

东亚冬季风及其影响的进一步研究

I. 东亚冬季风变化及异常的特征

裴顺强^{1, 3} 李崇银^{1, 2}

1 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室, 北京 100029

2 解放军理工大学气象学院, 南京 211101

3 中国气象局北京华风气象影视信息集团, 北京 100081

摘要 东亚冬季风是北半球冬季最活跃的大气环流系统, 其活动有重要影响, 其向南爆发可以越过赤道对澳大利亚夏季风起作用。但相对夏季风, 人们对东亚冬季风的研究一直较少。作者首先利用 Hadley 中心近百年的北半球海平面气压场资料, 改进提出了一个能更好表征东亚冬季风强度的指数, 进一步分析研究了东亚冬季风的年际和年代际变化及其异常特征。其结果表明, 东亚冬季风不仅存在着明显的年际变化, 主要有准两年的振荡周期和 5~7 年左右的周期, 还存在周期为 25~30 年左右以及周期为十几年的年代际变化。利用 NCEP/NCAR 再分析资料, 采用相关分析、合成分析的方法, 还系统研究了东亚冬季风异常时的大气环流特征。对比分析表明, 对应强、弱东亚冬季风, 大尺度环流系统(蒙古高压、阿留申低压、500 hPa 位势高度场等)的变化特征基本上呈反相分布; 并且在强、弱东亚冬季风年, 赤道地区的 Hadley 环流和 Walker 环流也出现基本反相的异常分布特征; 而且赤道西太平洋有西(东)风异常出现, 菲律宾以东有异常气旋(反气旋)性环流。在对异常东亚冬季风诊断分析的基础上, 用一个大气环流模式(GCM)模拟了异常东亚冬季风的活动。通过对数值模拟结果的强、弱东亚冬季风进行对比分析发现, 在强、弱东亚冬季风时, 北半球中高纬度大气环流的结构会出现明显的变化和调整; 同时, 热带地区大气环流也有显著的差异。数值模拟和资料分析结果有较好的一致性, 从而进一步揭示了东亚冬季风的变化和异常特征。

关键词 东亚冬季风 年际和年代际变化 强度异常及特征 数值模拟

文章编号 1006-9585 (2007) 02-0124-13 **中图分类号** P448 **文献标识码** A

A Further Study on the East-Asian Winter Monsoon and Its Influences

Part I. Features of Variation and Anomaly

PEI Shun-Qiang^{1, 3} and LI Chong-Yin^{1, 2}

1 *State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*

2 *Meteorological College, PLA University of Science and Technology, Nanjing 211101*

3 *Beijing Huafeng Group of Meteorological Audio and Video Information, China Meteorological Administration, Beijing 100081*

Abstract The East-Asian winter monsoon is the most active atmospheric circulation system in the Northern Hemisphere winter; its southward burst can cross the equator and affect the Australia. In this process, it can result in the interactions between the mid-latitude and tropical atmospheric circulation over Asian monsoon area. With this

收稿日期 2006-01-17 收到, 2006-12-26 收到修定稿

资助项目 中国科学院创新项目 ZKCX3-SW-226

作者简介 裴顺强, 男, 1979 年出生, 硕士, 主要从事季风及气候变化研究。E-mail: peisq0610@gmail.com

focus, we will specifically aim at better understanding the atmospheric circulation characteristics corresponding to the East Asian winter monsoon anomaly and understanding their impacts on global atmospheric circulation, weather and climate.

Firstly, an intensity index to represent the East Asian winter monsoon (EAWM) was defined at first by using the Northern Hemisphere sea level pressure data of the Hadley Center and compared it with that defined by using the meridional wind at 850 hPa, then the interannual and interdecadal variations of the EAWM, and their anomalous features are investigated further through the data analyses. The results show that the EAWM exists not only clear interannual variations with the quasi-biannual and about 5—7 years periods mainly, but also interdecadal variations with 25—30 years and more than 10 years periods. According to the defined intensity index and the NCEP/NCAR reanalysis data, we used the correlation analyses and composite analyses to systematically study anomalous features of the atmospheric circulation associated the strong and weak EAWM anomaly. The comparison analyses show that for the strong/weak EAWM, there are opposite distributions of large-scale circulation systems (such as the Mongolia High, the Aleutian Low, and 500 hPa geopotential height pattern). And for the strong/weak EAWM cases, The Hadley circulation and Walker circulation is opposite in the tropics; the zonal wind over the equatorial western Pacific has different anomalies.

Furthermore, based on the data analyses on the anomalous EAWM, a General Circulation Model (GCM) numerical simulation on anomalous features of the EAWM is completed by using the SAMIL model developed in the State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences. The simulation results show that a well climatology mean atmospheric circulation pattern and some systems at the upper troposphere and lower levels in wintertime is simulated. The simulations of strong/weak EAWM cases show that the atmospheric circulation patterns in the middle-high latitude have obvious change and adjustment, associated with the strong/weak EAWM. Also, tropical atmospheric circulation exists clear difference in the strong/weak EAWM. These simulated results are similar with the data analyses, so the features of variation and anomaly of the EAWM are revealed and determined further.

Key words East-Asian winter monsoon, interannual and interdecadal variations, intensity anomaly and feature, numerical simulation

1 引言

季风环流是全球大尺度大气环流系统的一个重要组成部分, 它是由于太阳辐射随季节的变动以及海陆热力差异所造成的冬、夏气流反向的区域性大气环流系统。亚洲是世界上最大的大陆, 它的南面和东面都是海洋, 因此形成了世界上最典型的季风区。亚洲季风既有典型的夏季风, 也有典型的冬季风。关于亚洲夏季风, 我国学者 Tao 等^[1], 以及 Zhu 等^[2]等的研究表明, 它是由相互联系又相互区别的南亚(印度)夏季风和东亚夏季风两个子系统所组成。其后, 有关亚洲夏季风, 特别是有关东亚夏季风的研究进行的比较多, 对于它的爆发、活动及其异常人们已有相当的认识。

在北半球冬季, 与西伯利亚冷高压活动相联

系的东亚冬季风也是极其重要的^[3~5]。冬季风的活动不仅对东亚及西太平洋地区有重要影响, 也对全球大气环流的变化起重要作用。例如东亚冬季风的活动及异常会影响到马来西亚、印度尼西亚、澳大利亚等地旱涝的发生^[6,7]; 也会影响热带西太平洋地区的对流活动及那里的降水^[8,9]。近些年来, 人们还发现中国夏季的旱涝天气常常与前冬的大气环流异常也有很好的关系, Liu 等^[10]给出了冬季特定的环流型与中国东部来年春季降水之间的很好的相关, Sun 等^[11]和孙淑清等^[12]也发现夏季江淮流域的旱涝天气, 可以追溯到其前冬大气环流形势的异常, 东亚冬季风的异常能引起全球特别是中低纬度大气环流的变化, 并可以明显影响未来的环流和天气。Ji 等^[13]的数值模拟研究也证实了东亚冬季风对全球大气环流的影响, 以及这种影响所产生的大气环流的隔季相关。

东亚冬季风不仅在全球大气环流变化中有重

要的作用,李崇银等^[14,15]的研究认为强东亚冬季风的频繁活动是 El Niño 发生的启动机制之一,并根据观测资料和理论工作分析了 El Niño 与东亚冬季风的相互作用,指出 El Niño 事件发生前的冬半年里,东亚高空槽和地面寒潮的活动既强且频繁;而强东亚冬季风产生的赤道西风异常会削弱赤道西太平洋地区的信风,并加强那里的积云对流活动,它们都对 El Niño 的发生起着重要的作用^[16~18];陈隽等^[19]也研究了东亚冬季风与全球大气环流变化的关系及对海表温度场的影响。此后,Chen 等^[20]在此研究方向上用 NCEP/NCAR 再分析资料进行了较为深入的工作,并得到了一些有意义的结果。最近,李巧萍等^[21]还用区域气候模式模拟了东亚冬季风的平均特征。

因此,东亚冬季风的活动及异常不仅对东亚地区有重要影响,而且对全球大气环流和气候系统也有重要作用,因此,全面深入地认识和了解东亚冬季风及其变化规律,有重要科学和实际应用意义。

本文首先将通过对 NCEP/NCAR 再分析资料及其他数据资料的诊断分析,进一步揭示东亚冬季风的活动及异常特征。同时,还通过 GCM 的数值模拟,研究异常东亚冬季风情况下的大气环流形势,进一步确证了资料诊断分析的结果。

2 资料说明

本文所用资料包括 NCEP/NCAR 再分析资料的逐月及逐日的 500 hPa 位势高度场、海平面气压场、12 层垂直速度场、850 和 200 hPa 风场资料(1948 年 1 月~2003 年 12 月);美国 NOAA 系列极轨卫星携带的高分辨辐射仪(AVHRR)得到的 OLR(Outgoing Long-wave Radiation)资料,由于该资料 1978 年的大部分数据缺测,为研究方便,本文只选取 1979 年 1 月 1 日~2003 年 12 月 31 日的资料;英国 Hadley 中心的北半球月平均海平面气压资料(1899 年 1 月~1997 年 12 月);以及美国 NOAA/CMAP(CPC Merged Analysis of Precipitation)提供的全球降水场格点资料,该资料是由全球雨量计观测资料和 5 颗气象卫星降水反演资料再加上数值模式订正综合而成的降水资料(也即 Xie-Arkin 降水资料),资料长

度为 1979 年 1 月~2002 年 12 月。其中,除了 Hadley 中心的海平面气压场资料的经纬度网格是 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 外,其他资料的经纬度网格均为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

需要说明的是,本文中提到的冬季和夏季均以北半球为准,冬季是指当年 12 月和次年 1、2 月的平均状态,夏季则是指当年的 6~8 月的平均状态。

3 东亚冬季风的活动及变化特征

东亚冬季风在低层是与西伯利亚冷高压相联系的强东北气流,在高层则对应位于中国大陆东海岸的强东亚大槽。一般,如果东亚大槽加深并向南推进,则槽后西北气流加强,将引导极地冷空气向南爆发,也即东亚冬季风加强。

东亚冬季风活动的最主要特征是寒潮的爆发和冷涌的建立,冷涌是当中、高纬度冷空气突然向南爆发,在中国东部、南海和西太平洋地区引起的低层偏北风加强和地面气温突然降低的现象;但冷涌的本质是亚洲大地形所产生的一种“类 Kelvin 波”的重力波^[22]。东亚冬季风爆发以冷涌的形式向赤道地区推进,在低纬度地区引起强的辐合和对流活动,但强、弱东亚冬季风在低纬度地区引起的大气环流异常是明显不同的。不同的大气环流异常也明显反映在经向 Hadley 环流和纬向 Walker 环流上。在强东亚冬季风年,不仅由于中纬度冷空气爆发带来的下沉气流的加强,而且由于热带地区对流加剧而使得 Hadley 环流上升支也大为加强,其结果是强年 Hadley 环流比弱冬季风年的 Hadley 环流强、且结构更为清晰。同样, Walker 环流也有类似的特征,赤道西太平洋的上升支和东太平洋地区的下沉支,以及相应的高空西风和地面东风(信风)都是强东亚冬季风年强于弱东亚冬季风年。

3.1 东亚冬季风强度指数

为了较深入、定量地研究东亚冬季风的变化规律,对强、弱东亚冬季风年需要有较一致的认识,因此,定义一个能够准确反应东亚冬季风强度变化的东亚冬季风强度指数是十分必要的。过去,郭其蕴^[23]利用 110°E 和 160°E 间海平面气压差定义了东亚夏季风强度指数;而后,施能等^[24]

引入标准化处理方法改进了郭其蕴的定义, 并计算了 1873~1989 年的东亚冬、夏季风强度指数。本文将东亚冬季风的强度指数序列延长到 2003 年, 为使结果更有代表性, 我们依据区域平均的结果来定义东亚冬季风强度指数。

依据 NCEP/NCAR 的 850 hPa 风场资料, 我们选择了一个能较好反映东亚冬季风南下的关键区域, 即 BOX1 (20~30°N, 120~150°E), 用这个区域平均的经向风距平 (标准化) 来表征东亚冬季风的强弱, 得到了 1948~2003 年冬季逐月的经向风异常时间序列, 其实也就是一种东亚冬季风指数序列。这个指数很好地直接反映了冬季风的偏北风特征, 经向风异常也就是冬季风的强弱异常, 将这个序列与全球冬季的海平面气压异常做同期相关, 可以得到同期相关系数的分布, 如图 1 所示。从图 1 可以看出, BOX1 区域平均的经向风距平与全球海平面气压异常有很好的相关关系, 最大正相关中心的值达到 0.6 左右, 而最大负相关中心的值也达到 -0.4 左右; 且相关系数的分布在一定程度上反映了东亚冬季风系统的特征。因为资料长达 55 年, 在图 1 中, 数值大于 0.25 其信度已超过 95%。

不仅经向风可以反映东亚冬季风的活动, 东亚大陆与西北太平洋的海平面气压差也是东亚冬

季风活动的重要特征。从图 1 中可以清楚看到, BOX1 区域平均的经向风距平来表示东亚冬季风的强度有直接的物理意义, 而用 BOX2 (20~45°N, 110~120°E) 和 BOX3 (20~45°N, 150~160°E) 区域平均的海平面气压差来表示东亚冬季风的强度也有明显的物理意义。而且由于海平面气压资料有较长的时间, 所定义的指数有利于进行年代际变化的研究。这样, 依据 Hadley 中心的北半球月平均海平面气压场资料, 我们可以用 BOX2 区域平均的标准化海平面气压差减去 BOX3 区域平均的标准化海平面气压差, 然后对结果再进行一次标准化处理作为东亚冬季风的强度指数。即

$$I_t = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (p_{1ijt}^* - p_{2ijt}^*), \quad (1)$$

$$I_t^* = (I_t - \bar{I}) / \sigma_1, \quad (2)$$

式中, $\bar{I}$ 、 σ_1 表示 I 的平均值与方差; 上角 * 表示标准化处理; m 、 n 分别表示这两个区域纬向和经向上的格点数; p_{1ijt}^* 、 p_{2ijt}^* 分别表示区域 BOX2 和 BOX3 内第 i 个纬度带, 第 j 个经度带上第 t 年的标准化海平面气压值。显然, 对冬季风而言, 大陆气压高, 海洋气压低, 因而上计算的强度指数越大, 表示冬季风越强。

用 NCEP/NCAR 的逐月的海平面气压资料,

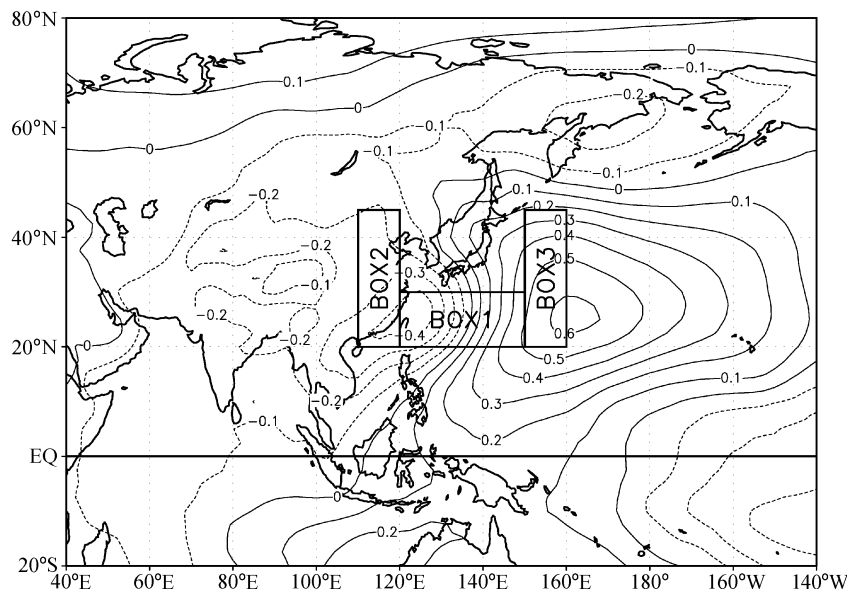


图 1 1948~2003 年冬季 (DJF) BOX1 区域平均的 850 hPa 经向风异常与全球海平面气压异常同期相关系数分布

Fig. 1 The simultaneous correlation coefficient between the area-averaged meridional wind anomaly at 850 hPa over BOX1 and the global sea level pressure (SLP) anomaly in wintertime (DJF) during 1948—2003

按上述办法也可以计算出 1948~2003 年的东亚冬季风强度指数；这个指数与用 850 hPa 风场资料所计算得到的指数的比较如图 2 所示，它们之间也有很好的负相关。

为了验证数据的有效性，我们还对用 NCEP/NCAR 的 850 hPa 风场资料所计算的指数与用 Hadley 中心的月平均海平面气压资料所计算的季风强度指数在共有的时间段（1948~1997 年）做了相关性检验，这两个季风强度指数序列的相关系数高达 -0.82 ，相关性很好。这样一来，在进行年代际变化的研究时，就可以利用由 Hadley 中心的海平面气压场资料所得到的季风强度指数。

需要特别指出，本文用地面气压要素来定义东亚冬季风强度指数有利于做年代际变化研究，同用经向风要素定义东亚冬季风强度指数一样有明确的物理意义。但由于有关大气环流的资料只有 1948 年以后的，在下面的分析中也

只好用 1948 年以后的资料来揭示强、弱东亚冬季风所对应的大气环流特征。另外，无论本文哪个指数与已有的指数^[24,25]相比较都有大致相近的时间变化特征。

3.2 东亚冬季风的年际及年代际变化

图 2 给出了东亚冬季风强度指数的年际变化，从图 2 可以看出，东亚冬季风的强度具有显著的年际变化及年代际变化的特征，要研究这些特征需要较长的时间序列。为此，我们用英国 Hadley 中心的北半球 1899~1997 年逐月平均海平面气压资料，按照上面的方法计算得到了一组更长时间的东亚冬季风强度指数序列。图 3 给出了这个东亚冬季风强度指数序列的小波分析的结果，因为有 98 年的资料长度，图 3 中除左上角和右上角的一块边界区域外，其他部分都超过 95% 的信度。它表明东亚冬季风强度指数具有准两年振荡周期和 5~7 年、9~11 年、15 年以及 30 年左右的准周期变化特征。对于年代际变化特征，图 3 表示

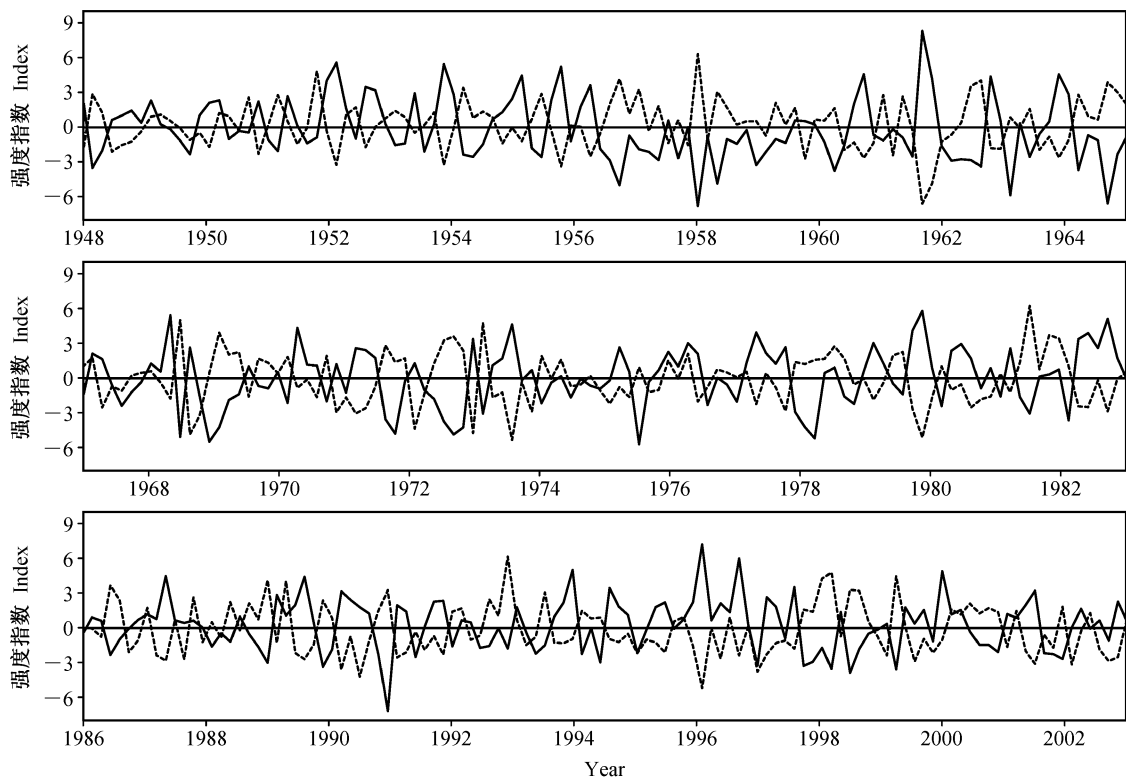


图 2 用区域平均的 BOX2-BOX3 海平面气压之差（实线）和用 BOX1 区域平均的 850 hPa 经向风异常（虚线）所定义的东亚冬季风强度指数的时间变化

Fig. 2 The intensity index of the East Asian winter monsoon (EAWM) defined by the area-averaged sea level pressure (SLP) difference between BOX2 and BOX3 (solid) and the area-averaged meridional wind anomaly at 850 hPa over BOX1 (dashed)

的十分清楚；尤其有一点需要特别指出的是，在 1950 年之前，15 年和 30 年左右的周期变化比较明显；而在 1950 年以后，这两个周期变化一致趋向于一个 20~25 年的准周期变化，还有一个弱的 9~11 年的准周期变化。

为了更清楚地表示东亚冬季风强度指数的年代际变化特征，图 4 中的曲线给出了经 11 年滑动平均的结果，曲线反映出明显的年代际变化特征。在近 100 年的时间里，东亚冬季风也经历了几个

阶段，1902 年之前，东亚冬季风基本偏强，之后东亚冬季风持续减弱；从 1902~1930 年基本处于弱的东亚冬季风时期，只是在 1917 年前后出现短暂的东亚冬季风加强现象，但是加强的幅度并不大。1930~1935 年东亚冬季风比前一段时期有所加强，然后东亚冬季风又开始减弱，并一直持续到 1955 年，这一段时期处于 20 世纪最弱的东亚冬季风时期。1958~1968 年以及 1973~1987 年东亚冬季风都比较强，基本可以说是本世纪最强的

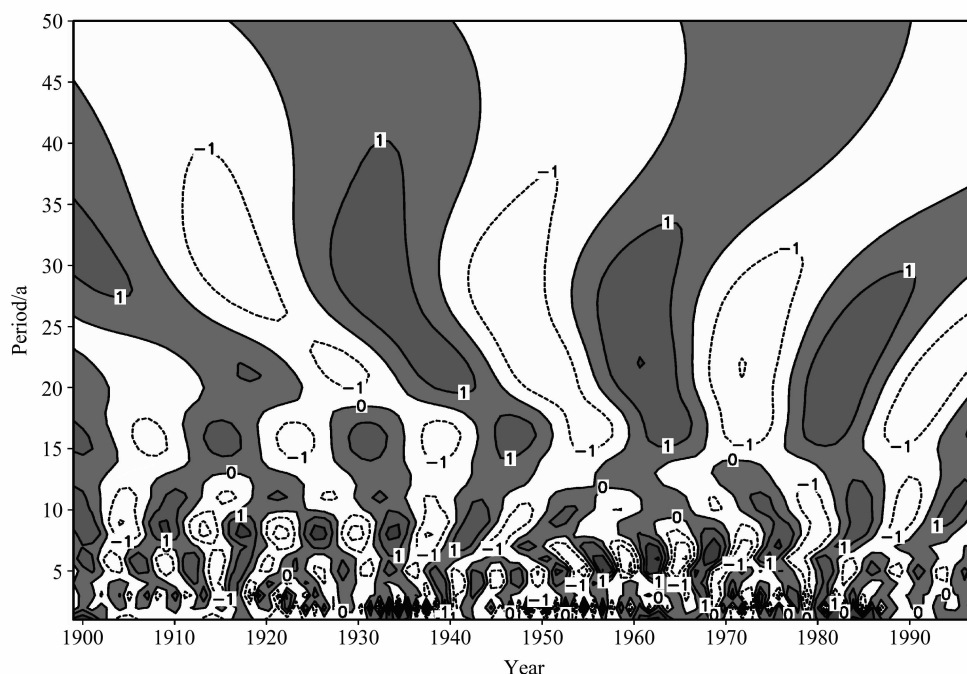


图 3 1899~1997 年东亚冬季风强度指数的小波分析

Fig. 3 The wavelet analysis of the intensity index of the EAWM during 1899—1997

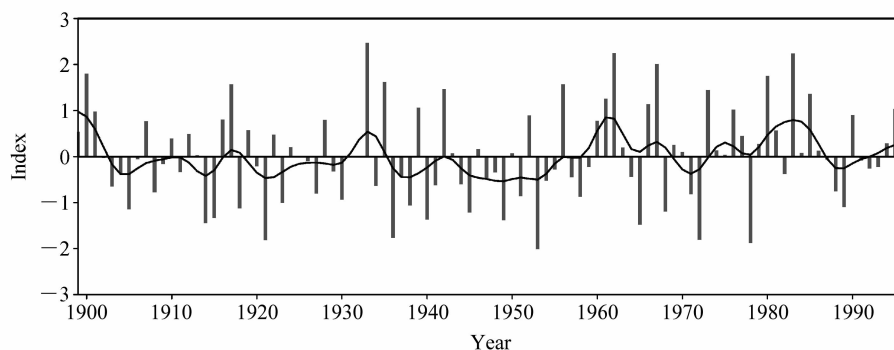


图 4 1899~1997 年东亚冬季风强度指数的年代际变化（直方图是冬季风强度指数，曲线是 11 年滑动平均结果）

Fig. 4 The interdecadal variation of the intensity index of the EAWM during 1899—1997 (the intensity index of the EAWM is shown by the bar, and the solid line represents the 11-year running mean). The length coordinate is the intensity index defined by the difference of the sea level pressure

东亚冬季风时期；其后，东亚冬季风又有所减弱，基本处于近乎正常状态。

相对来讲，东亚冬季风年变化的主要周期是 2 年和 5~7 年，年代际变化的主要周期是 9~11 年和 25~30 年。根据已有的研究结果，其变化的机理可初步认为：东亚冬季风的 2 年和 5~7 年的准周期变化主要是与 ENSO 的相互作用和 ENSO 的影响所致^[26,27]，而 9~11 年和 25~30 年的准周期变化可能主要受到北太平洋海温年代际变化的影响^[28]。无论图 2 或图 3 都表明，近几年来东亚冬季风活动较为平常，无很强或很弱的情况，但在温度上反映为弱东亚冬季风的特征（冬季气温偏高），这是否与全球变暖有一定关系，尚待研究。

4 强、弱东亚冬季风年大气环流形势的对比分析

为研究强、弱东亚冬季风年大气环流的差异，我们以东亚冬季风强度指数的一个标准差 (σ_1)

为标准，用东亚冬季风强度指数的绝对值 $\geq \sigma_1$ 来划分强、弱东亚冬季风年。将指数 $> \sigma_1$ 的年份定义为强东亚冬季风年， $< \sigma_1$ 的年份定义为弱东亚冬季风年，因大气环流形势的分析只能用 NCEP/NCAR 再分析资料，故这里的分析只好选 1948 年以后的个例。这样，强东亚冬季风年包括 1952、1954、1955、1962、1967、1973、1976、1980、1983、1985、1995 和 1999 年，共 12 年；弱东亚冬季风年为 1957、1958、1965、1968、1971、1972、1978、1989、1997 和 2000 年，共 10 年。对上述 12 个强东亚冬季风年和 10 个东亚弱冬季风年分别进行合成分析，即可看到强、弱东亚冬季风所对应的大气环流形势的不同特征。下面仅就海平面气压场的特征、500 hPa 环流形势特征及 850 hPa 水平风场的特征进行分析讨论。

4.1 海平面气压场的特征

强、弱东亚冬季风所对应的天气现象及其大气环流形势都存在一定的差异，图 5 分别表示强、弱东亚冬季风年北半球海平面气压场的异常特征。

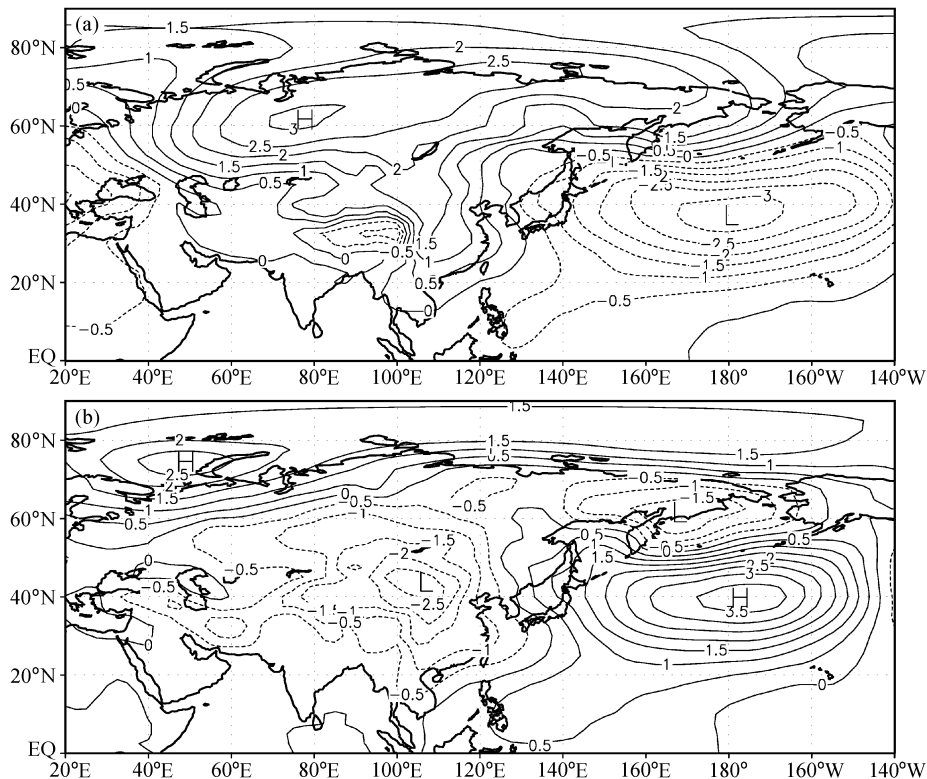


图 5 强、弱东亚冬季风年北半球海平面气压距平合成 (单位: hPa): (a) 强冬季风年; (b) 弱冬季风年

Fig. 5 The composite of the SLP departure at the Northern Hemisphere of (a) the strong winter monsoon year and (b) the weak winter monsoon year (units: hPa)

在强东亚冬季风年, 大陆上为气压正异常, 海洋上则为负异常, 大陆和海洋上的两个大气活动中心都显著偏强。在海洋上, 阿留申低压向东南方向扩张, 使得冬季的副热带高压偏弱, 有利于热带东北信风减弱; 在大陆上, 蒙古高压也明显偏强, 其强度中心的位置也偏西。在弱东亚冬季风年, 海平面气压的变化情况与在强东亚冬季风年几乎反相, 大陆上为负异常, 并且出现两个降压比较大的地区, 一个就是蒙古高压经常活动的地区, 另一个在俄罗斯东部地区; 在海洋上为正异常, 且阿留申低压的南部地区气压偏高, 副热带高压也偏强。很明显, 东亚冬季风的强、弱变化不只是一个局地变化现象, 东亚冬季风的强、弱变化与大气活动中心的强度、位置变化也密切相关。

4.2 500 hPa 环流形势特征

图 6 给出的是 500 hPa 高度场的冬季平均状况及强年减弱年的差值。由图可见, 在中高纬度环流系统中, 正差值基本叠加在脊区的平均位置之上, 负差值则对应槽区, 即在强东亚冬季风年的欧洲大陆槽、乌拉尔高压、东亚大槽、太平洋高压脊、北美大槽以及太平洋低纬度的副热带高压均较强; 特别是在东亚地区, 环流的经向度很大, 有利于冷空气南下和北风偏大。而在弱东亚冬季风年, 高度负距平将出现在脊区、正距平出

现在槽区, 环流的经向度变小, 不利于冷空气的向南爆发。

4.3 850 hPa 水平风场特征

图 7 分别是强东亚冬季风年和弱东亚冬季风年的 850 hPa 冬季水平风场距平合成, 比较图 7 的 a、b 可以发现, 强、弱东亚冬季风对应着截然不同的对流层低层大气环流场。在强东亚冬季风年, 850 hPa 上我国东部及其以东的邻海地区盛行偏北风; 欧亚大陆中部以北为强大的反气旋性异常环流, 北太平洋上为强大的气旋性异常环流, 表明乌拉尔的阻塞高压和北太平洋的阿留申低压均偏强。强冬季风年, 由于中高纬地区环流经向度大, 东亚大槽偏深, 有利于冷空气南下, 从亚洲大陆东部到南海地区都有异常偏北风。而在弱东亚冬季风年, 则基本上呈现出与上述特征相反的趋势。显然, 这些结果说明本文所定义的东亚冬季风强度指数可以清晰地反映东亚冬季风活动的上述特征。

5 异常东亚冬季风的数值模拟

5.1 数值模式及试验

前面的分析表明, 东亚冬季风的爆发是大尺度大气环流相互调整的结果, 东亚冬季风变化与全球大气环流的异常密切相关。为了进一步探讨

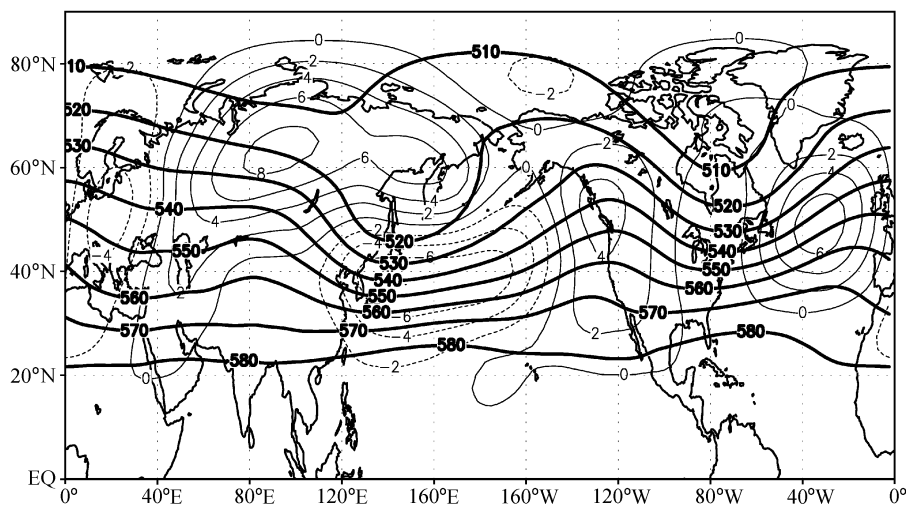


图 6 500 hPa 位势高度场的冬季平均状况及强年减弱年的差值 (单位: dagpm) 分布 (粗实线: 多年平均, 细实线: 强减弱的正距平, 细虚线: 强减弱的负距平)

Fig. 6 The climate mean of winter geopotential height (thick line) and the difference between the strong winter monsoon year and the weak year (thin line) (units: dagpm)

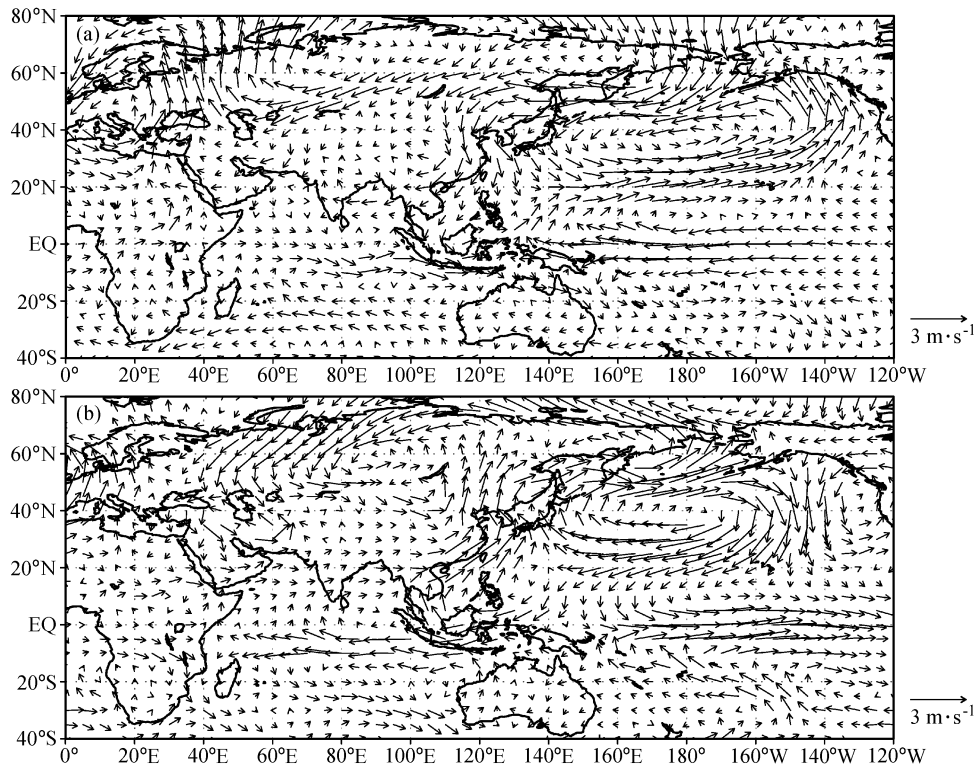


图7 强、弱东亚冬季风年冬季 850 hPa 水平风场距平合成: (a) 强冬季风年; (b) 弱冬季风年
Fig. 7 Same as Fig. 5, but for the winter wind filed at 850 hPa

东亚冬季风的活动特征, 本文用中国科学院大气物理研究所 (IAP) 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室 (LASG) 开发的大气环流谱模式 (SAMIL-Spectral Atmospheric Model of IAP LASG), 对前面诊断分析的相关结果进行了数值模拟试验研究。该模式是一个菱形 42 波、垂直 9 层的 σ 坐标谱模式 (R42L9), 它对东亚气候有较好模拟能力, 已在不少气候研究中应用^[29]。

模式模拟以 1978 年 1 月 1 日的大气环流状态作为初始场, 稳定积分 15 年, 取模式第 14 年的 12 月和 15 年的 1 月和 2 月作为对照试验 (CTL); 敏感性试验是以模式第 14 年的 12 月 1 日为初始场, 并在选择区域 (30~50°N, 110~140°E) 加上异常风的强迫来模拟东亚冬季风异常的特征。所加异常强迫风场是利用本文前面分析的强、弱东亚冬季风年大气环流异常的合成结果, 强冬季风试验中, 在选择区域有异常北风, 弱冬季风试验中, 在选择区域有异常南风。在强 (弱) 冬季风的模拟试验的前 3 个月, 每月有两次强 (弱) 冬季风的强迫引入, 每次持续的时间约为一周,

积分 3 个月后就除去异常的风场强迫, 再继续积分到 4 月, 把其结果作为与强 (弱) 东亚冬季风相联系的大气环流状态。由于模式积分的时间尺度仅为 5 个月, 而该模式的模拟能力在实际中已经得到比较充分的检验^[30], 这里没有用集合试验的办法。

5.2 模拟试验结果的分析

本文对照试验 (CTL) 的结果与 NCEP/NCAR 再分析资料相比较, 虽然有一些差异, 但无论是海平面气压场, 还是 850 hPa 流场和 500 hPa 高度场, 模式的模拟结果都能基本反映实际大气环流的形势和特征。

5.2.1 海平面气压场

海平面气压 (SLP) 是表征大气模式模拟能力的重要指标。它是大气热力作用和动力作用的综合产物。图 8 给出了冬季北半球海平面气压的 55 年 (1948~2003 年) NCEP/NCAR 再分析的气候平均场、R42L9 模拟的冬季平均气压场、以及强冬季风试验和弱冬季风试验的海平面气压差值图。如图 8b 所示, R42L9 模式较好地模拟再现

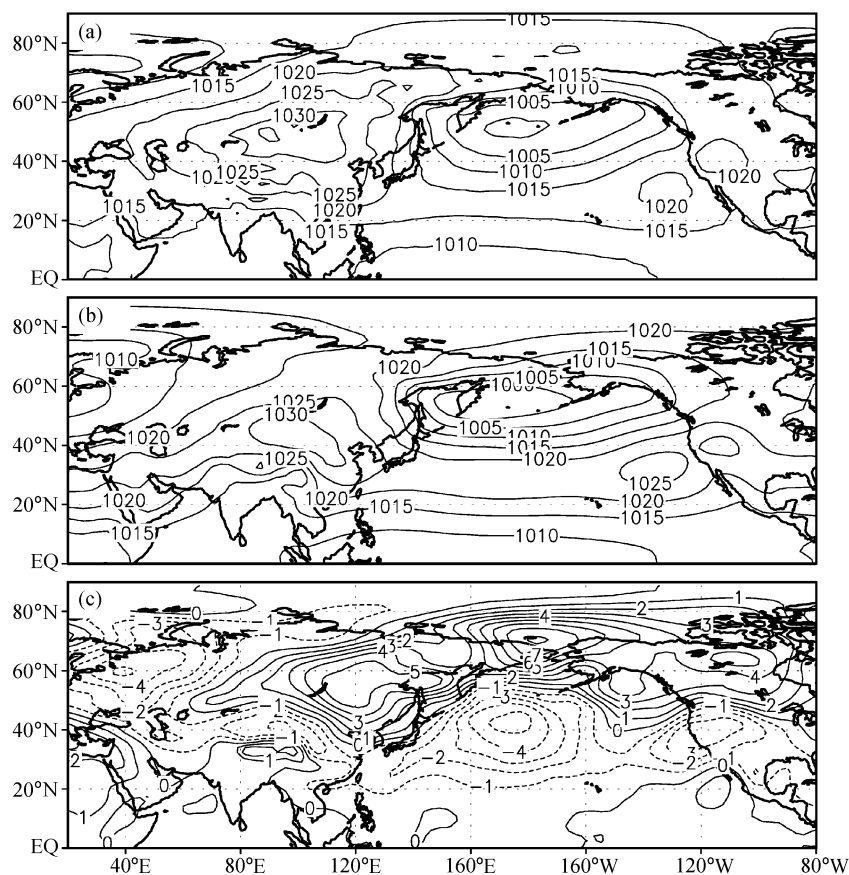


图 8 北半球冬季海平面气压的分布 (单位: hPa): (a) NCEP/NCAR 再分析气候值; (b) R42L9 模拟的冬季平均值; (c) R42L9 模拟的强、弱冬季风试验的海平面气压差值

Fig. 8 The distribution of the winter SLP over the Northern Hemisphere (units: hPa): (a) the NCEP/NCAR reanalysis; (b) the simulation of R42L9; (c) the SLP difference of the strong and weak winter monsoon experiments

了如图 8a 所示的冬季平均的实际 SLP 分布的主要特征。比如冬季的阿留申低压、冰岛低压和蒙古的高压系统, 只是阿留申低压的中心位置有点向北漂移。图 8c 表明, 在强东亚冬季风异常期, 蒙古高压增强, 并控制大部分欧亚大陆地区, 在海洋上则为阿留申低压所控制; 而在弱东亚冬季风异常期, 蒙古高压明显减弱, 控制的范围也明显减小, 海洋上, 阿留申低压也明显减弱。相对于弱东亚冬季风年, 强东亚冬季风年在欧亚大陆中、东部有气压正异常, 海洋上则为气压负异常, 两个大气活动中心都显著偏强。强、弱冬季风试验的结果还表明 (图略), 强东亚季风年阿留申低压控制的范围也向南扩展, 使得冬季的副热带高压减弱, 有利于热带西风增强; 阿拉斯加西部的高压也显著偏强。这些都与前面的诊断分析结果相

一致。

5. 2. 2 北半球 500 hPa 环流的特征

图 9 给出了强冬季风试验和弱冬季风试验的 500 hPa 位势高度场的差值。可见 500 hPa 位势高度场在整个中高纬度的大陆上为正偏差, 而在中太平洋为负偏差, 两者交界位于鄂霍茨克海地区, 使得东亚大槽偏强, 更有利于冷空气南下爆发。这里的结果也与前面的诊断结果 (图 6) 相当一致, 进一步揭示了强、弱东亚冬季风的异常特征。

5. 2. 3 积云对流和降水的异常

资料分析表明, 与强、弱东亚冬季风的异常活动相联系, 热带地区的积云对流活动也会发生异常。数值模拟试验是否也能很好显示这种重要特征呢? 图 10 分别给出的是本研究中, 强冬季风试验和弱冬季风试验所得到的 OLR 以及降水的差

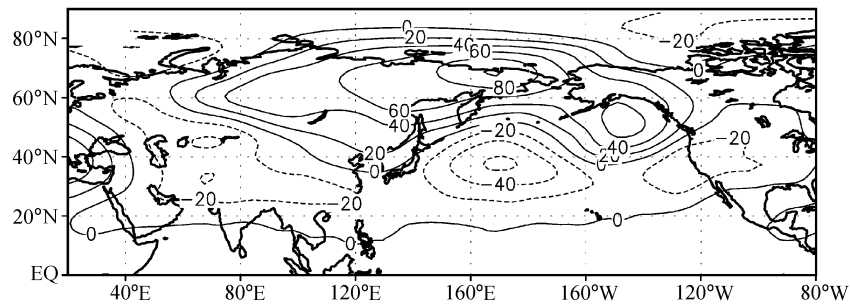


图 9 强、弱东亚冬季风模拟试验中所得到的 500 hPa 位势高度场的差值分布 (单位: dagpm)

Fig. 9 The difference of the geopotential height at 500 hPa between the strong and weak winter monsoon experiments (units: dagpm)

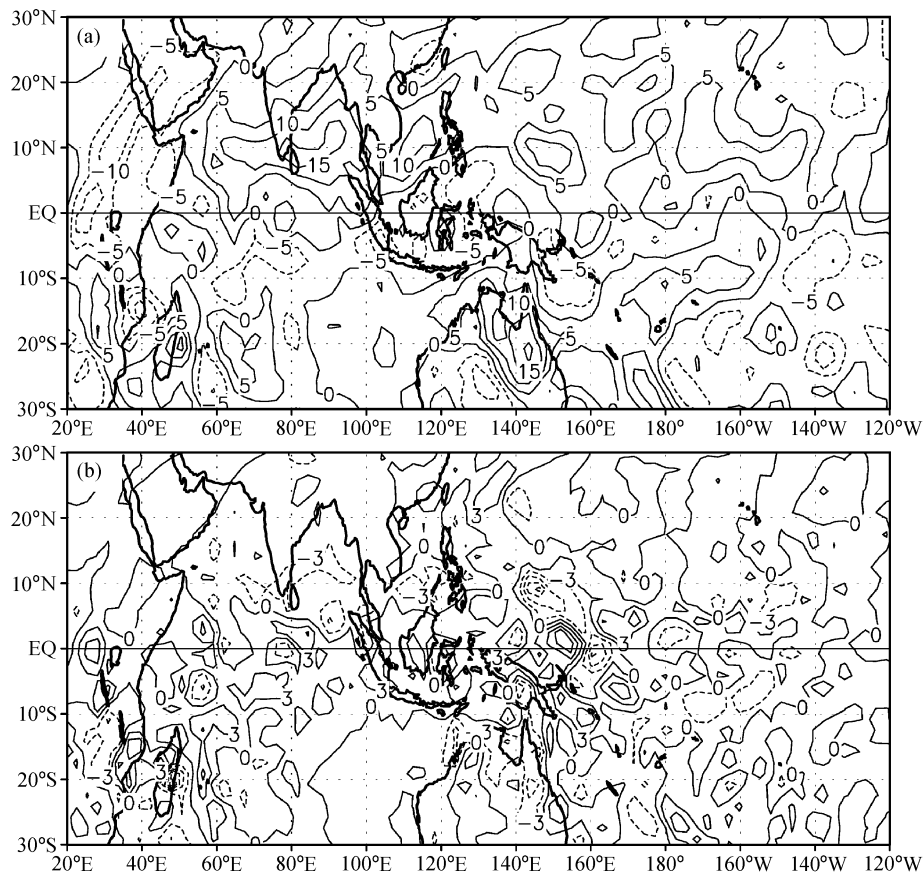


图 10 强、弱东亚冬季风模拟试验中所得到的冬季平均差值分布: (a) OLR (单位: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$); (b) 降水量 (单位: mm)

Fig. 10 Same as Fig. 9, but for (a) the OLR (units: $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) and (b) the precipitation (units: mm)

值分布。从图 10a 可以看到, 当东亚冬季风强时, 在赤道西太平洋和南海南部地区对流活动也偏强, 从而加强这里的降水, 这从图 10b 所给出的强冬季风试验减弱冬季风试验的降水差值分布中也可以得到更清晰的验证, 因为该地区基本上为降水正值。这里的数值模拟试验结果也与一些资料分

析的结果相一致^[31]。

6 结论

本文的研究基于诊断分析和数值模拟试验, 用尽可能长时间的资料进一步揭示了东亚冬季风

变化及其异常的特征。通过研究,可以归结为如下的几点主要结论:

(1) 依据东亚冬季风及其活动特征,本文用近百年的资料定义了一个改进的表征东亚冬季风强度的指数,该指数建立在东亚冬季风活动时 850 hPa 的风场特征和东西向海平面气压梯度特征的相关关系上,能够真实刻画出东亚冬季风强度的强弱变化形势。该指数与用 850hPa 的经向风异常所定义的东亚冬季风指数有很好的相关关系。

(2) 东亚冬季风存在明显的年际变化,主要具有准两年的振荡周期和 5~7 年左右的周期;另外,该指数还反映了一定的年代际变化特征,在近 100 年的时间里,东亚冬季风经历了 1902~1930 年和 1935~1955 年两个比较弱的时期,以及 1958~1968 年和 1973~1987 年两个比较强的时期。在 1950 年之前,年代际变化主要有 15 年和 30 年左右的准周期;而在 1950 年以后,年代际变化则主要为 20~25 年的准周期,及 10 年左右周期的弱信号。

(3) 东亚冬季风是全球大气环流的重要组成部分,东亚冬季风的活动及异常与全球大气环流密切相关。在强东亚冬季风年,蒙古高压偏强,北太平洋阿留申低压也偏强,欧亚大陆与北太平洋的海平面气压差值也显著加大;500 hPa 位势高度场上北太平洋位势高度的降低同欧亚大陆中部位势高度的升高使得冬季东亚大槽偏强,中高纬度环流的经向度增大,有利于冷空气的向南爆发;在 850 hPa 上,从亚洲大陆东部地区到南海以及澳大利亚北部地区的偏北风加强。在弱东亚冬季风年,则基本上呈现与上述特征相反的形势。

(4) 本文的 GCM 数值模拟和与诊断分析结果的比较表明,SAMIL R42L9 模式能够较好地模拟出冬季的气候平均形态,以及与东亚冬季风相对应的大气环流形势和各个主要大气环流系统的分布。强、弱东亚冬季风异常的模拟实验结果对比表明,当东亚冬季风偏强时,蒙古高压和阿留申低压也明显偏强,欧亚大陆与北太平洋的海平面气压差值显著加大;500 hPa 东亚大槽明显偏深;赤道西太平洋地区还有积云对流的强异常与之相应。这些异常形势与资料分析结果相当一致,充分显示了东亚冬季风异常的特征。

参考文献 (References)

- [1] Tao Shiyao, Chen Longxun. A review of recent research on the East Asian summer monsoon in China. *Monsoon Meteorology*. Oxford University Press, 1987. 60~92
- [2] Zhu Qiang, He Jinhai, Wang Panxing. A study of the circulation differences between the East Asian and Indian summer monsoon with their interaction. *Adv. Atmos. Sci.*, 1986, **3**: 466~477
- [3] Tao S. East-Asian cold wave research in China during recent 10 years. *Acta Meteorologica Sinica*, 1959, **30**: 226~230
- [4] Ding Y, Krishnamurti T N. Heat budget of the Siberian high and the winter monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, 1987, **115**: 2428~2449
- [5] Ding Y. A statistical study of winter monsoons in East Asia. *J. Tropical Meteor.*, 1990, **6**: 119~128
- [6] 朱抱真, 丁一汇, 罗会邦. 关于东亚大气环流和季风的研究. *气象学报*, 1990, **48**: 4~16
- [7] Zhu Baozhen, Ding Yihui, Luo Huibang. A review of the atmospheric general circulation and monsoon in East Asia. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1990, **48**: 4~16
- [8] 陈隆勋, 朱乾根, 罗会邦, 等. 东亚季风. 北京: 气象出版社, 1991. 304~327
- [9] Chen Longxun, Zhu Qiang, Luo Huibang, et al. *The East Asian Monsoon* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1991. 304~327
- [10] Chang C P, Lau K M. Short-term planetary scale interaction over the tropic and midlatitudes during northern winter. Part I: Contrasts between active and inactive periods. *Mon. Wea. Rev.*, 1982, **110**: 933~946
- [11] Lau K M, Boyle J S. Tropical and extratropical forcing of the large-scale circulation: A diagnostic study. *Mon. Wea. Rev.*, 1987, **115**: 400~428
- [12] Liu H, Tosi E, Tibaldi S. On the relationship between northern hemisphere weather regimes in winter time and spring precipitation over China. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1994, **120**: 185~194
- [13] Sun Bomin, Sun Shuqing. The analysis on the feature of the atmospheric circulation in preceding winter for the summer drought and flooding in the Yangze and Huaihe River valley. *Adv. Atmos. Sci.*, 1994, **11**: 79~90
- [14] 孙淑清, 孙柏民. 东亚冬季风环流异常与中国江淮流域夏季旱涝天气的关系. *气象学报*, 1995, **53** (4): 438~450
- [15] Sun Shuqing, Sun Bomin. The relationship between the anomalous winter monsoon circulation over East Asia and summer drought/flooding in the Yangtze and Huaihe River valley. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1995, **53**

- (4): 438~450
- [13] Ji Liren, Sun Shuqing. Observation and model study on interseasonal connection of atmospheric circulation. *General Circulation of the Atmosphere*. Beijing: China Meteorological Press, 1995. 365~376
- [14] 李崇银, 胡季. 东亚大气环流与厄尔尼诺相互影响的一个分析研究. 大气科学, 1987, **11** (4): 359~364
Li Chongyin, Hu Ji. A study on interaction between the East-Asian atmospheric circulation and El Niño. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1987, **11** (4): 359~364
- [15] 李崇银. 频繁的强大东亚大槽活动与 El Niño 的发生. 中国科学 (B 辑), 1988, **31** (6): 667~674
Li Chongyin. Frequent activities of strong aerotroughs in East Asia wintertime and occurrence of El Niño events. *Science in China* (Series B) (in Chinese), 1988, **31** (6): 667~674
- [16] Li Chongyin. Interaction between anomalous winter monsoon in East Asia and El Niño events. *Adv. Atmos. Sci.*, 1990, **7**: 36~46
- [17] Li Chongyin, Chen Yuxiang, Yuan Zhongguang. Important factor cause of El Niño events—the frequent activities of stronger cold waves in East Asia. *Frontiers in Atmospheric Sciences*. New York: Allenton Press INC., 1989. 156~165
- [18] 黄荣辉, 陈文. 关于亚洲季风与 ENSO 循环相互作用研究最近的进展. 气候与环境研究, 2002, **7** (2): 146~159
Huang Ronghui, Chen Wen. Recent Progresses in the Research on the Interaction between Asian Monsoon and ENSO Cycle. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7** (2): 146~159
- [19] 陈隽, 孙淑清. 东亚冬季风异常与全球大气环流变化 II. 冬季风异常对全球热带海温变化的影响. 大气科学, 1999, **23** (3): 286~295
Chen Jun, Sun Shuqing. Eastern Asian winter monsoon anomaly and variation of global circulation. Part II: Influence on SST by winter monsoon. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23** (3): 286~295
- [20] Chen Wen, Graf Hans-F, Huang Ronghui. The interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to the summer monsoon. *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17** (1): 48~60
- [21] 李巧萍, 丁一汇. 区域气候模式对东亚冬季风多年平均特征的模拟. 应用气象学报, 2005, **16**: 30~40
Li Qiaoping, Ding Yihui. Multi-year simulations of East Asian winter monsoon by using regional climate model. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2005, **16**: 30~40
- [22] Lu Weisong, Zhu Qiangen. Theoretical study on an effect of Qinghai-Xizang plateau upon cold surge. *Acta Meteorologica Sinica*. 1990, **4**: 620~628
- [23] 郭其蕴. 东亚夏季风强度指数及其变化的分析. 地理学报, 1983, **38** (3): 207~217
Guo Qiyun. The summer monsoon intensity index in East Asia and its variation. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 1983, **38** (3): 207~217
- [24] 施能, 鲁建军, 朱乾根. 东亚冬、夏季风 100 年强度指数及其气候变化. 南京气象学院院报, 1996, **19** (2): 168~177
Shi Neng, Lu Jianjun, Zhu Qiangen. The intensity index of the East Asian summer/winter monsoon and its climate change in 100 years. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1996, **19** (2): 168~177
- [25] 乔云亭, 陈列庭, 张庆云. 东亚季风指数的定义及其与中国气候的关系. 大气科学, 2002, **26** (1): 69~82
Qiao Yunting, Chen Lieting, Zhang Qingyun. The definition of East Asian monsoon indices And their relationship to climate in China. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 2002, **26** (1): 69~82
- [26] Li Chongyin, Sun Shuqing, Mu Mingquan. Origin of the TBO—Interaction between anomalous East-Asian winter monsoon and ENSO cycle. *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18**: 554~566
- [27] 穆明权. 东亚冬季风异常与 ENSO 循环关系的进一步研究. 气候与环境研究, 2001, **6** (3): 273~285
Mu Mingquan. A Further Research on the Cyclic Relationship between Anomalous East-Asian Winter Monsoon and ENSO. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2001, **6** (3): 273~285
- [28] Li Chongyin, Xian Peng. Atmospheric Anomalies related to Interdecadal Variability of SST in the North Pacific. *Adv. Atmos. Sci.*, 2003, **20**: 859~874
- [29] 周天军, 宇如聪, 王在志, 等. 大气环流谱模式 SAMIL 及其耦合模式 FGOAL-s. 亚洲季风区海-陆-气相互作用对我国气候变化的影响 (第四卷). 北京: 气象出版社, 2005. 53~89
Zhou Tianjun, Yu Rucong, Wang Zaizhi, et. al. The spectral atmospheric model SAMIL and its coupling model FGOAL-s. *The Impact of Air-Sea-Land Interaction in Asian Monsoon Region on the Climate Change in China* (Vol 4) (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2005. 53~89.
- [30] Wang Zaizhi, et. al. Simulation of Asian monsoon seasonal variations with Climate model R42L9/LASG. *Adv. Atmos. Sci.*, 2004, **21**: 879~889
- [31] 孙柏民, 李崇银. 冬季东亚大槽的扰动与热带对流活动的关系. 科学通报, 1997, **42**: 500~503
Sun Bomin, Li Chongyin. The relationship between perturbation of the aerotroughs of the East Asia in wintertime and the convectional activities in the tropic. *Chinese Science Bulletin* (in Chinese), 1997, **42**: 500~503