测量海况级的计算机算法*

包 平

(中科院东海研究站 上海 · 200032)

1 海况级的测量原理

海况级是对海面不平程度的一种定量的描述,目前我国是沿用波浪级来确定,按波高的大小分为 10 级,0 级最小,9 级最大。波高级根据 1/3 有效波高来划分,1/3 有效波高的定义是:在连续时间内,对每 100 个随机波浪按其瞬时波高从大到小排列,求出前 1/3 部分最大瞬时波高的平均值,此即称为 1/3 有效波高 $\overline{H}_{1/3}$。

根据 1/3 有效波高在浪级表中所处的位置,可得到相应的浪级,即海况级。

表 1 海况级(浪级)表

海况级	1/3 有效波高 $\overline{H}_{1/3}$(m)
0	$\overline{H}_{1/3}=0.00$
1	$0.00<\overline{H}_{1/3}<0.19$
2	$0.19\leq\overline{H}_{1/3}<0.57$
3	$0.57\leq\overline{H}_{1/3}<0.95$
4	$0.95\leq\overline{H}_{1/3}<1.52$
5	$1.52\leq\overline{H}_{1/3}<2.65$
6	$2.65\leq\overline{H}_{1/3}<4.55$
7	$4.55\leq\overline{H}_{1/3}<6.44$
8	$6.44\leq\overline{H}_{1/3}<8.33$
9	$8.33\leq\overline{H}_{1/3}$

2 计算公式

由于波浪是随机的和非平稳的,因此在第 i 个观察窗口所测到的波浪的统计特性就可能与第 $k(k\neq i)$ 个观察窗口所测到的波浪统计特性不一样。另外,在实际测量时,也难以按 100 个随机波高那样去做,只能根据每次测量到的潜度(即从海面到水下潜艇的瞬时距离)按以下公式计算,得出海况级。

其中,N 是观察窗口内参与运算的潜度 h 的个数,取 $N=1024$,并且假设在此观察窗口内波浪可以近似地看作是平稳的。

当潜度 h 的个数等于或超过 N 点之后,就可以进行海况级运算,以后每测一次新的潜度,便将其替换掉最老的一个潜度,使被测潜度的总个数 N 保持不变,并由这 N 个潜度计算出此观察窗口内的波浪统计特性。

① 第 i 个观察窗口内的平衡水位:

$$\overline{H}_0(i)=\frac{1}{N}\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j(i)\quad[i=0\sim(N-1),$$

样本 $j=i\sim(i+N-1)$,下同]

② 第 i 个观察窗口内第 j 个瞬时波高:

$$\zeta_j(i)=h_j(i)-\overline{H}_0(i)$$

③ 第 i 个观察窗口内波高的方差:

$$m_0(i)=\frac{1}{N}\sum_{j=i}^{i+N-1}\zeta_j^2(i)$$

$$=\frac{1}{N}\sum_{j=i}^{i+N-1}[h_j(i)-\overline{H}_0(i)]^2$$

④ 第 i 个观察窗口内的 1/3 有效波高[1]:

$$\overline{H}_{1/3}(i)=4.004\sqrt{m_0(i)}$$

然后,将这 $\overline{H}_{1/3}(i)$ 与表(1)中的数据进行比较,得出此观察窗口内的海况级,例如:

若 $0.95\text{m}\leq\overline{H}_{1/3}(i)<1.52\text{m}$,则此刻的海况是 4 级;

若 $1.52\text{m}\leq\overline{H}_{1/3}(i)<2.65\text{m}$,则此刻的海况是 5 级。

* 作者:包一平,男,1945 年 12 月生,高级工程师

收稿日期:97-5-20

3 计算机算法:

(1) 由以上公式可见, 只要计算出波高方差 $m_0(i)$, 就可以求得 $\overline{H}_{1/3}(i)$。现将 $m_0(i)$ 推导成适合软件编程的形式:

$$m_0(i) = \frac{1}{N}\sum_{j=i}^{i+N-1}[h_j(i) - \overline{H}_0(i)]^2 = \frac{1}{N}\sum_{j=i}^{i+N-1}[h_j^2(i) + \overline{H}_0^2(i) - 2h_j(i)\ \overline{H}_0(i)]$$

$$= \frac{1}{N}\sum_{j=i}^{i+N-1}[h_j^2(i) + \sum_{j=i}^{i+N-1}\overline{H}_0^2(i) - 2\overline{H}_0(i)\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j(i)] = \frac{1}{N}[\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j^2(i) + N\ \overline{H}_0^2(i) - 2N\ \overline{H}_0^2(i)] = \frac{1}{N}\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j^2(i) - \overline{H}_0^2(i) = \frac{1}{N}\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j^2(i) - \frac{1}{N^2}[\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j(i)]^2$$

则 $\overline{H}_{1/3}(i) = 4.004\ \overline{m_0(i)}$

$$= 4.004\ \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j^2(i) - \frac{1}{N^2}[\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j(i)]^2}$$

定点计算时经此运算而得出的 $\overline{H}_{1/3}(i)$ 的精度将很差, 因计算中的 $1/N$ 因子、$1/N^2$ 以及开方步骤都会产生较大的截舍误差。

(2) 为了充分保证精度, 海况级的计算实际上应按如下算法进行:

因 $m_0(i) = \frac{1}{N}\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j^2(i) - \frac{1}{N^2}[\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j(i)]^2$

故 $N^2 m_0(i) = N\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j^2(i) - [\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j(i)]^2$

令 $B_0(i) = N^2 m_0(i)$;

且对波浪级的判别标准 $\overline{H}_{1/3}$ 也相应的换算为 B_0:

因 $\overline{H}_{1/3} = 4.004\ \overline{m_0}$; 故 $B_0 = [\frac{N \cdot \overline{H}_{1/3}}{4.004}]^2$

将海况级表中的有关参数作如上式的变换, 从而构成一个新形式的海况级表 2。这样, 就可以利用表 2, 以 B_0 来作为海况级的判别标准, 例如: 若 $005A11DC \leq B_0(i) < 00E6941F$, 为 4 级海况; 若 $00E6941F \leq B_0(i) < 02BCD8FC$, 为 5 级海况。

表 2 新形式的海况级(浪级) 表

海况级	B_0(0.01m^2)(十六进制)
0	B_0= 00000000
1	00000000< B_0< 00039A50
2	00039A50≤B_0< 00206CD4
3	00206CD4≤B_0< 005A11DC
4	005A11DC≤B_0< 00E6941F
5	00E6941F≤B_0< 02BCD8FC
6	02BCD8FC≤B_0< 08121D9E
7	08121D9E≤B_0< 102B13E4
8	102B13E4≤B_0< 1B0D0873
9	1B0D0873≤B_0

与对 $\overline{H}_{1/3}(i)$ 的计算相比, 由于对 $B_0(i)$ 的计算消除了 $1/N$、$1/N^2$ 因子以及开方的影响, 因此得出的结果精度是很高的。

表 2 形式的海况级表, 被固化在 ROM 之中。在测海况时, 将所测得的潜度 h 依次存放在内存中某个大小为 N (如前述, N 取 1024) 的区域内, 当该区域的潜度个数等于 N 时, 即可按

$$B_0(i) = N\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j^2(i) - [\sum_{j=i}^{i+N-1}h_j(i)]^2$$

开始进行计算(第一次运算海况级时 i= 0, 以后 i 依次递增, 至 $N-1$ 后周而复始), 得出 $B_0(i)$ 后, 将其与已固化在 ROM 中的表 2 形式的海况级表进行比较运算, 就能得到此刻的海况级结果。

以后每测到一个新的潜度, 便以此替换内存中潜度存放区域内最老的一个潜度, 再进行上述运算。于是, 海况就得到了连续不断的实时反映。

此算法在测深测潜仪的水池模拟试验及长江口试验中被证明满足战技指标所提出的精度要求。

参考文献

1 海浪理论与计算机原理. 文圣常, 余宙文. 科学出版社; 1984