

## 地形对西风带常定扰动的多层模式\*

陈 受 鈞

(北京大学地球物理系)

### 提 要

应用四层模式, 讨论了西风带的常定扰动。结果表明, 冬季波数 1—2 的地形常定扰动可以影响到平流层, 而夏季的影响很小。

### 一、引 言

近年来, 平流层观测资料的增多表明, 平流层中平均水平环流的特征和对流层中并不完全相同。从 1 月和 7 月的 700, 300, 100, 与 25 毫巴平均图<sup>[1,2]</sup>上可以看出, 1 月在对流层中有三个明显的槽, 而在平流层 25 毫巴上 140°E 和 60°W 处有两个槽, 太平洋地区有很强的脊, 平均槽脊强度在平流层中随高度增强。7 月, 对流层中有四个槽, 但到 25 毫巴, 为一中心在极点附近的大高压, 盛行东风, 槽脊分布很不明显。图 1 为沿 50°N 1 月和 7 月平均等压面上波数 1—5 的振幅随高度的变化。在 1 月份波数为 1—2 的振幅在平流层中随高度增加很快, 而在 7 月份波的振幅在平流层中都随高度减小。很多作者从地形和冷热源对西风带的常定扰动计算对流层中的平均槽脊的分布, 所得结果和实况大致相符<sup>[3-8]</sup>。本文应用四层模式对地形的常定扰动作一个简单的分析, 希望对平流层中平均场的形成作一个初步的了解。

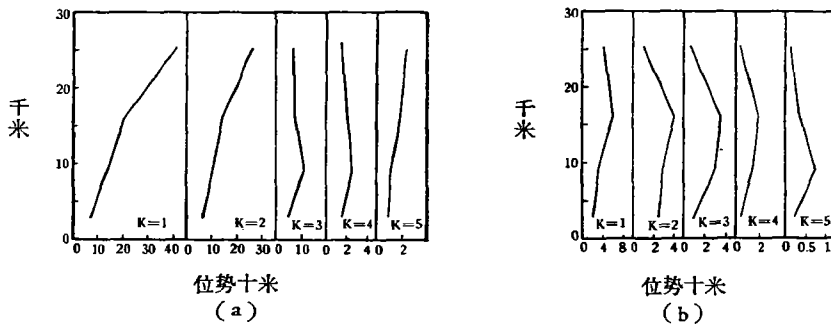


图 1 沿 50°N 月平均等压面上波数 1—5 的振幅随高度的变化  
(a) 1 月; (b) 7 月

### 二、常定扰动方程

平流层大气仅占整个大气质量的五分之一左右, 因此讨论平流层运动时应用  $x, y, p, t$  坐标系就不够合适。这里应用  $x, y, \pi, t$  座标<sup>[9]</sup>, 其中  $\pi = (P/P_8)^{1/2}$ ,  $P_8$  为地面气压,

\* 本文于 1963 年 4 月 25 日收到。

取 1000 毫巴。这样可用较少的多层模式,铅直方向取等距差分,仍能很好的表示出平流层的情况。

$x, y, \pi, t$  坐标系中,常定的涡度方程与热力学方程为:

$$\mathbf{V} \cdot \nabla(f + \zeta) = f\pi' \frac{\partial \omega}{\partial \pi}, \quad (1)$$

$$\sigma \omega = \pi' \mathbf{V} \cdot \nabla \left( -\frac{\partial z}{\partial \pi} \right). \quad (2)$$

式中  $\pi' = \partial \pi / \partial p$ ,  $\sigma = \frac{\pi'}{\rho g} \frac{\partial \ln \theta}{\partial \pi}$ ,  $\omega = \frac{dp}{dt}$ ,  $\theta$  为位温,其他符号与气象上常用的相同。应用四层模式,在铅直方向取等距差分,即  $\Delta \pi = 0.25$ 。将(1)式用于 1, 3, 5, 7 面,则有:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{V}_1 \cdot \nabla(f + \zeta_1) &= f\pi'_1 \frac{\omega_2 - \omega_0}{\Delta \pi}, \\ \mathbf{V}_3 \cdot \nabla(f + \zeta_3) &= f\pi'_3 \frac{\omega_4 - \omega_2}{\Delta \pi}, \\ \mathbf{V}_5 \cdot \nabla(f + \zeta_5) &= f\pi'_5 \frac{\omega_6 - \omega_4}{\Delta \pi}, \\ \mathbf{V}_7 \cdot \nabla(f + \zeta_7) &= f\pi'_7 \frac{\omega_8 - \omega_6}{\Delta \pi}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(2)式用于 2, 4, 6 面,有:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_2 \omega_2 &= \frac{\pi'_2}{\Delta \pi} \mathbf{V}_1 \cdot \nabla(z_1 - z_3) = \frac{\pi'_2}{\Delta \pi} \mathbf{V}_3 \cdot \nabla(z_1 - z_3), \\ \sigma_4 \omega_4 &= \frac{\pi'_4}{\Delta \pi} \mathbf{V}_3 \cdot \nabla(z_3 - z_5) = \frac{\pi'_4}{\Delta \pi} \mathbf{V}_5 \cdot \nabla(z_3 - z_5), \\ \sigma_6 \omega_6 &= \frac{\pi'_6}{\Delta \pi} \mathbf{V}_5 \cdot \nabla(z_5 - z_7) = \frac{\pi'_6}{\Delta \pi} \mathbf{V}_7 \cdot \nabla(z_5 - z_7). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

各个面上  $\pi'$  的值见表 1。

表 1

	$p$ (毫巴)	$\pi$	$\pi'$
0	0	0	
1	15.6	0.125	0.040000
2	62.5	0.250	0.020000
3	140	0.375	0.013333
4	250	0.500	0.010000
5	390	0.625	0.008000
6	563	0.750	0.006667
7	767	0.875	0.005714
8	1000	1.000	0.005000

取如下的边界条件:

$$\left. \begin{aligned} \pi = 0, p = 0 \text{ 处}, \quad \omega_0 = 0, \\ \pi = 1, p = 1000 \text{ 毫巴处}, \\ \omega_8 = -\rho_8 g \left( \mathbf{V}_8 \cdot \nabla \eta + \frac{HF}{f} \zeta_8 \right). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$\eta$  为地形高度,  $F = \frac{\sin 2\alpha}{H} \left( \frac{Kf}{2} \right)^{\frac{1}{2}}$ ,  $\alpha$  为地面风与等压线的交角,  $K$  为涡旋扩散系数,  $H$  为均匀大气高度<sup>[4]</sup>. 合并(3),(4)式,应用边界条件(5)式,得:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{V}_1 \cdot \nabla [f + \zeta_1 + f\pi'_1 k_2 z_3] &= 0, \\ \mathbf{V}_3 \cdot \nabla [f + \zeta_3 + f\pi'_3 (\kappa_4 z_5 + \kappa_2 z_1)] &= 0, \\ \mathbf{V}_5 \cdot \nabla [f + \zeta_5 + f\pi'_5 (\kappa_6 z_7 + \kappa_4 z_3)] &= 0, \\ \mathbf{V}_7 \cdot \nabla [f + \zeta_7 + f\pi'_7 \kappa_6 z_5] + \frac{f\pi'_7}{(\Delta\pi)^2} \rho_{8g} \mathbf{V}_8 \cdot \nabla \eta + \frac{\rho_{8g} H F \pi'_7}{\Delta\pi} \zeta_8 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\text{式中 } \kappa_2 = \frac{\bar{\theta}_{13}}{\pi'_2(z_1 - z_3)(\theta_1 - \theta_3)}, \quad \kappa_4 = \frac{\bar{\theta}_{35}}{\pi'_4(z_3 - z_5)(\theta_3 - \theta_5)}, \quad \kappa_6 = \frac{\bar{\theta}_{57}}{\pi'_6(z_5 - z_7)(\theta_5 - \theta_7)}.$$

$\mathbf{V}_8$  和  $\zeta_8$  可由上层的风和涡度线性外推得出, 即  $\mathbf{V}_8 = \frac{3}{2} \mathbf{V}_7 - \frac{1}{2} \mathbf{V}_5$ ,  $\zeta_8 = \frac{3}{2} \zeta_7 - \frac{1}{2} \zeta_5$ .

将方程(6)线性化,只考虑纬向扰动,如经向波数为  $m$ , 则,

$$\nabla^2 = \frac{1}{r^2 \cos^2 \varphi} \frac{d^2}{d\lambda^2} - \frac{m^2}{r^2} \quad (7)$$

$r$  为地球半径,  $\lambda$  为经度, (6)式可写成:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^3 z_1}{d\lambda^3} + (\alpha_{11} - m^2 \cos^2 \varphi) \frac{dz_1}{d\lambda} + \alpha_{13} \frac{dz_3}{d\lambda} &= 0, \\ \frac{d^3 z_3}{d\lambda^3} + (\alpha_{33} - m^2 \cos^2 \varphi) \frac{dz_3}{d\lambda} + \alpha_{55} \frac{dz_5}{d\lambda} + \alpha_{31} \frac{dz_1}{d\lambda} &= 0, \\ \frac{d^3 z_5}{d\lambda^3} + (\alpha_{55} - m^2 \cos^2 \varphi) \frac{dz_5}{d\lambda} + \alpha_{57} \frac{dz_7}{d\lambda} + \alpha_{53} \frac{dz_3}{d\lambda} &= 0, \\ \frac{d^3 z_7}{d\lambda^3} + (\alpha_{77} - m^2 \cos^2 \varphi) \frac{dz_7}{d\lambda} + \alpha_{75} \frac{dz_5}{d\lambda} &= -\gamma \frac{d\eta}{d\lambda} - \\ &- \frac{3}{2} \tau \left( \frac{d^2 z_7}{d\lambda^2} - m^2 \cos^2 \varphi z_7 \right) + \frac{1}{2} \tau \left( \frac{d^2 z_5}{d\lambda^2} - m^2 \cos^2 \varphi z_5 \right). \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

式中

$$\alpha_{11} = U_1^{-1} (2\Omega r \cos^3 \varphi - \alpha_{13} U_3), \quad \alpha_{33} = U_3^{-1} (2\Omega r \cos^3 \varphi - \alpha_{35} U_5 - \alpha_{31} U_1),$$

$$\alpha_{55} = U_5^{-1} (2\Omega r \cos^3 \varphi - \alpha_{57} U_7 - \alpha_{53} U_3), \quad \alpha_{77} = U_7^{-1} (2\Omega r \cos^3 \varphi - \alpha_{75} U_5),$$

$$\alpha_{13} = \frac{f^2 \pi'_1 k_2 r^2 \cos^2 \varphi}{g}, \quad \alpha_{31} = \frac{f^2 \pi'_3 k_2 r^2 \cos^2 \varphi}{g},$$

$$\alpha_{35} = \frac{f^2 \pi'_3 k_4 r^2 \cos^2 \varphi}{g}, \quad \alpha_{53} = \frac{f^2 \pi'_5 k_4 r^2 \cos^2 \varphi}{g},$$

$$\alpha_{57} = \frac{f^2 \pi'_5 k_6 r^2 \cos^2 \varphi}{g}, \quad \alpha_{75} = \frac{f^2 \pi'_7 k_6 r^2 \cos^2 \varphi}{g},$$

$$\gamma = f^2 \pi'_7 \rho_8 \left( \frac{3}{2} U_7 - \frac{1}{2} U_5 \right) r^2 \cos^2 \varphi / U_7 (\Delta\pi)^2$$

$$\tau = \rho_{8g} H F \pi'_7 r \cos \varphi / U_7 \Delta\pi.$$

从已知地形分布,由方程组(8)可解出 1, 3, 5, 7 面上的常定扰动. 将等压面高度场 ( $z$ ) 及地形高度 ( $\eta$ ) 都展成富氏级数:

$$z_i = \sum_{k=1}^{\infty} (a_{ik} \cos k\lambda + b_{ik} \sin k\lambda), \quad i = 1, 3, 5, 7, \quad (9.1)$$

$$\eta = \sum_{k=1}^{\infty} (\eta_k \cos k\lambda + \eta'_k \sin k\lambda). \quad (9.2)$$

$k$  为波数。将(9)式代入(8)式,合并  $\cos k\lambda$  和  $\sin k\lambda$  的同类项,可以得到对第  $k$  个波的代数方程组。

$$[\alpha_{11} - (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi)] a_{1k} + \alpha_{33} a_{3k} = 0, \quad (10.1)$$

$$[\alpha_{33} - (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi)] a_{3k} + \alpha_{35} a_{5k} + \alpha_{31} a_{1k} = 0, \quad (10.2)$$

$$[\alpha_{55} - (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi)] a_{5k} + \alpha_{57} a_{7k} + \alpha_{53} a_{3k} = 0, \quad (10.3)$$

$$[\alpha_{77} - (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi)] a_{7k} + \alpha_{75} a_{5k} = -\gamma \eta_k - \beta_{77} b_{7k} + \beta_{75} b_{5k}, \quad (10.4)$$

$$[\alpha_{11} - (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi)] b_{1k} + \alpha_{13} b_{3k} = 0, \quad (10.5)$$

$$[\alpha_{33} - (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi)] b_{3k} + \alpha_{35} b_{5k} + \alpha_{31} b_{1k} = 0, \quad (10.6)$$

$$[\alpha_{55} - (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi)] b_{5k} + \alpha_{57} b_{7k} + \alpha_{53} b_{3k} = 0, \quad (10.7)$$

$$[\alpha_{77} - (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi)] b_{7k} + \alpha_{75} b_{5k} = -\gamma \eta'_k + \beta_{77} a_{7k} - \beta_{75} a_{5k}, \quad (10.8)$$

式中  $\beta_{77} = \frac{3}{2} \tau (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi)$ ,  $\beta_{75} = \frac{\tau}{2} (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi)$ 。计算时可将实际地形展成富氏级数,得到每一波数( $k$ )的  $\eta_k$  和  $\eta'_k$ ,由(10.1)–(10.8)可求得 1, 3, 5, 7, 面上的  $a_{ik}$  和  $b_{ik}$ ,再由(9.1)式即可得到各等压面上高度的扰动场。由于常定扰动的波长很长,因此级数(9.1)式收敛很快,算至  $k = 5$  已相当精确。

### 三、地形的常定扰动

不计摩擦时,由(10.1)–(10.8)可求出  $a_{ik}$  和  $b_{ik}$  分别为:

$$\frac{a_{1k}}{a_{3k}} = \frac{b_{1k}}{b_{3k}} = -\frac{\alpha_{13}}{\alpha'_{11}}, \quad (11.1)$$

$$\frac{a_{3k}}{a_{5k}} = \frac{b_{3k}}{b_{5k}} = -\frac{\alpha_{35}}{\alpha'_{33}}, \quad (11.2)$$

$$\frac{a_{5k}}{a_{7k}} = \frac{b_{5k}}{b_{7k}} = -\frac{\alpha_{57}}{\alpha'_{55}}, \quad (11.3)$$

$$a_{7k} = -\frac{\gamma}{\alpha'_{77}} \eta_k, \quad (11.4)$$

$$b_{7k} = -\frac{\gamma}{\alpha'_{77}} \eta'_k. \quad (11.5)$$

式中  $\alpha'_{11} = [\alpha_{11} - (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi)]$ ,  $\alpha'_{33} = [\alpha_{33} - (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi) - \frac{\alpha_{13}\alpha_{31}}{\alpha'_{11}}]$ ,  $\alpha'_{55} = [\alpha_{55} - (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi) - \frac{\alpha_{53}\alpha_{35}}{\alpha'_{33}}]$ ,  $\alpha'_{77} = [\alpha_{77} - (k^2 + m^2 \cos^2 \varphi) - \frac{\alpha_{75}\alpha_{57}}{\alpha'_{55}}]$ 。由(11.1)–(11.3)式可算出常定扰动振幅随高度的变化。取  $\varphi = 50^\circ$ ,  $m = 3$ 。在 2, 4, 6 层的铅直减温率分别为 0, 6, 6°C/千米。冬季  $U_1 = 16$  米/秒,  $U_3 = 21$  米/秒,  $U_5 = 16$  米/秒,  $U_7 = 7$  米/秒。夏季取  $U_1 = -10$  米/秒,  $U_3 = 15$  米/秒,  $U_5 = 12$  米/秒,  $U_7 = 5$  米/

秒<sup>1)</sup>。将 7 面上常定扰动振幅取 1 单位, 不同波数常定扰动振幅随高度的变化率如图 2 所示。冬季, 对流层中  $k < 4$  的波的振幅随高度增加, 而在平流层中 (140 毫巴以上) 只有  $k = 1-2$  的常定波随高度增强, 而  $k > 2$  的波都随高度减弱。夏季, 140 毫巴以上所有的波都随高度很快减弱。从上面的分析可得出, 冬季地形常定扰动产生的  $k = 1-2$  的波可以影响到平流层, 而夏季对平流层的影响很小, 这和实际情况(见图 (1))是一致的。

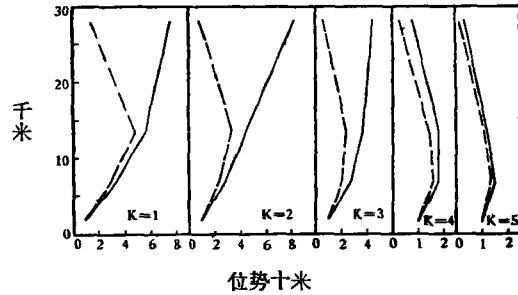


图 2 常定扰动振幅随高度变化率  
(767 毫巴振幅取 1 单位, 实线为冬季, 虚线为夏季)

Мусаелян<sup>[7]</sup> 和巢纪平<sup>[8]</sup> 讨论斜压大气中地形常定扰动时会得到扰动随高度减弱的结论, 和这里的结果不同, 处理问题方法不同以及边界条件不同, (在文献[7,8]中对大气上界取扰动强度为零, 而这里取  $\omega_0 = 0$ ) 可能是结果不一致的一个原因。但在上面的计算中, 冬季和夏季取了相同的温度层结, 而  $k = 1-2$  的扰动在冬季可以影响到 1 层 (15.6 毫巴), 夏季的影响很小, 因此基本气流的强度及其铅直切变应该是常定扰动在平流层中随高度增强抑或减弱的主要原因之一。

各层扰动的位相  $\epsilon_{ik}$  为:

$$\epsilon_i(k) = \frac{1}{k} \operatorname{tg}^{-1} \frac{b_{ik}}{a_{ik}}, \quad i = 1, 3, 5, 7. \quad (12)$$

地形位相  $\epsilon_T(k)$  为:

$$\epsilon_T(k) = \frac{1}{k} \operatorname{tg}^{-1} \frac{\eta'_k}{\eta_k}, \quad (13)$$

而由 (11.1) — (11.5) 可得:

$$\frac{b_{1k}}{a_{1k}} = \frac{b_{3k}}{a_{3k}} = \frac{b_{5k}}{a_{5k}} = \frac{b_{7k}}{a_{7k}} = \frac{\eta'_k}{\eta_k}, \quad (14)$$

即

$$\epsilon_1(k) = \epsilon_3(k) = \epsilon_5(k) = \epsilon_7(k) = \epsilon_T(k). \quad (15)$$

地形常定扰动的位相和地形的位相相同, 槽脊位置随高度是垂直的, 这和过去的结论相同<sup>[10]</sup>。

考虑摩擦后, 方程 (10.1) — (10.8) 的解为:

$$\frac{a_{1k}}{a_{3k}} = \frac{b_{1k}}{b_{3k}} = -\frac{\alpha_{13}}{\alpha'_{11}}, \quad (16.1)$$

$$\frac{a_{3k}}{a_{5k}} = \frac{b_{3k}}{b_{5k}} = -\frac{\alpha_{35}}{\alpha'_{33}}, \quad (16.2)$$

$$\frac{a_{5k}}{a_{7k}} = \frac{b_{5k}}{b_{7k}} = -\frac{\alpha_{57}}{\alpha'_{55}}, \quad (16.3)$$

$$a_{7k} = \frac{\gamma}{[\alpha'_{77} + \beta^2]} (\eta_k \alpha'_{77} - \eta'_k \beta), \quad (16.4)$$

1) 冬夏风速铅直分布由月平均图估计而得。

$$b_{1k} = -\frac{\gamma}{[\alpha_{\eta}^{\prime 2} + \beta^2]} (\eta_k \beta + \eta_k' \alpha_{\eta}'). \quad (16.5)$$

式中  $\beta = \beta_{\eta\eta} + \frac{\beta_{\eta\eta} \alpha_{\eta}'}{\alpha_{\eta\eta}}$ , 由(16.1)–(16.5)可知引入摩擦后产生两个效应:

(1) 有摩擦时常定扰动振幅  $|z_{ik}|_F$  比无摩擦时振幅  $|z_{ik}|$  减小。由(11.4), (11.5), (16.4)和(16.5)式可算出两者比值为:

$$|z_{ik}|_F / |z_{ik}| = \alpha_{\eta}' / (\alpha_{\eta}^{\prime 2} + \beta^2)^{\frac{1}{2}}. \quad (17)$$

而从(16.1)–(16.3)式可知这个比值在各层都是一样的, 因此地面摩擦对恒定扰动的衰减可以一直影响到平流层。

(2) 有摩擦时常定扰动与地形产生一个位相差  $\Delta\epsilon(k)$ , 其值为:

$$\Delta\epsilon(k) = \frac{1}{k} \lg^{-1} \frac{-\beta}{-\alpha_{\eta}'}. \quad (18)$$

应用冬季的基本气流和温度铅直分布的数值, 取  $F = 4 \times 10^{-6}$  秒<sup>-1</sup>, 每个波的  $|z_{ik}|_F / |z_{ik}|$  和  $\Delta\epsilon(k)$  的值如表 2 所示。可以看出, 波长越短, 摩擦作用越大。即波长越短, 振幅衰减得越多, 波动相对于地形西移得越多。

表 2  $F = 4 \times 10^{-6}$  秒<sup>-1</sup>时, 地形恒定扰动振幅与无摩擦时振幅比, 及与地形的位相差 (负值表示相对地形槽脊西移)

波 数	1	2	3	4	5
$ z_{ik} _F /  z_{ik} $	0.99	0.97	0.64	0.21	0.04
$\Delta\epsilon(k)$	-9°	-7°	-17°	-19°	-17°

应该指出, (16.1)–(16.3)式和(11.1)–(11.3)式完全相同, 这表明加入摩擦后各层的

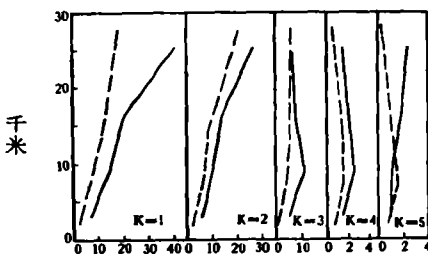


图 3 虚线为由地形计算的恒定扰动振幅随高度的变化, 实线为 1 月平均实际值 (单位: 10 位势米)

$b_{ik}/a_{ik}$  的值仍相等, 因此槽脊随高度仍是垂直的。地面摩擦不能使地形恒定扰动的槽脊随高度倾斜, 而只能使槽脊相对于地形产生一个位相差。这个位相差随高度不变, 即能一直影响到平流层。

应用实际地形, 不考虑摩擦算得冬季各层上恒定扰动振幅如图 3 所示, 位相示于表 3。从图可看出, 恒定扰动振幅随高度变化率和实况相似, 但强度较小。由于算得的槽脊是垂直的, 因此和实况的位相差在各层不相同。一般说来与实际位相差在四分之一波长之内, 计算位置比实况偏东,

表 3 冬季地形恒定扰动位相的计算值和 1 月平均图上的位相(实际值)

波 数		1	2	3	4	5
实 际 值	700 毫巴	7°	49°	69°	67°	35°
	300 毫巴	333°	21°	78°	83°	37°
	100 毫巴	285°	34°	96°	59°	30°
	25 毫巴	212°	16°	116°	68°	28°
计 算 值		282°	92°	114°	45°	27°

因此加入摩擦后与实际情况可更相近。

#### 四、結 論

对四层模式,水平方向一度的常定扰动的简单分析表明,冬季  $k = 1-2$  的地形影响可以一直到平流层,而夏季这种影响很小。地面摩擦不能使常定扰动的槽脊随高度倾斜,而仅使扰动减弱及相对地形产生一个位相差,这两个效应可以达到平流层。

致谢: 朱抱真,杨大升先生阅读了原稿,提出宝贵意见,谨致以谢意。

#### 参 考 文 献

- [1] Jacobs, I., *Meteorologische Abhandlungen*, **IV** (1958), Heft 1, 2.
- [2] Warnecke, G., *Meteorologische Abhandlungen*, **XXVIII** (1962), Heft 2.
- [3] Charney, J. G., Eliassen, A., *Tellus*, **1** (1949), 38—54.
- [4] Smagorinsky, J., *Q. J. R. M. S.*, **79** (1953), 342—366.
- [5] 朱抱真, *气象学报*, **28**(1957), 198—224.
- [6] Murakami, T., *Met. and Geophys.*, **7** (1956), 69—89.
- [7] Мусаелян, Ш. А., *Док. АН СССР*, **103** (1955), 3.
- [8] 巢纪平, *气象学报*, **28**(1957), 303—313.
- [9] Murray, F. W., *Jour. of Geophys. Res.*, **65** (1960), 3273—3306.

## A FOUR-LEVEL BAROCLINIC MODEL FOR THE STEADY PERTURBATIONS IN THE WESTERIES

CHEN SHOU-JUN  
(Peking University)

#### ABSTRACT

The steady perturbations in the westerlies are analysed by means of a four-levels baroclinic model. It is shown that the intensity of the steady perturbations with wave number 1—2 caused by topography increases upward in the stratosphere during winter, and decreases upward in summer.