

平流层 NAM 异常对东北冷涡活动影响的研究

万晓敏 付遵涛[†] 胡永云

北京大学物理学院大气与海洋科学系, 气候与海-气实验室, 北京 100871; [†] 通信作者, E-mail: fuzt@pku.edu.cn

摘要 为了研究平流层环流异常对东北冷涡的影响, 使用 NCEP/NCAR(1958—2010 年)再分析资料(日平均、月平均位势高度场及温度场), 对平流层 NAM (northern hemisphere annular mode, 北半球环状模)异常期间东北冷涡的活动特征和三维空间结果进行了统计和合成分析。结果发现, 与平流层 NAM 正异常相比, 在平流层 NAM 负位相异常期间, 东北冷涡发生的频次更多和持续天数更长, 强度也更强。对平流层 NAM 不同位相异常期间的合成分析表明, 在平流层 NAM 负位相异常期间, 东北冷涡强度更强, 与平流层环流异常联系更紧密。同时平流层 NAM 负位相异常期间, 有强的行星波活动, 行星波的活动促进和加强了东北冷涡的发展。研究结果对使用平流层 NAM 异常预测冬季东北冷涡有重要意义。

关键词 北半球环状模; 东北冷涡; 行星波动; 平流层-对流层相互作用; 中长期天气预报

中图分类号 P421

The Influence of Stratospheric Anomalies on the Northeast Cold Vortex

WAN Xiaomin, FU Zuntao[†], HU Yongyun

Department of Atmospheric and Oceanic Sciences and Laboratory for Climate and Ocean-Atmosphere Studies, School of Physics, Peking University, Beijing 100871; [†] Corresponding author, E-mail: fuzt@pku.edu.cn

Abstract The purpose of the study is to investigate influences of stratospheric circulation anomalies on NCV. Using the NCEP/NCAR (daily and month mean) dataset over 1958–2010, the authors performed statistical and composite analyses on the characteristics and three dimensional structures of NCV for stratospheric northern-hemisphere annular mode anomalies. It shows that NCV has more frequent occurrences and longer duration during negative stratosphere NAM anomalies than that during positive NAM anomalies. Composite results show that NCV is stronger during negative stratospheric NAM anomalies than that during positive NAM anomalies. It is also found that during negative stratospheric NAM anomalies NCV is more closely related to downward, eastward and equatorward propagation of stratospheric anomalies, indicating that negative stratospheric NAM may enhance formation and development of NCV and lead to colder weather in Northeastern China. The results have important implications for medium range forecasting NCV in the winter season.

Key words northern-hemisphere annular mode; northeast cold vortex; planetary waves; stratosphere-troposphere interaction; medium range forecasting

根据温度层结, 地球大气层从下到上可以分为对流层、平流层、中层和热层。平流层位于地球大气 10~50 km 的高空, 约占大气总质量的 15%。由于有臭氧的存在, 平流层大气表现为逆温, 大气垂直层结比较稳定, 对流性较强的天气尺度波动被抑制, 因此, 大气运动以行星尺度的平流运动为主^[1]。传

统的观念多认为平流层只是被动接受对流层大气环流变化的影响, 这种变化多由对流层波动上传引起^[2]。20 世纪 90 年代后期, Thompson 等^[3]提出和研究北极涛动(AO), 即经验正交函数 EOF 的第一模态。Baldwin 等^[4]对 17 层标准气压层进行 EOF 分析, 发现类似 AO 的模态在平流层也同样存在, 所

国家重点基础研究发展计划(2010CB428606)资助

收稿日期: 2012-04-06; 修回日期: 2012-05-09; 网络出版日期: 2012-10-24

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.2442.N.20121024.1339.014.html>

以提出了北半球环状模(NAM)的概念。因此, AO 的特征并不仅仅存在于地面, 在平流层至对流层各个高度上都有表现^[5]。Baldwin 等^[6]利用 NCEP/NCAR 位势高度场逐日再分析资料, 得到了 17 层逐日的环状模指数(NAM index)(本文统称为 NAM)。Baldwin 等^[4,6]还发现平流层 NAM 异常信号通常从上层发生, 然后向下传播, 强的平流层异常能够向下传播至对流层甚至地面。胡永云^[7]总结目前主要有两种观点解释平流层环流异常对对流层天气系统的影响: 一种认为平流层异常向下传播到平流层底层时, 平流层环流异常会直接作用于对流层天气系统^[8], Hartley 等^[9]以及 Black^[10]从位势涡度的角度指出平流层位势的异常会诱发对流层位势变化, 进而影响对流层天气系统; 另一种观点认为是平流层环流异常首先影响行星波活动, 进而间接影响对流层天气系统^[11-12]。陈文等^[13]在年际尺度上进一步指出, 冬季行星波的两支波导存在反相关的振荡关系, 这种年际振荡一方面会影响 NAM 的位相异常, 另一方面会导致东亚地区的气候异常。同时在季节内时间尺度上准定常行星波的变化与平流层极涡的低频变化密切相关, 平流层极涡异常通过与行星波的相互作用可以自上而下影响到对流层的短期气候。

对于东亚地区来说, 冬季主要的天气系统是对流层中层的乌拉尔山阻塞高压和东亚大槽, 在地面则主要表现为西伯利亚高压。许多学者也研究了平流层环流异常对东亚冬季天气系统和天气过程的影响。Deng 等^[14]发现在 NAM 负位相异常期间, 东亚大槽强度增强并且逐渐向南移动, 影响我国北方和东北地区。Gong 等^[15]分析了冬季 NAM 与东亚冬季风的相关关系, 发现北极涛动指数(AO Index)和西伯利亚高压、东亚大槽强度呈明显负相关, 同时西伯利亚高压与我国东部地区温度为显著负相关, 因此指出冬季 NAM 通过与西伯利亚高压相互作用来影响东亚冬季风强度, 进而影响我国冬季天气和气候变化。Park 等^[16-17]和 Jeong 等^[18-19]分析了 NAM 不同位相异常期间东亚地区寒潮发生的强度和频次, 指出 NAM 负位相异常时, 寒潮发生的次数更多, 强度更强。

东北冷涡是一个深厚的冷性低压, 属于天气尺度系统, 它的出现多伴有低温、大风和不稳定天气。历史统计表明东北冷涡一年四季均有出现, 春末夏初活动最频繁^[20]。但有关平流层环流异常与东北冷涡活动之间关系的研究目前多着重于前期 NAM 异

常对夏季东北冷涡活动的影响。何金海等^[21]发现夏季东北冷涡强度与前期 2 月份中低纬(中高纬)纬向平均海平面气压呈负相关(正相关), 继而指出或许可以将前期 NAM 异常信号作为预报夏季东北冷涡的一个指示因子。近年来, 越来越多的学者关注平流层环流异常对冬季对流层天气系统的影响, 提出可以将平流层环流异常信号作为预报对流层天气气候变化的先兆指示因子^[22-23]。对于我国东北地区来说, 冬春季东北冷涡的活动对该地区的气候影响要大于冷涡活动最频繁的夏季^[24], 因此有必要将平流层环流异常与冬季东北冷涡活动联系起来, 从而探讨平流层异常过程对我国东北地区冬季天气变化的影响。本文主要通过合成分析, 研究冬季平流层 NAM 不同位相异常向下传播期间东北冷涡活动的差异, 并做初步的机理解释。

1 资料和处理方法

所用资料来源于水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的 NCEP/NCAR 日平均、月平均位势高度场及温度场再分析资料(1958—2010 年), 计算初始 NAM 指数序列与 Baldwin 等^[6]的计算方法一致, 区别在于本文的 NAM 指数序列是对初始 NAM 指数序列进行逐层标准化得到的。选取 10 hPa 的 NAM 指数序列定义平流层 NAM 异常, 要求同一位相异常的 NAM 指数绝对值大于 1.0, 并能持续 10 天以上。其中 NAM 指数大于 1.0 定义为 NAM 正位相异常, NAM 指数小于 -1.0 定义为 NAM 负位相异常。本文主要研究能够下传到地面的平流层 NAM 异常事件, 其中对平流层 NAM 异常事件下传的选取方法与 Baldwin 等^[6]的筛选方法一致。

本文定义的东北冷涡为同时满足下列条件的一次天气过程: 1) 在 500 hPa 出现闭合低压中心(有 1 条或 1 条以上的闭合等高线); 2) 闭合低压中心有冷中心或冷槽相伴; 3) 冷涡出现在 $40^{\circ} \sim 65^{\circ} \text{N}$, $115^{\circ} \sim 145^{\circ} \text{E}$ 附近; 4) 系统维持 3 天以上。

2 平流层 NAM 异常及 NAM 异常期间东北冷涡过程的统计特征

对 1958—2010 年(9 月至次年 4 月)10 hPa 发生的 NAM 异常以及其中能够下传到地面的 NAM 异常事件进行统计, 并计算了上传到地面的事件占总 NAM 异常的百分比(表 1)。从表 1 可以看到, 虽然 10 hPa 发生的 NAM 正位相异常频次更多, 但从下

传百分比来看,能够下载到地面的 NAM 负位相异常事件占总的 NAM 负位相异常的 86%,要大于 NAM 正位相异常的 66%,说明有更多的 NAM 负位相异常能够下载到对流层,可能影响对流层天气系统活动。本文只讨论能够下载到地面的平流层 NAM 异常对东北冷涡活动过程的影响,故本文 NAM 异常均为能够下载到地面的异常事件。

Thompson 等^[25]对北半球阻塞高压发生频次的历史统计表明, NAM 负位相异常期间发生的阻塞高压频次要远多于 NAM 正位相异常期间,对应北半球冬季发生的极端冷事件频次也更多。本文主要研究 NAM 异常对冬半年(10 月至次年 4 月)东北冷涡活动的影响,统计得出共有 245 次东北冷涡发生在非 NAM 异常期间,并持续 1103 天。同时对照 1958—2010 年发生的 NAM 异常时间,统计出有 20 次东北冷涡发生在 NAM 正位相异常期间,32 次发生在 NAM 负位相异常期间。对比平流层 NAM 不同位相异常期间东北冷涡发生的频率可以发现, NAM 正位相异常期间东北冷涡发生频率为 38%, NAM 负位相异常期间东北冷涡发生频率为 89%。对比统计东北冷涡持续天数发现,在 NAM 负位相异常期间发生的东北冷涡的持续天数也远远多于 NAM 正位相异常期间(表 2)。平均来讲,平流层 NAM 负异常期间每次东北冷涡的持续时间大约是 6 天,而平流层 NAM 正异常期间每次东北冷涡持续的时间大约是 4 天,由此说明平流层 NAM 负位相异常对东北冷涡活动频次和持续天数是有较大影响

表 1 1958—2010 年(9 月至次年 4 月)NAM 异常统计

Table 1 Numbers of stratospheric NAM anomalies during 1958–2010 (Sept.–Apr.)

NAM 异常	总 NAM 异常次数	下载到地面的 NAM 异常	比例/%
NAM+	79	52	66
NAM-	42	36	86

表 2 1958—2010 年(10 月至次年 4 月)NAM 异常期间东北冷涡频次和持续天数统计

Table 2 Numbers and duration of north east cold vortex during extreme low and high NAM index events during 1958–2010 (Oct.–Apr.)

统计项目	NAM+异常	NAM-异常	非 NAM 异常
东北冷涡发生频次	20	32	245
东北冷涡持续天数	80	194	1103

的,这与 Thompson 等^[25]的统计结果相互印证。为了进一步研究 NAM 正负位相异常对东北冷涡活动的影响,我们对发生在 NAM 正位相异常期间的 20 次东北冷涡和 NAM 负位相异常期间的 32 次东北冷涡分别进行合成分析。

3 结果分析

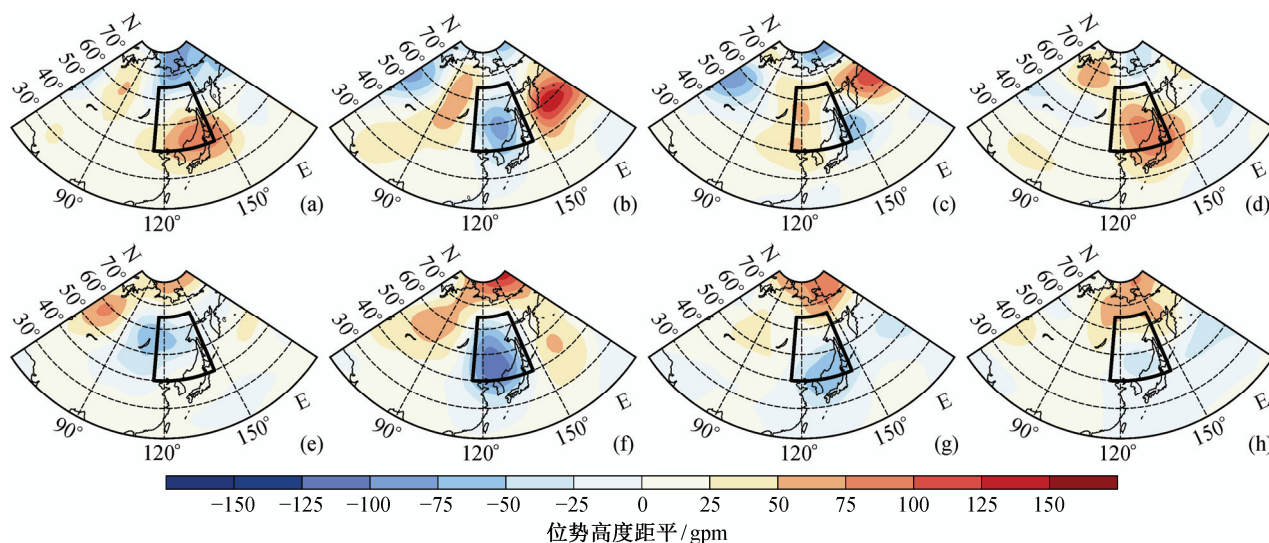
3.1 平流层 NAM 正负位相异常期间东北冷涡异常的合成

已有研究表明,平流层 NAM 负位相异常期间会伴随东亚急流(200 hPa)的加强和向南移动,以及东亚大槽(500 hPa)加深^[14]。而在平流层爆发性增温后,平流层位势高度场异常并向下传播,500 hPa 东亚大槽加深并偏西^[26]。本文定义东北冷涡每次过程中强度最大的那一天为第 0 天,分别对 NAM 正位相异常期间的 20 次东北冷涡、NAM 负位相异常期间的 32 次东北冷涡的发生过程进行 500 hPa 位势高度场异常的合成分析,合成结果均一致,本文只给出从东北冷涡发生前 3 天到第 6 天的合成结果(图 1)(这里的异常场指的是合成的位势高度场减去气候态位势高度场)。在 NAM 正位相异常期间(图 1(a)~(e)),极地为位势高度正异常,并且在发生前 3 天时极地正异常向南扩展,即使在发生前 3 天,也未发现有负异常在上游生成(图 1(a))。在第 0 天,负异常值只有-70 gpm 左右(图 1(b))。在第 3 天很快减弱,在第 6 天已被正异常所取代(图 1(c)和(d))。而在 NAM 负位相异常期间, (图 1(e)~(h)),在东北冷涡发生前 3 天,贝加尔湖附近一个负位势高度异常中心,该异常中心逐渐加强,并向东移动,在第 0 天进入东北冷涡活动范围,位势高度异常值达-100 gpm,在第 3 天之后开始减弱,在第 6 天变得非常微弱。综上所述,图 1 的合成结果表明,在 NAM 负位相异常期间东北冷涡的强度较 NAM 正位相异常期间更强,持续时间较长,而且 NAM 负位相异常期间东北冷涡更多是从西侧上游移动而来。而在 NAM 正位相异常期间,东北冷涡强度相对较弱,持续时间也比较短,其形成过程多受极涡和局地环流影响。

为了体现平流层环流异常与东北冷涡活动在垂直方向的联系,依据东北冷涡的发生范围(40°~65°N, 115°~145°E),每隔 5°进行纬向和经向的垂直剖面合成,合成结果均一致,但在 55°N 和 125°E 的结果最明显,故本文只给出沿 55°N 和沿 125°E 的合成结果。图 2 中首先给出了沿 55°N 合成的位势高

度距平的纬向-高度剖面。在 NAM 负位相异常期间(图 2(e)~(h)), 平流层呈现明显的 1 波结构, 高压脊位于北太平洋, 位势高度异常值超过 240 gpm, 而低压槽位于北大西洋, 异常值达-240 gpm。对流层呈现 2 波结构, 两个高压脊分别位于 70°E 和 120°W, 两个低压槽在地面分别位于日期变更线附近和 80°W, 在 500 hPa 高度, 两个低压槽分别对应于通常所说的东亚大槽和北美大槽。高压脊和低压槽的垂直结构基本都随高度向西倾斜, 平流层和对流层

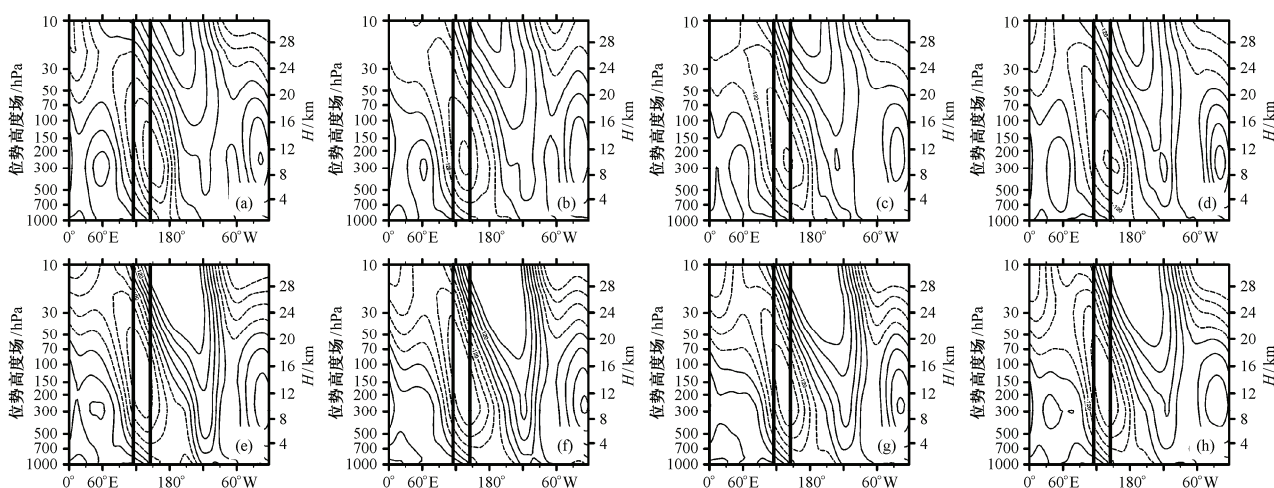
的槽脊是联系在一起的。而在 NAM 正位相异常期间(图 2(a)~(d)), 平流层和对流层的槽脊结构与 NAM 负位相异常期间基本类似, 但强度和位置有差异。无论是在平流层或是在对流层, 槽脊都偏弱。需要指出的是, 在 NAM 负位相异常期间, 东亚大槽中心位置偏西。因为东北冷涡(图中的两条垂直粗线表示)是天气尺度系统, 在图 2 中被包含在东亚大槽中, 很难单独分离出来。但图 2 中 NAM 负位相异常期间东亚大槽的位置偏西和强度偏强说明更有



(a)~(d) NAM 正位相异常; (e)~(h) NAM 负位相异常。从左至右依次为发生前 3 天到发生后 6 天, 黑色方框为东北冷涡对应区域

图 1 正负 NAM 异常期间东北冷涡从发生前第 3 天到发生后第 6 天 500 hPa 位势高度异常的合成

Fig. 1 Composite anomalies of geopotential height at 500 hPa during day -3 to day 6 in positive NAM phase and negative NAM phase



(a)~(d) NAM 正位相异常期间位势高度距平异常; (e)~(h) NAM 负位相异常期间位势高度距平异常。从左到右依次为发生前 3 天到发生后 6 天, 虚线代表负值, 实线代表正值, 等值线间隔 60 gpm, 粗线标注为东北冷涡对应区域

图 2 正负 NAM 异常期间合成的位势高度距平场从发生前第 3 天到发生后第 6 天沿 55°N 的纬向垂直剖面图

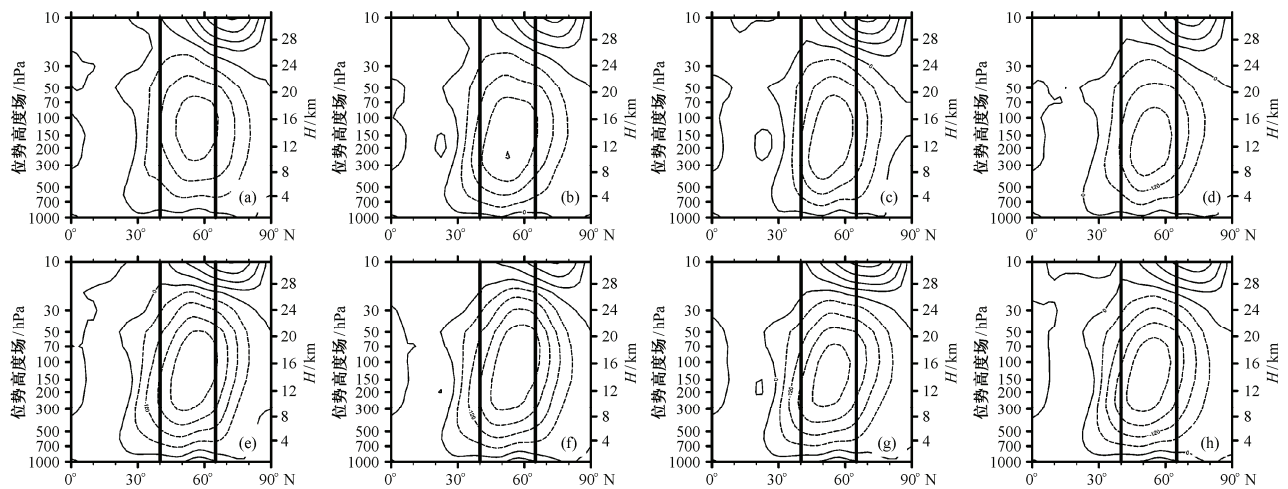
Fig. 2 Vertical cross sections of composite geopotential height anomalies at 55°N during day -3 to day 6 in positive NAM phase and negative NAM phase

利于东北冷涡的形成。

图3给出合成的位势高度距平沿125°E的经向垂直剖面。从图3可以看出,在NAM负位相异常期间,东北冷涡的位势高度距平最大值大约是-240 gpm,其垂直结构向北倾斜,延伸到平流层下层。在NAM正位相异常期间,位势高度距平最大值大约是-180 gpm,其强度要比负位相异常期间弱,向平流层延伸的高度也稍微偏低,向北倾斜的程度也偏弱。图2和3说明东北冷涡作为一个天气尺度系统,

完全有可能受到平流层系统异常变化的影响。这些结果也同时说明,东北冷涡的活动与东亚大槽的活动是密切联系在一起的,而后者属于行星尺度系统,因此,平流层环流异常对东北冷涡的影响是与其对东亚大槽的影响密不可分的。

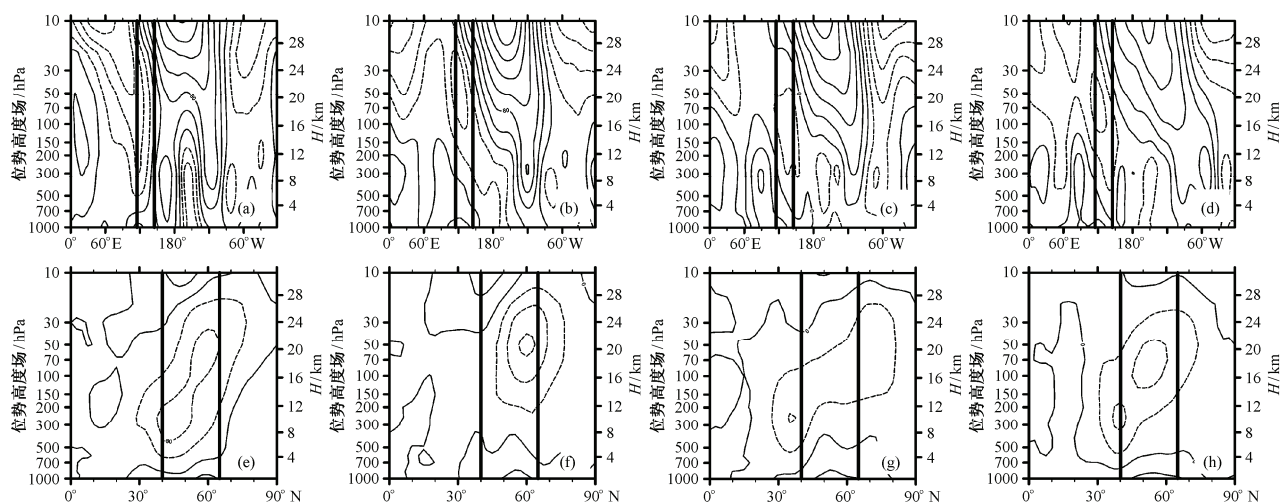
为了更清楚地说明在NAM正负位相异常期间东北冷涡垂直结构上的差异,图4给出了NAM正负位相异常期间位势高度距平垂直剖面图之差,也就是图2和3中各自的上下排图之差。图4(a)~(d)表



(a)~(d) NAM 正位相异常期间位势高度距平异常; (e)~(h) NAM 负位相异常期间位势高度距平异常。从左到右依次为发生前3天到发生后6天,虚线代表负值,实线代表正值,等值线间隔60 gpm,粗线标注为东北冷涡对应区域

图3 正负NAM异常期间合成的位势高度距平场从发生前第3天到发生后第6天沿125°E的经向垂直剖面

Fig. 3 Vertical cross sections of composite geopotential height anomalies at 125°E during day -3 to day 6 in positive NAM phase and negative NAM phase



(a)~(d) 沿55°N纬向合成的位势高度距平之差; (e)~(h) 沿125°E经向合成的位势高度距平之差。从左到右依次为发生前3天到发生后6天,虚线代表负值,实线代表正值,等值线间隔40 gpm,粗线标注为东北冷涡的活动区域

图4 NAM正位相异常和负位相异常期间合成的位势高度距平垂直剖面之差(NAM-减去NAM+)

Fig. 4 Differences in composite geopotential height anomalies between negative and positive NAM phases (NAM- minus NAM+)

明,在东西方向,NAM 负位相异常期间东北冷涡的强度较强。可以发现,两个位相异常位势高度之差的负值随时间逐步自上和自西向下和向东移动。图4(e)~(h)表明,在南北方向,NAM 负位相异常期间的东北冷涡位势高度较正位相异常期间要低,说明东北冷涡的强度在 NAM 负位相异常期间要强。另外,在第 0 天之后,平流层极区有一个负值中心分离出来,并逐渐向低纬度和平流层低层移动。这说明在 NAM 负位相异常期间,平流层异常对东北冷涡有更强的影响,平流层极涡有可能向东亚地区伸展,或者极涡分离出低涡并向东亚地区移动,并诱发东北极涡的产生或有助于东北冷涡的加强。这也说明在 NAM 负位相异常期间,平流层环流异常对东北冷涡相对于正位相异常有着更强的影响。

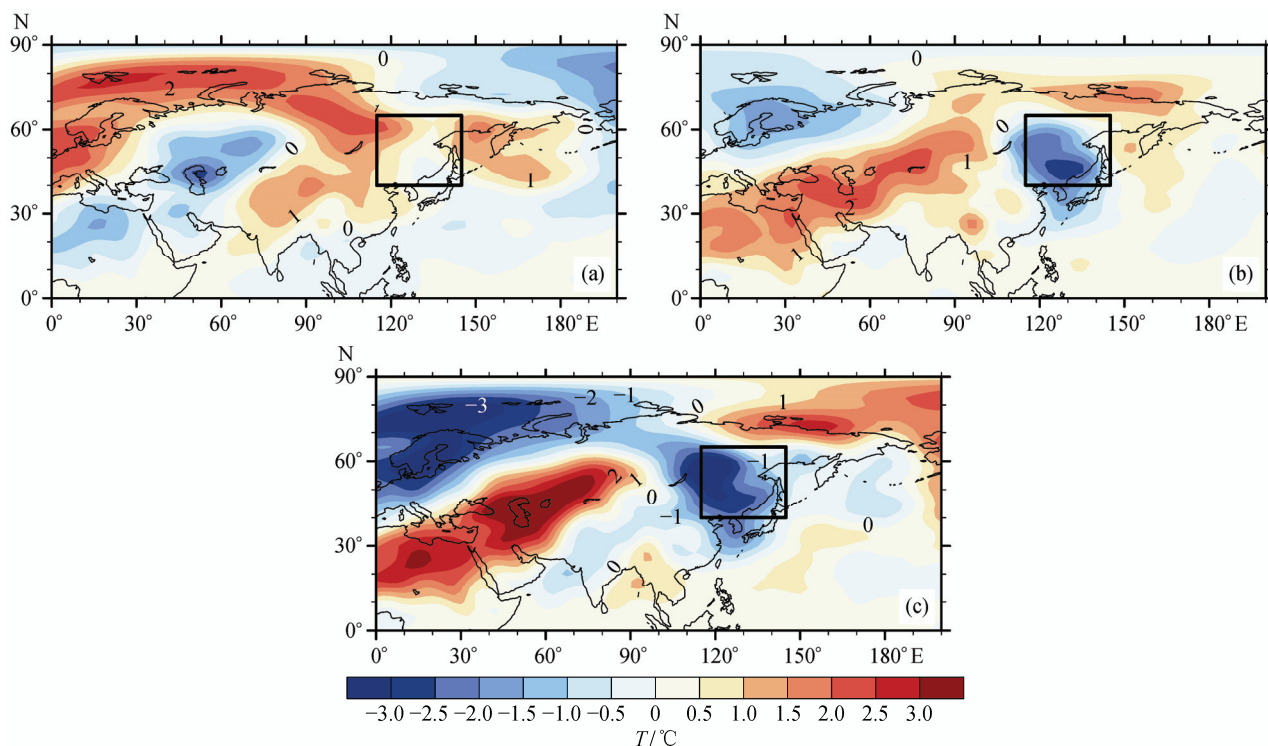
东北冷涡作为亚洲中高纬大气环流系统的重要组成部分,一年四季均有出现,并伴有低温和强对流天气。东北冷涡在空间上不仅对我国东北地区天气气候有重要影响,也会引导高纬冷空气南下影响中低纬度地区^[27],已有的研究也表明,对于东北冷涡活动,冬春季对我国东北地区气候影响要大于冷涡活动最频繁的夏季^[24]。为此我们研究平流层 NAM 不同位相异常下,东北冷涡发生时对流层低层温度的差异。和上文分析方法一样,分别对 NAM 正位相异常期间的 20 次东北冷涡, NAM 负位相异常期间的 32 次东北冷涡的 850 hPa 温度异常进行合成。图 5 表示平流层 NAM 正位相异常期间, NAM 负位相异常期间 850 hPa 温度异常分布(第 0 天到第 6 天的平均值)以及它们的差。在 NAM 正位相异常期间(图 5(a)),欧亚大陆中高纬地区(40°~80°N)增温,并存在 3 个暖中心,分别位于欧洲西部、新地岛以北以及贝加尔湖以北,暖中心增温超过 2.5℃。在北美大陆北部和欧亚大陆中部(里海附近)表现为降温,降温幅度超过-2.5℃。我国从北到南大部分地区处于偏暖的状态,东北冷涡的主要活动地区(图中黑色方框标注区域)在 NAM 正位相异常期间并未存在明显的降温。在 NAM 负位相异常期间(图 5(b)),欧洲西北部偏冷(降温超过-2℃),西伯利亚高原北部和欧亚大陆中部有明显增温(升温超过 2℃)。我国东北和华北地区有显著降温,特别是在东北地区,降温幅度超过 2.5℃。图 5(c)给出 NAM 正负位相异常期间 850 hPa 温度距平合成差,即图 5(b)和(a)相减的结果。可以看出,在 NAM 负位相异常期间,我国大部分地区是偏冷的,特别是东北冷涡影响区域,

较 NAM 正位相异常期间降温幅度超过 3℃。上述分析表明, NAM 负位相异常期间发生的东北冷涡对近地面温度影响更大,在其活动期间,东北地区温度偏低。这也说明在平流层 NAM 负位相异常期间,平流层环流异常下传到对流层,会对东北冷涡活动有更强的影响,进而影响近地面天气,造成东北地区低温天气出现。

3.2 平流层 NAM 异常期间波动异常分析

上述分析表明, NAM 负位相异常期间,平流层环流异常更易向下传播,并促进东北冷涡的发生和发展。因为平流层和对流层是通过波动作用动力耦合在一起的,所以,平流层环流异常对东北冷涡的影响可以通过波动活动特征的分析来加以说明。Eliassen 等^[28]以及 Charney 等^[2]1961 年开创性地提出波能传播理论,即用 E-P 通量来诊断分析扰动对平均基本气流的强迫作用。Huang 等^[29]和 Chen 等^[30]在此基础上将 E-P 通量推广到球面,将其应用到行星波的研究上,证明了极地波导和低纬度波导的存在,并提出这两支波导具有显著的年际振荡特征。由此, E-P 通量是描述行星波活动的一个非常有力的工具。在计算三维波动通量时,我们使用的是 Plumb^[31]推导的准定常波 Eliassen-Plam (E-P)通量公式,选取 NAM 正负位相异常期间从前 3 天到第 6 天平均的风速和温度来代表该期间定常波的 E-P 通量。

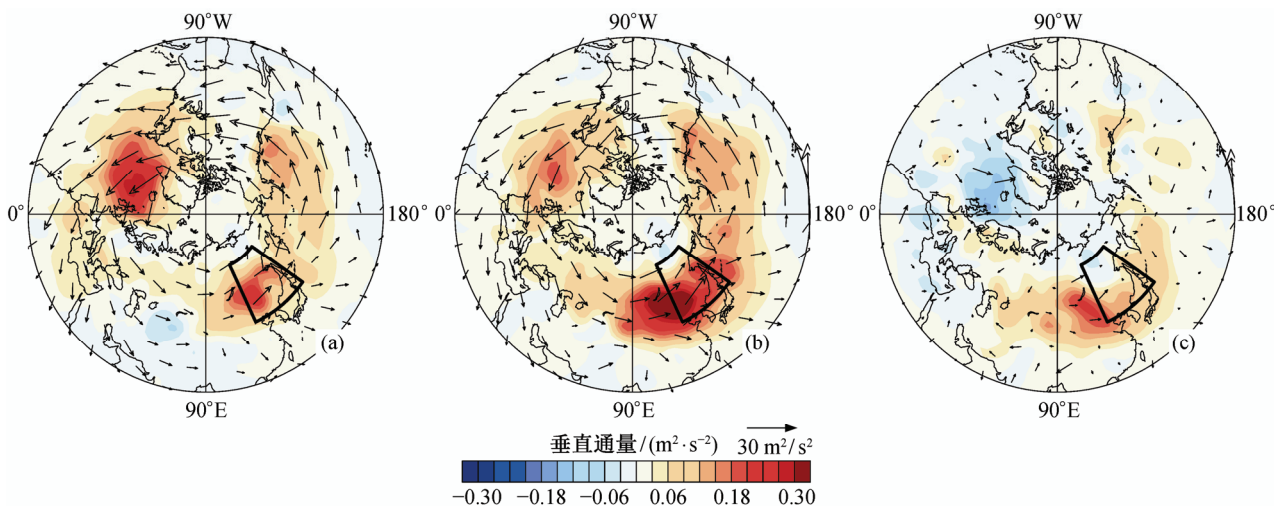
图 6 给出根据东北冷涡合成的 NAM 正负位相异常期间 E-P 通量,箭头代表水平分量,阴影区代表垂直分量。在 NAM 负位相异常期间,东北冷涡发生区域有强的行星波上传传播,说明 NAM 负位相异常期间有利于波动在垂直方向上的发展。在水平方向上,东亚区域的波动通量也比较强,并且箭头的方向表明波动向东传播。这与平流层爆发性增温前期有强的行星波上传类似^[26]。在 NAM 正位相异常期间,波动通量无论是垂直分量或是水平分量都较负位相异常期间弱,说明平流层 NAM 正位相异常不利于对流层系统的发展。两个位相异常期间的 E-P 通量的差异可以从图 6(c)中看出。Hu 等^[11-12]指出平流层环流异常变化会影响对流层的行星波的活动,进而通过行星波和天气尺度波动的相互作用来影响对流层天气系统。陈文等^[32]也发现 NAM 通过影响中高纬平流层下层的西风环流,进而影响准定常行星波的垂直传播,使得对流层行星波活动变化,影响对流层低层天气系统活动。由此看出,相



(a) NAM 正位相异常期间 850 hPa 温度异常; (b) NAM 负位相异常期间 850 hPa 温度异常; (c) NAM 负位相异常 850 hPa 温度距平减去 NAM 正位相异常期间 850 hPa 温度距平。黑色方框标注为东北冷涡的活动区域

图 5 东北冷涡 850 hPa 温度异常合成(从发生第 0 天到发生后第 6 天平均)

Fig. 5 Composite of 850 hPa temperature anomaly (the time average for day 0 to day 6)



(a) NAM 正位相异常期间的 E-P 通量; (b) NAM 负位相异常期间的 E-P 通量; (c) NAM 负位相异常 E-P 通量减去 NAM 正位相异常 E-P 通量。黑色方框为东北冷涡的活动区域

图 6 500 hPa 三维 E-P 通量合成

Fig. 6 Composite 3-dimensional E-P flux at 500 hPa

对于 NAM 正位相异常, 在 NAM 负位相异常期间, 有强的行星波向上传播和在垂直方向上发展, 有利于天气尺度的东北冷涡发展, 进而造成东北地区温度偏低。

4 结论和讨论

本文研究了平流层环流异常对东北冷涡的影响, 利用合成分析的方法, 特别比较了平流层 NAM

正位相和负位相异常期间东北冷涡的活动特征和空间结构。对平流层 NAM 正负异常期间的发生频次进行统计发现,在 1958—2010 年冬季(10 月至次年 4 月)52 次下传到对流层的 NAM 正位相异常中,共有 20 次东北冷涡发生,东北冷涡发生频率为 89%;在 36 次下传到对流层的 NAM 负位相异常期间,共有 32 次东北冷涡发生,东北冷涡发生频率为 38%。这说明当平流层负位相异常下传到对流层会有更多的东北冷涡发生。平流层 NAM 负位相异常对应的 32 次东北冷涡共持续 194 天,而平流层正位相异常对应的 20 次东北冷涡的总持续时间是 80 天。平均来讲,平流层 NAM 负位相异常期间每次东北冷涡的持续时间大约是 6 天,而平流层 NAM 正位相异常期间每次东北冷涡持续的时间大约是 4 天。

合成分析表明,与平流层 NAM 正位相异常期间的东北冷涡相比,平流层 NAM 负位相异常期间东北冷涡强度更强,系统在垂直方向更加深厚,一直延伸到平流层低层,对流层冷涡的发生和发展与平流层位势高度负异常的下传密切相关。这些结果意味着平流层位势高度负异常自上而下,自西向东和自极区向中纬度的传播有可能促进了东北冷涡的发生和发展。我们还发现,在 NAM 负位相异常期间,东北冷涡更多是由上游移动到我国东北地区,而平流层 NAM 正位相异常期间的东北冷涡受极涡和局地环流影响,多表现为极涡南压形成或在本地生成。同时,平流层 NAM 异常对东北冷涡活动的影响在温度场上也有显著的变化。在 NAM 负位相异常期间,东北冷涡活动区域较 NAM 正位相异常期间更冷,同时我国东北、华北和沿海地区也有明显降温,这也体现了东北冷涡在空间上不仅对我国东北地区天气气候有重要影响,也会引导高纬冷空气南下影响中低纬度地区^[27]。这种温度场上的差异也说明平流层 NAM 负位相异常促进和加强了东北冷涡的发生和发展。我们还发现,平流层 NAM 负位相异常期间,东北冷涡附近行星波活动在垂直和水平方向的活动都较强,说明平流层 NAM 负位相异常有可能通过影响对流层行星波,进而影响天气尺度的东北冷涡发生和发展。

目前有关平流层环流异常向下传播影响对流层天气系统活动的具体研究还比较少。本文的研究表明平流层环流异常确实可以对东北冷涡活动产生重要的影响,但平流层环流异常信号能否作为预报以及如何用来预报冬季东北冷涡的活动还需要进一步

的研究。需要指出的是,东北冷涡的活动是与东亚大槽的活动密切联系在一起的,本文得到的结果是平流层环流异常对东北冷涡的直接影响的结果,还是通过影响东亚大槽进而影响东北冷涡的结果,还需要进一步的研究。

参考文献

- [1] 盛裴轩,毛节泰,李建国,等. 大气物理学. 北京: 北京大学出版社, 2003: 48–51
- [2] Charney J G, Drazin P G. Propagation of planetary-scale disturbances from the lower to the upper atmosphere. *J Atmos Sci*, 1961, 66: 83–109
- [3] Thompson D W J, Wallace J M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys Res Lett*, 1998, 25: 1297–1300
- [4] Baldwin M P, Dunkerton T J. Propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere. *Geophys Res*, 1999, 104: 30937–30946
- [5] Thompson D W J, Wallace J M. Annular modes in the extratropical circulation. Part II: trends. *J Climate*, 2000, 13(5): 1018–1036
- [6] Baldwin M P, Dunkerton T J. Stratospheric harbingers of anomalous weather regimes. *Science*, 2001, 294: 581–584
- [7] 胡永云. 关于平流层异常影响对流层天气系统的研究进展. *地球科学进展*, 2006, 21(7): 713–720
- [8] Wallace J M, Thompson D W J. Annual modes and climate prediction. *Physics Today*, 2002, 55: 29–33
- [9] Hartley D E, Villarin J T, Black R X. A new perspective on the dynamical link between the stratosphere and troposphere. *Nature*, 1998, 391: 471–474
- [10] Black R X. Stratospheric forcing of surface climate in the Arctic Oscillation. *J Climate*, 2002, 15: 268–277
- [11] Hu Y, Tung K K. Possible ozone induced long-term changes in planetary wave activity in the winter. *J Climate*, 2003, 16: 3027–3038
- [12] Hu Y, Tung K K, Liu J. A closer comparison of decadal atmospheric trends between Northern Hemisphere early and late winter. *J Climate*, 2005, 18: 2924–2936
- [13] 陈文, 魏科. 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*, 2009, 24(3): 272–285
- [14] Deng S M, Chen Y J, Luo T, et al. The possible in-

- fluence of stratospheric sudden warming on East Asia weather. *Adv Atmos Sci*, 2008, 25(5): 841–846
- [15] Gong D Y, Wang S W, Zhu J H. East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation. *Geophy Res Lett*, 2001, 28(10): 2073–2076
- [16] Park T W, Ho C H, Song Y. Relationship between Arctic Oscillation and cold surges over East Asia. *J Climate*, 2011, 24(1): 68–83
- [17] Park T W, Jeong J H, Kim S J. Characteristics of atmospheric circulation associated with cold surge occurrences in East Asia: a case study during 2005/06 winter. *Adv Atmos Sci*, 2008, 25: 791–805
- [18] Jeong J H, Kim B M, Ho C H, et al. Stratospheric origin of cold surge occurrence in East Asia. *Geophy Res Lett*, 2006, 33: L14170, doi:10.1029/2006GL026607
- [19] Jeong J H, Ho C H. Changes in occurrence of cold surges over East Asia in associated with Arctic Oscillation. *Geophy Res Lett*, 2005, 32: L14704, doi:10.1029/2005GL023024
- [20] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理. 北京: 气象出版社, 2000: 185–192
- [21] 何金海, 吴志伟, 祁莉, 等. 北半球环状模和东北冷涡与我国东北夏季降水关系分析. *气象与环境学报*, 2006, 22(1): 1–5
- [22] Thompson D W J, Baldwin M P, Wallace J M. Stratospheric connection to northern hemisphere wintertime weather: implications for prediction. *J Climate*, 2002, 15: 1421–1428
- [23] Baldwin M P, Thompson D W J, Shuckburgh E F, et al. Weather from the stratosphere. *Science*, 2003, 301: 317–318
- [24] 胡开喜, 陆日宇, 王东海. 东北冷涡及其气候影响. *大气科学*, 2011, 35(1): 179–191
- [25] Thompson D W J, Wallace J M. Regional climate impacts of the northern hemisphere annular mode. *Science*, 2001, 293: 85–89
- [26] 李琳, 李崇银, 谭言科, 等. 平流层爆发性增温对中国天气气候的影响及其在 ENSO 影响中的作用. *地球物理学报*, 2010, 53(7): 1529–1542
- [27] 苗春生, 吴志伟, 何金海, 等. 近 50 年东北冷涡异常特征及其与前汛期华南降水的关系分析. *大气科学*, 2006, 30(6): 1249–1256
- [28] Eliassen A, Palm E. On the transfer of energy in stationary mountain waves. *Geofysiske Publikasjoner*, 1961, 22(3): 1–23
- [29] Huang R H, Gambo K. On other wave guide in stationary planetary wave propagations in the winter Northern Hemisphere. *Science in China: Ser B*, 1983, 26: 940–950
- [30] Chen W, Takahashi M, Graf H F. Interannual variations of stationary planetary wave activity in the northern winter troposphere and stratosphere and their relations to NAM and SST. *J Geophy Res*, 2003, 108(24): 4797, doi:10.1029/2003JD003834
- [31] Plumb R A J. On the three-dimensional propagation of stationary waves. *J Atmos Sci*, 1985, 42: 217–229
- [32] 陈文, 康丽华. 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. *大气科学*, 2006, 30(5): 863–870