

# 几种常用海浪频谱的参量化形式和比较

刘百桥 侯若舟 蒋德才

(青岛海洋大学, 青岛 266003)

文中以无因次形式比较了国内外常用海浪频谱的谱形结构和特征, 给出了它们以有效波高和有效周期为参量的频谱公式, 并讨论了它们在近岸海域的适应性, 特别指出文氏理论频谱应用形式的适用范围。

国内外海浪谱的形式是多种多样的, 在应用中, 如何选定谱形是一个十分复杂的问题。本文采用无因次方法, 比较了文圣常教授的理论谱和国际上常用的海浪谱。为了便于应用, 又以有效波高、有效周期为参量表示文中所列几种常用海浪谱形式, 供工程界参考应用。

## 一、六种常用海浪谱的形式

文献[1]提出的PM谱, 在波浪研究及有关工程方面较为常用, 其形式为:

$$A^2(\omega) = \frac{\alpha g}{\omega^5} \exp\left[-\beta\left(\frac{g}{U\omega}\right)^4\right] \quad (1)$$

其中无因次常数 $\alpha = 8.10 \times 10^{-3}$ ,  $\beta = 0.74$ ;  $g$ 为重力加速度;  $U$ 为海上19.5m高处的风速。式中的 $A^2(\omega)$ 表示PM谱属于Picrsion模型中的谱, 它和Longuet-Higgins模型中的单侧谱 $S(\omega)$ 的关系为:

$$A^2(\omega) = 2S(\omega) \quad (2)$$

文献[2]提出的风浪谱为JONSWAP谱, 表达形式为:

$$A^2(\omega) = \frac{\alpha^2 g}{\omega^5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^4\right] \nu \exp\left[-\frac{(\omega - \omega_0)^2}{2\sigma^2 \omega_0^2}\right] \quad (3)$$

其中 $g$ 为重力加速度;  $\omega_0$ 为谱峰频率;  $\nu$ 为谱峰升高因子, 观测值为1.5~6.0, 平均值为3.3;  $\sigma$ 是峰形参量, 其值为:

$$\begin{aligned} \sigma &= 0.07 & (\omega \leq \omega_0) \\ \sigma &= 0.09 & (\omega > \omega_0) \end{aligned} \quad (4)$$

式中 $\omega$ 是无因次常数, 是无因次风区的函数。

文献[3]提出了苏联的Стрекалов-Крылов谱:

$$S(\omega) = 0.0795 \bar{H}^2 T \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-7} \exp\left[-0.785\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-4}\right] \quad (5)$$

$$\bar{\omega} = \frac{2\pi}{\bar{T}} \quad (6)$$

式中  $\bar{H}$  为平均波高,  $\bar{T}$  为平均周期,  $\bar{\omega}$  为平均频率。此谱中的平均周期是以谱矩定义的, 即

$$\bar{T} = 2\pi \left( \frac{m_0}{m_2} \right)^{1/2} \quad (7)$$

$m_0$ 、 $m_2$  分别为谱的零阶矩和二阶矩。

$$m_0 = \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega \quad (8)$$

$$m_2 = \int_0^{\infty} \omega^2 S(\omega) d\omega \quad (9)$$

文献[4]提出的光易谱形式为:

$$S(f) = 0.258 H_{1/3}^2 T_{1/3} (T_{1/3} f)^{-5} \exp[-1.03(T_{1/3} f)^{-4}] \quad (10)$$

式中  $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$  分别为有效波高和有效周期。

文献[5]提出了在船舶工程上使用很广的 Darbyshier 谱:

$$S(\omega) = 0.214 H_{1/3}^2 \exp\left\{-\left[\frac{(\omega - \omega_0)^2}{0.065(\omega - \omega_0 + 0.26)}\right]^{1/2}\right\} \quad (11)$$

$$-0.26 < (\omega - \omega_0) < 1.65$$

在此范围外,  $S(\omega) = 0$ 。式中  $\omega_0$  为谱峰频率,  $H_{1/3}$  为有效浪高, 且有如下关系:

$$\omega_0 = 3.15\bar{T} + 8.98\bar{T}^{-2}$$

$$\omega_0^{-1} = 0.10H_{1/3} + 1.35$$

$$\bar{T} = 0.28H_{1/3} + 7.1$$

$$H_{1/3} = 0.485\bar{U} - 1.77$$

(12)

式中  $\bar{T}$  为平均周期,  $\bar{U}$  为平均风速。

文献[6]应用谱矩、谱尖度, 从理论上得到一个能描述风浪成长和充分成长的海浪谱, 已被指定为我国的规范用谱。形式如下:

$$S(\omega) = \frac{m_0 p}{\omega_0} \exp\left\{-95 \left[ \ln \frac{p(5.813 - 5.137\eta)}{(6.77 - 1.088p + 0.013p^2)(1.307 - 1.426\eta)} \right] \left( \frac{\omega}{\omega_0} - 1 \right)^{1.275} \right\}$$

$$0 \leq \omega \leq 1.15\omega_0$$

$$S(\omega) = \frac{m_0 (6.77 - 1.088p + 0.013p^2)(1.307 - 1.426\eta)}{\omega_0 (5.813 - 5.137\eta)} \left( \frac{1.15\omega_0}{\omega} \right)^n \quad (13)$$

$$\omega \geq 1.15\omega_0$$

谱峰频率:

$$\omega_0 = 5.72/T_{1/3} \quad (14)$$

$p$  是谱尖度, 定义为:

$$p = \frac{S(\omega_0)\omega_0}{m_0} = 96H_{1/3}^{1.35}/T_{1/3}^2 \quad (15)$$

依照规范可在 1.27~6.7 之间取值。 $m_0$  为零阶矩。 $\eta$  表示深度参量

$$\eta = 0.626H_{1/3}/d \quad 0 < \eta < 0.5 \quad (16)$$

式中

$$m = 2(2 - \eta) \quad (17)$$

## 二、各谱的无因次形式及其比较

以上所列的六种海浪谱包含参量不同、所具形式各异。为便于比较, 我们将它们化成统一的无因次形式。本文取无因次谱为,  $\frac{S(\omega)\omega_0}{m_0}$ , 无因次频率为  $\frac{\omega}{\omega_0}$ 。这里  $\omega_0$  为海浪谱的谱峰频率,  $m_0$  为零阶矩。由海浪谱的性质, 单侧谱与有效波高有如下关系:

$$m_0 = H_{1/3}^2/16, \quad (18)$$

对于每一种给定形式的谱, 其谱峰频率与其他波要素之间的关系, 或者已在文献中单独给出, 或者在表达式中隐含, 须利用

$$\left. \frac{\partial S(\omega)}{\partial \omega} \right|_{\omega = \omega_0} = 0 \quad (19)$$

得到。由式 (19), 得式 (1) 的谱峰频率,

$$\omega_0 = 0.887 \frac{g}{U} \quad (20)$$

再由式 (8) 对式 (1) 自  $0 \rightarrow \infty$  积分, 得

$$m_0 = 1.426 \times 10^{-5} U^4 \quad (21)$$

将式 (20)、(21) 代入式 (1), 移行可得 PM 谱的无因次式:

$$\frac{S(\omega)\omega_0}{m_0} = 5.0 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-5} \exp \left[ -1.25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \quad (22)$$

同样, 利用式 (8), 可使式 (3) 转化成无因次的 JONSWAP 谱:

$$\frac{S(\omega)\omega_0}{m_0} = 5.0 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-5} \exp \left[ -1.25 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \cdot \frac{1}{Ev} \cdot v \exp \left[ -\frac{\left( \frac{\omega}{\omega_0} - 1 \right)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (23)$$

其中

$$E(v) = \int_0^{\infty} 5.0 t^{-5} \exp(-1.25 t^{-4}) v \exp \left[ -\frac{(t-1)^2}{2\sigma^2} \right] dt \quad (24)$$

式 (5) 以平均波高  $\bar{H}$  和平均周期  $\bar{T}$  为参量, 根据式 (19), 谱峰频率:

$$\omega_0 = 0.814 \bar{\omega} = 5.122/\bar{T} \quad (25)$$

又由海浪谱的性质:

$$\bar{H} = (2\pi m_0)^{1/2} \quad (26)$$

得无因次 Стрeкалов-Крылов 谱:

$$\frac{S(\omega)\omega_0}{m_0} = 10.466 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-7} \exp \left[ -1.75 \left( \frac{\omega}{\omega_0} \right)^{-4} \right] \quad (27)$$

光谱中包含的频率是  $f$ , 不是圆频率  $\omega$ , 为同一起见, 首先以

$$S(f) = 2\pi S(\omega) \quad (28)$$

进行转化。又由式(19)得谱峰频率为:

$$\omega_0 = 5.988/T_{1/3} \quad (29)$$

所以得光易谱的无因次形式为:

$$\frac{S(\omega)\omega_0}{m_0} = 5.0 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-5} \cdot \exp \left[ -1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-4} \right] \quad (30)$$

Darbyshire谱的无因次形式由式(11)及(18)得:

$$\frac{S(\omega)\omega_0}{m_0} = 3.42\omega_0 \exp \left\{ - \left[ \frac{\omega_0^2 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1\right)^2}{0.065 \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1\right) + 0.0169} \right]^{1/2} \right\} \quad (31)$$

$$-\frac{0.26}{\omega_0} < \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1\right) < \frac{1.65}{\omega_0}$$

其中 $\omega_0$ 用文献[5]给出的形式,即式(12)。

文氏谱的无因次形式可由式(13)直接得到:

$$\frac{S(\omega)\omega_0}{m_0} = p \exp \left\{ -95 \left[ \ln \frac{p \cdot (5.813 - 5.137\eta)}{(6.77 - 1.088p + 0.013p^2)(1.307 - 1.426\eta)} \right] \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1\right)^{1.2/5} \right\} \quad 0 \leq \frac{\omega}{\omega_0} \leq 1.15 \quad (32)$$

$$\frac{S(\omega)\omega_0}{m_0} = \frac{(6.77 - 1.088p + 0.013p^2)(1.307 - 1.426\eta)}{5.813 - 5.137\eta} \left[ 1.15 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-1} \right]^m$$

$$\frac{\omega}{\omega_0} \geq 1.15$$

通过以上处理,可以发现,在形式上有着很大差别的PM谱[式(1)]和光易谱[式(10)],经过无因次处理以后,却是完全相同的[式(22),式(30)],而且在式(23)、(24)中,当 $\nu = 1$ 时有:

$$E(\nu) = 1 \quad (33)$$

$$\frac{S(\omega)\omega_0}{m_0} = 5.0 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-5} \exp \left[ -1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^{-4} \right] \quad \nu = 1 \quad (34)$$

所以它们又可归结到 $\nu = 1$ 时的无因次JONSWAP谱形式。Стрекалов-Крылов谱的无因次[式(27)]与PM谱和光易谱[式(22)]相比,在无因次频率的方次上差2次,反映到图形上,随着无因次频率从小到大,它在低频部分的上升和在高频部分的下降都比PM谱和光易谱迅速,但从总体形状看,它们仍很接近(图1a)。Darbyshire谱、JONSWAP谱和文氏谱的无因次形式与海浪状态有关,依 $H_{1/3}$ 和 $T_{1/3}$ 的变化而变化(图1, b, c, d),其中的JONSWAP谱和文氏谱受升高因子 $\nu$ 、谱尖度 $p$ (均与 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 有关)的影响更为显著,它们的形状受 $\nu$ 和 $p$ 的控制,并且随着 $\nu$ 和 $p$ 的增大同时表现出谱峰升高、频率范围变窄的变化趋势。事实上,依式(15)所定义的谱尖度 $p$ 和升高因子 $\nu$ 之间是一一对应的,有:

$$p = 5.0 \cdot \frac{1}{E(\nu)} \left( \cdot \nu \right) \quad (35)$$

的关系。其中 $E(\nu)$ 为式(24)所示。对应于 $\nu$ 自6~1变化, $p$ 值由4.3减小到1.4(图2)。

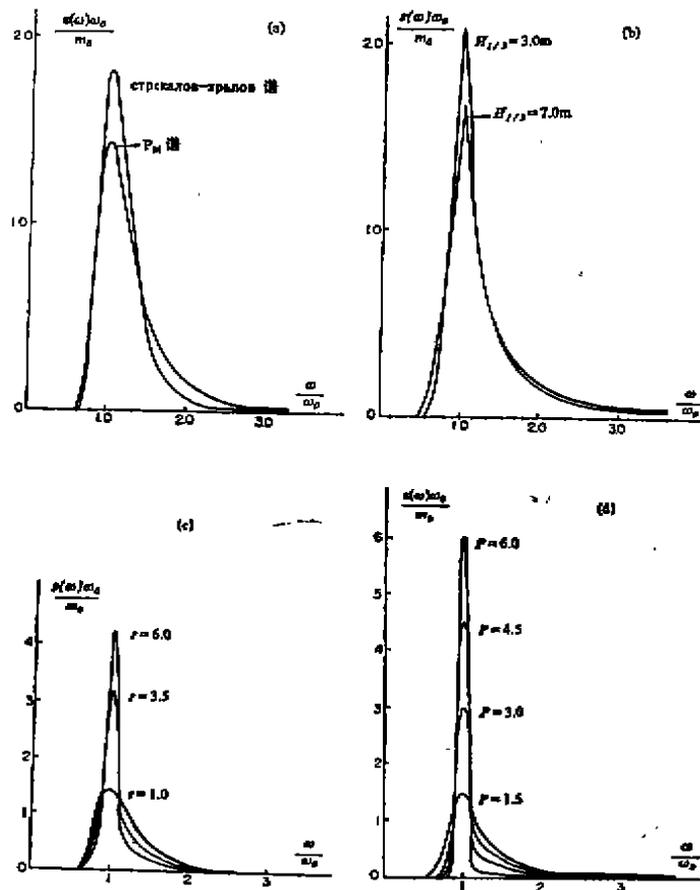


图 1 几种海浪谱的无量纲形式 (a) PM谱、光易谱和 Стрелков-Крылов 谱; (b) Dbyshire谱; (c) JONSWAP谱; (d) 文氏谱

### 三、参量化的海浪谱形式及其比较

在海洋工程及其他实际应用中，人们关心的是对于海上已经出现的海浪现象，用哪一种谱来描述才是合理的。为此，我们需要考察在相同海浪状态下各谱谱形的特点。由上面各谱的无量纲形式，可以很容易地得到以有效波高、有效周期为参量的海浪谱。

由式 (22)、(18)、(20)、(21)，可把PM谱化为：

$$S(\omega) = 0.387\omega^{-5} \exp(-1.55H_{1/3}^2 \omega^{-4}) \quad (36)$$

JONSWAP谱和Стрелков-Крылов谱的谱峰频率与有效周期的关系，可利用舍田等

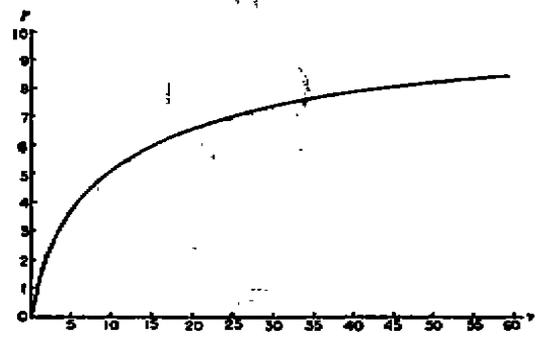


图 2  $p$ 与 $v$ 的关系

人获得的经验关系式:

$$T_{1/3} = 0.937 T_{max} \quad (37)$$

得:

$$\omega_0 = 5.887/T_{1/3} \quad (38)$$

$T_{max}$ 为谱峰频率对应的周期。由式(23)、(18)及式(38)可得JONSWAP谱:

$$S(\omega) = 3.75 \times 10^2 H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} \omega^{-5} \exp(-1.50 \times 10^3 T_{1/3}^{-4} \omega^{-4}) \cdot \frac{1}{E(\nu)} \cdot \nu \exp\left[-\frac{(0.170 T_{1/3} \omega - 1)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (39)$$

由式(27)、(18)及式(38),得Стрекалов-Крылов谱为:

$$S(\omega) = 2.72 \times 10^4 H_{1/3}^2 \cdot T_{1/3}^{-4} \omega^{-7} \exp[-2.10 \times 10^3 T_{1/3}^{-4} \omega^{-4}] \quad (40)$$

光易谱、Darbyshire谱和文氏谱的初始形式就是以有效波高、有效周期或由它们所表达的参数为参量来表示的,故由式(10)及式(28),可直接得到光易谱:

$$S(\omega) = 4.02 \times 10^2 \cdot H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-4} \omega^{-5} \exp(-1.61 \times 10^3 T_{1/3}^{-4} \omega^{-4}) \quad (41)$$

由式(11)及式(12)得Darbyshire谱的表达式:

$$S(\omega) = 0.214 H_{1/3}^2 \exp\left\{-\left[\frac{[\omega - (0.10 H_{1/3} + 1.35)^{-1}]^2}{0.065[\omega - (0.10 + 1.35)^{-1}] + 0.0169}\right]^{1/2}\right\} \quad (42)$$

文氏谱由式(13)得到:

$$S(\omega) = 1.05 H_{1/3}^{3.15} T_{1/3}^{-1.7} \cdot \exp\left\{-95 \cdot \left[\ln \frac{96 H_{1/3}^{3.3} T_{1/3}^{-2.7} (5.813 - 3.216 H_{1/3} d^{-1})}{(6.77 - 104.45 H_{1/3}^{1.3} T_{1/3}^{-2.7} + 119.8 H_{1/3}^{2.7} T_{1/3}^{-5.4})(1.307 - 0.893 H_{1/3} d^{-1})}\right] \cdot (0.175 T_{1/3} \omega - 1)^{1.2/5}\right\} \quad (43)$$

$$\omega \leq 6.578 T_{1/3}^{-1}$$

$$S(\omega) = H_{1/3}^2 T_{1/3}^{-1} \cdot \frac{(6.77 - 104.45 H_{1/3}^{1.3} T_{1/3}^{-2.7} + 119.81 H_{1/3}^{2.7} T_{1/3}^{-5.4})(1.307 - 0.893 H_{1/3} d^{-1})}{532.01 - 294.33 H_{1/3} d^{-1}} \cdot \left(\frac{6.58}{\omega T_{1/3}}\right)^{\pi} \quad \omega \geq 6.578 T_{1/3}^{-1}$$

依式(36)、式(39)~(43),通过控制波浪要素:

$$\left. \begin{aligned} H_{1/3} &= 7.0\text{m}, T_{1/3} = 9.5\text{s}, \\ H_{1/3} &= 5.0\text{m}, T_{1/3} = 8.0\text{s}, \\ H_{1/3} &= 3.0\text{m}, T_{1/3} = 6.0\text{s}_2 \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

我们分别描绘出上述六种谱各自的谱形曲线(其中JONSWAP谱中 $\nu = 3.3$ , $\sigma$ 均取0.08,文氏谱中水深 $d = 15\text{m}$ )如图3。

显然,JONSWAP谱和Стрекалов-Крылов谱的谱峰频率因式(38)而重合,但由上面得到的结果表明,如果波浪状况相同,波高周期相等,它们和文氏谱、光易谱的谱峰频率

是非常接近的。PM 谱是由充分成长的观测谱拟合得到的, 它代表充分成长的海浪, 因而其谱峰频率相对较低。在工程上人们通常很重视海浪谱谱峰频率的位置, 也即海面上能量显著的组成波的频率范围, 在实际应用中, 我们可把参量化的 PM 谱改成,

$$S(\omega) = 0.387(\omega + 5.887T_{1/3}^{-1/3} - 1.055H_{1/3}^{1/2})^{-5} \cdot \exp[-1.55H_{1/3}^{2/3}(\omega + 5.887T_{1/3}^{-1/3} - 1.055H_{1/3}^{1/2})^{-4}], \quad (45)$$

等于对 PM 谱的图形作平移:

$$\omega' = \omega + \omega_0' - \omega_0$$

( $\omega_0'$  为 JONSWAP 谱的谱峰频率,  $\omega_0$  为原 PM 谱的谱峰频率) 使得其谱峰频率与 JONSWAP 谱和 Стрекалов-Крылов 谱一致, 与光易谱和文氏谱靠近。Darbyshire 谱的谱峰频率介于原 PM 谱和其它四种谱的谱峰频率之间, 略偏向于前者, 在应用中可作类似的平移。

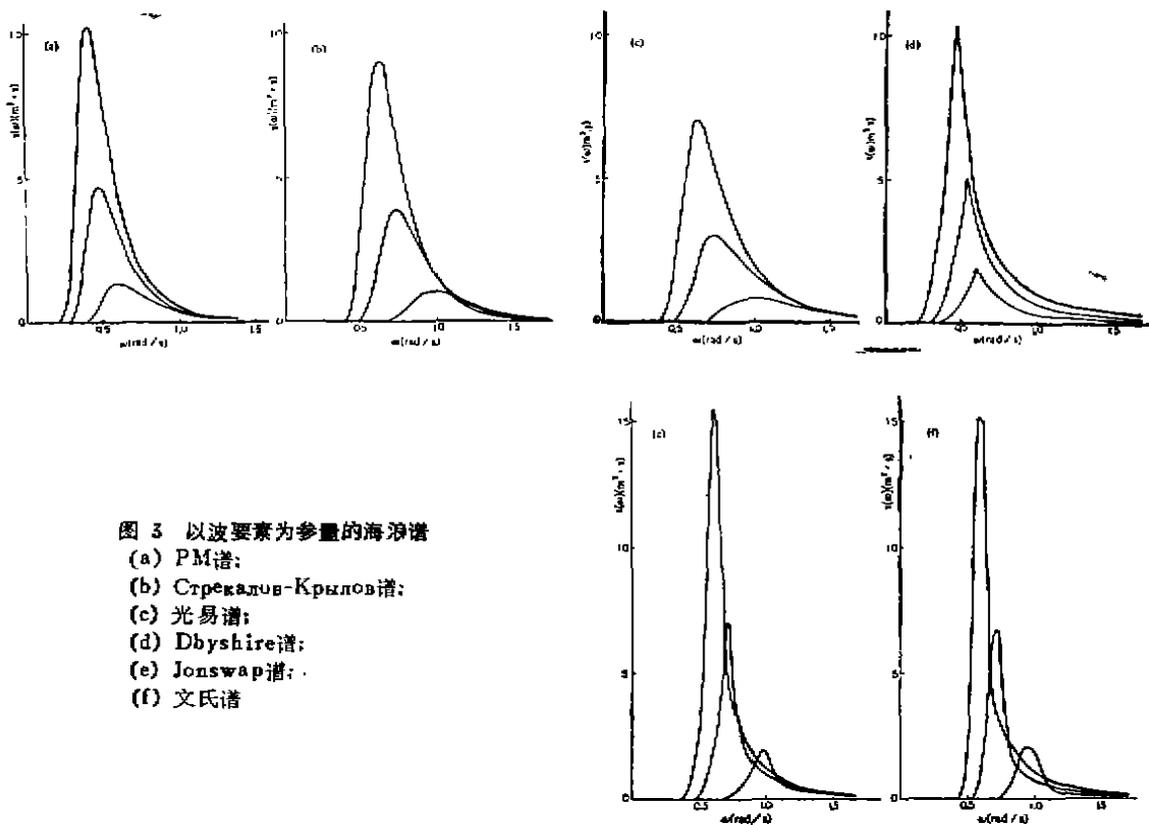


图 3 以波要素为参量的海浪谱

- (a) PM 谱;
- (b) Стрекалов-Крылов 谱;
- (c) 光易谱;
- (d) Darbyshire 谱;
- (e) JONSWAP 谱;
- (f) 文氏谱

从得到的图形来看, 很明显, 当谱尖度  $p$  和升高因子  $\nu$  适中时, JONSWAP 谱和文氏谱是窄谱, 它们所代表的组成波能量集中于谱峰频率  $\omega_0$  附近的较窄频率段内。而其它四种谱能量随频率的分布相对分散。从波-波非线性作用来看, JONSWAP 谱和文氏谱不论以何种形式成长, 在成长过程中均可看出有明显的超射现象发生, 即高频组成波开始时随时间成长, 成长至最大值后, 由于波浪破碎等原因, 能量开始下降, 最后处于平衡状态。Стрека-

лов-Крылов谱在其成长过程中,在频率较高部分有能量亏损。PM谱、光易谱及船舶工程用的Darbyshire谱,在有些情况下,在以不同风速成长的过程中,波浪从风获得能量,通过波-波相互作用,各频段均处于成长状态,使得高频组成波在成长过程中未能达到“超射”。在高频部分,PM谱、JONSWAP谱和光易谱的能量分布具有相同的平衡域,它们都遵循 $\omega^{-6}$ 规律,而Стрекацов-Крылов谱在高频部分服从 $\omega^{-7}$ 规律。文氏谱在 $\omega \geq 1.15\omega_0$ 范围内的能量分布与深度参量 $\eta$ 有关。在深水条件下, $\eta = 0$ ,分布规律依从 $\omega^{-4}$ ;当波浪进入浅水区且濒于破碎时, $\eta = 0.5$ ,高频分布为 $\omega^{-3}$ 规律(图4)。

这里我们对波高一定的波浪状态 $p$ 值不同的文氏谱进行比较分析。在图3已经看到,当谱尖度适中时,文氏谱与升高因子 $\nu = 3.3$ 左右的JONSWAP谱相似。图5是4组在不同谱尖度下、有效波高分别为 $H_{1/3} = 7.0\text{m}, 5.0\text{m}, 3.0\text{m}$ 时文氏谱的形状曲线,从中看出:谱尖度对文氏谱的谱形有着很大的影响,它的量值大小反映出海浪处于怎样的成长状态。对于成长至相同尺度(如 $H_{1/3}$ )的海浪,当 $p$ 较大时,文氏谱的谱形较窄,谱峰频率较高,说明风浪是在强风作用下在短时间内迅速成长起来的,尚处于初始成长状态,如图(b)所示;当 $p$ 较小时,文氏谱的谱形较宽,谱峰频率相对较低,说明风浪的成长已有相当长的时间,在当时的天气状况下趋于充分成长状态,如图5(d)所示;当 $p = 1.5$ 左右时,文氏谱与PM谱相似,此时风浪处于充分成长状态。由于 $p$ 和 $\nu$ 之间的对应关系,文氏谱的上述变化与JONSWAP谱在升高因子 $\nu$ 由大到小递减时呈现相同的趋势,这与文献[6]说明的不同 $p$ 值表示风浪成长的不同状态一致。

从图5还可看到,如果依文献[6]取 $p = 1.538$ 时表示海浪处于充分成长状态,并把此时海浪谱中频率大于谱峰 $\omega_0$ 的那部分定义为高频部分,那么,对于成长至相同尺度(如 $H_{1/3}$ )的海浪,谱尖度越大,文氏谱于高频的组成波在初始时的成长就越迅速,谱在成长过程中体现出的超射现象就越显著。这说明,在强风作用下风浪迅速成长时,波-波相互作用时间短,高频组成波自风直接获得的能量远大于波-波相互作用导致的能量向低频组成波的转移,它能成长到较大的谱值;当波面陡至一定程度,又会发生波峰破碎,损失大量的能量,达到平衡,因此超射现象非常突出。当 $p$ 较小时,在风作用下,风浪缓慢成长,波-波相互作用时间较长,高频组成波自风获得的能量,通过波与波之间的能量转移,有较充分的时间传递给低频,使得高频组成波成长的最大值接近平衡值左右,超射现象不很明显。当 $p$ 接近于1.5时,风浪随不同风速的成长是一个极为缓慢的过程,对于高频组成波自风获得的能量,波-波之间非线性作用具有足够的时间进行转移,所以在成长过程中不再有超射现象出现[图5(d)]。这一点可对图3(a)、图3(c)所示的PM谱、Darbyshire谱的成长过程作出相同的解释。

其次,在文氏谱的表达式中包含有深度参量 $\eta$ 。我们经过分析认为,虽然地形会对风浪的成长产生影响,但对已经给定了波要素的文氏谱,水深产生的底摩擦效应对谱形的总体部分影响不是很大。它对文氏谱于高频部分的能量分布起一定的调节作用。

另外还有两点需要说明:

①文献[6]在提出文氏谱的形式时,所考虑的 $p$ 值大体在1.5~5.5范围内,而在规范中, $p$ 可在1.27~6.7之间取值。据本文的计算结果,当 $p$ 跨越前者时,以波要素为参量的文氏谱的零阶距 $m_0$ 与理论值 $m_0 = H_{1/3}^2/16$ 之间存在较大的偏差,而且在 $p$ 接近于后者的两端时,这种偏差还相当可观。

②文献[6]采用七组不超过3.5m 波高的实测资料, 对文氏谱[式(13)]的合理性进行了检验。得到的结果表明, 在所取波高范围内, 除了波高最小的一组 ( $H_{1,3} = 0.5\text{m}$ ) 外, 文氏谱和实际观测的谱符合得很好。但在描述工程上较关心的波高更大的海浪时, 文氏谱的精确度如何, 尚没有较满意的验证, 有待作进一步的考察。依我们所作的工作看出, 在大波高、大的参量 $p$ 时, 文氏谱可能会有较大的误差(接近于10%)。这对工程应用或许有一定意义, 在依规范进行工程设计及施工时应予以适当的重视。

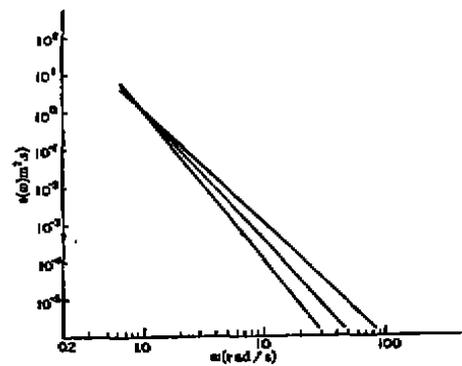


图4 文氏谱的平衡域

#### 四、结论及建议

通过以上分析、比较, 我们认为:

1. 在海洋工程及其他应用中, 对于风浪成长的各种状态, 选取依文氏理论谱改进的参量化谱 ( $p$ 从1.5~5.5) 来描述是有代表性的。它既得到JONSWAP谱的佐证, 同时在一定范围内又与来自我国多个海区的观测资料符合良好。它的谱形较窄, 代表组成波能量在某一频

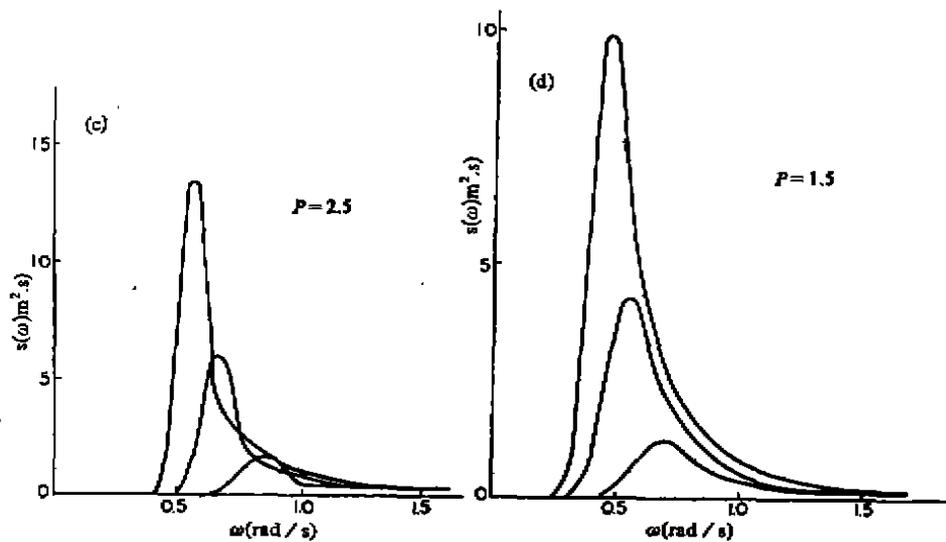
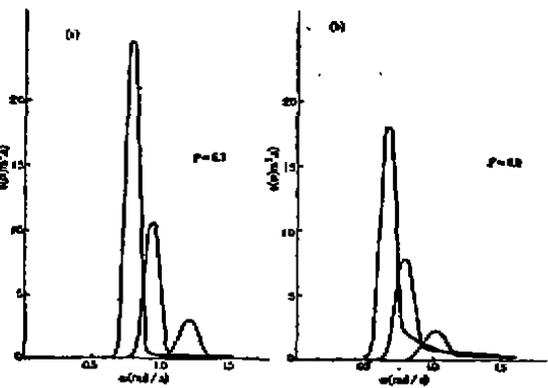


图5 不同谱尖度的文氏谱

率范围内的集中分布。从它的成长过程中,又可反映出波-波非线性作用于高频的超射现象。这些都和海上大多数情况相符。它所包含的基本参量比JONSWAP谱少,却能同时体现水深的影响,这在应用中显得更为方便和有效。文氏谱还采用了一个能用波高和周期表示的谱尖度 $p$ 作为参量,用来反映海浪的成长状态。 $p$ 自大到小的变化对应着海浪由初始成长状态至充分成长状态的全过程。因此,它的引入保证了文氏谱具有广泛的适用性。

2.对于风浪和涌浪混合的情形,我们仍可用文氏谱进行描述。当海上出现混合浪时,实测得到的海浪谱往往是有两个谱峰的。目前,国际上尚未有一个特别有效的海浪谱能对此进行拟合。在应用中,我们可以通过调整谱尖度和对谱形实施“平移”等手段,仍旧采用文氏谱来描述这种在实际海区经常出现的海浪现象。

在选取文氏谱作为工程设计和海浪研究的谱形时,尚须考虑谱尖度 $p$ 的取值范围。当所取 $p$ 值偏大或偏小、特别是波高又很大时,我们希望大家能对文氏改进谱自身带来的误差引起适当的注意。

### 参 考 文 献

- (1) Pierson, W.J., Jr., and Moskowitz, L., 1964, A proposed spectral form for fully developed wind seas based on the similarity theory of S. A. Kitaigorodskii, *J. Geophys. Res.*, 69, 24, 5181~5190.
- (2) Hasseimann, K. et al., 1973, Measurements of wind wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP), *Erganzungsheft Zeit. Deut. Hydr. Zeit.*, 12, 95.
- (3) Крылов, Ю. М., 1966, Спектральные методы исследования и расчета ветровых волн, *Ленинград* 256с.
- (4) 岩垣雄一, 1979, 海岸工学, 共立出版株式会社.
- (5) Scott, J. R., 1965, A sea spectrum for model test and long term ship prediction, *J. of ship Res.*, 145~152.
- (6) 文圣常等, 1989, Improved form of wind wave frequency spectrum, *Acta Oceanologica Sinica*, 8, 4, 467~483.

## PARAMETERIZATION FORMS OF SEVERAL OCEAN WAVE SPECTRA IN COMMON USE WITH COMPARATIVE ANALYSIS

Liu Baiqiao, Hou Ruozhou and Jiang Decai  
(Ocean University of Qingdao, Qingdao)

### ABSTRACT

In this paper, the shape-structures and characteristics of several ocean wave spectra in common use worldwide are compared with each other in the light of nondimensional forms. The relevant ocean wave spectral forms are presented with significant wave height and significant wave period as parameters. The effectiveness of the forms to the offshore situation is discussed, with an emphasis put on the validity scope of the practical form of Wen's Theory.