

南海台风影响下的海浪特征 及其预报方法的探讨*

陈奇礼

(国家海洋局南海分局)

提 要

用在南海产生、发展的台风的风场资料和海浪资料,总结出处于不同发展阶段的南海台风影响下海面波浪的分布特征和预报关系式。在比较了南海台风与西北太平洋台风形成的波浪分布的差别后,探讨了造成这些差别的原因。最后,对所得的预报关系式作了验证,预报值与观测值比较符合。

台风影响下的海浪分布,曾为宇野木早苗、井岛武士、Bretschneider等人根据实测资料分析研究过,并提出了各种预报模式。但是,这些模式都是从已经发展成熟的西北太平洋台风影响海区内的海浪观测资料得出的。验证的结果表明:使用这些模式来预报我国近海的台风浪时,由于台风发展程度和海区地理环境的差异,就不免出现较大误差。

南海台风是在南海低纬度海区上产生、发展起来的。由于南海的面积较大洋小得多,四周又有岛屿和大陆,南海台风大多未达到成熟阶段就已登陆减弱消失,它的气压场和风场结构与发展成熟后的西北太平洋台风不同,因而它所生成的海浪的分布与前人所提出的西北太平洋台风影响下的海浪分布模式有明显差别。S. Bread 等就曾指出:在台风强度相同的情况下,南海台风区域内海面上的波浪要比西北太平洋台风区内的海浪小⁽¹⁾。因此,必须从实际情况出发,具体分析南海台风区海浪分布状况,以得出适用的预报模式和预报方法。

以下根据1964—1987年间共89个南海台风的台风浪观测资料(其中大部分是目测的,但也有相当数量的仪器观测记录),总结出处于不同发展阶段的台风浪分布规律。在分析时,先列出每次台风影响下各波浪观测点相对于台风中心的距离 r 和方位角 α (α 为台风移向与 r 间的夹角,顺时针量度),再结合台风发展阶段的气压场、风场,对波浪场进行分析。结果发现:不但南海台风影响下的海浪分布与西北太平洋台风的不同,而且处于不同发展阶段和移动状态下的台风,其海面上波浪的分布也是各有特点的。

受资料所限,本文不讨论台风登陆后的台风浪分布以及浅水对台风浪的影响。

本文于1988年1月20日收到。

* 本文承谢世峰副研究员提出宝贵意见,谨致谢意。

一、初生阶段的台风浪分布

初生阶段是指发展成台风的扰动从被发现时起到成为台风止的这一段时期,其最大风力尚未达到12级。由于在南海台风的初生期,热带辐合带的两侧或一侧的低空或海面上常有明显的偏东北风和偏西南风形成的气旋性切变,从而影响了海面风场和波浪场的结构。根据1959—1979年南海台风产生后12h内的风和波浪观测资料,绘出其风和波浪的分布情况如图1。可见这时海上的大浪区域尚未连成一片,而只有几块互不连接的、

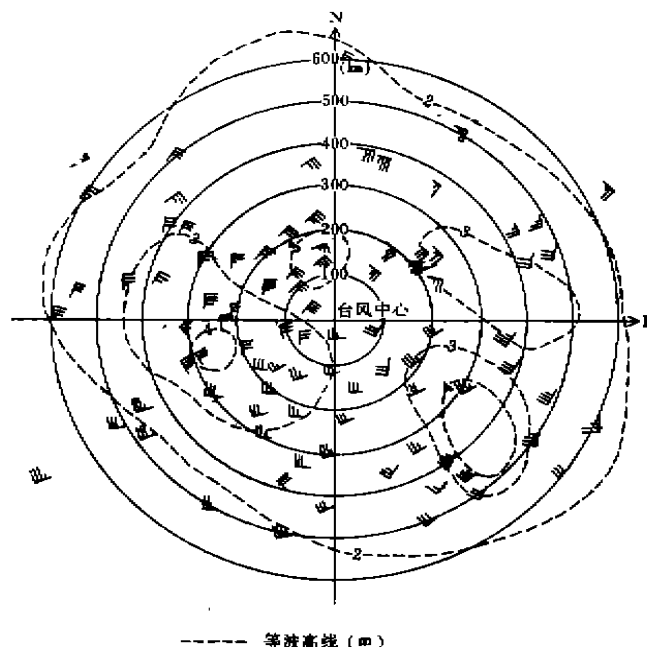


图1 南海台风初生阶段的风和波浪分布

主要位于西南风和东北风的下风方向的大浪区块。这时,台风还没有形成围绕中心的大风圈,即还未形成旋转性的大风或“旋转半径”。在这一阶段,大风区内的风向比较一致,海浪的大小分布与海面风的风力、风时、风区相适应,且浪的周期较小、波长较短,除了风速小于8 m/s的海区外,波龄 c/U (c 为波速, U 为风速)均在0.56—1.26之间,但波陡 H/L (H 为波高、 L 为波长)较大。在0.03—0.10之间,故海浪还属于风浪性质。

由于在台风的初生阶段或热带低压阶段,所产生的海浪主要是风浪,故用实测资料整理出波高 H 、波速 c 与风速 U 、风区 x 的关系为:

$$gH/U^2 = 0.26 \{1 - [1 + 0.005(gx/U^2)^{\frac{1}{2}}]^{-2}\} \quad (1)$$

$$c/U = 0.048(gx/U^2)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

式中 H , x 的单位为m, c , U 的为m/s, $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 。这时,附近海上的涌浪并非从台风中心传出,而是从台风边缘大风区内传去的。所以当海上出现在当时尚未了解其来源的大浪时,往往可作为有台风在附近产生的指标,用以弥补海上气象资料不足的缺陷。由于南海台风的发展初期,其风场变化较大,故台风区内的波浪场是不规则的和经常变化的。

二、发展成io熟阶段的台风浪

南海台风在发展过程中, 风力逐渐增大, 空心台风的眼区逐渐缩小, 成为实心台风; 台风中心的大浪区随着风力增大而迅速发展扩大, 到了一定阶段后, 台风风场变化不大, 波浪场也就渐渐趋向定常状态。此后, 如果台风的风场或运动状态(移向、移速)没有明显的变化, 台风区内的波浪分布也将没有大的变化。

1. 静止台风内的风速和波浪分布

根据中国科学院南海海洋研究所气象组的验证^[1], Meyers 和藤田的静止台风气压场模式均可用于计算南海台风内的风速分布, 藤田的公式为

$$P = P_{\infty} - \frac{P_{\infty} - P_0}{\sqrt{1 - (r/r_0)^2}} \quad (3)$$

r 为观测点至台风中心的距离, P 为 r 处的气压, P_0 为台风中心气压, P_{∞} 为台风外围气压, r_0 是一个台风常数。

令 $f = 2\omega \sin\phi$, ρ 为空气密度。如不计摩擦力和加速度, 则 r 处的梯度风为:

$$V_{r,z} = -\frac{fr}{2} + \left[\left(\frac{fr}{2} \right)^2 + \frac{(P_{\infty} - P)r^2}{\rho(r_0^2 - r^2)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

根据上海台风协作组的研究结果^[2], r_0 可由 r , P_{∞} , P_0 和 P 计算。而由文献[1], 在南海, 海面风 U , 可由 $V_{r,z}$ 计算:

$$U_r = 5.9 + 0.5V_{r,z} \quad (5)$$

由(4), (5)式可根据台风气压场计算海面风。

在台风影响的海面上, 海浪极其复杂, 但它主要由两种波列叠加而成: 一列是从台风边缘产生后顺风向向台风中心移动的, 另一列是从台风中心最大风速半径附近的海面向外传播的。前一波列在同向风的影响下成长, 但由于台风风场是旋转风场, 海面上同时存在着向不同方向传播的波浪; 在传播过程中与风向相同的波浪逐渐成长变大, 而传入风向与波向差别较大的海区的波浪则停止发展, 甚至逐渐消衰。由于在台风区内(眼壁附近除外)相对于台风中心移动的气流流场是螺旋形的(图2), 波浪场中的主波向也不断随风向变化, 所以自台风外缘向中心传播的主波(Kawai称之为波包^[3])的移动路径也是螺旋形的, 在静止台风内, 它是对数螺旋线。

由于这一波列属于风浪性质, 其波高、周期与风速的关系符合(1), (2)两式, 且因波列主波随风向传播, 在较短的距离内, 风速 U 可视为常数, 故主波波高随距离的增长率为:

$$dH/dx = 6.5 \times 10^{-6} (1+W)^{-1} W^{-1} \quad (6)$$

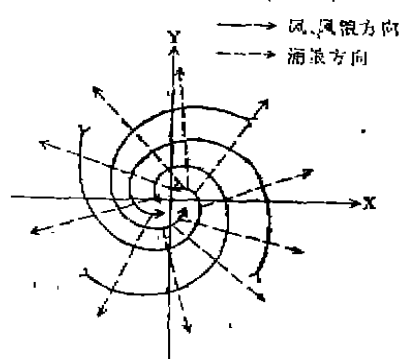


图2 台风内风、风浪, 涌浪相对于台风中心的主要方向

式中 $W = \left[\frac{0.26}{0.26 - (gH/U^2)} \right]^{\frac{1}{2}} - 1$ 。根据对数螺线的性质, 波浪在单位时间移动的距离

离 $dx = ds = (1 + a^2)^{\frac{1}{2}} r d\theta'$, a 为由风场测定的常数, θ' 为极角。按 (6) 式可计算出离台风中心 r 和 θ' 处第一种波列的波高, 但数值积分时, 因风速在较长的距离上是变化的, 故 U 又应视为 x 的函数。由此所计算的波高以 H_{r1} 代表。

对从台风中心附近最大风速区内向外传播的第二种波列, 其传播路径如图 2 中的虚线所示。由于最大风速区围绕台风中心成环形, 波浪向外传播的方向与风向所成角度接近直角, 故可认为这一波列属涌浪性质。

按照 Bretschneider 的研究结果, 台风最大风速区内的有效波高为^[5]

$$H_R = k(R\Delta P)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

为使此关系式适用于南海, 用南海台风浪的观测资料, 根据文献[2]计算最大风速半径 $R \approx \sqrt{2}r_0$ 和最大风速 $U_R = 5.7(\Delta P)^{\frac{1}{2}}$ 后, 修改 Bretschneider 经验公式中的 k 值得 (R 以 km 计, U_R 以 m/s, 计):

$$k = 0.188 + 255.251(Rf/U_R) + 188282(Rf/U_R)^2 \quad (8)$$

按 (7), (8) 式可计算出南海台风中的最大有效波高 H_R (单位: m), 但此波列在离开最大风速区后, 沿最大风速区的切线方向向外传播, 即开始衰减为涌浪。根据观测资料, 其波高衰减率可依下式计算:

$$H_{r2}/H_R = 0.7893(R/r)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

式中 H_{r2} 为离台风中心 r km 处的涌浪波高 (单位: m)。分别按 (6), (9) 式求出在离台风中心 r 处的第一、二两种波列的波高 H_{r1} 和 H_{r2} 后, 再按下式计算 r 处海面的混合浪波高 H_r ,

$$H_r = [(H_{r1})^2 + (H_{r2})^2]^{\frac{1}{2}}$$

台风区中的波浪周期也是主要由上述两种波列的周期叠加而成。自台风外缘沿风向向中心传播的第一种波列的周期可根据 (1), (2) 两式解出:

$$c/U = gT_{r1}/2\pi U = 0.048(gx/U^2)^{\frac{1}{2}}, \quad x = (UW/0.005)^2/g$$

$$\therefore T_{r1} = 10.3285(U/g)W^{\frac{2}{3}} \quad (11)$$

为求第二种波列的周期, 首先需计算与台风区内最大有效波高 H_R 对应的周期 T_R 。由于在最大风速区内的波浪仍为风浪, 故仍可从 (1), (2) 式用类似方法解出:

$$T_R = 4.2074(U/g)(0.26 - gH_R/U^2)^{-\frac{2}{3}} \quad (12)$$

此波列离开最大风速区后, 成为涌浪从台风中心附近向外传播, 在传播过程中周期变长, 参照 Bretschneider 的研究结果^[6], 台风涌浪周期的变化率可写为:

$$T_{r2}/T_R = [k_2 + (1 + k_2)K_R]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

T_{r2} 为传到离台风中心距离为 r km 处的第二种波列的周期, $K_R = H_{r2}/H_R$, $k_2 = 2.0$, 经验证, 此式的计算结果基本适用于南海。

在分别计算出两波列的周期 T_{r1} 和 T_{r2} 后, 它们的混合浪周期 T_r 可按下式计算^[3]:

$$T_r = \left[(H_{r,1}^2 + H_{r,2}^2) / \left(\frac{H_{r,1}^2}{T_{r,1}^2} + \frac{H_{r,2}^2}{T_{r,2}^2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

为了预报时计算的简便,根据实测资料统计得出一种预报效果与以上方法相接近的经验方法。综合考虑(6) — (10)式,可以认为在 $r \gg R$ 的海面上,任一点的波高

$$H_r = f(\bar{U}, r, R) \quad (15)$$

$\bar{U} = \frac{1}{2}(U_R + U_r)$, U_r 为该点海面上的风速, U_R 为台风最大风速。由台风区中风和浪的观测资料整理出以下经验关系:

$$H_r = k'' R^{\frac{1}{2}} \bar{U}^n r^m \quad (16)$$

r, R 以km计, $\bar{U}$ 以m/s计, $k'' = 0.47$,

$m = 0.67, n = \bar{U} / (6.84 - 3.27\bar{U})$ 。

为提供预报使用,绘出 $R = 50$ km时的有效波波高随离开台风中心距离 r 和风速 $\bar{U}$ 的关系如图3。经验证,用(16)式计算出的台风浪波高与从(6) — (10)式计算出的相差不大,相对差值不超过15%

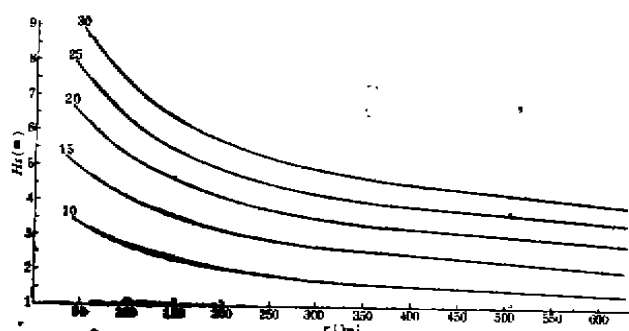


图3 台风区内海面波高查算图

曲线中的数字代表 $\bar{U}$ 值(m/s)

为了比较南海台风与西北太平洋台风影响范围内波浪状况的差别,用(7), (8), (16)式计算出当 $r/R = 0.1$ 时南海台风范围内 $H_r/H_R = f(r/R)$

的关系如图4,并将此结果与 Bretschneider 所得的结果^[6]比较,可见南海台风范围内海面的波浪分布与西北太平洋台风区的波浪分布有很大不同。在同样的台风风场影响

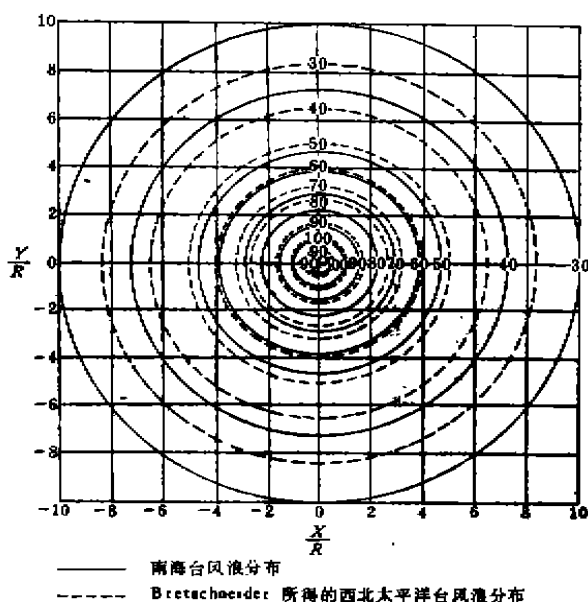


图4 当 $r/R = 0.1$ 时,南海台风与西北太平洋台风 $H_r/H_R = f(r/R)$ 的分布

下, 根据 (7), (8) 两式计算出的南海台风范围内的最大波高要比根据文献 (5) 得出的西北太平洋台风范围内的最大波高偏低 20% 左右。由图 4 可见, 在 $r/R \leq 6$ 的范围内, 南海台风区内 H_r/H_R 之值较西北太平洋台风小, 即波高随与中心距离的增大而减小较快, 但在 $r/R > 6$ 的范围内, 南海台风区内 H_r/H_R 值却较西北太平洋台风大, 即波高随与台风中心距离的增加而减小的趋势较慢。这种情况是由于南海台风处于发展的初期 (中心附近风力和波浪都较小), 而其边缘往往与高压系统相邻, 其结合部的气压梯度较大而使其风速较强、波浪较大。而西北太平洋台风发展较为成熟 (中心附近风力和波浪都较大), 但其外缘却很少与高压系统相邻, 故在边缘区域波浪减小较快。

2. 台风移动时的波浪分布

台风移动时, 它的移向、移速对台风内每一点的风向、风速都有影响, 由于风场的变化而使得台风右半圈海面上的波浪较左半圈大, 但台风移动的快慢使其引起的波浪大小的变化有明显的不同。

当台风移速小于 10 km/h 时, 台风区内波浪大小虽还是从中心向外减小的, 但已表现出不对称, 如以 α 代表台风移向和观测点与台风中心连线间夹角 (顺时针量度), 该点的波高 H_r' 可按以下根据观测资料得出的经验关系计算:

$$H_r' = H_r f(\alpha) \quad 360^\circ \geq \alpha \geq 0^\circ \quad (17)$$

$f(\alpha) = 1.131 - 0.00083\alpha + 0.0098(\alpha/10)^2$ 。当台风移速 c 超过 10 km/h 时, 台风区内各点的相对风速将受台风移速影响而有明显变化, 从而使波浪的大小分布有显著不同, 因此需要考虑风速变化的影响。

如以 β 代表风向与等压线切线所成角, 且等压线是以台风中心为圆心的同心圆 (图 5), 则受台风移动影响后的风速 U' 为:

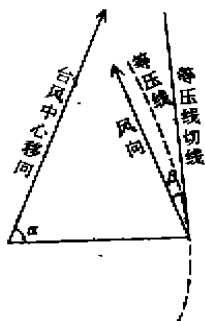


图 5 台风移动对台风区内风向的影响

$$U' = [U^2 + c^2 - 2Uc \cos(\pi/2 + \beta - \alpha)]^{1/2} \quad (18)$$

对 (6), (8) 和 (11), (12) 式中的风速直接用 (18) 式校正后, 才能用以计算台风区内海浪的波高和周期。在 (16) 式中, 对波浪发展起作用的平均风速 $\bar{U}$ 应以 U' 代替, $\bar{U}'$ 用下式计算:

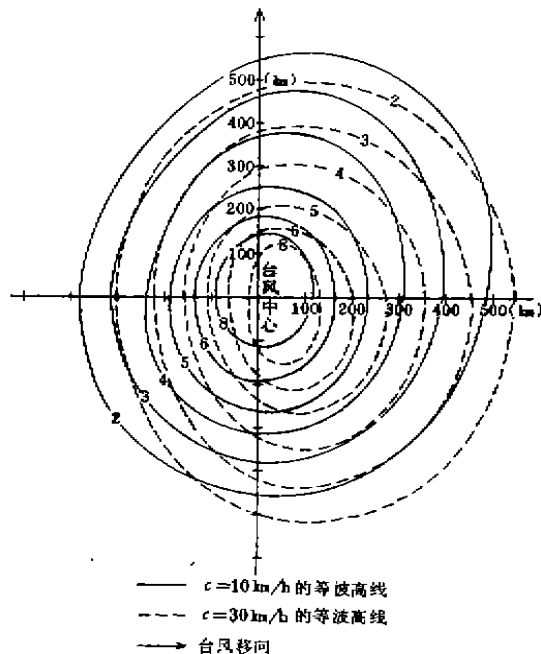


图 6 台风移动速度对波高分布的影响

$$\overline{U'} = \frac{1}{2} [U_R^2 + U_c^2 + 2c - (2U_R c + U_c^2) \cos(\pi/2 + \beta - \alpha)]^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

在南海, 一般 β 可取为 20° 。图6为当 $R=50\text{km}$ 、 $U_R=40\text{m/s}$ 、 r 分别为100, 200, 300, 400, 500km、 U_c 分别为30, 25, 20, 15, 10m/s、台风移速分别为10km/h和30km/h时, 根据(16), (19)两式所计算出的波高随 r , α 的分布。从图可见台风的移速对波高分布影响较大, 当台风移速较快时, 大浪中心明显偏于右半圈, 且最大波高较台风静止或移动缓慢时高。

三、方法的验证

对上述南海台风区的海浪特征和预报方法, 选取了两次在南海产生的台风和一次在西北太平洋产生后移入南海的台风, 用香港横澜岛(观测点水深28m)的波浪自记仪观测资料^[2]作了验证。这3次台风的路径见图7。验证的结果如表1:

此外, 还用观测点水深在100m以上的观测资料作过验证, 结果如表

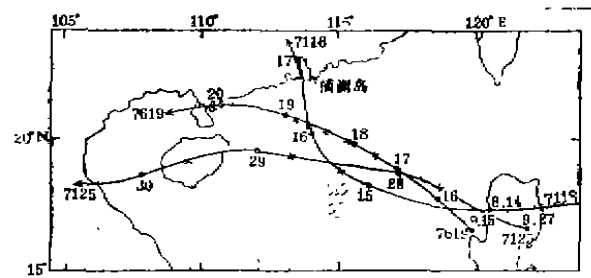


图7 7118, 7125和7619号台风路径图
×为观测和计算台风浪时台风中心的位置; ·为该日08时的台风中心位置

表1 台风浪的计算值与横澜岛的实测值比较

台风编号	时 间			台风中心		最大风速 U_R (m/s)	横 澜 岛		计算值		实 测 值		
	月	日	时	距 离 (km)	方位		风速 (m/s)	风向	H_c	T_c	H_c	T_m	T_c'
7118	8	15	16	390	SSE	45	7.7	E	3.7	6.9	2.9	10.0	8.4
		16	10	190	S	55	18.0	E	6.8	8.3	6.6	12.5	11.7
7125	9	28	02	670	SE	20	13.4	E	2.0	5.6	1.6	7.1	6.6
		14		410	SSE	30	11.3	ENE	3.0	6.6	2.2	8.3	7.7
		29	02	330	SSW	35	16.5	ENE	4.0	7.0	3.6	8.3	7.7
		20		590	WSW	20	12.4	E	2.8	5.9	2.4	8.3	7.7
7619	9	17	20	350	SE	35	12.4	E	3.7	6.8	2.6	10.0	8.4
		18	14	280	SSE	35	18.5	NE	4.6	7.3	4.1	12.5	11.7
		20		185	S	35	19.6	ENE	5.7	7.8	5.6	12.5	11.7
		19	06	185	SW	45	28.6	E	6.8	8.2	7.1	10.0	8.4

1. 表中的 U_R 来自国家气象局历年的《台风年鉴》, 非正点的资料采用内插值。

2. T_m 为谱峰周期, 实测值中的有效波周期 T_c' 为根据合田的统计结果 $T_{1/3} = 0.937 T_m$ 换算。

3. 计算值均未加上浅水订正, 但根据该观测站的地形, 当周期为8 s以上时, S-SE向波浪的折射因子为0.85—1.00, 且观测点水较深, 故不加浅水订正影响不大。

2 (序号1—4是在南海产生的台风, 5—7是在西北太平洋产生后移入南海的台风);

由表1, 2可见: (1) 台风浪的波高计算值比较准确, 绝对误差不超过0.8m, 相对误差除个别外均在20%以下; 因此可认为此方法对台风浪波高的预报是适用的。(2)

表 2 深海台风浪的计算值与观测值比较

序号	台风编号	时 间			台风中心 距离(km)	台风最大 风速(m/s)	观测点风 速(m/s)	计 算 值		实 测 值	
		月	日	时				H_r	T_r	H_r	T_r
1	8604	5	20	02	170	15.0	12.0	2.8	6.3	2.5	5.0
2	8616	8	17	20	500	20.0	6.0	1.9	5.5	2.0	5.7
3	8616	8	21	08	40	35.0	11.4	7.7	8.6	8.2	8.5
4	8621	10	17	08	270	30.0	7.9	3.4	6.7	3.3	7.3
5	8707	7	11	08	250	40.0	13.3	4.6	7.3	4.1	7.5
6	8708	8	15	02	440	55.0	11.0	4.7	7.4	4.5	8.0
7	8708	8	16	02	120	45.0	20.0	7.0	8.4	6.5	8.0

表中的台风最大风速摘自国家气象局1986, 1987年《台风年鉴》, 观测点风速取自海面实测风记录。

周期的计算结果不够准确, 绝对误差超过1s的约占50%, 超过2s的有1/3, 但相对误差大都在30%以下。(3) 深海波浪的计算结果与实测值较接近, 但在近岸区相差较大, 这显然是未考虑浅水效应的结果。(4) 从验证的结果看来, 本文根据在南海产生的台风所得的台风浪预报关系式, 对在西北太平洋产生后移入南海的台风也有较好的预报效果。这可能是由于台风自西北太平洋移入南海后, 台风区内的波浪大部分为菲律宾群岛所阻挡, 不能随台风进入, 故台风区内的波浪大部分或全部是在南海产生的。而台风进入南海后, 它的风场受到南海的地理环境(主要是海区地形)的影响和限制, 其风区和风速的分布状况都变成与南海产生的台风相似, 而与原来在西北太平洋时有所不同, 所以其波浪场的分布也变为与南海台风相近。根据以上分析, 可以推断: 除了从巴士海峡移入南海东北部的台风(因此时台风区内的海浪主要还是台风在西北太平洋时所产生的, 特别是中心附近的海浪未受到陆地或地形的影响)外, 西北太平洋台风移入南海后, 其波浪场与在南海产生、发展的台风相当一致。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南海海洋研究所气象组, 1976, 南海北部台风大风推算方法, 台风会议文集, 183—189, 上海科学技术出版社。
- [2] 上海台风协作组, 1978, 关于台风区域内风速分布及其预告问题的初步探讨, 台风会议文集, 190—196, 上海科学技术出版社。
- [3] 永井康平, 1986, 台风による二山型スペクトルを有する現地波浪の諸特性, 第33回海岸工学講演会論文集, 144—148, 日本土木学会。
- [4] Bread, S. et al, 1975, State of the sea around tropical cyclones in the Western North Pacific Ocean, *Journal of applied meteorology*, 14(1):25—30.
- [5] Bretschneider, C.L., 1970, Wave forecasting relations for wave generation, Look Lab Hawaii.
- [6] Bretschneider, C.L., 1972, A non-dimensional stationary hurricane wave model, OTC, 1517, 115—168.
- [7] Chen, T.Y., 1979, Spectral analysis of sea waves at Waglan Island, Royal Observatory, Hong-kong, Technical Note, No.50.
- [8] Kawai, S., P.S. Joseph and Y. Toba, 1978, Prediction of ocean waves based on the single-parameter growth equation of wind waves, *J.Oceanogr. Soc.Japan*, 35(3—4), 151—167.

A STUDY ON THE CHARACTERISTICS AND FORECASTING METHOD OF TYPHOON WAVES IN SOUTH CHINA SEA

Chen Qili

(South China Sea Branch, SOA)

Abstract

Based on wind and wave data in the typhoon area of South China Sea, the distribution model of wave height and period in different stages of typhoons which were formed in South China Sea is presented, with its forecasting relationship.

It is found that: 1. In the typhoon formation stage, the waves are wind waves; 2. In the development stage, the waves are mixed with wind waves and swell. The wind waves propagated in the wind direction, and the path of the main wave (wave pocket) was in a spiral line, but the swell moved from the maximum wind area near the center and propagated towards the outside of the typhoon; 3. The distribution of wave height in the typhoons of South China Sea was different from those which moved on the Pacific Ocean. 4. when the typhoon moved faster, then the high waves tended more towards the right side of the typhoon.

By using wave data of Waglan Island and the offshore area, the test results show that the calculated height of typhoon waves coincides basically with those measured.