

左璇,肖子牛. 2013. 冬季欧亚型遥相关候时间尺度异常特征及其对我国天气的影响. 气象, 39(9):1096-1102.

冬季欧亚型遥相关候时间尺度异常特征 及其对我国天气的影响^{*}

左璇^{1,2} 肖子牛^{3,4}

- 1 河南省气候中心, 郑州 450003
- 2 南京信息工程大学, 大气科学学院, 南京 210044
- 3 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081
- 4 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

提 要: 本文利用 NCEP/NCAR 全球逐日再分析资料, 确定了冬季欧亚(EU)型遥相关逐候指数持续性异常的标准, 继而分析了 EU 指数持续性异常的特征, 探讨了对应时段的环流特征及其对我国冬季天气的影响。统计结果表明: 1957—2010 年的 54 个冬季共发生了 26 次异常过程; 正、负异常过程各有三个高发时段分别为 12 月、1 月第 2—5 候、2 月第 4 候至 3 月第 1 候, 以及 12 月第 4—5 候、1 月前 3 候、2 月第 3 候至 3 月第 1 候。选取 200、850 hPa 分别代表高低层大气, 对异常过程合成分析后发现: 指数异常时, 高低层大气具有强的 EU 型特征; 我国大部分地区的气温受 EU 指数异常影响, 差异显著; 黄河中下游、长江中下游及东南局部地区的降水差异显著; 正异常过程中, 受西伯利亚高压加强的影响, 我国对流层低层盛行偏北风, 温度普遍偏低, 降水偏少; 负异常过程相反。

关键词: 欧亚型遥相关, 持续性异常, 冬季, 气温, 降水

中图分类号: P461 **文献标志码:** A **doi:** 10. 7519/j. issn. 1000-0526. 2013. 09. 002

Abnormal Characteristics of Eurasian Teleconnection in Winter at Pentad Time Scale and Its Impact on the Weather in China

ZUO Xuan^{1,2} XIAO Ziniu^{3,4}

- 1 Henan Climate Centre, Zhengzhou 450003
- 2 Department of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044
- 3 China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081
- 4 Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

Abstract: Using the NCEP/NCAR global daily reanalysis data, this paper defined the winter pentad Eurasian teleconnection persistent anomaly, analyzed the characteristics of persistent abnormal process of EU pattern and discussed the corresponding atmospheric circulation and its impact on the winter weather in China. Statistical results show that: 26 persistent abnormal processes occur in the 54 winters of 1957—2010. The positive persistent abnormal processes mainly occur in December, the 2nd to the 5th pentad of January, and the 4th pentad of February to the 1st pentad of March while the negative ones occur in the 4th and 5th pentads of December, the first three pentads of January and the 3rd pentad of February to the 1st pentad of March. Then the 200 hPa and 850 hPa geopotential height fields are selected to represent high and low atmospheric layers. Synthetic analysis shows that: during the processes of index anomalies, characteristics of strong EU pattern exists in both of the high and low atmospheric layers; and temperature

^{*} 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106015)资助
2012 年 11 月 17 日收稿; 2013 年 5 月 13 日收修定稿
第一作者: 左璇, 从事大气遥相关方面研究. Email: zuoxuan10@gmail. com

in most parts of China is influenced by EU index anomalies, showing significant difference. Precipitation presents significant difference in the middle and lower reaches of the Yellow River and Yangtze River, and parts of southeastern China. During positive abnormal processes, influenced by the strengthened Siberian high, northerly winds prevail in the lower troposphere over China with lower temperature and less rain-falls. The opposite situation tends to occur in negative processes.

Key words: Eurasian teleconnection pattern, persistent anomaly, winter, temperature, precipitation

引言

我国地处东亚,气候具有显著的季风特色,东亚冬季风是影响我国冬季气候的重要因子之一。作为全球最活跃的环流系统,强冬季风能够造成中高纬度地区的强烈降温、降雪及大风、霜冻等灾害天气,同我国的寒潮及冬季气温异常偏低联系紧密(朱乾根,1993;普业等,2006;孙丞虎等,2012;李多等,2012)。同时,西伯利亚高压也是影响我国冬季气候的一个重要因子,其发展及移动同样能够造成我国许多地区的偏冷天气(李勇等,2007)。朱乾根等(1997)分析了近110年北半球冬季6个大气活动中心与中国气候的关系,指出西伯利亚高压强度与中国冬季温度存在着明显的负相关关系。用西伯利亚高压异常能较好地解释近几十年来中国冬季气温变化特征(龚道溢等,1999)。Gong等(2001)在研究北极涛动同东亚冬季风的关系时,发现欧亚型遥相关(Euroasia,简称EU)在东亚冬季风系统中具有重要贡献,对西伯利亚高压的贡献为36%,并指出当EU指数为正时,东亚气温偏低。

EU型遥相关的存在最早是由Wallace等(1981)利用单点相关的方法,对500 hPa高度场距平及海平面气压场进行分析后提出的,同时他们指出EU型遥相关同东亚的冬季气温具有负相关关系。其后,Barnston等(1987)进一步用旋转经验正交函数对700 hPa北半球副热带月平均高度场距平进行分析,也揭示出欧亚大陆上空遥相关型的存在。一些学者对EU型的性质进行了分析,从不同角度揭示其时间演变特点和空间变化特征(林振敏等,2004;吴洪宝等,1994;施能,1996;李智才等,2007)。吴洪宝(1993)计算了1月欧亚遥相关型指数和同期中国160站气温的相关系数,指出欧亚遥相关型与同期中国东部气温呈显著的负相关关系。施能(1996)指出东亚冬季风强时,我国冬季为冷干气候,大气环流具有强WP(Western Pacific)型及弱

的EU遥相关型的特征。Song等(2009)通过两个中心点定义出新的EU指数,研究了日尺度上其与东亚冬季气温的关系,并通过合成分析发现冷暖事件出现的概率与欧亚遥相关型有密切关系。杨小波等(2011)对我国东部季风区11月暖湿、暖干、冷湿、冷干年同期环流特征分析发现,亚洲中高纬度地区,暖干、冷湿型的前期和同期环流特征分别具有EU型和反EU型遥相关距平结构。刘毓赞等(2012)利用REOF方法定义冬季欧亚遥相关型,考察其同我国冬季气温、降水的关系发现,EU正相位时我国东部降温、降水减少,负相位时东亚地区温度偏高。

已有的研究表明,EU型遥相关在月、季尺度上同我国冬季的气温、降水具有较好的相关关系,但月、季尺度并不能很好满足预报及短期气候预测的需求。本文尝试将气候概念运用到候时间尺度上,对冬季EU型遥相关在逐候时间尺度上的环流特征进行分析,以期得到候时间尺度EU型环流持续异常对我国冬季天气产生的影响,从而为冬季的预报工作提供有益线索。

1 资料与方法

本文采用资料为NCEP/NCAR全球逐月再分析资料、逐日再分析资料,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度。逐日气温、降水资料来源于中国气象局国家气象信息中心。基于台站数据的时间序列长度和连续性,选取了753个台站中的474个站点,时间序列为1957年11月至2011年3月。利用1957年11月至2011年3月的逐日再分析资料中风场(u, v)、高度场(hgt)资料对逐候的EU型遥相关进行分析。同时为验证算法,方便同前人工作进行对比,采用1951年12月至2011年2月的逐月高度场来计算EU型遥相关的季平均指数。

运用的统计方法主要有小波分析、高斯滤波、合

成分分析、 t 显著性检验等。

2 欧亚型遥相关持续性异常的定义及其统计特征

对于欧亚遥相关型的定义,常用的主要有 RE-OF 及单点距平差值这两种。为方便同前人工作进行对照,本文选用 Wallace 等(1981)所提出的定义,

$$I_{EU} = -\frac{1}{4}Z^*(55^{\circ}\text{N},20^{\circ}\text{E}) + \frac{1}{2}Z^*(55^{\circ}\text{N},75^{\circ}\text{E}) -$$

$$\frac{1}{4}Z^*(40^{\circ}\text{N},145^{\circ}\text{E}) \tag{1}$$

式中, Z^* 表示标准化的 500 hPa 季平均高度距平。

根据公式(1),计算出 1951—2010 年冬季的 EU 指数,结果列于表 1。

为验证计算方法的可靠性,将表 1 中结果同施能(1996)运用中国气象局发布的高度场资料所计算的 1951—1992 年指数进行相关性分析。相关系数为 0.86,表明延长时间序列是可行的,表 1 的结果是可信的。

表 1 北半球冬季欧亚型遥相关强度指数(1951—2010)
Table 1 Winter Euroasia teleconnection pattern intensity index
of Northern Hemisphere from 1951—2010

年份	EU 指数	年份	EU 指数	年份	EU 指数
1951/1952	−1.56	1971/1972	1.50	1991/1992	0.43
1952/1953	−0.57	1972/1973	1.23	1992/1993	1.31
1953/1954	0.44	1973/1974	0.60	1993/1994	0.39
1954/1955	−1.05	1974/1975	−0.04	1994/1995	−0.32
1955/1956	−0.09	1975/1976	0.25	1995/1996	0.62
1956/1957	0.66	1976/1977	−0.44	1996/1997	1.14
1957/1958	−0.48	1977/1978	−0.06	1997/1998	0.76
1958/1959	−0.23	1978/1979	0.10	1998/1999	−0.79
1959/1960	−0.42	1979/1980	0.04	1999/2000	−0.09
1960/1961	−0.08	1980/1981	−0.71	2000/2001	0.33
1961/1962	−0.71	1981/1982	−0.26	2001/2002	0.06
1962/1963	−0.42	1982/1983	−0.80	2002/2003	0.56
1963/1964	0.41	1983/1984	−0.50	2003/2004	−0.95
1964/1965	−0.64	1984/1985	−0.18	2004/2005	0.19
1965/1966	−0.90	1985/1986	−0.84	2005/2006	0.14
1966/1967	−1.06	1986/1987	0.00	2006/2007	0.27
1967/1968	−0.63	1987/1988	−0.57	2007/2008	0.09
1968/1969	0.79	1988/1989	0.86	2008/2009	−0.31
1969/1970	−0.90	1989/1990	0.88	2009/2010	0.41
1970/1971	0.85	1990/1991	1.15	2010/2011	−0.05

为分析 EU 型的年际、年代际变化特征,用季平均指数减去其线性趋势,构建 EU 型年际尺度变化序列。同时,为滤去年际尺度的波动,利用 9 点高斯平滑得到 EU 的年代际变化特征,结果合成绘制成图 1。从图 1 可以看出:1957 年以来,冬季 EU 型遥相关指数的年代际变化十分明显;1969—1976 年、1987—2002 年两个时段,强度指数普遍为正,两个正异常时段之间为负异常指数时段;2003 年以前,EU 型具有准 20 年周期振荡特征。利用 Morlet 小波变换对 54 年的季节平均指数进行处理后,可以发现 1967—1972 年、1986—2005 年存在若干不规则的 8 年内短周期,1960—2000 年 EU 型存在准 20

年周期。但鉴于时间长度较短,所考察周期长度较大,部分存在周期的区段被边界条件所否定。

3 EU 型遥相关候时间尺度强度异常及其特征

将公式(1)中的 Z^* 用标准化的 500 hPa 候平均高度距平代入,可以计算 1957—2010 年冬季的 EU 逐候指数。其中整个冬季指数平均为 0.08,月指数平均值分别为 0.16(12 月)、0.05(1 月)及 0.03(2 月)。从 1957—2011 年冬季逐候的指数的波动来看,EU 逐候指数可能出现连续负(正)异常形势。而

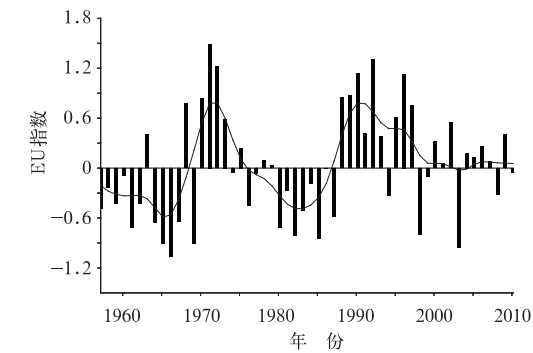


图 1 1957/1958—2010/2011 年冬季 EU 指数时间序列

(实线为 9 点高斯平滑曲线;横坐标上的 1960 表示 1960/1961 冬季,以此类推)

Fig. 1 The interannual variability of winter EU index during 1957/1958–2010/2011

(Solid line is 9 year Gaussian smoothing, 1960 on the abscissa refers to the winter of 1960/1961, and so on)

对冬半年的逐候指数进行小波分析后发现,存在 4 候及超过 4 候的周期性波动,即指数连续 2 候以上处于正/负相位。为分析 EU 型环流维持较高强度时所造成的影响,本文定义连续两候及两候以上,遥相关强度指数的绝对值大于其 1.5 倍标准差时,为 EU 型遥相关出现持续性异常。

通常的冬季为 12 月至次年 2 月(DJF),鉴于春秋季节为环流形势的调整时期,所以本文将始于 11 月、结束于冬季或始于冬季、结束于 3 月的持续性异常也算在冬季内。统计 1957—2010 年冬季出现的持续性异常过程(以冬季的起始年份代表该年冬季,从 11 月的第 1 候算至次年 3 月的第 6 候依次进行编号,如 1987 年 11 月第 2 候记做 1987. 2),结果列于表 2。

共计有 26 个持续性异常过程,每个过程持续时间从 2 候至 4 候不等,其中正异常 12 次、负异常 14 次,平均每两年出现一个过程,每个过程持续 2. 4

表 2 1957—2010 冬季 EU 指数持续异常事件统计表

Table 2 Statistics of EU persistent abnormal events in the winters of 1957–2010

正异常	负异常
1958. 14—15、1964. 24—25、1966. 11—13、1969. 6—8、1974. 9—10、1981. 7—10、1984. 14—15、1985. 24—27、1998. 22—23、2001. 11—12、2001. 23—24、2003. 16—17	1960. 23—25、1963. 14—15、1968. 4—7、1971. 13—14、1975. 20—21、1989. 13—14、1993. 21—23、1996. 16—17、1997. 10—11、1997. 21—22、2002. 23—25、2005. 14—15、2005. 17—18、2007. 10—11

候,正负过程平均持续时间基本持平。20 世纪 60 年代及 2000—2010 年间异常过程发生较多,分别为 6 次及 7 次;20 世纪 70 年代,异常过程出现的次数最少,仅有 3 次,80、90 年代各 4 次;54 年中有 3 年出现 2 次过程,分别为 1997、2001、2005 年冬季,同年所出现的两次过程为同一相位。

对 1957 年以来 54 个冬季持续性异常过程在各候发生频次的统计结果(图 2)表明,EU 指数持续性正异常过程主要发生在 3 个时段,分别为 12 月、1 月第 2—5 候及 2 月第 4 候至 3 月第 1 候,负异常过程主要发生在 3 个时段:12 月第 4—5 候、1 月的前 3 候及 2 月第 3 候至 3 月第 1 候,故而应将这 6 个时段分别作为欧亚型遥相关正负持续性异常的重点发生时段,给予关注。

4 欧亚型遥相关持续性异常的大气环流特征

分别以 200 及 850 hPa 表征高、低层大气状况,

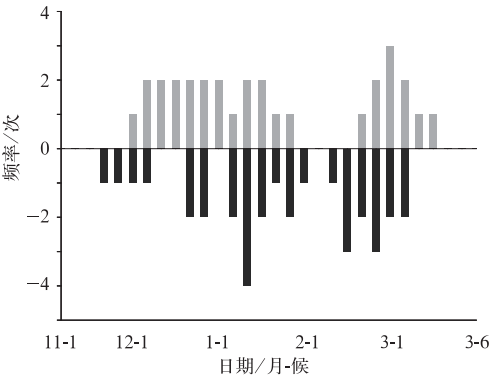


图 2 1957—2011 年冬季 EU 型遥相关持续性异常事件发生次数逐候累计图
(时间为 11 月至次年 3 月,共 30 候,浅/深色分别代表正/负异常事件)

Fig. 2 Pentad total graph of persistent abnormal events of EU pattern frequency in winters of 1957–2011

(All 30 pentads from November to the next March, light/dark column shows positive/negative abnormal event)

将 EU 指数正持续异常个例所对应位势高度距平的合成场减去负异常个例对应的合成场,得到合成差值场(后文正、负异常合成即指表 2 中个例的合成),得到合成差值场(图 3)。从图中可以看出,200 hPa 位势高度场上主要有 6 个在正、负相位下明显的反向变化中心,除 EU 型遥相关的 3 个中心外,另外 3 个中心分别位于(40°N、165°W)、(30°N、85°W)及格陵兰岛附近,但同 EU 中心相比变化强度较弱;850 hPa 位势高度场上,显著变化中心的位置同 200 hPa 基本保持一致,差异幅度减小,位于乌拉尔山地区上空的 EU 中心北移,东亚沿海上空附近存在显著差异区域,但无明显差值。总的来说,EU 指数异常时,高低空大气中均有明显的 EU 波列存在,表现出

正压特性;东半球经向环流较为明显,西半球环流则有较强的纬向特征。

分别对正、负异常过程的高低层位势高度距平进行合成(图略),能够更加清楚地看到持续性异常过程中各中心的状态。高低层位势高度上:EU 型的 3 个中心在正异常过程中呈‘一、+、-’分布,其余 3 个中心,自西向东依次呈‘一、+、-’分布;负异常过程中状况相似。正/负异常过程中,乌拉尔地区的正/负距平意味着西伯利亚高压的增强/减弱。而根据朱乾根等(1997)的研究结果,西伯利亚高压则是对我国冬季气候产生影响的重要因子之一。由此可见,EU 指数异常主要通过西伯利亚高压来影响我国冬季气候。

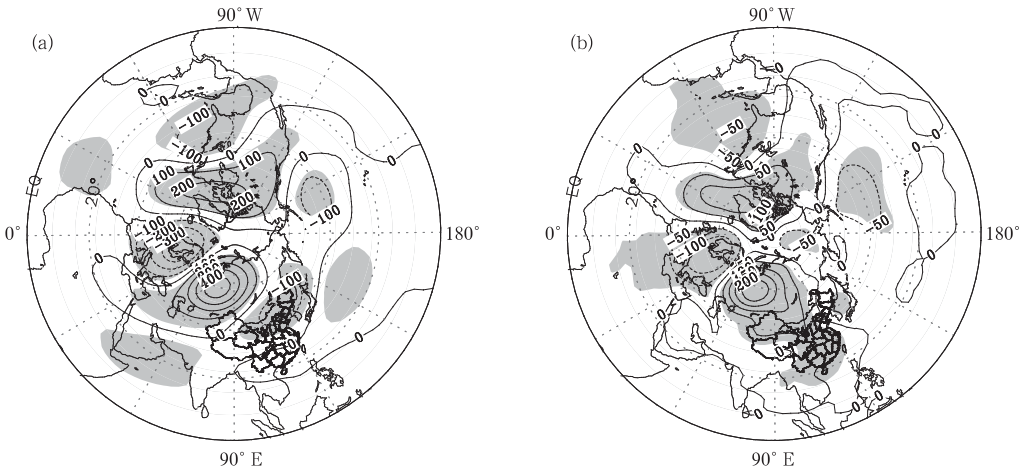


图 3 200 hPa(a)、850 hPa(b)位势高度距平的正、负异常合成差值场
(正异常平均减去负异常平均,阴影区域分别为通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验)

Fig. 3 Composite geopotential height departure at 200 hPa (a) and 850 hPa (b)
in both positive and negative anomalies
(Positive mean anomaly minus negative one, the shaded area shows the region
passing the significance test at the level $\alpha=0.05$)

对 200 和 850 hPa 正、负异常过程的风场差值场分析(图 4),并对差值场进行 F 统计检验(施能等,2004)。从图中可以看出,异常风差值场同位势高度差值场相匹配,乌拉尔山附近风场差异显著,通过 $\alpha=0.01$ 的显著性水平检验;200 hPa 上,正异常与负异常时相比,乌拉尔山附近反气旋风场加剧,我国东北地区上空有一较弱的气旋式性环流异常,我国北方地区上空偏北风主导、南方为偏南风主导;850 hPa 高度上,乌拉尔山附近的反气旋式环流中心保持不变,强度减弱;我国东北附近的气旋式环流中心东移至日本海附近,我国上空为偏北风主导。850 hPa 异常风的合成场(图略)显示:正异常过程

中,乌拉尔山地区有反气旋性异常环流,西伯利亚高压加强,我国上空风场处于偏北风距平,有利于冷空气南下;负异常时相反。总的来说,我国大部分地区上空的风场明显受 EU 指数异常过程的影响,正异常时风场促使冷空气南下,负异常相反。

5 欧亚型遥相关持续性异常对我国冬季天气的影响

以往的大量研究表明,大气环流能够直接影响温度的变化。EU 指数异常过程中,我国温度分布相态具有较大差异。合成场(图略)显示:正异常过

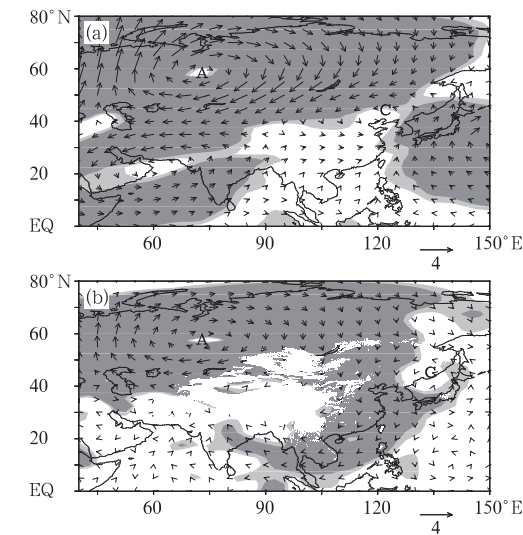


图 4 200 hPa(a)和 850 hPa(b)风距平的合成差值场
[正异常状态平均减去负异常状态平均,深(浅)阴影区表示通过 $\alpha=0.01(\alpha=0.05)$ 的显著性水平检验]

Fig. 4 The same as in Fig. 3, but for wind departure
(Dark/light shaded area separately stands for the region passing the significance test at the level $\alpha=0.01/\alpha=0.05$)

程中,欧亚经向环流突出,受西伯利亚高压加强的影响,我国对流层低层盛行偏北风,温度普遍偏低,仅青藏高原东沿及东北局部出现小范围的温度正距平区,北方的降温幅度高于南方,降温幅度最大的地区为内蒙古、山西交界西延至宁夏及新疆交界地区,同异常风场保持一致;负异常时,欧亚以纬向环流为主,我国呈现正的温度距平,辽吉交界、内蒙古中部地区及华南地区的增温幅度最大,超过 2.5°C ,云南西北部增温幅度最低。从温度距平的合成差值场(图 5)可以看出,我国受 EU 指数异常的影响明显,大部分地区的温度差异通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验,东北地区局部、四川西北部至川藏青三省交界处未通过显著性检验。

而 EU 指数异常对于我国降水的影响则远没有对温度影响的范围广。从降水距平的合成差值场(图 6)来看:降水差异显著的区域主要有黄河中下游、长江中下游流域局部及我国东南、西北的局部地区,差值自南向北整体呈减小趋势;华北北部及东北地区,降水差异不明显,也不显著。从正、负异常所对应的降水(图略)来看,在差异显著的区域:降水在正异常过程发生时是减少的,且减小幅度有由东南向西北递减的趋势,东南地区减少幅度为最大,西北减少幅度最小;负异常过程,降水为增加的,但西北

地区降水增加的幅度同东南地区相近,超过华中地区。而在受影响不显著区域:四川中东部及贵州西部在正(负)过程下降水为偏多(偏少)的,且较为明显,同全国大多数地区截然相反,同异常风场中,该地区附近在正(负)异常时的偏南(北)风距平相匹配,表明该地区冬季中的降水多寡同孟加拉湾的气流联系较为密切,这一结论同李聪等(2012)的研究结果相符。

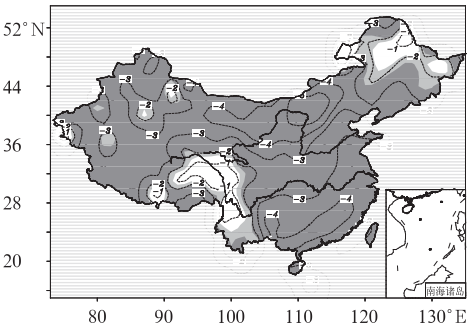


图 5 正、负异常候的合成温度差值场及其 t 检验
[正异常平均减去负异常平均状态,深(浅)阴影区表示通过 $\alpha=0.01(\alpha=0.05)$ 的显著性水平检验,等值线间隔 1°C]

Fig. 5 The same as in Fig. 3, but for surface air temperature departure and its t test
(Dark/light shaded area separately stands for the region passing significance test at the level $\alpha=0.01/\alpha=0.05$, contour intervals 1°C)

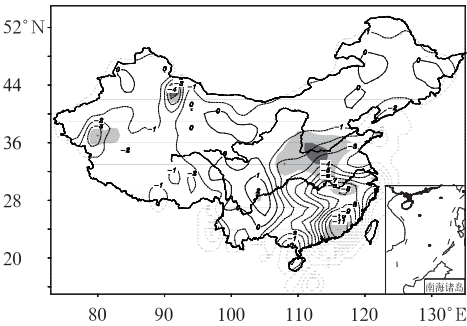


图 6 正、负异常候的合成降水差值场及其 t 检验
[正异常平均减去负异常平均状态,深(浅)阴影区表示通过 $\alpha=0.01(\alpha=0.05)$ 的显著性水平检验,等值线间隔 1 mm]

Fig. 6 The same as in Fig. 3, but for composite precipitation departure and its t test
(Dark/light area stands for the region passing significance test at the level $\alpha=0.01/\alpha=0.05$, contour intervals 1 mm)

Fig. 6 The same as in Fig. 3, but for composite precipitation departure and its t test
(Dark/light area stands for the region passing significance test at the level $\alpha=0.01/\alpha=0.05$, contour intervals 1 mm)

6 结果与讨论

本文按照 Wallace 等(1981)提出的欧亚型遥相关(Euroasia,简称 EU)定义,计算了 54 年冬季的逐候 EU 指数,并以连续两候及两候以上指数距平达到 1.5 倍标准差以上,定义了 EU 指数持续性异常。继而对 EU 指数持续性异常的统计特征、其所对应时段的环流异常特征及我国冬季温度、降水的异常分布进行分析,得出以下结论。

(1) 1957 年起的 54 个冬季共计发生了 26 次持续性异常,其中正异常 12 次、负异常 14 次,平均每两年出现一个过程,每个过程持续 2.4 候。正、负持续性异常过程各有 3 个重点发生时段:正异常的为 12 月、1 月第 2—5 候及 2 月第 4 候至 3 月第 1 候,负异常的主要发生在 12 月第 4、5 候、1 月的前 3 候及 2 月第 3 候至 3 月第 1 候,可作为重点预报时段。

(2) EU 指数发生异常时,高低层大气中表现出强的 EU 型特征,具备正压特性。西伯利亚高压在正(负)异常时加强(减弱),有明显的反气旋(气旋)式风异常。

(3) 受 EU 指数异常影响,我国大部分地区的气温差异显著。正异常过程中,我国温度普遍偏低,仅青藏高原东沿及东北局部出现小范围的温度正距平区,北方的降温幅度高于南方,降温幅度最大的地区为内蒙古、山西交界西延至宁夏及新疆交界地区,同异常风场保持一致;负异常时,我国呈现正的温度距平,辽吉交界、内蒙古中部地区及华南地区的增温幅度最大,超过 2.5℃,云南西北部增温幅度最低,仅青藏高原东沿及东北局部出现小范围的温度正距平区。

(4) EU 指数异常对于我国降水的影响则远没有对温度影响的范围广。差异显著区域主要有黄河中下游、长江中下游流域局部及我国东南、西北的局部地区,差值自南向北整体呈减小趋势。正异常过程使其降水减少,负异常过程中相反。

总的,EU 指数持续性异常对我国冬季天气的影响同月、季尺度的讨论结果是一致的,正指数对应我国冬季的干冷天气,负指数对应暖湿天气。但在月、季尺度上,EU 型遥相关结构主要同我国东部地区的冬季气温、降水的相关较好;候尺度上,同温度相关良好的区域扩大至全国的大部分地区。

参考文献

- 龚道溢,王绍武.1999.西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究.地理学报,54:125-133.
- 李聪,肖子牛,张晓玲.2012.近 60 年中国不同区域降水的气候变化特征.气象,38(4):419-424.
- 李多,肖子牛,李泽椿.2012.中国东部北方地区冬季降雪的时空特征及其与全球异常海温的联系.气象,38(4):411-418.
- 李勇,陆日宇,何金海.2007.影响我国冬季气候的若干因子.大气科学,31(3):505-514.
- 李智才,宋燕,张国宏,等.2007.1 月北半球 500 hPa 环流遥相关型指数的年代际变化特征及其与北极涛动的关系//中国气象学会 2007 年年会气候变化分会场论文集.
- 林振敏,施能.2004.北半球冬季大气环流遥相关型特征与我国区域气候.气象科技,32(5):333-342.
- 刘毓赞,陈文.2012.北半球冬季欧亚遥相关型的变化特征及其对我国气候的影响.大气科学,36(2):423-432.
- 普业,裴顺强,李崇银,等.2006.异常东亚冬季风对赤道西太平洋纬向风异常的影响.大气科学,30(1):69-79.
- 施能.1996.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.应用气象学报,7(2):175-182.
- 施能.1996.北半球冬季大气环流遥相关型的长期变化及其与我国气候变化的关系.气象学报,54(6):675-683.
- 施能,顾骏强,黄先香,等.2004.合成风场的统计检验和蒙特卡洛检验.大气科学,28(6):950-956.
- 孙丞虎,任福民,周兵,等.2012.2011/2012 年冬季我国异常低温特征及可能成因分析.气象,38(7):884-889.
- 吴洪宝.1993.我国冬季气温异常与北半球 500 hPa 大气环流遥相关型的关系.南京气象学院学报,16(2):115-119.
- 吴洪宝,王盘兴.1994.北半球冬季遥相关型环流异常的若干性质.南京气象学院学报,17(2):225-231.
- 杨小波,王永光,梁萧云.2011.11 月气候异常型及前期环流信号.应用气象学报,22(3):275-282.
- 朱乾根,施能,吴朝晖,等.1997.近百年北半球冬季大气活动中心的长期变化及其与中国气候变化的关系.气象学报,55(6):750-758.
- 朱乾根.1993.我国的东亚冬季风研究.气象,16(1):3-10.
- Barnston A G, Livezey R E. 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. Mon Wea Rev, 115:1083-1126.
- Gong D Y, Wang S W, Zhu J H. 2001. East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation. Geophys Res Lett, 28(10): 2073-2076.
- Song J, Li C Y, Zhou W, et al. 2009. The linkage between the Pacific North American teleconnection pattern and the North Atlantic oscillation. Adv Atmos Sci, 26(2): 229-239.
- Wallace J M, Gutzler D S. 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. Mon Wea Rev, 109(4): 784-812.