

北极涡年代际变化及其与我国春季降水的关系

张恒德^{1,2} 高守亭² 张友姝³

1 国家气象中心, 北京 100081

2 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

3 空军气象中心, 北京 100843

摘要 基于 NCEP/NCAR 的 500 hPa 再分析高度场资料计算出多年北半球及各分区的极涡面积和强度, 利用线性倾向估计、小波分析及二项式滑动平均分析极涡及我国春季降水的年代际变化特征, 并采用奇异值分解讨论同期及前期极涡对我国春季降水的影响。各季节极涡面积及强度均存在显著的年代际变化, 在 20 世纪 70 年代中期之前有上升趋势, 而后出现下降的趋势; 但极涡面积总体上有显著的线性变小趋势。在 60 年代中前期极涡位置偏向亚欧大陆, 在 90 年代中后期极涡位置有偏向太平洋和大西洋一带趋势。我国 160 站平均春季降水量经历较明显的 3 次上升过程和 4 次下降过程; 华南、西南地区春季降水趋势与长江流域、黄河流域呈现两种相反的分布型; 在 20 世纪 60 年代中前期、90 年代初及末期, 长江流域、黄河流域春季降水量偏多, 而在 80 年代末期、90 年代中期及本世纪初, 华南、西南地区出现偏多。在春季, 若 II 区 (150°E~120°W) 极涡面积异常大, I 区 (60~150°E)、III 区 (120~30°W) 极涡强度异常弱, 长江、黄河之间中游地区的降水出现负距平, 广东、福建沿海降水出现正距平。前期冬季极涡比夏、秋季极涡对我国春季降水的影响更明显, 特别是前冬北美区、大西洋欧洲区极涡面积的影响。

关键词 极涡 春季降水 年代际变化 奇异值分解

文章编号 1006-9585 (2006) 05-0593-12 **中图分类号** P466 **文献标识码** A

The Interdecadal Variation of North Polar Vortex and Its Relationships with Spring Precipitation in China

ZHANG Heng-De^{1,2}, GAO Shou-Ting², and ZHANG You-Shu³

1 National Meteorological Center, Beijing 100081

2 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3 Airforce Meteorological Center, Beijing 100843

Abstract The area size and intensity of 500 hPa north polar vortex and four quadrants are estimated based upon 54-year NCEP/NCAR reanalysis monthly mean geopotential height data. By means of linear trend estimate, Morlet wavelet analysis and binomial coefficient smooth, the interdecadal variation characteristics of north polar vortex and spring precipitation in China are studied. The results show that: 1) Seasonal average area and intensity of polar vortex exists obvious inter-decadal variation. Before the middle age of the 1970s, area size of north polar vortex trended to rise, and after that, it trended to minish, but during the size had a linear decline trend as a whole. The center of polar vortex mainly displaced towards Asia-Europe during the early and middle age of the 1960s, while trended to the Pacific and the Atlantic after the middle age of the 1990s. 2) Spring average precipitation of the 160 station in

收稿日期 2005-02-24 收到, 2006-01-25 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40275016 和中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-217

作者简介 张恒德, 男, 1977 年出生, 博士, 工程师, 主要从事大气动力学研究。E-mail: zhhd@mail. iap. ac. cn

China obviously increased thrice and decreased four times. The trend of spring precipitation in South and Southwest China is opposite to the Yangtze River and Yellow River valleys. During the early and middle age of the 1960s and in early and late period of the 1990s, the precipitation was more in the Yangtze River and Yellow River valleys, but during telophase of the 1980s, middle age of the 1990s and the beginning of the 21st century, the precipitation is more in South and Southwest China. 3) If the area of polar vortex in quadrant II is bigger than normal, and intensity of polar vortex in quadrant I and III is weaker in spring, the precipitation is below the normal in the middle drainage area of between the Yangtze River and the Yellow River, and it exceeds the normal in the seaside area of Guangdong and Fujian. Polar vortex in winter influences more obviously next spring precipitation than the vortex of in summer and autumn, especially for polar vortex in North America and the Atlantic-Europe sections.

Key words polar vortex, spring precipitation, interdecadal variation, singular value decomposition

1 引言

降水对国民经济和人民生活都有着非常重要影响,以往人们对夏季降水的研究非常多,而对春季降水的关注相对偏少。春季是我国大部分地区农作物播种和开始生长的季节,适量的降水将有利于播种、生长,因此有必要加强对我国春季降水的研究。长期以来,对于降水变化的原因及机理的探讨有大量的工作,其中包括副热带高压^[1]、阻塞高压^[2]、南亚高压^[3]等在内的大气环流因子与我国降水的关系,另外关注的因素还有海温^[4]、冰雪覆盖^[5]、青藏高原^[6]、季风^[7]甚至地温^[8]、火山爆发^[9, 10]和太阳活动^[10]等,这当中对中低纬热力系统所作的工作特别多,而对高纬系统的研究相对贫乏。高纬的影响系统主要包括北大西洋涛动(NAO)、北极涛动(AO)及极涡,且三者之间关系密切,NAO是AO在北大西洋地区的一种具体表现形式^[11],AO与极涡同以极地为活动中心,AO的变化可以很大程度上通过极涡的变化来反映,极涡是影响我国天气气候的最主要环流实体之一,因此研究极涡对我国降水的影响有一定的代表性。关于极涡与我国降水关系,尤其对春季降水的研究较少,且不够系统。

我国气象学家很早就注意到极涡与降水有联系。吴仁广等^[12]发现南极极涡强度变化与长江中下游地区梅雨存在某种程度联系;姚秀萍等^[13]认为12月(冬季)极涡强度指数与次年8月(夏季)我国东北地区降水存在密切的正相关;谭桂容等^[14]分析华北夏季旱涝的环流特征时发现旱年极涡偏心,涝年极涡收缩在北极附近;时珍玲^[15]简要提到极涡活动影响江淮流域夏季旱涝;马振

锋等^[16]指出初夏四川盆地多雨年极涡龟缩在极地附近,干旱年份极涡偏向亚洲大陆副极地。徐海明等^[17]发现:江淮入梅早的年份,其前期冬季只有一个位于格陵兰上空的强极涡,入梅晚的年份,其前期冬季北半球存在两个极涡,一个位于格陵兰上空,另一个位于西伯利亚上空。黄嘉佑等^[18]指出7月亚洲极涡强度是长江地区夏季洪涝的重要因子,并于2004年指出冬季极涡对下一年夏季降水有显著影响^[19]。

通过以上的论述可知北极涡的重要性,但由于早期资料缺乏(格点场资料空间上分辨率较低,且资料长度较短),甚至在天气图上测量极涡的大小,没能很好地客观分析极涡的年代际变化特征,因此有必要利用分辨率更高、时间尺度更长的资料深入分析北极涡的年代际变化特征。另外,尽管极涡在垂直层次上的分布可从对流层一直延伸到平流层(夏季只在对流层),但在500 hPa等压面上极涡非常强盛,且通常对副高、阻高及其他环流指数等的研究也基于500 hPa环流场,因而对此等压面上极涡的研究有利于将之与其他诸如阻高、副高等主要大气环流因子进行对比分析。为此本工作主要针对500 hPa极涡来研究。以前关于极涡与我国降水的关系的讨论通常在研究其他有关降水问题时顺便提及,没有作为重点内容专门进行细致的研究,特别是针对春季降水的研究更加缺乏,且大多数没有涉及中国整个区域,只是区域性的,也没有系统阐述各分区极涡的综合影响,而哪些阶段、区域极涡对春季降水影响最大及对我国哪些地区影响最显著,都还不清楚,因此有必要系统地分析极涡对我国春季降水的影响。本文首先介绍北极涡的年代际变化特征及我国春季降水的时空变化特征,然后分析全国降水

及区域降水与同期极涡面积及强度变化的相关性，最后研究全国降水及我国区域降水异常与前期极涡变化的关系。

2 资料和方法

本文所用资料为 NCEP/NCAR 的 1950~2002 年的月平均再分析高度场资料及国家气候中心制作的 1951~2002 年月平均全国 160 站降水资料。

参考北半球 1950~2002 年（各月）500 hPa 平均位势高度场（图略），可以将 500 hPa 等压面上极涡南界特征等高线分别设置如表 1。

根据上述极涡南界特征特征等高线，北半球极涡面积与强度的计算式分别设为

$$S = \frac{R^2 \pi}{72} \sum_{i=1}^n (1 - \sin \varphi_i), \quad (1)$$

$$I = \rho R^2 \Delta \varphi \Delta \lambda \sum_i \sum_j [H_0(M) - H_{i,j}] \cos \varphi_i, \quad (2)$$

式中， φ_i 为极涡南界特征等高线与经度 λ_i 相交的纬度； R 为地球半径，取为 6 371 km； ρ 为空气密度； $\Delta \varphi = \Delta \lambda = \pi/72$ ；为便于计算取 ρR^2 为 1； $H_0(M)$ 为极涡南界特征等高线值； $i=1, 2, 3, \dots, n$ ($n=144$) 为北半球范围内的经度序号，分别对应于经度 $0^\circ, 2.5^\circ \text{E}, 5.0^\circ \text{E}, \dots, 5.0^\circ \text{W}, 2.5^\circ \text{W}$ 。北半球各分区极涡的面积、强度指数也利用 (1) 式和 (2) 式在 $60 \sim 150^\circ \text{E}$ (I 区)、 $150^\circ \text{E} \sim 120^\circ \text{W}$ (II 区)、 $120 \sim 30^\circ \text{W}$ (III 区)、 $30^\circ \text{W} \sim 60^\circ \text{E}$ (IV 区) 范围内得到。

文中用到了二项式系数加权平均法^[20]、小波分析^[21, 22]及奇异值分解 (SVD)^[23]等方法。这些方法在所参考文献 [20~23] 中已作了详细的介绍，在此不作赘述。

根据 (1)、(2) 式利用 NCEP/NCAR 的 1950~2002 年的月平均再分析高度场资料可以计算出 500 hPa 北半球及各分区的极涡面积、强度，然后分析我国 (160 站) 春季降水与同期极涡的相关性，并将极涡作为左场，我国春季降水量作为右

场作 SVD，从而讨论前期极涡对春季降水的影响。

3 500 hPa 极涡的年代际变化特征

由于不同季节环流场会发生转变，因此北半球极涡面积大小存在着季节差异，经计算可知，平均而言，冬季最大，春季次之，夏季最小。但各季节极涡面积的年代际变化有一定的共性：如图 1 所示，它们都呈现出线性下降的趋势（线性趋势线）；50 多年中存在几次不同程度起伏（二项式 9 点滑动平均线）。当然，每个季节也存在各自的特征：夏季线性减小趋势最大，秋季极涡收缩趋势最小；夏、秋、冬季有以 20 世纪 70 年代中期为分水岭的缓慢变大及缓慢变小的过程（二阶多项式回归趋势线，图略），冬季最显著；春季的极涡面积在 80 年代末之前变化特征不明显，上升和下降的幅度相对较小，而在 80 年代末之后有一次大的波动，1991~1993 年跨度达 3.5（标准化距平）；在夏季，从 50 年代中期至 60 年代有较强的上升过程，而从 70 年代后期开始有几次小振幅的波动；秋季与春季的变化非常相似，但在 80 年代末之后的波动幅度要小于春季；冬季变化最为平缓，不过在 1988 年的下降幅度达到几个季节的最小。此外，配合各季节的 Morlet 小波变换结果（图 2a，夏、秋、冬图略）可进一步看出极涡面积显著的年代际变化特征，春季有着 18 年和 12~13 年上下的两种周期，而从 70 年代开始，在图上纵坐标 12 处附近小波系数值明显偏大，表明期间极涡强度指数发生了较强的振荡；夏季则存在 16 年上下和 9 年左右两种周期，且表现出很好的稳定性；秋季极涡面积的变化存在约 19 年、12 年及 4 年左右的 3 种周期，说明秋季的短周期性较明显；与其他 3 个季节相比，冬季的周期性较差，仅在 60 年代之后存在 8~9 年的不稳定周期。

极涡强度与面积的变化特征类似，即由夏季

表 1 500 hPa 北半球各月极涡南界特征等高线

Table 1 Monthly south boundary characteristic height contour line of 500 hPa polar vortex in the Northern Hemisphere

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
等高线 Height contour line / dagpm	550	552	554	556	562	570	572	572	568	562	558	552

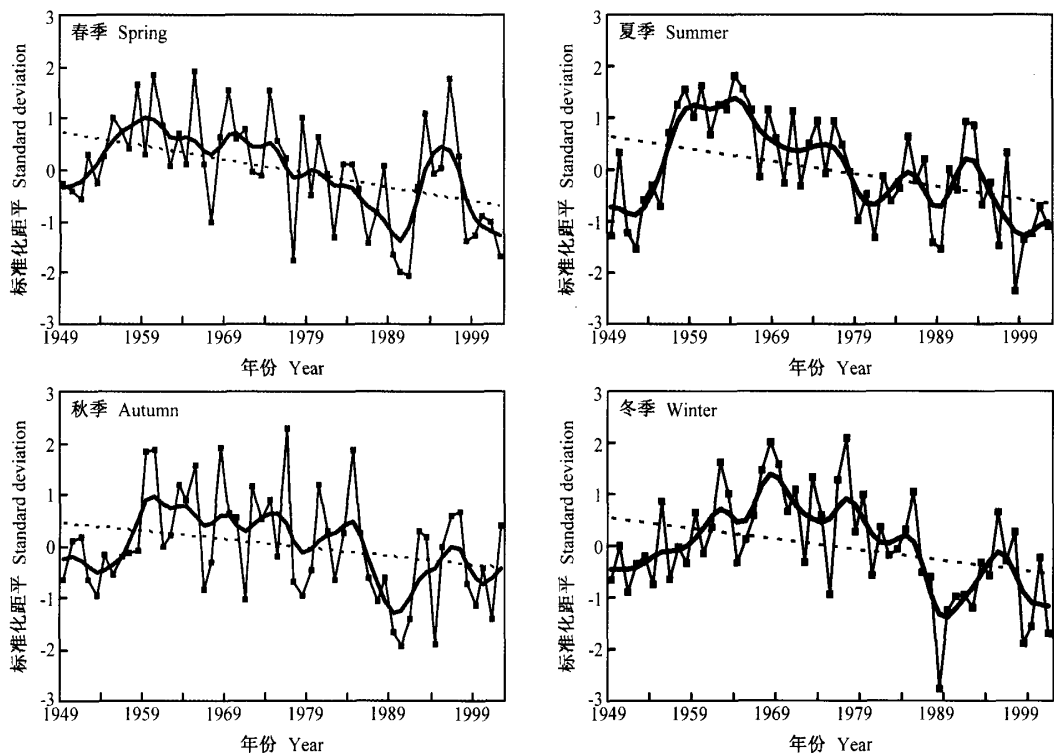


图1 北半球各季节极涡面积的标准化距平(实折线)、线性趋势(虚线)及二项式9点滑动平均(粗实线)
Fig.1 Standard deviation of annual area of seasonal polar vortex in Northern Hemisphere (solid line), and the corresponding linear trend (dotted line), binomial 9-year running average (thick solid line)

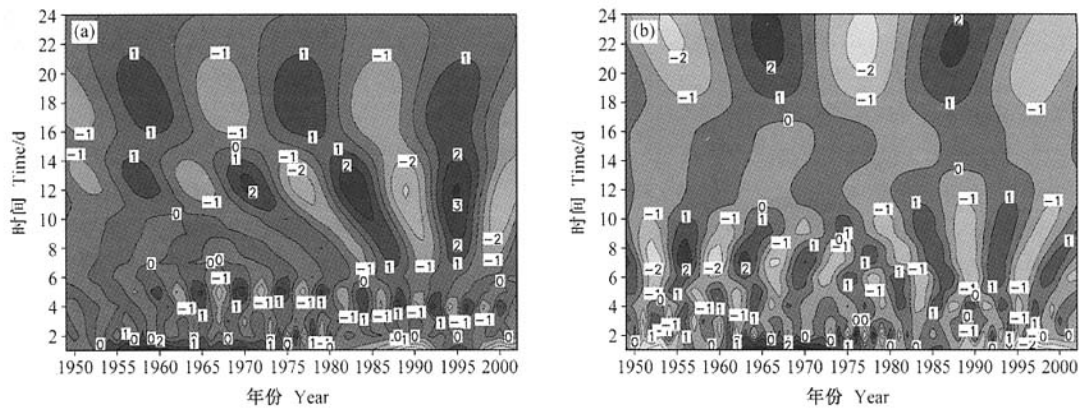


图2 春季北半球极涡 (a) 面积指数及 (b) 强度指数的 Morlet 小波变换
Fig.2 Morlet wavelet analysis for (a) area and (b) intensity index of spring polar vortex in the Northern Hemisphere

到冬季强度加强,而从冬到夏强度减弱。由图3可以反映出各季节极涡强度的年代际变化特征。在20世纪70年代中期之前极涡强度有增强趋势,而后出现变弱的趋势,这种趋势比极涡面积更明

显,且秋季最显著,各季节在不同阶段都伴随着不同程度的波动。线性变化趋势不明显,尤其在夏、秋季。春、冬季年代际的特征更明显一些,春季约经历了5次上升和下降,秋季的极涡强度

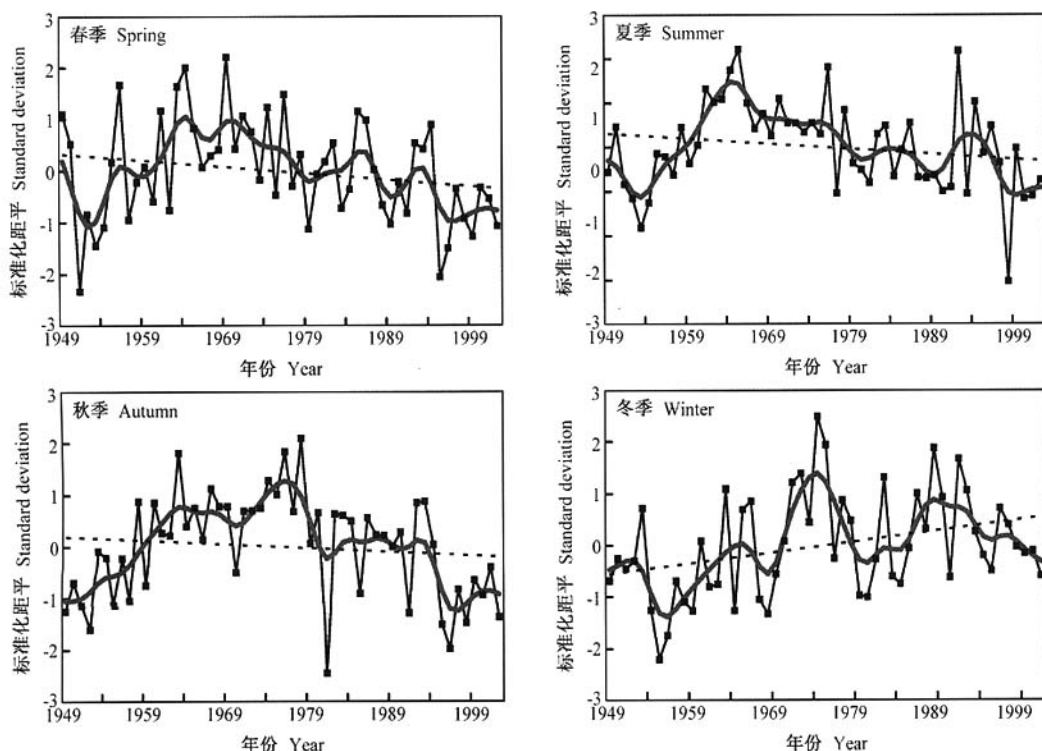


图3 北半球各季节极涡强度标准化距平(实折线)、线性趋势(虚线)及二项式9点滑动平均(粗实线)

Fig. 3 Standard deviation of annual intensity of seasonal polar vortex in northern hemisphere (solid line), and the corresponding linear trend (dotted line), binomial 9-year running average (thick solid line)

从50年代中期至60年代有较强的上升过程,而从60年代后期开始有几次小振幅的波动,冬季在80年代之前起伏较明显,之后变化也趋于平缓,夏季变化最为平缓。从极涡强度指数的Morlet小波变换结果(图2b)并配合图3中二项式9点滑动平均线发现,春季极涡强度指数有着两个稍明显的周期,分别为贯穿于50多年里的12年左右的周期和衰减于80年代末的约18年的周期;而其他季节都存在一个10~12年弱变化周期(图略),只维持到80年代中期。

尽管北半球所分的4个区所含经度范围相同(90°),但各区的极涡面积存在较大差异。多年平均情况下,I、II、III、IV区分别占极涡总面积的26.5%、27.0%、24.8%、21.7%,这表明极涡不是以北极为中心的对称分布,而主要偏向太平洋一侧,偏离欧洲大陆,即太平洋一带及相应高纬地区500 hPa位势高度相对最低,极涡在此伸展最大,欧洲大陆及相应高纬地区该等压面的位

势高度相对最高,极涡在那一带收缩最大。从图4所示的各区年平均极涡面积占总面积百分比的标准化距平曲线及相应的线性趋势和二项式9点滑动平均线可以看出:变化趋势上,I、IV区所占百分比有线性下降趋势,II区所占百分比呈线性上升趋势,III区的线性回归性非常弱,几乎为0,I、II、IV区线性趋势系数分别为-0.16、0.26、-0.10(%/10 a),I、IV区相比于II区所占百分比的线性变化趋势要小,且II区所占百分比的线性增加趋势正好由I区与IV区的下降趋势造成,说明了极涡存在较强的偏离I区和IV区而偏向II区的趋势;在50多年中,各区所占极涡面积的百分比有一定的年代际差异:I区与II区所占百分比的长期变化基本呈现反位相特征,I区在20世纪50年代初至60年代前期表现出上升趋势,II区在同期则出现下降趋势,从70年代到80年代前期I区所占百分比减小,II区增大;而从80年代末至90年代后期,I区有变大趋势,II区则变

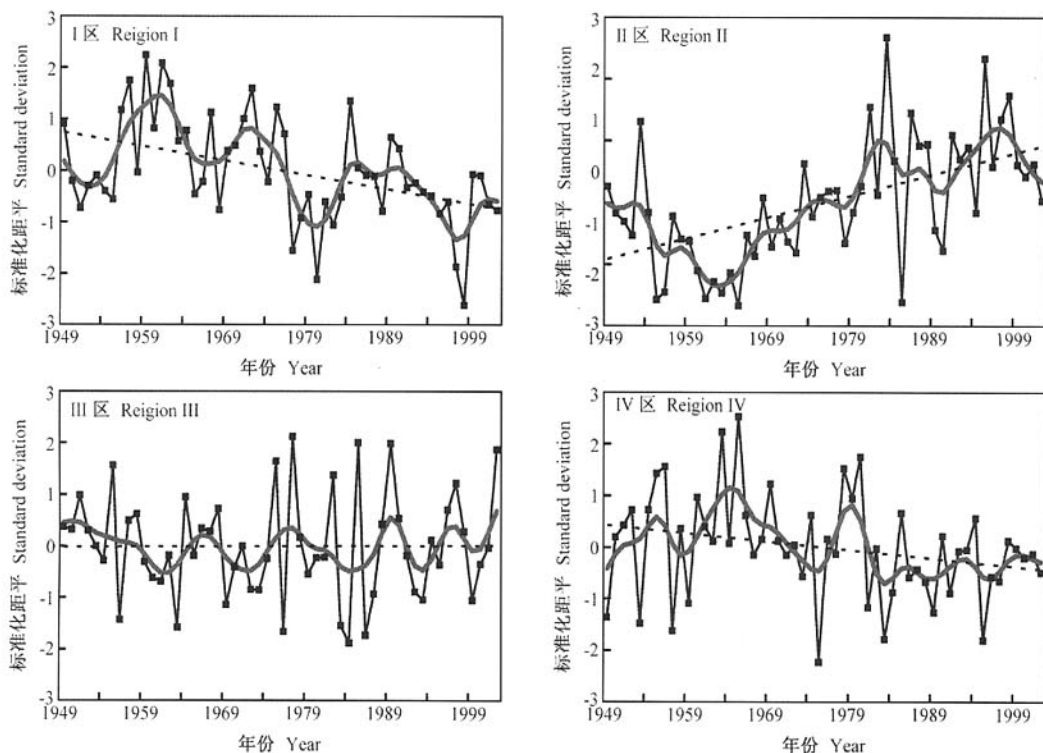


图4 年平均各区占北极涡总面积百分比的标准化距平 (实折线)、线性趋势 (虚线) 及二项式 9 点滑动平均 (粗实线)

Fig. 4 Standard deviation of percentage of the polar vortex size in each quadrant (solid line), and the corresponding linear trend (dotted line), binomial 9-year running average (thick solid line)

小; III 区在 60 年代之后出现了 4 次明显的波动, 波峰分别位于 60 年代中后期、70 年代中后期、90 年代初期和后期; IV 区所占百分比在 80 年代之前经历了 3 次较明显的起伏, 之后变化平缓。总体来看, I 区和 IV 区在 60 年代中前期所占百分比处于高峰, 其他两区同期则处于低谷, 因此这期间极涡位置偏向 I 区和 IV 区, 即亚欧大陆; 而在 90 年代中后期 I 区处于低谷, II、III 区位于波峰, 这表明该期间 II、III 区极涡所占比重相对变大, 极涡位置有偏向 II、III 区趋势, 即太平洋和大西洋一带。

4 我国春季降水的年代际变化特征

由图 5 所示的全国 160 站平均春季降水的变化状况可知, 这 50 多年中春季降水量变化的线性趋势非常弱, 但阶段性变化特征很明显, 降水量基本上经历了几次波动, 从 20 世纪 50 年代到 60

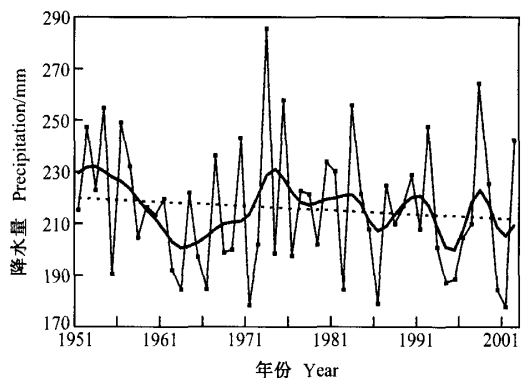


图5 中国 160 站平均春季降水量的年际变化 (实折线)、线性趋势 (虚线) 及二项式 9 年滑动平均 (粗实线)

Fig. 5 Interannual variation of spring average precipitation of the 160 station in China (solid line and corresponding linear trend (dotted line), binomial 9-year running average (thick solid line)

年代初基本上处于缓慢下降期, 而后出现了较明显的 3 次上升过程和 4 次下降过程, 60 年代中期

到 70 年代中前期处于强上升期，到 1973 年达到最高峰，之后降水量又有变小趋势，在 1986 年出现最低值，之后到 90 年代初再次上升，随后又出现大幅度下降，到 90 年代末期又呈现上升趋势，1998 年达次大值。我国幅员辽阔，各地区春季降水量存在较大差异，对全国 160 站降水量进行 EOF 分解可以反映出它的时空分布特征，如图 6a 所示的第 1 特征向量表明，东北部分地区、华南、西南地区降水趋势与长江流域、黄河流域呈现两种相反的分布型；结合对应的时间系数序列（图 6b）可知，在 20 世纪 60 年代中前期、90 年代初及末期，长江及黄河流域春季降水量较常年偏多，华南、西南地区偏少（在 1964 年达到顶点），而 80 年代末期、90 年代中期及 21 世纪初，长江、黄河流域出现降水负距平，华南、西南地区出现正距平，这种分布型式在 2001 年最显著。

5 极涡与同期我国春季降水的联系

虽然春季全国平均降水量与同期北极涡的相关性不是很显著，这在图 1 中春季极涡面积变化，图 2a 与图 5 中有反映，降水量与极涡面积、强度的相关系数分别只有 -0.12 、 -0.23 ，由于它们均存在一定的年代际变化特征，年代际尺度的相关性也稍强一些，分别为 -0.15 、 -0.31 。考虑到我国春季降水的不均匀性及复杂性，北极涡与不同地区降水之间的相关性有着较大差异。如图 7 所示，总体上，春季北极涡面积不如强度与我国同期降水量的相关性明显，比如，除华南以外，

北极涡面积与我国大多数地区的降水量呈负相关，虽然相关系数的值不是很大，趋势还是明显的，仅在渤海湾及东北有少数站点这种相关性可通过 0.1 的显著性水平的检验；而北极涡强度与我国降水量之间的相关系数的值要大一些，且更多区域可通过显著性水平的检验，其中，在长江中下游以南大部、东北少数站点及青藏高原东部部分地区负相关比较显著，有些站点的相关系数达 -0.3 ，而在长江和黄河之间的中游不少地区呈现显著的正相关。

由于极涡通常偏心，因此不同分区极涡对我国春季降水的影响存在差异，为了找到前文论述中已计算出的极涡指数中对我国同期降水的影响相对显著的关键因子及影响关键区，将 500 hPa 极涡各指数作为左场，以同期降水量作为右场进行奇异值分解（SVD），其中，左要素场的变量顺序分别为 I 至 IV 区及北半球极涡面积、I 至 IV 区及北半球极涡强度，依次称为因子 1，2，…，10。奇异值分解所得的前 3 个模态的方差贡献百分率（SCF_k）分别为 40.6% 、 24.2% 和 12.6% ，由于第 1 模态的解释方差平方和对平方协方差的贡献是主要的，已经能很大程度地反映春季极涡各因子与同期我国 160 站降水的相关信息，且第 1 模态的左右场时间系数间的相关系数都在 0.6 以上，即两变量场的显著空间分布型总体的相关程度非常显著，故可以取第 1 模态的结果进行讨论。

表 2 是将极涡指数与我国春季 160 站降水量作 SVD 分析所得第 1 模态的左场异性相关系数，

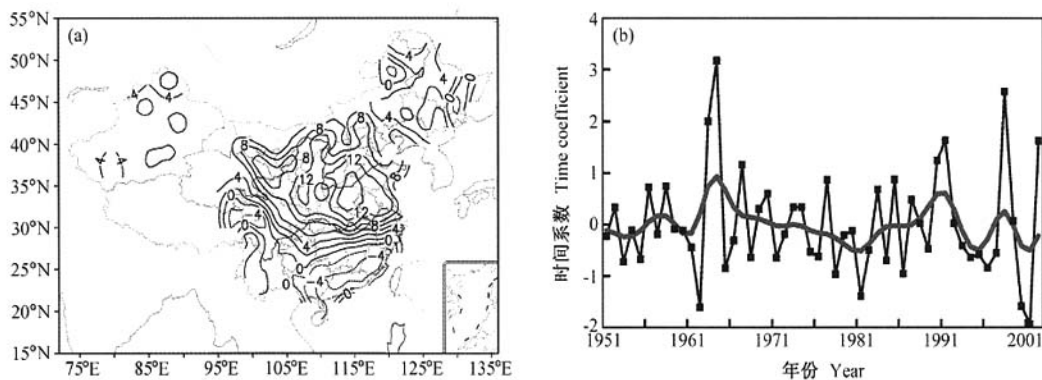


图 6 中国 160 站春季降水量标准化距平场 EOF 分解的第 1 特征向量分布 (a) 及时间系数 (b)

Fig. 6 Distribution of the first character values (a) of the EOF decomposition for standard deviation of spring precipitation in the 160 station of China, and the corresponding time coefficients (b)

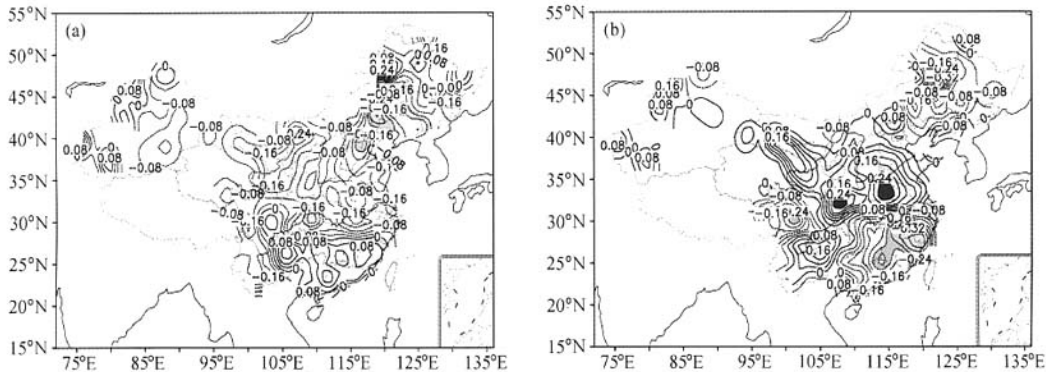


图 7 春季北极涡 (a) 面积指数、(b) 强度指数与中国同期降水量的相关系数分布 (阴影部分通过了 0.1 的显著性水平的检验)

Fig. 7 Distribution of correlation coefficient between the index of 500 hPa spring polar vortex and contemporaneous precipitation in China: (a) area index, (b) intensity index (Areas passing a 0.1 significant level are shaded)

表 2 将极涡指数与我国春季 160 站降水量作 SVD 分析所得的第 1 耦合模态的左场异性相关系数

Table 2 The left heterogeneous correlative coefficients for the first mode in SVD expansion of polar vortex and spring precipitation in China

	因子 Factor									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
同期 Contemporaneous	-0.06	-0.51*	-0.08*	0.15	-0.13	0.44*	-0.03	0.45*	-0.02	0.44*
前夏 Previous summer	-0.57*	-0.30*	0.27*	-0.43*	-0.61*	-0.46*	-0.47*	-0.16	-0.41	-0.55*
前秋 Previous autumn	-0.40*	-0.31*	0.03	-0.03	-0.30*	-0.33*	-0.30*	-0.11	-0.16	-0.39*
前冬 Previous winter	-0.21	0.23*	-0.58*	-0.63*	-0.49*	-0.31*	0.32*	-0.03	0.16	0.12

* 通过 0.1 显著性水平检验
* Passing 0.1 significance level

由表可以看出春季 II 区的极涡面积, I、III 区极涡强度对同期降水的影响相对显著, 其中 II 区的极涡面积影响最明显, 且面积 (强度) 的左异相关系数基本上为负 (正)。而图 8a 所示的春季极涡与同期我国 160 站降水 SVD 分析的第 1 耦合模态的右场异性相关系数空间的分布表明, 我国东北、华南地区的春季降水与长江、黄河流域为主体的中部广大地区呈反位相的变化, 特别是长江、黄河之间中游地区与广东、福建沿海不少地区的反位相特征最为显著, 相关系数分别达 0.3 和-0.3。将左、右场异性相关系数结合起来可知, 当春季 II 区极涡面积异常大, I、III 区极涡强度异常偏弱时, 通常我国长江流域、黄河流域的降水较少, 东北及华南大部分地区降水较多, 尤其, 长江、黄河之间中游地区的降水偏少与广东、福

建沿海降水偏多的程度最明显; 反之亦然。

极涡是冷空气活动的最主要标志, 当春季极涡面积异常偏大, 即极涡的南界特征等高线达到的纬度偏低, 表示弱冷空气南下范围较常年偏远, 对我国影响的范围偏广, 尤其对东北地区, 南下的冷空气易造成我国东北地区出现降水。另外, 由于我国春季降水的分布型为“东北、华南、西南地区与长江流域、黄河流域反位相”, 因此华南地区降水偏少, 长江流域、黄河流域偏多。而当春季北极涡面积大而深度浅薄 (强度较弱) 时, 极涡一般偏离极地, 移向中高纬地区, 甚至向中纬度运动, 通常不断将冷空气带下来, 造成东北地区降水可能性增大, 而当极涡面积小而深度较厚 (强度偏大) 时, 极涡通常位于极地附近, 冷空气一般也聚积于极区附近或中高纬地区, 不容

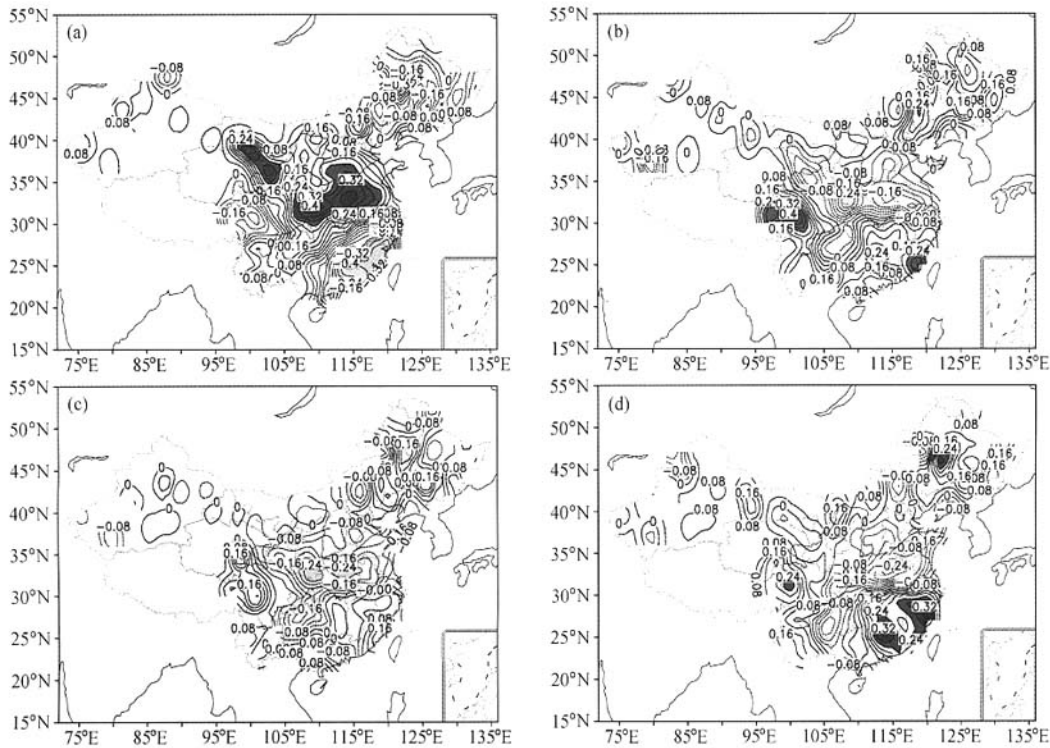


图8 (a) 同期、(b) 前夏、(c) 前秋、(d) 前冬极涡指数与我国 160 站春季降水 SVD 分析的第一耦合模态的右场异性相关系数的空间分布 (阴影部分通过了 0.1 显著性水平的检验)

Fig.8 The right heterogeneous correlative coefficients for the first mode in SVD expansion of (a) contemporaneous, (b) previous summer, (c) previous autumn, (d) previous winter polar vortex and spring precipitation in China (Areas passing a 0.1 significant level are shaded)

易向中纬地区扩散，南下影响我国春季降水的冷空气较少，使得我国东北地区降水难度偏大。

6 前期极涡对我国春季降水的影响

由前面的分析可知，极涡对我国同期降水有着一定的影响。但我们通常更关心对降水具有预报意义的因子，即关注在春季降水异常的前期，哪些大气环流因子发生异常？发生怎样的异常？下面对前期极涡因子的活动状况对春季降水的影响作讨论。

与上一节的方法类似，将前面计算出的夏、秋、冬季 500 hPa 极涡面积、强度等指数分别作为 SVD 的左要素场，将我国次年春季 160 站降水量作为 SVD 的右要素场进行耦合分解。所得的第 1 模态对平方协方差阵的贡献百分率分别为

58.6%、33.1%、38.7%，第 2 模态的贡献分别为 13.1%、18.2%、18.7%，第 3 模态的贡献分别为 9.1%、15.1%、15.0%。同样，由于第 1 模态对平方协方差阵的贡献是主要的，可很大程度地反映前期极涡各因子与我国春季降水的相关信息，而第 1 模态的左右场时间系数间的相关系数都在 0.5 以上，有很高的相关性，故只讨论第 1 模态的结果。

在表 2 中发现，对我国春季降水影响较显著的前期极涡因子包括：前夏 II 区面积，I、III 区强度及总强度；前秋 I 区面积、强度及总强度；前冬的 III、IV 区面积。其中最为显著的为前冬 IV 区极涡面积，即大西洋欧洲区极涡面积，左异相关系数达-0.63。从图 8b、c、d 看出，右异相关系数从南到北经历了“正、负、正”的变化，即在黄河流域至长江及西南地区基本为负，在其

他地区则呈现反位相特征。我国春季青藏高原以东、厦门一带、东北个别站点及陕西南部部分地区的降水量对前夏极涡活动的响应相对明显；秋季极涡对次年春季长江与黄河之间广大地区的降水量影响较显著；在青藏高原以东、华南大部、东北个别站点及淮河部分地区对前冬极涡活动的响应明显。再结合表 2 可知，若夏季 II 区极涡面积异常偏大，且 I、III 区强度及北极涡总强度异常偏弱，次年春季青藏高原以东、厦门一带、东北个别站点的降水量偏少，陕西南部偏多；当秋季亚洲区极涡面积、强度显著增大，总强度异常增强时，通常我国“两河”之间广大地区次年春季降水量出现正距平，而其他大部分地区出现负距平，反之亦然；如果冬季的北美区、大西洋欧洲区面积异常减弱时，通常长江黄河之间大部分地区次年春季降水相对常年较多，而东北、华南、西部广大地区降水偏少，尤其在华南大部分地区；反之，若冬季 III、IV 区极涡面积很大，那么之后春季我国华南地区降水偏多。从总体上来说，前期冬季极涡比前夏、前秋极涡对我国春季降水的影响更显著，我国春季降水对前冬比对前夏、秋季极涡的响应也更强烈，尤其华南地区降水量对北美区、大西洋欧洲区面积的负响应。

极涡对春季降水的影响是一个非常复杂的过程，极涡最大程度体现了中、高纬大气环流的形势，由于大气本身始终处于一个不断演变的状态，初始大气环流的不同势必会造成后期大气环流形势的改变，进而引起我国降水量的变化。另外，秋、冬季极涡还很大程度地反映了冷空气的积聚，这些积聚的冷空气不仅对我国同期气候有明显影响，而且它们的耗散和移动影响着后期降水，尤其冬季极涡对次年春季降水的作用。极涡并非孤立地去影响我国春季降水，而是与其他大气环流因子配合起来共同作用，特别与副热带高压、阻塞高压及季风系统的相互协同，从而涉及到极涡与副高、阻高等的关系，这些在另文中有进一步研究，本文只是找出前期极涡与降水的关系。

7 结果与讨论

文中首先利用 NCEP/NCAR 的 500 hPa 再分析高度场资料计算出北半球及各分区的月平均极

涡面积、强度，然后分析了北半球极涡面积、强度、位置及我国春季降水的年代际变化特征，最后分别讨论了同期及前期极涡对我国春季降水的影响。研究结果表明：

(1) 北半球 500 hPa 各季节极涡面积及强度均存在显著的年代际变化特征，以 20 世纪 70 年代中期为分水岭的缓慢变大及缓慢变小的过程，前后均伴随几次不同程度起伏；面积的线性变小趋势比较明显，强度的线性趋势不显著；在 60 年代中前期极涡位置偏向亚欧大陆，在 90 年代中后期极涡位置有偏向太平洋和大西洋一带的趋势。

(2) 我国 160 站平均春季降水量经历较明显的 3 次上升过程和 4 次下降过程；华南、西南地区春季降水趋势与长江流域、黄河流域呈现两种相反的分布型；在 20 世纪 60 年代中前期、90 年代初及末期，长江、黄河流域春季降水量偏多，而在 80 年代末期、90 年代中期及本世纪初，华南、西南地区降水出现偏多。

(3) 当春季 II 区极涡面积异常大，I、III 区极涡强度异常弱时，我国长江、黄河流域的降水较少，东北及华南大部分地区降水较多，其中长江与黄河之间中游地区的降水偏少与广东、福建沿海降水偏多的程度最明显。

(4) 前期冬季极涡比前夏、前秋极涡对我国春季降水的影响更显著，我国春季降水对前冬比对前夏、秋季极涡的响应也更强烈，尤其华南地区降水量对北美区、大西洋欧洲区面积的响应最显著。

参考文献 (References)

- [1] 王晓春, 吴国雄. 中国夏季降水异常空间模与副热带高压的关系. 大气科学, 1997, 21 (2): 161~169
Wang Xiaochun, Wu Guoxiong. The Analysis of relationship between the spatial modes of summer precipitation anomalies over China and general circulation. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1997, 21 (2): 161~169
- [2] 张培忠, 杨素兰. 阻塞高压活动的气候变化及其对中国某些地区旱涝的影响. 气象学报, 1996, 54 (5): 3~640
Zhang Peizhong, Yang Sulan. The climate change of blocking high and their effects on drought and flood of some region of China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1996, 54 (5): 633~640
- [3] 张琼, 吴国雄. 长江流域大范围旱涝与南亚高压的关系.

- 气象学报, 2001, **59** (5): 569~577
- Zhang Qiong, Wu Guoxiong. The large area flood and drought over Yangtze river valley and its relation to the South Asia High. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2001, **59** (5): 569~577
- [4] 黄荣辉, 徐予红, 王鹏飞, 等. 1998 年夏长江流域特大洪涝特征及其成因探讨. 气候与环境研究, 1998, **3** (4): 300~313
- Huang Ronghui, Xu Yuhong, Wang Pengfei, et al. The features of catastrophic flood over Changjiang River basin during the summer of 1998 and cause exploration. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 1998, **3** (4): 300~313
- [5] 王光宇, 曾群柱. 北半球雪盖与我国夏季降水的相关分析. 冰川冻土, 1994, **16** (2): 181~184
- Wang Guanyu, Zeng Qunzhu. Correlation analyses between snow cover in Northern Hemisphere and summer precipitation in Eastern China. *Journal of Glaciology and Geocryology* (in Chinese), 1994, **16** (2): 181~184
- [6] 黄刚, 周连童. 青藏高原西侧绕流风系的变化及其与东亚夏季风和我国华北地区夏季降水的关系. 气候与环境研究, 2004, **9** (2): 316~330
- Huang Gang, Zhou Liantong. The variability of the wind system circulating round the west side of the Tibetan Plateau and its relation to the East Asian summer monsoon and summer rainfall in North China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9** (2): 316~330
- [7] Zhu Jinhong, Wang Shaowu. 80a-Oscillation of summer rainfall over the east part of China and East-Asian summer monsoon. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2001, **18** (5): 1043~1051
- [8] 李跃凤, 丁一汇. 海表温度和地表温度与中国东部夏季异常降水. 气候与环境研究, 2002, **7** (1): 87~101
- Li Yuefeng, Ding Yihui. Sea surface temperature, land surface temperature and the summer rainfall anomalies over Eastern China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7** (1): 87~101
- [9] 张富国, 张先恭. 全球不同区域火山爆发与中国夏季旱涝的关系. 自然灾害学报, 1994, **3** (1): 40~45
- Zhang Fuguo, Zhang Xiangong. The relation between large volcanic eruption in the world and the drought/flood in summer in China. *Journal of Natural Disasters* (in Chinese), 1994, **3** (1): 40~45
- [10] 贾朋群, 石广玉. 近 50 年火山喷发和太阳活动对我国气候影响的研究. 高原气象, 2001, **21** (3): 225~233
- Jia Pengqun, Shi Guangyu. Study on effects of volcanic and solar activity on climate in China in recent 50 years. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2001, **21** (3): 225~233
- [11] Wallace J M. North Atlantic oscillation/annular mode: two paradigms-one phenomenon. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 2000, **126** (564): 791~805
- [12] 吴仁广, 陈烈庭. 长江中下游梅雨期降水与全球 500 hPa 环流的关系. 大气科学, 1994, **18** (6): 691~700
- Wu Renguang, Chen Lieting. Relationship between the global circulation at 500 hPa and Meiyu in Mid- and Low-Reaches of Yangtze River. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1994, **18** (6): 691~700
- [13] 姚秀萍, 董敏. 东北三江流域夏季旱涝基本特征分析. 应用气象学报, 2000, **11** (3): 297~303
- Yao Xiuping, Dong Min. Research on the features of summer rainfall in Northeast China. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (in Chinese), 2000, **11** (3): 297~303
- [14] 谭桂容, 孙照渤, 陈海山. 华北夏季旱涝的环流特征分析. 气象科学, 2003, **23** (2): 135~143
- Tan Guirong, Sun Zhaobo, Chen Haishan. An investigation on atmospheric circulation anomaly of summer floods/drought over North China. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2003, **23** (2): 135~143
- [15] 时珍玲. 九十年代以来江淮流域夏季典型旱涝成因分析. 气象, 1996, **22** (9): 35~38
- Shi Zhenling. The cause analysis of the typical drought and flood years in area between the Yangtze River and Huaihe River in summer since 1990. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1996, **22** (9): 35~38
- [16] 马振锋, 高文良, 刘富明, 等. 青藏高原东侧初夏旱涝的季风环流分析. 高原气象, 2003, **22** (增刊): 1~7
- Ma Zhenfeng, Gao Wenliang, Liu Fuming, et al. A study on monsoon circulations of drought and wet years on the east side of Qinghai-Xizang plateau in early summer. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2003, **22** (Suppl.): 1~7
- [17] 徐海明, 何金海, 董敏. 江淮入梅的年际变化及其与北大西洋涛动和海温异常的联系. 气象学报, 2001, **59** (6): 694~706
- Xu Haiming, He Jinhai, Dong Min. Interannual variability of the Meiyu onset and its association with North Atlantic oscillation and SSTA over North Atlantic. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2001, **59** (6): 694~706
- [18] 黄嘉佑, 高守亭. 影响长江地区夏季洪涝的大气环流因子研究. 自然科学进展, 2003, **13** (2): 206~209
- Huang Jiayou, Gao Shouting. A research on atmospheric circulation factors of summer floods/drought over Yangtze River basin. *Progress in Natural Science* (in Chinese), 2003, **13** (2): 206~209
- [19] 黄嘉佑, 刘炯, 赵昕奕. 副高、极涡因子对我国夏季降水的影响. 大气科学, 2004, **28** (4): 517~526
- Huang Jiayou, Liu Ke, Zhao Xinyi. The influence of subtropical high indexes and polar vortex on the summer precipitation in China. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 2004, **28** (4): 517~526
- [20] 侯伟芬, 王谦谦. 江南地区近 50 年地面气温的变化特征.

- 高原气象, 2004, **23** (3): 400~406
- Hou Weifen, Wang Qianqian. The change Characteristics of surface air temperature between Changjiang River and Nanling Moutain in recent 50 years. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2004, **23** (3): 400~406
- [21] Christopher T, Gilbert P C. A practical guide to wavelet analysis. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1998, **79** (1): 61~78
- [22] 匡正, 季仲贞, 林一骅. 华北降水时间序列资料的小波分析. 气候与环境研究, 2000, **5** (3): 312~317
- Kuang Zheng, Ji Zhongzhen, Lin Yihua. Wavelet analysis rainfall data in North China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5** (3): 312~317
- [23] Wallace J M, Smith C, Bretherton C S. Singular value decomposition of winter-time sea surface temperature and 500-mb height anomalies. *J. Climate*, 1992, **5** (6): 561~576