

北半球冬季海平面气压场的气候基本态与气候变率特征及其影响的初步研究^{*}

施 能 邓自旺 潘蔚娟 杨永胜

(南京气象学院, 南京 210044)

摘 要 研究了近 100 多年冬季北半球海平面气压场的气候基本态, 气候变率的特征及时间演变规律。指出北半球冬季海平面气压基本态的标准差的高值区在北太平洋的阿留申低压区、冰岛低压区的西北部及西伯利亚高压区。基本态的第一特征向量表现为弱西伯利亚高压、强北大西洋高压的强纬向环流的特征; 第二特征向量表现为弱阿留申低压及强北太平洋高压。研究还指出, 阿留申低压区及冰岛低压区在基本态改变的同时, 标准差也有长期变化, 而且主要表现为近百年中变率线性增大。此外, 北半球冬季气温及我国冬季气温的长期变化都与北半球冬季海平面的基本态变化有关。

关键词: 气候基本态; 气候变率; 海平面气压场

1 引言

1985 年 WCRP (世界气候研究计划) 组织了为期 10 年的 TOGA (热带海洋和全球大气) 计划, 随后又实施了 WOCE (世界海洋环流试验) 计划。1995 年 WCRP 又正式提出新的国际合作研究计划——CLIVAR (气候变率与可预报性), CLIVAR 的一个重要内容是研究年代际到世纪尺度的全球气候变率。这种尺度的低频气候变化已经有了一些研究, 例如 Woodruff 等^[1]、Oort 等^[2]、Rajeevan 等^[3]、Angell 等^[4]、Hurrell^[5]和 Chang 等^[6]。但是, 在许多研究中, 时间尺度包含了各种尺度的变率。气象场与气候系统都有一个慢变的气候平均值, 在 Rasmusson 等^[7]、Wang 等^[8]的论文和著作中称为“气候基本态”, 被定义为 30 年以上慢变的平均值。他们研究了上一个世纪中期开始的 100 多年 ENSO 的长期变化, 将全球格点逐季 SST 的时间序列分为高、低频变化来研究。30 年以上的低频变化称为“气候基本态”, 而高频分量则包括 ENSO 尺度 (2~7 年) 以及年代际 (10~25 年) 的气候变化。ENSO 尺度的气候变率在 SST 的高频分量中可占到 80% 的方差, ENSO 尺度变率占优势的是太平洋地区。但是, 他们同时也指出, 某些结果对 SST 的资料版本敏感, 需要进一步利用更多的变量及长记录进一步研究。气候基本态是个需要揭露和研究的重要问题。Wang^[9,10]、Wang 等^[8]、徐建军等^[11]和 Parthasarathy 等^[12]都指出, 作为背景状态的慢变的平均值可能对高频变化有影响。目前, 30 年以上的尺度作为气候基本态尺度已被广泛接受^[13]。然而, 除了 SST 场以外, 我们对其他气象场的气候基本态的空间相关结构、时间演变规律及相互关系所知

甚少。需要指出,表示低层大气环流特征的海平面气压(SLP)场资料状况显然比SST场资料好得多,有必要和可能全面研究SLP场的气候基本态的空间相关结构及时间演变规律,揭露海平面气压场的气候基本态的高、低荷载区究竟在那里,与大气活动中心及气候变化有何关系。本文的研究是将冬季SLP场区分为二个不同的时间尺度,从而研究了SLP的气候基本态特征。

另一方面,长期气候变化既可以发生在数十年的气候平均值上,也可以出现在数十年中的气候变率上。其实,平均值的改变表明了气候基本态的变化,变率的改变则更紧密地与环流、天气的频率及强度相联系。Rasmusson等^[7]和Wang等^[8]等发现,ENSO尺度的变率在近百年中可改变2倍以上。20~50年代ENSO尺度的变率相对较小,1950年以后变率增大。海平面气压场在不同的基本态时,海平面气压的变率特征很值得研究与揭露。本文对冬季SLP的高频变率特征和冬季SLP场基本态与北半球及我国冬季气温变化的关系进行了研究。

2 资料与研究方法

2.1 资料

利用英国东英吉利大学整理的北半球月海平面气压场资料。这是具有较高精度的 5° (纬度) $\times 10^{\circ}$ (经度)格点的月平均值资料(1873~1994年)。冬季则用12~2月的平均,并定义为12月份的年。

2.2 方法

为了分离高、低频率带,使用了一种滤波频率带很狭窄的多级滤波器。这种滤波器是由Zheng等^[16]提出的,被Rasmusson等^[7]、Wang等^[8]用于分离SST的30年以上慢变的平均值。本文也使用这种滤波器,滤波计算程序由Wang提供(私人通信)。用 $X(t)$ 表示资料序列并简写为 X ,使用滤波器,使

$$X = X_L + X_H, \quad (1)$$

其中 X_L 是气候基本态序列,而 X_H 则为高频分量序列。利用这种方法滤波后的序列长度与原序列相同。首先,我们将北半球冬季各格点的SLP值序列作为 X ,代入(1)式,将海平面气压资料以30年为界滤波,定义SLP_L格点值组成一个慢变的场,这就是海平面气压的“气候基本态”,而SLP_H则组成高频分量场。

为研究气候变率异常,我们计算高频分量的31年滑动标准差。用下式计算

$$X_{HV}(t) = \left[\sum_{k=-15}^{k=15} X_H^2(t+k) / 31 \right]^{1/2}, \quad (2)$$

$X_{HV}(t)$ 也是一个时间序列,它用于估计高频分量场的气候变率特征的时间变化。将SLP_H值作为 X_H ,利用(2)就可以计算出SLP_{HV}(t),这就是海平面气压的高频滑动标准差。SLP_{HV}(t)的序列长度与原序列相比,前后少15年。}}

自然正交函数(EOF)方法被用于研究北半球冬季海平面气压场基本态及高频滑动标准差场的时空结构。本文利用20~80°N, 0~350°E的资料,间隔为 5° (纬度) $\times 10^{\circ}$ (经度)。北半球有 $13 \times 36 = 468$ 个空间格点,时间从1873/1874~1993/1994年

(121 年), 由此组成 468×121 的资料矩阵 X , 对 X 的距平资料进行 EOF 分解, 计算时还利用了时空变换方法。此外, North^[14]提出的 EOF 分解的特征值样本误差估计方法被用于确定有物理意义的特征向量场。

为了解基本态的长期趋势变化, 分别计算了 EOF 时间权重系数的趋势系数和直线回归方程

$$X(t)=a_0+a_1t, \qquad t=1,2,3,\cdots,n \qquad (3)$$

其中 t 是时间 (年), $X(t)$ 是要素在第 t 年的值, a_1 称为回归系数。我们通过计算趋势系数 r_{xt} (趋势系数定义为要素序列与自然数列 $1,2,3,\cdots,n$ 之间的相关系数^[15]) 得到 a_1 ,

$$a_1=r_{xt}(\sigma_x/\sigma_t), \qquad (4)$$

σ_x 是 $X(t)$ 的标准差, σ_t 是自然数列 $1,2,3,\cdots,n$ 的标准差。可以用 t 统计量对相关系数 r_{xt} 进行 t 检验。

3 北半球冬季海平面气压场的气候基本态特征

3.1 标准差场

(1) 和 (2) 式是对北半球 13° (纬度) $\times 36^\circ$ (经度) 的 468 个格点冬季 SLP 序列的距平值进行计算, 结果得到一个表示气候基本态变化的 SLP_L 场。图 1 给出的是北半球冬季 SLP_L 的标准差场, 由图 1 看出, 北半球冬季海平面气压基本态标准差的大值区在北太平洋的阿留申低压区、冰岛的西北部及西伯利亚高压区。表明这些地区海平面气压的 30 年以上的慢变的平均值改变明显。需要指出, 图 1 中除了阿留申低压区的高标准差位置稍偏西以外, 图 1 与用 SLP 及 SLP_H 场的计算的标准差图 (图略) 是比较相似的, 这说明冬季大气活动中心区基本上就是基本态的高方差区。但是图 1 表示的是一个慢变的标准差, 而 SLP_H 的标准差则是叠加在 SLP_L 上的一个振动, 它们有本质上完全不同的振动周期。其他的一些特征及相互关系正是我们需要进一步研究揭露的。如果滤波计算 (1) 式是对实测的非距平资料计算, 则基本态场的平均场表现为冬季的阿留申低压、西伯利亚高压、大西洋高压、冰岛低压、太平洋高压等大气活动中心。这与多年

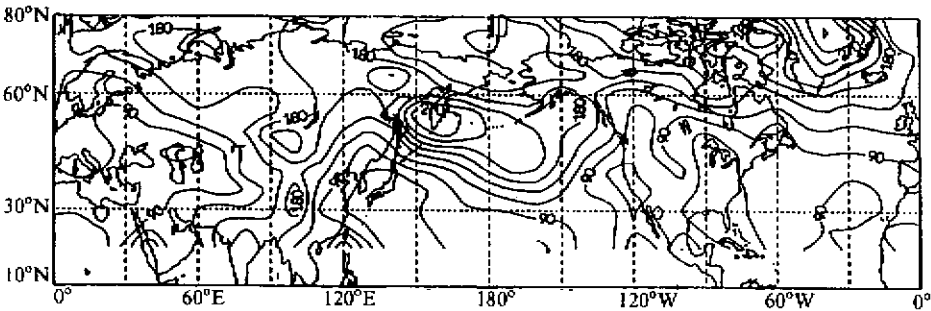


图 1 北半球冬季海平面气压距平场基本态标准差
单位: 0.01 hPa

北半球冬季海平面气压场的平均图是一致的。

3.2 SLP_L 的特征向量图

将计算的SLP_L场进行 EOF 展开, 前 3 个模态都能通过 North 标准检验。图 2a、b 给出SLP_L 的距平场的第一、第二特征向量图, 图 2c、d 给出对应的时间系数。

(1) 第一特征向量分布型

该特征向量分布(图 2a) 占总方差的 34.7%。由图看出: 整个大陆上呈现出北负南正特征, 表示了近似纬向的气流。在欧亚大陆北部, 北美洲北部为负区, 冰岛西北部

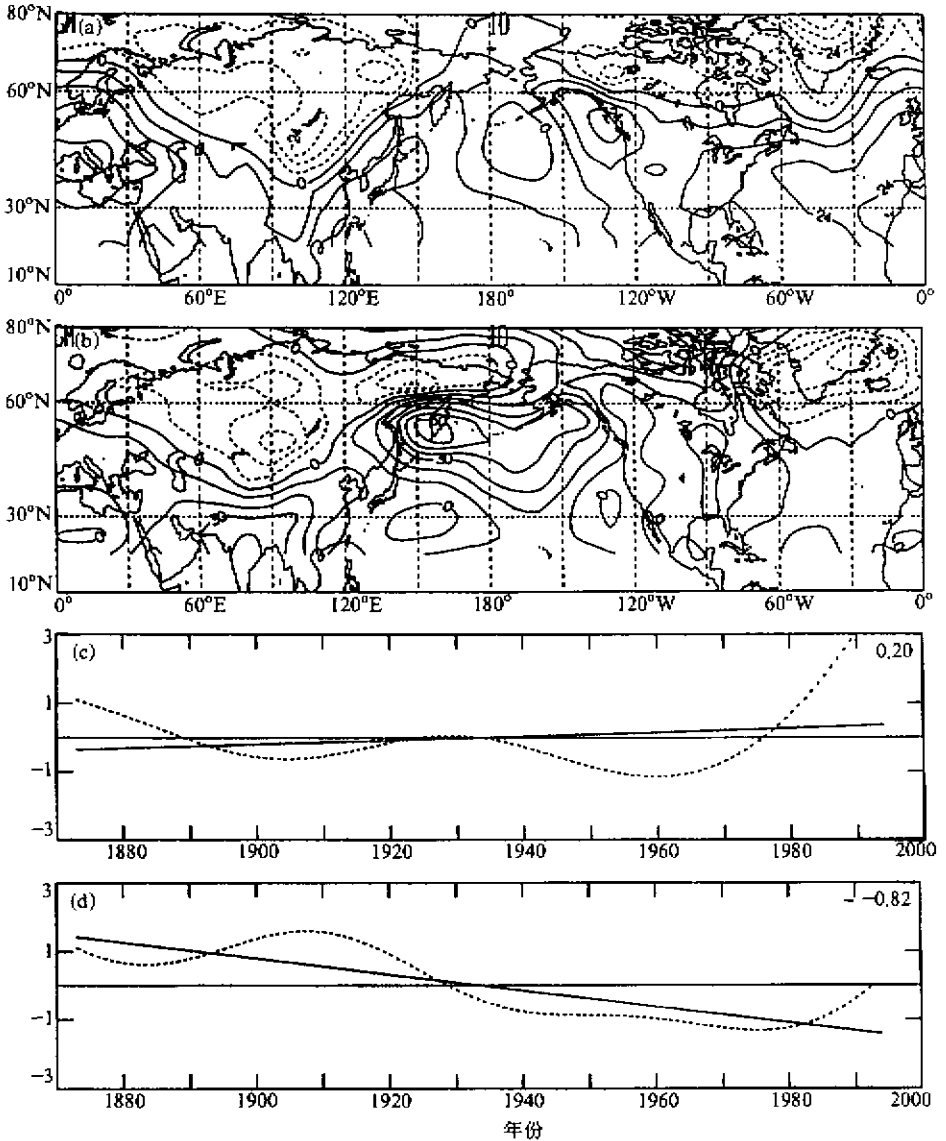


图 2 SLP_L 场的第一 (a)、第二 (b) 特征向量 (虚线为负值) 及对应的第一 (c)、第二 (d) 时间系数曲线 (已标准化)
(c)、(d) 中的直线是回归线, 右上角的数值是趋势系数

有负中心; 北大西洋为正区, 并有正中心。利用文献[17]中的近百年的西伯利亚高压、北大西洋高压的强度指数及纬向环流的强度指数序列, 计算得第一特征向量分布型的时间系数序列与西伯利亚高压强度低频变化的相关系数为 -0.86 , 与北大西洋高压强度低频变化相关系数达 0.69 , 与亚欧纬向环流的强度指数的的相关系数为 0.83 。所以, 该基本态对应的是西伯利亚高压处于低(弱)基本态下, 北大西洋高压处于较高(强)基本态下的强纬向环流的特征, 我们定义图 2a 为 SLP_L 第一模态的正位相。

(2) 第二特征向量向分布型

该特征向量分布(图 2b) 占总方差的 28.1% 。由图看出: 在北太平洋及阿留申低压地区为强的正区并伴有强的正中心; 北美也是正区; 冰岛地区有负中心。所以, 该特征型对应的是一种弱阿留申低压, 而且冰岛低压与阿留申低压有反位相变化的特征。此外, 在低纬度的西太平洋上是弱的负值区, 它与阿留申地区的正中心成弱的北太平洋涛动(NPO)。我们计算得出, 该模态的时间系数与阿留申低压强度的低频率序列之间有强的、正同期相关, 相关系数达到 0.70 (110 年资料)。所以, 该特征向量分布型的时间系数大, 表示弱阿留申低压、强北太平洋高压及弱的经向环流基本态。我们定义图 2b 为 SLP_L 的第二模态的正位相。

(3) 第三特征向量向分布型

该特征向量分布(图略) 占总方差的 20.4% 。主要是反应强冰岛低压、强大西洋高压及北大西洋涛动(NAO)。

图 2c、d 给出 SLP_L 的 EOF 模态的时间演变系数, 由图看出, 时间系数有长期趋势变化, 用(4) 式计算出它们的趋势系数, 分别是 0.20 和 -0.82 。第一时间系数 70 年代中期开始明显的正值增大, 表明西伯利亚高压 70 年代中期开始明显减弱。而第二时间系数有非常强的长期负趋势, 表明近百年来阿留申低压已明显加强, 并且是在非常明显的负趋势上迭加二弱二强的变化。根据图 2c 及图 2d, 近期北半球冬季 SLP 基本态是处于第一模态明显的正位相及第二模态的负位相下。

4 北半球冬季海平面气压场的气候变率特征

前已指出, 长期气候变化既可以发生在数十年的气候平均值上, 也可以出现在数十年中的气候变率上。现在, 我们对海平面气压的高频滑动标准差 SLP_{HV} 进行 EOF 分解。图 3 给出 SLP_{HV} 场的第一特征向量图及时间系数, 该特征向量已解释了总方差的 98.5% 、并通过 North 标准检验。

由图 3 看出: 在北太平洋的阿留申低压区、冰岛低压区及欧亚大陆北部是 SLP_{HV} 场的高荷载区。该特征向量分布型的时间系数(图 3b) 是明显的正趋势, 趋势系数达到 0.89 。这表明阿留申低压区及冰岛低压区在基本态改变的同时, 标准差也有长期变化, 而且主要表现为近百年中变率线性增大。

图 4 是阿留申低压系统的 SLP_L 及 SLP_{HV} 的时间演变曲线图。阿留申低压区取 $40^{\circ}\sim 55^{\circ}N$, $160^{\circ}E\sim 160^{\circ}W$ 的平均气压。可以看出阿留申低压系统基本态及标准差 SLP_{HV} 的长期变化明显表现为近百年中变率线性增大, 而强度则表现为非常明显的负趋势(变强) 上迭加周期约为 60 年二弱二强的变化。根据 Wang 等^[8]的论文, 太平洋是全球海

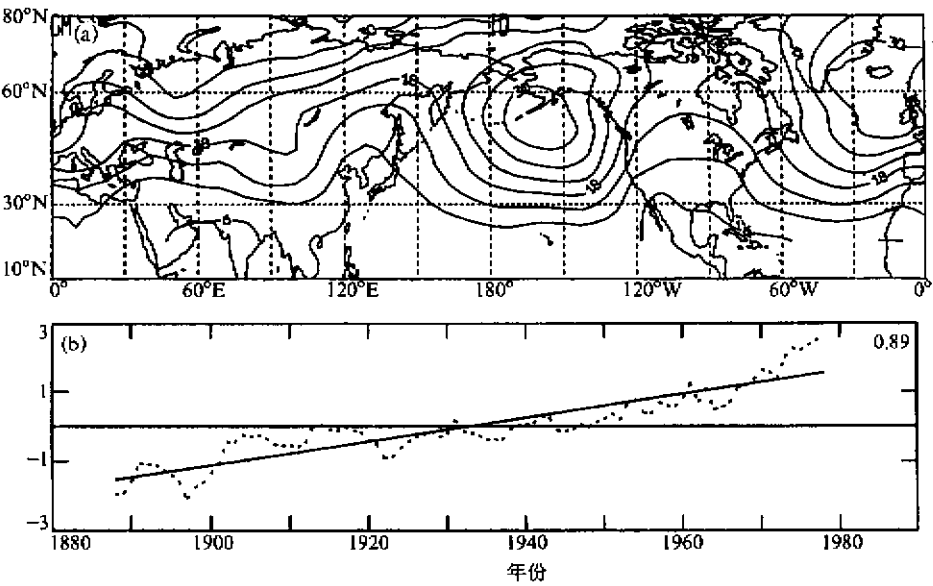


图 3 同图 2, 但是对 SLP_{HV} 场的第一特征向量 (a) 及时间系数 (b)

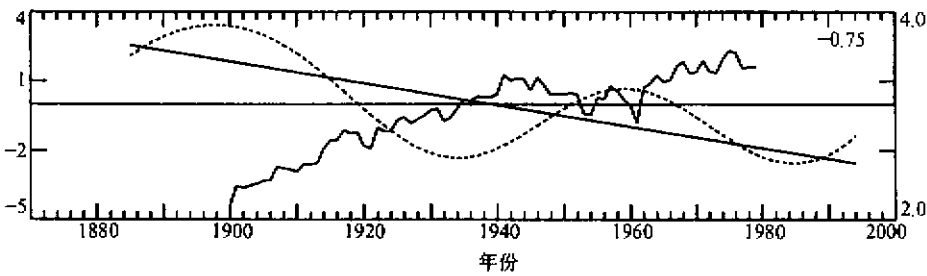


图 4 北半球冬季阿留申低压的 SLP_L (虚线, 距平数值在左) 与 SLP_{HV} (实曲线, 数值在右) 直线是回归线, 右上角的数值是趋势系数。单位: 0.01 hPa

平面温度的高频年滑动标准差 SST_{HV} 的优势地区, 而对应的时间系数表示为上个世纪末的低值到目前的高值, 有明显的线性趋势 (文献[8]图 11)。本文的结果表明, 阿留申低压系统的高频滑动标准差 (SLP_{HV}), 近百年表现为线性增加的趋势。

5 北半球冬季 SLP 场基本态与北半球冬季气温变化的关系

5.1 北半球冬季 SLP 场基本态与我国冬季气温变化的关系

我国的百年气候变化已有较多的研究^[18~20], 但没有联系基本态特征。将冬季我国 36 个观测站的气温也进行 (1881/1882~1993/1994 年) 滤波, 分离出基本态。图 5a、b 分别给出冬季我国 36 个观测站 (1881/1882~1993/1994 年) 基本态的第一、第二特征向量图, 它分别表示了 75.4%、9.3% 的方差贡献, 通过 North 标准检验。第一特征向量图表现为高值区位于西北、东北及华北, 低值区在西南。时间系数则表现为长期变化有上升趋势, 趋势系数为 0.85, 50~70 年代有微降, 70 年代以后明显

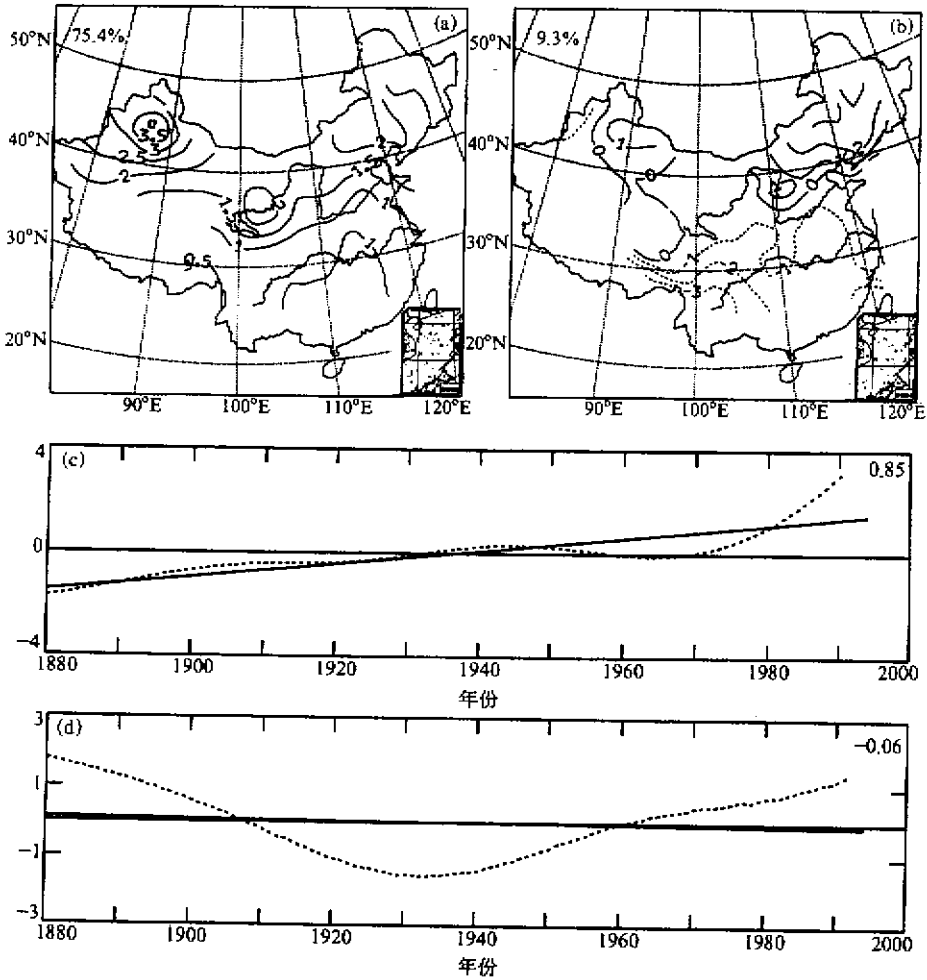


图5 同图2, 但是我国冬季36个站气温的第一(a)、第二(b)特征向量图及第一(c)、第二(d)时间演变曲线
图中左上角的数值是方差贡献率

变大。这与近百年我国冬季气温的长期趋势变化一致。第二特征向量图表现为高低值区位于东北及西北, 在我国 35°N 的南部是负区, 无明显的长期趋势变化 (趋势系数为 -0.06)。将气温低频变化的第一、二时间系数与北半球海平面气压低频模态的时间系数在同时段求相关, 分别为 0.69 和 -0.53, 表明我国冬季气温的长期变化与北半球海平面气压的基本态变化关系密切。70 年代以后的变暖与非常弱的西伯利亚高压和强的阿留申低压有关; 20~50 年代的暖与强的阿留申低压有关, 西伯利亚高压并不太弱; 50~70 年代的偏冷与强的西伯利亚高压有关; 本世纪初~20 年代的冷与弱的阿留申低压和强的西伯利亚高压有关。

5.2 北半球冬季海平面气压的基本态与北半球冬季气温变化的关系

将北半球冬季海平面气压基本态的 EOF 的时间系数与北半球冬季气温、北半球冬

季气温基本态求相关 (1881/1882~1993/1994 年)。结果对第一至第三时间系数来说, 与北半球冬季气温的相关系数分别为 0.31、-0.58 和 0.32, 与北半球冬季气温基本态的相关分别为 0.40、-0.75 和 0.42。EOF₂ 时间系数与北半球冬季气温在基本态尺度上是强的负相关 (-0.75), 表示阿留申低压加强伴随北半球冬季变暖, 而 EOF₁、EOF₃ 与北半球冬季气温基本态的正相关则表明强冰岛低压、弱西伯利亚高压也伴随北半球冬季变暖。此外, 可以看出, 北半球 20~50 年代的暖与 80 年代以后的变暖在环流特征上有区别, 20~50 年代的暖以强冰岛低压为主要特征, 并伴有强阿留申低压; 而 80 年代以后的暖, 则以弱的西伯利亚高压和强阿留申低压为主要特征, 近期的这种特征在近百年中是没有过的。

7 总结

(1) 北太平洋的阿留申低压区、冰岛的西北部及西伯利亚高压区, 是海平面气压 30 年以上慢变的平均值改变明显的地区。

(2) SLP_L 第一模态表现为弱西伯利亚高压和强北大西洋高压的强纬向环流的特征、第二模态表现为弱阿留申低压、强北太平洋高压及弱的经向环流特征。它们都有长期趋势变化。

(3) 近百年来, 高频变率的标准差 SLP_{HV} 的有明显的改变。这表明阿留申低压区及冰岛低压区的在基本态改变的同时, 标准差也有长期变化, 而且主要表现为近百年中变率线性增大。

(4) 北半球冬季气温的基本态与北半球冬季 SLP 场的基本态变化有关, 不同时段特征有区别。80 年代以后, 弱的西伯利亚高压与强阿留申低压的特征在近百年中是没有过的。

(5) 我国冬季气温的慢变过程与北半球冬季 SLP 场基本态变化有关, 而且, 主要表现为阿留申低压与西伯利亚高压强度异常。

参 考 文 献

- 1 Woodruff, S. D., R. J. Slutz, R. L. Jenne, and P. M. Steurer, A comprehensive ocean atmosphere data set, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1987, **68**, 1239~1250.
- 2 Oort, A. H., Y. H. Pan, R. W. Reynolds, and C. F. Ropelewski, Historical trends in the surface temperature over the oceans based on the COADS, *Climate Dyn.*, 1987, **2**, 29~38.
- 3 Rajeevan, M., D. S. Pai and V. Thapliyal, Spatial and temporal relationships between global land surface air temperature anomalies and Indian summer monsoon rainfall, *Meteor. Atmos. Phys.*, 1998, **66**, 157~171.
- 4 Angell, J. K., J. Korshover, Comparison of year-average latitude, longitude and pressure of the four centers of action with air and sea temperature, 1899~1978, *Mon. Wea. Rev.*, 1982, **110**, 300~303.
- 5 Hurrell, W. J., Decadal trends in the North Atlantic oscillation: regional temperatures and precipitation, *Science*, 1995, **269**, 676~679.
- 6 Chang, T., T. Yasunari, Fluctuations of global surface pressure patterns during the past 100 years and their relation to the Asian monsoon, *J. Meteor. Soc. Japan*, 1982, **6**(5), 1132~1142.
- 7 Rasmusson, E. M., X. L. Wang and C. F. Ropelewski, Secular variability of ENSO cycle, *Decade to Century Time Scales of Natural Climate Variability*, Academic Press, 1994.

- 8 Wang X. L. and C. F. Ropelewski, An assessment of ENSO-scale secular variability, *J. Climate*, 1995, **8**(6), 1584~1599.
- 9 Wang B., Transition from a cold to a warm state of the El Niño-Southern Oscillation cycle, *Meteor. Atmos. Phys.*, 1994, **48**, 1~16.
- 10 Wang B., Interdecadal change in El Niño onset in the last four decades, *J. Climate*, 1995, **8**(2), 267~285.
- 11 徐建军, 朱乾根, 施能, 近百年东亚冬季风与 ENSO 循环的相互关系及年代际异常, *大气科学*, 1997, **21**(6), 642~648.
- 12 Parthasarathy, B. et al., Evidence of secular variation in Indian monsoon rainfall-circulation relationships, *J. Climate*, 1991, **4**(9), 927~938.
- 13 Dugam, S. S., S. B. Kakade, and R. K. Verma, Interannual and long-term variability in the North Atlantic Oscillation and Indian summer monsoon rainfall, *Theor. Appl. Climatol.*, 1997, **58**, 21~29.
- 14 North, G., T. Bell, R. Cahalan and F. J. Moeng, Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function, *Mon. Wea. Rev.*, 1982, **110**, 699~706.
- 15 施能, 陈家其, 屠其璞, 中国近 100 年四个年代际的气候变化特征, *气象学报*, 1995, **53**(4), 531~539.
- 16 Zheng, D. W. and D. N. Dong, Realization of narrow band filtering of the polar motion data with multi-stage filter translated, *Acta Astron. Sin.*, 1986, **27**, 368~376.
- 17 朱乾根, 施能, 徐建军, 吴朝晖, 近 100 年北半球冬季大气活动中心的长期变化及其与我国气温、降水变化的关系, *气象学报*, 1996, **55**(6), 750~758.
- 18 王绍武, 近百年气候变化与变率的诊断研究, *气象学报*, 1994, **52**, 261~273.
- 19 李月红, 张正秋, 百年来上海、北京气候突变的初步分析, *气象*, 1991, **17**(10), 15~19.
- 20 魏凤英, 曹鸿兴, 中国、北半球和全球的气温突变分析及其趋势预报研究, *大气科学*, 1995, **19**, 140~149.

A Preliminary Study of the Northern Winter SLP Climate Base State and Its Climate Variability and Effects

Shi Neng, Deng Ziwang, Pan Wuijuan and Yang Yongsheng

(Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044)

Abstract A study is undertaken of the climate base state of the northern winter sea level pressure (SLP) and its climate variability and temporal evolution, indicating that the base state has its high-value region of means square deviation in the Aleutian low, the northwest part of the Iceland's low and the Siberian high. The first eigenvector of the base state displays a weak Siberian high, a robust Atlantic high and intense zonal circulation, while the second reveals a feeble Aleutian low and a vigorous North Pacific high. Also, the study shows that as the base state of the Aleutian and Iceland low experiences change, the mean square deviation on a secular basis also changes, exhibiting dominantly increased linear variability in the study period. Further, the northern winter temperature and the long-term winter temperature variations in China are found to have relations to the evolution of the SLP climate base state.

Key words: climate base state; climate variability; sea level pressure field