

一种新的台风海面风场的拟合方法^①

盛立芳 吴增茂

(青岛海洋大学物理海洋研究所, 青岛, 266003)

提 要

基于台风风场的经验风公式和修正的梯度风方程并考虑了台风气压场的非对称性, 提出了一种新型的台风风场合成模式。经过对10多个不同类型热带气旋(台风)的检验, 结果表明, 新的模式可以模拟出各种强度及不同眼半径台风的海面风场, 比以往常用模式能更真实地反映实际台风风场。

关键词 台风风场 梯度风 经验风 合成模型风

1 引 言

台风作为一种最具破坏性的海洋天气系统历来受到人们的重视。为满足海浪、风暴潮等灾害性海况数值预报和其它方面海洋环境研究的需要, 人们提出了各种经验的或半经验半理论的风场模式^[1]。同时为更好地反映有关物理因子对风场的影响, 梯度风方程也被广泛地采用。在国内已有不少人针对由梯度风方程求台风风场时存在的问题做了某些改进。陈孔沫^[2]对以往常用的圆对称气压场模式作了改进, 使模型气压场的分布更具代表性, 从而提高了由气压场求风场的精确度。章家琳^[3]等采用含地面摩擦及台风中心移动影响的修正梯度风方程, 反映了台风风场的非圆对称性及其入流分布特征。

本文根据台风气压场分布的一般规律, 采用一连续变量将气压表示为二维变量的形式, 再由修正的梯度风方程求台风风场。然而同飞机航测资料^[4]比较后可以发现, 梯度风风场和由经验模式^[1]给出的风场皆与实测风分布有一定差别, 为此, 我们吸取二者的优点, 采用经验风与梯度风合成的模式表示台风风场。

2 风场模式的建立

2.1 气压场模式

较常用的 Myers 气压分布式为

$$P(r) = P_0 + (P_\infty - P_0)\exp(-k/r) \quad (1)$$

其中 P_0 为中心气压, P_∞ 为台风外围气压, R 为最大风速半径并取为常数。

根据台风气压场分布的一般规律, 将 R 表示为极角 θ 的函数 $R(\theta)$, 并由台风的一条特征等压线形状推演整个气压场分布。如图1所示, 围绕台风中心取一条具有代表性的闭合等压线, 其气压值为 P_L , 极角 θ 处的矢径为 $L(\theta)$, 由 (1) 可得

$$R(\theta) = L(\theta) \ln \frac{P_\infty - P_0}{P_L - P_0} = L(\theta) \cdot C_m \quad (2)$$

将 (2) 代入 (1) 后即得 Myers 气压分布的改进式

^① 1992-08-06收到初稿, 1993-01-27收到修改稿。

$$P(r, \theta) = P_0 + (P_\infty - P_0) \exp[-C_m L(\theta)/r] \quad (3)$$

如图 1, 假定所选取的闭合等压线为椭圆偏心形的, 其长、短半轴分别为 A 、 B , 台风中心距长、短半轴的距离分别为 l 、 h 。以台风中心 O 为坐标原点, x 轴指向东, y 轴指向北, 椭圆长轴与 x 轴夹角为 α , 在 xoy 坐标系下闭合曲线的拟合方程为

$$\frac{(x \cos \alpha + y \sin \alpha - h)^2}{A^2} + \frac{(y \cos \alpha - x \sin \alpha - l)^2}{B^2} = 1 \quad (4)$$

取极坐标, 使极点与台风中心重合, 极轴与椭圆长轴平行, 极角用 θ 表示 (逆时针为正), 则有以下关系:

$$x = L(\theta) \cdot \cos(\theta + \alpha)$$

$$y = L(\theta) \cdot \sin(\theta + \alpha)$$

将 x 、 y 代入 (4), 解二次方程可得

$$L(\theta) = \frac{-(B^2 h \cos \theta + A^2 l \sin \theta) + AB[(A^2 \sin^2 \theta + B^2 \cos^2 \theta) - (h \sin \theta - l \cos \theta)^2]^{1/2}}{A^2 \sin^2 \theta + B^2 \cos^2 \theta} \quad (5)$$

2.2 修正的梯度风

如图 1, 假定计算点 N 距台风中心距离为 r , 所处方位角为 φ , 极角为 θ , 则有转换关系:

$$\theta = \varphi - \alpha \quad (6)$$

由文献 [5] 中给出的修正梯度风方程和式 (3)、(5)、(6) 迭代求解即得 N 点处梯度风速 $u(\varphi, r)$ 和内流角 $\beta(\varphi, r)$, 从而 N 点处切向风速为

$$u_r(\varphi, r) = u(\varphi, r) \cos \beta$$

如图 2 所示, 假定 N 点处等压线切线方向与 x 轴夹角为 ψ , 与 r 方向夹角为 ψ' , 由方程 (4) 不难求得 ψ 。

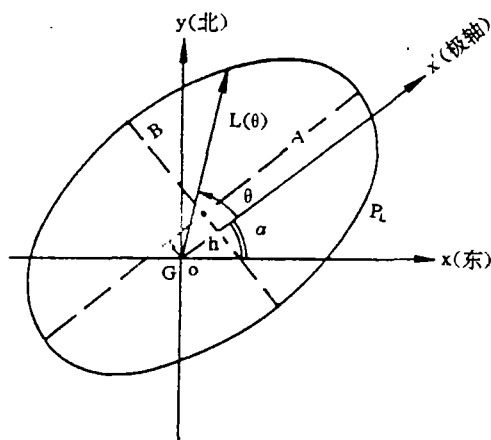


图 1 特征等压线 P_L 及有关参量示意图

Fig. 1 Schematic diagram of characteristic isobar

P_L and some relevant parameters.

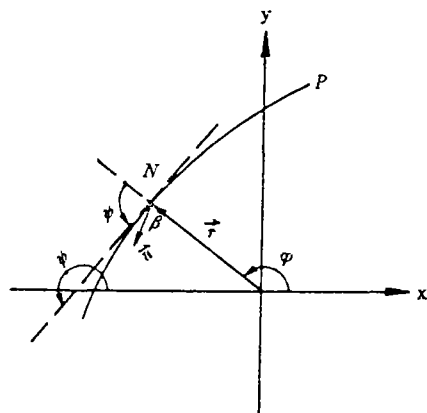


图 2 风向角示意图

Fig. 2 Schematic diagram of wind direction

angle.

从而可得

$$\psi' = \arccos(\cos \psi \cos \varphi + \sin \psi \sin \varphi)$$

N 点处梯度风方向为

$$\tau = \varphi + \psi' - \beta \quad (7)$$

2.3 经验风

为利用文献 [1] 中的经验风公式

$$u' = V_m \left(\frac{km}{r} \right)^x \quad (8)$$

首先确定最大风速半径 R_m 。根据文献 [5], 在一定的假设条件下, 台风范围内的切向风速 V_θ 可表示为

$$V_\theta = \frac{1}{2} \left(\frac{fr_0^2}{r} - f \cdot r \right) \quad (9)$$

其中 r_0 为 $V_\theta=0$ 处的半径, 实验证明 $r_0=4V_m$, V_m 为台风最大风速。当 $r=R_m$ 时, $V_\theta=V_m$ 因此由 (9) 可得

$$R_m = V_m \left(-\frac{1}{f} + \sqrt{16 \times 10^8 + \frac{1}{f^2}} \right)$$

在 R_m 以内, $x=-1$, 在 R_m 以外的试验结果为 $x=0.5$ 。

另外, 假定经验风场为圆对称分布, 即其方向为

$$\gamma' = \varphi + \frac{\pi}{2} \quad (10)$$

2.4 合成模型风场

以关岛航测结果为依据, 通过对比试验, 确定的最佳合成方案是: 取经验风权重为 1, 而修正的梯度风权重函数为参变量 $R(\theta)$, 最大风速半径 R_m 和径向距离 r 的函数 $F(r, R(\theta), R_m)$ 。因此合成模型风场可表示为 $W = u' + F \cdot u$

权重函数 F 的表示形式为

$$F(r, R(\theta), R_m) = K_m R_m / (r + R(\theta))$$

其中参数 K_m 随台风强度及眼半径的变化而变化。对同类强度的台风而言, 眼半径越大, 其值越大, 但一般小于 4。由 F 的分布形式可以看出, 随径向距离的增加, 合成公式中梯度风所占的比重越来越小, 即在台风外围, 经验风与实测风拟合得较好。

由公式 (7)、(10) 合成模型风场在 x 、 y 方向风速分量分别为

$$W_x = u' \cos \gamma' + F u \cos \gamma$$

$$W_y = u' \sin \gamma' + F u \sin \gamma$$

因此合成后的风向为

$$\bar{\psi} = \arctg(w_y/w_x)$$

合成风的切向分量为

$$W_\tau = u' + F \cdot u_\tau$$

3 计算结果与分析

参照 Weatherford 和 Gray^[6] 对热带气旋强度和眼半径的分类标准, 选取 1982 年和 1984 年的 11 个台风个例, 它们分别代表不同强度下不同眼半径的热带气旋, 分析结果及部分图例如下。

3.1 气压场分析

图 3 和图 4 分别为 8208 号强台风于 8 月 2 号 00 时的地面天气图和由公式 (3) 所作的模型气压场。由图可见, 采用改进式所作的气压分布与天气图分析的分布趋势比较吻合, 能反映出台风中心附近等压线非常密集的事实, 且能表示出椭圆偏心型的气压分布。

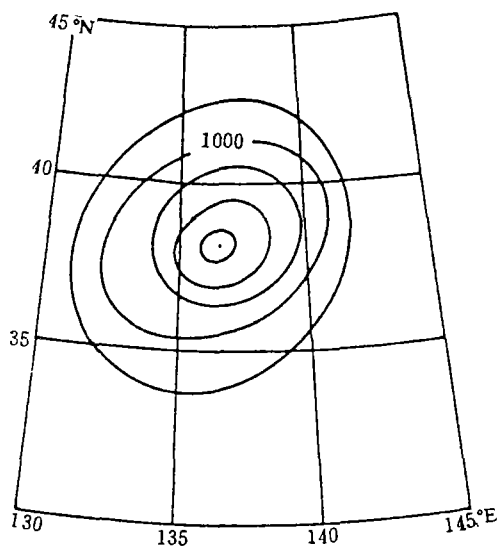


图 3 8月2号00时8208号强台风的地面天气图

Fig. 3 Synoptic surface weather chart for Typhoon 8208, at 00GMT, 2 August.

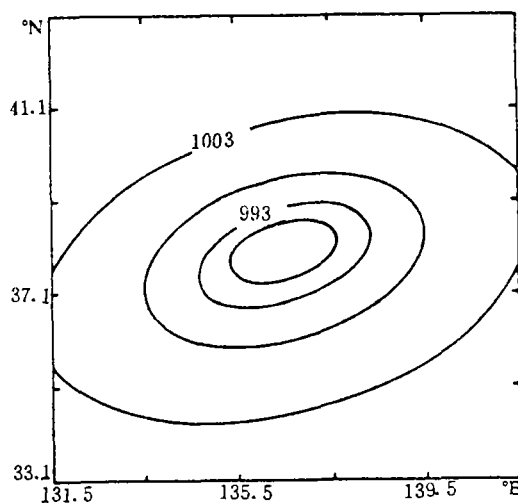


图 4 8月2号00时8208号强台风的模型气压场

Fig. 4 Model pressure field for Typhoon 8208, at 00 GMT, 2 August.

3.2 风场分析

3.2.1 切向风随径向距离的变化

通过对比实验,发现:

(1) 与实测风分布相比,梯度风随径向距离的变化比较缓慢,眼区偏宽,峰值不明显;选取合理的最大风速半径,经验风随径向距离的变化趋势比较好,能反映出台风风速随径向距离变化迅速增加或减少的事实,但其指数分布曲线往往难以与实测风分布曲线接近。

(2) 台风的强度越大,梯度风分布越接近实测风分布。

(3) 在最大风速半径以外,不同强度不同眼半径台风的梯度风分布与实测风分布有不同程度的差别。例如,小眼台风的梯度风明显偏大,无眼热带风暴的梯度风偏低。

(4) 图5为小眼小台风的模型风与实测风的比较。可以看出,不论梯度风和经验风与实测风的偏离程度如何,合成模型可以较好地反映实际台风的风速分布。

(5) 图6为中台风在不同眼半径时的切向风随径向距离的分布情况。图6a为实测风曲线,图6b为合成模型风曲线。比较后发现,合成模型公式可以反映出同一强度下不同眼半径台风风速分布的差别:在台风外域,眼半径越大,风速衰减越慢;在最大风速半径以内,眼越大的台风的风速增长越快。

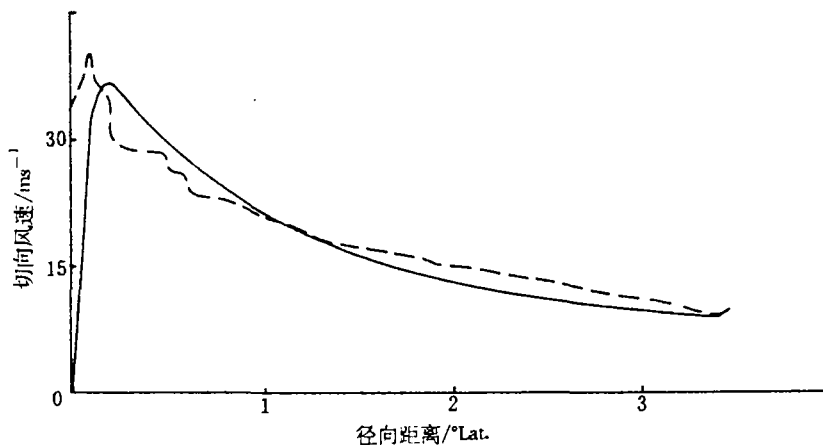


图 5 小眼小台风切向风速的径向分布 说明: ——模型风; --- 测风。

Fig. 5 Radial profile of tangential wind speed of minimal typhoon with a small eye.

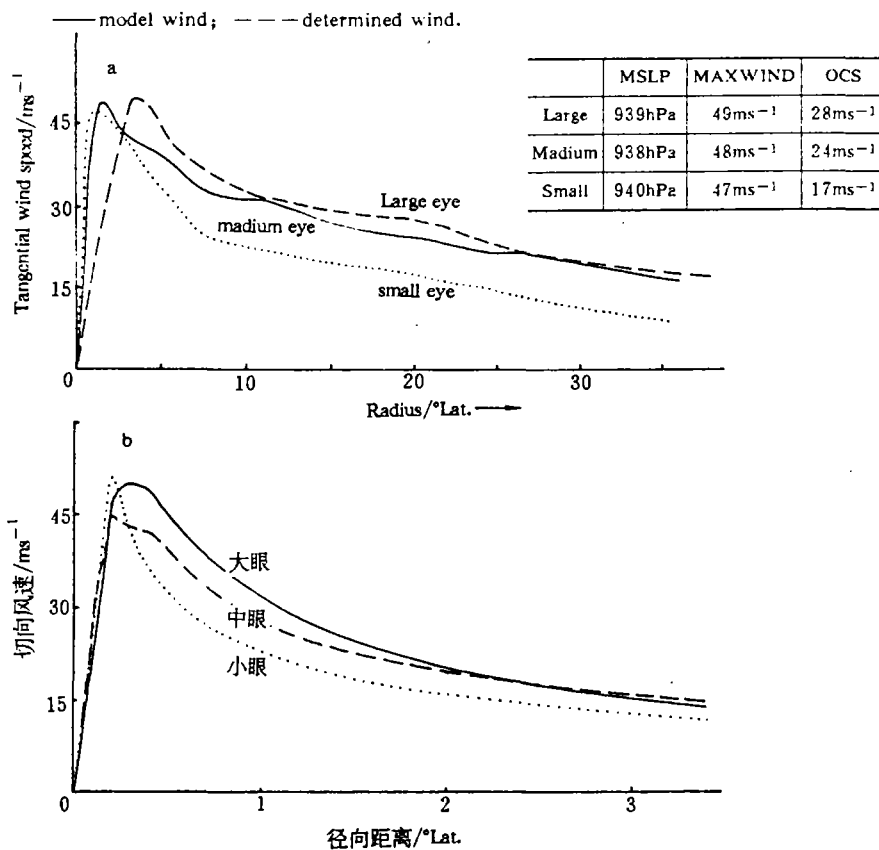


图 6 不同眼半径中台风切向风速的径向分布 a. 实测风曲线; b. 模型风曲线。

Fig. 6 Radial profile of tangential wind speed of intermediate typhoon with different eye radius. a. Determined wind profile; b. model wind profile.

3.2.2 模型风场

图 7 为 8208 号强台风于 8 月 2 号 00 时的风场分布图。

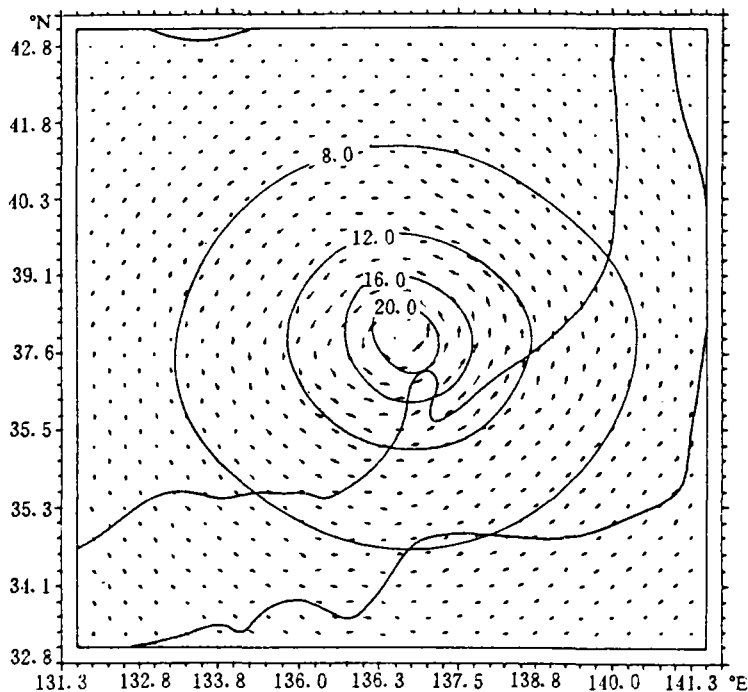


图 7 8 月 2 号 00 时 8208 号强台风的风场分布 (最大风速是 27.0m/s)

Fig. 7 Distribution of wind field for Typhoon 8208, at 00GMT, 2 August.
(Maximum speed is 27.0m/s).

合成模型风场揭示了台风风速由外向内急剧增加,到最大风速半径后又急剧衰减的事实。明显地反映出台风低层风场的三个区域:外区、最大风速区和眼区。同时合成模型风场还可以反映出台风风场的非对称性。

4 结 论

(1) 本文采用了由某条闭合等压线的拟合方程表示的气压场模式。结果表明,气压分布与实际比较符合。

(2) 将热带气旋按强度、眼半径分类后,采用不同的权重函数,由经验风和修正梯度风的合成公式作出的切向风分布曲线与实测风曲线有相当的吻合,风场分布也符合某些已知事实。

(3) 观测揭示出,无眼小台风的切向风分布曲线与其它类型气旋风分布有很大不同,文中所提出的合成公式无法将其表示出来,对这类气旋风场的求算还需进一步研究。

参 考 文 献

- 1 安赛斯 R A. 热带气旋的发展、结构和影响. 李毓芳等译. 北京:气象出版社, 1987. 27—29.
- 2 陈孔沫. 台风气压场和风场模式. 海洋学报, 1981, 3: 44—56.

- 3 章家琳, 隋世峰. 台风波浪数值预报的 CHGS 法. 热带海洋, 1989, 8: 58—66.
- 4 Weatherford C L, Gray W M. Typhoon structure as revealed by Aircraft Reconnaissance. Part I. data analysis and climatology. *Mon. Wea. Rev.*, 1988, 116: 1032—1056.
- 5 陈联寿, 丁一汇. 西太平洋台风概论. 北京: 科学出版社, 1979. 207.

A NEW FITTING METHOD FOR SEA SURFACE WIND FIELD OF TYPHOON

Sheng Lifang Wu Zengmao

(*Institute of physical oceanography, Ocean University of Qingdao, Qingdao, 266003*)

Abstract

In this paper, a new model for typhoon wind field is proposed based on the experimental wind field, the modified gradient wind field and the asymmetry of pressure field of typhoon. A series of tests for more than ten typhoon cases of different types are performed. In comparison, it is shown that the result given by the new model is more realistic than the models commonly used before as far as typhoons with different strength and eye size are concerned.

Key Words Typhoon wind field Gradient wind Experimental wind Composite model
wind

《高原气象》1994 年征订启事

《高原气象》是中国科学院兰州高原大气物理研究所主办的大气科学领域一高级性学术刊物。它主要反映和交流高原气象领域的最新科研成果, 以推动和促进高原气象学科研究的进一步发展。

《高原气象》主要刊登高原天气、气候和干旱气候学、地形对大气环流的影响、大气物理、大气边界层气象学及大气圈与岩石圈、生物圈互相作用等方面的研究论著、实验报告; 介绍新颖和实用的天气预报经验和方法以及选登一些国内外的学术动态等。

读者对象为从事本学科的科研工作者、大专院校师生和气象台站的预报员等。同时也可供地理、冰川、地质、地震和农业科学等研究领域的研究工作者参阅。

《高原气象》为季刊, 每期定价 5.50 元, 全年定价 22 元。全国各地邮局 10 月前开始办理订阅手续, 邮发代号: 54—43。国外由中国国际图书贸易总公司负责发行, 代号: Q808。