

# 全球不同纬度带平均有效位能的季节急变\*

魏 民\*\* 仇永炎

(北京大学地球物理系, 北京 100871)

## 提 要

利用1980~1988年ECMWF的资料, 计算了对流层500 hPa、300 hPa和平流层100 hPa逐日和月平均的纬向平均有效位能(PZ), 分析其季节过渡, 比较不同纬度带的季节性急变。结果表明, 在4月和10月附近, 各纬度带上均可出现PZ的急变, 而且用逐日资料还可分析出6月急变。在北半球对流层高层(100 hPa)PZ的季节性急变不如低层(500 hPa)明显, 而在南半球PZ的季节性急变与北半球相反, 高层比低层明显。

关键词: 有效位能 季节性急变 纬度带

## 引 言

过去人们对大气环流的“六月突变”和“十月突变”现象研究较多<sup>[1]</sup>。最近仇永炎等<sup>[2, 3]</sup>根据500 hPa纬向对称动能模态的月平均资料, 指出北半球大气环流的急变主要发生在3~4月和9~10月之交, 而不在5~6月。作者曾用对流层及平流层的动能资料证实这点, 北半球从冬到夏3~4月的急变在不同的层次均可出现<sup>[4]</sup>。同时, 还用500 hPa环球西风带角动量和EP通量两者的月平均资料进行过分析<sup>[5]</sup>, 也发现北半球西风带有3~4月的急变存在。为进一步证实此问题, 本文改用平均有效位能的资料进行研究。同时引入逐日资料进行统计T检验分析。

## 1 资料及计算方法

利用欧洲中心中期数值预报(ECMWF)提供的1980~1988年9年每天12 UTC全球2.5°×2.5°网格温度场资料, 计算对流层500 hPa、300 hPa和平流层100 hPa 3个等压面上的纬向平均有效位能PZ, 计算公式为:

$$PZ = \frac{1}{b} \int_{\varphi_s}^{\varphi_N} \frac{1}{2} c_p \gamma \bar{T}^m \cos \varphi d\varphi \quad (1)$$

\* 高等学校博士学科点科研基金资助项目。

\*\* 现在中国科学院大气物理研究所。

1995-10-16收到, 1996-04-16收到修改稿。

$$\gamma = (\bar{T} - c_p \frac{p}{R} \frac{\partial \bar{T}}{\partial p})^{-1} \quad (2)$$

其中“ $\bar{\quad}$ ”表示对经圈平均的偏差;“ $\sim$ ”表示面积平均; $\gamma$ 是与稳定度有关的参数,随时空而定.本文计算有效位能 $PZ$ 的单位均为 $J/m \cdot m \cdot hPa$ ,计算方法首先按 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 网格逐日资料计算,然后计算逐月月平均值和间隔45天的逐日滑动 $T'$ 检验值.

严格地说,有效位能的产生是由非绝热加热所引起,但式(1)却近似为温度的经圈平均偏差决定的.Siegmund<sup>[9]</sup>最近证明了这种有效位能制造的近似,除温带近地面层外,与精确有效位能制造之间的差别不大.所以我们选取式(1)计算有效位能是可行的.

由于 $PZ$ 的表达式中涉及 $\gamma$ 的分布,所以不同纬度之间的 $PZ$ 也会因 $\gamma$ 的不同而异.本文分别取了8种不同的纬度带,即:全球( $90^\circ N \sim 90^\circ S$ )、北半球( $0^\circ \sim 90^\circ N$ )、南半球( $0^\circ \sim 90^\circ S$ )、南北半球温带( $20^\circ \sim 60^\circ S$ ,  $20^\circ \sim 60^\circ N$ )、南北半球热带( $0^\circ \sim 20^\circ S$ ,  $0^\circ \sim 20^\circ N$ )和整个热带( $20^\circ N \sim 20^\circ S$ ).在这些纬度带中, $\gamma$ 的计算是由多年平均的天文四季平均温度<sup>[6]</sup>,经内插成各个月的月平均温度而得出,原始资料共有11个层次,每隔50 hPa内插一层,共19个层,然后计算逐层的 $\gamma$ .根据 $\gamma$ 在100、300和500 hPa层次上的计算结果,有如下的特征:①几乎全年各个月份,都是对流层高层300 hPa的 $\gamma$ 值最大,平流层低层100 hPa的 $\gamma$ 值最小.②就全年来看,300 hPa各纬度 $\gamma$ 值大都是夏季大,冬季小;100 hPa略微相反,冬季大,夏季小;500 hPa季节特征不明显.③在100 hPa和300 hPa,低纬度的 $\gamma$ 值大于中高纬度,而在500 hPa中高纬度的 $\gamma$ 值大于低纬度.稳定度 $\gamma$ 在这些层次上的差异和四季特征,主要是与平流层、对流层定义以及对流层顶的季节位移相联系.

## 2 季节性急变的标准

关于季节性急变的判据,目前尚没有统一的标准.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平均值之差,差值越大,急变程度越强.本文同文献[4]一样,分别取年较差的 $\frac{1}{3}$ 或 $\frac{1}{4}$ 为其临界值.其二是相对月际变化率,即月际差除以月平均值的百分率.我们把该参数分成9个级别,如第5级,对位能增长期是指位于45%至50%之间的值,而对衰减期而言是指其值位于25%至30%之间.

当某个月份达不到划分级别的标准时,称该月不发生季节过渡.同理,如果某个月所达到的级别越高,表明该月的季节过渡程度越大.我们称级别在5以下的状态为缓变,级别在5以上(包括5)的状态为急变,把级别为9的急变称之为强急变.

## 3 纬向平均有效位能的季节性急变

根据上述判据,位能季节性急变的特点和出现次数与其年变化的特征有关.因此在分析 $PZ$ 的急变之前有必要分析各纬度带的年变化特征.

### 3.1 $PZ$ 的年变化特征

图 1 和图 3 分别是北半球和南半球各纬度带  $PZ$  1980~1988 年期间逐月月平均变化曲线。图 2 和图 4 分别为北半球和南半球各纬度带  $PZ$  1980~1988 年 9 年逐月平均值的变化曲线。

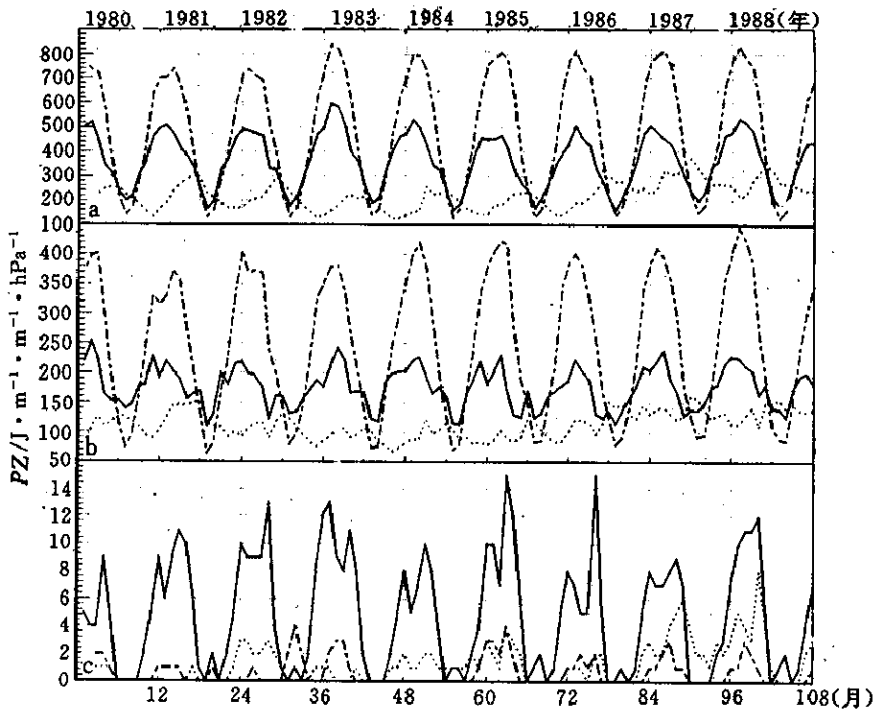


图 1 北半球各纬度带纬向平均有效位能 1980~1988 年期间各年逐月月平均值的变化曲线 (a) 北半球 (b) 北温带 (c) 北热带 (实线: 300 hPa, 虚线: 500 hPa, 点线: 100 hPa)

Fig. 1 Monthly mean of zonal potential energy from 1980 to 1988 for the Northern Hemisphere (a) Hemisphere (b) extratropical (c) tropical (solid line: 300 hPa, dashed line: 500 hPa, dotted line: 100 hPa)

从北半球来看, 各层次上  $PZ$  的季节变化以年波型为主, 即位能季节变化呈一次很明显的振动, 从高位能到低位能再回到高位能。平流层低层 100 hPa 的位相, 恰好与对流层 500 hPa 和 300 hPa 的位相相反。其原因与北半球 100 hPa  $PZ$  的变化很弱, 而且该层正处在南、北半球温差最弱的层次有关。南半球的情况恰好与北半球相反, 即 12 月至 2 月高, 6 月至 8 月低, 100 hPa  $PZ$  的年变化还是同 300 hPa, 500 hPa 呈反位相。

北半球温带  $PZ$  季节变化最清楚的层次是 500 hPa, 而南半球温带 100 hPa 的年循环比其他层次清楚。值得注意的是, 北温带 100 hPa 的年变化不如南温带清楚, 它与整个半球的年变化差别较大, 这也许是由于北温带 100 hPa 处在极夜急流和对流层急流的过渡层, 纬向环流较弱的缘故。

从北、南半球热带来看, 各层次  $PZ$  的季节变化大多呈半年波型, 热带  $PZ$  年较差远比温带小得多。这两点表明  $PZ$  的季节变化复杂和不明显。

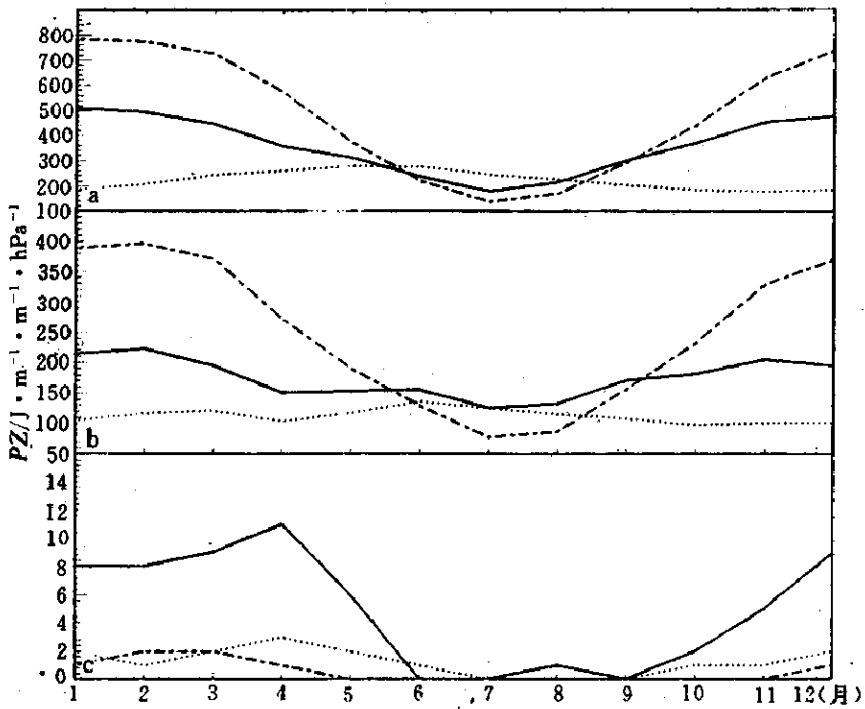


图2 北半球各纬度带PZ 1980~1988年9年逐月平均值的变化曲线(说明同图1)

Fig. 2 As in Fig. 1, but for 9 year monthly mean

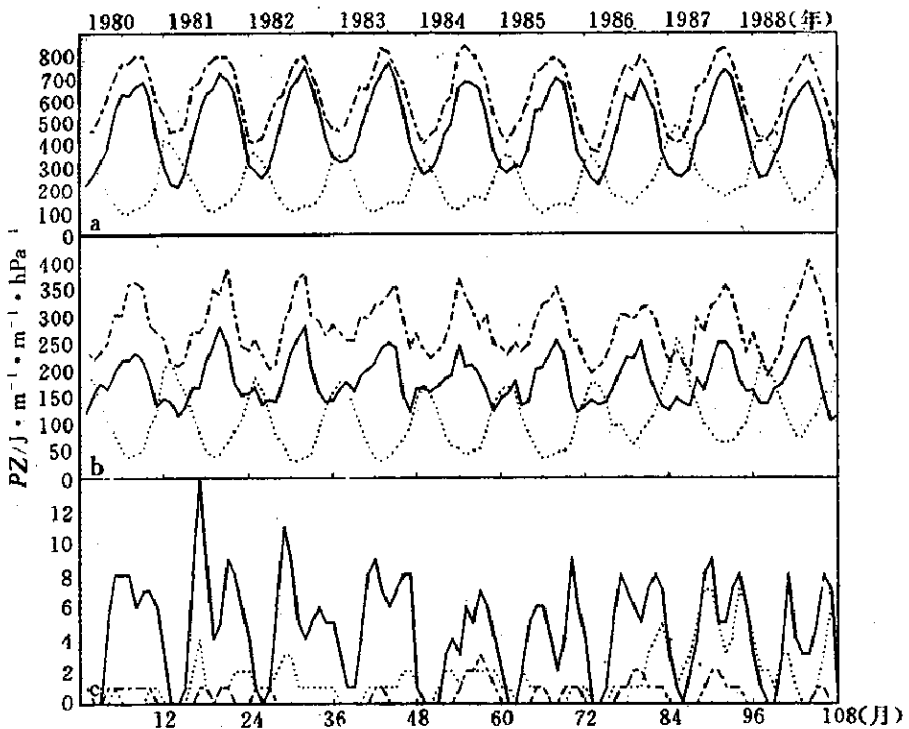


图3 南半球各纬度带纬向平均有效位能的变化曲线(说明同图1)

Fig. 3 As in Fig. 1, but for the Southern Hemisphere

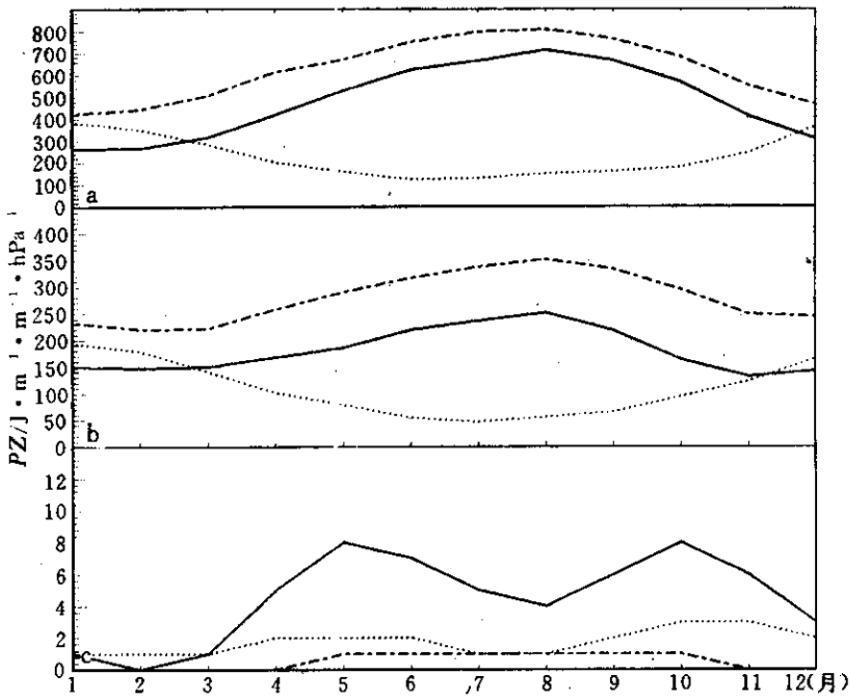


图4 南半球各纬度带  $PZ$  1980~1988年9年逐月平均值的变化曲线(说明同图1)

Fig. 4 As in Fig. 1, but for 9 year monthly mean

### 3.2 各纬度带 $PZ$ 的季节性急变

表1给出了9年平均的急变级别及逐月出现的频数. 首先需说明的是, 表1未给出全球范围的季节过渡特征, 因为全球纬向平均有效位能  $PZ$  的季节过渡呈缓变状态, 与纬向平均动能  $KZ$  一样没有急变现象. 所以要分析季节急变的出现月份, 可重点分析南北半球及其温带的情况. 从整个北半球来看,  $PZ$  急变在 100 hPa 不如对流层明显, 即 100 hPa 无急变发生; 300 hPa 只有一次急变发生在 8 月(逐年资料统计表明, 9年中发生了 5 次), 还有一次级别为 3 的缓变过程发生在 4 月; 500 hPa 急变发生在 4 月(8 次)和 10 月(5 次). 整个南半球  $PZ$  的急变与北半球不同,  $PZ$  在 100 hPa 的急变比对流层明显, 即 100 hPa 急变发生在 3 月(7 次)和 11 月(6 次); 300 hPa 急变只发生在 10 月(6 次); 500 hPa 3 月和 10 月各有一次级别较低的缓变过程. 所以, 南北半球  $PZ$  的季节性急变特征是: 北半球 500 hPa 急变比 100 hPa 明显, 即低层急变比高层明显, 而南半球相反, 高层急变比低层明显, 而且次数很多.

另外, 在北半球温带,  $PZ$  的季节性急变在许多方面与整个半球相似, 即 500 hPa 的急变比 300 hPa 明显, 出现年频数也高; 100 hPa 几乎无急变. 而南温带 100 hPa 夏冬过渡和冬夏过渡都有急变发生, 但夏冬过渡集中在 3 月(6 次), 而冬夏过渡很分散. 从表 1 可见 9 年中出现了 9 次, 分散在 9 月到 12 月之间, 所以平均来看只在 11 月份有急变为 3 级的缓变过程.

表1 南、北半球及其温、热带1980~1988年平均有效位能的季节急变所在月份、级别和频数  
 Table 1 The month, grade and frequency of mean *PZ* seasonal rapid changes during 1980~1988 for various latitudes

纬度	层次 (hPa)	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
0~90N	100												
	300			-3					5(5)				
	500				-6(8)						5(6)		
0~90S	100			-5(7)								6*(6)	
	300										-5(6)		
	500			1							-3*		
20~60N	100			-2*									
	300			-4*									
	500				-5(4)	-5(5)					5(6)		
20~60S	100		(3)	-5(6)	(1)					(2)	(3)	3(3)	(1)
	300									4			
	500										-3		
0~20N	100			7*(6)		-9(6)						9*(6)	
	300					-9*(9)						9*(5)	
	500				-9*(6)							9*(4)	
0~20S	100			9*(5)			-5(5)					-5*(5)	
	300			9*(8)								-9*(6)	
	500				6*(6)							-8(5)	

\*表示月际差大于年较差的1/3;其它为1/4,括号内为出现次数;负号表示衰减期的变化。

总之,半球或温带范围内纬向平均有效位能的季节性急变与纬向平均动能 *KZ* 的季节性急变一样,都常出现在3~4月和9~10月。但也有些不同之处,3~4月急变在北半球 *PZ* 低层明显,而 *KZ* 高层更明显<sup>[4]</sup>;在南半球除100 hPa外,*PZ*和*KZ*差不多没有季节性急变发生。由图1a、b和图3a、b也可以看到100 hPa *PZ*的上述特征:图1a、b中的点线年波型不如图3a、b明显,特别是在1985年之后,*PZ*曲线已不呈年波型变化,所以确定这一层的急变特征较为复杂。

从表1还可分析热带 *PZ* 的急变。在北半球热带,由于 *PZ* 的季节变化不常呈年波型,其季节性急变的次数和频率比温带大为增加且较为复杂。但是仍可考察出,在3个层次上由冬到夏和由夏到冬季节性急变最常出现的月份为3~4月、5~6月和11月。

上述结果与文献[4]中用纬向平均动能 *KZ* 分析急变的结果一致。另外,用 *PZ* 来描述突变,这个量对斜压性有较好的表征,因而对于4月急变可能描述较好;6月斜压性减小,因而 *PZ* 反映不如4月好。下面将用逐日资料对急变结果做统计信度检验。

### 3.3 用统计 *T* 检验法分析 *PZ* 的季节性急变

统计 *T* 检验法用于研究气候变迁取得了较好的结果<sup>[7,8]</sup>,本文利用它来判别 *PZ* 的

季节性急变。

大气能量变化存在多种周期振荡, 对年变化干扰最大的是季内变化, 尤以 30 至 60 天振荡最明显。为消除这类影响, 本文取时间间隔  $n_1 = n_2 = 45$  天, 对应的  $T_a = 2.70$ 。由于季节过渡远比气候变迁急剧, 因此, 在整个过渡时期, 所得到的  $T$  值一般都大于  $T_a$ 。而实践表明, 一年之中只有 4 次左右的季节性变化。为此, 有必要提高检验标准。大量的实践表明, 当  $T$  为 5 倍  $T_a$  时较为适宜。故当  $R = T/T_a = 5$  时, 暂称 5 级显著性判据。也就是说, 当  $T \geq 5 T_a$  时, 我们称之为季节性急变, 否则称之为缓变,  $R$  值越大, 急变愈显著。

本节进行  $T$  检验的资料是逐日资料,  $T$  值滑动的时间间隔为 45 天。这虽与前面用月平均尺度分析的方法不同, 但两者都发现 3~4 月和 9~10 月有急变存在。所不同的是  $T$  检验法在南、北半球温带还有 5~6 月急变存在。表 2 和表 3 分别给出了北半球和南半球温带的上述  $T$  检验结果。

表 2 北半球温带  $T$  检验的不同层次  $PZ$  逐年季节性急变日期和显著性判据 ( $R_m$ )

Table 2 The date of  $PZ$  seasonal rapid changes by  $T$  testing and significant test criterion  $R_m$  in various levels for the north extratropic zone

高度	年份	3~4月/ $R_m$	5~6月/ $R_m$	7~9月/ $R_m$	10~2月/ $R_m$
100 hPa	1980		5月27日/5		12月09日/5
	1981		6月24日/6		
	1982		5月07日/5	8月17日/5	10月11日/6
	1983		5月23日/5		
	1984		5月21日/6	7月22日/5	
	1985		5月23日/8	8月10日/6	
	1986		5月13日/7		
	1987		5月23日/8	8月10日/6	
	1988				
300 hPa	1980	4月7日/5			
	1981		6月25日/6	8月27日/6	
	1982				
	1983			9月01日/5	
	1984		6月24日/6	9月01日/6	
	1985	3月04日/6			
	1986	4月04日/6			
	1987	4月20日/6			
	1988				
500 hPa	1980	4月13日/6	6月02日/5	9月19日/6	10月22日/6
	1981	4月27日/6	6月13日/8	9月09日/7	10月31日/6
	1982	4月06日/6	5月26日/7		10月31日/6
	1983	3月27日/5	6月23日/6	9月02日/7	10月08日/5
	1984	4月17日/5	6月25日/6	9月10日/7	10月31日/6
	1985	3月27日/7	6月23日/8	9月02日/6	10月29日/6
	1986	4月17日/6	6月16日/5	9月06日/6	10月24日/6
	1987	4月27日/7	6月19日/5		10月07日/6
	1988	4月07日/7	6月01日/8	9月23日/6	10月14日/6

表3 南半球温带  $T$  检验的  $PZ$  不同层次逐年季节性急变日期和显著性判据 ( $R_m$ )

Table 3 As in Table 2, but for the south extratropic zone

高度	年份	3~4月/ $R_m$	5~6月/ $R_m$	7~10月/ $R_m$	11~2月/ $R_m$
100 hPa	1980	4月23日/5	6月03日/7	10月06日/7	12月01日/9
	1981	4月15日/6	6月14日/6	9月12日/6	12月05日/7
	1982	4月06日/8	5月28日/7	10月15日/9	12月13日/7
	1983	3月06日/6	5月07日/6	10月15日/6	12月08日/7
	1984	4月01日/6		10月07日/8	11月22日/6
	1985	4月04日/6	5月20日/6		11月07日/8
	1986	3月25日/7			11月05日/7
	1987	3月06日/6	5月21日/5	10月12日/7	11月05日/7
300 hPa	1988	4月12日/9	6月06日/6	9月27日/7	
	1980				
	1981		6月05日/5	10月10日/5	
	1982		5月10日/6	9月06日/6	
	1983			10月10日/8	
	1984				
	1985		5月02日/5	9月23日/6	
	1986			9月20日/5	
500 hPa	1987		6月23日/5	9月17日/6	
	1988		5月21日/5	10月17日/6	
	1980				12月19日/5
	1981			10月17日/5	
	1982		5月09日/7		
	1983				
	1984				
	1985			9月23日/5	
1986					
1987	3月31日/7				
1988				11月06日/5	

由此看来,也许4月急变的时间尺度较长,而6月急变的时间尺度较短,所以用月平均资料只能看到前者而用逐日资料两者都可看到.两种方法均表明,急变在北半球集中在500 hPa,而南半球集中在100 hPa.

#### 4 结论与讨论

通过对1980~1988年各层次纬向平均有效位能季节性急变的研究,可以认为:

(1) 应用  $PZ$  的月平均资料研究其季节性急变的结果和  $KZ$  一样,在4月和10月附近均有急变出现,并且以半球及温带的范围较为明显.

(2) 用  $PZ$  的月平均资料研究其在热带的季节性急变的结果表明,除在北半球热带可看到4月急变外,还可看到明显的6月急变.同时,应用间隔45天的统计  $T$  检验法研究  $PZ$  在温带的季节性急变,结果也存在6月急变.

(3) 从高低层次对比来看,整个北半球及其温带的  $PZ$  季节急变,无论是用月平均资



料研究, 还是用逐日资料研究, 都显示出低层比高层(100 hPa)明显的特征. 这一特征与 KZ 完全相反, 这是因为 PZ 与温度场相联系, 低层温度对比大于高层, 而 KZ 则与风场相联系, 高层风速比低层风速强得多.

(4) 南半球除高层外, PZ 的急变和 KZ 一样, 几乎没有明显的季节性急变发生.

由于 100 hPa 等压面的高度较长时间处于极夜, 呈平流层的特征比较明显. 而在夏季长时间处于极昼, 对流层的特征比较明显. 所以 100 hPa 季节性急变的特征, 呈复杂情况. 据葛玲等<sup>[10]</sup>和瞿章等<sup>[11]</sup>研究平流层季节突变的结果来看, 从 30 hPa 涡动方差和极涡转变的过程进行分析, 季节突变比较明显的时间是 4 月, 而 100 hPa 根据极涡减弱的快慢所定出的时间是在 6 月.

由 100 hPa PZ 的月平均值来看, 季节急变发生在 4 月, 而从逐日资料来看, 应在 6 月. 因此平流层低层 100 hPa 的季节性急变, 既有 4 月急变也有 6 月急变. 至于平流层中层, 很可能 4 月急变更为盛行. 这个问题留待以后专门讨论.

有关 4 月急变的存在, 近年来不少工作都说明了这一点. Yasunari<sup>[12]</sup>, Webster 等<sup>[13]</sup>根据预报相关分析, 发现 4~5 月间预报与观测的相关有陡降现象, 他们称之为预报障碍时期. 这个时期正是在 4 月季节急变之后, 有可能是由于这次突变所产生的影响. 因为据我们分析, 此次突变后动能和有效位能都衰减得很厉害. 另外, 这种急变与两个因素关系很大, 其一是地理纬度因素, 其二是时间平均尺度. 如时间平均尺度固定在 30 至 60 天的范围, 则地理因素相对重要些. 至于是什么动力机制和物理过程导致包括夏到冬过渡在内的各次季节性急变的问题, 我们今后将从波数域能量方程进行这方面的研究.

### 参 考 文 献

- 1 叶笃正, 陶诗言, 李麦村. 在六月和十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 500 hPa. *Adv. in Atmos. Sci.*, 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, 1994, 52: 33~39.
- 4 魏 民, 仇永炎. 对流层及平流层低层全球动能的季节变化. 气象, 1994, 20: 3~9.
- 5 魏 民, 仇永炎. 全球 500 hPa 角动量与 EP 通量的季节变化. 气象学报, 1995, 53: 238~246.
- 6 Newell R E, Kidon J W, Vincent D G & Boer G J. The General Circulation of the Tropical Atmosphere and Interactions with Extratropical Latitude. Cambridge: MIT Press, 1972.
- 7 Yamamoto R, Iwashima T & Sanga N K. An analysis of climatic jump. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1986, 64: 273~280.
- 8 Fu C B & Fletcher J. Large signals of climatic variation over the Asian monsoon region. *Adv. Atmos. Sci.*, 1988, 5: 389~404.
- 9 Siegmund P. The generation of available potential energy, according to Lorenz exact and approximate equations. *Tellus*, 1994, 46A: 566~582.
- 10 葛 玲, 郭树军. 北半球 30 hPa 环流春季转变过程的诊断研究. 应用气象学报, 1992, 3: 306~313.
- 11 瞿 章, 郑 光, 吕世华, 等. 北半球平流层月平均环流的若干基本事实. 高原气象, 1988, 7: 166~176.
- 12 Yasunari T. The monsoon year —— A new concept of the climatic year in the tropics. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1991, 72: 1331~1338.
- 13 Peter J Webster & Song Yang. Monsoon and ENSO: Selectively interactive systems. *Q. J. R. Meteor. Soc.*, 1992, 118: 877~926.

## THE SEASONAL RAPID CHANGES OF GLOBAL POTENTIAL ENERGY AT DIFFERENT LATITUDES

Wei Min    Qiu Yongyan

(*Department of Geophysics, Peking University, Beijing 100871*)

### Abstract

Utilizing the data of monthly mean of the zonal potential energy ( $PZ$ ) over the entire globe at different latitudes and levels, the seasonal rapid changes (SRC) in the entire circulation in terms of these potential energy modes, have been investigated. The results show that seasonal rapid changes of  $PZ$  take place generally in April and October at every latitude, and the rapid changes in June also are analysed by using daily data. As to upper and lower levels, the seasonal rapid changes of  $PZ$  at lower level (500 hPa) are more obviously than those at upper level (100 hPa) of the Northern Hemisphere, and it is opposite to the Southern Hemisphere.

**Key words:** Potential energy    Seasonal rapid changes    Latitude zone