

一种新的台风风场分布模式

陈孔沫

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门)

收稿日期: 1989年3月20日

关键词 台风, 风场, 分布, 模式

提要 本文建立了 Rankine 涡台风风场分布模式和 Je 氏台风风场分布模式的联系, 提出一种新的台风风场分布模式。新的台风风场模式的风速分布廓线优于 Rankine 氏和 Je 氏两个风场模式的风速分布廓线, 可以认为新的风场模式是一种较为理想的台风风场模式。

I. Rankine 涡风场模式的导出

由于台风涡旋半径相对整个基本气流的水平尺度很小, 台风区外的涡旋强度与台风区内相比非常微弱, 因此可以将台风涡旋近似作为“涡丝”处理^[1]。根据 Rankine 涡理论^[2], 只有在台风某一范围内存在着一定的正涡度 ζ_0 , 在台风的其它部分涡度为 0。利用斯托克斯定理

$$\oint_C \vec{v} d\vec{l} = \iint_S \nabla \times \vec{v} \cdot d\vec{s} \quad (1)$$

在台风内域 $0 \leq r \leq R$, 取台风涡度

$$\zeta = \zeta_0 = \text{const},$$

对上式两边进行积分

$$\left. \begin{aligned} \oint_C V dl &= 2\pi V_\theta r \\ \iint_S \nabla \times V dS &= \int_0^{2\pi} \int_0^r \zeta_0 d\theta (r dr) = 2\pi \zeta_0 \int_0^r r dr = \zeta_0 \cdot \pi r^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

(2)式的两式相等

$$V_\theta \cdot 2\pi r = \zeta_0 \cdot \pi r^2$$

得

$$V_\theta = \frac{1}{2} \zeta_0 r \quad (3)$$

在台风外域 $r > R$, 取 $\zeta = 0$, 仍对(1)式两边进行积分

$$\left. \begin{aligned} \oint_C V dl &= V_\theta \cdot 2\pi r \\ \iint_S \nabla \times V dS &= \int_0^{2\pi} d\theta \int_0^r \zeta_0 (r dr) = 2\pi \left[\int_0^R + \int_R^r \right] [\zeta_0 r dr] = \pi \zeta_0 \cdot R^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

当(4)式两边相等

$$V_{\theta} \cdot 2\pi r = \pi \zeta_0 R^2$$

可得

$$V_{\theta} = \frac{1}{2} \zeta_0 \frac{R^2}{r} \quad (5)$$

整理后得 Rankine 涡风场模式

$$\left. \begin{aligned} V &= \frac{1}{2} \zeta_0 r & 0 \leq r \leq R \\ V &= \frac{1}{2} \zeta_0 \frac{R^2}{r} & r > R \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

由此可见, Rankine 涡风场模式为一个理论模式。

II. Je 氏风场模式的由来

将 Rankine 涡风场模式稍作如下变形

$$\left. \begin{aligned} V &= V_m \frac{r}{R} & 0 \leq r \leq R \\ V &= V_m \frac{R}{r} & r > R \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

并作图 1 曲线 V_{Rank} 。由图可见,在台风内域,台风风速直线上升;在台风外域,近中心附近的台风风速衰减太快,在距最大风速半径处只有一个最大风速半径距离的点,风速就已衰减一半,此后曲线变化逐渐变得十分平缓,无论台风内域或外域,风速分布廓线都偏小,显得不够合理。

为了进行风暴潮数值计算, C. P. Jelesnianski^[3] 设计了一种理想化的热带风暴模式

$$V = V_m \frac{2Rr}{R^2 + r^2} \quad (8)$$

Je 氏风场模式与 Rankine 涡风场模式形式虽各不相同,但若将 Rankine 涡风场模式稍作修正,其间联系便一目了然。这只要将 Rankine 涡模式,在台风内域 $0 \leq r \leq R$ 乘上一个无量纲风速订正因子 $\frac{2}{1 + (r/R)^2}$, 在台风外域 $r > R$ 乘上无量纲风场订正因子 $\frac{2}{1 + (R/r)^2}$, 即

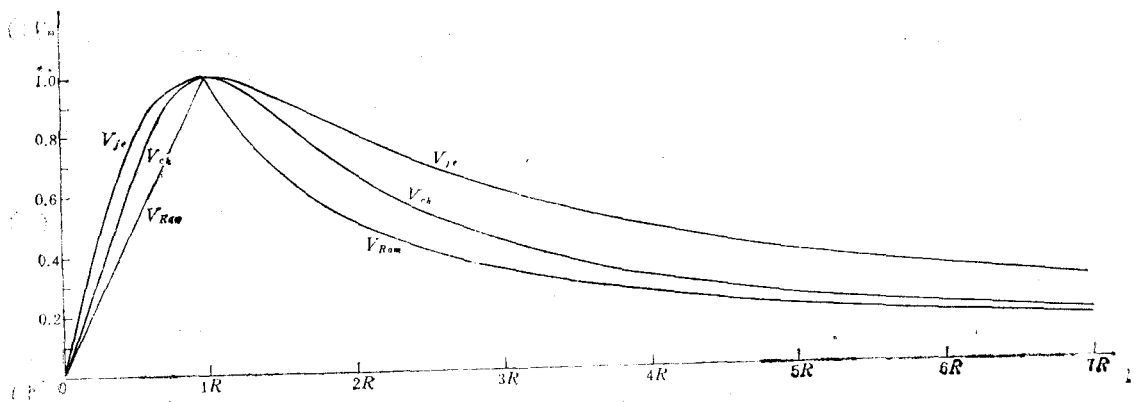


图 1 Rankine 涡、Je 氏和新的台风风场模式的风速分布廓线

Fig. 1 Wind speed distribution profiles for Rankine's Combined Vortex, Jelesnianski and the new wind field formulae of typhoon

$$\left. \begin{aligned} V &= V_m \frac{r}{R} \cdot \frac{2}{1 + (r/R)^2} & 0 \leq r \leq R \\ V &= V_m \frac{R}{r} \cdot \frac{2}{1 + (R/r)^2} & r > R \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

便可以得到 Je 氏台风风场模式

$$V = V_m \frac{2Rr}{R^2 + r^2} \quad (10)$$

显然, Je 氏风场模式实际上是一个半经验半理论公式。

III. 一种新的台风风场模式

将 Je 氏风场模式作图,如图 1 曲线 V_{je} 所示。虽然 Je 氏风场模式的风速分布廓线表面上似乎比 Rankine 涡风场模式稍好些,但在台风内域,风速变化太快,风速增加过于迅速,而在台风外域,风速衰减太慢,使整条风速廓线偏大而变得不够合理。在到台风中心的距离大于 3—4 个最大风速半径之后,Je 氏风场模式的风速值就逐渐成为 Rankine 涡模式的风速的两倍。

为了设计一种新的较佳的风场模式,可将 Rankine 涡风场模式优化变形,对其风速进行适度的优化修正。这就是在台风内域 $0 \leq r \leq R$,将风速乘以无量纲风场最佳订正因子

$$\frac{1}{1 - r/R + (r/R)^2},$$

而在台风外域 $r > R$,则将风速乘以无量纲最佳风场订正因子 $\frac{1}{(R/r)^2 - R/r + 1}$, 即

$$\left. \begin{aligned} V &= V_m \frac{r}{R} \cdot \frac{1}{1 - r/R + (r/R)^2} & 0 \leq r \leq R \\ V &= V_m \frac{R}{r} \cdot \frac{1}{(R/r)^2 - R/r + 1} & r > R \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

整理后便可以得到一种新的台风风场模式

$$V = V_m \frac{Rr}{R^2 - Rr + r^2} \quad (12)$$

IV. 三种风场模式的比较和分析

图 1 V_{ch} 是新的台风风场模式的风速分布廓线。比较前述三个风场模式的三条风速分布廓线显然可见, Rankine 涡模式的风速廓线偏小, Je 氏模式的风速廓线偏大,这与作者以前的实际计算完全相符,因此这两种风场模式的风速分布曲线都不够合理。而新的风场模式的风速分布曲线比较合理,它同时克服了 Rankine 涡和 Je 氏两种风场模式的风速分布的缺点,其风速曲线正好落在这两种风场模式的风速曲线中间,风速既不偏大,也不偏小,同时从最大风速半径向远处以一种合理的变化趋势衰减。

相对 Rankine 涡风场模式, Je 氏风场模式的风场修正因子,在台风内域 $0 \leq r \leq R$ 处

$$\frac{2}{1 + (r/R)^2} \geq 1$$

故

$$V_{je} \geq V_m \frac{r}{R}$$

即

$$V_{je} \geq V_{Ran}$$

在台风外域 $r > R$ 处

$$\frac{2}{1 + (R/r)^2} \geq 1$$

故

$$V_{je} \geq V_m \frac{R}{r}$$

即

$$V_{je} \geq V_{Ran}$$

只有在 $r = R$ 处, Je 氏风场订正因子为

$$\frac{2}{1 + (r/R)^2} = \frac{2}{1 + (R/r)^2} = 1$$

$$V_{je} = V_m \frac{r}{R} = V_m \frac{R}{r} = V_{Ran}$$

若将 Je 氏风场模式与新的风场模式的风场订正因子作一比较, 则

在台风内域 $0 \leq r \leq R$ 处

因

$$\frac{2}{1 + (r/R)^2} \geq \frac{1}{(r/R)^2 - r/R + 1} \geq 1$$

故

$$V_{je} \geq V_{ch} \geq V_{Ran}$$

在台风外域 $r > R$ 处

因

$$\frac{2}{1 + (R/r)^2} \geq \frac{1}{(R/r)^2 - R/r + 1} \geq 1$$

故

$$V_{je} \geq V_{ch} \geq V_{Ran}$$

在最大风速半径 $r = R$ 处

$$\frac{2}{1 + (R/r)^2} = \frac{1}{(R/r)^2 - R/r + 1} = 1$$

故

$$V_{je} = V_{ch} = V_{Ran} = V_m$$

在无穷远处, 两个风场模式的风场订正因子的极限为

Je 氏风场模式

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{2}{1 + (R/r)^2} = 2$$

新的风场模式

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{1}{(R/r)^2 - R/r + 1} = 1$$

由上述分析可以得知:

IV. 1. 在无穷远处, Je 氏风场模式的风场订正因子的极限为新的风场模式的两倍, 即当 $r \rightarrow \infty$ 时, Je 氏风场模式的风场订正因子的极限等于 2, 新的风场模式的风场订正因子的极限等于 1。因此, 在台风外域, Je 氏风场模式的风速变化不快, 风速曲线衰减缓慢, 风速显得偏大, 而且当到台风中心的距离大于 3—4 个最大风速半径之后, Je 氏风场模式的风速就逐渐趋于 Ran 氏风场模式的风速的两倍。

正是由于新的风场模式有一个较佳的风场订正因子, 而且在无穷远处这个风场订正因子的极

限等于 1, 因此它既能克服 Je 氏风场模式的风速曲线衰减缓慢的弱点, 又能克服 Ran 氏风场模式的风速曲线先是迅速衰减, 后是变化过于缓慢的缺点, 而以一种合理的变化趋势向远方衰减, 并在到台风中心的距离大于 8—9 个最大风速半径之后, 风速与 Ran 氏趋于一致。

IV 2. 在最大风速半径 $r = R$ 处, 新的风场模式的风速与 Je 氏风场模式的风速、Rankine 涡风场模式的风速相等, 而且都等于最大风速, 即

$$V_{ch} = V_{je} = V_{Ran} = V_m$$

IV. 3. 无论在台风内域或外域, Je 氏模式的风速总是大于新的风场模式的风速和 Rankine 涡风场模式的风速; Rankine 涡风场模式的风速总是小于新的风场模式的风速和 Je 氏风场模式的风速; 而新的风场模式的风速总是大于 Rankine 涡风场模式的风速, 小于 Je 氏风场模式的风速。即

$$V_{je} > V_{ch} > V_{Ran}$$

因此, 新的台风风场模式是一种既优于 Ran 氏, 又优于 Je 氏的较佳台风风场模式。

参 考 文 献

- [1] 岡村 存, 1976。气象研究ノート。台风特集 (129): 198。
- [2] 増田善信, 笠原彰, 1958。台风論。地人書館, 31—32。
- [3] Jelesnianski, C. P., 1966. Numerical Computations of Storm Surges Without Bottom Stress. Monthly Weather Review **94**(6): 379—394。

A NEW MODEL OF TYPHOON WIND FIELD DISTRIBUTION

Chen Kongmo

(The Third Institute of Oceanography, SOA, Xiamen)

Received: Mar. 20, 1989

Key Words: Typhoon, Wind field, Model

Abstract

The relationship between Rankine's Combined Vortex of typhoon wind field distribution model and Jelesnianski's wind field model of typhoon is presented in this paper, and from which a new model for wind field of typhoon is suggested. The profile of wind speed distribution according to the new model is found to be better than that by both the Rankine's Combined Vortex model and the Jelesnianski's model.