doi:10.11676/qxxb2019.007 气象学报

夏季亚洲阻塞高压识别及其对中国东北气候异常的可能影响:不同再分析资料对比*

刘 刚[1,2,4] 徐士琦[1,3] 廉 毅[1,2]
LIU Gang[1,2,4] XU Shiqi[1,3] LIAN Yi[1,2]

1. 中高纬度环流系统与东亚季风研究开放实验室,长春,130062
2. 吉林省气象科学研究所,长春,130062
3. 吉林省气候中心,长春,130062
4. 吉林省气象信息网络中心,长春,130062
1. *Laboratory of Research for Middle-High Latitude Circulation System and East Asian Monsoon*, *Changchun* 130062, *China*
2. *Research Institute of Meteorological Science of Jilin Province*, *Changchun* 130062, *China*
3. *Climate Center of Jilin Province*, *Changchun* 130062, *China*
4. *Jilin Meteorological Information Network Center*, *Changchun* 130062, *China*

2017-12-26 收稿,2018-07-01 改回.

刘刚, 徐士琦, 廉毅. 2019. 夏季亚洲阻塞高压识别及其对中国东北气候异常的可能影响:不同再分析资料对比. 气象学报, 77(2):303-314

Liu Gang, Xu Shiqi, Lian Yi. 2019. Recognition results of blocking high in Asia during summer and its possible impacts on climate anomalies in Northeast China: Comparison of various reanalysis data. *Acta Meteorologica Sinica*, 77(2):303-314

Abstract Using the blocking high objective identification method, the identification results based on daily reanalysis data of the NCEP/NCAR-Ⅰ, NCEP-Ⅱ and ERA-interim at 6 h intervals in the summer (June to August) for the period 1979－2016 are compared. Taking the type D blocking high as an example, we discuss its possible impacts on the climate in Northeast China during June. Results suggest that the reanalysis data of NCEP-Ⅰ and NCEP-Ⅱ show little difference in the identified number of days, frequency of occurrence and interdecadal variation of blocking high, while results from the ERA-interim reanalysis data are greatly different with results from the former two datasets. The three reanalysis datasets all indicate that there are areas where the number of various types of blocking high activity days is highly correlated with the height field of 500 hPa in the summer, and the patterns are similar between the three datasets. However, the characteristics of the results from the first two datasets for various types of blocking high are relatively consistent, while the characteristic area and range of blocking high from the ERA-interim reanalysis dataset is relatively small. The cumulative days of type D blocking high in June are closely related to temperature and precipitation in Northeast China. In the active years of type D blocking high, the atmospheric circulation is dominated by a meridional type. Low temperature and warm advection in the lower troposphere as well as high temperature and cold advection in the upper troposphere indicate an unstable atmospheric stratification. At the same time, abnormal low pressure circulation prevails over Northeast China, and the strong updraft is favorable for the formation of low temperature and rainy weather in Northeast China during June. The Okhotsk Sea area is an important source of Rossby wave in June, and the formation of type D blocking high in June may be related to the temperature difference between the sea and the land.

* 资助课题:国家自然科学基金(41741021、41630424、41530531、41875119)、中国气象局气候变化专项(CCSF201833)。
作者简介:刘刚,从事天气气候研究等研究。E-mail: loverdream1999lg@126.com
通信作者:徐士琦,主要从事气候变化及预测等研究。E-mail: xushiqi91@163.com

Key words Blocking high, Objective identification, Data comparison, Northeast China

摘 要 基于阻塞高压(阻高)客观识别方法,利用1979—2016年夏季(6—8月)NCEP-Ⅰ、NCEP-Ⅱ逐日再分析资料和ERA-interim逐6 h再分析资料对识别结果进行对比分析;并以D类(130°—160°E)阻高为例,讨论其对6月中国东北地区气候的可能影响。结果表明:NCEP-Ⅰ和NCEP-Ⅱ再分析资料对阻高活动天数、发生频次及年代际变化的识别结果差异较小,而ERA-interim与前两种资料的结果差别较大。3种再分析资料下,夏季各类阻高活动天数均与500 hPa高度场存在相应的显著相关区,且形态相近。但前两种资料对于各类阻高的表征结果较为一致,而ERA-interim再分析资料对各类阻高面积和范围的表征偏小。6月D类阻高活动日数与东北地区气温和降水关系密切,D类阻高活跃年,大气环流以经向型为主,东北地区低层低温、暖平流,高层高温、冷平流的结构指示大气层结不稳定,且东北上空为异常低压环流控制,上升气流较强,有利于6月东北地区出现低温多雨天气。鄂霍次克海地区是6月罗斯贝波的重要来源地之一,而6月D类阻高的形成可能与海-陆温差有关。

关键词 阻塞高压,客观识别,资料对比,中国东北

中图法分类号 P466

1 引 言

阻塞高压(阻高)是发生在中、高纬度地区西风带中的大尺度环流系统,多以暖性正压结构为主,常在某些固定区域内出现,可维持较长时间。作为中、高纬度地区典型的持续性环流异常,阻高一旦出现,往往通过上下游效应带来严重的天气、气候灾害。汤懋苍(1957)对天气、气候与亚洲东部阻塞形势的关系进行了细致研究,陶诗言等(1958)通过个例分析发现中国梅雨在很大程度上受到乌拉尔山和鄂霍次克海阻高的影响;叶笃正等(1962)指出乌拉尔山阻高的建立和崩溃对东亚寒潮有重要影响。随着观测手段和气象资料、研究方法等的不断丰富和完善,对亚洲阻高影响天气、气候的研究越来越深入。众多研究表明,欧亚中、高纬度不同地区出现阻塞形势可以造成中国南方(胡钰玲等,2017;赖珍权等,2017;杜小玲等,2014;顾伟宗等,2016)、华北(张培忠等,1996;孙安健等,2000;李春等,2003;刘樱等,2016)和东北(张庆云等,2001;刘刚等,2012;苏丽欣等,2015;苗青等,2016)等不同区域低温冰冻冷害及暴雨洪涝灾害。例如,1954年(陈汉耀,1957)、1991年(王亚非等,1998)、1998年(李维京,1999)、1999年(陈菊英等,2001)、2010年(王小玲等,2013)及2017年(郑志海等,2018)中国夏季气候异常均与中、高纬度阻高的活动有关。陶诗言(1980)对中国暴雨类型进行总结,发现10类暴雨类型中有6类受阻高的影响。赵振国(1999)从影响中国夏季旱涝的因子中发现,中国夏季雨带的5大主要影响因素分别是赤道东太平洋海温(东)、青藏高原积雪、位势高度场异常(西)、亚洲季风(南)、阻高(北)和西太平洋副热带高压(副高)(中)。

在对阻高进行的研究中,首要问题就是如何对阻高过程进行识别,这在当今阻高气候变化特征研究和现代天气预报客观监测业务中显得尤为重要。Elliott等(1949)以气压距平的大小和持续性为客观标准,确定阻塞过程日期和时间;Rex(1950)定义阻高时指出,西风带上必须观测到有从上游纬向型向下游经向型的明显转换,500 hPa上有维持10 d以上的西风急流且存在分支,急流间的跨度必须大于45个经距;此后,许多学者通过人工查阅天气图的方法给出阻塞形势定义(Brezowsky, et al, 1951;汤懋苍,1957;周晓平,1957;Sumner, 1959)。但因方式、方法不同,统计结果也不尽相同,同时耗费大量人力和时间,不便于进行长期统计。2000年以来,越来越多的学者关注阻高的客观识别研究,并取得了一定成果。李峰等(2004)识别结果表明,夏季亚欧中、高纬度阻高出现在乌拉尔山和贝加尔湖东部地区的频次最高;刘刚等(2012)指出,夏季阻高在贝加尔湖活动最为频繁,鄂霍次克海次之,乌拉尔山最弱;张婷婷等(2009)采用计算机识别方法检索欧亚大陆中、高纬度阻高,得出计算机程序的识别方法可以替代人工识别的结论。由此可见,即使同为客观识别,由于资料或方法的不同,识别结果也存在差异。

气象工作者在进行大气科学研究时,选取资料至关重要。利用计算机对阻高进行客观识别时可以应用的再分析资料种类繁多,但再分析资料的形成过程十分复杂,资料来源、模式参数化方案和资料同化系统等因素都会影响再分析资料的结果(Bromwich, et al, 2004),客观评估其对大气真实状态描

述的差异及准确程度成为应用前必须回答的关键问题。从上述研究看,目前还没有一项工作较完整地对比不同再分析资料阻高的客观识别结果是否一致。为此,本研究利用多种再分析资料,对比分析不同资料对夏季亚洲阻高的识别结果,揭示不同资料中夏季亚洲阻高的异同,并在此基础上讨论其与中国东北气候的联系。

2　资料和方法

2.1　资　料

选取 NCEP/NCAR(NCEP-Ⅰ)逐月高度场、风场、温度场等再分析资料;NCEP/NCAR(NCEP-Ⅰ)、NCEP/DOE(NCEP-Ⅱ)逐日高度场再分析资料,以及 ERA-interim 逐 6 h 高度场再分析资料(文中将该套资料处理为逐日资料),以上资料水平网格分辨率为 2.5°×2.5°,垂直方向 17 层。此外,还利用中国国家气候中心提供的东北地区 109 站逐日气温和降水量观测资料。所有资料时段均取 1979—2016 年夏季(6—8 月)。

2.2　方　法

针对亚洲区域(50°—160°E)特点,依据 Rex(1950)提出的阻高天气学定义和朱乾根等(2001)总结出的阻高存在条件,对中、高纬度阻高过程给出如下标准(刘刚等,2012):(1)40°—75°N 内,500 hPa 位势高度场上有高压中心;(2)高压中心日移动不超过 12.5 个经距;(3)高压中心维持不少于 3 d。根据亚洲阻高出现在乌拉尔山、西西伯利亚、贝加尔湖和鄂霍次克海的地理分布情况,分为 A 类(50°—70°E)、B 类(70°—90°E)、C 类(90°—130°E)和 D 类(130°—160°E)。

为研究阻高活动的动力学机制,计算了波作用通量,采用 Wang 等(1994)根据 Plumb(1985)改进的球坐标系下三维波活动通量诊断方程

$$\boldsymbol{F}=\begin{pmatrix}F_\lambda\\F_\varphi\\F_Z\end{pmatrix}=\frac{p}{p_S}\cos\varphi\times\begin{pmatrix}v'^2-\dfrac{1}{2\Omega a\sin 2\varphi}\dfrac{\partial(v'\Phi')}{\partial\lambda}\\-u'v'+\dfrac{1}{2\Omega a\sin 2\varphi}\dfrac{\partial(u'\Phi')}{\partial\lambda}\\\dfrac{2\Omega\sin\varphi}{S}\left[v'T'-\dfrac{1}{2\Omega a\sin 2\varphi}\dfrac{\partial(T'\Phi')}{\partial\lambda}\right]\end{pmatrix}\tag{1}$$

式中,φ、λ、Φ、f、a、Ω 分别表示纬度、经度、位势、科里奥利常数、地球半径和地球自转速率,T、p、p_S 分别为气温、气压、1000 hPa,上标"－"和"′"分别表示纬圈平均和纬向偏差。$S=\dfrac{\partial\overline{T}}{\partial z}+\dfrac{\kappa}{H}\overline{T}$ 为静力稳定度,$z=-H\ln\left(\dfrac{p}{p_0}\right)$ 为 lg$p$ 垂直坐标,$\kappa\approx\dfrac{2}{7}$ 是气体常数与定压比热之比,$H=8$ km 为标高。风场满足准地转平衡,$u=-\dfrac{1}{fa}\dfrac{\partial\Phi}{\partial\varphi}$ 为纬向风,$v=\dfrac{1}{fa\cos\varphi}\dfrac{\partial\Phi}{\partial\lambda}$ 为经向风。

3　夏季亚洲阻高的识别

3.1　阻高活动天数和频次

根据上述阻高的定义标准,利用 3 种再分析资料统计 1979—2016 年夏季亚洲地区阻高出现次数。NCEP-Ⅰ和 NCEP-Ⅱ再分析资料统计结果分别为 1022 和 1024 次;ERA-interim 再分析资料结果明显较少,仅 885 次。图 1 给出了 3 种资料统计的 1979—2016 年夏季亚洲阻高活动过程次数随维持天数的变化曲线。可见亚洲阻高以生命期 3—7 d 居多,维持时间越长,发生次数越少。其中,NCEP-Ⅰ和 NCEP-Ⅱ统计出阻高维持生命期在 3—7 d 的过程分别为 914 和 893 次,占总次数的 89.43%和 87.21%;ERA-interim 统计出现 786 次,占总次数的 89.12%。

图 2 为 1979—2016 年夏季亚洲阻高活动过程累计天数在各经度位置的分布。3 种资料均显示,夏季亚洲阻高活动具有明显的地域差异,高压中心主要出现在50°—60°E、100°—127.5°E和132.5°—

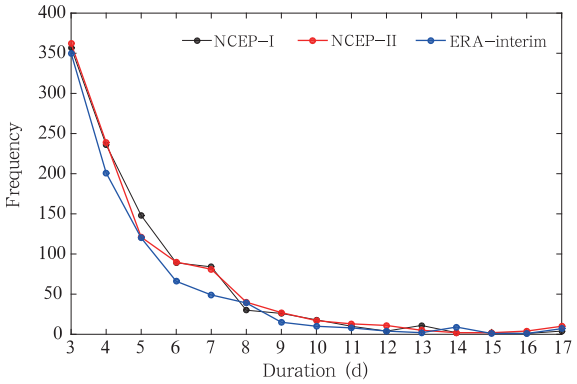

图 1　阻高活动过程次数随维持天数的变化曲线

Fig. 1　Variation of blocking high activity frequency with the persisting time of the blocking high

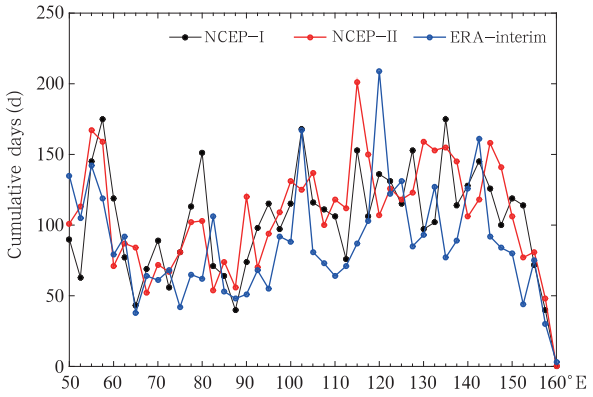

图 2 阻高活动过程累计天数随经度的变化曲线

Fig. 2 Variation of cumulative days of blocking high with longitude

150°E,分别对应着乌拉尔山、贝加尔湖和鄂霍次克海区域,即阻高在这些区域活动更为频繁。其中,NCEP-Ⅰ结果显示,阻高最多出现在 135°E 的鄂霍次克海区域,共 175 d;而 NCEP-Ⅱ和 ERA-interim 分别在 115°E 和 120°E 的贝加尔湖区域出现累计天数峰值,为 201 和 209 d。在 65°—95°E,阻高活动较少。其中,NCEP-Ⅰ结果表明,在 87.5°E 附近的西西伯利亚,阻高累计活动仅有 40 d,平均每年出现 1 d;NCEP-Ⅱ和 ERA-interim 统计的阻高中心在 67.5° 和 65°E 的乌拉尔山地区活动最少,分别为 52 和 38 d。

3.2 阻高与亚洲环流的关系

对 1979—2016 年逐年夏季阻高活动与500 hPa 平均位势高度场进行相关分析(图3)发现,前两种

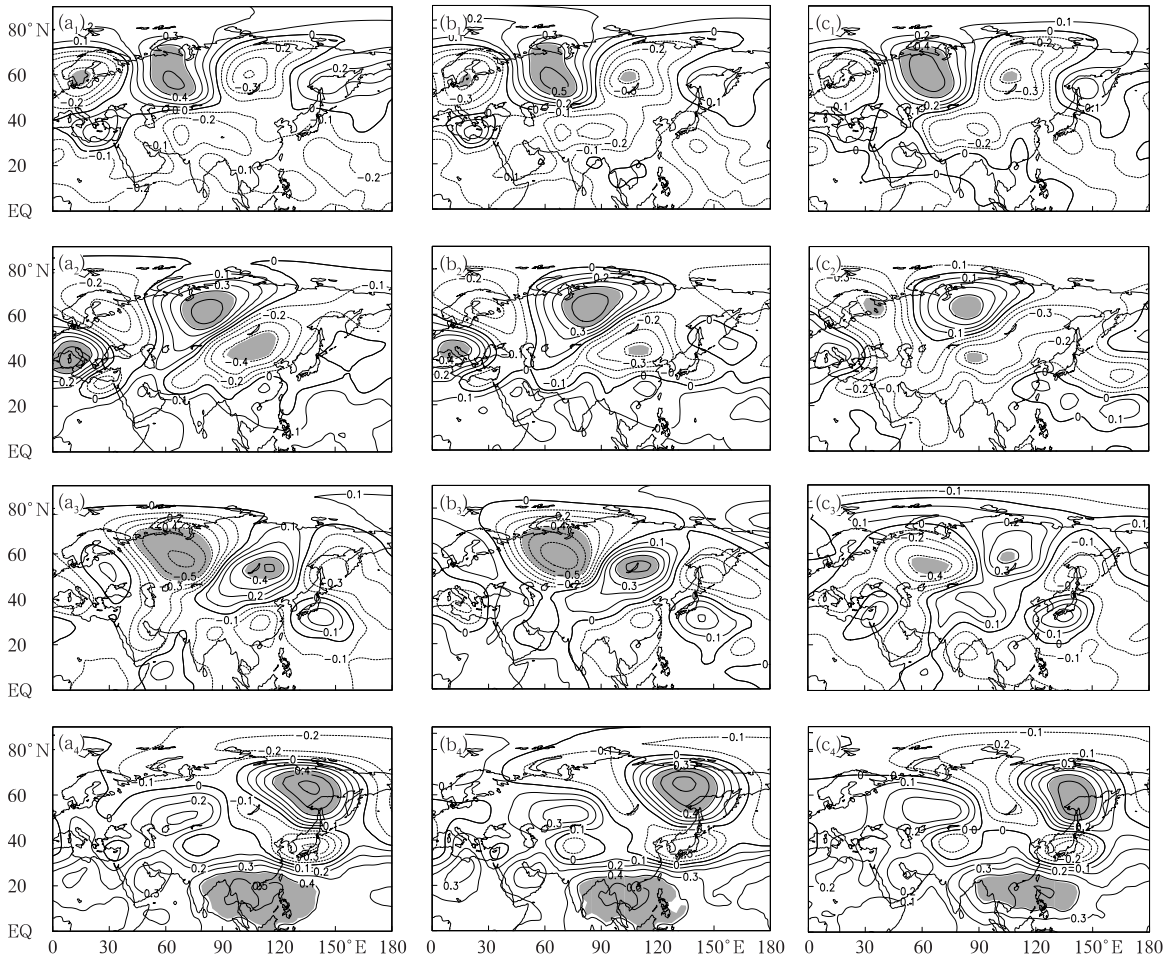

图 3 各类阻高逐年累计天数与 500 hPa 平均位势高度场的相关系数

(a. NCEP-Ⅰ,b. NCEP-Ⅱ,c. ERA-interim;a_1—c_1、a_2—c_2、a_3—c_3、a_4—c_4 分别表示 A、B、C、D 类;阴影区为通过 99%显著检验)

Fig. 3 Correlation coefficient maps between cumulative days of respective types of blocking high and average 500 hPa height:

(a. NCEP-Ⅰ, b. NCEP-Ⅱ, c. ERA-interim; $a_1 - c_1$, $a_2 - c_2$, $a_3 - c_3$, and $a_4 - c_4$ represent type A, B, C, and D respectively; shaded areas are for values at the 99% confidence level)

资料对于各类阻高的表征结果较为一致,而 ERA-interim 再分析资料对各类阻高面积和范围的表征较小。总体而言,3 种资料下二者之间存在显著相关、且形态相近,初步证明客观识别结果的科学性和准确性。从图 $3a_1$—c_1 中可见,当乌拉尔山为高值中心时,显著的负相关区分别位于中高纬度的欧洲大陆和贝加尔湖、中纬度的青藏高原及其西部,而鄂霍次克海为正相关区,这在亚洲中高纬度形成了东、西向的相关波列,同时在西亚地区也产生了一个南、北向的相关波列。从图 $3a_2$—c_2 可见,B 类阻高出现时,相关系数较大的区域形成了沿着西欧经过东欧和西西伯利亚到达贝加尔湖的一个大圆,类似 Hoskins 等(1981)提出的准静止罗斯贝波列的传播路径。图 $3a_3$—c_3 中的 C 类阻高出现时对应的中高纬度相关系数显著区域与 B 类阻高近乎相反;同时,中国东北地区常在 C 类阻高控制范围内,而中、低纬度上中国南方为低值区,这表明中国东北和南方地区的天气气候与 C 类阻高密切相关。图 $3a_4$—c_4 表明,当鄂霍次克海为高压脊控制时,日本附近的中纬度北太平洋地区为显著负相关,而显著的正相关区出现在低纬度西太平洋,这表明 D 类阻高对东亚南部南、北向相关波列的形成和副高有重要影响。

3.3　阻高活动的年代际变化

1979—2016 年 3 种再分析资料统计出阻高年平均活动累计天数,均表现为"C 类最多、D 类次之、B 类最少"的特征,前两种资料统计的阻高天数较第 3 种资料明显偏多。其中,NCEP-Ⅰ再分析资料结果显示,A、B、C 和 D 类阻高平均每年出现天数分别为 20、14、40 和 27 d;NCEP-Ⅱ再分析资料结果分别为 21、15、40 和 29 d;ERA-interim 再分析资料结果分别为 17、14、32 和 24 d。对比 3 种资料下各类阻高逐年活动累计天数滤波分析后的变化曲线(图 4),可见 A 和 B 类阻高在 20 世纪 80 年代最为活跃,90 年代最弱,21 世纪最初 10 年增强;C 和 D 类阻高在20世纪80年代活动天数最少,90年代最多,21 世纪初又有所减少。这与刘刚等(2012)研究结论类似。各类阻高的年代际变化显著,且在一定程度上存在此消彼长的制约关系。

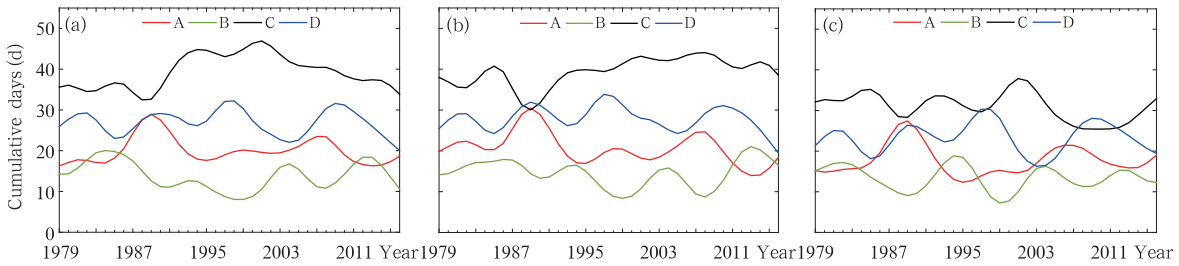

图 4　各类阻高活动累计天数年际变化的滤波分析

(a. NCEP-Ⅰ,b. NCEP-Ⅱ,c. ERA-interim)

Fig. 4　Filter analysis of annual variation of blocking high cumulative days

(a. NCEP-Ⅰ, b. NCEP-Ⅱ, c. ERA-interim)

4　阻高与 6 月中国东北气候异常的联系

Nakamura 等(2004)研究表明,鄂霍次克海阻高的形成机制在 5、6 和 7 月均存在很大差异;沈柏竹等(2011)指出,中国东北地区初夏(5、6 月)和盛夏(7、8 月)降水的影响系统不同。可以预期,即使在夏季,各类阻高在不同月份的动力学效应也有所不同。因此,下文将主要分析初夏(6 月)阻高与同期中国东北气候的联系。

4.1　阻高与 6 月中国东北气温、降水量的相关

对 6 月中国东北地区的气温和降水量进行经验正交函数(EOF)分解,前两模态所占解释方差分别为 84.74%、9.13% 和 69.18%、9.28%,均通过 north 显著性检验,能够很好地代表 6 月东北地区气温和降水的主要分布。其中,第 1 模态表现为全区一致高温多雨,第 2 模态表现为北部低温多雨、南部高温少雨的特征。统计 6 月各类阻高活动总天数与东北地区气温和降水 EOF 分解后前两模态时间系数的关系(表 1),可以看出,3 种再分析资料均显示 D 类阻高活动日数与东北地区气温和降水的相关最为显著,D 类阻高多(寡)年对应 6 月东北低

(高)温、多(少)雨。张庆云等(1998)指出,鄂霍次克海高压异常对东亚中、高纬度位势高度及副高的变化有重要作用。李艳等(2010)对影响中国天气的关键区阻高进行统计时发现,鄂霍次克海阻高是夏季雨涝灾害的一个重要环流背景。刘刚等(2012)研究表明,鄂霍次克海阻高异常有利于偏东北路径的冷空气入侵东北亚及中国东北地区。这些研究成果揭示出鄂霍次克海阻高对东亚气候异常的重要作用。根据表1显示结果,在D类阻高与东北气温和降水的关系中,NCEP-Ⅰ再分析资料的相关系数最大。因而,文中以下内容将以NCEP-Ⅰ再分析资料为例,讨论D类阻高对东北气候的可能影响。

表1 6月各类阻高逐年累计天数与东北气温、降水EOF分解后的前两模态时间序列的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between cumulative days of respective types of blocking high during June and the first two modal time series of temperature and precipitation in Northeast China after EOF decomposition

阻高类型	A1	B1	C1	D1	A2	B2	C2	D2	A3	B3	C3	D3
气温 TEOF1	−0.13	−0.02	0.24	−0.49**	−0.25	−0.03	0.38*	−0.39*	−0.20	−0.03	0.39**	−0.35*
气温 TEOF2	−0.18	0	−0.27	0.23	−0.05	−0.10	−0.19	0.18	−0.08	0.20	−0.06	0.30
降水 TEOF1	0.02	0.22	0.02	0.24	−0.03	0.34*	−0.08	0.18	0.05	0.23	−0.04	0.17
降水 TEOF2	−0.06	−0.05	−0.24	0.60**	0.16	−0.15	−0.20	0.48**	0	0.07	−0.22	0.55**

注:* 和 ** 为通过95%和99%显著检验;A1—D1为NCEP-Ⅰ再分析资料结果,A2—D2为NCEP-Ⅱ再分析资料结果,A3—D3为ERA-interim再分析资料结果。

4.2 D类阻高多、寡年的环流异常

定义6月亚洲阻高在鄂霍次克海周围发生天数I_D多(少)于该年各类阻高平均天数I的为D类阻高多(寡)年(表2),下面将对这些年份的相关要素进行合成分析。图5显示6月NCEP-Ⅰ再分析资料下D类(简称"D1")阻高多、寡年200、500和1000 hPa层上位势高度和温度的合成差值场。可以看到,6月的合成场中,鄂霍次克海地区低层有暖高压,对流层中、上层的反气旋中心位于低层反气旋中心的西北部,异常高压场表现为斜压结构。Nakamura等(2004)指出,这可能由于6月鄂霍次克海和西部陆面较大的海-陆温差所致。阻高偏多年,高层200 hPa东北地区上空气温明显偏高,鄂霍次克海周围气温低;而低层1000 hPa上东北地区为明显低温,鄂霍次克海周围气温高。东北地区低层温度高、高层温度低的配置指示大气层结不稳定,有利于降水的产生。

对流层中,大气温度的垂直递减率是决定大气静力稳定度的主要因素。"上冷下暖"的温度平流垂直差异常导致气温直减率增大,使得大气层结趋于不稳定(朱禾等,2016)。为此,对6月D1阻高多、寡年500和850 hPa矢量风及温度平流的差值场进行合成(图6)。可以看到,500 hPa,鄂霍次克海上空为反气旋环流,西部强烈的暖平流使得等压面升高,有利于D类阻高的加强和维持。强大的D类阻高同时有利于其西侧槽的发展和加深,加强了对流层中层东北地区冷空气南下和偏北气流的输送,东北地区上空以冷平流、气旋性环流为主。低层850 hPa,鄂霍次克海附近强烈的冷平流使得地面加压、位势高度升高,有利于低层反气旋环流的加强和维持。东北地区以从内陆而来的偏北气流为主,由于夏季陆面温度较高,自北向南的暖平流加强,有利于地面减压,使得东北地区位势降低。东北地区高空为冷平流而低空为暖平流,大气层结趋于不稳定,有利于对流性天气的产生。

表2 6月D1阻高多、寡年选取

Table 2 Statistics of D1 blocking high during active and inactive years

指数	年份
$I_{D1}>I_1$	1979,1980,1981,1982,1983,1986,1988,1989,1990,1992,1993,1996,1997,1998,1999,2002,2006,2007,2009,2012,2013,2014,2016
$I_{D1}<I_1$	1984,1985,1987,1991,1994,1995,2000,2001,2003,2004,2005,2008,2010,2011,2015

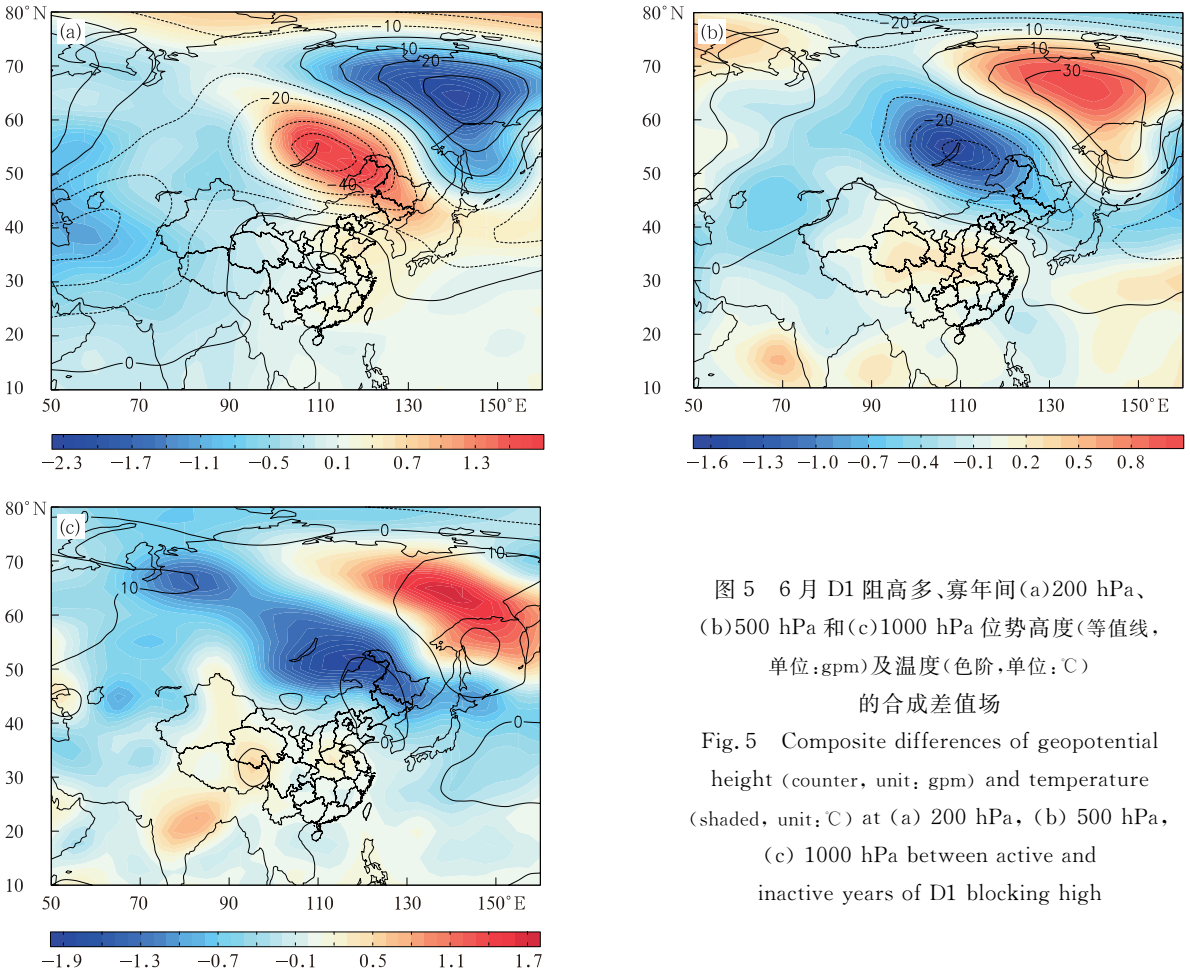

图 5　6 月 D1 阻高多、寡年间(a)200 hPa、(b)500 hPa 和(c)1000 hPa 位势高度(等值线，单位：gpm)及温度(色阶，单位：℃)的合成差值场

Fig. 5　Composite differences of geopotential height (counter, unit: gpm) and temperature (shaded, unit: ℃) at (a) 200 hPa, (b) 500 hPa, (c) 1000 hPa between active and inactive years of D1 blocking high

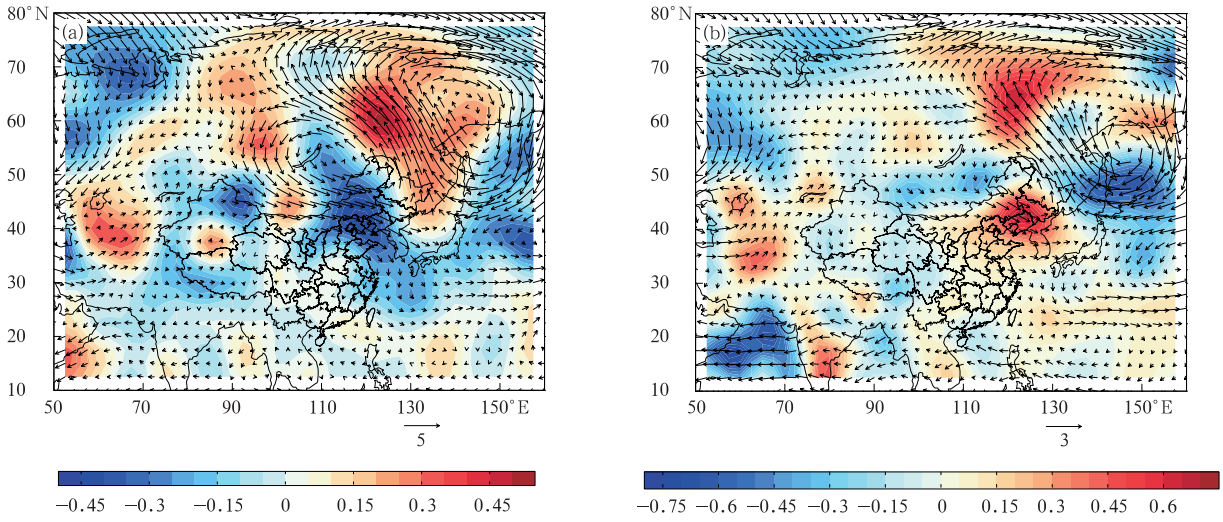

图 6　6 月 D1 阻高多、寡年间(a)500 hPa 和(b)850 hPa 矢量风(矢线，单位：m/s)及温度平流(色阶，单位：10^{-5} ℃/s)的合成差值场

Fig. 6　Composite differences of winds (vectors, unit: m/s) and temperature advection (shaded, unit: 10^{-5} ℃/s) at (a) 500 hPa, (b) 850 hPa between active and inactive years of D1 blocking high

除水平环流场外,垂直环流也可以反映大气运动在高低层间的联系。图 7 给出了 40°—70°N 纬向平均的位势高度和垂直速度的合成差值剖面。欧洲大陆至乌拉尔山及鄂霍次克海上空的异常高压系统延伸至对流层整层,这与大气高低层辐散场及系统配置相吻合;1000—100 hPa,乌拉尔山及鄂霍次克海周围均存在深厚的下沉气流,尤以鄂霍次克海周围的下沉气流最为强烈。而中国东北地区则以异常低压和上升气流为主,低压中心位于 250 hPa 附近,上升运动从 1000 hPa 一直延伸至 300 hPa 以上。

通过上述对多种要素场的分析看到,D 类阻高活跃年,大气环流以经向型为主,加强了中高纬度冷空气南下和偏北气流的输送。东北地区低层低温、暖平流,高层高温、冷平流,同时伴随强烈的垂直上升运动。这种配置结构十分有利于对流性天气出现,一旦水汽条件充沛,极易产生降水。

4.3 D 类阻高波作用通量

为进一步揭示 6 月 D 类阻高活动的动力学机制,根据 Wang 等(1994)的方法计算了波作用通量的水平和垂直分量。D1 阻高多、寡年 500 hPa 波作用通量和位势高度差值场(图 8)表明,中、高纬度,欧洲大陆至乌拉尔山及鄂霍次克海地区为正异常高度场控制,中国东北地区及西北太平洋上空为负异常高度场,纬向存在高度异常中心“+ − + −”的分布型。东北地区上空有罗斯贝波向西北辐合的趋势,说明波扰能量在该处被阻截,加强了东北地区的

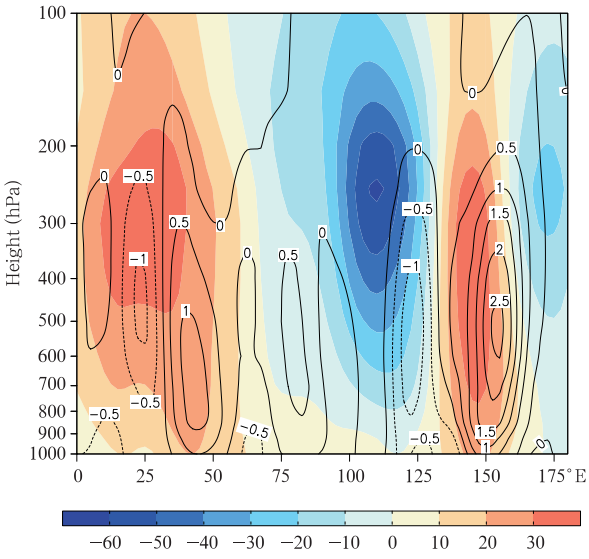

图 7 6 月 D1 阻高多、寡年 40°—70°N 平均的位势高度(色阶,单位:gpm)和垂直速度(等值线,单位:10^{-2} Pa/s,其中正值表示下沉、负值表示上升运动)合成差值垂直剖面

Fig. 7 Composite differences of geopotential height (shaded, unit: gpm) and omega (contours, unit: 10^{-2} Pa/s) averaged over 40°−70°N between active and inactive years of D1 blocking high

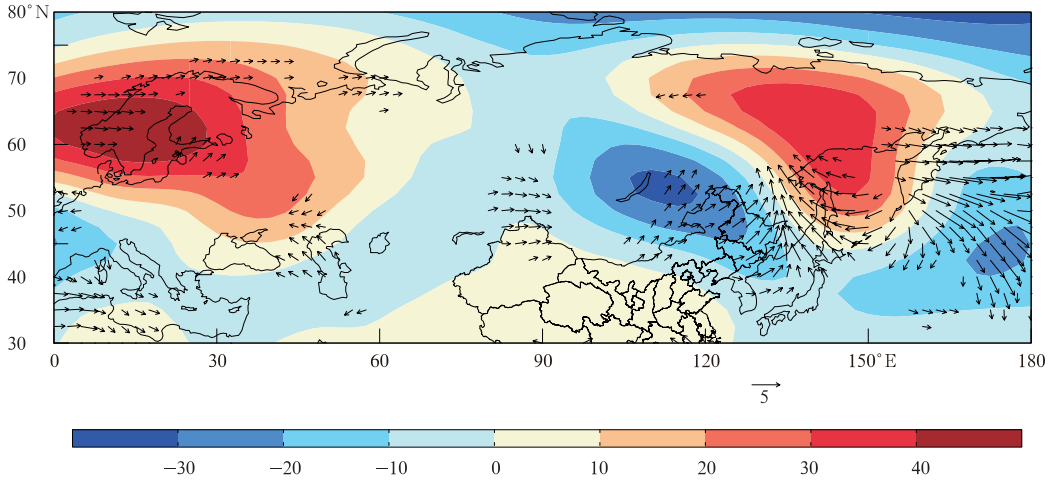

图 8 6 月 D1 阻高多、寡年 500 hPa 波作用通量(矢线,单位:m^2/s^2)和位势高度(色阶,单位:gpm)的合成差值场

Fig. 8 Composite differences of wave activity flux (vectors, unit: m^2/s^2) and geopotential height (shaded, unit: gpm) at 500 hPa between active and inactive years of D1 blocking high

局地环流异常,有利于低压系统维持。在鄂霍次克海地区有一个准静止罗斯贝波向东南方向传播,波活动通量方向与大圆路径类似。

Plumb(1985)指出,尽管罗斯贝波通常呈准水平传播,但有时垂直方向分量亦不可忽略,因为其强迫源可能来自低层大气向上的波作用通量。为此,计算了沿140°E的纬度-高度剖面(图9a)和55°N的经度-高度剖面(图9b)合成差值场。可见50°—60°N、125°—160°E,1000—400 hPa出现较强的上升通量。大多数垂直通量向上传播,但在160°E以东700—200 hPa有较大的向东传播的波作用通量。

由图8、9可知,6月,500 hPa鄂霍次克海区域有向东南方向传播的水平波动通量,1000—400 hPa强烈的上升通量也出现在鄂霍次克海周围。因而,可以推断鄂霍次克海地区是6月罗斯贝波的重要来源地之一。这与Wang等(1994)诊断出的初夏波列从高纬度向低纬度地区传播的结果类似。Plumb(1985)研究发现,准静止波传播最主要的强迫机制为非绝热加热。Okawa(1973,1976)指出,初夏东西伯利亚大陆与白令海峡之间存在强大的热力对比;Kato(1985)认为6月华北以北地区气温上升迅速。Wang(1992)对梅雨季节期间欧亚大陆反气旋研究发现,初夏反气旋最常出现在(50°—70°N,131°—150°E)地区。这些事实表明,6月D类阻高的形成可能与海-陆温差有关。

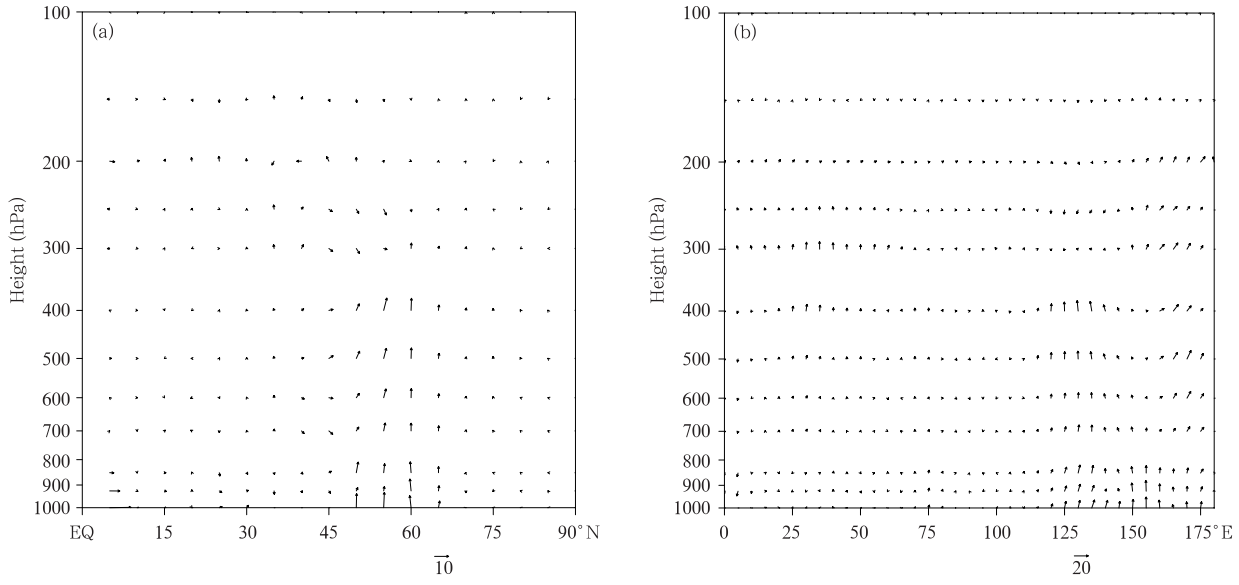

图9　6月D1阻高多、寡年波作用通量(矢线,单位:m^2/s^2)在(a)140°E的纬度-高度剖面和(b)55°N的经度-高度剖面合成差值场

Fig. 9　Latitude-height cross section along 140°E of composite differences of wave activity flux (vectors, unit: m^2/s^2) (a) and longitude-height cross section along 55°N (b) between active and inactive years of D1 blocking high

5　结论与讨论

基于NCEP-Ⅰ、NCEP-Ⅱ和ERA-interim再分析资料,对1979—2016年夏季亚洲阻高特征进行了初步对比分析,并以D类阻高为例,讨论其对6月中国东北地区气候的可能影响。结果表明:

(1) 夏季亚洲阻高以生命期3—7 d的过程居多,维持时间越长,发生次数越少。NCEP-Ⅰ和NCEP-Ⅱ再分析资料对阻高活动天数、发生频次及年代际变化的识别结果差异较小,而ERA-interim与前两种资料的结果差别较大。各类阻高年平均活动累计天数均表现为"C类最多、D类次之、B类最少"的特征,且具有明显的年代际变化。

(2) 3种再分析资料,夏季各类阻高活动天数均与500 hPa高度场存在相应的显著相关区,且形态相近。但前两种资料对于各类阻高的表征结果较

为一致,而 ERA-interim 再分析资料对各类阻高面积和范围的表征偏小。

(3) 6 月 D 类阻高活动日数与东北地区气温和降水关系密切,即 D 类阻高多(寡)年对应 6 月东北低(高)温、多(少)雨。从环流形势上看,D 类阻高活跃年,大气环流以经向型为主,加强了中、高纬度冷空气南下和偏北气流的输送。东北地区低层低温、暖平流,高层高温、冷平流的结构指示大气层结不稳定,且东北上空为异常低压环流控制,上升气流较强,这种大气环流的配置有利于对流性天气出现。

(4) 6 月 D 类阻高偏多年,500 hPa 上鄂霍次克海区域有东南方向传播的水平波动通量,1000—400 hPa 强烈的上升通量也出现在鄂霍次克海周围。因而,可以推断鄂霍次克海地区是 6 月罗斯贝波的重要来源地之一,而 6 月 D 类阻高的形成可能与海-陆温差有关。

值得注意的是,这里分析的亚洲阻高年代际变化与整个北半球阻高活动的年代际变化是否具有类似的特征?二者存在怎样的联系?此外,本研究仅对 D 类阻高总天数的多、寡年进行分析,并未对孤立子、偶极子等情况分开讨论。阻高有时会同时出现在不同地区,且常伴随东北冷涡活动(刘宗秀等,2002;廉毅等,2010;刘刚等,2012,2015)。两大系统之间的关系及其不同的配置方式对东北地区乃至中国、甚至亚洲气候会产生怎样的影响?这些问题均有待深入研究。

参考文献

陈汉耀. 1957. 1954 年长江淮河流域洪水时期的环流特征. 气象学报, 28(1): 1-12. Chen H Y. 1957. Characteristics of circulation in the Jianghuai River basin during the 1954 flood period. Acta Meteor Sinica, 28(1): 1-12 (in Chinese)

陈菊英, 王玉红, 王文. 2001. 1998 及 1999 年乌山阻高突变对长江中下游大暴雨过程的影响. 高原气象, 20(4): 388-394. Chen J Y, Wang Y H, Wang W. 2001. The influence of sudden change of Ural blocking high on heavy rainstorm processes in the middle-lower reaches of Yangtze River in June－July of 1998 and 1999. Plateau Meteor, 20(4): 388-394 (in Chinese)

杜小玲, 高守亭, 彭芳. 2014. 2011 年初贵州持续低温雨雪冰冻天气成因研究. 大气科学, 38(1): 61-72. Du X L, Gao S T, Peng F. 2014. Study of the 2011 freezing rain and snow storm in Guizhou. Chinese J Atmos Sci, 38(1): 61-72 (in Chinese)

顾伟宗, 陈丽娟, 左金清等. 2016. 多因子协同作用对 1992 年和 1998 年黄淮地区夏季降水异常的影响. 大气科学, 40(4): 743-755. Gu W Z, Chen L J, Zuo J Q, et al. 2016. Combined effect of multiple factors on the summer rainfall anomalies over the Huanghe-Huaihe valley in 1992 and 1998. Chinese J Atmos Sci, 40(4): 743-755 (in Chinese)

胡钰玲, 赵中军, 康彩燕等. 2017. 中国南方 2008 年与 2016 年两次低温雨雪冰冻天气过程对比分析. 冰川冻土, 39(6): 1180-1191. Hu Y L, Zhao Z J, Kang C Y, et al. 2017. A comparative study of the two weather processes with cold and snowing in southern China in 2008 and 2016. J Glaciol Geocryol, 39(6): 1180-1191 (in Chinese)

赖珍权, 翟丽萍, 张禹德等. 2017. 2016 年初广西罕见的一次低温雨雪冰冻灾害天气分析. 自然灾害学报, 26(1): 156-164. Lai Z Q, Zhai L P, Zhang Y D, et al. 2017. Analysis of a rare low-temperature snow and freezing disaster weather at the beginning of 2016 in Guangxi Province. J Nat Dis, 26(1): 156-164 (in Chinese)

李春, 孙照渤. 2003. 中纬度阻塞高压指数与华北夏季降水的联系. 南京气象学院学报, 26(4): 458-464. Li C, Sun Z B. 2003. Association of mid-latitude blocking high index with summer precipitation in North China. J Nanjing Inst Meteor, 26(4): 458-464 (in Chinese)

李峰, 丁一汇. 2004. 近 30 年夏季亚欧大陆中高纬度阻塞高压的统计特征. 气象学报, 62(3): 347-354. Li F, Ding Y H. 2004. Statistical characteristic of atmospheric blocking in the Eurasia high-mid latitudes based on recent 30-year summers. Acta Meteor Sinica, 62(3): 347-354 (in Chinese)

李维京. 1999. 1998 年大气环流异常及其对中国气候异常的影响. 气象, 25(4): 20-25. Li W J. 1999. General atmospheric circulation anomaly in 1998 and their impact on climate anomaly in China. Meteor Mon, 25(4): 20-25 (in Chinese)

李艳, 金荣花, 王式功. 2010. 1950—2008 年影响中国天气的关键区阻塞高压统计特征. 兰州大学学报(自然科学版), 46(3): 47-55. Li Y, Jin R H, Wang S G. 2010. Statistical characteristics of blocking highs influencing the weather in China during 1950－2008. J Lanzhou Univ (Nat Sci), 46(3): 47-55 (in Chinese)

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. Lian Y, Bueh C, Xie Z W, et al. 2010. The anomalous cold vortex activity in Northeast China during the early summer and the low-frequency variability of the northern hemispheric atmosphere circulation. Chinese J Atmos Sci, 34(2): 429-439 (in Chinese)

朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文等. 2001. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社. Zhu Q G, Lin J R, Shou S W, et al. 2001. Weather Principle and Method. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese)

刘刚, 沈柏竹, 廉毅等. 2012. 亚洲阻塞高压分类及其与东北冷涡活动和东北夏季低温的联系. 地理科学, 32(10): 1269-1274. Liu G, Shen B Z, Lian Y, et al. 2012. The sorts of 500 hPa blocking high in Asia and it's relations to cold vortex and aestival

low temperature in Northeast of China. Scientia Geogr Sinica, 32(10): 1269-1274 (in Chinese)

刘刚，廉毅，颜鹏程等. 2015. 5—8月东北冷涡客观识别分类及北半球大气环流特征分析. 地理科学，35(8)：1042-1050. Liu G, Lian Y, Yan P C, et al. 2015. The objective recognition and classification of northeast cold vortex and the Northern Hemisphere atmospheric circulation characters in May to August. Scientia Geogr Sinica, 35(8): 1042-1050 (in Chinese)

刘樱，郭品文，冯涛. 2016. 华北地区冬季持续性异常低温事件与大气低频振荡活动的关系. 大气科学学报，39(3)：370-380. Liu Y, Guo P W, Feng T. 2016. The relationship between winter persistent abnormal low temperature in North China and atmospheric low-frequency oscillation activities. Trans Atmos Sci, 39(3): 370-380 (in Chinese)

刘宗秀，廉毅，高枞亭等. 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. Liu Z X, Lian Y, Gao Z T, et al. 2002. Analyses of the northern hemisphere circulation characters during northeast cold vortex persistence. Chinese J Atmos Sci, 26(3): 361-372 (in Chinese)

苗青，巩远发，邓锐捷等. 2016. 北半球中高纬度低频振荡对2012/2013年冬季中国东北极端低温事件的影响. 大气科学，40(4)：817-830. Miao Q, Gong Y F, Deng R J, et al. 2016. Impacts of the low-frequency oscillation over the Extra-tropics of the Northern Hemisphere on the extreme low temperature event in Northeast China in the winter of 2012/2013. Chinese J Atmos Sci, 40(4): 817-830 (in Chinese)

沈柏竹，林中达，陆日宇等. 2011. 影响东北初夏和盛夏降水年际变化的环流特征分析. 中国科学：地球科学，41(3)：402-412. Shen B Z, Lin Z D, Lu R Y, et al. 2011. Circulation anomalies associated with interannual variation of early- and late-summer precipitation in Northeast China. Sci China Earth Sci, 54(7): 1095-1104

苏丽欣，廉毅，李尚锋等. 2015. 东北区夏季低温事件概率空间分布与亚洲阻塞流型域及其冷空气活动路径. 地理科学，35(2)：251-258. Su L X, Lian Y, Li S F, et al. 2015. Distribution of summer cool events over Northeast China and the Asian blocking regime and cold air path. Scientia Geogr Sinica, 35(2): 251-258 (in Chinese)

孙安健，高波. 2000. 华北平原地区夏季严重旱涝特征诊断分析. 大气科学，24(3)：393-402. Sun A J, Gao B. 2000. A diagnostic analyses of serious flood/drought during summer season in the North China Plane. Chinese J Atmos Sci, 24(3): 393-402 (in Chinese)

汤懋苍. 1957. 亚洲东部的阻塞形势及其对天气气候的影响. 气象学报，28(4)：282-293. Tang M C. 1957. On the blocking situation of the Eastern Asia and it's climatic effects. Acta Meteor Sinica, 28(4): 282-293 (in Chinese)

陶诗言，赵煜佳，陈晓敏. 1958. 东亚的梅雨期与亚洲上空大气环流季节变化的关系. 气象学报，29(2)：119-134. Tao S Y, Zhao Y J, Chen X M. 1958. The relationship between May-yü in far East and the behaviour of circulation over Asia. Acta Meteor Sinica, 29(2): 119-134 (in Chinese)

陶诗言. 1980. 中国之暴雨. 北京：科学出版社. Tao S Y. 1980. China's Heavy Rain. Beijing: Science Press (in Chinese)

王小玲，丁一汇. 2013. 2010年夏季欧亚异常阻高演变过程及对天气气候的影响. 气象，39(9)：1089-1095. Wang X L, Ding Y H. 2013. Evolution of the exceptional blocking high over Eurasia and its impact on weather and climate in 2010 summer. Meteor Mon, 39(9): 1089-1095 (in Chinese)

王亚非，宋永加. 1998. 1991年夏东亚阻塞高压形成的诊断分析. 气象学报，56(2)：212-224. Wang Y F, Song Y J. 1998. A diagnostic analysis on the growth mechanism of the East Asia blocking high in 1991. Acta Meteor Sinica, 56(2): 212-224 (in Chinese)

叶笃正，陶诗言，朱抱真等. 1962. 北半球冬季阻塞形势的研究. 北京：科学出版社，1-2. Ye D Z, Tao S Y, Zhu B Z, et al. 1962. Research on the Northern Hemisphere Winter Blocking Situation. Beijing: Science Press, 1-2 (in Chinese)

张培忠，杨素兰. 1996. 阻塞高压活动的气候变化及其对中国某些地区旱涝的影响. 气象学报，54(5)：633-640. Zhang P Z, Yang S L. 1996. The climate change of blocking high and their effects on drought and flood of some region of China. Acta Meteor Sinica, 54(5): 633-640 (in Chinese)

张庆云，陶诗言. 1998. 亚洲中高纬度环流对东亚夏季降水的影响. 气象学报，56(2)：199-211. Zhang Q Y, Tao S Y. 1998. Influence of Asian mid-high latitude circulation on East Asian summer rainfall. Acta Meteor Sinica, 56(2): 199-211 (in Chinese)

张庆云，陶诗言，张顺利. 2001. 1998年嫩江、松花江流域持续性暴雨的环流条件. 大气科学，25(4)：567-576. Zhang Q Y, Tao S Y, Zhang S L. 2001. A study of excessively heavy rainfall in the Songhuajiang-Nenjiang river valley in 1998. Chinese J Atmos Sci, 25(4): 567-576 (in Chinese)

张婷婷，智协飞，白永清等. 2009. 欧亚阻塞高压的计算机识别. 科技信息，(15)：409-410，407. Zhang T T, Zhi X F, Bai Y Q, et al. 2009. Computer identification of blocking high over Eurasia. Sci Technol Inf, (15): 409-410, 407 (in Chinese)

赵振国. 1999. 中国夏季旱涝及环境场. 北京：气象出版社. Zhao Z G. 1999. China's Summer Drought and Flood Environment. Beijing: China Meteorological Press (in Chinese)

郑志海，王永光. 2018. 2017年夏季北半球大气环流特征及对我国天气气候的影响. 气象，44(1)：199-205. Zheng Z H, Wang Y G. 2018. Northern Hemisphere atmospheric circulation characteristics in summer 2017 and its impact on weather and climate in China. Meteor Mon, 44(1): 199-205 (in Chinese)

周晓平. 1957. 亚洲中纬度区域阻塞形势的统计研究. 气象学报，28(1)：75-85. Zhou X P. 1957. Statistical investigation on the blocking situations over Asia. Acta Meteor Sinica, 28(1): 75-85 (in Chinese)

朱禾，王秀明. 2016. 影响气温直减率变化的物理过程讨论. 气象科技进展，6(5)：51-54. Zhu H, Wang X M. 2016. A discus-

sion about the physical process of environmental temperature lapse rate tendency. Adv Meteor Sci Technol, 6(5): 51-54 (in Chinese)

Brezowsky H, Flohn H, Hess P. 1951. Some remarks on the climatology of blocking action. Tellus, 3(3): 191-194

Bromwich D H, Fogt R L. 2004. Strong trends in the skill of the ERA-40 and NCEP-NCAR reanalyses in the high and midlatitudes of the Southern Hemisphere, 1958-2001. J Climate, 17(23): 4603-4619

Elliott R D, Smith T B. 1949. A study of the effects of large blocking highs on the general circulation in the northern-Hemisphere westerlies. J Meteor, 6(2): 68-85

Hoskins B J, Karoly D J. 1981. The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. J Atmos Sci, 38(6): 1179-1196

Kato K. 1985. On the abrupt change in the structure of the Baiu front over the China continent in late May of 1979. J Meteor Soc Japan, 63(1): 20-36

Nakamura H, Fukamachi H. 2004. Evolution and dynamics of summertime blocking over the Far East and the associated surface Okhotsk high. Quart J Roy Meteor Soc, 130(599): 1213-1233

Okawa T. 1973. Growth mechanism of the Okhotsk high. Res Lett, 25: 65-77 (in Japanese)

Okawa T. 1976. Behaviour of Okhotsk High and 500-mb level flow pattern in the Baiu season. J Meteor Res, 28: 253-261 (in Japanese)

Plumb R A. 1985. On the three-dimensional propagation of stationary waves. J Atmos Sci, 42(3): 217-229

Rex D F. 1950. Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate: Ⅱ. The climatology of blocking action. Tellus, 2(4): 275-301

Sumner E J. 1959. Blocking anticyclones in the Atlantic-European sector of the northern hemisphere. Met Mag, 88: 300-311

Wang Y F. 1992. Effects of blocking anticyclones in Eurasia in the rainy season (Meiyu/Baiu season). J Meteor Soc Japan, 70(5): 929-951

Wang Y F, Yasunari T. 1994. A diagnostic analysis of the wave train propagating from high-latitudes to low-latitudes in early summer. J Meteor Soc Japan, 72(2): 269-279