

根据地面天气图推算台风大风的方法

中央气象局气象科学研究所 徐大海 朱瑞兆

在较高的建筑物和构筑物如架空线路、广播高塔、水库、冷却塔和化工装置等工程设计中，都要考虑极端最大风速值。我国南海海滨、东南沿海及附近岛屿的极端最大风速，往往都是由台风造成的（表1）。台风所造成的极端最大风速，在陆地上，从国外的记录来看可达到80—90米/秒，如日本1961年9月19日的第二室户台风，在室户岬记录到88米/秒的瞬时风速，不过，室户岬的风是离地面40米左右的高度

表1 我国南海海滨及东南沿海和岛屿极端最大风速

台 站	极端最大风速 (米/秒)	时 距	出 现 时 间	天 气 系 统	记 录 年 代
杭 州	34	瞬 时	1956.8.2.	台 风	1950—1973
象 山	55	瞬 时	1956.8.1.	台 风	1950—1971
温 州	33.5	定时 2 分钟	1953.7.4.	台 风	1951—1973
福 州	45	瞬 时	1961.9.12.	台 风	1951—1970
厦 门	60	瞬 时	1959.8.23.	台 风	1951—1970
台 东	75	瞬 时	1959.8.29.	台 风	1950—1970
花 莲	65	瞬 时	1962.8.5.	台 风	1950—1970
汕 头	52.1	瞬 时	1969.7.28.	台 风	1952—1973
广 州	28	瞬 时	1961.8.24.	台 风	1951—1973
海 口	>40	瞬 时	1955.9.25.	台 风	1951—1972
上 海	38.9	瞬 时	1949.7.25.	台 风	1950—1973

上测得的，但是在近地面层观测到这样强大的台风风速也不是不可能的。可是过去有时由于风仪的量程限制，不能测出如此强大的风速，如维尔达风压板只能测到40米/秒。达因风仪可测得50—60米/秒，还有很多严重情况，由于风速过大吹毁风仪。如果对这些例子取风速值为45或40米/秒，或作缺测处理，显然是不合理的。这样处理不是造成工程设计中的浪费就是安全考虑不足。因此确定大于风仪记录范围和被台风吹毁风仪时的风速是特别重要的。

为了正确处理这些情况，作者参考了广东省气象局（1961.7）印发的“广东省的风压”，高桥浩一郎的“应用气象论”（1961），三木楯彦的“由海面天气图推算海上风的比浮特（Bijvoet）方法”等文献，特别考虑到台风中实测风和梯度风之间的主要差异在于摩擦力的作用。因此我们利用平面上已达成平衡的旋转摩擦风运动方程对台风域内的风速进行了计算。计算中的风速除声明外都是2分钟平均风速。

旋转摩擦风方程为：

$$(K^2 + f^2)V^2 + \frac{V^4}{R^2} + \frac{2fV^2}{R} - \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial R}\right)^2 = 0 \quad (1)$$

式中：

V: 风速 K: 摩擦系数 (假设摩擦力 $F = KV$)

f : 柯氏参数, $f = 2\omega \sin\varphi$, φ : 纬度, ω : 地球自转角速度,

R: 质点至台风中心的距离, ρ : 空气密度,

α : 风向与等压线交角, $\frac{\partial P}{\partial R}$: 气压沿 R 方向上的梯度,

摩擦系数 K 可由下式求得

$$K = (V + Rf) \operatorname{tg} \alpha / R \quad (2)$$

我们先根据历史资料求得 K, 然后按 (1) 式从天气图求 V 值。

计算摩擦系数 K

由中央台地面天气图 (1:10⁷) (1959 年 9 月 1—5 日) 和历史天气图 (1:4 × 10⁷) (1960 年 7 月 22 日—8 月 1 日) 上台风域内读取 α 、R、 φ 、V 诸值按 (2) 式求得 K 值, 再进行平均。在挑选资料时, 凡交角 α 太大、太小, 或地形过分复杂, 等压线十分不规则的都不选用, 这样在陆地上取用 21 例, 海上取用 15 例。结果为:

海面上 $K = 6 \times 10^{-3} \text{ 秒}^{-1}$, 陆地上 $K = 21 \times 10^{-3} \text{ 秒}^{-1}$

梯度风的计算

当 $K = 0$ 时 (1) 式可化为

$$V_{梯} = \frac{-f \pm \sqrt{f^2 - 4 \frac{R}{\rho} \frac{\partial P}{\partial R}}}{2} R \quad (3)$$

根据 1955 年 9 月 25 日、1959 年 8 月 23 日、8 月 29 日—9 月 4 日、1960 年 6 月 30 日、7 月 23 日—31 日、10 月 11 日及 1962 年 8 月 11 日等地面天气图 (部分为历史地面天气图) 台风域内的资料共 42 例 (风速大于 12 米/秒, 小于或等于 40 米/秒), 按 (3) 式进行计算, 求得的 $V_{梯}$ 值与实测风速值进行对比。在海面上见图 1, 在陆地上见图 2。

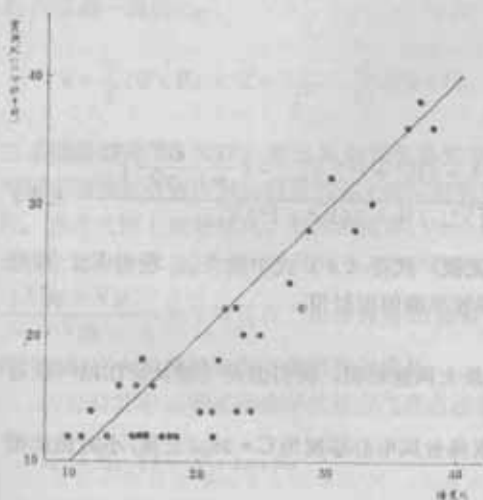


图 1 海面上梯度风与实测风的相关

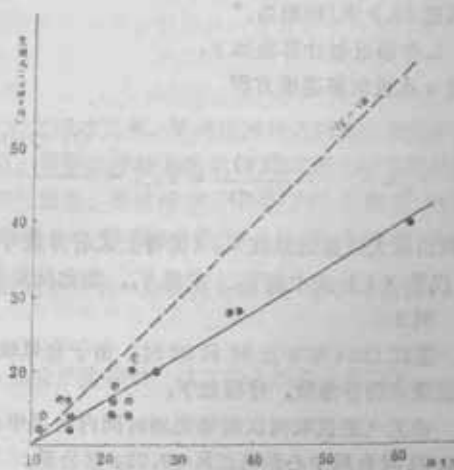


图 2 陆面上梯度风与实测风的相关

由图 1 可见, 在海面上一般梯度风较实测风为大 (32 例中有 24 例偏大)。而在风速较大的情况下, 梯度风与实测风的误差较小。若测点离台风中心近 (数十公里内), 风速值在 20 米/秒以上, 根据 (1) 式的分析及图 1 的比较可知用梯度风代替实测风, 误差并不十分大。

由图 2 可见, 在陆面上梯度风多数大于实测风, 而且风速越大, 误差也越大。因此, 在陆面上无论何种情况都不能用梯度风代替实测风。由于陆面上大风资料较少, 图 2 上的点子也较少, 但是一般特征也还

是显著的。

旋转摩擦风的计算

根据上述情况，摩擦力的作用应该给予重视，因此，直接求解(1)式。(1)式为四次代数方程，应有4个根，但是在求近似解时只求出一个我们所需要的近似根就可以了。

可用图解法和牛顿近似计算法求解。

1. 图解法如下：

$$\text{令 } y = \frac{V^4}{R^2} + \frac{2fV^2}{R} + (k^2 + f^2)V^2 - \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial R}\right)^2 = f(v)$$

取 $V = V_1, V_2, \dots, V_n$ 由上式分别求得 y_1, y_2, \dots, y_n ，在 $y-V$ 坐标中作出曲线 $y = f(v)$ 。曲线与 $y=0$ 轴相交处的 V 值即为所求。

例1 1959年8月23日02时厦门附近海面，

$$\varphi \approx 25^\circ, f = 0.617 \times 10^{-4} \text{ 秒}^{-1},$$

$$R = 0.7 \times 10^5 \text{ 米},$$

$$\frac{\partial P}{\partial R} = 5 \text{ 毫巴}/0.2 \text{ 百公里}$$

$$= 25 \times 10^{-3} \text{ 千克}/\text{米秒}^2,$$

$$\rho = 1.15 \text{ 千克}/\text{米}^3,$$

$$K = 6 \times 10^{-5} \text{ 秒}^{-1}。 \text{那么取}$$

$$V_1 = 40 \text{ 米}/\text{秒} \quad y_1 = 76.00,$$

$$V_2 = 35 \text{ 米}/\text{秒} \quad y_2 = -81.00,$$

$$V_3 = 30 \text{ 米}/\text{秒} \quad y_3 = -250.84。$$

在图3上作出 $y = f(v)$ 曲线的一小段，曲线与 V 轴交于 37.4 米/秒，用牛顿法求得为 37.24 米/秒，该值与厦门 1959 年 8 月 23 日 03 时的最大风速 38.0 米/秒相当。*

2. 牛顿近似计算法如下：

使用 n 次近似解递推方程

$$V_n = V_{n-1} - \frac{f(V_{n-1})}{f'(V_{n-1})} = V_{n-1} - \frac{V_{n-1}^3/R^2 + V_{n-1}^2(2f/R) + (K^2 + f^2)V_{n-1} - \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial R}\right)^2}{4V_{n-1}^2/R^2 + 6fV_{n-1}^2/R + 2(K^2 + f^2)V_{n-1}} \quad (4)$$

先给出较大风速近似值 V_0 。(使得上式右方负号后面的分式为正值) 代替(4)式中的 V_{n-1} ，使得 V_1 ，再用 V_1 代替(4)式中的 V_{n-1} ，求得 V_2 ，如此反复进行数次即可得较准确的近似值。

例2

湛江 1954 年 8 月 30 日 02 时，由于台风吹毁风仪，使得最大风速缺测，我们由天气图及湛江站气压自记记录求得各参数，过程如下：

由天气图读取两次相邻观测时间内台风中心移动距离，求得台风中心移速为 $C = 36.7$ 公里/小时由此推知，02 时台风中心距湛江 $R = 0.734$ 百公里。

台风过境时，湛江自记记录表明，在 02 时气压局地变化为 $\frac{\partial P}{\partial t} = 11.11$ 毫巴/小时，若 $\frac{\partial P}{\partial t} \approx \frac{\partial P}{\partial R} \cdot C$ 那么 $\frac{\partial P}{\partial R} \approx 33$ 毫巴/百公里。 K 取 $21 \times 10^{-5} \text{ 秒}^{-1}$ ， ρ 取 $1.15 \text{ 千克}/\text{米}^3$ ， $f = 5.23 \times 10^{-4} \text{ 秒}^{-1}$ ，

令 $V_0 = 50$ 米/秒 由(4)式求得 $V_1 = 50 - 5.8 = 44.2$ 米/秒； 令 $V_1 = 44.2$ 由(4)式求得

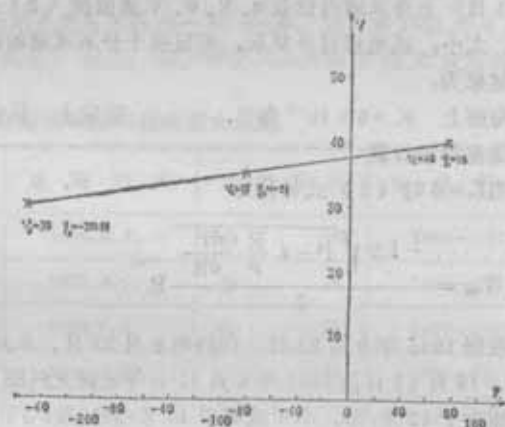


图3

* 10分钟平均值，10分钟平均与2分钟平均关系为 $y = 0.88x + 0.8$ ， y 为 10分钟平均值， x 为 2分钟平均值。

$V_2 = 44.2 - 1.11 = 43.1$; 令 $V_2 = 43.1$ 由(4)式求得 $V_1 = 43.1 - 0.6 = 42.5$
 这时与准确解的差在 0.6 米/秒以下, 即可取 V_2 为 (4) 式在这种情况下之根。

除此两站外, 我们又对梯度风的计算一节所用资料进行图解计算。分别海、陆取用不同 K 值。计算结果在图 4 上与实测风进行了比较。由图可见, 相关很好。误差不超过 ± 2 米/秒者占 61.8%, 不超过 ± 3 米/秒者占 80%, 而相对误差 $\frac{|V_{旋} - V_{实测}|}{V_{实测}}$ 的平均值为 11%。当风速超过 24 米/秒时, 误差不超过 ± 2 米/秒的占 70%, 次大误差 2 例为 -2.6 米/秒, 最大误差一例为 $+6$ 米/秒, 这次记录为 40 米/秒, 计算为 46 米/秒。有可能是受风压板量程所限导致观测值偏小。

计算误差的讨论

1. 给出方程 (1) 时, 假定了诸力平衡, 如果不平衡, 那么质点运动方程为:

$$\frac{dV}{dt} = G + fV \times Z + F \quad (5)$$

式中黑体字表示矢量, G 为气压梯度力, Z 为铅直方向单位矢量, t 为时间变量, 其它同前。

由 (5) 式可得

$$V = \frac{1}{f} \left(G + F - \frac{dV}{dt} \right) \times Z$$

展开后得一近似:

$$V = \frac{1}{f} (G + F) \times Z + \frac{1}{f^2} \frac{d}{dt} (G + F)$$

三木播彦假设 $F = KfV$, 且设 K 与海气温差有关, 又设 F 与 V 之间的交角, V 与地转风之间的交角也和海气温差相关, 并且用日本附近海面上的实际资料作出了相关图。依据比浮特方法做了盖在图上的透明计算尺, 由天气图上的地转风、等压线曲率、3 小时气压变化、海气温差、纬度诸因子计算了日本附近海面上两个地点十米高处的平均风速, 和实测风对比, 风速范围是 1 米/秒到 26 米/秒, 计算的相对误差

$\frac{|V_{测} - V_{计}|}{V_{测}}$ 的平均值在二地分别为 21% 和 23%, 看来, 其结果并不一定更使人满意, 似乎可以说 (1) 式的假设在大风速的条件下尚可近似满足。

2. 在计算中以等压线曲率代替空气质点运动轨迹的曲率, 也会产生误差。这二者之间的关系如下:

$$K_T = K_P \left(1 - \frac{C}{V} \cos \beta \right)$$

式中 K_T 为轨迹曲率, K_P 为等压线曲率, C 为台风移速, V 为风速, β 为 C 与 V 交角。该式对梯度风适用, 它表明当台风发展深厚或转向前后, C 值小而 V 值大时用 K_P 代替 K_T 误差并不大。反之当 $C/V \approx 1$ 时不可使用, 不过这时风速资料也容易得到。

3. 由于陆面上各地摩擦系数 K 值差异较大以及存在着局地影响, 故按此法计算时应考虑到这一情况, 不过方程 (1) 中摩擦力的大小并不处于主导地位, 而是处于与梯度力、离心力并列甚至弱一些的地位上。因此不致造成太大误差。

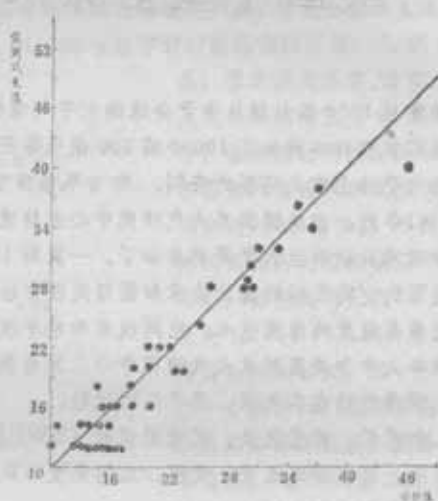


图 4 旋转摩擦风与实测风的相关