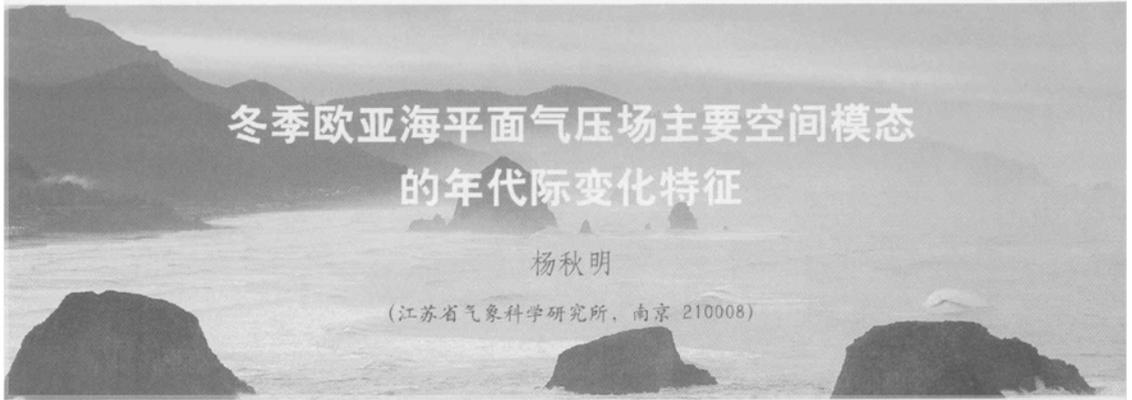


文章编号: 1673-1719 (2008) 04-0240-05



摘要: 运用非线性主成分分析法对欧亚地区1948—2007年冬季海平面气压距平场进行分析。结果表明: 冬季欧亚地区海平面气压异常变率具有显著的非线性特征, 当非线性主成分取不同的异常值时, 对应的空间气压异常分布型具有显著的非对称性。同时, 第一非线性模态(NLPC1)年际振荡强度和周期在20世纪70年代初存在明显的年代际变化, 1970年以后, 年际振荡强度显著增强。

关键词: 海平面气压; 非线性空间模态; 欧亚地区; 冬季; 年代际变化

中图分类号: P424.2 **文献标识码:** A

引言

东亚冬季风系统是北半球最活跃的环流系统, 它的异常不仅会带来区域性冷害、大风等灾害天气, 而且能引发全球范围的大气环流异常^[1-4], 是影响中国冬季气候的主要因子之一^[5-7]。有研究表明, 东亚冬季风在ENSO/季风系统的准两年振荡中起关键作用^[8]。赵平等^[9]进一步研究了海平面气压场的东亚太平洋偶极子(APD)的年代际变化。东亚冬季风除了年际变化外, 还有明显的年代际变化^[4,7], 它是连接气候年际变化和长期气候趋势的“桥梁”, 而且年际和年代际变化之间也存在复杂的相互作用, 其成因也是人们关注的问题。因此, 研究东亚冬季风的年代际变化特征和成因具有十分重要的科学价值和社会意义。

由于东亚冬季环流内部动力过程和外部热力强迫(如ENSO, 欧亚积雪等因子)之间的复杂相互作用,

冬季风环流的演变过程具有非线性特征。过去的大部分研究仅用线性相关和线性主成分方法(PCA)揭示了冬季风环流的线性模态的变化, 对非线性模态的年际和年代际变化的研究较少。大气环流异常变化的非线性结构和大气对外源强迫的非线性响应是气候变化研究中的难点, 需要采用非线性分析方法。

本文采用非线性主成分分析(NLPCA)^[10-14], 对欧亚地区1948—2007年冬季海平面气压距平场变率进行研究, 目的是深入探讨东亚冬季风环流主要非线性模态的年代际变化特征。

1 资料与方法

使用的资料为NCEP/NCAR月平均再分析资料中的海平面气压场格点资料, 分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度, 资料时间为1948—2007年。冬季定义为当

收稿日期: 2007-11-09; 修订日期: 2008-01-22

基金项目: 中国气象局基础研究预研基金项目(200726)资助

作者简介: 杨秋明(1963—), 男, 高级工程师, 主要从事中长期天气预报研究和业务。E-mail: yqm0305@263.net

年 12 月至翌年 2 月, 即 1948 年冬季为 1948 年 12 月至 1949 年 2 月。

采用的反向非线性主成分分析模型方法 (inverse model of nonlinear PCA), 其性能明显优于通常的基于 5 层前馈型神经网络的 NLPCA 方法 [10-12], 能更好地识别低维空间中的主要非线性模态。为了对资料集作降维处理, 首先对欧亚地区冬季海平面气压距平场作传统主成分分析 (PCA)。将距平资料集投影到前 k 个主要 PCA 模态上, 可得到前 k 个主成分, 然后把这 k 列时间系数输入到神经网络中进行网络

运行。运行结束后, 便可得到冬季欧亚地区海平面气压距平场的 NLPCA 第一模态和时间系数。

2 结果与分析

在 NLPCA 分析之前, 先对冬季欧亚地区海平面气压距平场进行 PCA 分析 (格点海平面气压距平已进行标准化处理, 以消除纬际变化的差异)。前 3 个模态分别解释了总方差的 36.3%、10.2% 和 8.5%, 累积方差为 55.0%, 它们是冬季欧亚地区海平面气压

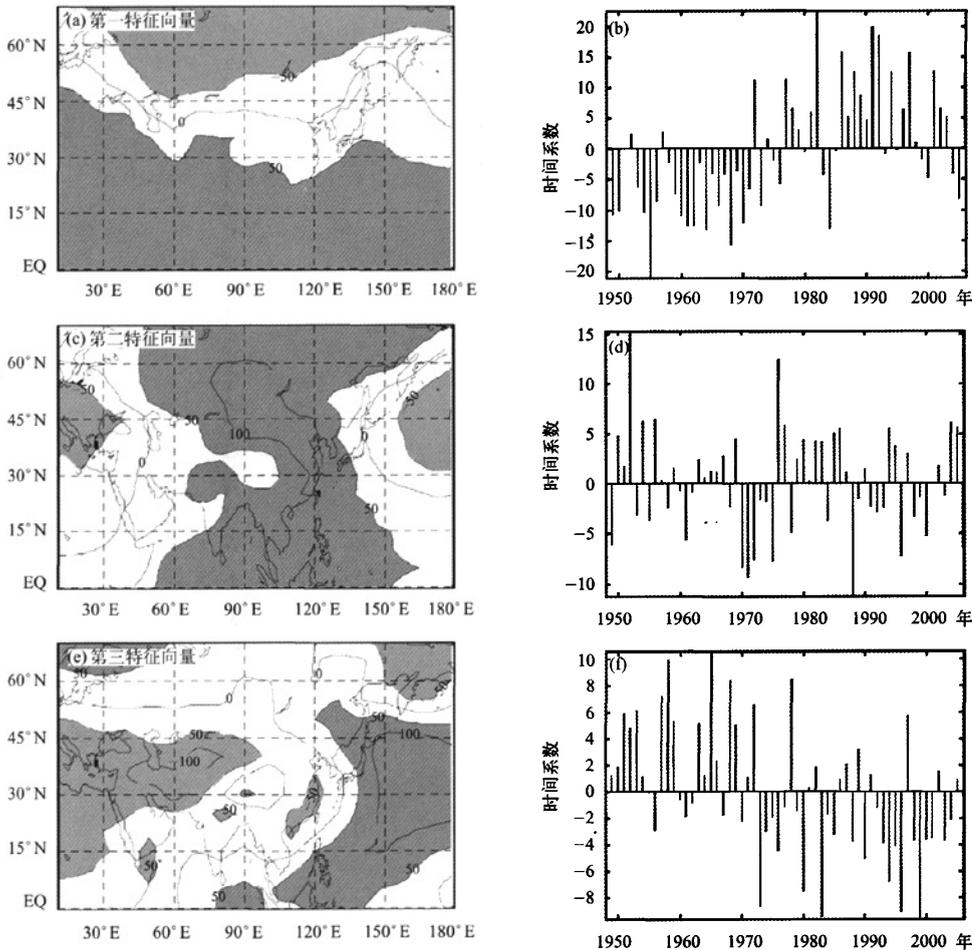


图 1 冬季欧亚地区海平面气压距平场主要线性模态

(a, c, e 是第一, 第二, 第三特征向量; b, d, f 是对应的时系数)

Fig. 1 Spatial patterns of the first (a), second (c), and third (e) linear modes of winter sea level pressure anomalies over Eurasia, and their time coefficients (b, d, f), respectively

距平场最显著的线性空间模态。图 1 为冬季欧亚地区海平面气压距平场前 3 个模态的空间型及与之对应的时序列。

第一线性模态 (PC1, 图 1a) 和第二线性模态 (PC2, 图 1c) 分别表现为东半球低纬度和欧亚中高纬度大陆之间南北向、东亚大陆东部和西北太平洋地区东西向气压反位相变化的空间结构。PC1 对应的时间系数呈十分显著的年际和年代际变化 (图 1b)。年代际变化主要表现为: 20 世纪 70 年代初以前以负值为主, 70 年代中期以来, 正值占主导地位, 欧亚大陆中高纬度地区冬季气压在近 30 a 来持续下降。PC2 类似于海平面气压场的东亚太平洋偶极子的空间分布^[9], 正负异常中心分别在蒙古高压和太平洋阿留申低压活动中心附近。另外, 在欧洲南部地区还有一个负值区, 时间变化以年际变化为主 (图 1d), 主要由东亚热带外地区纬向海陆热力差异决定。此外, 还存在较显著的北非、西亚地区和西北太平洋地区反向变化的空间分布型 (PC3, 图 1e), 对应的时间序列从 20 世纪 50 年代初到 70 年代初基本为正位相, 70 年代中期以后负位相占优势 (图 1f)。这种冬季欧亚地区海平面气压距平场的线性空间模态的活动规律和形成机制有待于进一步研究。

将前 3 个主成分作为非线性主成分分析 (NLPCA) 占主导作用的对象, 得到冬季欧亚海平面气压距平的 NLPCA 第一模态, 它的解释方差是 49.2%, 比线性 PCA 第一模态高 12.9%, 因而非线性比较明显。图 2 (a) 是 NLPCA 第一模态对应的时间系数的变化曲线, 它表现为不规则的年际变化特征, 1951—1970 年以正异常为主, 20 世纪 70 年代初期发生一次突变, 由滑动 *t* 检验法 (MTT)^[15] 可知突变时间是 1973 年, 其显著性水平达 0.01, 70 年代中期以来负值占优势 (图 2b)。从图 2 (a) 还可以看出, 与均值突变相对应, NLPC1 的年际振荡强度和周期也发生了显著的年代际变化。1970 年以前, NLPC1 表现为较明显的 2~3 a 振荡, 而到 1970 年以后, 年际振荡变为 3~7 a 的不规则振荡, 且振荡强度迅速增强, 表明在 20 世纪 70 年代初欧亚冬季海平面气压距平主要非线性空间模态 (NLPC1) 的年际振荡强度也发生了突变, 这早于 70 年代中后期太平洋年代际振荡 (PDO) 位相

的变化^[15-16]。这种年际振荡强度突变在过去的研究中尚未发现, 可能与东亚冬季风环流内部复杂的非线性动力过程有关^[17]。

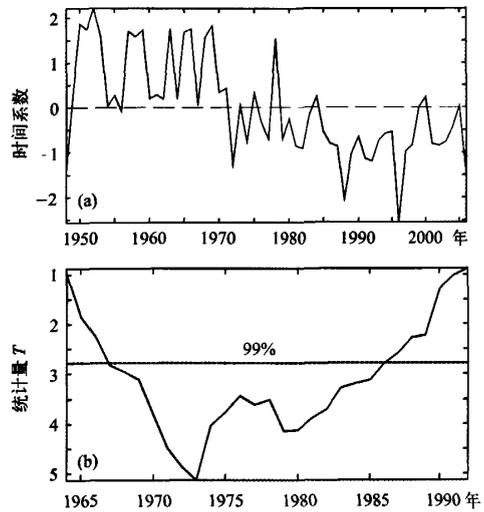


图 2 冬季欧亚地区海平面气压距平 NLPCA 第一模态的时间变化曲线 (a) 和对应的滑动 *t* 检验法中统计量 *T* 的变化曲线 (b)

Fig. 2 The time series of the first nonlinear principal component for winter sea level pressure anomalies over Eurasia (a) and the time series of statistic quantity *T* for the moving *t*-test (b)

NLPC1 对应的时间系数 $\alpha(t)$ 可被看作是 NLPCA 曲线的独立曲线调整系统, 每个 α 都对应于前 3 个 PC 模态的一个空间型, 通过对不同强度的 α 所对应的观测海平面气压距平的合成图可以得到 NLPC1 不同状态的空间分布。图 3 (a, b) 是 NLPC1 分别为强负异常 ($-1.2\sigma < \alpha < -0.8\sigma$, σ 是 α 的标准差) 和中等强度正异常 ($0.2\sigma < \alpha < 0.7\sigma$) 对应的冬季欧亚地区海平面气压距平空间分布, 图中阴影区是达到 95% 信度的区域。图 3 (a) 表现为北非、南亚地区、热带和副热带西太平洋地区与欧亚大陆中高纬度地区大范围气压变化相反的翘翘板结构, 当北非到印度附近以及副热带西太平洋地区气压明显增强时, 欧亚中高纬大陆地区气压迅速下降, 其符号的空间分布与线性 PC1 有一定相似之处 (图 1a), 但正异常中

心位置偏北, 南北向梯度较大, 是NLPC1的一种峰值位相(强负异常), 这种状态大部分位于1970年以后(图2a), 这时对应的线性PC1以正值为主(图1b)。而当NLPC1处于中等强度的正异常时, 海平面气压距平呈现较显著的欧亚大陆与西北太平洋中纬度地区气压反向变化的偶极子结构(图3b), 但正负区域的空间分布相反, 与APD十分相似^[9], 具有线性PC2的部分特征(图1c), 反映了NLPC1变化的过渡位相的空间分布。因此, 不同强度的冬季欧亚地区海平面气压距平第一非线性模态(NLPC1)变化同时包含了线性PC1和PC2时间变化的部分信息。同时也表明虽然PC1和PC2线性无关, 但存在较明显的非线性相关。

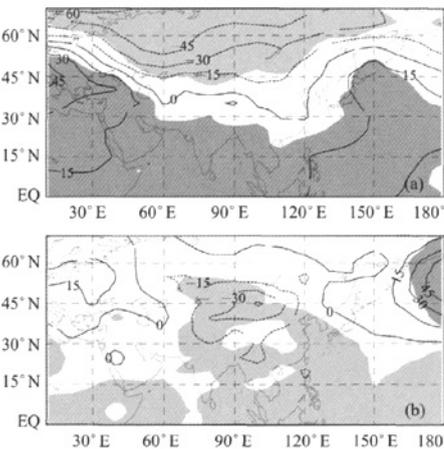


图3 α 取不同异常值时非线性主成分对应的海平面气压距平空间分布型(单位: 10^{-1} hPa; 阴影区信度达95%)

(a) $-1.2\sigma < \alpha < -0.8\sigma$, (b) $0.2\sigma < \alpha < 0.7\sigma$

Fig. 3 The composite winter sea level pressure anomaly patterns for NLPC1 (the 95% significance level is shaded; unit: 10^{-1} hPa)

(a) $-1.2\sigma < \alpha < -0.8\sigma$, (b) $0.2\sigma < \alpha < 0.7\sigma$

线性主成分分析法(PCA)只能提取海平面气压异常分布的线性特征。例如, 当PC1取极端相反值时, 一维线性近似返回的海平面气压距平场呈反对称分布(图略), 类似于图1(a)。因此, 通过NLPCA方法可以得到传统线性统计方法不能得到的结论。由于冬季欧亚大陆地区大气内部非线性相互作用十分明显^[17], 因而由NLPC1得到的非线性信号的演

变对于理解冬季风的年际和年代际变化规律和提高东亚冬季气候预测准确率十分重要。

3 结论

(1) 冬季欧亚地区海平面气压距平场第一非线性模态(NLPC1)的平均值和年际振荡强度20世纪70年代初发生一次显著的年代际变化; 1970年以后, 负值占优势, 年际振荡强度显著增强, 周期变长; 1970年以前以正值为主, 年际振荡较弱。这可能与东亚冬季风环流内部复杂的非线性相互作用过程有关。

(2) 欧亚地区冬季海平面气压距平场分布存在一定的非线性特征, 当非线性第一模态对应的非线性主成分(NLPC1)取不同强度的异常位相时, 一维非线性近似还原的海平面气压距平场分布呈现较显著的非反对称性的空间分布。当NLPC1呈强负异常和中等强度正异常时, 其空间分布与线性PC1和PC2的空间分布部分相似(分别为东半球中高纬度与热带、副热带地区气压变化相反的翘翘板结构和东亚太平洋偶极子结构), 因此NLPC1变化时包含了线性PC1和PC2的部分信息, 体现了线性PC1和PC2的年际和年代际变化之间存在非线性关系。■

参考文献

- [1] 施能. 近40年东亚冬季风强度的多时间尺度变化特征及其与气候的关系[J]. 应用气象学报, 1996, 7(2): 175-182
- [2] Wu B, Wang J. Winter Arctic Oscillation, Siberian high and East Asian winter monsoon[J]. Geophys. Res. Lett., 2002, 29(19): 1897, doi:10.1029/2002GL015373
- [3] 陈勇, 孙淑清. 东亚冬季风异常与全球大气环流变化I: 强弱冬季风影响的对比研究[J]. 大气科学, 1999, 23(1): 101-111
- [4] 施晓晖, 徐祥德, 谢立安. 近40年来东亚冬季风的年代际时空变化趋势[J]. 大气科学, 2007, 31(4): 747-756
- [5] 何溪澄, 丁一汇, 何金海, 等. 中国南方地区冬季风降水异常的分析[J]. 气象学报, 2006, 64(5): 594-604
- [6] 李勇, 陆日宇, 何金海. 影响我国冬季温度的若干气候因子[J]. 大气科学, 2007, 31(3): 505-514

- [7] 康丽华, 陈文, 魏科. 我国冬季气温年代际变化及其与大气环流异常变化的关系 [J]. 气候与环境研究, 2006, 11 (3): 330-339
- [8] Tomita T, Yasunari T. Role of the northeast winter monsoon on the biennial oscillation of the ENSO/ Monsoon system [J]. J. Meteor. Soc. Japan, 1996, 74 : 399-413
- [9] 赵平, 张人禾. 东亚北太平洋偶极型气压场及其与东亚季风年际变化的关系 [J]. 大气科学, 2006, 30 (2): 307-316
- [10] Kramer M A. Nonlinear principal component analysis using auto associative neural networks [J]. AIChE Journal, 1991, 37 (2): 233-243
- [11] Monahan A H. Nonlinear principal component analysis by neural networks: theory and application to the Lorenz system [J]. J. Climate, 2000, 13: 821-835
- [12] Hsieh W W. Nonlinear principal component analysis by neural networks [J]. Tellus, 2001, 53 (A): 599-615
- [13] Monahan A H, Fyfe J C, Flato G M. A regime view of Northern Hemisphere atmospheric variability and change under global warming [J]. Geophys. Res. Lett., 2000, 27: 1139-1142
- [14] Teng Qiaobin, Fyfe J C, Monahan A H. Northern Hemisphere circulation regimes: observed, simulated and predicted [J]. Climate Dynamics, 2007, 28: 867-879
- [15] 肖栋, 李建平. 全球海表温度场中主要的年代际突变及其模态 [J]. 大气科学, 2007, 31 (5): 840-854
- [16] Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S. ENSO-like interdecadal variability: 1900-93 [J]. J. Climate, 1997, 10: 1004-1020
- [17] 罗哲贤. 大尺度流型年际变化可能机制的研究 [J]. 气象学报, 1993, 51 (3): 266-273

Interdecadal Variations of the Principal Modes for Winter Sea Level Pressure Anomalies over Eurasia

Yang Qiuming

(Jiangsu Meteorological Institute, Nanjing 210008, China)

Abstract: Eurasian winter sea level pressure anomalies during 1948-2007 were investigated by applying a nonlinear principal component analysis (NLPCA) method. The results show that there was a distinct nonlinear characteristic in Eurasian winter sea level pressure anomaly changes. The spatial distribution was obviously asymmetrical when the first nonlinear principal component (NLPC1) took various positive or negative anomalous values. It is found that there was an evident interdecadal change of the intensity and period of interannual oscillations for the first nonlinear principal mode in the early 1970s, afterwards the nonlinear interannual oscillation was significantly enhanced.

Key words: sea level pressure; nonlinear spatial mode; Eurasia; winter; interdecadal variation

冬季欧亚海平面气压场主要空间模态的年代际变化特征

作者: 杨秋明, [Yang Qiuming](#)
作者单位: [江苏省气象科学研究所, 南京, 210008](#)
刊名: [气候变化研究进展](#) 
英文刊名: [ADVANCES IN CLIMATE CHANGE RESEARCH](#)
年, 卷(期): 2008, 4(4)

参考文献(17条)

1. 施能 [近40年东亚冬季风强度的多时间尺度变化特征及其与气候的关系](#) 1996(02)
2. Wu B;Wang J [Winter Arctic Oscillation,Siberian high and East Asian winter monsoon](#)[外文期刊] 2002(19)
3. 陈隽;孙淑清 [东亚冬季风异常与全球大气环流变化 I:强弱冬季风影响的对比研究](#)[期刊论文]-[大气科学](#) 1999(01)
4. 施晓晖;徐祥德;谢立安 [近40年来东亚冬季风的年代际时空变化趋势](#)[期刊论文]-[大气科学](#) 2007(04)
5. 何溪澄;丁一汇;何金海 [中国南方地区冬季风降水异常的分析](#)[期刊论文]-[气象学报](#) 2006(05)
6. 李勇;陆日宇;何金海 [影响我国冬季温度的若干气候因子](#)[期刊论文]-[大气科学](#) 2007(03)
7. 康丽华;陈文;魏科 [我国冬季气温年代际变化及其与大气环流异常变化的关系](#)[期刊论文]-[气候与环境研究](#) 2006(03)
8. Tumita T;Yasunari T [Role of the northeast winter monsoon on the biennial oscillation of the ENSO/Monsoon system](#) 1996
9. 赵平;张人禾 [东亚北太平洋偶极型气压场及其与东亚季风年际变化的关系](#)[期刊论文]-[大气科学](#) 2006(02)
10. Kramer M A [Nonlinear principal component analysis using auto associative neural networks](#) 1991(02)
11. Monahan A H [Nonlinear principal component analysis by neural networks:theory and application to the Lorenz system](#) 2000
12. Hsieh W W [Nonlinear principal component analysis by neural networks](#) 2001(A)
13. Monahan A H;Fyfe J C;Flato G M A [regime view of Northern Hemisphere atmospheric variability and change under global warming](#)[外文期刊] 2000(8)
14. Teng Qiaobin;Fyfe J C;Monahan A H [Northern Hemisphere circulation regimes:observed,simulated and predicted](#)[外文期刊] 2007
15. 肖栋;李建平 [全球海表温度场中主要的年代际突变及其模态](#)[期刊论文]-[大气科学](#) 2007(05)
16. Zhang Y;Wallace J M;Battisti D S [ENSO-like interdecadal variability:1900-93](#) 1997
17. 罗哲贤 [大尺度流型年际变化可能机制的研究](#) 1993(03)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_qhbhyjjz200804009.aspx