

近百年东亚冬季风的突变性和周期性*

徐建军 朱乾根 周铁汉

(南京气象学院, 南京 210044)

提 要

该文利用海平面气压场资料, 计算了 1873~1990 年的东亚冬季风强度指数, 并用滑动 t 检验和奇异谱分析方法 (SSA) 对近百年的东亚冬季风的突变性和周期性进行了研究. 研究表明: 东亚冬季风强度具有显著的年际及年代际变化. 当冬季风强时, 中国大部分地区温度降低, 蒙古高压升高, 阿留申低压加深. 当冬季风弱时, 天气及环流特点几乎与之相反. 东亚冬季风存在 QBO、LFO 和 IDO 现象, 各振荡分量都具有年代际的差别.

关键词: 东亚冬季风 年际变化 年代际变化

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^[1~3]. 为了对未来气候变化作出预测, 显然仅对气候序列的突变性进行分析是不够的, 这是因为就气象要素的时间序列本身而言, 突变是随机的, 是无法作出预测的. 只有找出产生气候突变的真正原因, 通过对影响气候突变的其它因子的分析, 才能达到预测气候变化的目的. 从这个意义上说, 如果同时对季风气候变化的周期性有一个全面的认识, 才能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周期性的. 郭其蕴^[4]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, 夏季还存在 3.5 年、7 年以及 11 年的周期. 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质^[5,6]. 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, 主要原因是研究方法问题, 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)^[7,8]可以弥补以上方法的不足. 本文将依据文献^[9]计算东亚季风强度指数的思想, 运用滑动 t 检验和奇异谱分析方法, 对近百年来东亚冬季风强度变化的突变性和周期性及其周期振荡分量的年际、年代际特点进行分析, 从而对东亚冬季风的长期变化规律有一个全面的认识.

* 国家自然科学基金项目 (49705062) 资助.

1997-06-02 收到, 1997-08-27 收到修改稿.

1 东亚冬季风强度指数

利用英国气象局整理的北半球 1873~1993 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 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$, 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

$$MI_t = \sum_{i=1}^7 (SLP_{1it}^* - SLP_{2it}^*) \quad (1)$$

$$MI_t^* = (MI_t - \overline{MI}) / \sigma_{MI} \quad (2)$$

式中 $\overline{MI}$ 、 σ_{MI} 表示 MI 的平均值与均方差, * 为标准化处理, SLP_{1it}^* 、 SLP_{2it}^* 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. 对冬季风,大陆气压高,海洋气压低,因而指数越大,季风强度越强. 用以上方法,计算出 1873~1993 年的东亚季风指数.

2 东亚冬季风的年际变化及其对应的天气特征

东亚冬季风的强度具有显著的年际变化特征,如果以季风强度指数 ≥ 1.0 为标准,作为划分强、弱季风年的依据,则强冬季风年有:1877,1878,1900,1901,1907,1916,1917,1928,1933,1935,1939,1944,1956,1962,1966,1967,1973,1976,1980,1983 和 1985 年,弱冬季风年有:1873,1886,1889,1896,1905,1915,1918,1921,1923,1930,1936,1937,1938,1951,1958,1965,1968,1972,1978,1982,1987,1988 和 1989 年.

强、弱冬季风相对应的天气现象及其大气环流存在一定差异,根据以上强、弱季风年的划分,进行全国气温与气候平均偏差的合成分析(图 1),结果表明:在强、弱季风年,全国各地区的气温变化几乎完全相反. 在强季风年,东部地区降温平均达 0.7°C ,而西部地区降温在 0.2°C 以下. 在弱季风年,东部地区升温在 0.8°C 以上,而西部却在 0.3°C 以下. 由此可见,冬季风的强弱变化,对中国东部地区的影响较大.

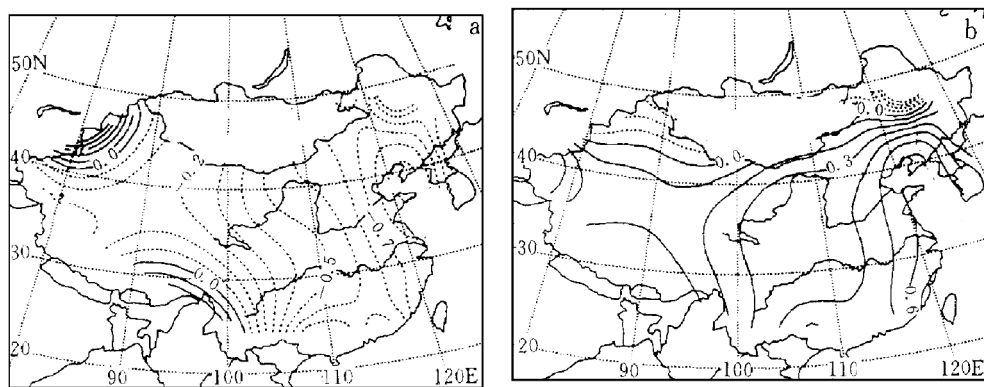


图 1 强、弱冬季风年全国气温与气候平均偏差的合成图

(a)强季风年 (b)弱季风年(实线:正值,虚线:负值,间隔: 0.1°C)

图 2 表示了强、弱冬季风年北半球海平面气压的活动特征. 当强冬季风来临时, 大陆和海洋上的两个大气活动中心都偏强, 在阿留申低压气候平均位置的东南部, 降压幅度最大, 这一方面使阿留申低压向东南方向扩张, 另一方面还使冬季的副热带高压减弱, 有利于热带西风增强、东北信风减弱, 有利于 El Niño 事件的发生. 在大陆上, 蒙古高压明显升高, 其中心位置略偏西. 在弱冬季风年, 海平面气压变化与强冬季风年几乎相反, 两个主要的大气活动中心同时减弱, 在阿留申低压的南部地区气压明显升高, 其东部的副热带高压也升高, 大陆几乎所有地区气压降低, 降低最大地区是蒙古高压经常活动的地区.

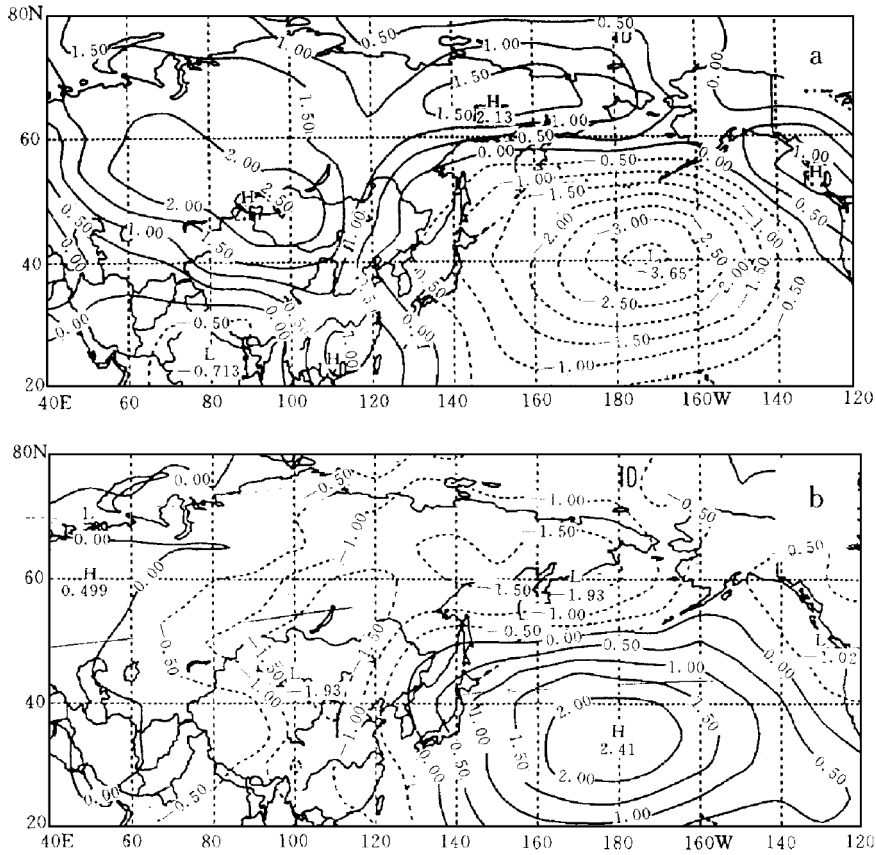


图 2 强、弱冬季风年北半球海平面气压与气候平均偏差的合成图(间隔:0.50hPa)
(a)强季风年 (b)弱季风年

很明显, 冬季风的强弱变化与大气活动中心的强度、位置变化密切相关, 同时可能通过对冬季副热带高压的影响, 对低纬环流产生作用, 从而导致热带海洋系统的异常.

3 东亚冬季风的年代际变化及其气候突变

图 3 给出 1873~1993 年东亚冬季风指数的年际变化, 图中的滑动平均曲线反映出明

显的年代际变化特征. 在近 100 年的时间里, 东亚冬季风经历了几个阶段, 1884~1902 年处于正常时期, 1902~1924 年处于弱的冬季风时期, 1928~1954 年冬季风比前一段时期有所增强, 1958~1982 年处于本世纪最强的冬季风时期, 之后又有所减弱.

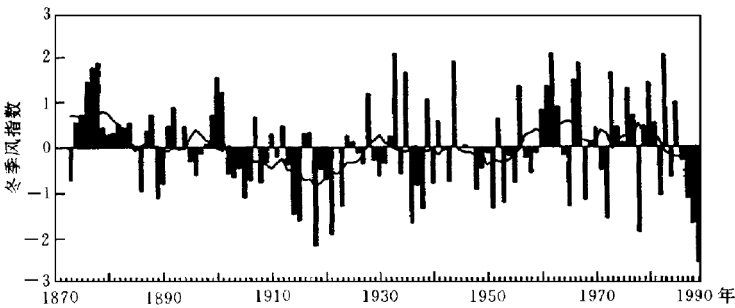


图 3 1873~1993 年东亚冬季风指数的年际变化特征
(直方线是去除变化趋势以后冬季平均的变化特征; 曲线是 11 年滑动平均, 表示年代际的变化趋势)

显然, 冬季风气候具有几次明显的变化. 但并不是任何变化都可以称为“突变”^[1], 所谓“气候突变”指的是气候从一种稳定状态跳跃式进入到另一种稳定状态的现象. 如果不符合这两个基本要求, 即使在时间曲线上显示出很大的变化, 也不能称为“突变”. 为了检测具有突变意义的变化, 这里运用平均差值 t 统计量检验方法, 对冬季风的气候突变作一分析. t 统计量表示如下:

$$t = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{\left[\frac{n_1 s_1^2 + n_2 s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right]^{\frac{1}{2}}}$$

式中 n_1, n_2 分别是两段时间的年数, $n_1 = n_2 = 10$, $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ 分别是后 10 年和前 10 年的平均值, s_2, s_1 是相应的方差.

图 4 表示前后 10 年平均值差值的 t 统计量检验分布特征. 由于自由度为 18, 信度在 0.01、0.001 时的 t 分布临界值分别为 2.878、3.922. 因此, 在数次明显的年代际变化中,

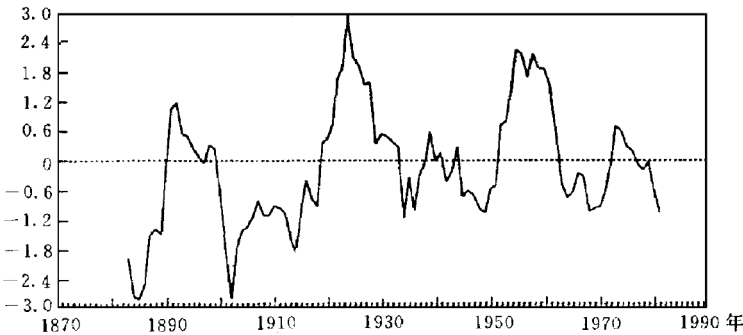


图 4 冬季风强度指数的前后 10 年平均的滑动 t 检验分布
(纵坐标表示 t 统计量)

只有 1924 年的剧增以及 1902 年的剧减,才是气候突变.

4 东亚冬季风突变前后环流变化的特点

图 5 给出 1924 年冬季风强度突变前后的平均海平面气压距平场分布. 图 5 表明,季风突变前后,大气环流发生了非常大的变化,在相对弱的冬季风时期(图 5a)大陆 40°N 以北的大部分地区,气压明显降低,对冬季风活动产生重要影响的蒙古高压显著减弱,相对应的海洋上的气压升高,阿留申低压明显减弱. 而在相对强的冬季风时期(图 5b),海平面气压与前一时期相比,其变化的符号几乎完全相反,这说明季风气候突变是与大气环流的突变紧密相联系的.

1956 年前后虽然季风强度变化较大,但并未发生气候突变,因而与 1924 年气候突变前后的环流变化相比,又具有新的特点. 在 1956 年前的弱冬季风时期,大陆 40°N 以南的气压偏低,40°N 以北气压偏高,海洋上的气压除阿留申群岛西侧的极小区域外,其它大片地区气压偏高. 而在 1956 年后的弱冬季风时期,大陆 35°N 以北地区气压偏高,有利于蒙古高压的维持,海洋上的气压偏低,存在两个明显的低值中心,分别位于阿留申低压的西

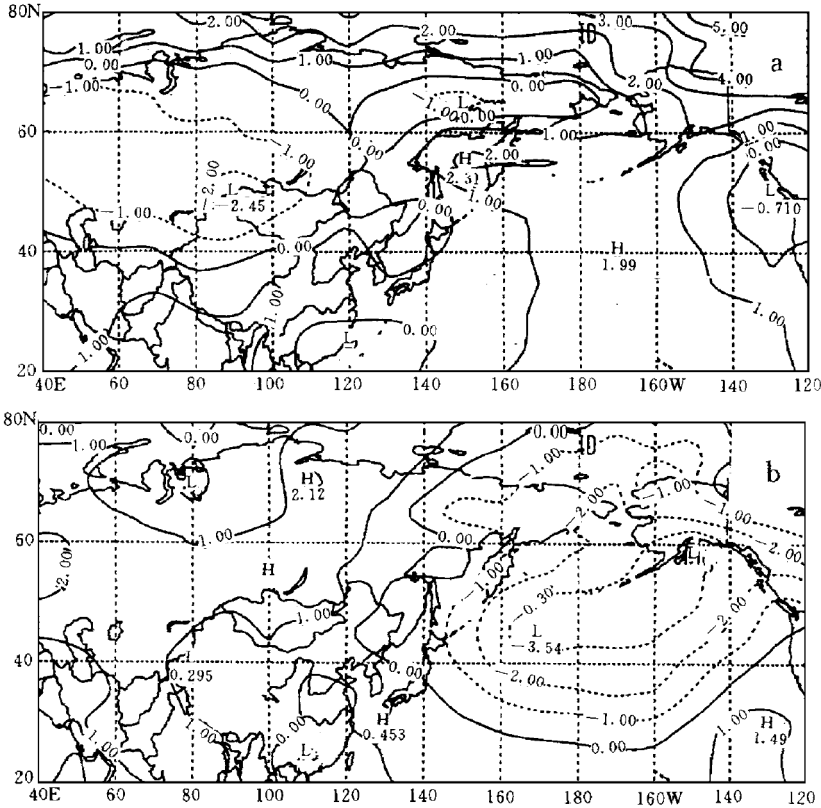


图 5 1924 年冬季风强度突变前后的平均海平面气压距平场分布
(a)1902~1923 年 (b)1924~1934 年

部和东南部.

显然,在 1956 年前后,环流的变化不具突变性,这也进一步证实了,季风突变和环流突变同步发生.但如果不是突变,即使有较大的变化,环流变化也不具有突变的特点.

5 东亚冬季风奇异谱特征分析

(1) 东亚冬季风长期变化中的主周期振荡模态

对东亚冬季风强度指数进行奇异谱分解,前 8 个特征向量($T-EOF_s$)表示了 4 个主要周期振荡模态,它们总拟合率为 40.9%.其中第一特征向量($T-EOF_1$)和第六特征向量($T-EOF_6$)表示准两年周期振荡(QBO)模,它们分别占总方差的 5.8%和 4.8%;第二特征向量($T-EOF_2$)和第三特征向量($T-EOF_3$)表示 5~6 年的周期振荡模,分别占总方差的 5.7%和 5.5%;第四特征向量($T-EOF_4$)和第五特征向量($T-EOF_5$)表示 3~4 年的周期振荡模,分别为总方差的 5.2%和 5.0%;第七特征向量($T-EOF_7$)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($T-EOF_8$)反映了 15~18 年的 10 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,还存在两年、3~4 年、5~6 年的年际周期振荡模态和 15~18 年的年代际周期振荡模.

(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 $T-EOF_1$ 和 $T-EOF_6$ 合并,重建为 QBO 分量,将 $T-EOF_2$ 、 $T-EOF_3$ 、 $T-EOF_4$ 和 $T-EOF_5$ 合并,重建为 LFO 分量, $T-EOF_7$ 重建的序列为长期变化趋势, $T-EOF_8$ 重建的序列为 IDO(Interdecadal Oscillation)分量.

图 6 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 6a).在 1914 年之前,QBO 的振幅较小,年代际变化不明显.但这以后 QBO 的振幅有较大的增长以外,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,分别为 1915~1931 年、1932~1949 年、1950~1967 年和 1968~1990 年.每个阶段前 12 年是有规则的两年周期变化,后近 6 年的 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 分量的振幅变化具有年代际的阶段性.

LFO 的变化(如图 6b)不仅表现在振幅上也表现在周期上.由图可见,在本世纪 60 年代以前 LFO 的周期以 5~6 年为主,而 60 年代以后却以 3~4 年的周期为主,且振幅加大.这一现象说明季风的 LFO 分量周期变化的不规则性.

10 年际周期振荡(IDO)分量(图 6c)除表现出 15~18 年的周期变化以外,还表现出由弱冬季风向强冬季风增长的趋势.

长期变化的趋势曲线(图 6d)表明:在本世纪以前,冬季风较强,到 1920 年是冬季风最弱的阶段,从 20 年代初到 50 年代末冬季风有所加强,60 和 70 年代是本世纪冬季风最强的时期,到了 80 年代冬季风又有所减弱.

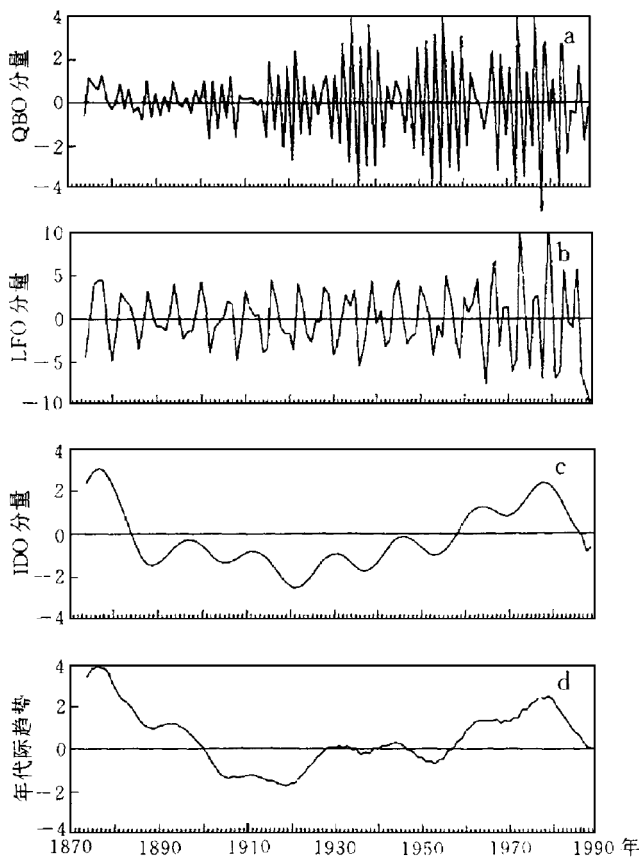


图 6 东亚冬季风主周期振荡模的重建序列
(a)QBO 分量 (b)LFO 分量 (c)IDO 分量 (d)长期变化趋势
(纵坐标表示周期振荡模振幅)

6 小 结

- (1)东亚冬季风强度具有显著的年际及年代际变化. 其强弱异常与一定的天气现象及大气环流相对应;当冬季风强时,中国大部分地区温度降低,并且以东部地区特别显著;其对应的大气活动中心增强,蒙古高压升高,阿留申低压加深. 当冬季风弱时,天气及环流特点几乎与之相反.
- (2)近百年来东亚冬季风经历了 4 个主要的年代际变化时期,1884~1902 年为正常期,1902~1924 年为弱季风期,1928~1954 年为正常期,1958~1982 年为强季风期. 在多处显著的变化中,只有 1902 年和 1924 年才是真正的气候突变. 冬季风突变与大气环流的突变相对应,而一般的年代际异常,所对应的环流就不具有这样的特点.
- (3)东亚冬季风存在着 QBO(准两年)、LFO(3~7 年)和 IDO(10 年以上)现象,且各

振荡分量的振幅在 20 年代以后有增长的趋势. QBO 分量的振幅具有大小相间的波状变化特征, 呈 12 年大振幅和 6 年小振幅的波状周期变化. 年际振荡所占比重比年代际振荡要大.

参 考 文 献

- 1 符淙斌, 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. Beijing: China Ocean Press, 1987. 249~255.
- 5 陶诗言, 朱文妹, 赵卫. 论梅雨的年际变异. *大气科学(特刊)*, 1988: 13~21.
- 6 朱乾根, 智协飞. Quasi-biennial oscillation in rainfall over China. *A. M. S.*, 1991, **5**(4): 424~434.
- 7 Rasmusson E M, Wang X and Ropelewski C F. The binnial component of ENSO variability. *J. Mar. Syst.*, 1990, (1): 71~96.
- 8 Plaut G and Vautard R. Spells of low-frequency oscillation and weather regimes in the Northern Hemisphere. *J. Atmos. Sci.*, 1994, **51**(2): 210~236.
- 9 Shi Neng and Zhu Qiangen. An abrupt change in intensity of the East Asian summer monsoon index and its relationship with temperature and precipitation over East China. *Int. J. Climatol.*, 1996, **16**: 717~764.

SUDDEN AND PERIODIC CHANGES OF EAST ASIAN WINTER MONSOON IN THE PAST CENTURY

Xu Jianjun Zhu Qiangen Zhou Tiehan

(*Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044*)

Abstract

Based on mean sea level pressure(MSLP) data, the East Asian winter monsoon intensity indexes were calculated from 1873 to 1990. The sudden and periodic changes of East Asian winter monsoon were studied by the method of sliding t-test and singular spectral analysis(SSA). The results show that East Asian winter monsoon intensity displays obvious interannual and interdecadal variations. When winter monsoon increases, the temperature in the most regions of China decreases. Mongolian high raises and Aleutian low deepens, and reverse in weak winter monsoon year. Meanwhile, East Asian winter monsoon shows quasi-biennial oscillation(QBO), low frequency oscillation (3~7 years) and interdecadal oscillation(more than 10 years). These three periodic oscillations appear to have strong interdecadal variability.

Key words: East Asian winter monsoon Interannual variation Interdecadal variation