

# 近百年东亚季风长期变化中主周期振荡的奇异谱分析\*

徐建军 朱乾根 施 能

(南京气象学院, 南京, 210044)

## 摘 要

运用海平面气压场资料, 计算1873—1990年的东亚冬、夏季风强度指数, 并利用奇异谱分析(SSA)对这百年的东亚季风长期变化的周期活动进行了研究。研究表明: 东亚冬、夏季风都存在准2a(QBO)、3—6a(LFO)的年际振荡, 16—18a(IDO)的年代际振荡和长期变化趋势。各振荡分量都具有年代际的差别, 这种特征QBO表现得最典型。冬季风的QBO在1920年代前振幅较小, 且大约呈现12a的大振幅和6a的小振幅波状的周期变化; 夏季风的QBO振幅变化与冬季风相反, 且大约呈现6a的大振幅和3a的小振幅波状的周期变化。夏季风中的年代际变化影响较小。

关键词: 东亚季风、年际、年代际、奇异谱分析。

## 1 引 言

东亚季风是亚洲季风的一部分, 由于它对全球气候变化具有重要影响, 因而受到气象界的广泛关注。季风长期变化中的突变性和周期性尤为人们所重视。过去大量的工作侧重于讨论其突变性<sup>[1-3]</sup>, 他们通过对某些表征季风变化的长序列气象要素(如气温、降水、气压等)进行分析, 并进行一定的解释。气候研究的最终目的是为了对未来气候变化作出预测。为此, 仅对气候序列的突变性进行分析是不够的, 因为气象要素的时间序列突变是随机的, 只有找出产生气候突变的真正原因, 才能达到预测气候变化的目的。从这个意义上说, 如果对季风气候变化的周期性有一个全面的认识, 可以克服气候突变性问题中的不足。事实上, 季风气候变化是具有一定的周期性的。郭其蕴<sup>[4]</sup>对东亚季风强度指数进行功率谱分析, 发现东亚季风强度, 在冬、夏季都存在QBO, 夏季存在3.5a、7a以及11a的周期。另外, 还有其它表征东亚季风特点的气象要素也存在类似的周期性<sup>[5-8]</sup>。但在长序列的研究中, 周期振荡分量的阶段性没有引起足够的重视, 其中, 功率谱或最大熵谱方法只能分辨出整个序列的平均周期, 而对于不同阶段上的各周期分量的变化是无法分辨的; 奇异谱分析方法(简称SSA或M-SSA方法)<sup>[9-10]</sup>可以弥补以上方法的不足。所以, 本文将依据文献[11, 12]计算东亚季风强度指数的思想, 并运用奇异谱分析方法, 对近百年来东

\* 初稿时间: 1996年5月17日; 修改稿时间: 1996年9月16日。

资助课题: 国家自然科学基金(49475265)。

亚季风强度变化的周期性及其周期振荡分量的年际、年代际特点进行分析, 从而对东亚季风的周期性变化规律有一个较全面的认识。

## 2 东亚冬夏季风强度指数

这里利用英国气象局整理的北半球1873—1990年逐月海平面气压资料。将月或季的东亚季风强度指数定义为20—50°N, 7个纬带(间隔5°)的纬向标准化的海平面气压差(用110°E减160°E)的和, 并将和再进行一次标准化处理, 即

$$MI_t = \sum_{i=1}^7 (SLP_{11i}^* - SLP_{16i}^*)$$

$$MI_t' = \frac{MI_t - \overline{MI}}{\sigma_{MI}}$$

$$i = 1, 2, \dots, 7(\text{纬带}); t = 1, 2, \dots, 117(\text{a})$$

上式中 $\overline{MI}$ ,  $\sigma_{MI}$ 表示 $MI$ 的平均值与均方差。\*为标准化处理。 $SLP_{11i}^*$ ,  $SLP_{16i}^*$ 分别是110°E, 160°E的第*i*纬带第*t*年的标准化海平面气压值。对夏季风来说, 大陆气压低, 海洋气压高, 因而指数越大, 季风强度越小, 对冬季风正好相反。

用以上的计算方法, 计算1873—1990年的东亚季风指数, 并以此为下文的分析基础。

## 3 东亚冬季风奇异谱分析特征

### 3.1 东亚冬季风长期变化中的主周期振荡模态

图1表示了东亚冬季风强度指数经过奇异谱分解的前8个特征向量(T-EOF<sub>s</sub>)的变化特征。这前8个特征向量表征了东亚冬季风长期变化中的几个最主要的周期模态, 它们总拟合率为40.9%。如图1所示, 这8个特征向量中表示了4个周期振荡模态, 其中第一特征向量(T-EOF<sub>1</sub>)和第六特征向量(T-EOF<sub>6</sub>)表示准两年周期振荡(QBO)模, 它们占总方差的5.8%和4.8%; 第二特征向量(T-EOF<sub>2</sub>)和第三特征向量(T-EOF<sub>3</sub>)表示5—6a的周期振荡模, 它们占总方差的5.7%和5.5%; 第四特征向量(T-EOF<sub>4</sub>)和第五特征向量(T-EOF<sub>5</sub>)表示3—4a的周期振荡模, 分别为总方差的5.0%和4.8%; 第七特征向量表示了近百年来冬季风的长期变化趋势, 它占总方差的4.4%; 第八特征向量(T-EOF<sub>8</sub>)反映了15—18a的十年际周期振荡特征, 占总方差的4.1%。

由此可以看出东亚冬季风在近百年的长期变化中, 除具有长期变化趋势以外, 还存在2a, 3—4a, 5—6a的年际周期振荡模态和15—18a的十年际周期振荡模。

### 3.2 主周期振荡模的时间演变特征

对前8个特征模态进行序列重建, 将T-EOF<sub>1</sub>和T-EOF<sub>6</sub>合并, 重建为QBO分量, 将T-EOF<sub>2</sub>, T-EOF<sub>3</sub>, T-EOF<sub>4</sub>和T-EOF<sub>5</sub>合并, 重建为LFO分量, T-EOF<sub>7</sub>重建的序列为长期变化趋势, T-EOF<sub>8</sub>重建的序列为IDO(Interdecadal Oscillation)分量。

图2表示了各主周期振荡分量重建序列的时间演变特征。从图中可以发现这样一些特点。

QBO分量的振幅具有明显的年际及年代际变化特征(如图2a)。在1914年之前, QBO的振幅较小, 年代际变化不明显。但这以后, 除QBO的振幅有较大的增长以外, 另外还表现出有规律的年际、年代际变化特征。从1915年到1990年, QBO经历4个完全相似的阶段,

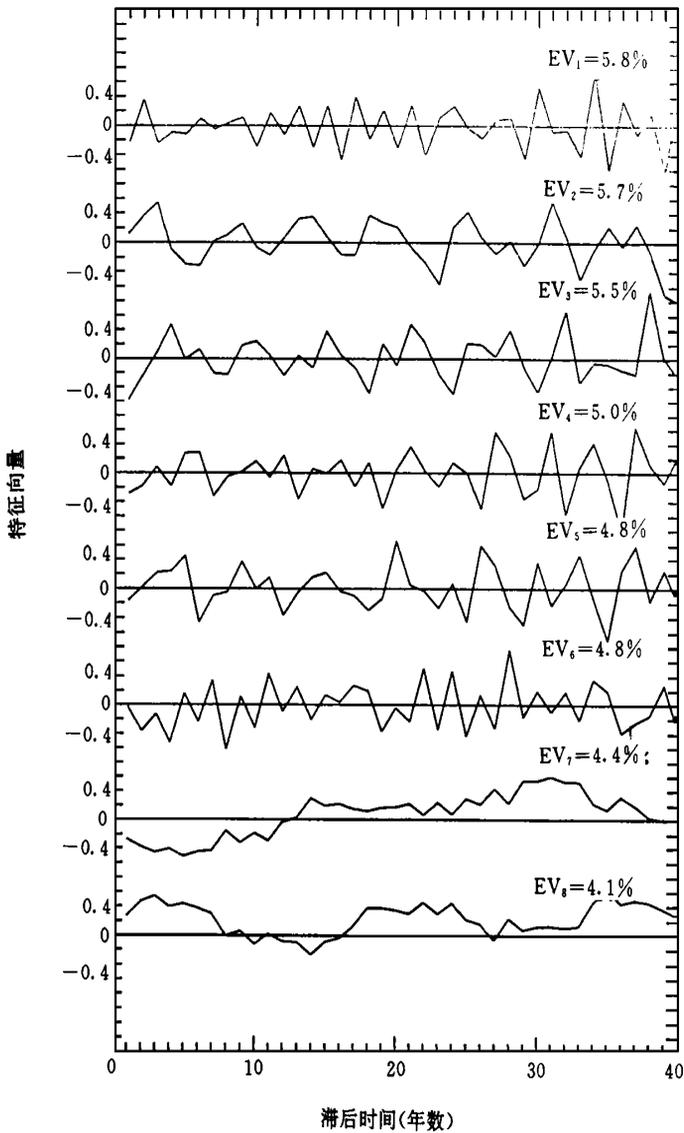


图1 东亚冬季风指数的 T-EOFs 分布

(图中  $EV_1, EV_2, \dots, EV_8$  分别代表第一、第二、……第八特征向量表示的周期振荡模占总方差的百分数)

分别为1915—1931, 1931—1949, 1950—1967, 1968—1990年。每个阶段前12a是有规则的两年周期变化,后近6a的QBO振幅明显衰减。这4个阶段的QBO的振幅也是逐渐增长的。由此可以看出,QBO分量的振幅变化是有年代际的阶段性的。

LFO的变化(如图2b)不仅表现在振幅上,也表现在周期上。由图表明,在本世纪60年代以前LFO的周期以5—6a为主,而60年以后却以3—4a的周期为主,并且振幅也加大。这一现象说明季风的LFO分量周期变化的不规则性。

十年际周期振荡(IDO)分量(图2c)除表现出15—18a的周期变化以外,还表现出由弱

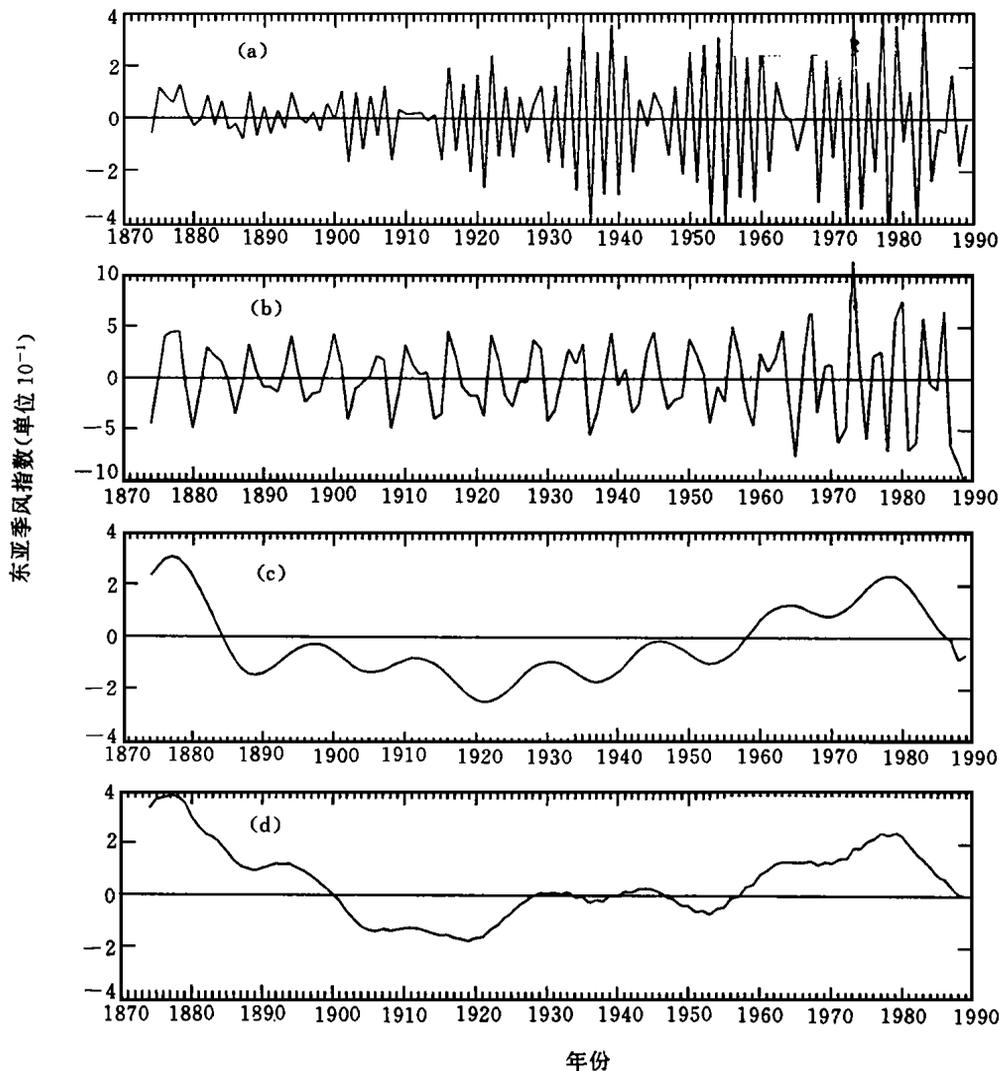


图2 东亚冬季风主周期振荡模的重建序列  
(a. QBO 分量; b. LFO 分量; c. IDO 分量; d. 长期变化趋势)

冬季风向强冬季风增长的趋势。

长期变化趋势曲线(图2d)表明:在本世纪以前,冬季风较强,以后到1920年是冬季风最弱的阶段,从1920年代初到1950年代末冬季风有所加强,1960年代和1970年代是本世纪冬季风最强的时期,到了1980年代冬季风又有所减弱。

## 4 东亚夏季风奇异谱分析特征

### 4.1 东亚夏季风的主周期振荡模态

对东亚夏季风强度指数进行的奇异谱分解,前8个特征向量的总拟合率为56.0%。如图3所示,这8个特征向量也表现出4个周期振荡模态,其中第一和第二特征向量表示了夏

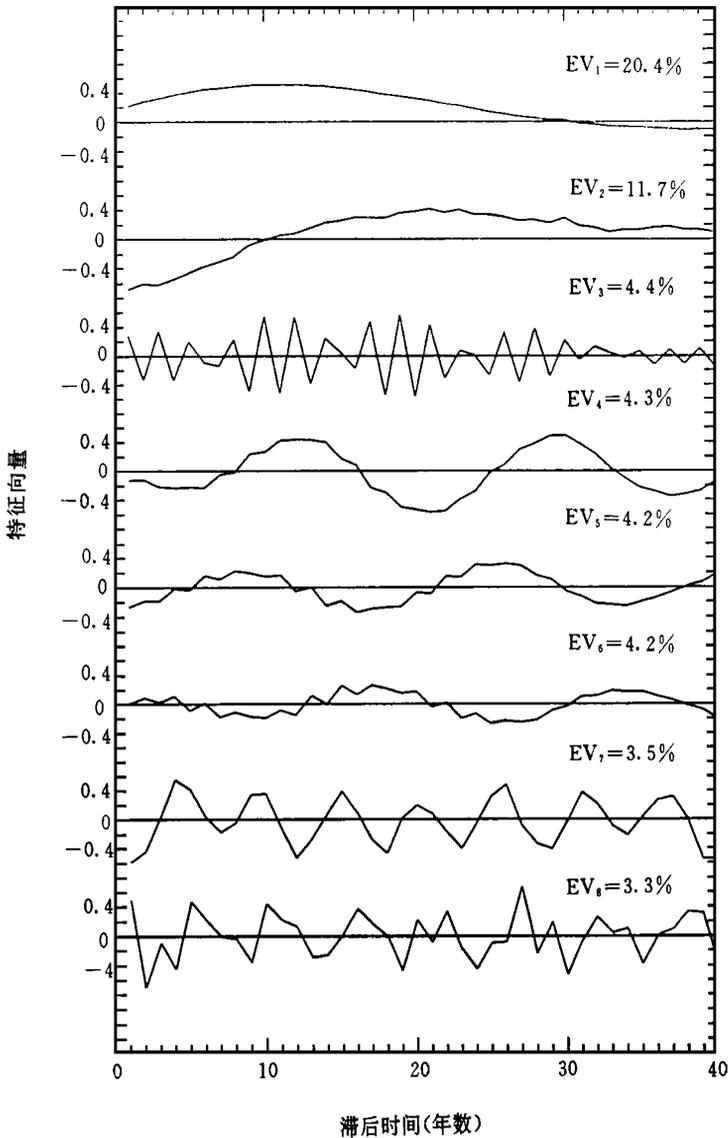


图3 东亚夏季风指数的 T-EOFs 分布

季风的变化趋势,分别占总方差的20.4%和11.7%;第三特征向量是准两年周期振荡,占4.4%;第四、第五和第六是16—18a的十年际周期振荡,分别为4.3%、4.2%、4.2%;第七特征向量是5—6a的周期振荡模,占3.5%;第八特征向量是3—5a的周期振荡模。

很显然,东亚夏季风也同样存在长期变化趋势,十年际的周期振荡,以及准两年和3—6a的年内周期振荡。

#### 4.2 东亚夏季风主周期振荡的时间演变特征

如同冬季风的处理方法,将 T-EOF1和 T-EOF2合并,表示长期变化趋势;T-EOF3的重建序列表示 QBO 振荡模;T-EOF4, T-EOF5, T-EOF6合并重建序列表示了十年际振荡

模(IDO); T<sub>1</sub>-EOF<sub>7</sub>和 T<sub>1</sub>-EOF<sub>8</sub>合并重建序列是 LFO 振荡模。

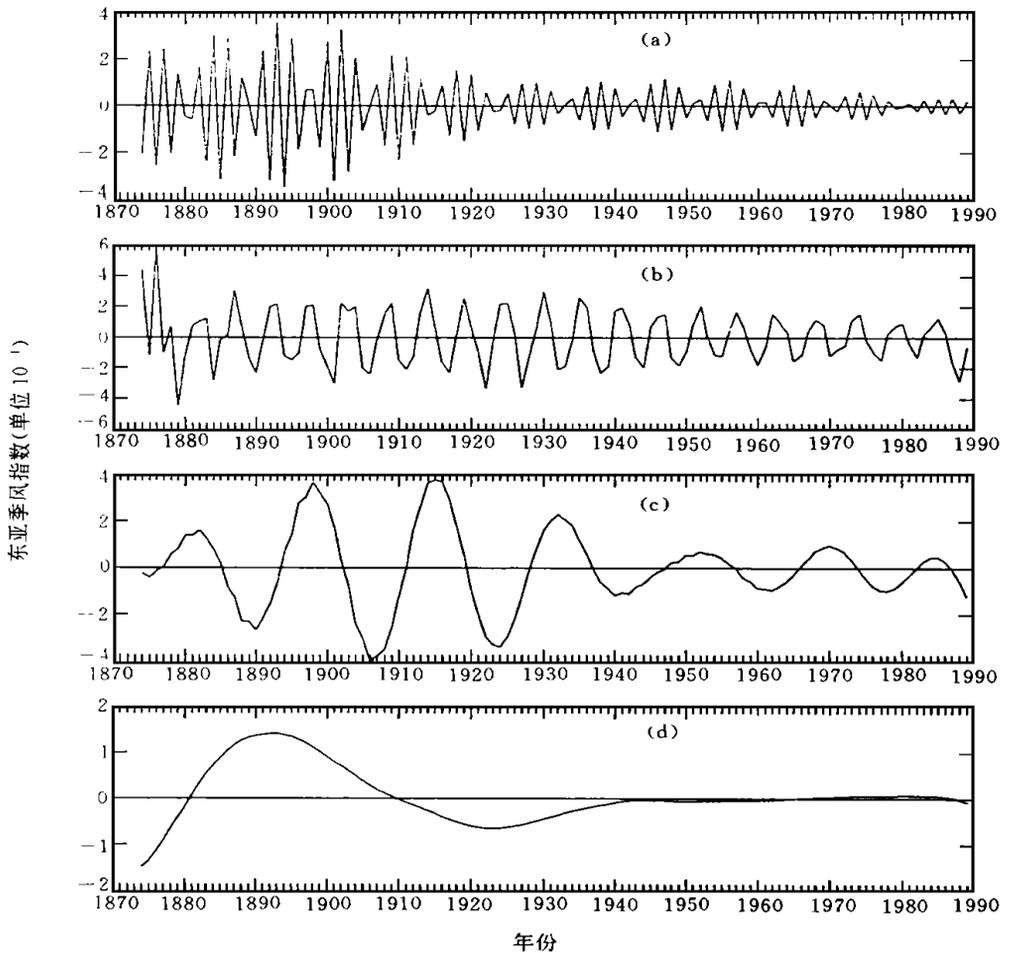


图4 东亚夏季风主周期振荡模的重建序列  
(a. QBO 分量; b. LFO 分量; c. 年代际趋势; d. IDO 分量)

图4表示了东亚夏季风各主周期振荡分量重建序列的时间演变特征。从图可以看出, QBO 的振幅表现出大约6a 强3a 弱的相间隔分布的变化特征, 并且在本世纪初, QBO 的振幅有一个明显的减弱趋势, 从1920年代以后的振幅几乎稳定不变。

LFO 的振幅变化不是非常明显的, 本世纪初到1930年代末, 振幅较大, 从1940年代开始到现在, 振幅较小。另外, LFO 的周期变化是不明显的。

十年际周期振荡分量(IDO)的振幅具有显著的年代际变化特征, 上世纪末到本世纪1920年代中期, 振幅较大, 1930年代到现在, 其振幅明显的减小。

长期变化趋势反映了夏季风活动的阶段性, 1910年前夏季风相对较弱, 从1910年到1940年是本世纪夏季风最活跃的时期, 1940年代以后, 夏季风活动几乎没有年代际变化。

## 5 东亚冬、夏季风活动特点的比较

根据前面的分析,可以发现冬、夏季风活动具有这样一些特点:

冬、夏季风都存在准两年和3—6a 的 年际周期振荡以及16—18a 的十年际周期振荡,但各周期振荡分量在近百年的活动是不一样的。冬季风的各振荡分量的振幅从1920年代以后逐渐增强,年际振荡分量在这之前振幅很小;夏季风的准两年振荡和16—18a 周期振荡从1920年代以后减弱,这之前振幅较大,几乎与冬季风相反,3—6a 的周期振荡振幅较大是发生在1940年代之前。

将长期变化趋势和十年际周期振荡合并统称为年代际振荡,与年际振荡合并量比较发现,冬季风年代际振荡占8.5%,年际振荡占32.0%;而夏季风年代际振荡占44.8%,年际振荡占11.2%。很显然,冬季风的年际振荡较大,而夏季风的年代际振荡起决定作用。这就给我们一个启示,在讨论东亚季风的年际变化时,对夏季风必须考虑年代际的气候背景的变化,而对冬季风年代际的影响较小。

## 6 结 论

(1) 冬、夏季风都存在 QBO, LFO 和 IDO 现象,但冬季的各分量的振幅在1920年代以后有增长的趋势,而夏季却衰减。

(2) 冬、夏季风的 QBO 分量的振幅具有大小相间的波状变化特征,冬季风大约呈现 12a 大振幅和6a 小振幅的波状的周期变化;夏季风呈6a 大振幅和3a 小振幅的波状的周期变化。

(3) 冬季风的年际振荡比年代际振荡影响大,而夏季风却是年代际振荡分量较强。

对于冬、夏季风的明显区别,冬、夏季风的 QBO 的振幅具有年代际的波状的周期变化,这个 QBO 振幅的年代际变化与季风本身的年代际振荡的关系,各周期振荡分量之间的关系,它们如何共同影响季风的年际、年代际变化等问题有待进一步探讨。

## 参考文献

- [ 1 ] 符宗斌,王强. 南亚夏季风长期变化中的突变现象及其与全球迅速增暖的同步性. 中国科学(B 辑), 1991, 6: 666—672.
- [ 2 ] 王绍武. 近百年气候变化与变率的诊断研究. 气象学报, 1994, 52(3): 261—273.
- [ 3 ] 施能,陈家其,屠其璞. 中国近100年四个年代际气候变化特征. 气象学报, 1995, 53(4): 531—539.
- [ 4 ] Guo Qiyun. The East Asian monsoon and the Southern Oscillation (1871—1980). The climate of China and global climate. China Ocean press, 1987, 249—255.
- [ 5 ] 王绍武,赵宗慈. 长期天气预报基础. 上海科学技术出版社, 1987. 10—50.
- [ 6 ] 陈隆勋,邵永宁等. 近四十年来我国气候变化实况的初步分析. 应用气象学报, 1991, 2(2): 21—30.
- [ 7 ] 陶诗言,朱文姝,赵卫. 论梅雨的年际变异. 大气科学(特刊), 1988, 13—21.
- [ 8 ] 朱乾根,智协飞. Quasi-biennial oscillation in rainfall over China, Acta Meteor Sinica, 1991, 5(4): 424—434.
- [ 9 ] Rasmusson E M, Wang X and Ropelewski C F. The binnial component of ENSO variability. J Mar Syst, 1990, 1: 71—96.
- [ 10 ] Plaut G, Vautard R. Spells of low-frequency oscillation and weather regimes in the Northern Hemisphere, J Atmos Sci, 1994, 51(2): 210—236.
- [ 11 ] 施能,鲁建军,朱乾根. 东亚冬、夏季风百年强度指数及其气候变化, 南京气象学院学报, 1996, 19(2): 168—177.

- [12] Shi Neng and Zhu Qiagen. An abrupt change in intensity of the East Asian summer monsoon index and its relationship with temperature and precipitation over East China. *International Journal of climatology*, 1996, 16: 717– 764.

## THE SINGULAR SPECTRAL ANALYSIS OF PERIODIC OSCILLATION IN LONG-TERM VARIATION OF EAST-ASIAN MONSOON IN RECENT CENTURY

Xu Jianjun    Zhu Qiagen    Shi Neng

(*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing, 210044*)

### Abstract

Based on sea level pressure data from 1873 to 1990, the East-Asian monsoon intensity index is calculated to discuss the periodic oscillation of East-Asian monsoon long-term variation in recent century by using the method of singular spectral analysis (SSA). The results indicate that the long-term variation in East-Asian monsoon shows the interannual oscillation of the quasi-biennial (QBO) and 3– 6 years (LFO) and the interdecadal oscillation of 16– 18 years (IDO); that these oscillation components exhibit the interdecadal variation, and the QBO is remarkable especially; that the amplitude of QBO in winter monsoon is smaller before 1920s and shows the wavelike changing with greater amplitude of about 12 years and smaller of about 6 years; that the summer monsoon changing is opposite to winter monsoon with about 6 years greater and about 3 years smaller; and that the interdecadal variation in summer monsoon is dominant.

**Key words:** East-Asian monsoon, Interannual and interdecadal, Singular spectral analysis.