

# 中国海高分辨率业务化风暴潮模式的业务化预报检验

董剑希, 付 翔, 吴 玮, 赵联大, 于福江

(1. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘 要: 国家海洋环境预报中心建立了中国海高分辨率风暴潮数值预报模式, 模式在水平分辨率和网格的嵌套方面都较以往的业务化模式有改进和提高。自 2003 年起将模式投入业务化运行以来, 连续三年共对 11 个台风风暴潮过程进行了跟踪预报, 并将数值预报结果与实测资料相对比。本文将对预报模式三年来的预报结果进行检验。

关键词: 中国海高分辨率风暴潮数值预报模式; 预报检验

中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1003 - 0239 (2008) 2 - 0011 - 07

## 1 引言

风暴数值模式计算开始于 50 年代, 70 年代经历了风暴潮模式发展的昌盛时期, 美国建立了有名的 SPLASH 模式, 在实时风暴潮预报中发挥过重要的作用; 英国的自动化温带风暴潮预报模式“海模式”, 对温带风暴潮的预报取得了很好的效果。80 年代, 美国建立的 SLOSH<sup>[1]</sup> 模式能预报海上、陆上以及湖上的台风风暴潮, 在防灾预报中发挥了很好的作用。我国的风暴潮数值模拟研究也在 80 年代得到了迅速的发展, 目前已对渤海、黄海、东海和南海的风暴潮进行了大量的数值模拟实验, 并以此来研究各动力因子的效应<sup>[2~3]</sup>。模式实验取得了许多有意义的结果并且部分模式已经在实时预报中使用<sup>[4]</sup>, 成为风暴潮预报的重要手段之一。针对目前投入业务化使用的模式, 国家海洋环境预报中心在模式的水平分辨率和网格的嵌套技术方面做了改进和提高, 所建立的针对局部区域的两重嵌套网格高分辨率台风风暴潮数值预报模式<sup>[5]</sup>, 其两套网格的嵌套采用单向松弛套网格技术, 对预报的物理量进行松弛, 避免了边界附近寄生波的产生, 增加了模式的稳定性, 而所建立的水平分辨率约为 3.7km 模式从 2003 年起投入业务化运行, 在风暴潮预报中起到了重要的作用。截止到 2005 年, 先后共对 11 次台风风暴潮进行了跟踪预报, 通过和实况资料的比较, 对这 11 次预报做了检验。本文将详细介绍模式的预报及检验情况。

## 2 数值模式简介

建立的风暴潮数值预报模式在球坐标系下, 控制风暴潮运动的深度平均流方程为如下形式:

收稿日期: 2008-01-04

基金资助: “十五” 国家科技攻关计划重点项目“海洋环境预报及减灾技术” 2001BA603B-02

作者简介: 董剑希(1973-), 女, 硕士, 主要从事风暴潮预报技术研究。

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \varphi} \left( \frac{\partial (Du)}{\partial \theta} + \frac{\partial (Dv \cos \theta)}{\partial \theta} \right) = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \varphi} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{v}{R} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{uv \tan \theta}{R} - fv = -\frac{g}{R \cos \theta} \frac{\partial \zeta}{\partial \theta} - \frac{1}{\rho R \cos \varphi} \frac{\partial P_a}{\partial \theta} + \frac{1}{\rho D} (F_s - F_b)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{u}{R \cos \varphi} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{v}{R} \frac{\partial v}{\partial \varphi} - \frac{u^2 \tan \varphi}{R} + fu = -\frac{g}{R} \frac{\partial \zeta}{\partial \varphi} - \frac{1}{\rho R} \frac{\partial P_a}{\partial \varphi} + \frac{1}{\rho D} (G_s - G_b)$$

模式采用 Takahashi(1939)和 Fujita(1952)的台风域中气压场分布公式嵌套计算同一台风域中的气压场分布;选用 Venio Takeo(1981)的风场公式来计算台风域中的风场;模式网格为 Arakawa C 型网格,采用有限差分方法求解方程;为了提高模式的计算精度,计算区域使用 3 个分辨率为  $1/30^\circ$ (约 3.7km)的区域来覆盖整个中国海(见图 1)。

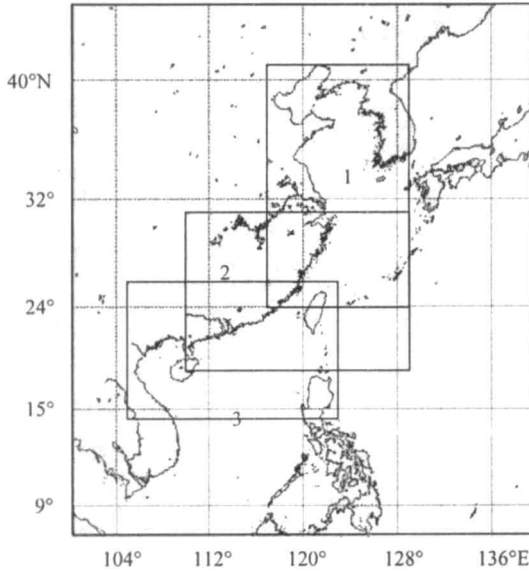


图 1 风暴潮数值计算区域示意图

### 3 业务化预报检验

#### 3.1 2003 年预报检验

2003 年共有 10 个台风影响中国沿海地区,其中风暴潮过程最大增水超过 50cm 的有 3 个,分别由 0307、0312 和 0313 号台风引起。这一年,风暴潮数值预报模式主要对这 3 个台风进行了跟踪计算,并将数值计算结果与实况增水进行了比较,检验标准为数值预报结果相对误差小于 30%。

0307 号强台风“伊布都”,经南海东北部在广东省阳西县至电白县沿海登陆,登陆时

中心气压 965 hPa，近中心最大风速 38m/s，受其影响珠江口以西沿海普遍出现了 100 ~ 300 cm 的风暴潮，在此台风影响期间，共做了 4 次风暴潮数值预报；0312 号台风“科罗旺”登陆海南省文昌市，登陆时中心气压 970 hPa，近中心最大风速 35m/s，对此风暴潮过程共进行了 5 次跟踪预报；0313 “杜鹃”台风先后在广东省惠东县、深圳市和中山市登陆，台风影响期间，广东省海门验潮站最大增水 176cm，共做数值预报 8 次。预报路径分别采用了中央气象台和日本气象厅的预报结果。图 2 是 0307 号台风实况路径与 4 次预报路径图，表 1 给出了 0307、0312 和 0313 号台风风暴潮实况与数值预报计算对比情况(表中的实测最大增水取自逐时记录)。

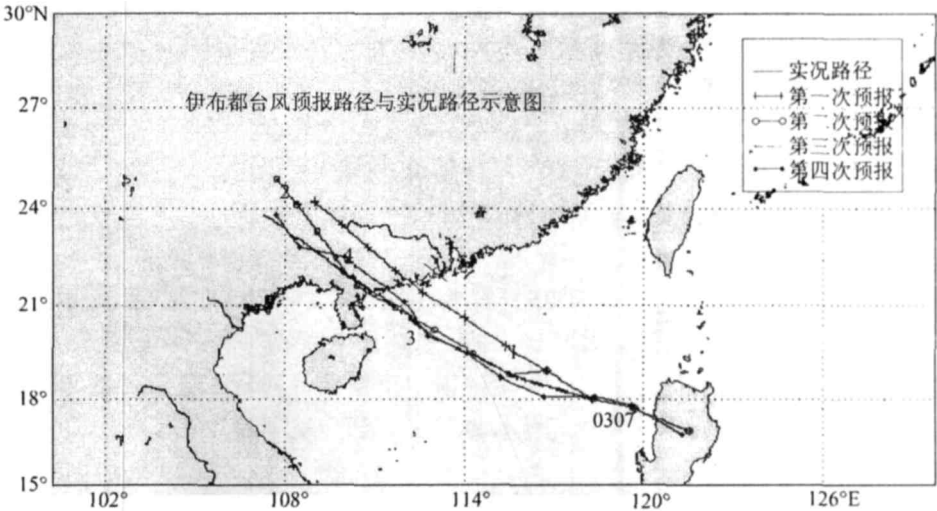


图 2 0307 号台风实况路径与 4 次预报路径图

表 1 2003 年 0307、0312 和 0313 号台风风暴潮实况与数值预报计算对比

台风号	验潮站	实测最大	数值计算结果							
		增水	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次
0307	灯笼山	170	155	85	155	137				
	黄埔	161	192	104	192	172				
	北津	319	151	142	258	231				
	闸坡	133	109	126	187	170				
0312	北津	154	108	134	122	154	164			
	闸坡	160	98	120	122	156	150			
	碓洲	260	169	190	185	196	223			
	湛江	248	266	291	299	344	329			
	南渡	355	302	356	307	296	413			
	海口	184	96	140	106	126	202			
0313	崇武	105	75	75	57	65	57	54	59	36
	厦门	113	143	147	107	128	88	96	129	81
	东山	120	122	130	97	121	83	91	111	72
	汕头	174	256	273	163	213	129	147	249	122
	海门	176	177	194	131	164	97	118	171	88

表 2 2003 年风暴潮预报模式数值预报结果统计表

台风号	总站次	误差 30%以内的站次	百分比
0307	16	11	68.7%
0312	30	23	76.7%
0313	40	26	65.0%
合计	86	60	69.8%

在 2003 年的风暴潮数值预报模式业务化运行中,共对 3 次台风 86 站次进行了预报,其中 60 个站次的相对误差小于 30%,预报保证率为 69.8%(见表 2)。

3.2 2004 年预报检验

2004 年我国沿海共发生 10 次台风风暴潮,其中 0407、0414 和 0418 号 3 次台风风暴潮在我国沿海酿成灾害,风暴潮预报模式对这三次过程做了跟踪预报。

0407“蒲公英”在浙江省乐清市登陆,台风影响期间,长江口沿岸出现了 70~140cm 的风暴潮;0414“云娜”台风 2004 年 8 月 12 日 20 时在浙江省温岭县石塘镇登陆,受其影响浙江沿海出现了 100~300cm 的风暴增水,浙江省海门验潮站最大增水 350cm(发生在天文潮高潮时);0418“艾利”台风 8 月 25 日穿过平潭岛后,在福清市高山镇登陆,福建省梅花验潮站出现了 169cm 的最大风暴增水。风暴潮预报模式对这三次较大的过程共做了 28 个站次的风暴增水预报,预报路径采用中国中央气象台和日本气象厅的预报结果。图 3 为 0414“云娜”台风的实况路径和预报路径图,表 3 为 2004 年风暴潮实况与模式计算对比情况。

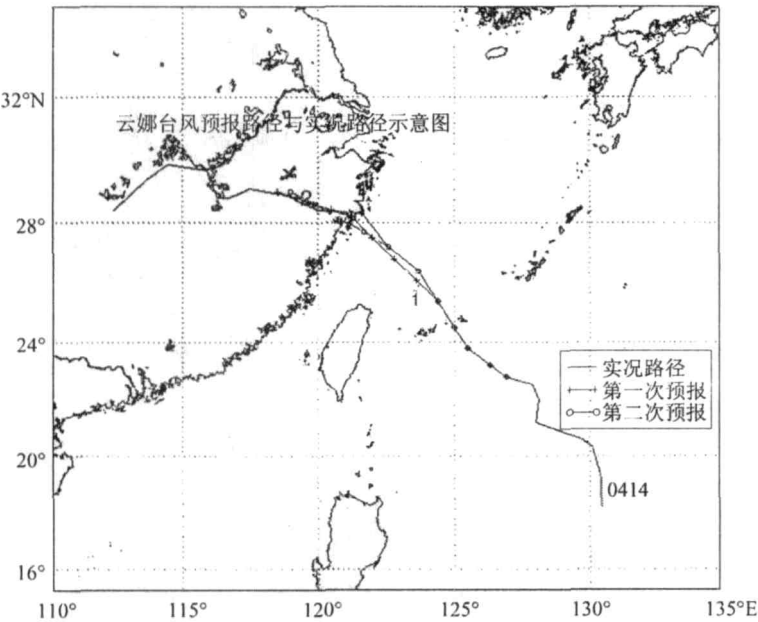


图 3 0414“云娜”台风实况路径与预报路径图

表 3 0407、0414 和 0418 台风风暴实况增水和数值计算结果比较

台风号	验潮站	实测最大增水	数值计算结果		
			第一次	第二次	第三次
0407	乍浦	70	52	50	
	键跳	72	89	72	
	海门	55	96	71	
0414	乍浦	108	135	132	
	镇海	60	102	105	
	键跳	222	273	225	
	海门	322	344	310	
	坎门	169	76	122	
0418	沙埭	99	125	120	122
	三沙	87	114	109	111
	梅花	169	223	199	225
	平潭	123	80	90	92

表 4 2004 年风暴潮预报模式数值预报结果统计表

台风号	总站次	误差 30% 以内的站次	百分比
0407	6	5	83.3%
0414	10	7	70.0%
0418	12	8	66.7%
合计	28	20	71.4%

2004 年风暴潮预报模式在对 28 个站次的预报中，20 个站次的相对误差小于 30%，预报保证率为 71.4%(见表 4)。

3.3 2005 年预报检验

2005 年是我国沿海风暴潮重灾年，影响我国沿海的共有 11 个台风，灾害发生次数远高于多年平均值(4 次/年)，其中 0505、0509、0513、0515 和 0518 号台风给我国沿海带来了较大的风暴潮灾害。0505 “海棠”台风 7 月 19 日在福建省连江县黄岐镇登陆，福

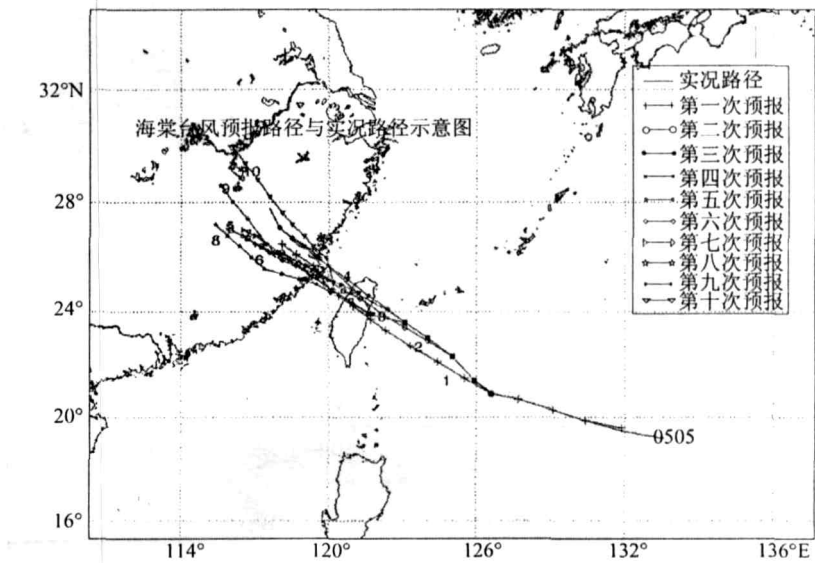


图 4 0505 “海棠”台风实况路径与预报路径图

建省梅花验潮站出现了 237cm 的最大风暴增水 ;0509 号台风“ 麦莎 ” 风暴潮则是继 9711 号台风风暴潮后影响我国东部沿海最严重的一次 ;0513“ 泰利 ”、0515“ 卡努 ”和 0518“ 达维 ”分别在福建省莆田市、浙江省台州市和海南省万宁县登陆 ,均在登陆点附近引发较大的风暴潮。风暴潮预报模式对这 5 个台风共 224 个站次进行了风暴增水跟踪预报。图 4 为“ 海棠 ”台风实况路径与预报路径图 ,表 5 为 2005 年数值模式计算风暴增水与实况增水对比。

表 5    2005 年 5 次台风过程风暴潮预报模式数值计算结果与实况对比

台风号	验潮站	最大增水	数值计算结果									
			第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	第六次	第七次	第八次	第九次	第十次
0505	坎门	70	36.8	53.9	53.9	53.9	53.9	53.9	53.9	53.9	70.1	70.1
	温州	101	76.7	75.2	84.9	104.1	79.6	83.9	83	75.2	108.1	108.1
	瑞安	110	76.7	75.2	84.9	104.1	79.6	83.9	83	75.2	108.1	108.1
	沙埕	114	104.3	90	115.1	139.3	109.5	110.3	110.8	92.9	102.5	128.8
	三沙	107	87.6	78.4	96.9	118.8	88.4	90.7	90.9	73.4	88.4	111.3
	梅花	237	178.2	159.2	180.6	215	162.5	173.7	182.3	121.8	172.7	173.6
	瑛头	159	229.6	194.8	180.8	220.6	213.3	223.7	225	153.8	201	181.4
	平潭	90	98.1	66.7	73.9	82.8	101.9	102.2	65.7	87	75.7	75.7
0509	滩浒岛	134	109.9	103.6	157.8	84	65					
	镇海	93	116.9	100.9	241.9	88.9	55.2					
	定海	90	91	85.2	106.6	69.8	54.6					
	乍浦	188	191.5	176.6	177.8	145.5	99.7					
	澈浦	241	209.9	208.4	203.3	172.5	114.1					
	健跳	150	241.6	221.3	71.7	185.4	169.2					
	海门	212	281.2	270.8	75.8	265.7	255.9					
	坎门	137	61.2	56.9	34.1	77.9	101.9					
0513	平潭	102	99.6	103.4	112.5	66.8						
	梅花	170	236.8	244.3	210	167.7						
	瑛头	199	292.8	293.7	278.3	191.3						
	三沙	103	114.2	114.5	103.2	82.6						
	鳌江	131	102	102.6	90.5	71.1						
	瑞安	100	97.4	99.2	95.4	67.5						
	温州	92	96.6	102.5	94.6	68.7						
0515	芦潮港	55	70.7	71.4	71.5	110.7	121.1					
	定海	68	79	87.3	82.2	120.9	127.7					
	镇海	72	87.2	92.9	82.2	115.1	155.5					
	健跳	255	251.3	246	261.2	326.6	342.4					
	海门	320	378.2	206.3	296.8	302.3	315.1					
	坎门	91	78.7	32.4	47.9	49.9	80.6					
0518	南渡	197	224	176	196	324	200	256				
	湛江	139	158	130	148	264	150	205				
	硃洲	140	128	103	126	219	122	166				
	海口	116	100	62	58	105	52	89				
	清澜	121	58	94	115	190	119	126				
	东方	52	16	49	38	55	54	58				

表 6    2005 年风暴潮预报模式数值预报结果统计表

台风号	总站次	误差 30 以内的站次	百分比
0505	80	68	85.0%
0509	40	24	60.0%
0513	28	18	64.3%
0515	30	17	56.7%
0518	36	25	69.4%
合计	224	158	71.0%

2005 年风暴潮预报模式在对 224 站次的预报中,158 个站次的相对误差小于 30%,预报保证率为 71.0%(见表 6)。

## 4 总结

中国海高分辨率业务化风暴潮数值预报模式所设计的计算域包括了整个中国沿海,使岸边的风暴潮敏感区有足够的水平分辨率。风暴潮预报模式从 2003 年开始进入业务化预报,截至 2005 年,共对 11 次台风的风暴潮做了跟踪计算,预报了 338 站次的风暴增水,相对误差在 30% 以内的为 238 站次。每年的预报保证率均达到 70%。数值预报模式为每次台风风暴潮的预报提供了科学的依据,在工作中发挥了重要的作用。

但是风暴潮预报的准确度是同气象预报的精度密切相关的。目前气象部门对台风的位置、强度的预报误差,使得准确的预报台风风暴潮的时效不可能太长,也增加了风暴增水的预报误差。因此在今后的工作中,应通过对台风风暴潮数值预报的不断检验总结来进一步掌握模式的性能。

参考文献:

- [1] JELESNIANSKI CP, CHEN Jye, WILSON A. Shaffer. SLOSH (Sea, Lake, and Overland Surge from Hurricanes). NOAA Technical Report NWS48.1992,71.
- [2] 端义宏, 秦曾灏. 上海沿岸天文潮与风暴潮非线性相互作用的数值研究[J]. 海洋与湖沼, 1997,28(1):80~87.
- [3] 秦曾灏, 冯士. 浅海风暴潮动力机制的初步研究. 中国科学, 1957,1:64.
- [4] WANG Xi-nian, YU Fu-jiang, YIN Qing-jiang. Research of Application of Numerical Model of Typhoon Surges in China Seas. The Special Issue of MAUSAM in Oct, 1997.595~608.
- [5] YU Fu-jiang, ZHANG Zhan-hai. 一个东海嵌套网格台风风暴潮数值预报模式的研制与应用[J]. 海洋学报, 2002,24(4):24~33.

## Operational Forecast and test of the high nesolution numerical storm surge forecast model for China sea

DONG Jian-xi, FU Xiang, WU wei, ZHAO Lian-da, YU Fu-jiang

(China Satellite Maritime Tracking and Controlling Department, Jiangyin 214431 China)

Abstract: A high resolution numerical storm surge forecast model for the China seas was made by National Marine Environment Forecast Center, which made improvement on horizontal resolution and nest method under the original model. The model came into operation from 2003, and was used to track 11 case typhoon and calculated the storm surge, which was compared them to the observations. This text will show the comparison results.

Key words: A high resolution numerical storm surge forecast model; forecast and test