

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. 气象, 42(10):1223-1229.

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^{*}

聂 羽 孙 冷 王东阡 李 多

国家气候中心, 北京 100081

提 要: 2015 年 12 月, 北半球中纬度大部地区气温明显偏高, 北美多地气温突破历史同期最高值。而 2016 年 1 月, 北半球中纬度地区的气温迅速转为偏低, 欧洲、北美、东亚等多地发生强寒潮、暴风雪等极端天气气候事件。本文结合再分析资料和台站观测资料, 通过对大气环流异常的诊断分析, 初步探讨了 2015/2016 年冬季北半球发生暖冷急转的环流特征及可能原因。分析指出, 2016 年 1 月初, 北极涛动从正位相突然转为负位相, 是造成北半球中纬度气温陡降的主要原因。中高纬度阻塞活动的交替建立和崩溃也加剧了气温变化的程度。此外, 在厄尔尼诺年, 赤道太平洋海温偏高, 赤极温差增大, 易造成海气系统的不稳定, 再配合以全球变暖的年代际背景, 通常会造成长期极端性灾害事件频发。

关键词: 暖冷急转, 北极涛动, 超强厄尔尼诺

中图分类号: P461

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2016.10.006

Possible Causes for the Sudden Drop of Air Temperature in the Northern Hemisphere from Early- to Mid-Winter

NIE Yu SUN Leng WANG Dongqian LI Duo

National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: During December 2015, the averaged surface air temperature over most regions in the mid-latitude of Northern Hemisphere was above normal. Some regions in North America experienced the warmest December in the record. However, the temperature dropped suddenly in January 2016. Extreme cold weather events such as cold surges, winter storms attacked Europe, North America and East Asia. Using the NCEP reanalysis and station observation data, the possible causes for the sudden drop of air temperature during the winter were discussed. The analysis reveals that the Arctic oscillation turned from positive phase in December 2015 to negative phase in January 2016, leading to the warmer Arctic but the colder mid-latitude continent. The development and decay of mid-latitude atmospheric blocking also contributed to the sudden drop of air temperature. Furthermore, in the context of global warming, the sea surface temperature of tropical eastern Pacific is often above normal during the year of El Niño, which gives rise to larger temperature gradient between the equator and the pole, causing a more unstable climate system, and further leading to more frequent extreme cold events.

Key words: sudden drop of air temperature, Arctic oscillation, super El Niño

* 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2015CB953900)、北极关键区海冰变化及其在气候监测中的应用项目(CCSF201502)和中国气象局气候研究开放实验室开放课题青年基金 2015 年度资助项目共同资助

2016 年 3 月 13 日收稿; 2016 年 8 月 6 日收修定稿

第一作者: 聂羽, 主要从事中纬度气候动力学和气候变化方向的研究. Email: neiyu@cma.gov.cn

引 言

IPCC 第四次评估报告指出,在气候变化的背景下,破记录的高温热浪、低温寒潮、洪水、干旱等极端天气气候事件频发(Seneviratne et al, 2012; Donat et al, 2013)。在东亚冬季风年代际偏弱的大背景下,我国冬季季节内的寒潮低温事件频频发生(孙丞虎等, 2012; 王东阡等, 2013; 2015; 司东等, 2014; 王朋岭等, 2015)。理解造成这些具有高影响的极端天气气候事件的成因有助于提高短期气候预测能力。

已有的理论研究表明,全球变暖背景下,北极地区的增暖幅度大于中纬度地区,形成“北极放大”现象(Serreze et al, 2009; Screen et al, 2013; Cohen et al, 2014),造成北极和赤道之间的经向温度梯度减小,大气斜压波活动减弱(Barnes, 2013),中纬度的 Rossby 波波动振幅增大,环流经向度增加,造成极端事件频发(Liu et al, 2012; Francis et al, 2012)。在季节内事件尺度上,极端事件的发生可能与阻塞活动、北极涛动等大气低频信号有关(Seager et al, 2010)。

在 2015/2016 冬季,北半球中纬度地区的地表气温总体高于历史同期值。但是,气温经历了显著的季节内变化(邵懿等, 2016; 司东等, 2016)。观测表明,2015 年 12 月,北半球中纬度大部分地区以偏暖为主。北美部分地区经历了有气象记录以来的最暖的圣诞节。然而,进入 2016 年 1 月之后,北半球大部分地区气温迅速下降,北美、欧洲、东亚等多地发生低温寒潮和暴风雪,部分地区气温下降幅度超过 12~14℃,对当地的交通、供暖等造成不利影响。

本文拟利用再分析资料和中国台站观测资料,通过诊断分析,探讨 2015/2016 年冬季 12—1 月北半球中纬度大部分地区暖冷急转的环流特征及可能的成因。

1 资料和方法

本文使用了 1951—2016 年的中国逐日气温和降水观测资料。数据来源于中国气象局国家气象信息中心整编的中国地区 2400 台站观测气候数据集。此外,本文还使用了 1948—2016 年美国气象环境预报中心(NCEP)和美国国家大气研究中心(NCAR)提供的 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 水平分辨率的逐日气温场、位势高度场、水平风场和水汽场(Kalnay et al, 1996)和

美国国家海洋大气署(NOAA)提供的 1981—2015 年逐月的海温资料(Reynolds et al, 2007)。文中的全球降水资料来源于美国国家海洋大气署(NOAA)的美国气候中心(CPC)的逐日降水场(CPC Gauge-Based Analysis of Global Daily Precipitation)。文中部分图形出自国家气候中心开发的“亚洲气候诊断系统”。文中的气候常年值为 1981—2010 年的平均值。

2 2015 年 12 月至 2016 年 1 月北半球气候异常特征

图 1 给出了 2015 年 12 月至 2016 年 1 月全球气温和降水异常的空间分布图。多地气候异常显示出超强厄尔尼诺事件的影响,与以往厄尔尼诺冬季典型影响非常一致,包括东亚东北部和东南亚、澳大利亚南部、北美中西部和南美东部地区气温偏高(图 1a),东亚南部、北美南部、南美东南部和非洲中部地区降水偏多,南美北部降水偏少等(图 1b)。

气候虽然总体偏暖,但阶段性与区域性变化显著,很多地区经历了暖冷急转。2015 年 12 月,北半球陆地 30°N 以北大部地区气温偏高(图 2a),2016 年 1 月,北半球中纬度大部地区气温转为偏低(图 2b),其中 1 月上半月气温偏低的区域主要集中在美国西部、欧洲北部(图 2c);下半月,气温偏低的范围有所扩大,包括美国东部、加拿大、欧洲、西伯利亚西部和东亚(图 2d)。

美国大部地区 2015 年 12 月偏暖,进入 2016 年之后转为偏冷。备受关注的是 1 月 22 日开始,入冬以来最强冬季风暴乔纳斯(Jonas)袭击美国大西洋沿岸中部和东北部部分地区,造成上述地区降水异常偏多(图 3)。导致肯塔基州、北卡罗来纳州、弗吉尼亚州、马里兰州、田纳西州等地多人遇难,美国 13 个州的 20 万居民失去电力供应,20 个州的近 8500 万人口受到波及。据报道,“乔纳斯”为美国多地有记录以来的最强暴风雪,降雪量最大区位于西弗吉尼亚州东部(接近 40 in, 1 in=25.4 mm),马里兰州西部、纽约、新泽西州北部等地降雪量超过 30 in,宾夕法尼亚州的哈德斯堡、巴尔的摩、纽约肯尼迪机场附近等多个地区被超过 2 ft(1 ft=0.3048 m)深的积雪覆盖。另外,沿大西洋中部海岸地区发生极端大风事件,峰值出现在马里兰州的阿萨蒂格岛,最大风速达到 $85 \text{ mile} \cdot \text{h}^{-1}$ (1 mile $\cdot \text{h}^{-1}$ = 1.609 km $\cdot \text{h}^{-1}$)。

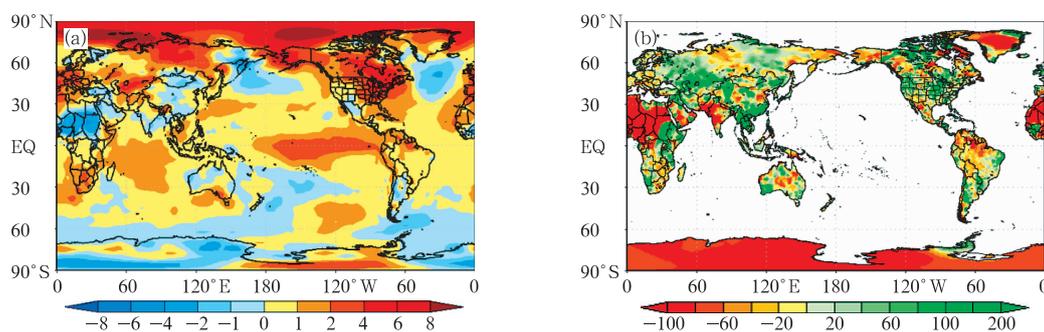


图 1 2015 年 12 月 1 日至 2016 年 1 月 31 日全球气温距平(a,单位:℃)和降水量距平百分率(b,单位:%)分布
(数据来源:NCEP 逐日再分析气温和 NOAA 逐日降水)

Fig. 1 Distribution of temperature anomalies (a, unit: °C) and precipitation anomaly percentage (b, unit: %) from December 2015 to January 2016

(Data source: daily temperature data from NCEP/NCAR reanalysis and daily global precipitation from NOAA CPC)

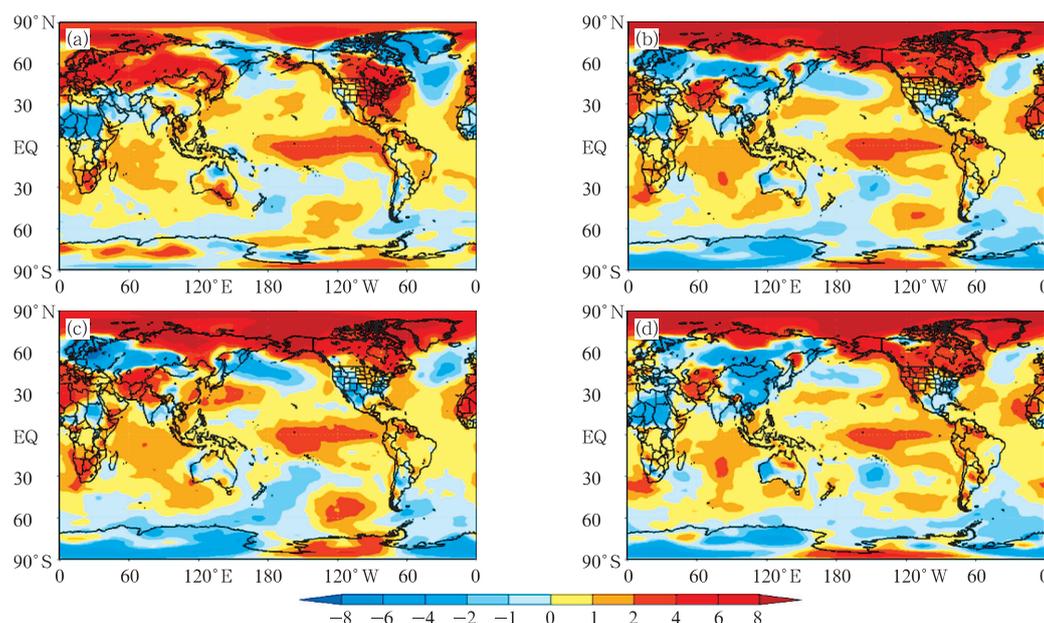


图 2 2015 年 12 月 1—31 日(a)、2016 年 1 月 1—31 日(b)、2016 年 1 月 1—15 日(c)和
2016 年 1 月 16—31 日(d)全球气温距平分布(单位:℃)

Fig. 2 Distribution of temperature anomalies (unit: °C) in December 2015 (a),
January 2016 (b), 1—15 January 2016 (c) and 16—31 January 2016 (d)

我国大部地区自入冬以来以偏暖为主,但 2016 年 1 月下半月以来转为以偏冷为主(图 2d)。这主要是受到 17—19 日和 22—25 日两次冷空气过程的影响,我国自北向南陆续出现大风降温天气。前一次冷空气过后,气温还没有明显回升,后一次全国性大范围的寒潮过程又接踵而至,造成我国大部地区气温骤降,冷暖急转,多地发生低温雨雪冰冻灾害,雪线一路南压,广州等一些南方城市出现多年不遇的降雪,江南中北部在历史罕见的超强冷平流中大幅降温,纷纷录得 1991 年以来的气温最低值。中国

气象局发布寒潮橙色预警。

受寒潮和雨雪冰冻极端天气影响,截止 1 月 23 日,浙江省受灾人口 49.36 万人,农作物受灾面积 5501 hm^2 ;倒塌房屋 7 间,因灾造成直接经济损失 4012.5 万元。福建局地出现农作物受冻、道路塌方、闽西及闽北部分地区电线结冰、电路跳闸、个别高速公路关闭。海南部分地区气温将降至 6~8℃,为 15 年来最低气温。琼州海峡于 23 日 07 时起全线停航。四川多地出现雨夹雪甚至大雪天气,造成四川电网共计 108 条线路跳闸,4224 台配电变压器

停电, 30 万多户用电受影响。贵州全省共 75 县(市、区)出现降雪, 其中 30 县出现积雪, 最大积雪深度为习水县的 9 cm; 28 县出现电线积冰, 最大直径 36 mm; 74 县最低气温在 0°C 以下, 最低为毕节市威宁县的 -8.4°C 。

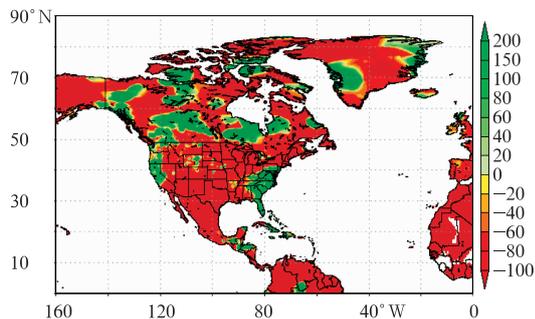


图 3 2016 年 1 月 23 日北美地区的降水距平百分率

(数据来源: NOAA CPC 逐日降水)

Fig. 3 Distribution of the precipitation anomaly percentage (unit: %) in North America on January 23, 2016

(Data source: daily global precipitation from NOAA CPC)

3 2015 年 12 月至 2016 年 1 月北半球冷暖急转的环流特征及可能成因

诊断分析表明: 北半球如此大范围的冷暖急转与北极涛动(AO)的位相转变有关。AO 表征的是北极地区和中纬度地区的位势高度场异常的跷跷板关系。当 AO 呈现正位相时, 极涡盘踞在北极圈, 北极地区位势高度场偏低, 地表温度偏冷, 中纬度位势高度场偏高, 地表偏暖。反之, AO 负位相时, 极涡减弱, 北极地区位势高度场偏高, 地表偏暖, 而中纬度位势高度场偏低, 气温偏低。AO 在 2015 年 12 月持续维持正位相(图 4), 北半球中高纬度大部分地区气温较常年同期偏高。而 2016 年 1 月, AO 的位相突然转换为负位相, 中高纬度气温转为偏冷。什么原因造成了 AO 位相的转换呢?

2015 年 12 月末, 北大西洋上空的异常气旋式风暴向北极移动, 将海洋上的暖湿气流带向北极(图 5), 此后, 北极气温迅速升高。研究表明, 北极地表增暖可以通过中纬度的非线性波流相互作用, 引起 AO 持续负位相(Nie et al., 2016)。在 2016 年 1 月初, AO 呈现负位相, 且负位相持续维持近 20 d。

原先位于北极圈的极涡开始分裂南下, 中高纬度环流的经向度增加。伴随极涡的分裂南下, 原先盘踞在北极圈的冷空气大局南下入侵中纬度地区。超强的冷平流造成了中纬度气温骤降。

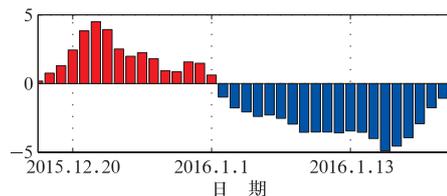


图 4 AO 指数逐日演变

Fig. 4 Daily AO index from December 2015 to January 2016

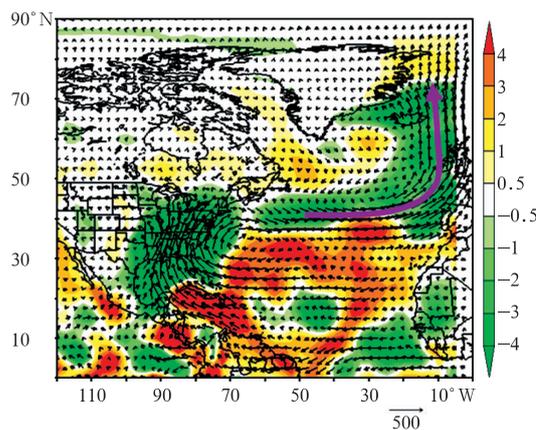


图 5 2015 年 12 月 28—30 日北大西洋地区水汽通量距平(单位: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)及其散度(单位: $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)分布

Fig. 5 The distributions of the anomalous integrated moisture flux (arrow, unit: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) and its divergence (shading, unit: $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) in North Atlantic Ocean during 28—30 December 2015

同时, 北半球如此大范围的冷暖急转也与阻塞活动的建立和崩溃有关。月初和中旬后期在乌拉尔山附近和贝加尔湖以东阻塞高压交替活动, 太平洋和大西洋阻塞高压也阶段性活跃(图 6)。500 hPa 位势高度场上, 1 月上半月, 负高度距平主要控制在大西洋东部至欧洲和北美至北太平洋地区(图 7a), 于是欧洲和美国西部发生了降温过程; 下半月以来, 负高度距平控制的区域扩大, 原先处于北美至北太平洋上空的低值区分裂, 靠近东亚沿岸的低压槽加深南压影响我国大部地区(图 7b)。

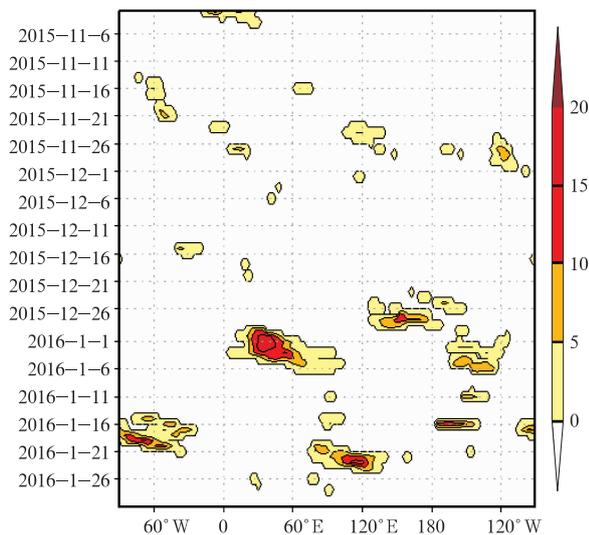


图 6 阻高活动逐日监测
(美国气候中心提供)

Fig. 6 Daily monitoring of the atmospheric blocking (from CPC, USA)

此外,厄尔尼诺发生时,赤道中东太平洋海表温度异常偏高,导致大气对流活动发展,上升运动加

强,与之相对应的西太平洋处于异常反气旋控制区,对流活动受到抑制。同时,赤道太平洋异常增温,增大了赤道和北极的温差,易造成海气系统不稳定,再配合以全球变暖的大背景,往往会在全球各地造成灾害性天气气候事件。厄尔尼诺一方面是通过引起沃克环流的减弱和哈得来环流的加强,影响热带和副热带地区的天气气候异常;另一方面是通过从热带传播中高纬的遥相关型来影响大气环流,从而影响热带外的天气气候异常。北半球大范围的冷暖急转可能与处于成熟期的 2015/2016 超强厄尔尼诺的间接影响有关。

在厄尔尼诺成熟期,东太平洋对流活跃,西太平洋对流受抑制,低层反气旋加强,中层的副热带高压(以下简称副高)偏强偏西。副高的偏强偏西配合活跃的南支槽,来自孟加拉湾和副高西侧的异常西南气流将大量水汽带向我国南方(图 8a)。因此,在厄尔尼诺年,我国南方的水汽条件通常较好。1 月中旬后副高强度较前期减弱(图 9a),脊线位置由偏北转为偏南(图 9b),由于副高的阶段性减弱南撤,有利

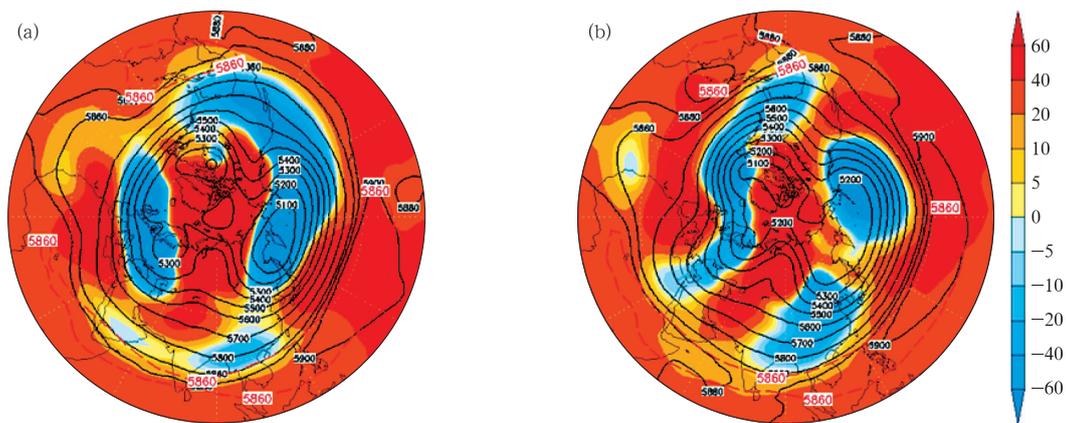


图 7 2016 年 1 月 1—15 日(a)和 16—31 日(b)500 hPa 位势高度及距平场
(阴影为距平场,等值线为实况场,红线表示 5860 和 5880 线,单位: gpm)

Fig. 7 Distribution of geopotential height (contour) and its anomaly (shading) at 500 hPa during 1—15 (a) and 16—31 January 2016 (b)
(Red line denotes the 5860 and 5880 contours of climatological means; unit: gpm)

于冷空气快速南下,导致冷暖急转,最低气温的 0℃ 线南压至我国华南地区。

与此同时,位于大西洋西部和美国东部的低压槽也开始加深(图 7b),北大西洋西部的气旋式涡

旋,将大西洋上空的水汽向西回流至北美东部区域,另外,南侧墨西哥湾地区的异常南风也将水汽带向北美东部(图 8b),共同造成北美东部 2016 年 1 月下旬初的暴风雪。

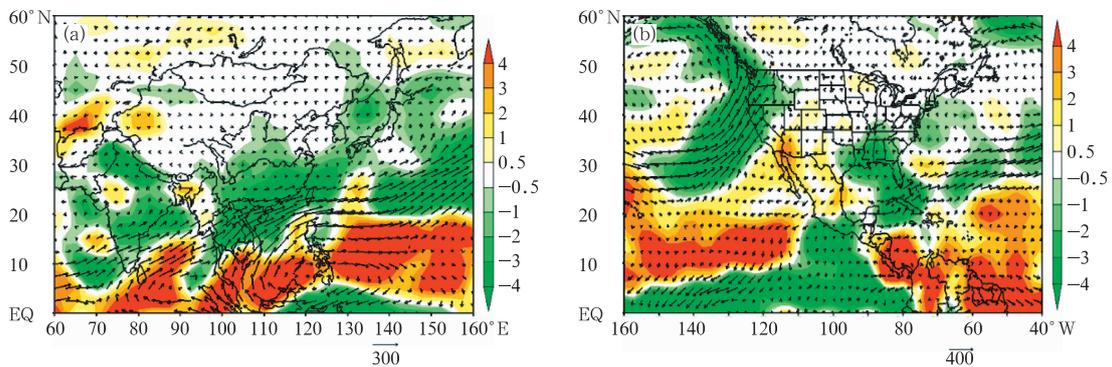


图 8 2016 年 1 月 16—22 日东亚(a)和北美(b)地区水汽通量距平(箭头,单位: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)及其散度(阴影,单位: $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)分布(国家气候中心提供)

Fig. 8 Distribution of the anomalous integrated moisture flux (arrow, unit: $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) and its divergence (shading, unit: $10^{-5} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$) in China (a) and North America (b) during 16—22 January 2016 (NCC/CMA)

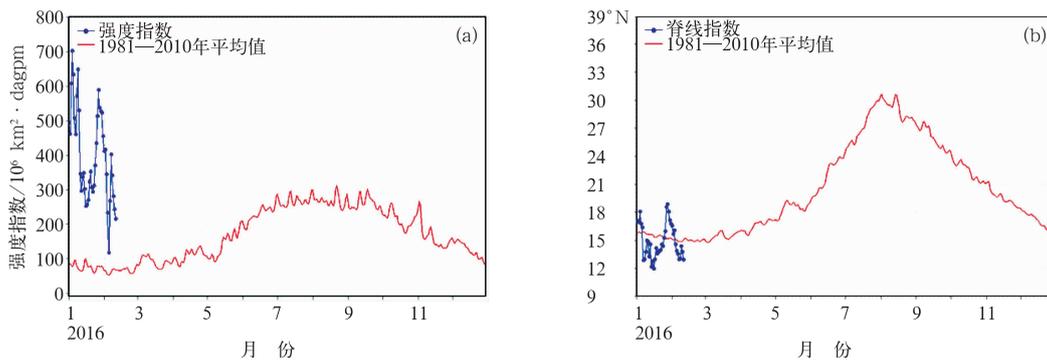


图 9 2016 年 2 月 11 日西北太平洋副高强度指数(a)和脊线位置(b)逐日监测(国家气候中心提供)

Fig. 9 Intensity (a) and ridge line index (b) of northwestern Pacific subtropical high on 11 February 2016 (NCC/CMA)

4 结论和讨论

利用 NCEP 再分析资料和台站观测资料,本文分析了 2015/2016 年前冬至隆冬的北半球中纬度地区暖冷急转的可能成因。分析指出,北极涛动在 2016 年 1 月初从原先的负位相转为正位相可能是导致温度骤降的主要原因。中高纬度地区阻塞活动的交替建立和崩溃也加剧了气温的变化。此外,厄尔尼诺年赤道太平洋异常增温,增大了赤道和北极的温差,易造成海气系统不稳定,再配合以全球变暖的大背景,人类活动改变了大气成分,导致温室效应加剧,从而打破了热量输送的平衡,往往会在全球各地造成灾害性天气气候事件。

在这次暖冷急转的事件中,北极涛动的位相转

换被认为是主要的原因。但是,关于北极涛动位相转换的本质原因,还值得进一步研究。平流层异常信号下传的影响或者是对流层下垫面条件的改变对北极涛动位相转换的作用仍是有待解决的问题。理解北极涛动位相转换的动力原因,对理解大气季节内变化具有十分重要的理论和现实意义。

参考文献

- 邵懿,周兵. 2016. 2015/2016 年超强厄尔尼诺事件气候监测及诊断分析. 气象, 42(5): 540-547.
- 司东,李清泉,柳艳菊,等. 2014. 2013/2014 年东亚冬季风异常偏弱的可能成因. 气象, 40(7): 891-897.
- 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. 气象, 42(7): 892-897.
- 孙丞虎,任福民,周兵,等. 2012. 2011/2012 年冬季我国异常低温特征及可能成因分析. 气象, 38(7): 884-889.

- 王东阡,崔童,司东,等. 2015. 2014/2015 年东亚冬季风活动特征及其可能成因分析. *气象*,41(7):907-914.
- 王东阡,周兵,孙丞虎,等. 2013. 2012/2013 年东亚冬季风活动特征及其可能成因分析. *气象*,39(7):930-937.
- 王朋岭,周兵,柳艳菊,等. 2015. 2014 年海洋和大气环流异常及对对中国气候的影响. *气象*,41(4):489-496.
- Barnes E A. 2013. Revisiting the evidence linking Arctic amplification to extreme weather in midlatitudes. *Geophys Res Lett*, 40(17):4734-4739. DOI:10.1002/grl.50880.
- Cohen J,Screen J A,Furtado J C, et al. 2014. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather. *Nat Geosci*, 7, 627-637. DOI:10.1038/ngeo2234.
- Donat M G,Alexander L V, Yang H, et al. 2013. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *J Geophys Res Atmos*,118:2098-2118.
- Francis J A, Vavrus S J. 2012. Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes. *Geophys Res Lett*,39(6), L06801. DOI:10.1029/2012GL051000.
- Kalnay E,Kanamitsu M,Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Amer Meteor Soc*,77(3):437-471.
- Liu J, Curry J, Wang H. 2012. Impact of declining Arctic sea ice on winter snowfall. *Proc Natl Acad Sci (USA)*, 109(11), 4074-4079. DOI:10.1073/pnas.1114910109.
- Nie Y,Zhang Y,Chen G, et al. 2016. Delineating the barotropic and baroclinic mechanisms in the midlatitude eddy-driven jet response to lower-tropospheric thermal forcing. *J Atmos Sci*,73:429-448.
- Reynolds R W,Smith T M,Liu Chunyin, et al. 2007. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. *J Climate*, 20(22):5473-5496.
- Screen J,Simmonds I. 2013. Exploring links between Arctic amplification and midlatitude weather. *Geophys Res Lett*,40:1-6. DOI:10.1002/GRL.50174.
- Seager R,Kushnir Y,Nakamura J, et al. 2010. Northern Hemisphere winter snow anomalies: ENSO,NAO and the winter of 2009/10. *Geophys Res Lett*, 37, L14703. DOI: 10.1029/2010GL043830.
- Seneviratne S I,Nicholls N, David E, et al. 2012. Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment // IPCC Special Report on Extremes,109-230.
- Serreze M, Barrett A, Stroeve J. 2009. The emergence of surface based Arctic amplification. *The Cryosphere*,3:11-19.