

关于海浪的波高与周期及其概 率分布的计算

范顺庭 王以谋 侯永明

(中国科学院海洋研究所)

研究实际海浪的波高与周期的概率分布在海洋工程建设中是十分重要的。已建立的有关它们的理论分布对分析海浪的特性虽然有很重要的作用,但往往理论分布与实际分布不完全相符;特别在工程上,实测海浪的统计特性仍是海洋工程设计中必不可少的基本依据。

实际的海浪不但与风要素有关,而且与地理位置、地形及水深等有关系。由于当今对海浪的机制仍然没有探讨清楚,而且海浪又是一种随机振动,所以单凭已公认的理论分布已不能完全解决实际问题,必须对海浪的实测数据加以分析,以弄清不同情形下海浪的不同特性。

近年来,海浪的观测已广泛地使用自记仪器,并能得到海浪的连续记录,有的仪器还带有模-数转换装置,使模拟记录数字化,大大提高了数据的准确度。由于处理一条连续的或离散的时间序列不是一件容易的事,为此,我们提出对等时隔的海浪离散时间序列在电子计算机上计算波高和周期及其分布的一个计算方法。本方法已用ALGOL语言编制了在DJS-6机上进行计算的程序,并能在电子计算机的宽行打印机上绘出分布的图形(包括理论分布图形)。

在通常情况下,由记录曲线来确定波高和周期首先要定出振动的中线,即零线,然后再求出波高和周期。这种方法看来非常简单,但它不能与其它计算(如谱分析等相结合)。又因零线的确定带有人为的因素,所以其结果也不大精确。本文提供的方法不但能计算波高和周期及其分布,而且还可以与其它计算相结合,使同一组数据同时算出多种类型的结果。

一、确定振动的零线

零线的确定是计算波高的第一步。对一组观测数据,零线的确定最好分段进行。这样可以消除“零漂移”产生的影响。根据我们的统计,各段划分的长度大约以100个波的序列长度为宜。具体计算是:

设 $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{N-1}$ 为一组海浪观测数据,当分段确定零线时,其零线分别为:

$$mean^{(j)} = \frac{K}{N} \sum_{i=(j-1)N/K}^{jN/K-1} X_i \quad (1)$$

$$j = 1, 2, \dots, K$$

其中 $mean^{(j)}$ 表示第 j 段数据的平均值, K ($K \ll N$)为分段数,要求 $N=qK$ (q 为整数)。如果令 $X_i^{(j)}$ 表示中心化处理后的数据, X_{ji} 表示落在第 j 段的 X_i ,则中心化的数据即为:

$$X_i^{(j)} = X_{ji} - mean^{(j)} \quad (2)$$

$$j = 1, 2, \dots, K$$

式(2)在计算时,可以写成一个过程语句。

二、确定振动的极值(极大值与极小值)

确定振动的极值是计算波高的第二步。当极值确定后,波高自然也就求出来了。关于确定极值的方法我们已做过详细的讨论,是采用二次曲线逼近法¹⁾。这里不另详述。

1) 波浪波高计算的一个方法——二次曲线逼近法(未发表)。

三、零交点坐标的确定

零交点坐标是计算周期的依据。无论是计算波高还是计算周期都要确定零交点的坐标。零交点的坐标我们采用线性插值法来确定。

设 $X_0, X_1, X_2, \dots, X_{N-1}$ 是一组经过中心化处理后的观测数据。对于每一个 X_i , 总是 $X_i > 0$ 或是 $X_i < 0$, 刚好等于零的机会很少。为了确定零交点坐标, 我们选用最靠近零线的相邻两个点的观测值, 记为 (t_i^0, x_i^0) 和 (t_{i+1}^0, x_{i+1}^0) , 建立一个直线方程, 即

$$\frac{X - X_i^0}{t - t_i^0} = \frac{X_{i+1}^0 - X_i^0}{t_{i+1}^0 - t_i^0} \quad (3)$$

令 $X=0$, 即可求得零交点坐标为

$$t^0 = - \frac{t_{i+1}^0 - t_i^0}{x_{i+1}^0 - x_i^0} X_i^0 + t_i^0 \quad (4)$$

四、周期的确定

当零交点的坐标确定之后, 周期就很容易求出。由于周期分上跨零点周期和下跨零点周期, 所以在计算中需要将这两种周期分别计算出来。计算这两种周期的关键是如何选取计算周期的第一个零交点。为了便于在电子计算机上计算周期, 我们先对实测记录的首次零交状态作一分析。

海浪实测记录的起始状态可以分为如图 1 所示的 6 种情况。对这 6 种情况又可分为两类: 第一类是图 1 中的前 3 种; 第二类是图 1 中的后 3 种。在第一类中, 曲线的第一个零交点 (即首次零交) 为上跨零状态, 在第二类中则与之相反。当零交为上跨零状态时, 零交点附近的数据呈单调上升趋势, 反之, 呈下降趋势。实测记录的这一性质使得电子计算机可以很方便地来确定是计算上跨零点周期还是计算下跨零点周期。在同一条记录上, 不论首次零交是属于那种状态 (上跨或下跨), 第二个零交点

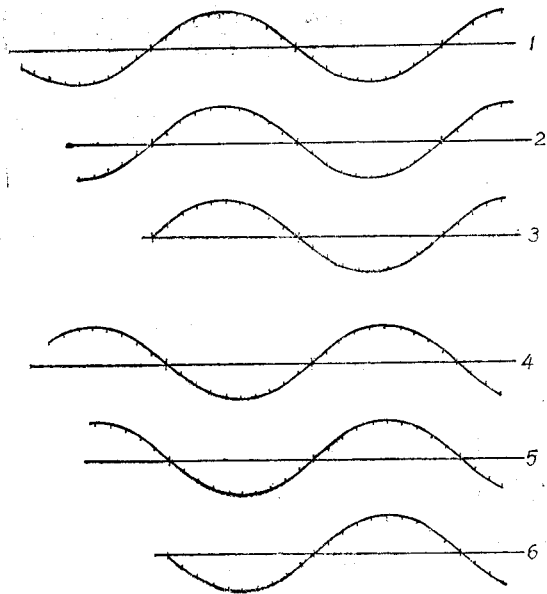


图 1 海浪记录起始状态分类

一定与其相反。当首次零交是计算上跨零点周期的起始点时, 则第二个零交点一定是计算下跨零点周期的起始点。电子计算机就是依上述的逻辑分析来计算跨零周期的。

至于实测记录结尾的情况, 类似地也分为 6 种情况。由于在实际计算中只要满足了计算周期的要求, 对应波高的计算也自然就满足了, 这与实测记录结尾的实际状态关系不大, 所以无需多述。

五、波高和周期的概率分布的计算

波高和周期的概率分布可以用同一个子程序 (过程) 进行计算。因为两者除数据不同之外, 其计算方法完全相同。这里仅对波高分布的计算说明它们的计算过程。

假设 $H_i, i=1, 2, \dots, M$ 是由上述计算得到的一系列波高值, 并且假定 $a \leq H_i \leq b, i=1, 2, \dots, M$ 。为了计算波高的分布, 将 (a, b) 分成 R 个相等的小区间。这样, 使得每个 H_i 都可以分别落在不同的 $R+1$ 个小区间内。用 M_j 表示 H_i 落在第 j 个小区间内的个数

(5)

$$j=0, 1, 2, \dots, R$$

由上述确定的概率可以用一个直方图 (图 2) 表示。

$$\text{由式 (5) 可看出 } \sum_{j=0}^R p_j = 1。$$

如果用 Δ 除 p_j 就得到了概率密度 p_j

$$p_j = p_j / \Delta = \frac{M_j}{M \Delta} = \frac{M_j R}{M(b-a)} \quad (6)$$

$$j=0, 1, 2, \dots, R$$

这时直方图的面积之和等于 1。当 $\Delta \rightarrow 0$ 时, 直方图的阶梯形就趋向于一条连续的曲线, 而且这条曲线下方的面积也等于 1。这条曲线就称为波高的概率密度曲线, 或称波高的概率分布。

为了使计算结果能和理论分布相比较, 在我们的计算中, 波高和周期都采用了它们的相对值 $h=H/\bar{H}$ 和 $\tau=T/\bar{T}$, 其中 \bar{H} 和 \bar{T} 分别表示波高 H 和周期 T 的平均值。波高和周期分布的理论公式为 (无维形式) ⁽¹⁾

$$f(h) = \frac{\pi h}{2} e \times p\left(-\frac{\pi h^2}{4}\right) \quad (7)$$

$$f(\tau) = 2.70\tau^3 e \times p(-0.675\tau^4) \quad (8)$$

上跨零点波高表是用本方法对某一次海浪观测记录所作的计算结果的一部分。图 3 是由电子计算机的宽行打印机输出的上跨零点波高

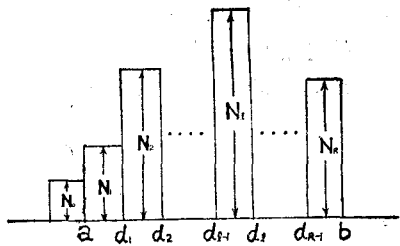


图 2 概率直方图

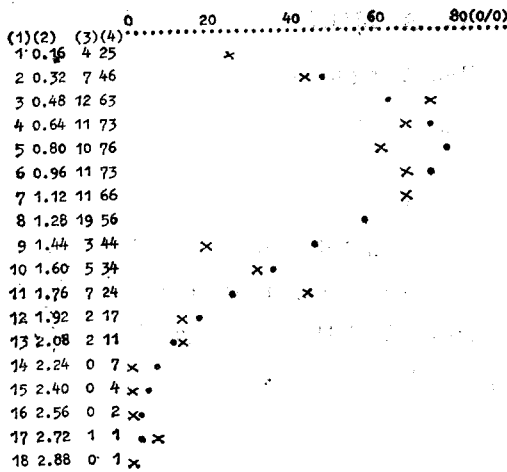


图 3 波高分布

- (1) 序号 (2) 横座标值 (3) 频数值
(4) 理论值 • 理论曲线 × 实测曲线

——称为频数, M_j/M 就是 H_j 在第 j 个小区间内出现的频率。如果用 Δ 表示小区间的长度, 并令 $d_i = a + j\Delta$, 于是 H_j 落在第 j 个小区间的概率 P_j 就可以近似地表示为

$$P_j = (d_{j-1} < H \leq d_j \text{ 的概率}) = M_j / M$$

上跨零点波高表

5.26	4.01	3.82	3.80	3.72	3.49	3.46	3.40	3.38	3.31
3.30	3.27	3.07	3.05	2.98	2.96	2.67	2.66	2.66	2.58
2.55	2.53	2.50	2.49	2.49	2.47	2.42	2.41	2.41	2.38
2.38	2.37	2.36	2.32	2.32	2.31	2.30	2.29	2.24	2.24
2.22	2.21	2.18	2.17	2.15	2.14	2.12	2.06	2.00	1.95
1.93	1.93	1.92	1.90	1.85	1.80	1.76	1.71	1.69	1.69
1.65	1.64	1.64	1.60	1.58	1.57	1.51	1.50	1.50	1.41
1.32	1.31	1.31	1.27	1.19	1.15	1.14	1.13	1.10	1.09
0.83	0.77	0.76	0.74	0.74	0.70	0.67	0.66	0.53	0.52
0.43	0.43	0.35	0.31	0.14					

的分布图形。

对于一组观测数据在电子计算机上计算输出的全部结果是：原始数据、上跨零点波高及

其对应的周期，下跨零点波高及其对应的周期、波高和周期的分布图，以及各种有关参数值。全部结果均以一定的格式或图形印出。

参 考 文 献

〔1〕 文圣常，1962。海浪原理。山东人民出版社。P143, P159。

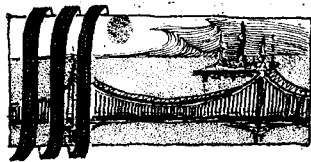
ON CALCULATING WAVE HEIGHT, WAVE PERIOD AND THEIR PROBABILITY DISTRIBUTION

Fan Shunting, Wang Yimou, Hou Yongming

(Institute of Oceanology, academia Sinica)

Abstract

This paper provides a method for calculating wave height, wave period and probability distribution with computer for equal dispersed observational data of wave. We have compiled calculation procedure using A GOL language (including drawing procedure). Calculation shows it is applicable.



力谱在海洋工程中的应用

倪 浩 清

(中国科学院 水利电力部 水利水电科学研究院)

本文主要论述海浪的力谱及其应用，针对圆形墩柱的波浪力进行了分析。

一、力谱的推求

力谱可以直接用仪器在建筑物上量得，但是这种直接量测是相当艰巨和复杂的。这里我们借助于海浪谱及海浪运动的规律来探求海洋工程中应用非常广泛的圆柱形建筑物上的力谱。

应用随机性的理论，把海面波动的垂直位移分解为无限多的频率等于 ω_n 、振幅等于 a_n 、初相等于 ε_n 的简单波的叠加，这样可得离散型或连续型的垂直位移波动公式

$$\left. \begin{aligned} \zeta(t) &= \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(k_n x - \omega_n t + \varepsilon_n) \\ \text{或} \quad \zeta(t) &= \int_0^{\infty} \sqrt{2G_{\zeta}(\omega)} d\omega \end{aligned} \right\} (1-1)$$

$$\cos(kx - \omega t + \varepsilon)$$

式中： $\zeta(t)$ 、 ε 、 ε_n 是随机变量； $G_{\zeta}(\omega)$

为波谱； $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ ， λ 为波长， k 为波数； $\omega =$

$\frac{2\pi}{T}$ ， T 为周期， ω 为圆频率。

根据海浪质点运动的规律，我们又可将质点水平速度、加速度表示为