属与公共地线金属的性能和使用频率等决定的。

从感应器原理图 1 中可知: 因为恒流, A 、 B 两端电压 V 的变化实质上就是 A 、 B 两端电阻的变化, 即

$$R_{nx} = \sum_{i=1}^n R_i + R_x \quad (1)$$

变化决定的。当水面没入下端第一个触头时, R_{nx} 为:

$$R_{nx1} = \sum_{i=1}^n R_i + R'_{x1} = \sum_{i=1}^n R_i + \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R'_{x1} + R_n} \right)^{-1} \quad (2)$$

当水面没入下端第二个触头时, R_{nx} 为:

$$R_{nx2} = \sum_{i=1}^{n-1} R_i + R'_{x2} =$$

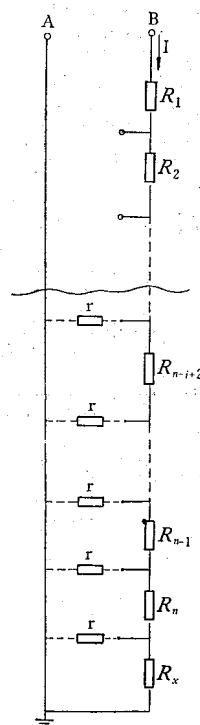


图 1 感应器电路原理图

$$\sum_{i=1}^{n-1} R_i + \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R'_{xi} + R_n} \right)^{-1} \quad (3)$$

当水面没入下端第 i 个触头时, R_{nx} 为:

$$R_{nxi} = \sum_{i=1}^{n-i+1} R_i + R'_{xi}$$

* 在研制过程中分别得到本所波浪组、回流组、防附着物组、工厂以及青岛模型厂、济南自动化仪表厂等单位的大力支持; 在撰写过程中承赵保仁、杨治家、钱正绪、李磊等同志热情帮助, 均此致谢。

** 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 379 号。

$$= \sum_{i=1}^{n-i+1} R_i + \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R'_{xi-1} + R_{n-i+2}} \right)^{-1} \quad (4)$$

式中所用符号:

n = 感应器内电阻的总个数;

$i \leq n$;

R_i = 感应器内任一电阻值;

R_x = 感应器最下端一电阻值;

R'_{xi} = 当水面没入感应器离 R_x 第 i 个触头时的水下总电阻值;

r = 触头在海水中与公共地线间在某频率下的电阻值;

当两触头在海水介质中电阻值大于 R_i 时, 从上述物理概念的原则, 要求任何时刻水下电阻皆为常数, 即有:

$$\begin{aligned} R'_{x1} &= R'_{x2} = \dots = R'_{xi} \\ \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R_x} \right)^{-1} &= \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R'_{x1} + R_n} \right)^{-1} \\ &= \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R'_{x2} + R_{n-1}} \right)^{-1} = \dots \\ &= \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R'_{xi-1} + R_{n-i+2}} \right)^{-1} \quad (5) \end{aligned}$$

并且 $\sum_{i=1}^{n-i+1} R_i$ 的变化与波高 H 成直线性变化,

也就是与触头个数成直线性关系。所以, 必须选所有的 $R_1, R_2, \dots, R_n$ 都等于某一固定值, 设其值

为 R_0 , 则

$$\sum_{i=1}^n R_i = nR_0 \quad (6)$$

由此得到

$$R_x = R_0 + \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R_x} \right)^{-1} \quad (7)$$

R_0 由 (6) 式中知, 在满足电路系统允许线性范围内, 原则上可以任意选择。并由 (7) 式解得感应器末端电阻值为:

$$R_x = \frac{1}{2} (R_0 + \sqrt{R_0^2 + 4rR_0}) \quad (8)$$

R_x ——当 r 测定, R_0 选好后, 也就可以确定了。

A, B 两端电压 V 由式 (4)、(7) 知

$$\begin{aligned} V_{nxi} &= IR_{nxi} = I[(n-i+1)R_0 + R_x - R_0] \\ &= I[(n-i)R_0 + R_x] \quad (9) \end{aligned}$$

电压 V_{nxi} 的变化即反映了触头个数 i 的变化, 又因触头间距固定不变 (该仪器触头间距为 10 厘米, n 为 72 个触头), 触头个数 i 的变化也就标志着水面的变化, 即为波高 H 的变化。由此, 对电路的要求就是如何实现精确地测量电压的变化。

为避免电阻 r 随时间、电压等因素的变化, 因而采用了交流正弦波形式, 而且还必须使电流恒定, 加以适当放大和补偿, 以克服温度变化, 使其电路长期稳定, 该仪器采用下列的电路方框图:

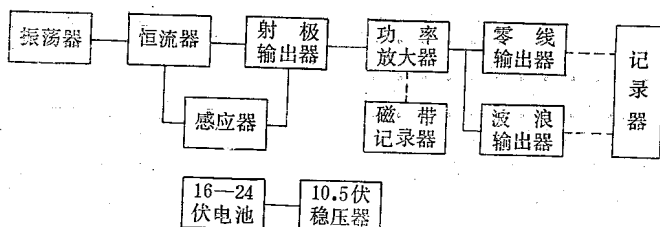


图 2 测波仪电路原理图

二、实 验

1974—1975 年我们先后在黄海和南海某些港湾和近海做了试验, 取得了部分资料。图 3 即是将测波杆置于海水中, 在船上用电动绞车提动测波杆上下运动, 记录到的波动图形; 在水面相对于杆子运动速度较慢时, 该图阶梯状是十分明显的, 波高在信号电缆 50 米以内是可以直接从记录纸上读出的, 并十分清楚地记录出了零线 (平均波面), 对波浪资料的分析是较为方便的。

图 4、5 是在黄海某海边取得的部分资料, 当单位时间内水面上下运动触头个数较少时, 阶梯状清楚可辨。但是, 当水面上下运动触头个数较多时, 阶梯状就很难辨别了。在图 5 中, 零线比波浪记录曲线迟后约 5 分钟, 有时零线位置并不正在波浪曲线的平均波面中, 在使用零线时, 应考虑这一特点。

图 6、7 是北部湾某港湾取得的部分资料, 实际使用电缆四百多米, 由于存在分部电容, 影响了直线性, 为此必须根据计算或实测资料作出一校正刻度。

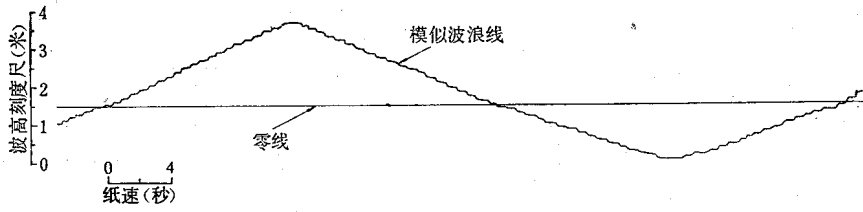


图3 在船上用电动绞车提动测波杆
上下运动记录到的波动图形

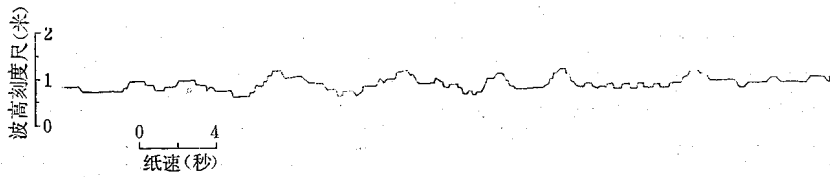


图4 在黄海某海边波浪较小时记录到的图形

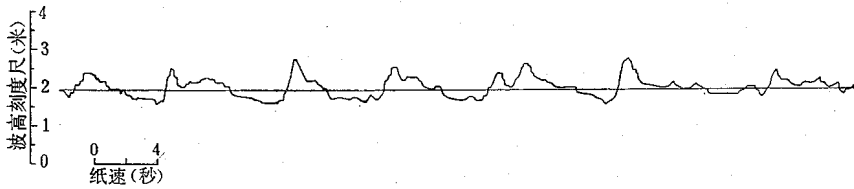


图5 在黄海某海边波浪约1米时记录到的图形

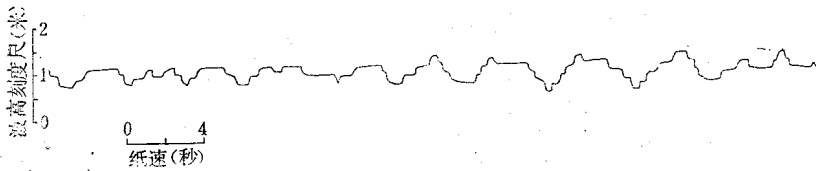


图6 北部湾某港湾波浪较小时记录到的波浪图形

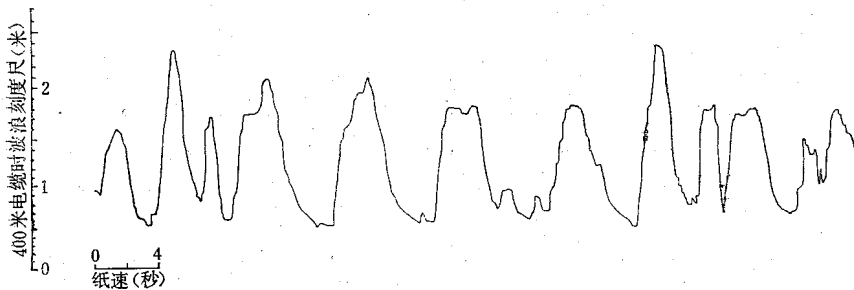


图7 北部湾某港湾波浪约2米时记录到的波浪图形

当波面上下运动较快时,记录器本身(全程1秒)和滤波电容等特性限制,必然会产生误差。当波高为0.5米的高频波(1赫以上),若记录纸量程为5米,记录器所允许记录到的频率约为10赫时,则记录器频率响应为0—10赫;若考虑到滤波电容的影响,则频率响应约0—5赫,所以这种仪器反映波高变化的速度是十分灵敏的。

三、讨 论

1. 这种仪器主要精度是由触头间距所决定的。增加触头个数,即可提高该仪器的精确度。但 nR_0 要小于恒流器直线性允许最大电阻值。因此减小 R_0 ,增加触头个数 n ,改进恒流器的性能是进一步提高仪器性能的重要环节。

2. 海水盐度的变化,只改变 r 值的大小。不同海区的 r 值是不同的,但仪器在经过离末端几个触头后就能达到线性了。在杆子末端采取适当措施,其性能还可以得到更好的改善。

3. 阶梯状跳动均匀性主要是每一个触头与公共金属线间的电阻 r 有差异而引起的。因此,在工艺和安装使用过程中,注意挑选截面大小一样的触头并保持触头的清洁,不得沾染油污。最好预先在海水中进行充分氧化或经过几个潮水后,这种非均匀性是可以明显地改善的。图8中的测波杆波高 H 与触头个数 i 理想线性值和实测值的比较图,当波动在2米以上时,其相对误差小于5%,若经过改进,并加密触头个数,相对误差和绝对误差还可以进一步减小。

4. 只有触头截面较小时,两触头在海水介质

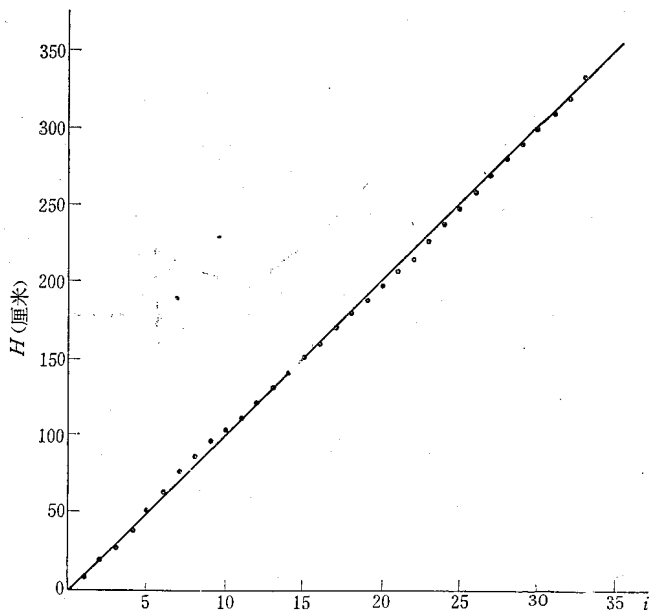


图8 测波杆波高 H 与触头个数 i 的理想值与实测值

中电阻才能大于 R_0 ,而且附着在杆子上的水膜引起水面上的电阻(简称水膜电阻)并联在 R_0 上时产生的影响才能忽略,否则会带来非线性。如果截面积太小,则容易引起阶梯状的非均匀性。

5. 信号从小变大到某值或从大变小到某值,由仪器内部特性决定,这两点在记录纸上并不重合,其差值最大为全程的1%。

6. 在海中测量约一个月左右,附着物非茂盛时期,没有发现严重的附着物会影响记录。在某

港湾附着物茂盛时期,会在低潮线以下有较多的附着物存在。因此使用时,必须采取适当的措施来防附着物或清理它。因为在杆子上有附着物后,会使流水变慢,水膜电阻并不是无穷大,因此阶梯状不会明显,引起非线性,这是可能的。

7. 当接上几百米长的电缆时,由于分布电容的存在, A 、 B 两端的总阻值不是 R_{nxi} 而是 Z_n

$$Z_n = \left(\frac{1}{R_{nxi}} + \frac{1}{Z_c} \right)^{-1} \quad (10)$$

$Z_c = \frac{1}{j\omega c}$; 在有电缆 (把全部电缆放入海中) 的

须考虑的问题之一。

情况下, 等效阻抗值 Z_n 可以用比较法测出; 容抗 Z_c 可以从方程 (10) 中解得。电缆越长, 分布电容 c 就越大, Z_c 越小, Z_n 也越小, 产生的非线性也就越大。只有当 c 很小, 即电缆较短时, $|Z_c| \gg R_{nxi}$, $Z_n \approx R_{nxi}$, 此时, 由于电缆的影响就可以忽略; 从上式还可以看出, 振荡器的频率 f 也不能太大, 一般取 300—1000 赫。

8. 在按装问题上必须牢固可靠并需有较好的水密措施, 以便适合在不同安装条件下采用不同的安装方式, 保证仪器正常工作, 也是野外工作必

四、结 语

从该仪器的初步试验和获取的部分资料看来, 其性能是良好的, 能取得海上建筑物、沿海港口以及海洋科学研究上所需要的波浪连续记录。由于这种仪器频响较宽, 对波浪在运动中遇到障碍物后, 波高迅速偏离 (即波形发生畸变) 的情况下, 也可以较为真实的记录下来, 在波浪及其作用力的研究上是不可缺少的。实验表明, 这种仪器也适于在江、河、湖泊中使用。

A WAVE RECORDER OF THE TRANSISTOR EQUAL-RESISTANCE CONTACT TYPE*

Zheng Dajun

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

In this paper, a new principle for measuring sea waves is suggested, and a wave recorder of equal-resistance contact type has been designed and constructed.

Results of laboratory experiments and field works prove that the linearity of this method is satisfactory, and meanwhile the zero-line can be recorded. It is suitable for measuring waves in different regions of the sea, and can be operated with synchronous measurement of other oceanic dynamic elements and without interference. Furthermore, in the electrical circuit, the connective usage with recording system is considered. It provides, for the self-observation of sea waves, a simple and light instrument which is appropriate to manufacture by sets.

* Contribution No. 379 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.