

双台风互旋与引导气流关系的研究

包澄澜 阮均石 朱跃建

(南京大学气象系)

(南京气象学院)

摘 要

许多文献认为,在一定距离(约700—800海里)以内,双台风会发生相互旋转和相互吸引,这就是“藤原效应”。本文研究表明,在间距 20° 纬距以内,双台风发生明显气旋式互旋(12小时互旋角 $\Delta\theta \geq +10^\circ$)的仅占总数的30.3%。而且东台风处于西台风的东北象限时,发生明显互旋的机率要比东南象限大。这表明环境流场的引导作用有着重要影响。

我们对13个双台风47时次资料,计算了藤原效应和环境流场引导作用引起的双台风互旋角速度,并加以比较,得出结论:双台风中心间距在 7° 纬距以内时,藤原效应起主要作用。 7° — 15° 纬距时,环境流场引导气流起主要作用。间距 15° 纬距以上时,不适用藤原效应。

早在1921—1923年,藤原^[1]指出,当两个涡旋在大气中彼此靠拢时,在北半球它们将以逆时针方向绕着共同的中心旋转。在相互作用时,它们既能相互排斥又能相互吸引,其共同中心的位置则与涡旋的质量和强度有关,这就是有名的“藤原效应”。以后,Haurwitz^[2]把台风切向风速随半径的变化,假定为兰金涡(Romkine vortex)计算双台风的互旋角速度。从此,在天气学中就形成一个概念:在一定距离之内的双台风会发生相互作用,而以互旋为主。

六十年代,我国曾对双台风路径作过一些初步的分析^[3,4]。七十年代,S.Brand^[5]根据北太平洋22对双台风个例分析得到双台风互旋角速度与两台风中心间距的关系,指出双台风中心间距越近,互旋越明显;在700—800海里以内,互旋作用明显。还指出,兰金涡 $Vr=c$ 模式误差较大,采用 $Vr^{0.6}=c$ 模式则较接近实际。由此开始,对双台风的研究显著增多。这种研究主要分为三个方面:第一类是从动力学角度研究影响双台风相互作用的因子^[6]和移动路径^[7],或对兰金涡的假设 $Vr=c$ 作进一步的探讨,提出按 $Vr^{0.8}=c$ 模式

更接近实际^[8]; 第二类是从模型实验模拟双台风的作用, 证实了双涡旋在接近时将发生互旋和吸引^[9]; 第三类是大量的天气气候研究^[11-12], 从各个方面分析了双台风相互作用出现的地区、季节、距离、强度、路径和移速等, 总的结论是^[13-14], 当两个台风中心接近到 20° 纬距以内时, 就会产生相互作用, 但各自的移动路径很复杂, 它们同时受环境流场的影响较大, 董克勤^[15]从6413—6414双台风的个例分析指出, 它们的间距在 6.5 纬距以上时, 辐合带等环境流场对双台风的互旋起了重要作用。

二

本文使用1961—1978年《台风年鉴》资料, 选取西台风较接近我国(曾进入 20°N 以北、 130°E 以西的海域)的西北太平洋双台风, 共30对, 规定它们同时出现的时刻(只要其中一个达到台风强度)作为双台风出现的初始时刻, 当两个台风中有一个消失或合并时为终止时刻, 并用08、12两个时次制作了以东台风为坐标原点的相对位置图, 求得双台风12小时互旋角 $\Delta\theta$ (规定气旋式旋转为正, 反气旋式旋转为负)和双台风中心间距 d , 共得363个值。由图1可见, 当双台风中心间距 $d \geq 30^{\circ}$ 纬距时, 其互旋角很小且都为反气旋式互旋。随着 d 的减小互旋角迅速增大, 但并非是线性关系, 其中双台风互旋主要出现在 $d \leq 20^{\circ}$ 个纬距以内, 且出现反气旋式互旋的机会相对较少, 反气旋互旋角 $\Delta\theta$ 大多只为 $0-10^{\circ}$ 。由图可见当 $d \leq 15^{\circ}$ 纬距时, $\Delta\theta$ 迅速增大, 出现了许多 $\Delta\theta \geq +10^{\circ}$ 的情况, d 越小, 则 $\Delta\theta$ 越大。当 $d \leq 10^{\circ}$ 纬距以后, $\Delta\theta$ 已近似直线增大了。

为了定量的分析 d 和 $\Delta\theta$ 的关系, 我们又统计了其中 $d \leq 20^{\circ}$ 纬距的340次情况得表1(由于考虑到实际互旋角($\Delta\theta$)是藤原效应和环境流场共同作用的结果, 我们规定12小时互旋

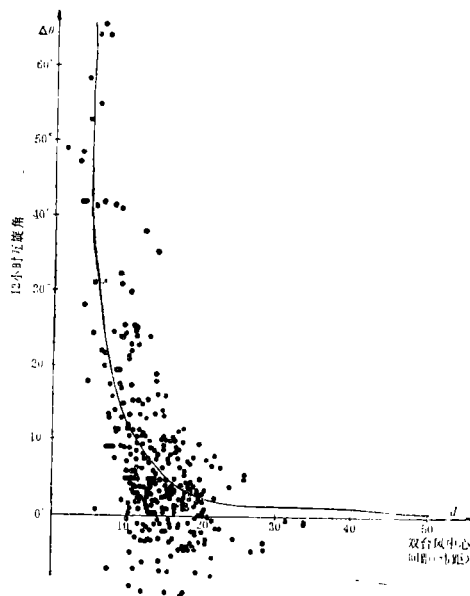


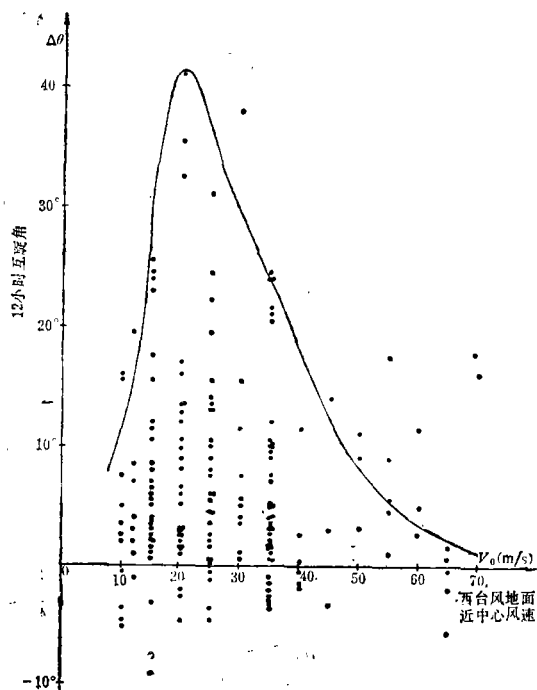
图1 双台风12小时互旋角 $\Delta\theta$ 与双台风中心间距 d 的关系

角 $10^\circ \leq \Delta\theta \leq -10^\circ$ 时才作为双台风明显互旋)。由表1可见,发生明显互旋的有103次,其余237次为互旋不明显的。此外,当 $d > 15^\circ$ 纬距时,很少发生明显的气旋式互旋,当 $d \leq 15^\circ$ 纬距时,出现明显互旋的频数显著增多,当 $d \leq 5^\circ$ 纬距时,双台风都为明显的气旋式互旋,且 $\Delta\theta$ 大多在 30° 以上。

表1 双台风中心间距 d 与12小时实际互旋角 $\Delta\theta$

	$-10^\circ \sim -7^\circ$	$-7^\circ < \Delta\theta < +7^\circ$	$7^\circ \leq \Delta\theta < 10^\circ$	$10^\circ \leq \Delta\theta < 20^\circ$	$20^\circ \leq \Delta\theta < 30^\circ$	$\geq 30^\circ$	合计	$\Delta\theta \geq 10^\circ$ 所占比例
$d \leq 5^\circ$	0	0	0	1	1	10	12	100%
$5^\circ < d \leq 10^\circ$	1	7	9	23	13	10	63	73.0%
$10^\circ < d \leq 15^\circ$	5	87	20	29	8	2	151	25.8%
$15^\circ < d \leq 20^\circ$	5	83	20	6	0	0	114	5.3%

另外,双台风是否明显互旋与双台风的强度有关。由图2可见,双台风明显互旋时西台风近中心地面风速几乎都集中在15—35米/秒范围内,外包线有一明显的高峰。类似的,发现东台风则集中在25—40米/秒范围(图略)。从东西台风中心气压值与双台风12小时互旋角的关系看也有类似分布特征,大约有80%的时次集中出现在东西台风中心气压值960—1000百帕之间(图略)。上述事实表明,只有在东西台风强度为中等且两者相差

图2 双台风中心间距 $5^\circ < d \leq 15^\circ$ 纬距时, $\Delta\theta$ 与西台风强度的关系

不大时,才有利于双台风发生明显互旋,台风强度过强或过弱,都不利于双台风的明显互旋。

为此,从上述340次资料中选择东西台风近中心地面最大风速差 $\Delta V_m \leq 20$ 米/秒(我们作为两台风强度相当)的210次作统计(表2)。

表2 强度相当的双台风方位与互旋的关系

双台风中心间距 (d)	东台风处于西台风的东北象限		东台风处于西台风的东南象限	
	互旋明显	互旋不明显	互旋明显	互旋不明显
$0 < d \leq 5$	6	0	1	0
$5 < d \leq 15$	41	50	7	32
$15 < d \leq 20$	4	26	2	41
合 计	51	76	10	73

注:台风方位是以08、12时东台风相对于西台风处于什么方位为准。

由上表得出:

1.总数210时次中双台风互旋作用明显的仅61次,占 $61/210=29.0\%$ 。东台风处于西台风的东北象限的有127次,其中双台风作明显互旋的有51次,占 $51/127=40.1\%$;而东台风处于西台风的东南象限的83次中,双台风作明显互旋的仅10次,占 $10/83=12.0\%$ 。

2.当双台风间距较远($15^\circ \leq d < 20^\circ$ 纬距)时,不论东西台风方位如何,互旋作用明显的仅为 $4/30=13.3\%$ 和 $2/43=4.7\%$,亦即绝大多数双台风不会出现明显的互旋。

3.当双台风异常接近($d \leq 5^\circ$ 纬距)时,不论东西台风的方位如何,无一例外,都会发生明显的互旋作用(100%)。

4.当 $5^\circ < d \leq 15^\circ$ 纬距时,如果东台风处于西台风的东北象限,双台风发生明显互旋的机会较多,占 $41/91=45.1\%$ 。而处于东南象限时,则为 $7/39=17.9\%$,出现明显的互旋的机会大大减少。

综上所述可知,藤原效应只适用于 $d \leq 5^\circ$ 纬距的双台风,而不适用于 $d > 15^\circ$ 纬距的双台风。对于 $5^\circ < d \leq 15^\circ$ 则与双台风的方位密切相关。可以设想,由于出现双台风时,大多数的情况是副热带高压呈东西走向或西北西—东南东走向。当东台风位于西台风的东北象限时,它所受的环境流场的引导气流方向也是向西或西北的,而西台风所受到引导气流往往较微弱或凌乱。结果有利于双台风作气旋式互旋(即使如此,明显互旋的机率也只有45.1%)。而当东台风位于西台风的东南象限时,台风中心连线与副高脊线走向较一致。两个台风都受到方向相同的引导气流操纵,无助于双台风的互旋,明显互旋的机率仅为17.9%。由此可见,环境流场的引导作用对双台风的移动路径有极大的重要性。

三

为了进一步研究双台风藤原效应与环境流场作用,将这两种作用分别计算。

首先取兰金涡假设：把台风分为内核和外围两部分，内核半径为 r_m ；在 $r < r_m$ 的核区，风速分布满足 $V/r = \text{常数}$ ；在 $r > r_m$ 的外围区，满足 $Vr = \text{常数}$ 。并设台风1的最大风速为 V_{m1} ，台风2的最大风速为 V_{m2} （图3）。显然，可得藤原效应造成的一个台风对另一个台风的移动速度（也称为剩余速度）为

$$V_{F1} = \frac{V_{m2} r_{m2}}{d}, \quad V_{F2} = \frac{V_{m1} r_{m1}}{d}. \quad (1)$$

双台风的互旋角速度为

$$\Delta\theta_p = (r_{m1} V_{m1} + r_{m2} V_{m2}) / d^2. \quad (2)$$

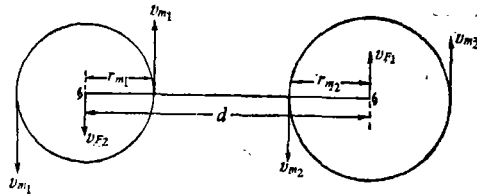


图3 兰金涡的相互作用

计算时，针对每个台风的实测资料（取自台风年鉴），取各个时次700hPa上的最大风速半径 r_{m1} 和 r_{m2} ，以及各个时次的最大风速值 V_{m1} 和 V_{m2} 。这与其他研究者采用平均的台风有关参数值是不同的。

其次，我们采用阿部成雄和中沢宁^[10]的方法计算700hPa环境流场对台风的引导气流，分别为 V_{g1} 和 V_{g2} 。其方法的要点是，假设台风是叠加在基本流场上的圆对称涡旋并认为风暴区域内基本流场为一线性气压场，然后设法消去台风环流求得环境流场的引导气流速度。首先仔细分析天气形势找出台风附近高度场的鞍型点 m ，再以台风中心为圆心以中心点到 m 点为半径作一圆，再在此圆上取得位势高度最大值的点 M ，求出 M 、 m 点高度平均值，且在圆上求得等于 M 、 m 点高度平均值的点 a 、 b 。连接最接近台风中心的 a — b

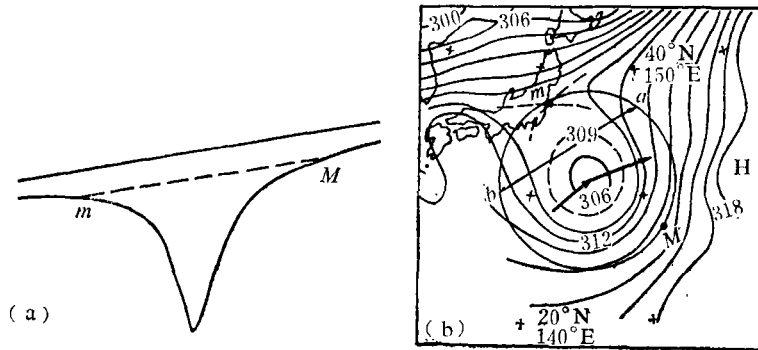


图4 引导气流的计算方法^[10]（箭头表示台风的移向）

(a) ——包含一个轴对称涡旋的流场剖面图

(b) ——引导气流计算方法的例子“Wanda”（7706）台风

线, 此线就被作为引导气流方向 (通常 M 点总在 $a-b$ 线的右侧, m 点在左侧), 然后根据 M 、 m 点的距离及位势高度值用自然坐标系的地转风公式求得引导气流的速度 (图 4 即是一个例子)。

考虑到台风的实际移速与引导气流速度之间有一定的比例关系^[17], 我们分别取 $1.2V_s$, $1.0V_s$, $0.8V_s$ 和 $0.6V_s$ 作比较, 将这两种移动的速度以矢量合成

$$\mathbf{V}_c = \mathbf{V}_s + \mathbf{V}_F \quad (3)$$

并求出 12 小时互旋角

$$\Delta\theta_c = \Delta\theta_s - \Delta\theta_F \quad (4)$$

式 (4) 中 $\Delta\theta_s$ 是根据求得的引导气流速度 V_{s1} , V_{s2} 分别求出东、西台风 12 小时后的位置, 再求得东西台风由引导气流而产生的 12 小时互旋角 $\Delta\theta_s$ 。

我们将由藤原效应引起的双台风 12 小时互旋角 $\Delta\theta_F$ 和环境流场引导与藤原效应共同作用产生的合成互旋角 $\Delta\theta_c$, 分别与实际的互旋角 $\Delta\theta$ 相比较 (均取 12 小时的互旋角)。重点选择了 $5^\circ < d \leq 20^\circ$ 纬度内互旋明显的 13 个台风例子中的 47 个时次资料进行计算, 其结果如表 3 所示 (表中 $1.2\Delta\theta_c$, $1.0\Delta\theta_c$ 等表示了引导气流 V_s 分别乘以经验系数后求得的互旋角 $\Delta\theta_c$, 再加 $\Delta\theta_F$, 例 $1.2\Delta\theta_c = 1.2\Delta\theta_s + \Delta\theta_F$ 等)。由表可见, 由藤原效应引起的互旋角明显地要比实际互旋角小, 考虑环境流场的引导作用后, 平均误差减小, 当引导气流乘以经验系数 0.6 后, 则计算值与实况就很相吻合。双台风平均的 12 小时互旋角误差仅为 -0.03° , 这说明就大多数双台风而言 ($5^\circ < d \leq 20^\circ$), 环境流场的引导作用至少与藤原效应同量级或甚至更大。

表 3 双台风实际互旋角速度与计算值比较

	平均误差	平均相对误差
$\Delta\theta_F - \Delta\theta$	-13.0°	+55%
$1.2\Delta\theta_c - \Delta\theta$	$+11.2^\circ$	+68.2%
$1.0\Delta\theta_c - \Delta\theta$	$+7.1^\circ$	+48.3%
$0.8\Delta\theta_c - \Delta\theta$	$+3.7^\circ$	+27.6%
$0.6\Delta\theta_c - \Delta\theta$	-0.03°	+2.7%

注: 平均相对误差是指每一时次的 $(\Delta\theta_F - \Delta\theta)/\Delta\theta$ 和 $(\Delta\theta_c - \Delta\theta)/\Delta\theta$, 最后求得 47 次的平均值。

在计算的 47 个时次中, 取每个纬距范围内出现次数的平均情况, 得出 12 小时互旋角的计算值, 实况与双台风中心距离的关系如图 5 所示。可以看出, 在 $7^\circ - 15^\circ$ 纬距内各条 $\Delta\theta_c$ 曲线不仅与实况走向一致且 $(0.6 - 0.8)\Delta\theta_c$ 在数值上与 $\Delta\theta$ 颇接近, 而 $\Delta\theta_F$ 则与 $\Delta\theta$ 相差颇大。可见在双台风中心间距 $7^\circ - 15^\circ$ 纬距内引导气流起了主要作用, 在 $d < 7^\circ$ 的情况下, 合成结果与实况相比改进不大, 说明这里“藤原效应”起了主要作用, 而在 $d > 14^\circ - 15^\circ$ 纬距时, $\Delta\theta_F$ 都在 $5^\circ/12$ 小时以下, 藤原效应理所当然的不再适用。

还需指出, 双台风在相互旋转的同时还会相互吸引, 随着距离的接近, 12 小时互旋角

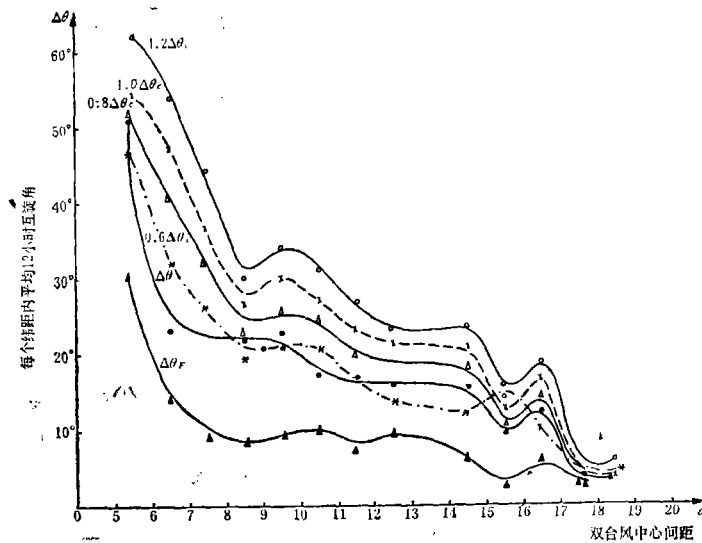


图5 双台风中心间距与平均互旋角速度的关系

显著增大。我们^[14]曾对一次特异的双台风7009—7010号路径作过详细分析，“台风年鉴”中认为这对双台风于1970年9月6日14时以后合并为一个台风。我们的计算结果表明，实际上这两个台风并未合并，而是在 $d \approx 2^\circ$ 纬距以内作高速旋转，12小时互旋角增大2—4倍，竟达 200° 左右。同时在环境流场引导下都往西移动，最后这两个台风于9月7日18时—8日02时在福建省的两个地点先后登陆。1956—1968年另有4次双台风，因强度相差悬殊，吸引力远大于离心力，最后两个台风合并为一。

以上事实表明，当两个台风中心十分接近时（ $d < 5^\circ$ 纬距）或由于两个台风强度相差很大时，台风趋于合并。由于台风的相互作用，流场将会发生显著变化，使两者都不再满足兰金涡的假设，因此，互旋角的变化规律也会发生明显的变化。

四

对于 $5^\circ < d < 15^\circ$ 纬距的双台风，藤原效应能否适用，再给出三次个例说明（见表4）。

将它们的地面切向风速沿半径的分布曲线与平均台风情况（非泽^[15]）作比较，得图6。发现7203，7206号台风与实际平均台风的地面风速分布，7205号台风的风速（按 $Vr = \text{常数}$ 模式计算）与实际的平均台风700hPa风速分布很一致，而计算值 $\Delta\theta_r$ 与实况 $\Delta\theta$ 也颇为接近。6413，6414号台风按 $Vr = \text{常数}$ 模式结果与实际台风相差很大，因而计算得出的 $\Delta\theta_r$ 与实况 $\Delta\theta$ 相差很远。可以认为，台风的切向风速分布是否与 $Vr = c$ 模式一致是藤原效应能否适用的重要条件之一。

表4 误差 $\leq \pm 10^\circ$ 或 $> \pm 10^\circ$ 的三次双台风例子(时次)

台 风	月	日	时	d	$\Delta\theta$	$\Delta\theta_F$	$\Delta\theta_F - \Delta\theta$	
7203—7205	7	13	08	14.6	10.0	9.7	-0.3	
			20	12.2	12.0	14.5	+2.5	
		14	08	9.8	21.5	15.5	-6.0	
			20	10.0	21.0	17.2	-3.8	
7203—7206	7	22	20	11.1	14.0	8.5	-5.5	
			23	08	9.8	12.0	10.1	-1.9
6413—6414	8	15	20	9.1	17.0	2.2	-14.8	
			08	8.6	32.5	2.7	-29.8	
			20	08	7.8	41.5	3.3	-38.2
				08	7.8	24.5	3.8	-20.7
			20	08	7.4	20.5	5.1	-15.4
				08	6.7	20.0	8.9	-11.1

从双台风的天气形势看, 计算的 $\Delta\theta_F$ 与实际互旋角速度 $\Delta\theta$ 误差较小的时次, 主要是东台风处于西台风的东北象限, 东台风的北—东北侧有较强的副高, 而西台风周围的流场较弱; 另一种是东台风也处于西台风的东北象限, 而且两个台风都在同一闭合等高线包围之

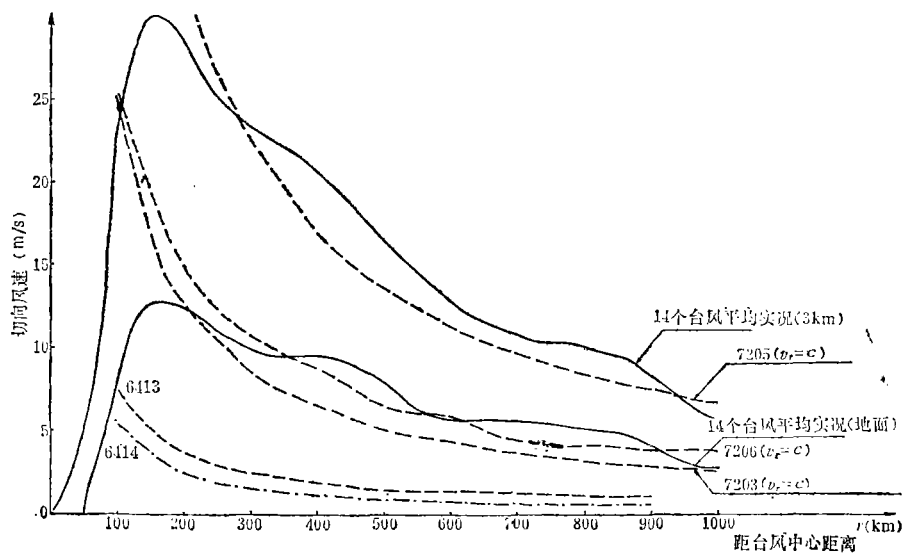


图6 台风切向风速的分布曲线

中, 这就是说, 环境流场引导作用与藤原效应方向相同, 强度也可相比拟或更大。

对于计算值 $\Delta\theta_r$ 与实际情况 $\Delta\theta$ 相差较大的情况, 例如6413, 6414号台风都位于东西走向的辐合带流场之中, 大致呈西北西—东南东走向, 北侧为东西向的副热带高压, 因而促使双台风南北向时互旋较快, 东西向时互旋较慢^[13]。这也强调了环境流场引导作用对双台风互旋的重要性。

五

根据以上讨论, 可以得出结论:

1. 双台风间隔接近 20° 纬距以内时, 就可能产生明显的相互旋转和吸引作用, 其12小时互旋角随双台风中心间距的缩小而增大。

2. 由于双台风本身流场作用产生的互旋即藤原效应, 肯定可适用于 $d \leq 5^\circ$ 纬距的双台风, 而不适用于 $d > 15^\circ$ 纬距的情况。

3. 对于 $5^\circ < d \leq 15^\circ$ 纬距的双台风, 能否发生明显互旋与东西台风所处方位有很大关系。当东台风处于西台风的东北象限时约有45%的双台风发生明显的互旋, 而在东南象限时仅有约18%的双台风发生明显的互旋, 即环境流场引导作用与藤原效应同时起作用, 而以前者为主。

4. 计算结果表明, 考虑环境流场的引导作用(乘以经验系数0.6)所得的双台风互旋角速度 $\Delta\theta$ 。要比单纯的藤原效应 $\Delta\theta_r$ 有较大改善, 与实况相当一致。尤其在 7° — 15° 纬距之内, 环境流场起了主要作用。 $d < 7^\circ$, 改善的效果并不明显, 即藤原效应起主要作用。

5. 当双台风异常接近到 $d \leq 2^\circ$ 时, 互旋角速度可增大2—4倍, 达到 $200^\circ/12$ 小时左右。

6. 藤原效应对双台风互旋的作用, 仅限于 $d < 7^\circ$ 纬距的情况; 在 7° — 15° 纬距时, 与环境流场共同起作用, 以环境流场为主, 对于 $d > 15^\circ$ 纬距的双台风, 藤原效应肯定不适用。

7. 考虑到双台风的互旋决定于两个因子: 藤原效应 $\Delta\theta_r$ (与双台风中心间距 d 成反比) 和环境流场引导作用 $\Delta\theta_s$ (d 越大 $\Delta\theta_s$ 相对于 $\Delta\theta_r$ 而言影响越明显), 在 $5^\circ < d \leq 15^\circ$ 的40个时次样本中作统计, 得出适用于 $5^\circ < d \leq 15^\circ$ 纬度的双台风12小时互旋角的经验预报公式:

$$\Delta\theta_c = \frac{8}{d} \Delta\theta_r + \frac{d}{15} (\Delta\theta_s - \Delta\theta_r) \quad (5)$$

式中 $\Delta\theta_r$, $\Delta\theta_s$ 及 d 意义与上述公式意义相同, 都可以根据实际资料求得, $\Delta\theta_c$ 是计算的预报值。

根据 $5^\circ < d \leq 15^\circ$ 纬度的40个时次双台风历史资料看, 计算结果拟合得较好。计算的 $\Delta\theta_c$ 和实况 $\Delta\theta$ 总偏差 $\sum_1^{40} \Delta\theta_c - \sum_1^{40} \Delta\theta = 952.8^\circ - 959.5^\circ$ 。其中计算结果与实况差 $\delta\theta = \Delta\theta_c - \Delta\theta \leq 5^\circ$ 的达18次, $5^\circ < \delta\theta \leq 10^\circ$ 的达11次。这一经验公式可用作实际预报。

参 考 文 献

- [1] Fujiwhara, S., The natural tendency towards symmetry of motion and its application as a principle in meteorology, *Quart. J. R. Met. Soc.*, 47 (1921), 287—298.
- [2] Haurwitz, B., The motion of binary tropical cyclones, *Archiv. fur Met., Geophys. Bioklimat., Ser. A; Band. 4*, 1951, 73—86.
- [3] 牟维丰、陆家琏, 西太平洋双台风路径类型, 气象通讯, 1962, 11, 10—18.
- [4] 栾宝储、陆家琏, 双台风中西台风移动的一些预报经验, 气象通讯, 1963.7, 附刊, 5—7.
- [5] Brand, S., Interaction of binary Tropical cyclones of the Western North Pacific ocean, *J. App. Met.*, 9 (1970), 3: 433—441.
- [6] 吴中海, 双台风相互作用的一种分析, 大气科学, 1, 1981, 32—42.
- [7] Khandeker, M.L. and Rao, G.V., The mutual interaction of multiple Vortexes and its influence on binary and Single tropical Vortex Systems, *Mon. Wea. Rev.*, 99(1971), 11: 840—846.
- [8] 唐东昇、朱平, 西太平洋双台风的互旋作用, 1983年全国台风会议文集, 1983, 77—78.
- [9] 魏鼎文, 热带风暴的模拟实验研究, 1978年台风会议文集, 上海科学出版社, 1981, 218—222.
- [10] 上海中心气象台, 双台风作用对1972年3号台风第三次打转的影响, 天气预报技术经验汇编(第三集), 1973, 99—103.
- [11] 陈企岗、束家鑫、王志烈, 双台风的某些气候特征, 1981年全国台风会议文集, 1983, 79—87.
- [12] 王作述、付秀琴, 双台风相互作用及对它们移动的影响, 大气科学, 1983, 3, 269—278.
- [13] 陈联寿、丁一汇, 西太平洋台风概论, 科学出版社, 1979, 221—223.
- [14] 包澄澜, 热带天气学, 科学出版社, 1980, 165—167.
- [15] 董克勤, 6413—6414号双台风互旋和合并的分析, 气象学报, 1981, 3, 361—370.
- [16] Shigeo Abe and Yasushi Nakayawa, A statistical Study of the movement of Typhoon, *Journal of the Met. Society of Japan*, 60 (1982), 4: 947—955.
- [17] Gray, W.M., Tropical Cyclone motion and steering flow relationship in the Western Atlantic and in Western Pacific, 11th Technical Conference on Hurricane and Tropical Meteorology, 1977, 472—473.
- [18] 包澄澜, 一次双台风路径特征分析, 气象学报, 1981, 3, 387—384.
- [19] Izawa, T., On the mean wind Structure of typhoon, *Tech. Note, Typhoon Rec. Lab. Met. Res. Inst.*, 2 (1964), 422—428.