

东北冷涡低频活动特征及背景环流^{* 1}

谢作威^{1,2} 布和朝鲁^{1,3}

XIE Zuowei^{1,2} Bueh Cholaw^{1,3}

1. 中国科学院大气物理研究所国际气候与环境科学中心,北京,100029

2. 中国科学院研究生院,北京,100049

3. 中国科学院大气物理研究所大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室,北京,100029

1. ICCES, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3. LASG, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2010-11-03 收稿,2012-07-22 改回.

Xie Zuowei, Bueh Cholaw. 2012. Low frequency characteristics of northeast China cold vortex and its background circulation pattern. *Acta Meteorologica Sinica*, 70(4): 704-716.

Abstract In this study, the spatial-temporal distribution of the northeast China cold vortex (NCCV) in summer and the concurrent background teleconnection pattern have been investigated using a long-term data (1965–2007). The spatial extent of the NCCV activity is extended southward to the south of 40°N in June, while it is constrained to the north of 45°N in May. From July to August, it is gradually shrunk back to the north. Starting from May 1, the number of the NCCV days gradually increases as the East Asian Jet gradually weakens and moves northwards, and it reaches the peak about June 6. However, it begins to decrease when the meiyu period begins, and further decreases after the period. The strong NCCV events tend to happen in the pre-meyu period, while the weak and moderate events occur in the meiyu and post-meyu period. The NCCV activities show a quasi-biennial oscillation feature in the pre-meyu and post-meyu period. During years of 1965–2007, an increasing trend is found for the number of the NCCV days in summer, particularly during the meiyu period. Based on the position of the upstream ridge, the NCCV-related circulations can be classified into four types, namely, the Yenisei-type, the Baikal-type, the Ural/Yakutsk-type and the Okhotsk/Arctic-type. The western Pacific (WP) pattern is the primary background teleconnection pattern for the NCCV activity, with its negative phase being favorable for the NCCV formation. In addition, the NCCV activity is associated with the Pacific/North American (PNA) pattern in May and June and with the North Atlantic Oscillation (NAO) in August.

Key words Northeast China cold vortex, East Asian jet, WP pattern, NAO pattern, PNA pattern

摘要 研究了1965—2007年夏季(5—8月)东北冷涡活动的时空分布特征和同期背景环流型。东北冷涡活动区域5月主要是45°N以北,6月向南扩展到40°N以南,然后逐月向北收缩。夏季,随着东亚急流的逐渐减弱和北进,东北冷涡天数逐渐增加,6月6日前后达到峰值,但入梅后冷涡频数有所减少。随着梅雨期结束,冷涡频数进一步降低。强冷涡事件集中于入梅之前,中强度和弱强度的事件主要发生在梅雨期和出梅之后。在入梅之前和出梅之后,东北冷涡频数呈现准2 a振荡特征。夏季东北冷涡频数在1965—2007年具有增加趋势,其中,梅雨期的增加趋势尤为明显。东北冷涡的形态根据其上游高压脊的位置可分为4种:叶尼塞河型、贝加尔湖型、乌拉尔-雅库斯克型和鄂霍次克海-北冰洋型。西太平洋遥相关(WP)型为东北冷涡

* 资助课题:国家自然科学基金项目(40975033)、国家科技支撑计划项目(2009BAC51B02)和公益性行业(气象)科研专项经费项目(GY-HY201006006)

作者简介:谢作威,主要从事中高纬天气气候研究。E-mail: xiezuowei@gmail.com

通讯作者:布和朝鲁,主要从事中高纬大气动力学研究。E-mail: bueh@lasg.iap.ac.cn

活动的同期背景环流型,东北冷涡在其负位相易于生成。此外,5—6月东北冷涡活动与太平洋/北美(PNA)型,8月东北冷涡活动与北大西洋涛动(NAO)密切联系。

关键词 东北冷涡,东亚急流,西太平洋遥相关型,北大西洋涛动,太平洋/北美型

中图法分类号 P434

1 引言

早在20世纪中叶,气象学家已对急流附近的高空冷涡进行了研究,并将其形成过程称为冷涡切断(Palmén, 1949; Palmén, et al, 1949)。谢义炳(Hsieh, 1949, 1950)曾对北美高空冷涡进行过详细的研究,建立了天气学概念模型,并探讨了高空冷涡带来的降水分布。Palmén等(1969)认为对流层中上层气流的减弱以及西风槽的加深,往往会在西风带南侧产生切断低压。Hoskins等(1985)用位涡理论描述了切断低压的物理意义,即冷涡对应于对流层中上层高位涡闭合区域。陶诗言(1980)指出,东北冷涡是造成中国东北、华北地区暴雨或雷阵雨的环流形势。郑秀雅等(1992)把活跃于中国东北地区的500 hPa低位势高度闭合系统(配有冷槽)定义为东北冷涡。

东北冷涡的多寡,是造成东北地区洪涝、干旱和低温灾害的重要原因(孙力等, 2001, 2002; Zhao, et al, 2007)。关于东北冷涡活动的时空分布、年际和年代际变率等方面已开展了广泛的研究(孙力等, 1994, 2000; Zhang, et al, 2008; Hu, et al, 2010)。与东北冷涡相联系的北半球环流异常方面也进行了广泛的讨论。孙力(1997)、孙力等(2000)分析了东北冷涡持续性活动与西太平洋副热带高压(副高)的关系,同时也讨论了低频振荡在冷涡活动中的作用。沈柏竹等(2008)利用谐波分析总结出冷涡活动的北半球超长波和长波特征。布和朝鲁等(2008)发现初夏东北低压的出现与中高纬度罗斯贝波活动密切相关。廉毅等(2010)通过典型个例分析揭示了初夏东北冷涡活动异常与北半球环流的关系。刘宗秀等(2002)探讨了前冬北太平洋涛动(NPO)对夏季东北冷涡多寡的影响。夏季东北冷涡活动的强弱还与当年2月和3月的北半球环状模(NAM)强度成反相关(何金海等, 2006; 苗春生等, 2006)。

冷涡(或切断低压)的形成和维持与急流具有十分密切的关系。Parker等(1989)通过计算1950—1985年500 hPa的冷涡频数与300 hPa急流的西风

动量的相关,发现冷涡的形成与300 hPa西风动量向急流区辐合的现象有联系。孙力(1997)指出,在阻塞高压(阻高)/冷涡偶极子控制的区域附近聚集较强的罗斯贝能量,导致平均西风减弱,从而有利于经向环流的发展。孙力等(2000)统计了1958—1997年夏季东北冷涡持续性活动特征,发现在东北冷涡活跃年的夏季,高空西风急流有明显的分支。

尽管有关东北冷涡活动的研究成果已相当丰富,但以下几个方面的问题仍不清楚:(1)东北冷涡活动的频率和强度如何随季节进程发生变化?(2)有几种东北冷涡的形态?(3)在年际尺度上,东北冷涡活动的频率有何周期特征?在多年代际尺度上,有何变化趋势?(4)东北冷涡活动的背景环流到底以哪个遥相关型为主?弄清以上几个问题对东北冷涡活动的中期—延伸期预报和短期气候预测具有极其重要的意义。

2 资料

本文使用NCEP/NCAR逐日与逐月的高度场和风场再分析资料(Kalnay, et al, 1996),水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,垂直方向分为17层。

还使用了美国国家海洋和大气管理局(NOAA)气候预测中心(CPC)发布的多个遥相关型指数,主要目的是用于与本文界定的遥相关指数进行比较。这些指数对应的遥相关包括北极涛动(AO)、北大西洋涛动(NAO)、西太平洋遥相关(WP)、北太平洋/北美遥相关(PNA)等,详见CPC网站(<http://www.cpc.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>)。

3 方法

本文沿用了郑秀雅等(1992)对东北冷涡的定义,并使用计算机对其计算识别,但地理范围的选取和资料处理有所不同。本文界定东北冷涡事件的具体步骤如下:(1)地理范围取为(35° — 55° N, 115° — 140° E),主要针对中国东北地区的冷涡活动;(2)对500 hPa逐日高度场进行滤波,去掉8 d以下的天气

扰动;(3)在 500 hPa 高度场上至少能找出一条闭合曲线;(4)冷涡中心附近配有冷中心或冷槽;(5)500 hPa 高度场的闭合曲线维持超过 3 d。用上述方法统计出 1965—2007 年 5 月 1 日至 8 月 31 日所有东北冷涡活动。文中还将夏季(5—8 月)分为 3 个时段:梅雨期之前(5 月 1 日至 6 月 14 日,简称前期),梅雨期(6 月 15 日至 7 月 14 日)和梅雨期之后(7 月 15 日至 8 月 31 日,简称后期)。另外,文中所指的距平(逐日)为相对于 31 d 滑动平均的、多年(1965—2007 年)的逐日平均场而言。

为了分析东北冷涡活动在年际尺度上的振荡频率,使用了多窗谱分析方法,它是一种低方差、高分辨率的谱分析方法,尤其适合于短序列、高噪声背景下准周期信号的诊断分析。该方法最初由 Thomson(1982)在分析地震数据时创立,在大气科学中的应用可参考 Ghil 等(2002)的工作。

由于 NOAA 气候预测中心提供的北半球各遥相关指数均由月平均资料确定,不便于用来讨论整个夏季平均环流异常状况。因此,本文采用同样的方法重新计算了北半球各遥相关型 5—8 月的各月平均指数以及整个夏季的遥相关型指数。除了北极涛动,其余遥相关型,均通过对 500 hPa 高度场进行旋转主分量分析(RPCA)(Barnston, et al, 1987)来界定其指数,其做法与 CPC 相同。北极涛动指数是通过 1000 hPa 高度场主分量分析得到,方法也与 CPC 相同。这样确定了每年 5—8 月各月以及整个夏季的遥相关型指数。本文界定的这些遥相关型指数与 CPC 发布指数的相关系数都很大(约 0.9),基本一致(表 1)。

表 1 本文界定的遥相关型指数与 CPC 发布的遥相关型指数的相关系数

Table 1 Correlations between the teleconnection indices identified here and those released by the CPC

时间	AO	NAO	WP	PNA
5 月	0.87	0.93	0.95	0.83
6 月	0.85	0.98	0.88	0.84
7 月	0.86	0.94	0.93	0.89
8 月	0.86	0.94	0.82	0.81

4 时空分布特征

对 43 a(1965—2007 年)5—8 月东北冷涡活动进行了统计,其中,东北冷涡事件共计 273 个,共为 1526 d,占总天数的 29%,冷涡事件平均寿命为

5.6 d。此外,持续 1 d 的个例为 85 个,持续 2 d 的为 75 个。维持 1—2 d 个例的天数之和仅为总天数的 13%。可见,总体上东北冷涡是东亚地区的一个持续时间较长且较为频繁的系统,在夏季里占到将近三分之一的比例,对东北地区的气候和天气影响较大。

图 1a 为 43 a 夏季东北冷涡出现天数的地理分布,极大值沿 50°N 附近出现,有两个中心,一个位于大兴安岭的古利牙山,另外一个在小兴安岭以北的黑河。这与其他统计结果(孙力等,1994; Zhang, et al, 2008)比较接近。与孙力等(1994)的结果相比,第 2 个中心略偏北,这一差异可能是由于数据长度不同所造成的,同时他们并没有考虑 5 月的冷涡活动。

图 1b—e 给出了不同月份中东北冷涡天数地理分布的变化。由图 1b 可见,5 月东北冷涡活动主要是在小兴安岭以北的黑河一带,6 月(图 1c)主要是在大兴安岭东麓及东北平原一带,而 7 月(图 1d)冷涡天数最大值出现于大兴安岭东麓,中心略有北移,8 月(图 1e)最大值更为偏北。从 6 月到 8 月,冷涡活动的主要区域逐渐向北收缩。如果将夏季按照前期、梅雨期和后期来划分,东北冷涡天数地理分布的不同时期的变化与上述结果类似(图略),尤其从梅雨期到后期,东北冷涡天数分布中心的向北推移更为明显。后面的分析中将看到(如图 2b),东亚急流的向北推进与东北冷涡天数分布中心的向北推进十分吻合。

图 2a 给出了 5 月 1 日至 8 月 31 日的逐日冷涡发生频率。逐日冷涡发生频率的计算步骤如下:首先,按日统计冷涡活动,这样对应一次冷涡事件存在若干个“日冷涡”,例如持续 5 d 的冷涡事件中有 5 个日冷涡;然后,根据冷涡中心负位势高度距平(见第 3 节距平定义)的强度,对所有日冷涡进行排序;最后,统计前 25%,前 50%、前 75%和总的冷涡日,给出 5 月 1 日至 8 月 31 日间某日发生的频率。从总频数曲线上看出,东北冷涡的活跃期主要是在 5 月下旬至 7 月中旬。这与孙力等(2000)的统计结果一致,他们指出东北冷涡天数在 6—8 月中 6 月最多。从最强的 25%频数曲线可以看出,东北冷涡主要集中于前期,而梅雨期和后期则较少;前 50%和 75%频数曲线表明,中等和较弱冷涡活动在 6 月之后明显增多,而在 6 月之前较少。值得注意的是,6

月6日前后东北冷涡活动发生的频数最高,之后随着入梅冷涡活动逐步减弱。总之,强冷涡事件集中

发生在入梅之前,入梅之后以中等和弱强度的冷涡事件为主。

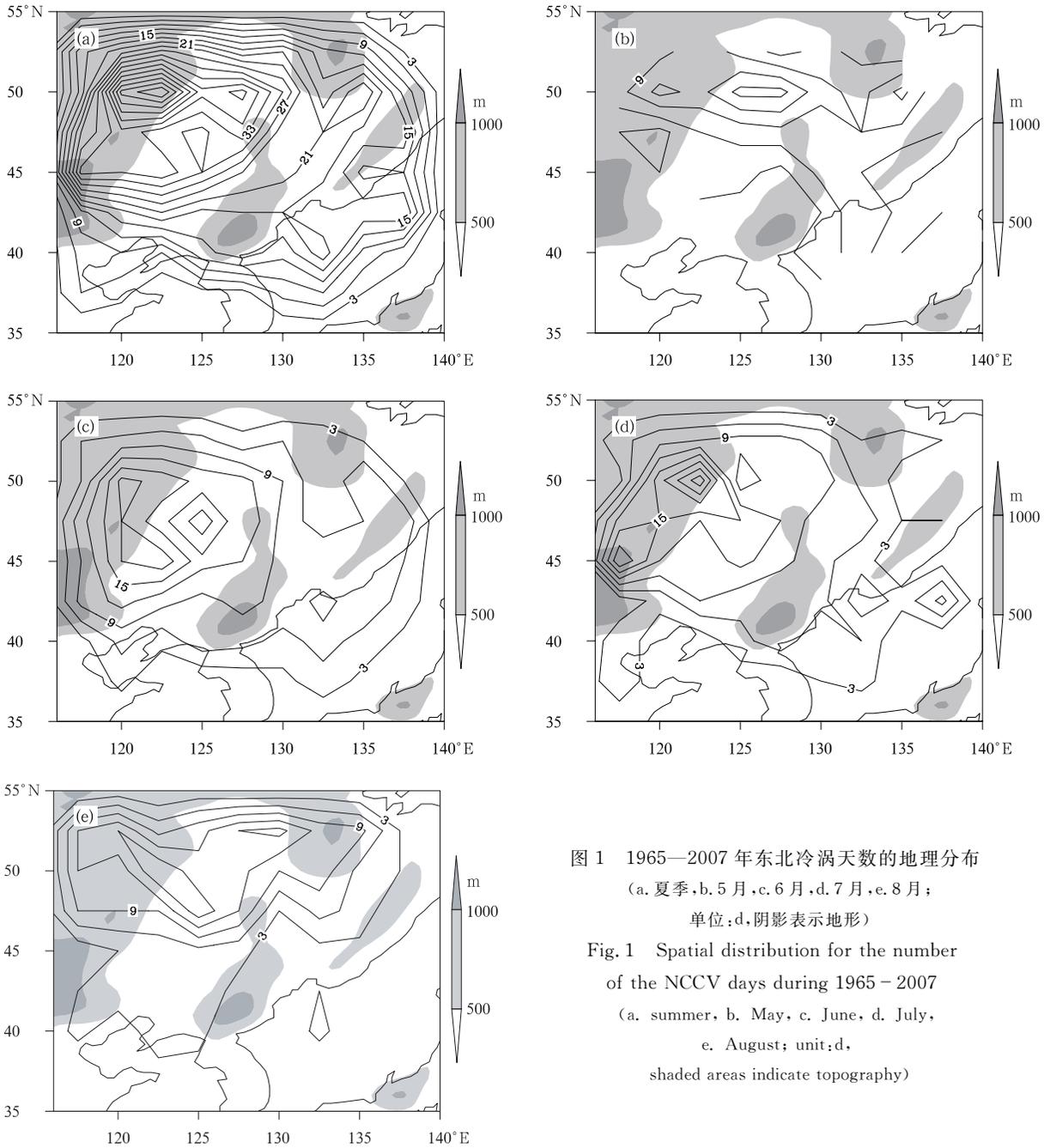


图1 1965—2007年东北冷涡天数的地理分布
 (a. 夏季, b. 5月, c. 6月, d. 7月, e. 8月;
 单位: d, 阴影表示地形)
 Fig. 1 Spatial distribution for the number
 of the NCCV days during 1965—2007
 (a. summer, b. May, c. June, d. July,
 e. August; unit: d,
 shaded areas indicate topography)

图2b为纬向平均(115°—140°E)200 hPa纬向风(1965—2007年平均)的纬度-时间剖面。它反映了东亚急流的季节进程特征。在5月上旬,东亚急流较强,25 m/s等值线的北界达45°N,强西风气流控制东北地区,与其相对应的冷涡活动则较少(图2a)。之后,随着急流的减弱和缓慢北进,强西风气

流带的范围也缩小。急流轴北侧的25 m/s等值线在5月中旬明显向南收缩,对应的东北冷涡活动却迅速增强。特别值得注意的是,急流轴北侧的25 m/s等值线在6月6日前后达其最南的纬度,它正好对应着东北冷涡发生的最大频数。在进入梅雨期之后,急流在减弱的同时,继续北移,与此对应,东

北冷涡天数从6月下旬开始减少,到了7月上旬基本上没有变化。梅雨期之后,急流突然减弱北跳,东北冷涡天数也随之明显减少。8月初急流位置偏北,冷涡活动也弱。从整个时间序列来看,每次急流等值线向中心收缩都对应着东北冷涡频数极大值。冷涡是一个深厚的系统(Palmén, et al, 1969),当急流轴逐渐向北移的过程中,其北侧纬向风等值线向中心收缩时,急流轴北侧纬向风梯度加大,正涡度加强,有利于切断低压的生成和维持。另外从图 1b—e 可以发现东北冷涡天数地理分布的季节性推进跟急流的变化有很大关系。

东北冷涡活动与北半球行星尺度环流的关系一直受到高度重视。例如,孙力等(2000)发现,东北地区7月500 hPa 高度异常对应着东西方向正负相间的相关波列。廉毅等(2010)分析了初夏多涡年和少涡年环流形势的差异,认为乌拉尔山阻塞形势和北太平洋地区异常环流是关键因素。尽管如此,但就每次东北冷涡活动而言,与之相联系的北半球环流存在明显差异,特别是上下游环流。与此对应,东北冷涡的形态也呈现出不同特征。然而,迄今为止,尚没有研究对东北冷涡形态进行分类。本文将根据东北冷涡上游的高压脊位置对冷涡事件进行分类。首

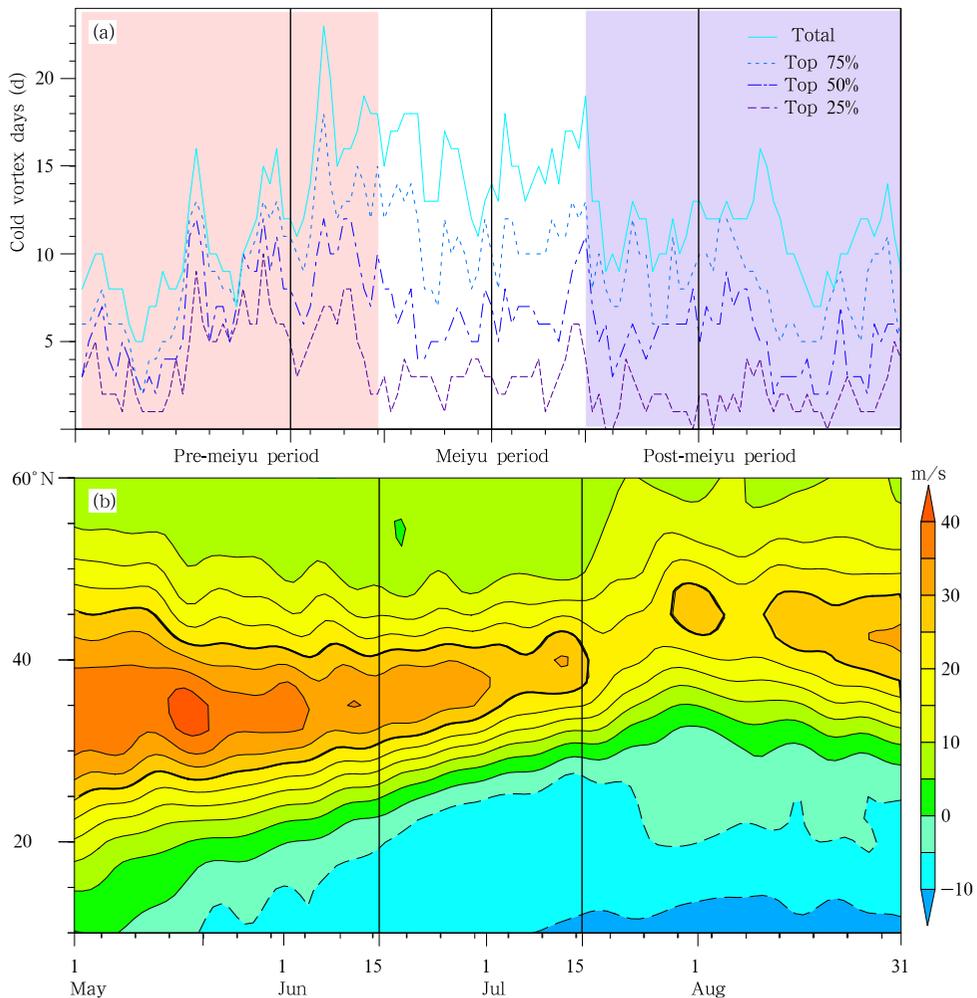


图2 1965—2007年中国东北地区前25%、前50%、前75%和总的冷涡日(a)和纬向平均(115°—140°E)200 hPa 纬向风(多年平均)逐日演变曲线(b,粗线代表25 m/s)

Fig. 2 Temporal variation of top 25%, top 50%, top 75% and total number of the NCCV days during 1965–2007 (a) and the zonal average (115°–140°E) 200 hPa wind averaged over 1965–2007 (b, thick lines denote 25 m/s)

先根据冷涡中心 500 hPa 高度场距平选出每个事件的峰值日,并把峰值日的冷涡中心 500 hPa 位势高度距平定义为该冷涡事件强度,然后对夏季(5—8月)的 273 个冷涡事件根据强度进行排序并选取较强的一半事件。并根据其峰值日的日期将冷涡事件分类为前期、梅雨期和后期。结果显示,前期冷涡事件共 69 个,约为所挑选出来的事件的 50%。

根据上游的高压脊位置,东北冷涡可分为 4 类:即叶尼塞河(YNS)型、贝加尔湖(BKL)型、乌拉尔-雅库斯克(UR-YK)型和鄂霍次克海-北冰洋(OK-AO)型。表 2 给出这些冷涡事件及其个数。

图 3 为 4 种类型的东北冷涡合成的 500 hPa 高度场,图 4 为对应的合成 500 hPa 高度距平分布。

由图 3 可见,4 类冷涡在中国东北地区均有闭合的低压中心,其中叶尼塞河型(图 3a)在 90°E 的叶尼塞河地区有一高压脊,贝加尔湖型(图 3b)在贝加尔湖附近有一高压脊,乌拉尔-雅库斯克型(图 3c)不仅在乌拉尔地区有一高压脊,在雅库斯克地区也有阻塞高压出现,而鄂霍次克海-北冰洋型冷涡型(图 3d)上游无明显高压脊出现,在鄂霍次克海地区有一高压脊伸向北冰洋。由图 4a 和 b 可见,叶尼

表 2 东北冷涡事件的类型及个数

Table 2 The types and the corresponding number of NCCV events to each type

类型	YNS	BKL	UR-YK	OK-AO	其他
东北冷涡个数	20	19	14	10	6

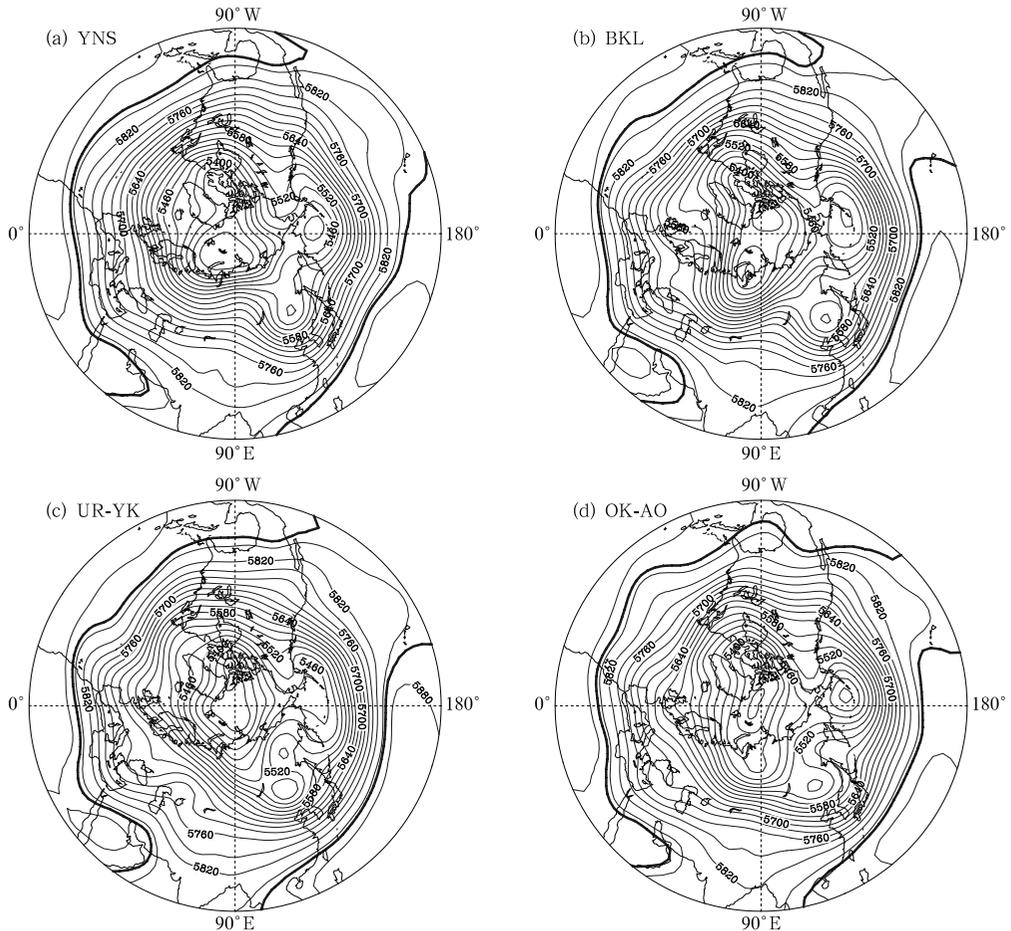


图 3 东北冷涡 500 hPa 位势高度合成场(m)

(a. 叶尼塞河型, b. 贝加尔湖型, c. 乌拉尔-雅库斯克型, d. 鄂霍次克海-北冰洋型; 等值线间隔 30 m,粗实线代表 5860 m)

Fig. 3 Composite 500 hPa geopotential heights (m) as related to the NCCV

(a. YNS, b. BKL, c. UR-YK, d. OK-AO; Contours

are drawn for every 30 m. The thick lines donate the height of 5860 m)

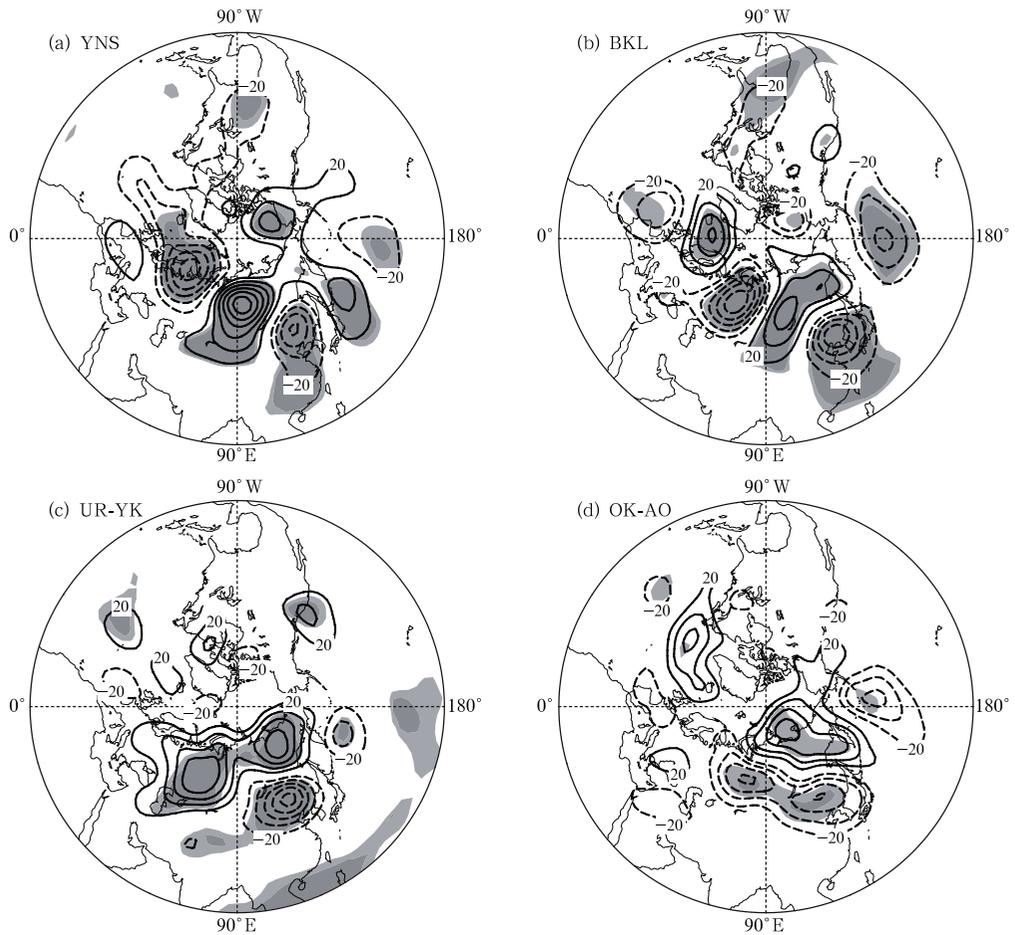


图4 东北冷涡500 hPa位势高度距平合成场(m)

(a. 叶尼塞河型, b. 贝加尔湖型, c. 乌拉尔-雅库斯克型, d. 鄂霍次克海-北冰洋型; 0 线省略, 等值线间隔 20 m; 浅和深阴影分别表示 90% 和 95% 置信度)

Fig. 4 Composite 500 hPa height anomalies (m) as related to the NCCV

((a) - (d) for the types YNS, BKL, UR-YK and OK-AO, respectively.

Contours are drawn for every 20 m, zero lines are eliminated. Light (dark) shading marks the region in which the values are significant at the 90% (95%) confidence level)

塞河型和贝加尔湖冷涡事件中, 北半球环流异常以中高纬度罗斯贝波列为主要特征, 这两类冷涡的500 hPa高度场(图3a、b)显示出清晰的“反气旋式波破碎”特征(Thorncroft, et al, 1993; Peters, et al, 1996; Tyrlis, et al, 2008)。乌拉尔-雅库斯克型和鄂霍次克海-北冰洋型冷涡的环流异常(图4c和d)以亚洲北部的经向环流型为主要特征, 其高度场(图3c和d)显示出“气旋式波破碎”特征(Thorncroft, et al, 1993; Peters, et al, 1996; Tyrlis, et al, 2008)。由于本文旨在给出东北冷涡的类型和形态, 关于这4类冷涡形态的动力学性质, 将在另文中讨论。

5 年际振荡频率与多年代际趋势

图5给出了东北冷涡天数在前期、梅雨期、后期和整个5—8月的功率谱特征, 其中, 功率谱是通过多窗谱分析方法得到的。整个5—8月的冷涡天数(图5a)存在2.4 a(即0.420周期/a)和6.2 a(即0.161周期/a)的周期, 置信度均达95%。2.4 a这一周期特征主要来自前期和后期, 冷涡在前期呈现准2 a的周期(图5b), 后期也具有2.4 a的振荡周期(0.414周期/a, 图5d)。在梅雨期, 各频率均有较强的功率但未达到置信度(图5c)。在前期和后期呈现准2 a振荡特征对东北冷涡活动的短期气候

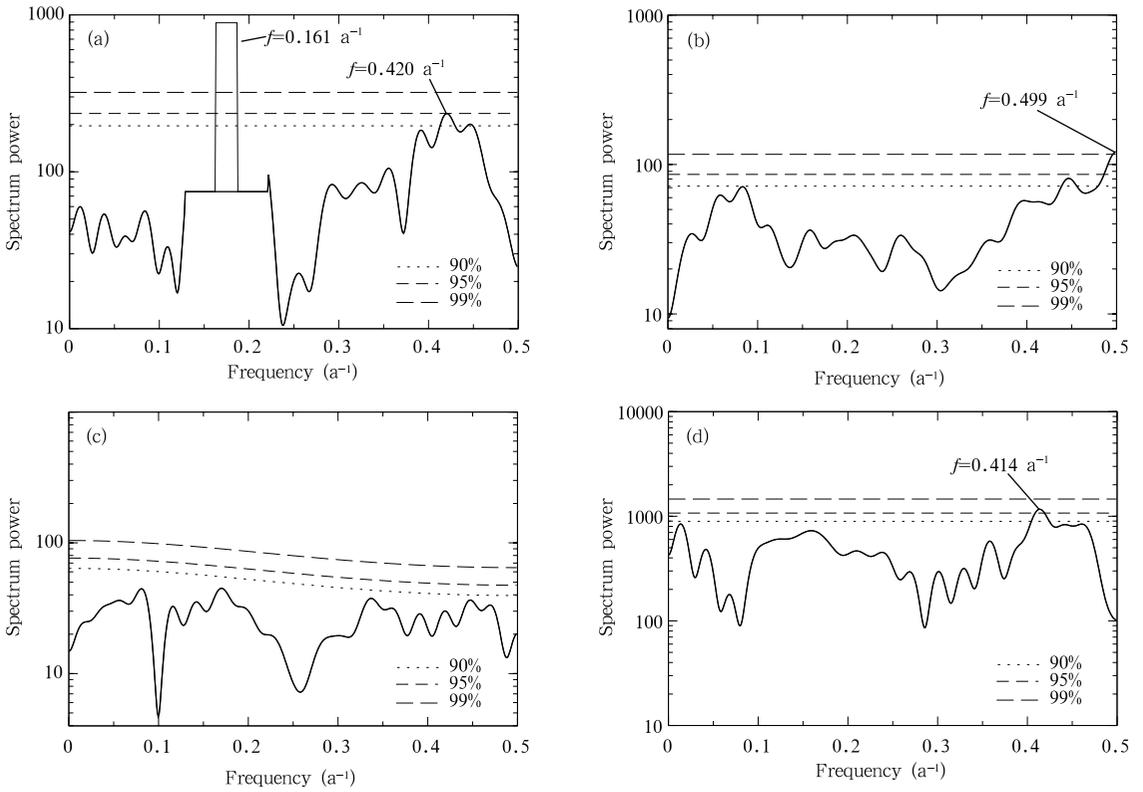


图5 东北冷涡天数年际变率功率谱

(a. 夏季, b. 前期, c. 梅雨期, d. 后期; 长虚线, 短虚线和点线分别表示 99%, 95% 和 90% 的置信度)

Fig. 5 Power spectrum, on interannual time scale, of the total number of NCCV days during the

(a) summer, (b) pre-mei-yu period, (c) mei-yu period and (d) post-mei-yu period

(Long-dashed, short-dashed and dotted lines indicate the 99%, 95% and 90% confidence level, respectively)

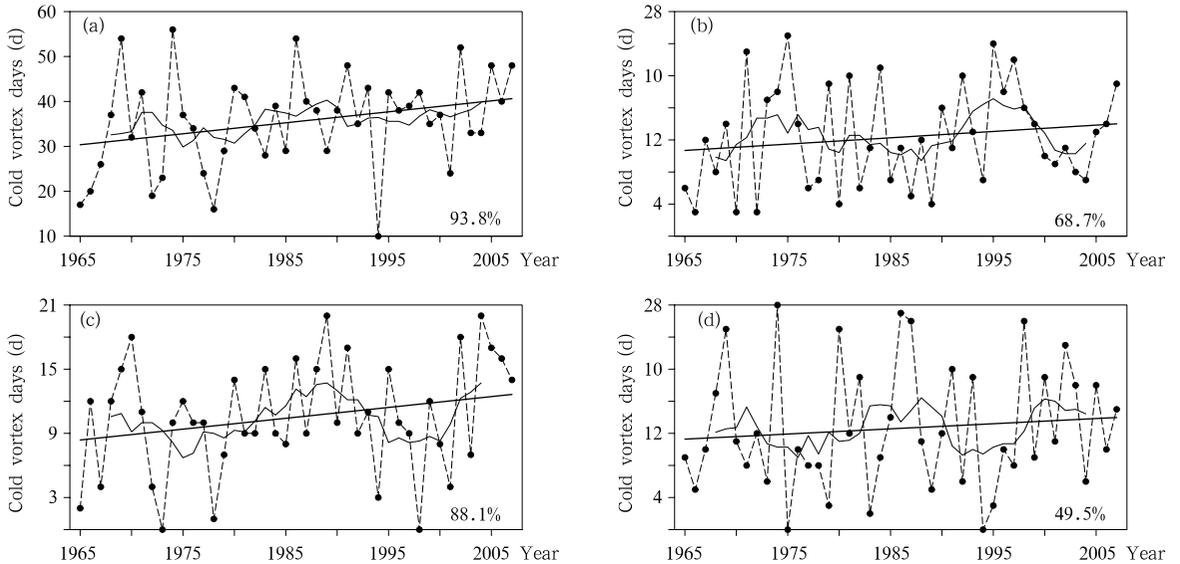


图6 东北冷涡天数的多年代际趋势(a. 夏季, b. 前期, c. 梅雨期, d. 后期;

虚线表示逐年冷涡天数, 细实线则为其 7 a 滑动平均曲线, 粗实线表示趋势)

Fig. 6 Multi-decadal trend of the total number of NCCV days during the

(a) summer, (b) pre-mei-yu period, (c) mei-yu period and (d) post-mei-yu period

预测具有重要的参考价值。

图6所示为东北冷涡天数的多年代际趋势,虚线表示逐年冷涡天数,细实线则为其7 a滑动平均曲线,粗实线表示趋势。趋势线由线性回归计算得到,其置信度置于图右下角。1965—2007年,整个夏季(5—8月)的冷涡天数存在增加的趋势,置信度为93.8%(图6a)。在夏季的各个阶段,梅雨期(图6c)增加趋势最为明显,其置信度接近90%,前期增

加的趋势次之,置信度接近70%(图6b)。而后期的增加趋势(图6d)不显著(约50%)。夏季冷涡频数(图6a)在20世纪70年代略为下降,80年代上升,90年代略有下降,然后增加。梅雨期(图6c)和后期(图6d)的年代变化与夏季东北冷涡基本上一致,但梅雨期年代际变化最为明显。前期(图6b)的年代变化与另两个时段相反,70年代较多,80年代变少,90年代增多。这可能抵消了梅雨期及后期的

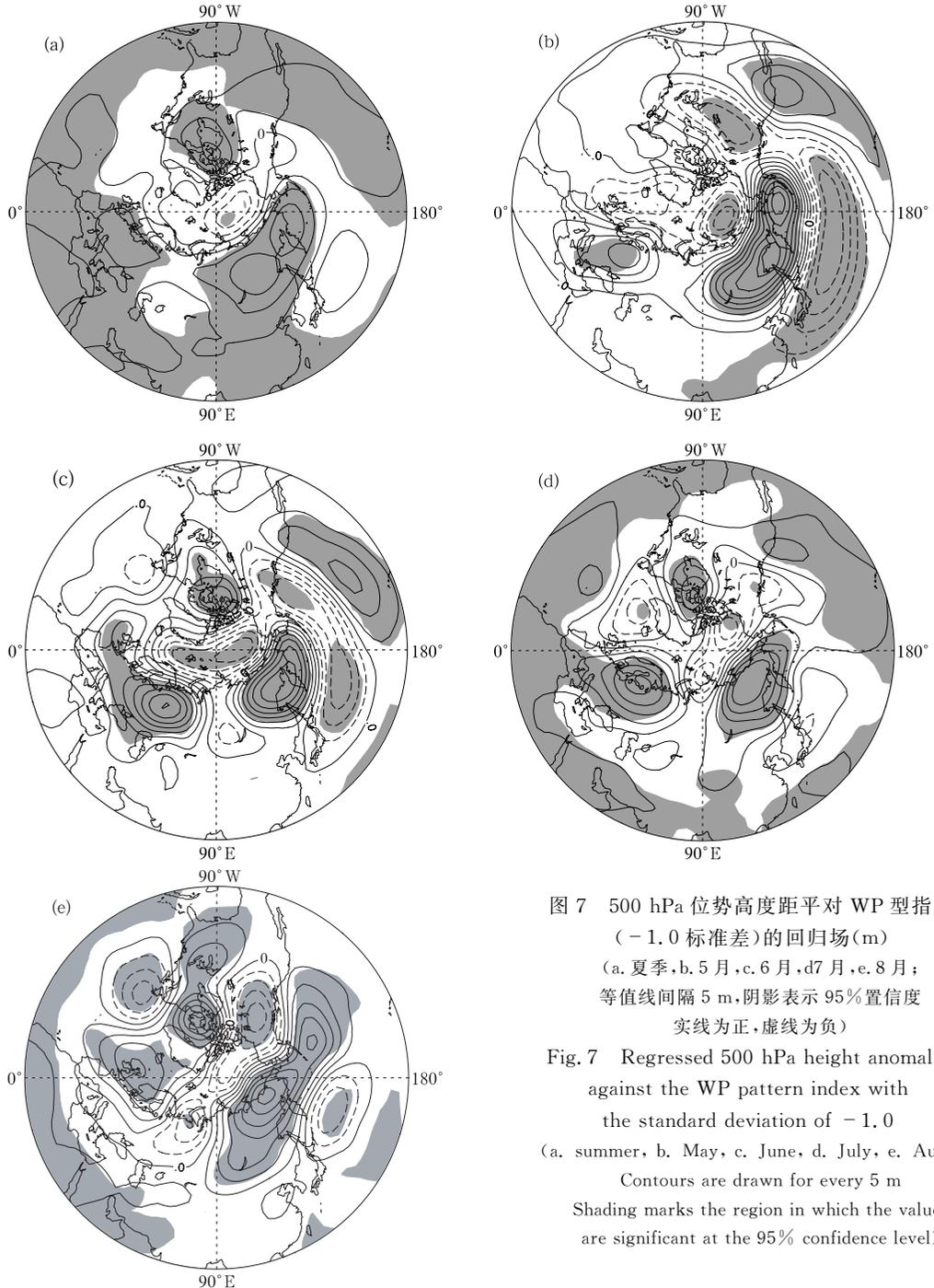


图7 500 hPa 位势高度距平对 WP 型指数 (-1.0 标准差) 的回归场(m)

(a. 夏季, b. 5月, c. 6月, d. 7月, e. 8月;
等值线间隔 5 m, 阴影表示 95% 置信度
实线为正, 虚线为负)

Fig. 7 Regressed 500 hPa height anomalies against the WP pattern index with the standard deviation of -1.0

(a. summer, b. May, c. June, d. July, e. August;
Contours are drawn for every 5 m
Shading marks the region in which the values are significant at the 95% confidence level)

变化,使得整个夏季的冷涡年代变率不够明显。

6 同期北半球遥相关型

如前所述,东北冷涡活动与前冬北太平洋涛动型和北半球环状模关系密切(刘宗秀等,2002;何金海等,2006;苗春生等,2006),但冷涡活动的同期背景环流更为令人关注。尽管冷涡活动与阻塞高压和副热带高压存在关系(孙力等,1994,2000),也与上下游环流有联系(沈柏竹等,2008;廉毅等,2010),但迄今为止,尚没有研究明确提出,究竟什么环流型是冷涡同期的背景遥相关型。本文将利用北半球遥相关型指数,求得其与东北冷涡天数的同期相关,以此考察其背景遥相关型。

从冷涡天数与各遥相关型指数的相关系数(表3)可知,5—8月,东北冷涡天数与西太平洋遥相关型之间负相关最强(-0.30—-0.36),均达到95%置信度。对整个夏季而言,两者的相关系数为-0.44,达99%置信度。太平洋/北美型与东北冷涡天数在初夏关系比较好,其相关系数在5和6月分别为0.34和0.32。

图7为500 hPa位势高度距平对本文界定西太平洋遥相关型指数(-1.0标准差)的回归场。容易

看出,距平场直接对应有利于冷涡活动的环流异常。图8为200 hPa纬向风距平对西太平洋遥相关型指数(-1.0标准差)的回归场。西太平洋遥相关型表征的是位势高度在东亚/北太平洋急流南北两侧反位相的变化(Wallace, et al, 1981)。由图7可见,整个东北亚至阿拉斯加湾为一广大的显著正距平区域,其南边为负距平,这两个中心组成了负位相西太平洋遥相关型。与此对应,在北太平洋区域东亚/北太平洋急流偏南偏东(图8),急流南北侧位势梯度减弱(图7)。可见,西太平洋遥相关型能很好地反映急流位置的变化(Wallace, et al, 1981)。同时也注意到,在5月至8月,西太平洋遥相关型的两个中心的位置并不稳定,逐月移动,特别是急流南侧的活

表3 冷涡天数与各遥相关型指数的相关系数

Table 3 The correlation coefficients between the total numbers of NCCV days and the teleconnection pattern indices

	5月	6月	7月	8月	5—8月
WP	-0.36**	-0.33**	-0.30**	-0.35**	-0.44***
PNA	0.34**	0.32**	0.05	0.22	-0.01
NAO	-0.04	-0.02	-0.08	-0.45***	-0.24
AO	0.04	0.12	-0.07	-0.33**	-0.17

*、**和***分别表示90%、95%和99%置信度。

*, ** and *** denote it is significant at the 90%, 95% and 99% confidence level, respectively

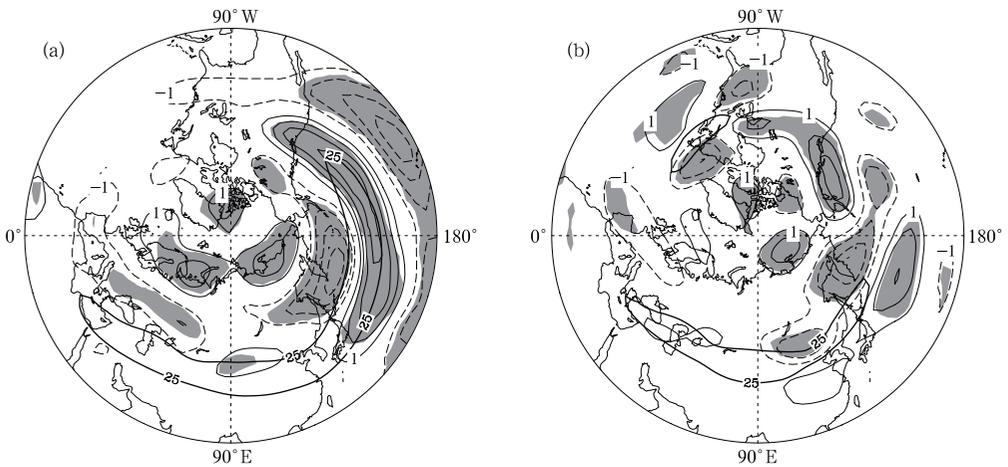


图8 200 hPa纬向风距平对西太平洋遥相关型指数(-1.0标准差)的回归场

(a. 6月, b. 8月; 0线省略, 实线为正, 虚线为负, 间隔: 1 m/s,

粗实线表示气候平均25 m/s纬向风, 阴影区表示95%置信度)

Fig. 8 Regressed zonal wind anomalies at 200 hPa against the WP pattern index with the standard deviation of -1.0

(a. June and b. August, solid lines indicate the climatological mean

zonal wind of 25 m/s, contours are drawn for every 1 m/s, zero lines are eliminated,

shading marks the region in which the values are significant at the 95% confidence level)

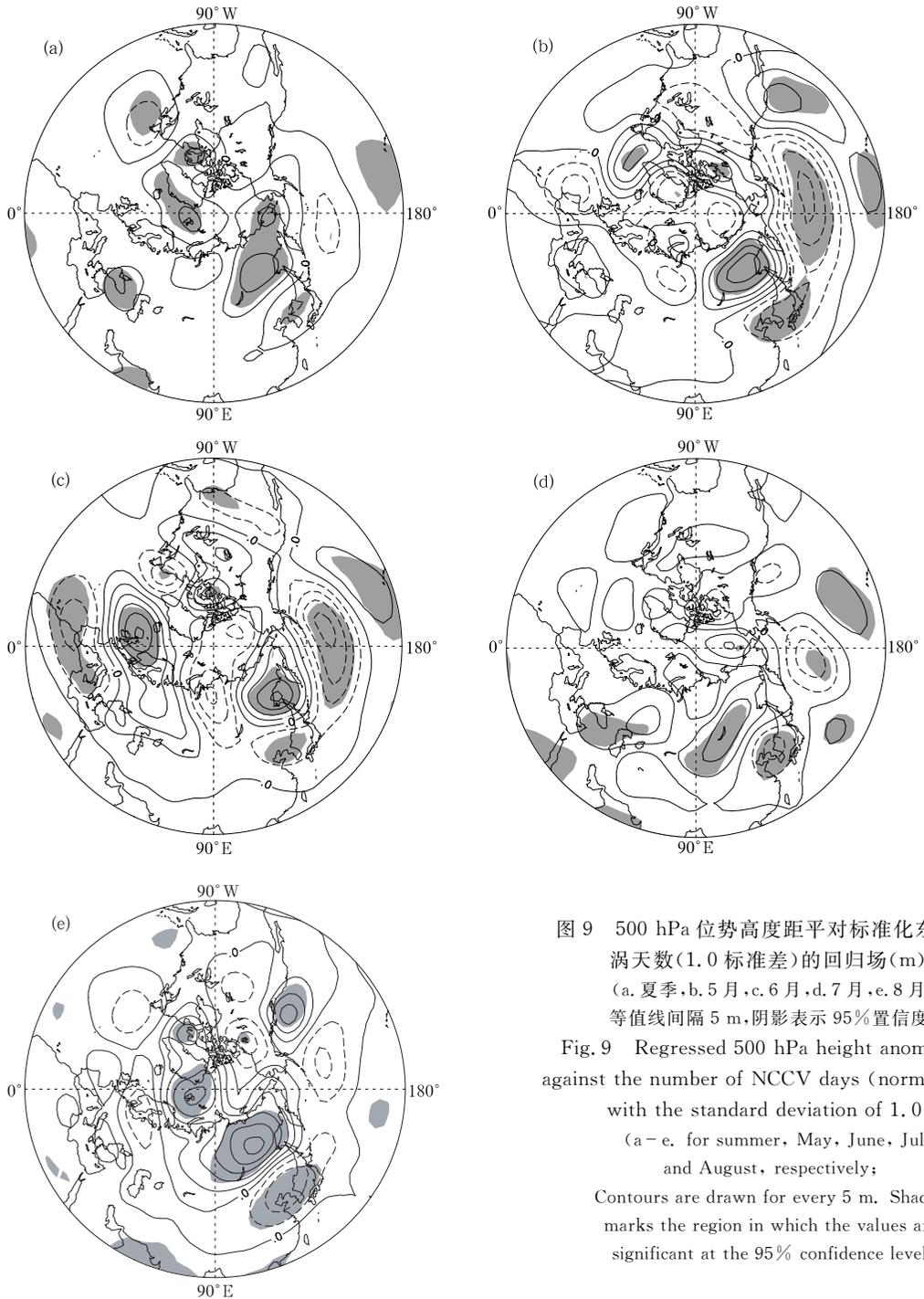


图9 500 hPa 位势高度距平对标准化东北冷涡天数(1.0 标准差)的回归场(m)

(a. 夏季, b. 5月, c. 6月, d. 7月, e. 8月;
等值线间隔 5 m, 阴影表示 95% 置信度)

Fig. 9 Regressed 500 hPa height anomalies against the number of NCCV days (normalized with the standard deviation of 1.0

(a - e. for summer, May, June, July, and August, respectively;

Contours are drawn for every 5 m. Shading marks the region in which the values are significant at the 95% confidence level)

动中心(图 7b—d)。这可能与气候平均急流的位置和强度逐月变化有关(图 8)。东北冷涡天数与西太平洋遥相关型显著负相关表明,夏季急流在北太平洋区处于偏南的位置可能有利于东北冷涡的发生和维持。图 9 为 500 hPa 位势高度距平对冷涡天数(1 个标准差)的回归场。可见整个东北亚地区和东亚-北太平洋急流(气候平均)南侧也有符号相反的两个

中心,与负位相西太平洋遥相关型的两个中心相似,只是位置上偏西,处于西太平洋遥相关型两个中心的上游地区。廉毅等(2010)研究初夏东北冷涡活动时发现,北太平洋地区超长波槽的维持和向西移动非常有利于冷涡的生成和维持。这与上述西太平洋遥相关型和东北冷涡之间的关系一致。总之,西太平洋遥相关型是东北冷涡活动同期的背景遥相关

型。

从图 9b、c 可看出,东太平洋/北美地区的环流显出正位相太平洋/北美型的特征。但在 7 和 8 月,这一特征已不明显(图 9d、e)。这与表 3 所示东北冷涡与太平洋/北美型的关系基本一致。此外,在 8 月,不论在西太平洋遥相关型(图 7)还是在东北冷涡环流型(图 9)中都可以看到,北大西洋地区的环流呈负位相北大西洋涛动型的特征,北大西洋急流偏南(图 8b)。这结果与表 3 给出的东北冷涡与北大西洋涛动型的关系一致。由于西太平洋遥相关型和北大西洋涛动型均在北极涛动型上存在投影(Thompson, et al, 1998; Ambaum, et al, 2001, 2002;), 8 月北极涛动与东北冷涡天数的相关也比较好(表 3)。

7 结论与讨论

本文利用 NCEP/NCAR 逐日(或逐月)的气象资料,研究了中国东北地区 1965—2007 年夏季(5—8 月)东北冷涡活动的时空分布特征、同期背景遥相关型。

东北冷涡是东亚地区的一个持续时间较长且较为频繁的系统,冷涡天数在夏季里占到总天数将近三分之一。5 月的冷涡活动区域比较偏北(45°N 以北),而 6 月则向南扩展到 40°N 以南地区。在 7—8 月,随着气候平均东亚急流的减弱和北进,东北冷涡活动区域向北收缩。当急流减弱北移且强西风等值线向急流轴收缩时,急流北侧正涡度加强,冷涡频数加强。在 6 月 6 日前后,急流轴北侧 25 m/s 特征线达到最南端,对应着冷涡频数的最大值。梅雨期之后,急流突然减弱北跳,东北冷涡频数也随之明显减少。强冷涡事件集中在入梅之前,入梅之后以中等和弱强度的冷涡事件为主。

整个夏季的冷涡天数存在准 2 a 的振荡周期,这一周期特征主要来自前期和后期。这对东北冷涡活动的短期气候预测具有重要参考价值。另外,夏季的冷涡活动还具有 6.2 a(即 0.161 周期/a)的显著振荡频率。1965—2007 年夏季东北冷涡天数为增加的趋势,前期、梅雨期和后期均有增加的趋势,但以梅雨期最为明显。

根据上游高压脊位置将东北冷涡分为 4 类:叶尼塞河型、贝加尔湖型、乌拉尔-雅库斯克型和鄂霍次克海-北冰洋型。

与北半球同期遥相关型关系来看,西太平洋遥相关型是东北冷涡活动的背景遥相关型。与负位相西太平洋遥相关型对应,北太平洋急流的位置偏南,它有利于冷涡的生成和维持。初夏(5 和 6 月)冷涡活动与太平洋/北美型也有较显著的负相关,在 8 月,与北大西洋涛动型和北极涛动的负相关也较显著。

本文中初步给出了 4 类东北冷涡形态,受篇幅限制,尚未从中期和延伸期尺度上讨论其演变过程及动力学机制。

刘宗秀等(2002)曾研究了前冬北太平洋涛动对东北冷涡活动的影响。北太平洋涛动主要反映北太平洋海平面气压涛动,在冬季比较显著,其对流层中上层的环流型实际上就是西太平洋遥相关型(Linkin, et al, 2008)。与刘宗秀等(2002)的研究不同,本文则明确给出了东北冷涡活动的同期背景遥相关型。但是,本文西太平洋遥相关型与东北冷涡活动在月内尺度(中期和延伸期尺度)上的相互作用特征及其动力学细节将在今后的工作中深入研究。

致谢:感谢施宁博士细致地审阅了初稿并提出了修改意见。

参考文献

- 布和朝鲁,施宁,纪立人等. 2008. 梅雨期 EAP 事件的中期演变特征与中高纬 Rossby 波活动. 科学通报, 53(1): 111-121
- 何金海,吴志伟,江志红等. 2006. 东北冷涡的“气候效应”及其对梅雨的影响. 科学通报, 51(23): 2803-2809
- 廉毅,布和朝鲁,谢作威等. 2010. 初夏东北冷涡活动异常与北半球环流低频变化. 大气科学, 34(2): 429-439
- 刘宗秀,廉毅,高枫亭等. 2002. 东北冷涡持续活动时期的北半球 500 hPa 环流特征分析. 大气科学, 26(3): 361-372
- 苗春生,吴志伟,何金海. 2006. 北半球环状模(NAM)、东北冷涡与前汛期华南旱涝. 热带气象学报, 22(6): 593-599
- 沈柏竹,李尚锋,廉毅. 2008. 初夏东北冷涡活动的谐波分析. 吉林大学学报:地球科学版, 38(增刊): 204-208
- 孙力,郑秀雅,王琪. 1994. 东北冷涡的时空分布特征及其与东亚大型环流系统之间的关系. 应用气象学报, 5(3): 297-303
- 孙力. 1997. 东北冷涡持续活动的分析研究. 大气科学, 21(3): 297-307
- 孙力,安刚,廉毅等. 2000. 夏季东北冷涡持续性活动及其大气环流异常特征的分析. 气象学报, 58(6): 704-714
- 孙力,安刚. 2001. 1998 年松嫩流域东北冷涡大暴雨过程的诊断分析. 大气科学, 25(3): 342-354
- 孙力,安刚,高枫亭等. 2002. 1998 年夏季嫩江和松花江流域东北冷涡暴雨的成因分析. 应用气象学报, 13(2): 156-162

- 陶诗言. 1980. 中国之暴雨. 北京: 科学出版社, 225pp
- 郑秀雅, 张延治, 白人海. 1992. 东北暴雨. 北京: 气象出版社, 219pp
- Ambaum M H P, Hoskins B J, Stephenson D B. 2001. Arctic Oscillation or North Atlantic Oscillation? *J Climate*, 14 (16): 3495-3507
- Ambaum M H P, Hoskins B J. 2002. The NAO troposphere-stratosphere connection. *J Climate*, 15(14): 1969-1978
- Barnston A G, Livezey R E. 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon Wea Rev*, 115(6): 1083-1126
- Ghil M, Allen M R, Dettinger M D. et al. 2002. Advanced spectral methods for climatic time series. *Rev Geophys*, 40(1): 1003
- Hoskins B J, McIntyre M E, Robertson A W. 1985. On the use and significance of isentropic potential vorticity maps. *Quart J Roy Meteor Soc*, 111(470): 877-946
- Hsieh Y P. 1949. An investigation of a selected cold vortex over north America. *J Meteor*, 6(6): 401-410
- Hsieh Y P. 1950. On the formation of shear lines in the upper atmosphere. *J Meteor*, 7(6): 382-387
- Hu K X, Lu R Y, Wang D H. 2010. Seasonal climatology of cut-off lows and associated precipitation patterns over Northeast China. *Meteor Atmos Phys*, 106(1-2): 37-48
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull Amer Meteor Soc*, 77(3): 437-471
- Linkin M E, Nigam S. 2008. The North Pacific Oscillation-West Pacific teleconnection pattern: Mature-phase structure and winter impacts. *J Climate*, 21(9): 1979-1997
- Palmén E. 1949. Origin and structure of high-level cyclones south of the; Maximum westerlies. *Tellus*, 1(1): 22-31
- Palmén E, Nagler K M. 1949. The formation and structure of a large-scale disturbance in the westerlies. *J Meteor*, 6(4): 228-242
- Palmén E, Newton C W. 1969. *Atmospheric Circulation Systems: Their Structure and Physical Interpretation*. New York: Academic Press, 273-285
- Parker S S, Hawes J T, Colucci S J, et al. 1989. Climatology of 500 mb cyclones and anticyclones, 1950-85. *Mon Wea Rev*, 117(3): 558-571
- Peters D, Waugh D W. 1996. Influence of barotropic shear on the poleward advection of upper-tropospheric air. *J Atmos Sci*, 53(21): 3013-3031
- 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
- Thomson D J. 1982. Spectrum estimation and harmonic analysis. *Proc IEEE*, 70(9): 1055-1096
- Thorncroft C D, Hoskins B J, McIntyre M E. 1993. Two paradigms of baroclinic-wave life-cycle behaviour. *Quart J Roy Meteor Soc*, 119(509): 17-55
- Tyrlis E, Hoskins B J. 2008. The morphology of northern hemisphere blocking. *J Atmos Sci*, 65(5): 1653-1665
- Wallace J M, Gutzler D S. 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon Wea Rev*, 109(4): 784-812
- Zhang C Q, Zhang Q H, Wang Y Q, et al. 2008. Climatology of warm season cold vortices in East Asia; 1979-2005. *Meteor Atmos Phys*, 100(1-4): 291-301
- Zhao S X, Sun J H. 2007. Study on cut-off low-pressure systems with floods over Northeast Asia. *Meteor Atmos Phys*, 96(1-2): 159-180