

气旋天气形势下石臼港近海的风浪特性*

王以谋 范顺庭 侯永明

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

收稿日期 1990年10月19日

关键词 水下压力波, 海面波, 波要素, 风浪谱

提要 气旋天气过程引起的大浪是石臼港近海灾害性海浪之一。本文对1979年12月的一次气旋天气影响下的实测海浪进行了分析; 论述了波要素的某些特点、波高与周期分布以及风与浪的关系; 并讨论了风浪谱及其参量特征, 得到了一个与实测谱接近的拟合谱形式。

本文选用石臼所海区观测站1979年12月20~21日的一次气旋出海天气过程的连续波浪记录, 分析了这种天气过程的风浪特点、风浪要素的逐个波统计特性、风和浪的关系及风浪谱特性, 并拟合出一个风浪谱形式。

I. 石臼港海区气旋天气形势的特点

石臼港海区位于黄海中部, 山东半岛南部。气旋天气形势与寒潮、台风一样是引起黄海大浪的主要天气过程之一, 通常出现在春季, 但秋、冬季有时也会出现。气旋在东移出海时使海上大范围出现大风, 如果北部有高压配合, 风速会更强。由于移行的路径、强度各异, 产生的风力也有所不同。一般气旋在黄海可持续1~3d, 它的移行速度较快, 最大风速可达7~8级。

本文所选择的气旋过程在黄海持续2d, 中心气压为1012.5Pa, 半径约250km, 在石臼港海区测得的最大风速是15m/s。测点的风向由ENE转为NE~NNE, 风向稳定, 风区很长, 有利于产生大浪。

II. 观测仪器及资料

采用水下压力式测波仪, 仪器放于离石臼嘴东南方向约1km处的海底, 此处平均水深12m, 潮差约4m。仪器最大放置深度为20m, 观测站面向外海, 除西风外不受海岸阻挡, 能较好地反映该海区的海浪。

风速资料取自海洋局石臼海洋站的记录,

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1450号。

波浪资料选自1979年12月20日14时至12月21日16:30的观测记录。每次观测持续时间为10~20min,共24次。

III. 风浪要素的统计特性

III.1. 风与浪的关系

24次实测风及波要素的特征值曲线见图1,从中可以看出这次风浪过程分为成长和衰减二个阶段。成长阶段风速从7m/s增至15m/s,海面波波高($H_{1/10}$)从0.35m增至2.14m,周期也随之增大;波高($H_{1/10}$)最大值较最大风速滞后2~3h。衰减阶段波高随风速的下降缓慢减低,而周期却经过一段时间才减小。

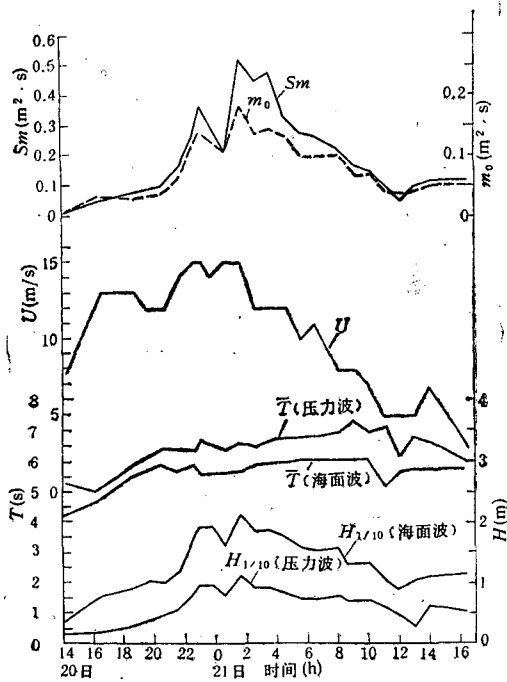


图1 过程曲线
Fig. 1 Process curves

风浪成长阶段波高与风速有较好的相关性,因此可用相关法计算出它们的相关方程。先对风速作平均处理,用最小二乘法由风速和波高($H_{1/10}$)计算出海面波特征波高($H_{1/10}$)与风速U的相关关系:

$$H_{1/10} = 0.0148U^{1.7676} \quad (1)$$

相关系数为0.87。用式(1)可算得50年一遇的

海洋科学,1992年1月,第1期

风速32m/s^[1]的波高($H_{1/10}$)为6.5m,与文献[1]的结果接近。

III.2. 海浪要素的统计分布

多数学者认为海浪较好地遵从Weibull分布,其分布形式为:

$$F(x) = \exp[-Ax^B] \quad (2)$$

式中, $x = \frac{H}{\bar{H}}$,或 $x = \frac{T}{\bar{T}}$;A,B是待定系数,可由实测压力波资料经拟合计算得到。对这一风浪过程的2343个波进行计算,对波高作无维化处理,得出 $A = 0.6619, B = 2.0703$,因此,压力波波高的累积率分布函数为:

$$F(H) = \exp\left[-0.6619\left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^{2.0703}\right] \quad (3)$$

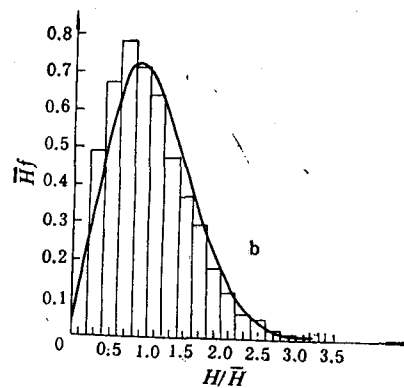
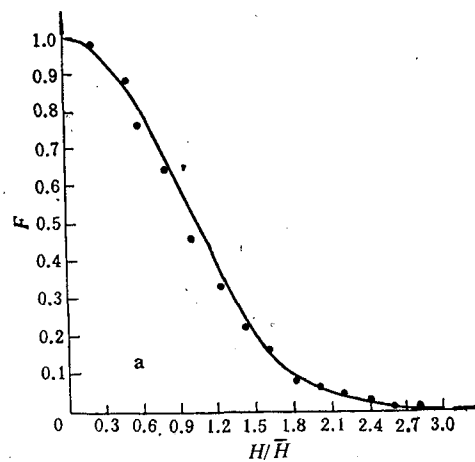


图2 波高分布

Fig. 2 Distribution of wave height

注:圆点及直方图为实测值。

对式(3)求导并令 $\frac{dF}{dx} = 0$, 得波高的概率密度分布函数:

$$\bar{H}f(H) = 1.3703 \left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^{1.0703} \cdot \exp\left[-0.6619 \left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^{2.0703}\right] \quad (4)$$

$F(H)$ 及 $\bar{H}f(H)$ 如图 2 的实线所示。

式(3)和(4)的结果与实测统计值是一致的。由式(4)作 $\frac{df}{dx} = 0$, 可得 $H_m/\bar{H} = 0.9$, 其中, H_m 为众值。由式(3)或图 2a 可得各种累积率波高 H_F 与平均波高之比值, 也可由式(4)积分计算部分大波平均值与平均波高的比:

$$\frac{H_p}{\bar{H}} = \frac{1}{\bar{H}P} \int_H^\infty Hf(H)dH = \frac{1.3703}{\bar{H}P} \int_H^\infty \left(\frac{H}{\bar{H}}\right)^{1.0703} F(H)dH \quad (5)$$

用数值积分求得 $H_{1/10}/\bar{H} = 2.13$, $H_{1/3}/\bar{H} = 1.65$ 。而用实测压力波记录逐个波统计得 $H_{1/10}/\bar{H} = 2.16$, 与式(5)计算的结果很接近, 比深水表面波理论值 2.03 略高。

用实测的压力波周期同样作无维化处理, 经拟合计算得周期的累积率分布函数为:

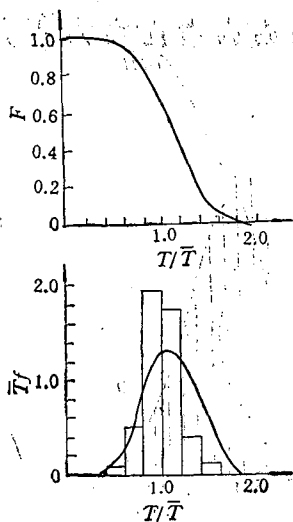


图3 周期分布

Fig. 3 Distribution of wave period

注: 圆点为实测值。

$$F(T) = \exp\left[-0.4353 \left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^{4.2812}\right] \quad (6)$$

同样可得出周期的概率密度分布为:

$$Tf(T) = 1.8636 \left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^{3.2812} \cdot \exp\left[-0.4353 \left(\frac{T}{\bar{T}}\right)^{4.2812}\right] \quad (7)$$

式(6)的结果如图 3 实线所示。

取 $\frac{df}{dx} = 0$, 得 $T_m/\bar{T} \approx 1.03$ (T_m 是众值)。

另外, 在计算压力波谱之前, 还计算了每次波面离散序列的波面分布直方图(图略), 它们与正态分布较接近。

以上的统计分析表明, 水下压力波要素的统计特性与海面波要素的统计特性是相似的。

IV. 风浪谱特性

对每次水下压力波记录进行谱估计^[2], 离散取样间隔 $\Delta t = 0.375s$, 离散序列总个数 $N = 2048$, 谱值个数 $M = 64$ 。计算谱值、零阶矩 m_0 、二阶矩 m_2 、四阶矩 m_4 、谱宽度 e^D 以及由谱计算的特征波高和周期。

IV.1. 谱矩与特征波要素的关系

计算了谱值及各阶矩后, 用公式 $H_{1/10} = 5.091 \sqrt{m_0}$ 得到 1/10 大波平均值, 由公式 $\bar{T} = 2\pi \sqrt{m_0/m_2}$ 计算出平均周期, 结果表明, 这些计算值与由直接记录统计的波要素特征值符合程度是满意的。

IV.2. 零阶矩与谱峰值的关系

由压力波谱换算成海面波谱, 它的零阶矩 m_0 及谱峰值 S_m 也绘成过程曲线(图 1), 可以看出, m_0 和 S_m 均随风速上升而增大, 随风速下降而减小。经相关计算得经验公式:

$$S_m = 2.665m_0 - 0.018 \quad (7)$$

IV.3. 谱峰圆频率 ω_m 与平均圆频率 $\bar{\omega}$ 的关系

根据 24 次波浪记录的谱估计, 得出波谱峰圆频率 ω_m 与平均圆频率 $\bar{\omega}$ 之比的平均值 $\frac{\omega_m}{\bar{\omega}} =$

0.89, 比现有理论谱得出的比值 0.71 大, 这是

1) 在计算 m_0, m_2, m_4, e 时已对高频干扰作了处理。

石臼港近海风浪的特点。

V. 风浪谱的成长与消衰

由海面波谱在各时刻的谱曲线(图4), 可以看到谱随时间变化的情况。

在成长阶段, 波谱曲线下的面积(表示能量

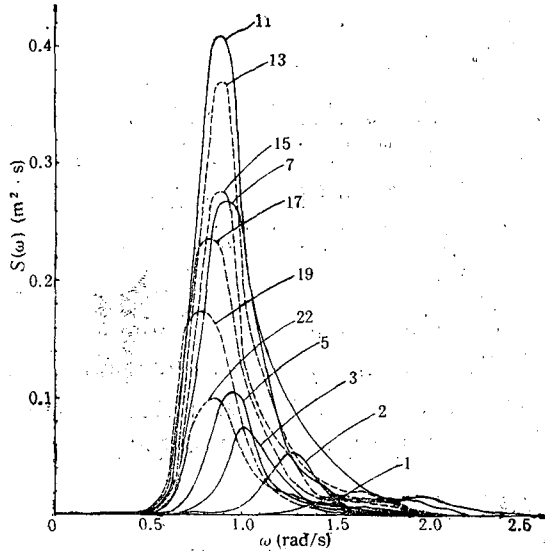


图4 海面波谱密度曲线

Fig. 4 Spectrum density curves of surface wave

——成长阶段; - - - - -衰阶段

的 m_0) 及谱峰值 (S_m) 随时间而增大, 谱峰频 ω_m 向低频方向推移。图4中曲线2~5表明, 在风浪成长阶段初期存在着“超射”现象。曲线2(20日16:30) $\omega_m = 1.3$, $S_m = 0.052 \text{m}^2 \cdot \text{s}$; 曲线3比曲线2迟2h(20日18:30), 在同一频率(1.3)上谱值 $S(\omega)$ 减小为 $0.021 \text{m}^2 \cdot \text{s}$; 而曲线5比曲线3迟2h, 在同一频率(1.3)上 $S(\omega)$ 减小为 $0.012 \text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。这说明, 风浪成长阶段的初期谱峰值附近的谱值 $S(\omega)$ 明显超过其后成长过程中相应频率处的谱值。

另外, 从图1中的 m_0 和 S_m 过程曲线看出, 两者的最大值较风速最大值滞后3h。

在消衰阶段, 风速下降, 波谱曲线下的面积 (m_0) 及谱峰值 (S_m) 也随之变小, 而谱峰频 (ω_m) 仍有向低频移动的趋势, 然后再转向高频方向。此阶段的海浪是消逝涌与当时风浪的混

合浪。在相同风速下, 特征波高和周期比成长阶段大。

图4的谱曲线还显示出在高频处(约 $2\omega_m$) 有一个次峰, 数值较主峰小得多。

VI. 石臼港近海的拟合风浪谱形式

为了比较每个海面波谱的形状, 计算了无维谱 $\frac{S(\omega) \cdot \omega_m}{m_0}$, 24条无维谱较集中。无维谱的峰值的平均值为2.6(图略)。

迄今已提出许多风浪谱, 其中有相当大一部分具有 Neumann^[3,4] 最先得到的形式:

$$S(\omega) = \frac{A}{\omega^p} \exp\left[-B \frac{1}{\omega^q}\right] \quad (8)$$

用式(8)来拟合实测谱可确定待完常数 p , q 及 A , B 。由(8)式可推得^[4]:

$$\frac{\omega_m}{\bar{\omega}} = \left(\frac{q}{p}\right)^{\frac{1}{p}} \left[\frac{\Gamma\left(\frac{p-1}{q}\right)}{\Gamma\left(\frac{p-3}{q}\right)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$\tilde{S}_m = \frac{q}{\Gamma\left(\frac{p-1}{q}\right)} \left[\frac{\Gamma\left(\frac{p-3}{q}\right)}{\Gamma\left(\frac{p-1}{q}\right)} \right]^{\frac{1}{2}} \left(\frac{p}{q}\right)^{\frac{p}{q}} e^{-\frac{p}{q}} \quad (10)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{\Gamma^2\left(\frac{p-3}{q}\right)}{\Gamma\left(\frac{p-1}{q}\right)\Gamma\left(\frac{p-5}{q}\right)} \quad (11)$$

其中, \tilde{S}_m 是无维谱的峰值; ε 是谱宽度。由式(9)、(10)、(11)中的任二个可求得 p , q 。式(8)的无维形式为:

$$\begin{aligned} \tilde{S}\left(\frac{\omega}{\omega_m}\right) &= \frac{\omega_m \cdot S(\omega)}{m_0} \\ &= A \frac{1}{(\omega/\omega_m)^p} \exp\left[-B \frac{1}{(\omega/\omega_m)^q}\right] \\ &= \frac{\Gamma\left(\frac{p-3}{q}\right)}{\Gamma^2\left(\frac{p-1}{q}\right)} q \left(\frac{p}{q}\right)^{\frac{p}{q}} \\ &\quad \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-p} \exp\left[-\frac{p}{q} \left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-q}\right] \quad (12) \end{aligned}$$

因为实测无维谱峰值的平均值为 2.6, 实测谱 $\frac{\omega_m}{\bar{\omega}}$ 的平均值为 0.89, 由式(9)、(10)得到 $p \approx 7$, $q \approx 4$, $A = 14.96$, $B = 1.75$, 所以拟合谱的形式为:

$$\tilde{S}(\bar{\omega}) = 14.96 \left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-7} \exp \left[-1.75 \left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-4}\right] \quad (13)$$

其中 $\bar{\omega} = \frac{\omega}{\omega_m}$ 。由式(13)与实测平均无维谱进行比较, 可以看出两者有较大差异 (图略)。若调整常数 A 值就可缩小其差别, 但要保持谱峰值 \tilde{S}_m 不变, 我们引进一个与 JONSWAP 谱峰升因子类似的参量 $R^{\exp[-K(\frac{\omega}{\omega_m}-1)^2]}$, 令 $A = 9.21$, $R = 1.63$, 两者的乘积为 14.96, 经反复调整取 $K = 35$, 最后无维谱拟合形式为:

$$\tilde{S}(\bar{\omega}) = 9.21 \left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-7} \exp \left[-1.75 \left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-4}\right] \cdot 1.63^{\exp[-35(\frac{\omega}{\omega_m}-1)^2]} \quad (14)$$

从而有量纲的拟合谱 $S(\omega) = \frac{m_0 \tilde{S}(\bar{\omega})}{\omega_m}$, 以 $H_{1/10} = 5.0\sqrt{m_0}$ 及 $\frac{\omega_m}{\bar{\omega}} = 0.89$ 即 $\omega_m = 0.89 \cdot \frac{2\pi}{T}$ 的关系代替上式 $S(\omega)$ 中的 m_0 及 ω_m , 最后有量纲拟合谱形式为:

$$S(\omega) = 0.066 H_{1/10}^2 \bar{T} \left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-7}$$

THE CHARACTERISTICS OF WIND WAVE IN THE SHIJU PORT OFFSHORE AREA UNDER THE INFLUENCE OF CYCLONE

Wang Yimou, Fan Shunting, Hou Yongming
(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao 266071)

Received: Oct. 19, 1990

Key Words: Under water pressure wave, Surface wave, Wave parameters, Wind wave spectrum

Abstract

The wind wave generated by cyclone is one of the dangerous waves in the Shijiu Port

$$\cdot \exp \left[-1.75 \left(\frac{\omega}{\omega_m}\right)^{-4}\right] \cdot 1.63^{\exp[-35(\frac{\omega}{\omega_m}-1)^2]} \quad (15)$$

为了检验式(15), 用石臼港近海 1979 年 12 月的几次实测谱及 1981 年 3 月的几次实测谱与拟合谱式(15)进行比较 (图略)。结果表明, 两者符合程度较好。

VII. 讨论

由于观测资料仅是一个过程, 得出的某些结论会有局限性, 如水深、风区对风浪的影响等, 但已得出的波浪特性和某些关系已经包含了这些因素的影响, 只是区分不出来。

本文虽然是讨论气旋天气形势下的风浪特征, 它的特点实际上也适合于出现偏北大风的其它天气过程产生的大浪。因为只要风向是 N~ENE, 则该海区的风区都很长, 风向稳定时间也较长, 形成的风浪特征是基本相同的。

参考文献

- [1] 侯永明、王以谋、范顺庭, 1982。石臼港设计波要素的确定, 海岸工程 1: 65~69。
- [2] 范顺庭等, 1981。海浪数据的处理, 海洋资料情报 1: 30~31。
- [3] Neumann, G., 1952. On wind generated ocean waves with special reference to the problem of wave forecasting. N. Y. U., Coll. of Eng., Res. Div., Dept. of Meteor and Oceanogr. 136.
- [4] Neumann, G., 1953. On ocean wave spectra and a new method of forecasting wind-generated sea Beach Erosion Board, U. S. Army Corps of Engineers, Tech. Mem. 43:42.

offshore. This paper is a report of a detailed analysis of the wave records under the influence of cyclone observed in the Shijiu offshore in Dec. 1979. Some statistical characteristics of single wave elements, the relation between wave height and wind speed, and distribution forms of wave height and wave period are described. In addition, some parameters of spectrum and their varieties are discussed. Finally, a form of experimental spectrum is worked out.