

申红艳,温婷婷,封国林,等,2021.中国冬季气温季节内变率特征及环流分析[J].气象,47(3):327-336. Shen H Y, Wen T T, Feng G L, et al, 2021. Characteristics and circulation analysis of intraseasonal variability of winter temperature in China[J]. Meteor Mon, 47(3):327-336(in Chinese).

## 中国冬季气温季节内变率特征及环流分析\*

申红艳<sup>1,2</sup> 温婷婷<sup>2</sup> 封国林<sup>1,3,4</sup> 李红梅<sup>2</sup> 乔少博<sup>4</sup> 段丽君<sup>2</sup>

1 兰州大学大气科学院,兰州 730000

2 青海省气候中心,西宁 810001

3 国家气候中心,中国气象局气候研究开放实验室,北京 100081

4 南方海洋科学与工程广东省实验室,珠海 519082

**提 要:** 利用中国冬季逐日平均气温均方差作为气温季节内变率指标,分析其变化特征并探讨引起季节内变率异常的环流背景。结果表明,中国冬季气温季节内变率总体呈减弱趋势,对气候增暖趋势响应明显,其年代际变化和东亚冬季风年代际转折时间相吻合。当气温季节内变率异常偏强时,冬季平均环流场上呈类似准正压结构,平流层极涡偏弱,对流层中高纬呈类似斯堪的纳维亚遥相关型分布,低层西伯利亚高压偏强,北大西洋涛动(NAO)为负位相;NAO同我国东部气温变率联系密切,进一步分析揭示出NAO是通过影响西伯利亚高压的高频变化来作用于气温季节内变率。最后,通过提取天气一次季节—季节不同时间尺度上的大气环流内部变率,发现在各个尺度上,气温季节内变率均受西伯利亚高压和东亚冷涡的调控作用;尤其在天气尺度上,阿留申低压频繁波动及上游欧洲脊的稳定少动与气温变率有密切联系,季节尺度上欧亚阻塞高压和鄂霍次克海阻塞高压异常对气温变率有显著影响。

**关键词:** 均方差,季节内变率,北大西洋涛动,西伯利亚高压,尺度分离

**中图分类号:** P467

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2021.03.006

## Characteristics and Circulation Analysis of Intraseasonal Variability of Winter Temperature in China

SHEN Hongyan<sup>1,2</sup> WEN Tingting<sup>2</sup> FENG Guolin<sup>1,3,4</sup> LI Hongmei<sup>2</sup> QIAO Shaobo<sup>4</sup> DUAN Lijun<sup>2</sup>

1 Department of Atmospheric and Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000

2 Qinghai Climate Centre, Xining 810001

3 Laboratory of Climate Studies of CMA, National Climate Centre, Beijing 100081

4 Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory, Zhuhai 519082

**Abstract:** The mean variance of daily air temperature over China in winter was used as the index of intraseasonal variation of air temperature. Its characteristics was analyzed and its circulation background induced by intra seasonal variability of winter temperature in China was explored. The results show that the internal variability of winter temperature in China is generally weakening, and it has obvious response characteristics to the trend of climate warming. The interdecadal change coincides with the interdecadal transition time of the East Asian winter monsoon. When the temperature seasonal variability is abnormally strong, the average circulation field in winter shows a quasi-positive pressure structure, the polar vortex in

\* 国家自然科学基金项目(42065003,42075017和41875100)、中国科学院寒旱区陆面过程与气候变化重点实验室开放基金(LPCC2019009)和青海省科技厅基础研究(2021-ZJ-757)共同资助

2019年11月17日收稿; 2020年12月11日收修定稿

第一作者:申红艳,主要从事气候异常诊断及预测研究. E-mail: ishyshen@163.com

通讯作者:封国林,主要从事气候动力学研究. E-mail: fenggl@cma.gov.cn

the stratosphere is weak, the high latitudes in the troposphere distribute similarly to Scandinavian teleconnection type, the middle and low latitudes have a large area of negative anomaly, the near strata of Siberia is strong, and North Atlantic Oscillation (NAO) is a negative phase. Further analysis shows that NAO can affect the intraseasonal variation of temperature by affecting the high frequency variation of Siberian high pressure. In the end, through extracting the internal variability of atmospheric circulation on four time scales of weather season, the seasonal variability of air temperature is regulated by Siberian high and East Asian cold vortex. In addition, on the synoptic scale, frequent fluctuations of the Aleutian low and stable deactivation of the upper European ridge are closely related to the temperature variability, and the seasonal scales, including Eurasian blocking high and Okhotsk Sea blocking high anomalies, have significant effects on the temperature variability.

**Key words:** mean variance, intraseasonal variability, North Atlantic Oscillation (NAO), Siberian high, scale separation

## 引 言

政府间气候变化专门委员会第五次评估报告 (IPCC, 2014) 指出, 自上世纪中期以来, 全球年平均气温上升了  $0.8^{\circ}\text{C}$  左右, 尤以冬季北半球中高纬地区增暖最明显。因而暖冬成为普遍关注的一个热点问题, 但在暖冬里, 寒冷的音符并未休止, 21 世纪以来伴随东亚冬季风再次转强 (梁苏洁等, 2014), 大规模寒潮、暴雪频繁侵袭欧亚和北美大陆, 极端低温事件频发, 全球气候似乎又进入一个新的波动阶段。

值得注意的是, 近年来一些观测事实表明, 中国冬季气温季节内差异明显, 前冬和后冬冷暖异常急转的现象频繁出现: 如 2001 年前冬 (2001 年 12 月) 全国一致偏冷, 后冬 (2002 年 1—2 月) 转为偏暖; 2007/2008 年的情况则与 2001/2002 年相反: 前冬整体偏暖, 而后冬异常偏冷, 并发生了历史罕见的低温雨雪冰冻灾害 (丁一汇等, 2008; 王东海等, 2008; 布和朝鲁等, 2018); 2014/2015 年前、后冬出现冷-暖转折以及 2015/2016 年前、后冬出现暖-冷急转现象 (司东等, 2016; 聂羽等, 2016) 等。据统计, 前冬出现全国性偏暖 (冷) 或北冷 (暖) 南暖 (冷) 的气温异常时, 而后冬出现类似和相反气温异常的概率分别在 50% 左右 (韦玮等, 2014), 从预测角度来讲具有较大不确定性, 给实际业务会带来一定困扰和难度。与此同时, 北半球前、后冬气温变化趋势也呈现明显非对称性 (董文杰等, 2003; Cohen et al, 2014): 前冬呈增温趋势, 而后冬则为中性或降温的反转趋势; 黄嘉佑和胡永云 (2006) 也曾指出, 中国内陆前冬和后冬的气温变化也存在不同的趋向性, 且这种趋势与整

个冬季平均的趋势是不同的。Wei et al (2011) 利用月平均冬季风强度指数的隔月差定义季风变化的倾向指数 (MTI), 描述冬季风演变过程, 1 月前为正而进入 1 月后为负, 对应中国气温倾向在前冬一致变冷, 后冬一致变暖, 这同北半球前后冬趋势正好相反。同时, 前、后冬气温的这些非对称性变化对整个冬季增暖趋势具有一定调控作用。

以上情况表明, 我国冬季气温变化存在季节内转变的可能性, 且这种转折极易造成极端气候事件的发生。然而, 通常科研和业务上主要是针对整个冬季的平均气温, 这存在局限性并会掩盖一些问题, 自然季节的这种季内转折特征在整个冬季平均场上无法体现。随着社会不断发展, 针对整个冬季平均气温的预测已逐渐不能满足各行业的实际需求, 季节内尺度如次季节预测正越来越受到广泛关注 (Osman and Alvarez, 2018; Liang et al, 2018; 蓝柳茹和李栋梁, 2019; 李思和武炳义, 2019)。中国冬季气温变化在不同时间尺度受不同因子影响 (康丽华等, 2006), 此前已得到广泛关注和深入研究, 而关于季节内尺度方面的研究较少, 一方面是对气温季节内尺度变化的认识还存在一定局限, 对其相关机制及可预报性来源的研究尚无定论, 另一方面已有研究中发现的影响因子间复杂的非线性相互叠加且在季节内尺度上存在较大的不稳定性 (封国林等, 2008; 何溪澄等, 2008)。

气温的变化不仅包括均值的演变, 还包括均方差、极值等统计参数的变化。以往研究多针对冬季平均气温的年际、年代际变率特征展开研究, 为冷暖冬预测提供极其重要的科学参考价值, 但对于冬季气温季节内变率方面研究较少, 如季节内气温波动

和变化稳定性等。均方差作为描述变量变化离散程度的重要统计量,代表均值变化的稳定性及强弱程度,均方差越大表明均值稳定性越弱,极端性越强,因此均方差可用来衡量要素变化的稳定性情况,进而反映变率特征。本文利用气温均方差这一统计量来刻画气温变率,分析在气候变暖背景下中国冬季气温季节内变率特征,并进一步探讨其影响因子及可能机制,突破仅从季节平均角度认识冷暖冬异常的局限性,尝试从另一角度认识冬季气温的变率特征及其机制,以期为我国冬季气温季节内预测提供新的视角和参考依据,进一步提升冬季气候预测的精细化水平。

## 1 资料和方法

### 1.1 资料说明

站点资料来自国家气象信息中心的台站观测数据集,选用序列完整、可靠性较高、分布均匀的中国364个站冬季逐日平均气温;格点资料选用美国国家环境预测中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)提供的风场、海平面气压场和位势高度场再分析资料(Kalnay et al, 1996),水平格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。资料起止时间均为1961—2018年,冬季指12月至次年2月。

### 1.2 研究方法

本文利用冬季平均气温均方差作为度量冬季气温季节内变率的指标,均方差值越大,表明冬季平均气温稳定性越弱,其高频波动越强;均方差值的年际变率越大,冬季平均气温变化趋势的稳定性也越弱,因而气温均方差可反映出冬季气温冷暖波动及其变化趋势的平稳性。

针对1961—2018年冬季全国364个站逐日平均气温序列,利用公式(1)计算历年各站平均气温均方差序列 $\sigma_{jt}$  ( $j=1, 2, \dots, s; t=1, 2, \dots, n$ ):

$$\sigma_{jt} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ijt} - \bar{x}_{jt})^2} \quad (1)$$

式中: $j$ 为测站数, $t$ 为年份, $i$ 为冬季日数( $i=1, 2, \dots, m$ ), $x_{ijt}$ 表示逐日平均气温, $\bar{x}_{jt}$ 为整个冬季的平均气温。

文中需进一步分析气温变率和环流变率的联系,冬季环流场的均方差也参考上述方法计算,用来

表示大气环流季节内变率的强弱。不同尺度环流分量信号采用 Butterworth 带通滤波器对逐日环流场进行滤波,分离出冬季不同尺度的环流分量,本文主要提取了2~10、10~30、30~60和60~90 d四种尺度分量,代表天气尺度、延伸期尺度、次季节尺度和季节尺度信号,再并根据式(1)计算出不同尺度环流场的均方差,代表不同尺度环流分量的季节内变率。

## 2 中国冬季平均气温季节内变率特征及环流分析

### 2.1 冬季气温季节内变率特征

根据式(1)计算全国364个站1961—2018年冬季气温均方差场,首先对该场在空间维平均,即对全国范围进行空间平均后得到时间序列,该序列的变化可反映中国冬季气温季节内变率的时间演变特征(图1a),全国平均气温均方差总体呈线性减弱趋势,表明近几十年来气温季节内变率逐渐趋弱。同

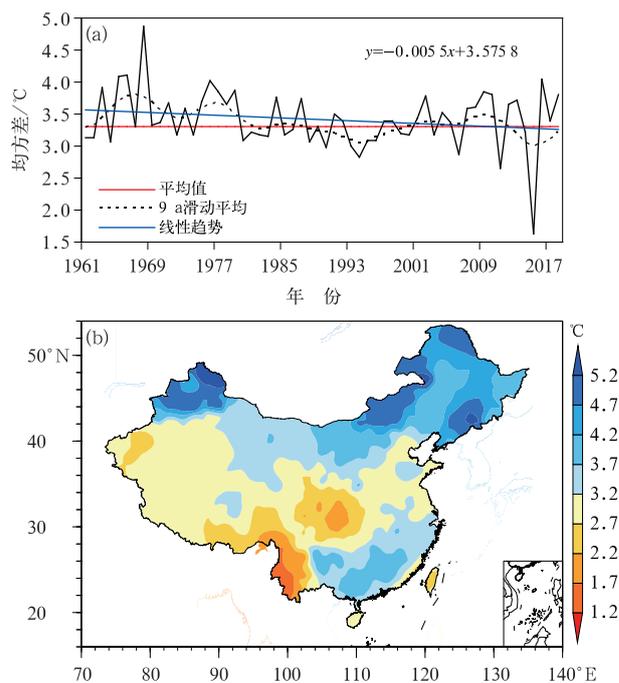


图1 1961—2018年中国冬季平均气温均方差的(a)时间演变序列和(b)多年平均空间分布  
Fig. 1 (a) Temporal variation curves and (b) spatial distribution of multiple-year mean square error of winter mean temperature in China from 1961 to 2018

时也表现出明显的年代际特征,20 世纪 80 年代中期以前,处于变率偏强时期,意味着中国冬季气温冷暖波动频繁,处在稳定性偏弱的阶段;20 世纪 80 年代后期至 21 世纪初,明显转弱,表明此阶段冬季气温季节内稳定性增强;2004 年以后,再次增强。以上年代际变化同东亚冬季风年代际转折时间相匹配,特别是 20 世纪 80 年代后期东亚冬季风偏弱至 2005 年再次转强(梁苏洁等,2014;Wang and Chen, 2014),这与气温季节内变率的转折期相吻合。由此表明,东亚冬季风年代际变化也可能会影响中国冬季气温的季节内变率,对气温波动及强弱程度产生影响,进而影响气候变暖的稳定性。此外,气温季节内变率的年际振荡较明显,尤其在近十年,这与近年冷暖冬交替现象频繁也具有一定联系。与此同时,对气温均方差场在时间维平均,得到全国各站的气温均方差的多年平均值,分析其空间特征(图 1b),发现中国北方大部和长江以南地区冬季气温季节内变率明显大于其他地区,尤其在东北和新疆北部地区(变率大值区),这是由于我国北方易受冷空气频繁侵袭所致。值得注意的是,长江以南存在另一变率高值区,这可能同东亚冬季风“北弱南强”模态(彭京备和孙淑清,2017)存在一定联系。变率低值区主要位于中国西南地区,表明该地区冬季气温稳定性较高,高频波动相对较弱。

图 2a 为冬季平均气温及气温均方差变化趋势,冬季我国大范围地区平均气温呈增加趋势,尤其青藏高原地区最明显,增温速率达  $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$  以上,而华南和西南东部则呈变冷趋势。在此增暖背

景下,均方差趋势系数分布显示全国为一致减弱趋势,尤其东北地区的减弱趋势最明显。根据各站平均气温和均方差的相关图来看,全国大范围地区为负相关区,显著区域位于我国北方地区,在新疆和东北地区表现最突出,说明北方冬季平均气温异常对气温季节内变率具有较好的指示性,气候增暖(变冷)则意味着季节内变率减弱(增强)。

## 2.2 影响气温季节内变率的环流异常特征

### 2.2.1 冬季平均环流场

大范围或局地地面气温异常与大尺度平均环流异常具有直接联系,季节平均环流异常是季内气温变率的背景场。图 3 给出了 1961—2018 年中国冬季气温均方差对同期冬季地表气温、位势高度场及海平面气压场的相关分布,当气温均方差偏强时,我国北方及中东部地区气温显著偏低,而我国西南、华南等区域气温略微偏高,意味着冬季西伯利亚地区气温异常对我国北方冬季气温高频波动具有明确的指示意义,这是由于冷空气易在西伯利亚地区聚集加强后南下沿偏东路径影响北方地区(图 3a)。高度场上自高层至低层呈类似准正压结构,平流层表现为极涡明显偏弱,北大西洋、北美地区和欧亚中纬度上空为显著负相关(图 3b),研究表明,当平流层异常强的极涡向下传播时,引起低层北极涛动(Arctic Oscillation, AO)正异常发展,西伯利亚高压增强,导致东亚沿岸东西气压梯度增加,有异常偏强的季风(Chen and Zhou, 2012; Li and Yang, 2010),我国南部地区温度易偏低,而东北和亚洲中高纬度地

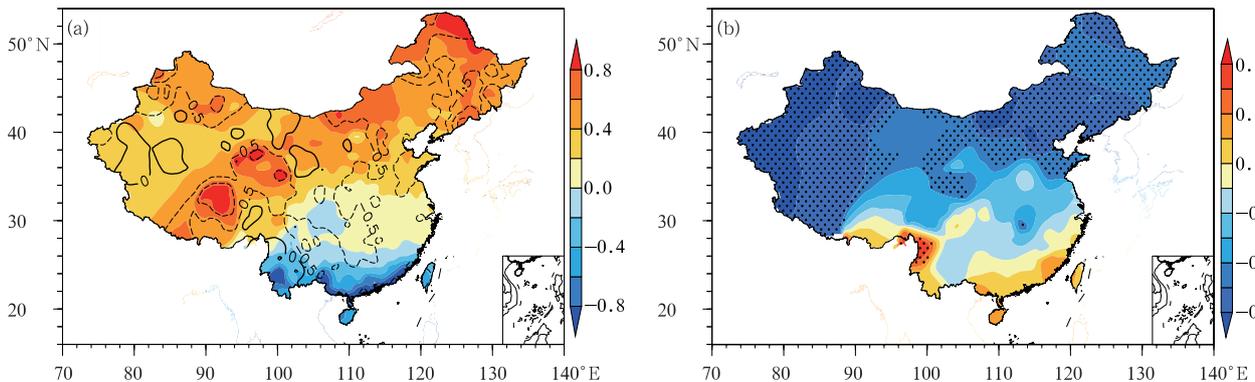


图 2 1961—2018 年中国冬季平均气温及其均方差的(a)趋势分布[填色:平均气温趋势,单位: $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ;等值线:均方差趋势,单位: $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ]及(b)两者相关分布(填色,打点区表示通过 0.05 显著性水平检验)

Fig. 2 (a) Trend of mean temperature and mean variance in winter [colored: mean temperature trend, unit:  $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ; contour: mean variance trend, unit:  $^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$ ] and (b) their correlation distribution in China in 2018 (colored, dots have passed the significance test at 0.05 level)

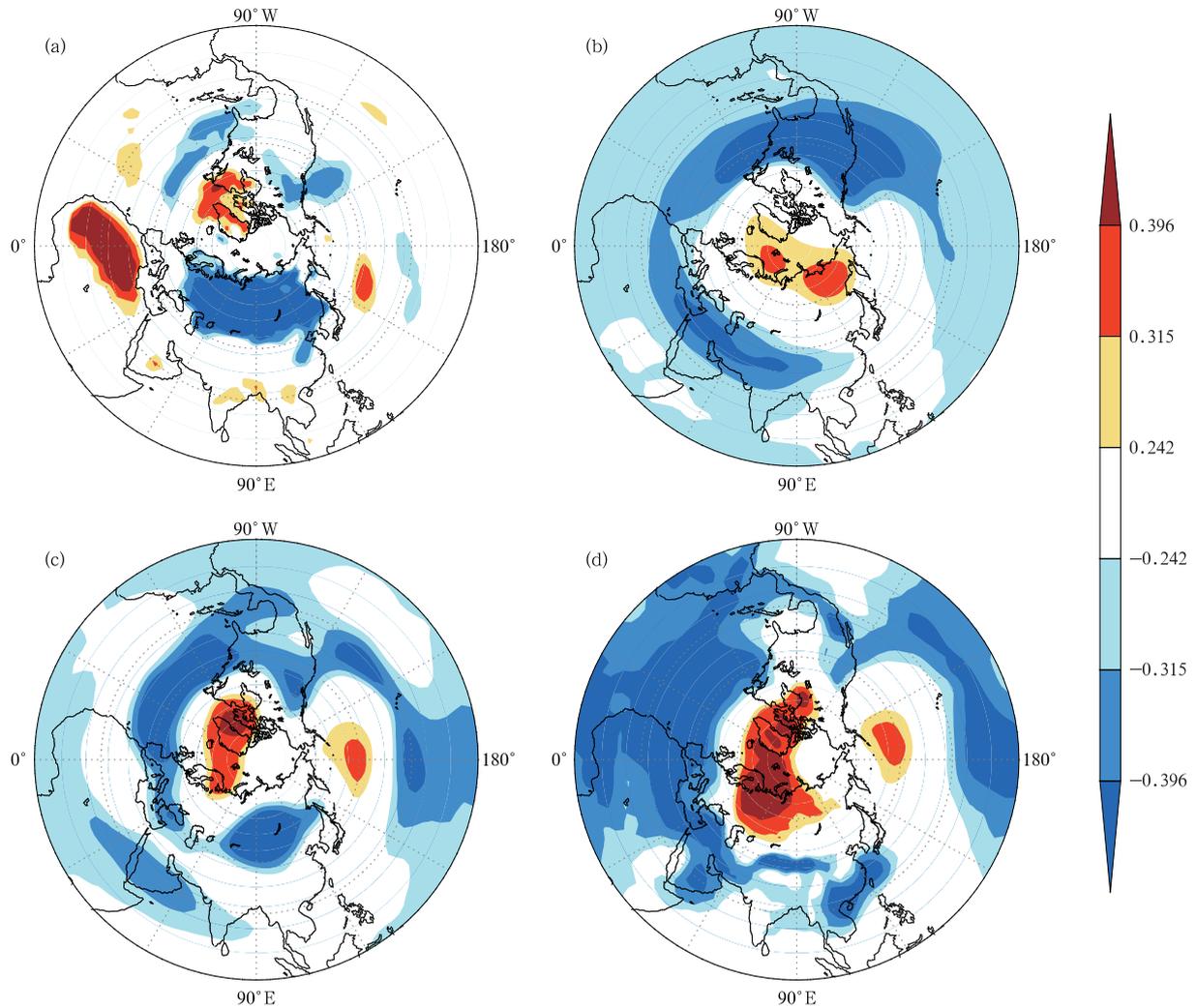


图 3 1961—2018 年中国冬季平均气温均方差和同期(a)地表温度场、(b)50 hPa 位势高度场 (c)500 hPa 位势高度场、(d)海平面气压场的相关分布 (填色区为通过 0.05 及以上显著性水平检验)

Fig. 3 Correlation coefficient between mean variance of China's winter temperature in 1961—2018 and corresponding (a) surface temperature field, (b) 50 hPa geopotential height field, (c) 500 hPa geopotential height field and (d) sea level pressure field (Colored areas have passed the significance test over 0.05 level)

区温度增加(Wang and Chen, 2014)。反之,当异常弱极涡向下传播时,会引起大致相反的过程,这与上述均方差偏强时平流层极涡偏弱特征一致,因而平流层弱极涡信号下传时,可能会导致我国北方地区冬季气温季节内变率增强,易出现极端气温事件;对流层中层(图 3c),自西欧—东亚呈现“—+—”型波列分布,其中大西洋东北部和贝加尔湖附近为负异常中心,斯堪的纳维亚上空为明显正异常,这种水平环流异常同 SCA(Barnston and Livezey, 1987)正位相特征非常一致,这种分布型可为极地冷空气向南爆发影响中纬度地区提供有利的大尺度背景;海平

面气压场上,极地同北大西洋、欧洲、北美地区反向,表明当气温均方差偏强时,对应北大西洋涛动(North Atlantic Oscillation, NAO)负位相特征,同时西伯利亚地区为显著正相关,表明西伯利亚高压偏强(图 3d)。

通过大气遥相关型和异常行星波活动等途径,冬季 NAO 的影响可扩展到东亚地区,NAO 负(正)位相对应乌拉尔山阻塞高压偏强(偏弱),以及东亚大槽加深(变浅)(Chen and Zhou, 2012)。值得注意的是,冬季期间 NAO 与东亚气候之间的联系存在明显的季节内差异,Watanabe and Kimoto(2010)

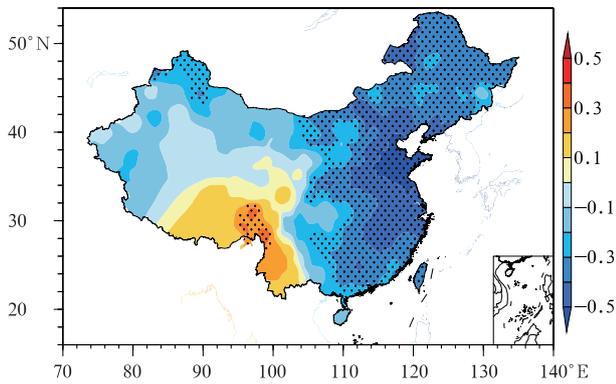


图 4 1961—2018 年中国冬季气温均方差  
与冬季 NAO 的空间相关分布  
(打点区表示通过 0.01 显著性水平检验)

Fig. 4 Spatial correlation distribution between winter  
NAO and the winter temperature mean variance  
in China in 1961—2018  
(Dots have passed the significance test at 0.01 level)

指出前冬 NAO 的信号局限在欧洲—大西洋区域, 但后冬 NAO 的信号可扩展到东亚和北太平洋。中国位于 NAO 相关环流系统下游, 谭桂容等(2010)研究指出, 2008 年 1 月中国气温异常与同期北大西洋西风急流和 NAO 遥相关环流异常存在紧密联系。2009/2010 年冬季, 中国北方气温异常与 NAO 负位密切相关(孙诚和李建平, 2011), 那么 NAO 是否与中国冬季气温季节内变率同样具有密切联系? 通过分析, 冬季 NAO 与中国冬季气温均方差

的相关系数为  $-0.496$ , 通过 0.01 显著性水平检验。其中显著负相关区域主要位于我国东部地区, 表明冬季 NAO 为负位相时上述地区气温季节内变率增强, 气温稳定性偏弱, 易发生极端气温事件, 由此说明冬季 NAO 的位相对我国冬季气温季节内变率也具有较好的指示性。

相关研究还发现, NAO/AO 可通过影响东亚大槽、西伯利亚高压、东亚冬季风等系统, 使其变得更加活跃, 使中国冬季大部分地区气温偏低, 进而导致极端低温频发(武炳义等, 1999)。气温高频波动、稳定性减弱的直接因素是环流系统波动异常产生的天气过程, 因而 NAO 可能通过相关环流的高频变化来影响气温季节变率。通过计算冬季逐日海平面气压的方差, 代表近地面大气环流的季节内变率, 反映其高频变化和稳定性。根据中国冬季气温均方差同海平面气压(SLP)方差的相关场(图 5a)显示, 亚速尔群岛、赤道大西洋地区、北极—西伯利亚—贝加尔湖及以南大范围地区呈明显正相关区, 且一直向南延伸至中国北方及东部地区, 其显著中心区与西伯利亚高压活动中心区一致, 冰岛附近为显著负相关区, 意味着 NAO 负位相偏强时, 有利于西伯利亚高压、冷涡系统活跃, 易引起我国气温波动异常。提取位于西伯利亚中心关键区 ( $45^{\circ} \sim 65^{\circ} \text{N}$ 、 $65^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$ ) 范围内各格点 SLP 均方差的区域平均值, 代表西伯利亚高压中心区的季节内变率, 中国冬季气

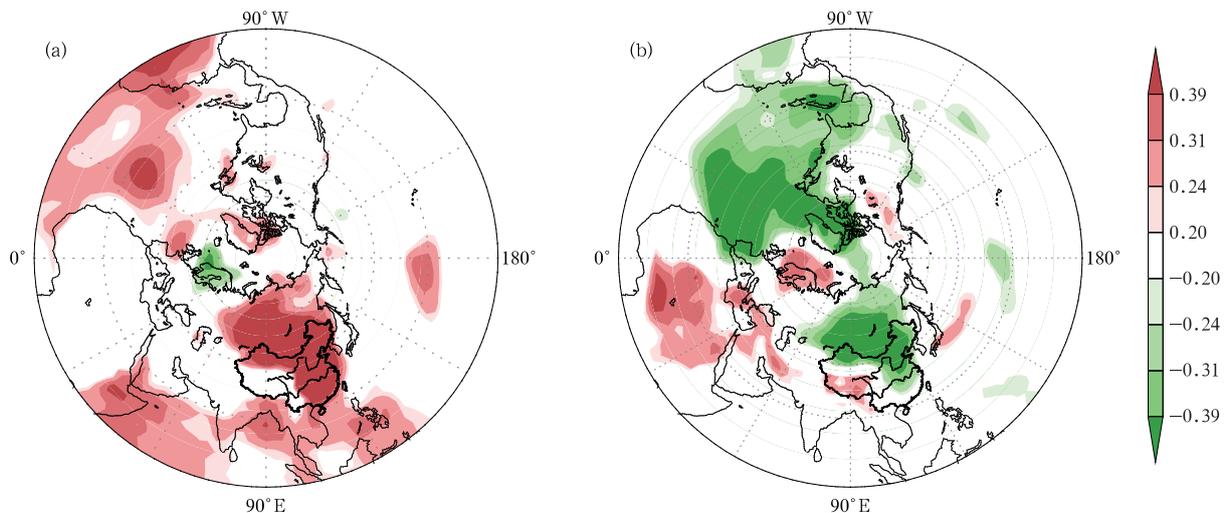


图 5 1961—2018 年中国冬季平均(a)气温均方差和(b)NAO 指数分别  
同海平面气压(SLP)均方差场的相关系数分布

Fig. 5 Correlation coefficient distribution of China's winter temperature mean  
variance in 1961—2018 (a) and NAO (b) with SLP mean variance respectively

温均方差与该中心区变率相关系数高达 0.578, 显著通过 0.001 显著性水平检验, 表明冬季西伯利亚高压的高频变化与我国冬季气温季节内变率具有紧密联系。此外, NAO 同 SLP 变率场的关系也很好反映出西伯利亚地区的高频波动对 NAO 异常的响应(图 5b), 二者呈显著负相关关系, 即 NAO 负位相增强时, 西伯利亚至贝加尔湖及以南地区季节内变率偏强。可见, 中国冬季气温季节内变率异常, 很大程度上与 NAO 相关环流系统的季节内变率有关, 可能是 NAO 通过影响西伯利亚高压天气尺度上的高频波动进而引起中国冬季气温的季节内变率异常。

### 2.2.2 不同时间尺度环流分量的影响

为了揭示大气内部变率对气温季节内变率的影响, 利用逐日再分析资料, 选取海平面气压场和位势高度场两个物理量, 采用 Butterworth 带通滤波方法提取冬季内包括 2~10、10~30、30~60 和 60~90 d 四种尺度环流分量, 接着计算各尺度环流分量的均方差, 用来反映冬季不同时间尺度上大气内部环流分量的季节内变率。首先, 1961—2018 年中国平均冬季气温均方差同海平面气压场的不同尺度分量变率关系显示, 西伯利亚—贝加尔湖—蒙古—我国北方均存在显著正相关区, 西伯利亚高压在不同时间尺度上的波动异常均会对中国冬季气温季节内

变率产生影响, 因而近地层西伯利亚附近环流变率异常尤其重要。在此提取海平面气压场关键区(45°~65°N、65°~120°E)平均变率, 分析气温均方差与该关键区四种尺度平均变率的关系(图 6), 均显著通过 0.01 显著性水平检验, 同次季节尺度环流变率的相关性最高, 延伸期尺度次之, 而天气尺度则最弱, 因而冬季内次季节尺度上的西伯利亚高压变率异常对我国气温变率起到决定性作用。

与此同时, 在天气尺度分量场上(图 6a), 鄂霍次克海—白令海地区、中南半岛及南海地区也出现显著正异常区, 而显著负异常区位于北美东部至西欧地区, 表明阿留申低压在天气尺度上的频繁波动及上游欧洲脊的稳定少动与气温变率联系紧密; 延伸期和次季节尺度分量场(图 6b, 6c)均显示为显著正异常特征, 异常关键区主要集中在贝加尔湖及以南延伸至中国南海及赤道地区, 北大西洋地区也存在显著异常区, 其中 31~60 d 尺度分量变率的影响范围更集中、空间尺度亦更大。季节尺度分量的显著异常区主要集中在西伯利亚—巴尔喀什湖—贝加尔湖及以南的蒙古高原—中国北方(图 6d), 体现出冷空气源地和西伯利亚高压在较长时间尺度上的波动对气温变率的重要影响。

图 7 为冬季 500 hPa 高度场上各尺度分量变率与中国冬季气温变率的相关场, 在 2~10 d 尺度上,

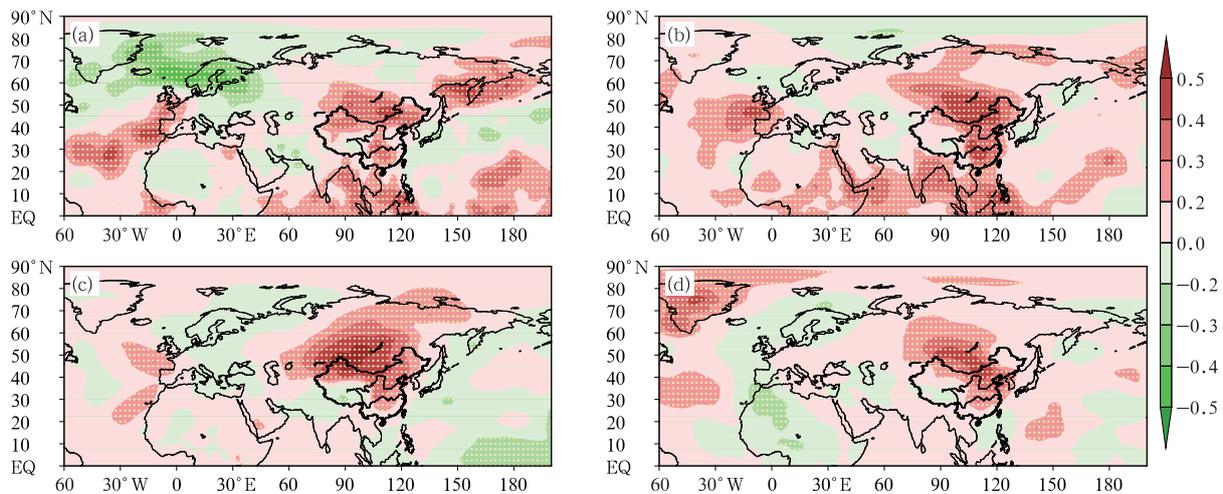


图 6 1961—2018 年中国冬季气温均方差和海平面气压场的(a)2~10 d, (b)11~30 d, (c)31~60 d, (d)61~90 d 分量变率的相关分布  
(打点区表示通过 0.01 显著性水平检验)

Fig. 6 Correlation patterns between China's winter temperature mean variance in 1961—2018 and the component variabilities of SLP in (a) 2—10 d, (b) 11—30 d, (c) 31—60 d and (d) 61—90 d  
(Dotted areas have passed the significance test at 0.01 level)

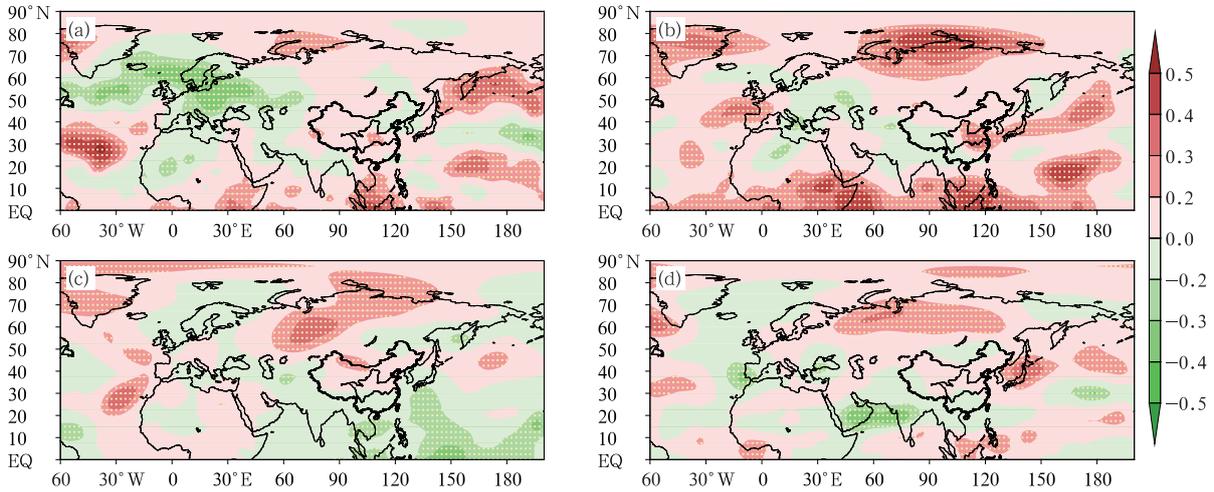


图 7 同图 6, 但为 500 hPa 高度场不同尺度分量均方差的相关分布

Fig. 7 Same as Fig. 6, but for the correlation patterns between China's winter temperature mean variance in 1961–2018 and the different scale component mean variance at 500 hPa

北大西洋—欧洲—亚洲中西部地区为显著负相关, 北大西洋和北太平洋均呈“+ - +”三极型分布, 表明中国冬季气温季节变率偏大时, 对应欧亚中高纬阻塞系统变率减弱或稳定维持, 而鄂霍次克海阻塞系统变率增强或易波动; 11~30 d 尺度上, 格陵兰岛、西伯利亚及以北、西北太平洋地区和中南半岛及以南地区呈显著正相关, 反映中高纬地区波列异常及东亚大槽的高频波动所带来的影响; 其余两种尺度的影响较相似, 主要体现为欧亚阻塞异常的影响, 如乌拉尔山地区为正相关, 表明乌拉尔山阻塞高压在月—季节尺度上的变率对冬季气温高频波动具有重要影响。

### 3 结论与讨论

本文从冬季气温季节内变化的角度, 分析了我国冬季气温季节内变率和稳定性特征, 在时间上总体呈线性减弱趋势, 表明近几十年来气温季节内变率逐渐趋弱, 从而季节内气温变化稳定性增强, 同时气温季节内变率还具有明显的年代际特征, 20 世纪 80 年代中期以前, 变率偏强, 冬季冷暖波动频繁, 稳定性较弱, 80 年代后期至 21 世纪初, 变率明显转弱, 2004 年以后, 变率再次增强, 这同东亚冬季风年代际转折时间相吻合, 因而东亚冬季风年代际变化可能会对中国冬季气温的季节内波动的强弱程度产

生影响, 进而影响气候变暖的稳定性。就空间上来看, 中国北方大部和长江以南地区变率偏大, 是由于我国北方易受冷空气频繁侵袭所致, 长江以南高值区可能同东亚冬季风“北弱南强”模态存在一定联系。中国西南地区变率较小, 表明该地区冬季气温稳定性较高, 高频波动相对较弱。当气温季节内变率异常偏强时, 冬季平均环流场上呈类似准正压结构, 平流层极涡偏弱, 对流层中高纬呈类似斯堪的纳维亚遥相关型分布, 中低纬地区为大范围负异常区, 近地层上西伯利亚高压偏强, NAO 为负位相; NAO 同我国东部气温变率联系密切, 进一步分析揭示出 NAO 是通过影响西伯利亚高压的高频变化来作用于气温季节内变率。最后, 通过提取天气—季节四种时间尺度上的大气环流内部变率, 发现在各个尺度上, 气温季节内变率均受西伯利亚高压和东亚冷涡的调控作用; 此外, 在天气尺度上, 阿留申低压频繁波动及上游欧洲脊的稳定少动与气温变率有密切联系, 季节尺度上包括欧亚阻塞和鄂霍次克海阻塞异常对气温变率有显著影响。

关于气温季节内变率, 主要从中高纬分析了可能的影响, 那么热带地区是否也会对我国冬季气温季节内变率产生一定影响, 比如典型 ENSO 背景下, 是否会通过热带环流异常进而影响到气温季节内变率, 中高纬和热带的影晌作用是否会存在一定的年代际变化, 以上问题值得继续探讨。

## 参考文献

- 布和朝鲁,彭京备,谢作威,等,2018. 冬季大范围持续性极端低温事件与欧亚大陆大型斜脊槽系统研究进展[J]. 大气科学, 42(3):656-676. Bueh C, Peng J B, Xie Z W, et al, 2018. Recent progresses on the studies of wintertime extensive and persistent extreme cold events in china and large-scale tilted ridges and troughs over the Eurasian continent[J]. Chin J Atmos Sci, 42(3):656-676(in Chinese).
- 丁一汇,王遵娅,宋亚芳,等,2008. 中国南方2008年1月罕见低温雨雪冰冻灾害发生的原因及其与气候变暖的关系[J]. 气象学报, 66(5):808-825. Ding Y H, Wang Z Y, Song Y F, et al, 2008. Causes of the unprecedented freezing disaster in January 2008 and its possible association with the global warming[J]. Acta Meteor Sin, 66(5):808-825(in Chinese).
- 董文杰,符淙斌,温刚,等,2003. 全球变化的区域响应和适应[C]//中国气象学会第25次全国会员代表大会暨学术年会论文集. Dong W J, Fu C B, Wen G, et al, 2003. Regional response to and adaptation to global change[C]// Proceedings of the 25th National Congress of Chinese Meteorological Society and Academic Annual Conference(in Chinese).
- 封国林,龚志强,支蓉,2008. 气候变化检测与诊断技术的若干新进展[J]. 气象学报, 66(6):892-905. Feng G L, Gong Z Q, Zhi R, 2008. Latest advances of climate change detecting technologies[J]. Acta Meteor Sin, 66(6):892-905(in Chinese).
- 何溪澄,丁一汇,何金海,2008. 东亚冬季风对 ENSO 事件的响应特征[J]. 大气科学, 32(2):335-344. He X C, Ding Y H, He J H, 2008. Response characteristics of the East Asian winter monsoon to ENSO events[J]. Chin J Atmos Sci, 32(2):335-344(in Chinese).
- 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 J Y, Hu Y Y, 2006. Trends of winter temperatures in China[J]. Acta Meteor Sin, 64(5):614-621(in Chinese).
- 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 L H, Chen W, Wei K, 2006. The interdecadal variation of winter temperature in China and its relation to the anomalies in atmospheric general circulation[J]. Climatic Environ Res, 11(3):330-339(in Chinese).
- 蓝柳茹,李栋梁,2019. 西伯利亚高压南界东段季节及季节内变化特征及成因[J]. 气象, 45(12):1651-1665. Lan L R, Li D L, 2019. Seasonal and intraseasonal variation characteristics of Siberian high south boundary eastern segment and their causes[J]. Meteor Mon, 45(12):1651-1665(in Chinese).
- 李思,武炳义,2019. 冬季欧亚大陆盛行天气型与北极增暖异常的可能联系[J]. 气象, 45(3):345-361. Li S, Wu B Y, 2019. Possible connection between Arctic warming and Eurasia winter prevailing weather patterns[J]. Meteor Mon, 45(3):345-361(in Chinese).
- 梁苏洁,丁一汇,赵南,等,2014. 近50年中国大陆冬季气温和区域环流的年代际变化研究[J]. 大气科学, 38(5):974-992. Liang S J, Ding Y H, Zhao N, et al, 2014. Analysis of the interdecadal changes of the wintertime surface air temperature over mainland China and regional atmospheric circulation characteristics during 1960-2013[J]. Chin J Atmos Sci, 38(5):974-992(in Chinese).
- 聂羽,孙冷,王东阡,等,2016. 2015/2016年前冬至隆冬北半球中高纬度暖冷急转及环流特征初析[J]. 气象, 42(10):1223-1229. Nie Y, Sun L, Wang D Q, et al, 2016. Possible causes for the sudden drop of air temperature in the Northern Hemisphere from early- to mid-winter[J]. Meteor Mon, 42(10):1223-1229(in Chinese).
- 彭京备,孙淑清,2017. 我国南方持续性低温与东亚冬季风“北弱南强”模态的关系[J]. 大气科学, 41(4):691-701. Peng J B, Sun S Q, 2017. The relationship between persistent cold spell in southern China and the variation mode of East Asian winter monsoon with opposite signs in the North and South[J]. Chin J Atmos Sci, 41(4):691-701(in Chinese).
- 司东,马丽娟,王朋岭,等,2016. 2015/2016年冬季北极涛动异常活动及其对我国气温的影响[J]. 气象, 42(7):892-897. Si D, Ma L J, Wang P L, et al, 2016. Anomalous activity of Arctic oscillation in winter 2015/2016 and its impact on temperature in China[J]. Meteor Mon, 42(7):892-897(in Chinese).
- 孙诚,李建平,2011. 北半球500 hPa位势高度场时空频谱特征分析[J]. 大气科学, 35(6):1079-1090. Sun C, Li J P, 2011. Spatial-temporal spectral analysis of the Northern Hemisphere 500-hPa geopotential height[J]. Chin J Atmos Sci, 35(6):1079-1090(in Chinese).
- 谭桂容,陈海山,孙照渤,2010. 2008年1月中国低温与北大西洋涛动和平流层异常活动的联系[J]. 大气科学, 34(1):175-183. Tan G R, Chen H S, Sun Z B, 2010. Linkage of the cold event in January 2008 over China to the North Atlantic Oscillation and stratospheric circulation anomalies[J]. Chin J Atmos Sci, 34(1):175-183(in Chinese).
- 王东海,柳崇健,刘英,等,2008. 2008年1月中国南方低温雨雪冰冻天气特征及其天气动力学成因的初步分析[J]. 气象学报, 66(3):405-422. Wang D H, Liu C J, Liu Y, et al, 2008. A preliminary analysis of features and causes of the snow storm event over the Southern China in January 2008[J]. Acta Meteor Sin, 66(3):405-422(in Chinese).
- 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 W, Wang L, Chen Q L, et al, 2014. Interannual variations of early and late winter temperatures in China and their linkage[J]. Chin J Atmos Sci, 38(3):524-536(in Chinese).
- 武炳义,黄荣辉,高登义,1999. 冬季北极喀拉海、巴伦支海海冰面积变化对东亚冬季风的影响[J]. 大气科学, 23(3):267-275. Wu B Y, Huang R H, Gao D Y, 1999. The impact of variation of sea-ice extent in the Kara Sea and the Barents Seas in winter on the

- winter monsoon over East Asia[J]. *Chin J Atmos Sci*, 23(3): 267-275(in Chinese).
- Barnston A G, Livezey R E, 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns[J]. *Mon Wea Rev*, 115(6): 1083-1126.
- Chen W, Zhou Q, 2012. Modulation of the Arctic oscillation and the East Asian winter climate relationships by the 11-year solar cycle[J]. *Adv Atmos Sci*, 29(2): 217-226.
- Cohen J, Screen J A, Furtado J C, et al, 2014. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather[J]. *Nat Geosci*, 7(9): 627-637.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*[M]. Cambridge: Cambridge University Press.
- 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.
- Li Y Q, Yang S, 2010. A dynamical index for the East Asian winter monsoon[J]. *J Climate*, 23: 4255-4262.
- Liang P, Lin H, Ding Y H, 2018. Dominant modes of subseasonal variability of East Asian summertime surface air temperature and their predictions[J]. *J Climate*, 31(7): 2729-2743.
- Osman M, Alvarez M S, 2018. Subseasonal prediction of the heat wave of December 2013 in southern South America by the POAMA and BCC-CPS models[J]. *Climate Dyn*, 50(2): 67-81.
- Wang L, Chen W, 2014. The East Asian winter monsoon: reamplification in the mid-2000s[J]. *Chin Sci Bull*, 59: 430-436.
- Watanabe M, Kimoto M, 2010. Atmosphere-ocean thermal coupling in the North Atlantic: a positive feedback[J]. *Quart J Royal Meteor Soc*, 126(570): 3343-3369.
- Wei K, Chen W, Zhou W, 2011. Changes in the East Asian cold season since 2000[J]. *Adv Atmos Sci*, 28: 69-79.