

YZ-III 型遥测波浪仪*

陆蔼庆 李世山 曹洁玉 于新生 秦朝阳

(中国科学院海洋研究所)

关键词 差容式加速度计,单摆式常平架,波浪频率范围,加速度计振动系统,波高,积分器,零点变化

提要 本文论述了作者所研制的 YZ-III 型遥测波浪仪的原理、结构和性能。该仪器具有利用加速度原理工作、高精度、高分辨率、高可靠性和连续工作等特点。介绍了该仪器系统动态标定和海上试验情况。

随着海洋学研究的进展,人们越来越重视对海浪的研究。近年来,海洋调查、港湾工程、海上石油开发以及船舶工程对波浪测量的要求日益增长。1984年研制者分析了国内外同类型测波仪的特点,并在技术条件上参考了荷兰“波浪骑士”的指标,进行了方案论证,从而着手样机研制工作。

自1986年以来,笔者先后向国家海洋局北海分局、青岛海洋大学、国家海洋局大连环境保护研究所、渤海石油工程设计公司和海洋研究所海洋物理研究室等单位 and 部门提供了十台测波仪样机进行长期试用。他们在东海、渤海等海区的海洋石油平台、黄河口建港工程、海洋观测站以及“东方红”海洋调查船等不同环境条件下取得了大量波浪观测资料。1986年—1988年在“科学一号”海洋调查船三次使用 YZ-III 型遥测波浪仪,完成“西太平洋海-气相互作用及年际气候变化”远洋考察中的波浪观测工作。仪器使用期间, YZ-III 型遥测波浪仪与荷兰“波浪骑士”,于1987年3月—4月在黄河口进行了同步观测,取得了比较一致的结果。

近三年来的使用情况表明, YZ-III 型遥测波浪仪是一种既可随船使用,也可长期在海上定点锚系的新型测波仪。

1988年9月14日 YZ-III 型遥测波浪仪通过了科研成果鉴定。

一、测波原理

一般可把海浪看成是由无数不同振幅、不同频率、不同相位和方向各异的正弦波叠加而成。当海浪表面水质点作周期振动时,各水质点在某一瞬间就具有确定的垂直加速度。因此,当初始条件确定后,该加速度经过两次积分,就可以得到相应的波高。利用下式表示水质点的垂直加速度

$$a = \sum a_m \cos(\omega t + \theta)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

a 为水质点的垂直加速度, a_m 为水质点的垂直加速度幅值, ω 为水质点运动的角频率。水质点垂直运动速度为

$$\begin{aligned} v &= \int a dt + C_1 \\ &= -\left(\frac{\sum a_m}{\omega}\right) \sin(\omega t + \theta) + C_1 \end{aligned}$$

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第881010号。在仪器研制过程中,本所王涛、王以谋、侯永明、范顺庭、王兴德等同志配合海上试验做了大量工作,在此表示感谢。

水质点垂直位移为

$$H = \int v dt + C_1$$

$$= -\left(\frac{\Sigma a_m}{\omega^2}\right) \cos(\omega t + \theta) + C_1 t + C_2$$

C_1, C_2 是加速度信号进行两次积分时产生的两个积分常数项,它取决于积分的初始状态,在测波记录中的表现是零点漂移,在实际使用中应设法消除。理想情况下, C_1, C_2 为零。波高

$$H = \iint a_m \cos(\omega t + \theta) dt^2$$

加速度计测波的全部功能,就是模拟此关系。

二、技术条件

1. 波高测量范围 0.3—20m,分三档: 0—5m, 0—10m, 0—20m 误差小于每档满量程 $\pm 10\%$;
2. 波周期测量范围 2—15s, 误差 $< \pm 0.5s$;
3. 遥测距离 $\leq 18km$;
4. 水深 $> 3m$, 流速 < 2 节;
5. 电池寿命 ≤ 2 个月(9F120-2型);
6. 发射机频率 31MC;
7. 发射机功率 $\geq 120mw$;

8. 终端记录方式 (1)模拟曲线笔绘记录; (2)数据采集利用数采仪对测量信号进行实时采样,采样间隔 0.25s 和 0.5s,每次采样总数为 2048 点,每次采样完成后,可将数据转录到磁带上并通过程序由窄行打印机自动打印出记录时间及 $\bar{H}_{平均}, \bar{H}_{1/10}, \bar{H}_{1/3}, H_{max}, \bar{T}_{平均}, \bar{T}_{1/10}, \bar{T}_{1/3}, T_{max}$ 八项波浪统计参数;

9. 数采仪具有连续工作和定时控制功能,每隔 1h、2h、3h 开动一次,每次工作时间由采集点数控制,也就是采满 2048 点即自动关闭;

10. 工作温度 $-5 \sim +45^\circ C$;

11. 浮标体尺寸 直径 0.55m, 球形,重量 50kg;

12. 接收机天线架设于海拔 10m 以上,接收点附近远离高频干扰源;

13. 电源 (1)浮标体: 工作电池 $\pm 12V$, 锚灯电池 $+6V$, 全部为 9F120-2 型叠层电池。(2)接收机: 交流 $220V \pm 10\%$, 或直流两组 $+24V$ 干电池。

三、整机介绍

YZ-III 型遥测波浪仪测波系统如图 1, 2

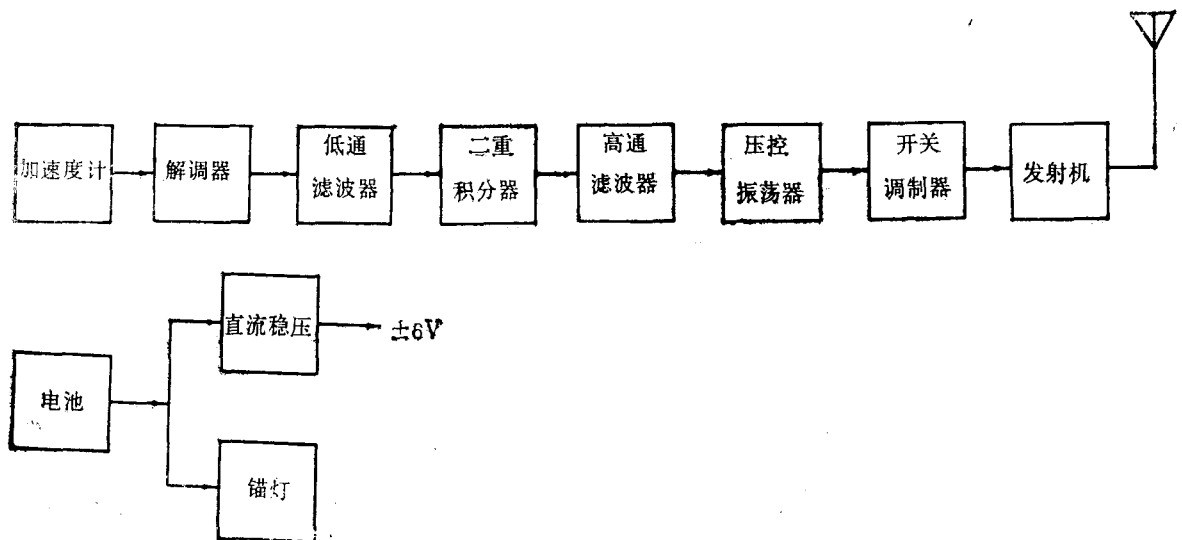


图 1 测波浮标

Fig. 1 The buoy electronic block diagram

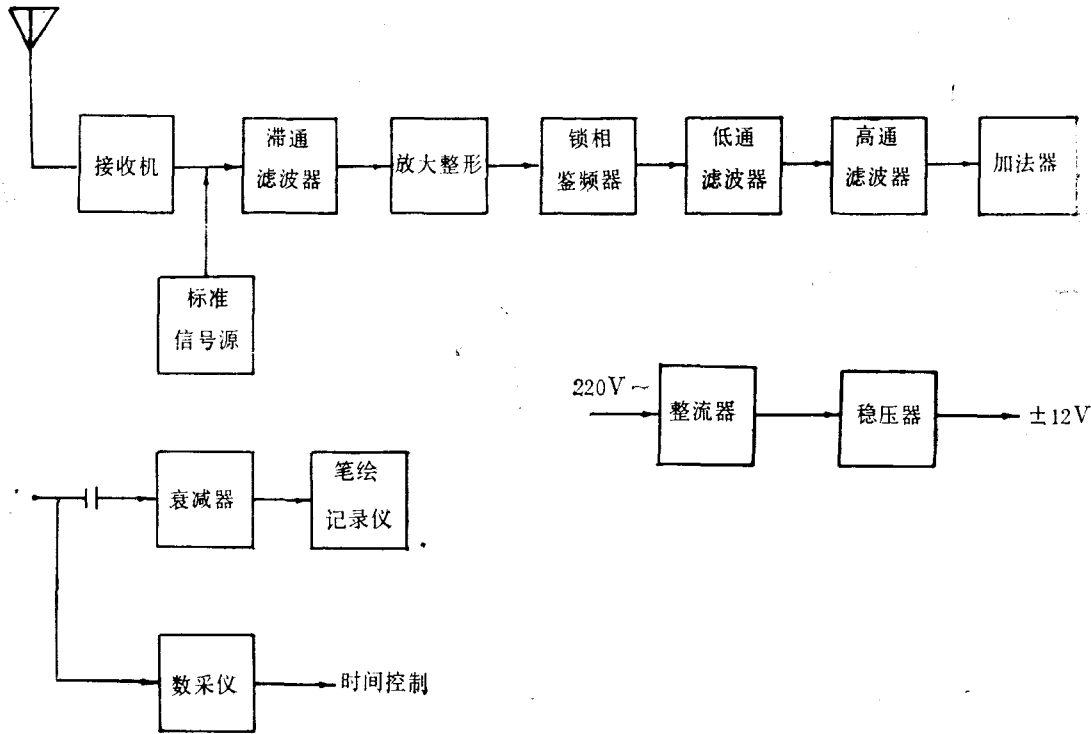


图 2 岸站接收机

Fig. 2 Receiving system electronic block diagram

所示。

(一) 加速度传感器

加速度计安装在常平架上, 在无阻压情况下, 摆合的固有摆动周期为 0.45s。单侧最大倾角 45°。

1. 加速度计参数的选取

这个参数的选取主要考虑测波时所能遇到的最大加速度 a_{max} 和要求测量的最小加速度 a_{min} 。由于自然界没有波面角大于 20° 的波浪, 故取欲测波浪的波陡不大于 1/10, 即

$$\frac{2R_B}{\lambda} < 1/10,$$

其中 λ 为波长, R_B 为半波高, 这时最大波面角 $\alpha_0 = \frac{2\pi R_B}{\lambda} = 18^\circ$, 这样可使加速度有适当的测量范围, 并且也可保证可测的波浪。

实际上, 涌浪接近于长峰, 而风浪是短周期浪, 可以看成是一系列正弦波叠加的结果。对

于涌浪讲, 其垂直加速度的幅值为 $\omega^2 R_B$, 波浪角频率与波周期的关系为 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ 。因为波长

与波周期的关系为 $T = \sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}}$, 所以, 波浪的垂直加速度为:

$$a_{max} = R_B \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 = \pi g \left(\frac{2R_B}{\lambda} \right)$$

考虑到波陡 $\frac{2R_B}{\lambda} \leq 1/10$, 则

$$a_{max} \leq \frac{\pi g}{10} = 0.314g,$$

因此, 对于波陡小于 1/10 的波浪, 其垂直加速度不大于 $\pm 0.314g$, 考虑到具有一定的过载能力, 加速度计最大量程一般选用 $\geq \pm 1g$ 。考虑到系统的最小分辨能力波高为 0.1m, 波周期为 2s, 则最小加速度为

$$a_{min} = 0.05g$$

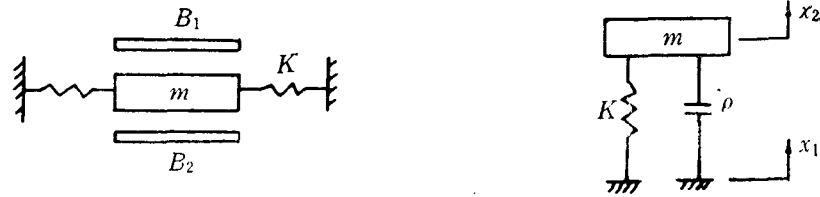


图3 传感器结构原理

Fig. 3 Schematics of the sensor

2. 加速度计选择

根据参数选择,选用 CYJ1-B 型差容式加速度计,技术指标为:工作频率 0—100Hz,灵敏度 $\geq 2\text{V/g}$,量程 $\pm 2\text{g}$,线性度 $\pm 2\%$ ($< 10^{-3}$ 量程),阻尼 0.7。

3. 加速度计振动系统工作状态分析

加速度计外壳 A 固定在浮子上,因此在涌浪的作用下, A 的运动规律为 $x_1 = X_1 \cos \omega t$,而质量 m 作振荡,其运动规律为 $x_2 = X_2 \sin(\omega t - \theta)$,因此质量 m 相对于 A 的位移为

$$x = x_1 - x_2 = X_{\max} \sin(\omega t - \theta),$$

式中 ωt 与 θ 是质量 m 的实际振动和相对运动对于底座 A 的振动相位差。

在任一瞬时, m 的运动微分方程为

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = kx - \rho \frac{dx}{dt}$$

其中, k 为弹簧刚度, ρ 为阻尼系数。

若略去阻尼,代入固有振动频率

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}},$$

并令 $\omega/\omega_0 = r$,则可得

$$X_{\max} = \frac{r^2}{r^2 - 1} R_B \sin \omega t$$

其幅值

$$X_{\max} = \frac{r^2}{r^2 - 1} R_B$$

R_B 为半波高。

设 r 很小,即 $\omega/\omega_0 \ll 1$,则

$$X_{\max} = -R_B r^2 = -R_B \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2$$

由于 $\omega_0^2 R_B$ 是浮标体的垂直加速度振幅,

因此假定,运动部分固有振动的角频率为 ω_0 ; 大于强迫振动的角频率为 ω ,这样,质量 m 对于 A 的位移正比于浮子垂直加速度振幅。

图 3 中 m 为质量块,悬挂在弹性系数为 k 的弹簧上, B_1, B_2 为电容极板,它与质量块 m 之间构成差动工作电容 C_1 和 C_2 。

差容脉冲宽度调制原理见图 6。图中 C_1, C_2 为差动工作电容, R_1, R_2 为充电电阻; D_1, D_2 为放电二极管, A_1, A_2 为电压比较器。当双稳触发器 Q 端为高电平、另一端为低电平时则通过 R_1 对 C_1 充电, C_1 两端电压 V_C 上升,当 V_{C_1} 上升到大于参考电压 V_f 时,电压比较器 A_1 输出一个脉冲,使触发器翻转。这时 C_1 放电, C_2 充电。当 V_{C_2} 上升到大于 V_f 时, A_2 输出一脉冲,使触发器又翻转。如此不断循环,即产生脉冲宽度随工作电容容量改变而变化的连续方波。图 4 给出了 V_Q 及 $V_{\bar{Q}}$ 以及 $V_Q - V_{\bar{Q}}$ 的波形图。由于 R_1 与 R_2 是固定的,所以方波宽度 T_1 与 T_2 分别正比于 C_1, C_2 值。由于 C_1, C_2 为变间距差动平板电容,故输出电压

$$\begin{aligned} V_D &= V_Q(t) - V_{\bar{Q}}(t) \\ &= E \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = E \frac{\Delta d}{d} \end{aligned}$$

式中 d 为电容极板间距, Δd 为电容极板间距变化量, E 为充电电源电压。从上式可知,输出电压 V_D 与 Δd 成线性关系。又由于固有振荡频率远大于被测振荡频率,故只须通过一低通滤波器即可完成解调,取出 V_D 信号。

加速度计(包括调制-解调电路),根据海洋仪器试验方法规定做了下面几个试验。(1) 高

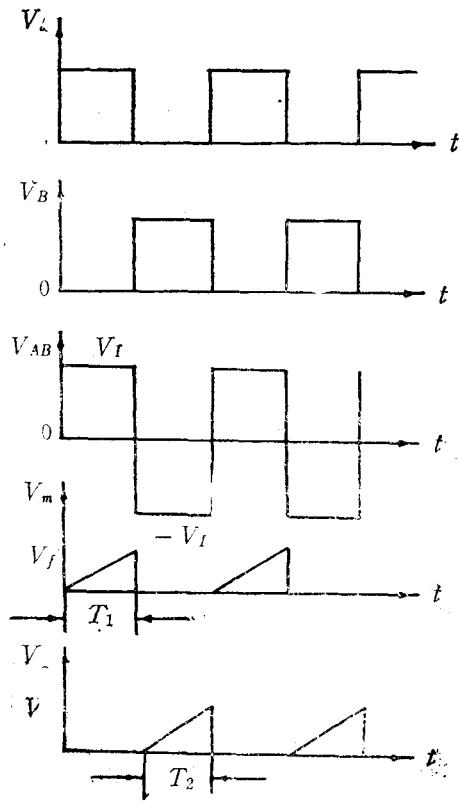


图4 V_Q 及 V_D , V_{Q-D} 的波形
Fig. 4 V_Q , V_D ; V_{Q-D} wave form

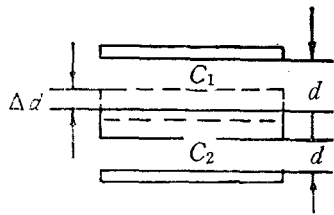


图5 电容极板示意图
Fig. 5 Polar plate of capacitor

低温存贮试验;(2) 高低温试验;(3) 倾斜摇摆试验;(4) 连续冲击试验(冲击加速度 10g, 连续冲击 1000 次)。

以上试验在中国船舶总公司 707 研究所进行, 并取得了试验合格证。

(二) 测波浮标部分

1.1.6s 低通滤波器

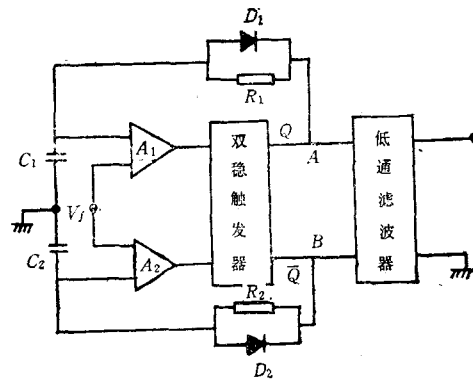


图6 差分式脉冲宽度调制原理
Fig. 6 Pulse-width modulation working principles

该滤波器(见图7)可以有效地抑制由于浮标体在随机浪或由于波浪破碎时, 因冲击而引起二重积分器漂移。低通滤波器的电原理如图7所示, 如运算放大器是理想的, 电路传输特性为:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{H\omega_0^2}{s^2 + a\omega_0 s + \omega_0^2}$$

式中 $A_0 = H$, $\omega_0 = 2\pi f_{00}$ 在设计时, 已知截止频率为 0.625Hz, 我们取 $H = 1$, $a = \sqrt{2}$, 经计算, 得出:

$$R_1 = R_3 = R_4 = 20K$$

$$C_2 = 6.8\mu f$$

$$C_5 = 2.2\mu f$$

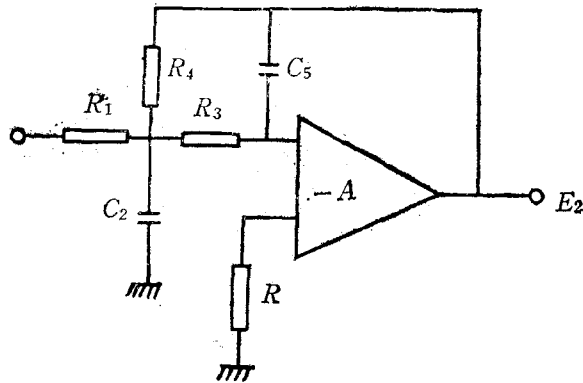


图7 低通滤波器
Fig. 7 Low-pass filter circuits

实测结果为 2—15s, 频响不平度 $M\% = \begin{matrix} +1\% \\ -2\% \end{matrix}$

满足了技术指标(该项指标与荷兰“波浪骑士”指标相同)。

2. 二重积分器

将低通滤波器输出的波浪垂直加速度电压送于二重积分器进行二次积分,即获得波高电压。

对二重积分器要求信号频率在 0.5—0.06 Hz 范围内,实现一定精度的二次积分运算(响应误差应小于 1.5%,非线性小于 1%),并有较大的输出电压(200mV/m)。

为了实现以上要求,利用一个线性集成电路完成二次积分电路,其电路如图 8 所示,它由一级简单 RC 积分器加上一级带有提升低频响应的积分运算放大器所组成。

众所周知,简单的 RC 电路进行积分运算如同理想积分器被一节 CR 耦合电路衰减一样存在着不可不计的误差。在一定的积分常数条件下,这一衰减随着频率降低越来越严重。(例如在积分常数 $RC = 4.4s$ 的条件下,当频率为 0.5Hz 时,相对误差 $\varepsilon = 0.3\%$,而 $f = 0.06Hz$ 时,误差增加到 $\varepsilon = 15\%$)。除此以外,对于简单积分电路,为了提高运算精度,必须以牺牲输出幅度为代价。在超低频的条件下,运放牺牲使误差和精度的矛盾转化为输出幅度与噪声的矛盾。由于输出幅度过低,无法与微弱的噪声干扰区分,因此为了保证设计精度和

运放的输出幅度,在低频响应显著下降的 RC 积分器后,加一节带有提升低频响应的积分运算放大器,从而实现了高精度的两次积分运算,如图 8 所示。频率越低,输出电压 u_2 在 $C/2$ 上的压降就越大,在 $R/2$ 的压降就越小,即负反馈变弱,从而使输出电压提高,实现了提升低频响应的目的。

如果运算放大器是理想的,在图 8 给定参数条件下,该电路能够实现精确的二次积分。即输出电压为:

$$u_2 = \frac{-1}{R^2 C^2} \iint u_1 dt^2$$

若以正弦量输入,则输出电压为

$$\dot{V}_2 = \frac{1}{\omega^2 R^2 C^2} \cdot \dot{V}_1$$

实际参数 $R = 200K, C = 22\mu f$

实测结果 2—18s, 频响不平度 $M\% = \pm 2\%$ 。

3. 20s 高通滤波器

海上实验表明,抑制频率小于 0.05Hz 的慢漂是有益的,它可以大大减少波浪曲线的零点漂移。

高通滤波器电路原理如图 9 所示,如果运算放大器是理想的,则电路传输特性为:

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{-S^2 H}{S^2 + a\omega_0 S + \omega_0^2}$$

式中,

$$H = \frac{C_1}{C_4}$$

$$\omega_0^2 = \frac{1}{C_3 C_4 R_2 R_5}$$

$$a\omega_0 = \frac{C_1 + C_3 + C_4}{C_3 C_4 C_5}$$

$$S = j\omega$$

由上式可以看出,当被测角频率 ω 大于截止角频率 ω_0 时, $\frac{E_2}{E_1}$ 基

本为一常数,其值为 C_1/C_4 ,当 $\omega =$

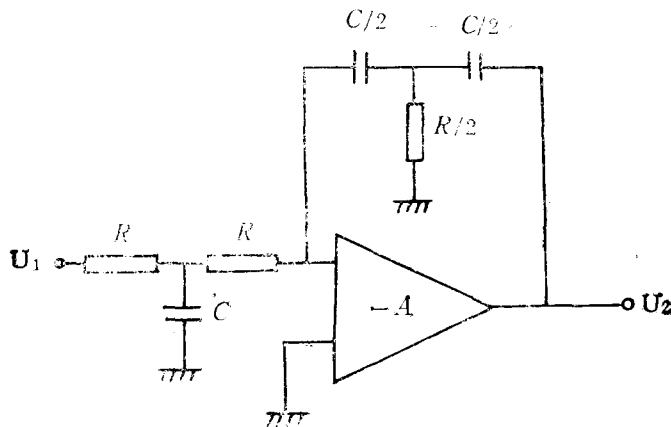


图 8 二重积分器

Fig. 8 Double integrator circuits

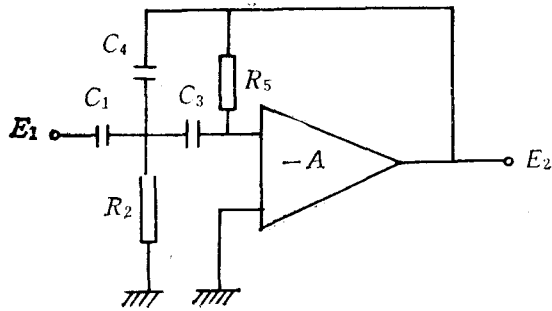


图9 高通滤波器

Fig. 9 High pass filter circuits

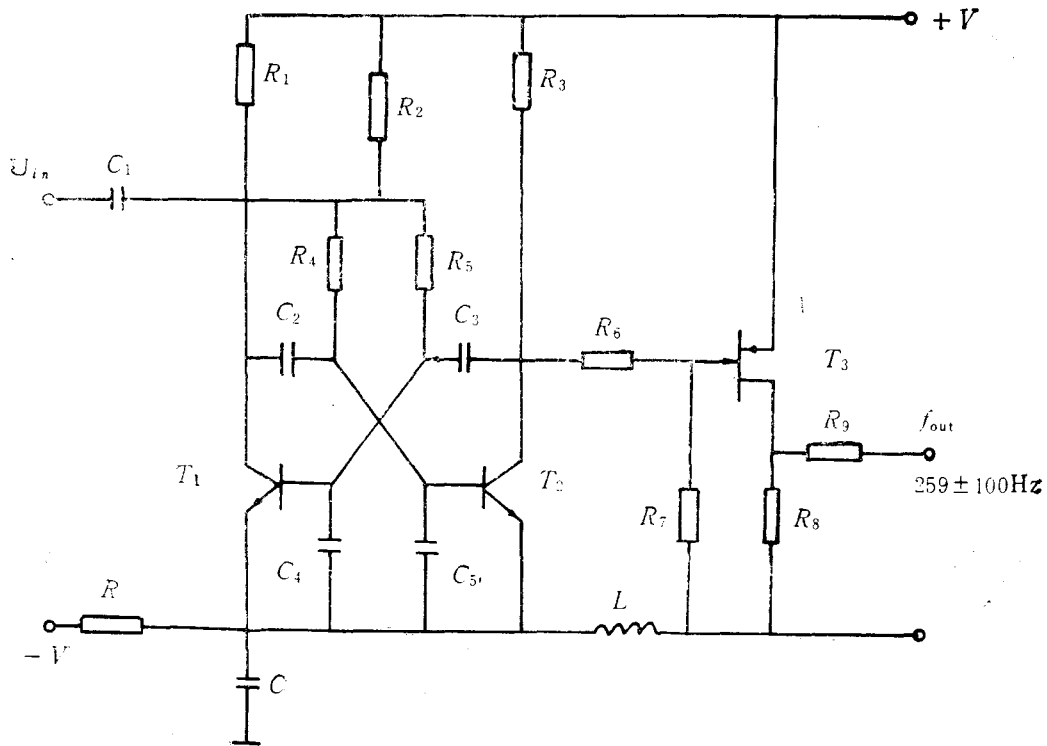


图10 压控振荡器

Fig. 10 Voltage-controlled oscillator circuits

ω_0 时, $\frac{E_2}{E_1}$ 衰减 a 倍, 当 $\omega < \omega_0$ 时, $\frac{E_2}{E_1}$ 继续衰

减, 其规律为 $1/10$ 倍, 频程衰减 40dB 。

设计时, 已知截止频率为 0.05Hz , 我们取 $H = 1, a = 1.04$ (为获得较大平坦区)。

$$C_1 = C_3 = C_4 = 10\mu\text{f}$$

$$K = 2\pi f_0 C = 6.28 \times 10^{-6}$$

$$R_2 = \frac{a}{K \left(2 + \frac{1}{H}\right)} = 56\text{K}$$

$$R_1 = \frac{H \left(2 + \frac{1}{H}\right)}{a \cdot K} = 459\text{K}$$

实测结果 $2-15\text{s}$, 频响不平度 $M\% = \pm 0.94\%$

4. 标定放大器

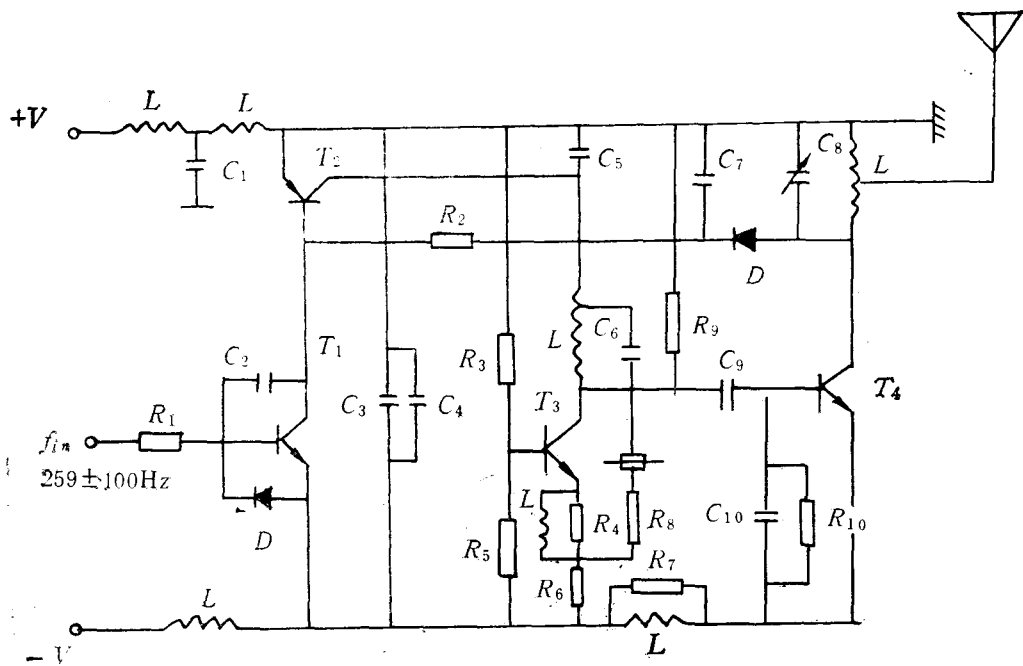


图 11 发射机

Fig. 11 Transmitter circuits

通过改变放大器的放大倍数调整压控振荡器的输出频率,使满足波高为 $0 \pm 10\text{m}$ 时,压控振荡器输出频率为 $259 \pm 100\text{Hz}$ 。

5. 压控振荡器

该电路可使波高模拟输出电压,转换成相对应的频率,电路由无稳态多谐振荡器和射随器组成。标准值 10Hz/m ,非线性 $< 1\%$,频率稳定性为 10^{-4} ,为避免声频信号的影响,取中心频率为 259Hz 。电路原理见图 10。

实测结果 灵敏度 200mV/m ,中心频率 $259 \pm 100\text{Hz}$,非线性 $< 1\%$

工作电压降压特性:工作电压由 9V 变化到 13.5V ,灵敏度由 195mV/m 变化到 200mV/m 。

6. 发射机

发射功率 120mW ,发射频率 31MHz ,采用脉冲调制,频率稳定性 10^{-5} ,发射机天线为 $1/4$ 波长,弹性玻璃钢天线,电源电压为 -12V ,电路见图 11。

整个电路由开关电路,高频振荡器和丙类

功率放大器组成。开关电路受 $259 \pm 100\text{Hz}$ 控制,其作用使高频振荡器处于间歇状态,从而使高频振荡器处于脉冲调制状态,受控高频振荡经丙类功率放大器,耦合到发射天线,发射出去。这种脉冲调制电路,比其它调制电路节约一倍功耗,从而大大提高了电池寿命。

(三) 岸站接收部分

1. 接收机技术指标

(1) 频道划分 31.025MHz , 31.050MHz , 31.075MHz , 31.100MHz ; (2) 灵敏度 $< 1 \mu\text{V}$; (3) 信噪比 ≥ 5 ; (4) 天线输入阻抗 50Ω ; (5) 邻道选择性 $\geq 20\text{dB}$; (6) 供电电压 -12V 。

2. 锁相鉴频器

采用 J691 锁相环作超低频鉴频器,其作用是将接收机的输出信号进行二次解调,得到波浪模拟信号。

为了提高信噪比,在鉴频器前面设有 $150-350\text{Hz}$ 带通滤波器和整形放大电路。锁相鉴频器的技术指标:频率捕捉范围 $150-350\text{Hz}$,中

心频率 259Hz。线性误差为 ±0.5%，电路原理见图 12。

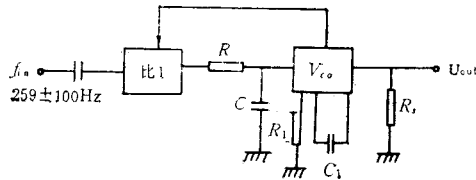


图 12 锁相鉴频器

Fig. 12 Phase demodulator circuits

图中虚线为环路滤波器，它的传递函数为

$$K(s) = \frac{1}{RC} \frac{1}{s + j \frac{1}{RC}}$$

$$\omega = \frac{1}{RC} \quad \tau = RC \quad s = j\omega$$

3. 1.6s 低通滤波器和 20s 高通滤波器

这两个滤波器前者是为了有效抑制锁相鉴频器，输出的相位抖动，后者抑制整机输出零漂，使仪器工作过程更加稳定。电路原理请见图 7、图 9。

(四) 浮标体及其锚系

浮标体呈 0.55m 球形，其直径与波长比为 14.05(对于 3s 周期)，浮力为 45kg。设计中选阻力系数为 0.35，故受外力较小，稳定性好。为了减少摇摆，在浮标体底部锚系位置装有 9kg 重、1m 长防摇锚链。浮标体的固有振荡周期为 0.8s，是被测周期 2s 的 2.5 倍。故可避开海浪周期。

锚系采用 φ15mm 丙纶编制绳、其终端拖有 5m 锚链及 100kg 霍尔锚。

四、测波仪动态标定

利用旋转式波浪模拟装置，改变不同的转速，模拟不同周期的水质点在波浪作用下的圆运动。改变加速度计在旋臂上的位置，模拟不同的波高。

当水质点作圆运动时，加速度与波高和周期的关系为

$$a = R_B \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2$$

(一) 试验结果

1. 幅频特性 (见表 1)

表 1 幅频特性

Tab. 1 Frequency-response characteristic

| 波幅 (格) | T (s) | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2.99 | 4.02 | 6.02 | 7.99 | 10 | 12.05 | 14.13 |
| 波个数 | | | | | | | |
| 1 | 50.0 | 50.4 | 50.4 | 52.3 | 51.0 | 50.0 | 49.0 |
| 2 | 50.5 | 50.5 | 50.4 | 51.0 | 50.0 | 48.5 | 49.0 |
| 3 | 50.0 | 50.2 | 50.5 | 50.0 | 50.3 | 50.5 | 48.4 |
| 4 | 50.5 | 50.6 | 50.6 | 50.5 | 50.6 | 50.5 | 46.2 |
| 5 | 49.5 | 50.5 | 50.8 | 49.5 | 51.0 | 49.5 | 52.0 |
| 平均波幅 | 50.1 | 50.44 | 50.58 | 50.66 | 50.58 | 49.8 | 48.92 |

注：标称值 50.15，不平度 M% = ±5%

2. 输入-输出特性 (见表 2, T = 10s)

表 2 输入-输出特性

Tab. 2 Input-Output characteristic

| 波幅 (格) | 波高 (m) | | |
|--------|--------|---|-------|
| | 1 | 2 | 3 |
| 波个数 | | | |
| 1 | 0.5 | 1 | 1.5 |
| 2 | 0.5 | 1 | 1.47 |
| 3 | 0.51 | 1 | 1.5 |
| 4 | 0.5 | 1 | 1.5 |
| 5 | 0.5 | 1 | 1.5 |
| 平均波幅 | 0.502 | 1 | 1.494 |

非线性 r% = 0.4%

五、海上试验

YZ-III 型遥测波浪仪于 1987 年 3 月—4 月，1987 年 4 月 22 日—30 日，先后在黄河口和辽东石油平台进行波浪实测试验。

表3 同步观测记录

Tab. 3 Synchronous measurement data during two gales processes

| 时间 | 波浪骑士 | | | | YZ-III 测波仪 | | | |
|-------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|-----------|
| | H_{max} | $H_{1/10}$ | $H_{1/3}$ | \bar{H} | H_{max} | $H_{1/10}$ | $H_{1/3}$ | \bar{H} |
| 3月29日 | | | | | | | | |
| 8:00 | 0.90 | 0.61 | 0.47 | 0.33 | 0.50 | 0.44 | 0.37 | 0.27 |
| 11:00 | 0.40 | 0.40 | 0.31 | 0.21 | 0.40 | 0.30 | 0.26 | 0.24 |
| 17:00 | 0.70 | 0.53 | 0.44 | 0.33 | 0.56 | 0.55 | 0.48 | 0.33 |
| 3月30日 | | | | | | | | |
| 2:00 | 2.40 | 2.09 | 1.79 | 1.23 | 2.30 | 2.30 | 2.00 | 1.39 |
| 5:00 | 2.80 | 2.41 | 2.17 | 1.51 | 2.67 | 2.22 | 1.88 | 1.26 |
| 7:00 | 2.70 | 2.51 | 2.26 | 1.60 | 2.61 | 2.41 | 2.23 | 1.71 |
| 8:00 | 2.70 | 2.31 | 2.01 | 1.36 | 2.40 | 2.09 | 1.79 | 1.24 |
| 9:00 | 1.40 | 1.26 | 1.06 | 0.71 | 1.34 | 1.12 | 0.95 | 0.69 |
| 10:00 | 1.40 | 1.10 | 0.94 | 0.69 | 1.11 | 1.07 | 0.94 | 0.65 |
| 13:00 | 2.70 | 2.31 | 2.03 | 1.40 | 2.57 | 2.44 | 1.71 | 1.48 |
| 15:00 | 3.20 | 2.69 | 2.16 | 1.47 | 2.43 | 2.36 | 2.12 | 1.47 |
| 16:00 | 2.30 | 1.97 | 1.71 | 1.21 | 2.12 | 1.65 | 1.39 | 0.95 |
| 17:00 | 3.40 | 2.22 | 1.87 | 1.27 | 2.28 | 2.04 | 1.79 | 1.17 |
| 19:00 | 2.20 | 1.86 | 1.66 | 1.20 | 2.00 | 1.70 | 1.45 | 1.00 |
| 20:00 | 1.90 | 1.71 | 1.48 | 1.03 | 1.56 | 1.30 | 1.12 | 0.81 |
| 21:00 | 1.90 | 1.56 | 1.30 | 0.90 | 1.50 | 1.32 | 1.17 | 0.79 |
| 22:00 | 1.40 | 1.25 | 1.07 | 0.76 | 1.28 | 1.20 | 1.03 | 0.75 |
| 23:00 | 1.50 | 1.08 | 0.94 | 0.68 | 1.17 | 1.03 | 0.87 | 0.61 |
| 3月31日 | | | | | | | | |
| 2:00 | 0.80 | 0.72 | 0.64 | 0.48 | 1.00 | 0.76 | 0.66 | 0.44 |
| 8:00 | 0.60 | 0.56 | 0.48 | 0.37 | 0.72 | 0.56 | 0.50 | 0.34 |
| 4月9日 | | | | | | | | |
| 20:00 | 1.90 | 1.70 | 1.43 | 0.97 | 1.89 | 1.60 | 1.39 | 0.74 |
| 21:00 | 1.80 | 1.53 | 1.31 | 0.90 | 2.01 | 1.49 | 1.23 | 0.86 |
| 23:00 | 2.60 | 2.08 | 1.73 | 1.23 | 2.52 | 1.58 | 1.33 | 1.23 |
| 4月10日 | | | | | | | | |
| 00:00 | 2.80 | 2.24 | 1.91 | 1.36 | 2.39 | 2.33 | 1.94 | 1.39 |
| 1:00 | 2.80 | 2.21 | 1.89 | 1.34 | 2.80 | 2.39 | 1.97 | 1.42 |
| 2:00 | 2.60 | 2.33 | 1.98 | 1.46 | 2.89 | 2.48 | 2.15 | 1.38 |
| 3:00 | 2.40 | 2.25 | 2.05 | 1.49 | 2.50 | 2.40 | 2.15 | 1.52 |
| 4:00 | 2.70 | 2.30 | 1.93 | 1.36 | 2.61 | 2.09 | 1.81 | 1.29 |
| 5:00 | 2.40 | 2.13 | 1.89 | 1.31 | 2.87 | 2.18 | 1.81 | 1.28 |
| 6:00 | 2.30 | 1.84 | 1.57 | 1.17 | 2.07 | 1.57 | 1.36 | 0.94 |

1987年3月—4月, YZ-III 型遥测波浪仪与荷兰“波浪骑士”进行同步观测, 测定水深6m、水平距离100m。

在同步观测期间遇到两次大风过程(表3), 从表3看出, 平均波高(H)与有效波高($H_{1/3}$)两部仪器所测得结果比较接近。

1987年4月22日—30日之间, 使用CBS-

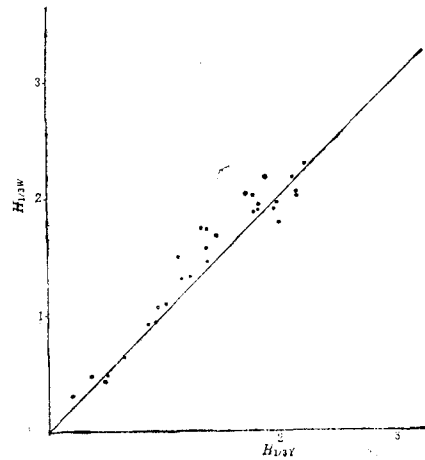


图13 $H_{1/3}\bar{\omega}-H_{1/3}Y$ 同步观测值比较
其中, $H_{1/3}\bar{\omega}$ 为“波浪骑士”测得的1/3波高, $H_{1/3}Y$ 为 YZ-III 型测波仪测得的1/3波高

Fig. 13 $H_{1/3}\bar{\omega}-H_{1/3}Y$ same place contrast

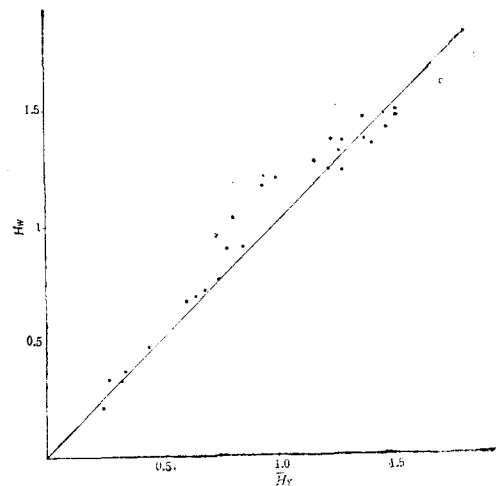


图14 $\bar{H}\bar{\omega}-\bar{H}Y$ 同步观测值比较
其中, $\bar{H}\bar{\omega}$ ——“波浪骑士”测得的平均波高; $\bar{H}Y$ —— YZ-III 型测波仪得的平均波高

Fig. 14 $\bar{H}\bar{\omega}-\bar{H}Y$ same place contrast

4型悬线式测波仪作为参比仪器, 与 YZ-III 型遥测波浪仪进行对比观测。

从图15可以看出, CBS-4 的值比 YZ-III 的数值偏高些, 但是偏差不大, 均方差为 $\sigma=0.57$, 考虑其原因有如下因素。

1. YZ-III 型遥测波浪仪浮标体有滤波作用, 而 CBS-4 型垂线测波仪对波面不产生什

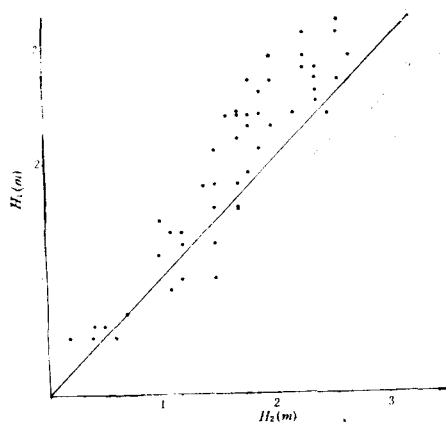


图 15 CBS-4 测波仪与 YZ-III 测波仪同步观测比较

Fig. 15 CBS-4, YZ-III same place contrast

么影响。

2. 受流的影响, 在流作用下, CBS-4 型的悬线发生倾斜, YZ-III 型在流作用下, 其升沉受到一定影响, 致使测量值减少。

取 $\Delta t = 0.5s$, $N = 2048$, 对 YZ-III 型连续记录离散化, 并取 $M = 64$, 用相关法作出谱分析。我们取 4 月 27 日三次记录的谱形列于图 16。从图 16 看出, 谱形较好, 在低频 20s 有一个小次峰, 其量值远小于谱的主峰值。

YZ-III 型上的小次峰, 我们认为是仪器本身原理造成的, 由于它的高度很小, 对谱的应用没有影响。

YZ-III 与 CBS-4 型的谱形, 除低频的这一差别之外, 在其余频率上, 二者是相同的。

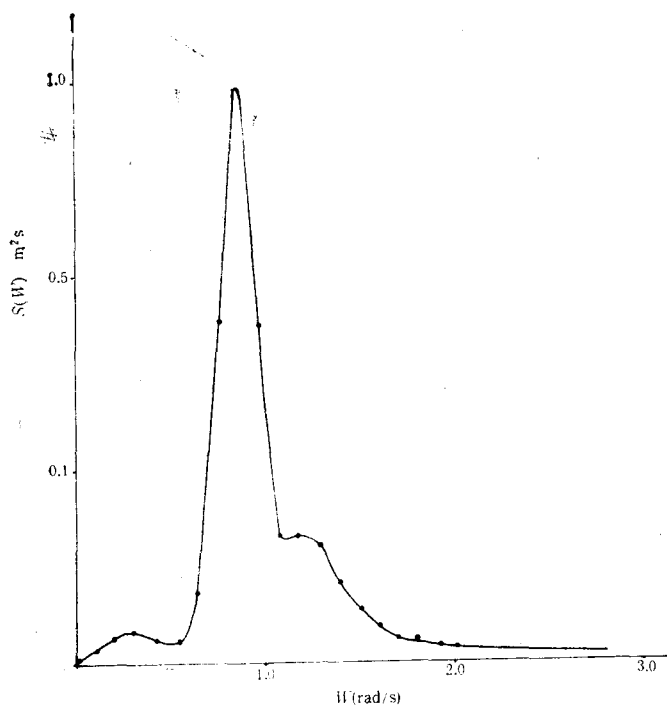


图 16-1

图 16 1987 年 4 月 27 日记录谱形

Fig. 16 The spectrum chart recorded on April 27, 1987

| | | | |
|--------|------|------------------------------------|------------------------------------|
| 图 16-1 | 10 时 | $H_{1/10} = 2.6$, $\bar{T} = 5.1$ | $H_{1/10} = 2.8$, $\bar{T} = 4.7$ |
| 图 16-2 | 14 时 | $H_{1/10} = 1.8$, $\bar{T} = 4.4$ | $H_{1/10} = 2.2$, $\bar{T} = 4.3$ |
| 图 16-3 | 06 时 | $H_{1/10} = 2.5$, $\bar{T} = 4.4$ | $H_{1/10} = 2.4$, $\bar{T} = 3.9$ |

$H_{1/10}$ ——从谱形反算十分之一波高值;

$T_{1/10}$ ——从谱形反算十分之一波周期;

$H_{1/10}, T_{1/10}$ ——实测十分之一波高, 十分之一周期

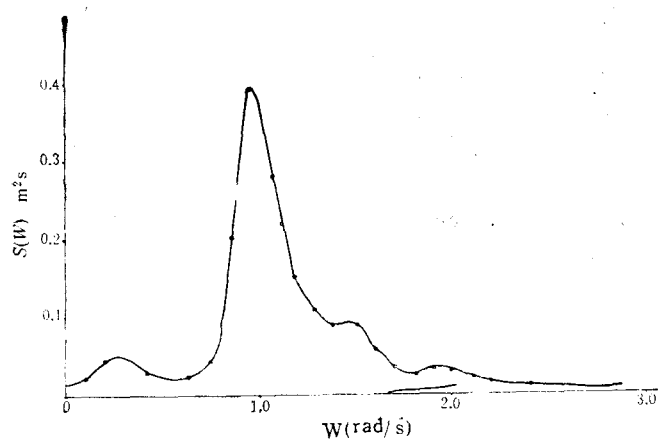


图 16-2

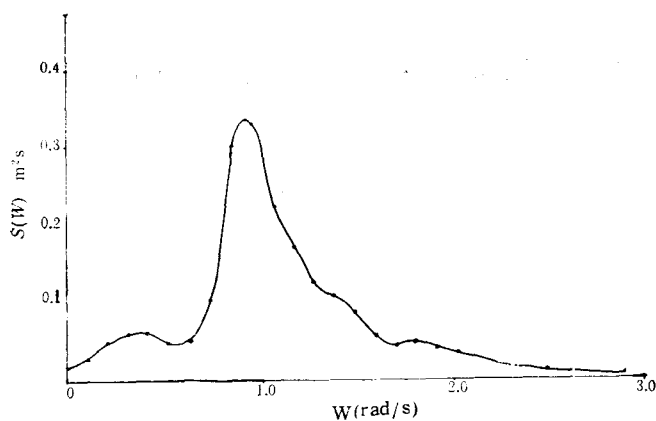


图 16-3

YZ-III WAVE TELEMETER

Lu Aiqing, Li Shishan, Cao Jieyu and Yu Xincheng
(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

Key words Differential capacitance acceleration meter, Simple pendulum stabilize platform, Wave frequency range, Oscillatory system of the acceleration meter, Wave height, Integrator, Zero change

Abstract

Model YZ-III wave telemeter is a device that makes use of acceleration principle to measure wave with higher accuracy, higher resolution and reliability. This paper mainly

* Contribution No. 881010 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.

describes its principle, construction and characteristics. The stability and reliability of the device are sufficiently improved by employing capacitive accelerator. Moreover, the new single pendulum balancing system of circuits design can provide higher accurate integration in the measuring range of 25—15s period band and 0.2—20m wave height, and lower the zero point shift of analogy output. We also discuss the selection of accelerator parameters, the dynamics vibration analysis of accelerator, electronic circuit design as well as the time constant choice are also discussed. The reference of calibration and in site experiment result are offered.