

1979年夏季风爆发前后中国东部和日本上空动能的大尺度收支

丁一汇

(中国科学院大气物理研究所)

提 要

本文计算了1979年夏季风爆发前后中国东部和日本上空天气尺度扰动和总的气流中动能的收支。发现最大涡旋动能制造时期分别对应三个研究区(华南, 华中和日本)的雨季。涡旋动能主要在高层(300—100 mb)和部分在低层制造, 其中很大一部分被摩擦作用消耗, 但同时也有相当一部分由三个研究区输送到周围环境。因而这些地区在涡旋动能制造时期可以被看成是重要的涡旋动能源。

总气流中的动能收支密切地与高、低空急流活动有关。总之, 根据能量分析得到的结果表明, 夏季风的爆发和推进对东亚大气环流和扰动有非常重要的影响。

一、引 言

中纬度和热带地区的能量分析是大气环流诊断分析的一个重要方面。近年来, 为了了解大尺度环流和扰动的维持和发展, 对他们的能量过程作了许多研究。在东亚和邻近海区不少人也研究了动能收支与冬季季风扰动的关系^[1,2]。但是对东亚夏季风的能量学至今还研究得不多。Murakami 和丁一汇^[3]指出, 在1979年初夏, 当印度夏季风爆发和向北推进时, 15°N以北欧亚大陆的风场和温度场以及非绝热加热场发生了显著变化。其中中国和日本地区也是经历这种巨大变化的地区之一。因而应该预期这些地区的能量过程也有类似的变化。本文利用FGGE年改进的观测网, 研究了1979年季风爆发前后中国和日本上空大尺度动能收支, 以此进一步了解夏季风爆发对东亚大气环流的大尺度影响。

二、计算方法

1. 动能方程

本文所用的动能方程与文[2]中相似。区域平均的总气流动能方程和涡旋动能方程分别为:

$$\left[\frac{\partial K}{\partial t} \right] = -[\nabla \cdot \mathbf{V}K] - \left[\frac{\partial \omega K}{\partial p} \right] - [\mathbf{V} \cdot \nabla \phi] - [E] \quad (1)$$

1982年6月5日收到, 12月30日收到修改稿。

$$\left[\frac{\partial K_c}{\partial t} \right] = -[\nabla \cdot \mathbf{V} K_c] - \left[\frac{\partial \omega K_c}{\partial p} \right] - \left\{ [u^* \omega^*] \frac{\partial [u]}{\partial p} + [v^* \omega^*] \frac{\partial [v]}{\partial p} \right\} - [\mathbf{V}^* \cdot \nabla \phi^*] - [E^*] \quad (2)$$

式中 $[\]$ 代表区域平均, “*” 代表对区域平均值的偏差。

$$K = \frac{1}{2} (u^2 + v^2), \quad K_c = \frac{1}{2} (u^{*2} + v^{*2}).$$

$\left[\frac{\partial K}{\partial t} \right]$ 和 $\left[\frac{\partial K_c}{\partial t} \right]$ 是总气流和扰动中动能的局地变化。 $-[\mathbf{V} \cdot \nabla \phi]$ 和 $-[\mathbf{V}^* \cdot \nabla \phi^*]$ 是动能制造项。 $-[\nabla \cdot \mathbf{V} K]$ 和 $-[\nabla \cdot \mathbf{V} K_c]$, $-\left[\frac{\partial \omega K}{\partial p} \right]$ 和 $-\left[\frac{\partial \omega K_c}{\partial p} \right]$ 分别是动能的水平垂直通量辐合项。 $[E]$ 和 $[E^*]$ 是消耗项, 代表摩擦作用和网格与次网格尺度运动之间的能量转换。 $C = -\left[(u^* \omega^*) \frac{\partial [u]}{\partial p} + (v^* \omega^*) \frac{\partial [v]}{\partial p} \right]$ 代表区域平均动能与涡旋动能之间的能量转换。

2. 资料和计算方法

本文利用 1979 年初夏 (5 月 1 日—6 月 30 日) 8 层 (100, 200, 300, 400, 500, 700, 850 和 1000mb) 一天两次的 u, v, T 和 ϕ 资料。这些资料取自美国气象中心 (NMC) 的业务客观分析。格距是 2.5° 经纬度。

动能方程中的各项在三个区域中计算 (图 1)。在第一个地区 (华南) 5 月和 6 月最主要的天气过程是前汛期暴雨, 它通常出现在春末夏初 (从 5 月中到 6 月初), 这时印度季风开始在印度东北、缅甸和我国西南地区活动。在第二个地区 (华中, 包括整个江淮中下游地区), 这时期最主要的天气过程是梅雨, 它一般发生在印度夏季风爆发后不久。第三个地区初夏的气候特征十分类似于第二区域的情况。通过这三个地区动能收支的研究可以了解华南前汛期降雨和梅雨对东亚地区动能收支的影响。又由于这些雨期与夏季风活动密切相关, 如 1979 年江淮地区梅雨开始于 6 月 19 日, 这与印度夏季风爆发为同一日期, 因而通过不同区域能量学的研究和比较也可以了解夏季风向北推进时对不同地区的影响。

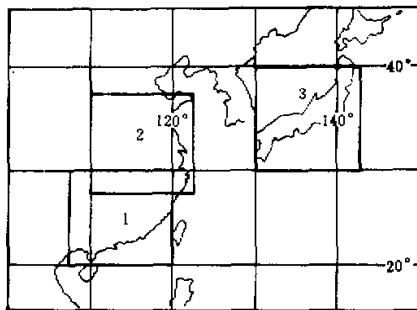


图 1 三个动能收支研究区的位置

方程(1)和(2)中除 $[E]$ 和 $[E^*]$ 外各项都是直接计算的。 $[E]$ 和 $[E^*]$ 是作为能量方程的余项计算的,因而包括所有可能的计算误差。我们分别用两种方法计算了订正的垂直速度^[3,4],并考虑了地形的影响。由这两种方法计算出的垂直速度并没有明显差别。图2是一个比较。在季风爆发前阶段,两条曲线近于一致。在爆发的后阶段由文[3]中方法得到的垂直速度值在量值上只比由文[4]方法得到的略大一些。本文将用文[4]方法得到的垂直速度去计算有关的能量变量。

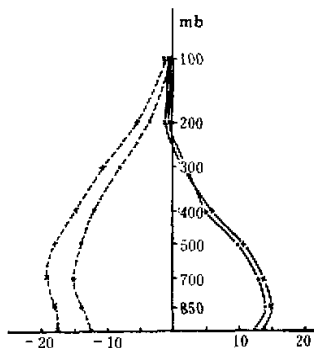


图2 区域2平均垂直速度的比较。实线为季风爆发前期(5月15日—30日)的平均垂直速度(ω)。虚线为季风爆发后期(6月20—30日)的平均垂直速度。黑点表示由文[4]中方法得到的值,叉线表示由文[3]方法得到的值。

单位: 10^{-4} 毫巴/秒。

三、季风爆发前后阶段时间平均的能量收支

在所研究的两个月中,对(2)式每一项一天计算两次。但本文只给出总气流中时间平均的动能垂直分布。整个研究时期被划分为四个阶段,其中两个阶段相应于季风爆发前阶段(5月15—30日)和季风爆发后阶段(6月20—30日)。本文主要讨论这两个时段能量变量的差别。为了进行比较,也计算了这两个时段间的过渡时期及5月上半月的动能变量。以下这四个时段按时间先后分别叫做时期1、2、3和4。

首先我们简略讨论一下三个研究区中5月和6月300 mb和700 mb区域平均动能 $[K]$ 的时间演变(图3)。注意300 mb(图3a)区域2(华中)与区域3(日本)的曲线非常相似,只是后者位相落后于前者2—3天。另一方面,区域1(华南)的变化趋势与区域2的曲线近于相同,只是后者的振幅远大于前者。这表明三地区的动能变化间存在着一定关系。在700 mb也大致可看到类似的关系(图3b)。在5月中,300和700 mb动能值都达到最大,这与这些地区有高空急流通过有关。到5月末,300 mb动能突然减小,在爆发后阶段动能达最小值。在700 mb,主要在爆发后阶段观测到高的动能值,这与西南季风开始后

雨期低空急流的加强有关。

表 1 给出区域 1 的平均动能收支。一般, 大量动能通过 $-[\mathbf{V} \cdot \nabla \phi]$ 在上层 (300—100mb) 被破坏。主要的动能制造位于中下层。在时段 3, 动能制造达最大值, 最大制造层在 400—300mb。制造的动能主要由中高层的摩擦作用消耗。在时段 2 和 4, 动能制造都是负的, 因而这个地区需要从区域以外 (时段 2) 输入动能或通过对流过程造成的次网格尺度到网格尺度的能量转换 (时段 2) 而得到动能。

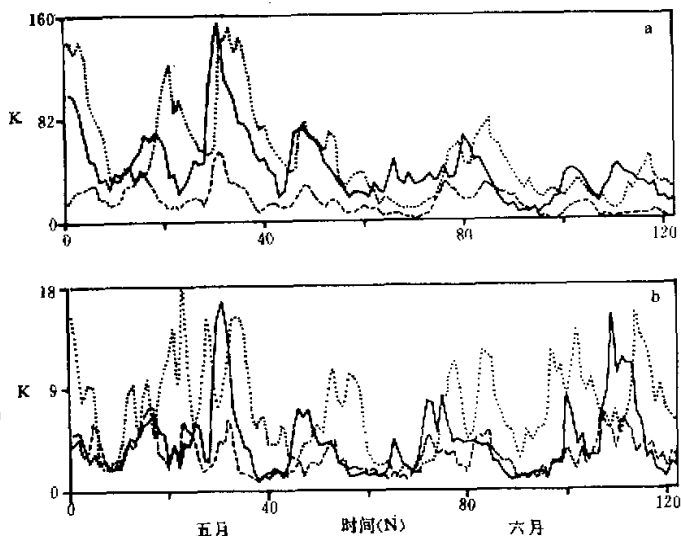


图 3 1979 年 5 月和 6 月 300mb (a) 和 700 mb (b) 区域平均动能的时间变化。华南地区由虚线表示, 华中由实线表示, 日本由点线表示。单位: 10^{-1} 米²/秒²。

区域 2 和 3 的动能收支具有基本相似的特征 (表 2 和 3)。不同于区域 1, 大部分动能在高层 400—100mb 制造。第二动能制造层在地面到 850mb 层中, 这可能与西南季风向北推进时的非地转低空急流的发展有关。最大的动能制造出现于时段 2, 这时强高空急流正通过这两个地区上空^[3]。区域 2 和 3 制造的动能量值近于相等。在过渡期 (时段 3), 动能制造明显减小, 这主要是由于高空急流突然向北移出这些地区。在区域 2 和 3 之间的动能收支也有一些差别。在区域 3 中, 大部分动能输出到环境中, 而区域 2 中, 大部分动能是就地消耗的。在所有四个时段, 这两个地区作为动能源向周围输送动能。因而区域 2 和 3 的动能收支主要特征是: 动能制造的一部分由该区输出, 另一部分由摩擦消耗。这种能量过程主要发生在对流层上部。其能量收支的特征似不同于区域 1 的情况。此外, 由表可见在时段 2 摩擦消耗量很大, 之后迅速变小。在时段 4, 主要在中层, 可观测到负的 $[E]$, 这表明在后期次网格尺度转换变得更重要, 这与对流活动的增加可能有关。在三个区域四个时段内动能的垂直输送项都很小。

表1 1979年5月和6月四个时段华南地区的平均动能收支 单位: 瓦/平方米

层 次 (mb)	- $[V \cdot \nabla \phi]$				- $[\nabla \cdot VK]$				- $[\delta \omega K / \delta p]$				$[\partial K / \partial t]$				[E]			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
100—200	-0.5	-2.2	-0.1	-3.4	-0.4	1.7	0.5	0.1	0.4	0.2	0.4	0.3	0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.6	-0.2	0.8	-3.0
200—300	-0.9	-2.4	1.6	-2.3	-0.5	1.5	-0.0	0.3	-0.2	-0.3	-0.3	-0.0	0.1	-0.0	-0.0	-0.1	-1.6	-1.0	1.3	-1.9
300—400	0.3	-0.3	1.9	-0.7	-0.2	0.2	-0.6	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.2	1.2	-0.9
400—500	0.7	1.5	1.6	0.0	-0.4	-0.6	-0.5	-0.4	-0.1	-0.0	-0.1	-0.1	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.2	0.9	1.0	-0.4
500—700	0.3	1.3	1.6	0.6	-0.4	-0.6	-0.3	-0.6	-0.2	-0.0	-0.1	-0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.3	0.7	1.2	-0.1
700—850	0.7	0.5	0.7	0.8	-0.1	0.0	-0.0	-0.2	-0.1	-0.0	-0.1	-0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	0.6	0.6	0.6	0.6
850—地面	0.1	0.3	0.2	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.2	-0.3
地面—100	0.7	-1.3	7.5	-5.2	-2.0	2.2	-0.9	-0.9	-0.4	-0.2	-0.4	-0.1	0.2	-0.3	-0.0	-0.2	-1.7	2.0	6.3	-6.0

表2 1979年5月和6月四个时段华中地区的平均动能收支 单位: 瓦/平方米

层 次 (mb)	- $[V \cdot \nabla \phi]$				- $[\nabla \cdot VK]$				- $[\delta \omega K / \delta p]$				$[\partial K / \partial t]$				[E]			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
100—200	5.2	12.3	3.1	2.3	-2.1	1.9	0.4	-0.0	0.1	-1.0	0.2	0.5	0.0	-0.4	-0.2	-0.0	3.1	13.6	4.0	2.8
200—300	5.8	11.3	2.7	0.5	-4.3	1.4	0.1	-0.3	-0.6	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	-0.5	-0.3	-0.1	1.0	12.5	2.6	-0.1
300—400	3.4	6.0	1.4	0.7	-2.9	-1.4	-0.8	-1.0	-0.2	0.3	-0.3	-0.3	-0.1	-0.4	-0.2	-0.2	0.5	5.3	0.5	-0.4

表 3 1979 年 5 月和 6 月四个时段日本地区的平均动能收支 单位: 瓦/平方米

层 次 (mb)	- $[V \cdot \nabla \phi]$				- $[\nabla \cdot VK]$				- $[\delta \omega K / \delta p]$				$[\partial K / \partial t]$				$[E]$			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
400—500	0.5	2.7	0.5	0.9	-1.1	-1.8	-0.8	-1.4	0.1	0.5	-0.1	-0.1	-0.1	-0.0	-0.2	-0.1	-0.5	1.6	-0.2	-0.5
500—700	-1.3	0.9	-0.1	1.6	-0.7	-1.3	-0.4	-1.6	0.1	0.7	0.1	-0.3	-0.1	0.0	-0.2	-0.1	-2.0	0.6	-0.4	-0.1
700—850	-0.1	0.4	0.5	1.4	-0.1	-0.1	-0.0	-0.4	0.0	0.3	-0.0	-0.2	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.2	0.7	0.5	0.9
850—地面	0.3	0.8	1.0	3.3	-0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.1	-0.0	-0.2	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.3	0.9	1.0	3.2
地面—100	13.8	34.4	9.1	10.7	-11.2	-1.3	-1.5	-4.7	-0.5	0.2	-0.7	-1.0	-0.2	-0.2	-1.7	-0.9	2.2	35.2	8.0	5.8

层 次 (mb)	- $[V \cdot \nabla \phi]$				- $[\nabla \cdot VK]$				- $[\delta \omega K / \delta p]$				$[\partial K / \partial t]$				$[E]$			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
100—200	1.7	11.1	2.2	4.5	-2.2	-6.3	-1.6	-2.2	0.5	2.0	0.5	0.7	-0.4	-0.4	-0.1	-0.0	0.3	6.9	1.1	2.8
200—300	7.9	17.2	4.5	4.2	-6.6	-8.0	-3.0	-3.5	0.1	-0.4	0.2	0.2	-0.7	-0.2	0.0	0.1	2.0	9.0	1.6	0.9
300—400	1.6	9.7	3.9	3.0	-5.9	-1.8	-1.8	-1.8	-0.4	-1.6	-0.3	-0.3	-0.6	-0.1	0.1	-0.0	2.1	6.5	1.7	0.9
400—500	2.7	0.7	1.2	0.7	-3.0	0.1	-0.8	-1.0	-0.2	-0.8	-0.2	-0.2	-0.5	-0.1	0.1	-0.1	-0.0	0.1	0.1	-0.5
500—700	-0.9	-2.1	-0.4	-1.3	-2.0	0.3	-0.6	-0.8	-0.1	-0.4	-0.2	-0.4	-0.5	-0.1	0.2	-0.1	-2.5	-2.0	-1.4	-2.4
700—850	0.1	-0.6	0.1	0.1	-0.1	-0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.0	-0.1	0.1	-0.1	-0.0	-0.5	-0.0	0.0
850—地面	2.1	0.4	1.1	1.2	-0.0	-0.1	-0.0	0.1	-0.0	0.0	-0.0	-0.1	0.1	-0.1	0.0	-0.0	2.0	0.4	1.1	1.2
地面—100	21.2	36.4	12.6	12.4	-19.8	-15.8	-7.8	-9.2	-0.1	-1.2	-0.1	-0.3	-2.6	-0.8	0.5	-0.1	3.9	20.2	4.2	2.9

表 4 1979 年 5 月和 6 月四个时段华南地区平均涡旋动能收支 单位: 瓦/平方米

层 次 (mb)	-[V* · ∇φ*]				-[∇ · VK _z]				-[δωK _z /δp]				-[u*ω*] $\frac{\delta[u]}{\delta p}$				- [v*ω*] $\frac{\delta[v]}{\delta p}$				[R*]			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
100—200	-3.46	-0.68	1.53	-0.42	-0.23	0.11	-0.45	-0.10	0.01	0.07	0.13	0.12	-0.01	0.01	0.00	0.00	-0.00	0.01	0.00	0.02	-3.69	-0.49	1.22	-0.37
200—300	-3.22	-1.85	0.79	0.28	-0.06	0.25	-0.50	-0.30	-0.04	-0.12	-0.14	-0.06	-0.01	0.04	0.03	-0.02	-0.01	0.01	0.01	0.03	-3.34	-1.67	0.18	-0.05
300—400	-1.92	-0.90	0.04	-0.40	0.03	-0.10	-0.21	-0.15	0.00	-0.07	-0.12	-0.08	-0.01	0.05	0.04	-0.04	-0.00	0.00	0.00	0.02	-1.90	-1.02	-0.24	-0.64
400—500	-1.15	-0.06	-0.09	-0.50	-0.05	-0.19	-0.05	-0.13	0.00	0.01	-0.02	-0.03	-0.02	0.05	0.00	-0.04	0.00	0.00	-0.00	0.02	-1.21	-0.19	-0.15	-0.68
500—700	-1.34	0.37	0.06	-0.78	-0.04	-0.15	0.02	-0.11	0.01	0.03	-0.00	-0.05	0.01	0.03	-0.00	-0.05	-0.06	0.07	-0.02	-0.05	-1.42	0.31	0.06	-0.97
700—850	0.34	0.63	0.29	-0.23	0.03	0.03	0.04	0.00	0.00	-0.01	-0.04	-0.02	-0.03	0.02	-0.00	-0.01	-0.00	0.00	-0.00	0.00	0.34	0.66	0.29	-0.27
850—地面	0.72	0.42	0.36	0.03	0.05	0.03	0.03	0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.01	-0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.00	0.75	0.43	0.36	0.03
地面—100	-10.03	-2.07	2.98	-2.02	-0.27	-0.02	-1.12	-0.78	-0.03	-0.11	-0.21	-0.10	-0.03	-0.11	-0.21	-0.01	-0.14	0.24	0.05	-0.16	-10.46	-1.97	1.72	-2.97

表 5 1979 年 5 月和 6 月四个时段华中地区的平均涡旋动能收支 单位: 瓦/平方米

层 次 (mb)	$-[V^* \cdot \nabla \phi^*]$				$-[\nabla \cdot VK_z]$				$-\left[\frac{\partial \omega K_z}{\partial p}\right]$				$-\left[\frac{\delta[u^*]}{\delta p}\right]$				$-\left[\nu^* \omega^* \right] \frac{\delta[\nu]}{\delta p}$				$[R^*]$				
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	
100--200	1.76	1.97	0.75	3.65	-0.06	-0.16	-0.06	-0.79	0.03	-0.14	-0.03	0.13	0.04	0.03	-0.02	0.02	0.02	0.03	-0.01	0.02	-0.01	1.79	1.72	0.63	3.03
200--300	1.94	1.01	1.23	3.24	-0.12	-0.16	0.04	-0.67	-0.08	-0.18	-0.13	-0.11	0.14	0.02	-0.05	0.05	0.02	0.08	-0.01	0.04	-0.01	1.90	0.78	1.08	2.56
300--400	0.68	-0.92	0.01	1.25	-0.09	-0.16	0.05	-0.15	-0.05	0.02	0.00	-0.10	0.17	-0.03	-0.07	0.04	0.00	0.08	-0.02	0.03	-0.02	0.72	-1.01	-0.02	1.07

层 次 (mb)	- $[V^*, \nabla \phi^*]$				- $[\nabla \cdot VK_z]$				- $[\delta \omega K_s / \delta p]$				- $[u^* \omega^*] \frac{\delta [u]}{\delta p}$				- $[v^* \omega^*] \frac{\delta [v]}{\delta p}$				[P*]			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
100-200	1.66	-0.08	2.28	5.45	-0.59	-0.50	-0.77	-0.97	-0.08	0.04	0.01	0.12	-0.01	-0.12	-0.02	-0.01	0.03	-0.02	0.02	0.02	1.00	-0.68	1.52	4.62
200-300	1.77	1.10	1.78	3.80	-1.03	-0.53	-0.98	-1.24	-0.15	-0.05	0.02	0.03	-0.02	-0.27	-0.04	-0.02	0.04	-0.11	0.02	0.03	0.61	0.14	0.79	2.60
300-400	0.29	1.38	0.10	0.56	-0.58	0.00	-0.25	-0.41	0.01	-0.05	-0.00	-0.07	-0.06	-0.26	-0.04	-0.02	0.01	-0.19	-0.01	0.01	-0.32	0.89	-0.21	0.08
400-500	-0.60	0.26	-0.44	-0.60	-0.24	0.04	-0.01	-0.13	0.12	-0.01	-0.01	-0.06	-0.08	-0.10	-0.03	-0.01	0.00	-0.13	-0.02	0.00	-0.80	0.06	-0.51	-0.79
500-700	-1.37	-0.45	-0.82	-1.40	-0.19	0.03	0.02	-0.07	0.10	0.01	-0.01	-0.06	-0.10	-0.11	-0.03	-0.02	0.01	-0.08	-0.03	-0.00	-1.56	-0.60	-0.87	-1.55
700-850	-0.36	-0.03	-0.14	0.41	-0.03	-0.07	0.00	0.02	-0.03	0.01	-0.00	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.00	-0.44	-0.10	-0.16	-0.42
850-地面	0.56	0.31	0.28	0.04	-0.03	-0.05	-0.02	0.02	-0.05	-0.01	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.01	0.01	-0.00	-0.00	-0.00	0.47	0.25	0.26	0.04
地面-100	1.95	2.49	3.04	7.44	-2.69	-1.03	-2.01	-2.78	-0.08	-0.06	0.01	-0.05	-0.29	-0.93	-0.17	-0.11	0.07	-0.54	-0.03	0.06	-1.04	-0.04	0.82	4.58

四、天气尺度扰动中时间平均的动能收支

图 4a 给出三个地区 300mb 区域平均涡旋动能 [K_e] 的时间变化。一般,高值的 K_e 密切与天气尺度扰动的发展和通过有关。对区域 3, 最大涡旋动能像总动能一样也出现在五月下半月。在六月初,高值 K_e 明显下降,以后在过渡期只维持一较低的 K_e 值。在爆发后时段, K_e 略增加,因而日本地区 K_e 的演变很类似于总动能 K , 这与高空急流区中的扰动活动有关。对区域 1 和 2, 明显的 K_e 峰值出现在 5 月中和 6 月中。同样在时段 4 区域 2 的 K_e 值也略有增加,在 700 mb (图 4b), 区域 3 的 K_e 演变基本上与 300 mb 一致。但对区域 2, 最大扰动动能发生在季风爆发后时段, 这是由梅雨季较活跃的低层扰动所造成。此外,也可看到另外三个 K_e 峰值。对于区域 1, K_e 高值时期主要在时段 3 和 4, 尤其是时段 3。如果我们考虑到华南的雨季比华中和日本开始得更早,就不难了解这一点。表 4—6

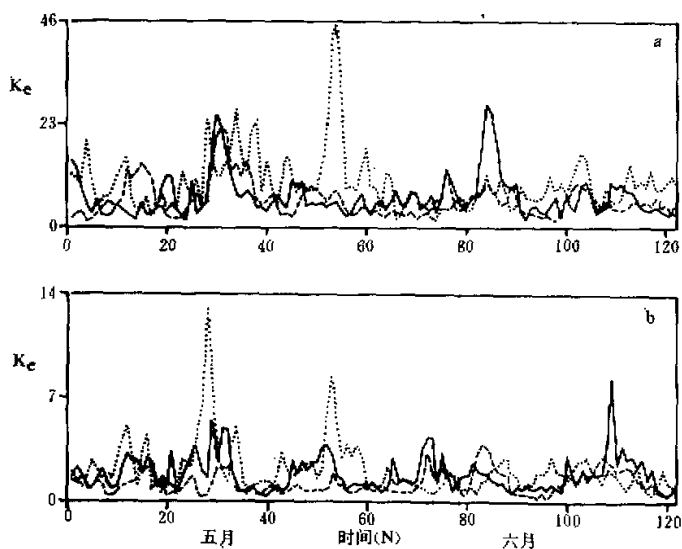


图 4 1979 年 5 月和 6 月区域平均涡旋动能的时间变化

图例同图 3. a: 300mb, b: 700mb.

给出三个地区四个时段时间平均的 K_e 收支。由表 4 (对区域 1) 可见, K_e 的制造主要发生在对流层上部 (300—100 mb) 和对流层下部 (地面—700 mb), 中层制造很小或为破坏。尤其在上层制造了大部分 K_e 。这表明在高层气流存在着强的非地转扰动加速度, 这可能由雨季的对流加热引起。在时段 1, K_e 破坏很大, 主要在中上层, 这由槽线在 130°E 的高空槽后的超地转风或逆高度梯度气流造成。在时段 3 和 4, 高空槽后退到 110°E 位置^[3], 因而对 K_e 的负制造影响变小。在这个时期, 负制造的最大值实际上位于中层而不是像以前那样位于高层。这个最大值可能与副热带高压影响下扰动活动的抑制有关。

涡旋动能的水平输送项 $-\nabla \cdot \mathbf{V} K_e$ 在四个时段都是负的, 最大值在时段 3。 K_e 一

般在中上层输出,而在低层为弱的输入,与其它项相比,由于边界的限制,在整个气柱中的垂直输送值是很小的,区域平均动能和涡旋动能间的能量转换也是很小的。只有在时段 2,在中上层通过 $-[u^* \omega^*] - \frac{\partial [u]}{\partial p}$ 项平均动能转换成一定数量的 K_e 。 $[E^*]$ 项是作为余项得到。在行星边界层以上的自由大气中, $[E^*]$ 主要看作是动能被次网格尺度运动所消耗。例如在时段 3,相当大一部份所制造的 K_e 在高层和低层被消耗。另一重要事实是在时段 1 $[E^*]$ 有很大的负值,这表示这个地区通过网格和次网格尺度扰动的相互作用而得到动能。对区域 2 和 3 (参看表 5 和 6),最显著的特征是在时段 4 有大量 K_e 制造,这个时段正相应于两地区的雨季。同样 K_e 最大制造层也在上层,第二最大制造层也在下层。但是对区域 3,它只限于边界层中,而对区域 2 可到 700 mb。尽管两者在垂直范围上有这种差别,但低层最大制造层的存在都表明了边界层天气过程对 K_e 制造的重要性。在中层,动能制造很小或为负值。对区域 2 和 3 在所有四个时段 $-\nabla \cdot \mathbf{V} K_e$ 项为负,这表明这两个地区是把 K_e 输向周围的大气。最大输出一般是在时段 4 并位于高层,即当同时有最大 K_e 制造的时候和地方。这表明,雨季是形成 K_e 能源的最重要时段,主要在上层制造的大量 K_e 以后被输出给环境。在区域 3,有更多的 K_e 输出。

在各种情况下垂直输送项都是很小的。在时段 1 和 2,转换项较大,这是由于急流的存在使平均风的垂直切变有较大值。对区域 2,两个转换项一般为正值,而对区域 3 它们为负值。区域 2 和 3 的最大消耗项出现在时段 4 的高层。在区域 2 的时段 1 有第二最大消耗值。一般来说,低层的 $[E^*]$ 值是接近于 Kung^[5] 得到的值。在区域 3 的时段 1 和 2,负的 $[E^*]$ 表示该区得到 K_e ,这可以部份补偿大量的 K_e 输出。

五、结 论

本文给出了华南、华中和日本三个地区 1979 年初夏四个时段天气尺度扰动和总气流中的动能收支。概括起来可得如下一些主要结果:

(1) 对于不同地区,最明显的涡旋动能制造发生在不同时段。在华南,涡旋动能的最大制造发生在五月末到六月的时段,而在华中和日本,则最大制造是在 6 月下半月,即夏季风爆发之后。 K_e 制造最大值出现的时间差别可能是由于产生降雨的扰动频繁活动区向北移动的结果。而一般认为,雨带的向北移动与夏季风在东亚的建立和向北推进有关。这表明夏季风的爆发和向北进入中国、日本对改变这些地区的涡旋动能收支有很重要的影响。(2) 对三个研究区,由跨等高线气流制造的 K_e 出现在对流层上部 (300—100mb) 和下部 (地面—700 mb),中层为弱的破坏或很小的制造。这个结果与文[5]和其它作者^[6]的研究相似。在这些地区,华中的 K_e 制造值最大,这与梅雨季的扰动活动有关。(3) 在所有情况下三个地区都向外输出涡旋动能,且主要在中下层。其中日本有最大的 K_e 输出。因而这些地区对东亚大气环流可以看作是重要的涡旋动能源区。(4) 大多数情况下,相当数量的被制造的 K_e 主要在高层和低层由摩擦作用所消耗。但是在某些情况下,例如在华南或在日本地区的五月间,可以通过网格尺度与次网格尺度间的相互作用而得到涡旋动能。(5) 总气流中的动能收支情况十分不同。最大的动能制造发生在夏季风爆

发之前——当高空急流通过或位于研究区上空时。此外，低空急流的发展可能是造成季风爆发后阶段出现动能制造次最大的原因。

参 考 文 献

- [1] Kung, E. C., Large-scale energy transformations in the intense winter monsoon over the Kuroshio region, *J. Meteor. Soc. Japan*, 55, 498—510, 1977.
- [2] Kung, E. C. and P. H. Chan, Energetics characteristics of the Asian winter monsoon in the source region, *Mon. Wea. Rev.* 109, 854—870, 1981.
- [3] Murakami, T. and Y. H. Ding, Wind and temperature changes over Eurasia during the early summer of 1979, *J. Meteor. Soc. Japan*, 60, 183—196, 1981.
- [4] O'Brien, J. J., Alternate solution to the classical vertical velocity problem, *J. Appl. Meteor.*, 9, 197—203, 1970.
- [5] Ding, Y. H. and E. R. Reiter., A contrasting study of the budget of kinetic energy over the West-pacific during the trade wind and active monsoon wind regimes. International conference on scientific results of the monsoon experiments, October 26—30, Denpasar, Bali, Indonesia, 1981.
- [6] Kung, E. C., Balance of kinetic energy in the tropical circulation over the western Pacific, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 101, 292—312, 1975.

LARGE-SCALE BALANCE OF KINETIC ENERGY OVER EASTERN CHINA AND JAPAN DURING THE PRE- AND POST-ONSET PHASES OF SUMMER MONSOON OF 1979

Ding Yihui

(Institute of Atmospheric Physics, Academia Sinica)

Abstract

By utilizing the NMC data over the Asian region during the early summer of 1979, a balance of kinetic energy in synoptic-scale disturbances and in the general flow over China main and Japan was calculated. It is found that the time period of maximum generation of eddy kinetic energy corresponded to the respective rainy season for the three studied regions (South China, Central China and Japan). The eddy kinetic energy produced mainly at upper level (300—100 mb) and partly at lower-level was in a greater part transported out of all three studied regions to the surroundings. Therefore, they may be regarded as important source regions of eddy kinetic energy during the time period of generation.

The kinetic energy balance in general flow is closely related to the activities of upper jet stream and low-level jet over these regions. In short, the results obtained by our study from the energetics view-point show the far-reaching effects of the onset and advance of summer monsoon on the changes in the general circulation and the activities of rain-bearing disturbances in East Asia and Japan region.