

邓淑梅, 陈月娟, 易明建. 2015. 2007/2008 和 2008/2009 冬季平流层强、弱极涡事件对应的行星波活动的对比分析 [J]. 大气科学, 39 (2): 433–444, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1405.14124. Deng Shumei, Chen Yuejuan, Yi Mingjian. 2015. A comparative analysis of planetary wave activities for the 2007/2008 strong polar vortex and the 2008/2009 weak polar vortex [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 39 (2): 433–444.

2007/2008 和 2008/2009 冬季平流层强、弱极涡事件 对应的行星波活动的对比分析

邓淑梅¹ 陈月娟² 易明建^{2,3}

¹ 安徽省气象科学研究所安徽省大气科学与卫星遥感重点实验室, 合肥 230031

² 中国科学技术大学地球与空间科学学院, 合肥 230026

³ 安徽省环境科学研究院, 合肥 230022

摘 要 在对逐日气象资料进行纬向谐波分析的基础上, 对比和讨论了 2007/2008 年冬季强极涡期间和 2008/2009 冬季弱极涡期间平流层和对流层不同波数的行星波的变化特征, 特别关注强极涡或弱极涡发生之后, 500 hPa 沿 60°N 和 30°N 行星波 1 波和 2 波振幅和位相的差异, 以及相应的 500 hPa 位势场的差异, 进而讨论为什么不同的平流层极涡异常会对东亚有不同的影响, 特别讨论为什么同一种极涡异常, 对我国南北方近地面气温的影响会不同。结果表明: 平流层极涡发生异常时, 平流层行星波活动有明显的异常。随着极涡异常的下传, 对流层行星波的振幅和位相也有明显的变化, 而且, 对于不同的纬度带, 其变化又有不同, 表现为: 2008 年 1 月强极涡发生之后, 500 hPa 行星波 1 波和 2 波的扰动都向南伸, 而 2009 年 1 月的弱极涡 (SSW) 期间和之后, 1 波和 2 波的扰动都偏北; 在对流层, 强极涡和弱极涡发生之后不但行星波 1 波和 2 波的振幅有所差异, 其位相也有明显的不同。特别是, 其位相的差异还随纬度而变化。就同一年 (或者说对于同是强极涡或者同是弱极涡) 而言, 无论是 1 波还是 2 波, 在 60°N 和 30°N 附近的扰动相比, 几乎反位相。这样就使得它们的 500 hPa 位势场也有明显不同: 在东半球, 主要表现为乌拉尔高压和东亚大槽的强度和位置不同。2008 年 1 月强极涡发生之后, 乌拉尔高压和东亚大槽东移, 不利于冷空气向欧亚大陆北部 (包括我国北方) 的输送, 使这些地区的温度偏高; 而 2009 年 1 月弱极涡之后, 东亚大槽西退, 利于冷空气向欧亚大陆北部输送, 导致这些地区较冷。对于同一种极涡异常 (如 2008 强极涡或者 2009 弱极涡) 由于南方和北方行星波扰动的位相不同, 对南方和北方冷暖空气的输送也就不一样。所以同一种极涡异常对 (我国) 南北地区的温度影响是不同的。

关键词 平流层极涡 行星波 欧亚大陆 温度变化

文章编号 1006-9895(2015)02-0433-12

中图分类号 P434

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9895.1405.14124

A Comparative Analysis of Planetary Wave Activities for the 2007/2008 Strong Polar Vortex and the 2008/2009 Weak Polar Vortex

DENG Shumei¹, CHEN Yuejuan², and YI Mingjian^{2,3}

¹ Anhui Institute of Meteorological Sciences, Hefei 230031

² School of Earth and Space Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026

³ Anhui Research Academy of Environmental Sciences, Hefei 230022

收稿日期 2014-02-10; 网络预出版日期 2014-05-26

资助项目 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 2010CB428603, 国家自然科学基金项目 41105031, 淮河流域气象开放研究基金项目 HRM201103

作者简介 邓淑梅, 女, 1979 年出生, 博士, 主要从事天气气候和 中层大气研究。E-mail: luotao@ustc.edu.cn

通讯作者 陈月娟, E-mail: cyj@ustc.edu.cn

Abstract Based on the zonal harmonic analysis of daily meteorological data, we compared and discussed the variation characteristics of the planetary wave for different wavenumbers in the stratosphere and troposphere during the strong polar vortex period in the winter of 2007/2008 and the weak polar vortex period in the winter of 2008/2009. We particularly focused on the amplitude and phase variation of the planetary wave for wavenumber-1 and wavenumber-2 along 60°N and 30°N, as well as the different 500-hPa geopotential height fields after the occurrence of the strong polar vortex and the weak polar vortex. Furthermore we discuss the reason for the different stratospheric polar vortex anomalies and the different effects on the weather and climate in eastern Asia. Finally, we investigated why this stratospheric polar vortex anomaly would cause different variations in south and north China surface temperatures. Our results show that following the stratospheric polar vortex anomaly, the planetary wave activities in the stratosphere clearly changed. The downward propagation of the abnormal polar vortex caused amplitude and phase variations in the tropospheric planetary wave and these variations are different along different latitudes. It appears that the planetary wave perturbations for wavenumber-1 and wavenumber-2 in the 500-hPa fields extended southward after the strongest polar vortex in January 2008. During and after the weakest polar vortex in January 2009, however, the planetary wave perturbations for wavenumber-1 and wavenumber-2 in the 500-hPa fields are located on the northern side. In the troposphere, the amplitude of the planetary wave is different for wavenumber-1 or wavenumber-2 and their phases are also clearly changed after the strong and weak polar vortex. These phase difference change especially with latitude. For the same year (that is say, for the same strong polar vortex in 2008 or same weak polar vortex in 2009), the planetary wave phase near 60°N is almost opposite to that near 30°N regardless of wavenumber, and cause large differences in the 500-hPa geopotential height field. Specifically, the strength and location of the Ural high pressure and the East Asia trough are different in the Eastern Hemisphere. After the strong polar vortex in January 2008, the Ural high pressure and East Asia trough extend eastward and this results in cold air not being transported to northern Eurasia (including northern China). As a result, the temperature of these areas increases. During the weak polar vortex in January 2009, the East Asia trough draws westward and this causes cold air transport to northern Eurasia, hence the temperature of these areas decreases. For the same stratospheric polar vortex anomaly (such as the strong polar vortex in 2008 or weak polar vortex in 2009), since the phase of the planetary wave disturbance in south and north China is different, the transportation of cold air to south and north China are different. Therefore, the same stratospheric polar vortex anomaly would have different effects on surface temperature in South and North China.

Keywords Stratospheric polar vortex, Planetary wave, Eurasia, Temperature variation

1 引言

近年来,平流层—对流层相互作用已引起广泛关注,平流层极涡异常下传影响对流层天气和气候的研究也越来越多。早在 1990 年, Kodera et al. (1990) 就指出,平流层纬向风的扰动可以下传到对流层。Kodera et al. (2000) 和 Zhou et al. (2002) 的研究表明,平流层发生爆发性增温的时候,平流层温度和平均纬向风的异常都会向下传播并引起对流层变化。在研究平流层和对流层相互作用时常常用北极涛动 (Arctic Oscillation, 简称 AO) 或北半球环状模 (Northern Annular Mode, 简称 NAM) 来表示平流层极涡的强弱。Baldwin and Dunkerton (1999, 2001) 采用 NAM 指数对 18 个弱极涡事件和 30 个强极涡事件进行了合成分析,结果表明平流层极涡发生大的变化时会向下传播并可以影响到近地面,并指出平流层的变化是对流层天气异常的先兆。Thompson and Wallace (2001) 研究了北半

球环状模 (NAM) 对区域气候的影响,他们取日最低温度低于气候平均值 1.5 个标准差为一次冷事件,讨论低 NAM 指数情况下与高 NAM 指数情况下冷事件出现的频数的差异,指出,这种影响不仅出现在欧洲—大西洋区域,对亚洲—太平洋区域也有明显影响,在低 NAM 指数情况下 (也就是弱极涡的情况下) 在欧亚大陆北部相当大片区域冷事件的频率比高 NAM 指数情况下 (也就是强极涡的情况下) 的冷事件频率高。Thompson et al. (2002) 和 Baldwin et al. (2003) 的研究进一步指出平流层环流的变化可以作为预报对流层天气的一个预报因子。

关于平流层环流异常对东亚地区天气气候影响的研究也受到越来越多的重视。Jeong 等的研究表明,东亚地区冬季冷空气爆发与北极涛动 (AO) 有关 (Jeong and Ho, 2005; Jeong et al., 2005, 2006)。陈文和康丽华 (2006) 分析了北极涛动与东亚冬季风的关系指出, AO 处于不同位相时,东亚地区近

地面温度会发生不同的变化。黄荣辉等(2007)在研究 2005~2006 年冬季风异常时也指出该年东亚冬季风异常与北极涛动有密切关系。邓淑梅等(2008)也曾利用 NAM 指数分析过平流层爆发性增温对东亚天气气候的可能影响, 特别讨论了平流层极涡的强弱变化对东亚大槽的影响。Wang and Chen (2010)的研究结果也证实, 当平流层为弱极涡时, 亚洲东部 50°N 以北大部分地区是偏冷的。资料分析和数值模拟结果还表明中低纬度地区的冬季地面温度也会受到这种平流层异常的影响, 而且其影响结果与高纬度地区相比存在着位相差(Cai and Ren, 2006; Ren and Cai, 2007; 辛晓歌等, 2008; 谭桂容等, 2010)。陈月娟等(2009)对 2008 年初我国南方低温、雨雪和冰冻灾害的分析也证实平流层环流异常下传对我国南方和北方的影响不同。

近年来的研究发现准定常行星波异常与 NAM 有密切的关系(Chen et al., 2003), 而且大气准定常行星波的异常传播在平流层影响东亚冬季气候中起着重要的作用(陈文和康丽华, 2006; 陈文和魏科, 2009)。

2007/2008, 2008/2009 年, 我们经历了两个很不相同的冬天。众所周知, 2007/2008 年冬季, 平流层出现一次持续时间较长的强极涡, 而 2008/2009 冬季, 则发生了一次很强的平流层爆发性增温(即非常弱的极涡)。与 2008 年一月下旬到二月份我国南方严重的低温、雨雪和冰冻灾害不同, 2008/2009 年冬我们度过了一个较为温暖的冬天。通过对这两年冬季地面温度场的分析表明, 不但在平流层极涡异常强弱不同时, 东亚地区地面温度场会发生不同的变化, 而且就同一种极涡异常而言, 对我国南北方近地面气温的影响也是不同的。本文也采用行星波分析的方法, 通过对这两个个例的分析来探讨其原因。但在做法上, 和陈文等(Chen et al., 2003; 陈文和康丽华, 2006; 陈文和魏科, 2009)不同, 在他们的文章中, 行星波活动的传播是用 Eliassen-Palm 通量(EP 通量)来描述的。本文则在对逐日气象资料进行纬向谐波分析的基础上, 直接分析平流层和对流层不同波数的行星波的变化特征, 结合位势场的变化和差异, 来讨论为什么不同的平流层极涡异常会对东亚有不同的影响, 特别讨论为什么同一种极涡异常, 对我国南北方近地面气温的影响会不同。

2 资料和方法

本文使用的资料包括美国国家环境预测中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR)再分析资料(<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml> [2014-04-27])。NAM 指数的计算方法见 Baldwin and Dunkerton (2001) 和陈月娟等(2009)文章。按照 Baldwin and Dunkerton (2001)提出的标准, 将 10 hPa 等压面(约 30 km 高度)上 NAM 指数大于 +1.5 定为强极涡事件, NAM 指数小于 -3.0 定为弱极涡事件, 我们确定了 2007/2008 年冬季的强极涡事件和 2008/2009 年冬季的弱极涡事件的具体日期。利用谐波分析方法对这两次异常的极涡事件过程中北半球冬季位势高度场进行了分析和对比, 主要分析和对比了行星波 1 波和 2 波的振幅和位相。

3 2007/2008 年和 2008/2009 年冬季平流层极涡异常的回顾

3.1 从 NAM 指数看极涡的强弱变化

图 1 给出这两年冬季 NAM 指数随高度的分布和随时间的变化。图中正 NAM 指数等值线用实线表示, 负值用虚线表示。为了看清楚强极涡和弱极涡及其下传过程, 依照 Baldwin and Dunkerton (2001)提出的将 10 hPa 等压面上 NAM 指数大于 +1.5 定为强极涡事件, NAM 指数小于 -3.0 定为弱极涡事件的标准, 我们将大于和等于 1.5 的实线、小于和等于 -3 的虚线都加粗了一些。

从图 1a 可以看到, 从 2007 年 12 月初开始极涡迅速增强, 到 12 月中下旬 10 hPa 的 NAM 指数开始超过 +1.5, 一直维持到 1 月 20 日左右, 在 2008 年 1 月上旬 NAM 指数最大时甚至超过 +3, 说明这段时间极涡非常的强, 在 1 月中下旬虽然 NAM 指数减小了一些, 但并不是极涡减弱了, 而是极涡位置有些变化, 这一点将在 3.2 节中给予讨论。从图 1a 还可以看到随着时间的增加, 正 NAM 指数逐渐向下传, 1 月中旬到 2 月上旬对流层下层 NAM 指数维持正值且在 1 月下旬达到最大(这正是我国发生低温、雨雪和冰冻灾害的时候)。从图 1b 可以看到, 2008 年 12 月下旬到 2009 年 1 月上中旬, 在 10 hPa 上 NAM 指数也超过了 +1.5, 平流层也出现了强极涡, 但它持续的时间不长, 很快就减弱了, 并且从 1 月中旬开始, 10 hPa 的 NAM 指数迅速变

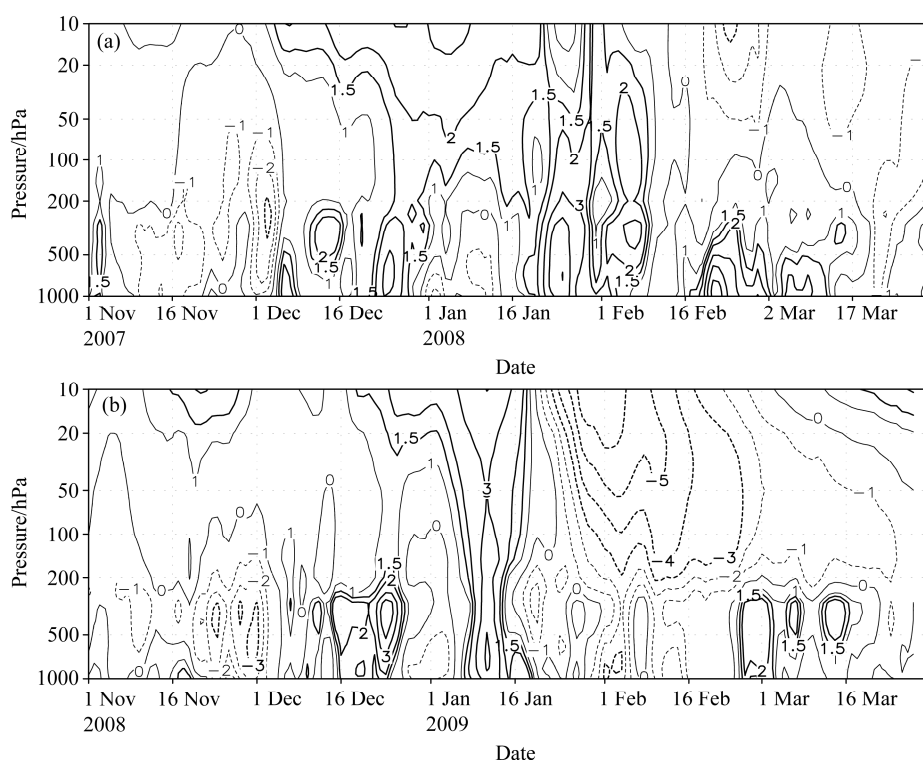


图1 (a) 2007/2008 年和 (b) 2008/2009 年冬季 NAM 指数的时间—高度剖面图
Fig. 1 Time-height section of NAM index for (a) 2007/2008 and (b) 2008/2009 winter

为很大的负值(甚至超过 -5),极涡变得非常弱,出现很强的平流层爆发性增温。负的 NAM 指数迅速下传,1 月底到 2 月中下旬对流层 NAM 指数出现负值,不过其数值比平流层的 NAM 指数小。

3.2 从 10 hPa 位势场看极涡的强弱变化

2007/2008 年的强极涡从 2007 年 12 月开始增强,到 2008 年 1 月上旬达到最强。图 2a 给出的是 2008 年 1 月 6~21 日平均的 10 hPa 位势场,它显示了当时平流层强极涡的基本特征:其中心位于极地附近,中心值低于 28200 位势米,比同期平均值低约 800 位势米。大致呈椭圆形,其长轴的一端伸向格林兰和北美的东海岸,另一端伸向亚洲北部。此极涡一直维持到 2 月上旬,在这期间虽然有短时间的旋转,但大多数时间是一个向亚洲北部延伸的椭圆形。只是 1 月中下旬其中心稍微偏离极地。这就是为什么 10 hPa 的 NAM 指数(图 1a)在 1 月中下旬减小的原因。也就是说,单从 NAM 指数还不能完全看出平流层极涡的强弱,还应结合位势场来分析。

2009 年 1 月上旬的强极涡如图 2b 所示,其中心位置也在极地附近,中心值为 28200 位势米,也呈椭圆形,但其长轴位置与 2008 年不同,是从北

美西北部伸向欧洲北部。这个强极涡维持时间不长,从 1 月中旬起,极涡开始减弱、拉长并分裂,同时,在北太平洋和北大西洋上空的高压发展并向极地延伸,最终连成一片。图 2c 是 2009 年 1 月 25 日到 2 月 10 日平均的 10 hPa 位势高度场,可以看出原来的极涡已经完全分裂,减弱成两个较弱的低压涡旋,分别位于北美大陆和欧亚大陆上,而极地区域已经被一个强大的高压所控制,同时发生很强的爆发性增温。

4 2007/2008 年和 2008/2009 年冬季东亚地区地面温度的变化

考虑平流层极涡异常下传到地面要经历一段时间,受其影响地面温度的变化也会滞后一段时间,所以下面主要分析 1 月下旬到 2 月份的地面温度变化。考虑到 2008 年和 2009 年极涡异常的时间不完全相同,我们分别对 2008 年 1 月 24 日到 2 月 6 日,2009 年 1 月 22~26 日和 2009 年 1 月 29 日~2 月 17 日这三个时段的地面温度距平做平均,图 3a、b 和 c 分别给出这三个时段平均的欧亚大陆及其附近区域的地面温度距平。从前面的 NAM 指数图(图 1)可以看出,2008 年 1 月下旬强极涡的影

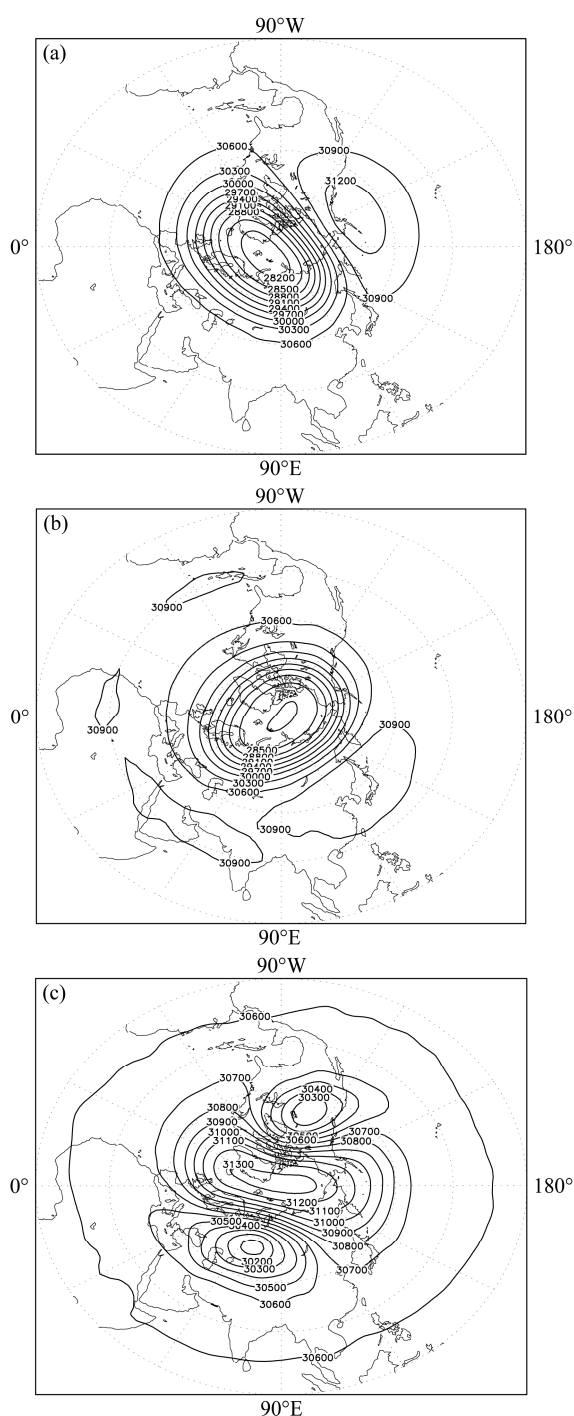


图2 10 hPa 位势高度场 (单位: 位势米): (a) 2008 年 1 月 6~21 日平均; (b) 2009 年 1 月 3~10 日平均; (c) 2009 年 1 月 25 日~2 月 10 日的平均

Fig. 2 The 10-hPa geopotential height field (units: gpm): (a) Averaged from January 6 to January 21, 2008; (b) averaged from January 3 to January 10, 2009; (c) averaged from January 25 to February 10, 2009

响已经下传到近地面,它很强而且持续到2月上旬。而2009年1月下旬,强极涡的影响也传到了近地面,但持续时间短,其强度也比2008年弱很多。

到了2009年1月底,平流层弱极涡的影响已经传到近地面。从图3a可以看出在2008年1月强极涡之后地面温度变化有如下特征:在欧亚大陆的北部(大约 $55^{\circ}\text{N}\sim 75^{\circ}\text{N}$)近地面温度比多年平均值高而在其南方的大部分地区其近地面温度比多年平均值低,同时在亚洲大陆北边北冰洋上,地面气温也是偏低的。这种温度变化特征从2008年1月20日就开始形成,一直维持到2月上旬。2009年1~2月地面温度的变化情况与2008年不同。从图3b可以看到,在2009年1月22~26日,由于受到前期强极涡下传的影响,在亚洲北部(大约 $55^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$)也有一片温度偏高的区域,其东南面也有大片的温度偏低的区域,但与图3a相比,温度的变化幅度小些而且有点零乱。然而,在2009年1月底到2月中旬这段时间,平流层弱极涡(即平流层爆发性增温)的影响已经到达地面。近地面温度发生了明显的变化,如图3c所示,在欧亚大陆的北部(大约 $50^{\circ}\text{N}\sim 70^{\circ}\text{N}$)出现了明显的地面温度负距平区,而在其南方的大部分地区出现了地面温度的正距平,同时在亚洲大陆北边的北冰洋上,地面气温也是偏高的。这种温度变化的特征不但与同年1月22~26日的温度变化不同,还与2008年1月下旬到2月上旬的温度变化基本上相反。从上面的分析不但可以看出,在2008年强极涡和2009年弱极涡发生之后,近地面温度的异常变化基本相反,还可以看到,就同一种极涡异常而言,其后欧亚大陆的北部和南部地面温度的变化也基本上是相反的。

5 行星波分析

采用第2节提到的谐波分析的方法,我们对2007/2008年和2008/2009年冬季10 hPa、100 hPa、500 hPa和850 hPa的位势高度场进行了谐波分析,计算了沿纬向波数分别为1、2、3的行星波的振幅,位相以及波扰动的逐日变化。由于篇幅所限,在这里主要给出10 hPa和500 hPa的结果。

5.1 2007/2008年和2008/2009年冬季10 hPa行星波活动的差异

2007/2008年和2008/2009年冬季10 hPa上行星波1波和2波振幅随纬度的分布和随时间的变化分别如图4和图5所示。图中两条虚线之间为参考NAM指数(图1)给出的在10 hPa附近强极涡或弱极涡出现的时间。从图4可以看出在2007/2008

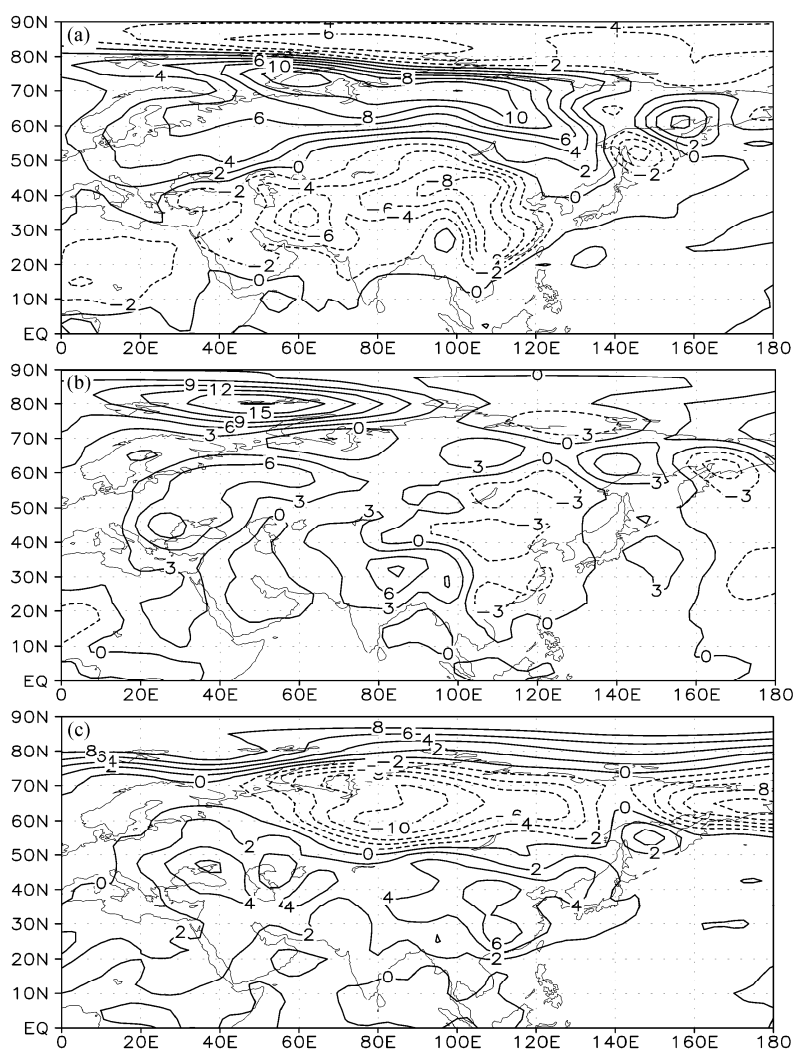


图3 2008年和2009年1月下旬到2月中旬欧亚大陆及其附近区域的地面温度距平场(单位: K): (a) 2008年1月24日~2月6日平均; (b) 2009年1月22~26日平均; (c) 2009年1月29日~2月17日平均

Fig. 3 Surface temperature anomalies in and near Eurasia (units: K): (a) Averaged from January 24 to February 6, 2008; (b) averaged from January 22 to January 26, 2009; (c) averaged from January 29 to February 17, 2009

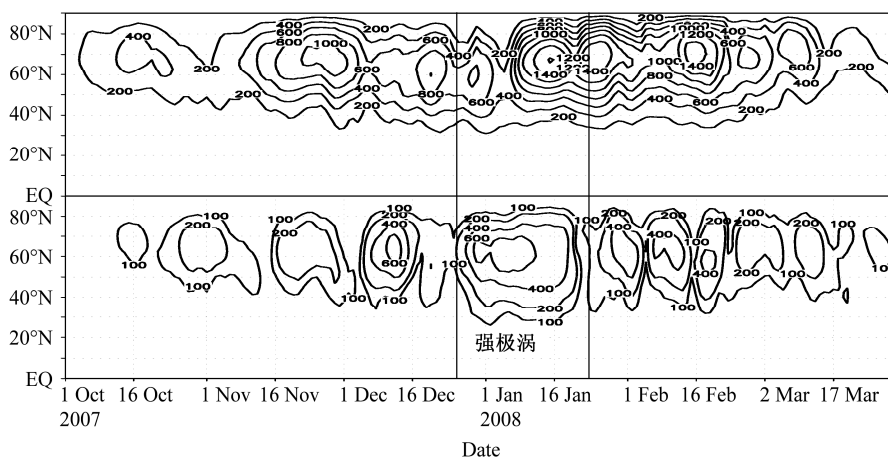


图4 2007/2008年冬季10 hPa上行星波1波(上)和2波(下)振幅随时间和纬度的分布(单位: 位势米)

Fig. 4 The time-latitude sections of the amplitude of the planetary wave for wavenumber1 (top) and number2 (bottom) at the 10 hPa in 2007/2008 winter (units: gpm)

年冬季平流层极涡增强之前(2007 年 12 月之前),行星波 1 波和 2 波都比较弱。从 2007 年 12 月开始,1 波不太强,但 2 波有所加强,2007 年 12 月下旬到 2008 年 1 月上旬 2 波最大振幅超过 600 位势米。主要因为这次强极涡呈椭圆形,其长轴伸向北美东北部和东北亚。大约 1 月中下旬,1 波明显加强(最大振幅达到 1400 位势米),同时 2 波有所减弱。这期间极涡中心偏向格陵兰北部到北亚之间的洋面上,太平洋东北部的高压北移,一高一低的形势更明显(见图 2a)。从图 5 可以看出 2008/2009 年冬季这次弱极涡(强爆发性增温)发生过程中,行星波变化明显不同于 2007/2008 年冬季的强极涡过程,2008 年 12 月 1 波相当强(最大振幅达到 1300 位势米),2 波较弱。12 月底开始 1 波突然减弱,2 波稍

有加强,这对应于一个较短时间的强极涡。2009 年 1 月中旬以后,2 波再次加强,其振幅超过 1000 位势米,这时出现了强 SSW。此结果与我们之前分析的爆发性增温期间行星波变化的第一种类型一致(邓淑梅等, 2006)。

5.2 2007/2008 年和 2008/2009 年冬季 500 hPa 行星波活动的差异

我们对这两年冬季 500 hPa 行星波的振幅随纬度和时间变化也进行了类似的分析,图 6 和图 7 分别给出 2007/2008 年和 2008/2009 年冬季 500 hPa 上行星波 1 波和 2 波振幅随纬度的分布和随时间的变化,图中虚线标出强极涡或弱极涡下传到 500 hPa 附近的时间,阴影为振幅大于和等于 90 位势米的区域。从图 6 可以看到:2008 年 1 月中到 2 月中,

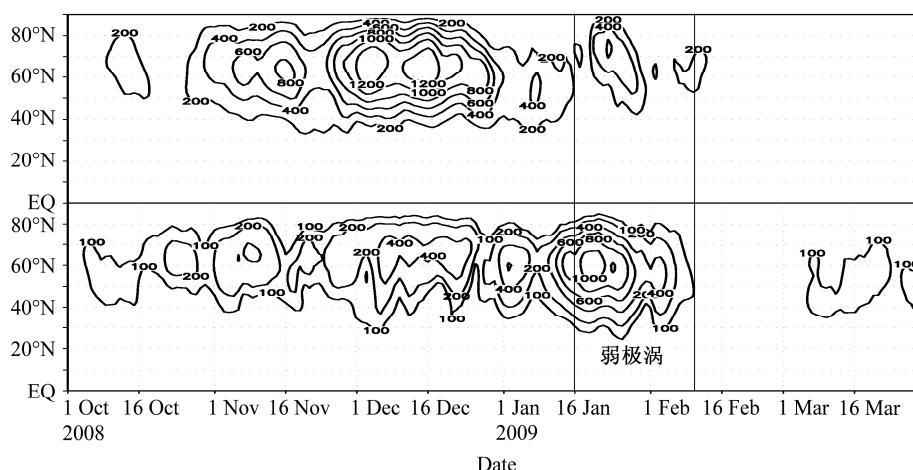


图 5 2008/2009 年冬季 10 hPa 上行星波 1 波(上)和 2 波(下)振幅随时间和纬度的分布(单位:位势米)

Fig. 5 Same as Fig.4, but for 2008/2009 winter

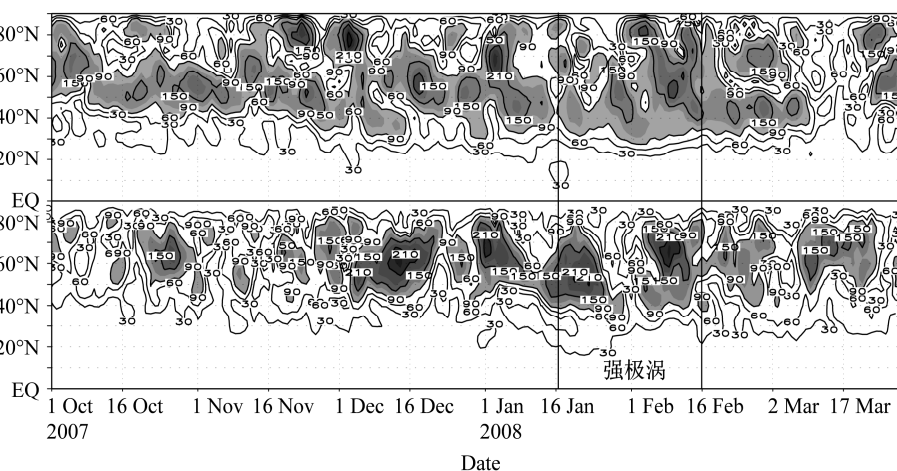


图 6 2007/2008 年冬季 500 hPa 上行星波 1 波(上)和 2 波(下)振幅随时间和纬度的分布,阴影为振幅大于和等于 90 位势米的区域(单位:位势米)

Fig. 6 Same as Fig.4, but for 500 hPa

行星波 1 波和 2 波的扰动向南伸, 1 波振幅为 90 的等值线和 2 波振幅为 60 的等值线可到达 35°N 以南。而 2009 年的情况就有所不同: 1 月中旬 1 波扰动短时间南伸 (对应于 SSW 之前的短时间强极涡), 1 月中旬后到 2 月中旬 (SSW 期间和之后), 1 波扰动较弱而且偏北, 振幅为 90 的等值线主要在 45°N 以北地区, 2 波的扰动也偏北, 振幅为 60 的等值线主要在 40°N 以北 (如图 7 所示)。这说明 2008 年强极涡期间冷空气可以入侵到比较南的地区而 2009 年弱极涡期间冷空气活动区域偏北。

为了更好地看清楚南北不同纬度带这两年行星波活动的差异, 我们分别对沿 60°N 和 30°N 的行星波扰动做进一步分析, 并结合 500 hPa 位势场来讨论不同的极涡异常引起近地面温度发生不同的

变化的原因。

图 8 和图 9 分别是 2007/2008 和 2008/2009 冬季 500 hPa 高度上沿北纬 60° 度行星波 1 波和 2 波的扰动随经度的分布和随时间的变化。可以看出, 2008 年强极涡期间与 2009 年弱极涡期间行星波除扰动振幅的差异外, 扰动位相也有明显差异。2008 年 1 月中旬到 2 月上旬 (强极涡出现后的一段时间, 见图中的标注, 下同), 沿 60°N 行星波 1 波的波峰在 $0^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 附近, 波谷在 160°W 以东到 80°W 附近地区。而 2009 年 1 月下旬到 2 月中下旬 (弱极涡出现后的一段时间, 见图中的标注, 下同), 沿 60°N 行星波 1 波的波峰在 0° 到 60°W 之间, 波谷在 120°E 到 180° 之间。虽然 2008 年强极涡期间和 2009 年弱极涡期间行星波 2 波的位相差异不算大,

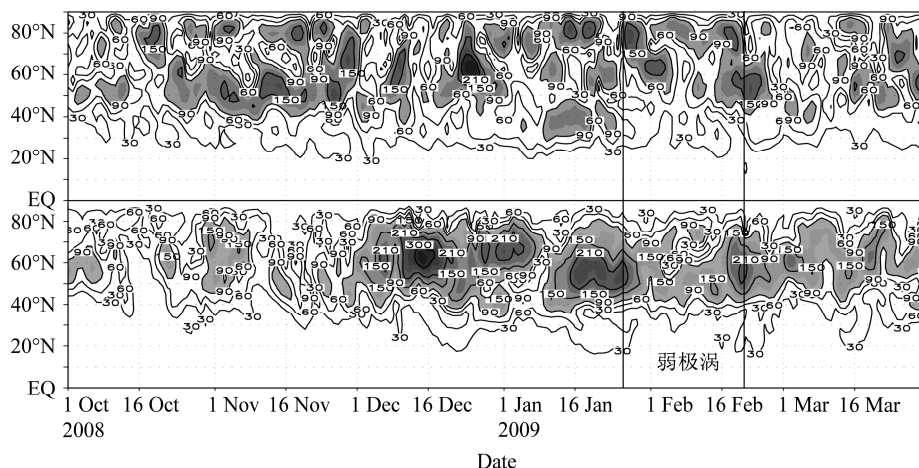


图 7 2008/2009 年冬季 500 hPa 上行星波 1 波 (上) 和 2 波 (下) 振幅随时间和纬度的分布, 阴影为振幅大于和等于 90 位势米的区域 (单位: 位势米)
Fig. 7 Same as Fig. 5, but for 500 hPa

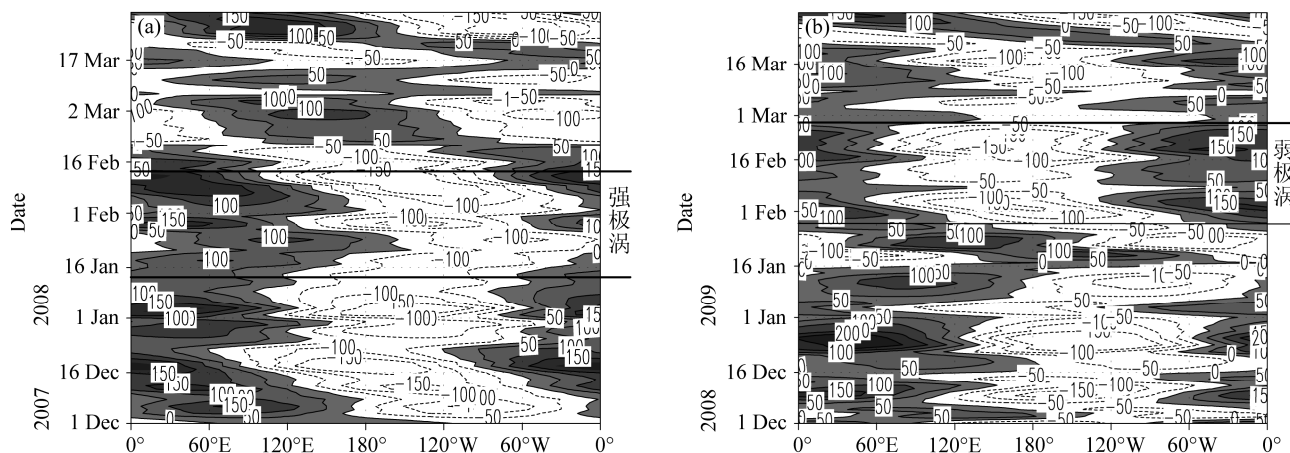


图 8 500 hPa 上沿 60°N 行星波 1 波扰动随时间和经度的分布: (a) 2007/2008 年冬季; (b) 2008/2009 年冬季。阴影为扰动值大于零的区域 (单位: 位势米)

Fig. 8 The time-longitude sections for the disturbance of the planetary wave for wave number 1 at 500 hPa along 60°N in the winter of (a) 2007/2008 and (b) 2008/2009 (units: gpm)

但 1 波和 2 波叠加的结果, 将会使得这两年冬季强、弱极涡活动期间东亚大槽的位置有明显的不同 (详见后面的讨论)。图 10 和图 11 分别是 2007/2008 和 2008/2009 冬季 500 hPa 高度上沿 30°N 行星波 1 波和 2 波的扰动随经度的分布和随时间的变化。从图 10 可以看出, 在 30°N 附近, 从 2008 年 1 月中旬到 2 月上旬 (强极涡出现后的一段时间), 行星波的 1 波振幅明显大于 2009 年 1 月下旬到 2 月中下旬 (弱极涡出现后的一段时间) 的行星波 1 波的振幅, 同时, 2008 年这段时间行星波 1 波的波谷主要在 60°E~120°E 之间, 而从 2 月份开始 2009 年弱极涡出现后的一段时间行星波 1 波的波峰和波谷比 2008 年偏西。这说明 2008 年平流层出现强极涡

之后, 对流层 500 hPa 行星波 1 波对我国南方的扰动比 2009 年弱极涡之后强得多。从图 11 则可以看到在此期间行星波 2 波扰动位相的明显差异: 2008 年 1 月中旬到 2 月上旬, 2 波的一个波谷基本上在 60°E~120°E 之间, 而 2009 年 1 月底到 2 月中旬行星波 2 波的波谷基本上在 180°附近, 而且很快减弱, 2 月上旬 60°E~120°E 基本上是 2 波波峰所在的区域。

行星波活动的上述变化使得这两年冬季东亚大槽及其后的乌拉尔高压的位置有明显的不同, 图 12a 给出 2008 年 1 月 19~29 日平均的 500 hPa 位势场。可以看出此期间 500 hPa 的极地涡旋的主体拉得很长, 从北美东北部伸到亚洲东北部。东亚大

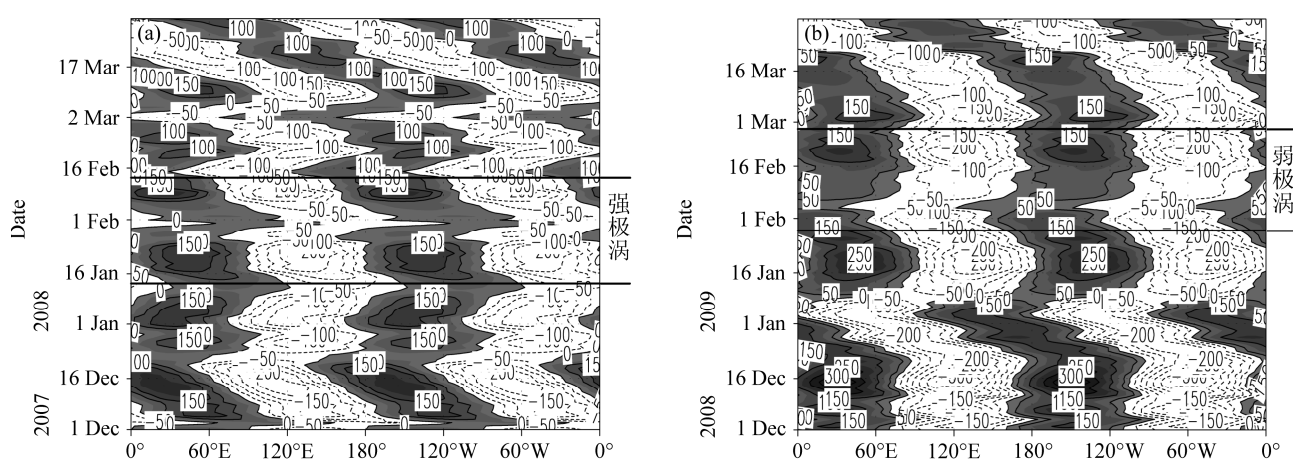


图 9 500 hPa 上沿 60°N 行星波 2 波扰动随时间和经度的分布: (a) 2007/2008 年冬季; (b) 2008/2009 年冬季。阴影为扰动值大于零的区域 (单位: 位势米)

Fig. 9 Same as Fig. 8, but for the planetary wave number 2

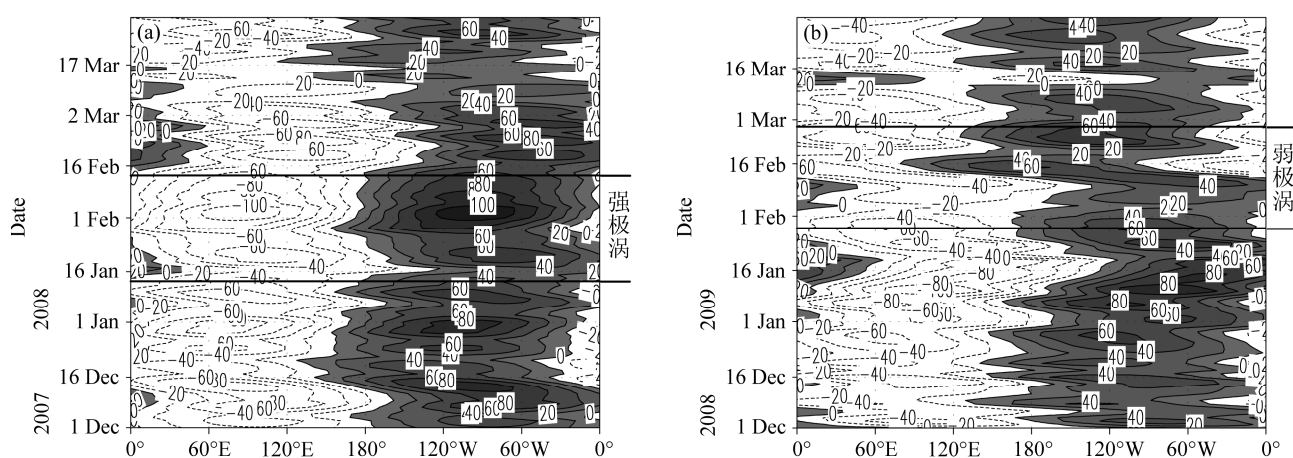


图 10 500 hPa 上沿 30°N 行星波 1 波扰动随时间和经度的分布: (a) 2007/2008 年冬季; (b) 2008/2009 年冬季。阴影为扰动值大于零的区域 (单位: 位势米)

Fig. 10 Same as Fig. 8, but along 30°N

槽的槽线主要伸向鄂霍次克海、堪察加半岛及太平洋西北部。乌拉尔高压向东扩展直到贝加尔湖附近,其脊线呈东北—西南向,在东亚只有一个较弱的槽伸向西南方,这种形势基本上维持着直到2月上旬末。这种形势不利于冷空气向贝加尔湖附近和我国东北部的输送,反而有利于冷空气经由西北地区进入我国,甚至可以影响到 40°N 以南地区。而2009年1月下旬到2月中旬,随着平流层弱极涡下传到500 hPa附近,在500 hPa位势图上,极地也被高压区控制,乌拉尔高压伸向北欧,并与该高压区相连。极地涡旋分裂为两个较弱的低压,一个在北美的北端,另一个在亚洲北部。后者快速向西扩展,形成一个东西向的低压涡旋,占据了贝加尔湖

及其以北的西伯利亚大片地区,而贝加尔湖以南地区等压线相当平直,基本上沿纬向分布。图12b给出2009年1月28日到2月6日平均的500 hPa位势场。可以清楚地看到这一分布特征。这就使2009年1月下旬到2月中旬这段时间北方的冷空气主要堆积在贝加尔湖及其以北的区域,不利于向南输送,所以我国大部分地区都比较暖和。

通过上述对500 hPa高度附近沿 60°N 行星波的分析可知,由于2008年初强极涡及2009年初弱极涡期间行星波振幅和位相的差异,使得与之相对应的500 hPa位势场有明显的不同,2008年初强极涡发生后的一段时间,东亚大槽有北缩东移的趋势,不利于冷空气向欧亚大陆北部(包括我国北方)的

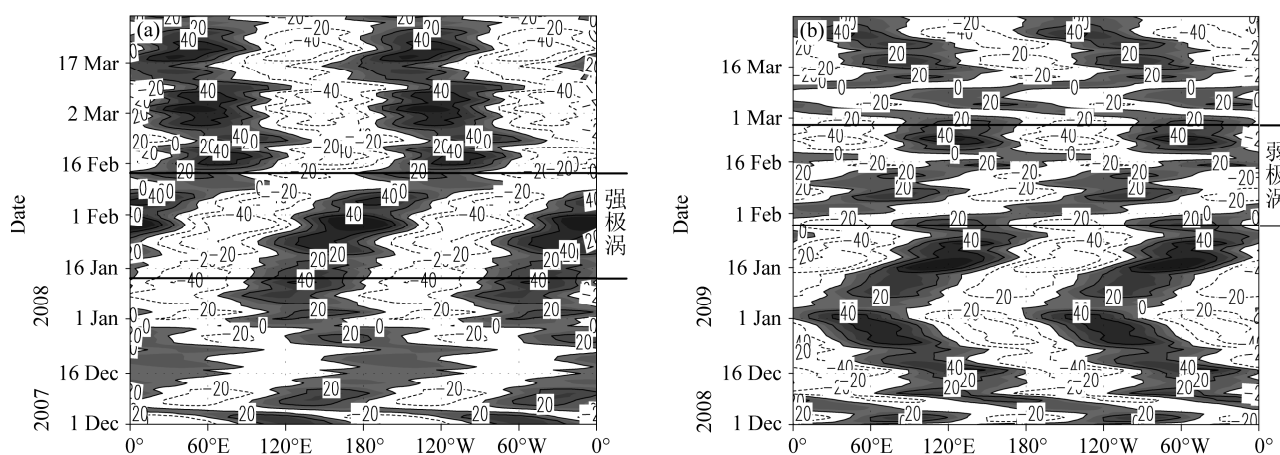


图11 500 hPa上沿 30°N 行星波2波扰动随时间和经度的分布:(a) 2007/2008年冬季;(b) 2008/2009年冬季。阴影为扰动值大于零的区域(单位:位势米)

Fig. 11 Same as Fig. 9, but along 30°N

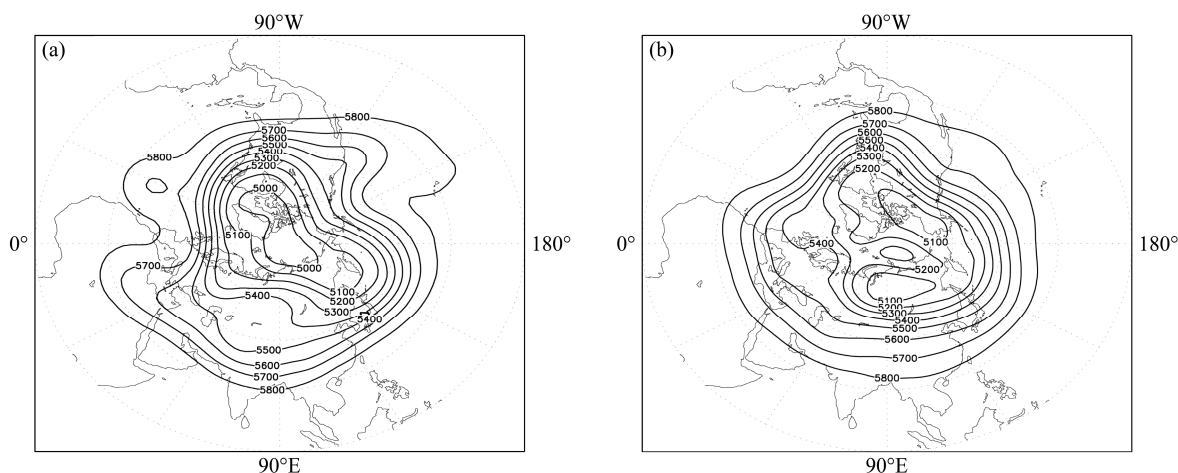


图12 500 hPa位势高度场(单位:位势米):(a) 2008年1月19~29日平均;(b) 2009年1月28日到2月6日平均

Fig. 12 The geopotential height field at 500 hPa (units: gpm): (a) Averaged from January 19 to January 29, 2008; (b) averaged from January 28 to February 6, 2009

输送, 使这些地区的温度偏高; 而 2009 年弱极涡发生后的一段时间, 东亚大槽西退, 利于冷空气向欧亚大陆北部 (包括我国北方) 输送, 导致这些地区较冷。因此行星波的扰动不同, 500 hPa 形势不同, 对我国造成的影响也不同。由于我国幅员辽阔, 南方和北方受到的影响也不尽相同, 前面也提到 2008 年强极涡发生之后, 500 hPa 位势场有利于冷空气影响我国南方, 而 2009 年弱极涡发生之后不利于冷空气影响我国南方。也就是说对于同一种极涡异常, 对东亚地区南北的影响是不一样的。为了更进一步说明这一点, 我们对比一下这两年 1 月中旬到 2 月中旬 500 hPa 沿 30°N 和 60°N 的行星波扰动。对比图 10a 和图 8a 可以看到, 2008 年强极涡发生之后, 在 500 hPa 沿 30°N 的 1 波扰动与沿 60°N 的 1 波扰动几乎是反位相的。同时沿 30°N 的 2 波扰动与沿 60°N 的 2 波扰动也有明显的位相差 (见图 11a 和图 9a)。同样, 对比图 10b 和图 8b, 图 11b 和图 9b, 也可以看到, 在 2009 年弱极涡发生之后, 在 500 hPa 上无论 1 波还是 2 波沿 30°N 与沿 60°N 的扰动位相也有明显的不同, 有些时候甚至反位相。因此, 对南方和北方冷暖空气的输送也就不一样。由此进一步说明同一种极涡异常对我国南北地区的温度影响是不同的。

6 结论和讨论

在对逐日气象资料进行纬向谐波分析的基础上, 分析了 2007/2008 年冬季强极涡期间和 2008/2009 年冬季弱极涡期间平流层和对流层不同波数的行星波的变化特征, 特别关注强极涡或弱极涡发生之后, 500 hPa 沿 60°N 和 30°N 行星波 1 波和 2 波振幅和位相的差异, 以及相应的 500 hPa 位势场的差异, 进而讨论为什么不同的平流层极涡异常会对东亚有不同的影响, 特别讨论为什么同一种极涡异常, 对我国南北方近地面气温的影响会不同。结果表明:

(1) 在平流层 (10 hPa), 2007/2008 年冬季强极涡期间行星波 1 波明显加强, 同时 2 波减弱。而 2008/2009 年冬季的弱极涡 (强爆发性增温) 发生过程中, 行星波 1 波突然减弱, 2 波明显加强。

(2) 在对流层中层 (500 hPa), 2007/2008 年冬季强极涡发生之后, 行星波 2 波的扰动较强而且 1 波 2 波的扰动都向南伸, 而 2009 年的弱极涡 (SSW) 期间和之后, 1 波扰动较弱而且偏北, 2 波的扰动

也偏北。

(3) 在对流层中层 (500 hPa), 强极涡和弱极涡发生之后不但行星波 1 波和 2 波的振幅有所差异, 它们的位相也有明显的不同。特别有意思的是, 其位相的差异还随纬度而变化。在 60°N 附近, 2008 年 1 月中旬到 2 月上旬 (强极涡出现后的一段时间), 1 波的波峰在 0°~100°E 附近, 波谷在 160°W 以东到 80°W 附近地区。而 2009 年 1 月下旬到 2 月中下旬 (弱极涡出现后的一段时间), 沿 60°N 行星波 1 波的波峰在 0°到 60°W 之间, 波谷在 120°E 到 180°之间。而在 30°N 附近, 从 1 月中到 2 月上旬 (强极涡出现后的一段时间), 2008 年的 1 波振幅明显大于 2009 年 1 月下旬到 2 月中下旬 (弱极涡出现后的一段时间) 的行星波 1 波的振幅, 同时, 2008 年这段时间行星波 1 波的波谷主要在 60°E~120°E 之间, 而从 2 月份开始 2009 年弱极涡出现后的一段时间行星波 1 波的波峰和波谷比 2008 年偏西。这说明 2008 年平流层出现强极涡之后, 对流层 500 hPa 行星波 1 波对我国南方的扰动比 2009 年弱极涡之后强得多。在此期间 2 波扰动位相也有明显的差异: 2008 年 1 月中旬到 2 月上旬, 2 波的一个波谷基本上在 60°E~120°E 之间, 而 2009 年 1 月底到 2 月中旬 2 波的波谷基本上在 180°附近, 而且很快减弱, 2 月上中旬 60°E~120°E 基本上是 2 波波峰所在的区域。

(4) 对比这两年 1 月中旬到 2 月中旬 500 hPa 沿 30°N 和 60°N 的行星波扰动。可以看到, 2008 年强极涡发生之后, 在 500 hPa 沿 30°N 的 1 波扰动与沿 60°N 的 1 波扰动几乎是反位相的, 同时沿 30°N 的 2 波扰动与沿 60°N 的 2 波扰动也有明显的位相差。同样, 在 2009 年弱极涡发生之后, 在 500 hPa 上无论 1 波还是 2 波沿 30°N 与沿 60°N 的扰动位相也有明显的不同, 有些时候甚至反位相。

(5) 由于强极涡和弱极涡发生之后行星波活动的上述差异, 使它们的 500 hPa 位势场也有明显不同: 在东半球, 主要表现为乌拉尔高压和东亚大槽的强度和位置不同。2008 年强极涡发生之后, 乌拉尔高压和东亚大槽东移, 不利于冷空气向欧亚大陆北部 (包括我国北方) 的输送, 使这些地区的温度偏高; 而 2009 年弱极涡发生之后, 东亚大槽西退, 利于冷空气向欧亚大陆北部输送, 导致这些地区较冷。对于同一种极涡异常 (强极涡或者弱极涡) 由于南方和北方行星波扰动的位相不同, 对南方和北

方冷暖空气的输送也就不一样。所以同一种极涡异常对（我国）南北地区的温度影响是不同的。

本文给出了 2007/2008 年冬季的强极涡和 2008/2009 年冬季的弱极涡的对比。我们对其他的强极涡和弱极涡也做了分析，行星波活动也有类似的变化，使得强极涡发生之后，乌拉尔高压和东亚大槽东移，欧亚大陆北部偏暖，而南部偏冷。而弱极涡发生之后，乌拉尔高压和东亚大槽位置偏西，欧亚大陆北部偏冷，南部正常或偏暖。只是由于各年极涡的强度变化不一样，下传速度也不尽相同，对对流层的影响强度和时间都不完全相同。

参考文献 (References)

- Baldwin M P, Dunkerton T J. 1999. Propagation of the Arctic oscillation from the stratosphere to the troposphere [J]. *J. Geophys. Res.*, 104 (D24): 30937–30946.
- Baldwin M P, Dunkerton T J. 2001. Stratospheric harbingers of anomalous weather regimes [J]. *Science*, 294 (5542): 581–584.
- Baldwin M P, Stephenson D B, Thompson D W J, et al. 2003. Stratospheric memory and skill of extended-range weather forecasts [J]. *Science*, 301 (5633): 636–640.
- Cai M, Ren R C. 2006. 40–70 day meridional propagation of global circulation anomalies [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 33 (6): L06818, doi:10.1029/2005GL025024.
- 陈文, 康丽华. 2006. 北极涛动与东亚冬季气候在年际尺度上的联系: 准定常行星波的作用 [J]. *大气科学*, 30 (5): 863–870, doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2006.05.15. Chen Wen, Kang Lihua. 2006. Linkage between the arctic oscillation and winter climate over East Asia on the interannual timescale: Roles of Quasi-Stationary planetary waves [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 30(5): 863–870.
- 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 [J]. *地球科学进展*, 24 (3): 272–285. Chen Wen, Wei Ke. 2009. Anomalous propagation of the quasi-stationary planetary waves in the atmosphere and its roles in the impact of the stratosphere on the East Asian winter climate [J]. *Advances in Earth Science (in Chinese)*, 24 (3): 272–285.
- Chen W, Takahashi M, Graf H F. 2003. Interannual variations of stationary planetary wave activity in the northern winter troposphere and stratosphere and their relations to NAM and SST [J]. *J. Geophys. Res.*, 108 (D24): 4797, doi:10.1029/2003JD003834.
- 陈月娟, 周任君, 邓淑梅, 等. 2009. 2008 年雪灾同平流层环流异常的关系 [J]. *中国科学技术大学学报*, 39 (1): 15–22. Chen Yuejuan, Zhou Renjun, Deng Shumei, et al. 2009. Relationship between stratospheric circulation anomalies and extended snow storm [J]. *Journal of University of Science and Technology of China (in Chinese)*, 39(1): 15–22.
- 邓淑梅, 陈月娟, 陈权亮, 等. 2006. 平流层爆发性增温期间行星波的活动 [J]. *大气科学*, 30 (6): 1236–1248. Deng Shumei, Chen Yuejuan, Chen Quanliang, et al. 2006. Planetary wave activity during stratospheric sudden warming [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 30(6): 1236–1248.
- Deng S M, Chen Y J, Luo T, et al. 2008. The possible influence of stratospheric sudden warming on East Asian weather [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 25 (5): 841–846.
- 黄荣辉, 魏科, 陈际龙, 等. 2007. 东亚 2005 年和 2006 年冬季风异常及其与准定常行星波活动的关系 [J]. *大气科学*, 31 (6): 1033–1048. Huang Ronghui, Wei Ke, Chen Jilong, et al. 2007. The east Asian Winter Monsoon anomalies in the winters of 2005 and 2006 and their relations to the Quasi-stationary planetary wave activity in the Northern Hemisphere [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 31(6): 1033–1048.
- 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 (14): L14704, doi:10.1029/2005GL023024.
- Jeong J H, Ho C H, Kim B M, et al. 2005. Influence of the Madden-Julian Oscillation on wintertime surface air temperature and cold surges in East Asia [J]. *J. Geophys. Res.*, 110: D11104, doi:10.1029/2004JD005408.
- Jeong J H, Kim B M, Ho C H, et al. 2006. Stratospheric origin of cold surge occurrence in East Asia [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 33 (14): L14710, doi:10.1029/2006gl026607
- Kodera K, Kuroda Y, Pawson S. 2000. Stratospheric sudden warmings and slowly propagating zonal-mean zonal wind anomalies [J]. *J. Geophys. Res.*, 105 (D10): 12351–12359.
- Kodera K, Yamazaki K, Chiba M, et al. 1990. Downward propagation of upper stratospheric mean zonal wind perturbation to the troposphere [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 17 (9): 1263–1266
- Ren R C, Cai M. 2007. Meridional and vertical out-of-phase relationships of temperature anomalies associated with the Northern Annular Mode variability [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 34 (7): L07704.
- 谭桂容, 陈海山, 孙照渤, 等. 2010. 2008 年 1 月中国低温与北大西洋涛动和平流层异常活动的联系 [J]. *大气科学*, 34 (1): 175–183. Tan Guirong, Chen Haishan, Sun Zhaobo, et al. 2010. Linkage of the cold event in January 2008 over China to the North Atlantic oscillation and stratospheric circulation anomalies [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese)*, 34(1): 175–183.
- Thompson D W J, Wallace J M. 2001. Regional climate impacts of the Northern Hemisphere annular mode [J]. *Science*, 293 (5527): 85–89, doi:10.1126/science.1058958.
- Thompson D W J, Baldwin M P, Wallace J M. 2002. Stratospheric connection to Northern Hemisphere wintertime weather: Implications for prediction [J]. *J. Climate*, 15: 1421–1428.
- Wang Lin, Chen Wen. 2010. Downward Arctic Oscillation signal associated with moderate weak stratospheric polar vortex and the cold December 2009 [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 37 (9): L09707, doi:10.1029/2010GL042659.
- 辛晓歌, 周天军, 宇如聪. 2008. 气候系统模式对北极涛动的模拟 [J]. *地球物理学报*, 51 (2): 337–351. Xin Xiaoge, Zhou Tianjun, Yu Rucong. 2008. The Arctic Oscillation in couple climate models [J]. *Chinese J. Geophys. (in Chinese)*, 51(2): 337–351.
- Zhou S T, Miller A J, Angell J K. 2002. Downward propagating temperature anomalies in the preconditioned polar stratosphere [J]. *J. Climate*, 15 (7): 781–792.