

贾丹, 简茂球. 2015. 中国冬季月地面气温的年际变化 [J]. 气候与环境研究, 20 (4): 454–464. Jia Dan, Jian Maoqiu. 2015. Interannual variability of wintertime monthly surface air temperature in China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 20 (4): 454–464, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2015.14240.

中国冬季月地面气温的年际变化

贾丹^{1,2} 简茂球^{1,3}

1 中山大学环境科学与工程学院大气科学系, 季风与环境研究中心, 广州 510275

2 天津市宁河县气象局, 宁河 301500

3 江苏省气候变化协同创新中心, 南京 210093

摘要 基于观测资料和再分析资料, 对我国冬季各月地面气温的年际变异时空演变以及它们之间的相互关系、相关的环流异常特征进行了统计诊断分析, 并对大气内部的影响过程和机制进行解释。我国冬季各月地面气温的主要年际变异模态是除青藏高原地区外的全国一致型, 其次为南北反号分布型。我国冬季 1 月与 2 月气温的主要年际变异模态之间存在显著的同相变化关系, 而它们与前期 12 月气温的主要变异型存在一定程度的反相变化关系。我国冬季各月地面气温主要年际变异模态又与欧亚大陆更大范围的高纬—中低纬度地区气温的反号变异型直接相关。与我国冬季各月大范围的地面气温变异相关的温度异常信号存在于深厚的对流层, 其中异常信号在地面最显著, 其强度随高度逐渐衰减。地表温度异常可以通过地表向上长波辐射通量异常来影响近地面乃至更高层次的气温异常。在冬季各月, 欧亚大陆北部上空对流层各层出现的明显西风异常加强, 使得高纬度的冷空气南侵活动减弱, 从而造成我国乃至更大范围且垂直深厚的气温暖异常。

关键词 气候学 冬季月气温 年际变化

文章编号 1006-9585 (2015) 04-0454-11

中图分类号 P467

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2015.14240

Interannual Variability of Wintertime Monthly Surface Air Temperature in China

JIA Dan^{1,2} and JIAN Maoqiu^{1,3}

1 Department of Atmospheric Sciences and Center for Monsoon and Environment Research, School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275

2 Ninghe Meteorological Administration, Tianjin, Ninghe 301500

3 Jiangsu Collaborative Innovation Center for Climate Change, Nanjing 210093

Abstract Based on observed and reanalysis data, this study analyzes the spatiotemporal variations of monthly surface temperature in winter in China, their interrelationship, and the related anomalous circulation on the interannual timescale. The atmospheric internal mechanisms for the interannual variation of surface temperature is also discussed. The dominant interannual mode is uniform across China, except in the Tibetan Plateau, for all winter months, while the second mode is a north–south dipole mode with opposite sign. The dominant interannual modes of surface temperature in January and February are closely correlated to each other in phase, but are to some extent negatively correlated with that in the prior December. The dominant interannual modes of monthly surface temperature in winter are also linked to the opposite-sign

收稿日期 2014-11-08; 网络预出版日期 2015-02-03

资助项目 国家杰出青年科学基金项目41025017, 国家重大科学研究计划(全球变化)项目2014CB953901

作者简介 贾丹, 女, 1988年出生, 硕士研究生, 主要从事季风与区域气候研究。E-mail: 956328835@qq.com

通讯作者 简茂球, 男, 1965年出生, 教授, 从事季风与区域气候研究。E-mail: eesjmq@mail.sysu.edu.cn

dipole anomalous patterns of surface temperature in the Eurasian continent. The anomalous temperature signals associated with the nationwide winter surface temperature anomalies may extend up to high levels in the troposphere, with the most intense signals at the surface. The surface temperature anomalies may induce the air temperature anomalies from the near surface to the upper troposphere via the upward longwave radiation flux anomalies emitted from the underlying surface. In all winter months, the intensified westerly over the northern Eurasian continent hinders the southward intrusion of cold air from high latitudes, and then results in a deep warm anomaly over winter in China, and an even larger part of the Eurasian continent.

Keywords Climatology, Winter monthly air temperature, Interannual variability

1 引言

我国地处东亚地区，冬季的气候主要受东亚冬季风系统的影响。由于冬季气温较低，冬季出现的如寒潮、低温、冰冻、雨雪等灾害，对工农业生产以及人们的日常生活都会造成了严重的影响。因此，深入了解和认识冬季气温的变异规律及其机理对提高冬季气温的气候预测水平具有重要意义。

目前，已有许多有关我国冬季气温变异的研究工作。首先，对于 19 世纪 80 年代的增暖现象有了较统一的认识。丁一汇和戴晓苏（1994）研究发现中国年平均气温在 20 世纪 50 年代至 20 世纪 80 年代左右为冷期，之后增暖。唐红玉等（2005）发现年平均最高温度和最低温度呈较一致的年代际变化，主要变暖均是从 20 世纪 80 年代中期开始，平均最高温度的增幅小于平均最低温度的增幅，平均日较差有明显的减小趋势，北方地区更为显著，且冬季降幅最大。任国玉等（2005）发现 20 世纪 80 年代的增暖，冬季在地面到对流层中层都有所表现，地面增温更明显，对流层上层、平流层底层有降温趋势，平流层低层降温趋势更显著。丁一汇和张莉（2008）发现，冬季中国 7 个区域的地表温度在 20 世纪 80 年代中期开始增暖，高纬地区突变时间早于低纬地区，突变信号北方强于南方。王凌等（2007）利用全国台站冬季平均温度资料研究发现，暖冬指数与温度距平都在 20 世纪 80 年代发生了突变，近 50 年暖冬事件发生 13 次，有 85% 左右的暖冬发生在 1986 年以后。伴随 20 世纪 80 年代冬季增暖的另一个现象是影响我国的寒潮和强寒潮频次均显著减少（王遵娅和丁一汇，2006；Wang et al., 2009）。Chen et al.（2013）同样发现，1985 年之后冬季极端暖事件天数明显增多，而极端冷事件天数则明显减少。以上研究均证明中国冬季气温在 20 世纪 80 年代中期发生增暖的现象。对于东亚

地区，冬季温度在 1985 年也出现了增暖现象（Wang et al., 2010）。另外，康丽华等（2006）的研究表明中国气温年代际分量第一模态为全国一致型，与半球尺度上的北极涛动（AO）密切相关；第二模态为南北反向型，与中高纬大气环流的一波结构有关，在高度场上表现为一个准正压的太平洋和大西洋上反相的振荡模态。

中国及东亚地区的冬季温度不仅有明显的年代际变化，同时也存在明显的年际变化。康丽华等（2009）对中国冬季气温的年代际分量进行分析，发现中国气温年代际分量第一模态为全国一致型，与海陆气压差的改变、东亚大槽强度的变化和东亚高空急流位置的南北移动有关，赤道中东太平洋的异常海温对这一模态的出现有一定的预示意义，而中国近海的海温则更多的是被动地随气温改变；第二模态为南北反向型，与 AO 有关。

中国冬季气温的变异与东亚冬季风系统活动紧密相连。东亚冬季风与阿留申低压、西伯利亚高压、东亚大槽、高空急流乃至平流层过程关系密切（李勇等，2007；Huang et al., 2012；王会军和贺圣平，2012；陈文等，2013）。Zhang et al.（1997）发现西伯利亚高压的强度和东南向的扩张对东亚地区的寒潮爆发起关键作用。龚道溢和王绍武（1999）利用西伯利亚高压强度指数拟合气温，效果较好，并可以解释全国区域观测气温的方差的 43.6%。李春和方之芳（2005）发现极涡加深，当 AO 处于正相位，东亚冬季风则偏弱，中国北方偏暖；AO 处于负相位，中国北方则偏冷。还有研究表明，厄尔尼诺/南方涛动（ENSO）对中国冬季气温的变异有显著影响。Li（1989）、穆明权和李崇银（1999）较早提出了 ENSO 对我国冬季气温的影响，Zhang et al.（1996）则较早对其中的物理机制进行了解释，Wang et al.（2008）进一步提出 ENSO 对冬季气温的影响是不稳定的且依赖于太平洋年代际涛动（PDO）的位相。影响中国冬季气温的外强

迫因子还包括北极海冰、印度洋海温、黑潮海温和北大西洋的海温等（穆明权和李崇银，1999；晏红明和肖子牛，2000；陈佩燕等，2001；何溪澄等，2007；Francis et al., 2009；Honda et al., 2009；武炳义等，2011；He et al., 2013；Liu et al., 2014）。最近，Liu et al. (2012) 的研究指出东亚冬季风活动具有纬带差异，中纬度冬季风的活动对我国东部的气温有显著影响，而低纬冬季风活动则主要对我国东部大部分地区的降水有显著的影响；另外，不同地区的冬季风活动对应的贝加尔湖地区高压、东亚大槽等影响系统也有明显差异（刘舸等，2013）。

以往有关我国冬季地面气温的研究主要以冬季平均量为主，但是观测事实表明，我国的冬季气温的变化存在明显的季节内差异。黄嘉佑和胡永云（2006）指出中国冬季的前冬和后冬气温的变化存在明显的年际、年代际趋向性差异。最近，韦玮等（2014）分析了近 62 年来我国前冬和后冬气温的变化特征、它们之间的联系以及对应的大气环流，揭示出全国气温的主要变化模态是前冬到后冬同相演变型，而该模态在 20 世纪 80 年代中期有明显的年代际增暖；而第二模态为前冬到后冬反相演变型，并以年际变化为主。但是，就年际变化而言，冬季各月地面气温的时空变化特征如何？它们之间存在什么样的联系？这些问题还有待进一步的分析。为此，有必要分别对冬季各月气温的年际变化特征以及它们之间的可能联系进行分析。另外，本文还分析了与我国冬季地面气温异常有关的温度异常信号的垂直结构，这也是以前的研究较少涉及到的内容。最后，我们还讨论了与我国冬季各月地面气温异常相关的大尺度环流系统的异常及其影响过程。

2 资料

本文所用的资料包括：

(1) 1961 年 12 月至 2009 年 2 月中国格点的逐月地面气温，水平分辨率为 0.5° （纬度） $\times 0.5^\circ$ （经度）（Xu et al., 2009）。

(2) 美国 NCEP/NCAR 提供的逐月再分析资料，要素包括等压面的位势高度、气温、纬向风，水平分辨率为 2.5° （纬度） $\times 2.5^\circ$ （经度），垂直方向共 12 层（1000、925、850、700、600、500、400、300、250、200、150、100 hPa）；此外，还有海平面气压（SLP）、2 m 温度、地表温度、地表净

的长波辐射通量、地表净的短波辐射通量、地表感热通量、地表潜热通量，地表向上的长波辐射通量，时间为 1961 年 12 月至 2009 年 2 月。

本文只侧重分析冬季气温的年际变化特征，故所分析的物理量都是通过谐波分解得到的年际分量（时间尺度为 8 年以下的部分）。冬季月份为 12 月、1 月和 2 月。各月气候平均时段是 1961/1962 年至 2008/2009 年共 48 年。

3 中国冬季各月地面气温的年际变化

为了揭示中国冬季各月地面气温年际分量的主要变异型，首先对其进行经验正交函数（EOF）分解。图 1 为中国冬季各月气温年际分量 EOF 分析的前两个模态。各月第一模态的方差贡献分别为 36.1%、38.8%、64.4%，可以看出 2 月模态 1 的方差贡献比 12 月和 1 月模态 1 的方差贡献要明显地大。从图 1 可知，各月模态 1 的空间分布较为相似（图 1a、1c、1e），除青藏高原地区外，其他地区表现为同相变化。各月模态 1 对应的时间系数（PC1）如图 2 a、2c、2e 所示，其中 12 月的 PC1 在 1985~2000 年振幅较小，而 2 月的 PC1 则是在 1979~1998 年振幅较弱。各月模态 1 对应的 PC1 之间的关联性也有显著的差别（表 1），如 12 月的 PC1 分别与 1、2 月的 PC1 存在负相关性，而 1、2 月的 PC1 之间存在显著的正相关，换言之，我国 1 月和 2 月地面气温的年际变异有显著的同号性，而它们与前期 12 月气温的变异存在反号性。冬季各月气温 EOF 分解的第二模态（EOF2）如图 1b、1d、1f 所示。各月第二模态的方差贡献分别为 19.3%、

表 1 中国冬季各月气温年际分量 EOF 分析的时间系数 PC1、PC2 的交叉相关系数

Table 1 Correlation coefficients between the principal components (PCs) of the empirical orthogonal function (EOF) modes of the winter monthly mean surface air temperature on the interannual time scale in China

	相关系数					
	12月PC1	12月PC2	1月PC1	1月PC2	2月PC1	2月PC2
12月PC1	1	0	-0.21	-0.02	-0.29	0.28
12月PC2		1	-0.12	0.06	0.20	0.35*
1月PC1			1	0	0.44*	-0.22
1月PC2				1	0.33*	0.37*
2月PC1					1	0
2月PC2						1

*表示通过 95%置信度水平检验。

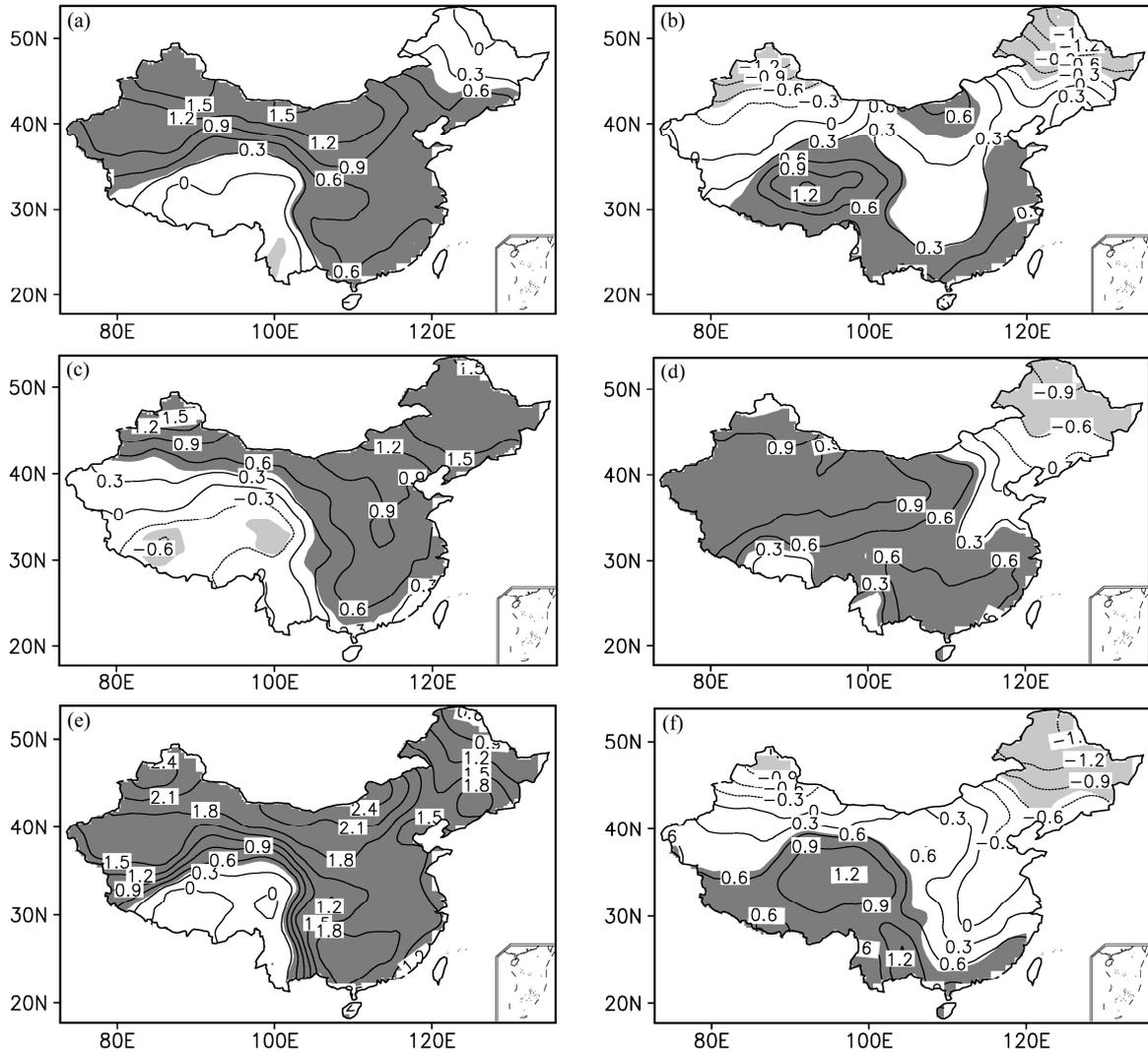


图1 中国冬季 (a、b) 12月、(c、d) 1月、(e、f) 2月地面气温年际分量 EOF 分析的前两个模态：(a、c、e) 第一模态 EOF1；(b、d、f) 第二模态 EOF2。图中的数值为用各 EOF 模态的标准化时间系数回归地面气温年际分量所得的回归系数 (单位： $^{\circ}\text{C}$)，填色区域表示通过 95% 信度水平检验的区域

Fig. 1 The (a, c, e) first and (b, d, f) second EOF (Empirical Orthogonal Function) spatial patterns (EOF1 and EOF2) of monthly mean surface air temperature ($^{\circ}\text{C}$) on the interannual scale in (a, b) December, (c, d) January, and (e, f) February in China. The contour values represent the regression coefficients of the surface air temperature to the normalized corresponding time coefficient series of the EOF modes. The shaded regions indicate the regression coefficients exceeding the 95% confidence level

24.8%、14.7%。从图可知，12月的 EOF2 空间分布与 2 月的较相似，为新疆北部、东北北部地区与高原至华南沿海地区反号分布；而 1 月则为东北—西南反相分布型，负值中心位于东北北部，正值中心在新疆南部和青藏高原北部地区。各月第二模态对应的时间系数 (PC2) 如图 2b、2d、2f 所示，其中 12 月的 PC2 在 1985 年以后振幅变弱，而 2 月的 PC2 则是在 1960 年代和 2000 年后振幅较强。从各月第二模态的时间系数之间的相关性看 (表 1)，12

月、1 月分别与 2 月存在显著地正相关，但 12 月与 1 月之间的相关性不明显。从上述结果看，我国 1、2 月气温的年际变化有较显著的同号相关性。

从前面的分析可知，中国冬季各月近地面气温的第一变异模态所占方差比重较大 (都在 36% 以上)，显著变异的空间范围较大，而第二模态的方差比重相对要小得多，显著的变异空间范围也较小 (1 月除外)，故下面的分析和讨论主要是针对第一模态进行。

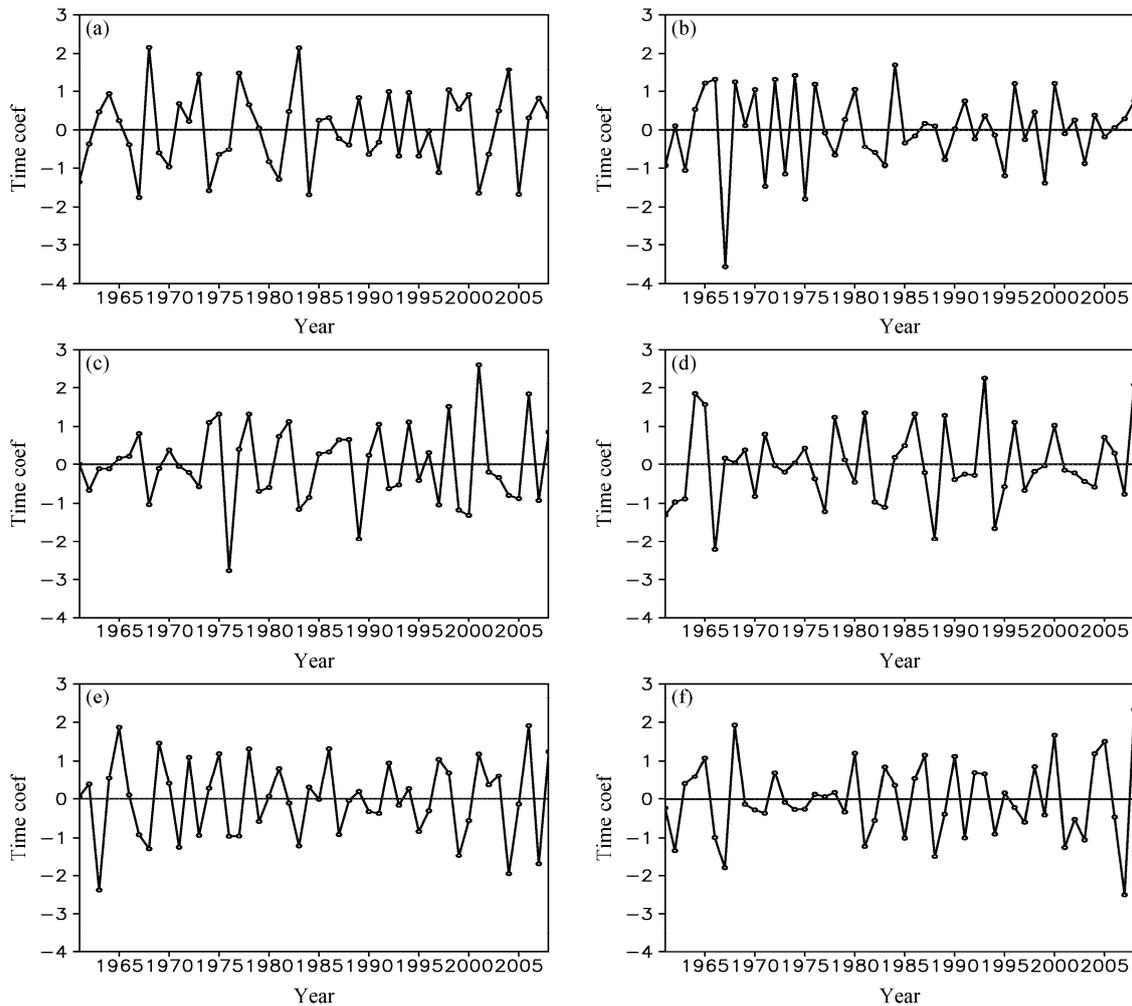


图2 中国冬季 (a、b) 12月、(c、d) 1月、(e、f) 2月地面气温年际分量 EOF 分析的前两个模态的时间系数 (PC1、PC2): (a、c、e) PC1; (b、d、f) PC2

Fig. 2 The (a, c, e) first and (b, d, f) second EOF normalized time series (PC1 and PC2) of monthly mean surface air temperature on the interannual scale in (a, b) December, (c, d) January, and (e, f) February in China

中国冬季各月气温的主要年际变异型 (EOF1) 其实与更大范围温度的年际变异有直接的联系。图3给出了中国冬季各月气温年际分量 EOF 分解的标准化 PC1 回归近地面 2 m 气温年际分量的回归系数场。从图可见, 中国冬季各月大范围地面气温的变异与欧亚大陆中东部大范围气温变异紧密相关, 也与欧亚大陆北部北极地区的气温反号异常密切相关, 其中 12 月的显著异常区较 1、2 月的小。这也说明了我国冬季气温的年际变异与欧亚大陆高纬一中低纬度地区气温的反号变异型直接相关。

为了了解冬季气温年际分量主要变异型的垂直结构, 用中国冬季各月气温的年际分量 EOF 分析得到的标准化 PC1 回归对应月份的气温年际分量的纬向垂直剖面图及经向垂直剖面 (图 4), 剖面所

沿经、纬度为 1000 hPa 温度年际变化的大值中心所在位置。从纬向剖面图看 (图 4a、4c、4e), 东亚地区冬季各月温度的正异常从低层向高层逐步减小, 在 300 hPa 以上开始出现负异常; 2 月正异常范围最大, 1 月、12 月次之; 从正异常变化幅度看, 12 月最小, 2 月最大。从经向剖面来看 (图 4b、4d、4f), 各月气温年际变化中心有明显的南北差异, 12 月、2 月正负中心位置偏南, 正中心位于 45°N 附近, 1 月正负中心偏北, 正中心位于 50°N 附近, 并且负值中心通过检验的区域最大。以上气温异常的垂直剖面图结果表明, 与我国冬季大范围地面气温异常相联系的温度异常信号从地面可以向上延伸至对流层高层, 其中异常信号在地面最显著, 其强度随高度逐渐减弱。

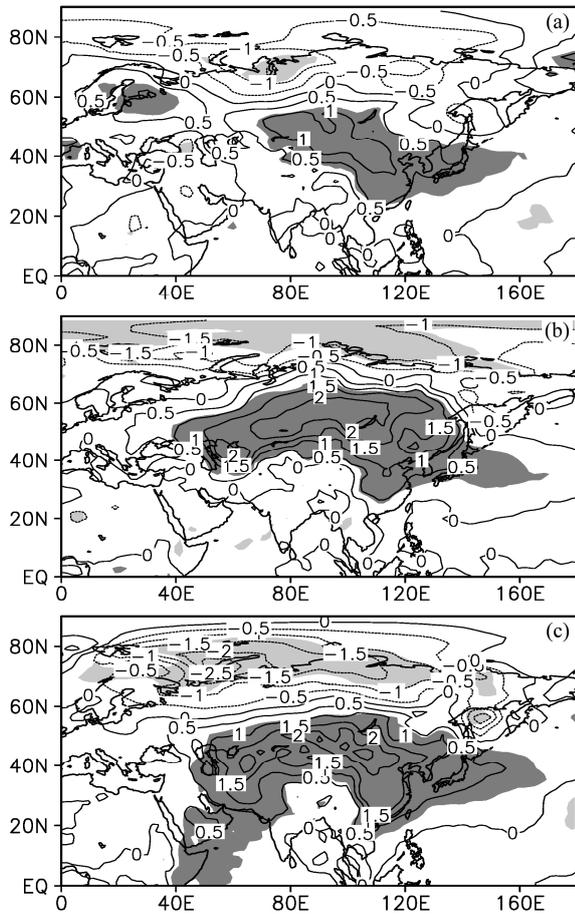


图3 中国冬季 (a) 12月、(b) 1月、(c) 2月气温的年际分量 EOF 分析的标准化 PC1 回归对应月份的近地面 2 m 气温年际分量的回归系数场 (单位: °C)。填色区表示通过 95%置信度水平检验的区域
Fig. 3 Distribution of the regression coefficients (°C) of monthly mean 2-m air temperature to the normalized corresponding principal components of the EOF1 modes of monthly mean surface air temperature in China on the interannual scale in (a) December, (b) January and (c) February. The shaded regions indicate the regression coefficients exceeding the 95% confidence level

前面图 4 显示的大气温度异常信号随高度减弱的观测事实可能反映了下垫面温度异常对其上空大气温度异常影响的重要性。分析结果表明, 与我国冬季各月地面气温主要异常型相关的地表温度异常分布型与图 3 是非常相似的 (图略), 温度异常幅度也非常接近。而地表温度的异常与地表热量收支异常有关。为此, 我们进一步分析了地表净热通量 (即辐射、感热通量和潜热通量之和) 的异常分布, 结果如图 5a、5c 和 5e 所示。从图可知, 在图 3 的温度正异常区存在地表热通量负异常, 由于地表净热通量向上为正, 故负异常表示地表向上释

放的净热通量减少了, 因此而使得地表温度异常偏高, 反之亦然。而地表温度异常偏高反过来会导致地表向上长波辐射通量 (ULWRF) 的正异常 (图 5b、5d 和 5f), 即地表对大气的长波辐射加热增加了, 从而使得近地面及其上层的气温增暖。类似地, 我们也分析了相应的地表感热通量的异常特征, 结果表明其异常分布类似近地面 2 m 温度, 但符号相反 (图略), 说明地气间的感热通量异常有利于地表温度的升高却使得地面气温变冷。以上分析说明地表温度异常主要通过地表向上长波辐射通量异常来影响近地面乃至更高层次 (如 300 hPa 层) 的气温异常。

4 影响冬季地面气温年际变化的大气环流系统

前一节有关东亚冬季各月气温主要变异型 (EOF1) 的分析表明, 冬季气温的变异不仅仅局限在近地层, 在增温的中心区域甚至可以到达 300 hPa, 这说明温度的变异与低、中、高的环流系统变异有密切关系。图 6 为中国 12 月气温 EOF 分解标准化 PC1 回归同期海平面气压、500 hPa 位势高度和 200 hPa 纬向风。为了叙述方便, 下面以我国冬季气温正异常为例来说明和解释, 负异常可以作相反的说明。从图可知, 在西西伯利亚平原海平面气压有负异常中心, 负异常区经蒙古向东南延伸至我国南方地区, 而在日本以东的西北太平洋出现海平面气压正异常 (图 6a), 这样的海平面气压异常分布会使东北亚及附近地区的北风分量减弱, 不利于冷空气南下, 也即利于气温偏暖; 而在对流层中层, 500 hPa 位势高度在乌拉尔山东侧上空有负异常中心, 而在我国新疆至日本东面的北太平洋上空为显著正异常 (图 6b), 这种高度场异常分布表明东亚大槽和乌拉尔阻塞高压都减弱, 从而导致欧亚大陆中纬地区的西风加强, 阻碍了冷空气从高纬度地区向南爆发, 在贝加尔湖及以西地区出现由西南风异常导致的温度水平平流暖异常, 使得欧亚大陆中纬度和东亚气温偏高; 在高层 200 hPa, 我国华北至日本以东的西北太平洋区域出现异常东风, 而贝加尔及其西侧附近区域上空出现明显的西风异常 (图 6c), 说明东亚急流核心区较气候态偏北, 不利于极地冷空气南侵。

与东亚 1 月份大范围气温异常相关的环流异常

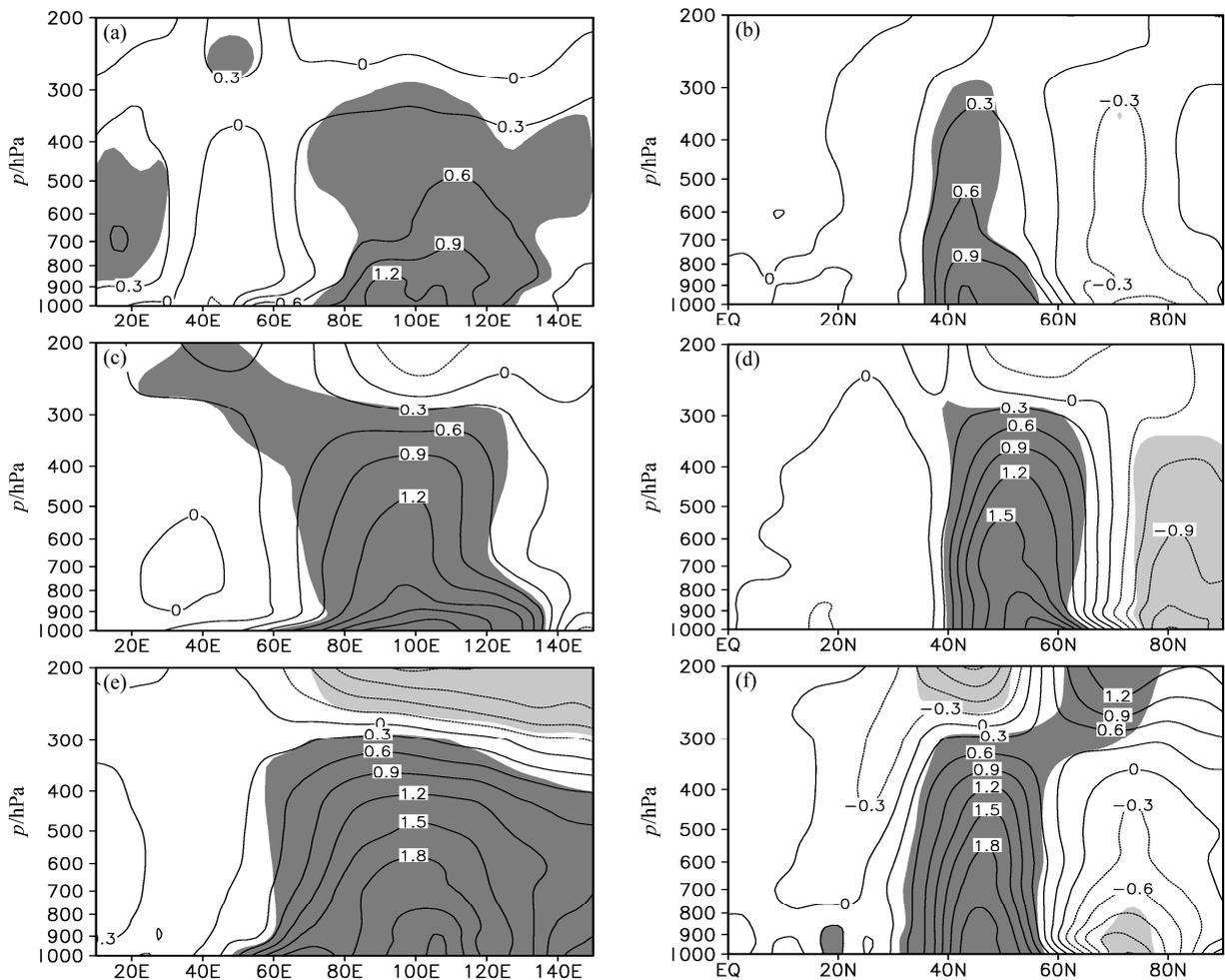


图4 中国冬季 (a, b) 12月、(c, d) 1月、(e, f) 2月气温年际分量 EOF 分析的标准化 PC1 回归对应月份的气温年际分量的回归系数 (单位: $^{\circ}\text{C}$) 的纬向剖面 (左列) 和经向剖面 (右列)。 (a)、(c)、(e) 分别为沿 45°N 、 57.5°N 、 45°N 剖面, (b)、(d)、(f) 为沿 100°E 剖面, 填色区表示通过 95% 置信度水平检验的区域

Fig. 4 Longitude–height sections (left column) and latitude–height sections (right column) of the regression coefficients ($^{\circ}\text{C}$) of monthly mean air temperature to the normalized corresponding principal components of the EOF1 modes of monthly mean surface air temperature in China on the interannual scale in (a, b) December, (c, d) January, and (e, f) February. (a), (c), and (e) are along 45°N , 57.5°N , and 45°N , respectively. (b), (d), and (f) are along 100°E . The shaded regions indicate the regression coefficients exceeding the 95% confidence level

如图 7 所示, 环流异常的显著区域范围总体要比 12 月的大 (图 6)。具体而言, 以喀拉海为中心, 在欧亚大陆北部至极地地区出现海平面气压负异常, 而在青藏高原至南亚地区和西北太平洋有正异常 (图 7a), 这种气压异常分布使得欧亚大陆中高纬度出现异常西风以及在东亚地区出现异常西南风, 亦即加强了中纬度的西风, 不利冷空气南下, 因此导致了欧亚大陆中纬度至东亚地区的地面气温偏暖 (图 3b); 500 hPa 位势高度异常分布 (图 7b) 与海平面气压较相似, 只是正负中心的位置较底层的偏北, 在欧亚大陆北部出现西风异常, 不利高纬冷空气南下, 在贝加尔湖及以西地区出现西南风异常并导致

暖的温度水平平流异常; 200 hPa 的纬向风异常也有类似的特征 (图 7c), 东亚上空出现明显的东风异常, 说明东亚高空急流减弱, 而在欧亚大陆北部上空出现一条明显的异常西风带, 使得该纬带的西风增强, 不利极地冷空气南下。

与东亚 2 月份气温异常相关的环流异常分布如图 8 所示, 它们总体上和 1 月份的 (图 7) 较相似, 但一些异常中心的位置和显著异常区域范围有变化。如相对于 1 月, 海平面气压负异常中心南移, 显著区域缩小 (图 8a); 500 hPa 位势高度正、负异常区南移, 且负异常中心西移缩小, 正异常区域东扩; 而 200 hPa 的纬向风正负异常带统一南移。同

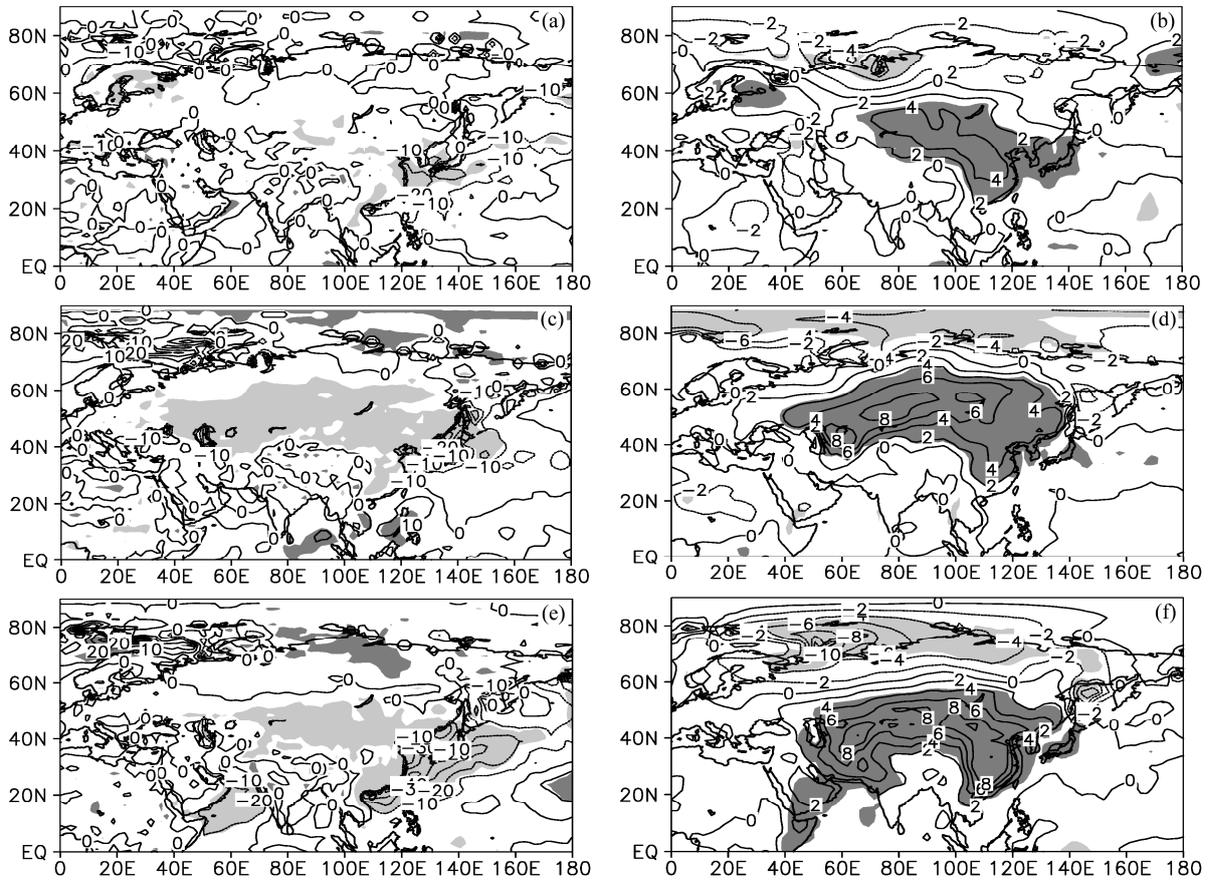


图5 中国冬季 (a、b) 12月、(c、d) 1月、(e、f) 2月气温的年际分量 EOF 分析标准化 PC1 回归对应月份的地表净热通量 (NHF, 左列) 和地表向上长波辐射通量 (ULWRF, 右列) 的年际分量的回归系数场 (单位: W/m^2)。填色区表示通过 95%置信度水平检验的区域

Fig. 5 Distribution of the regression coefficients (W/m^2) of monthly mean surface net heat flux (NHF, left column) and upward longwave radiation flux (ULWRF, right column) to the normalized corresponding principal components of the EOF1 modes of monthly mean surface air temperature in China on the interannual scale in (a, b) December, (c, d) January, and (e, f) February. The shaded regions indicate the regression coefficients exceeding the 95% confidence level

样地, 从低层到高层的环流异常分布都一致地反映出它们不利于高纬冷空气的南下, 因此导致欧亚大陆中纬地区至东亚气温出现偏暖异常 (图 3c)。

另外, 从前面给出的冬季各月海平面气压异常分布图 (图 6a、7a、8a) 看, 海平面气压出现显著异常的区域也覆盖了西伯利亚高压所在范围, 而冬季西伯利亚高压又是影响东亚冬季风演变的重要环流系统。为此, 我们进一步取 ($40^{\circ}N \sim 60^{\circ}N$, $80^{\circ}E \sim 120^{\circ}E$) 区域平均的海平面气压作为西伯利亚高压指数 (SH) (Jhun and Lee, 2004), 计算其年际分量分别与我国 12 月、1 月和 2 月地面气温 EOF 分解得到的第一模态时间系数的相关系数, 结果分别为 -0.66 、 -0.71 和 -0.85 , 都通过了 95% 置信度水平检验, 进一步说明了西伯利亚高压的强

弱异常的确可以密切影响到我国冬季大范围的冷暖温度异常, 而其中又以 2 月的关系最为密切。

5 结论

本工作分析了中国冬季各月地面气温年际分量的时空变异特征, 以及它们之间的相互关系, 也分析了它们与更大范围温度异常的联系, 并结合低、中、高层环流系统及其影响过程, 对其可能的机制进行解释, 得到的主要结论如下:

我国冬季各月地面气温年际变异的主要模态是除青藏高原地区外的全区一致型, 其次为南北反号分布型。我国冬季 1 月与 2 月气温的主要年际变异模态之间存在显著的同相变化关系, 而它们与前

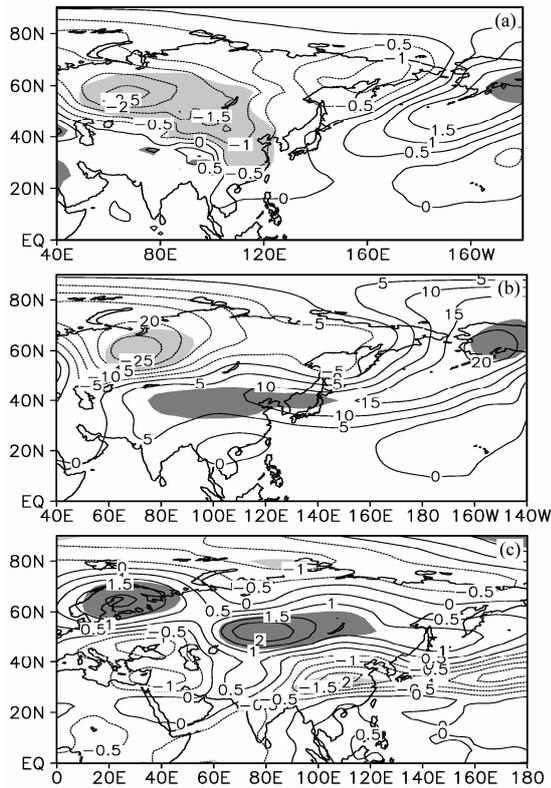


图6 中国12月地面气温年际分量EOF分解的标准化PC1回归同期(a)海平面气压(单位:hPa)、(b)500 hPa位势高度(单位:gpm)、(c)200 hPa 纬向风(单位:m/s)。填色区表示通过95%置信度水平检验的区域

Fig. 6 Distribution of the regression coefficients of (a) monthly mean sea level pressure (hPa), (b) geopotential height (gpm) at 500 hPa, and (c) zonal wind (m/s) at 200 hPa to the normalized corresponding principal components of the EOF1 modes of monthly mean surface air temperature in China on the interannual scale in December. The shaded regions indicate the regression coefficients exceeding the 95% confidence level

期我国12月气温的主要变异型存在一定程度的反相关系。我国冬季各月地面气温度主要年际变异型又与欧亚大陆更大范围的高纬—中低纬度地区气温的反号变异型直接相关。与我国冬季各月大范围的地面气温变异相关的温度异常信号从地面可以向上延伸至对流层高层,其中异常信号在地面最显著,其强度随高度逐渐衰减。而地表温度异常可以通过地表向上长波辐射通量异常来影响近地面乃至更高层次的气温异常。

在冬季各月,欧亚大陆北部出现海平面气压负异常,对流层中层东亚大槽偏弱,乌拉尔山脉的阻塞高压也减弱,200 hPa日本岛上空的西风急流也减弱,而在欧亚大陆中纬度地区对流层各层出现明显的西风异常,这些对流层高中低环流异常都是不

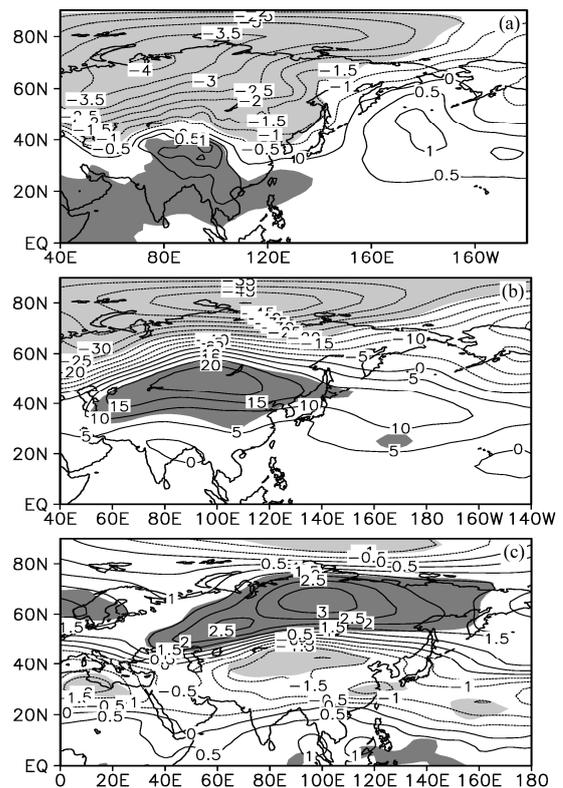


图7 同图6, 但为1月份

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for January

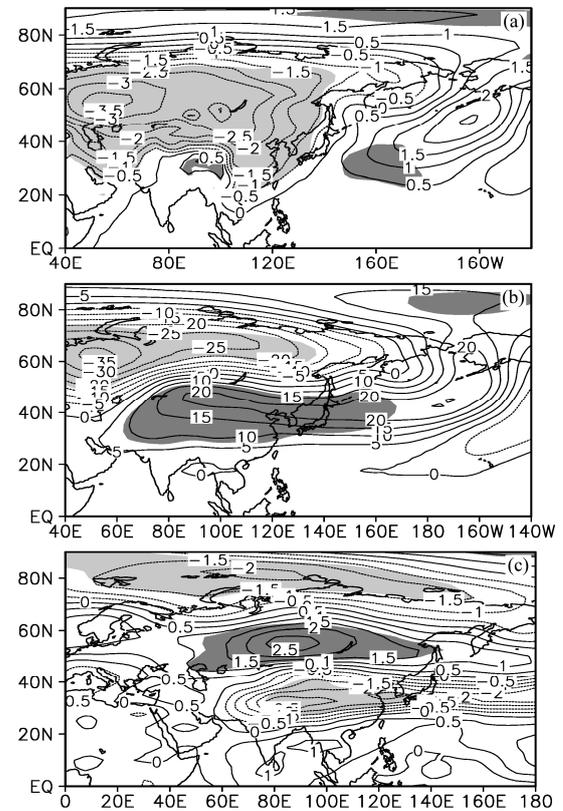


图8 同图6, 但为2月份

Fig. 8 Same as Fig. 6, but for February

利于高纬度的冷空气南侵, 从而造成我国乃至更大范围且垂直深厚的气温暖异常。西伯利亚高压的强弱异常可以显著地影响到我国冬季大范围的冷暖异常, 而其中又以 2 月的关系最为密切。

本工作只是分析上述我国冬季各月气温年际变化及其相关的环流异常特征和影响过程, 有关影响我国冬季各月气温年际变异的外强迫因子及其影响机理仍需今后进行深入的研究。

参考文献 (References)

- 陈佩燕, 倪允琪, 殷永红. 2001. 近 50 年来全球海温异常对我国东部地区冬季温度异常影响的诊断研究 [J]. 热带气象学报, 17 (4): 371–380.
- Chen Peiyan, Ni Yunqi, Yin Yonghong. 2001. Diagnostic study on the impact of the global sea surface temperature anomalies on the winter temperature anomalies in eastern China in past 50 years [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 17 (4): 371–380.
- Chen S F, Chen W, Wei K. 2013. Recent trends in winter temperature extremes in eastern China and their relationship with the Arctic Oscillation and ENSO [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 30 (6): 1712–1724.
- 陈文, 魏科, 王林, 等. 2013. 东亚冬季气候变异和机理以及平流层过程的影响 [J]. 大气科学, 37 (2): 425–438. Chen Wen, Wei Ke, Wang Lin, et al. 2013. Climate variability and mechanisms of the East Asian winter monsoon and the impact from the stratosphere [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 37 (2): 425–438.
- 丁一汇, 戴晓苏. 1994. 中国近百年来的温度变化 [J]. 气象, 20 (12): 19–26. Ding Yihui, Dai Xiaosu. 1994. Temperature variation in China during the last 100 years [J]. Meteorological Monthly (in Chinese), 20 (12): 19–26.
- 丁一汇, 张莉. 2008. 青藏高原与中国其他地区气候突变时间的比较 [J]. 大气科学, 32 (4): 794–805. Ding Yihui, Zhang Li. 2008. Intercomparison of the time for climate abrupt change between the Tibetan Plateau and other regions in China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 32 (4): 794–805.
- Francis J A, Chan W H, Leathers D J, et al. 2009. Winter northern hemisphere weather patterns remember summer Arctic sea-ice extent [J]. Geophys. Res. Lett., 36 (7): L07503.
- 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 [J]. 地理学报, 54(2): 125–133. Gong Daoyi, Wang Shaowu. 1999. Long-term variability of the Siberian High and the possible connection to global warming [J]. Acta Geographica Sinica (in Chinese), 54 (2): 125–133.
- He S P, Wang H J, Liu J P. 2013. Changes in the relationship between ENSO and Asia-Pacific midlatitude winter atmospheric circulation [J]. J. Climate, 26 (10): 3377–3393.
- 何溪澄, 李巧萍, 丁一汇, 等. 2007. ENSO 暖冷事件下东亚冬季风的区域气候模拟 [J]. 气象学报, 65 (1): 18–28. He Xicheng, Li Qiaoping, Ding Yihui, et al. 2007. Numerical simulation of east Asian winter monsoon with ENSO episodes using a regional climate model [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 65 (1): 18–28.
- Honda M, Inoue J, Yamane S. 2009. In fluence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters [J]. Geophys. Res. Lett., 36 (8): L08707.
- Huang R H, Chen J L, Wang L, et al. 2012. Characteristics, processes, and causes of the spatio-temporal variabilities of the East Asian monsoon system [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 29 (5): 910–942.
- 黄嘉佑, 胡永云. 2006. 中国冬季气温变化的趋向性研究 [J]. 气象学报, 64 (5): 614–621. Huang Jiayou, Hu Yongyun. 2006. Trends winter temperatures in China [J]. Acta Meteorologica Sinica (in Chinese), 64 (5): 614–621.
- Jhun J G, Lee E J. 2004. A new east Asian winter monsoon index and associated characteristics of the winter monsoon [J]. J. Climate, 17 (4): 711–726.
- 康丽华, 陈文, 魏科. 2006. 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, 11 (3): 330–339. Kang Lihua, Chen Wen, Wei Ke. 2006. The interdecadal variation of winter temperature in China and its relation to the anomalies in atmospheric general circulation [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (3): 330–339.
- 康丽华, 陈文, 王林, 等. 2009. 我国冬季气温的年代际变化及其与大气环流和海温异常的关系 [J]. 气候与环境研究, 14 (1): 45–53. Kang Lihua, Chen Wen, Wang Lin, et al. 2009. Interannual variations of winter temperature in China and their relationship with the atmospheric circulation and sea surface temperature [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (1): 45–53.
- Li C Y. 1989. Warmer winter in eastern China and El Niño [J]. Chinese Science Bulletin, 34 (21): 1801–1805.
- 李春, 方之芳. 2005. 北极涛动与东北冬季温度的联系 [J]. 高原气象, 24 (6): 927–934. Li Chun, Fang Zhifang. 2005. Linkage of Arctic oscillation and winter temperature in Northeast China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 24 (6): 927–934.
- 李勇, 陆日宇, 何金海. 2007. 影响我国冬季温度的若干气候因子 [J]. 大气科学, 31 (3): 505–514. Li Yong, Lu Riyu, He Jinhai. 2007. Several climate factors influencing the winter temperature over China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 31 (3): 505–514.
- Liu G, Ji L R, Sun S Q, et al. 2012. Low- and mid-high latitude components of the East Asian winter monsoon and their reflecting variations in winter climate over eastern China [J]. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 5 (3): 195–200.
- Liu Y, Wang L, Zhou W, et al. 2014. Three Eurasian teleconnection patterns: Spatial structures, temporal variability, and associated winter climate anomalies [J]. Climate Dyn., 42 (11–12): 2817–2839.
- 刘炯, 纪立人, 孙淑清, 等. 2013. 关于东亚冬季风指数的一个讨论——东亚中、低纬冬季风的差异 [J]. 大气科学, 37 (3): 755–764. Liu Ge, Ji Liren, Sun Shuqing, et al. 2013. A discussion on the East Asian winter monsoon index—Differences between the East Asian winter monsoon at mid-high and low latitudes [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 37 (3): 755–764.
- 穆明权, 李崇银. 1999. 东亚冬季风年际变化的 ENSO 信息 I. 观测资料分析 [J]. 大气科学, 23 (3): 276–285. Mu Mingquan, Li Chongyin. 1999. ENSO signals in the interannual variability of East-Asian winter monsoon.

- Part I: Observed data analyses [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 23 (3): 276–285.
- 任国玉, 初子莹, 周雅清, 等. 2005. 中国气温变化研究最新进展 [J]. *气候与环境研究*, 10 (4): 701–716. Ren Guoyu, Chu Ziyang, Zhou Yaqing, et al. 2005. Recent progresses in studies of regional temperature changes in China [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 10 (4): 701–716.
- 唐红玉, 翟盘茂, 王振宇. 2005. 1951~2002 年中国平均最高、最低气温及日较差变化 [J]. *气候与环境研究*, 10 (4): 728–735. Tang Hongyu, Zhai Panmao, Wang Zhenyu. 2005. On change in mean maximum temperature, minimum temperature and diurnal range in China during 1951–2002 [J]. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 10 (4): 728–735.
- Wang B, Wu Z W, Chang C P, et al. 2010. Another look at interannual-to-interdecadal variations of the East Asian winter monsoon: The northern and southern temperature modes [J]. *J. Climate*, 23 (6): 1495–1512.
- 王会军, 贺圣平. 2012. ENSO 和东亚冬季风之关系在 20 世纪 70 年代中期之后的减弱 [J]. *科学通报*, 57 (19): 1713–1718. Wang Huijun, He Shengping. 2012. Weakening relationship between East Asian winter monsoon and ENSO after mid-1970s [J]. *Chinese Science Bulletin*, 57 (27): 3535–3540.
- Wang L, Chen W, Huang R H. 2008. Interdecadal modulation of PDO on the impact of ENSO on the East Asian winter monsoon [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 35 (20): L2702, doi: 10.1029/2008GL035287.
- Wang L, Huang R H, Gu L, et al. 2009. Interdecadal variations of the East Asian winter monsoon and their association with quasi-stationary planetary wave activity [J]. *J. Climate*, 22 (18): 4860–4872.
- 王凌, 张强, 陈峪, 等. 2007. 1956–2005 年中国暖冬和冬季温度变化 [J]. *气候变化研究进展*, 3 (1): 26–30. Wang Ling, Zhang Qiang, Chen Yu, et al. 2007. Changes of warmer winter and winter temperature over China in the past 50 years [J]. *Advances in Climate Change Research (in Chinese)*, 3 (1): 26–30.
- 王遵娅, 丁一汇. 2006. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能原因 [J]. *大气科学*, 30 (6): 1068–1076. Wang Zunya, Ding Yihui. 2006. Climate change of the cold wave frequency of China in the last 53 years and the possible reasons [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 30 (6): 1068–1076.
- 韦玮, 王林, 陈权亮, 等. 2014. 我国前冬和后冬气温年际变化的特征与联系 [J]. *大气科学*, 38 (3): 524–536. Wei Wei, Wang Lin, Chen Quanliang, et al. 2014. Interannual variations of early and late winter temperatures in China and their linkage [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 38 (3): 524–536.
- 武炳义, 苏京志, 张人禾. 2011. 秋-冬季节北极海冰对冬季西伯利亚高压的影响 [J]. *科学通报*, 56 (27): 2335–2343. Wu Bingyi, Su Jingzhi, Zhang Renhe. 2011. Effects of autumn–winter Arctic sea ice on winter Siberian High [J]. *Chinese Science Bulletin*, 56 (30): 3220–3228.
- Xu Y, Gao X J, Shen Y, et al. 2009. A daily temperature dataset over China and its application in validating a RCM simulation [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 26 (4): 763–772.
- 晏红明, 肖子牛. 2000. 印度洋海温异常对亚洲季风区天气气候影响的数值模拟研究 [J]. *热带气象学报*, 16 (1): 18–27. Yan Hongming, Xiao Ziniu. 2000. The numerical simulation of the Indian ocean SSTA influence on climatic variations over Asian monsoon region [J]. *Journal of Tropical Meteorology (in Chinese)*, 16 (1): 18–27.
- Zhang R H, Sumi A, Kimoto M. 1996. Impact of El Niño on the East Asian monsoon: A diagnostic study of the '86/87 and '91/92 events [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 74 (1): 49–62.
- Zhang Y, Sperber K R, Boyle J S. 1997. Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979–95 NCEP/NCAR reanalysis [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 125 (10): 2605–2619.