

我国冬季气温的趋势变化特征及其影响因子分析

韩雪, 陈幸荣, 李荣滨

(国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

摘 要: 利用国家气候中心提供的中国 160 站逐月气温数据集、NCEP/NCAR 再分析数据中心提供的大气环流数据、NOAA 提供的全球海表温度数据及美国冰雪中心的海冰数据, 分析了 1951—2011 年我国冬季气温异常的时空变化特征。应用经验正交函数分解得到中国冬季气温变化的两种典型空间分布型态—全国一致型和南北相反型, 三次样条函数拟合结果表明这两种分布型态均具有显著的趋势变化特征。同时, 分别探讨了大气环流及外强迫因子的趋势变化及其对中国冬季气温变化趋势的影响, 并综合分析了影响我国冬季气温趋势变化的海温(冰)等外强迫因子与东亚大气环流系统之间的相互配置及贡献。结果表明, 强的热带海温异常变化是影响东亚大气环流及冬季气温变化的最主要外强迫因子。当热带印度洋与赤道中东太平洋海温同时偏高(低)时, 冬季西伯利亚高压强度偏弱(强), AO 处于正(负)位相, 东亚冬季风强度偏弱(强), 冬季气温呈一致偏高(低)变化; 当热带印度洋海温偏高(低), 赤道中东太平洋海温偏低(高)时, 东亚冬季风强度偏弱(强), AO 指数为负(正)位相, 西伯利亚高压偏弱(强)的配置时, 冬季气温易呈北冷(暖)南暖(冷)趋势变化。

关键词: 冬季气温; 趋势变化; 大气环流因子; 外强迫因子; 三次样条函数

中图分类号: P423.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2015)06-0049-09

1 引言

全球气温变暖是当前全世界关注的热点问题, 气温变化对国民经济建设和人们生活有重大影响。在全球气候变暖的过程中, 各地气温变化不尽相同。王绍武^[1]研究认为近百年来, 北半球中高纬度的大陆地区冬季和春季有强烈的增暖趋势, 而中国气温变化与全球气温变化基本一致。陈隆勋等^[2]分析了中国东部 1920—2002 年的年平均气温距平变化, 指出中国气温在 20 世纪 40 年代和 90 年代出现了 2 个暖期, 50—60 年代出现了相对冷期, 其中 90 年代开始的暖期的增温已经超过 40 年代。进入 21 世纪, 我国冬季冷空气活跃、暴雪增多、冬季气温呈下降趋势变化^[3], 尤其是 2009 年以后, 我国冬季气温持续偏低。在全球气候变暖的大背景下, 中国冬

季气温的趋势变化特征及其影响因子值得我们密切关注和研究^[4]。

我国地处东亚季风气候区, 季风环流系统异常对我国天气气候的变化有着重要影响, 东亚夏季风的强弱主要影响我国夏半年的雨带位置, 而东亚冬季风则主要影响我国冬季气温^[5]。尽管季风系统变异的成因非常复杂, 但不外乎和大气内部或外界强迫的动力过程有关。就东亚冬季气温异常而言, 目前的研究多关注北半球大尺度环流背景, 如极涡^[6-8]、西伯利亚高压^[9-11]、欧亚遥相关型^[12-13]和北极涛动 (Arctic Oscillation, AO)^[14-17], 以及海洋、陆面、冰雪等热力变化的外强迫作用, 如热带西太平洋的热力变化、热带太平洋的 ENSO 循环、热带印度洋海表的温度热力状况、青藏高原、欧亚大陆积雪及北极海冰等外强迫因子^[18-22]。许多科学家研究了 AO 对北

收稿日期: 2014-10-16

基金项目: 国家海洋环境预报中心业务发展基金项目(2013004)

作者简介: 韩雪(1981-), 女, 助理研究员, 博士研究生, 主要从事气候诊断及预测研究。E-mail: hanx@nmefc.gov.cn

半球中、高纬地区的冬季环流以及东亚气候异常的影响。近几十年来AO指数的变化趋势是导致北半球冬季变暖的重要原因之一^[23]。研究指出AO与东亚冬季风有显著的反位相关关系,并通过西伯利亚高压的作用来影响东亚冬季风,当AO处于正位相时,东亚冬季风偏弱,我国冬季气温偏高^[24-28]。作为东亚地区重要的外强迫因子之一,太平洋关键海域的海表热力状况对东亚冬季风环流及东亚气候异常有着显著地影响:厄尔尼诺年与拉尼娜年我国温度的不同类型与北太平洋海温的不同分布型态有关,厄尔尼诺年我国易出现“冷夏暖冬”型^[29-31]。东亚冬季风与ENSO有着密切的关系,陶诗言和张庆云^[32]认为在ENSO暖(冷)期冬季,亚洲地区整层环流的相互配合不利于(有利于)寒潮向南爆发,导致亚洲冬季风偏弱(强)。同时,印度洋作为我国西南季风的发源地和流经地,其海温的异常变化对东亚大气环流和气候异常也有着重要作用。热带印度洋海温异常除了对我国夏季降水有重要影响外^[33],其对我国冬季气温也有重要指示作用。唐卫亚和孙照渤^[34]研究表明,热带印度洋海温异常通过引起大气环流异常,进而影响东亚冬季风的强度,当热带印度洋海温一致变化时,中国冬季气温也呈一致;当热带印度洋海温距平呈偶极子正位相型时,东亚冬季风偏弱,中国东北部气温偏高。大气环流的产生归根到底是由于冷热源在旋转地球上非均匀分布造成的,除了热带海洋的热力异常状况外,作为北半球最大的冷源之一的北极气候变化,必然要对大气环流产生重要影响。近年来,北极海冰作为气候系统的重要组成部分,其在气候变化中的重要性日益受到人们关注。北极海冰对极涡位置和强度、东亚大槽指数、西太副高、西伯利亚高压、东亚冬季风等大气环流因子均有显著影响^[35-37]。

对于中国冬季气温变化的模态及其变化特征的研究愈来愈受到重视,研究发现,中国冬季气温主要表现为全国一致型和南北相反型两个主要模态,并具有显著的年代际尺度和年际尺度变化特征^[38-39]。本文在已有研究基础上,首先分析我国冬季气温异常的典型模态及其趋势变化特征,利用统计诊断方法探讨对我国冬季气温异常变化趋势有显著影响的关键环流因子,进一步揭示海洋(冰)外强迫因子及环流因子之间的相互配置对我国冬季气温异常

趋势变化的影响,为我国冬季气温的短期气候预测提供重要依据。

2 资料和方法

文中使用的冬季气温资料是国家气候中心气候预测室提供的1951—2011年中国160站逐月气温数据集,计算当年12月—次年2月的平均气温作为当年的冬季气温。大气环流场资料是NCEP/NCAR再分析数据中心提供的1951—2011年冬季12、1、2月平均的东亚地区 0° — 90°N , 40° — 180°E 范围内的500 hPa的位势高度场及850 hPa风场数据,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。海温场资料是NOAA提供的全球海表温度数据,水平分辨率为 $2.0^{\circ} \times 2.0^{\circ}$ 。海冰资料来自于美国雪冰数据中心(National Snow and Ice Data Center, NSIDC),数据时间范围自1978年11月—2011年12月,根据NASA卫星SMMR、SSM/I和SSMIS传感器实测的卫星资料进行反演得到北极地区海冰面积数据。本文中所用数据的气候态为1981—2010年平均值。基于上述数据,采用经验正交函数分解(EOF)方法揭示我国冬季气温的时空变化特征。在此基础上应用三次样条函数方法对气候序列进行分段曲线拟合的方式,来反映其本身真实的变化趋势。

3 中国冬季气温的主要时空分布特征

将中国160个测站1951—2011年的冬季气温距平场进行经验正交函数(EOF)分解,得到中国冬季气温距平场的特征向量及其对应的时间系数。特征向量表征了冬季气温异常的空间变率分布模态,其中第一特征向量(EOF1)解释总方差的62.8%(见图1a),基本上概括了中国冬季气温异常的主要空间分布特征。可以看出,冬季我国大部地区基本为一致的正值,即全国一致的增温或降温,温度的变化幅度也为从南向北增加。我们将其代表的气温异常分布型式称为全国一致型。图1b为标准化的第一特征向量对应的时间系数(SCT1),它代表了一致型气温异常分布型随时间的变化特征。当其为负值时,表征全国大范围气温偏低,并呈现气温负异常由北向南逐渐递减的变化趋势;为正值时,

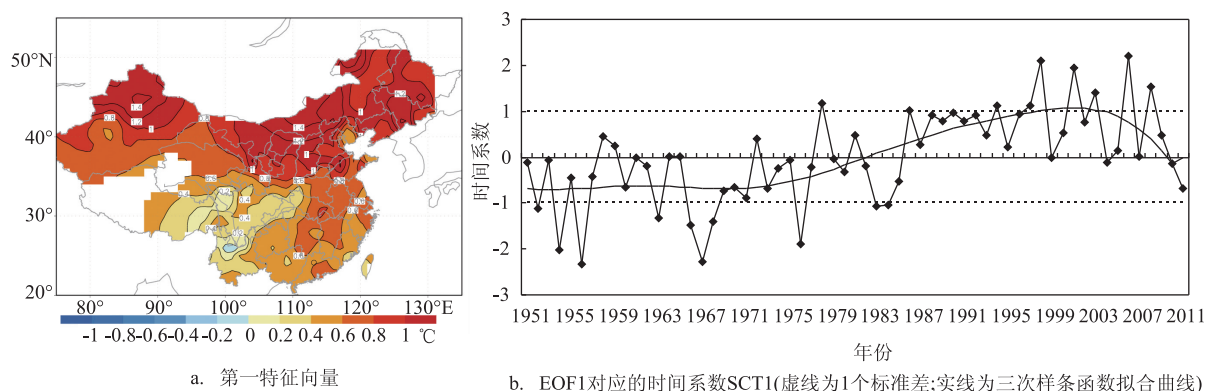


图1 中国冬季气温距平场

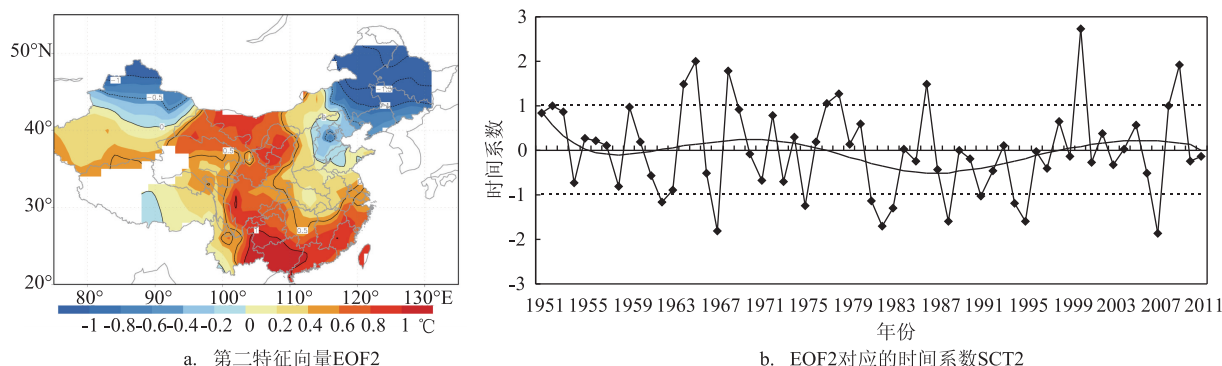


图2 中国冬季气温距平场

表征全国大范围地区气温偏高,且北方大部地区气温偏高显著。从图中可以看出,全国一致型气温异常呈现显著的趋势变化特征。通过三次样条函数对SCT1进行分段拟合的方式,来反映其本身真实的变化趋势。图1b中黑色实线即为三次样条函数拟合的趋势曲线,可以看出,我国冬季气温在20世纪80年代中期以前主要为负异常,全国一致偏冷;而80年代中期以后转为正异常,全国冬季气温升高趋势明显,自1986年开始连续出现13个暖冬;进入21世纪以后,2004年冬季气温开始出现偏冷特征,趋势曲线呈下降趋势,2009年以后转为负异常,冷冬持续出现。

如图2a所示,中国冬季气温距平场的第2特征向量(EOF2)的空间分布特征主要表现为以 40°N 为界的北方地区,包括新疆北部、东北及华北地区为正值, 40°N 以南大部地区为负值。EOF2解释了总方差的11.1%,其代表冬季气温变化呈南北相反的两分布型式,即新疆北部、东北及华北地区气温偏低时,其他大部地区气温偏高或是新疆北部、东

北及华北地区气温偏高,其他大部地区气温偏低,我们将其代表的气温异常分布型式称为南北相反型。图2b为进行标准化计算的EOF2对应的时间系数(SCT2),黑色实线为三次样条函数拟合的变化趋势曲线,可以看出,冬季气温的南北相反型在20世纪70年代中期以前为正位相,冬季气温呈新疆北部、东北及华北地区气温偏低, 40°N 以南地区气温偏高;70年代中期至90年代转为负位相,冬季气温呈北高南低分布特征;进入21世纪以来转为正位相,冬季气温呈北低南高分布。前两个特征向量共解释总方差的73.9%,与朱艳峰等^[38]研究分析的中国冬季气温变化的空间模态一致,能够表征中国冬季气温典型的空间分布型态特征。

4 大气环流异常对我国冬季气温趋势变化的影响

AO是冬半年北半球中高纬度地区大气环流尺度最大、最重要的模态,AO从地面到平流层低层都

存在,接近正压结构,表征了中纬度西风的强度和位置,它的变化对冬季北半球天气气候有着十分显著的影响,AO处于正位相时,东亚冬季风偏弱,平均气温偏高^[24]。同时,研究表明冬季影响和控制亚洲低层的最大和最强的环流系统是西伯利亚高压(Siberian High)^[10],因此本文主要分析比较AO、西伯利亚高压、东亚冬季风对我国冬季气温的影响。以标准化后的AO指数记为 I_{AO} ;西伯利亚高压强度指数(Siberian High Index, I_{SH})定义为标准化的

$40^{\circ}-60^{\circ}\text{N}, 60^{\circ}-80^{\circ}\text{E}$ 范围内冬季平均的海平面气压;利用施能等^[40]定义的东亚冬季风指数(East Asia Winter Monsoon Index, I_{EAWM})来表征冬季风强弱的变化。

图3a给出的是 I_{AO} 与SCT1、SCT2的三次样条函数趋势拟合曲线,由图可见, I_{AO} 具有显著的趋势变化特征,其与SCT1具有较一致的变化趋势,两者趋势拟合曲线的相关系数为0.78,通过了 $\alpha=0.001$ 显著性水平,为显著的正相关关系。20世纪80年代以

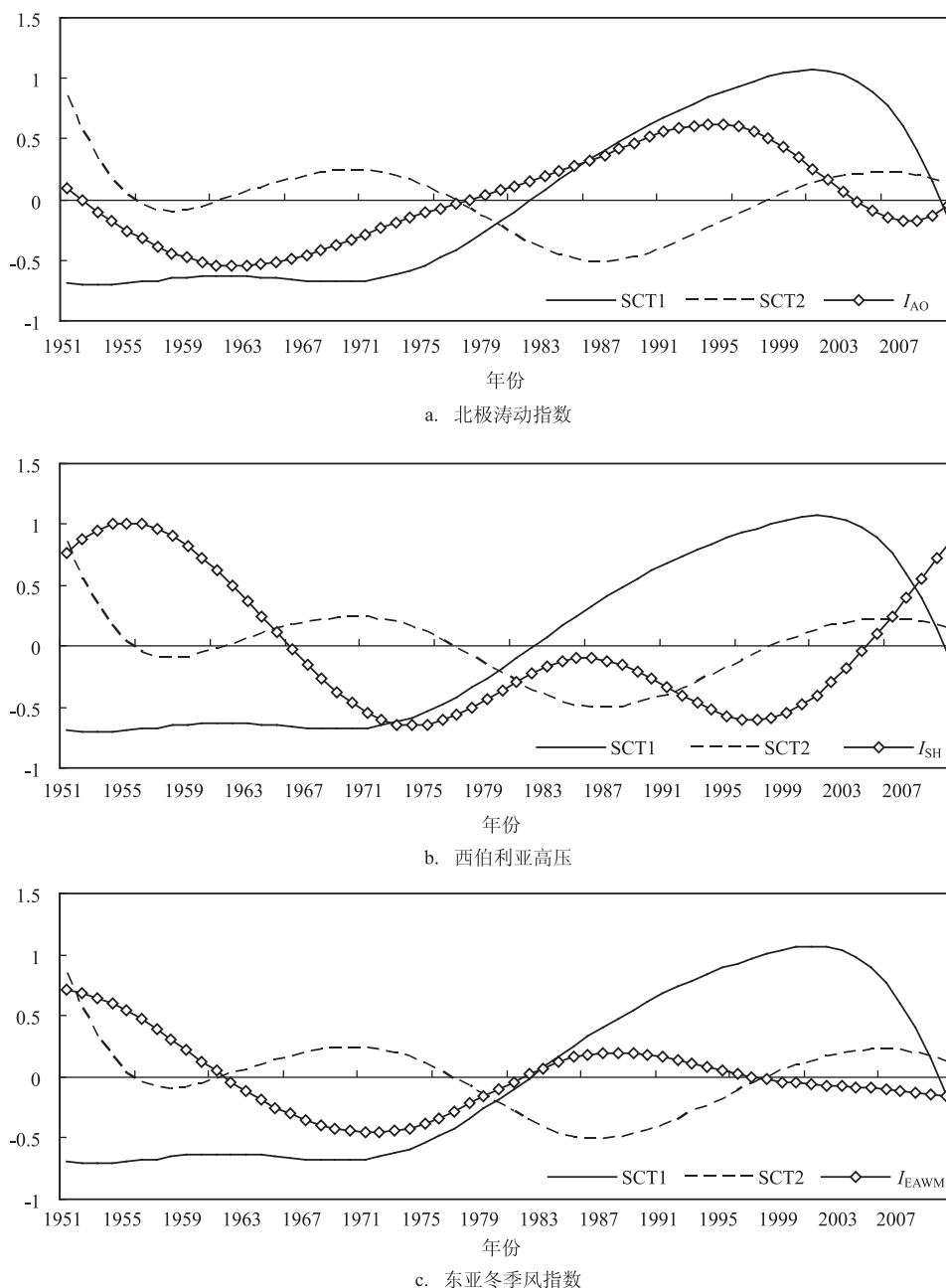


图3 不同指数与冬季气温时间系数的三次样条函数拟合趋势曲线

前, I_{AO} 位于负位相,对应着全国冬季气温一致偏低;80年代以后, I_{AO} 转为正位相,暖冬持续出现;2004年以后, I_{AO} 转为负位相,相应的冬季气温出现下降趋势特征。 I_{AO} 与SCT2的趋势拟合曲线的相关系数为-0.51,通过了 $\alpha=0.001$ 显著性水平,两者的趋势拟合曲线具有显著的反位相变化特征。20世纪80年代以前 I_{AO} 处于负位相时,冬季气温为北低南高的分布特征;80—90年代 I_{AO} 处于正位相时,冬季气温呈北高南低分布;2004年以来随着 I_{AO} 再次转为负位相,冬季气温亦转为相反位相分布。分析结果表明,AO对我国冬季气温异常的变化趋势有显著影响,AO指数的趋势变化是冬季气温趋势变化的重要指示信号,当AO位于负位相时,我国冬季气温呈偏低趋势,其中北方地区气温偏低更为显著;而当AO位于正位相时,我国冬季气温呈偏高趋势,北方地区气温偏高显著。

图3b给出了 I_{SH} 与SCT1、SCT2的三次样条函数趋势拟合曲线,可以看出, I_{SH} 的趋势变化特征显著, I_{SH} 与SCT1的趋势曲线相关系数为-0.41,通过了 $\alpha=0.001$ 显著性水平,为显著的反相关关系。20世纪60年代中期前 I_{SH} 偏强,冬季气温一致偏冷;60年代中期以后 I_{SH} 转为负位相;80年代中期至2004年, I_{SH} 呈整体偏弱的趋势,暖冬持续出现;2004年以后 I_{SH} 转为正位相,冬季气温呈现偏冷特征。 I_{SH} 与SCT2没有显著的相关关系。由此可见,西伯利亚高压强度对于冬季气温一致型的趋势变化具有重要的指示作用,当 I_{SH} 为正位相,西伯利亚高压偏强时,冬季气温呈偏低趋势;当 I_{SH} 为负位相,西伯利亚高压偏弱时,冬季气温偏高。

图3c为 I_{EAWM} 与SCT1、SCT2的三次样条函数趋势拟合曲线。 I_{EAWM} 与SCT1之间的相关系数为0.035,两者没有显著的相关关系。从图中可以看出 I_{EAWM} 与SCT2具有较好的反位相变化特征,两者的相关系数为-0.31,通过了 $\alpha=0.05$ 显著性水平。20世纪60—70年代 I_{EAWM} 处于负位相时,冬季气温为北低南高的分布特征;80—90年代 I_{EAWM} 处于正位相时,冬季气温呈北高南低分布;21世纪以来随着 I_{EAWM} 再次转为负位相,冬季气温亦转为北低南高的分布特征。这说明,东亚冬季风指数对于冬季气温南北型分布的趋势变化具有较好的指示意义。当 I_{EAWM} 偏强时,我国40°N以北地区气温偏高,以南地区气温

呈偏低趋势;反之亦然。

综上所述,3种大气环流指数均对冬季气温的趋势变化具有显著的指示意义。 I_{AO} 与冬季气温一致型变化具有同位相的趋势变化特征,与冬季气温南北型变化具有反位相的趋势变化特征;而 I_{SH} 仅与冬季气温一致型变化具有显著的反位相的变化特征; I_{EAWM} 与冬季气温南北型变化具有较好的反位相变化特征。

5 外强迫因子异常对我国冬季气温趋势变化的影响

热带海洋作为海气相互作用最活跃的地区,下边界海表面温度的异常往往会伴随着大气环流的异常,并由低纬传播到中高纬度地区,影响中高纬度地区的环流场。许多已有研究揭示了赤道中东太平洋海温异常对北半球冬季大气环流的影响^[32]。从Nino3指数的趋势拟合曲线可以看出(图4a),20世纪80年代以前,Nino3指数为负位相,拉尼娜事件发生频繁,对应着我国冬季气温一致偏低;80年代后直到2007年,Nino3指数处于正位相,我国冬季气温持续偏暖;之后随着Nino3指数转为负位相,冷冬频繁出现。同时,可以看出在20世纪60、70年代,Nino3为负位相时,对应着SCT2为正位相,我国冬季气温呈北低南高趋势分布;80、90年代,Nino3为正位相时,对应着SCT2为负位相,我国冬季气温呈北高南低趋势分布。Nino3与SCT1、SCT2趋势拟合曲线的相关系数分别为0.69、-0.59,通过了 $\alpha=0.001$ 显著性水平。这说明Nino3区海温异常的趋势变化对冬季气温一致型、南北相反型均具有显著的指示意义,厄尔尼诺期间易出现暖冬,北方地区显著偏暖;拉尼娜期间易出现冷冬,北方地区显著偏冷。

随着人们对热带印度洋海温异常的关注越来越高,本文中我们选取热带地区(-10°S—10°N, 50°—100°E)范围内标准化的区域平均海表温度值表征热带印度洋海温指数(Tropical Indian Sea Surface Temperature Index, I_{TIST})。热带印度洋海温指数 I_{TIST} 代表了整个热带印度洋海盆表面海温的变化特征。 I_{TIST} 的三次样条函数趋势拟合曲线表明(图4b), I_{TIST} 与SCT1具有极为显著的一致变化趋

势,在20世纪50年代至70年代期间, I_{TIST} 与SCT1均处于负位相,20世纪80年代初两者同时发生了转折,趋势线均转为正位相,并呈明显的上升趋势,2007年起 I_{TIST} 开始下降,冷冬频繁出现。同时,计算了冬季 I_{TIST} 与SCT1趋势拟合曲线的相关系数为0.90,通过了 $\alpha=0.001$ 显著性水平;冬季 I_{TIST} 与SCT2趋势拟合曲线的相关系数为-0.22,没有通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平。这表明与赤道中东太平洋相比,热带印度洋海温的趋势变化对我国冬季气温的冷暖变化趋势具有更为显著的影响,当热带印度洋海温偏高时,中国大部地区冬季气温呈偏高趋势;当热带印度洋海温偏低时,中国大部地区冬季气温亦呈偏低趋势。

近年来,海冰作为气候系统的重要组成部分,其在气候变化中的重要性日益受到人们的关注,海冰不仅强烈影响北极地区的天气和气候,它的存在和变化对全球气候都有潜在的重要作用。通过计算当年9月份海冰面积月平均数据作为参考数据,9月份海冰面积是北极海冰面积的最小值,在全球气候变暖、北极海冰逐渐减少的背景下,代表着北极地区海冰受气候因素影响而发生变化的程度。从近30a的9月北极海冰面积的趋势拟合曲线来看(图4c),海冰面积在20世纪80—90年代为正位相,我国冬季持续出现暖冬;21世纪转为负位相,2004年以后海冰面积开始迅速减少,我国冬季气温也呈下降趋势,冷冬频繁出现,2004、2005、2007、2010及2011

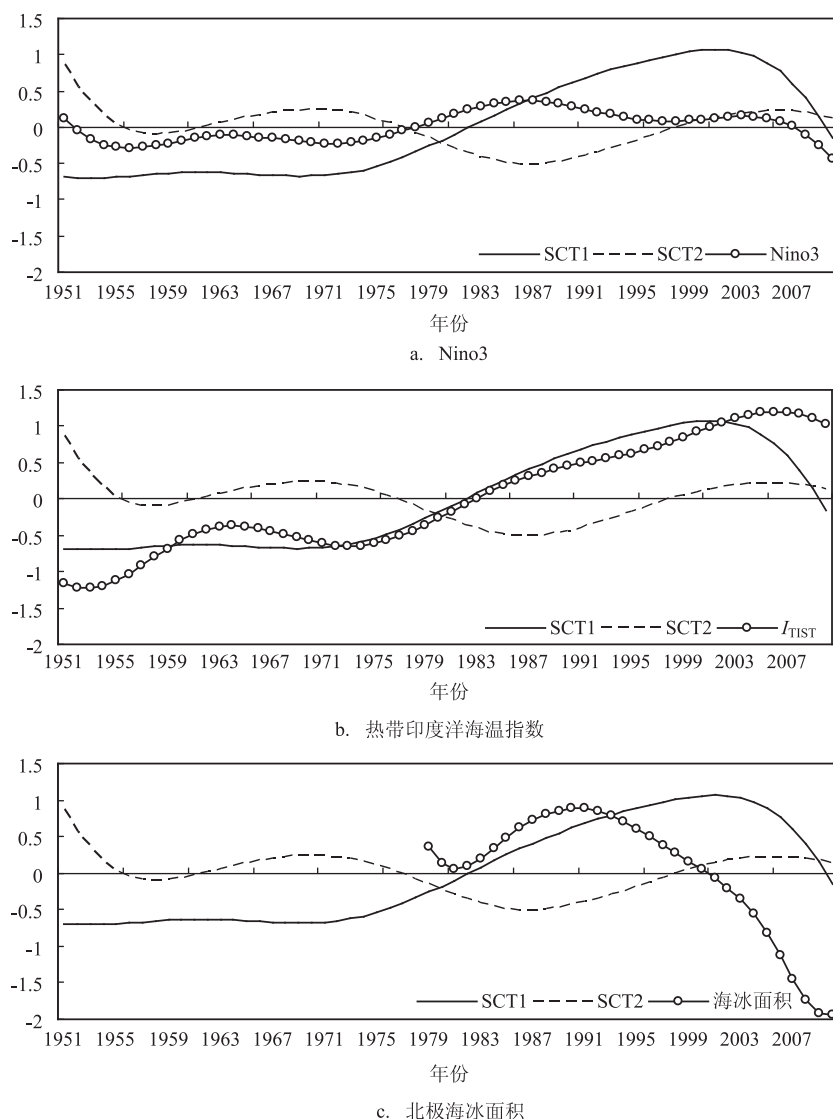


图4 不同指数和冬季气温时间系数的三次样条函数拟合趋势曲线

年的全国大部地区气温均较常年偏低;同时,海冰面积的变化趋势与 I_{AO} 、 I_{EAWM} 的变化趋势也基本一致,这说明北极海冰对北极涛动、东亚冬季风环流系统有着重要影响,特别是近年来的冬季气温偏低,北极海冰的作用不容忽视。

6 影响我国冬季气温趋势变化的因子综合分析

上述分析表明,冬季气温异常的趋势变化除了受到大气环流系统的变化影响,海洋(冰)等外强迫因子的趋势变化对我国冬季气温异常变化也起到重要作用。为了进一步综合分析各影响因子的趋势变化对冬季气温异常变化的贡献率及其相互配置,我们以上述6个影响因子的三次样条拟合序列作为自变量,分别以时间系数SCT1、SCT2的三次样条拟合序列作为因变量,建立冬季气温变化趋势的标准化回归方程。用这种方式得到的回归系数是标准回归系数,已经消除了量纲影响,系数的符号可以解释各个影响因子之间的配置情况,系数的大小可以直接解释各个影响因子对冬季气温趋势变化的贡献大小(见表1)。从表1中可以看出,在冬季气温趋势变化的影响因子配置中,作为外强迫的热带印度洋海温贡献率最大,其次是赤道中东太平洋海温。当热带印度洋与赤道中东太平洋海温同时偏高(低)时,冬季西伯利亚高压强度偏弱(强),AO处于正(负)位相,东亚冬季风强度偏弱(强),这种外强迫及大气环流因子的变化趋势是冬季气温呈一致偏高(低)变化的影响因子典型配置。而当热带海洋外强迫因子处于不同位相变化,热带印度洋海温偏高(低),赤道中东太平洋海温为拉尼娜(厄尔尼诺)状态时,东亚冬季风强度偏弱(强),AO指数为负(正)位相,西伯利亚高压偏弱(强)的配置时,冬季气温易呈北冷(暖)南暖(冷)趋势变化。综合分析结果表明,热带海温的异常变化是影响冬季东亚大气环流及冬季气温变化的主要外强迫因子,当热带海洋呈现较强的异常信号时,同样作为外强迫的北极海冰的贡献较小,其对东亚环流及冬季气温的影响要弱于热带海洋。因此,当赤道中东太平洋和热带印度洋出现明显的海温异常时,可依据表1中的影响因子配置,对冬季东亚大气环流的异常

表1 冬季气温异常趋势变化的标准化回归系数

	I_{AO}	I_{SH}	I_{EAWM}	Nino3	I_{TST}	海冰面积
SCT1	0.159	-0.621	-0.118	0.687	0.959	0.022
SCT2	-0.423	-0.297	-0.786	-0.306	0.359	0.010

变化做出判断,从而预测冬季气温的变化趋势。而当热带海洋没有明显的异常信号时,则主要考虑北极海冰对东亚大气环流及冬季气温变化的显著影响。

7 结论与讨论

本文通过统计诊断技术,分析了中国冬季气温的空间分布及趋势变化特征,在此基础上分别探讨了东亚大气环流及海洋(冰)外强迫因子对中国冬季气温异常趋势变化的影响,并综合分析了影响我国冬季气温趋势变化的影响因子配置及贡献,上述分析表明:

(1)我国冬季气温异常主要呈现两种典型的空分布型态。EOF分解的第1模态为全国一致型,主要表现为我国大部地区一致偏暖或偏冷,这种分布型式具有明显的趋势变化特征,在20世纪80年代由负位相的全一致偏冷转为正位相的全一致偏暖,2004年以后又呈下降趋势;第2模态为南北相反型,主要表现为以 40°N 为界的北方地区,包括新疆北部、东北及华北地区与 40°N 以南大部地区相反的空间部分型,在20世纪70年代中期以前为正位相,冬季气温呈北低南高趋势;70年代中期至90年代转为负位相,冬季气温呈北高南低变化;进入21世纪以来转为正位相,冬季气温再次转为北低南高变化趋势;

(2)AO、西伯利亚高压和东亚冬季风等3种大气环流因子均对冬季气温的两种典型空分布型的趋势变化具有显著的指示意义。AO与冬季气温一致型具有同位相的趋势变化特征,与冬季气温南北型具有反位相的趋势变化特征;而西伯利亚高压与冬季气温一致型则在AO位相变化的大背景下,具有反位相的变化特征;东亚冬季风与冬季气温南北型具有较好的反位相变化特征。Nino3指数与冬季气温一致型具有同位相的趋势变化特征,与冬季气温南北型具有反位相的趋势变化特征;作为外强

迫因子的热带印度洋海温异常与冬季气温一致型具有一致的趋势变化,且较ENSO具有更显著的指示意义。同时,北极海冰的变化趋势对冬季气温冷暖趋势及东亚冬季风环流系统亦有着重要影响;

(3)通过构建冬季气温趋势变化的标准化回归方程,综合分析大气环流和外强迫影响因子的相互配置及其对冬季气温趋势变化的贡献,结果表明,赤道中东太平洋及热带印度洋海温偏高(低),AO为正(负)位相、西伯利亚高压和东亚冬季风偏弱(强),是冬季气温一致偏暖(冷)变化的最典型的因子配置型。而热带印度洋海温偏高(低)、赤道中东太平洋海温偏低(高)、AO为负(正)位相、东亚冬季风偏弱(强)、西伯利亚高压强度偏弱(强),则是冬季气温呈北低(高)南高(低)变化的最典型因子配置型。综合分析结果还显示,当热带海洋信号很强时,北极海冰对东亚环流系统及冬季气温冷暖趋势的作用不及海温大。由此得到的外强迫因子与大气环流因子之间的相互配置及贡献大小,可以为冬季气温的气候预测提供可靠依据,但各因子之间的相互配置影响冬季气温空间分布型态变化的物理机制还有待进一步探讨。

本文从统计角度分析了我国冬季气温异常的趋势变化特征、东亚大气环流及外强迫因子对冬季气温异常趋势变化的影响,其中对于统计结果得到的各影响因子的配置和贡献、外强迫因子和大气环流因子之间的相互作用,及其影响冬季气温异常的深层次的物理过程和机制还需要做进一步的探索。

参考文献:

- [1] 王绍武. 近百年来我国及全球气温变化趋势[J]. 气象, 1990, 16(2): 11-15.
- [2] 陈隆勋, 周秀骥, 李维亮, 等. 中国近80年来气候变化特征及其形成机制[J]. 气象学报, 2004, 62(5): 634-646.
- [3] 魏凤英. 气候变暖背景下我国寒潮灾害的变化特征[J]. 自然科学进展, 2008, 18(3): 289-295.
- [4] 魏凤英. 中国冬半年最低气温概率分布特征[J]. 气候变化研究进展, 2008, 4(1): 8-11.
- [5] Huang R H, Chen J L, Huang G. Characteristics and Variations of the East Asian Monsoon System and Its Impacts on Climate Disasters in China[J]. Advances In Atmospheric Sciences, 2007, 24(6): 993-1023.
- [6] 张恒德, 陆维松, 高守亭, 等. 北极涡活动对我国同期及后期气温的影响[J]. 南京气象学院学报, 2006, 29(4): 507-516.
- [7] Bretherton C S, Smith C, Wallace J M. An Intercomparison of Methods for Finding Coupled Patterns in Climate Data[J]. Journal of Climate, 1992, 5(6): 541-560.
- [8] Wallace J M, Smith C, Bretherton C S. Singular Value Decomposition of Wintertime Sea Surface Temperature and 500-mb Height Anomalies[J]. Journal of Climate, 1992, 5(6): 561-576.
- [9] 龚道溢, 王绍武. 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, 1999, 54(2): 125-133.
- [10] 龚道溢, 朱锦红, 王绍武. 西伯利亚高压对亚洲大陆的气候影响分析[J]. 高原气象, 2002, 21(1): 8-14.
- [11] Yin Z Y. Winter Temperature Anomalies of the North China Plain and Macroscale Extra-Tropical Circulation[J]. International Journal of Climatology, 1999, 19(3): 291-308.
- [12] 吴洪宝. 我国冬季气温异常与北半球500hPa大气环流遥相关型的关系[J]. 南京气象学院学报, 1993, 16(2): 115-119.
- [13] 刘毓贇, 陈文. 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[J]. 大气科学, 2012, 36(2): 423-432.
- [14] Thompson D W J, Wallace J M. The Arctic Oscillation Signature in the Wintertime Geopotential Height and Temperature Fields[J]. Geophysical Research Letters, 1998, 25(9): 1297-1300.
- [15] Thompson D W J, Wallace J M. Annular Modes in the Extratropical Circulation, Part I: Month-to-Month Variability[J]. Journal of Climate, 2000, 13(5): 1000-1016.
- [16] Kerr R A. A New Force in High-Latitude Climate[J]. Science, 1999, 284(5412): 241-242.
- [17] 何春, 何金海. 冬季北极涛动和华北冬季气温变化关系研究[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26(1): 1-7.
- [18] Huang R H, Zhou L T, Chen W. The Progresses of Recent Studies on the Variabilities of the East Asian Monsoon and Their Causes [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2003, 20(1): 55-69.
- [19] 陈少勇, 张燕霞, 夏权, 等. 中国东部冬季气温异常与海表温度异常的关系分析[J]. 高原气象, 2009, 28(5): 1181-1188.
- [20] 肖子牛, 晏红明, 李崇银. 印度洋地区异常海温的偶极振荡与中国降水及温度的关系[J]. 热带气象学报, 2002, 18(4): 335-344.
- [21] 陈海山, 孙照渤, 闵锦忠. 欧亚大陆冬季积雪异常与东亚冬季风及中国冬季气温的关系[J]. 南京气象学院学报, 1999, 22(4): 609-615.
- [22] 武炳义, 苏京志, 张人禾. 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, 2011, 56(27): 2335-2343.
- [23] Thompson D W J, Wallace J M. Regional Climate Impacts of the Northern Hemisphere Annular Mode[J]. Science, 2001, 293(5527): 85-89.
- [24] Gong D Y, Wang S W, Zhu J H. East Asian Winter Monsoon and Arctic Oscillation[J]. Geophysical Research Letters, 2001, 28(10): 2073-2076.
- [25] Wu B Y, Wang J. Winter Arctic Oscillation, Siberian High and East Asian Winter Monsoon[J]. Geophysical Research Letters, 2002, 29(19): 31-34.

- [26] 龚道溢, 王绍武. 近百年北极涛动对中国冬季气候的影响[J]. 地理学报, 2003, 58(4): 559-568.
- [27] 据建华, 任菊章, 吕俊梅. 北极涛动年代际变化对东亚北部冬季气温增暖的影响[J]. 高原气象, 2004, 23(4): 429-434.
- [28] 李春, 方之芳. 北极涛动与东北冬季温度的联系[J]. 高原气象, 2005, 24(6): 927-934.
- [29] 赵振国. 厄尔尼诺现象与我国温度[J]. 气象, 1989, 15(7): 26-30.
- [30] 刘永强, 丁一汇. ENSO事件对我国天气气候的影响[J]. 应用气象学报, 1992, 3(4): 473-481.
- [31] 郭其蕴, 王日昇. 东亚冬季风活动与厄·尼诺的关系[J]. 地理学报, 1990, 45(1): 68-77.
- [32] 陶诗言, 张庆云. 亚洲冬夏季风对ENSO事件的响应[J]. 大气科学, 1998, 22(4): 399-407.
- [33] 闵锦忠, 孙照渤, 曾刚. 南海和印度洋海温异常对东亚大气环流及降水的影响[J]. 南京气象学院学报, 2000, 23(4): 542-548.
- [34] 唐卫亚, 孙照渤. 印度洋海温异常与中国气温异常的可能联系[J]. 南京气象学院学报, 2007, 30(5): 667-673.
- [35] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 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, 1999, 23(3): 267-275.
- [36] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 北极海冰的厚度和面积变化对大气环流影响的数值模拟[J]. 气象学报, 2001, 59(4): 414-428.
- [37] Wu B Y, Wang J, Walsh J. Possible Feedback of Winter Sea Ice in the Greenland and Barents Sea on the Local Atmosphere. *Monthly Weather Review*, 2004, 132(7): 1868-1876.
- [38] 朱艳峰, 谭桂容, 王永光. 中国冬季气温变化的空间模态及其与大尺度环流异常的联系[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(5): 266-270.
- [39] 康丽华, 陈文, 王林, 等. 我国冬季气温的年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, 2009, 14(1): 45-53.
- [40] 施能, 鲁建军, 朱乾根. 东亚冬、夏季风百年强度指数及其气候变化[J]. 南京气象学院学报, 1996, 19(2): 168-177.

Variation trend characteristics and influencing factors of winter temperature in China

HAN Xue, CHEN Xing-rong, LI Rong-bin

(National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China)

Abstract: Based on the monthly air temperature of 160 stations obtained from BCC (Beijing Climate Center), the atmospheric circulation data from NCEP/NCAR reanalysis, the global SST datasets from NOAA and the sea ice data from NSIDC, spatial-temporal variation characteristics of winter temperature anomalies in China during 1951-2011 are analyzed. Results of EOF show that there are two typical spatial distribution modes of winter temperature changes in China, i.e. the uniform mode and North-South opposite mode. Cubic spline functions analysis reveals that both the two typical modes have significant variation trend. Meanwhile, the influences of atmospheric circulation and external forcing factors on the variation trends of winter temperature in China are analyzed by using cubic spline functions, and the distribution and each contribution of influence factors are discussed. Results show that stronger anomalies variations of tropical SST are the crucial external forcing factors of East Asia atmospheric circulation and winter temperature variation in China. When the warmer (cooler) SSTA appears over tropical Indian Ocean and eastern equatorial Pacific, the winter Siberia High is weaker (stronger), and AO is in positive (negative) phase, and then the east Asia winter monsoon is weaker (stronger), then the winter temperature in China is warmer (cooler); when the SSTA over tropical Indian Ocean is warmer (cooler) and SSTA over eastern equatorial Pacific is cooler (warmer), and the east Asia winter monsoon is weaker (stronger), and AO is in negative (positive) phase, and then winter Siberia High is weaker (stronger), then the winter temperature in north China is cooler (warmer) and in south is warmer (cooler).

Key words: winter temperature in China; variation trend; atmospheric circulation factors; external forcing factors; cubic spline functions