

# 长江口区可能最高潮位估算研究

端义宏<sup>1</sup>, 高泉平<sup>1</sup>, 朱建荣<sup>2</sup>

(1. 上海台风研究所, 上海 200030; 2. 华东师范大学 河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

**摘要:** 利用《西北太平洋热带气旋年鉴》资料, 简要分析了影响上海地区可能最高潮位的台风路径、强度变化特征. 分析表明, 造成上海地区严重风暴潮的台风路径有 3 种类型, 它们分别是登陆浙江沿海西行类、近海北上类和正面袭击上海类. 上海及其近海区域台风强度随纬度增加而减弱的变化特征明显, 在东海北部, 近 50 a 内尚未出现过中心气压低于 920 hPa 的台风. 利用特定的统计模式, 根据假想台风路径、强度变化给出的可能最大增水只有 210 cm, 其值明显偏小, 认为用统计方法进行上海地区最大可能增水的估算似乎不合适. 在考虑可能变化的台风路径、强度、移动速度以及天文大潮汛等综合因素后, 利用高分辨率 ECOM -- Si 的数值模式计算出的上海地区 (吴淞) 可能最大增水是由 5612 台风以 10 km/h 速度北抬纬度 2° 并取所在位置的历史最低气压值造成的, 其可能最大增水为 367 cm, 如以长江口区天文可能高潮值 420 cm 计算, 则获得长江口的最大可能水位为 787 cm.

**关键词:** 长江口; 可能最高潮位; 数值模拟

**中图分类号:** P731.23      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0253-4193(2004)05-0045-10

## 1 引言

长江口区可能最高潮位历来是防汛部门和海洋工程设计单位研究的热点. 受 8114 台风影响, 长江口及黄浦江潮位创历史新高, 该地区的多年一遇潮位计算成为研究重点并做了不少工作<sup>[1]</sup>. 上世纪 90 年代后期, 受台风影响 (如 9711 号台风、0012 号台风), 黄浦江历史最高潮位又不断被改写. 因此, 上海市的防潮形势更加严峻. 相关部门纷纷考虑长江口和黄浦江的可能最高潮位和防潮对策.

风应力是浅水风暴潮形成和发展的主要强迫力. 众所周知, 影响台风风暴潮的主要因子是台风的路径、强度以及它的移动速度. 对于最大可能潮位以前做过许多工作, 一般是结合统计概

**收稿日期:** 2003-10-14; **修订日期:** 2003-06-30.

**基金项目:** 上海市科技发展基金和华东师范大学河口海岸国家重点实验室开放基金项目资助.

**作者简介:** 端义宏 (1963—), 男, 江苏省溧水县人, 研究员, 博士, 从事热带气旋研究. E-mail: duanyh@mail.typhoon.gov.cn

率推断<sup>[2]</sup>. 本文将分析影响上海地区风暴潮的台风活动规律, 评估影响上海地区风暴潮的台风强度变化, 根据这一地区台风变化的气候特点, 分析有可能造成上海地区最高水位的台风路径和强度以及移动速度, 根据经验统计和数值模式模拟的两种方法估计上海地区的可能最大潮位, 并同以往的同类工作进行比较, 为上海防洪工程设计提供科学依据.

## 2 影响上海地区台风概况

### 2.1 台风路径

根据 1949~1999 年资料统计, 对上海有影响的台风有 3 类(图略). 第一类为正面登陆上海, 其典型的例子是 7708 号和 8913 号台风. 它们从西北太平洋穿越琉球群岛进入东海北部, 并突然左折, 分别在上海的崇明和川沙登陆, 但是这两个台风在登陆时的强度已减弱到强热带风暴, 中心最大风力均为 10 级. 第二类为近海北上, 这类路径比较多, 有代表性的是 8114 号和 6408 号台风. 它们在北上过程中, 离上海的最近距离分别是 200 和 150 km. 由于没有登陆, 因此中心风力减弱较慢, 中心气压也较低. 以 8114 号台风为例, 在靠近上海时的台风中心最大风速达 45 m/s, 中心气压为 950 hPa, 再巧逢天文大潮, 因而造成上海的最高潮位达 5.72 m. 第三类为在浙江北部(如象山港)登陆后继续西进深入内陆或北上过程中, 中心穿过上海后进入黄海, 这类路径远比前两类多. 著名的 5612 号台风, 在象山港登陆时的中心气压仅 923 hPa, 中心最大风速高达 60 m/s, 是历史上罕见的强台风. 虽然它没有正面登陆上海, 但受其外围影响, 上海损失也很惨重. 如果设想 5612 号台风整条路径北抬一个纬距, 则对上海的影响将更加严重.

### 2.2 台风中心气压极值随纬度分布

台风强度用中心最低气压表示. 强度的变化具有非常复杂的机制, 热力和动力条件及环境场的影响都能导致强度的变化. 就热力条件而言, 当台风在低纬度的热带洋面上时, 由于高温高湿空气的不断补充, 为台风的发展加强提供了有利的热力条件, 但是台风北移到副热带洋面上时, 这种暖湿空气的补充被削弱, 再加上外围环境场的抑制, 台风的中心气压开始逐渐上升.

根据 1949~1998 年台风资料统计分析,  $25^{\circ}\sim 34^{\circ}\text{N}$ ,  $118^{\circ}\sim 128^{\circ}\text{E}$  海区内, 台风中心气压最低值为 920 hPa 的纬度分界线在  $27^{\circ}\text{N}$  左右(见图 1), 即在  $27^{\circ}\text{N}$  以南, 中心气压最低值可低于 920 hPa, 其最低极值可到 885~896 hPa. 在  $27^{\circ}\text{N}$  以北, 中心气压最低值高于 920 hPa, 并随着纬度的增加而增加. 根据这一气候分析, 可知台风中心气压最低值与纬度有关, 在  $27^{\circ}\text{N}$  以南的洋面上, 台风中心气压值较低, 最低极值可出现在 920 hPa 以下. 随着纬度的增加, 台风中心气压可逐渐上升, 而在东海北部海区, 中心气压值已不大可能低于 920 hPa.

### 2.3 影响上海的台风强度变化

选取 1949~2001 年进入多边形 ( $32^{\circ}\text{N}$ ,  $121^{\circ}\text{E}$ ;  $32^{\circ}\text{N}$ ,  $122^{\circ}\text{E}$ ;  $31^{\circ}\text{N}$ ,  $123^{\circ}\text{E}$ ;  $29^{\circ}\text{N}$ ,  $123^{\circ}\text{E}$ ;  $29^{\circ}\text{N}$ ,  $121^{\circ}\text{E}$ ;  $32^{\circ}\text{N}$ ,  $121^{\circ}\text{E}$ ) 区域的台风代表在上海和浙江北部登陆及近海北上的台风. 分析表明, 进入该区域的 34 个台风中绝大多数 (30/34) 的中心气压上升, 强度减弱, 只有极少数 (4/34) 台风略有加强. 加强的台风原来的强度都比较弱, 其中心气压均大于 970 hPa (见表 1), 而减弱的台风原来的强度越强, 台风减弱越快.

### 2.4 最有利于上海地区产生最大风暴潮的台风分析

从历史上看, 影响上海地区的最大增水是 5612 号台风, 而造成上海地区最高水位的台风分别是 8114, 9711 和 0012 号台风. 从上面的分析可以确定, 登陆浙江或近海转向台风最有可

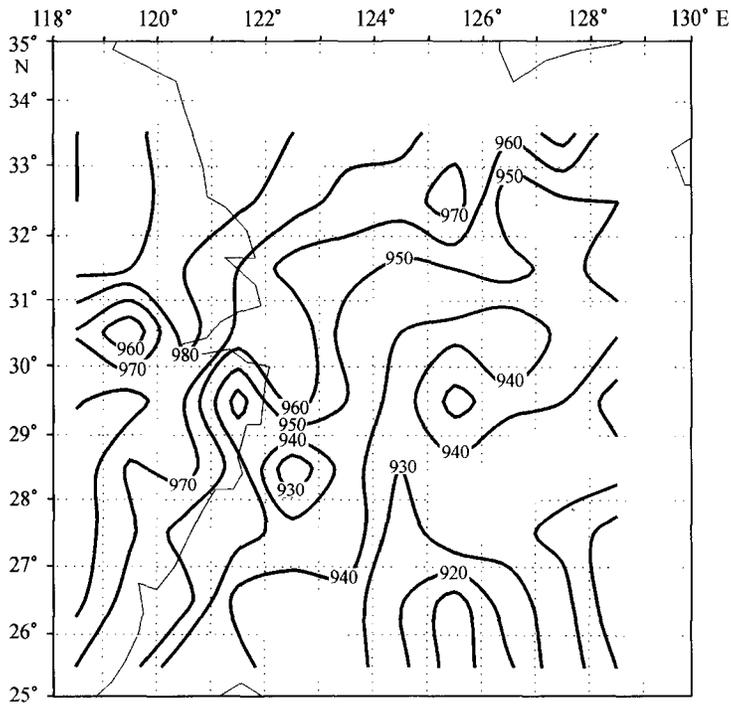


图1 1949~1998年间台风中心最低气压(hPa)分布

表1 历年台风进入上海附近区域强度加强

台风编号 (序号)	进入区域前 中心气压/hPa	进入区域后 6 h 中心气压/hPa	进入区域后 12 h 中心气压/hPa	6 h 变压/hPa	12 h 变压/hPa
7805	994	992	992	-2	-2
8807	980	970	985	-10	+5
8909	985	980	975	-5	-10
0012	970	965	965	-5	-5

能造成上海地区最高水位.从台风强度上看,台风越强,越有利于台风增水而易致高水位,但台风的强度也不是无限制地增强,它随纬度减弱较快.因此,对于台风的中心气压,可以取它所在纬度的历史最低值来代表.影响台风增水的另外一个原因是台风的移动速度,台风运动慢,大风作用的时间长,造成的增水就大;台风运动快,大风作用的时间短,造成的增水就小.因此,这也是一个必须考虑的因子,然而在以往的同类研究工作中均没有考虑这一变化.台风路径是影响台风增水的决定因素,根据本文的分析,我们取具有代表性的5612号台风和8114号台风路径作为典型台风路径,并在此基础上进行路径平移,以便找到一个产生最大增水的台风路径.

### 3 用统计方法估计上海地区可能最高水位

上海市海洋环境预报台研制的上海地区强风暴潮预报统计适用模式<sup>1)</sup>建立吴淞站24 h极

1)《上海市地区强风暴潮位预报系统研制》技术报告,2002.

值增水预报方程如下:

$$H_{W24} = 92.56 - 0.35X_1 \cos\theta - 2.97X_2 + 0.72(1\ 008 \cdot X_3) + 24.04X_4, \quad (1)$$

式中,  $H_{W24}$  为预报时效 24 h 的吴淞站极值增水预报值, 单位为 cm;  $X_1$  为预报起始点大戢山观测站的风速;  $\theta$  为预报起始点大戢山观测站的风向与增水主风向东北向间的夹角;  $X_2$  为产生最大增水时台风中心与吴淞站的距离;  $X_3$  为产生最大增水时台风中心气压预报值;  $X_4$  为经验校正参数.

对该极值增水预报方程进行极值化处理简化如下:

$$H_{W24} = 92.56 + 0.35X_1 + 0.72(1\ 008 \cdot X_3) + 24.04X_4. \quad (2)$$

根据台风的模型气压场和模型风场<sup>[3,4]</sup>, 5612 号台风和 8114 号台风的移动路径采用估算的中心气压值、计算预报起始点大戢山观测站的风速, 代入预报方程即可算出吴淞站 24 h 极值增水值. 对 5612 台风和 8114 台风的移动路径设计多种方案进行数值计算, 其结果列于表 2.

表 2 不同假想台风路径和强度条件下, 用统计模式对吴淞可能最大水位估值

台风编号	路径平移(纬距)/(°)	大戢山的风速/ $m \cdot s^{-1}$	中心气压值/hPa	吴淞增水值/cm
5612	原路径	37.98	911.15	199.33
5612	北抬 0.5	39.80	907.24	202.78
5612	北抬 1.0	41.06	901.80	207.14
5612	北抬 1.5	42.09	897.13	210.86
5612	南移 0.5	34.65	911.15	198.05
5612	南移 1.0	30.30	911.15	196.64
8114	原路径	34.65	930.00	184.59
8114	西移 0.5	34.65	930.00	184.59
8114	西移 1.0	35.16	926.94	186.97
8114	西移 1.5	35.16	926.94	186.97
8114	西移 2.0	34.84	927.22	186.66
8114	东移 0.5	34.65	930.00	184.59
8114	东移 1.0	34.32	930.05	184.44

从表 2 的结果看出, 用统计方法估算的可能最大增水只有 210 cm, 发生在 5612 号台风路径北抬 1.5° 时. 这一增水估值比现有的观测结果明显偏小. 造成这一结果的原因是在建立统计方程时, 只对历史样本进行拟合, 它不能包涵小概率的极端增水事件的样本. 因此, 用统计方法进行上海地区可能最大增水的估算是不合适的, 除非在资料统计的基础上再进一步地利用概率分析进行极值分布的分析, 但这已经超出本文所研究的范围.

## 4 用数值模式估计上海地区最大可能水位

### 4.1 研究方法

考虑到风暴增水是一个由大气强迫力作用于海面所造成的与海岸形状和海底地形有关的海水运动的数学物理问题. 考虑到强烈的增水一般发生在近岸, 岸形与底形的变化对增水将产生很大的影响, 故本研究选用一个适合于河口、海岸和海洋的三维的原始方程模式(ECOM-

Si). 该模式由 Blumberg 和 Mellor<sup>[5]</sup> 始建于 1975 年, 后经许多知名学者改进, 使之更臻完善, 不断出现了新的版本, 并被成功地用于研究世界沿海各海区的许多河口、海岸和海洋动力学问题<sup>[6]</sup>, 其可靠性已被足够的实测资料所证实. 虽然该模式可以被用来计算自由表面(海面)高度, 但至今尚未见用该模式计算风暴潮的报道. 该模式的主要特点是: (1) 采用了自然正交网格和  $\sigma$  坐标系, 从而使海洋的岸线和海底地形能够被充分地考虑; (2) 运用湍流闭合子模式计算垂直湍流系数; (3) 完整地考虑了诸热力学过程; (4) 运动方程的差分格式在水平方向采用半隐式格式, 垂直方向采用隐式格式. 本文的计算范围如图 2. 模式的计算域为 ( $29^{\circ} \sim 33.5^{\circ} \text{N}$ ,  $120^{\circ} \sim 125^{\circ} \text{E}$ ), 覆盖了长江口、杭州湾、岛屿及海岸(图 2). 图 3 给出了计算所在的区域海底地形高度分布. 从图 3 可以看出, 长江口的复杂地形和该区域的一些小的岛屿均可以较好地分辨出来. 在长江口区有较细水平网格分辨率, 而在外海, 网格的分辨率则增大. 计算网格最小格距为 300 m(长江口内), 最大格距为 5 km(分布在外海), 时间步长为 120 s. 在模式计算区域的陆边界上取法向速度为 0, 而开边界上采用辐射边界条件. 通过海表面气压风应力是连续变化的. 模式方程从初始的静止状态进行积分. 该模式在长江口区天文潮和风暴潮的应用将另文给出.

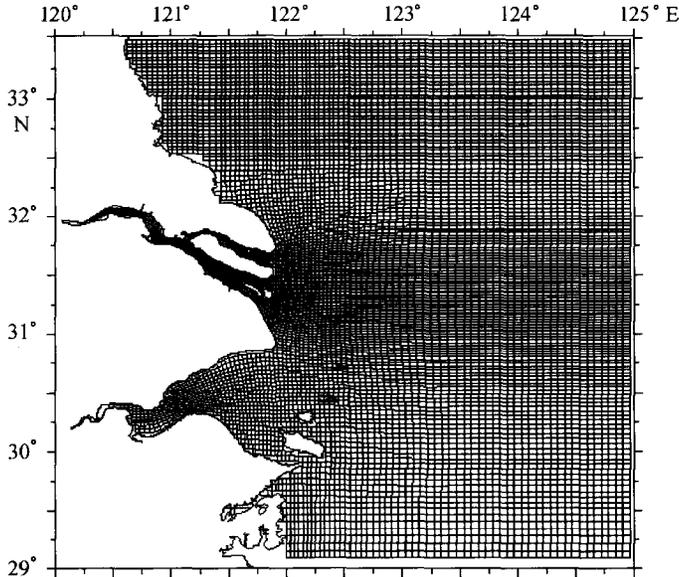


图 2 模式计算区域

关于上海地区可能最高水位分析, 文献[7]用二维海洋模式在考虑影响上海地区最大可能台风和未来海平面上升因素后, 已经给出了初步的结果分析, 但该文, 在估计最大可能影响上海地区的台风时, 只考虑了台风路径变化, 而未能全面考虑台风的最大可能强度及其变化. 另一方面, 二维海洋模式的水平分辨率较粗(长江口区 33 km), 对长江口区的复杂地形描述不够精确, 这在一定程度上必然要影响台风风暴潮的模拟精度. 因此, 这里将在文献[7]对台风路径分析的基础上, 结合本文第 2 节有关影响上海地区台风路径和强度分析, 应用 ECOM-Si 数值模式进行上海地区的可能最高潮位数值研究.

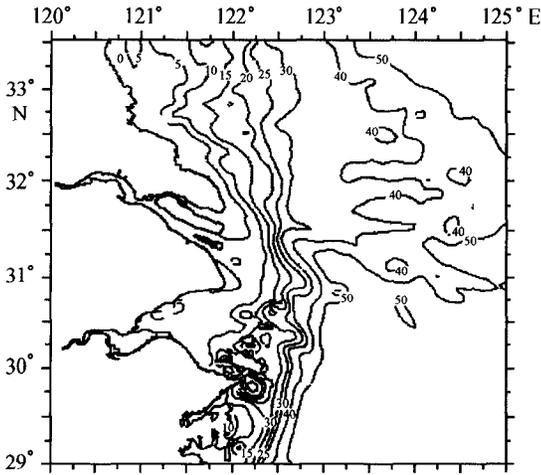


图3 模式计算区水深(m)分布

### 4.2 数值试验方案

选取 5612 号和 8114 号台风的路径为基本的参考路径,对于 8114 号台风,经验表明,当它的路径向西移动时,由于台风靠近上海,可能会导致上海地区增水加大.因此,设计将 8114 号台风路径整体西移,为保险起见,同样也设计将实际 8114 号台风路径整体向东移动.表 5 列出了 8114A—G 台风可能路径试验方案.文献[7]研究表明,5612 号台风要配 8114 号台风期间的天文大潮汛才能产生高水位.因此,除非特别说明,下面涉及到的试验方案都将在 8114 号台风天文大潮汛的基础上讨论.5612 号和 8114 号台风路径见图 4.对于在浙江登陆的 5612 号台风,若将它

的路径整体向北抬移时,台风更接近上海,而且长江口区吹有利于增水的东风,因此将 5612 号台风路径设计为北抬,并对北抬的不同幅度进行数值试验,因而有 5612A—F 该台风多种可能路径试验方案(见表 6).

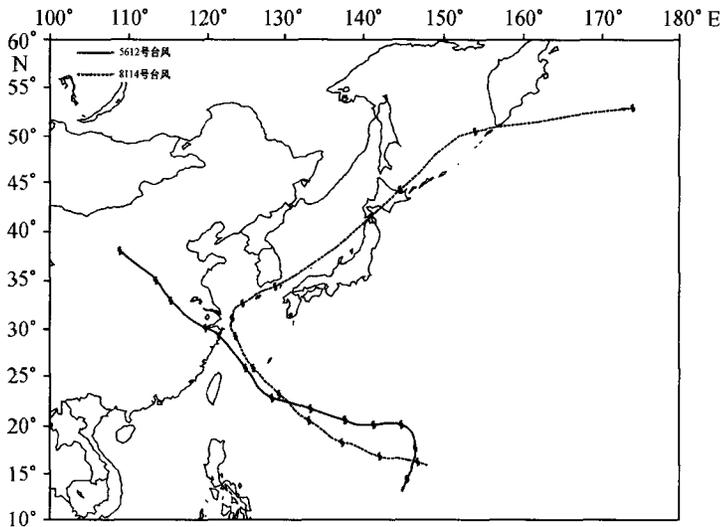


图4 5612号(实线)与8114号(虚线)台风路径图

此外,从 5612 号台风的移动速度看,它在进入东海后,移动加快,移动速度达 30 km/h. 快速移动的台风是不利于增水的.因此,在统计分析历史资料的基础上,设定 5612 号台风以 3 种速度移动,它们的速度分别是 30 km/h(实况,快速)、20 km/h(中速移动)和 10 km/h(慢速移动).根据这 3 种移动速度再配以北抬的位置所在点的台风历史最低中心气压,也进行了数值试验.

对台风的强度的设计见表3和4,表中各个时次的中心气压估算值均为该位置处的历史最低值,这是因为如此强的台风在该位置不会再发展,只有减弱.这样设计不仅符合气候规律,而且有较可靠的安全保险系数.

表3 5612号台风中心气压(hPa)估算值

日期		02:00	08:00	14:00	20:00
7月31日	位置	22.6°N, 129.4°E	22.8°N, 128.3°E	23.3°N, 127.3°E	23.9°N, 126.5°E
	历史最低值	911	911	915	915
8月1日	位置	24.9°N, 125.8°E	25.8°N, 125.0°E	26.9°N, 124.0°E	28.3°N, 122.7°E
	历史最低值	921	921	921	921
8月2日	位置	29.6°N, 121.2°E	30.1°N, 119.9°E	30.8°N, 118.4°E	
	历史最低值	921	935	935	

表4 8114号台风中心气压(hPa)估算值

日期		02:00	08:00	14:00	20:00
8月30日	位置		24.5°N, 127.4°E	25.2°N, 126.7°E	25.8°N, 126.0°E
	历史最低值		920	920	921
8月31日	位置	26.5°N, 125.3°E	27.2°N, 124.8°E	28.2°N, 124.3°E	29.2°N, 123.7°E
	历史最低值	921	921	921	921
9月1日	位置	29.9°N, 123.2°E	30.4°N, 123.1°E	30.7°N, 123.2°E	31.1°N, 123.3°E
	历史最低值	930	930	935	935
9月2日	位置	31.6°N, 123.4°E	32.0°N, 123.5°E	32.2°N, 123.8°E	32.7°N, 124.6°E
	历史最低值	940	975	984	984

本文所用的大气强迫力场均用台风模型气压场和模型风场.模式气压场取 Fujita 分布<sup>[3]</sup>,模型风场分布由 Ueno 公式<sup>[4]</sup>给出.

### 4.3 数值结果分析

根据表5的试验方案计算结果可以看出,当8114号台风路径被整体逐渐向东移时,它所引起的上海地区可能最大增水渐渐变小.比如当把台风的实际东移1.0经度时,可能最大增水从285 cm减小到230 cm,这是由于台风东移时,该台风远离上海海岸,台风的最大风速区域也随之东移,造成该地区水位减小;当把该台风的实际路径整体向西移时,该台风越来越接近上海,所以能造成上海地区最大可能水位.当台风西移0.5个经度时造成上海地区可能最大增水为289 cm(见表5),但继续把台风路径整体西移时,可能最大水位将减小,这是因为在这种台风路径下,长江口区以东南风为主,而不是通常情况下的最有利增水的东北风或东风.

从表6可以看出,以3种不同的速度移动的5612号台风路径被整体北抬时增水明显增加.当台风被北抬纬度增加到2.0°时,增水达到最大值,以10, 20, 30 km/h三个速度移动台风造成的增水分别是446, 408和362 cm.实际上,当台风被整体北抬过程中,其中心气压应该减弱,而上面的试验未考虑这一因素,因此有必要对5612台风北抬进行强度订正.

表 5 8114 号台风试验方案描述及试验结果

试验方案	路径方案描述	可能最大风暴增水/cm
8114	8114 号路径、实况强度	195
8114A*	8114 号路径	285
8114B	8114 号路径西移 0.5°	289
8114C	8114 号路径西移 1.0°	263
8114D	8114 号路径西移 1.5°	225
8114E	8114 号路径西移 2.0°	165
8114F	8114 号路径东移 0.5°	260
8114G	8114 号路径东移 1.0°	230

\* 凡未注明强度者,均采用历史最低气压进行模拟.

表 6 5612 号台风试验方案描述及试验结果(单位:cm)

试验方案	路径方案描述	不同方案的最大可能增水		
		实况强度快速移动 / $\times 30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	实况强度中速移动 / $\times 20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$	实况强度慢速移动 / $\times 10 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$
5612A	5612 号路径、实况强度	195	195	212
5612B	5612 号路径北抬 0.5°	236(222*)	267(235)	303(283)
5612C	5612 号路径北抬 1.0°	280(255)	325(281)	373(327)
5612D	5612 号路径北抬 1.5°	329(287)	380(309)	434(363)
5612E	5612 号路径北抬 2.0°	362(305)	408(332)	446(367)
5612F	5612 号路径北抬 2.5°	359(298)	400(320)	384(305)

注:括号内的值为考虑台风北抬强度随纬度减弱后的可能最大增水.

根据历史资料分析得知,台风北移过程中台风的中心气压将随纬度增加,因此,在追加的数值试验中我们考虑到这种影响,将 5612 号台风北抬过程中的气压进行修正,试验结果列于表 6(括号内的数值).从表 6 可以看出,在考虑台风北上过程中台风强度减弱因素后,相应的可能最大增水也减小,其最大值是假想台风 5612 号台风被以 10 km/h 北移 2.0° 并取所在位置的历史最低气压造成的,其值为 367 cm.

综上所述,在考虑可能变化的台风路径、强度、移动速度以及天文大潮汛等综合因素后,得到上海地区(吴淞)可能最大增水是 5612 台风以 10 km/h 北移 2° 并取所在位置的历史最低气压值造成的,其值为 367 cm,如以上海地区天文高潮值 420 cm 计算,该地区可能最高潮位为 787 cm.

#### 4.4 与以往结果的比较

应仁方等<sup>[1]</sup>用 8114 号台风路径资料中的台风中心位置、强度等数据作为 Jelesnianski 台风模式的基本输入,然后用气压潮和辐射潮两种边界条件进行数值实验,设计 5612 号台风路径平行整体移 1 个纬距左右,并以 8114 号台风路径为基础,用与 5612 号台风进入东海后强度相当的中心气压和最大风速值代之的两种“假想台风”,取最大风速半径为 125 km 输入数值水模型,分别得出吴淞峰值增为 356 和 366 cm.

根据前人对天文潮与风暴潮之间非线性耦合研究的结果,选用吴淞历史上峰值超过 1 m 的 20 个台风增水过程,统计出各个过程的峰值增水的均值  $\bar{\zeta}_{\max}$ ,正常(即预报的)天文高潮值

与实测高潮值之差的均值  $\Delta\bar{H}$  与  $\bar{\zeta}_{\max}$  之比值为

$$\Delta\bar{H}/\bar{\zeta}_{\max} = 0.584. \quad (3)$$

将前述所得的 356 和 366 cm 分别乘以这一比值,再叠加于最高天文潮位 463 cm 上,得出吴淞可能的最大高潮位为 671 和 677 cm.

刘科成<sup>2)</sup>通过对上海港地形和潮位及影响上海港台风暴潮特征的分析,得出引发和影响上海港台风暴潮的主要因素是台风路径、台风强度、台风登陆时的入射角和台风移速等的结论.

运用天气学方法,从这些因素中选出最恶劣最严重的组合成模式台风,其中心位于浙江中北部沿海海面,最低中心气压为 921 hPa,移速为 30 km/h 和台风登陆时的入射角约 70° 等等,引用改进的动力增水的一维方程式:

$$\Delta H_m = b\Delta P_0(R/r) + a$$

来计算台风过程高高潮增水极值  $\Delta H_m$ ,其中  $R$  为台风最大风速半径; $a$  为系数.

依据过程增水极值超过 100 cm 的全部台风样本,求出过程增水极值  $\Delta h_m$  与过程高高潮增水极值  $\Delta H_m$  之间的回归方程:

$$\Delta H_m = 0.6603\Delta h_m - 0.1244.$$

将计算得出上海港的过程高高潮增水极值 278 cm 与台风季节中易出现的天文高潮 432 cm 叠加,最后估算出上海地区在台风影响下可能最高潮位为 710 cm.

由此可见,前者根据数值模式给出的最大可能增水值为 366 cm,与本研究的结论基本接近,但在考虑与天文潮的叠加时取一定的系数是根据统计结果给出.这一叠加结果有待进一步研究.后者的结果基本上只考虑了一维动力学,有一定的局限性.

## 5 结论

本文利用《西北太平洋热带气旋年鉴》资料,分析了影响上海地区可能最高潮位的台风路径、强度变化特征.分析表明造成上海地区严重风暴潮的台风路径有 3 种类型,它们分别是登陆浙江沿海西行类,如 5612 号台风;近海北上转向类,如 8114 号台风;正面袭击上海类,如 7708 号台风.分析了影响上海地区台风强度变化的纬度分布特征.

利用统计模式,根据假想台风路径、强度变化给出的可能最大增水只有 210 cm,发生在 5612 号台风北抬 1.5° 时,显然这一增水值明显偏小,这是因为统计方法不能包涵这种小概率极端增水事件的样本.因此,本文认为用统计方法进行上海地区最大可能增水的估算是不合适的,除非在统计的基础上再进一步地利用概率的方法进行极值分布的分析.

在考虑可能变化的台风路径、强度、移动速度以及天文大潮汛等综合因素后,利用高分辨率的 ECOM-Si 数值模式计算出的上海地区可能最高潮位是将 5612 台风以 10 km/h 北移 2 个纬度并取所在位置的历史最低气压值造成的,其最大可能增水为 367 cm,考虑叠加上海地区天文高潮值 420 cm,上海地区可能最高潮位为 787 cm.

除了所用数值模式的固有特色外,在本文研究中不仅考虑了通常的台风路径和台风强度以及天文潮汐等影响因子,还突出地考虑了台风的移动速度和台风历史最低中心气压随纬度

2) 刘科成.上海港可能最大台风暴潮的估算.上海台风研究所科研技术报告,1984.

的变化等因子在估计上海地区可能最大增水的作用。

本文的研究结果是初步的,采用的风暴潮的模式的分辨率还有待进一步的改进,特别是对吴淞地区的复杂航道的水深资料变化有待进一步细化;对于影响上海地区台风强度的估计还需要进一步的研究,它们对吴淞口的潮位估计会有很大的影响.此外,有时上海地区的风速还受北方小股冷空气的影响,目前对于这类风场的模拟还存在一定的困难,同时我们还应该看到长江口区的工程变化有可能是引起吴淞潮位变化的人为因素,这些都还需要更为详细地考证和分析,以便获得更精确、更客观的上海地区可能最大潮位的估计值。

### 参考文献:

- [1] 应仁方,羊天柱.上海防洪水位研究中吴淞台风暴雨数值计算与可能最高潮位的分析[J].海洋学报,1986,7(4): 423—428.
- [2] 于宜法,俞聿修.海平面长期变化对推算多年一遇极值水位的影响[J].海洋学报,2004,25(4): 10—17.
- [3] FUJITA, T. Pressure distribution in typhoon[J]. Geophys Mag, 1952, 23: 437—452.
- [4] UENO T. Nonlinear numerical studies on tides and surges in the central part of Seto Inland Sea[J]. Oceanogr Mag, 1964, 16: 53—124.
- [5] BLUMBERG A F, MELLOR G L. A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model[A]. HEAPS N S. Three-dimensional Coastal Models[M]. Washington, D. C: Amer Geophys Union, 1987. 1—6.
- [6] 朱建荣,朱首贤. ECOM 模式的改进及在长江河口、杭州湾及邻近海区的应用[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(4): 364—388.
- [7] DUAN Yi-hong, QIN Zeng-hao, LI Yong-ping. Influence of sea level rise on Shanghai astronomical tide and storm surge and estimation of probable maximum water level[J]. Chin J Oceanol Limnol, 1998, 16(3): 298—307.

## Estimation of probable maximum water level in Shanghai

DUAN Yi-hong<sup>1</sup>, GAO Quan-pin<sup>1</sup>, ZHU Jian-rong<sup>2</sup>

(1. Shanghai Typhoon Institute, Shanghai 200030, China; 2. State Key Laboratory of Estuaries and Coast Research, China East Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** The characterization of track and intensity change of tropical cyclone is analyzed that induces remarkable storm surge. It is shown that there are three kinds of track that affect Shanghai, they are westward moving of land-falling at the east coast of Zhejiang Province, northward moving inshore and positively hit Shanghai on the sea. The change in the tropical cyclone intensity as it passes the area near to Shanghai is remarkable. In general, the minimum surface level pressure of tropical cyclone center near to Shanghai is greater than 920 hPa. The probable maximum water level in Shanghai area estimated using the statistical method is about 210 cm. This is not suitable for the estimation of water level in Shanghai due to the lack of statistical method for the description of small probability. The results of numerical simulation indicate that considering the combination of probable tracks, estimated intensities and various velocities of tropical cyclone movement, the probable maximum water levels are calculated using a three-dimensional numerical model. The result indicates that the probable maximum water level appears when the track of TC 5612 is set to move 2° in latitude and the minimum sea surface pressure takes the lowest value in Shanghai. The estimated probable water level is 787cm.

**Key words:** Changjiang River; possible maximum water level; numerical simulation