

对流层及平流层低层全球 动能的季节性急变

魏 民

李晓东

仇永炎

(北京大学地球物理系, 100871) (中国气象科学研究院) (北京大学地球物理系)

提 要

利用 1980—1988 年 ECMWF 的资料, 分析对流层 500hPa、300hPa 和平流层低层 100hPa 全球范围的纬向平均动能(KZ)和涡动动能(KE)的季节过渡, 比较不同层次不同纬度带动能模态的季节性急变, 得到如下结论: (1) 北半球热带与温带各层次的 KZ 都有季节性急变, 发生在 3—4 月和 10 月附近, 而南半球仅在热带有急变。(2) 北半球热带地区 KZ 在 6 月还有一次季节性急变, 出现在 100hPa 和 500hPa。(3) 100hPa 动能的季节性急变要比 300hPa 或 500hPa 剧烈而又频繁。对各层而言 KZ 的急变比 KE 显著。

关键词: 纬向平均动能 涡动动能 季节性急变

引 言

季节变化是大气环流研究的一个经典问题。自 1958 年叶笃正^[1]提出大气环流存在“6 月突变”和“10 月突变”现象以来, 许多学者都沿着这条路线进行过大量的研究。

最近, 仇永炎等^[2,3]用 500hPa 轴对称动能模态的月平均资料, 分析了大气环流的季节性急变问题, 指出北半球大气环流的急变主要发生在 3—4 月和 9—10 月前后, 而不在 5—6 月, 而且急变现象主要表现在纬向平均动能的变化上。我们还用 500hPa 环流西风带角动量和 EP 通量两者的月平均资料进行过分析^[4], 也发现北半球西风带存在明显的 3—4 月急变, 而东风带在 5—6 月。根据这些研究, 最大差异是在冬夏之间过渡所发生的月份上。这种差异是否是因层次不同的原因所致? 为此, 本文改用平流层低层 100hPa 和对流层高层 300hPa 的资料, 结合与 500hPa 资料的对比, 再进一步研究不同层次全球大气动能的季节性急变问题。

1 资料及计算方法

利用 1980—1988 年共 9 年 ECMWF $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 网格 100hPa、300hPa 和 500hPa 风场资料, 计算纬向平均动能 KZ 和涡动动能 KE , 动能单位均为 $J \cdot m^{-2} \cdot hPa^{-1}$ 。为了研究各纬度带动能的季节过渡, 计算了 8 种不同纬度范围内动能的平均值, 即全球 ($90^\circ N-90^\circ S$)、北半球 ($0^\circ-90^\circ N$)、南半球 ($0^\circ-90^\circ S$)、南、北半球温带 ($20^\circ-60^\circ$)、热带 ($0^\circ-20^\circ$) 以及整个热带 ($20^\circ N-20^\circ S$), 并分别以 GLOBE、00N90、00S90、20S60、20N60、00S20、00N20 以及 20E20 表示。同时为了对比起见, 还计算了南北半球中 ($30^\circ-60^\circ$)、低 ($0^\circ-30^\circ$) 纬度的动能模态。

计算方法都是先按 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 网格逐日资料计算, 然后计算月平均值。本文用月平均值作为基本资料, 研究其季节过渡特征。

2 季节性急变的标准

关于动能模态季节过渡的急变现象, 目前尚没有统一的判据。从能量学的观点, 冬季

* 本文得到高等学校博士学科点科研基金的资助。

处于相对稳定的高能量阶段,夏季处于相对稳定的低能量阶段,在其间处于连续上升或下降的阶段,称为增长期或衰减期,统称之为季节过渡。文献^[2]采用两个物理参数决定季节性急变发生与否。其一是月际差,即下月月平均值与本月月平均值之差,以 ΔA 表示,其值越大,急变程度越强。其临界值取 $R/4$ 或 $R/3$,这里 R 是 A 量的年较差。其二是相对月际变化率,即月际差除以月平均值的百分率,以 $\Delta A/A$ 表示。第一个物理参数的判据,先用 $|\Delta A| > R/4$,而后再用 $|\Delta A| > R/3$ 来考察。第二个参数作者对文献^[2]作些修正,分 9 个级别来考察(见表 1)。

表 1 季节过渡程度级别表($|\Delta A| > R/4$)

级别	增长期($\Delta A/A$)	衰减期($\Delta A/A$)
1	$>20\%$	$<-5\%$
2	$>25\%$	$<-10\%$
3	$>30\%$	$<-15\%$
4	$>35\%$	$<-20\%$
5	$>40\%$	$<-25\%$
6	$>45\%$	$<-30\%$
7	$>50\%$	$<-35\%$
8	$>55\%$	$<-40\%$
9	$>60\%$	$<-45\%$

说明: A 代表月平均值, ΔA 代表月际差, R 代表年较差

如果某个月份达不到上述划分级别的标准,我们称该月不发生季节过渡。同理,如果某个月份所达到的级别越高,表明该月的季节过渡程度越大;并且称级别 5 以下的状态为缓变,级别 5 及其以上的状态为急变,还把达到级别为 9 的急变称为强急变。

3 纬向平均动能 KZ 的季节性急变

一般而言,能量的年变化特征可以反映季节变化情况,但季节急变的含义较窄,标准较高,年变化大不一定就有季节性急变。但是,能量季节性急变的特点和次数又与其年变化的类型有关。因此在分析 KZ 急变之前有必要先分析各纬度带年变化特征。

3.1 100hPa 和 300hPa 纬向平均动能的年变化特征

图 1 和图 2 是南北半球各纬度带纬向平均动能 KZ 的逐年季节变化曲线。从温带来

看(图 1b,图 2b)各层次的季节变化都为年波型,即能量季节变化仅呈一次很明显的,从高能量到低能量再从低能量到高能量的过渡。从热带来看(图 1c,图 2c),各层次的季节变化除年波型外,在北半球热带还有半年波型,此型能量的季节变化至少呈现两次很明显的从高值向低值(或从低值到高值)的过渡。

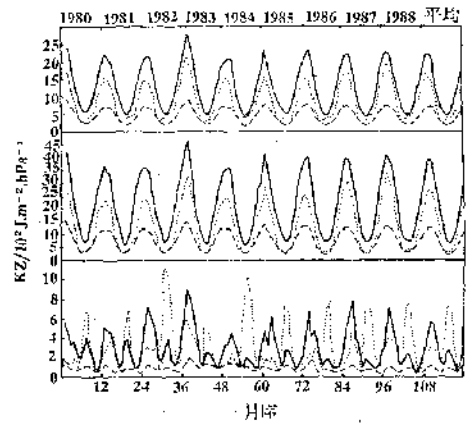


图 1 北半球 1980—1988 年纬向平均动能的季节变化
实线:300hPa 点线:100hPa 断线:500hPa
a. 半球 b. 中纬 c. 低纬

根据图 1 和图 2,可以知道,北半球 300hPa 年较差大于 100hPa(图 1a);而南半球反之,100hPa 年较差显著大于 300hPa(图

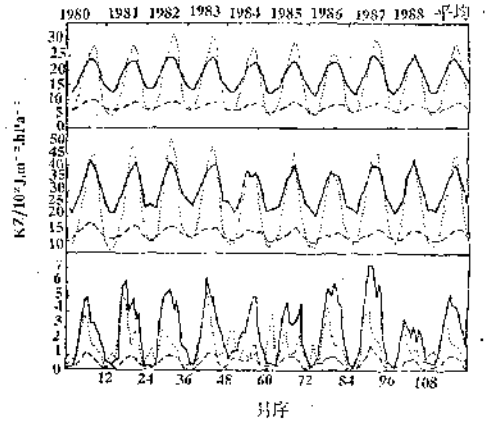


图 2 南半球 1980—1988 年纬向平均动能的季节变化
说明同图 1

2a),前者约为后者的2倍,显然是南半球100hPa的季节变化远大于300hPa。分纬度带来看,北半球温带(图1b)300hPa年较差比100hPa大;北半球热带(图1c)因是半年波型,故上半年(即前一个半年波)和下半年(即后一个半年波)的结果有所不同,年较差上半年300hPa比100hPa大,下半年100hPa大于300hPa;南半球热带(图2c)保持北半球热带上半年季节变化的特征,即300hPa年较差比100hPa大;南半球温带(图2b)情形却相反,100hPa年较差显著大于300hPa。

北半球温带KZ在300hPa的年较差远大于100hPa,这种现象是由于:冬季300hPa正处在对流层急流的下方,纬向环流很强,而100hPa正处在极夜急流和对流层急流的过渡层次,纬向环流比300hPa弱,因而300hPa KZ远强于100hPa。到了夏季,虽然300hPa纬向环流远较冬季为弱,但还是略强于100hPa,再加上平流层东风急流有由上而下偏于南半球现象,100hPa上较强东风带偏在热带地区,因而夏季300hPa KZ略强于100hPa。这里所说的平流层、对流层急流配置关系,冬季效应远大于夏季,因此北半球温带KZ的年较差300hPa比100hPa大得多。

至于北半球热带KZ年变化出现半年波型,而且层次越高,半年波型越明显,这显然同热带地区纬向环流半年振动有关。300hPa第一个半年波远比第二个半年波明显,而100hPa上刚好相反,即:第二波强于第一个波。300hPa上第一个波振动强可能同对流层急流在热带地区迅速衰退有关,100hPa上第二个波振动强可能是同热带东风急流活动有关。

南半球温带KZ同北半球温带KZ相比,在300hPa的年较差反而小于100hPa,这一方面由于300hPa上纬向环流季节变化不如北半球温带剧烈,另一方面在南半球极夜急流和对流层急流之间的过渡层没有北半球明显。

3.2 温带与热带KZ的季节性急变

与季节变化这一概念相联系的季节性急变,其特点是要求有较大的月际差。图3是温

带纬向平均动能KZ的连续9年逐月的月际差和9年平均的月际差。在温带(图3),北半球(实线)各层月际差最大值集中在3月和10月附近,南半球(虚线)各层月际差最大值集中在4月和9月附近;在热带(图略),南半球各层的月际差显然没有北半球大,就北半球热带(实线)来看,最大月际差除集中在4月和9月附近外,在6月附近仍有最大月际差值。

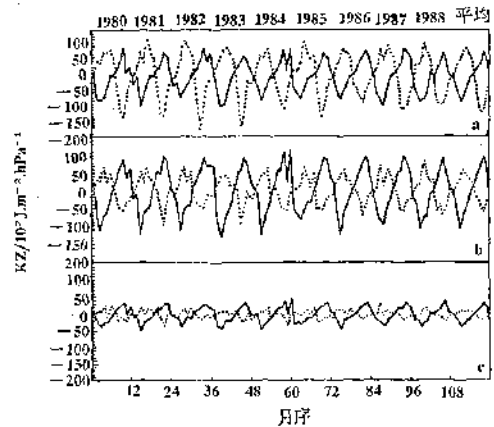


图3 1980—1988年中纬度平均纬向动能的月际差
实线为北半球 虚线为南半球
a. 100hPa b. 300hPa c. 500hPa

表2是100、300、500hPa3个层次1980—1988年9年平均的纬向平均动能在各种纬度带逐月季节过渡级别表。表中的正值代表增长期的级别,负值代表衰减期的级别,级别后加上星号表示满足更高的急变要求,即月际差大于年较差的三分之一。以后所列的各级别表,说明都同此,不再重复。

从各层次温带来看,北半球急变发生在3—4月和10月,并且急变级别100hPa比300hPa或500hPa大,南半球除100hPa 9、10月份达到急变级别外,其它月份没有急变发生。总的来看,北半球温带的季节性急变比南半球明显。就3—4月急变来看,北半球的季节变化级别至少比南半球高6级,如按每级5%的变化率计算,北半球的季节性急变至少比南半球高出30%的变化率。

表2 KZ9年平均逐月季节过渡级别

100hPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GLOBE					1	1*			-3*	-3		
00N90			-7*	-9						9		
20N60			-7*	-9						9*		
00N20				-9	9	9*		-9*	-9*			
20E20					7	7*		-7*	-9*			
00S20	-9			9*		-6*						
20S60									-6*	-8		
00S90									-4	-8*		
300hPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GLOBE			-2*	-1								
00N90			-6*	-7						7		
20N60			-6*							8		
00N20			-4	-9*		9					9	9*
20E20	1							-4*	-4	-6	7*	
00S20			9	9*						-8		
20S60									-2	-3		
00S90										-4*		
500hPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GLOBE			-2*	-1								
00N90			-6*	-6						5		
20N60			-6*							7		
00N20			-5*			6*					9*	
20E20					3	1			-6*	-7*	8*	
00S20						6*			-7*	-9*		
20S60									-1	-2*		
00S90									-1	-3*	-2	

值得注意的是,前面我们讨论过北半球温带 300hPa 的年较差比 100hPa 大,但此处却看到,无论是 3—4 月急变还是 10 月急变,其急变级别 300hPa 都比 100hPa 至少要小一个级别。由此可见,季节变化大与季节性急变的含义并不完全等同。

从各层次热带来看,急变除集中在 3 月和 10 月附近外,6 月附近还有急变发生。3 月急变 500hPa 比 300hPa 和 100hPa 早发生,在 500hPa 出现于 3 月份,在 300hPa 和 100hPa 都出现于 4 月;10 月急变 500hPa 和 300hPa 比 100hPa 晚发生,在 100hPa 出现于 9 月份,在 300hPa 出现于 11 月份,并且在 12 月份仍很强,500hPa 出现于 12 月;6 月急变 500hPa 和 100hPa 都比 300hPa 早发生,5 月在北半球 100hPa 和南半球 500hPa 发生的急变,都比 300hPa 6 月急变早发生。

从温带与热带的比较来看,温带 3—4 月急变和 10 月急变各层次比较集中,而热带 3 月急变、10 月急变以及 6 月急变各层次则相对比较分散。需要注意的是,本文只能比较相同纬度带各个层次的季节过渡级别,却不能区分不同纬度带如温带和热带季节过渡的相对大小。因为温带的月平均值比热带的月平均值大许多,所以前者的急变级别并不等于后者相应的级别。

表 3 是北半球温带各层逐年 KZ 的季节过渡级别表。从表中可见,各层次在 3 月和 10 月份出现急变的频率都在 0.78(即 9 年可出现 7 年)以上。其中 100hPa 3 月急变的频率高达百分之百。

表3 北半球温带 KZ 逐年季节过渡级别

100hPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980			-5	-7	-9					9*		
1981			-9*	-9						9*	4	
1982			-7							9*	3*	
1983			-7*	-9								
1984			-7*	-9						9*	6*	
1985			-8							9	5	
1986			-8*							9	6*	
1987			-6	-9*						9*	5	
1988			-7	-9						9		
300hPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980			-6									
1981			-7*							9	3	
1982			-6*							8	1	
1983			-6									
1984			-7*	-6						9*	4*	
1985										8	3	
1986			-7*							7	4	
1987			-5	-8						8		
1988			-6							9		
500hPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980			-6							5		
1981			-7*							8	4	
1982			-6*							8		
1983			-7*							8		
1984			-7*	-7						9*	5*	
1985											4	
1986			-8*							6	4	
1987				-8						8	3	
1988			-6							9*		

北半球热带各层逐年 KZ 季节性急变的

时间比较分散,这主要是因为此纬度带上,纬向平均动能模态呈半年波型,急变的次数比温带多,甚至还出现了对某个月份、某年是增长期急变,而另一年则是衰减期急变的所谓“异向急变”。如按“同向急变”频数较大的月份计算,在100hPa有4月,5—6月和8—9月急变,其中6月和9月都是频率为百分之百的强急变;在300hPa上,有4月急变,其出现频率达到0.89;在500hPa上有6月、12月急变,其出现频率都是0.66。因此,我们可以比较热带不同层次上季节急变的差异,在对流层上层300hPa上4月份急变9年中出现了8次,其中7次达到级别为9的强急变;6月急变在平流层低层、对流层中层出现频繁,9年中在100hPa出现了9次,每次都是级别为9的强急变,在500hPa出现了7次,急变的频数虽比100hPa少,但比300hPa多。

4 涡动动能 KE 的季节性急变

本节仍用年较差的概念来描述涡动动能 KE 的季节变化特征,而用最大月际差来研究 KE 的季节性急变,并与 KZ 的急变进行对比。

在各纬度的涡动动能 KE 的逐年季节变化曲线上(图4、图5),可以看到3种基本型的季节变化:一种是年波型,另一种是半年波型,还有一种可称为不规则型,即无法用月平均值的资料定出季节过渡的时间。南半球

热带的 KE 是不规则型,北半球热带100hPa KE 的季节变化是半年波型,其余纬度带 KE 的季节变化虽然从高值向低值(或从低值向高值)的过渡中偶有一些小波动,但总的来说,仍然盛行年波,所以仍可称为年波型。

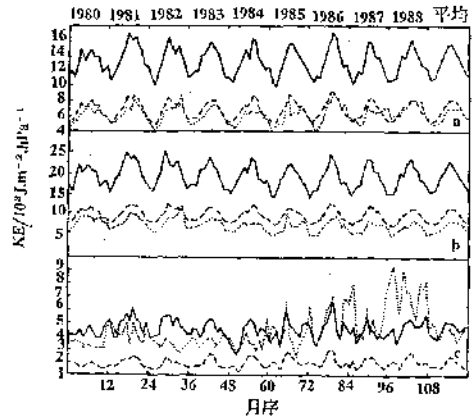


图5 南半球1980—1988年涡动动能的季节变化

说明同图1

在南北半球及其温带(图4a、b及图5a、b)、500hPa、300hPa以及100hPa KE 都呈冬季高和夏季低的年波型,而且3层位相相同,只是年较差有很大的差别。300hPa年较差最大,100hPa与500hPa接近。在热带,北半球(图4c)300hPa的年较差大于100hPa的年较差,而且各层最大值都在2月份。南半球热带(图5c)300hPa和100hPa的数值相比,1986年以前300hPa数值大于100hPa,1986年以后300hPa数值小于100hPa,这种现象可能是由ECMWF模式更新而提高了经向风精度造成的^[5]。由此看来,在南半球选取 KZ 作为大气环流基本量探讨其季节性急变,可能比用 KE 更为准确。

表4是100、300、500hPa 3个层次1980—1988年9年平均的 KE 在各纬度带逐月的季节过渡级别表。从表中可见:在每年下半年,在北半球各个纬度带的各个层次上,尽管月变化率级别都不高, KE 都有一次或两次的快速增长过程。上半年,500hPa和300hPa各纬度带基本无季节性急变发生,仅

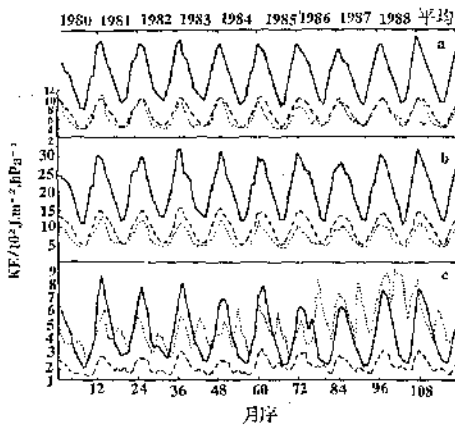


图4 北半球1980—1988年涡动动能的季节变化

说明同图1

在 500hPa 北半球热带有衰减期为 4 级的季节过渡, 100hPa 北半球各纬度带 2、3 月都有快速衰减过程。所以, KE 的季节性急变, 特别是 3 月急变, 集中出现在平流层低层 100hPa 附近。

表 4 KE 9 年平均逐月季节过渡级别

100hPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GLOBE	-2*	-2*										
00N90	-4*	-5*							3		4*	
20N60	-4	-4							4		4*	
00N20	-2	-3		3	-2			-4*			2*	
20E20	-2*	-2		2	-3*			-4*			1*	
00S20	-3*			-3*				-3*				-1
20S60									-2*	-2	-2	
00S90									-1	-2*	-2	
300hPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GLOBE			-1									
00N90									3		1	
20N60									3		1	
00N20											6*	
20E20	-2										2*	
00S20								-2*				-2*
20S60								-1				
00S90												
500hPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
GLOBE			-1		-1							
00N90											1	
20N60									4		1	
00N20		-1*								2	5*	
20E20	-1	-3*						-3*			1*	
00S20				1*				-2*				
20S60									-2			
00S90									-2			

对比表 4 和表 2, 重点考虑 100hPa 的差异, 可以知道, KZ 除全球的级别较小外, 其它纬度带基本上都达到了级别 5 以上的季节性急变标准, 而涡动动能 KE 除北半球 3 月达到季节性急变标准, 其它纬度带都达不到季节性急变标准。换言之, KE 的季节过渡不如 KZ 明显。有趣的是, KE 的季节性过渡要比 KZ 的季节性急变早发生。季节性过渡最大级别的时间, 在北半球及温带, KE 是 3 月和 9 月, 而 KZ 是 4 月和 10 月, 在北半球热带, KE 是 5 月和 8 月, 而 KZ 是 6 月和 9 月。所以可以认为平流层低层纬向涡动动能 KE

的季节性过渡是纬向平均动能 KZ 发生季节性急变的前兆。

表 5 是北半球温带各层逐年 KE 的季节过渡级别表。从表中可见, 100hPa 发生季节过渡的时间集中在 2、3 月和 9、11 月, 其中 3 月的级别比 2 月大, 11 月的季节过渡级别比 9 月高, 3 月和 11 月发生急变(级别大于 5)的频数皆为 0.44。

表 5 北半球温带 KE 逐年季节过渡级别

100hPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980	-4*		-5					6	3		6*	
1981	-7*								5		4*	
1982	-5*	-5*									4*	
1983		-5*	-5						4		4*	
1984		-6							8		9*	-3
1985	-4										5*	
1986		-6*							4	5*		
1987	-4								5		4*	
1988		-4							6		5*	
300hPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980									7	4		5*
1981										7*		
1982											2	2*
1983	-4*			-5					4			
1984									5*		4*	
1985				-4				7			2	
1986									5*			
1987				-4					5*		1	
1988						-6			4		1	
500hPa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980									6		6*	
1981									7			1
1982				-5						3	3*	
1983	-4										1	
1984									6		4*	
1985	-3									2	1	
1986												
1987				-5					6			
1988					-7					3	1	

北半球热带各层逐年达到季节过渡级别的月份比温带明显增多, 但按急变频数超过半数(9 年之中至少有 5 年)的月份计算, 只有 500hPa 的 3 月, 300hPa 的 11 月以及 100hPa 的 5 月达到标准。因此可以认为涡动动能的急变, 3 月急变集中在对流层中层, 11 月急变集中出现在对流层上层, 5 月急变集中出现在平流层低层。

5 结 论

把平流层低层 100hPa 和对流层 300hPa 及 500hPa 全球范围的动能资料按 8 种纬度带划分成半球、热带、温带等区域,从定性和定量角度分析不同层次、不同纬度带的季节性急变,结果表明:

北半球热带和温带 KZ 各层次的季节性急变,都发生在 3—4 月和 10 月附近,6 月急变仅发生于北半球热带地区的平流层低层和对流层中低层。而南半球仅在热带有急变,这一方面证实仇永炎(1993)^[2]的结果,另一方面说明不同层次季节性急变出现的月份差异不大。

根据不同层次纬向平均动能的分析,尽管北半球对流层上层的年较差比平流层低层大,但这并不意味着其季节性急变比平流层低层强。恰好相反,100hPa 的季节过渡级别和次数,无论是纬向平均动能还是涡动动能,都比 300hPa 显著。

进一步根据 100hPa 涡动动能 KE 和纬向平均动能 KZ 的季节过渡级别,分析发现 KE 的季节过渡虽不如 KZ 高,但是最大级

别出现的时间比 KZ 早一个月。这可能表明, KZ 的季节性急变与 KE 向 KZ 的能量转化有关。

由于涡动动能与涡动有效位能之间存在一定的转换关系,因此如结合有效位能对此综合分析,我们对季节性急变的认识将会深入一步。

参考文献

- 1 叶笃正等,在六月和七月大气环流的突变现象,气象学报,1958,29:249—263.
- 2 Qiu Yongyan, On the Seasonal Transition and the Interannual Variability in the Global Kinetic Energy at 500hPa, A. A. S., 1993, 2: 248—256.
- 3 孙继松、仇永炎,对流层动能的全球性季节变化与季节急变,气象学报, (待发表).
- 4 魏民、仇永炎,全球 500 百帕角动量与 EP 通量的季节变化,气象学报, (待发表).
- 5 Trenberth, K., E., and Olson, J. G., An Evaluation and Intercomparison of Global Analyses from the National Meteorological Center and the European Centre for Medium Range Weather Forecasts, Bull. Amer. Meteor. Soc., 1988, 69: 1047—1057.

On the Seasonal Transition in Global Kinetic Energy at 100hPa and 300hPa

Wei Min Qiu Yongyan

(Department of Geophysics Peking University, 100871)

Li Xiaodong

(Chinese Academy of Meteorological Sciences)

Abstract

Utilizing the data of monthly mean of the zonal kinetic energy (KZ) and eddy kinetic energy (KE) over the entire globe at 500hPa, 300hPa and 100hPa during the period of 1980—1988, the seasonal rapid changes (SRC) in the general circulation in terms of these kinetic energy modes have been investigated. Three main results are obtained. First, seasonal rapid changes of KZ take place generally in March, April and October at the three levels over the northern extra-tropical and tropical belts, but in the south only in the tropic there exist rapid changes. Second, in June there are also seasonal rapid changes of KZ over the northern tropic at 100hPa and 500hPa, which are located at the lower stratosphere and midtroposphere. Third, rapid changes at 100hPa are often more obvious than that at 300hPa. And the seasonal changes for KZ at the three level, are more significant than that for KE.

Key Words: zonal kinetical energy eddy kinetical energy seasonal rapid change