

北 海域台风浪数值预报模式 的应用和发展

沙 伟 倪文胜 沈全福 成凤睽

(上海海洋预报台, 上海)

摘 要

北 海域位于东海南部, 为灾害性台风浪的频发海域, 直接影响本海域的台风, 平均每年为3次, 给社会经济带来了很大的危害。本文主要是在应用“八五”攻关成果的基础上, 利用历史资料, 筛选出一套适合于北 海域的台风浪数值预报模式, 并试图对它进行优化和发展: ①在计算时, 将采用 $(1/4)^{\circ} \times (1/4)^{\circ}$ 的细网格; ②在边界条件的处理上, 将扩大计算区域, 把大区域得到的结果作为本海域的边界条件; ③优化海上风的预报模式, 以提高风场的预报精度, 进而提高浪场的预报精度; ④调整地形信息场, 预报海浪数值预报模式调用。经过对97年影响本海域的两次台风过程的试预报, 预报效果令人满意, 模式的运行也很稳定。海浪数值预报模式得出的结果, 可以为防台减灾提供科学的依据, 也可供海浪经验预报和海洋工程作参考。

关键词: 台风浪, 海浪数值预报, 海上风的数值预报, 北 海域。

一、前 言

近年来, 随着海洋开发和海洋研究的不断深入, 对海洋的认识不断提高, 人们对这块神秘莫测、变化多端的“蓝色土地”逐渐重视起来, 但是海洋灾害常常给人们研究、开发海洋带来很大困难, 给社会经济造成很大损失, 同时很大程度上危害着人们的生命、生活。近代研究表明, 海上自然破坏力的90%来自海浪, 仅10%的破坏力直接来自于风, 其中灾害性台风浪的破坏力尤其巨大。因此研究和开发高精度的海浪数值预报模式, 提高对灾害性台风浪的预报和监测能力, 对社会经济发展和人类生命、生活的安全, 都有重要的意义。

在中国海, 每年都有6m以上的灾害性海浪发生, 年平均为28次, 台风浪占41%左右, 其中73%的台风浪发生在7~10月份的台风季节。统计资料表明, 每年台风浪对我国海岸工程、船舶以及海水养殖等的危害, 经济损失超过7亿元。北 海域位于东海南部, 是灾害性台风浪的频发海域, 平均每年为3次左右, 最多为5次, 最少1次。因此对本海域的台风浪的研究和预报是很有必要的。

科学技术的发展, 使得海浪预报正逐渐从经验预报转到数值预报上来。“七五”期间, 我

国已经研制和组装了多套海浪数值预报模式, 经过“八五”期间的进一步研究, 基本上形成了三套比较成熟的海浪数值模式, 即: ①新型混合型海浪数值预报模式; ②海浪数值预报 WAFES 模式; ③LAGFD-NWM 海浪模式。更加深入地应用和发展这些成果, 可以为防灾减灾提供更可靠的依据, 也可以为推广海浪数值预报打下良好的基础。

二、北 海域概况

本文所指北 海域位于 $119^{\circ} \sim 123^{\circ} \text{E}$ 、 $25^{\circ} \sim 28^{\circ} \text{N}$, 地处东南南部, 南邻台湾海峡, 西与浙闽沿海为界。(见图 1)

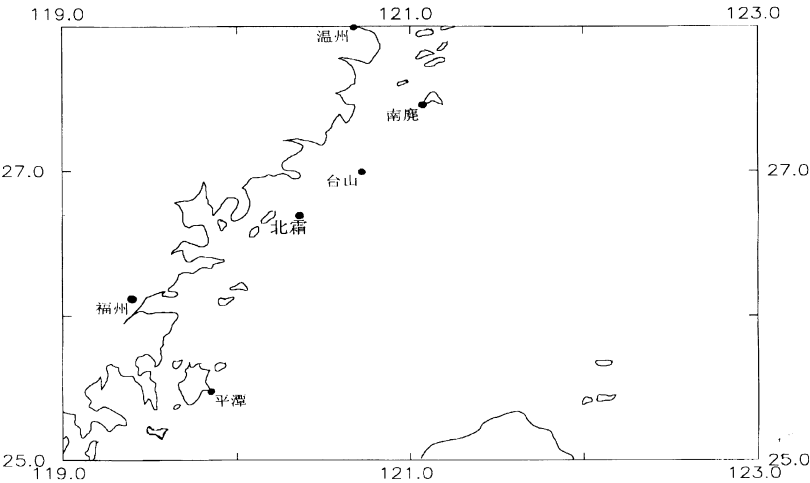


图 1 北 海域示意图

这一带的海岸线曲折, 暗礁岛屿众多, 底形复杂, 水深变化较大, 等深线呈东北至西南走向, 20m 等深线离岸一般为 2~ 3 海里。近岸多为泥沙底质, 40m 等深线以外多为砂质。这一带浪高流急, 浙闽沿岸流自北而南流经本海域, 台湾暖流的流向为自南向北。年最大波高均大于 5m, 8m 以上的狂浪出现时间多数年份在 7~ 10 月的台风季节(见表 1)。

表 1 累年各月最大波高(1960~ 79)

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
极值	6.4	5.4	5.5	6.1	5.2	5.5	8.5	16.0	15.0	8.4	6.0	6.0
年份	77	78	72	72	73	60	60	76	66/ 71	78	74	60
日期	3	15	31	1	23	10	26	10	3/23	13	13	18

三、海浪数值预报模式的选用

用上述三种数值模式对 1985~ 94 年 10 月间影响本海域的 16 个台风个例进行后报检验, 检验结果见表 2。

表 2 三种模式对台风浪的后报检验结果

编号	日期	南麂				北				平潭			
		WAF	新型	LAG	实测	WAF	新型	LAG	实测	WAF	新型	LAG	实测
8506	0730	2.6	3.1	3.3	3.7	3.0	3.3	3.4	3.8	1.0	0.9	1.1	1.3
8510	0823	2.9	4.5	3.7	4.0	4.6	5.6	7.8	7.0	2.2	2.5	2.8	3.0
8519	1004	2.2	2.5	2.9	3.0	3.2	5.3	4.5	4.9	2.4	3.3	3.4	3.2
8705	0721	1.0	1.1	1.2	1.4	1.1	1.5	1.3	1.7	0.8	1.0	0.8	1.2
8707	0727	2.7	3.2	3.0	3.0	2.2	3.4	2.8	3.0	1.1	1.5	1.0	1.3
8921	0912	2.5	2.9	2.8	3.1	3.0	3.3	3.8	3.6	2.3	3.0	3.1	3.4
9005	0623	2.1	1.7	2.5	2.2	2.7	3.2	2.5	2.9	3.0	3.8	3.9	3.4
9012	0820	2.8	4.5	3.8	4.1	5.0	5.5	6.1	6.4	2.5	3.0	3.5	3.3
9015	0830	2.8	3.0	2.7	2.9	2.5	3.6	3.1	3.4	0.9	1.5	0.9	1.2
9110	0818	1.6	1.2	1.9	1.5	2.3	2.5	2.8	2.9	2.8	3.9	5.3	4.6
9216	0830	2.0	3.7	2.4	3.0	3.9	5.1	4.0	4.4	3.0	4.0	4.0	3.5
9219	0922	1.7	1.5	1.2	1.7	2.0	3.0	1.9	2.5	2.9	3.8	4.0	3.6
9414	0808	3.0	4.3	3.2	3.7	4.7	5.0	6.7	6.4	2.6	2.6	2.8	3.2
9417	0821	3.8	5.2	7.9	7.0	5.3	6.8	8.3	7.6	2.0	2.4	2.7	2.9
9418	0901	1.2	1.6	1.4	1.4	2.6	3.7	2.6	3.1	1.8	3.0	2.6	2.3
9430	1010	3.5	5.1	5.2	6.0	5.2	7.0	7.9	7.4	3.0	3.2	4.1	3.6
平均误差(%)		20.3	15.3	10.1		24.0	12.5	10.4		23.6	15.8	14.1	

结果表明, WAFES 模式的计算结果与实测值相比偏小, 误差较大, 平均误差为 22.7%; 新型混合模式次之, 平均误差为 14.5%; LAGFD-NWM 模式相对最好, 精度达 11.5%, 并且在计算的稳定性方面也最好。LAGFD-NWM 海浪数值预报模式是由国家海洋局一所研究开发的, 是从 CD 模式发展起来的第三代海浪数值预报模式。该模式是基于波数空间下谱能量平衡方程:

1

$$\left[\frac{\partial}{\partial t} + (\overline{C_g} + \overline{U}) \nabla \right] E(\overline{K}) = Sin + Snl + Scu + Sds + Sbo$$

(1)

式中, C_g 为群速度; Sin 为输入源函数;

Snl 为波波非线性相互作用源函数; Scu 为波流相互作用源函数;

Sds 为波浪破碎耗散源函数; Sbo 为底摩擦效应源函数。

采用波数能谱直接模拟海浪数值预报方法。它考虑到国际上最新海浪研究成果, 在输入源函数、波浪破碎耗散源函数、底摩擦效应源函数、波波非线性相互作用函数以及波流相互作用源函数的确定方面有所领先和创新, 为准确进行海浪数值预报打下了雄厚的理论基础。

经过比较, 最终选用 LAGFD-NWM 海浪数值预报模式来开展北 海域的海浪数值预报。

四、模型的优化

1. 计算条件的重新调整和优化

本文的计算区域为 $120^{\circ} \sim 123^{\circ}\text{E}$ 、 $25^{\circ} \sim 28^{\circ}\text{N}$ 的 $3^{\circ} \times 3^{\circ}$ 的矩形区域, 考虑到步长过小会影响计算的稳定性和耗时太长, 空间步长和时间步长分别采用 $(1/4)^{\circ} \times (1/4)^{\circ}$ 和 $(1/4) \text{ h}$ 。由于计算区域较小, 边界条件的精度将会对区域内部的网格点的计算值产生很大影响, 为了能更细致更精确地描述北海域浪场的实际分布, 将计算区域扩大 1° , 小区域的边界条件由大区域的计算值给出, 在进行大区域的计算时, 步长也采用 $(1/4)^{\circ} \times (1/4)^{\circ}$ 和 $(1/4) \text{ h}$ 。在地形信息场的处理上, 选用近期海图(1995 年), 对网格点的水深值加以修正, 使之能够与 $(1/4)^{\circ} \times (1/4)^{\circ}$ 的细网格相匹配。岸边界也由该海图给出, 不考虑增水引起的边界移动。

2 背景风场与热带气旋风场的嵌套

(1) 背景风场

海浪数值预报是建立在海面风场数值预报的基础上的, 数值天气预报模式和海面风场数值预报模式的预报正确率, 将直接影响海浪数值模式的计算精度, 提高海面风场的计算精度, 能更合理地揭示波浪在成长、传播和衰减过程中能量的输入和耗散。

本文气压场直接选用日本气象厅在 00GMT 和 12GMT 发布的海面气压实况和 24h 海面气压预报, 利用新形混合型海浪数值预报模式的海上风场的数值预报模式, 计算出对应时次的客观分析风场, 再经过快速傅立叶变换(FFT)求得每隔 1h 一次的海面风场。在试验过程中, 发现直接向 S_{in} 项输入摩擦速度 U^* 要比向 S_{in} 输入 10m 高度的风速 U_{10} 效果要好, 因此本文直接采用摩擦速度 U^* 。

(2) 热带气旋模型风场

台风域内的气压分布采用日本藤田公式:

$$P_r = P_{\infty} - (P_{\infty} - P_0) / [(r/r_0)^2 + 1]^{1/2} \quad (2)$$

式中, P_r 为离台风中心 r 处的气压; p_{∞} 取台风场最外围一圈闭合等压线的气压

$r_0 = R/(2)^{1/2}$; R 为最大风速半径。

台风模型风场应用如下经验公式:

$$V_r = K(P_r - P_0)^{1/2} - 0.75r \cdot f \quad (3)$$

式中, $f = 2\omega \sin \phi$, 为柯氏常数;

K 为系数, 若风速单位取 km/h , R 取 km 、气压为 mb , 则 K 值取 23.2; 若风速单位取 m/s 、 R 取 m , 则 K 值取 6.5。

众所周知, 台风场内的风速分布呈明显的不对称, 本文考虑导致这种不对称性的因素仅由台风移动引起, 因台风中心移动速度 V_F 引起的风场中产生的风速 V_P 公式为:

$$V_P = C \cdot V_F \cdot V_r / V_{\max} \quad (4)$$

式中, C 为系数, 一般取 0.6~0.7

台风场内的实际风速应为 V_r 与 V_p 的矢量合成:

$$V^2 = V_r^2 + V_p^2 - 2 V_r \cdot V_p \cos \beta \tag{5}$$

式中, β 为 V_r 与 V_p 的夹角。

(3) 背景风场与台风风场的衔接

背景风场对台风外围风场描述较好, 而对于台风场内的风速分布描述则不是很理想。由于本计算区域较小, 当台风进入计算区域以后, 大部分区域都受台风场的控制, 因此将二者有机地结合, 能更合理地描述海面风场的风速分布, 相互弥补不足之处。在实际应用时, 两种风场嵌套以后, 在某些地方会出现风的突变(风速、风向), 为此采用九点平滑公式:

$$A_9 = (8 \cdot A + S_8) / 16 \tag{6}$$

式中, A 为所要平滑的格点值; S_8 为该格点周围 8 个格点值之和。

五、数值模式的预报检验

为了检验该预报模式的有效性, 本文选用 1997 年影响本海域的两次台风过程, 第 14 号和第 11 号台风作为实例, 进行海浪数值预报检验。9711 号台风 8 月 17 日穿过冲绳和台湾岛之间, 进入东海海域, 18 日 12h 左右进入本海域, 于 18 日夜间在浙江温岭附近登陆, 登陆时台风中心最低气压为 960hPa, 中心最大风速为 40m/s, 仅浙江省就死亡 200 人, 再加上倒塌的房屋、冲毁的堤岸、海塘、农田等, 直接经济损失达 186 亿元, 福建省的直接经济损失也有 13 亿多; 9714 号台风 29 日上午在台湾花莲附近登陆, 进而进入台湾海峡, 过本海域的左下角, 这时台风中心最低气压为 970hPa, 最大风速达 35m/s, 于 29 日下午在福建平潭附近登陆, 登陆时中心最大风速达 30m/s, 也给浙闽两省造成了非常大的损失。

上述两次台风分别掠过预报海域的左下角和右上角(图略), 给预报海域施加的是两种方向截然相反的风场, 9711 台风影响本海域时, 海区基本上为离岸风; 9714 台风影响本海域时, 海区基本上为向岸风。因此, 尽管 9711 台风影响海域时中心最大风速较大, 但站点的测值却较小。实况值和预报值见表 3。

表 3 1997 年影响本海域的两次台风过程的预报值和实况值的比较

站 名		9711				9714			
		97. 08. 18				97. 08. 29			
		08h	11h	14h	17h	08h	11h	14h	17h
南 鹿	计算值	4. 7	5. 6	6. 3	5. 2	4. 9	5. 3	4. 7	4. 5
	实测值	3. 6	4. 0	4. 0	3. 8	4. 2	4. 2	3. 8	4. 0
	误差%	30. 6	40. 0	57. 5	36. 8	16. 7	26. 2	23. 7	12. 5
北	计算值	5. 5	7. 0	6. 0	5. 1	7. 9	8. 9	8. 0	6. 3
	实测值	6. 3	6. 1	6. 7	5. 8	7. 0	7. 7	6. 9	7. 2
	误差%	12. 7	14. 7	10. 5	12. 1	12. 9	15. 6	16. 1	12. 5

(续表 3)

站 名	序 号	9711				9714			
		97. 08. 18				97. 08. 29			
		08h	11h	14h	17h	08h	11h	14h	17h
平潭	计算值	4. 6	6. 2	5. 3	4. 5	4. 2	5. 5	6. 0	4. 5
	实测值	3. 8	5. 5	3. 7	3. 8	3. 5	4. 5	4. 7	3. 6
	误差%	21. 1	12. 5	43. 2	18. 4	20. 0	22. 2	27. 7	25. 0

从预报结果来看,北 站的结果最好,平均误差为 13. 4%;南麂和平潭的实测值和预报值相差较大,这主要是因为南麂站位于一个马蹄型的凹槽内,仅对 SE 向的浪观测较好,对其它方向的浪的观测值偏小,尤其是对大浪,因此误差较大,平均误差为 30. 5%;平潭站的位置紧靠福建沿海,反映的是近岸浪,平均误差为 23. 8%。

以上的结果表明,用北 站点的值来表征本海域的海浪特征是可以的,另外两个站点的值可作为辅助,并且这三个点都是海洋站,实测资料很容易得到。就北 站而言,对两次台风的平均预报精度达 86. 6%,预报最大误差为 16. 1%,最小为 10. 5%;并且平潭点的预报精度也达到 76. 2%,所以这次预报是成功的,LAGFD—NMW 海浪数值预报模式不仅可用于远海的海浪数值预报,对近岸的海浪也有预报能力,适用于北 海域的台风浪预报。预报结果可供经验预报作参考,也可防灾减灾的决策提供科学依据,后报计算结果可作为海洋工程参考。

几点说明:

1. 由于浪场的预报精度受风场预报精度的制约,现有的风场模型还不够成熟,将有待于进一步的完善。
2. 本文仅在波高这方面做了一些工作,但在海上,即使波高并不大,如果波周期和船舶、海上平台等的自由摇摆、自振周期接近时,可造成船只的倾覆和海上建筑物毁灭性的破坏,因此,今后将在周期方面进行一些讨论。
3. 从上面的后报检验结果和预报结果可以看出,北 站点的结果对于本海域的海浪特征有良好的代表性。

参 考 文 献

[1] 灾害性海洋环境数值预报及近海环境关键技术研究, 85—903—04—02 专题研究报告, 1995。
[2] 杨春成等, 一种台风浪的数值预报方法, 海洋学报, 1996。
[3] 包澄澜等, 海洋灾害及预报, 北京, 海洋出版社, 1991。
[4] 文圣常等, 海浪理论与计算原理, 科学出版社, 1984。
[5] 张玉玲等, 数值天气预报, 北京, 科学出版社, 1986。
[6] 东海区海洋站海洋水文气候志, 北京, 海洋出版社, 1993。
[7] 卢峰本, 卡尔曼滤波在沿海冬半年风力预报中的应用, 气象, 1998。