

高庆九, 管兆勇, 蔡佳熙. 2010. 中国东部夏季气压气候变率: 测站资料与再分析资料的比较 [J]. 气候与环境研究, 15 (4): 491–503.
Gao Qingjiu, Guan Zhaoyong, Cai Jiayi. 2010. Climatic variability of summertime air pressure fields in the eastern part of China during 1958–2001: Comparisons among reanalysis data sets and observations [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 15 (4): 491–503.

中国东部夏季气压气候变率: 测站资料与再分析资料的比较

高庆九^{1,2} 管兆勇^{1,2} 蔡佳熙^{1,2}

1 南京信息工程大学气象灾害省部共建教育部重点实验室, 南京 210044

2 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044

摘 要 应用中国 194 站地表气压 (OP)、NCEP/NCAR 再分析月平均地表气压 (NP) 和海平面气压 (NS) 及 ERA-40 再分析月平均海平面气压 (ES) 资料, 分析了中国区域夏季气压的气候变率, 特别是再分析资料集中地表气压和海平面气压的再现能力。分析发现: 1) 3 种资料均显示我国东部气压升高, NP (NS) 中 1976 年前后的年代际突变特征显著, ES 的变化量与 OP 相当, NP (NS) 远高于其他两种资料; 1965 年以前 NP、NS 与 OP、ES 差异较大, NP (NS) 显著偏低。2) OP 和 ES 在 20 世纪 70 年代中期到 90 年代初期具有较为相似的 3~4 年的周期变化, 而 NP 周期特征与 OP、ES 有显著差异, 存在虚假的 14 年左右的周期特征; 3) 3 种气压资料为一致的线性增高趋势, NP 线性变化趋势最大, OP 最小, 北方大于南方, 但再分析资料在对气压变化长期趋势的研究中, 不确定性较大; 4) OP 显示气压变化不大, 而 ES、NP (NS) 反映气压变化较大, 以我国北方变化最为明显, 从北向南逐渐降低, 中心均在内蒙古中部一带。NP 对我国北方地区气压变化估计偏高, 对我国长江中下游地区、华南和山东半岛气压变化的反映略有不足; 5) 再分析资料可以再现我国气压年际变化特征, 对我国气压的再现能力在东部优于西部, 低纬度地区优于高纬度地区, 并且 ES 的再现能力要优于 NP (NS)。

关键词 观测资料 NCEP/NCAR 资料 ERA-40 再分析资料 气压 气候变率

文章编号 1006-9585 (2010) 04-0491-13 **中图分类号** P423 **文献标识码** A

Climatic Variability of Summertime Air Pressure Fields in the Eastern Part of China during 1958–2001: Comparisons among Reanalysis Data Sets and Observations

GAO Qingjiu^{1,2}, GUAN Zhaoyong^{1,2}, and CAI Jiayi^{1,2}

1 Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

收稿日期 2010-03-12 收到, 2010-05-12 收到修定稿

资助项目 国家科技支撑计划资助项目 2007BAC29B02、国家自然科学基金资助项目 40675025、江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目 CX07B_047z 和江苏省高校自然科学研究计划资助项目 08KJD170001

作者简介 高庆九, 女, 1969 年出生, 博士研究生, 副教授, 主要从事短期气候预测工作。E-mail: gaoqj51@126.com

通讯作者 管兆勇, E-mail: guanzy@nuist.edu.cn

Abstract Based on in situ observational summertime air pressures (OP) at 194 stations in China, surface air pressures (NP) and sea level air pressures (NS) from NCEP/NCAR monthly reanalysis data, and ERA-40 monthly mean sea level pressure (ES), comparisons have been carried out between the OP and reanalysis data sets to indicate the representation ability of NP, NS, and ES for the periodic, interannual, interdecadal variability and the trends by means of statistical analysis such as wavelet transform, Empirical Orthogonal Function (EOF) decomposition. The results show that the increase over the eastern part of China is observed in OP, NP, and ES, while the abrupt change around 1976 is marked in both NP and NS. ES anomaly is closed to that of OP, which is much lower than those of NP and NS during 1958–2001. In detail, NP and NS magnitudes and anomalies are significantly different from those of OP and ES before 1965. Furthermore, ES show similar periods of 3–4 years to OP from the mid 1970s to the early 1990s, whereas NP and NS act quite different characteristics of a false period of 14 years. Increasing linear trends are showed in OP, ES, and NP/NS, while NP have the highest trend and OP have the lowest, and all the trends decrease from the north to the south. However, it must be noted that reanalysis data sets are uncertain in research of long term trend. The distributions of the variance show that the variability of OP is not as noticeable as those of the reanalysis data, which is characterized by the variance decreasing from the north to the south with centers located over middle Inner Mongolia. NP in northern China are overestimated but less estimated in southern China. Generally, ES, NP, and NS can represent the interannual variability of the pressure over China, better (worse) in the eastern (western) part of China and better in low latitudes, while ES are superior to NP/NS.

Key words observation data, NCEP/NCAR data, ERA-40 reanalysis data, air pressure, climatic variability

1 引言

NCEP/NCAR 再分析资料集 (Kalnay et al., 1996; Kistler et al., 2001) 被全球气象研究人员广泛应用, 得到了许多有益的结论。它是由 NCEP 与 NCAR 共同研发的, 但在使用过程中也发现了一些问题 (Kistler, 1998; Yang et al., 2002; 方之芳和张丽, 2006), 如: 1967 年以前在蒙古和中国北部等地区冬季出现异常高的海平面气压, 而夏季则有异常低的海平面气压。ERA-40 再分析资料是由欧洲中期天气预报中心 (EC-MWF) 研制并公布的另一套再分析资料集 (Up-pala et al., 2005), 同样得到广泛的应用。

由于在再分析过程中两份资料集的模式、同化系统以及资料来源存在差异, 使得两份资料集并不完全一致: 赵宗慈和罗勇 (1999) 指出 ERA-40 再分析资料模拟的降水空间分布更接近观测实际, 而 NCEP/NCAR 再分析资料模拟的降水量更接近观测实际; Guan and Yamagata (2001) 发现, NCEP/NCAR 与 ERA-40 再分析资料集的地表气压在 1979~1993 年期间的相关很低。而岳阳等 (2005)、秦育婧等 (2006) 发现两种客观分析资料给出的 Hadley 环流的强度存在明显差异。作

为两种重要且被广泛应用的再分析资料集, 存在诸多不一致之处, 这给各方面的科学研究带来了不确定性。因此, 对于再分析资料质量及可信度问题的研究引起研究人员的重视, 其中徐影等 (2001)、魏丽和李栋梁 (2003)、施晓辉等 (2006)、周顺武和张人禾 (2009) 对 NCEP/NCAR 再分析温度场、气压场、风速以及降水和位势高度资料在我国气候研究中的可信度进行了初步分析, 认为该资料在我国东部地区的可信度高于西部、低纬的可信度高于高纬、温度场的可信度高于气压场, 在青藏高原气候研究中也有较高的参考价值, 在年际变化研究中较好; 同时, 对于 NCEP/NCAR 和 ERA-40 两种再分析资料的质量以及在我国气候研究中的可信度问题也从各个方面进行了比较, 其中 Annamalai et al. (1999) 在亚洲夏季风的研究中指出 ERA-40 的降水和非绝热加热资料优于 NCEP/NCAR 资料; 李川等 (2004) 对两种再分析资料对青藏高原地区温度和降水与实际观测资料的差异进行了初步分析; 黄刚 (2006) 利用实际探空资料比较了 NCEP/NCAR 和 ERA-40 再分析资料在 1000 hPa 以上的位势高度和温度的差异, 得出 ERA-40 再分析资料在东亚地区对流层低层的位势高度和温度要好于 NCEP/NCAR 再分析资料, 20 世纪 70

年代以后, NCEP/NCAR 再分析资料对于内蒙古和华北地区对流层上层的位势高度和温度的描述要好于 ERA-40 再分析资料。韩晋平和王会军(2007)对两份再分析资料在东亚夏季风年代际变化中表现出的特征进行了比较。徐菊艳等(2008)、何浪等(2009)用统计方法检验了观测资料和两种再分析资料位势高度场、海平面气压场的气候均值和年际方差的差异显著性, 并比较了冬、夏季北半球主要大气活动中心面积、强度指数的年际变化差异和相关程度及两种再分析资料月平均温度场的差异, 认为 ERA-40 相对较好。高庆九等(2010)比较了两种再分析温度资料与观测资料之间的差异, 指出两种再分析资料对我国温度年际变化的再现能力相当, 而在年代际和长期变化趋势的研究中 ERA-40 较好。周连童(2009)根据两种再分析资料计算春、夏季感热输送差异, 指出在年代际时间尺度上, ERA-40 的感热资料更接近于实际台站观测资料计算得到的感热资料。

需要指出的是, 赵天保等(2004)、赵天保和符淙斌(2006, 2009)、Zhao and Fu(2006, 2009)、赵天保和华丽娟(2009)分别利用我国 160 站和 700 多站温度和降水观测资料, 140 个台站标准等压面的 B01 探空观测资料及两套再分析资料, 对两种再分析资料的差异进行了较为全面的研究, 其研究覆盖了地面和高空, 涉及位势高度、温度、降水以及气压等要素在空间分布及其变化趋势的差异和可信度。认为再分析资料在东部地区的可信度高于西部, 温度场的可信度要高于降水场, ERA-40 可信度要高于 NCEP-2; 夏季和年平均模拟得较好, 冬季较差。就大多数地区而言, ERA-40 在中国区域气候变化研究中具有相对较好的适用性, 特别是在年代际气候变化研究中要明显好于 NCEP/NCAR。

以往的研究除了集中在温度、风速、降水、位势高度以及感热等方面, 作为气候基本态重要表征的气压, 是研究大气质量分布、环流变化和地表天气状态的重要要素; 对两种再分析资料集中气压的比较分析, 也有一定的研究。Inoue and Matsumoto(2004)比较了两种再分析资料与观测资料在蒙古附近的差异, 而 NCEP/NCAR 资料所显示的显著增加在 ERA-40 中是没有的。Greatbatch and Rong(2006)比较了北半球海平面气

压, 500 hPa 位势高度以及 2 m 温度等要素, 认为 NCEP/NCAR 资料夸大了 1958~2002 年间线性趋势; Zhao and Fu(2009)应用 1958~2001 年我国 700 多站观测资料, 分别采用 Kriging 和双线性插值方法将观测资料和再分析资料插值到 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 网格点上进行比较, 然后采用双线性内插法将再分析资料反插到观测台站, 得到台站再分析值, 对我国 9 个分区再分析值与观测值进行分析, 从而对再分析地表气压产品在中国不同区域、不同年代和不同季节的适用性进行了评估。Zhao and Fu(2009)指出 ERA-40 和 NCEP/NCAR 再分析产品在 20 世纪 70 年代以前均与观测资料有相对较大的差别, 特别是 70 年代以前 NCEP/NCAR 的夏季气压值过于偏低, 从而夸大了很多地区的年代际变化特征。ERA-40 地表气压的长期变化趋势以及时空演变规律在中国大多数地区要优于 NCEP/NCAR 再分析产品, 特别是在中国西部地区。

以上分析说明, 几种再分析资料与观测资料相比, 在不同时间尺度、不同空间区域上有不同的差异。那么, 几种气压资料显示的周期特征如何呢? 或者在去除长期趋势后, 几种气压资料在不同时间尺度上具有什么样的特点? 本文拟利用我国参与国际交换的 194 站观测气压资料, 采用线性分析、小波分析和自然正交分解等方法, 对观测资料、NCEP/NCAR 以及 ERA-40 再分析资料集的气压场进行分析, 进一步分析再分析资料在我国气候研究中的适用性。

2 资料

采用如下 3 种资料作为分析对象: 1) NCEP/NCAR 再分析月平均资料集。该资料是采用 T62 L28 模式、3DVar 同化方案对来源于地表、船舶、无线电探空仪、测风气球和飞机等的多种观测资料进行同化得到, 开始于 1948 年, 并一直更新至今。水平分辨率为 $2.5^{\circ}(\text{纬度}) \times 2.5^{\circ}(\text{经度})$, 垂直 17 层, 包括地面层资料。本文主要用到其中的海平面气压(NS)和地表气压(NP)。2) ERA-40 资料集是由 ECMWF 公布的另一套再分析资料, 采用 T159 L60 模式、4DVar 同化方案。时间长度为 1957 年 9 月至 2002 年 8 月, 水平分辨率 $2.5^{\circ}(\text{纬度}) \times 2.5^{\circ}(\text{经度})$, 垂直方向 23 层, 包括

地面层资料。由于无法得到地表气压资料,本文采用其中的海平面气压(ES)。3) 中国气象局气象科学数据共享资料网(<http://cdc.cma.gov.cn/>)提供的中国194站观测的地表气压(OP),时间长度为1951~2006年。该资料来源于中国地面月报信息化文件,并利用极值检验和时间一致性检验及人工抽查等方法进行了严格的质量控制和检查,质量良好。

考虑到1958年以后我国观测站数量迅速增多且相对稳定,NCEP/NCAR再分析资料的部分高层资料在1958年前后的观测时间不一致(Kistler et al., 2001),并且ERA-40是从1957年9月至2002年8月,因此本文的研究时段主要是指1958~2001年的夏季(6~8月)。

在分析前,对于气压观测资料中的奇异点均做缺测处理。为了减少资料插值过程中有可能产

生的误差,本文对再分析资料没有进行进一步插值处理,而是利用Grads软件中cressman插值函数将站点资料插值到与再分析资料相同分辨率的网格点上进行分析。

3 突变前后气压场差异

已有研究表明,全球气候在20世纪70年代中期发生了一次突变,这次突变在海温、大气环流、温度、降水以及ENSO变化中均有反映。根据公认的1976年的突变,本文对3种资料集在1958~2001年间的气压场做1976年前后的差异比较(图1)。OP(图1a)显示我国东部气压升高,在升高区域中有小片降低区域,空间分布不是很规律,有显著差异的是我国华北西部,西北东部以及长江以北部分地区。再分析资料结果均显示

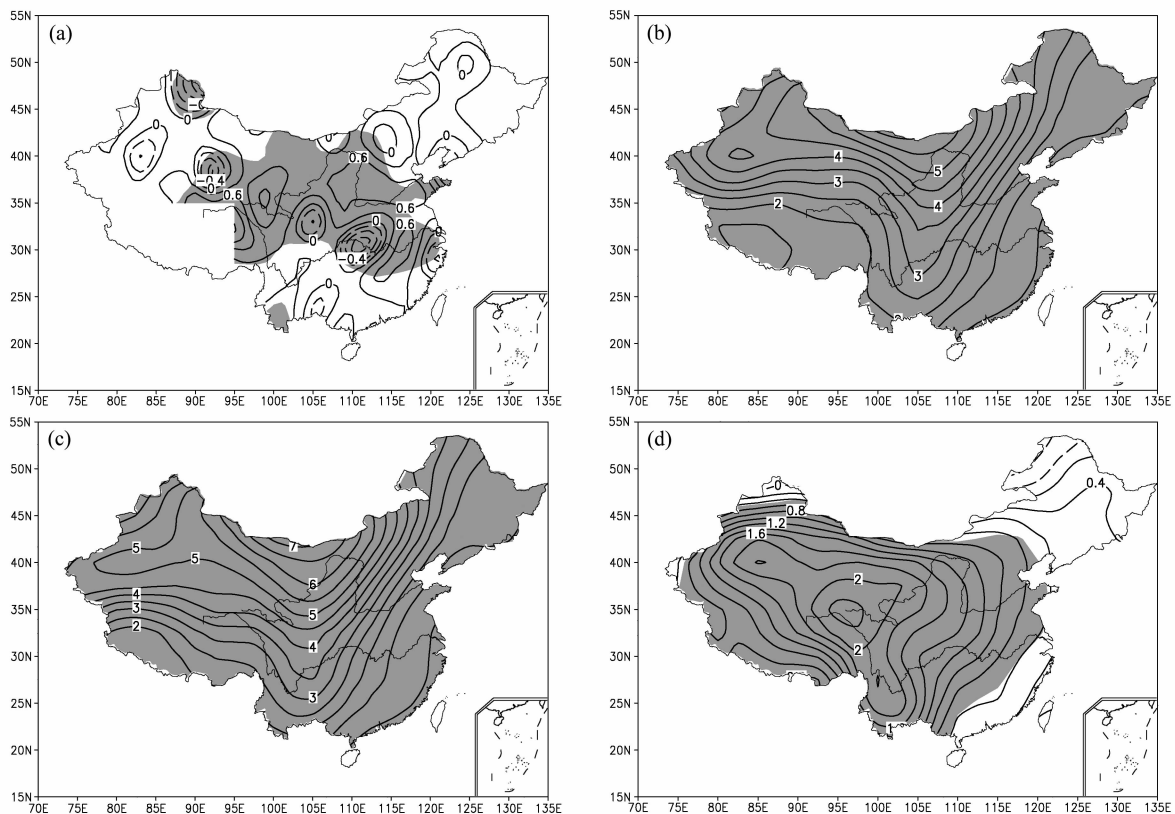


图1 1977~2001年与1958~1976年(a)观测地表气压、(b)NCEP/NCAR地表气压、(c)NCEP/NCAR海平面气压和(d)ERA-40海平面气压的差异(单位:hPa,阴影表示通过98%信度检验)

Fig. 1 Differences of (a) observational air pressures (OP), (b) NCEP/NCAR surface air pressures (NP), (c) NCEP/NCAR sea level air pressures (NS), and (d) ERA-40 sea level air pressure (ES) between the period 1977-2001 and the period 1958-1976 (units: hPa, shaded areas are above 98% confidence level)

1976年后我国气压一致升高, 其中ES(图1d)升高中心在青藏高原东北部、南疆以及青海附近, 除东北及华南南部, 其余地区均显著升高。NP和NS(图1b和1c)在全国范围内均显著增加, 变化中心在内蒙古西北部, 沿 105°E 有一条南北向带状区域, 其气压升高比同纬度地区高。ES的变化量与观测资料更为接近, 而NP、NS远高于其他两种资料。

4 夏季东亚热低压指数变化

本文采用方之芳和张丽(2006)所定义的($35^{\circ}\text{N}\sim 55^{\circ}\text{N}$, $90^{\circ}\text{E}\sim 115^{\circ}\text{E}$)范围作为夏季东亚热低压指数计算区域, 用本站气压和海平面气压的区域平均值作为东亚热低压指数。其中OP长度取1958~2006年, NP和NS取1948~2006

年, ES为1958~2001年。本节中各资料平均值均为1958~2001年在相应区域中44年的平均(图2、3和5图例后给出)。

首先计算($35^{\circ}\text{N}\sim 55^{\circ}\text{N}$, $90^{\circ}\text{E}\sim 115^{\circ}\text{E}$)范围内ES和NS的区域平均(分别记为E-MSL, N-SLP)作为东亚热低压指数; 并且由于观测资料只有我国境内数据, 因此同时计算该范围在我国境内的格点上ES、NS、NP和OP的区域平均(分别记为E-CMSL, N-CSLP, N-CPRES和OBSP)。由图2可见, E-CMSL和N-CSLP的数值及变化趋势分别与东亚热低压指数E-MSL和N-SLP相当一致。N-CSLP与N-CPRES尽管在数值上不同, 但其变化曲线和距平值也是相当一致的(图3), 因此在以下分析中将以N-CSLP、N-CPRES和E-CMSL作为东亚热低压指数, 与该范围内观测资料OP计算所得东亚热低压指数OBSP

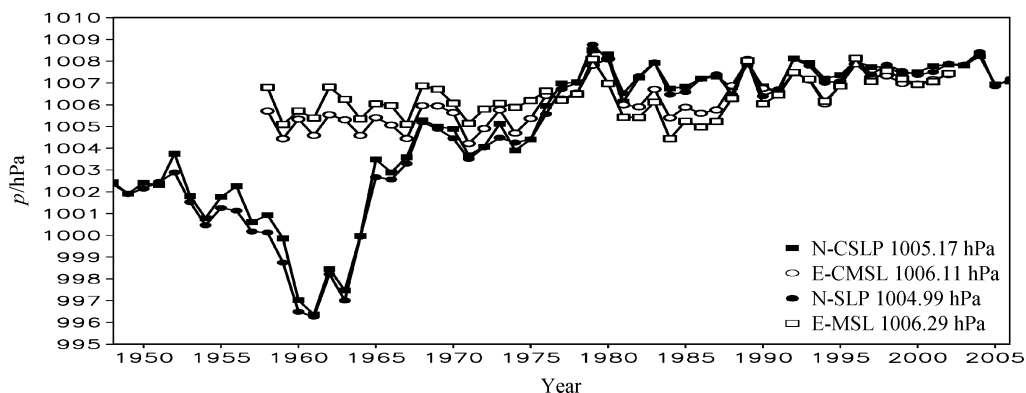


图2 ($35^{\circ}\text{N}\sim 55^{\circ}\text{N}$, $90^{\circ}\text{E}\sim 115^{\circ}\text{E}$) 与该区域在中国境内部分的区域平均海平面气压(夏季东亚热低压指数)变化

Fig. 2 Variations of the summer thermal low pressure index (averaged ES and NS) in area ($35^{\circ}\text{N}\sim 55^{\circ}\text{N}$, $90^{\circ}\text{E}\sim 115^{\circ}\text{E}$) and its area within China

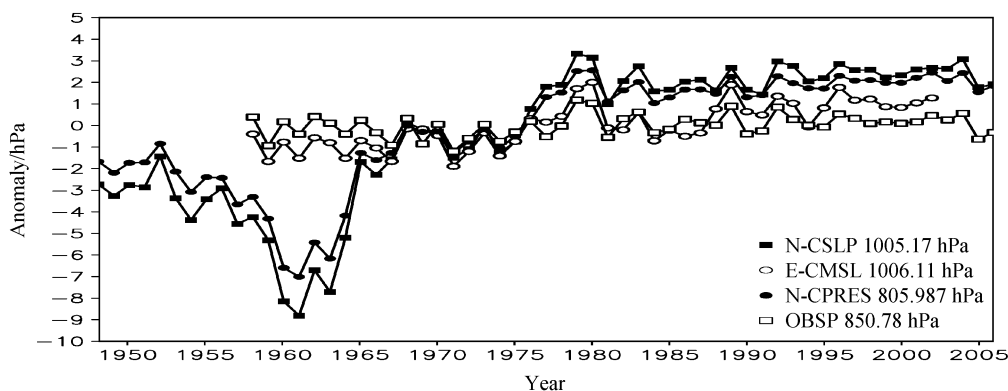


图3 夏季东亚热低压指数距平

Fig. 3 Anomaly of the summer thermal low pressure index

进行比较。

由图 3 可见, 观测资料显示东亚热低压指数变化较为平稳, 指数距平基本在 ± 1 hPa 范围内, 1976 年后东亚热低压比之前有所减弱; 而再分析资料均显示 1976 年后东亚热低压显著减弱, 以 NCEP 资料变化最为显著。其中 OBSP 在 70 年代中期以前多低于其平均值, 之后多高于平均值; E-CMSL 在 1976 年前低于其平均值, 之后多高于其平均值, 而其距平值与 OBSP 距平值相当, 变化曲线也较为一致; N-CSLP、N-CPRES 变化趋势一致, 在 1976 年前均低于其均值, 之后均高于均值。N-CPRES 远低于 OBSP, 与 OBSP 相比, 在 1965 年前无论是 N-CPRES 还是其距平值, 差异均较大, 而在 1965~1976 年间其距平值略低于观测资料 OBSP 的距平值; 在 1976 年之后, N-CPRES 距平值大于 OBSP 距平值, 与观测资料之间差异在减小, 意味着 NCEP 在 1976 年之后质量有所提高。1965 年后 4 个指数的变化趋势类似。N-CSLP 和 E-CMSL 变化具有类似特征。这一点在温度资料中也有所体现, 其原因可能是由于卫星资料引入同化系统中而引起的资料质量的改善 (Kistler et al., 2001; Greatbatch and Rong, 2006)。值得注意的是, 在 1965 年前 NCEP 热低压指数与观测资料和 ERA-40 热低压指数差异较大, 显著偏低。这与 Inoue and Matsumoto (2004)、Zhao and Fu (2009) 的结论比较一致, 反映了所谓的地表气压问题 (PSFC, surface pressure, 1948~1967 年间部分地表气压转换时

出现错误而导致该地区气压显著偏高或者偏低的现象, Kistler, 1998)。相比之下, ERA-40 气压资料更接近气压的真实变化。

对夏季东亚热低压指数的小波分析 (Torrence and Compo, 1998) (图 4) 表明, OBSP 和 E-CMSL 具有较为相似的周期变化, OBSP 在 70 年代中期至 90 年代初期 3~4 年的周期较为显著, 而 E-CMSL 在 60 年代末期到 90 年代中期有较为显著的 3~4 年周期特征。N-CPRES 周期特征与 OBSP 和 E-CMSL 有显著差异, 几乎看不到 3~4 年周期的特征, 有虚假的 14 年左右周期, N-CSLP 小波分析结果与 N-CPRES 几乎相同 (图略)。

在对温度资料的比较分析中 (高庆九等, 2010), 取观测站点相对比较多且分布较为均匀的中国中东部地区 ($20^{\circ}\text{N}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $105^{\circ}\text{E}\sim 120^{\circ}\text{E}$) 的温度作为研究对象, 分析了该区域温度变化, 在此取同一区域的气压值分析如下 (图 5)。

由图 5 可见, OP 明显偏高, 其年代际变化特征没有 NP 明显, 1976 年后 NP 距平大于 OP 距平, 海平面气压 (NS, ES) 在 1965 年后不管是在数值还是变化趋势上基本一致 (两者的平均值也很接近), 而在 1958~1965 年差异较大, 这与夏季东亚热低压的比较结果相同, 反映了所谓的 PSFC 问题; 对该区域气压平均序列的小波分析 (图 6) 显示, 3 种资料均在 70 年代中期至 90 年代中期有较显著的 3~4 年周期特征。NCEP 资料 3~4 年的年际变化周期与观测资料比较一致, 这点与东亚夏季热低压不同, 说明 NCEP 资料在较

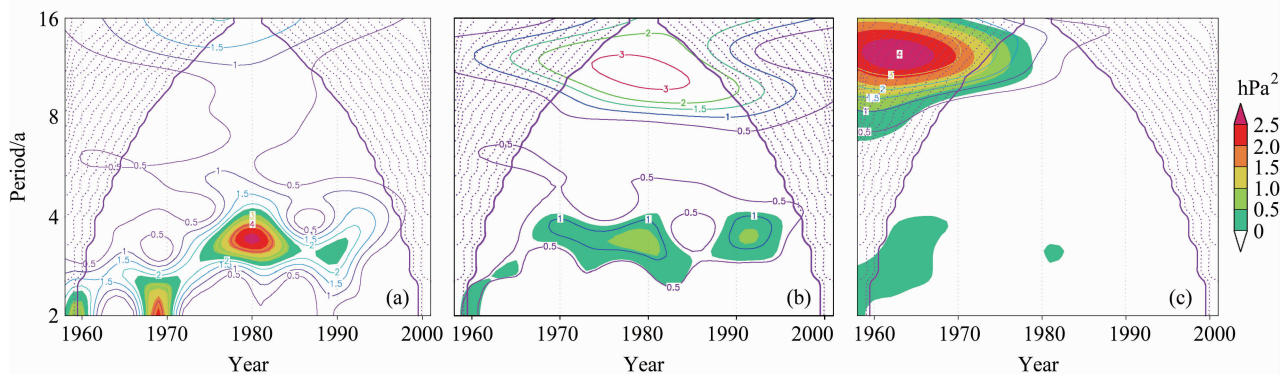


图 4 1958~2001 年夏季东亚热低压指数 (a) OBSP、(b) E-CMSL 和 (c) N-PRES 序列的标准 Morlet 小波分析。实线: 小波能谱; 虚线: 边界影响; 阴影: 通过 90% 信度检验的去噪能谱

Fig. 4 Morlet wavelet spectrums of 1958-2001 East Asia thermal low index: (a) OBSP; (b) E-CMSL; (c) N-PRES. Solid and dashed lines denote spectrums and the cone of influence, respectively. Colorized areas denote de-noise spectrums exceeding 90% confidence level

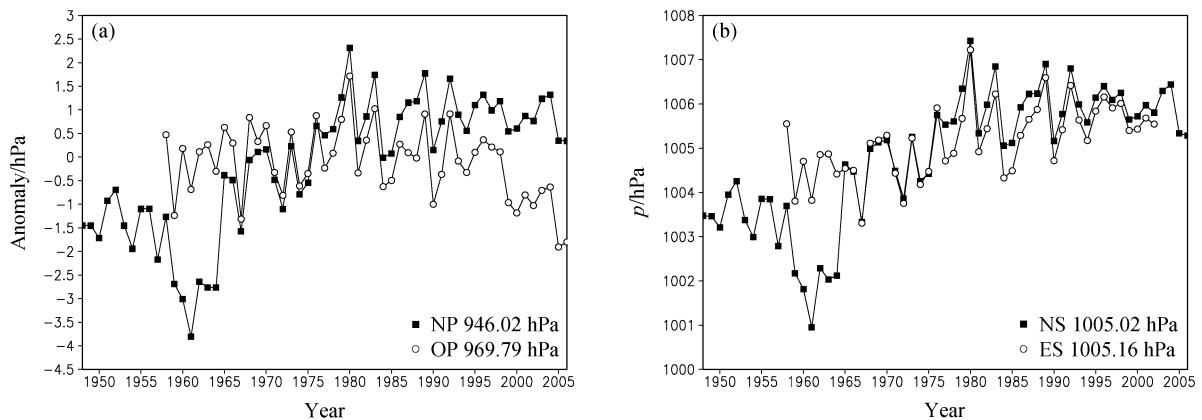


图5 (20°N~40°N, 105°E~120°E) 区域平均 (a) 地表气压距平和 (b) 海平面气压变化

Fig. 5 Variations of the area (20°N–40°N, 105°E–120°E) averaged (a) surface air pressure anomaly and (b) sea level air pressure

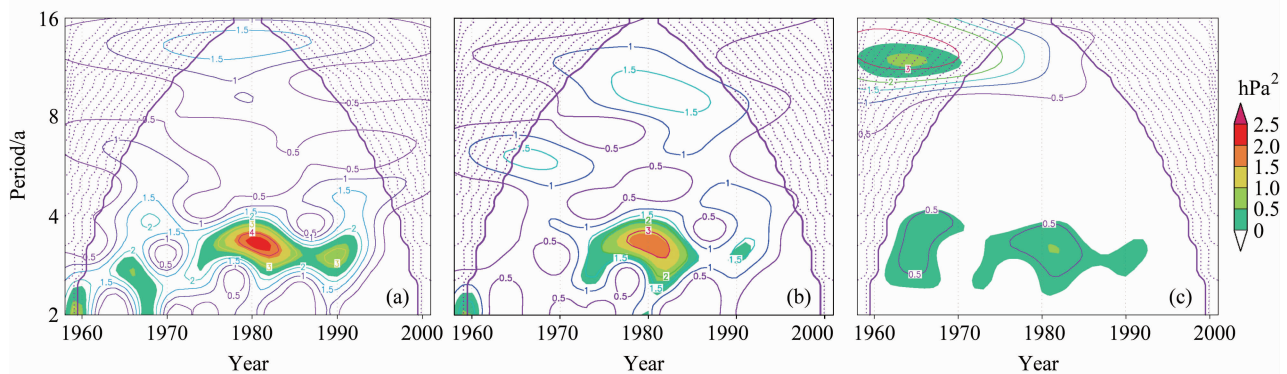


图6 1958~2001 区域平均 (a) OP、(b) ES、(c) NP 序列的标准 Morlet 小波分析。实线：小波能谱；虚线：边界影响；阴影：通过 90% 信度检验的去噪能谱

Fig. 6 Morlet wavelet spectrums of 1958–2001 area averaged (20°N–40°N, 105°E–120°E) (a) OP, (b) ES, (c) NP series. Solid and dashed lines denote spectrums and the cone of influence, respectively. Colorized areas denote de-noise spectrums exceeding 90% confidence level

低纬度比高纬度质量要好。NP 和 NS 的周期特征十分相似 (图略)。

此外需要注意到的是, NP 与 OP 的差异在中高纬度地区大于中低纬度, 这一点与徐影等 (2001) 的结论是一致的 (图 3 和图 5a)。

5 线性趋势和方差分析

由于我国东部地区站点分布较多也较为均匀, 因此以下研究范围主要指中国东部地区 (100°E 以东)。

5.1 线性趋势分析

OP 线性分析 (图 7a) 结果显示, 我国东北、华北以及华中地区气压有升高趋势, 四川、云贵

以及华南小部分地区有减小趋势; NP (图 7b) 显示我国气压有升高趋势, 且这种趋势十分显著, 以内蒙古为中心, 沿 105°E 自北向南有一大值带, 气压升高的趋势沿着这个带分别自东北向西南和自西北向东南逐渐减小; NS (图略) 和 NP 趋势系数分布基本相似, NS 略大于 NP。ES (图 7c) 显示气压有升高趋势, 自西向东升高趋势逐渐减弱; NP 线性变化趋势最大, OP 最小。这说明两种再分析资料在对气压变化长期趋势的研究中, 不确定性更大, 这一点与徐影等 (2001)、赵天保和符淦斌 (2009) 的结果类似。

5.2 方差分析

去掉各资料集中气压线性趋势后做方差分析, 以观察变化和差异较大的区域分布情况 (以下未

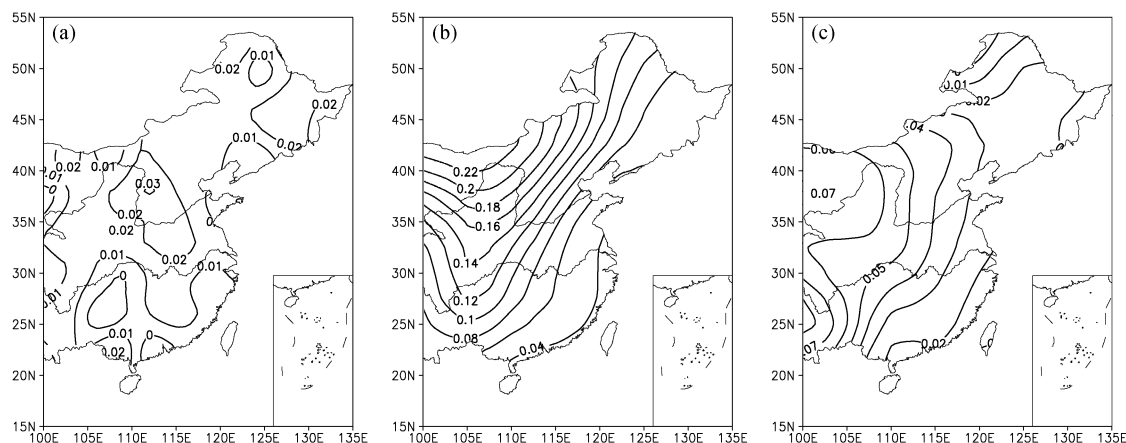


图7 1958~2001年 (a) OP、(b) NP 和 (c) ES 的线性趋势 (单位: $\text{hPa} \cdot \text{a}^{-1}$)

Fig. 7 Linear trends of (a) OP, (b) ES, and (c) NP during 1958–2001 (units: $\text{hPa} \cdot \text{a}^{-1}$)

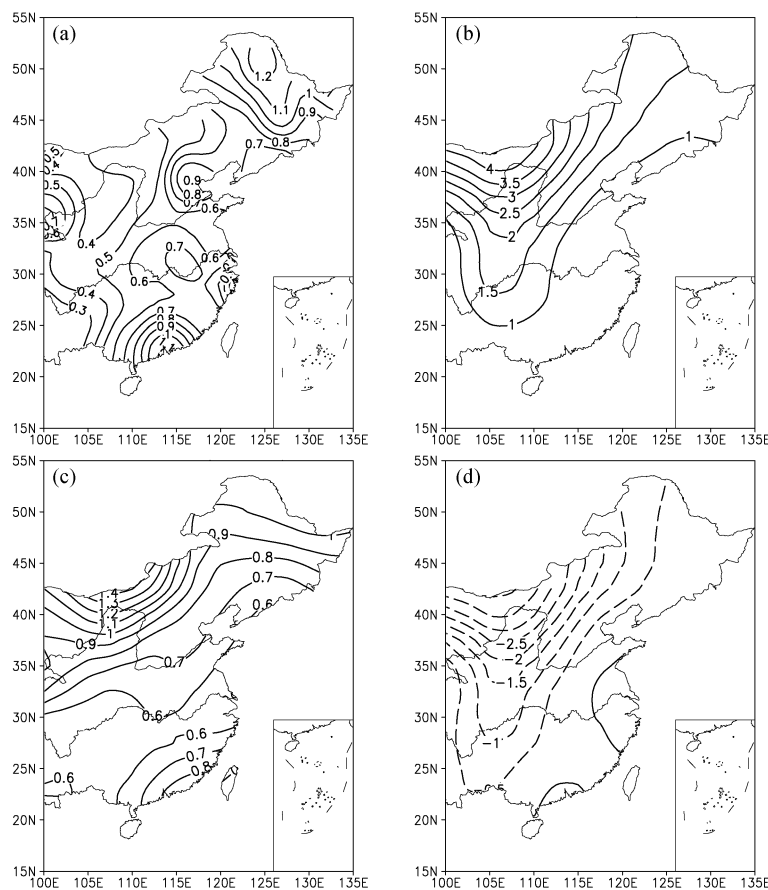


图8 1958~2001年 (a) OP、(b) NP 和 (c) ES 的方差分析及 (d) OP 与 NP 的方差差异

Fig. 8 Variances of (a) OP, (b) NP, and (c) ES, and (d) the difference of the variance between OP and NP during 1958–2001

做特别说明则所用资料均为去除线性趋势后的资料, 其中 NS 与 NP 结果相似, 图略)。

OP 方差 (图 8a) 相对于再分析资料变化来说比较零散, 其中变化较大的区域为黑龙江北部、

四川西北部、甘肃南部、广西一带及山东半岛一带, 黑龙江北部方差变化最大。ES、NP (NS) 反映气压变化的空间分布比较规律, 变化大的区域在中国北方, 方差的空间分布从北向南逐渐降

低，中心均在内蒙古中部一带。NP（图 8b）和 NS（图略）的方差分布十分相似，且变化明显大于 ES（图 8c）。图 8d 显示 NP 对我国北方地区气压变化估计偏高，对我国长江中下游地区、华南和山东半岛气压变化的反映略有不足。

6 本站气压场时空变化特征

为比较再分析资料对观测资料年际和年代际变化特征的再现能力，对去掉线性趋势后的站点资料做自然正交分解（EOF），气压场前 10 个特征向量反映原场 90% 信息，收敛较慢，前两个特征向量通过 North 显著性检验（表 1）。

表 1 本站气压自然正交分解前两个模态方差贡献
Table 1 Variance contributions of the first and second leading EOF modes of observed pressure

序号	特征值	方差贡献	累计方差贡献
1	1990	0.508	0.508
2	501	0.128	0.636

6.1 本站气压场空间分布特征

第一特征向量（图 9a）全国均为正值，反映我国气压一致的变化趋势，其中我国 105°E 以东为高值变化区，其变化幅度向西逐步减小，该分布与本站气压方差变化比较大的区域较为一致；第二特征向量（图 9b）表示我国东北、华北与川陕和江淮以南地区气压变化的反向特征。

6.2 本站气压场时间分布特征

第一时间系数（图 10a 和 10c）表现出明显的年际变化特征，20 世纪 70 年代初期到 90 年代中期 3~4 年周期变化较为显著；第二时间系数（图 10b 和 10d）同样表现为 60 年代末到 70 年代初 3 年左右周期和 80 年代的 4~6 年年际变化特征，年代际变化特征不明显。

6.3 EOF 时间系数与再分析资料的相关分析

在去除了长期变化趋势后，两套再分析资料在年际和年代际时间尺度上与观测资料的相似程度如何？将 OP 的 EOF 时间系数分别与去除线性趋势的两种再分析资料作相关分析（陈海山等，2004），以了解在时间系数所反映的时间变化尺度上，NP、ES 与 OP 的相似程度及其空间分布，以及这种空间分布与 EOF 特征向量是否在空间上一致。

结果（图 11）表明，第一模态对应的时间系数（EOF-T1）与 ES 在全国均为正相关，与特征向量符号一致，并且均达到显著，但比第一特征向量的空间分布更有规律：以长江中下游地区为中心，向西和南北两侧相关程度逐渐减小；其中大值中心与图 8a 中方差大值中心较为一致，表明夏季气压变化较大是由年际变化造成的。EOF-T1 与 NP、NS 的相关系数分布十分相似，也是全国均为正相关区，从内蒙古东部 120°E 向西南方向至云南附近 105°E，以东为显著正相关区；反映出我国东部地区气压的年际变化特点。第二时间系数 EOF-T2 与 ES、NP 和 NS 的相关在华北、东

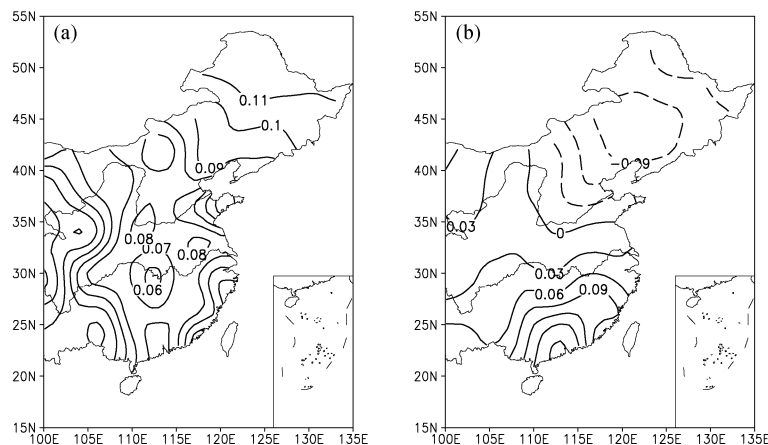


图 9 气压观测资料经 EOF 分析的 (a) 第一和 (b) 第二特征向量
Fig. 9 (a) The first and (b) second EOF eigenvectors of the observed pressure

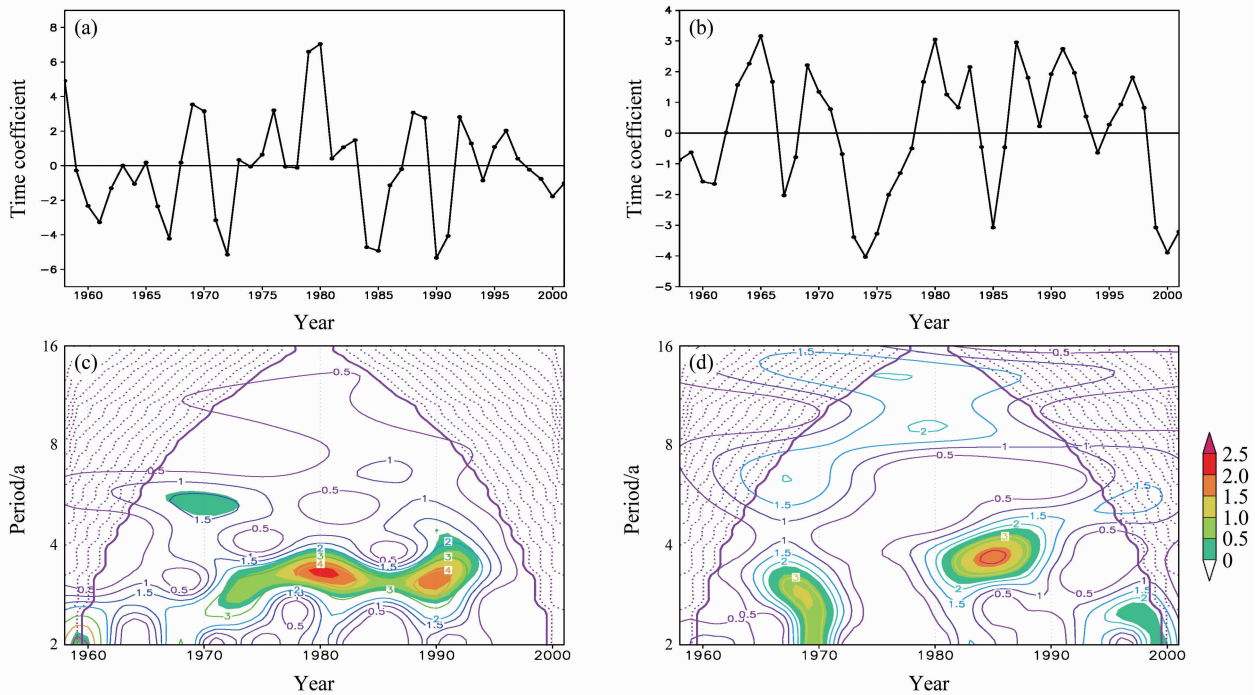


图 10 地表气压观测资料经 EOF 分析的 (a、b) 时间系数及其 (c、d) 标准 Morlet 小波分析结果: (a、c) 第 1 特征向量; (b、d) 第 2 特征向量。(c、d): 实线: 小波能谱; 虚线: 边界影响; 阴影: 通过 90% 信度检验的去噪能谱

Fig. 10 (a, b) Time coefficient series of EOF analysis of observed surface pressure and (c, d) their Morlet wavelet analysis results for (a, c) the first, (b, d) second eigenvectors. Solid and dashed lines denote spectrums and the cone of influence, respectively, in (c, d). Shaded areas denote de-noise spectrums exceeding 90% confidence level in (c, d)

北为负相关, 其余地区为正相关, 其中与 ES 在吉林中部、华南相关显著; 与 NP 和 NS 在华南相关显著, 但与 ES 相比, 相关程度略低。

以上分析表明, 两种再分析资料均能再现我国气压年际变化特征, 但 ES 的反映能力要优于 NP, 而气压观测资料中并没有两个再分析资料中显著的年代际变化特征。

7 空间相似性分析

将 OP 插值到同样分辨率的网格点后, 与再分析资料 NP、ES 分别做相关分析。由空间相似性分析 (图 12) 可见, ES 与观测资料的相关均能达到显著性程度, 并且东南部相关高于西北部, NP 与观测资料的相关仅在东南部有高相关区, 从内蒙古东部 120°E 向西南方向至云南附近 105°E , 以东为显著正相关区。说明两种再分析气压资料对我国气压的再现能力在东部优于西部, 低纬度地区优于高纬度地区, ES 资料优于 NP (NS)。

8 结果与讨论

本文针对中国 194 站地表气压、NCEP/NCAR 和 ERA-40 再分析月平均数据集中的气压资料分析比较没有明确结论的情况, 分析了中国区域夏季地表气压的气候变率, 尤其是对比了再分析资料的再现能力, 主要结论如下:

(1) 3 种资料均显示我国东部气压升高, ES 的变化量与观测资料相当, NP、NS 远高于其他两种资料; 在 1965 年之前 NP、NS 与 OP、ES 差异较大, 显著偏低。1976 年之后两种资料间的差异在减小。

(2) 观测资料显示气压变化不大, 而再分析资料 ES、NP (NS) 反映气压变化较大, 以我国北方变化最为明显, 从北向南逐渐降低, 中心均在内蒙古中部一带。NP (NS) 方差最大, NP 对我国北方地区气压变化估计偏高, 对我国长江中下游地区、华南和山东半岛气压变化的反映略有不足。

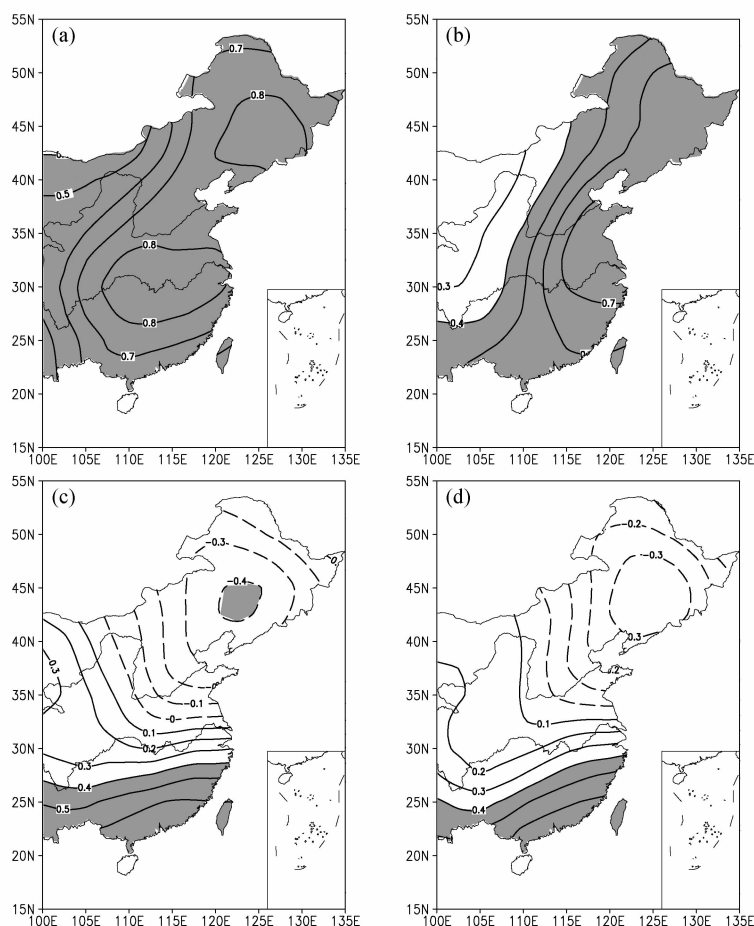


图 11 地表气压观测资料经 EOF 分析前两个模态对应的时间系数与 (a、c) ES 和 (b、d) NP 的相关系数空间分布：(a、b) 第一特征向量；(c、d) 第二特征向量。阴影表示通过 99% 信度检验

Fig. 11 The spatial distribution of correlation coefficients between the associated time series of the first two leading EOF modes of observed surface pressure with (a, c) ES and (b, d) NP for (a, b) the first and (c, d) second eigenvectors. Shaded areas are above 99% confidence level

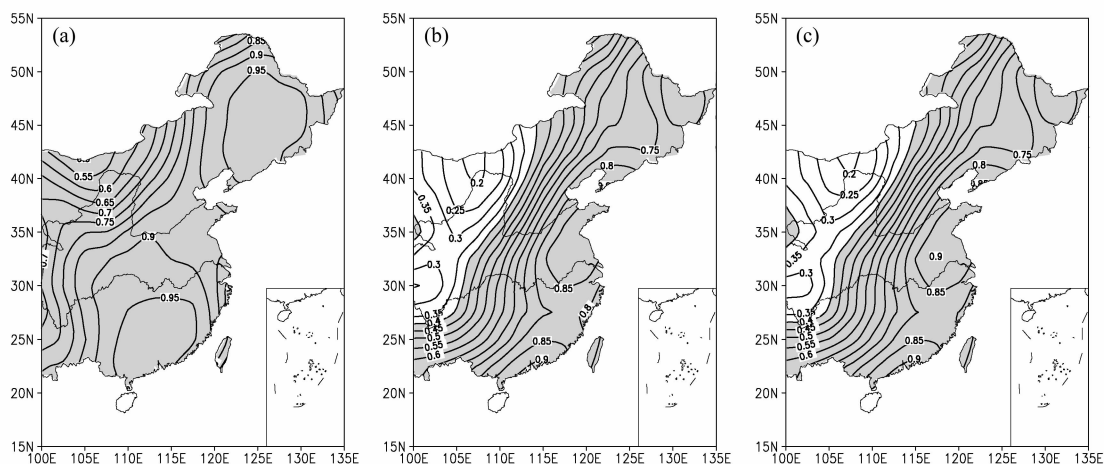


图 12 观测资料与再分析资料场的相关系数分布：(a) ES 与 OP；(b) NP 与 OP；(c) NS 与 OP。阴影表示通过 99% 信度检验

Fig. 12 Distributions of the correlation coefficients between the observations and the reanalysis data: (a) ES and OP; (b) NP and OP; (c) NS and OP. Shaded areas are above 99% confidence level

(3) 再分析资料可以再现我国气压年际变化特征, 对我国气压的再现能力在东部优于西部, 低纬度地区优于高纬度地区, ES 的反映能力要优于 NP (NS)。

(4) 3 种气压资料为一致的线性增高趋势, NP 线性变化趋势最大, OP 最小, 北方大于南方。无论是 NP (NS) 还是 ES, 两种再分析资料在对气压变化长期趋势时空演变的研究中, 不确定性均较大。

(5) OP 和 ES 具有较为相似的周期变化, 在 70 年代中期到 90 年代初期 3~4 年的周期较为显著, 而 NP 周期特征与 OP、ES 有显著差异, 有虚假的 14 年左右周期特征。1976 年前后的年代际突变特征在 NCEP 资料中异常显著, OP 的年代际变化特征没有 NP 明显。以 ES 更为接近气压的真实变化。

此外, 在本文的研究中, 由于没有海平面气压观测资料和 ERA-40 地表气压资料, 无法对这两类资料在数值大小上进行比较, 这是本文的局限性。而观测资料中, 由于迁站对资料所造成的影响, 在本文中并没有进行详细分析和订正, 而是默认上报并参与国际交换的 194 站资料正确, 这是本文的不足之处。此外, 未来还可使用其他再分析资料如日本气象厅 (JMA) 组织和发展的 20 多年 (1979 年至今) 全球大气再分析资料计划 (JRA25) 与已有的结果进行比较。

参考文献 (References)

- Annamalai H, Slingo J M, Sperber K R, et al. 1999. The mean evolution and variability of the Asian summer monsoon: Comparison of ECMWF and NCEP/NCAR reanalyses [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 127: 1157–1186.
- 陈海山, 朱伟军, 邓自旺, 等. 2004. 江苏冬季气温的年代际变化及其背景场分析 [J]. *南京气象学院学报*, 27 (4): 433–442. Chen Haishan, Zhu Weijun, Deng Ziwang, et al. 2004. Interdecadal variations of winter air temperature in Jiangsu Province and their physical background [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese)*, 27 (4): 433–442.
- 方之芳, 张丽. 2006. 夏季 NCEP 资料质量和 20 世纪 70 年代东亚热低压的突变 [J]. *高原气象*, 25 (2): 179–189. Fang Zhi-fang, Zhang Li. 2006. NCAR-NCEP data quality and abrupt changes of east asia low in summer of 1970's [J]. *Plateau Meteorology (in Chinese)*, 25 (2): 179–189.
- 高庆九, 管兆勇, 蔡佳熙, 等. 2010. 两种再分析资料中夏季地表气温与中国测站资料的差异 [J]. *大气科学*, 34 (3): 471–482. GAO Qingjiu, GUAN Zhaoyong, CAI Jiayi, et al. 2010. Differences in 1958–2001 summertime surface air temperatures between two reanalysis data and observations in China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 34 (3): 471–482.
- Greatbatch R J, Rong P P. 2006. Discrepancies between different Northern Hemisphere summers atmospheric data products [J]. *J. Climate*, 19 (1): 1261–1273.
- Guan Zhaoyong, Yamagata Toshio. 2001. Interhemispheric oscillation in the surface air pressure field [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 28 (2): 263–266.
- 韩晋平, 王会军. 2007. 东亚夏季风年代际变化的若干重要特征及两份大气再分析资料的异同 [J]. *地球物理学报*, 50 (6): 1666–1676. Han Jinping, Wang Huijun. 2007. Features of interdecadal changes of the East Asian summer monsoon and similarity and discrepancy in ERA-40 and NCEP/NCAR reanalysis [J]. *Chinese Journal of Geophysics (in Chinese)*, 50 (6): 1666–1676.
- 何浪, 吴洪宝, 赵晓川. 2009. 3 种再分析资料基本统计量比较 [J]. *南京气象学院学报*, 32 (1): 54–63. He Lang, Wu Hongbao, Zhao Xiaochuan. 2009. A comparison of basic statistics derived from NCEP/NCAR, ECMWF reanalysis data and CMA data [J]. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese)*, 32 (1): 54–63.
- 黄刚. 2006. NCEP/NCAR 和 ERA-40 再分析资料以及探空观测资料分析中国北方地区年代际气候变化 [J]. *气候与环境研究*, 11 (3): 310–320. Huang Gang. 2006. The assessment and difference of the interdecadal variations of climate change in northern part of China with the NCEP/NCAR and ERA-40 reanalysis data [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 11 (3): 310–320.
- Inoue T, Matsumoto J. 2004. A comparison of summer sea level pressure over East Eurasia between NCEP-NCAR reanalysis and ERA-40 for the period 1960–99 [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 82 (3): 951–958.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77 (3): 437–472.
- Kistler R. 1998. Reanalysis PSFC problem 1948–1967 [EB/OL]. (1998–06–07) [2008–01–16]. <http://wwwt.emc.ncep.noaa.gov/gmb/bkistler/psfc/psfc.html>.
- Kistler R, Kalnay E, Collins W, et al. 2001. The NCEP/NCAR 50-year reanalysis: Monthly means CD-ROM and documentation [J]. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82 (2): 247–268.
- 李川, 张廷军, 陈静. 2004. 近 40 年青藏高原地区的气候变化——NCEP 和 ECMWF 地面气温及降水再分析和实测资料对比分析 [J]. *高原气象*, 23 (增刊): 97–103. Li Chuan, Zhang Tingjun, Chen Jing. 2004. Climatic change of Qinghai-Xizang Plateau region in recent 40-year reanalysis and surface observa-

- tion data—Contrast of observational data and NCEP, ECMWF surface air temperature and precipitation [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 23 (Suppl.): 97–103.
- 秦育婧, 王盘兴, 管兆勇, 等. 2006. 两种再分析资料的 Hadley 环流比较 [J]. 科学通报, 51 (12): 1469–1473. Qin Yujing, Wang Panxing, Guan Zhaoyong, et al. 2006. Comparison of Hadley cells derived from two different reanalysis data [J]. Chinese Science Bulletin (in Chinese), 51 (12): 1469–1473.
- 施晓晖, 徐祥德, 谢立安. 2006. NCEP/NCAR 再分析风速、表面气温距平在中国区域气候变化研究中的可信度分析 [J]. 气象学报, 64 (6): 709–722. Shi Xiaohui, Xu Xiangde, Xie Li'an. 2006. Reliability analyses of anomalies of NCEP/NCAR reanalysis wind speed and surface temperature in climate change research in China [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 64 (6): 709–722.
- Torrence C, Compo G P. 1998. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bull. Amer. Meteor. Soc., 79 (1): 61–78.
- Uppala S M, Kållberg P W, Simmons A J, et al. 2005. The ERA-40 re-analysis [J]. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 131: 2961–3012.
- 魏丽, 李栋梁. 2003. NCEP/NCAR 再分析资料在青藏铁路沿线气候变化研究中的适用性 [J]. 高原气象, 22 (5): 488–494. Wei Li, Li Dongliang. 2003. Reliability of NCEP/NCAR reanalysis data in climatic change along Qinghai-Xizang railway [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 22 (5): 488–494.
- 徐菊艳, 王盘兴, 吴洪宝. 2008. 两种再分析资料平流层温度场的对比分析 [J]. 南京气象学院学报, 31 (3): 429–435. Xu Juyan, Wang Panxing, Wu Hongbao. 2008. Comparison of stratospheric temperature between ECMWF and NCEP reanalyses [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 31 (3): 429–435.
- 徐影, 丁一汇, 赵宗慈. 2001. 美国 NCEP/NCAR 近 50 年全球再分析资料在我国气候变化研究中可信度的初步分析 [J]. 应用气象学报, 12 (3): 337–347. Xu Ying, Ding Yihui, Zhao Zongci. 2001. Confidence analysis of NCEP/NCAR 50-year global reanalyzed data in climate change research in China [J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology (in Chinese), 12 (3): 337–347.
- Yang S, Lau K M, Kim K M. 2002. Variations of the East Asian jet stream and Asian-Pacific-American winter climate anomalies [J]. J. Climate, 15: 306–325.
- 岳阳, 管兆勇, 王盘兴. 2005. 两种再分析资料间 Hadley 环流双层结构的差异 [J]. 南京气象学院学报, 28 (5): 695–703. Yue Yang, Guan Zhaoyong, Wang Panxing. 2005. Differences of the bi-level structure of Hadley cells between two different reanalysis data [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology (in Chinese), 28 (5): 695–703.
- 赵天保, 艾丽坤, 冯锦明. 2004. NCEP 再分析资料和中国站点观测资料的分析与比较 [J]. 气候与环境研究, 9 (2): 278–294. Zhao Tianbao, Ai Likun, Feng Jinming. 2004. An intercomparison between NCEP reanalysis and observed data over China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 9 (2): 278–294.
- 赵天保, 符淙斌. 2006. 中国区域 ERA-40、NCEP-2 再分析资料与观测资料的初步比较与分析 [J]. 气候与环境研究, 11 (1): 14–32. Zhao Tianbao, Fu Congbin. 2006. Preliminary comparison and analysis between ERA-40, NCEP-2 reanalysis and observations over China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (1): 14–32.
- Zhao Tianbao, Fu Congbin. 2006. Comparison of products from ERA-40, NCEP-2 and CRU with station data for summer precipitation over China [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 23 (4): 593–604.
- 赵天保, 符淙斌. 2009. 应用探空观测资料评估几类再分析资料在中国区域的适用性 [J]. 大气科学, 33 (3): 634–648. Zhao Tianbao, Fu Congbin. 2009. Applicability evaluation for several reanalysis datasets using the upper-air observations over China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 33 (3): 634–648.
- 赵天保, 华丽娟. 2009. 几种再分析地表气压资料在中国区域的适用性评估 [J]. 应用气象学报, 20 (1): 70–79. Zhao Tianbao, Hua Lijuan. 2009. Applicability evaluation of surface pressure for several reanalysis datasets over China [J]. Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese), 20 (1): 70–79.
- Zhao Tianbao, Fu Congbin. 2009. Intercomparison of the summertime subtropical high from the ERA-40 and over east Eurasia and the western North Pacific [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 26 (1): 119–131.
- 赵宗慈, 罗勇. 1999. 区域气候模式在东亚地区的应用研究: 垂直分辨率与边界对夏季季风降水影响 [J]. 大气科学, 23 (5): 522–532. Zhao Zongci, Luo Yong. 1999. Investigations of application for the regional climate model over East Asia [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 23 (5): 522–532.
- 周连童. 2009. 比较 NCEP/NCAR 和 ERA-40 再分析资料与观测资料计算得到的感热资料的差异 [J]. 气候与环境研究, 14 (1): 9–20. Zhou Liantong. 2009. A comparison of NCEP/NCAR, ERA-40 reanalysis and observational data of sensible heat in Northwest China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (1): 9–20.
- 周顺武, 张人禾. 2009. 青藏高原地区上空 NCEP/NCAR 再分析温度和位势高度资料与观测资料的比较分析 [J]. 气候与环境研究, 14 (3): 284–292. Zhou Shunwu, Zhang Renhe. 2009. Comparison of NCEP/NCAR reanalysis data and radiosonde data about temperature and geopotential height of upper air over the Tibetan Plateau [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (3): 284–292.