（内部）

海浪计算手册

国家海洋局

1973

毛主席说：**“我们一定会建设一个具有现代工业、现代农业和现代科学文化的社会主义国家。”**

解放以来，在毛泽东思想的光辉照耀下，我国的海浪科学和其它科学一样，于较短的时间内，从无到有，在台站建设、予报服务、科学研究等方面都取得了一定成绩。随着我国社会主义建设事业的发展和国防力量的加强，海浪予报的需要日益显著。但目前的海浪予报方法和服务质量还适应不了需要。为了改变这种状态，我们在党和毛主席的自力更生、奋发图强方针指引下，从我国的实际出发，在国内海浪研究已有的基础上，一面开展海浪予报服务，一面对海浪予报方法进行研究，并利用这些予报服务的经驗和研究成果编成这本海浪予报手册供有关单位参考使用。

由于海浪是一种十分复杂的现象，目前在理论研究和予报技术方面都还存在不少问题。特别是我国各海区的情况复杂，影响海浪变化的地区性因素很多，因此本手册中提出的方法还不可能适用于一切地区，我们必须按照毛主席的教导，**“……不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。”**认眞总结经驗，逐步改进予报方法努力提高予报准确率，进一步做好海浪予报服务工作。

本手册包括二部分。第一篇介绍海浪基本知识，解释使用手册所需要的一些概念和术语；第二篇说明如何确定风要素和计算海浪要素。

本手册的内容除有关海浪基本知识的介绍和标明引用文献者外，其余为本组的研究成果。这些研究工作是在国家科委海洋组

及国家海洋局的直接领导下，由中国科学院海洋研究所，山东省气象局，河北省气象局，青岛市气象台，国家海洋局北海分局，国家海洋局第一海洋研究所及山东海洋学院等单位于1965—1966年协作进行的。无产阶级文化大革命运动有力地推动了本组的工作，但由于我们学习毛主席著作不够，业务水平也有限制，手册中可能有许多不当甚至错误之处，請批评指正。

国家科委海洋组海浪予报方法研究组

一九六六年十二月

目　　录

第一篇　海浪的基本知識

第一章　海浪要素及其统计分析

第一节　海浪予报的对象

海洋中出现的波动现象，系由各种作用力引起的，例如风及近岸和海底的地震等因素。但是，海浪予报的对象则为海洋表面的风浪、涌及近岸波，它们则是由风产生的。

由于风的直接作用产生的水波，称为风浪（图1.1）。它的外形比较杂乱粗糙，有时伴有浪花与泡沫，而且传播方向多与风向一致（在近岸由于地形等因素影响，浪向与风向可能相差较大）。

风浪离开风的作用区域后，在风力甚小或无风水域中传播的现象，称为涌（图1.2）。它的外形比较规则，波面比较光滑，周

图1.1

图1.2

期大于原来的风浪周期，且随传播距离的增加而逐渐增大。在风作用的水域内，由于风力显著降低使原来产生的风浪处于消衰状态而形成的涌，它的波面也比较光滑与规则。

此外，在海洋上也经常遇到不同来源的波系（例如，涌与风浪或另一系的涌）叠加的现象，称为混合浪。

涌在浅海传播时，由于地形的影响在海岸及岛屿附近常出现折射、绕射、反射、卷倒或破碎等现象，而且在传播过程中涌的波速、波向、波形以及其他性质都在不断地发生变化。

第二节 海浪的要素

为了更好地说明海浪要素，先介绍一下简谐波的要素。简谐波的波面为

$$\zeta = a\cos(kx - \sigma t) \qquad (1.1)$$

式中，幅角 $(kx-\sigma t)$ 称为位相，k为波数，σ为园频率，x、t 分别代表位置和时间，a 为振幅。于给定时刻，式(1.1)代表的波面将随位置X而变化，并如图 1.3 所示。图中 X 轴与静止水面重合；波面的最高点称为波峯，最低点称为波谷，两个相邻的波峯（或波谷）间的水平距离为波长λ $(=2\pi/k)$，相邻的两个波峯

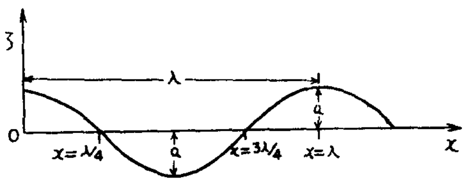

图1·3

（或波谷）相继越过一固定点所经历的时间为周期 $\tau(=2\pi/\sigma)$。波面离开静止水面的最大铅直位移为振幅a，振幅的两倍称为波高 H，即波峯至波谷的铅直距离。波峯（或波谷）在单位时间内的水平位移，称为波速 C $(=\lambda/\tau)$。依液体波动理论[3]，对于深水波（即水深大对半波长）

$$C^2 = g\lambda/2\pi \qquad (1.2)$$

$$C = g\tau/2\pi \qquad (1.3)$$

$$\lambda = g\tau^2/2\pi \qquad (1.4)$$

在简谐波的运动中，势能等于动能，且于单位面积下的铅直水柱（自水面至波动可以忽略处）内的总能量为

$$E = \frac{1}{2}\rho g\, a^2 \qquad (1.5)$$

其中，ρ为水的密度，g为重力加速度。

对于实际海浪，上述的定义已不适用。图 1.4 表示在固定点利用波浪自记仪记录到的波面，可见海浪的表面不象简谐波那样整齐对称，而是复杂得多。

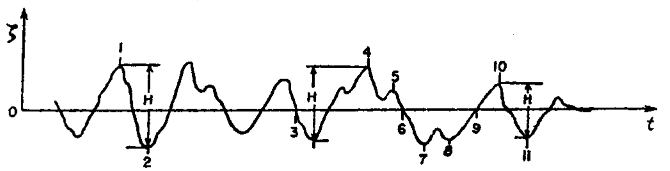

图1·4

图中横轴代表时间，纵轴代表波面相对于静止水面的铅直位移。波面自上而下跨过横轴的交点称为下跨零点（例如3、6），自下而上跨过横轴的交点称为上跨零点（例如9）。相邻的两个上跨零点（或下跨零点）间的时间间隔定义为周期τ，周期τ的平均值称为平均周期$\bar{\tau}$。从图中可见，在两个相邻的上（下）跨零点间可能不只出现一个极值，例如，在下跨零点3与6间有三个正的极值，但我们取其中最高的点4为波峰；同样，取波面的最低点（例如7）为波谷。但图中极值“5”及“8”不取为波峰或波谷。此外，也可以取两个相邻波峰间的时间间隔为周期。后者定义的周期与前者定义的周期虽有差异，但如取足够长时间（10—20分钟）的记录，依上述两种方法得出的平均周期近似地相等。

于某一时刻沿波浪传播方向波面随位置的变化和图1.4所示的曲线相似（但图中t轴为x轴所代替），因此利用类似上述取周期的方法可定义海浪的波长λ和平均波长$\bar{\lambda}$。

根据实际资料的分析结果，平均周期$\bar{\tau}$与平均波长$\bar{\lambda}$的关系可近似地以公式[21]

$$\lambda=\frac{2}{3}\frac{g\tau^{2}}{2\pi} \tag{1.6}$$

表示。

两个相邻的“峯”与“谷”间的铅直距离定义为波高H，波高的平均值称为平均波高$\bar{H}$。

又，在图1.5所示的波浪模型中指示波动传播方向（波向,即正x轴方向）的线，称为波向线，与它正交（与y轴平行）并通过波峯的线，称为波峯线。

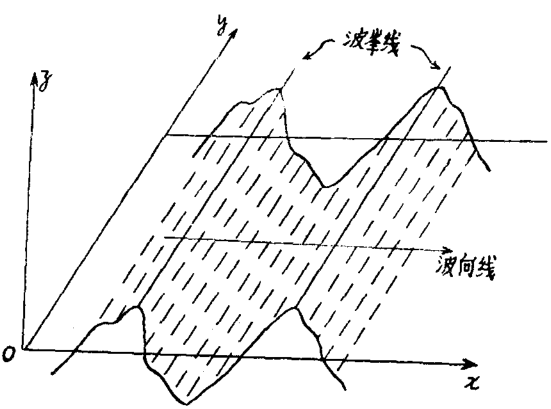

图1·5

第三节　海浪要素的统计分布

自海上固定点连续观测到一系列海浪的波高及周期如表1.1所示，可见先后出现的数值是杂乱无章的。但是，将波高或周期依大小的次序排列并加以统计整理，所得的结果表明，它们遵从一定的分布规律。下面以波高为例说明计算这种分布规律的步骤[1]。

1.　将表1.1中的波高 Hi 米，从大到小依序排列并计算每一波高值出现的次数ni，如表1.2所示。

2.　计算平均波高

$$\bar{H}=\frac{n_1H_1+n_2H_2+\cdots\cdots+n_sH_s}{n_1+n_2\cdots\cdots+n_s}=\sum_{i=1}^{s}H_i\frac{n_i}{N}$$

其中 $N=\sum_{i=1}^{s}n_i$ 为所取波浪的总数。例如，利用表中所列的数值求得 $\bar{H}=1.16$ 米。

3.　计算$H/\bar{H}$的比值，同时，以适当间隔(表1.3中取为0.2)计算各间隔的下限所对应的波高值　$H_i=\frac{H}{\bar{H}}\cdot\bar{H}$(表1.3第2栏)。

4.　计算大于（含等于）Hi的波高出现的次数(或称累积数)n（表1.3第3栏）。

5.　依式

$$F=\frac{n}{N}$$

表 1.1

H 米	τ 秒	H 米	τ 秒	H 米	τ 秒	H 米	τ 秒	H 米	τ 秒	H 米	τ 秒	H 米	τ 秒	H 米	τ 秒
1.5	6.1	0.7	4.4	0.5	3.6	1.4	4.2	1.3	12.0	2.1	7.4	0.4	4.4	1.5	7.6
2.0	6.8	1.6	7.2	0.7	3.1	0.4	4.1	2.0	6.6	0.8	3.5	1.0	4.3	1.6	5.3
1.0	8.4	1.9	4.8	0.9	3.8	0.7	3.7	2.1	8.0	1.2	8.1	2.1	5.8	0.4	2.1
0.8	4.9	1.6	7.0	2.0	6.3	1.1	5.1	1.3	7.4	0.8	3.2	1.6	5.8	0.6	5.9
1.1	5.3	0.7	3.6	1.6	6.4	1.1	2.1	2.2	5.9	0.7	5.2	0.5	8.2	1.7	8.0
1.0	8.1	1.5	5.4	1.7	5.5	1.6	8.4	0.5	4.3	0.7	4.2	1.3	7.0	1.6	8.5
1.1	8.3	2.1	7.7	0.4	3.4	1.8	9.5	1.3	8.4	1.3	9.0	0.5	2.8	1.3	6.1
0.6	4.3	0.8	6.5	0.9	5.3	0.7	3.0	0.3	3.2	1.5	7.2	0.7	8.1	2.1	6.4
0.2	2.9	0.8	5.7	0.4	5.6	0.6	6.7	1.1	7.5	0.6	2.8	1.3	5.5	2.2	7.7
0.4	5.6	1.6	7.5	0.7	7.6	1.4	7.2	1.5	10.5	0.4	3.6	1.3	5.5	1.6	8.6
0.5	3.8	2.3	6.6	1.2	5.6	0.9	8.8	0.3	2.0	1.5	4.6	0.6	4.2	1.1	3.7
0.9	6.2	0.7	3.8	2.1	7.9	1.5	5.1	1.8	8.0	1.6	5.1	2.6	8.1	0.4	3.6
1.2	7.8	0.6	6.7	0.6	3.3	1.3	4.4	1.0	6.8	0.3	3.2	2.1	5.8		
1.9	4.6	0.9	4.8	1.0	7.8	1.1	4.3	2.0	6.6	0.5	2.1	1.2	6.2		

表 1.2

H_i米	2.6	2.3	2.2	2.1	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
n_i	1	1	2	7	4	2	2	2	10	7	2	9
H_i米	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	$\bar{H}=1.16$米
n_i	4	7	5	5	5	10	7	6	8	3	1	$N=110$

表 1.3

H/H	H_i,米	n	F,%	△F	△$(H/\bar{H})$	H/H	$\bar{H}f$
2.2	2.6	1	0.9	0.009	0.2	2.1	0.045
2.0	2.3	2	1.8	0.082	0.2	1.9	0.410
1.8	2.1	11	10.0	0.055	0.2	1.7	0.275
1.6	1.9	17	15.5	0.127	0.2	1.5	0.635
1.4	1.6	31	28.2	0.082	0.2	1.3	0.410
1.2	1.4	40	36.4	0.108	0.2	1.1	0.540
1.0	1.2	53	48.2	0.155	0.2	0.9	0.775
0.8	0.9	70	63.7	0.137	0.2	0.7	0.685
0.6	0.7	85	77.4	0.118	0.2	0.5	0.590
0.4	0.5	98	89.2	0.108	0.2	0.3	0.540
0.2	0.2	110	100				
0	0						

计算“累积率”F,以百分数表示(即累积数n占总数N的百分数)。于图1.6中以$H/\bar{H}$（表1.3第1栏）为横坐标以F%为纵坐标，可得累积率曲线(实线)。图中虚线代表理论计算的结果（见表1.4）。

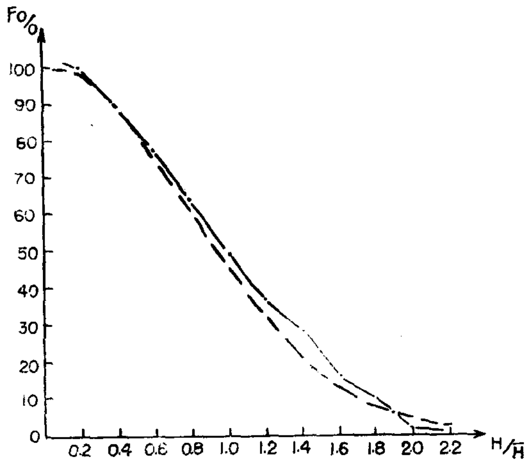

图1·6

以下说明计算波高“出现率”的方法。

6. 计算两个相邻的比值$H/\bar{H}$的差值$\triangle(H/\bar{H})$(表1.3第6栏)及共对应的累积率差$\triangle F$（表1.3第5栏）。

7. 记下步骤6所取$\triangle(H/\bar{H})$的中间值$H/\bar{H}$(表1.3第7栏),并依式

$$\bar{H}f=-\frac{\triangle F}{\triangle(H/\bar{H})} \qquad (1.7)$$

计算$\bar{H}f$，即所谓无维的出现率（表1.3第8栏）。如要直接得到出现率f可依适当波高间隔$\triangle H$（例如，0.2米）取出波高，如

2.6,2.4,2.2……米，计算这些波高的累积数 n 的差值 $\triangle F$ 以及 $f=\triangle F/\triangle H$。$\bar{H}f$ 或f的数值与波高数值落在间隔$\triangle(H/\bar{H})$或$\triangle H$内的次数成正比，所以 f 又称为出现率。

以$\bar{H}f$、$H/\bar{H}$为纵横坐标，依表1.3所得的结果可绘出图1.7所示的直方图，其中每个长方形的宽度为$\triangle(H/\bar{H})$，长度为对应的$\bar{H}f$ 值；连结方形顶边的中点可得出现率曲线，如图中的实线（或再加以平整）所示。又，图中虚线代表理论计算的结果（见表1.5）。

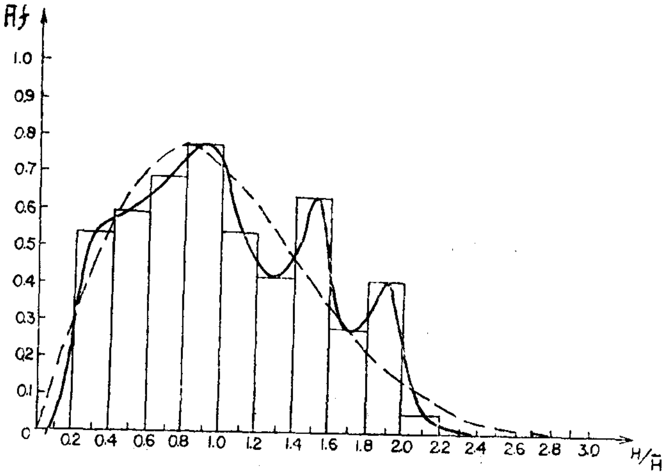

图 1·7

根据实际资料[8·16]的分析结果表明，单纯的风浪或涌的波高分布接近于二维的正态分布（图1.7中的虚線），且从理论分析[9]可得波高的累积率为

$$F=\exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^2\right]。\qquad (1.8)$$

注意f不为负值的事实，将上式对波高H进行微分得

$$f=\frac{\pi}{2}\frac{H}{\overline{H}^2}\exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{H}{\overline{H}}\right)^2\right] \tag{1.9}$$

此式与上述的出现率相当。显然，上式从H至∞的积分结果，即式（1.8）。还可将上式写为无因次的形式

$$\overline{H}f=\frac{\pi}{2}\frac{H}{\overline{H}}\exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{H}{\overline{H}}\right)^2\right] \tag{1.10}$$

或将式（1.8）改写为

$$H\%/\overline{H}=\left(\frac{4}{\pi}\ln\frac{1}{F}\right)^{1/2} \tag{1.11}$$

其中H%表示某一累积率F所对应的波高。表1.4为依上式计算得到的结果，其中还列有根据周期累积率得到的某一累积率对应的周期τ%与平均周期$\overline{\tau}$之比。在表1.3中F=48.2%对应的波高为1.2米(表中第2栏)，这一数值也与上式的结果是接近的。又，由式（1.10）得到的波高出现率如表1.5所示。

第四节 各种平均波高和平均周期的计算

在海浪予报中常应用某一累积率F对应的平均波高HF。例如，从表1.3中可见F=48.2%对应的波高Hi为1.2米。自表1.2中取大于1.2米的波高（包括1.2米），并求得加权的平均值

$$H_{48}/_{100}=\frac{4\times1.2+9\times1.3+\cdots\cdots+2.3+2.6}{4+9+\cdots\cdots+1+1}=1.67\text{米}$$

可见H_F略大于H%。为区别其见，H_F的下标F以分式48/100表示。根据上述的计算方法，对于任意的累积率有

表 1.4

F %	H %/$\bar{H}$	τ %/$\bar{\tau}$	F %	H %/$\bar{H}$	τ %/$\bar{\tau}$
0	∞	∞	40	1.08	1.08
0.1	3.16	1.84	50	0.939	1.01
1	2.58	1.62	60	0.806	0.932
5	1.95	1.45	70	0.674	0.853
10	1.71	1.36	80	0.533	0.758
20	1.43	1.24	90	0.366	0.628
30	1.24	1.16	95	0.256	0.526
33.3	1.18	1.13	100	0	0

表 1.5

H %/$\bar{H}$ 或 τ %/$\bar{\tau}$	$\bar{H}f$	$\bar{\tau}f$	H %/$\bar{H}$ 或 τ %/$\bar{\tau}$	$\bar{H}f$	$\bar{\tau}f$
0	0	0	1.5	0.404	0.293
0.1	0.156	0.003	1.7	0.275	0.046
0.3	0.438	0.073	1.9	0.173	0.003
0.5	0.645	0.324	2.1	0.102	—
0.7	0.748	0.790	2.3	0.056	—
0.9	0.746	1.27	2.5	0.029	—
1.1	0.668	1.34	2.7	0.014	—
1.3	0.538	0.855	2.9	0.005	—
			∞	0	0

$$H_F=\frac{1}{NF}\sum_{i=1}^{NF}H_i \tag{1.12}$$

其中NF＝n〔见上节步骤(4)〕。如取$F=1/3$，则从上式可得

$$H_{1/3}=\frac{3}{N}\sum_{i=1}^{N/3}H_i \tag{1.13}$$

$H_{1/3}$称为$1/3$平均波高，又称为有效波高[1]，即自连续观测到的波高中取最高（波高Hi是由大到小排列的）的$\frac{1}{3}$个波的平均值。利用表1.2的波高数值可得$H_{1/3}=1.8$米。同理，取$F=1/10$，有

$$H_{1/10}=\frac{10}{N}\sum_{i=1}^{N/10}H_i \tag{1.14}$$

并称为$1/10$平均波高。又，自表1.2可得$H_{1/10}=2.2$米。

上述结果，也可以利用理论关系式（1.8）及（1.9）进行计算。为此，根据上述求平均值的方法[16]有

$$\begin{aligned}H_F&=\frac{1}{F}\int_H^{\infty}Hf(H)\,dH\\&=\frac{2\bar{H}}{\sqrt{\pi}}\left(\ln\frac{1}{F}\right)^{1/2}+\frac{\bar{H}}{F}\left\{1-\mathrm{erf}\left[\left(\ln\frac{1}{F}\right)^{1/2}\right]\right\}\end{aligned} \tag{1.15}$$

其中erf为误差函数，即

$$\mathrm{erf}(x)=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x e^{-t^2}dt。$$

（1）即习惯上所称的$\frac{1}{3}$个最大波的平均波高；本手册中对于其他累积率，也采用类似的简称。