

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.

2012/2013 年东亚冬季风活动特征 及其可能成因分析^{* 1}

王东阡^{1,2} 周 兵¹ 孙丞虎¹ 袁 媛¹ 柳艳菊¹ 王朋岭¹

1 国家气候中心, 北京 100081

2 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081

提 要: 东亚冬季风目前处于年代际偏强的气候背景下, 2012/2013 年东亚冬季风强度指数(EAWM)为 0.83, 连续第六年强度偏强。2012/2013 年冬季, 北极涛动(AO)指数维持负位相, 导致全国平均气温较常年同期略偏低。季内, 西伯利亚高压强度变化显著, 与之相对应, 我国气温季内阶段性变化大, 前冬冷、后冬暖。进一步研究表明, 前秋北极海冰的大幅偏少是造成东亚冬季风偏强的主要原因, 前期海冰范围的减少有利于冬季欧亚大陆北部的海平面气压出现正异常, 致使西伯利亚高压的偏强, 有利于冷空气南下我国。而西伯利亚高压和东亚冬季风季内变化主要是受平流层环流异常信号影响, 1 月中旬前后, 北半球高纬地区平流层位势高度出现明显正异常并迅速下传影响对流层中低层, 造成西伯利亚高压和冬季风季内阶段性偏弱。

关键词: 东亚冬季风, 西伯利亚高压, 北极涛动, 北极海冰

中图分类号: P461

文献标志码: A

doi: 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.07.014

Features and Possible Causes for East Asian Winter Monsoon in 2012/2013

WANG Dongqian^{1,2} ZHOU Bing¹ SUN Chenghu¹ YUAN Yuan¹
LIU Yanju¹ WANG Pengling¹

1 National Climate Centre, Beijing 100081

2 Laboratory for Climate Studies, CMA, Beijing 100081

Abstract: The East Asian winter monsoon (EAWM) was in the phase stronger than normal in the inter-decadal variation, and the EAWM index was 0.83 in winter 2012/2013, which was the 6th consecutive year with strong intensity. During the winter from December 2012 to February 2013, the daily Arctic Oscillation index was negative, leading to a colder than normal situation over China. While the Siberian High (SH) exhibited strong intra-seasonal variations, the temperature over China had two-stage variations last winter, warmer in the early winter and colder in the late winter. Further research indicated that the reduced Arctic sea ice extent in the last autumn was responsible for the positive sea level pressure (SLP) in the Northern Eurasia in winter, resulting in the strengthening of Siberian High which was favorable for cold front to move southward into China. The intra-seasonal variation of the SH and EAWM was mainly affected by the downward propagation of positive geopotential height anomalies in stratosphere. The positive stratospheric anomalies over the high-latitude areas in Northern Hemisphere in mid-January had an

^{*} 国家自然科学基金项目(41205042)、国家重大科学研究计划(2012CB955901)、中国气象局气象关键技术集成与应用项目(CMAGJ2013Z08)和中国气象局气候研究开放实验室 2012/2013 年度开放青年基金资助项目共同资助

2013 年 4 月 17 日收稿; 2013 年 5 月 10 日收修定稿

第一作者: 王东阡, 主要从事气候监测诊断工作. Email: wangdq@cma.gov.cn

evident influence on the mid and low levels of troposphere, causing the periodical weakening of SH and EAWM.

Key words: East Asian winter monsoon (EAWM), Siberian high, Arctic Oscillation, Arctic sea ice

引言

东亚冬季风是东亚季风系统中重要的组成部分,是北半球冬季最活跃的大气环流系统之一,东亚冬季风的异常直接影响东亚地区冬季天气气候特征。当东亚冬季风偏强时,低层西伯利亚高压和阿留申低压偏强,中层东亚大槽偏深,造成副热带北风气流偏强,东亚副热带地区气温偏低(Lan et al, 1984; 陈隽等, 1999; 高辉, 2007)。东亚冬季风系统与我国冬季气候异常也有着密切的关系,研究表明,东亚冬季风强度与我国各地冬季气温均为负相关,偏强的东亚冬季风会导致冷空气和寒潮活动频繁影响我国地区,造成低温冷害等灾害性天气频发(Chang et al, 1982; Ding et al, 1987; Zhang et al, 1997; 郭其蕴, 1994; 孙丞虎等, 2012)。统计分析发现(吴尚森等, 2000),异常偏强的东亚冬季风还会造成我国华南地区冬季异常冷月的出现。同时,东亚冬季风的发展变化也与我国春季和夏季的气候异常有一定的关系。

2012/2013年冬季,东亚冬季风强度较常年同期略偏强,季风强度季内变化显著,与之相对应,我国冬季平均气温 -3.7°C ,较常年同期(-3.4°C)偏低 0.3°C ,季内,我国气温变化呈现前冬冷、后冬暖的阶段性变化特征。前冬东北、华北地区气温均创近40年新低,低温雨雪天气导致新疆北部、内蒙古中东部及黑龙江东北部等地遭受不同程度雪灾,对部分地区交通安全、物流运输和电力供应造成不利影响(黄威, 2013; 花丛, 2013);而在后冬,全国除东北和内蒙古东部偏冷外,其余大部地区气温以偏暖为主(关月等, 2013; 安林昌等, 2013)。由此可见,东亚冬季风强度的季内变化与我国冬季天气气候异常有密切的联系,那么,影响东亚冬季风系统的主要外强迫因子是什么?造成东亚冬季风强度季内变化的原因又是什么?本文将针对上述问题加以分析,并试图给出初步的解释。

1 资料和方法

本文使用的主要资料包括:国家气象信息中心

提供的1951年以来中国2286站温度资料,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NCEP/NCAR再分析数据集(Kalnay et al, 1996),以及美国国家海洋和大气管理局(NOAA)提供的IMS海冰积雪范围数据集(Helfrich et al, 2007)。本文使用的气候平均值为1981—2010年。

为表征东亚冬季风活动特征,本文还计算东亚冬季风指数(朱艳峰, 2008)和西伯利亚指数,具体定义为:

东亚冬季风指数:

$$I_{\text{EAWM}} = U_{500}(25^{\circ} \sim 35^{\circ}\text{N}, 80^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}) - U_{500}(50^{\circ} \sim 60^{\circ}\text{N}, 80^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E})$$

西伯利亚高压指数:

$$I_{\text{SH}} = \text{SLP}(40^{\circ} \sim 60^{\circ}\text{N}, 80^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E})$$

2 2012/2013年冬季东亚冬季风活动及其影响

2.1 东亚冬季风活动特征

2012/2013年冬季,东亚冬季风强度指数为0.83,较常年同期略偏强(图1)。从其年代际变化特征上看,东亚冬季风目前处于年代际偏强的阶段,已连续6年强度偏强。季内,冬季风强度变化显著,前冬冬季风偏强,后冬冬季风偏弱,2月上旬出现低频尺度的偏强阶段(图2)。西伯利亚高压同样处于

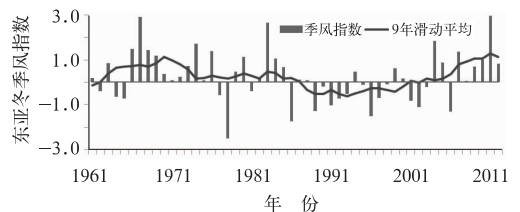


图1 1961—2012年东亚冬季风标准化强度指数(EAWM)演变

Fig. 1 Variation of standardized East Asian winter monsoon (EAWM) index during 1961—2012

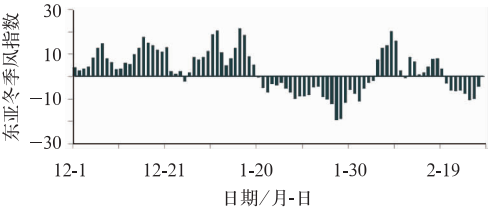


图 2 2012/2013 年东亚冬季风强度指数(EAWM)逐日演变

Fig. 2 Daily variation of East Asian winter monsoon (EAWM) index in 2012/2013

偏强的年代际背景下,但 2012/2013 年冬季西伯利亚总体强度呈现正常略偏弱的特征(图 3);逐日监测表明,西伯利亚高压强度表现出与东亚冬季风相对应的季内变化特征(图 4)。

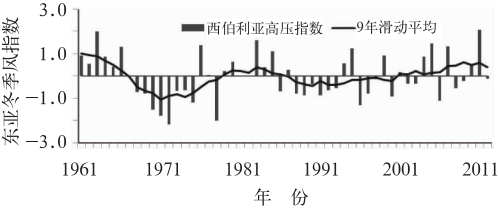


图 3 1961—2012 年冬季标准化西伯利亚高压强度指数(SH)演变

Fig. 3 Variation of standardized Siberian High (SH) intensity index in winters of 1961–2012

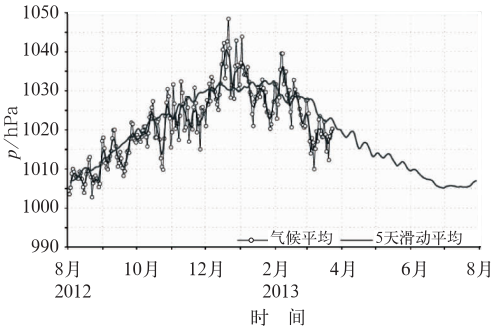


图 4 2012/2013 年冬季西伯利亚高压强度逐日演变(单位:hPa)

Fig. 4 Daily variation of Siberian High (SH) intensity index in winter 2012/2013 (unit: hPa)

2.2 我国冬季气温异常特征

2012/2013 年冬季,全国平均气温 -3.7°C ,较常年同期(-3.4°C)偏低 0.3°C (图 5)。与常年同期

相比,东北大部、内蒙古东部、华北大部、华东大部、华中大部、新疆北部和中部、西藏西部部分地区气温偏低,其中东北大部、内蒙古东部、华北东北部、新疆北部和西藏西部局部地区偏低 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$,局部偏低 4°C 以上;其余大部地区气温接近正常或偏高,其中云南大部和青海南部气温偏高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ (图 6)。季内,我国气温变化呈现前冬冷、后冬暖的阶段性变化特征,其中 2012 年 12 月上旬至 2013 年 1 月上旬,全国除西南地区略偏暖外,北方和中东大部气温偏低 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$,部分地区偏低达 4°C 以上。2013 年 1 月上旬至 2 月下旬,全国除东北大部和内蒙古东部偏冷外,其余大部地区气温以偏暖为主(图 7)。

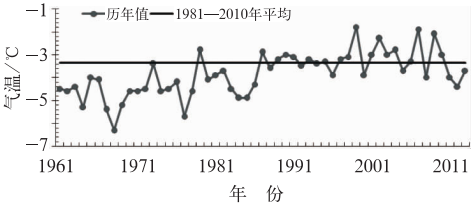


图 5 冬季全国平均气温(单位: $^{\circ}\text{C}$)历年变化
Fig. 5 Variation of the winter mean temperatures over China during 1961–2011 (unit: $^{\circ}\text{C}$)

2.3 我国极端事件特征

2012/2013 年冬季,共有 9 次冷空气过程影响我国,受冷空气活动影响,我国主要发生了极端低温、极端日降温和极端连续降温事件。全国共有 128 站的日最低气温达极端低温事件监测标准,主要分布在华北北部、西南东北部和新疆等地,其中西藏狮泉河(-36.7°C)等 6 站的日最低气温突破历史极值(图 8)。同期,全国共有 141 站发生极端日降温事件,主要发生在东北南部、华南和青海、西藏等地,普遍降温幅度达 10°C 以上,其中 18 站的降温幅度突破历史极值(图 9)。另外,黑龙江、青海和西藏等地共 45 站的连续降温幅度达极端事件监测标准,其中 3 站的连续降温幅度突破历史纪录。

3 2012/2013 年冬季大尺度环流异常特征

3.1 北极涛动

北极涛动(AO)作为高纬地区大气环流异常的

重要组成部分,与欧亚中高纬地区表面气温和海平面气压变化都有密切联系,并通过影响西伯利亚高压影响东亚冬季风的强度变化(Thompson et al, 1998; 2000; Wallace, 2000; Wang et al, 2000)。2012/2013 年冬季,AO 指数持续维持负位相,有利于极地的冷空气向南侵袭影响我国。图 10 给出冬季 AO 指数与表面气温和 200 hPa 纬向风场的相关关系。可见,欧亚地区中高纬大部分地区为显著的正相关区域,表明AO位于负位相时,对应欧亚中高

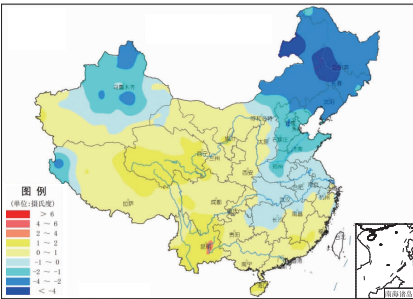


图 6 2012/2013 年冬季全国平均气温距平(单位:℃)
Fig. 6 Mean temperature anomalies of China in winter 2012/2013 (unit: ℃)

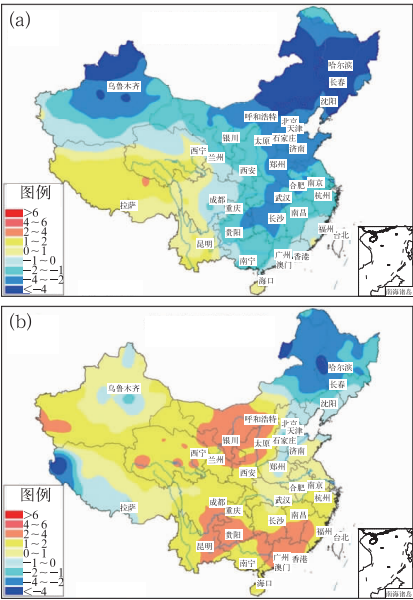


图 7 全国平均气温距平(单位:℃)
(a)12月1日至1月10日平均,
(b)1月11日至2月28日平均

Fig. 7 Mean temperature anomalies of China (unit: ℃)
(a) 1 December to 10 January,
(b) 11 January to 28 February

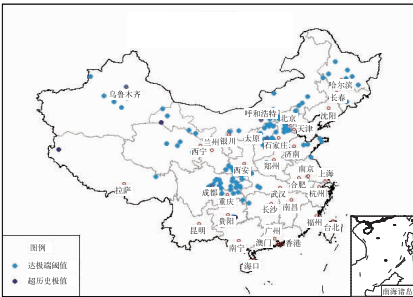


图 8 2012/2013 年冬季(2012 年 12 月 1 日至 2013 年 2 月 28 日)全国极端低温事件站点分布

Fig. 8 Station distribution of extreme daily minimum temperatures (DMT) from 1 December 2012 to 28 February 2013

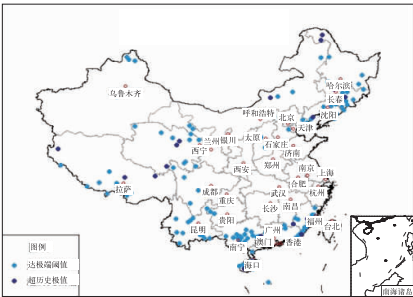


图 9 2012/2013 年冬季(2012 年 12 月 1 日至 2013 年 2 月 28 日)全国极端日降温事件站点分布

Fig. 9 Station distribution of extreme daily temperature drop (DTD) from 1 December 2012 to 28 February 2013

纬地区表面气温负异常(图 10a)。一方面,中高纬地区气温的偏低减弱了该地区与极区的经向温度梯度,从而不利于纬向西风的加强,如图 10b 所示,欧亚大陆 50°~80°N 区域为 AO 指数与 200 hPa 纬向风正相关区域,表明 AO 负位相时该区域纬向西风减弱;另一方面,减弱的纬向基本流有利于中高纬地区环流经向度加大,槽脊活动增多,引导极地的冷空气南下影响欧亚中高纬地区,造成该地区表面气温偏低。

3.2 高低层环流特征

根据上节的分析,北极涛动(AO)持续负位相有利于欧亚中高纬地区环流经向度加大,图 11a 给出 2012/2013 年冬季对流层 500 hPa 高度及其异常场

分布,分析表明,在 500 hPa 高度场上,欧亚大陆中高纬环流呈“两槽一脊”的环流形势,乌拉尔山的高压脊持续偏强,而东亚槽也异常偏强,有利于冷空气沿高空槽南下。此外,东亚中纬地区,位势高度距平场上为“北低南高”异常分布型,导致我国东部长江以北地区的东北、华北、内蒙古东部以及黄淮地区气温偏低,而长江以南的大部分地区气温偏高。而从海平面气压异常场分布来看(图 11b),欧亚地区表现为“北高南低”的海平面气压异常分布,有利于欧亚大陆中高地区气温的偏低和低纬地区气温的偏高。进一步分析表面,2012/2013 年冬季我国气温异常、500 hPa 高度场异常和海平面气压场异常的分布,与 Wang 等(2010)研究中东亚地区冬季气温 EOF 分解第一模态及其对应的环流场相一致,受这种大尺度环流分布型影响,我国东南部地区为低层异常南风控制,整体表现出现东北冷、西南暖的温度异常分布特征。值得指出的是,2012/2013 年冬季海平面气压场异常分布表现出对应 AO 持续负位相的分布特征,而不是典型的东亚冬季风和西伯利亚

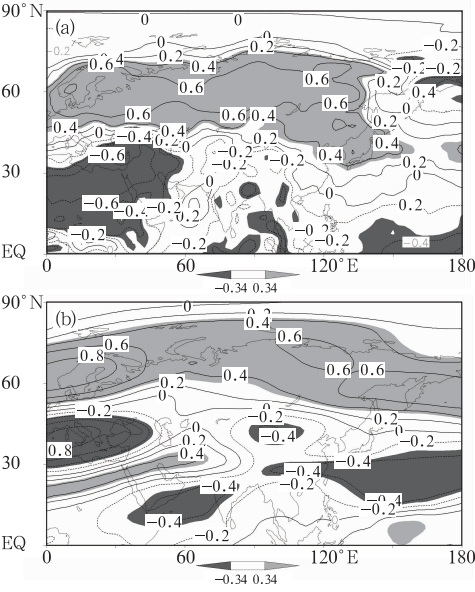


图 10 1981—2012 年北极涛动(AO)指数与冬季表面气温(SAT)(a)及 200 hPa (b)纬向风场的相关分布 (阴影为通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验)

Fig. 10 Correlation of Arctic Oscillation index with (a) SAT, (b) 200 hPa zonal wind during 1981–2012 (Values significantly exceeding $\alpha=0.05$ significance level of test are shaded)

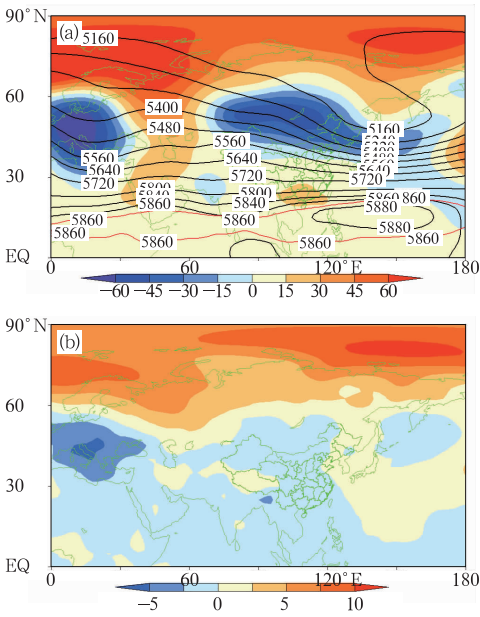


图 11 2012/2013 年冬季 500 hPa 位势高度及距平场(a, 单位:gpm)和海平面气压距平场(b, 单位:hPa)分布
Fig. 11 Distribution of 500 hPa geopotential height anomaly (a, unit: gpm) and sea level pressure (SLP) anomaly (b, unit: hPa) in winter 2012/2013

高压偏强的特征,这也是西伯利亚高压强度在季节尺度上略偏弱的重要原因。

4 东亚冬季风异常的可能原因

4.1 北极海冰的影响

前期研究表明,9 月海冰范围与后期冬季大尺度大气环流异常有着密切联系,海冰的减少会导致北极地区增暖,并通过与大气的正/负反馈作用影响遥远区域的气候变异(Honda et al,1999;2009;Alexander et al, 2004;Screen et al, 2010;Kumar et al, 2010; Wu et al, 2011)。观测结果也显示,冬季巴伦支海—喀拉海海冰偏少时,东亚冬季风会偏强。自 2012 年夏季开始,北极海冰覆盖范围持续异常偏小,偏小幅度超过气候态两倍标准差,这一状况一直持续到 2012/2013 年冬季(图略);其中 8 月中旬至 10 月中旬,海冰覆盖面积持续低于自有观测资料以来年海冰覆盖面积的最小纪录——2007 年同期海冰覆盖面积。而从海冰范围距平分布来看(图

12), 秋季北极大部分地区海冰范围较常年明显偏少, 巴伦支海北部、喀拉海、拉普捷夫海、楚科奇海、波弗特海和巴芬湾等海域海冰范围较常年同期偏低 20%~60%, 其中喀拉海北部和波弗特海偏低 60% 以上。图 13 给出 9 月北极地区海冰范围与冬季海平面气压的相关系数分布, 分析可以发现, 自欧洲东部到西伯利亚地区为显著的负相关区域, 表明前期海冰范围的减少有利于冬季欧亚大陆北部的海平面气压出现正异常, 致使西伯利亚高压的偏强, 有利于冷空气南下我国。另一方面, 前期秋季北极海冰偏少使得北极地区温度较常年同期偏高, 导致极区与欧亚大陆之间的温差较常年同期偏小, 减弱了欧亚

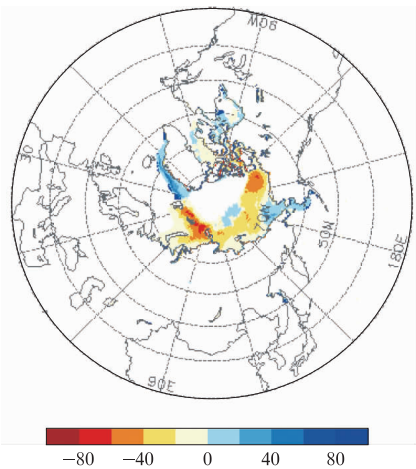


图 12 2012 年秋季北极海冰范围距平分布
Fig. 12 Distribution of sea ice extend anomalies in autumn 2012

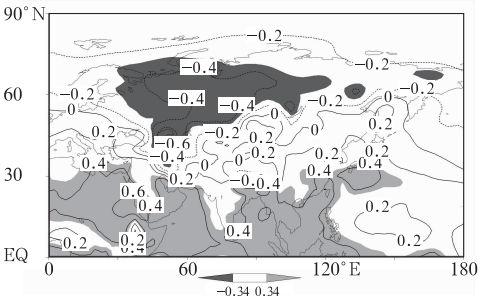


图 13 9 月北极海冰范围(ASI)指数与冬季海平面气压场(SLP)的相关分布
(阴影为通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验)
Fig. 13 Correlation of September negative Arctic Oscillation index with winter sea level pressure
(Values significantly exceeding $\alpha=0.05$ significance level of test are shaded)

北部的西风急流, 有利于欧亚地区高纬的冷空气南下影响我国, 最终导致今年冬季我国东北、内蒙古东部、华北、华东等地大范围低温的出现。

4.2 平流层环流异常下传的影响

4.1 节的分析显示, 北极海冰异常偏少作为相对持续和稳定的外强迫因子, 有利于冬季西伯利亚高压的偏强, 这与 2012/2013 年冬季西伯利亚高压略偏弱的事实并不完全吻合, 进一步研究发现, 西伯利亚高压强度表现出明显的季内变化特征, 在 12 月初至 1 月上旬和 2 月上中旬明显偏强, 而在冬季的其他时段偏弱, 西伯利亚高压强度的这种阶段性减弱受平流层位势高度异常下传影响。

图 14 给出 2012/2013 年冬季平流层大气环流演变特征, 分析发现, 在 2013 年 1 月上中旬, 平流层

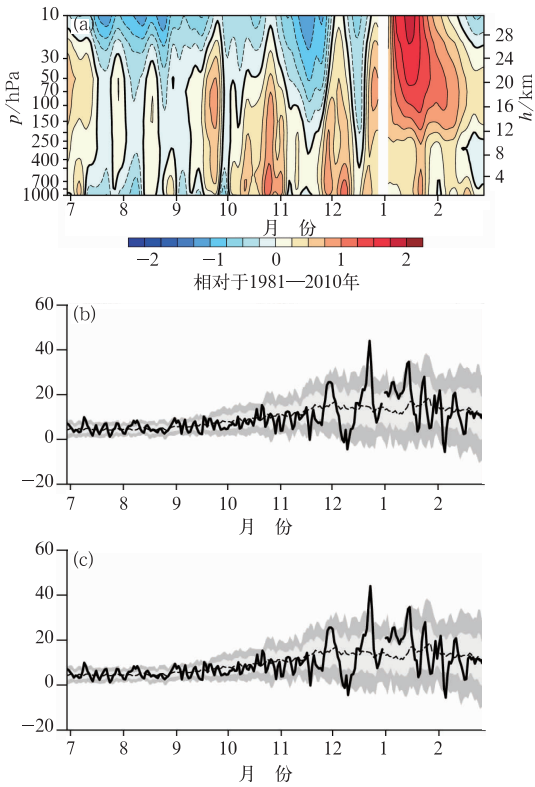


图 14 (a)北半球高纬标准化高度距平(单位:hPa), (b)150 hPa 上传波动热通量[单位: $^{\circ}\text{C} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$], (c)20 hPa 纬向风(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)演变
Fig. 14 (a) Variations of standardized geopotential height anomaly in Northern Hemisphere (unit: hPa), (b) 150 hPa outgoing heat flux (unit: $^{\circ}\text{C} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) and (c) 20 hPa zonal wind (unit: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

10 hPa 等压面出现明显的位势高度正异常(图 14a),并伴随着一次平流层爆发性增温过程(图略),平流层位势高度正异常出现后迅速下传并在 1 月中下旬开始影响对流层中低层。从 150 hPa 上传波动热通量和 20 hPa 纬向风场的演变特征来看(图 14b 和 14c),在这一次平流层位势高度正异常下传过程中,首先,在 2012 年 12 月中旬至 2013 年 1 月上中旬,整个平流层有异常强的上传波动热通量,这种异常强的上传波动热通量在平流层辐合,从而引起平流层的纬向基本流的减速;伴随着纬向西风减速作用,平流层极涡强度大大减弱,减弱的幅度在 1 月中旬前后达到最强,西风环流逆转为东风环流,形成暖的极区,导致平流层爆发性增温现象;在极区建立起来的东风环流不利于波动热通量的上传,从而抑制对流层能量的向上频散;在这种情况下,平流层大气环流在非绝热过程的调整下向辐射平衡发展,产生西风加速,从而逐渐恢复西风环流。在整个过程大约 50 d 的时间里,纬向基本流的偏弱一直在中高纬度维持(图 14c),从而形成弱的绕极涡旋,有利于 AO 负位相的维持,这也是北极涛动在 2012/2013 年冬季持续维持负位相的原因之一。同时,根据陈文等(2009)的研究,平流层位势高度正异常下传至对流层中低层后的 1 个月左右时段内,会导致西伯利亚地区海平面气压的降低,是造成西伯利亚高压季内变化的重要原因。

5 小 结

(1) 2012/2013 年冬季,东亚冬季风强度较常年同期略偏强,季内冬季风强弱转换阶段性特征明显。

(2) 2012/2013 年冬季,我国气温主要表现为东北冷,西南暖的异常分布,全国平均气温 -3.7°C ,较常年同期(-3.4°C)偏低 0.3°C ,季内,我国气温变化呈现前冬冷、后冬暖的阶段性变化特征。

(3) 2012/2013 年冬季,北极涛动持续位于负位相,欧亚中高纬地区高层纬向西风减弱,环流经向度加大,在 500 hPa 高度场上,欧亚大陆中高纬环流呈“两槽一脊”的环流形势,乌拉尔山的高压脊持续偏强,而东亚槽也异常偏强,有利于极地的冷空气南下影响欧亚中高纬地区,是造成我国北方地区气温

偏低的重要原因。

(4) 自 2012 年夏季开始持续偏低的北极海冰覆盖,有利于 2012/2013 年冬季西伯利亚地区海平面气压偏高,致使西伯利亚高压和东亚冬季风偏强,而 2013 年 1 月中旬前后平流层位势高度正异常下传并影响对流层中低层,是导致西伯利亚高压和冬季风出现显著季节内变化的重要原因。

参考文献

- 安林昌,张芳华. 2013. 2013 年 2 月大气环流和天气分析. 气象, 39(5):659-664.
- 陈隽,孙淑清. 1999. 东亚冬季风异常与全球大气环流变 I. 强弱冬季风影响的对比研究. 大气科学, 23(1):101-111.
- 陈文,魏科. 2009. 大气准定常行星波异常传播及其在平流层影响东亚冬季气候中的作用. 地球科学进展, 24(3):272-285.
- 高辉. 2007. 东亚冬季风指数及其对东亚大气环流异常的表现. 气象学报, 65(2):272-279.
- 关月,何立富. 2013. 2013 年 1 月大气环流和天气分析. 气象, 39(4):531-536.
- 郭其蕴. 1994. 东亚冬季风的变化与中国气温异常的关系. 应用气象学报, 5(2):218-224.
- 花丛. 2013. 2012 年 12 月大气环流和天气分析. 气象, 39(3):394-400.
- 黄威. 2013. 2012 年 11 月大气环流和天气分析. 气象, 39(2):259-264.
- 孙丞虎,任福民,周兵,等. 2012. 2011/2012 年冬季我国异常低温特征及其可能成因分析. 气象, 38(7):884-889.
- 吴尚森,梁建茵. 2000. 华南冬季异常冷月预测概念模型 II——大气环流、极冰、积雪等物理因子特征. 热带气象学报, 16(4):289-296.
- 朱艳峰. 2008. 一个适用于描述中国大陆冬季气温变化的东亚冬季风指数. 气象学报, 66(5):781-788.
- Alexander M A, Bhatt U S, Walsh J E. 2004. The atmospheric response to realistic sea ice anomalies in an AGCM during winter. J Clim, 17(5):890-905.
- Chang C P, Lun K M. 1982. Short term planetary scale interaction over the tropics and the mid-latitudes during northern winter. Part I: Contrast between active and inactive periods. Mon Wea Rev, 110(8):933-946.
- Ding Y H, Krishnamurti T N. 1987. Heat budget of the Siberian High and the winter monsoon. Mon Wea Rev, 115(10):2428-2499.
- Helfrich S R, McNamara D, Ramsay B H, et al. 2007. Enhancements to, and forthcoming developments in the Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS). Hydrol Process, 21(12):1576-1586.
- Honda M, Inoue J, Yamane S. 2009. Influence of low Arctic sea-ice

- minima on anomalously cold Eurasian winters. *Geophys Res Lett*, 36(8):L08707.
- Honda M, Yamazaki K, Nakamura H, et al. 1999. Dynamic and thermodynamic characteristics of atmospheric response to anomalous sea-ice extent in the Sea of Okhotsk. *J Clim*, 12(12):3347-3358.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bull Amer Meteor Soc*, 77(3):437-471.
- Kumar A, Perlwitz J, Eischeid J, et al. 2010. Contribution of sea ice loss to Arctic amplification. *Geophys Res Lett*, 37(21):L21701.
- Lan K M, Li M T. 1984. The monsoon of East Asia and its global associations A survey. *Bull Amer Meteor Soc*, 65(2):114-125.
- Screen J A, Simmonds I. 2010. The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification. *Nature*, 464:1334-1337.
- Thompson D W J, Wallace J M. 1998. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys Res Lett*, 25(9):1297-1300.
- Thompson D W J, Wallace J M. 2000. Annular modes in the extratropical circulation, Part I: month-to-month variability. *J Clim*, 13(5):1000-1016.
- Wallace J M. 2000. North Atlantic Oscillation/annual Mode: Two paradigmatic phenomena. *Quart J Royal Met Soc*, 126(564):791-805.
- Wang B, Wu Z W, Chang C P, et al. 2010. Another look at interannual-to-interdecadal variations of the East Asian winter monsoon: The northern and southern temperature modes. *J Clim*, 23(6):1495-1512.
- Wang J, Ikeda M. 2000. Arctic Oscillation and Arctic sea ice oscillation. *Geophys Res Lett*, 27(9):1287-1290.
- Wu B Y, Su J Z, Zhang R H. 2011. Effects of autumn-winter Arctic sea ice on winter Siberian High. *Chinese Sci Bull*, 56(30), doi: 10.1007/s11434-011-4696-4.
- Zhang Y, Sperber K, Boyle J. 1997. Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979-95 NCEP/NCAR reanalysis. *Mon Wea Rev*, 125(10):2605-2619.