

# 海岸风

E. P. Veselov

(原苏联水文气象中心)

表面风对河口风暴潮有相当大的影响。向岸狂风经常引起岸边水位暴涨,给工业造成巨大损失。另一方面,离岸风使岸边水位下降,阻碍了吃水线深的轮船的正常航行。

通常向岸风比离岸风强,这是因为陆地上的摩擦力比海上的大得多。例如,白令海岸的向岸风比离岸风大 $2\sim 7.5\text{m/s}$ 。

开阔海上的风的加速对风本身有显著的加强作用,在靠近Kanin Nos海角的地方,通过北冰洋及其海域的北风,范围有几千公里,在同样的气压梯度下平均比通过开阔海仅 $200\text{km}$ 的西风大 $4\sim 6\text{m/s}$ 。

在中高纬度,风向与等压线之间的夹角在海洋上是 $15^\circ\sim 22^\circ$ ,在平坦的陆地上是 $30^\circ$ ,在丘陵上空可以达到 $45^\circ\sim 50^\circ$ 。这里可以举一例,如果气旋从海上移动到陆地上,那么这个气旋的相同的部位、同一方向、相等的等压线密度,陆上的风向相对于海上的风向大约要反时针偏转 $15^\circ$ ,而且风速也减小 $1/4$ 。相反,如果气旋向海上移动,那么风向顺时针偏转并且风速增大。

当空气沿着海岸运动时,如果陆地的气流的右侧,那么在摩擦层里流线会更加紧密。如果陆地的气流的左侧,流线会愈来愈稀疏。例如在同等的气压梯度下,沿着里海东岸的南风会加强,而北风会减弱。当气流沿着海岸山脉或高原以及海角等进行时,这种风速的加强或减弱最明显。

在锋前沿海岸山脉吹的风会更显著增大,这是因为气流通过沿岸山脉与锋面之间时,会受到压缩作用。最典型的锋前风速增大现象出现在下述情况:气流在锋前沿着山脉准平行地行进,锋面也沿着海岸线扩展并且逼近山脉,可以在锋前大约 $200\sim 300\text{km}$ 的地方观察到这种现象。

在一些相对高(达 $100\sim 200\text{m}$ )的海岸,地势起伏的差异可以加强海岸风,特别是在面对着海洋的顺风坡的地方,在那里风速可以比平坦海岸增加 $15\text{m/s}$ 。

由于重力的作用,在靠近海岸山脊的地方,风速也会增大。例如,在Kanin Nos海角东南风与西北向岸风极其相似。由于这个原因实测风可能比地转风大一些。

在中间夹有河谷的高海岸地区,沿河谷的风会更大。在这些地区,离岸风在强度上接近向岸风。

海岸的轮廓、地形、海湾和海峡的走向在摩擦层里能使气流变形,在其收缩的地方改变气流的方向并加强气流。在白令海的Dvina海湾西北风(向湾吹)比西南风平均增加

4~4.5m/s。沿岸风比沿其它方向的风强。例如,在自令海峡,向岸风比其它方向的风大3m/s,在Kandlasha要大1.5m/s。

另一方面,由于海湾内礁石的存在风速明显减弱。

在寒冷季节,布拉风(bora)会发生在这样一些地区:在这些地区,低山脊(300~600m)把冷气团堆积的大陆架高原同大海分离开。布拉风(bora)发生的最著名的地区有:Novorossiisk、新地岛、亚得里亚海岸、日本等。

靠近海岸线的海陆大气稳定度的差异也影响着大气风场。不列颠诸岛沿岸站的向岸风不稳定层结情况比稳定层结情况风速大1.5~2倍。不稳定层结时的风速值与处于冷平流中的风速值基本一致,而稳定层结时的风速值则与处于暖平流中的风速值相差无几。在暖季,海岸风的日变化与大气层结的变化紧密相联,在同样的气压梯度下,夏季的风速比冬季的风速大10~30%。

## 一、风速计算的基本方法

离海岸10km的地方就能感觉到陆地的影响。

海岸风是通过气压梯度力、科里奥利力、离心力、摩擦力之间的平衡形成的。海岸风风速可以用下式计算:

$$V = \frac{K_{corr}}{1/V_{60} + 1/\Delta V_{\varphi} + 1/V_c} \quad (1)$$

这里 $V_{60} = 2K \nabla P_0$ ,  $\nabla P_0$ 为压力梯度(hPa/300km),  $1/\Delta V_{\varphi}$ 是对地理纬度 $\varphi$ 的订正,  $V_c = 1/2 \times (r \nabla p_0)^{1/2}$ 是旋衡风速,  $r$ 是等压线的曲率半径(km)。公式(1)分母中的第三项前的负号对应反气旋曲率,正号对应气旋曲率。 $K_{corr}$ 是依赖于 $K$ 的订正因子( $K_{corr} = \sin \alpha + \cos \alpha$ ,  $\alpha$ 是风向与等压线切线方向的夹角(度))。

不管直线运动还是曲线运动,海岸风速值都能从根据公式(1)计算的图中查出来。(参看附录中的图)x轴给处 $\nabla p_0$ (hPa/300km)、 $\nabla H$ (gpm/300km)\*、 $V$ (m/s)的值,y轴给出

$$V_{60} = \frac{K_{corr}}{1/V_{60} + 1/\Delta V_{\varphi} + 1/V_c}$$

的值,这个值代表被摩擦力减弱的风速值,但沿等压线方向。同时给出了 $1/V_{60}$ 的值。图中的四组线分别代表纬度为 $60^\circ$ 的直线运动的风速((1)~(7)线),地理纬度对纬度为 $60^\circ$ 的风速的订正值( $-\Delta V_{\varphi}$ 到 $-\Delta V_{\varphi_0}$ 线)旋衡风速(0.1~3000km线),偏离等压线切线的风向订正 $K_{corr}$ (1~1.4线)。

利用此图计算海岸风速的步骤如下:

(1) 根据不同的自然地理条件(见附录),选择(1)~(7)线中的一条,利用给定的气压梯度值查出纬度为 $60^\circ$ 的直线运动风速的倒数值 $1/V_{60}$ 。

(2) 利用同样的初始数据,查出纬度 $60^\circ$ 的直线运动风速的纬度订正值 $1/V_{\varphi}$ 。

(3) 利用给定的气压梯度与曲率半径值,查出旋衡风速的倒数值 $1/V_c$ 。

\* 1gpm=9.80665m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>

(4) 把上述各值相加。

(5) 在 $y$ 轴上根据和值 $1/V_{\dots}$ 查出对应值 $V_{\dots}$ 。

(6) 根据 $V_{\dots}$ 值和对应的 $K_{\dots}$ 曲线, 从 $x$ 轴上查出 $V$ 值。(梯度风和旋衡风 $K_{\dots}=1$ ; 对应于线(3)~(6)的不同下垫面条件 $K_{\dots}=1.4$ ; 线(2)、(3)分别对应 $K_{\dots}=1.35$ 和 $K_{\dots}=1.25$ )。

根据公式(1)或诺模图, 利用任何实况或预报气压图可以计算出海岸风速。计算风速将会在 $t+6$ 小时内出现。利用在世界时0000时预报的12、24、36小时的气压图, 可以预报当天、第二天夜间与白天的风速值。

用这种方法使用12小时和24小时的预报气压图, 对挪威海岸和北海进行了计算。时间从1986年10月2日到1988年2月18日。结果表明, 预报值与实测值的平均偏差为 $3\sim 4\text{m/s}$ , 平均相对误差为 $0.12\sim 0.17$ 。由于预报的气压场误差的影响, 也发现个别绝对误差达 $10\sim 20\text{m/s}$ , 相对误差达 $0.4\sim 0.8$ 。

公式(1)是根据气压场计算同时刻风场的。为了考虑风速从午夜(0000时或1200时)到相应的预报时刻(0600时或1800时)之间的可能变化, 可以使用下面的公式:

$$\begin{aligned} \Delta V = & 0.07 \frac{\overline{V}}{\Delta p_0 \Delta t} \Delta t \overline{V}_{r,p_0} + \frac{\overline{V} V_{\dots}}{\nabla p_0 \Delta x} (0.04 \Delta_s \overline{V}_{r,p_0} + 0.0006 \overline{V} \Delta_s \alpha \\ & - 0.02 \frac{\overline{V}^2 \cos \varphi}{\nabla p_0} \Delta_s \varphi - 0.015 \frac{\overline{V}^2}{\nabla p_0} \Delta_s r + 0.04 \overline{V} \frac{\Delta_s T}{T} \dots) + \frac{\overline{V} W}{\Delta p_0 \Delta z} (0.04 \Delta_s \overline{V}_{r,p_0} \\ & + 0.0006 \overline{V} \Delta_s \alpha - 0.015 \frac{\overline{V}^2}{\nabla p_0} \Delta_s r - 0.04 \overline{V} \frac{\Delta_s p}{p_0}) \end{aligned} \quad (2)$$

这里,  $\alpha$ 是风速与等压线切线方向的夹角(度);  $\gamma$ 是摩擦系数( $10^{-4}/\text{s}$ );  $\Delta_s \overline{V}_{r,p_0}$ 是当气压场向预报点移动的时候, 仅由气压梯度变化引起的 $V$ 的变化;  $\Delta_s \overline{V}_{r,p_0}$ 是在初始时刻从给定的气压场元素到预报点的(数百公里) $V$ 的水平变化;  $\Delta_s \overline{V}_{r,p_0}$ 是从温度和露点层结曲线分析定出的最大气压梯度(位势梯度)层向下运动的在预报点之上的 $V$ 的垂直变化;  $\Delta_s \alpha$ 、 $\Delta_s \varphi$ 、 $\Delta_s \gamma$ 、 $\Delta_s T$ 分别是 $\alpha$ 、 $\varphi$ 、 $\gamma$ 、 $T$ 在 $\Delta x$ 内的变化;  $\Delta_s \alpha$ 、 $\Delta_s \gamma$ 、 $\Delta_s p$ 分别是 $\alpha$ 、 $\gamma$ 、 $p$ 在距离 $\Delta z$ 内的变化;  $V_{\dots}$ 和 $W$ 分别是水平运动和垂直运动的转移速度。公式(2)中的所有项代表订正系数 $K$ 对 $V$ 的修正。

## 二、预报海岸风的其它方法

在天气学里, 人们广泛使用经验方法把地转风、梯度风或气压梯度订正到真实风。许多作者采用如下订正系数: 实测风与地转风的偏角、下垫面的日、年温度变化趋势、大气

层结、温度平流、气压梯度值、下垫面粗糙度等压线曲率、地形和海岸线形状等等。

人们经常使用退化方程来计算海岸风速。

根据气压场计算风场时，一些作者加进考虑温度的项去修正。例如：

$$V = \frac{a}{\sin\varphi} - \frac{\Delta p}{\Delta n} + b \frac{\Delta T}{\Delta S} \quad (3)$$

这里，第一项正比于地转风速，第二项是当空气从一种类型的下垫面进入另一种类型的下垫面时，低层空气的热力影响； $\Delta T$ 是局地温度梯度（ $^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ）， $b$ 是经验系数。

预报海岸风时，另一个考虑气温影响的公式是：

$$V = \left[ k \left( -\frac{\Delta p}{\Delta n} \right)^{\alpha} \right] + \Delta V \quad (4)$$

这里， $\alpha$ 、 $k$ 是经验系数， $\Delta V$ 是温度平流对风速的订正。

海陆风和山谷风的情况，风速可以使用下列公式计算：

$$V = 0.55 \sqrt{\left( \frac{4.8}{\sin\varphi} \right)^2 (\nabla p^2 + 0.2\alpha^2 \Delta T^2) + 25} \quad (5)$$

这里， $\nabla p$ 是沿着海岸线方向的气压梯度分量，对于海风和湖风从当天1200~1500时的预报气压图上读出，对于海岸风 $\Delta p$ 是从0300~0600时的预报气压图上读。 $\Delta T$ 的值这样确定：一天的对应时刻，海岸的温度与离海岸50~60km的陆地的温度差。

类似的公式还有：

$$V_{max} = 0.7 \sqrt{\left( \frac{4.8}{\sin\varphi} \right)^2 (\nabla p^2 + \alpha^2 \nabla T^2) + 100} \quad (6)$$

这个公式是当探测资料无法利用时，预报当天冷锋锋面上的单站最大风速（阵风）。这里 $\nabla p$ （hPa/111km）是锋面上两点的压力差； $\nabla T$ （ $^{\circ}\text{C}/50\text{km}$ ）是预报点和在冷锋内离锋面50km处的地面温度差； $\alpha = 1\text{hPa}/1^{\circ}$ 是沿子午圈的转换因子。

一个计算布拉风（bora）风速的近似公式为：

$$V = V_r + V_r + V_d \quad (7)$$

这里 $V_r$ 是高山850hPa等压面上的温度差引起的风速， $V_r$ 是同一层上的梯度风， $V_d = 6\text{m/s}$ 是冷空气从山顶到海（湖）面上的自由下落速度。

也可用下式计算布拉风（bora）：

$$V = \sqrt{2gh \frac{T_1 - T_2}{T_1}} \quad (8)$$

这里， $g$ 是重力加速度（ $9.8\text{m/s}^2$ ）， $h$ （m）是冷空气降落的高度， $T_1$ 、 $T_2$ 分别是暖、冷空气的温度。

下面的式子对于计算泄漏风（drainage）是很方便的：

$$V_{drainage} = \sqrt{2sk \frac{\Delta T}{T_1} g \sin\alpha} \quad (9)$$

这里,  $V_{\text{с.с.}}$  是海岸风速 (山脚下),  $s$  是斜坡的长度,  $\alpha$  是斜坡与水平面的倾角,  $k$  是比例系数,  $\Delta T$  是沿斜坡的温差,  $T'$  是在静风时的气温。

当气压梯度沿着里海的西海岸时, 在巴库, 预报北风可以使用下面的公式:

$$V = 0.7 \sqrt{160 \nabla p_0 + V_0^2} \quad (10)$$

这里,  $\nabla p_0$  是马哈奇卡拉与巴库之间的气压差,  $V_0$  是马哈奇卡拉的风速。

用此法对巴库北风的预报时效不超过6小时。

预报海岸风, 公式 (1)、(2) 是考虑因子最多的两种方法。

## 附 录

### 各种不同的自然地理条件下的风速图算法

在低海岸的情况下, 下图的线 (1)、(2) 分别适合于气压梯度随时间增大与减小两种情况。

在相当低 (20~30m) 的海湾或河套平原地区, 在那里风横吹过或吹向宽阔的一方; 或者在具有粗糙的下垫面 (崎岖的海岸线, 石礁等) 的长而窄的海湾地区, 线 (1)、(2) 分别适于气压梯度随时间增加和减小两种情况。

在高海岸地区 (100~200m), 那里被河谷分开, 如果风沿着海岸、河谷、小湾、河套平原吹向窄的一面, 或者是吹过海峡的向岸风, 或者有一些低岛, 或者向岸风发生在高于海平面 50~100m, 或者陆地在此气流的左侧, 当气压梯度随时间增加时使用线 (3), 当气压梯度随时间减小时使用线 (4)、(5)。

在这样一些地方: 那里有一些海角, 地势高的岛或者风沿着海峡吹, 或者在高于海平面 50~100m 处岛屿在此气流的右侧, 则: 线 (4)、(5) 在气压梯度随时间增加时使用, 线 (5)、(6) 在气压梯度随时间减小时使用。

当向岸风在高于海平面 50~100m 的地方出现, 线 (6) 在气压梯度随时间增加时使用, 线 (7) 在气压梯度随时间减小时使用。

对于开阔海, 气压梯度随时间增大时使用线 (4), 气压梯度随时间减小时使用线 (5)。线 (7) 用来计算地转风。

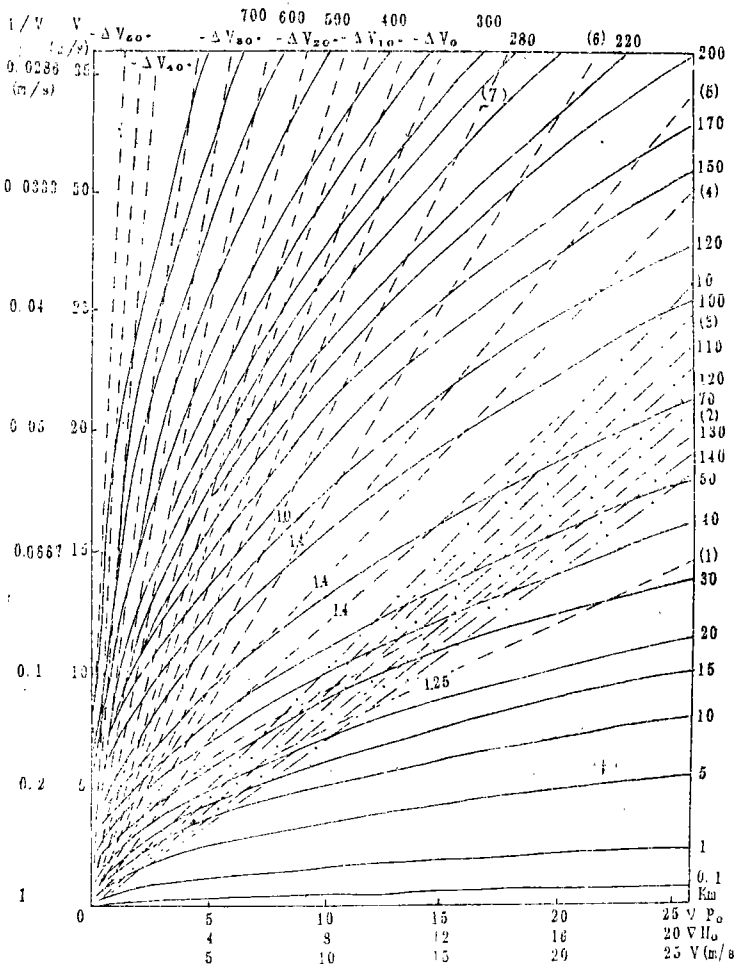


图1 风速计算图

图解说明：

线 (1) ~ (7) 对应纬度为  $60^\circ$  的直线运动风速。

线  $-\Delta V_0 \sim -\Delta V_7$  对应不同纬度的风速。

线 0.1 ~ 700 km 对应旋衡风速。

线 1 ~ 1.55 对应系数  $K_{cor}$ 。

$\nabla H_0$  单位: hPa/300km  $\Delta H_0$  单位: gpm/300km

译自《Coastal Wind, Marine Meteorology and Related Oceanographic Activities Report, No. 21, WMO, 1985》

于福江 译 王喜年 校