

# 北极涛动对我国冬季日气温方差的显著影响

龚道溢 王绍武 朱锦红

(北京师范大学资源学院环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871.  
E-mail: [gdy@pku.edu.cn](mailto:gdy@pku.edu.cn))

**摘要** 利用 1954~2001 年我国 150 站日平均气温资料, 分析了历年冬季期间(11 月 1 日到次年 3 月 31 日)气温方差的变化与北极涛动的关系. 发现北极涛动处于较强的正位相时, 我国日平均气温方差偏小, 反之则偏强. 主要是通过影响西伯利亚高压中心区的海平面气压的高频变率而影响我国日气温的波动. 季节尺度内异常低温事件(日气温距平  $< -2\sigma$ ,  $\sigma$  为各站各冬季日气温距平的标准差)频次与气温方差之间存在反常的关系: 温度方差大(小)时, 异常低温事件频次下降(上升). 这与气温的非正态分布有关, 也明显受北极涛动位相及强弱的影响. 近 50 年来随着北极涛动指数的增强, 西伯利亚高压中心区海平面气压方差显著下降(-10.7%/10a), 我国日气温的变率也在显著减少(-4.1%/10a), 而异常低温事件频次则显著增加(0.16d/10a).

**关键词** 北极涛动 日平均气温 方差 极值

已有的研究指出, 北极涛动(AO, arctic oscillation)对北半球很多地方气候的年际及年代际尺度变化有非常重要的影响<sup>[1-3]</sup>. 除此之外近来人们还注意到AO对气候、天气要素的高频变率及异常事件有显著的影响<sup>[4-6]</sup>. 很多研究结果显示AO对我国冬季风、冬季气温和降水等的年际、年代际波动也存在显著关系: 当AO处于正位相时, 我国冬季风偏弱, 平均气温偏高, 降水偏多<sup>[7-10]</sup>. 不过这些研究都没有涉及AO对我国气候要素的天气尺度变率与极值的可能影响. 在本研究中, 我们发现AO对我国冬季日气温的方差及季节内尺度上的异常低温事件的频次也存在显著的影响.

## 1 资料和方法

本研究所用日平均气温资料由中国气象局提供, 我们选择其中序列完整、可靠性较高的 150 个站. 资料时段为 1954~2001 年. 分析季节为冬季, 从每年 11 月 1 日到次年 3 月 31 日. 每个站所有冬季缺失资料均少于 4 天, 所缺资料由相邻前后 5 天气温平均值代替. 为得到日平均气温距平, 先计算每日多年平均气候值, 计算平均值时同时考虑之前 10 日与之后 10 日共 21 天的情况, 即  $d$  日的日气温气候值由 1961~1990 年期间, 所有  $d-10$  日到  $d+10$  日共 630 天的日气温值平均, 这样可以尽可能消除天气波动(通常时间尺度在 2~3 周以内)对气候平均值的影响. 然后每日温度原始值减掉气候值即得到日气温距平值. 闰年 2 月 29 日气候值由 2 月 28 日与 3 月 1 日平均值代表.

## 2 日气温方差

度量温度变率的一个重要指标是其方差(即  $\sigma^2$ ,  $\sigma$  为标准差), 这里的  $\sigma$  是根据每年冬季的日气温距平计算的. 因为我们分析的是气温距平, 去掉了季节循环的影响, 所以计算的每个冬季的方差主要表示该冬季温度高频变化的强弱. 方差值越高表示天与天之间温度的波动和差异大, 整体上看天气更不稳定. 反之, 如果方差小则该冬季天气变化比较平稳, 天与天之间波动比较小.

计算冬季月平均(11~3 月)AO指数<sup>[11]</sup>与所有站气温方差的相关系数, 发现 150 站中有 136 站为负相关, 其中超过 90%信度的有 102 站, 超过 95%信度的有 85 站. 显著的负相关区主要集中在 105°E 以东及西北部地区, 青藏高原的东部和东南部地区一些站的相关比较低(图 1). 全国所有 150 站平均, 日气温方差与同期AO序列之间的相关达 -0.46, 超过 99%信度水平(表 1). 说明当AO处于较强的正位相时, 总体上看我国冬季日气温变率较小, 而当AO处于负位相时我国冬季气温变率加大. 二者之间的线性回归分析表明, 当AO指数偏强(偏弱)一个标准差时, 我国平均日气温方差减少(增加)约 8.3%. 根据统计, AO指数距平超过 1 倍标准差以及低于负的 1 倍标准差的频次约占总年份的 40%左右, 这意味着相当多的年份里, 我国冬季温度变率的强烈变化与AO的波动有密切关系. 日气温方差除有较强的年际变化外, 还表现出明显的长期趋势(图 2). 全国平均气温方差有 -0.17

$^2/10a$ (相当于 $-4.1\%/10a$ )的趋势, 这个值达到 95% 信度水平; 即使去掉 1965 年的异常高值后, 计算的趋势( $-0.13^2/10a$ )也超过 95% 信度水平. 有些研究也曾注意到北半球一些地方(包括东亚地区)天气尺度气温变率有减弱趋势<sup>[11]</sup>. 近几十年AO指数也有显著的增强趋势, 达到 $+0.24/10a$ , 超过 99% 的信度水平. 这个趋势的数值相当于 0.3 倍标准差, 是一个不小的量. 可见AO对我国日气温方差的长期影响也是明显的.

造成每日气温波动的最直接的因子是天气过程,

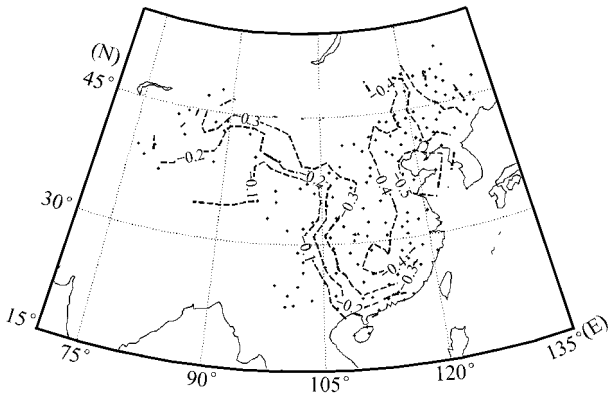


图1 AO指数与我国各站气温方差的相关系数  
黑点为150站位置, 95%信度水平的相关阈值为 $\pm 0.29$

AO对我国冬季日气温的影响很可能是通过影响环流天气尺度的高频变化而实现的. 因为AO的正负位相表征西风气流的稳定和强弱, 这是大气基本环流形势的最重要的一个判据和指标<sup>[12]</sup>. 行星尺度环流的调整 and 变化对区域环流系统的变率有很大的影响. 当然具体到不同的地区可能影响程度和机制有所不同. 对东亚地区冬季近地面气候影响最大的环流系统是西伯利亚高压. 我们的分析表明AO的位相和强弱对西伯利亚高压中心区海平面气压(SLP)的高频变化有显著调制作用. 为了检查可能的影响途径, 我们分别计算了150站平均气温方差与冬季SLP平均值及其方差的相关. 海平面气压取自NCEP/NCAR再分析资料. 气压的方差也是根据每年冬季的日SLP距平计算的, 日SLP距平值处理方法与日气温距平相同, 其方差的大小表示了近地面大气环流高频变化的强弱. 日气温方差与北半球各格点冬季平均SLP的相关系数, 在北极地区是显著的正相关区, 而北大西洋及附近的欧洲和北美地区为显著的负相关区, 这种空间分布特征很明显就是AO负位相时的特征. 前面我们的分析说明AO指数与日气温方差有显著的负相关, SLP气压相关系数的分布特征与前面的分析是吻合的. 这也进一步说明了AO与我国气温方差的密切联系.

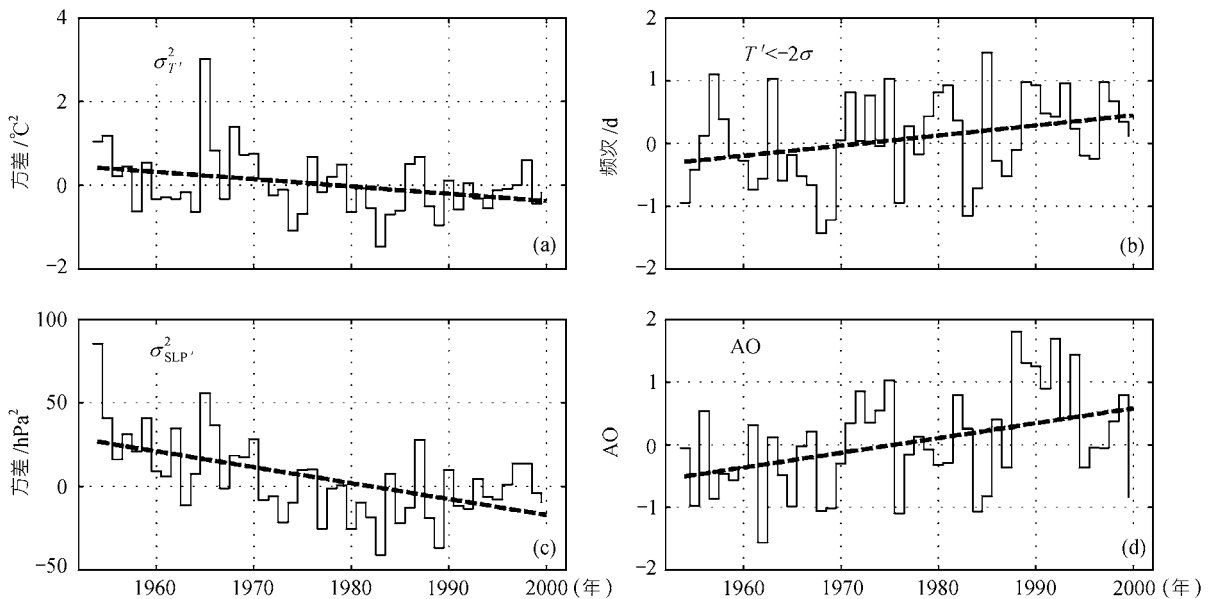


图2 几种要素时间序列的比较

(a) 我国平均气温方差; (b) 我国平均异常低温事件频次(日气温距平 $< -2\sigma$ ); (c) 西伯利亚高压中心区(45~55°N, 90~110°E)海平面气压方差; (d) AO指数. 均为对1961~1990距平. 虚线为线性趋势

表 1 AO 指数与我国温度和西伯利亚高压中心区(45~55°N, 90~110°E)海平面气压的相关(气温指标均为 150 站平均)

	西伯利亚高压中心区平均 SLP	西伯利亚高压中心区 SLP 方差	我国平均气温	我国气温方差	我国异常低温事件频次
AO 平均值	-0.09	-0.45 <sup>a)</sup>	0.41 <sup>a)</sup>	-0.46 <sup>a)</sup>	0.38 <sup>a)</sup>
AO 方差/%	-0.11	0.03	-0.10	0.33 <sup>a)</sup>	-0.16

a) 表示超过 95% 信度水平

表 2 各指标的线性趋势(每 10 年)

西伯利亚高压中心区平均 SLP	西伯利亚高压中心区 SLP 方差	我国平均气温	我国气温方差	我国低温事件频次	AO 平均值	AO 方差
-0.22 hPa	-10.7% <sup>a)</sup>	0.34 <sup>a)</sup>	-4.1% <sup>a)</sup>	0.16 d <sup>a)</sup>	0.24 <sup>a)</sup>	-2.21%

a) 表示超过 95% 信度水平

我国 150 站平均气温方差与北半球日 SLP 方差的相关系数分布(图 3(a)), 显示显著相关的中心区大体上与西伯利亚高压平均位置的中心区吻合. 而在东亚地区, 高的相关区向南延伸. 文献[13]曾利用经验正交函数分析方法, 分析了欧亚大陆日 SLP 方差的变化特征, 发现这个地区第 1 模态表现为单一结构, 异常中心在蒙古国西部地区. 这也与本文相关系数分析的结论一致, 因此我们选择用 45°~55°N, 90°~110°E 这个中心区内各格点 SLP 方差的平均值, 来代表西伯利亚高压的方差. 我国冬季温度的方差与这个中心区 SLP 高频变率的对应关系非常好(见图 2(a), (c)), 二者相关系数高达 +0.66. 该中心区生成的高压系统(或者是通过该区的高气压系统)的频次与强弱, 是影响我国冬季日际气温波动的一个重要原因. 前面我们分析发现的 AO 与气温方差的显著相关, 很可能就是通过影响西伯利亚高压中心区气压的高频变化而间接影响我国的日气温方差的. 图 3(b)中同时还给出了 AO 指数与北半球各格点日 SLP 方差的相关. 很清楚, 整个北半球最大的显著相关区位于亚洲大陆内部, 与西伯利亚高压的中心区一致. 比较图 3(a)和图 3(b)可以看到, 亚洲内陆的最显著相关区的位置和范围几乎一样. 分析表明 AO 指数的强弱对西伯利亚高压中心区 SLP 方差的影响非常突出, 相关系数达到 -0.45. 我们还对北半球平均 SLP 与 SLP 方差进行了奇异值分解分析, 得到的第 1 对模态中 SLP 平均气压场是 AO 型, 相对应的方差场的特征与图 3(b)也是非常相似的(图略). 这些都说明 AO 显著影响西伯利亚中心区的 SLP 高频波动, 进而影响我国日气温变率. AO 处于强的正位相时, SLP 的高频变率减弱, 而 AO 处于较强的负位相时, SLP 方差变大. 西伯利亚高压中心区日 SLP 方差的变小(大), 则可以导致我国气温变率的减小(大).

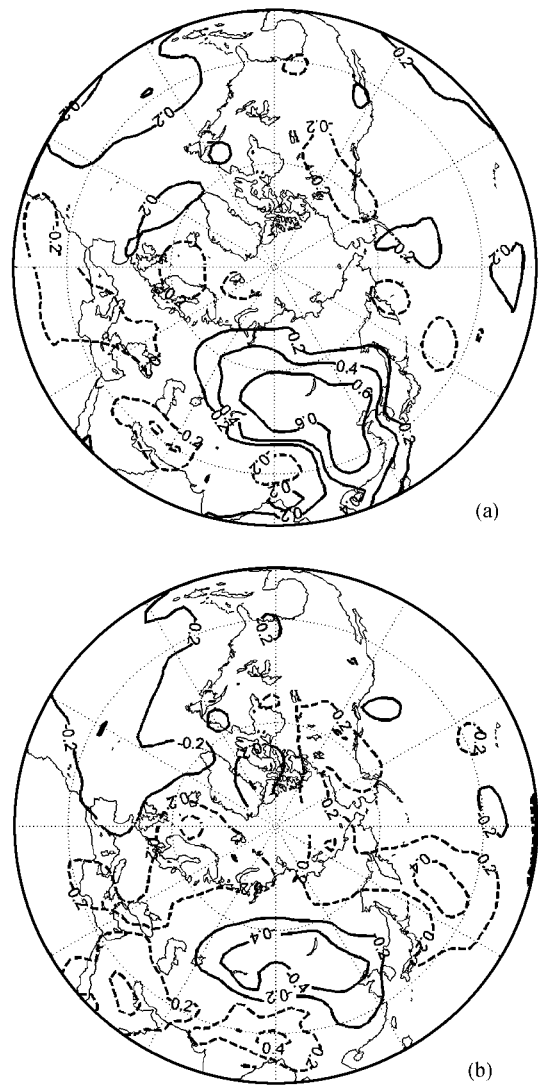


图 3 我国日气温方差与北半球日 SLP 方差的相关系数分布(a)和 AO 指数与 SLP 方差的相关系数(b) 为方便比较(b)中正值以虚线表示, 负值以实线表示. 95% 信度水平下的相关阈值为 ±0.29

此外,我们还利用日AO指数<sup>[2]</sup>检查了AO本身的高频变率。当AO处于正位相时日AO指数的变率偏弱,负位相时其变率偏强(二者相关系数为-0.24)。但是分析发现AO指数本身的变率对西伯利亚高压中心区气压的方差几乎没有什么影响,而与我国气温方差的相关也明显小于月平均AO指数的相关(见表1)。这说明作为描述大气环流基本状况的月-季平均AO指数的位相和强弱,对亚洲大陆中高纬度日SLP和我国日气温变率的影响是主要。当然, AO指数方差与我国冬季气温方差之间存在的明显相关(0.33),可能说明AO方差能通过其他途径和方式影响我国气温方差。此外, AO的影响也很可能是非线性的,其与西伯利亚高压SLP高频变率的关系用简单的线性相关可能不能很好地描述出来。这些问题的澄清还有待进一步的研究。

### 3 气温方差与异常低温事件频次的反常关系

上面的分析表明AO对我国温度的方差有显著影响,而方差的变化必然会造成极值频次的改变<sup>[14]</sup>。对日气温而言,方差变化对极值的影响可能要比平均值变化所造成的影响更明显<sup>[15]</sup>。我们统计了每站每一年的温度距平低于 $-2\sigma$ 的天数,这里 $\sigma$ 由该站该冬季日距平值求得。得到的每年的天数定义为异常低温事件频次。分析表明异常低温频次的变化与AO指数的确有密切的联系,不过大多数站都是正的相关,全国平均相关系数是0.38,超过95%的信度水平。说明AO处于正的位相时,我国异常低温事件频次偏多,而AO处于负的位相时,异常低温事件频次偏少。

很显然,这是一个反常的现象。因为前面的分析表明AO与气温方差是负的相关,即AO为正位相时,温度方差通常偏小, AO负位相时气温方差偏大。这里异常低温频次的统计是基于每个冬季的 $\sigma$ ,去掉了每年平均值的不同的影响,所以低温频次的变化主要可以看成是由方差的变化造成的。而根据IPCC及其他研究的观点<sup>[14]</sup>,如果只考虑方差一个要素,则方差大时,异常低温事件频次应该增加,温度方差小时,异常低温频次下降。而这里我们得到的我国温度方差与异常低温事件频次的反向变化(异常低温事件频次与温度方差之间的相关系数为-0.30),显然与通常所认为的方差与极值关系不一致。

为什么会出这种反常的关系呢?我们检查了

气温距平频次分布的具体细节。取异常低温频次最高的5年与频次最低的5年进行比较,发现高频次年里小的负距平的频次是下降的,但是在 $<-2\sigma$ 的区间,频次反而明显上升(图4)。因此,异常低温频次的反常变化与日气温距平的具体分布有关。通常所说的小方差与低极值频次的关系,只对理想的正态分布适用。而我国大部分地区受冬季寒潮影响强烈,气温多呈偏态分布,从图4中也可以看到分布是偏向负距平一侧的。进一步的分析发现,温度距平分布的变化还明显受AO的影响。图5中给出了AO指数最高和最低的5年我国温度距平的频次分布,很明显与图4特征是一致的。AO指数最高的5年与最低的5年相比,日气温距平 $<-2\sigma$ 的频次明显增加。这种关系还可以由同期西伯利亚高压中心区日SLP距平频次的变化得到佐证和解释。因为异常偏低的日气温通常由高压相伴随的冷空气或寒潮引起,而AO指数高的年份,西伯利亚高压中心区的气压距平 $>+2\sigma$ 的频次也的确是明显增加的(图5(b))。因此,我国季节内尺度上异常低温频次的变化与温度的具体分布有关,还明显受AO指数位相和强弱的影响。而近几十年来,异常低温频次也随AO的增强有显著的增加趋势(+0.16d/10a)。

值得指出的是我们的结果表明近几十年来低温事件频次在增加的,而很多研究指出我国寒潮活动近几十年来呈减少趋势<sup>[16,17]</sup>。因为寒潮通常是根据绝对低温阈值及日际降温幅度来定义的,随着近来

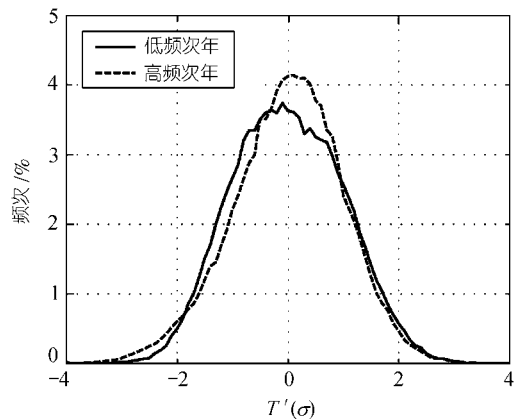


图4 异常低温事件频次最高的5年(虚线)与最低的5年(实线)我国日气温距平频次变化的比较  
统计前各站温度距平都已经处理为对每个冬季的标准化值(减去每个冬季日距平的平均值,再除以每个冬季日距平的标准差)

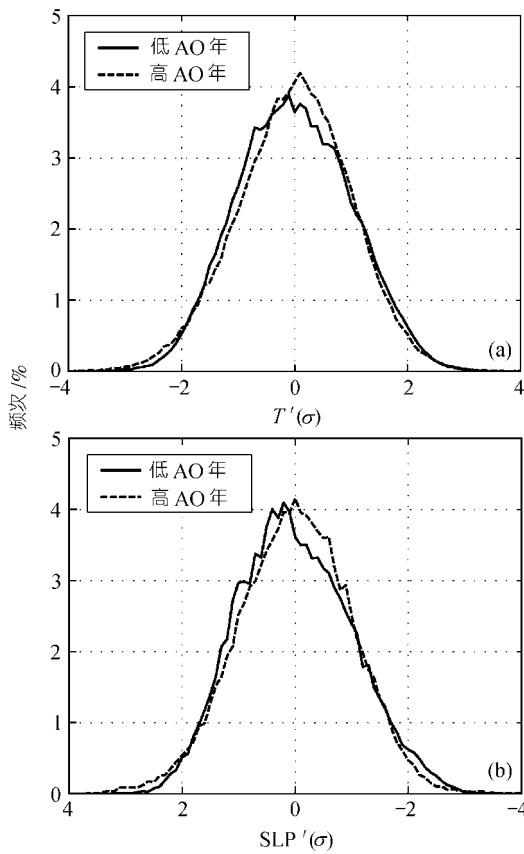


图 5 AO 指数最高的 5 年(虚线)与最低的 5 年(实线)我国平均日温度距平频次分布(a), 以及西伯利亚高压中心区(45~55°N, 90~110°E)日平均 SLP 距平的频次分布(b) 统计前各台站和各格点距平值都已经处理为对各年冬季的标准化值. 为方便比较(b)中横坐标已反向

平均气温的显著上升, 极端最低气温也呈上升趋势, 因此计算的寒潮频次在下降. 而本文去掉了平均气温的变化, 只考虑季节内日气温的波动, 低温事件频次主要体现了季节内尺度日气温波动的异常状况. 因此二者并不矛盾, 而是分别描述了不同时间尺度的气温变化的不同特征.

#### 4 结论

AO 强弱对我国日平均气温的方差有显著的影响: 当 AO 指数偏强(偏弱)一个标准差时, 我国平均气温方差减弱(增强)约 8.3%. AO 对我国日气温变率的影响主要是通过影响西伯利亚高压中心区 SLP 的高频变率实现的. 中心区日 SLP 的高频变化与我国平均日气温方差之间有高达 0.66 的相关. AO 平均环流的位相和强弱对地面环流天气尺度的变率有显著的调

制作用. 当 AO 偏强(偏弱)一个标准差时, 西伯利亚高压中心区日 SLP 变率减弱(增强)约 12.3%. AO 对气温方差长期趋势的影响也是显著的. 近 50 年随着 AO 持续增强, 西伯利亚高压中心区日 SLP 变率在显著变小, 我国冬季日气温方差则在显著下降.

季节内尺度上我国异常低温频次的变化与气温方差之间表现为反常的负相关: 温度方差大(小)时, 异常低温事件频次下降(上升). 这与气温的非正态分布有关, 也明显受 AO 位相及强弱的影响. AO 为正位相时, 西伯利亚高压中心区异常的 SLP 正距平的频次增加, 导致低温事件频次上升; 反之, 当 AO 为负位相时, 异常低温事件频次下降. 近几十年来, 异常低温事件频次有显著的增加趋势.

AO 对我国日气温方差与异常低温事件的影响, 为理解我国冬季极端天气气候事件的变化及其对全球气候变化的响应和模拟等都有较好的参考价值. 此外, 我国冬季气候可预测性的问题最近也受到大家的关注<sup>[18]</sup>, 除了热带地区和中纬度海洋温度的信号之外<sup>[19]</sup>, 中、高纬度的 AO 对气候可预测性的影响也还需要进一步的研究.

致谢 十分感谢国家气候中心翟盘茂研究员提供气温资料. 本工作受到国家自然科学基金(批准号: 40105007)及教育部优秀青年教师资助计划(EYTP-1964)资助.

#### 参 考 文 献

- 1 Thompson D W J, Wallace J M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophysical Research Letters*, 1998, 25: 1297~1300[DOI]
- 2 Thompson D W J, Wallace J M, Hegerl G C. Annular modes in the extratropical circulation, Part . Trends. *Journal of Climate*, 2000, 13(5): 1018~1036[DOI]
- 3 Gong D Y, Ho C H. Arctic Oscillation signals in East Asian summer monsoon. *Journal of Geophysical Research*, 2003, 108(D2), 4066, doi:10.1029/2002JD002193. [DOI]
- 4 Thompson D W J, Wallace J M. Regional climate impacts of the Northern Hemisphere annular mode. *Science*, 2001, 293: 85~89 [DOI]
- 5 Wettstein J J, Mearns L O. The influence of the North Atlantic-Arctic Oscillation on mean, variance, and extremes of temperature in the northeastern United States and Canada. *Journal of Climate*, 2002, 15: 3586~3600[DOI]
- 6 Higgins R W, Leetmaa A, Kousky V E. Relationship between climate variability and winter temperature extremes in the United States. *Journal of Climate*, 2002, 15: 1555~1572[DOI]
- 7 武炳义, 黄荣辉. 冬季北大西洋涛动极端异常变化与东亚冬季风. *大气科学*, 1999, 23(6): 641~651

- 8 Gong D Y, Wang S W, Zhu J H. East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28(10): 2073~2076[DOI]
- 9 Wu B Y, Wang J. Winter Arctic Oscillation, Siberian high and East Asian winter monsoon. *Geophysical Research Letters*, 2002, 29(19), 1897, doi:10.1029/2002GL015373[DOI]
- 10 龚道溢, 王绍武. 近百年北极涛动对中国冬季气候的影响. *地理学报*, 2003, 58(4): 559~568
- 11 Karl T R, Knight R W, Plummer N. Trends in high frequency climate variability in the twentieth century. *Nature*, 1995, 377: 217~220[DOI]
- 12 Li J P, Wang J L. A modified zonal index and its physical sense. *Geophysical Research Letters*, 2003, 30(12), 1632, doi:10.1029/2003GL017441[DOI]
- 13 Gong D Y, Ho C H. Intra-seasonal variability of winter temperature over East Asia. *International Journal of Climatology*, 2004, 24, doi: 10.1002/joc.1006[DOI]
- 14 Houghton J T, Ding Y H, Griggs D J, et al. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001
- 15 Katz R W, Brown B G. Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Climatic Change*, 1992, 21: 289~302
- 16 Zhai P M, Sun A J, Ren F M, et al. Changes of climate extremes in China. *Climatic Change*, 1999, 42: 203~218[DOI]
- 17 翟盘茂, 任福民. 中国近四十年最高最低温度变化. *气象学报*, 1997, 55(4): 418~429
- 18 郎咸梅, 王会军, 姜大膀. 中国冬季气候可预测性的跨季度集合数值预测研究. *科学通报*, 2003, 48(15): 1700~1704
- 19 Qin Huiling, Jian Maoqiu, Yuan Zhoujian. Relationship between SSTA in the northwestern Pacific and climate anomaly in winter over China. *Acta Oceanologica Sinica*, 2004 (in press)

(2003-09-09 收稿, 2003-12-11 收修改稿)