第4卷 第6期 海洋学报 Vol.4, No.6
1982年11月 ACTA OCEANOLOGICA SINICA November, 1982

海上台风风场模式

陈孔沫

(国家海洋局第三海洋研究所)

一、前言

台风强风对海洋开发、海上交通、渔业及海上军事活动等有着极大的影响．近年来已经有不少人研究台风风场数学模式，但这些模式大多仅适用于轴对称风场分布的静止台风．美国目前广泛采用 Wilson 提出的移行风暴梯度风方程[1]求飓风风场，而日本等国则普遍运用宫崎正衛等人求台风合成风的假设[2]．这二种计算海面风的方法都比较冗繁，且都基于圆对称台风气压分布式．本文试图求出一种适用于一般台风风场结构和气压结构的移动台风风速简单分布式．

二、静止台风风场

（一）圆对称台风风速分布式

由 Rankine 复合涡有台风风速分布[3]：

$$\left.\begin{aligned} V &= \frac{1}{2}\zeta_0 r & 0 \leqslant r \leqslant R \\ V &= \frac{1}{2}\zeta_0 \frac{R^2}{r} & r \geqslant R \end{aligned}\right\}, \tag{2.1}$$

其中 ζ 为正涡度，R 为最大风速半径，V 为距台风中心 r 处的风速．

因自转角速度等于旋度的一半，即

$$\omega_0 = \frac{1}{2}\zeta_0 , \tag{2.2}$$

因此，(2.1) 式可写成：

$$\left.\begin{aligned} V &= \omega_0 r & 0 \leqslant r \leqslant R \\ V &= \omega_0 \frac{R^2}{r} & r \geqslant R \end{aligned}\right\}. \tag{2.3}$$

(2.3) 式恰好是 Matano (1956) [4,5] 台风域内风速分布式，ω_0 是平均转动角速

本文 1981 年 5 月 16 日收到.
本文得到蔡文理同志的帮助，谨此致谢.

度．于是，如何求ω_0成为这一模式的关键，而求ω_0的困难又是这一模式长期未能广泛应用的问题所在．但若将（2.3）式稍加变形，则有：

$$\left.\begin{aligned} V&=V_m\frac{r}{R} & 0\leqslant r\leqslant R\\ V&=V_m\frac{R}{r} & r\geqslant R\end{aligned}\right\}, \tag{2.4}$$

式中V_m是台风最大风速．

又因圆对称气压结构的台风，具有如下气压分布形式[6]：

$$\frac{a}{r}=f(P), \tag{2.5}$$

a为参数，对Myers气压分布式有$a=R$，则

$$R=rf(P). \tag{2.6}$$

将（2.6）式代入（2.4）式，得：

$$\left.\begin{aligned} V&=V_m\cdot\frac{1}{f(P)} & 0\leqslant r\leqslant R\\ V&=V_m\cdot f(P) & r\geqslant R\end{aligned}\right\}, \tag{2.7}$$

式中

$$f(P)=\ln\frac{\Delta P_0}{P-P_0}, \tag{2.8}$$

$$\Delta P_0=P_\infty-P_0,$$

P_0为台风中心气压，P_∞为台风外围气压，故

$$\left.\begin{aligned} V&=V_m/\ln\frac{\Delta P_0}{P-P_0} & 0\leqslant r\leqslant R\\ V&=V_m\ln\frac{\Delta P_0}{P-P_0} & r\geqslant R\end{aligned}\right\}. \tag{2.9}$$

因此，对中心附近最大风速V_m和中心气压P_0已知的台风，只要知道台风域内某一点的气压值，便可由（2.9）式方便地求得该点的风速值；只要给出台风域内的气压分布，便可迅速求出这一海区的风速分布．

（二）任意气压结构的风速分布式

事实上，（2.3）式是把台风作为转动刚体．但实际的台风并非转动刚体，空气质点于各个方向的角速度应该是瞬时角速度$\omega(\theta)$，风速随不同方位、不同曲率半径r_j而不同．因此，欲求不同风速结构和不同气压结构的台风风速分布式，可将（2.3）式改写为：

$$\left.\begin{aligned} V(\theta)&=\omega(\theta)\cdot r_j & 0\leqslant r_j\leqslant r_R\\ V(\theta)&=\omega(\theta)\cdot\frac{r_R^2}{r_j} & r_j\geqslant r_R\end{aligned}\right\}, \tag{2.10}$$

式中$\omega(\theta)$为某一θ方向的瞬时角速度，r_j为j点所处等压线的曲率半径，r_R为最大风速半径$R(\theta)$所处等压线的曲率半径，

由（2.10）式，利用任意台风结构的气压分布式[6]　$\frac{\alpha(\theta)}{r}=f(P)$，　(2.11)

可以导出

$$\left.\begin{aligned} V(\theta)&=V_m(\theta)\cdot\frac{1}{f(P_j)} && 0\leqslant r\leqslant R \\ V(\theta)&=V_m(\theta)\cdot f(P_j) && r\geqslant R \end{aligned}\right\}. \tag{2.12}$$

（2.12）式与（2.7）式形式上相同，由已知的气压值或气压分布可以求出相应的风速值或风速分布．但是，在未知台风域内的气压分布时，由于（2.7）式是基于圆对称气压分布导出的，其气压分布必须由 Myers 公式、藤田公式等圆对称气压分布式求出．因此，相应求出的风速分布是圆对称的；而（2.12）式则是基于任意台风结构的气压分布所导出的，其气压分布必须由推广的藤田公式和 Myers 公式[6]求出，所求出的风速分布是任意形状的．同时因为[6]

$$R(\theta)=rf(P_j)=L_i(\theta)f(P_{Li}), \tag{2.13}$$

故有

$$f(P_j)=\frac{L_i(\theta)}{r}f(P_{Li}). \tag{2.14}$$

于是，可得一般台风风速分布式：

$$\left.\begin{aligned} V(\theta)&=V_m(\theta)\cdot\frac{1}{f(P_{Li})}\cdot\frac{r}{L_i(\theta)} && 0\leqslant r\leqslant R \\ V(\theta)&=V_m(\theta)\cdot f(P_{Li})\cdot\frac{L_i(\theta)}{r} && r\geqslant R \end{aligned}\right\}, \tag{2.15}$$

式中 $L_i(\theta)$ 为 P_{Li} 到台风中心矢径．

（2.15）式表明，若台风最大风速 $V_m(\theta)$ 和中心气压 P_0 已知，则只要给出台风某一圈等压线到台风中心矢径 $L_i(\theta)$ 和气压值 P_{Li}，就可以迅速计算整个台风区域的风速分布，而且具有不必事先求出最大风半径的优点．

（2.12）式和（2.15）式反映了不同台风气压结构所导致的不同风速分布．$V_m(\theta)$ 一经确定，则台风风速变化规律亦即确定．

对静止台风，其最大风速 $V_{m0}(\theta)$ 是随着气压梯度不同而不同，同时 $V_{m0}(\theta)$ 又位于台风最大风速半径处，科氏力远小于离心力而可忽略，故适用于旋转风公式

$$V=\sqrt{\frac{r}{\rho}\frac{\partial P}{\partial r}}.$$

于是

$$V_{m0}(\theta)\doteq\sqrt{\frac{R}{\rho}\frac{\Delta P_0}{L_i(\theta)}}. \tag{2.16}$$

在特定的方位 $\theta=\theta'$ 上

$$V_{m0}(\theta')\doteq\sqrt{\frac{R}{\rho}\frac{\Delta P^{\circ}}{L_i(\theta')}}. \tag{2.17}$$

由（2.16）式和（2.17）式可得：

$$V_{m0}(\theta)=V_{m0}(\theta')\sqrt{\frac{L_i(\theta')}{L_i(\theta)}}. \tag{2.18}$$

因此，有静止台风风速分布式：

$$\left.\begin{aligned}V(\theta)&=V_{m0}(\theta')\sqrt{\frac{L_i(\theta')}{L_i(\theta)}}\cdot\frac{1}{f(P_j)} && 0\leqslant r\leqslant R\\ V(\theta)&=V_{m0}(\theta')\sqrt{\frac{L_i(\theta')}{L_i(\theta)}}f(P_j) && r\geqslant R\end{aligned}\right\}. \tag{2.19}$$

若已知台风某一圈等压线的气压值，则其风速分布为：

$$\left.\begin{aligned}V(\theta)&=V_{m0}(\theta')\sqrt{\frac{L_i(\theta')}{L_i(\theta)}}\cdot\frac{r}{L_i(\theta)}\cdot\frac{1}{f(P_{Li})} && 0\leqslant r\leqslant R\\ V(\theta)&=V_{m0}(\theta')\sqrt{\frac{L_i(\theta')}{L_i(\theta)}}\cdot\frac{L_i(\theta)}{r}\cdot f(P_{Li}) && r\geqslant R\end{aligned}\right\}. \tag{2.20}$$

三、移动台风风场

对移动台风，当台风以速度 $\vec{V}_s$ 移动时，其最大 风速

$$\vec{V}_m(\theta)=\vec{V}_{m0}(\theta)+\vec{V}_s. \tag{3.1}$$

取极坐标，x 轴于 $\vec{V}_s$ 右方 $\frac{\pi}{2}$，极角 θ，反钟向为正. 如风向向台风中心偏离 等压线 β 角，将 $\vec{V}_s$ 投影于 $\vec{V}(\theta)$ 上，则移行台风最大风速

$$V_m(\theta)=V_{m0}(\theta)+V_s\cos(\theta+\beta). \tag{3.2}$$

在特定方位 θ' 上，

$$V_m(\theta')=V_{m0}(\theta')+V_s\cos(\theta'+\beta), \tag{3.3}$$

移项得：

$$V_{m0}(\theta')=V_m(\theta')-V_s\cos(\theta'+\beta). \tag{3.4}$$

将 (2.18) 式代入 (3.2) 式并引入 (3.4) 式得：

$$V_m(\theta)=[V_m(\theta')-V_s\cos(\theta'+\beta)]\sqrt{\frac{L_i(\theta')}{L_i(\theta)}}+V_s\cos(\theta+\beta). \tag{3.5}$$

于是，有移行台风风速分布式：

$$\left.\begin{aligned}V(\theta)&=\{[V_m(\theta')-V_s\cos(\theta'+\beta)]\sqrt{\frac{L_i(\theta')}{L_i(\theta)}}\\&\quad+V_s\cos(\theta+\beta)\}/f(P_j) && 0\leqslant r\leqslant R\\ V(\theta)&=\{[V_m(\theta')-V_s\cos(\theta'+\beta)]\sqrt{\frac{L_i(\theta')}{L_i(\theta)}}\\&\quad+V_s\cos(\theta+\beta)\}/f(P_j) && r\geqslant R\end{aligned}\right\}, \tag{3.6}$$

和
$$\left.\begin{aligned}
V(\theta) &= \{[V_m(\theta') - V_s\cos(\theta'+\beta)]\sqrt{\frac{L_i(\theta')}{L_i(\theta)}} \\
&\quad + V_s\cos(\theta+\beta)\}\frac{1}{f(P_{Li})}\cdot\frac{r}{L_i(\theta)} \qquad 0\leqslant r\leqslant R \\
V(\theta) &= \{[V_m(\theta') - V_s\cos(\theta'+\beta)]\sqrt{\frac{L_i(\theta')}{L_i(\theta)}} \\
&\quad + V_s\cos(\theta+\beta)\}f(P_{Li})\frac{L_i(\theta)}{r} \qquad r\geqslant R
\end{aligned}\right\}. \tag{3.7}$$

由矢量合成可知，$\theta'=-\beta$ 处合成风速最大，因此若 θ' 不清楚，可取 $\theta'=-\beta$，$L_i(\theta')=L_i(\theta)$，则：

$$\left.\begin{aligned}
V(\theta) &= \{V_m(\theta') - V_s(1-\cos(\theta+\beta))\}/f(P_j) \qquad 0\leqslant r\leqslant R \\
V(\theta) &= \{V_m(\theta') - V_s(1-\cos(\theta+\beta))\}f(P_j) \qquad r\geqslant R
\end{aligned}\right\}, \tag{3.8}$$

和
$$\left.\begin{aligned}
V(\theta) &= \{V_m(\theta') - V_s(1-\cos(\theta+\beta))\}\frac{1}{f(P_{Li})}\cdot\frac{r}{L_i(\theta)} \qquad 0\leqslant r\leqslant R \\
V(\theta) &= \{V_m(\theta') - V_s(1-\cos(\theta+\beta))\}f(P_{Li})\cdot\frac{L_i(\theta)}{r} \qquad r\geqslant R
\end{aligned}\right\}. \tag{3.9}$$

若测点气压值已知或台风气压分布已知，又台风位置和测点位置不够确准，则采用（3.8）式计算台风风速为宜．若只已知台风第 i 圈等压线，则可采用（3.9）式计算．

四、验　　证

为了检验前述所导出的台风风速分布式的实用性，以（3.8）式为例，选取若干有风压资料的台风进行计算比较，结果如表 1．

由表可见，除个别点或受外围天气系统、地形等影响，或因台风中心和测点位置不准确而误差较大之外，一般风速计算值与实测值相差不大．

五、结　　语

1．本文所求出的台风风速分布式改进并推广了 Matano 模式．这种风速分布式不仅适用于静止台风，而且适用于移行台风；不仅适用于圆对称风速、气压结构的台风，而且适用于任意风、压结构的一般台风．

2．本文所导出的台风风速分布式与国外一些台风风速分布模式不同，具有不含目前水文、气象学界感到困难的最大风半径的特点．

3．本文所导出的台风风速分布式具有简单、可手算的优点，且经对十余个台风的验算，尚较满意．

表1 台风风速计算值与实测值

台风号	要素	P实（毫巴）	V实（米/秒）	θ	(3.8)式 V计	ΔV（米/秒）
7408 (7.4.08)	P_0=955毫巴	990.5	16	46°	16.0	0.0
	$V_m(\theta')$=40米/秒	988.7	20	130°	14.8	5.2
	V_s=5.115米/秒	1,002.5	8	340°	5.9	2.1
		1,003.7	6	27°	4.6	1.4
7415 (9.1.08)	P_0=950毫巴	985.8	14	33°	18.7	4.7
	$V_m(\theta')$=38米/秒	992.4	10	115°	10.7	0.7
	V_s=4.000米/秒	998.3	4	131°	6.6	2.6
		994.4	12	235°	10.0	2.0
		996.8	10	270°	8.9	1.1
		996.4	12	314.5°	9.7	2.3
7418 (9.6.08)	P_0=978毫巴	1,000.7	8	33.5°	9.3	1.3
	$V_m(\theta')$=28米/秒	1,000.1	10	130°	8.9	1.1
	V_s=2.032米/秒	1,003.7	10	262°	5.8	4.2
7503 (8.3.08)	P_0=900毫巴	991.4	6	4.7°	11.3	5.3
	$V_m(\theta')$65米/秒	1,001.1	2	60°	5.1	3.1
	V_s=6.435米/秒	999.5	4	89°	5.7	1.7
		995.6	12	104°	7.8	4.2
		991.4	14	148°	9.8	4.2
		996.5	8	312°	8.1	0.1
7511 (9.20.08)	P_0=985毫巴	1,001.5	14	112°	10.2	3.8
	$V_m(\theta')$=30米/秒	1,004.0	8	147.5°	6.4	1.6
	V_s=3.539米/秒	1,003.7	8	210°	6.8	1.2
7511 (9.23.08)	P_0=950毫巴	997.1	16	26°	8.3	7.7
	$V_m(\theta')$=36米/秒	999.7	6	71°	5.9	0.1
	V_s=4.785米/秒	999.6	4	132°	5.2	1.2
		1,003.9	4	203°	2.9	1.1
		1,003.1	8	238°	3.5	4.5
		999.3	6	270°	6.1	0.1
		997.9	10	324°	7.8	2.2
		993.6	8	337°	11.2	3.2
		1,004.7	8	359°	3.3	4.7
7609 (8.18.08)	P_0=955毫巴	1,004.2	4	83°	3.7	0.3
	$V_m(\theta')$=40米/秒	1,000.6	6	208°	5.9	0.1
	V_s=5.217米/秒	1,002.9	12	230°	4.6	7.4
		995.8	12	283°	11.3	0.7
		1,002.9	8	354°	5.5	2.5
7613 (8.5.08)	P_0=982毫巴	1,002.0	12	109°	8.3	3.7
	$V_m(\theta')$=28米/秒	1,003.0	8	193°	7.0	10
	V_s=2.04米/秒	1,002.6	6	244.5°	8.0	2.0

7613 (8.9.08)	P_0=945毫巴 $V_m(\theta')$=45米/秒 V_s=6.605米/秒	1,003.0	4	82°	4.2	0.2
		1,002.9	6	103°	4.0	2.0
		998.6	8	123°	6.3	1.7
		1,000.1	10	146°	5.3	4.7
		989.5	20	236°	14.2	5.8
		1,004.8	6	299°	3.6	2.4
		996.7	12	329°	10.3	1.7
		1,004.5	6	331°	4.0	2.0
7705 (7.29.08)	P_0=975毫巴 $V_m(\theta')$=30米/秒 V_s=2.032米/秒	1,000.7	8	2.5°	9.2	1.2
		1,003.1	8	70°	6.2	1.8
		1,004.8	8	277°	4.5	3.5
7908 (8.2.08)	P_0=930毫巴 $V_m(\theta')$=55米/秒 V_s=8.415米/秒	991.4	16	12°	16.3	0.3
		996.8	4	101.5°	7.8	3.8
		999.5	4	116.5°	5.8	1.8
		1,000.0	10	149°	5.2	4.8
		989.4	12	186°	11.4	0.6
		999.7	8	308.5°	7.0	1.0
		1,001.1	8	344°	6.4	1.6

取$\beta=25°$，$V_m(\theta')$ 为台风年鉴的最大风速．　　$\sum_{1}^{57}\Delta V=137.3$，　$\overline{\Delta V}=2.4$

参　考　文　献

〔1〕 Wilson, B.J., *Proc. 6th Conf. on Coast Eng.*, 1957, 78.
〔2〕 宫崎正衛，海洋物理Ⅱ，东海大学出版会，1977，311—312.
〔3〕 增田善信·笠原彰，台风论，地人书馆，1958，31—32.
〔4〕 Matano, H., *Journal of the Meteorological Society Japan*, 34(1956), 3, 1—12.
〔5〕 Matano, H., *Journal of the Meteorological Society Japan*, 34(1956), 5, 44—45.
〔6〕 陈孔沫，海洋学报，3(1981)，1，44—55.