

## 副热带高压的东西向移动及其预报的研究\*

黄士松

(南京大学气象系)

### 提 要

本文从副热带高压本身的形状、位置与风场结构研究高压单体的移动问题,求得了副热带高压在东西方向上的移速公式,提出根据高压的形状、位置及其南北两侧纬向风速分布廓线预报高压移动的具体办法,并讨论了外界环流系统及高压本身性状变化对高压移动的影响及其物理性质。

### 一、引 言

西太平洋副热带高压(以下简称副高)的位置、性状的变动对我国天气影响极大,但对于副高位置、强度、性状等变化的短期中期预报,目前都缺乏比较具体而有效的办法。这个问题,为简单起见,首先可从二方面的因子分别来研究,一是中高纬度西风带槽脊及低纬度热带低压活动的影响,即所谓外在因子;二是副高本身的性状结构的作用,即所谓内在因子。副高移行是由这二方面因子综合作用所决定。关于外在因子的影响,在实际预报工作中是一向被注意并广泛应用的。关于内在因子的作用,则过去注意得比较少。最近黄士松、余志豪、林元弼、汤明敏等<sup>[1]</sup>曾从副高的动力性质讨论了副高的变动,指出副高移行与它本身性状结构有关,副高单体恒有向负涡度平流区方向移动以及向速度辐散区方向移动的特性。该论证是有一定的实际意义的。我们知道,副高的移动有南北向和东西向的移动,但在某一月某一段时期中,副高恒将准稳定于某一纬度带内<sup>[2]</sup>,因此,在短期中期预报工作中,副高的东西向移行是首要解决的问题。为此,本文在以前工作的基础上专对副高的东西向进退问题作进一步的研究。研究结果不但阐明副高内在因子对它移动的作用,提出根据当时副高的形状、位置及其南北两侧纬向风速分布廓线用以预报副高移动的具体办法,而且亦指出内在因子与外在因子的相互联系性,通过内在因子的了解可进而说明外界环流系统影响的一些物理性质。

### 二、副高东西向移速公式的推求

考虑副高单体气流成一近于椭圆形的流型,取  $x$  轴和副高单体的东西向轴(横轴)重合,  $y$  轴和它南北向轴(纵轴)方向一致,令副高单体横半轴长度  $a$  为  $\frac{L_x}{4}$ , 纵半轴长度  $b$  为  $\frac{L_y}{4}$ 。如此,副热带高压内气流可设想为由某一基本气流  $\bar{u}$  迭加上一个扰动  $v$  所构成,  $\bar{u}$

\* 本文 1962 年 9 月 27 日收到, 1963 年 2 月收到修改稿。

与  $v$  各为：

$$\bar{u} = -U \sin \frac{2\pi}{L_y} \alpha + U \sin \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha), \quad (1)$$

$$v = -V \cos \frac{2\pi}{L_y} y \sin \frac{2\pi}{L_x} (x - ct). \quad (2)$$

式中  $U$  与  $V$  皆为正值常数。由 (1) 式所示的基本气流，沿  $x$  轴风速为零，向南北两侧增大，南侧为东风，北侧为西风。式中的  $\alpha$  值，对某一给定的基本气流来说亦为常数；但对于不同特性的基本气流， $\alpha$  可有不同值，即根据副高南北两侧基本气流风速沿  $y$  方向的分布廓线如何， $\alpha$  可为零值、负值或正值，如图 1 所示。当  $\alpha = 0$  时，基本气流特性是，风速廓

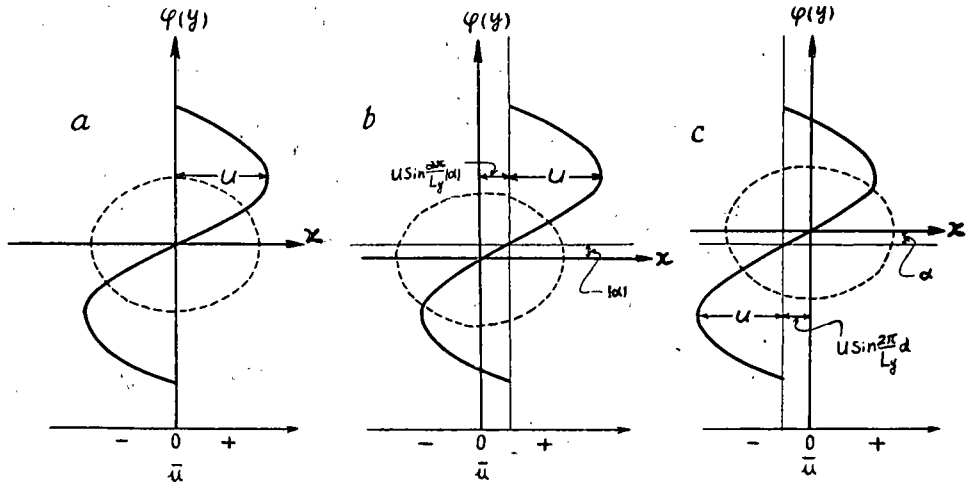


图 1 副热带高压区南北二侧基本气流风速沿  $y$  方向分布廓线的三种不同情况

- a)  $\alpha = 0$ ，南北二侧风速大小对称分布，
  - b)  $\alpha < 0$ ，北侧西风大于南侧东风，
  - c)  $\alpha > 0$ ，南侧东风大于北侧西风  $\bar{u} > 0$  为西风， $\bar{u} < 0$  为东风，
- 虚线表示副高单体

线的转折点位于副高的横轴上，高压南北两侧的风速大小成对称的分布，在  $y = \pm \frac{L_y}{4}$  处各出现最大风速。  $\alpha < 0$  时，高压横轴位于风速廓线转折点之下  $|\alpha|$  距离，高压北侧的西风风速大于南侧东风风速，在  $y = \pm \frac{L_y}{4} + |\alpha|$  处各出现最大风速。  $\alpha > 0$  时情况相反，高压横轴位于风速廓线转折点之上  $\alpha$  距离，高压北侧的西风小于南侧的东风，在  $y = \pm \frac{L_y}{4} - \alpha$  处各出现最大风速。极为明显， $U$  为南北两侧最大风速绝对值的平均值； $U \sin \frac{2\pi}{L_y} \alpha$  为南侧东风最大速率减北侧西风最大速率的差值，当  $\alpha < 0$  时差值为负， $\alpha > 0$  时差值为正。通常副高的北缘为副热带西风急流的纬度位置所在，南缘为东风急流的纬度位置所在， $|\alpha|$  一般是不会太大的，故最大西风与最大东风所在位置之间的距离  $\frac{L_y}{2}$  即近似地取为副高纵轴的长度。由 (2) 式所示的扰动为一波长等于  $L_x$ 、以速度  $c$  沿  $x$  方向移行的波动，其振幅在  $x$  轴上最大而向南北两侧减小，在  $y = \pm \frac{L_y}{4}$  处， $v = 0$ ，该

处乃盛行強大的平直东西向风。故  $\bar{u}$  与  $v$  合成的流型約为椭圆形,如图 1 中虚綫所示。极为明显,  $c$  亦就是椭圆形副高单体的移速。我們以下列的处理方法推求副高的移速。

設 (1)、(2) 式規定的流場为滿足下列渦度方程的解

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\mathbf{v} \cdot \nabla \zeta - \beta v - (f + \zeta) \nabla \cdot \mathbf{v}, \quad (3)$$

式中  $\mathbf{v}$  为水平风速矢量,  $\bar{u}$  与  $v$  为其东西向及南北向的分量,  $\zeta$  为相对渦度的鉛直分量,  $f = 2\Omega \sin \varphi$ ,  $\beta = \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{2\Omega \cos \varphi}{R}$ ,  $\Omega$  为地球自轉角速率,  $R$  为地球半径,  $\varphi$  为緯度。

首先假定  $c$  为  $x, y, t$  的函数, 由 (1)、(2) 式直接求出該流場的相对渦度与速度散度, 随而求得渦度平流与渦度局地变化, 之后, 将求得各項代入 (3) 式, 經整理后則得

$$\begin{aligned} \left(c + \frac{\partial c}{\partial t} t\right) \left(1 - \frac{\partial c}{\partial x} t\right) &= \frac{L_x}{2\pi} \left[ \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial^2 c}{\partial x \partial t} t \right] \cot \frac{2\pi}{L_x} (x - ct) - \\ &- U \left[ \sin \frac{2\pi}{L_y} \alpha - \sin \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha) \right] \cdot \left[ \left(1 - \frac{\partial c}{\partial x} t\right)^2 + \frac{L_x}{2\pi} \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} t \cot \frac{2\pi}{L_x} (x - ct) \right] - \\ &- V \left(1 - \frac{\partial c}{\partial x} t\right) \left[ \frac{L_x}{L_y} \sin \frac{2\pi}{L_y} y \cos \frac{2\pi}{L_x} (x - ct) - \frac{\partial c}{\partial y} t \cos \frac{2\pi}{L_y} y \sin \frac{2\pi}{L_x} (x - ct) \right] - \\ &- V \frac{L_x}{2\pi} \frac{\partial^2 c}{\partial x \partial y} t \cos \frac{2\pi}{L_y} y \cos \frac{2\pi}{L_x} (x - ct) - U \frac{L_x^2}{L_y^2} \sin \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha) - \frac{\beta L_x^2}{4\pi^2} + \\ &+ \left[ \frac{f L_x}{2\pi} - V \left(1 - \frac{\partial c}{\partial x} t\right) \cos \frac{2\pi}{L_y} y \cos \frac{2\pi}{L_x} (x - ct) - U \frac{L_x}{L_y} \cos \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha) \right] \cdot \\ &\cdot \left[ \frac{L_x}{L_y} \tan \frac{2\pi}{L_y} y + \frac{\partial c}{\partial y} t \cot \frac{2\pi}{L_x} (x - ct) \right]. \quad (4) \end{aligned}$$

为簡單起見, 考虑起始时刻的特殊情况。此时, 令副高縱軸与  $y$  軸重合, 令  $t = 0$ , 則 (4) 式变为

$$\begin{aligned} c &= \frac{L_x}{2\pi} \frac{\partial c}{\partial x} \cot \frac{2\pi}{L_x} x - U \left[ \sin \frac{2\pi}{L_y} \alpha - \sin \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha) \right] - \\ &- V \frac{L_x}{L_y} \sin \frac{2\pi}{L_y} y \cos \frac{2\pi}{L_x} x - U \frac{L_x^2}{L_y^2} \sin \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha) - \frac{\beta L_x^2}{4\pi^2} + \\ &+ \left[ \frac{f L_x}{2\pi} - V \cos \frac{2\pi}{L_y} y \cos \frac{2\pi}{L_x} x - U \frac{L_x}{L_y} \cos \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha) \right] \frac{L_x}{L_y} \tan \frac{2\pi}{L_y} y, \quad (5) \end{aligned}$$

現再考虑副高內任何与副高橫軸平行的直綫上各处的移速, 为此, 令

$$\begin{aligned} Q &= U \left[ \sin \frac{2\pi}{L_y} \alpha - \sin \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha) \right] + U \frac{L_x^2}{L_y^2} \sin \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha) + \frac{\beta L_x^2}{4\pi^2} - \\ &- \left[ \frac{f L_x}{2\pi} - U \frac{L_x}{L_y} \cos \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha) \right] \frac{L_x}{L_y} \tan \frac{2\pi}{L_y} y, \quad (6) \end{aligned}$$

則对某一給定的与橫軸平行的直綫上,  $Q$  为一常数, 如此, (5) 式可处理为一个簡單的一阶綫性常微分方程, 即

$$\frac{dc}{dx} = c \frac{2\pi}{L_x} \tan \frac{2\pi}{L_x} x + 2V \frac{2\pi}{L_y} \sin \frac{2\pi}{L_y} y \sin \frac{2\pi}{L_x} x + Q \frac{2\pi}{L_x} \tan \frac{2\pi}{L_x} x, \quad (7)$$

求解得:

$$c = -V \frac{L_x}{L_y} \sin \frac{2\pi}{L_y} y \cos \frac{2\pi}{L_x} x + K \sec \frac{2\pi}{L_x} x - Q \quad (8)$$

式中  $K$  为积分常数, 可以利用  $x = 0$  时的边界条件求得. 由(7)式可知

$$x = 0 \text{ 时, } \frac{dc}{dx} = 0 \quad (9)$$

根据(9)式, 由(5)式乃得

$$x = 0 \text{ 时, } c = -2V \frac{L_x}{L_y} \sin \frac{2\pi}{L_y} y - Q \quad (10)$$

以此代入(8)式, 则可求得积分常数为

$$K = -V \frac{L_x}{L_y} \sin \frac{2\pi}{L_y} y. \quad (11)$$

将(6)与(11)式代入(8)式, 最后乃求得副高的东西向移动速度为

$$c = -V \frac{L_x}{L_y} \left( \cos \frac{2\pi}{L_x} x + \sec \frac{2\pi}{L_x} x \right) \sin \frac{2\pi}{L_y} y - U \left[ \sin \frac{2\pi}{L_y} \alpha - \sin \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha) \right] - U \frac{L_x^2}{L_y^2} \sin \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha) - \frac{\beta L_x^2}{4\pi^2} + \left[ \frac{fL_x}{2\pi} - U \frac{L_x}{L_y} \cos \frac{2\pi}{L_y} (y + \alpha) \right] \frac{L_x}{L_y} \tan \frac{2\pi}{L_y} y \quad (12)$$

(12) 式说明副高移速不但决定于风场的结构特性与副高的形状位置, 而且移速大小在副高内部亦是各处不同的. 极为明显, 在任何时刻的天气图上, 只要副高形状呈椭圆形, 取  $y$  轴与副高的纵轴重合, 而将该时刻作为起始时刻, 则副高的东西向进退问题均可利用(12)式来讨论. 不过, 我们注意到, 上式示出, 当  $x \rightarrow \pm \frac{L_x}{4}$  或与  $y \rightarrow \pm \frac{L_y}{4}$  时,  $c$  值将趋于正或负无穷大. 实际上这种情况并不存在, 上式乃不能应用于讨论副高外围的移动情况. 但天气实践指出, 副高中心的移动恒亦即示出整个高压单体的移动情况, 因此, 我们将着重讨论副高中心的移速. 而在没有讨论之前, 先看一看(12)式所示的移速在副高内部变异具有怎样的特性及其作用.

### 三、副高内部移速变异的特性

对某一定的基本气流与一定形状位置的副高, 其内部移速的变异可从  $c$  在  $x$  方向与  $y$  方向的变化情况来了解. 首先讨论  $c$  在  $x$  方向的变化, 由(12)式, 可求得

$$\frac{\partial c}{\partial x} = -V \frac{2\pi}{L_y} \sin \frac{2\pi}{L_y} y \sin \frac{2\pi}{L_x} x \tan^2 \left( \frac{2\pi}{L_x} x \right). \quad (13)$$

由此可知,  $c$  在副高的横轴 (即  $x$  轴) 上没有变化, 而沿与横轴平行的各直线上在与纵轴交点处有极值, 即在副高的东北与西南两象限内  $c$  沿  $x$  方向减小, 而在东南与西北两象限内  $c$  沿  $x$  方向增大. 当  $c > 0$  时, 在副高的北侧,  $c$  在纵轴上最大而向东与西两方减小; 在南侧反之,  $c$  在纵轴上最小而向东与西两方增大. 当  $c < 0$  时,  $c$  绝对值的分布与  $c > 0$  时的分布情况相反. 这样, 副高乃将发生变形, 一个无论是向东或向西移行的副高, 相对的说, 其东北部分与西南部分将逐渐缩短, 而其东南部分与西北部分将逐渐拉长. 然

而,事实上,(13)式所示的  $c$  在  $x$  方向的变化除了在  $x = \pm \frac{L_x}{4}$  处之外是很小的。例如設  $L_x = 5000$  仟米,  $L_y = 4000$  仟米,  $V = 5$  米·秒<sup>-1</sup>, 則沿縱軸上及其附近 ( $x \approx 0$ ),  $\frac{\partial c}{\partial x} \approx 0$ ; 当  $x = \frac{L_x}{12}$  时,  $y = \frac{L_y}{12}$  时,  $\frac{\partial c}{\partial x} = -6.2 \times 10^{-4}$  米·秒<sup>-1</sup>·仟米<sup>-1</sup>; 当  $x = \frac{L_x}{6}$  时,  $y = \frac{L_y}{12}$  时,  $\frac{\partial c}{\partial x} = -97.2 \times 10^{-4}$  米·秒<sup>-1</sup>·仟米<sup>-1</sup>。因此,在日常天气图上并見不到明显地出現这样的变形現象。

至于  $c$  在  $y$  方向的改变,为簡單起見,我們仅討論  $\alpha = 0$  的情况,这样,由(12)式有

$$\frac{\partial c}{\partial y} = 2\pi \left[ \frac{U}{L_y} - \frac{V}{L_x} \left( \cos \frac{2\pi}{L_x} x + \sec \frac{2\pi}{L_x} x \right) \right] \cos \frac{2\pi}{L_y} y + \frac{L_x^2}{L_y^2} \left\{ f - U \frac{2\pi}{L_y} \left[ 1 + 2 \cos^3 \left( \frac{2\pi}{L_y} y \right) - \cos \frac{2\pi}{L_y} y \right] \right\} \sec^2 \left( \frac{2\pi}{L_y} y \right). \quad (14)$$

上式示出,在一般情况下,在副高内部均为  $\frac{\partial c}{\partial y} > 0$ , 而距橫軸愈远处  $\frac{\partial c}{\partial y}$  愈大。例如仍取  $L_x = 5000$  仟米,  $L_y = 4000$  仟米,  $U = 20$  米·秒<sup>-1</sup>,  $V = 5$  米·秒<sup>-1</sup>, 并取  $\varphi = 30^\circ \text{N}$ ,  $f = 0.75 \times 10^{-4}$  秒<sup>-1</sup>, 則在副高中心附近可求得  $\frac{\partial c}{\partial y} \approx 2.4 \times 10^{-2}$  米·秒<sup>-1</sup>·仟米<sup>-1</sup>, 在  $x = 0, y = \pm \frac{L_y}{24}$  处,  $\frac{\partial c}{\partial y} = 42.9 \times 10^{-3}$  米·秒<sup>-1</sup>·仟米<sup>-1</sup>; 在  $x = 0, y = \pm \frac{L_y}{12}$  处,  $\frac{\partial c}{\partial y} = 75.3 \times 10^{-3}$  米·秒<sup>-1</sup>·仟米<sup>-1</sup>。故除在南北兩側边缘外,  $\frac{\partial c}{\partial y}$  值均不太大的, 但一般較  $\frac{\partial c}{\partial x}$  要大得多。  $c$  沿  $y$  方向增大的結果, 不管副高是向东或向西移行, 一个原为正橢圓形的副高单体, 将变形为一个約自东北北向西南南歪斜的橢圓形, 这正是有时在日常天气图上可以見到的現象。这一点已曾在以前工作<sup>[1]</sup>中指出过。

副高内部移速变异的特征,使副高本身在移动过程中不能保持形状不变而逐漸变形, 是具有一定的重要意义的。但由上述計算的結果看来,除了副高边缘外,内部各处的移速变异毕竟是很小的, 在目前的天气資料条件下,就目前所用比例尺的天气图上,是很难将这种由于内部因素所引起的变形清楚地显示出来。因此,除非受了外界环流系統的影响,副高很少表现出明显的变形情况。反之,天气图上示出,副高中心怎样移动,整个副高单体通常亦就随着副高中心而怎样移动。因此,在实际預报工作中,副高中心的移动的預报是头等重要的問題,而副高内部移速的变异情况一般可不考虑。下面我們將进而着重討論副高中心的移动及其預报問題。

#### 四、副高中心的移动

在副高中心,因  $x = y = 0$ , 則由(12)式可求得副高中心的移速为

$$c = -\frac{L_x^2}{L_y^2} \left( U \sin \frac{2\pi}{L_y} \alpha + \frac{\beta L_y^2}{4\pi^2} \right), \quad (15)$$

上式示出,副高中心移动的快慢主要和副高橫軸与縱軸之比成比例,而方向仅决定于  $U$ 、 $\alpha$ 、 $L_y$  与  $\varphi$ , 和副高橫軸的长短无关。是則有

$$U \sin \frac{2\pi}{L_y} \alpha + \frac{\beta L_y^2}{4\pi^2} \geq 0 \text{ 时, } c \leq 0. \quad (16)$$

因为  $\frac{\beta L_y^2}{4\pi^2}$  永为正值, 由上式可知, 对某一定形状位置的副高单体, 其移动方向可根据基本气流风速的经向分布廓线决定. 当风速廓线对横轴成对称、南侧东风与北侧西风大小相等时 (即  $\alpha = 0$  时), 或者风速廓线并不对称, 但南侧东风大于北侧西风时 (即  $\alpha > 0$  时), 副高单体均向西移行 ( $c < 0$ ). 反之, 当风速廓线不对称, 但北侧西风大于南侧东风时 (即  $\alpha < 0$  时),  $c$  的符号无定, 视  $\alpha$  值的大小如何决定, 即

$$U \sin \frac{2\pi}{L_y} |\alpha| \leq \frac{\beta L_y^2}{4\pi^2} \text{ 时, } c \leq 0, \quad (17)$$

在前面第二节讨论中指出,  $U \sin \frac{2\pi}{L_y} \alpha$  代表副高南侧最大东风速率减北侧最大西风水速率之差值, 因此, 在  $\alpha < 0$  时, 只有当副高北侧西风水速率较南侧东风速率为大并超过一定数值  $\frac{\beta L_y^2}{4\pi^2}$  时, 副高单体中心始能向东移动. 而在其它情况下, 副高中心或可停滞不动或向西移行. 由此也可知道, 在北侧西风较南侧东风为大的某一给定风速廓线的基本气流下, 副高单体凡纵轴大者 (宽胖副高) 将向西移, 而纵轴甚小者 (扁平副高) 可向东移, 移速大小与副高二轴长度之比成比例. 这些结论显然是具有重要的预报实际意义的.

此外, 由 (12) 式得知, (15) 式并不仅仅代表副高中心的移速, 且亦代表椭圆副高单体横轴上各部位的移速. 换言之, 无论是副高横轴东端与西端各处均将同中心一道以 (15) 式所示的速度整个移动. 这个结论在讨论 (13) 式时已曾指出, 是与实际情况甚为符合的. 日常天气图上示出, 副高中心的移动通常亦就是整个副高单体的移动情况, 只有那些西缘或东缘极外围的等高线, 其移动情况有时同副高中心部分的移动情况并不太一致, 但这种情况比较少, 而且, 事实上, 此时这些等高线已不能视为属于该完整闭合椭圆副高单体的范围了. 因此, 副高移动的预报问题主要在于其中心移动的估计, 而副高中心的移动可应用 (15) 式来计算. 一连串试验结果证明了 (15) 式的正确性与应用价值. 下面我将讨论 (15) 式的具体应用问题并列举若干实例予以说明.

## 五、预报应用

为了在实际预报工作中应用方便起见, 我们可将 (15) 式的形式予以改变. 前面已指出,  $U \sin \frac{2\pi}{L_y} \alpha$  为副高南侧最大东风与北侧最大西风水速率之差值, 现以  $\Delta \bar{u}$  表之, 又取  $L_x = 4a$ ,  $L_y = 4b$  代换,  $a$  与  $b$  分别为副高单体的横半轴与纵半轴, 则当移速  $c$  以每 24 小时的纬距度数为单位表示, (15) 式乃可代换为

$$c = -\left(\frac{a}{b}\right)^2 (0.78 \Delta \bar{u} + 0.09 b^2 \cos \varphi), \quad (18)$$

式中  $\varphi$  为副高中心的位置纬度,  $\Delta \bar{u}$  单位为米·秒<sup>-1</sup>,  $a$  与  $b$  的单位为纬距度数, 这样从当时天气图上读取  $a$ ,  $b$  与  $\varphi$  值并求出  $\Delta \bar{u}$  后, 即可应用 (18) 式很容易地求出副高第二天的位置所在.

(18) 式可应用于任何高空图上, 例如 700、500、300 毫巴的图, 只要副高呈明显的一

个单体。考虑到目前国内着重分析 500 毫巴上副高的活动，我們曾对 500 毫巴情况进行一系列試驗，結果极为良好。不过，在实际工作中，500 毫巴图等高綫通常每隔 40 位势米分析一条，副高单体有时仅有一条閉合等高綫，很自然要产生副高单体外形范围以及  $a$  与  $b$  如何确定的問題。根据試驗，原則上，副高的南北寬度应尽量取全风速廓綫南北最大东风与最大西风之間的寬度一致。一般說，副高单体可用 5880 位势米等高綫包围的范围为准，有时，亦需內插繪制等高綫，以求得較有代表性的最外一条呈橢圓的閉合等高綫。用 5880 位势米作为标准时，倘高压中心不在副高单体的几何正中心，則  $a$  与  $b$  分别取用平均值，即各取整个橫軸与縱軸的一半；当副高位于西太平洋沿岸，5880 綫在副高的西側与北側可准确分析，而在东側与南側常不能准确确定，此时只得取用西側的  $a$  与北側的  $b$  进行計算，当然，这样，难免要影响計算結果的精確程度。

此外，在海洋上和我国南方的国外地区以及中亚、西亚地区，因高空資料不足，很难作出高压单体所在范围内南北整个經圈带区内各緯度平均緯向风速的南北分布廓綫，准确代表基本气流的特征。这是应用(18)式所遇到的一个較大困难。不过，根据試驗結果，作为粗糙近似，我們可以仅仅考虑經过副高中心或其西(或东)側距中心不太远处經圈附近約 5—6 个經度寬带区内的一些測站，求其 500 毫巴各緯度实际风平均緯向风速的南北分布廓綫作为 500 毫巴面上的基本气流。当然，这样的风速廓綫与(1)式所示的理想廓綫比較，有时是可以相差甚大的。因此，应用时对于(18)式中的  $\Delta \bar{u}$  的取决須作适当的改变。根据經驗，倘取 5880 綫为副高单体范围，副高南北二側最大风速并不出現在副高南北方 5880 綫附近时，則当最大风速均在 5880 綫以外， $\Delta \bar{u}$  一般可取为副高中心正南方 5880 綫所在緯度的东风与中心正北方 5880 綫所在緯度的西风速率之差。当风速廓綫南北二个最大风速有一个出現在 5880 綫之內， $\Delta \bar{u}$  可取为該最大风速速率与另一側 5880 綫所在緯度的风速速率之差。

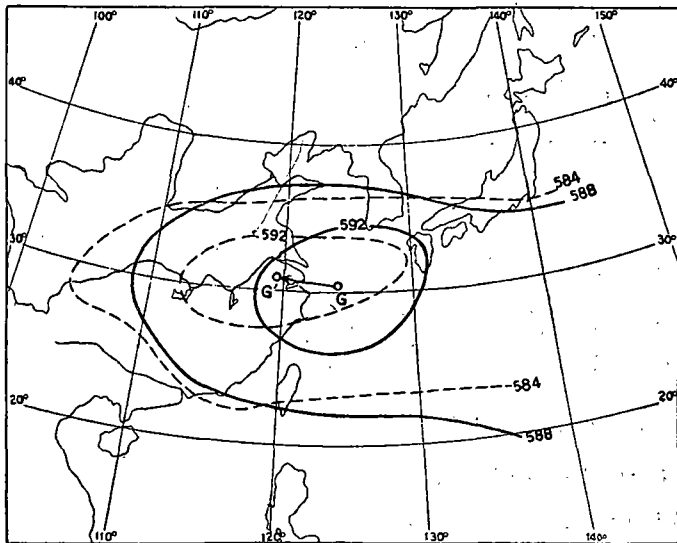


图 2a 1959 年 8 月 19 日 00 Z (实綫) 与 20 日 00 Z (虚綫) 500 毫巴副高性狀位置

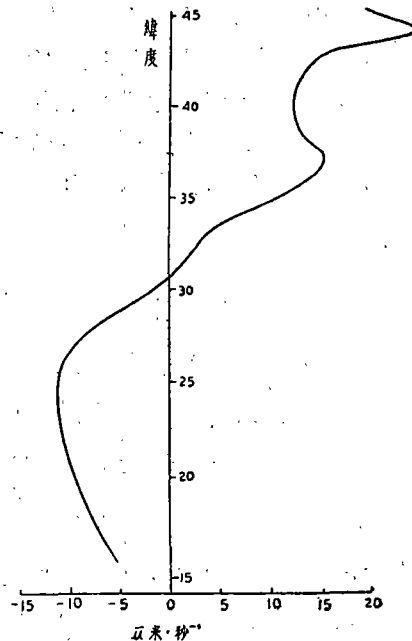


图 2b 1959 年 8 月 19 日 00 Z 沿 120°E 經圈带区 500 毫巴平均风速廓綫

当然，假若风速廓线的南北二个最大风速都出现在中心南北二方 5880 线附近，则  $\Delta\bar{u}$  取为二个最大风速速率之差。现举若干实例说明如下。而为了便于说明起见，所取的例子均是接近我国大陆的情况，因为这样，在副高附近二侧能有足够的高空风资料。

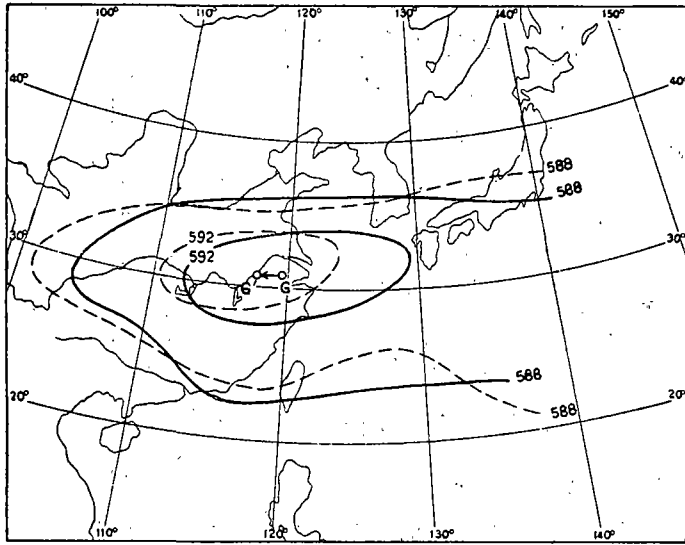


图 3a 1959 年 8 月 20 日 00 Z (实线) 与 21 日 00 Z (虚线) 500 毫巴副高性状位置

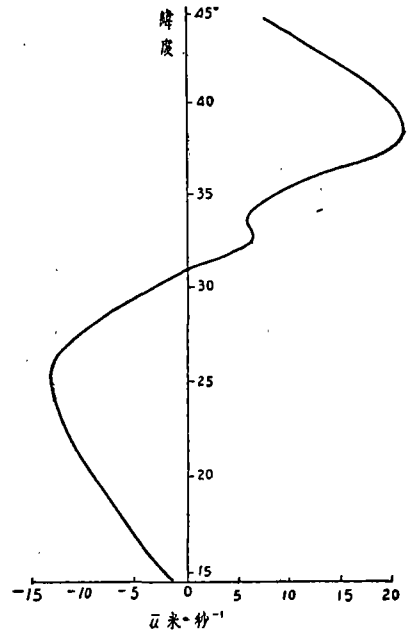


图 3b 1959 年 8 月 20 日 00Z 沿 120°E 经圈带区 500 毫巴平均风速廓线

第一个例子如图 2 与图 3 所示，为 1959 年 8 月 19 日至 21 日的情况。其中图 2a 中实线等高线表示当天的副高，虚线等高线表示第二天的副高情况；图 2b 为风速廓线，廓线的纵轴与某一经圈重合，表示为沿该经圈附近 5—6 个经度宽的经圈带内测站风速的平均风速廓线。图 2 示出，19 日副高中心位置约在  $30.5^{\circ}\text{N}$ ,  $124.0^{\circ}\text{E}$ ，其横半轴取为副高中心与正西端 5880 线的距离， $a = 13.6$  个纬度，其纵半轴取为整个纵轴的平均值，即  $b = \frac{15.5}{2}$  个纬度，取沿  $120^{\circ}\text{E}$  经圈带区的平均风速廓线，南北最大风速均出现在副高单体内部 5880 线附近，最大东风为  $11.0 \text{ 米} \cdot \text{秒}^{-1}$ ，最大西风为  $15.6 \text{ 米} \cdot \text{秒}^{-1}$ ，故  $\Delta\bar{u} = -4.6 \text{ 米} \cdot \text{秒}^{-1}$  是由 (18) 式求得  $c = -3.7 \text{ 纬度} \cdot \text{天}^{-1}$ 。实际上，20 日副高中心位于  $31.0^{\circ}\text{N}$ ,  $119.5^{\circ}\text{E}$ ，故 19 日至 20 日 24 小时副高中心向西移了 4 个多一点的纬度，与计算结果极为一致。而如图 3 所示，20 日副高的  $a = 15$  纬度， $b = \frac{14}{2}$  纬度，沿  $120^{\circ}\text{E}$  风速廓线南侧最大东风在副高单体内为  $13.5 \text{ 米} \cdot \text{秒}^{-1}$ ，北侧最大西风在高压之外，因此取边缘 5880 线处纬度的风速为  $17.5 \text{ 米} \cdot \text{秒}^{-1}$ ，这样  $\Delta\bar{u} = -4.0 \text{ 米} \cdot \text{秒}^{-1}$ ，而由 (18) 式求得  $c = -3.1 \text{ 纬度} \cdot \text{天}^{-1}$ 。实际上，21 日副高中心位于  $31.0^{\circ}\text{N}$ ,  $117.5^{\circ}\text{E}$ ，20 日至 21 日 24 小时之间共向西移行约 2 个纬度，与计算结果亦颇一致。此外，由图 2a 和 3a 可注意到，副高中心的移行情况亦揭示出了整个副高单体的移动情况。

第二个例子如图 4 所示，为 1959 年 8 月 27 日至 28 日的情况。27 日图上示出三个高压单体  $G_1$ 、 $G_2$  与  $G_3$ ，其中心位置， $G_1$  约在  $29.0^{\circ}\text{N}$ ,  $147.5^{\circ}\text{E}$ ， $G_2$  约在  $26.5^{\circ}\text{N}$ ,  $117.5^{\circ}\text{E}$ ，



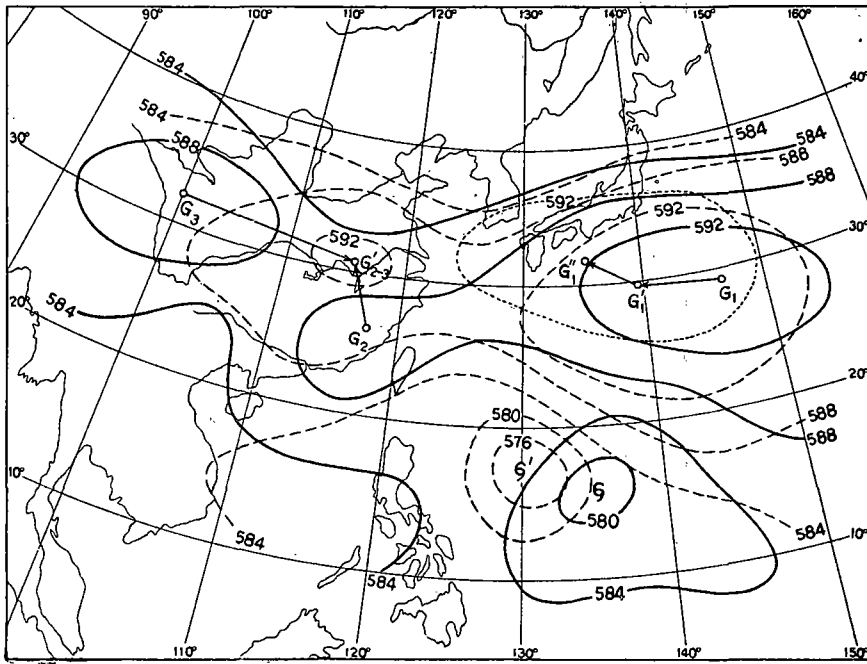


图 4a 1959 年 8 月 27 日 00Z (实线) 与 28 日 00Z (虚线) 及 29 日 00Z (细点线) 500 毫巴副高性状位置

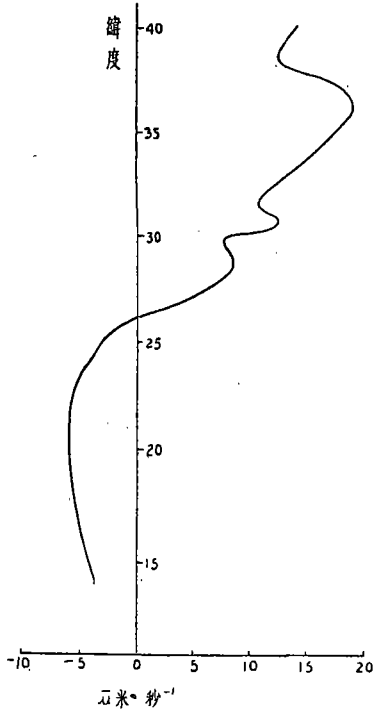


图 4b 1959 年 8 月 27 日 00Z 沿 118°E 经圈带区 500 毫巴平均风速廓线

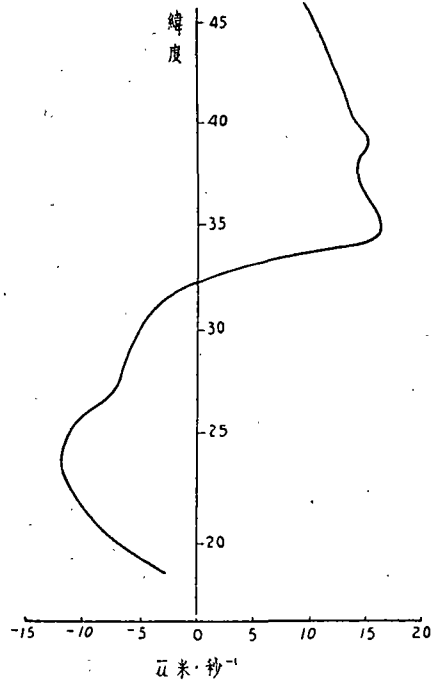


图 4c 1958 年 8 月 27 日 00Z 沿 104°E 经圈带区 500 毫巴平均风速廓线

$G_3$  約在  $31.5^\circ\text{N}$ ,  $100.0^\circ\text{E}$ . 因  $G_1$  位于海洋上, 风记录稀少, 不能作出有代表性的基本气流风速廓綫, 因此, 我們只对  $G_2$  与  $G_3$  分别沿  $118^\circ\text{E}$  与沿  $104^\circ\text{E}$  为淮的經圈带作出风速廓綫, 予以計算. 由图 4a 与图 4b, 对于  $G_2$ ,  $a = 6.0$  緯度,  $b = \frac{7.5}{2}$  緯度,  $\Delta\bar{u} = 6.0 -$

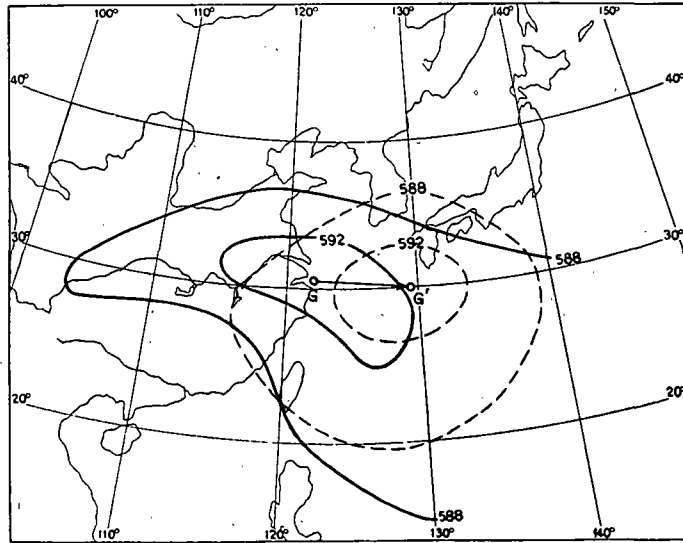


图 5a 1959 年 8 月 24 日 00 Z (实綫) 与 25 日 00 Z (虚綫) 500 毫巴副高性状位置

$8.0 = -2.0$  米·秒<sup>-1</sup>, 則  $c_2 = 1.2$  緯度·天<sup>-1</sup>, 向东移动很小. 同理, 由图 4a 与图 4c, 对于  $G_3$ ,  $a = 8.0$  緯度,  $b = 4.0$  緯度,  $\Delta\bar{u} = 11.9 - 16.9 = -5.0$  米·秒<sup>-1</sup>, 是則  $c_3 = 10.8$  緯度·天<sup>-1</sup>, 向东移动很大. 实际上, 28 日在我国大陆上仅出現一个副高单体  $G'_{2-3}$ , 中心位于  $31.0^\circ\text{N}$ ,  $116.0^\circ\text{E}$ , 这显然是  $G_3$  迅速东移使  $G_2$  北上, 結果二者合并成一个高压单体  $G'_{2-3}$  了.  $G_2$  与  $G'_{2-3}$  比較, 表现出  $G_2$  向西移行半个緯度, 实际移动方向与計算結果正相反, 这可能是  $G_2$  不能作为一个完整单体得应用 (18) 式計算之故, 不过, 計算的  $c_2$  其数值亦甚小, 表示  $G_2$  将移动很小, 这一点与实际情况一致.  $G_3$  与  $G'_{2-3}$  比較,  $G_3$  实际上东移了 13.5 个緯度, 与計算結果甚为一致. 由此可知, 当同时有二个高压单体时, 倘計算結果, 一个变动較小, 而另一个迅速移向該高压单体, 則可考虑二者合并的可能性.

第三个例子如图 5 所示, 为 1959 年 8 月 24 日大陆沿岸的副高, 其中心位置为  $30.5^\circ\text{N}$ ,  $122.0^\circ\text{E}$ . 就沿  $120^\circ\text{E}$  經圈带的平均风速廓綫看来, 副高北側西风較南側东风大得多了, 很明显地示出副高将向东移行. 虽然, 此副高的形状已不是

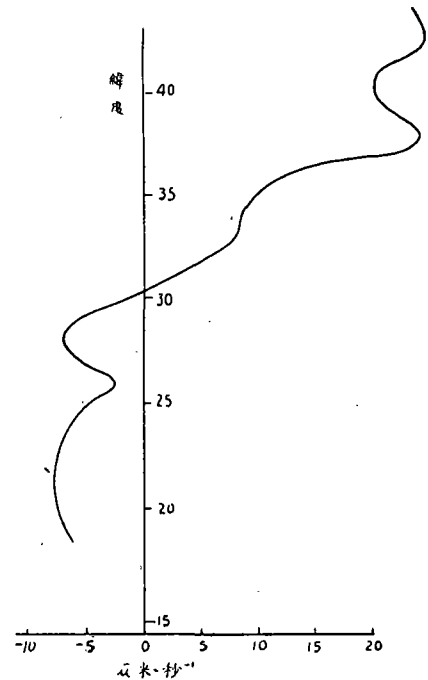


图 5b 1959 年 8 月 24 日 00 Z 沿  $120^\circ\text{E}$  經圈带区 500 毫巴平均风速廓綫

正椭圆形了,但应用(18)式计算结果确亦是东移。因副高北侧仅有一个明显的最大西风 24.6 米·秒<sup>-1</sup>,位于副高 5880 綫所在纬度的附近,故副高范围,北面取 5880 綫为标准,南面范围较难考虑,于是(18)式中右端括弧内的  $b$  就取中心与北綫 5880 綫间距离的值为代表,即  $b = 6.5$  个纬度。同时,因 5880 綫在副高的西部畸变得太甚了,(18)式右端括弧外的  $\frac{a}{b}$  的比值则按 5920 綫外形的西侧与北侧情况估计,即  $\frac{a}{b} = \frac{6}{3}$ 。南面的东风即取其最大值 7.5 米·秒<sup>-1</sup>,而北面西风取中心正北 5880 綫所在纬度处的风速 14.0 米·秒<sup>-1</sup>,故  $\Delta \bar{u} = -6.5$  米·秒<sup>-1</sup>,是则求得  $c = 7.2$  纬度·天<sup>-1</sup>。实际上,第二天中心位置为 30.0°N, 129.0°E, 24 小时移行了 6.5 个纬距,与计算结果甚为一致。

从以上的实例看来,(18)式是可简易地且有效地应用于实际预报的。但是也就上面例子看来,在实际应用时,参数  $a$  值、 $b$  值与  $\Delta \bar{u}$  值都必须尽量符合(1)、(2)式所示的模式原则按副高不同的性状结构进行抉择计算。上述例子虽然提供了一些有关参数取值的规则,但为了在实际工作中广泛应用,需要对更多的实例进行深入的试验研究,找出更多的取值原则,以便在遇到一些特殊情况时仍能做出正确的预报及预报考虑。

## 六、討 論

最后,我们将讨论一下(5)或(12)式及(15)或(18)式的物理意义,以及外界环流系统影响与副高本身结构变化作用的物理意义。

(1) 移速公式的物理意义:为简单起见,考虑基本气流为  $\alpha = 0$  的情形,同时考虑起始状态,将(13)式代入(5)式,则得移速公式为

$$c = -V \frac{L_x}{L_y} \sin \frac{2\pi}{L_y} y \tan^2 \left( \frac{2\pi}{L_x} x \right) \cos \frac{2\pi}{L_x} x - \left( V \frac{L_x}{L_y} \cos \frac{2\pi}{L_x} x + U \frac{L_x^2 - L_y^2}{L_y^2} \right) \sin \frac{2\pi}{L_y} y - \frac{\beta L_x^2}{4\pi^2} + \left( \frac{f L_x}{2\pi} - V \cos \frac{2\pi}{L_y} y \cos \frac{2\pi}{L_x} x - U \frac{L_x}{L_y} \cos \frac{2\pi}{L_y} y \right) \frac{L_x \tan \frac{2\pi}{L_y} y}{L_y}, \quad (19)$$

考虑副高中心邻近范围,显然上式右端第一项要较后三项小得多了,设可略去不计。在一般情况下,  $L_x \geq L_y$ , 第二大项使副高的北部向西移,使南部向东移,第三项使副高整个向西移,第四大项,因括弧内第一小项占优势,乃使副高北部向东移,使副高南部向西移。但由(3)与(4)式可知,(19)式的第二大项表示相对涡度平流作用,第三项表示地旋涡度平流作用,第四大项表示速度散度作用。而此时涡度平流与散度分别为

$$\left. \begin{aligned} -\mathbf{v} \cdot \nabla \zeta &= 4\pi^2 V \left( \frac{V}{L_x L_y} \cos \frac{2\pi}{L_x} x + U \frac{L_x^2 - L_y^2}{L_x^2 L_y^2} \right) \cos \frac{2\pi}{L_y} y \sin \frac{2\pi}{L_y} y \sin \frac{2\pi}{L_x} x, \\ \nabla \cdot \mathbf{v} &= 2\pi V \frac{1}{L_y} \sin \frac{2\pi}{L_y} y \sin \frac{2\pi}{L_x} x. \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

则知在副高的东北与西南象限内有正相对涡度平流与正速度散度,在东南与西北象限内均有负涡度平流与负速度散度;而地旋涡度平流的分布很明显在副高东半部为正,在西半部为负。故副高有向负涡度平流区及向速度辐散区移动的特性,这也曾在前一研究中<sup>[1]</sup>指出过。由此可知,(12)式所示的副高移动速度实际上主要就是流场中涡度平流与速度散度的作用的表示式。关于(15)式所示的副高中心及其横轴的移速,由(4)或(12)式得知只是地旋涡度平流与部分相对涡度平流起作用了。而天气实践经验以及第五节的例子结

果指出，副高中心移动情况恆为整个副高单体的移动情况，这说明对于副高的移动，涡度場作用恆占优势的控制地位，这与以前实际分析試驗的結果甚为一致<sup>[1]</sup>。极为明显，这个結果对副热带高压移行数值预报的建立模式問題的考虑甚有参考意义的。

(2) 外界环流系統的作用与副高本身結構变化的影响：上述(12)和(15)式明显地示出副高二側緯向风場結構与副高本身形状位置对它东西向移行的內在联系，但是无论副高二側的风速与它本身的形状位置都会在移动过程中变化，这种变化可以由于外界因子或副高本身因素的改变而引起。例如当中高緯度西风带低槽活跃南伸或当广大范围内整个鋒区南压时，我們可見副高单体原呈停滯者变为向东移动，或原向东移动者出現加速現象。反之，当副高北方西风带低槽减弱移出或有高压脊移入，或当极鋒鋒区整个北撤，或在副高南侧低緯度有热带低压发展时，則可見副高单体原呈停滯者变为向西移动，或原向西移动者出現加速現象。其物理意义由(15)式是容易理解的，前者显系副高北侧西风加强使大大超过南侧东风风速，同时或使高压变平以致 $b$ 变小的緣故，而后者乃系副高北侧西风减弱或南侧东风增大，使副高南北二側风速大小相差变小或同时高压变寬的結果：在低緯度台风发展的同时出現副高繼續西移的情况，图4中的 $G_1$ 即为一个实例。此外，在北非、西亚与中亚地区，副高单体恆向东移动，而在中国大陆及西太平洋地区，副高单体則有东移亦有西移，这个現象亦是容易解释的。从高空天气图（例如500毫巴图、而以在300毫巴图尤为明显）上，我們見到在前些地区内，极鋒鋒区恆紧接位于副高单体的北緣，而在后些地区内則不然，因此，前者在副高北侧的西风恆大大超过南侧的东风，副高遂多东移；而后者則不一定。由此可知，从(15)式所討論的上述結果，对于有关外界环流系統的演变对副高东西进退影响的预报問題的考虑提供了一个重要的物理根据，是具有很大的实用意义的。而从这个討論我們也可看出影响副高移动的內在因子与外在因子之間的联系性与統一性。

此外，极为明显，影响副高的移行活动，并不限于外界的环流系統，副高本身的变化也很重要。由(15)或(18)式可知，即使四周气流沒有改变，当副高范围逐渐扩大变胖（縱軸长度增大）时，則副高可轉变为或加速向西移行，反之，当副高范围逐渐縮小变扁（縱軸长度減小）时，副高可轉变为或加速向东移行。除此之外，副高亦可出現強度增大或減小，等高綫增密或減疏及发生偏心的現象，这一些也都会引起副高南北二側风速的改变，結果导致移速的变化。例如，假使原来副高結構对称，高压中心位于副高单体的正中心，而在演变过程中，倘高压中心变移至偏于副高的南面，則副高单体可轉变为或加速向西移动，反之，倘高压中心变移至偏于副高的北面，則副高单体可轉变为或加速向东移动。这一些正都是实际中可見到的現象。

由上討論可知，(15)或(18)式不但对副高进退的短期预报重要，而且在中期预报上亦具有重要的实际意义。然而，以上討論也明显示出，副高的东西进退并不是一个孤立的現象，欲很好解决副高进退的中期预报問題，对于中高緯度西风带鋒区及槽脊的活动、低緯度热带低压的生消、副高本身強度結構性状的变化的規律我們都必須进行深入研究。只有很好掌握了这些外界因子与內部因素变化的物理規律，副高进退的中期预报問題才能獲得彻底的解决。

## 参 考 文 献

- [1] 黄土松、林元弼、余志豪、湯明敏等, 渦度場散度場对副热带高压及飑风短期变动的预报, 南京大学学报 (气象学), 1962 年第一期, 1—16.
- [2] 黄土松、湯明敏等, 副热带高压位置一年中南北变动的一些特征及其意义, 南京大学学报 (气象学), 1962 年第二期, 41—56.

## A STUDY OF THE LONGITUDINAL MOVEMENT AND ITS FORECASTING OF SUBTROPICAL ANTICYCLONES

S. S. HWANG

(*Department of Meteorology, Nanking University*)

### ABSTRACT

The aim of this paper is to study the longitudinal movement of a subtropical anticyclone cell in relation to the feature and structure of the anticyclone itself, and to develop method by means of which the movement of subtropical anticyclones can be computed. The velocity formula obtained, shows that the velocity of longitudinal movement is determined by the characteristics of latitudinal distribution of the zonal currents and the feature and position of the anticyclone itself, and that it even varies from point to point within the anticyclone. The movement of the anticyclone center is particularly investigated, and the application of the velocity formula in daily forecasting work is illustrated by synoptic examples. By the way, the physical effect of the activity of westerly troughs and wedges in high latitudes and tropical depressions in low latitudes, and the effect of the variation of the feature and intensity of anticyclone itself, on the movement of subtropical anticyclones are also discussed.