

孟鑫,张瑜,李慧琳,等.东北冬季气温变化异常特征及其与AO的联系[J].干旱气象,2017,35(3):383-390, [MENG Xin, ZHANG Yu, LI Huilin, et al. Air Temperature Anomaly Variation in Winter of Northeast China and Its Relations with AO[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(3):383-390], DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-03-0383

## 东北冬季气温变化异常特征及其与AO的联系

孟鑫<sup>1</sup>,张瑜<sup>2</sup>,李慧琳<sup>1</sup>,白华<sup>1</sup>,高松影<sup>1</sup>,宋丽丽<sup>1</sup>

(1.辽宁省丹东市气象局,辽宁 丹东 118000;2.成都信息工程大学大气科学学院,四川 成都 610225)

**摘要:**利用东北地区27个站逐月温度资料、NCEP/NCAR再分析资料及NOAA提供的AO资料,通过EOF和相关分析方法,研究东北地区近53a冬季气温变化特征。结果表明:(1)东北地区前冬和后冬气温的前2个模态在空间上均表现为全区变化一致型和东北—西南反相变化的跷跷板型,且实际分布以跷跷板型居多;(2)前冬气温跷跷板型分布与同期位置偏北、强度较弱的类AO分布型呈正相关关系;(3)11月AO与前冬气温跷跷板分布呈显著正相关关系,当11月AO为正值时,前冬呈东北高、西南低的气温分布型,AO为负值时,则出现西南高、东北低的气温分布型。因此11月AO可作为东北冬季气温的一个预测因子。

**关键词:**东北冬季气温;前冬;后冬;北极涛动

**文章编号:**1006-7639(2017)-03-0383-08 DOI:10.11755/j.issn.1006-7639(2017)-03-0383

**中图分类号:**P423;P434

**文献标识码:**A

### 引言

气候变暖是一个毋庸置疑的事实,全球变暖及其对环境的影响已经越来越受到科学界、公众和各国政府的重视。近百年来我国气温的增温速率与全球同期基本保持一致,近50a增温幅度比全球或北半球同期偏高<sup>[1]</sup>。研究表明<sup>[2-14]</sup>,尽管全球气温有明显增暖趋势,但不同区域对全球变暖的响应不一致,增暖存在明显的区域和季节差异。

东北地区地处中高纬,气候具有多变性,在全球气候变暖的背景下,暖冬年份明显增多<sup>[15]</sup>,任国玉等<sup>[16]</sup>研究表明东北地区是现今中国变暖最明显的区域之一,尤其冬季。但近年来东北冬季极端严寒事件又时有发生<sup>[17]</sup>,冬季气温异常变化对生态环境以及人们的日常生活都会造成严重影响。因此对东北地区冬季气温已经展开了相关研究,如汪宏宇等<sup>[18]</sup>指出东北地区冬季极端最低和最高气温均升高,其中极端最低气温升幅更明显;董满宇等<sup>[19]</sup>研究表明东北地区平均气温有明显增高趋势,其中小兴安岭、松嫩平原大部分及大兴安岭山地北端升温幅度较大;刘实等<sup>[20]</sup>研究指出从1990年代起,东北冬季异常冷、暖事件明显增多。

北极涛动(arctic oscillation,简称AO)是北半球中高纬重要的大气环流遥相关型,其对东亚冬季有显著影响,AO的变化会导致北半球中高纬地区发生多种极端天气事件。何春等<sup>[21]</sup>发现华北冬季气温和AO指数之间存在显著相关,且在年代际尺度上尤为密切;龚道溢等<sup>[22]</sup>研究表明AO对整个中高纬地区的气候有影响,同时发现当AO指数偏强时,中高纬大部分地区冬季气温偏高。

以往的研究大多将东北地区作为一个整体进行分析,忽略了季节内差异,然而冬季气温的变化不仅存在年际、年代际变化特征,而且还存在明显的季节内差异<sup>[23-24]</sup>。因此本文在前人工作的基础上,对东北地区冬季气温进行季节内分区研究,并进一步分析不同空间异常分布型的大气环流特征,探讨AO与东北地区冬季气温的关系,对东北冬季气温异常的中长期预报具有指导意义。

### 1 资料与方法

所用资料有:国家气候中心提供的东北地区27个标准站(图1)1961年9月—2014年2月逐月温度资料;美国国家环境预报中心大气研究中心(NCEP/NCAR)提供的同时段分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$

收稿日期:2016-08-12;改回日期:2016-12-01

作者简介:孟鑫(1987-),辽宁丹东人,硕士,助理工程师,主要从事短期气候预测. E-mail:mengxin0810@126.com

的逐月再分析资料<sup>[25]</sup>; NOAA 相关网站 (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>) 提供的同时段月平均 AO 指数时间序列。为便于分析, 冬季取 12 月至次年 2 月, 秋季取当年 9—11 月。

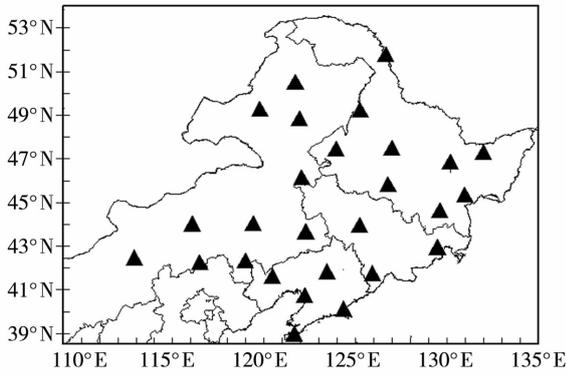


图 1 东北地区 27 个气象站的空间分布  
Fig. 1 The spatial distribution of 27 meteorological stations in Northeast China

利用经验函数正交分解 (empirical orthogonal function, EOF) 法<sup>[26-27]</sup> 和 North 检验<sup>[28]</sup> 对东北地区冬季气温变化的空间模态以及区域特征进行分析; 采用相关分析法分析 2 个时间序列之间的协同变化关系; 采用回归分析和合成分析方法研究大气环流特征以及 AO 与东北地区气温异常的关系。

## 2 东北地区冬季气温变化特征

### 2.1 前冬和后冬的确定

图 2 为 1961—2013 年东北地区冬季各月温度之间的相关系数分布。可以看出, 12 月气温与次年 1 月 (图 2a)、次年 2 月 (图 2b) 气温大部分地区相关系数虽为正值, 但是相关系数太小, 均没有通过显著性检验。1 月和 2 月气温东北地区全区为正相关 (图 2c), 并且通过 0.05 的显著性水平检验。说明东北地区冬季 1 月和 2 月气温变化基本一致, 12 月与其他 2 个月气温有差异。

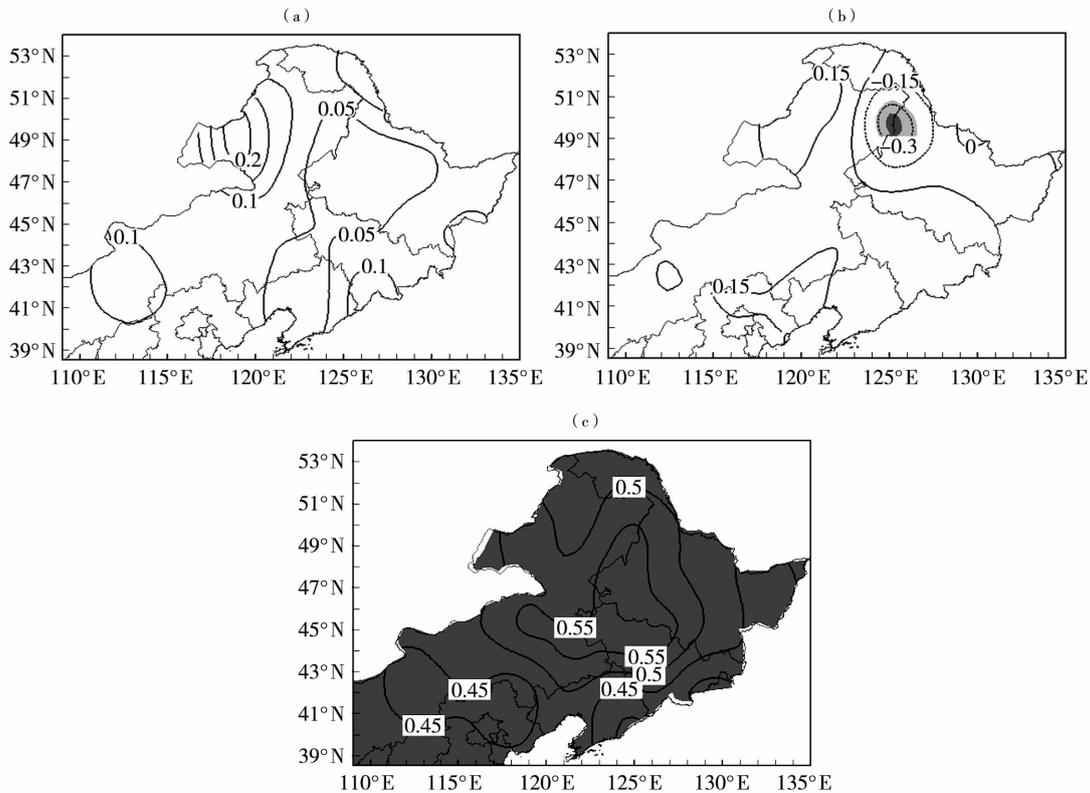


图 2 1961—2013 年东北地区冬季各月温度之间的相关系数分布

(a) 12 月和 1 月, (b) 12 月和 2 月, (c) 1 月和 2 月

(浅色和深色阴影区分别表示通过 0.1 和 0.05 显著性水平检验, 下同)

Fig. 2 The spatial distributions of correlation coefficients of air temperature between December and January (a), December and February (b), January and February (c) in Northeast China during 1961 - 2013

(The light and dark shading areas mark the region where the significance exceeds 0.1 and 0.05, respectively, the same as below)

上述是统计结果,然而实际上可能会出现气温不一致的情况,因此对1月和2月气温变化基本一致的推断进行验证。选取辽宁、吉林、黑龙江以及内蒙古东北部1月和2月气温相关系数值最小的站点,对它们的气温序列距平值的同号、异号进行统计(表1)。可以看出,赤峰1月与2月气温同相变化的年份最多36 a,其他3个站均为34 a,4个站点的气温同相变化概率均超过64%。说明东北地区1月和2月气温具有很好的一致性。上述结果证明东北地区冬季气温存在季节内差异,因此将东北地区冬季划分为前冬(12月)和后冬(次年1月和2月)进行气温研究是必要且合理的。

表1 1961—2013年东北地区1月和2月气温相关系数最小站点气温序列距平值的同号统计

Tab.1 Statistics of same sign (positive or negative) years of temperature anomalies in January and February in representative stations (stations with minimum correlation coefficients of temperature between January and February) in Northeast China during 1961–2013

统计	鸡西	延吉	丹东	赤峰
同号年数/a	34	34	34	36
比例/%	64.1	64.1	64.1	67.92

## 2.2 前冬和后冬气温 EOF 分解的主要模态特征

将东北地区前冬和后冬气温(标准化后的气温)进行 EOF 分解(图3),经 North 检验<sup>[28]</sup>,前冬和后冬气温的前2个特征向量均为独立模态,有实际意义,且累积方差分别为81.68%和87.08%,均超过80%,因此东北地区前冬和后冬气温都可以用前2个特征向量解释。

前冬和后冬气温 EOF 展开的第1模态(EOF1)解释方差分别为66.6%和77.68%,都表现为全区气温变化一致的分布型(图3a、图3e),表明东北地区前冬和后冬气温在第1模态空间尺度上主要受大尺度天气系统影响,气温变化的敏感区域(载荷向量最大值区)位于东北地区中心,即辽宁、内蒙和吉林的交界地带。前冬和后冬气温第1模态对应的时间序列(PC1)既表现出年际振荡也表现出年代际变化(图3b、图3f):在1960—1980年代初以负位相为主,1980年代初到21世纪初以正位相为主,前冬近几年又转为负位相。说明在1960—1980年代初,东北地区冬季处于相对冷期;1980年代中期到21世纪初处于相对暖期,然而近几年前冬又变为相对负

位相,后冬虽然没有转为负位相,但从其变化趋势看,有增暖减缓趋势,这与丁一汇等<sup>[29]</sup>的研究结果“我国冬季气温经历了相对冷期—相对暖期—变暖停顿期”基本吻合。可以看出东北地区气候变化是全球气候变化的区域响应结果。前冬和后冬气温的第2模态(EOF2)解释方差分别是15.08%和9.40%,空间分布都表现为东北部与西南部反相变化特点,即跷跷板型(图3c、图3g)。与PC1相比,PC2年际变化更加显著(图3d、图3h)。

参考王盘兴<sup>[30]</sup>、蔡佳熙<sup>[31]</sup>等的研究思路,分别将前冬和后冬气温前2个模态特征向量与冬季气温距平场做空间相似,得到相似系数时间序列(图4)。发现相似系数绝对值 $>0.65$ 的年份气温距平空间分布与相应的特征向量分布情况相似,因此将相似系数绝对值 $>0.65$ 作为标准,且绝对值越大相似程度越大。由图4可以看出前冬和后冬气温距平与第2模态空间分布相似的年数均为20 a,远大于与第1模态空间分布相似的年数。说明东北地区前冬和后冬实际气温分布情况为东北部和西南部反相变化的跷跷板型,为突出这一分布特点,将东北地区分为东北部和西南部2个区域进行研究。

## 3 冬季气温与 AO 的联系

冬季500 hPa位势高度场的异常会影响冷空气从北向南传播的途径和强度等<sup>[32]</sup>,且500 hPa等压面上各种环流系统比较清晰,对气候变化的影响也相对比较明显。因此利用东北地区前冬和后冬气温 EOF 第2模态对应的时间序列与500 hPa高度场做回归分析(图5)。可以看出,前冬回归场中出现了几个显著性区域,形成了一个位置偏北的类似AO正位相模态形式(图5a),后冬在北欧地区有显著性正相关区域(图5b)。说明前冬跷跷板型气温分布可能与AO有一定联系。气候系统除了具有线性成分之外,还具有非线性结构特征,简单的线性回归分析得出的结果或许会产生“假象”,不能真实反映大气环流异常与东北前冬、后冬跷跷板型气温分布的关系,因此利用距平合成分析方法进一步验证。

选取前冬和后冬气温 EOF2 中相似系数最大的站点即黑龙江的呼玛站和内蒙古的多伦站分别代表东北部和西南部地区,将呼玛站和多伦站前冬和后冬的气温进行标准化,将东北部气温 $>1$ 且西南部气温 $<0$ 称为东北高、西南低型(I型),反之则称为西南高、东北低型(II型)。选出的年份结果是前冬I型和II型分别是6 a和8 a,而后冬分别是7 a和4 a,

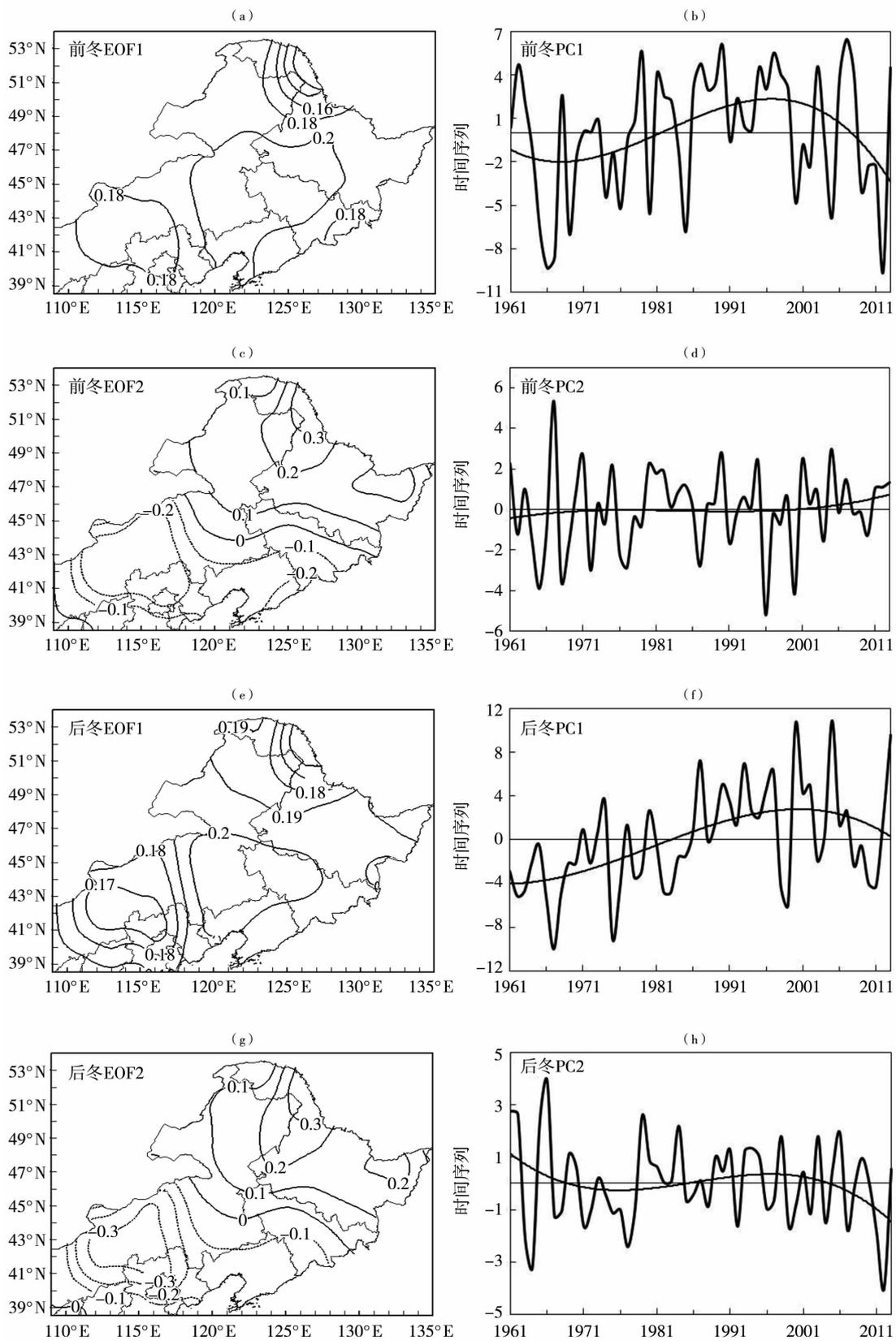


图3 1961—2013年东北地区前冬和后冬气温标准化 EOF 分解的  
第1模态和第2模态的空间分布及其对应的时间序列

Fig. 3 The spatial distributions and corresponding time series of the first and second modes of temperature decomposed by EOF in early and late winter in Northeast China during 1961 - 2013

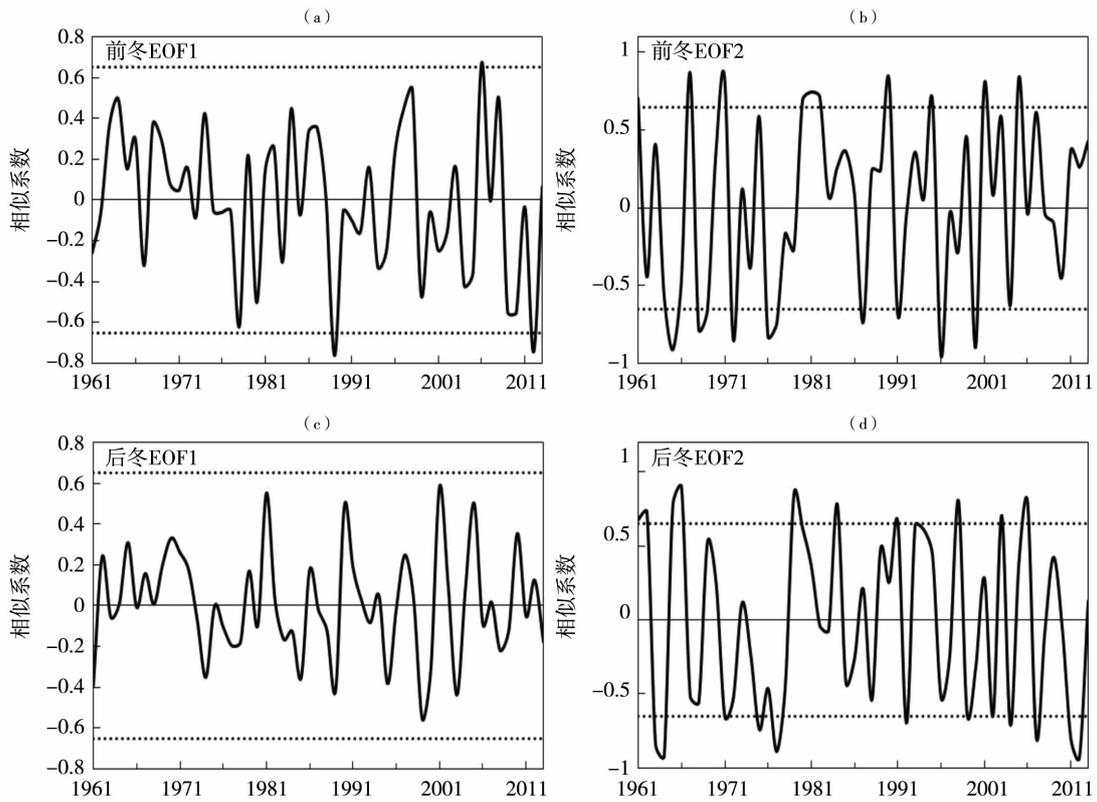


图4 1961—2013年东北地区前冬(a,b)和后冬(c,d)气温 EOF 前 2 个特征向量与气温距平场的空间相似系数

Fig. 4 Correlation coefficients between air temperature anomalies and the spatial patterns of EOF1 and EOF2 of temperature in early (a,b) and late winter (c,d) in Northeast China during 1961 – 2013

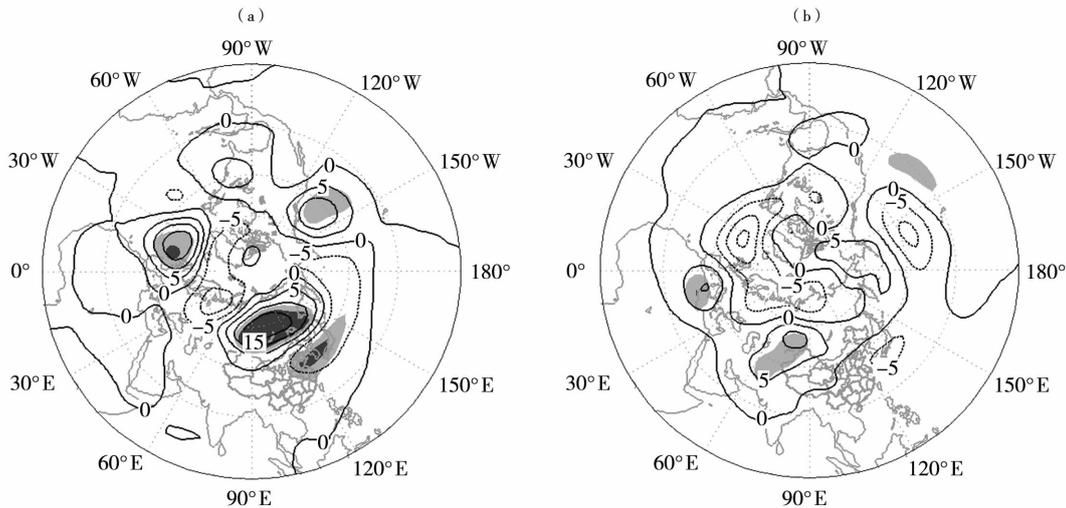


图5 1961—2013年东北地区前冬(a)和后冬(b)气温 EOF2 对应的时间序列与 500 hPa 位势高度回归分析

Fig. 5 Distribution of regression coefficients between 500 hPa geopotential height and EOF2 time series of temperature in early (a) and late (b) winter in Northeast China during 1961 – 2013

考虑选取的代表站可能会因地形和小气候因素的影响造成某些年份异常于所在区域,因此用前冬和后冬气温 EOF2 的时间序列距平值检验所选异常年

份,确保所选年份的代表性。经筛选,剔除前冬 I 型的 2004 年和 II 型的 2005 年,最后确定前冬和后冬 2 种类型的异常年份(表 2)。

表 2 1961—2013 年东北地区呼玛站和多伦站前冬和后冬气温异常年份  
 Tab. 2 Anomalous years of air temperature in early and late winter at Huma and Duolun station in Northeast China during 1961 – 2013

气温异常类型	前 冬	后 冬
I 型	1961、1967、1971、1980、2012	1962、1966、1967、1985、2004、2007、2010
II 型	1964、1965、1968、1972、1987、1996、2000	1965、1978、2012、2013

图 6 为东北地区气温异常偏高和偏低年 500 hPa 位势高度距平合成。可以看出,当东北地区前冬气温分布为 I 型时(图 6a),高度距平场上我国为负值区域,并且通过了  $\alpha = 0.01$  的显著性检验,另外极地地区也为负值区域,同时存在 1 个大致绕极地的正值带,这样的环流类似于 AO 模态的正位相,但位置偏北、强度较弱,而且环状形态中间有断裂。当东北地区前冬气温为 II 型分布时(图 6b),极地地区为正值区域,绕极地地区同样为一个有断裂的环状负值带,同 AO 模态的负位相类似,但位置更加偏

北。说明位置偏北的类似 AO 模态与东北地区前冬气温有正相关关系,与回归分析结果基本吻合。当东北地区后冬气温为 I 型分布时,高度场表现出了位置偏北的 AO 模态负位相(图 6c),但显著区域和回归分析中的相关区域有差异;后冬气温为 II 型分布时,高度场表现出了回归分析中的一些特点(图 6d),但相关区域的分布没有表现出 AO 模态的分布特征。说明后冬的回归分析结果产生了虚假信息,不能很好地解释大气环流异常对东北地区后冬气温分布的影响。

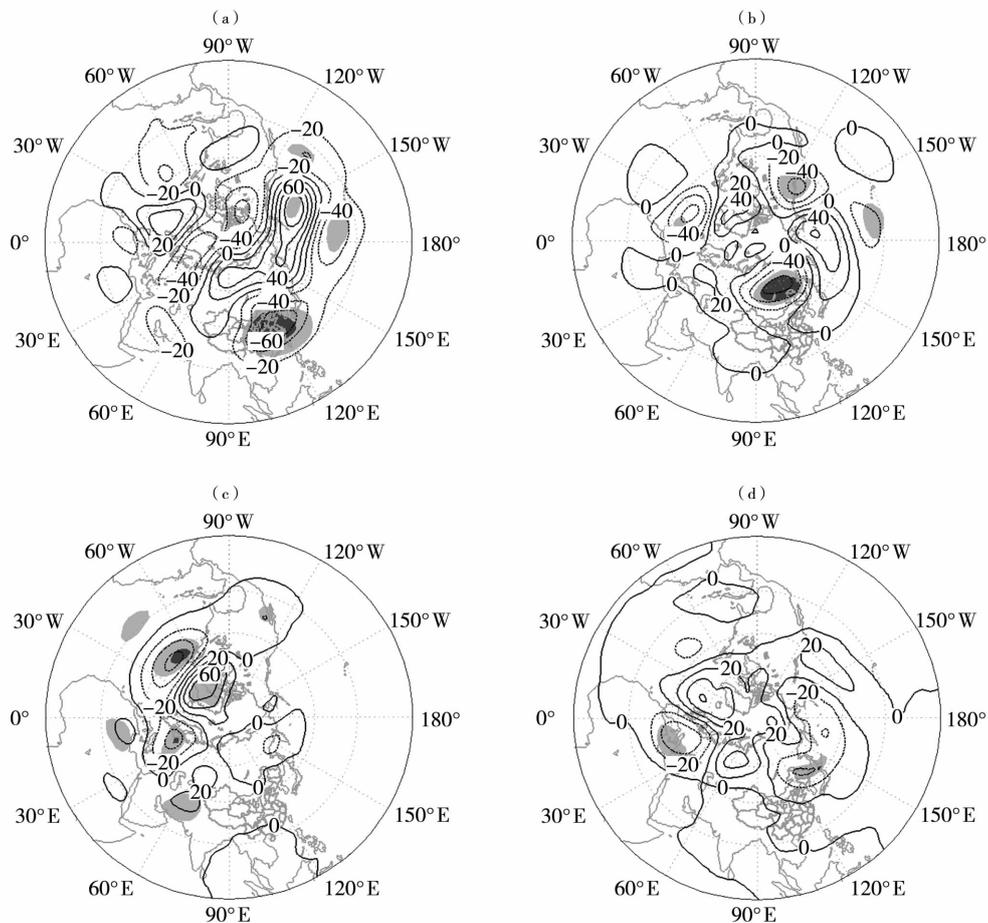


图 6 1961—2013 年东北地区前冬(a,b)与后冬(c,d)气温 I 型(a,c)和 II 型(b,d)分布年的 500 hPa 位势高度距平合成(单位:gpm)

Fig. 6 Composition of 500 hPa geopotential height anomaly (Unit:gpm) in years with warm in the northeast and cold in the southwest (a, c) and with warm in the southwest and cold in the northeast (b, d) in early (a, b) and late (c, d) winter in Northeast China during 1961 – 2013

当前冬高空出现位置偏北、类似 AO 正位相时,会使冷空气龟缩于极地,不易南下,这样的配置不利于冷空气沿东路进入东北地区,然而会加强沿西路和西北路径侵入我国的冷空气对东北地区南部的影响,由此可以很好地解释类似 AO 正位相对东北前冬 I 型分布的影响。同理类似 AO 负位相时会利于冷空气南下,可以解释类似 AO 负位相对东北地区气温 II 型分布的影响。综上所述,前冬东北地区跷跷板型气温分布与位置偏北、强度较弱的类似 AO 模态有正相关关系,后冬则表现出大气环流非对称机制。

秋季大气环流异常是否会影响冬季气温跷跷板型分布情况?图 7 为秋季 500 hPa 位势高度与前冬和后冬气温 EOF2 对应的时间序列回归分析。可以看出,前冬极为显著负相关,绕极地呈显著的环状正相关,表现出 AO 模态正位相(图 7a),说明前冬与当年秋季的 AO 模态呈正相关关系,而后冬与前一年秋季的相关关系并不明显(图 7b)。同样应用距平合成分析(图略)进行虚假检验,可以看出前冬与当年秋季的 AO 模态呈正相关关系。表 3 从定量

的角度进一步证明前冬气温跷跷板型分布与当年秋季 AO 有相关关系,其中 9 月和 11 月 AO 与前冬气温的相关性比较好,通过了  $\alpha = 0.05$  及以上显著性水平检验。表 4 给出东北地区秋季各月 AO 指数与前冬 AO 指数的相关系数,可以看出,11 月 AO 与前冬显著正相关,且相关系数通过  $\alpha = 0.05$  的显著性水平检验。He 等<sup>[33]</sup>研究表明,11—12 月 AO 信号的持续与 Rossby 波的传播有关,且 11—12 月 Rossby 波由高纬度向下游传播,1 月到达东亚地区,因此 11—12 月 AO 信号可以持续。

综上所述,12 月(前冬)与 11 月 AO 呈正相关关系,由于 Feldstein<sup>[34]</sup>、Pan<sup>[35]</sup> 等研究指出 AO 信号在 30 d 后强度会发生改变,其强度不到初始状态的 5%,因此当 11 月出现 AO 模态异常时,12 月也会出现 AO 模态异常,但强度可能不到初始状态的 5%,因此前冬呈位置偏北、强度较弱、并且存在环状断裂的类似 AO 模态。而这种类似 AO 模态与东北地区前冬跷跷板型气温分布呈正相关关系,由此判定 11 月 AO 指数与东北地区气温跷跷板分布呈正相关关系。

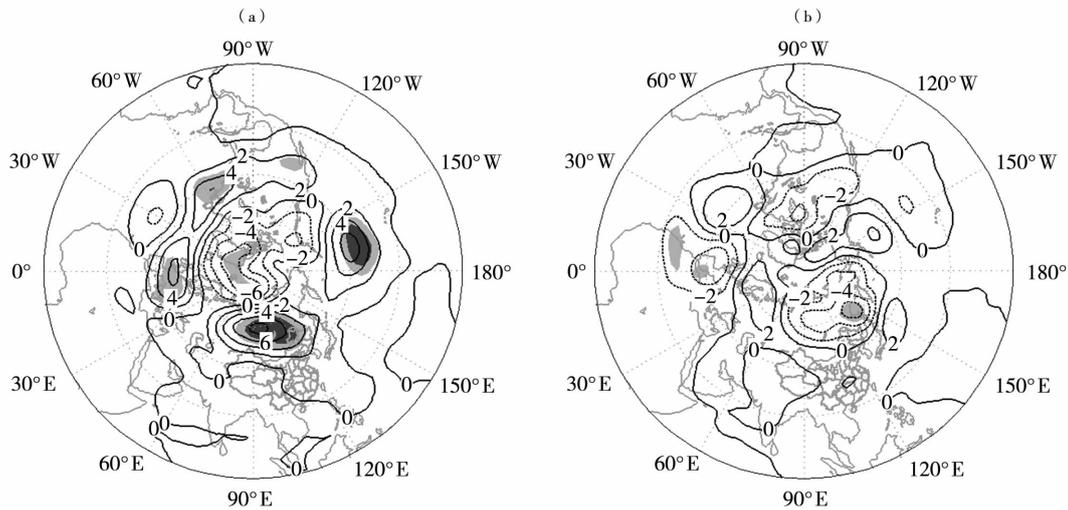


图 7 1961—2013 年东北地区前冬(a)和后冬(b)气温 EOF2 对应的时间序列与秋季 500 hPa 位势高度的回归分析  
 Fig. 7 Distribution of regression coefficients between the 500 hPa geopotential height in the preceding autumn and EOF2 time series of temperature in early (a) and late (b) winter in Northeast China during 1961 - 2013

表 3 1961—2013 年东北地区前冬气温 EOF2 对应的时间序列与当年秋季 AO 指数的相关系数  
 Tab. 3 Correlation coefficients between the EOF2 time series of temperature in early winter and the index of Arctic Oscillation in autumn in Northeast China during 1961 - 2013

9 月	10 月	11 月	秋季
0.325 **	0.199	0.274 *	0.397 **

注: \*、\*\* 分别表示通过 0.05 和 0.01 显著性水平检验

表 4 1961—2013 年东北地区当年秋季各月 AO 指数与前冬 AO 指数的相关系数  
 Tab. 4 Correlation coefficients between the index of Arctic Oscillation in each month of autumn and the index of Arctic Oscillation in early winter in Northeast China during 1961 - 2013

	9 月	10 月	11 月
12 月(前冬)	0.090	0.162	0.297 *

注: \* 代表通过 0.05 的显著性水平检验

## 4 结 论

(1)东北地区冬季气温存在季节内差异,其中1月与2月气温有很好的正相关关系,12月与1月及2月气温的相关性较差,均没有通过显著性检验,因此将冬季划分成前冬(12月)和后冬(1月和2月)研究有必要。

(2)东北地区前冬和后冬气温 EOF 的前2个模态在空间上分别表现出全区一致变化型和西南—东北反相变化的跷跷板型,且实际分布以跷跷板型居多。时间序列上,前冬和后冬的第1模态既有年际振荡也存在年代际变化,在21世纪初东北地区前冬和后冬均表现出增暖停滞现象,其中前冬更突出。

(3)前冬气温的跷跷板型分布与同期位置偏北、强度较弱的类 AO 模态分布型呈正相关关系;后冬则显示出大气环流不对称机制。11月 AO 与前冬气温的跷跷板型分布呈显著正相关关系,即11月 AO 为正值时前冬呈现东北高、西南低的气温分布型,为负值时,则出现西南高、东北低的气温分布型。11月 AO 的变化可作为前冬(12月)东北地区气温跷跷板型分布的一个预测信号。

### 参考文献

[1] 任国玉,郭军,徐铭志,等. 近50年中国气候变化基本特征[J]. 气象学报,2005,63(6):942-956.

[2] 王劲松,费晓玲,魏锋. 中国西北近50a来气温变化特征的进一步研究[J]. 中国沙漠,2008,28(4):724-723.

[3] 张洪芬,王劲松,黄斌. 中国西北干旱区和东部季风影响区冬季气温变化特征对比分析[J]. 干旱资源与环境,2011,25(2):93-97.

[4] 张晶晶,陈爽,赵昕奕. 近50年中国气温变化的区域差异及其与全球气候变的联系[J]. 干旱区资源与环境,2006,20(4):1-6.

[5] 王毅,智协飞. 中国夏季气温的年代际变化[C]. 第24届中国气象学会年会气候变化分会场论文集. 北京:中国气象学会,2007.

[6] 王书冰,周顺武,马悦,等. 近54年辛集市气温及降水变化特征[J]. 气象与环境科学,2014,37(1):40-47.

[7] 张婧婷,冯利平,潘志华. 黑龙江省未来41年气候变化趋势与突变分析[J]. 气象与环境科学,2014,37(3):60-66.

[8] 李正泉,张青,马浩,等. 浙江省年平均气温百年序列的构建[J]. 气象与环境科学,2014,37(4):17-24.

[9] 王丽. 河南省1961—2011年极端气温和极端气温事件的时空变化特征[J]. 气象与环境科学,2013,36(2):31-36.

[10] 孟鑫,智协飞. 东北地区夏季干旱的年际—年代际变化特征[J]. 大气科学学报,2016,39(4):562-568.

[11] 翟薇,李肖霞. BCC\_CSM1.1全球模式中极端气温变化的归因分析[J]. 气象与环境科学,2014,37(4):25-32.

[12] 朱会芸,马海波,谢庆荣,等. 人类活动对中国区域气候及水循环的影响数值试验[J]. 气象与环境科学,2013,36(3):13-17.

[13] 王玉,庄亮,汤洁. Hadley 环流强度与我国中东部气温的相关

分析[J]. 气象与环境科学,2012,35(2):61-66.

[14] 吴昊旻,陈惠芬,何凯玲. 丽水市1953—2010年气温变化对四季长度的影响[J]. 气象与环境科学,2012,35(3):76-80.

[15] 陈峪,任国玉,王凌,等. 近56年我国暖冬气候事件变化[J]. 应用气象学报,2009,20(5):539-545.

[16] 任国玉,初子莹,周雅清. 中国气温变化研究最新进展[J]. 气象与环境研究,2005,10(4):701-716.

[17] 周雅清,任国玉. 中国大陆1956—2008年极端气温事件变化特征分析[J]. 气候与环境研究,2010,15(4):405-417.

[18] 汪宏宇,龚强,孙风华,等. 东北和华北东部气温异常特征及其成因的初步分析[J]. 高原气象,2005,24(6):1024-1033.

[19] 董满宇,吴正方. 近50年来东北地区气温变化时空特征分析[J]. 资源科学,2008,30(7):1093-1099.

[20] 刘实,隋波,李辑,等. 东亚冬季风对中国东北冬季气温变化的影响[J]. 地理科学,2015,35(4):507-514.

[21] 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.

[22] 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.

[23] 黄嘉佑,胡永云. 中国冬季气温变化的趋向性研究[J]. 气象学报,2006,64(5):614-621.

[24] 韦伟,王林,陈权亮,等. 我国前冬和后冬气温年际变化的特征与联系[J]. 大气科学,2014,38(3):524-536.

[25] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. Bulletin of American Meteorological Society, 1996,77:437-471.

[26] 王娜,王冀,王琦,等. 山西冬季气温变化特征及其成因[J]. 干旱气象,2016,34(4):604-609.

[27] 范可,刘辉. 近百年东亚冬季气温及大气环流变化型态[J]. 大气科学,2013,37(2):383-394.

[28] North G, Bell T, Cahalan R, et al. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function[J]. Monthly Weather Review, 1983,110(7):699-706.

[29] 丁一汇,柳艳菊,梁苏洁,等. 东亚冬季风的年代际变化及其与全球气候变化的可能联系[J]. 气象学报,2014,72(5):11-21.

[30] 王盘兴,李刚,王建新,等. 原观测场时间序列两个统计场的相似性讨论[J]. 气象学报,1998,56(6):746-751.

[31] 蔡佳熙,管兆勇. 长江流域夏季气温变化型及其成因 I: 年际变化与遥相关[J]. 气象学报,2011,69(1):99-111.

[32] 马晓青,丁一汇,徐海明,等. 2004/2005年冬季强寒潮事件与大气低频波动关系的研究[J]. 大气科学,2008,32(2):380-394.

[33] He S, Wang H. Impact of the November/December Arctic Oscillation on the following January temperature in East Asia[J]. Journal of Geophysical Research, 2013,118(23):12981-12998.

[34] Feldstein S B. The timescale, power spectra, and climate noise properties of teleconnection patterns[J]. Journal of Climate, 2000,13(24):4430-4440.

[35] Pan L L, Jin F F. Seasonality of synoptic eddy feedback and the AO/NAO[J]. Geophysical Research Letters, 2005,32(21):L21708, doi:10.1029/2005GL024133.

(下转至419页)