

# 几个风暴潮预报模型的实例

〔法国〕P.朗西奥尼, J.P.邦凯, Y.科埃费

顾伟浩译

## 摘 要

对给定的地点,可应用几种定型的模型正确地预报潮位。然而,在风暴条件下,潮位的观测值和预报值之间存在着差值,这个差值称作风暴潮。对位于塞纳河河口的勒阿弗尔港,同时用二种风暴潮预报模型:自回归模型和一种需用当地风、气压资料的模型。

自回归模型能用来作时效为5小时的预报;用勒阿弗尔气象台36小时内的风、气压的预报值,便可用第二种预报模型,给出39小时时效的风暴潮预报。

## 一、引 言

对给定的地点,基于调和分析的几种定型的模型可用来正确地预报潮位,然而在有风暴的情况下,发现潮位的观测值和预报值之间存在着差值,这个差值称作风暴潮(图1)。

许多情形下,潮位的理论预报值是满足不了实际需要的,预先知道可能大的风暴潮是非常重要的。例如,在海岸工程中,海洋建筑物设计常常受到可能最大风暴潮的影响。在这种情况下,就需要了解可能导致达到警戒水位的特大风暴潮。另一方面,提前几小时预报风暴潮无论对航运,还是对施工中的护岸工程都是很有用的。本文着重介绍已应用在勒阿弗尔港口的第二种风暴潮预报模型,不过所得结果通过模拟也可用于预报这个港口的特大风暴潮。现将研究步骤介绍如下:

——从勒阿弗尔港1976年1月至1978年6月逐时实测潮位资料中分析风暴潮。

——建立风暴潮预报模型:

(1) 自回归模型,该模型用已知 $t$ 时刻的

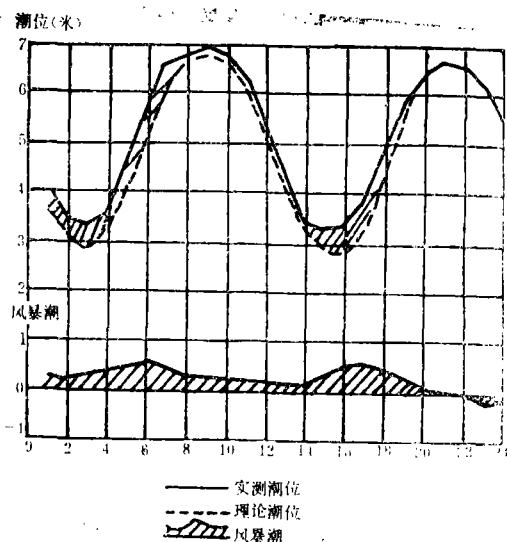


图1 风暴潮的定义

风暴潮来预估 $t+k\Delta t$ 时刻的风暴潮。

(2) 用当地风和气压的模型，这些气象要素是气象台36小时预报提供的。

## 二、勒阿弗尔风暴潮记录分析

风暴潮是实测潮位和预报潮位之间的代数差，用于风暴潮的分析资料是取自1976年1月1日至1978年6月30日期间的勒阿弗尔港逐时实测潮位资料和海洋水文预报服务台制作的潮位预报资料，总共分析了21888个逐时风暴潮数据。

把风暴潮和相应的风、气压资料作图比较分析，得出风暴潮的主要趋势(图2)。

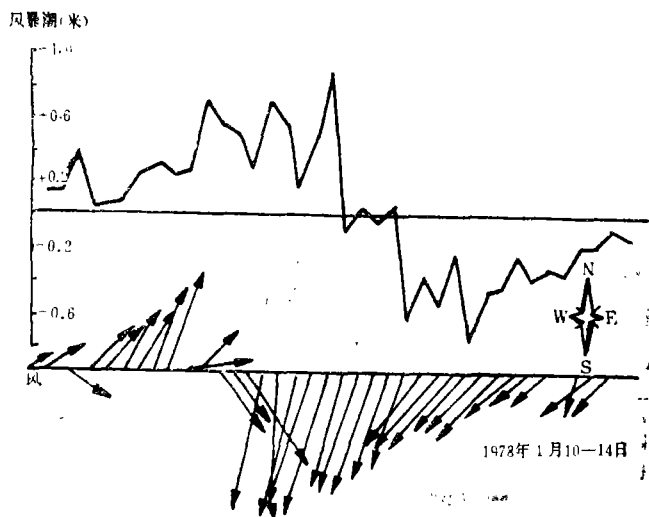


图2 风暴潮和风的比较

明时间相隔短的二个风暴潮之间相关密切。这就是自相关模型的依据。

平静的天气形势产生的风暴潮小，低气压和大风产生的风暴潮大，且带有12小时的周期（潮周期）。最大风暴潮一般发生在平均水位附近，表明风暴潮对潮位的影响表现在平均水位的增加或减少和理论潮汐的位相变化，而高气压则产生负风暴潮（减水——译者注）。

风暴潮的谱分析和自相关函数(图3和图4)都表明风暴潮具有12小时的周期。而且，从谱分析中可以看到风暴潮显示出三种时间尺度（6小时，12小时和24小时的周期）。自相关函数还表

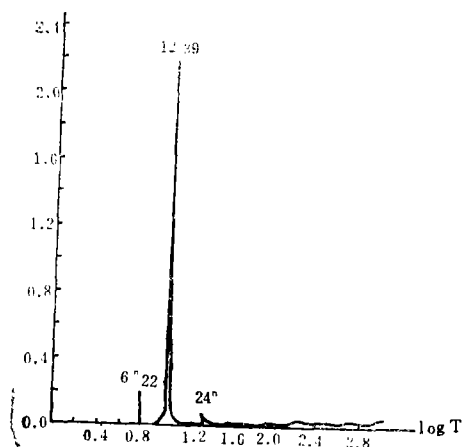


图3 风暴潮的谱分析

纵坐标为： $\sqrt{a_k^2 + b_k^2}$

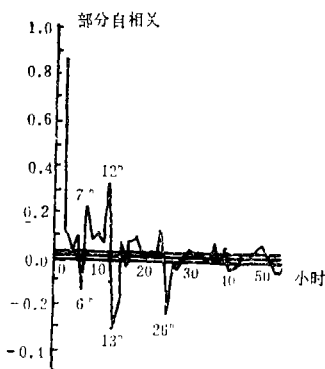


图4 部分自相关函数

### 三、自回归模型

在自回归模型中, 从已知 $t$ 时刻的风暴潮来预估 $t+k\Delta t$ 时刻的风暴潮。考察自相关函数和部分自相关函数, 便可得出下面关系式:

$$\hat{S}(t+k\Delta t) = C_0(k\Delta t) + C_1(k\Delta t)s(t+k\Delta t-12) + C_2(k\Delta t)s(t) \quad (1)$$

式中,

$\hat{S}$ : 风暴潮的预报值,

$S$ : 风暴潮的实测值,

$k\Delta t$ : 预报时间(1至12小时),

$C_i$ : 模型系数, 是 $k\Delta t$ 的函数, 其值从全部观测资料(从1976年1月至1978年6月, 21900个数据)中运用最小二乘法估算。

当 $k\Delta t$ 增加, 多元相关系数减小, 对四种 $k\Delta t$ (1, 3, 6和12小时)分别作了试验, 多元相关系数的变化范围从作1小时预报的0.89至作12小时预报的0.68。

在这自回归模型中作了引进卡门滤波器的试验, 但短期预报精度并未提高。

卡门滤波器的优点在于只要用最近期的观测资料便可直接给出模型参数。但是自回归模型也蕴含了这个优点, 这就说明对一个作短期预报模型来说, 卡门滤波器不能改善预报结果。

引进还是未引进卡门滤波器, 作1小时预报的多元相关系数都是0.89。在95%的情况下, 预报误差为 $\pm 0.15$ 米。图5给出实测风暴潮和预报风暴潮之间的比较, 后者是用自回归模型作1小时预报的风暴潮。

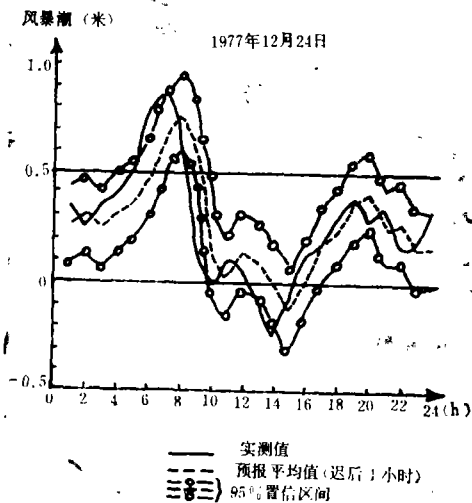


图5 自回归模型

### 四、用当地风、气压资料的模型

前面介绍的模型, 实际上不能作时效12小时以上的风暴潮预报。

资料分析显示, 当地风、气压资料是能够解释风暴潮的。用这些气象资料来预报风暴潮的主要优点在于这些气象资料可从气象台的36小时预报中获得, 于是这种建立在风和气压资料基础上的预报模型深受欢迎。

对勒阿弗尔风暴潮气压和风资料进行了谱分析。我们认为, 风投影在直角坐标上的两个分量, 即东-西分量和南-北分量, 使得风和风暴潮之间相关更为密切。

在这预报模型中, 按照谱分析和风暴潮图解以及相应的气象资料, 风暴潮 $S$ 可分为三个部分:

$$S = S_1 + S_2 + S_3,$$

$S$ : 风暴潮,

$S_1$ : 周期在24小时以上的风暴潮, 主要取决于最新气象资料(风、气压)。

$S_2$ : 周期介于6小时至24小时(同潮周期相当)之间的风暴潮。这个周期是由于理论潮周期受某种气象扰动(低气压)导致的位相改变所造成的。

$S_3$ : 周期小于6小时的风暴潮。

标准偏差分别为:

$$\sigma(a) = 0.17 \text{ 米}.$$

$$\sigma(s_1) = 0.14 \text{ 米}; \sigma(s_2) = 0.08 \text{ 米} \text{ 和 } \sigma(s_3) = 0.05 \text{ 米}.$$

其中,  $s_1$  是最重要的部分。现对各分量分别予以讨论。

### (1) $S_1$ 分量(周期大于24小时)

风向给定后,  $s_1$  可用风速和气压代入下面回归模型计算得出:

$$\hat{S}_1(t) = a_0(a) + a_1(a)V(t-3) + a_2(a)V^2(t-3) + a_3(a)p(t-3) \quad (2)$$

式中:

$a$ : 风向(分18等级, 每等级为20度);

$V(t-3)$ :  $t-3$ 小时的平均风速;

$p(t-3)$ :  $t-3$ 小时的气压, 1013毫巴为零压面,

$a_i$ : 模型系数, 为风向的函数。

平均风速是取12小时的平均风速, 两个风的平均分量东-西分量和南-北分量分别按下式计算:

$$\bar{V}_{EW} = \frac{1}{5} \sum_{j=-2}^2 V_{i-j} \cos \alpha_{i-j}$$

$$\bar{V}_{NS} = \frac{1}{5} \sum_{j=-2}^2 V_{i-j} \sin \alpha_{i-j}$$

风的平均强度:

$$V(t) = \sqrt{\bar{V}_{EW}^2 + \bar{V}_{NS}^2}$$

风向为

$$\alpha(t) = \arctg \frac{\bar{V}_{NS}}{\bar{V}_{EW}}$$

$S_1$  和  $P$  的相关系数是很高的, 且是个负值(这意味着  $S_1$  增加而气压  $P$  降低)。风因子的引入使多元相关系数更高。

余数, 即实测的  $S_1$  和预报的  $S_1$  值之间的差值, 有一定偏差, 致使  $S_1$  小时预报值偏高,  $S_1$  大时预报值偏低。这样就需要一个经验订正因子  $C$ :

$$S = \hat{S}_1 + C$$

式中:

$\hat{S}_1$ : 回归方程(2)所给出的值;

$$C = 0.1(\sqrt{1 + 5\hat{S}_1} - 1), \text{ 若 } \hat{S}_1 > -0.2 \text{ 米},$$

$$C = 0.1, \text{ 若 } \hat{S}_1 < -0.2 \text{ 米}$$

在95%情况下, 其实测值 $S_1$ 介于预报值 $S_1 \pm 0.18$ 米范围内。

## (2) 分量 $S_2$ (周期在6~24小时)

把 $S_2$ 列入模型是根据实测潮位和预报潮位之间存在着时间位相差, 这可以从风暴潮带在潮周期性中看到。但是这种诱发的风暴潮 $S_2$ 在高潮和低潮时为零, 在涨潮和落潮期间显得突出。

如果我们把 $S_2$ 取全潮周期的平均值, 并把 $S_2$ 与气压变化联系起来看(见图6), 就可以看到 $S_2$ 波动的形状。这种波动在气压低时( $P < 1003$ 毫巴)变得很明显, 当气压大于1013毫巴时,  $S_2$ 的平均值实际上为零。波动的振幅 $A$ 可根据如下关系式按三种不同的气压情况分别算出:

### (a) $P < 1003$ 毫巴时的低压情况

振幅 $A$ 为平均风速的函数,  $V_m$ ,  $\alpha_m$ 如前定义

$$A = 0.153 + 0.014 V_m \cos \alpha_m$$

但若 $A < 0.15$ 米, 按 $A = 0.15$ 米计。

### (b) 平均气压 $P$ 介于1003~1013毫巴之间的情况

振幅 $A$ 为常数, 等于0.14米。

### (c) $P > 1013$ 毫巴时的高压情况。

此时 $S_2 = 0$ 。

## (3) 分量 $S_3$ (周期小于6小时)

$S_3$ 代表“白噪声(White noise)”,  $S_3$ 很难用风和气压来加以解释, 尽管它的变化必定同风有关。 $S_3$ 在实际预报中是忽略不计的。

## (4) 结果

根据实测风暴潮和预报风暴潮比较, 我们可以说, 在100个预报实例中有95个的预报误差是:

$\pm 0.20$ 米, 若风暴潮小于0.20米;

$\pm 0.30$ 米, 若风暴潮大于0.20米。

风暴潮大小范围介于-0.50米至1米之间, 上述误差是应重视的, 但在全过程中风暴潮的变化几乎是周期性的(图7)。

这个预报模型从已知 $t-3$ 时刻的气压和风(风速和风向按12小时计算), 预报 $t$ 时刻的风暴潮值。实测值和3小时预报值之间的相关系数为0.75, 比自回归模型所得的相应值略低。

对只需要预报在高(或低)潮时的风暴潮的情况, 分量 $S_1$ 足以直接代表风暴潮的预报值, 这时, 在95%的情况下, 预性误差在 $\pm 0.18$ 米范围内。

必须指出, 只有掌握大量的风和气压资料, 才有可能用这种模型预报出特大的风暴潮。

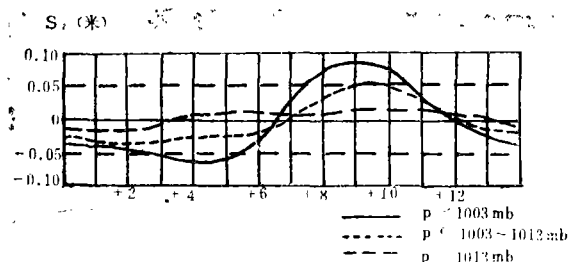


图6  $S_2$ 的平均周期随气压变化

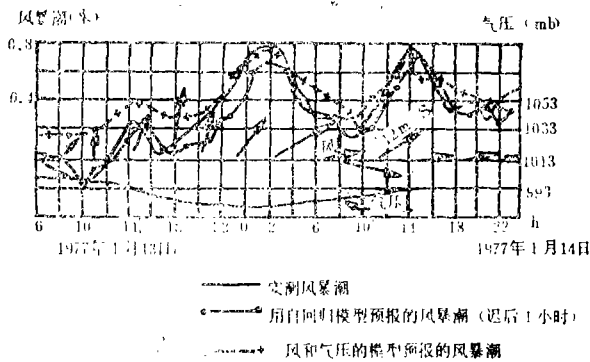


图7 实测风暴潮和预报风暴潮的比较

易掌握而且预报精度也高，不过只用当地风和气压资料，显然不足以解释某些风暴潮的全貌，这种情况之所以产生，是因为我们不了解大尺度天气特征与预报区域潮传播之间的相互作用。

这个问题可用圣维南方程对整个英格兰海峡中潮传播定型模型来加以研究。典型的天气特征和潮传播之间的相互作用的结果必然导致对风暴潮的物理机理更进一步的了解，同时为未来的预报模型选择更加适合的参数。

## 五、结 论

这篇研究报告证实实用自回归模型能对勒阿弗尔港作出正确的时效为5小时的风暴潮预报。要作时效更长的预报，最好采用建立在气象资料的预报模型。利用勒阿弗尔气象台提供的36小时内的风和气压的预报值，可作出时效为39小时的风暴潮预报。

当只需预报高潮和低潮时的风暴潮，那么基于气象资料的那种模型更容

〔译自《Coastal Engineering》1982年  
P823~831〕