

防城港台风暴潮的初步分析及预报

李 树 华

(广西海洋研究所)

摘 要

本文根据防城港现有的验潮资料,利用差值法,求出18场台风的增水极值。分析了防城港风暴增水特性和引起增减水的物理机制。指出防城港主风向为东南偏东。利用地转风公式,计算了地转风风速。通过回归分析,导出了防城港风暴增水的预报方程。对预报方程进行了显著性和非独立性检验。并利用1983年的两次非样本值,作了独立性检验。检验结果表明,预报精度基本满足实际要求,预报方程也是比较稳定的。故用所求得的预报方程对防城港风暴增水进行预报是可行的。

防城港地形及潮汐概况

防城港是一个新建港口。它位于北部湾湾顶。海湾北面为防城河入海口,口门向南敞开。其岸线走向为东北—西南,两岸是低山丘陵地带。港湾水道曲折,水深一般为8—15米。防城港潮位站建于港口内。

该港潮汐属于正规全日潮型。其潮汐性质 $\frac{H_{k1}+H_{o1}}{H_{M2}}=5.20$ 。平均涨潮历时为10.89小时,落潮历时8.18小时。多年平均潮差2.22米,最大潮差4.73米。平均潮位为2.28米,最高潮位4.96米。是一个典型的全日潮港。

防城港风暴潮增减水特征

据资料分析,北部湾的风暴潮有一明显的特点,即在增水前期有一减水阶段。从减水到增水的时间间隔一般为2~26小时不等。资料分析表明,影响防城水位异常变化的主要因素是:风、气压、台风路径、径流和潮汐等。下面分别对各因素在风暴潮增减水中的贡献作一定性的分析。

1. 风效应

风是诱发水位异常变化的主导因素。它直接作用于海面,引起风生漂流。漂流使沿岸产生海水体积运输,当岸线位于风向右方时,风导致沿岸海水辐散,从而使海面下降,即产生减

* 本文1984年收到

水效应，反之，当岸线位于风向左方时，海水辐聚，导致海面升高，即产生增水过程。

分析防城港台风暴潮的增减水规律表明，增水极值时间一般落后于最大风速出现时间。其主轴风方向为东南偏东，即东南偏东方向的风最有利于防城港的水位升高。当海面持续吹刮4小时以上的东南偏南—东北偏北大风时，将会引起防城港水位急剧升高，其增水值大于减水值；相反，若海面吹刮北—西南大风时，防城港的增水不明显，其减水值大于增水值。如8007号和7818号两场强台风，其风力基本相等，但8007号台风，海面持续几小时吹刮东南偏东—东北偏东大风，其增水值达1.84米，减水值只有0.64米，而7818号台风海面主要吹刮北—西南大风，其增水值只有0.56米，减水值却达1.03米。由此可见，建立预报方程时，必须考虑风向的变化对水位的不同影响。

2. 气压的影响

关于气压对潮位的影响，即气压每改变1毫巴，水位朝相反方向改变1厘米。防城港在台风期间，气压变差达几毫巴到十几毫巴。即气压的变化对水位的影响可达十几厘米。由此可见，气压对水位异常变化的影响，是一个不可忽视的重要因素。

以上仅讨论静压效应对水位的影响，当气压系统移动时，同样对水位有显著影响。气压系统移动时对水位的影响可用下式表示：

$$\zeta' = \frac{\zeta}{1 - \frac{V^2}{gh}} \quad (1)$$

式中 g 为重力加速度， h 为水深， gh 即为浅水自由潮波传播速度的平方， V 为气压系统移动速度， ζ 为系统移动所引起的增水值。从(1)式中可知，当 $V < \sqrt{gh}$ 时，风暴潮位随移行速度的增加而增加；反之，当 $V > \sqrt{gh}$ 时，风暴潮位随移行速度的增加而减少；当 $V = \sqrt{gh}$ 时，发生共振，即出现极值增水。

由于地形的影响以及海水本身的粘滞性，当最低气压过境时，防城港并非立即引起最大增水，而是有一“滞后”时间。一般当最低气压在本站出现时，最大增水出现时间滞后2~20小时；当最低气压过境前，海面普遍先出现减水过程，然后再由减水转为增水，以至达到最大增水。如图1所示。

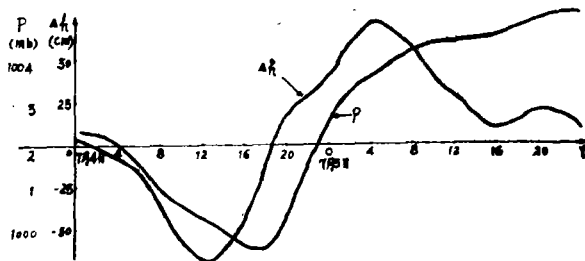


图1 8105号台风暴潮位变化与气压变化的关系

3. 潮汐和径流的影响

北部湾的潮波是由外海传来的潮波及其反射潮波相互干涉而形成的，主要呈驻波性质。

台风影响本港时,潮汐状况和防城河径流的大小,对水位变化有不同的影响。一般,当本站处于最低气压时,若此时潮汐处于落潮时期,风暴潮波逆流而上,与落潮流和径流的方向相反,其增水值不大;反之,风暴潮波顺流而上,海潮顶托,此时风暴潮流和涨潮流与径流方向相反,出现拥水情况,水位急剧暴涨,其增水值较大,在风力相同的情况下,涨潮流水位比落潮流水位变化幅度大。如8005号和7818号台风,前者潮汐是处于涨潮,增水值达1.84米,而后者则处于落潮,增水值仅0.56米。

关于径流对水位异常的影响。曾在防城港口门取一断面对其潮量进行计算,将计算结果与防城河径流比较,发现径流对防城港的水位影响,一般是0.15米左右。

4. 台风路径的影响

资料分析表明,当台风中心进入东经 118° 以西,北纬 14° 以北时,水位就出现异常变化。而此时水位主要呈减水阶段。当台风中心进入 110° 以西,北纬 18° 以北时,减水值达最大,弥后逐渐转为增水。如8005号台风,6月25日台风中心位于北纬 14° 、东经 116° ,此时水位受到了影响,出现明显的减水。6月27日台风中心已进入北纬 18° 以北、东经 110° 以西海区,减水值随着达到最大。台风于28日14时在东兴登陆,最大增水值发生在28日16时。见图2。

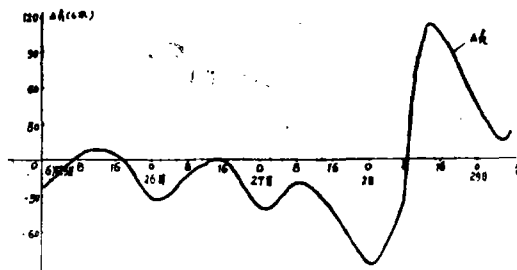


图2 8005号台风暴潮位变化过程线

根据资料分析,造成防城港增水的台风路径主要可分为两类:一是东南—西北向台风,此类台风穿过海南岛东北部或经过雷州半岛,在东兴或越南北部登陆,其引起的增水值最为显著,如8007号台风,增水值达1.84米;二是横穿海南岛或绕过海南岛南部,进入北部湾南部海区,在越南清化至洞海一带登陆,此类台风引起的增水值不大,如7709号台风,增水值仅0.57米,8221号台风也仅是0.68米。

通过以上分析可知,只有当台风中心进入北纬 20° 以北、东经 110° 以西的海区时,才引起防城港增水现象。因此,可把北纬 20° 、东经 110° 作为本站风增水警戒线。当台风中心进入警戒线后,即可对风暴增水进行预报。

预报因子的选择和确定

如上所述,导致风暴潮的因素很多,如气象因素中的气压、风速、风向、风区、风时、降水、蒸发,水文因素中的径流等。为提高预报效率,预报方程不可能全部包含这些因素,

况且这些因素相互之间也有一定的制约关系。为从各因素中选择预报因子，本文首先从计算相关系数入手，找出相关系数较大者作为预报因子。通过计算，发现气压变差、地转风风速、实测平均风速的相关系数较大，故选取这三个物理量作为预报因子。这三个物理量的确定如下：

(1) 地转风风速的确定

地转风即在水平气压梯度力和水平科氏力达到平衡条件下的水平运动，根据自由大气的水平运动方程

$$\frac{dV_h}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla_h P - f \mathbf{k} \times V_h \quad (2)$$

式中 V_h 为实际风速， f 为柯氏力， ρ 为空气密度， ∇ 为拉普拉斯算子。由地转风定义，则

$$\frac{dV_h}{dt} = 0, \text{ 以 } V_g \text{ 表示地转风, 则 (2) 式变为:}$$

$$-\frac{1}{\rho} \nabla_h P = f \mathbf{k} \times V_g \quad (3)$$

将(3)乘 \mathbf{k} 得:

$$-\frac{1}{\rho} \cdot \nabla_h P \times \mathbf{k} = f (\mathbf{k} \times V_g) \times \mathbf{k} \quad (4)$$

而 $(\mathbf{k} \times V_g) \times \mathbf{k} = (\mathbf{k} \cdot \mathbf{k}) V_g - (\mathbf{k} \cdot V_g) \mathbf{k} = V_g$

故得地转风公式为:

$$V_g = -\frac{1}{\rho f} \nabla_h P \times \mathbf{k} \quad (5)$$

其分量式为:

$$U_g = -\frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (6)$$

$$V_g = \frac{1}{\rho f} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (7)$$

由干气体状况方程得:

$$P_d = \rho R T \quad (8)$$

式中 $R = 2.87 \times 10^{-1}$ 焦尔·克⁻¹·度⁻¹，为单位质量干空气的气体常数， $T = 270 + T_d$ 为绝对温度， P_d 、 T_d 分别为现场气压与气温。

将(8)式代入(6)、(7)两式得:

$$U_g = -\frac{RT}{f P_d} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (9)$$

$$V_g = \frac{RT}{f P_d} \frac{\partial p}{\partial y} \quad (10)$$

取 $T_d = 27^\circ\text{C}$ 、 $P_d = 1000.8\text{mb}$ 、 $\varphi = 20^\circ$ ，将涠洲与白龙尾两站的气压差，由(9)、(10)两式求地转风，近似地代表北部湾东北部海区的平均地转风。可以证明，将 T_d 、 P_d 取作常数，对地转风的变化影响不大。

将以上的值分别代入(9)、(10)两式，经运算得:

$$U_g = -8.90(P_1 - P_2) \quad (11)$$

$$V_g = 22.24(P_1 - P_2) \quad (12)$$

式中 P_1 是涠洲的气压值, P_2 为白龙尾的气压值,单位:毫巴。

上面已提到,防城港风增水主轴为东南偏东,故通过坐标变换求出地转风东南偏东分量,其计算式为:

$$V_{ESE} = U_g \times 0.9239 - V_g \times 0.3827 \quad (13)$$

(2) 实测平均风速的确定

由(5)式计算的地转风远远地大于实际风,它只反映海面风场状况。而沿岸和岛屿的实测风直接反映了实际风场。因此,选取涠洲、北海、白龙尾三站的实测风,求其算术平均值,作为反映实际风场的预报因子。

(3) 气压变差的确定

上面已论述气压对风增水的影响。当前期气压与预报时的气压变化较大时,一般会引起海面的增减水。故取预报时与预报前48小时的气压差作为气压变差,引入预报方程。

预 报 方 程

确定了预报因子后,经回归分析,给出防城港风增水的预报公式如下:

$$\Delta h = -73.8 - 8.98(P_0 - P_{-48}) + 2.43F + 0.77V_{ESE} \quad (14)$$

式中 V_{ESE} 为地转风的东南偏东分量,按(13)式计算,单位为米/秒; F 为北海、涠洲、白龙尾三站的平均风速值,单位为米/秒; $\Delta P = P_0 - P_{-48}$ 为气压变差, P_0 为预报时的气压值, P_{-48} 为预报前48小时的气压值,单位均为毫巴。

为了了解预报方程(14)的精度和稳定性,下面对方程作显著性检验和非独立性检验。用1983年的两次非样本值,对方程进行独立性检验。然后,说明方程的使用及如何确定风增水极值的出现时间。

1. 显著性检验

由数理统计理论知,衡量一个回归方程的效果,可由复相关系数 R 体现出来, R 介于0与1之间, R 越大,回归效果越好。而剩余标准差 S ,则可用以估计回归方程的精度,标准回归系数 b_i' 反映了各预报因子的重要性。表1给出了方程(14)的各系数。

表1

符 号	R	S	b_1'	b_2'	b_3'
系 数	0.88	17.93	0.9138	0.2631	0.4857

由表中知, 预报方程所选择的预报因子与预报量之间是有良好的线性关系的, 预报效果较好, 其精度已满足实际要求。标准回归系数 b_1' 最大, b_2' 次之, b_3' 最小, 即预报因子中, 气压变差 ΔP 最重要, 每变化1毫巴, 风增水约变化9厘米。

为检验预报方程是否显著, 下面给出了方差分析表。

表2 方差分析表

来源	平方和	自由度	方差	F
回归	15346	3	5115.3	15.92
剩余	4498	14	321.3	
总计	19844	17		

若采用显著水平 $\alpha = 0.05$, 则由F分布表查得 $F_{\alpha}(3, 14) = 3.34$, 构造统计量 $F > F_{\alpha}$, 故回归方程(18)是显著的。

2. 非独立性检验

表(3)是由样本值计算所得的检验结果。

表3

台风 序号	$\Delta h_{实}$ (厘米)	$\Delta h_{预}$ (厘米)	误差 (厘米)	台风 序号	$\Delta h_{实}$ (厘米)	$\Delta h_{预}$ (厘米)	误差 (厘米)	检验预报 误差 (厘米)	出现 次数	累积 次数	累积 保证率 (%)
7709	57	49	8	8005	117	94	23	0~5	3	3	17
7703	124	107	17	8007	184	167	17	6~10	4	7	39
7812	86	117	-31	8011	75	69	6	11~15	2	9	50
7818	56	81	-25	8014	63	57	6	16~20	3	12	67
7908	56	83	-27	8105	73	50	23	21~25	4	16	89
7918	89	65	24	8102	48	64	-16	26~30	1	17	94
7510	78	79	-1	8113	58	53	5	31~35	1	18	100
7515	62	65	-3	8217	49	42	7				
7619	63	41	12	8221	68	80	-12				

由表3可知, 最大误差为31厘米, 15厘米以下的保证率为50%, 30厘米以下的保证率高达94%。由此说明, 预报方程已满足了实用要求。

3. 独立性检验

利用1983年两次台风增水的实测值,对预报方程进行独立性检验,结果如表4。由表4可知,预报量与实测值最大误差为11厘米,基本上满足了实用上的要求。由此说明,预报方程是较为稳定的。

表4

台序	风号	V_{ESE} (米/秒)	F (米/秒)	ΔP (毫巴)	$\Delta h_{实}$ (厘米)	$\Delta h_{预}$ (厘米)	误差 (厘米)
8303		234	9	-6.8	200	189	11
8311		92	4	-4.4	46	46	0

4. 风增水极值时间的确定

由于风增水极值出现时间与本站离台风中心距离成正比,故取台风中心进入警界线时,离本站的距离R(纬距)作相关因子。经回归分析,推求得风增水极值出现时间的公式为:

$$T_c = -5.23 + 8.86R \quad (15)$$

T_c 为台风中心进入警界线至出现增水极值的时间间隔。公式(15)经显著性检验,构造统计量F大于 F_{α} ,确认是显著的,即说明 T_c 与R之间关系是明显的。其相关系数 $R = 0.87$,剩余标准差 $S = 2.80$ 。

用公式(15)作回报,最大误差为3.6小时,2小时以下的保证率为61%,3小时以下的保证率达94%。

5. 对预报方程的使用

以台风中心进入警界线时作为起报时间。此时需作如下几步工作:

(1) 根据气象部门预报的台风路径趋向,量出台风中心进入警界线时,离本站的最小距离R。由公式(15)确定风增水极值的出现时间。

(2) 求出涠洲与白龙尾的气压差,由公式(13)计算地转风 V_{ESE} 。

(3) 根据白龙尾、北海、涠洲三站的实测风速和风向,求出其平均风速F。

(4) 求出气压变差 ΔP 。

(5) 将以上所求诸值,代入预报方程(14),推求得台风暴潮的最大增水值 Δh 。

由公式(14)算出的结果仅是台风增水极值,故需把风增水值加上相应的正常天文潮潮位,才是实际的潮位预报值。

结 语

防城港台风暴潮的预报工作仅是初步尝试,由于验潮资料短缺,仅取18个样本值作回归分析。因此,回归方程的稳定程度还难以预测。虽然对预报方程作了独立性检验,但仅由两

次非样本值所得结果，也是难以说明回归的效果的。如何提高预报精度，使预报方程趋于稳定，还需要更多的样本值，推求出新的回归方程。

对增水极值出现时间的确定，需凭借一定的经验，这无疑具有一定的人为性。有人曾利用最低气压出现时间来确定极值出现时间，而多数的极值出现时间与最低气压的时间之差较短，个别的还超前于最低气压出现时间。故预报时效已趋于0，失去了预报的意义，也无所谓预报了。

由公式(15)确定极值出现时间，其误差一般为2.5小时，误差似乎不大。但由于正常天文潮的潮位变化每小时达几十厘米，也就是说，预报极值出现时间误差为1小时，就使实际预报潮位相差几十厘米。这个误差是不可忽视的。预报灾害性风暴潮时，必须联系极值出现时间前后两小时的潮位，及时向各部门发出台风暴潮期间，其最高潮位出现的可能性。目前，由于极值出现时间的各种随机性，准确地确定它，是极值预报的一大疑难，如何解决这一难题，有待于今后作进一步的探讨。

参 考 文 献

- [1]普劳德曼著，毛汉礼译：动力海洋学，科学出版社，1956；314~316
- [2]杨大斤等：动力气象学，气象出版社，1983；2~4、124~125
- [3]冯士筘：风暴潮导论，科学出版社，1982
- [4]林勋励等：冬半年长江口区增减水特征及预报，风暴潮，1982；(2)
- [5]中国科学院数学研究所统计组：方差分析，科学出版社，1981。