

庞子琴,郭品文.不同年代际背景下AO与冬季中国东北气温的关系[J].大气科学学报,2010,33(4):469-476.

Pang Zi-qin, Guo Pin-wen. Interdecadal variation of relationship between AO and winter temperature interannual variability in Northeast China[J]. Trans Atmos Sci, 2010, 33(4): 469-476.

## 不同年代际背景下AO与冬季中国东北气温的关系

庞子琴,郭品文

(南京信息工程大学 大气科学学院,江苏 南京 210044)

**摘要:**采用1951—2006年北极涛动指数序列、NCEP/NCAR再分析资料 and 我国160站气温资料,利用滑动相关分析研究了不同年代际背景下北极涛动与冬季中国东北气温年际异常关系的变化情况。结果表明,两者的关系在20世纪60年代中后期显著增强,在80年代中后期减弱。不同年代际背景下,与AO相关联的中高纬度大气环流异常发生的明显改变是AO与东北冬季气温关系发生年代际变化的原因。强相关年代,西伯利亚高压与阿留申低压均明显减弱,东亚冬季风偏弱,对流层中下层异常东南风控制东北地区,对流层中层东亚大槽明显减弱,环流的经向性减弱,使该地区冬季气温偏高;相关较弱的年代则以上表现不明显。

**关键词:**北极涛动;东北冬季气温;年际异常;年代际变化

**中图分类号:**P467 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-7097(2010)04-0469-08

## Interdecadal Variation of Relationship between AO and Winter Temperature Interannual Variability in Northeast China

PANG Zi-qin, GUO Pin-wen

(School of Atmospheric Sciences, NUIST, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** Interdecadal variation of the relationship between AO and winter temperature interannual variability in Northeast China is investigated by using techniques of sliding correlation analysis with the data of AO index from 1951 to 2006, the NCEP/NCAR reanalysis data and the air temperature obtained from 160 stations in China. The results indicate that their relationship obviously intensified in the late 1960's and weakened in the late 1980's. Significant differences existing in AO-related atmospheric circulation anomaly during different periods may be the reason for the interdecadal variation of the relationship between AO and surface air temperature in Northeast China. The Siberian high and Aleutian low become weaker during the significantly related period of the two factors, which made the winter monsoon in East Asia become weaker. In low-level troposphere, anomalous southeast air flow controls the Northeast China; in mid-level troposphere, East Asian Trough become weaker and thus the zonal circulation enhances in East Asian. All these factors make it warmer in Northeast China.

**Key words:** AO; winter temperature in Northeast China; interannual variability; interdecadal variation

### 0 引言

Tompson 和 Wallace<sup>[1]</sup> 提出北极涛动(AO)的

概念,以冬季北半球热带外地区海平面气压距平的EOF分析第一模态的时间序列作为AO指数。AO为正异常时,中纬度气压上升而极地气压下降,AO

收稿日期:2009-04-17;改回日期:2010-03-10

基金项目:国家科技支撑计划课题(2007BAC29B03)

作者简介:庞子琴(1982—),女,广西合浦人,硕士,现在广东省气象局工作, mouse\_pzq@163.com.

为负异常时,环流形式相反。后续的研究表明,AO 从地面到平流层低层都存在,接近正压结构,有纬向对称性,在夏季亦存在明显模态<sup>[2]</sup>。AO 实际上描述的是中纬度西风的强度和位置,它的变化对北半球天气气候的影响是十分显著的。据建华等<sup>[3]</sup>的研究表明 AO 持续增强的趋势是东亚北部地区冬季增暖的重要原因之一。龚道溢和王绍武<sup>[4]</sup>研究了近百年 AO 对我国冬季气候变化的影响,当 AO 指数偏强时,我国大部分地区冬季气温偏高,同时降水也偏多;AO 和西伯利亚高压对我国冬季气候的影响在年代际和年际尺度有不同的特征。武炳义等<sup>[5]</sup>分析了 AO 影响东亚冬季风的主要机制,当 AO 为正位相时,极涡的面积指数偏小,极涡的强度指数偏大,中纬度西风带加强并且位置偏北,冷空气被限制在极地,欧亚大陆以及东亚地区冬季风偏弱,暖冬容易出现,反之亦然。胡秀玲和刘宣飞<sup>[6]</sup>研究了东北地区冬季气温与 AO 在年代际尺度上的关系,两者表现为显著正相关,冬季 AO 处于低(高)指数期,东北冬季气温为持续冷冬(暖冬)期。何春和金海<sup>[7]</sup>分析了华北冬季气温和冬季 AO 指数的变化特征及其关系,结果表明它们之间存在着显著相关,特别是在年代际尺度上关系尤其密切,华北在 20 世纪 70 年代初以前为持续冷冬,80 年代中期之后变为持续暖冬,其间相对正常,而冬季 AO 指数亦存在类似的 3 个阶段。龚道溢等<sup>[8]</sup>分析了春季 AO 指数的变化对梅雨降水年际变化的影响。

如前所述,目前已有不少关于 AO 与我国气候异常的研究,但以往的研究主要直接分析 AO 的年代际变化及其与我国气候的年代际异常的关系,对过去几十年来这两者的整体相关特征较为关注。而环流系统之间的相互关系可能会由于气候背景场的年代际差异而产生不同的改变,进而使气候发生相应的年代际变化<sup>[9-10]</sup>。那么在不同的年代际气候背景场影响下,AO 与中国冬季年际气候异常的相关关系是否会发生不同的变化,如何改变?因此本文将在以前研究的基础上,以 AO 与我国东北冬季气温的年际异常的相关关系为对象,讨论其年代际的变化情况。

## 1 资料与方法

1) NOAA 相关网站提供的月平均 AO 指数序列,网址为 <http://www.cpc.noaa.gov/products/>

precip/CWlink/daily\_ao\_index/ao\_index.html。2) NCEP/NCAR 月平均再分析资料,包括  $2.5^\circ \times 2.5^\circ$  的北半球网格点海平面气压场、位势高度场、风场和垂直速度场,格点数为  $144 \times 37$ 。3) 国家气候中心发布的中国 160 站月平均气温资料。上述资料时间跨度均为 1951 年 1 月—2007 年 2 月。冬季平均取 12 月至次年 2 月平均。为了反映 AO 与中国东北地区气温年际异常的关系,以 11 a 滑动平均的时间序列作为年代际背景场,去除年代际背景场后的时间序列作为年际尺度的变化场进行分析。

本文主要采用滑动相关分析、一元回归分析等方法。

## 2 北极涛动与我国冬季气温年际异常的相关特征及其年代际差异

将 1951—2006 年冬季 AO 指数的年际变化与我国 160 站冬季平均气温年际异常进行同期相关分析,其相关系数空间分布见图 1。由图 1 可见,AO 与我国冬季气温年际异常相关显著区域位于东北地区,正相关系数最大达到 0.55,远超过 0.01 信度的显著性检验。东北地区冬季气温的年际变化与 AO 关系最为密切,取呼玛、博克图、海拉尔、图里河、嫩江、齐齐哈尔、海伦、富锦、佳木斯、鸡西、哈尔滨、牡丹江、乌兰浩特、通辽、长春、延吉、通化、沈阳、朝阳、营口、丹东、大连、林东共 23 站代表这一显著相关区域进行分析,探讨不同年代际背景下该区域冬季气温与 AO 年际关系的变化情况。

为了揭示 AO 与东北地区冬季气温年际关系随年代的变化,将东北地区冬季气温异常时间序列作为东北地区冬季气温序列,将其与年际 AO 指数序列进行滑动相关分析<sup>[9]</sup>,滑动窗口长度取 21 a,当显著性水平  $\alpha = 0.01$ ,  $|r_{xy}(t_0)| \geq 0.55$ 。

由图 2 的滑动相关系数可见,在 1966/1967 年以前,AO 与东北地区冬季气温年际变化的相关系数较小,均未通过 0.01 信度的显著性检验;1967/1968 年至 1986/1987 年冬季,两者相关系数明显增大,均在 0.60 左右,相关显著;1987/1988 年以后,两者的相关系数出现下降的趋势。由此可见,两者的年际相关关系存在较明显的年代际变化,转变出现在 1960 年代中后期和 1980 年代中后期,为方便起见,将上述 3 个时段依次称为年代 I、年代 II 和年代 III。

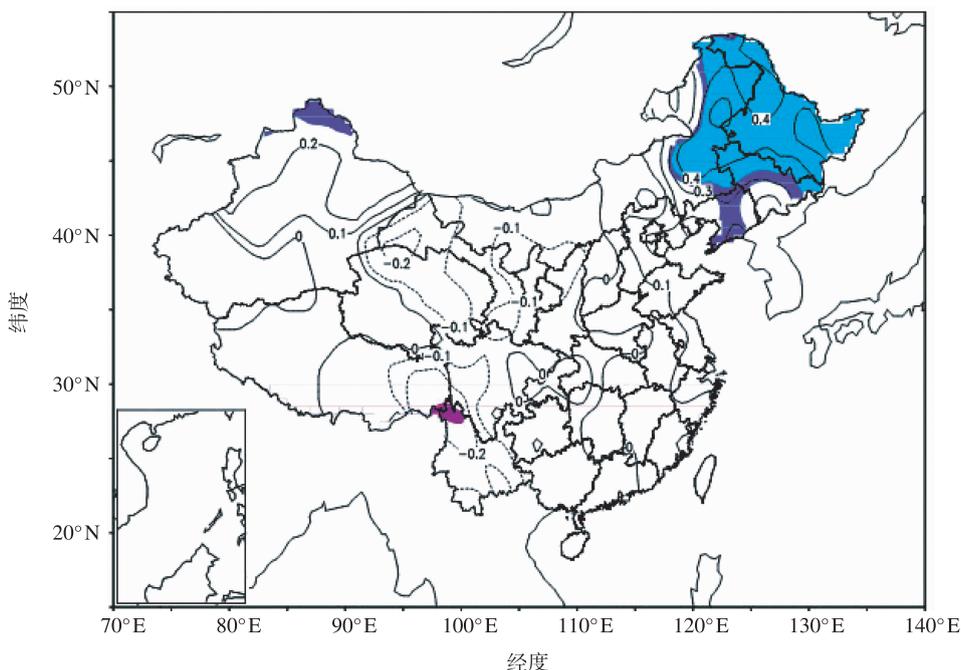


图 1 年际尺度冬季 AO 指数与我国 160 站冬季平均气温年际异常的同期相关系数分布(阴影区通过 0.05 信度的显著性检验)

Fig. 1 Contemporary correlation coefficients between AO and winter temperature interannual variability at 160 stations in China (shaded areas denote the significance of 95% confidence level)

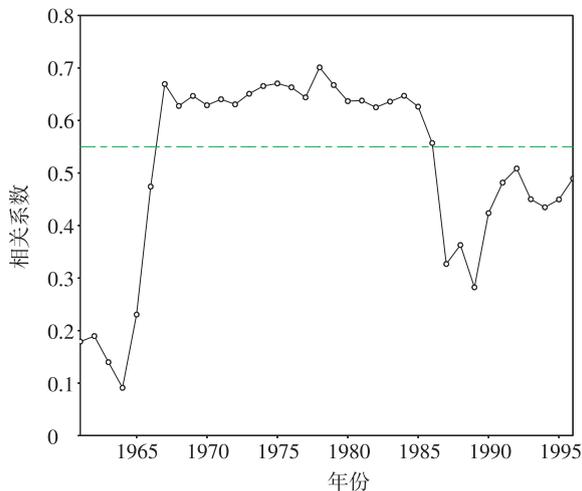


图 2 1951—2006 年年际尺度冬季 AO 指数序列与我国东北地区气温序列的滑动相关系数曲线(横虚线为 0.01 信度的相关系数)

Fig. 2 Sliding correlation coefficients between AO and winter temperature interannual variability in Northeast China during 1951 and 2006 (The solid line denotes critical value  $y = 0.55$ ; dashed line indicates the significance of 99% confidence level)

图 3 给出了这 3 个不同年代两者相关系数的空间分布,可见年代际差异明显。结合图 2,分析不同年代 AO 与东北地区气温的相关分布变化。年代 I, AO 指数与东北冬季气温年际异常的滑动相关

系数较小,两者的同期相关系数也很小,仅为约 0.05,正相关站点分布在黑龙江省东部、内蒙东北部,正相关最高达到 0.61,其他区域均为负相关值,负相关系数最大达到  $-0.38$ ,仅佳木斯和鸡西两个站点通过了 0.05 信度检验。年代 II,滑动相关系数均在 0.60 左右,同期相关系数约为 0.66,由图 3b 可见,通过 0.05 信度检验的显著正相关站点有 15 个,主要集中在黑龙江省和内蒙东部、北部,正相关最高达到 0.71,辽宁、吉林省的站点相关较弱,未通过 0.05 信度的显著性检验。年代 III,两者滑动相关系数呈现下降趋势,同期相关系数约为 0.43,相关与年代 II 相比有所减弱,图 3c 显示,显著相关站点为 10 个,主要分布在黑龙江省东部和西北部及其他三省的东部地区,正相关系数最高达到 0.65。可见, AO 与东北地区冬季气温年际异常虽然相关很显著,但并不是一成不变的,而是存在明显的年代际差异,1960 年代中后期以后,两者由弱相关变为强的正相关,随后在 1980 年代中后期,两者的正相关开始减弱。两者的相关系数空间分布特点也不尽相同,年代 I,并非整个东北地区都呈现正相关关系,部分区域存在负相关,在年代 II,整个东北地区均为正相关区域,显著的相关站点集中在内蒙古和黑龙江省,而在年代 III,虽然整个区域均为正相关关系但显著相关的站点数减少且分布较为分散。

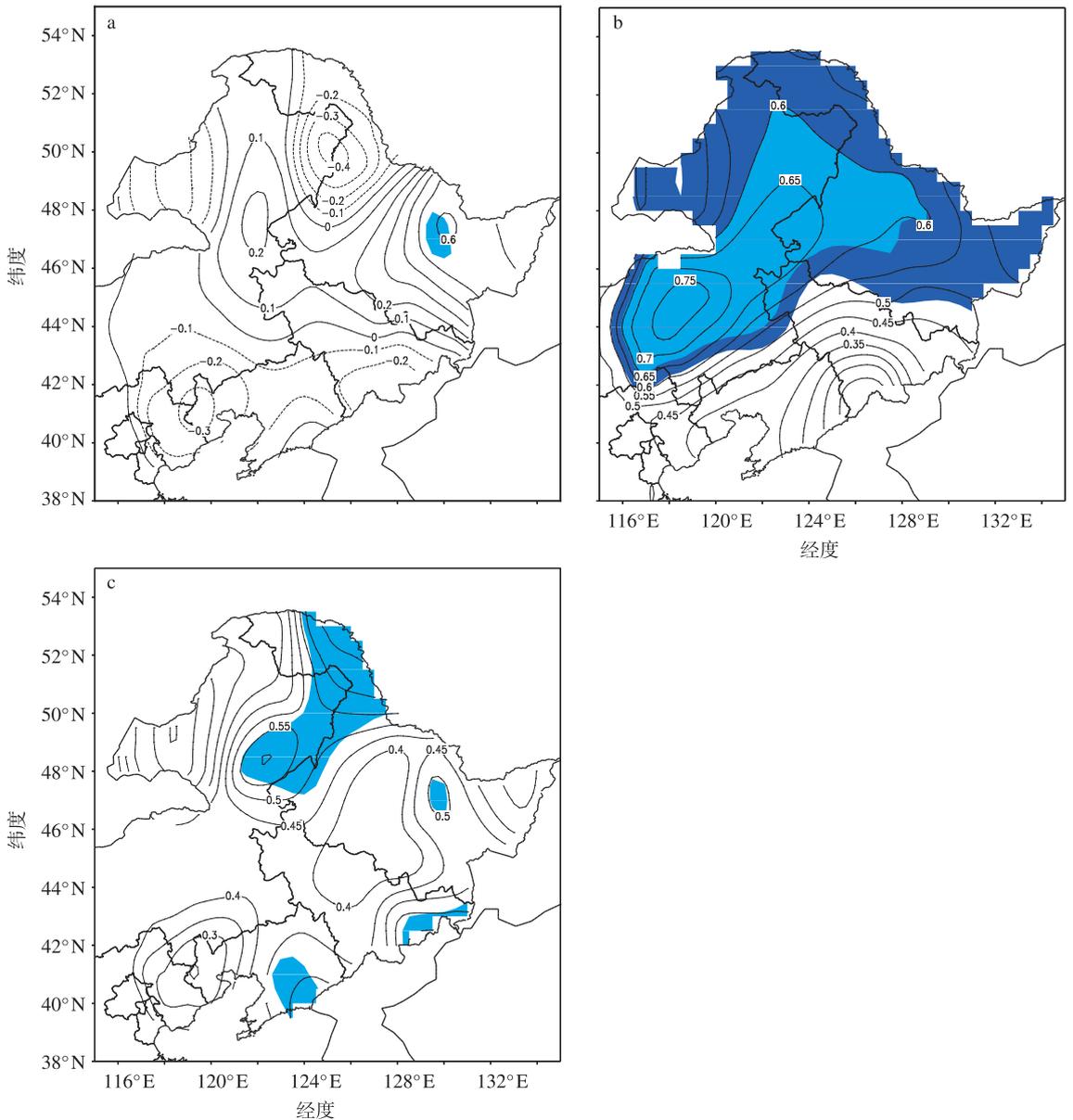


图 3 不同年代年际尺度冬季 AO 指数序列与我国东北地区气温年际变化同期相关系数分布(阴影区为通过 0.05 信度的区域) a. 年代 I; b. 年代 II; c. 年代 III

Fig. 3 Contemporary correlation coefficients between AO and winter temperature interannual variability in Northeast China. (a), (b) and (c) are for different periods (shaded areas denote the significance of 95% confidence level)

AO 与东北地区冬季气温年际异常关系出现年代际变化,这与不同年代际背景下与 AO 相关联的大气环流异常的变化关系密切。为了分析在不同年代际背景下 AO 对我国东北地区气温的年际变化的影响有何不同,需要进一步分析与 AO 的年际变化相关联的大气环流异常的年代际变化。

### 3 不同年代际背景下与 AO 相关联的大气环流特征

图 4 给出了不同年代海平面气压年际异常场与

AO 指数的回归分布,图中各年代海平面气压场均表现出了明显的北极涛动模式,即极区气压负距平,中纬度地区为气压正距平的反位相变化形式,但在不同的年代,海平面气压回归分布场发生不同的变化。年代 I,当 AO 为正位相时,极区的气压负距平中心明显偏向于西半球,位于格陵兰岛附近地区,中心气压距平小于  $-4$  hPa;北大西洋地区存在两个正距平中心,分别位于西欧大陆和北大西洋地区,两中心强度相同;北太平洋地区较显著的正距平中心位于东北太平洋和日本海附近,但与北大西洋中心相

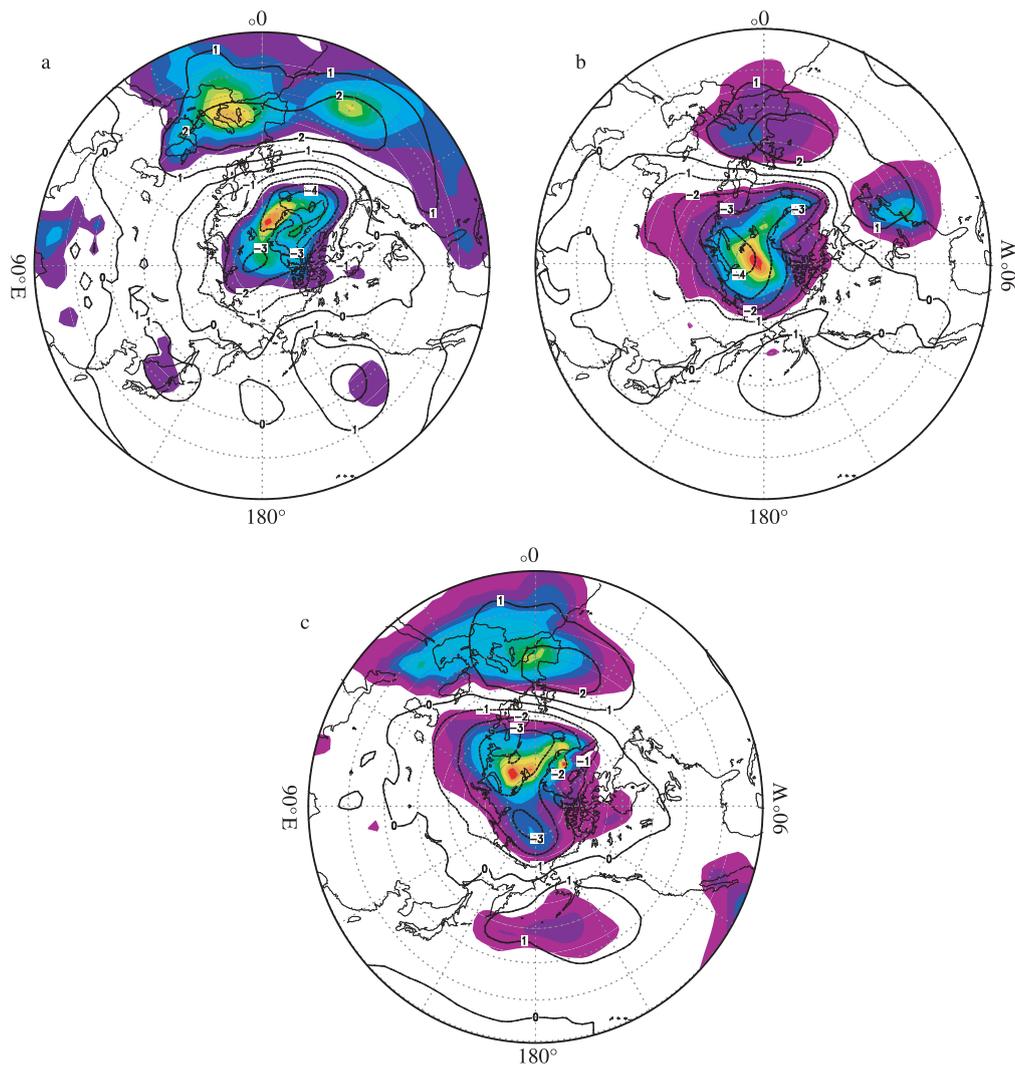


图 4 不同年代冬季海平面气压年际异常场与 AO 年际指数的回归分布(等值线间隔为 1 gpm, 阴影区表示达到 0.05 信度的区域) a. 年代 I ; b. 年代 II ; c. 年代 III

Fig. 4 Regressions of winter SLP upon AO interannual variability. (a), (b) and (c) are for different periods (The contour interval is 1 gpm. Shaded areas denote the significance of 95% confidence level)

比,强度和范围都小得多,可见在年代 I AO 信号在西半球的表现更明显,而对东半球的影响相对较小。年代 II,极区负气压距平中心偏至东半球,位于新地岛附近海面,距平值小于  $-4$  hPa,北大西洋正距平中心位于海面上,北大西洋地区中心位于阿留申群岛附近,这两个正距平中心的强度与年代 I 相比均有所增强。在年代 III,海平面气压场与年代 II 较为相似,但其极区负中心与年代 II 相比,向西偏移,中心强度减弱,北大西洋上和阿留申群岛附近的正距平中心位置和强度变化不大。

从年代 II 海平面气压回归分布场上看, AO 的位相为正时,极区气压负距平中心偏向东半球且范围较大,在亚洲大陆上向南到达贝加尔湖地区附近,西伯利亚地区气压负距平较强,阿留申群岛附近出

现较明显的气压正距平中心,说明西伯利亚高压和阿留申低压在 AO 正位相时是减弱的,导致东亚—北太平洋地区的海陆气压差减小,进而使东亚冬季风减弱,有利于东北地区气温偏高,因此 AO 与东北地区气温年际异常关系在年代 II 最显著。比较发现,年代 I,极区气压负距平区域范围较小,且向西半球收缩偏移,西伯利亚地区无明显的负距平,正距平中心并没有出现在阿留申群岛附近,可见西伯利亚高压与阿留申低压的减弱不明显。年代 III,极区气压负距平范围也较大,阿留申群岛附近的正距平中心较为显著,但极区负距平中心偏向西欧大陆,西伯利亚地区负距平比年代 II 减小,西伯利亚高压的减弱较不明显,海陆气压差的减弱相对年代 II 有所减弱,因此对东北地区气温的影响也相应较弱。

进一步从低层风、压场(图 5)来看。在相关显著的年代 II, 当 AO 为正位相时, 在对流层低层, 北太平洋东北部地区存在一个强的距平高压中心, 向欧亚大陆上贝加尔湖以西地区延伸, 在贝加尔湖附近存在一个较小的高压中心, 该高压中心下方为一个较小的气旋, 我国东北地区正位于高压下侧, 气旋东侧, 异常东南气流将海上的暖湿空气输送到该地区, 冬季风减弱, 造成该地区冬季地面气温异常偏高。年代 I, 我国东北地区位于距平高压的中心位置, 相应的距平反气旋对该地区的影响均较小, 这可能会使东北地区大多数站点与 AO 指数的年际变化相关系数较小。在年代 III, 北太平洋地区距平高压比年代 II 的减弱, 贝加尔湖附近的距平高压中心减弱消失, 影响东北地区的异常东风气流相应减弱, AO 与东北地区气温年际异常的关系比年代 II 减弱。

在 500 hPa 高度年际异常场回归分布(图 6)上可以看出, 不同的年代, AO 的年际变化在对流层中层的表现存在明显变化。年代 I, 与海平面气压场相比较, 500 hPa 上极区的负高度距平中心完全移到西半球, 中心到达 65°N 附近海面上, 中心负距平值

约为 -50 gpm, 北大西洋双正距平中心仍存在, 西欧大陆上的中心较强, 北太平洋地区日本海附近为正高度距平。年代 II, 极区负高度距平中心也向西偏移至格陵兰岛地区, 中心最低值约 -40 gpm, 贝加尔湖附近为显著的正高度距平区域。年代 III, 极区负高度距平中心分为两个, 较强的一个偏西, 位于格陵兰岛以东海域上, 中心最低值约 -30 gpm, 较弱的一个偏东, 位于白令海峡以北海域上; 较强的正高度距平位于北太平洋地区和欧亚大陆东部, 与年代 II 相比, 中心位置偏东。

可见, 在年代 II 当 AO 正位相时, 对流层中层极地负高度距平中心位置与低层相比略西移, 范围减小, 这意味着极涡加强并且向极地收缩, 亚洲大陆东部存在较强的正高度距平中心, 东亚大槽出现较明显的减弱, 东亚地区环流经向性减弱, 以纬向型为主, 西风加强且较平直, 不利于引导冷空气南下, 使中高纬度地区气温偏高。可见年代 II AO 对我国东北地区冬季气温的影响比较明显, 在 AO 为正位相时, 东北地区气温偏高, 反之则偏低。在年代 I, 极区负距平中心偏向西半球, 东半球极地上空的负距

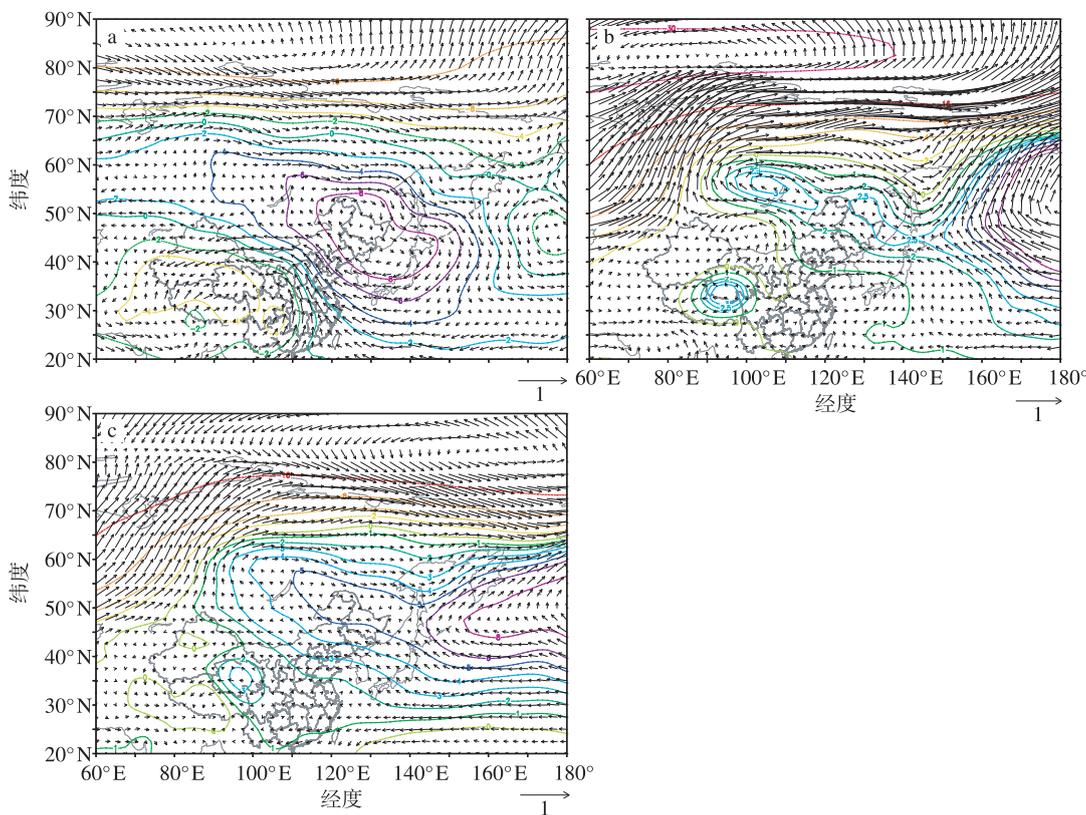


图 5 不同年代冬季 850 hPa 年际异常高度场、风场与 AO 年际指数的回归分布(单位: m/s) a. 年代 I; b. 年代 II; c. 年代 III

Fig. 5 Regressions of winter 850 hPa geopotential height and wind vector upon AO interannual variability. (a), (b) and (c) are for different periods(units: m/s)

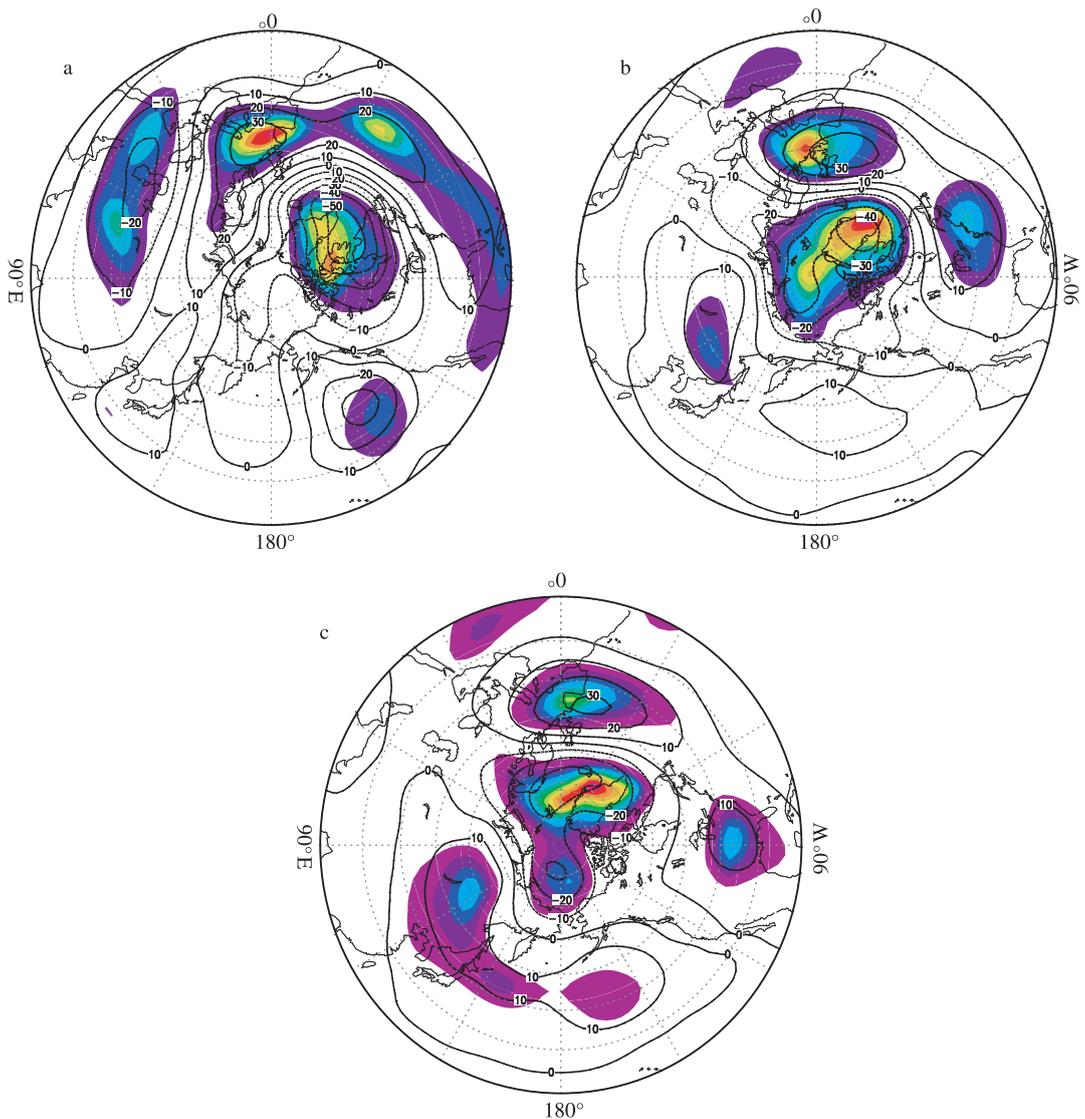


图 6 不同年代冬季 500 hPa 位势高度年际异常场与 AO 年际指数的回归分布(等值线间隔为 10 gpm,阴影区表示达到 0.05 信度的区域) a. 年代 I; b. 年代 II; c. 年代 III。

Fig. 6 Regressions of winter 500 hPa geopotential height upon AO interannual variability. (a), (b) and (c) are for different periods (The contour interval is 10 gpm. Shaded areas denote the significance of 95% confidence level)

平较弱,且亚洲大陆东部正距平中心不明显,东亚大槽无明显减弱,环流的经向性较强。年代 III 与年代 II 情形类似,但极区的负高度距平较年代 II 减弱,影响相应较弱。

## 4 结论与讨论

利用 1951—2006 年的 AO 指数序列、NCEP/NCAR 再分析月平均资料 and 我国 160 站的温度资料,滤除 10 a 以上波动之后获得年际变化场,使用滑动相关分析、一元回归分析等方法,分析了 AO 指数与我国东北地区冬季气温年际异常关系的年代际差异,讨论不同年代际背景下 AO 对我国东北地区

冬季气温的影响有何变化,结果表明:

(1) AO 与我国东北冬季气温年际异常存在较明显的相关关系,但在不同的年代际背景下,两者的关系又存在较大差别。近 60 a 来,两者的相关不是一成不变的,在 20 世纪 60 年代中后期显著增强,在 80 年代中后期出现减弱。

(2) 在不同的年代际背景下,与 AO 的年际变化相关联的大气环流发生着不同的变化,进而对我国东北地区的冬季气温年际变化产生影响。在 20 世纪 60 年代中后期以前,当 AO 为正位相时,极区海平面上距平低压范围较小,北太平洋地区距平高压较弱,对西伯利亚高压与阿留申低压影响均较小,

两个大气中心变化均不明显,在对流层中下层东北地区位于高压中心位置,受反气旋影响较小,对流层中层东亚大槽减弱不明显,因此东亚冬季风所受的影响也较小,我国东北地区的冬季气温受到的影响不大。而在 60 年代中后期以后,海平面气压场上西伯利亚高压与阿留申低压均出现明显的减弱,东亚—太平洋地区的海陆气压差减弱,冬季风偏弱,对流层中下层明显的异常偏南气流控制东北地区,对流层中层极涡加强并且向极区收缩,东亚大槽明显减弱,环流经向性减弱,不利于引导高纬度冷空气南下,使东北地区冬季气温偏高。80 年代中后期以后,海平面气压场的大气中心变化所受的影响相比前一时期较弱一些,对流层中下层影响东北地区的异常偏东风较弱,东北地区气温与 AO 的相关关系比前一阶段稍弱。

大气环流对 AO 的年际变化所发生的响应存在年代际差异,AO 对西伯利亚高压和东亚冬季风的影响也随年代发生改变,进而对我国东北地区的冬季气温异常产生不同的影响,使两者关系发生改变。但不同的年代际背景下 AO 与西伯利亚高压和东亚冬季风的关系的差异及可能机制还需进一步研究。

## 参考文献:

- [1] Thompson D W J, Wallace J M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields[J]. *Geophys Res Lett*, 1998, 25(9): 1297-1300.
- [2] Thompson D W J, Wallace J M. Annular modes in the extratropical circulation Part I: Month-to-month variability[J]. *J Climate*, 2000, 13: 1000-1016.
- [3] 琚建华,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.
- [4] 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.
- [5] 武炳义,卞林根,张人禾. 冬季北极涛动和北极海冰变化对东亚气候变化的影响[J]. *极地研究*, 2004, 16(3): 211-220.
- [6] 胡秀玲,刘宣飞. 东北地区冬季气温与北极涛动年代际关系研究[J]. *南京气象学院学报*, 2005, 28(5): 640-648.
- [7] 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.
- [8] 龚道溢,朱锦红,王绍武. 长江流域夏季降水与前期北极涛动的显著相关[J]. *科学通报*, 2002, 47(7): 546-549.
- [9] 徐建军,朱乾根,施能. 近百年东亚冬季风与 ENSO 循环的相互关系及其年代际差异[J]. *大气科学*, 1997, 21(6): 641-648.
- [10] 朱益民,杨修群,陈晓颖,等. ENSO 与中国夏季年际气候异常关系的年代际变化[J]. *热带气象学报*, 2007, 23(2): 105-116.

(责任编辑:倪东鸿)