

# 热带平流层低层的对称运动和反对称运动——资料分析

杨 云 峰

(北京气象中心)

## 提 要

文章采用FGGE III b资料,分析了热带平流层低层的对称运动和反对称运动。分析表明,该区域纬向平均的对称运动和反对称运动具有明显的季节变化,利用这些变化可很直观地揭示季节转换时经圈环流的变化。分析还表明,扰动的对称运动和反对称运动具有明显的波动特征。

## 一、引 言

利用对称和反对称特性,对个别资料进行分析,以揭示某种特殊运动的特性,这一方法早已被气象工作者所采用。Wallace (1973年)利用纬向平均风的对称分量分析了准两年周期振荡<sup>(1)</sup>,结果表明此方法能更好的显示出准两年周期振荡的主要特性;Yanai和Murakami (1970年)对对称的纬向风和反对称的经向风进行谐波分析<sup>(2)</sup>,更好地揭示了Kelvin波和混合罗斯贝重力波的特性。然而他们只是把对称性和反对称性作为一种分析手段,并没有对对称运动或反对称运动本身进行研究。

理论分析表明<sup>(3)</sup>,在大气中存在两种特殊形式的运动,即对称运动和反对称运动,但它们在大气中的主要特征还需从实际资料分析中得出。我们采用FGGE III b资料,对热带平流层低层的对称运动和反对称运动进行分析,揭示它们在实际大气中的主要特征及其季节变化。

## 二、资料分析方法

为有利于揭示对称运动和反对称运动的季节变化,我们采用FGGE III b资料中四个特殊时期——冬至、春分、夏至、秋分的资

料,其相应的时间分别为1978年12月21—24日,1979年3月21—24日,6月21—24日,9月21—24日;资料范围,在垂直方向用了7个层次,分别为150,100,70,50,30,20,10hPa,水平范围为43.12°N—43.12°S的整个纬度带;考虑三个要素场:纬向风速,经向风速和位势高度场。

按文献<sup>(4)</sup>,任何一个气象要素场B可分为两部分,即

$$B(\lambda, \theta, Z, t) = B_s(\lambda, \theta, Z, t) + B_A(\lambda, \theta, Z, t) \quad (1)$$

这里

$$B_s(\lambda, \theta, Z, t) = \frac{1}{2} [B(\lambda, \theta, Z, t) + B(\lambda, -\theta, Z, t)] \quad (2)$$

$$B_A(\lambda, \theta, Z, t) = \frac{1}{2} [B(\lambda, \theta, Z, t) - B(\lambda, -\theta, Z, t)] \quad (3)$$

明显有

$$B_s(\lambda, \theta, Z, t) = B_s(\lambda, -\theta, Z, t) \quad (4)$$

$$B_A(\lambda, \theta, Z, t) = -B_A(\lambda, -\theta, Z, t) \quad (5)$$

将我们所要分析的三个要素场利用公式

(2), (3) 进行对称和反对称分解, 再利用对称分量和反对称分量分别进行如下运算。

1. 求纬向平均

设  $A$  代表任意对称或反对称分量, 其纬向平均定义为

$$\bar{A}(j) = \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} A(i, j) \quad (j=1, 2, \dots, 24) \quad (6)$$

这里  $i, j$  为网格上纬向和经向的格点数, 水平网格为  $(12 \times 30^\circ, 24 \times 1.875^\circ)$ 。

2. 求纬向偏差

$$A'(i, j) = A(i, j) - \bar{A}(j) \quad i=1, 2, \dots, 12, j=1, 2, \dots, 24$$

为了对对称运动和反对称运动在四个时期相对强弱进行有效度量, 我们还分别计算了

$$K_s(i, j) = u_s'^2(i, j) + v_A'^2(i, j)$$

$$\bar{K}_s(j) = \bar{u}_s'^2(j) + \bar{v}_A'^2(j)$$

$$K'_s(i, j) = u_s'^2(i, j) + v_A'^2(i, j)$$

$$K_A(i, j) = v_s'^2(i, j) + u_A'^2(i, j)$$

$$\bar{K}_A(j) = \bar{v}_s'^2(j) + \bar{u}_A'^2(j)$$

$$K'_A(i, j) = v_s'^2(i, j) + u_A'^2(i, j) \quad (i=1, 2, \dots, 12, j=1, 2, \dots, 24)$$

即相应状态下, 对称运动和反对称运动的动能, 是表征对称运动和反对称运动强度的有效度量。

三、纬向平均状况

图1、图2分别是对称运动两个分量  $u_s$  和  $v_A$  的纬向平均垂直剖面图。从图1看出二至点和二分点的  $\bar{u}_s$  分布整体形式相似, 热带平流层低层为东风控制, 而中纬度平流层低层为西风。进一步比较可发现, 东风控制范围, 从冬至到秋分, 不断向平流层低层和高纬扩展, 其东风极值中心也逐渐向下移动, 东风最大值为  $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 出现在夏至, 而最小值为  $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , 出现在冬至。春分和秋分的东风值介于二者之间。将  $\bar{u}_s$  的上述特征和  $\bar{u}$  的分布作比较, 可发现  $\bar{u}_s$  基本上表征了  $\bar{u}$  的特征, Lindzen 1974 年计算了至点和分点上  $\bar{u}$  和  $\bar{T}$  的经向垂直分布 [5], 东风最大值位于夏半球, 西风最大值位于冬半球。夏半球的东风在热带平流层明显侵入冬半球, 在分点的东风、西风都较弱,  $\bar{u}$  处于冬、夏半球转换期, 介于二者之间。  $\bar{u}$  和  $\bar{T}$  之间近似满足热成风平衡关系, 在夏至点, 夏半球极

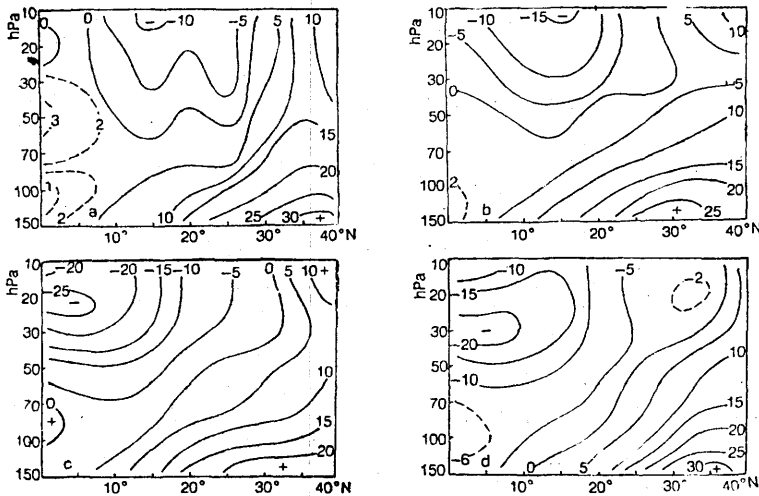


图 1  $\bar{u}_s$  在冬至 (a)、春分 (b)、秋分 (c)、夏至 (d) 的分布

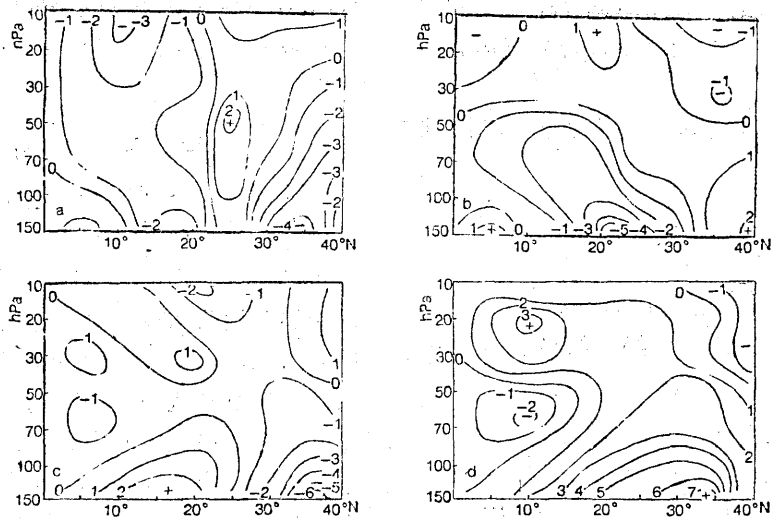


图 2  $\bar{v}_A$  在冬至 (a)、春分 (b)、夏至 (c)、秋分 (d) 的经向剖面

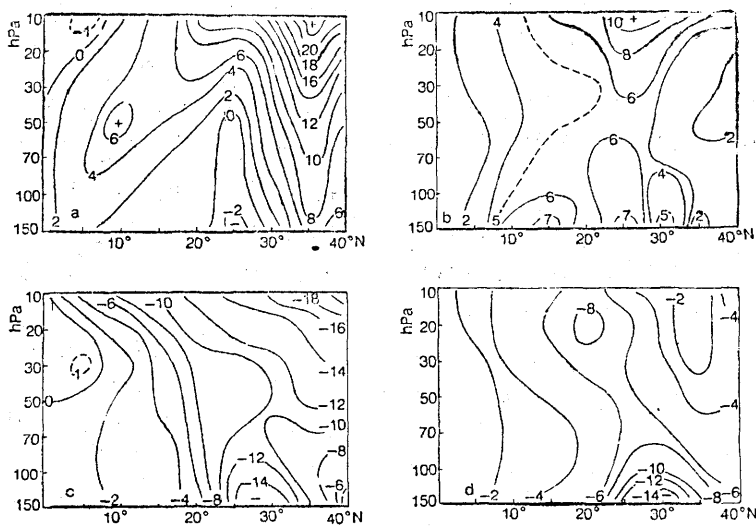


图 3  $\bar{u}_A$  在冬至 (a)、春分 (b)、夏至 (c)、秋分 (d) 的分布

区平流层顶有最大净辐射加热，相应的冬半球极区平流层顶有最大净辐射冷却。两极区不同的辐射加热，导致一个平均经圈环流，其上升支位于夏半球极区，而下沉区则位于冬半球极区。高层有从夏半球指向冬半球的经向运动，这种经向运动在科氏力作用下将使夏半球出现东风，冬半球出现西风，其强度取决于经向运动的强度。后者又将取决于

两极区之间的加热之差，因为这种差别在二至点达到最大，二分点时最小，利用这一关系，不难说明  $\bar{u}_s$  为何在分点时较弱，而在至点时较强，同时也不难解释  $\bar{u}_s$  为何在冬至出现负值较小（西风为正），而夏至时出现负值最大。从图2可看出： $\bar{v}_A$  在冬至为负值，而夏至为正值，春分为负值，秋分为正值。 $\bar{v}_A$  的这种正负交替反映了经向运动的

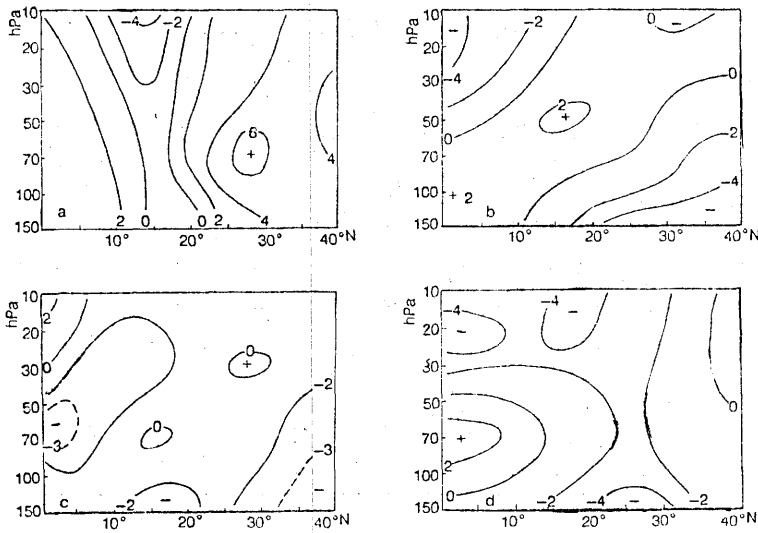


图4  $\bar{v}_s$ 在冬至(a)、春分(b)、夏至(c)、秋分(d)的分布

季节转换,同时中高纬和低纬有明显的反位相,这说明经圈环流确实存在,但不是单个,而是多个经圈环流,每个经圈环流的范围随季节变化而变化。

图3、图4是反对称运动中的两个分量  $\bar{u}_A$  和  $\bar{v}_s$  的纬向平均经圈垂直剖面图。从图3可以看出,除25°N冬至时  $\bar{u}_A$  有一小块负值外,  $\bar{u}_A$  在冬至和春分时热带平流层低层其他区域均为正值,正值中心位于10hPa以上;夏至和秋分时整个热带平流层低层  $\bar{u}_A$  为负值。并有二个负值中心。分别在10、150hPa。  $\bar{u}_A$  的这种正负交替反映了纬向环流的转换发生在分点附近。从图中还可看出,  $|\bar{u}_A|$  的极大值分别出现在冬至和夏至,这说明反对称运动在冬至和夏至时较春分和秋分时强。为了更有效地说明这种强弱变化,我们将赤道上70、50、30hPa三个层次的  $\bar{K}_A$  列于表1。从表中  $\bar{K}_A$  的大小可以清楚地看出,反对称运动在春分和秋分时很弱,而冬至和夏至时较强,从理论上讲,这是由于加热场在冬至和夏至较春分和秋分要强的缘故。从表2中可看出,净的太阳入射辐射反对称加热在冬至、夏至月份达到极值,而

表1  $\bar{K}_A = (\bar{v}_s^2 + \bar{u}_A^2)$  在赤道上的分布 ( $m^2 \cdot s^{-2}$ )

$\bar{K}_A$ hPa	时间	1978年	1979年	1979年	1979年
		12月22日	3月22日	6月22日	9月22日
30		0.9	0.1	1.4	0.4
50		1.2	0.1	2.5	0.0
70		0.6	0.0	2.3	0.0
总和		2.7	0.2	6.2	0.4

春分、秋分所在的月份为零,这就不难说明在资料分析中为什么会出现冬至、夏至反对称平均运动明显强于春分和秋分的事实。

#### 四、扰动情形

图5—8是50hPa赤道上的  $K'_s$  和  $K'_A$  各自在冬至、春分、夏至、秋分时沿纬圈分布情况。从图中可看到,扰动在纬向的变化很大,明显具有波动特性。  $K'_s$  在四个时期都明显大于  $K'_A$ 。这说明在热带平流层低层主要以对称运动扰动为主。资料分析还表明,二分点时  $\bar{K}'_s$  随纬度增加而衰减,而  $\bar{K}'_A$  几乎所有时段都随纬度增加而增加,而二至点上的反对称运动扰动  $K'_A$  比二分点上的  $\bar{K}'_A$

表 2 净太阳入射辐射反对称部分(单位:  $J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )

月 纬度 (°N)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
80—90	-235	-135.5	0.0	135.5	235	271.5	235	135.5	0.0	-135.5	-235	-271.5	0.0
70—80	-220	-132	0.0	132	220	263	220	132	0.0	-132	-220	-263	0.0
60—70	-214	-123.5	0.0	123.5	214	247	214	123.5	0.0	-123.5	-214	-247	0.0
50—60	-193.5	-111.5	0.0	111.5	193.5	223.5	193.5	111.5	0.0	-111.5	-193.5	-223.5	0.0
40—50	-166.5	-96.5	0.0	96.5	166.5	192.5	166.5	96.5	0.0	-96.5	-166.5	-192.5	0.0
30—40	-135.5	-78	0.0	78	135.5	156	135.5	78	0.0	-78	-135.5	-156	0.0
20—30	-99.5	-58	0.0	58	99.5	115	99.5	58	0.0	-58	-99.5	-115	0.0
10—20	-61	-35.5	0.0	35.5	61	70.5	61	35.5	0.0	-35.5	-61	-70.5	0.0
0—10	-20.5	-12.0	0.0	12	20.5	23.5	20.5	12	0.0	-12	-20.5	-23.5	0.0

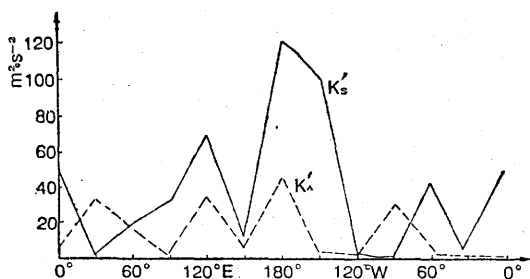


图 5 1978年12月22日赤道50hPa  $K'_s$ 和 $K'_A$ 分布

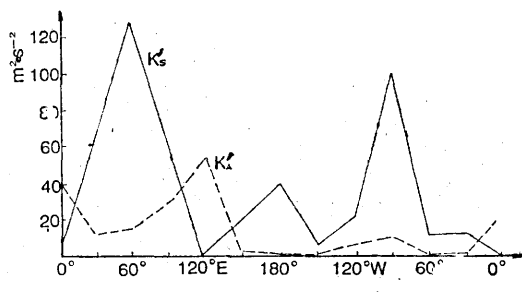


图 7 1979年6月22日赤道50hPa  $K'_s$ 和 $K'_A$ 分布

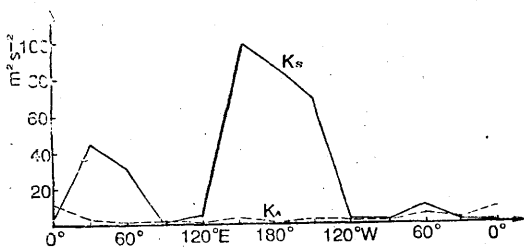


图 6 1997年3月22日赤道50hPa  $K'_s$ 和 $K'_A$ 分布

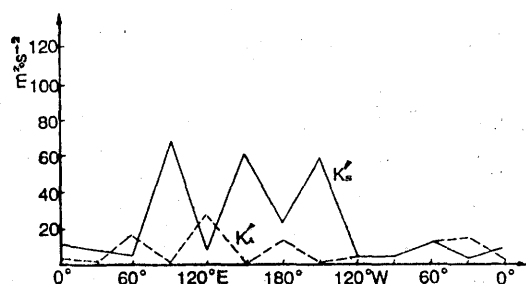


图 8 1979年9月22日赤道50hPa  $K'_s$ 和 $K'_A$ 分布

要大(图略)。从图9、10可以看出,对称运动扰动 $K'_s$ 几乎都随高度增加而增加,而反对称运动的 $K'_A$ 则没有这种趋势。

### 五、结论

综合上面的实际资料分析,我们可以对

热带平流层低层的对称运动和反对称运动的特点归结如下:

1. 纬向平均状况下,对称运动和反对称运动有明显的季节变化。对称运动的季节

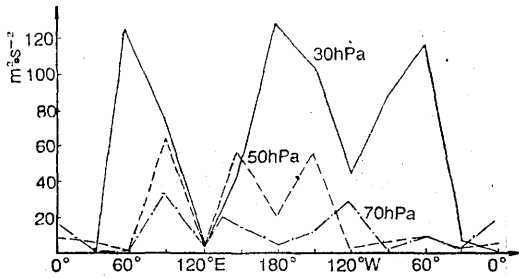


图 9 1979年9月22日赤道 $K'_s$ 分布

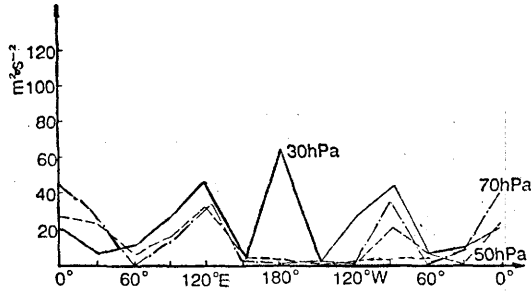


图 10 1979年6月22日赤道 $K'_A$ 分布

变化主要反映在 $\overline{u_s}$ 的强度变化和 $\overline{v_A}$ 的正负交替;反对称运动季节变化反映在 $K'_A$ 的大小变化和 $\overline{u_A}$ ,  $\overline{v_s}$ 的正负交替上。分析表明,冬至、夏至时纬向平均反对称运动比春分和秋分时要强。

2. 扰动情况下,对称运动各个季节都强于反对称运动。对称运动在热带平流层低层随高度增加而增加。并随纬度增加而衰减,

在赤道地区反对称运动的强度随纬度增加而增加,反对称运动中二个分量 $u_A$ ,  $v_s$ 随纬度增加有相反的变化趋势, $u_A$ 随纬度增加而增加, $v_s$ 则随纬度增加而减小。

由于分析中所用资料只限于一年,因而实际大气中热带平流层的对称运动和反对称运动的年际间的变化(如准两年周期振荡)还需利用更为丰富的资料来揭示。

### 致 谢

本文是在廖洞贤导师精心指导下完成的硕士学位论文第二部分。作者在此表示衷心的感谢!

### 参考文献

- [1]. Wallace, J. M., General circulation of the tropical low stratosphere. *Reviews of Geophysics and Spacephysics*, Vol. 11 pp191-222, 1973.
- [2]. Yanai, M. and Murakami, M., Spectrum analysis of symmetric and antisymmetric equatorial wave, *J. Meteor. Soc. Japan*, Vol. 48, pp331, 1970.
- [3]. 杨云峰, 热带平流层低层的对称运动和反对称运动, 气象研究院硕士论文集, 1986.
- [4]. 廖洞贤, 邹晓蕾, 正压过滤模式大气中的对称运动和反对称运动, *气象学报*, Vol. 44, pp75, 1986.
- [5]. Linde, R. S., and S. Hong, Effects of mean winds and horizontal temperature gradients on solar and lunar semidiurnal tides in atmosphere, *J. Atmos. Sci.* Vol. 31, 1421-1446, 1974.

## The symmetric motion and antisymmetric motion of stratospheric lower level in the equatorial area — data analysis

Yang Yunfeng

(Beijing Meteorological Center)

### Abstract

Based on analysis of FGGE IIIb Data, the symmetric motion and antisymmetric motion have been discussed. It is found that the two types of the motion have their significant season variance. From the variance, we can conveniently reveal the variation of the meridional cell. Meanwhile, both the symmetric motion and antisymmetric motion possess wave characteristic.