

2012年1月、2016年1月东亚两次极端严寒事件及其与北极增暖的可能联系

武炳义*

复旦大学 大气与海洋科学系/大气科学研究院,上海 200438

* 联系人, E-mail: bywu@fudan.edu.cn

2018-07-24 收稿, 2018-08-15 接受

国家自然科学基金资助项目(41790472;41730959;41475080);国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2015CB453200)

摘要 自20世纪80年代后期以来,我国频繁出现暖冬,直到2004年以后这种状况出现明显的变化,冷冬出现的频次明显增多了。在全球增暖、北极海冰减少明显的背景下,冬季极端严寒的强度非但没有减弱反而似乎还在增强,造成灾害性的影响也越发引人关注。在上述背景下,2012年1月、2016年1月在东亚发生了两次极端严寒事件。本文的目的就是通过合成和相关分析,研究这两次极端严寒事件演变的主要特征,及其与北极增暖的可能联系。

这两次极端严寒事件的环流演变截然不同。对于2012年1月的极端严寒事件,海平面气压异常主要呈现由东向西传播,在演变过程中,阿留申区域海平面气压超前西伯利亚高压,因此大气环流的下流效应起主要作用。对于2016年1月的极端严寒事件,冷空气主要由西北向东南传播。两次极端事件的主要降温区域的移动路径截然不同。2012年1月冷空气爆发以后主要在亚洲大陆中、高纬度维持并向西传播,其南传影响亚洲低纬度区域明显弱于2016年的冷事件。而2016年1月的主要降温区以沿东亚向南移动为主,强降温区直接南下至热带区域。

两次极端严寒事件爆发前期大气环流演变的共同点:中、高纬度区域环流能量交换活跃,表现为中纬度高度脊加强北伸,从而把较低纬度的暖空气输送至北极区域,高纬度区域对流层中层呈现多极结构。这种多极空间结构是亚洲冷空气向南爆发的重要前兆信号。冬季北极阶段性增暖过程首先是中纬度高度脊加强北伸的结果。对影响东亚的极端严寒过程,乌拉尔附近区域的高压脊以及位于北美西部的高压脊加强北上、协同演变是至关重要的。2016年1月东亚极端严寒过程与2015年12月末北极快速增暖没有必然联系。

关键词

极端严寒事件;
北极增暖;
西伯利亚高压;
阿留申低压

自20世纪80年代后期以来,东亚暖冬频繁出现,这种状况一直持续到2003年冬季。此后则是东亚冷冬频繁出现,极端严寒事件似乎变得频繁、强度也在加强(Wu et al., 2017)。这种转变与全球增暖,特别是与北极增暖以及北极海冰减少有密切关系(Screen and Simmonds, 2010; Wu et al., 2011; Cohen et al., 2013, 2014; Wu et al., 2013a; Feng and Wu,

2015; Wu, 2017)。研究表明,北极增暖速率是全球平均增暖的2~3倍,即所谓北极放大效应。北极海冰自20世纪90年代后期以来加速融化,夏季9月北极海冰范围频繁出现自有卫星观测记录以来的最低值。北极增暖和北极海冰消融,不仅对北冰洋的生态环境产生重要影响,而且通过复杂的相互作用和反馈过程,对遥远区域的天气过程和气候变率产

引用格式:武炳义,2019.2012年1月、2016年1月东亚两次极端严寒事件及其与北极增暖的可能联系[J].大气科学学报,42(1):14-27.

Wu B Y, 2019. Two extremely cold events in East Asia in January of 2012 and 2016 and their possible associations with Arctic warming [J]. Trans Atmos Sci, 42(1): 14-27. doi: 10.13878/j.cnki.dqkxxb.20180724002. (in Chinese).

生影响(Honda et al., 2009; Petoukhov and Semenov, 2010; Wu et al., 2011; Wu et al., 2017),甚至影响东亚夏季风和降水(Wu et al., 2013b)。北极增暖、北极海冰融化对中低纬度天气事件和气候变率的影响已成为国际研究的热点问题(武炳义, 2018)。

长期以来国内外学者对东亚寒潮和极端低温、冷涌开展了大量研究(Chang and Lau, 1980, 1982; Ding and Krishnamurti, 1987; Ding, 1990; Chen et al., 2004; Jeong and Ho, 2005; Takaya and Nakamura, 2005a, 2005b; Park et al., 2008, 2011)。例如,日本学者把影响东亚的寒潮天气活动分为两种情况,其一是源自北大西洋的寒潮向东传播,另一种则是扰动来自北太平洋向西传播进而影响东亚地区(Takaya and Nakamura, 2005a, 2005b)。但需要明确的是,研究天气尺度强降温过程很多都用到滤波方法,以便保留10 d以下的扰动信号。滤波的应用人为地改变了极端低温过程的原有信息,对于过程时间超过10 d的极端低温过程更是一种人为的歪曲。发生在2012年1月的极端低温过程持续时间超过16 d(1月17日—2月1日),该极端低温事件已经不再是天气尺度异常事件,而是短期气候异常事件。此后,冷空气向西席卷欧亚大陆。据媒体报道,这次严寒过程导致欧亚大陆超过700人死亡。2016年1月20日至25日,受北极大气环流变化的影响,我国自北向南陆续出现大风降温天气。22日至25日,全国出现了一次大范围的寒潮过程。虽然本次极端严寒明显弱于2012年1月的极端低温过程,但造成的影响也是极其少见的。据国家气候中心数据显示,2016年1月20日至25日,全国共529个气象站过程降温超过 12°C ,49个气象站发生极端日降温事件,8个气象站日降温幅度突破历史极值;有690个气象站发生极端低温事件,其中,67个县(市)日最低气温突破历史极值。这次强寒潮过程还对日本西部地区造成影响,导致冲绳出现了有观测记录以来的首次降雪。据媒体报道,本次极端低温过程导致泰国出现大范围降温,有7人被冻死。

以往研究认为,北极增暖、北极海冰减少有利于冷冬和极端严寒事件发生(Tang et al., 2013; Wu et al., 2013a, 2017; Wu, 2017)。2015年12月末,北极在几天之内气温快速升高了接近 30°C ,半个月以后东亚发生了极端严寒事件。目前,我们尚不知北极增暖是否与东亚极端严寒事件有内在的联系。本文的目的是分析这两次极端低温事件的演变过程、主要差异以及与北极增暖的联系。从这两次极端严寒

事件的演变过程来看,东亚极端严寒事件的发生,首先是中、高纬度大气环流能量交换的必然结果,即在事件爆发前,伴随着中纬度高压脊北上加强的过程,从而把较低纬度的暖空气直接输送到北极区域,引起北极的剧烈升温 and 北极大气环流的多极化、不稳定性加强,为冷空气在北极积聚加强进而向南爆发影响东亚奠定基础。在本文的个例分析中,不论是暖空气向北极入侵,还是北极积聚的冷空气南下,均与中纬度区域的大气环流演变有直接的关系。对影响东亚的极端严寒过程,乌拉尔附近区域的高压脊以及位于北美西部的高压脊加强北上、协同演变是至关重要的。因此,中纬度扰动过程决定了北极快速增暖的位置和强度,也决定了冷空气未来南下的位置和强度。

1 资料和方法

本文利用冬季(12月—次年2月)逐日(12月1日—次年2月28日)NCEP/NCAR再分析资料,时间段为1979—2016年,包括海平面气压,1000 hPa和500 hPa位势高度,表面气温(<http://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEP-NCAR/.CDAS-1/.DAILY/>)。在以下两个区域 $80^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 、 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 以及 $150^{\circ}\text{W}\sim 180^{\circ}\text{E}$ 、 $50^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$ 分别计算区域平均海平面气压来反映西伯利亚高压和阿留申低压强度。本文计算了 60°N 以北区域1000~500 hPa大气厚度的空间平均值(考虑了面积权重系数),来反映北极对流层中、低层平均温度变化。

2 两次极端严寒事件的大气环流背景

这两次极端低温事件的1月背景环流截然不同(图1)。在海平面气压场上,2012年1月正的异常覆盖了欧亚大陆中高纬度区域,而北美大陆中东部以及部分北极区域则为负异常,在亚洲低纬度和西北太平洋也为负异常。海平面气压正异常呈现哑铃状空间分布,两个正异常中心分别位于乌拉尔山和白令海,西伯利亚高压明显偏强而阿留申低压偏弱。而2016年1月正的海平面气压异常主要出现在欧亚大陆中高纬度、部分北极区域以及东亚和西北太平洋区域。负异常出现在北太平洋以及北美大陆大部分区域。因此,这两年海平面气压异常的主要差异出现在亚洲大陆东部和北太平洋区域,而共性特征是西伯利亚高压偏强。

在500 hPa高度场上,2012年1月异常呈现纬向带状分布,负异常覆盖了亚洲大陆中低纬度和西

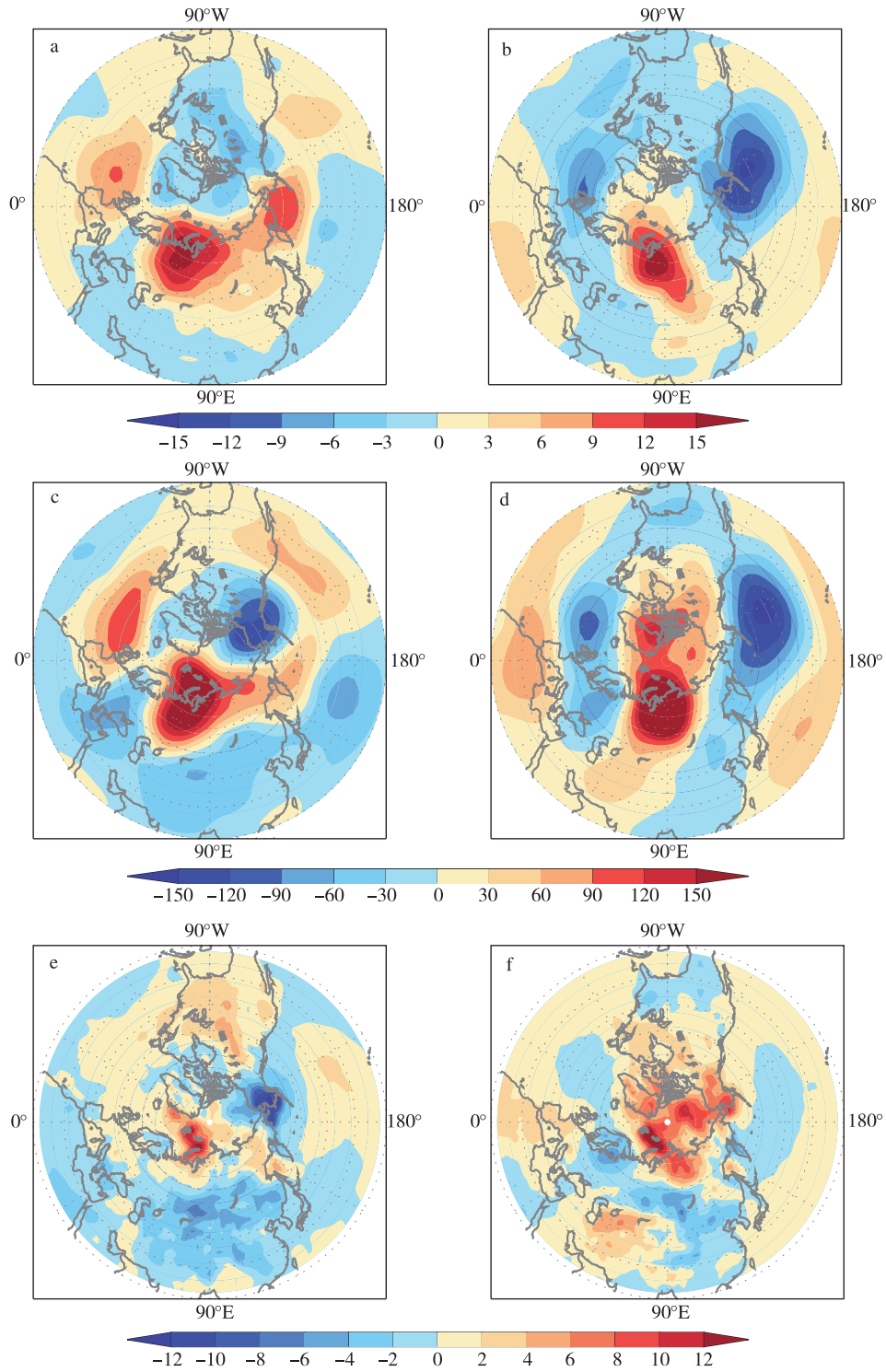


图1 2012年(a,c,e)、2016年(b,d,f)1月 SLP(a,b;单位:hPa)、500 hPa 位势高度(c,d;单位:gpm)和表面气温(e,f;单位:K)异常的空间分布(相对于1979—2016年平均值)
 Fig.1 The anomalies of (a,b) SLP(units:hPa), (c,d) 500 hPa geopotential height(units:gpm), and (e,f) surface air temperature (SAT; units:K) in January (a,c,e) 2012 and (b,d,f) 2016 (relative to the mean averaged over 1979—2016)

北太平洋区域,表明东亚大槽加深。2016年1月,西北太平洋区域是高度场的正异常区域,负异常主要出现在东亚沿岸,明显不同于2012年。这两年高

度场异常的相同点是,中心位于欧亚大陆北部的阻塞型异常,一方面有利于北极增暖,同时造成高纬度冷空气南侵。

在表面气温场上,2012年1月负异常占据了亚洲大陆大部分区域以及西北太平洋,而温度正异常主要出现在高纬度和北极区域,特别是格陵兰-巴伦支-喀拉海海域增暖尤为突出。与2012年相比,2016年1月北极表面气温正异常范围更大、强度更强。但东亚区域的气温负异常,范围及强度均明显弱于2012年。因此,北极暖异常与东亚的冷异常关系复杂,不是简单的线性关系。

3 两次极端严寒事件的演变过程

3.1 2012年1月极端低温事件的主要演变特征

亚洲大陆的这次极端严寒事件持续长达16 d(2012年1月17日—2月1日)(图2a;图2—图4引自Wu et al., 2017),已经不是天气尺度事件,而是一次短期极端气候事件。这次极端严寒事件的突出特征是,在冷空气爆发前阿留申低压经历了一次极端减弱的过程,并于1月16日达到最弱(1 040

hPa),当其气压开始回落时,冷空气爆发,并且阿留申低压最弱超前西伯利亚高压最强4 d(图2b)。SLP异常演变(图3)清楚地表明,在1月初(5—7日),在东北太平洋出现正的SLP异常中心,随着时间的推移,该正异常中心逐渐移向阿留申区域,并且异常振幅在逐渐增大,并于14—16日正异常达到最大值。此后,SLP正异常开始减弱,冷空气在亚洲大陆爆发。图3中显示,SLP正异常主要是从北太平洋向西传播,即大气环流的“下游效应”在本次极端严寒事件中起重要作用。

在500 hPa高度场(图4)上,冷空气爆发前高纬度区域有多个低值中心并存,这表明该区域大气环流处于不稳定状态。随着冷空气爆发日期的临近,在欧亚大陆和东北太平洋的中高纬度区域,高度脊明显加强并向北扩展,在冷空气爆发以后形成欧亚大陆阻塞高压和亚洲远东地区的极地阻塞高压。欧亚大陆的阻塞高压有利于高纬度冷空气南下,而

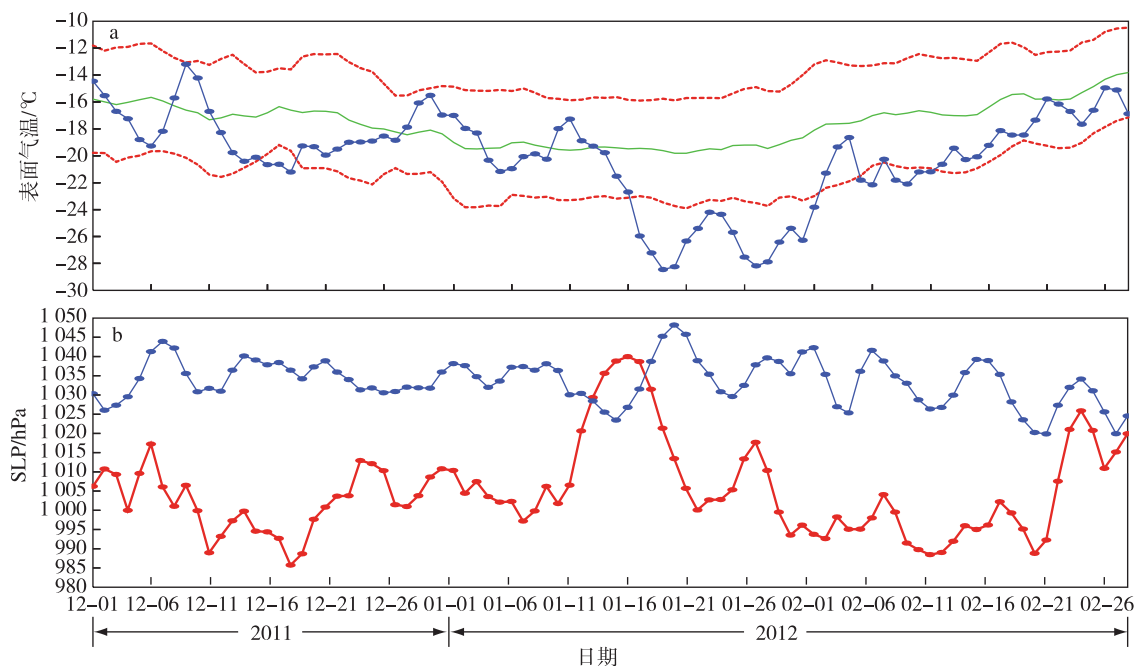


图2 (a)2011年12月1日—2012年2月28日(80°~120°E,40°~60°N)区域平均表面气温的逐日演变曲线(蓝色),绿色曲线为同一区域1979—2012年冬季(12月1日—次年2月28日)逐日表面气温平均值的演变,红色虚线为该区域冬季逐日表面平均值±逐日标准偏差,单位:°C;(b)2011年12月1日—2012年2月28日(80°~120°E,40°~60°N)区域平均SLP的逐日演变曲线(蓝色,单位:hPa;该曲线反映了西伯利亚高压强度指数的逐日演变特征),以及冬季(150°~180°W,50°~70°N)区域平均SLP的逐日演变曲线(红色,单位:hPa;该曲线反映了阿留申低压强度指数的逐日演变特征)(引自Wu et al.(2017))

Fig.2 (a) Winter (from 1 December to 28 February) daily SAT averaged over the region bounded by 80°—120°E and 40°—60°N in 2011—2012 (blue), the green is the same as the blue but for the daily climatological means over 33 winters from 1979 to 2012, and two dashed red lines represent the daily climatological means $\pm \sigma$ (daily standard deviations) (units: °C); (b) Winter daily Siberian high index (SHI) (blue, units: hPa) and Aleutian low index (ALI) (red, units: hPa) in 2011—2012 (from Wu et al.(2017))

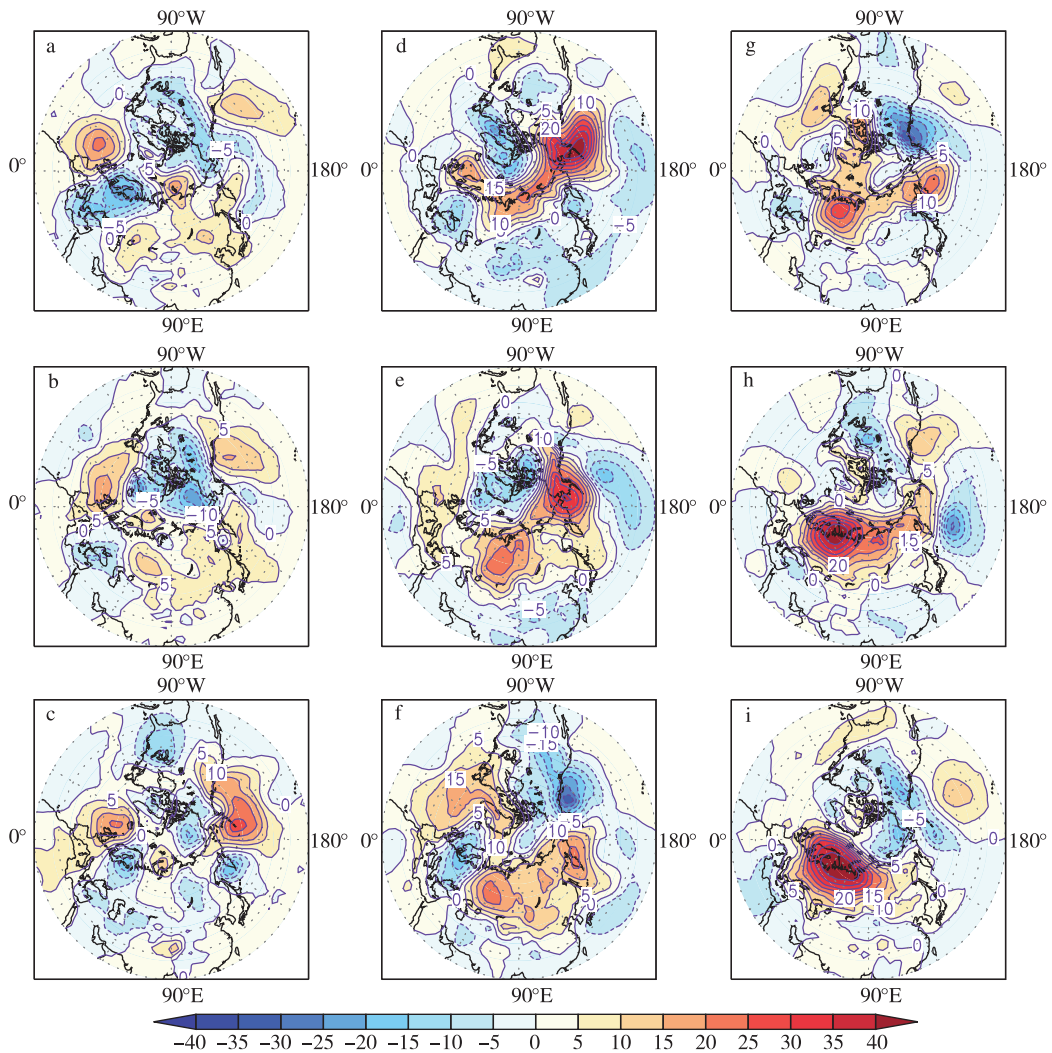


图3 2012年1月SLP异常的平均值(相对于1979—2012年冬季逐日平均值)的演变特征(单位:hPa): (a)5—7日;(b)8—10日;(c)11—13日;(d)14—16日;(e)17—19日;(f)20—22日;(g)23—25日;(h)26—28日;(i)29—31日(引自Wu et al.(2017))

Fig.3 Evolution of SLP anomalies(relative to winter daily means averaged over 1979—2012) averaged over consecutive three days during January 2012(units:hPa):(a) SLP anomalies averaged over 5 to 7 January, (b)—(i) same as in (a),but for 8 to 10,11 to 13,14 to 16,17 to 19,20 to 22,23 to 25,26 to 28,and 29 to 31 January (from Wu et al.(2017))

极地阻塞高压不利于南下的冷空气移出东亚。极地阻塞高压在减弱南落过程中穿越高度场低值区,与欧亚大陆阻塞高压合并。在冷空气南下接近尾声的时候,高纬度区域不再是多极结构,表明环流完成了一次调整,因释放了能量而变得简单稳定。高度场演变清楚地表明,极端严寒过程的酝酿、爆发以及结束是不同纬度大气环流相互配合的结果。

在表面温度场(图5)上,在冷空气爆发前期亚洲大陆大部分区域均为负异常,冷空气爆发后进一步的降温主要出现在亚洲大陆的中、高纬度地区,只有23—25日平均气温为 -5°C 的等温线跨越了 20°N 。在表面气温的演变过程中,北极部分区域一

直持续偏暖,特别是在巴伦支-喀拉海附近海域。在冷空气爆发以后,北极表面气温正异常尤为突出。

3.2 2016年1月极端低温事件的主要演变特征

2012年1月极端严寒的降温过程主要出现在亚洲大陆的中、高纬度地区,因此,选择 $80^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 、 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 区域平均表面气温来描述极端低温事件的起止时间(图1)。而发生在2016年1月的极端严寒事件,降温区在东亚区域主要呈现径向传播特征,因此,本文选择 $100^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ 、 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 区域平均表面气温来描述严寒事件的起止时间,其他条件与图1a类似。分析表明,本次极端严寒事件爆发于1月17日、终结于26日(图略)。

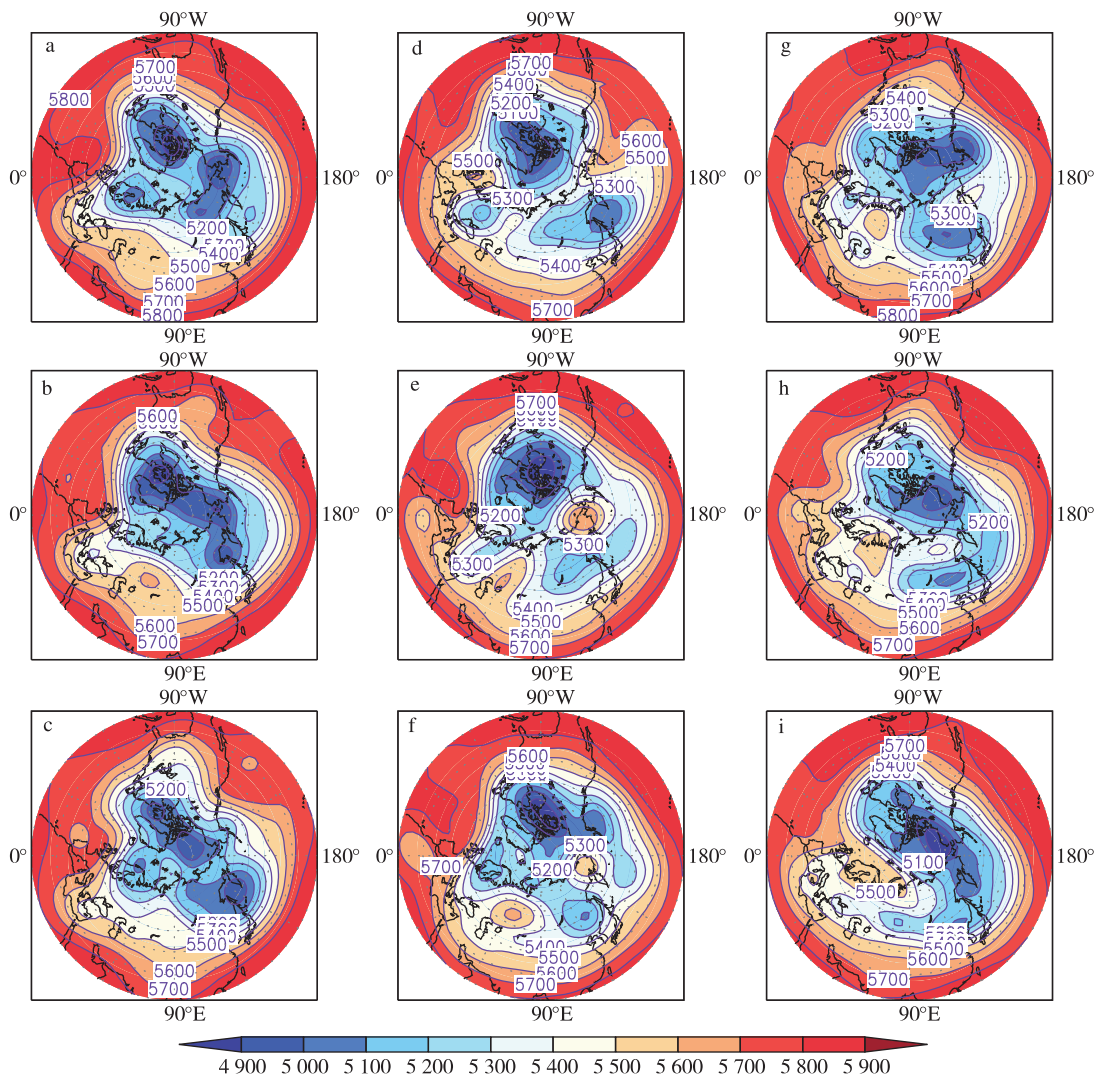


图4 2012年1月500 hPa位势高度的平均值的演变特征(单位:gpm):(a)5—7日;(b)8—10日;(c)11—13日;(d)14—16日;(e)17—19日;(f)20—22日;(g)23—25日;(h)26—28日;(i)29—31日(引自Wu et al.(2017))

Fig.4 Evolution of 500 hPa geopotential heights averaged over consecutive three days during January 2012 (units:gpm):(a) 500 hPa geopotential heights averaged over 5 to 7 January,(b)—(i) same as in (a),but for 8 to 10,11 to 13,14 to 16, 17 to 19,20 to 22,23 to 25,26 to 28,and 29 to 31 January (from Wu et al.(2017))

在海平面气压场(图6)上,冷空气爆发前期,欧亚大陆的中、北部区域持续维持正异常。位于北美大陆东部的海平面气压正异常逐渐北移、加强(图6c—e),在此过程中,亚洲大陆中、北部区域持续维持一个西北-东南走向的正异常区,表明有弱的冷空气持续影响该区域。在冷空气爆发前(图6f),北极大部分区域以及欧亚大陆北部为正异常。而爆发以后,正异常快速南移并向西扩展。整体上看,正异常区域演变呈现由西北向东南的传播特征。

在500 hPa高度场(图7)上,环流型经历了剧烈的变化,初期有两个高压脊,其一从欧洲向北延伸到喀拉海,另一位于北美西部。随着时间的延续,位

于欧洲的脊快速消亡,而位于欧亚大陆的脊持续稳定维持。高纬度地区依然出现多极结构,并维持到冷空气即将结束。此外,在冷空气爆发前以及爆发期间,欧亚大陆阻塞高压和极地阻塞高压共存,与2012年环流形式相似。而与2012年不同的是,极地阻塞高压位置明显偏北、偏弱,对于冷空气在东亚区域的滞留没有起到作用。

在表面气温异常场(图8)上,整个研究时间段内,高纬度区域持续偏暖,冷空气爆发后,降温区域主要沿着东亚沿岸快速南下。与2012年不同的是,南下冷空气造成的降温幅度明显偏大,在东亚低纬度区域气温负异常低于-10℃。

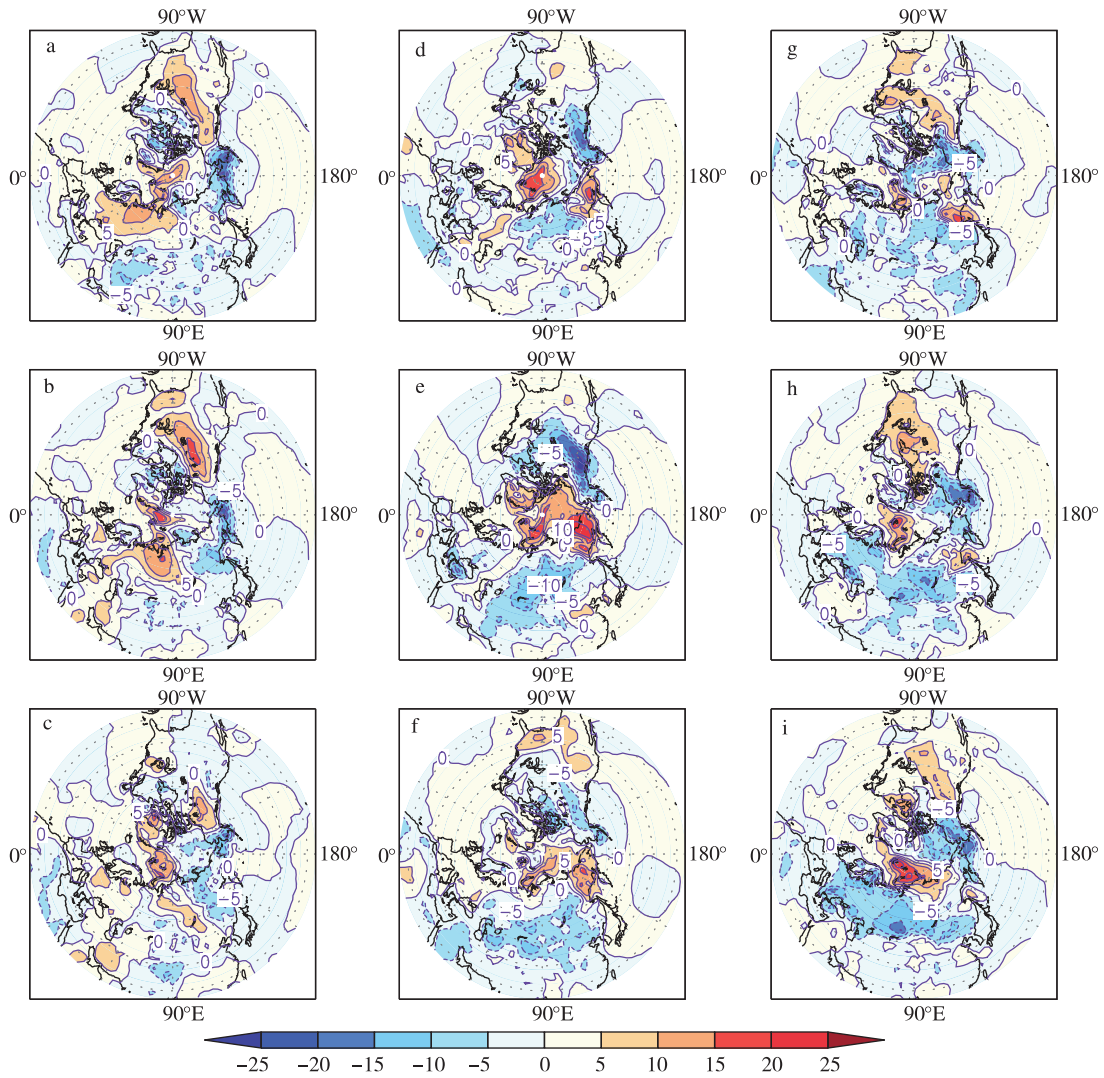


图5 2012年1月表面气温异常的平均值(相对于1979—2012年冬季逐日平均值)的演变特征(单位:K): (a)5—7日;(b)8—10日;(c)11—13日;(d)14—16日;(e)17—19日;(f)20—22日;(g)23—25日;(h)26—28日;(i)29—31日

Fig.5 Evolution of SAT anomalies (relative to winter daily means averaged over 1979—2012) averaged over consecutive three days during January 2012 (units:K): (a) SAT anomalies averaged over 5 to 7 January, (b)—(i) same as in (a), but for 8 to 10, 11 to 13, 14 to 16, 17 to 19, 20 to 22, 23 to 25, 26 to 28, and 29 to 31 January

4 差异的主要原因

在东亚,尽管冷空气爆发一般都对应特定的环流型,例如,欧亚大陆阻塞高压(乌拉尔阻塞高压)、加深的东亚大槽,以及加强的西伯利亚高压等。但是具体到每一次冷空气过程,环流的演变又呈现出个体特殊性。这两次极端严寒事件爆发前后的环流演变截然不同,2012年海平面气压异常表现为从东向西传播,首先阿留申低压减弱,然后西伯利亚高压加强。因此,该极端严寒事件演变过程更多地反映了大气环流的下游效应。而2016年,海平面气压异常从北美东海岸向北,经过北大西洋北部和格陵

兰,传播到欧亚大陆北部。因此,环流演变呈现从西北向东南的传播特征。背景环流截然不同造成上述极端事件时空演变存在很大差异。选取180°E~150°W,50°~70°N以及80°~120°E,40°~60°N两个区域,分别计算1月海平面气压的区域平均值(图9)。2012年1月西伯利亚高压强度是研究时段内的最大值,同时,阿留申低压强度也是正异常,反映了西伯利亚高压和阿留申低压反位相演变的主要特征,即西伯利亚高压加强的同时阿留申低压减弱(图1a)。2016年1月西伯利亚高压强度为次大值,而阿留申低压也异常偏强,反映了西伯利亚高压和阿留申低压的同位相变化关系。2011/2012年冬

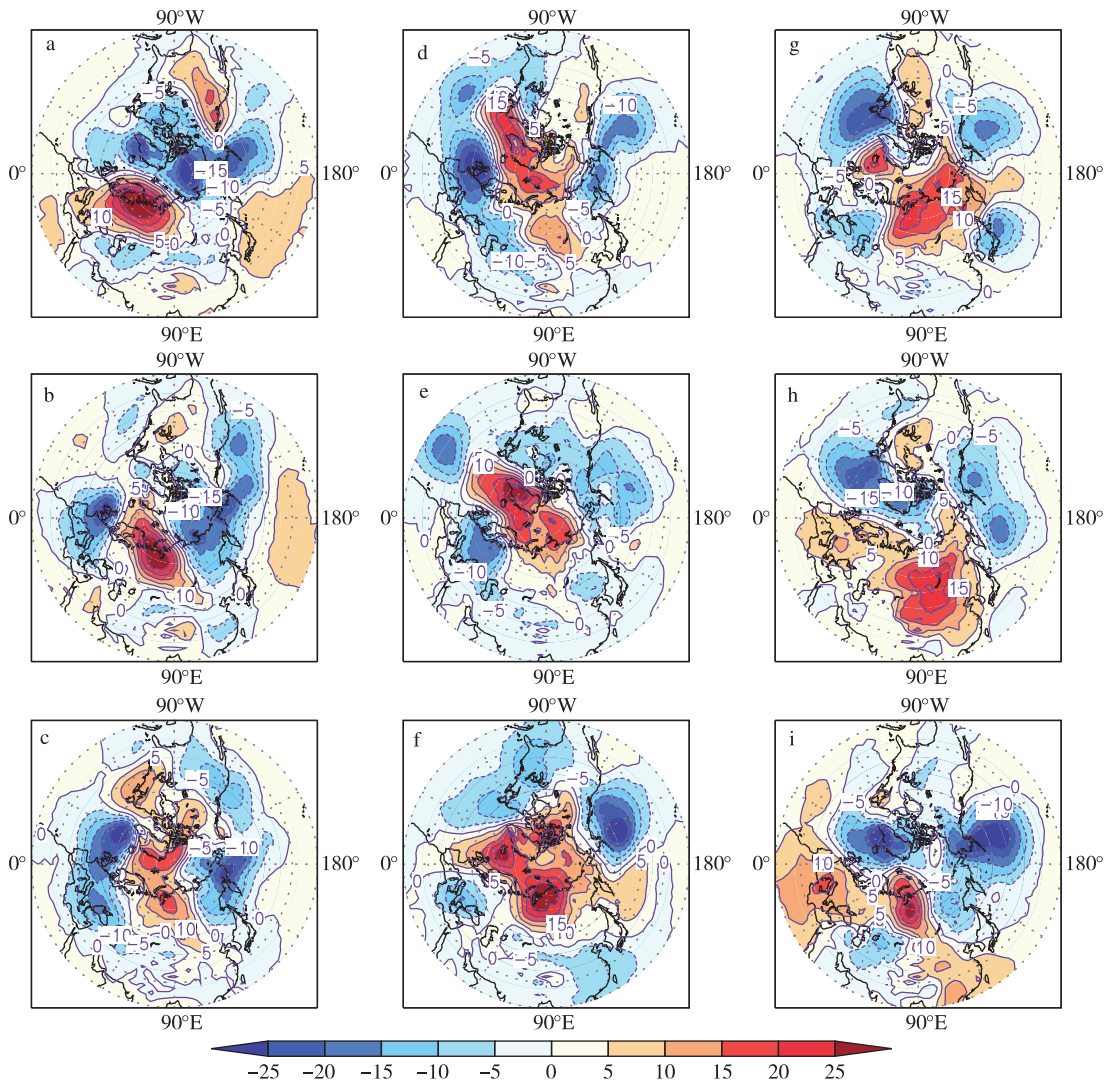


图6 2015年12月—2016年1月SLP异常的平均值(相对于1979—2012年冬季逐日平均值)的演变特征(单位:hPa):(a)12月31日—1月2日;(b)1月3—5日;(c)1月6—8日;(d)1月9—11日;(e)1月12—14日;(f)1月15—17日;(g)1月18—20日;(h)1月21—23日;(i)1月24—26日

Fig.6 Evolution of SLP anomalies (relative to winter daily means averaged over 1979—2012) averaged over consecutive three days from December 2015 to January 2016 (units: hPa): (a) SLP anomalies averaged over 31 December to 2 January, (b)—(i) same as in (a), but for 3 to 5, 6 to 8, 9 to 11, 12 to 14, 15 to 17, 18 to 20, 21 to 23, and 24 to 26 January

季赤道中东太平洋出现了 La Niña 事件,2015/2016 年冬季则发生了历史上所谓最强的 El Niño 事件(贺圣平等,2016)。因此热带海温异常的截然不同导致阿留申低压的异常完全相反,但最强 El Niño 事件并不能掩盖海冰异常偏少对该冬季西伯利亚高压的影响(武炳义和杨琨,2016)

5 与北极增暖异常的可能联系

北极增暖对应对流层中、低层大气厚度增加,进而减弱了高纬度区域纬向风强度,从而有利于高纬度区域阻塞环流的出现和冷空气南下,导致中、低纬

度区域冬季极端严寒事件发生。但实际情况要复杂得多,如图 10a 所示,月平均 1 月北极区域(60°N 以北)对流层中、低层(1 000~500 hPa)平均厚度呈现明显的年际变化,2016 年 1 月是自 1979 年以来最暖的月份,而 2012 年则接近常年(5 058 gpm)。2011/2012 年冬季区域(80°~120°E,40°~60°N)平均气温低于-28℃的有 3 d;而 2015/2016 年冬季该区域平均气温均高于-27℃。因此,从 1 月北极背景气温来看,极端严寒的强度与北极增暖异常绝不是线性关系。

从北极区域大气厚度场逐日演变来看,2012 年

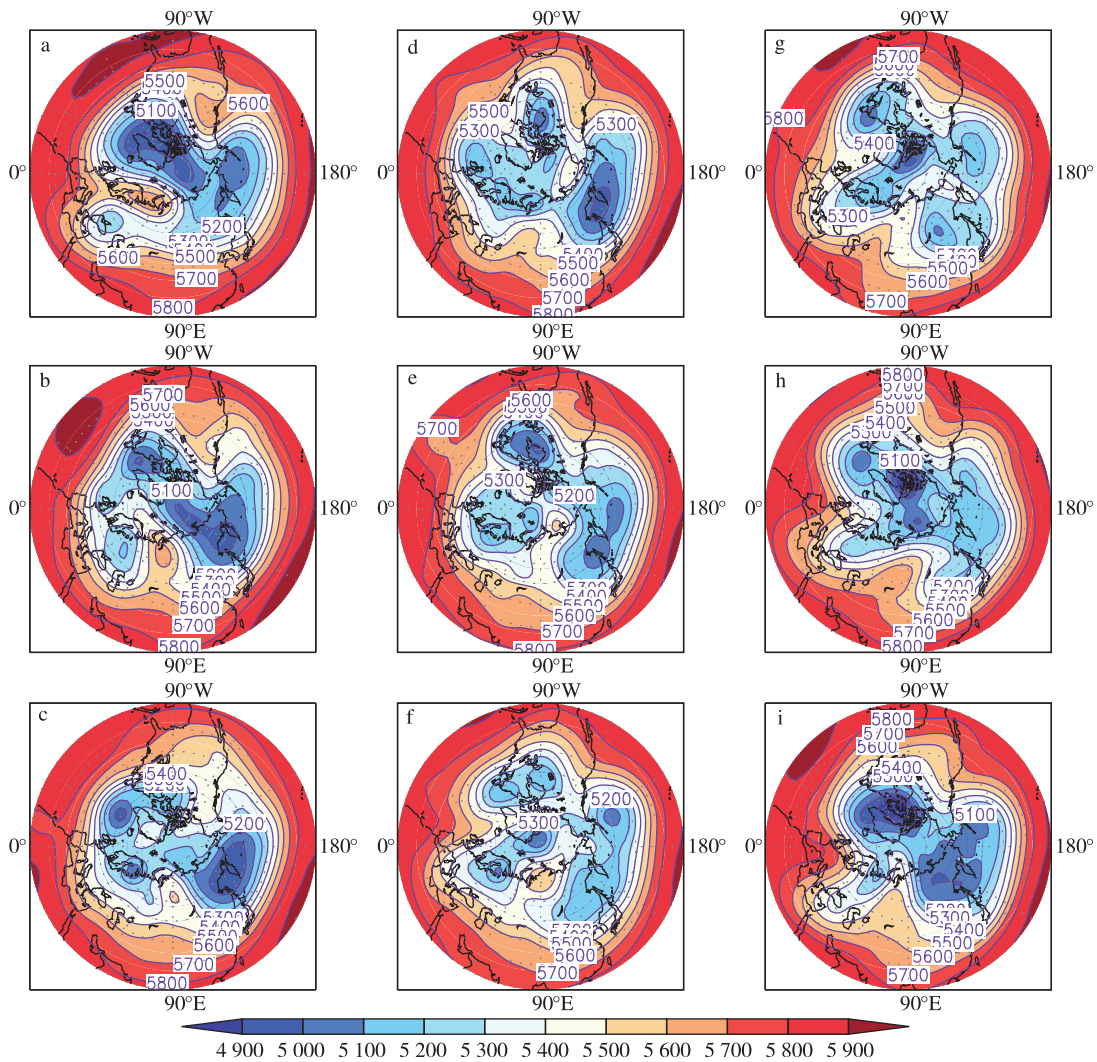


图7 2015年12月—2016年1月500 hPa位势高度的平均值的演变特征(单位:gpm):(a)12月31日—1月2日;(b)1月3—5日;(c)1月6—8日;(d)1月9—11日;(e)1月12—14日;(f)1月15—17日;(g)1月18—20日;(h)1月21—23日;(i)1月24—26日

Fig.7 Evolution of 500 hPa geopotential heights averaged over consecutive three days from December 2015 to January 2016 (units:gpm):(a) 500 hPa geopotential heights averaged over 31 December to 2 January,(b)—(i) same as in (a),but for 3 to 5,6 to 8,9 to 11,12 to 14,15 to 17,18 to 20,21 to 23,and 24 to 26 January

1月冷空气爆发时,正好对应北极区域气温异常偏高(图10b),此后北极区域气温快速降低,于24日达到最低值。而2016年冬季,北极地区最高气温出现在12月31日,此后就呈现下降趋势,当冷空气影响东亚时,北极气温的下降与升温期并存。从冬季大气环流的空间结构看,格陵兰东部至欧洲西部区域,以及东北太平洋至北美西部是较低纬度暖空气进入北极的快速通道。暖空气进入北极的同时,将把部分北极冷空气挤出北极,即在伸向北极的高压脊的前部,冷空气被输送到中、高纬度区域。本文中,2015年12月末和2016年1月初北极快速增暖,同时欧洲和北美洲中、西部则同时出现明显的降温

异常,就是这种影响的佐证。而影响东亚的极端严寒过程与乌拉尔附近区域的阻塞型环流异常有密切的关系,不论冷空气是源于北大西洋,还是太平洋,冷空气爆发均伴随乌拉尔阻塞的异常加强。乌拉尔阻塞环流异常同时将北极增暖与冷空气南下影响东亚联系起来。因此,不能把北极增暖过程与后期东亚极端严寒过程简单地联系起来。统计分析结果(图11a)表明,北极对流层中、低层异常偏冷时,滞后15~21d(滞后相关系数大于0.5)亚洲中、高纬度区域表面气温将偏低。该结果与图2a、10b所示结果一致,因此对于这个极端严寒的个例,前期北极冷有利于后期亚洲大陆出现低温。而图11b所显示的

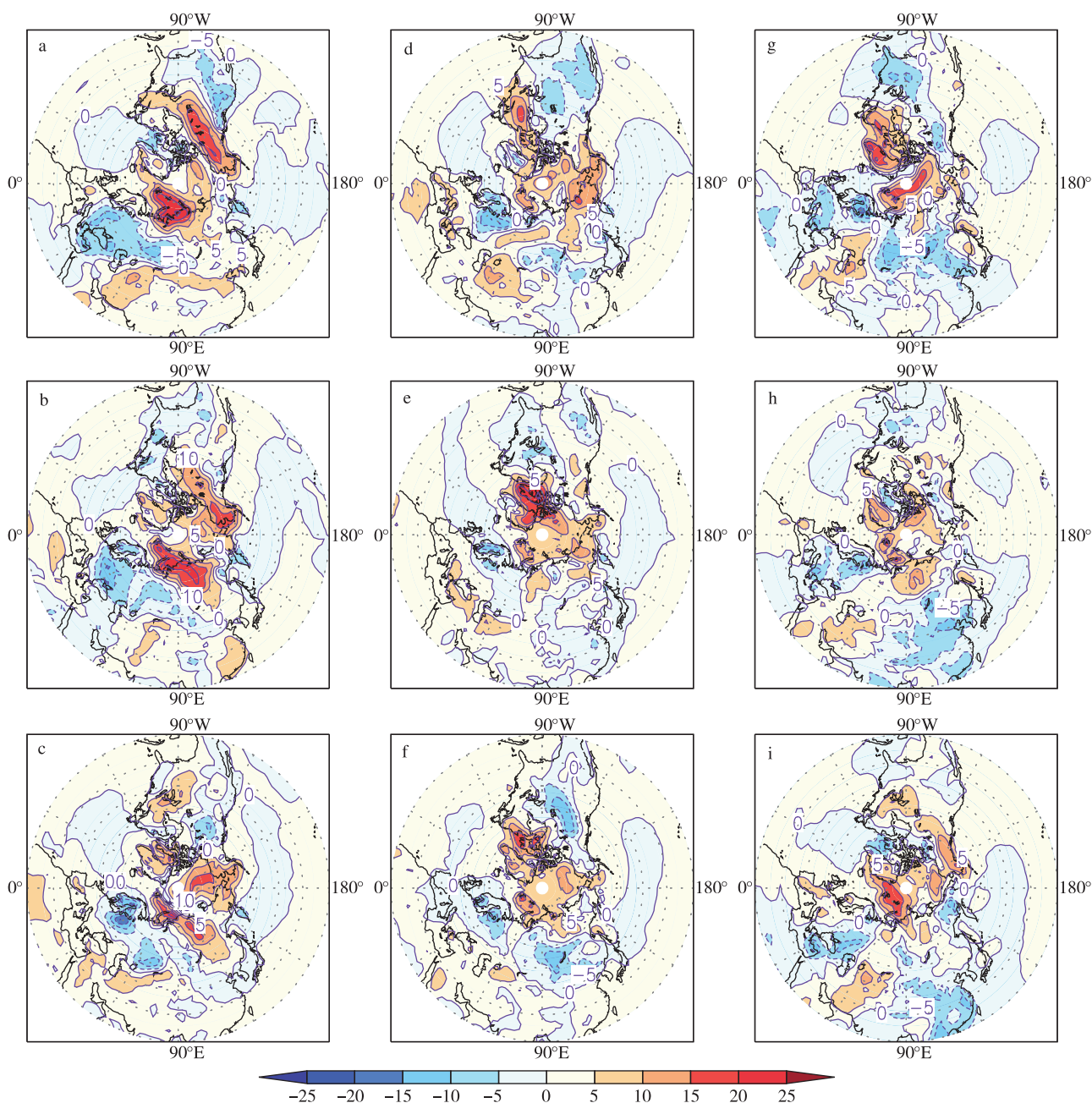


图8 2015年12月—2016年1月表面气温异常的平均值(相对于1979—2012年冬季逐日平均值)的演变特征(单位:K): (a)12月31日—1月2日;(b)1月3—5日;(c)1月6—8日;(d)1月9—11日;(e)1月12—14日;(f)1月15—17日;(g)1月18—20日;(h)1月21—23日;(i)1月24—26日

Fig.8 Evolution of SAT anomalies(relative to winter daily means averaged over 1979—2012) averaged over consecutive three days from December 2015 to January 2016(units:K): (a) SAT anomalies averaged over 31 December to 2 January, (b)—(i) same as in (a), but for 3 to 5, 6 to 8, 9 to 11, 12 to 14, 15 to 17, 18 to 20, 21 to 23, and 24 to 26 January

结果则完全相反,滞后时间在1~21 d 相关系数均为负值,其中滞后14~16 d,统计关系最为紧密。对于2016年1月极端严寒个案,前期南北极异常偏暖有利于后期亚洲大陆出现低温异常。两个极端严寒个案的统计分析结果完全相反,因此仅凭北极快速增暖过程,不能断定有利于后期亚洲极端严寒事件的发生。

6 结论和讨论

本文分析了两次影响东亚区域的极端严寒过程的背景环流异常、极端严寒过程爆发前后的环流演变的主要特征,以及与北极增暖异常的可能联系,得到以下主要结论:

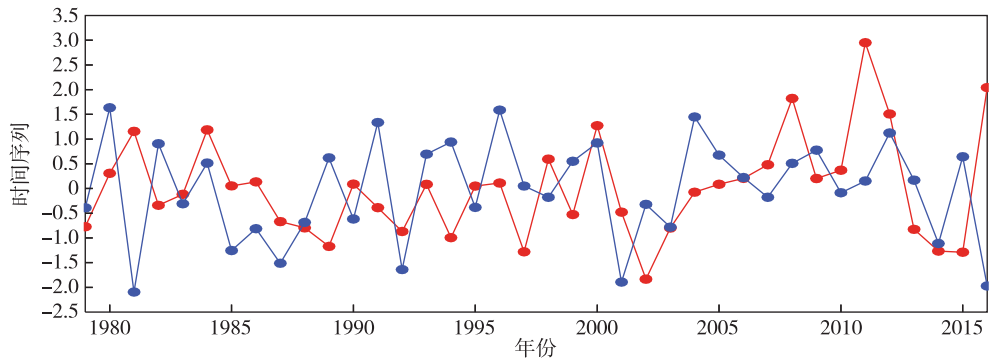


图9 180°~150°W、50°~70°N区域(蓝色)和80°~120°E、40°~60°N区域(红色)1月海平面气压平均值的标准化时间序列

Fig.9 Normalized time series of January SLP regionally averaged over 180°—150°W, 50°—70°N (blue) and 80°—120°E, 40°—60°N (red)

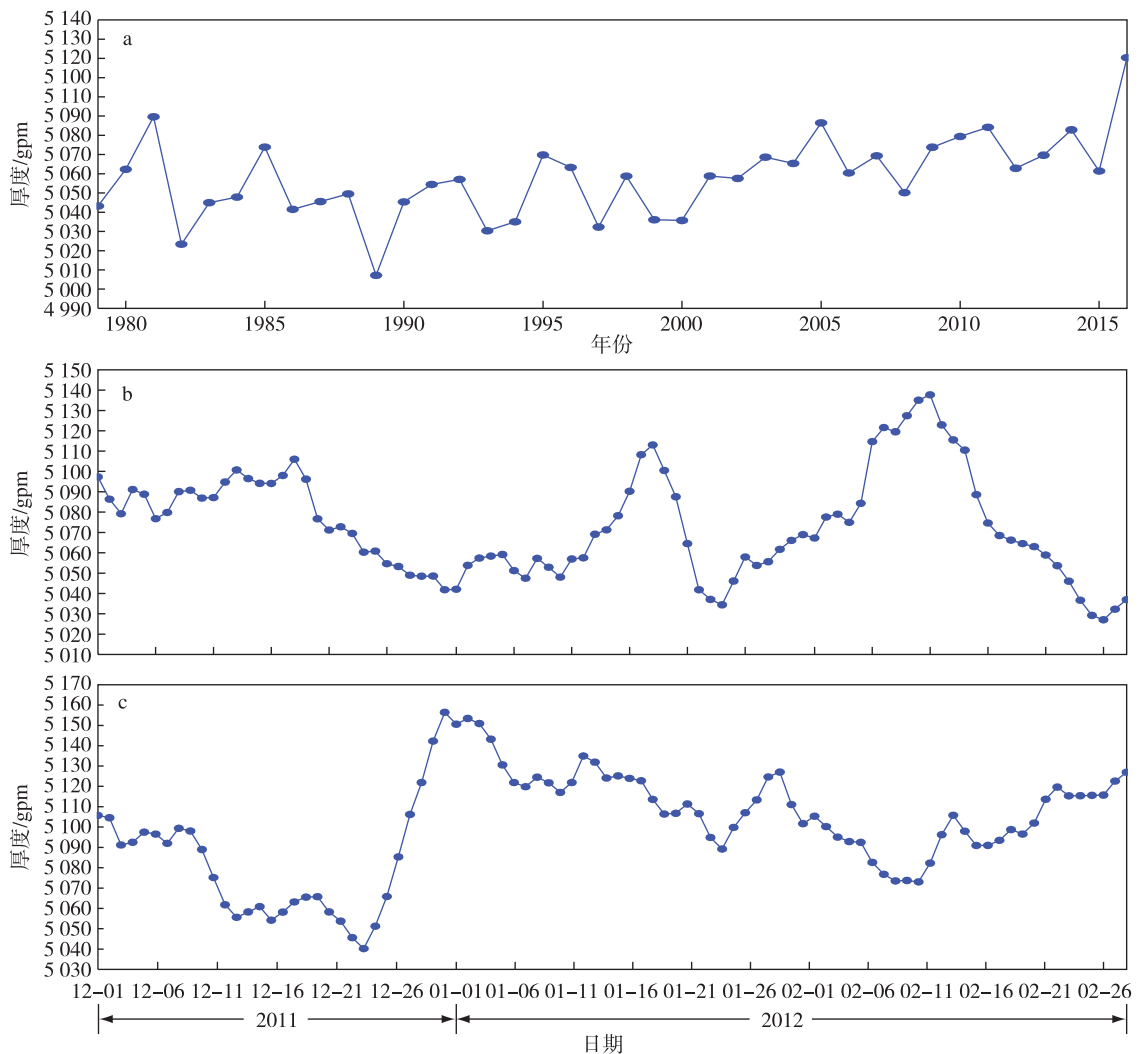


图10 (a)1月面积权重的北极区域(60°N以北)1 000~500 hPa厚度平均值的年际变化,(b)和(c)与(a)类似,但分别为2011/2012年冬季和2015/2016年冬季逐日1 000~500 hPa厚度平均值演变曲线(单位:gpm)

Fig.10 (a) Interannual variation of January area-weighted 1 000—500 hPa thickness averaged over north of 60°N, (b) and (c) same as in (a), but for winter daily 1 000—500 hPa thickness during the winters of 2011/2012 and 2015/2016, respectively (units:gpm)

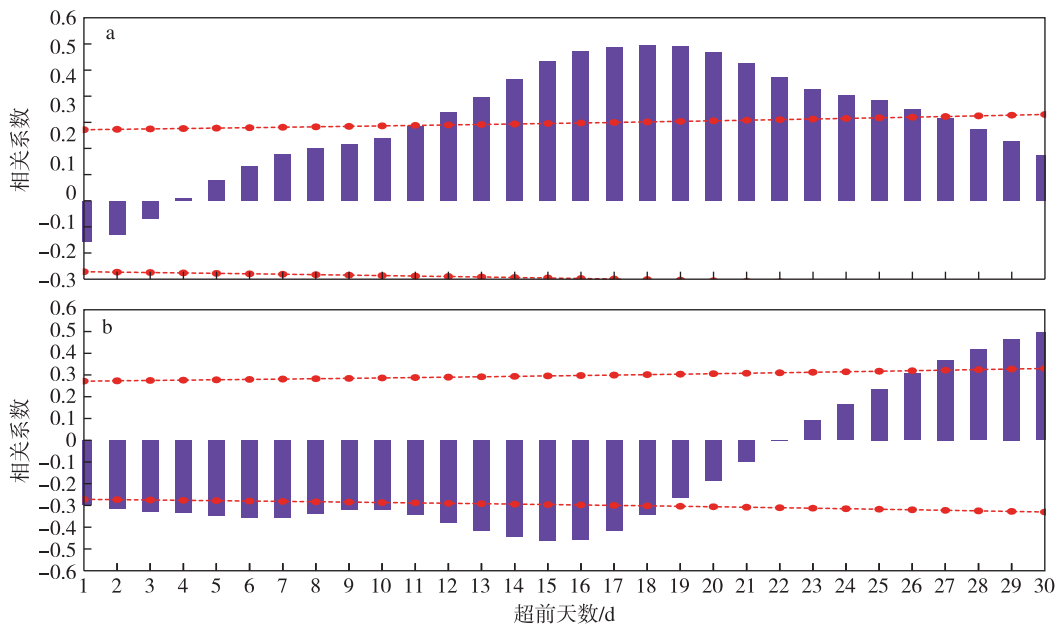


图 11 冬季面积权重的北极区域 (60°N 以北) $1\ 000\sim 500\ \text{hPa}$ 厚度平均值与亚洲区域 ($80^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$, $40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$) 平均表面气温的相关系数 (横坐标表示北极区域厚度超前亚洲表面气温的天数; 红色虚线表示相关系数达到 0.01 信度的显著性水平): (a) 2011/2012 年冬季; (b) 2015/2016 年冬季

Fig.11 Correlation coefficients between winter daily area-weighted $1\ 000\text{—}500\ \text{hPa}$ thickness averaged over north of 60°N and winter daily regionally ($40^{\circ}\text{—}60^{\circ}\text{N}$, $80^{\circ}\text{—}120^{\circ}\text{E}$) averaged SAT (Abscissas denote day numbers that the thickness leads the SAT. The red dashed lines represent correlation coefficients at 0.01 significance level): (a) winter of 2011/2012; (b) winter of 2015/2016

1) 两次极端严寒过程的冷空气演变路径截然不同。2012年1月亚洲极端严寒爆发前期,环流异常演变的主要特征是阿留申低压的减弱。在事件爆发以前,大气扰动可以追溯到北美大陆的中纬度区域,随着时间的推移,正的海平面气压异常逐渐北移、强度逐渐加强并占据了阿留申区域。当阿留申区域海平面气压开始回落时,亚洲大陆极端严寒爆发,此时西伯利亚高压达到最大。因此对于本次极端严寒过程,大气环流的“下游效应”起重要作用,扰动从北太平洋区域西传至东亚。而2016年1月极端严寒过程,冷空气主要路径是由西向东传播。在极端严寒爆发前期,海平面气压正异常出现在北美大陆东部,随后逐渐北移至北美东北部,途径北大西洋北部、格陵兰,最后到达欧亚大陆北部。2012年1月冷空气爆发后的路径以准纬向为主,表现为从东亚向西传播。而2016年1月冷空气爆发路径以径向传播为主,主要沿东亚向南传播,因此对东亚和南亚低纬度区域产生的影响更为突出。

2) 两次极端严寒事件爆发前期和爆发后大气环流演变的共同点:爆发以前,中、高纬度区域环流能量交换活跃,表现为中纬度高度脊加强北伸,从而

把较低纬度的暖空气输送至北极区域,高纬度区域对流层中层呈现多极结构;亚洲冷空气爆发与欧亚大陆中纬度高度脊加强北伸形成阻塞高压型环流异常有直接的关系。因此高纬度区域对流层中层的多极空间结构,是亚洲冷空气向南爆发的重要前兆信号。

3) 导致两次极端严寒事件的不同与大气环流背景有密切关系。尽管2012和2016年1月西伯利亚均明显偏强,但环流异常截然不同。2012年1月加强的西伯利亚高压与减弱阿留申低压共存,从而形成了横跨欧亚大陆和北太平洋中、高纬度的哑铃状大气环流异常的空间结构。而2016年1月则是加强的西伯利亚高压与加深的阿留申低压共存,从而有利于冷空气向南侵袭。而阿留申低压的截然不同,则与La Niña (2011/2012) 和El Niño (2015/2016) 事件有直接的关系。

4) 冬季北极阶段性增暖过程,首先是中纬度高度脊加强北伸的结果,其中北大西洋区域和北太平洋至北美西部的暖高压脊加强北伸,是输送较低纬度暖空气的进入北极的最佳路径。2016年1月东亚极端严寒过程与2015年12月末北极快速增暖没

有必然的联系。

东亚区域极端严寒过程不仅是不同纬度大气环流相互作用的结果,更与海温和海冰等外强迫异常有联系。数值模拟试验已经指出,北极海冰减少以及北极大气环流异常是导致2012年1月极端严寒事件的可能原因之一。此外,2011/2012年冬季的La Nina事件对冬季阿留申低压的减弱也有重要贡

献。2016年1月阿留申低压的加强与El Niño事件有关系,北极海冰减少是导致西伯利亚高压加强的主要原因。尽管2011/2012年冬季的La Niña事件对冬季北极增暖有贡献,但该冬季北极增暖明显弱于2015/2016年冬季。北极增暖过程复杂多变,需要更多的北极增暖过程资料,来进一步研究这些过程与后期东亚极端严寒过程的联系。

参考文献(References)

- Chang C P, Lau K M W, 1980. Northeastly cold surges and near-equatorial disturbances over the winter MONEX area during december 1974. part II: planetary-scale aspects[J]. *Mon Wea Rev*, 108(3): 298-312.
- Chang C P, Lau K M, 1982. Short-term planetary-scale interactions over the tropics and midlatitudes during northern winter. part I: contrasts between active and inactive periods[J]. *Mon Wea Rev*, 110(8): 933-946.
- Chen T C, Huang W R, Yoon J H, 2004. Interannual variation of the east Asian cold surge activity[J]. *J Climate*, 17(2): 401-413.
- Cohen J, Jones J, Furtado J, et al., 2013. Warm arctic, cold continents; a common pattern related to Arctic sea ice melt, snow advance, and extreme winter weather[J]. *Oceanog*, 26(4): 150-160. doi: 10. 5670/oceanog.2013.70.
- Cohen J, Screen J A, Furtado J C, et al., 2014. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather[J]. *Nature Geosci*, 7(9): 627-637. doi: 10. 1038/ngeo2234.
- Ding Y H, 1990. Build-up, air mass transformation and propagation of Siberian High and its relations to cold surge in East Asia[J]. *Meteor Atmos Phys*, 44(1/2/3/4): 281-292.
- Ding Y H, Krishnamurti T N, 1987. Heat budget of the Siberian High and the winter monsoon[J]. *Mon Wea Rev*, 115(10): 2428-2449.
- Feng C, Wu B, 2015. Enhancement of winter Arctic warming by the Siberian High over the past decade[J]. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 8(5): 257-263.
- 贺圣平, 王会军, 徐鑫萍, 等, 2016. 2015/2016 冬季北极世纪之暖与超级厄尔尼诺对东亚气候异常的影响[J]. *大气科学学报*, 39(6): 735-743.
- He S P, Wang H J, Xu X P, et al., 2016. Impact of Arctic warming and the super El Niño in winter 2015/2016 on the East Asian climate anomaly[J]. *Trans Atmos Sci*, 39(6): 735-743. (in Chinese).
- Honda M, Inoue J, Yamane S, 2009. Influence of low Arctic sea-ice minima on anomalously cold Eurasian winters[J]. *Geophys Res Lett*, 36(8): L08707. doi: 10. 1029/2008GL037079.
- Jeong J H, Ho C H, 2005. Changes in occurrence of cold surges over east Asia in association with Arctic Oscillation[J]. *Geophys Res Lett*, 32: L14704. doi: 10. 1029/2005GL023024.
- Park T W, Jeong J H, Ho C H, et al., 2008. Characteristics of atmospheric circulation associated with cold surge occurrences in East Asia: a case study during 2005/2006 winter[J]. *Adv Atmos Sci*, 25(5): 791-804. doi: 10. 1007/s00376-008-0791-0.
- Park T W, Ho C H, Yang S, 2011. Relationship between the Arctic oscillation and cold surges over east Asia[J]. *J Climate*, 24(1): 68-83. doi: 10. 1175/2010JCLI3529. 1.
- Petoukhov V, Semenov V A, 2010. A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents[J]. *J Geophys Res*, 115(D21): D21111. doi: 10. 1029/2009JD013568.
- Screen J A, Simmonds I, 2010. The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification[J]. *Nature*, 464(7293): 1334-1337.
- Takaya K, Nakamura H, 2005a. Mechanisms of intraseasonal amplification of the cold Siberian High[J]. *J Atmos Sci*, 62(12): 4423-4440. doi: 10. 1175/JAS3629. 1.
- Takaya K, Nakamura H, 2005b. Geographical dependence of upper-level blocking formation associated with intraseasonal amplification of the Siberian High[J]. *J Atmos Sci*, 62(12): 4441-4449. doi: 10. 1175/JAS3628. 1.
- Tang Q H, Zhang X J, Yang X H, et al., 2013. Cold winter extremes in northern continents linked to Arctic sea ice loss[J]. *Environ Res Lett*, 8(1): 014036. doi: 10. 1088/1748-9326/8/1/014036.
- Wu B Y, 2017. Winter atmospheric circulation anomaly associated with recent Arctic winter warm anomalies[J]. *J Climate*, 30(21): 8469-8479.
- 武炳义, 2018. 北极海冰融化影响东亚冬季天气和气候的研究进展以及学术争论焦点问题[J]. *大气科学*, 42(4): 786-805. Wu B Y, 2018. Progresses in the impact study of Arctic sea ice loss on wintertime weather and climate variability over East Asia and key academic disputes[J]. *Chin J Atmos Sci*, 42(4): 786-805. (in Chinese).
- 武炳义, 杨琨, 2016. 从2011/2012和2015/2016年冬季大气环流异常看北极海冰以及前期夏季北极大气环流异常的作用[J]. *气象学报*, 74(5): 683-696. Wu B Y, Yang K, 2016. Roles of Arctic sea ice and the preceding summer Arctic atmospheric circulation anomalies in the atmospheric circulations anomalies of 2011/2012 and 2015/2016 winters[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 74(5): 683-696. (in Chinese).
- Wu B Y, Su J Z, Zhang R H, 2011. Effects of autumn-winter Arctic sea ice on winter Siberian High[J]. *Chin Sci Bull*, 56(30): 3220-3228. doi: 10. 1007/s11434-011-4696-4.
- Wu B Y, Handorf D, Dethloff K, et al., 2013a. Winter weather patterns over northern Eurasia and Arctic sea ice loss [J]. *Mon Wea Rev*, 141:

3786-3800.

Wu B Y, Zhang R H, D' Arrigo R, et al., 2013b. On the relationship between winter sea ice and summer atmospheric circulation over Eurasia [J]. *J Climate*, 26: 5523-5536.

Wu B Y, Yang K, Francis J A, 2017. A cold event in Asia during January-February 2012 and its possible association with arctic sea ice loss [J]. *J Climate*, 30(19): 7971-7990.

Two extremely cold events in East Asia in January of 2012 and 2016 and their possible associations with Arctic warming

WU Bingyi

Department of Atmospheric and Oceanic Sciences/Institute of Atmospheric Sciences, Fudan University, Shanghai 200438, China

Warm winter prevailed in China from the late 1980s to the beginning 2000, and then cold winter seems to be more frequent. Intensity of winter extremely cold events appears to be further strengthened in the context of global warming and Arctic sea ice decline, its impacts have been concerned by the public and media. In the above context, East Asia suffered extremely cold events during January of 2012 and 2016. Thus the motivation of the present study is to investigate dominant features of the two extremely cold events and their possible linkages with Arctic warm anomalies. Evolutions of atmospheric circulation anomalies associated with the two extremely cold events are quite distinct from each other. For the extremely cold event in January 2012, SLP anomalies display a westward propagation process, during which the Aleutian Low led the Siberian High, indicating that the effect of downstream of atmospheric circulation anomalies plays important roles in resulting in the westward propagation. For another event, cold air mass exhibited a southeastward migration. The routes of the low-temperature area are also distinct for the two events. The former, cold air mass was mainly confined to the mid- and high-latitudes of Eurasia and migrated westward, and its impact on the low-latitudes of Asia was weaker relative to the latter. For the cold event in January 2016, the low-temperature area propagated southward along East Asian coast and affected the tropic region. Atmospheric circulation anomalies exhibited a common feature prior to the outbreak of both extremely cold events: enhanced height ridges extended northward and transported more warmer air mass from the low-latitudes into the Arctic, and there was a multipole structure in the mid-troposphere of high-latitudes. This multipole structure is an important precursor for outbreak of cold air mass. During wintertime, a rapid warming process in the Arctic can be attributed to enhanced warm ridge and its extension northward. Enhancement and extension northward of warm ridges over the Ural Mountain and West coast of North America and their coordinated evolution are critical for an extremely cold process to affect East Asia. The extremely cold event in East Asia in January 2016 did not exhibit a relation with a rapid Arctic warming process in December 2015.

extremely cold event; Arctic warming; Siberian High; Aleutian Low

doi:10.13878/j.cnki.dqkxxb.20180724002

(责任编辑:张福颖)