

Study on the Relationship between Atmospheric Ultra-Long Waves and Blocking Highs in Key Eurasian Areas

Yao Lu, Yan Li*

Key Laboratory of Semi-Arid Climate Change, Ministry of Education, College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou Gansu
Email: luy15@lzu.edu.cn, liyanlz@lzu.edu.cn

Received: Nov. 21st, 2018; accepted: Dec. 3rd, 2018; published: Dec. 10th, 2018

Abstract

By using the reanalysis data from the National Centers for Environmental Prediction-Department of Energy (NCEP-DOE) from 1979 to 2014, this paper classifies the atmospheric fluctuations in the mid-latitudes of the Northern Hemisphere by wave number, and then retrieves the blocking highs in key Eurasian areas by using the internationally accepted T & M method. The spatial and temporal variations of atmospheric 1 - 3 waves (ultra-long waves) at middle latitudes and their relationship with blocking highs in key Eurasian regions are systematically studied. The main conclusions are as follows: The proportion of the 1 - 8 wave spectrums in the mid-latitudes of the Northern Hemisphere varies from 0.93 to 0.96, and the proportion of 1 - 3 wave spectrums exceeds 0.5, which demonstrate that the ultra-long wave is the most important component of atmospheric motions. There is a quasi-two-year periodic variation of proportions of the 1 - 8 wave and 1 - 3 wave spectrums at 30°N or 60°N, and the oscillation in winter is more significant. When the proportion of 1 - 3 wave spectrums is strong, the geopotential height (GPH) in Urals area is low, and the GPH in the Baikal area is high, but the changes of GPH in the Okhotsk areas are not significant. Conversely, as the proportion of 1 - 3 wave spectrums is weak, the GPH in Okhotsk areas is high, yet the changes of GPH in other two regions are not obvious. In addition, when the proportion of 1 - 3 wave spectrums is abnormal at 60°N, the anomalies of GPH are more significant. The amplitude of 1 (3) wave is positively (negatively) related to the blocking indexes of Urals regions, and negatively (positively) related to blocking indexes in Okhotsk areas. The sharp increase of the amplitude of 2 waves may lead to a longer duration of blocking highs in Urals areas.

Keywords

Blocking Highs, Harmonic Analysis, Ultra Long Wave, Spectral Specific Gravity, Amplitude

*通讯作者。

中纬度大气超长波与欧亚关键区阻塞高压关系的研究

路瑶, 李艳*

兰州大学大气科学学院半干旱气候变化教育部重点实验室, 甘肃 兰州
Email: luy15@lzu.edu.cn, liyanlz@lzu.edu.cn

收稿日期: 2018年11月21日; 录用日期: 2018年12月3日; 发布日期: 2018年12月10日

摘要

本文通过使用美国国家环境预报中心能源部(National Centers for Environmental Prediction-Department of Energy, 简称: NCEP-DOE)提供的1979~2014年的再分析资料, 利用谐波分析法将北半球中纬度大气按波数分类, 再借助国际上通用的T & M方法检索欧亚关键区阻高, 系统研究中纬度大气1~3波(超长波)的时空变化特征及其与欧亚关键区阻高的关系, 主要结论如下: 北半球中纬度地区(30°N~60°N) 1~8波波谱比重在0.93~0.96变化, 其中1~3波波谱比重超过0.5, 表明超长波是大气运动中最主要的组成部分, 且30°N和60°N两条纬圈上超长波的波谱比重有准2年的周期变化, 冬季振荡更为显著; 当1~3波波谱比重偏强时, 乌山地区位势高度(geopotential height, 简称: GPH)明显偏低, 贝湖地区的偏高, 鄂海地区GPH变化不明显, 反之, 鄂海地区GPH偏强, 其他两个区域GPH变化不显著, 尤其60°N上1~3波波谱比重异常时, 欧亚地区GPH异常表现更为突出; 1波(3波)振幅与乌山阻高指数呈正(负)相关关系, 与鄂海的呈负(正)相关, 2波振幅的激增可能会导致乌山阻高持续时间增长。

关键词

阻塞高压, 谐波分析, 超长波, 波谱比重, 振幅

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

阻塞高压(简称阻高)是中高纬度大气环流经向异常发展的天气形势之一, 可以引发气团质量及热量交换, 从而导致天气气候异常, 甚至会引导灾害天气爆发[1] [2]。欧亚关键区——乌拉尔山地区(乌山地区)、贝加尔湖地区(贝湖地区)、鄂霍次克海地区(鄂海地区)的阻高尤其是乌山阻高对我国的天气气候影响很大[3] [4]。如: 2008年1月10日~2月5日我国南方大部分地区遭受的历史罕见的冰冻雨雪灾害就是乌山地区阻高持续时间异常偏长导致的[5] [6]。这次冰冻天气影响范围广、强度大、持续时间长, 达到50年一遇, 对生态、农业、电力、交通、通信等方面造成严重影响[6] [7] [8], 是典型的灾害性气象事件。2016年1月下旬, 我国南方经历的罕见的“霸王级”寒潮过程同样也是受乌山阻高的影响, 该过程导致华东地区经历了约-10℃的极端低温, 华南地区的最低温度跌破0℃, 南方地区的工农业生产和居民生活深受

其影响[9]。鉴于阻高对天气气候影响之大, 因此, 对阻高的研究受到了广泛的重视。

之前的研究表明影响阻高发生、发展的因素有许多, 例如: 高空平流层爆发性增温会导致北太平洋阻高偏弱[10]; 青藏高原上空低位涡空气源源不断地向东亚阻高区域输送, 使阻高得以维持[11]; 地表温度梯度对阻高的形成有一定的影响[12]; 高纬度海冰融化会导致乌山阻高持续时间变久[13]; ENSO 事件会导致欧亚关键区阻高强度、频次等发生变化[14]。

大气内部波动同样也会影响阻高的建立、维持与崩溃。Hansen 和 Chen [15]指出行星尺度波的活动会使阻高增强。Lejean 和 Döös [16]的研究表明阻高发生时准静止波(1、2、3 波)要比气候态下的强。Austin [17]考察了超长波(纬向波数 1~3)和天气尺度(4~10 波)能量平衡过程与阻塞形势建立、维持和崩溃的关系, 认为正压超长波和斜压尺度波的非线性相互作用是大西洋阻塞形成的机制, 而超长波斜压不稳定发展是太平洋阻塞形成的机制。还有研究表明阻高维持期间, 2 波、3 波向北输送大量的感热[18]。但高守亭等 [19]认为 1 波的西移对太平洋阻塞的形成以及 2 波的西移对大西洋阻塞的形成有促进作用。康志明等[20]研究表明在寒潮初始阶段 2 波出现峰值, 在寒潮爆发前 2 波、3 波为优势波, 寒潮中期 3 波能量变化为主要特征。接下来曹杰[21]利用空间谱函数研究得出夏季东北亚阻高以纬向 2 波相互作用为主, 但是张培忠[22]利用波数域动能方程分析夏季阻高却得出夏季代表阻高的波动是 5 波(长波)而不是 2 波(超长波)的结论。在阻高形成和维持阶段, 波与波非线性相互作用向 5 波输送动能, 在阻高衰退阶段则完全相反, 波与波相互作用项使 5 波动能变小, 阻高衰退。

综上所述, 影响阻高的因素有许多, 利用不同的方法, 采取不同的角度研究大气内部波动对阻高的影响得出的结论也不尽相同, 但是目前的研究鲜有涉及超长波波谱比重的变化特征, 对不同比重的非线性超长波作为大气环流的背景对于欧亚关键区阻高影响的研究也不足。因此, 本文主要研究超长波波谱比重随时间的变化特征及其与欧亚关键区阻高的关系, 从波动的角度了解与认识阻高, 不仅可以为深刻认识欧亚地区阻高的物理机制提供一些理论依据, 也可以为提高极端天气气候事件预报准确度提供参考依据。

2. 资料与方法

2.1. 资料

NCEP-DOE 提供的 1979 年 1 月~2015 年 12 月逐日的位势高度(GPH)资料, 垂直方向上有 17 层(1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250, 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 hPa), 水平分辨率为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ 。

卫星、探空、船舶及其他现代化设备探测到的数据已经同化到该数据集中[23], 并且该数据已经被广泛应用于类似的研究中[24] [25], 这有利于将我们的研究成果同他人的在同一参考平台下进行对比。

2.2. 方法

2.2.1. T & M 方法

阻高指数采用的是由 Lejean 等人提出的, 由 Tibaldi 等人改进的定义阻高指数的方法, 该方法称为 Tibaldi 和 Molteni 方法(简称 T & M 方法) [26] [27]方法主要是依据 500 hPa 位势高度在 40°N ~ 60°N 之间的差, 以及保证阻高向极方向存在的风速不小于 $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的平均西风气流这两个条件。具体计算方法如下:

对于每个经度, 南 500 hPa 高度梯度(GHGS)和北 500 hPa 高度梯度(GHGN)计算下:

$$\begin{aligned} GHGS &= \frac{Z(\varphi_0) - Z(\varphi_s)}{\varphi_0 - \varphi_s} \\ GHGN &= \frac{Z(\varphi_n) - Z(\varphi_0)}{\varphi_n - \varphi_0} \end{aligned} \quad (1)$$

式中, Z 代表位势高度, $\varphi_n = 80^\circ\text{N} + \delta$, $\varphi_0 = 60^\circ\text{N} + \delta$, $\varphi_s = 40^\circ\text{N} + \delta$, 其中 $\delta = -5^\circ, 0^\circ, 5^\circ$ 。

对于 T & M 方法来说, 如果满足(1) $GHGS > 0$, (2) $GHGN < -10 \text{ m}\cdot\text{纬距}^{-1}$, 则诊断该时该经度有瞬时阻塞, 阻塞指数为 $GHGS$ 。对于阻塞事件的定义为: 至少连续 15 个经度上的 T & M 阻高指数大于 0, 并且持续时间达到 4 天或 4 天以上, 则说明该时间段该地区有阻塞事件发生。

此方法可以很好地识别出强而稳定的阻塞高压, 对于弱阻高的判别能力较弱, 很可能把南北两个高空冷涡夹持的相对高值错误为阻高[1]。该方法已经被国内外学者广泛应用于检索阻高, 成果颇丰[28] [29]。

2.2.2. 谐波分析方法

超长波、长波的选取采用的是傅里叶展开方法[30]。具体公式如下:

$$f(x) = a_0 + \sum_{N=1}^{\infty} [a_n \cos(nx) + b_n \sin(nx)] \quad (2)$$

利用傅里叶级数把实际的波动分解, 将 500 hPa 等压面高度场 $H(\lambda, \varphi)$ 做波谱分析。

$$H(\lambda, \varphi) = a_0\varphi + \sum_{N=1}^{\infty} (a_n(\varphi) \cos \varphi \cos(n\lambda) + b_n(\varphi) \sin(\varphi) \sin(n\lambda)) \quad (3)$$

其中

$$\begin{aligned} a_0(\varphi) &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} H(\lambda, \varphi) d\lambda \\ a_n(\varphi) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} H(\lambda, \varphi) \cos(n\lambda) d\lambda \\ b_n(\varphi) &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} H(\lambda, \varphi) \sin(n\lambda) d\lambda \end{aligned} \quad (4)$$

a_0 , a_n , b_n 称为傅氏系数。 $a_n \cos n\lambda + b_n \sin n\lambda$ 称为 n 阶谐波, 简称为 n 波。

沿纬圈均为地取 144 个等距格点, 即 $\Delta\lambda = 2.5$ 个经度 $= \pi/72$, $i = 1, 2, 3, \dots, 144$, 则:

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{144} \sum_1^{144} H_i(\varphi) \\ a_n &= \frac{1}{72} \sum_1^{144} H_i(\varphi) \cos\left(\frac{k_i \pi}{72}\right) \\ b_n &= \frac{1}{72} \sum_1^{144} H_i(\varphi) \sin\left(\frac{k_i \pi}{72}\right) \end{aligned} \quad (5)$$

n 波的振幅为 $A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$, 波谱比重 $b_z = \frac{A_n}{2 \times h_s(\lambda)}$,

其中 $h_s(\lambda) = \sum_{n=1}^{\infty} [H(\lambda, \varphi) - \overline{H(\varphi)}]^2$, $\overline{H(\varphi)}$ 表示某纬圈上位势高度的纬圈平均。

通过该方法将实际大气流型分解成不同尺度的波动, 有助于我们了解大气环流中各波动的性质及各波动之间的相互作用。上世纪七八十年代, 大批的学者使用和发展波谱分解方法, 得到了较好的结论[31] [32] [33], 但是近些年使用该方法研究的人员较少。

3. 不同波的波谱比重的时空变化特征

3.1. 不同波的波谱比重空间变化特征

通常对 500 hPa 等压面上位势高度沿纬圈做谐波展开, 大多数的研究认为: 波数 0 为纬圈平均环流, 1~3 波为超长波, 4~6 波为大气长波, 这为我们确定波数的选取提供了重要依据。朱福康[34]的研究得出

前 8 波的逼近程度已经很好, 本小节分别分析了 500 hPa 等压面上北半球中纬度(30°N~60°N) 1~8 波、1~3 波及 4~6 波的变化特征。

表 1 给出了在北半球中纬度 500 hPa 上 1~8 波, 1~3 波及 4~6 波的波谱比重在 1979~2015 年的平均值。整个北半球中纬度 1~8 波波谱比重平均值高达 0.945, 说明 1~8 波基本可以表征大气运动了, 与朱福康[34]的研究结论一致。并且 1~3 波波谱比重的平均值为 0.663, 约占 1~8 波总的波谱比重的 70%, 这说明超长波对中纬度大气运动的贡献是十分巨大的。4~6 波波谱比重的平均值约为 0.225, 约占 1~8 波总的波谱比重的 23.8%, 表明大气长波也是中纬度大气波动中重要的组成部分。不同纬圈上各波谱比重的差异不是很大, 1~8 波及 1~3 波波谱比重随着纬圈的偏北而略减小, 4~6 波却略有增加, 且我们主要目的是研究欧亚关键区的阻塞高压事件与中纬度大气波动的关系, 所以我们选择了两个典型的纬圈——30°N, 60°N 来进行接下来的研究。

Table 1. The wave spectral proportion of 1 - 8, 1 - 3 and 4 - 6 waves at mid-latitudes in Northern Hemisphere at 500 hPa
表 1. 500 hPa 上 1~8 波、1~3 波及 4~6 波在北半球中高纬度上波谱比重

	30°N	40°N	50°N	60°N
1~8 波	0.946	0.944	0.943	0.943
1~3 波	0.667	0.664	0.650	0.645
4~6 波	0.222	0.221	0.230	0.236

表 2 展示了 500 hPa 上位势高度沿 30°N、60°N 纬圈进行傅里叶展开时, 1~8 波、1~3 波及 4~6 波年均波谱比重的变化范围。从表 1 中可以看出 1~8 波的波谱比重之和已经超过 90%, 且 1~8 波波谱比重的波动范围也较小, 总是在 0.93~0.96 之间变化, 说明 1~8 波各波数的波动线性组合已经可以很好地描述大气波动了, 并且其变化范围较小, 较稳定。4~6 波波谱比重偏小, 约为 0.24, 波谱比重最大值也没有超过 0.4。反观 1~3 波——也就是超长波, 其波谱比重偏大, 平均波谱比重已经超过 0.5, 最大值更是高达 0.74。进一步证明了超长波是中纬度大气运动不可或缺的一部分。对比两个纬圈上各波的波谱比重我们发现, 60°N 上超长波及大气长波的波谱比重变化范围要大于 30°N 上的, 说明 60°N 上大气波动更加活跃一些。

Table 2. The variation range of 1 - 8, 1 - 3 and 4 - 6 wave spectral proportion at mid-latitudes
表 2. 1~8 波、1~3 波及 4~6 波在中高纬度上年均波谱比重变化范围

	1~8 波	1~3 波	4~6 波
30°N	0.93~0.96	0.59~0.73	0.17~0.29
60°N	0.92~0.96	0.50~0.74	0.18~0.36

3.2. 超长波波谱比重的时间变化特征

经过上面对波谱比重的简单分析我们已经知道 1~3 波是中纬度大气波动重要的组成部分, 有研究[35]表明冬季对流层中的平均超长波是以波数 2 为最显著, 1~3 波的移动对阻塞流有很大的影响[30]。接下来我们重点研究 1~3 波的变化特征。本节定义一个系数——趋势系数: 要素序列 X_i 与自然数列 $1, 2, \dots, N$ 之间的相关系数 r_{X_i} 定义为趋势系数。当趋势系数为正(负)时, 表示要素在计算的时段内线性增加(减少)。

表 3 展示了 30°N、60°N 纬圈上 1~3 波波谱比重逐月的趋势系数, 从表 3 中我们可以得到以下 3 点信息:

1) 在相同月份下, 不同纬圈上的 1~3 波波谱比重的变化趋势可能是不同的。同一纬圈上, 不同月份的趋势系数也是不同的, 数值大小也不尽相同。30°N 上正趋势主要集中在夏季, 负趋势集中在春季, 60°N

上各月份多为负趋势;

Table 3. The monthly variation of 1 - 8 (a), 1 - 3 (b) and 4 - 6 wave (c) spectral proportion trend factors at 30°N and 60°N
表 3. 30°N、60°N 纬圈上 1~3 波波谱比重的趋势系数的月际变化

北纬	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
30°	0.15	0.08	-0.02	-0.1	-0.27*	0.07	0.12	0.12	0.04	-0.14	0.15	-0.05
60°	-0.05	0.01	-0.12	0.04	-0.12	-0.1	0.08	-0.23	-0.06	-0.04	-0.1	-0.25

*为通过 90% 的信度检验。

2) 30°N 纬圈上 1~3 波波谱比重月际变化趋势不大。仅 5 月份 30°N 纬圈上的 1~3 波波谱比重表现出稍微明显的减弱趋势(趋势系数超过 90% 的信度检验);

3) 60°N 纬圈上 1~3 波波谱比重的月际趋势系数差异也不大, 但是有超过一半的月份趋势系数为负值, 表明 1979~2015 年 60°N 纬圈上各月(除了 2、4、7 月) 1~3 波波谱比重均有不同程度的负趋势(减弱)。

图 1 给出了年均、冬季两个纬圈上 1~3 波波谱比重的年际变化。两个纬圈上 1~3 波波谱比重的变化均有个准 2 年的变化周期。从图 1(a)中我们可以看到 60°N 纬圈上 1~3 波波谱比重的变化振幅偏大, 约为 0.05, 30°N 上 1~3 波波谱比重的变化振幅偏小, 约为 0.03。1995 年 60°N 纬圈上 1~3 波波谱比重达到最小值, 仅为 0.49, 之后迅速增长, 至 1997 年达到最大值为 0.74。60°N 纬圈上 1~3 波波谱比重较大的异常可能预示着 20 世纪 90 年代末大气环流正发生剧烈变化。从图中我们能看到在某些年份, 如 2003~2014 年, 两个纬圈上的 1~3 波波谱比重存在反相关, 另一些年份, 如 1990~1994 年, 两个纬圈上超长波波谱比重呈正相关关系。这说明了两个纬圈上的超长波是会相互影响的, 其影响机制也较为复杂。冬季超长波波谱比重的年际变化同时拥有年均的变化特征, 同时较年均的变化更为强烈。在 20 世纪 90 年代冬季的 1~3 波波谱比重较长时间的维持在略低的水平, 表征中纬度大气环流处于异常状态。同时 Luo 等[13] 的研究表明冬季乌山阻高在 20 世纪末发生突变, 这恰恰佐证了中高纬度上 1~3 波与阻高的密切联系。

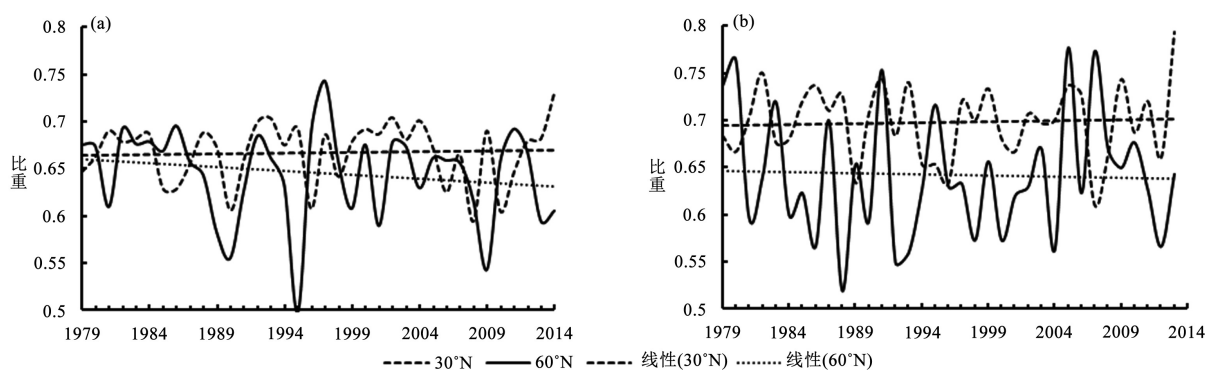


Figure 1. The interannual variation of annual (Fig. 1(a)) and winter (Fig. 1(b)) 1 - 3 wave spectral proportion at 30°N and 60°N

图 1. 年均(图(a))、冬季(图(b))30°N、60°N 纬圈上 1~3 波波谱比重的年际变化

我们将 60°N 上 1、2、3 波各波参数再带回到傅里叶公式中, 这样就得到了仅由 1、2、3 波超长波合成的大气波动, 我们发现在不同年份合成的波动沿着 60°N 纬圈分布是不同的, 大致可以分为“三槽三脊型”和“两槽两脊型”(图略)。当处于“三槽三脊型”时 1 个低槽位于 40°E, 1 个高脊位于 100°E, 这说明乌山阻高偏弱, 贝湖地区阻高偏强; 当处于“两槽两脊型”时, 乌山上空正被高压脊控制, 位势高度偏高, 导致乌山阻高偏强。在下部分的研究中, 将进一步对超长波与欧亚关键区阻高的关系进行研究。

4. 1~3 波与欧亚关键区阻高的关系

根据前人的研究[36][37][38], 一般通过 500 hPa 位势高度来定义和检索阻高, 所以我们首先分析超长波与 500 hPa 位势高度场的关系, 主要研究波谱比重异常时 500 hPa 位势高度的变化, 如图 2 所示。图 2 给出了 30°N、60°N 上 1~3 波波谱比重异常(强/弱)情况下, 500 hPa 位势高度的合成分析。图 2 显示, 当 1~3 波波谱比重偏大时, 乌拉尔山地区有负的位势高度异常, 中心值小于 -30 gpm, 贝加尔湖地区有正的异常, 最大值约为 20 gpm, 并且都通过了 90% 的信度检验; 当 1~3 波波谱比重偏小时鄂霍次克海地区有正的位势高度异常。所以, 当 1~3 波波谱比重偏强时, 乌拉尔山地区位势高度偏低, 阻高偏弱, 但是贝加尔湖地区位势高度偏高, 利于阻高的形成、发展与维持; 在 1~3 波波谱比重偏弱时, 鄂霍次克海地区位势高度场偏强, 阻高偏强。并且发现 60°N 上超长波波谱比重异常时 500 hPa 位势高度异常更加明显。

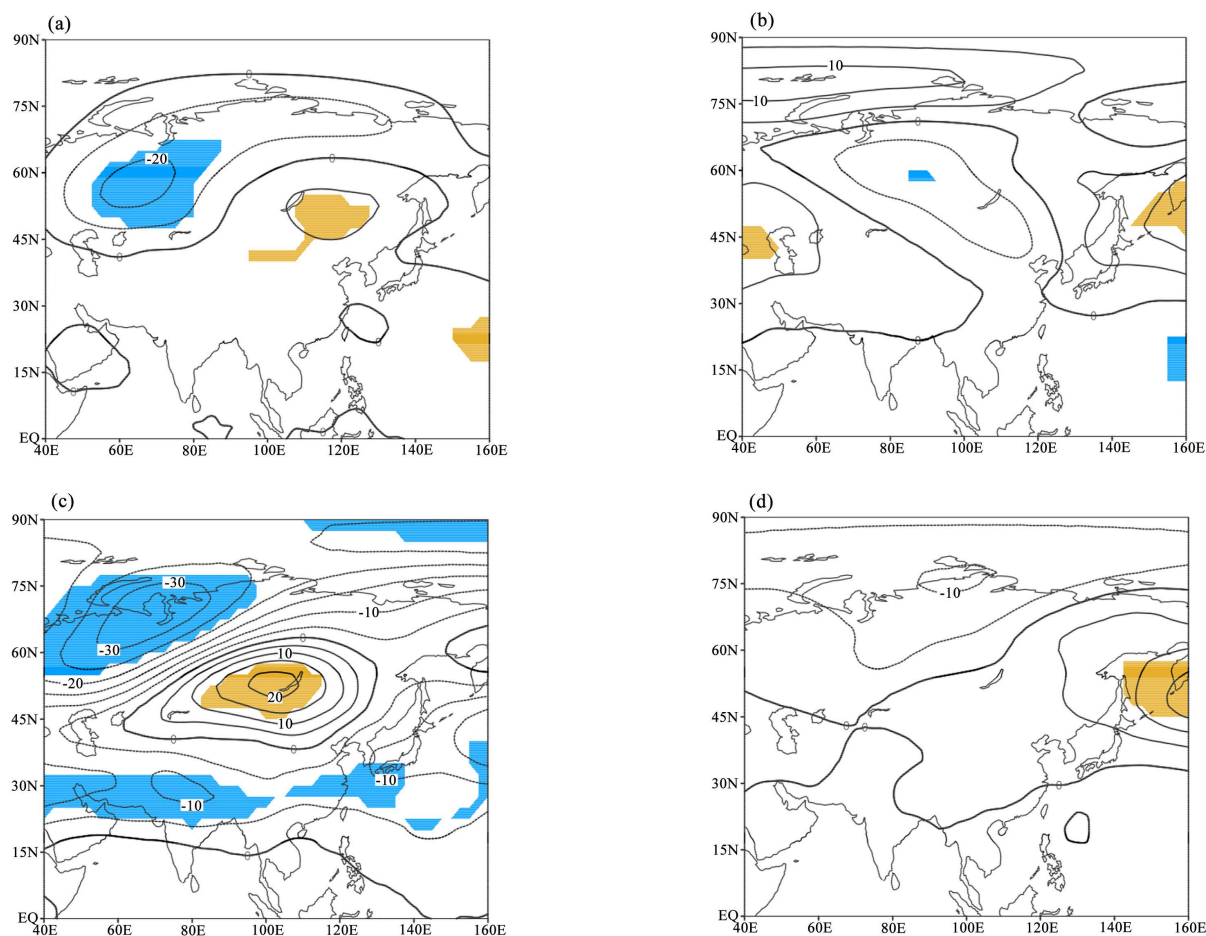


Figure 2. The composite of GPH at 500 hPa under the conditions of anomalous spectral proportion for 1 - 3 wave at 30°N and 60°N (Fig. 2(a)/(b) indicates that the 1 - 3 wave spectral proportion is strong/weak at 30°N, the 500 hPa GPH anomaly; Fig. 2(c)/(d) denotes the 500 hPa GPH anomaly when the 1 - 3 spectral proportions on the 60°N are strong/ weak. The shaded part is passed the 90% confidence test. Contour interval is 5 gpm.)

图 2. 30°N、60°N 上 1~3 波波谱比重异常情况下, 500 hPa 位势高度的合成((a) (b)表示 30°N 上 1~3 波波谱比重强(弱)时, 500 hPa 位势高度的异常; (c) (d)表示 60°N 上 1~3 波波谱比重强(弱)时, 500 hPa 位势高度的异常。阴影部分是通过 90% 的信度检验, 等值线间隔 5 gpm。)

利用 T & M 方法检索阻高时可以得到阻高指数, 阻高指数 *GHGS* 的大小一定程度上能量化的表征阻高的强度, 所以我们也利用此指数, 来研究 1~3 波与欧亚关键区阻高强度的关系。

表 4 展示了 30°N、60°N 上 1~3 波波谱比重与欧亚关键区阻高指数累积值的相关系数, 其中仅有 3 个相关系数(冬季 30°N 上、60°N 上 1~3 波波谱比重与乌山地区阻高指数累积值及年均 60°N 上 1~3 波波谱比重与鄂海地区阻高累积值)通过了 90%的信度检验, 有一定的统计学意义。冬季 30°N 上 1~3 波波谱比重与乌山累积阻高指数呈负相关关系, 当冬季 30°N 上 1~3 波波谱比重越大(小), 乌山地区阻高指数的累积值越小(大), 阻高强度越弱(强)。但 60°N 上情况正好与 30°N 的相反正好相反, 呈现明显的正相关。年均 60°N 上 1~3 波波谱比重与鄂海阻高累积指数呈明显的负相关。

Table 4. The correlation coefficients between 1 - 3 wave spectral proportions at 30°N and 60°N and cumulative blocking indexes in Eurasian regions

表 4. 30°N、60°N 上 1~3 波波谱比重与各地区累积的阻高指数的相关系数

		乌拉尔山	贝加尔湖	鄂霍次克海
30°N	年均	-0.219	0.117	0.015
	冬季	-0.384*	0.129	-0.248
60°N	年均	0.069	-0.076	-0.33*
	冬季	0.283*	0.242	0.049

*是代表通过了 90%的信度检验。

以上的研究都充分证明 1~3 波与中纬度阻高有密不可分的关系, 而且年均与冬季的还存在差异。但是 1~3 波中单波与阻高的关系在上述的研究中是无法呈现的, 有研究[39]表明冬半年阻高多是受 2 波控制, 可以用 2 波波长代表阻高的波长。接下来我们将分别研究 1、2、3 波分别与欧亚关键区阻高的关系。

表 5 展示了 1、2、3 波的波动振幅与欧亚各关键区累积的阻高指数的相关系数。从表中我们可以得到 3 点结论:

Table 5. The correlation coefficients of the amplitudes of 1, 2 and 3 wave and the accumulated blocking indexes in each area

表 5. 1、2、3 波的振幅与各地区累积的阻高指数的相关系数

北纬			乌拉尔山	贝加尔湖	鄂霍次克海
30°N	1 波	年均	-0.140	0.143	0.274
		冬季	0.356*	0.254	0.428*
	2 波	年均	-0.072	-0.046	-0.135
		冬季	-0.254	-0.100	-0.044
	3 波	年均	-0.082	-0.014	-0.445*
		冬季	0.054	-0.054	-0.098
60°N	1 波	年均	0.374*	0.048	-0.300*
		冬季	0.339*	-0.317*	-0.340*
	2 波	年均	0.171	0.078	0.125
		冬季	0.345*	-0.253	0.304*
	3 波	年均	-0.462*	0.002	0.257
		冬季	-0.313*	0.224	0.572*

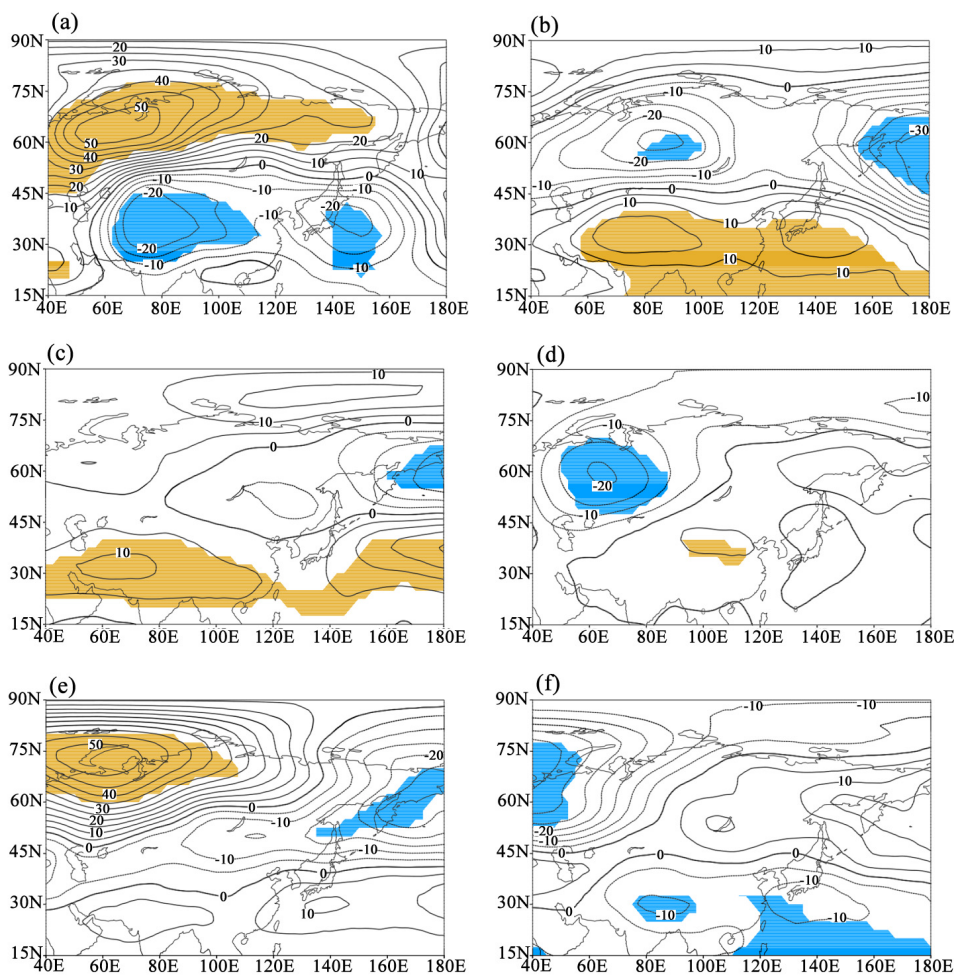
1) 与贝加尔湖地区相比, 乌拉尔山及鄂霍次克海地区累积的阻高指数与 1、2、3 波波动振幅的关系更为紧密, 贝湖地区累积阻高指数只与冬季 60°N 上 1 波振幅呈现明显的负相关, 这在一定程度上说明乌山及鄂海 2 个关键区阻高与超长波的关系更为密切;

2) 在冬季乌山和鄂海地区累积阻高指数与 30°N 上 1 波振幅有显著的正相关关系, 鄂海地区累积阻高指数与 30°N 上年均 3 波的振幅有明显的负相关;

3) 无论是年均还是冬季, 60°N 上乌山地区累积阻高指数与 1 波振幅呈现明显正相关关系, 与 3 波振幅有明显负相关关系。鄂海地区的情况正好与乌山的相反, 与 60°N 上 1 波振幅有明显负相关, 与 3 波振幅有正相关关系, 尤其冬季更加显著;

无论是沿着 30°N 还是 60°N 做波谱展开, 1、3 波的波动振幅与累积的阻高指数相关系数要高于 2 波的, 表明 1、3 波与阻高的密切程度要大于 2 波的, 这可能与前人[21] [22] [40]的研究结论有些出入, 例如在引言中提到的曹杰[21]的研究表明夏季东北亚阻高以纬向 2 波为主, 张培忠等[23]则认为夏季代表阻高的波动是 5 波而不是 2 波。这主要是由于各个研究者采用的资料年限、选用的阻高方法以及研究的角度不尽相同造成的。但总之, 本文的结论凸显了年均及冬季的阻高与 1、2、3 波振幅的关系。

根据表 5 的结论我们将与欧亚关键区阻高紧密联系的大气超长波提取出来, 探求其振幅异常时 500 hPa 位势高度的变化, 结果如图 3 所示。当冬季 30°N 上 1 波振幅偏大时(图 3(a)), 乌山地区 GPH 异常偏高, 可能会导致乌山阻高偏强; 1 波振幅偏小时(图 3(b)), 乌山以东及贝湖以西地区有小范围的 GPH 负异常, 可能使该地区阻高偏弱。当年均 60°N 上 1 波振幅偏小时(图 3(d)), 乌山地区 GPH 有明显的负异常, 阻高偏弱。当冬季 60°N 上 1 波振幅偏大时(图 3(e)), 乌山地区 GPH 呈现明显的正异常, 可能会致乌山阻高偏强; 1 波振幅偏弱时(图 3(f)), 乌山地区 GPH 偏低, 阻高偏弱。无论年均还是冬季, 当 60°N 上 3 波振幅偏强(图 3(g)/(i))/(偏弱, 图 3(h)/(j))时, 乌山及鄂海地区 GPH 明显负(正)异常, 两个地区阻高偏弱(偏强), 贝湖地区 GPH 呈现明显正(负)异常, 使贝湖阻高偏强(偏弱), 并且冬季的表现更加显著。



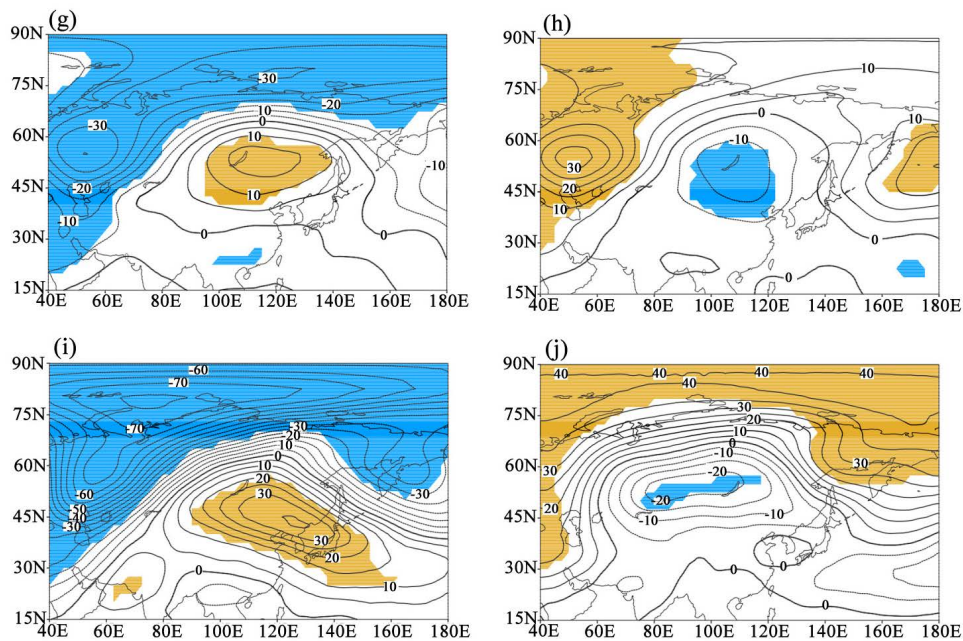


Figure 3. The composite of GPH at 500 hPa when the amplitudes of 1 wave is abnormal at 30°N in winter (Fig. 3(a), (b)) or when the amplitudes of 1 wave in annual year (Fig. 3(c), (d)) and in winter (Fig. 3(e), (f)) at 60°N or when the amplitudes of 3 waves in annual year (Fig. 3(g), (h)) and in winter (Fig. 3(i), (j)) at 60°N. (Fig. 3(a)/(c)/(e)/(g)/(i) indicates the composite of GPH at 500 hPa when the amplitude is strong; Fig. 3(b)/(d)/(f)/(h)/(j) indicates the composite of GPH at 500 hPa. Contour interval is 10 gpm. The shadow part indicates a 90% significant test.)

图 3. 当冬季 30°N 上 1 波(图 3(a)、(b)), 年均(图 3(c)、(d))及冬季(图 3(e)、(f))60°N 上 1 波, 年均(图 3(g)、(h))及冬季(图 3(i)、(j))60°N 上 3 波振幅异常时, 500 hPa 位势高度的合成(图 3(a)/(c)/(e)/(g)/(i)表示波谱比重偏强时 500 hPa 位势高度的合成; 图 3(b)/(d)/(f)/(h)/(j)表示波谱比重偏弱时 500 hPa 位势高度的合成。等值线间隔 10 gpm, 阴影部分表示通过了 90%的信度检验。)

不同持续时间的阻高对天气的影响是不同的, 一般来说阻高持续时间偏久, 强度偏强可能会导致极端天气事件出现, 会对人民的生命财产安全产生极大的威胁[41]。所以本文也从阻高持续时间角度将阻高进行了分类研究。表 6 给出了乌山阻高不同持续时间对应 30°N、60°N 上各波数波动振幅的大小。从年均角度出发, 当乌山阻高持续时间由 4 天增加至 7 天时, 30°N 上 1 波、3 波振幅分别增加 45%, 108%。但是 2 波振幅由 11 gpm 缩小至 6 gpm。60°N 上各波振幅要远大于 30°N 上的, 且当阻高持续时间增加至 7 天时, 3 个波都有不同程度的增加, 2 波振幅增加最显著, 由 29 gpm 激增到 83 gpm 并且成为 3 个波中振幅最大的。不同季节可能会有一定的差异, 冬季的情况和年均的就不尽相同。在冬季, 当乌山阻高持续时间为 4 天时, 30°N 上 1 波振幅最大, 2、3 波相差不多。当阻高持续时间增加到 7 天时 30°N 上 1 波振幅增加了 19%, 3 波振幅减小了 13%。

Table 6. The amplitudes of ultra-long wave amplitudes at 30°N and 60°N for Urals blockings with different durations
表 6. 不同持续时间的乌山阻高对应 30°N、60°N 上各超长波振幅的大小

	年均				冬季			
	30°N		60°N		30°N		60°N	
持续天数(天)	4	7	4	7	4	7	4	7
1 波振幅(gpm)	29.152	42.004	54.841	78.572	72.068	86.862	105.980	78.842
2 波振幅(gpm)	11.000	5.952	28.859	83.102	25.861	3.191	112.182	129.876
3 波振幅(gpm)	7.746	16.027	17.671	28.752	23.801	20.094	36.815	6.954

2波变化最为明显, 从26 gpm减小至3 gpm。60°N上各波振幅变化呈现出与30°N的完全不同的状况。当阻高持续4天时, 1波、2波的振幅分别为106 gpm、112 gpm, 3波振幅偏小为37 gpm。当阻高持续时间增加至7天时, 2波振幅由112 gpm增加到130 gpm, 增加了16%, 1、3波振幅均有不同程度的减小。从以上分析可知60°N上2波振幅与乌山阻高持续时间有密切的关联, 60°N上2波振幅的增加可能会导致乌山阻高持续时间增长。这与黄荣辉等[42]得出的阻塞形成时行星波2波异常增幅的结论是吻合的。

5. 总结与讨论

本文通过对北半球中纬度地区尤其是30°N和60°N两条代表纬圈上500 hPa位势高度进行傅里叶展开, 得到了不同波数的波参数, 重点研究超长波——1~3波的波谱比重及单波振幅与欧亚关键区阻高的关系, 得到以下3点结论:

1) 在北半球中纬度地区1~8波波谱比重均超过0.9, 说明1~8波的线性组合几乎可以表征大气的基本运动特征, 其中1~3波波谱比重超过0.5, 这表示超长波是大气运动中最主要的组成部分。4~6波称为长波, 波谱比重约为0.25, 比1~3波的要小很多, 是大气环流中重要的组成部分。不同月份1~3波波谱比重的趋势系数是不同的, 从年际变化角度来看60°N上1~3波波谱比重变化较30°N的剧烈, 并且冬季波动比年均的更加强烈。

2) 当1~3波波谱比重偏强时, 乌山地区位势高度偏低, 阻高偏弱, 贝湖地区位势高度偏高, 阻高偏强; 在1~3波波谱比重偏弱时, 鄂海地区位势高度偏强, 并且发现当60°N上1~3波波谱比重出现异常时, GPH变化更为明显。乌山阻高累积指数与1波振幅呈现正相关, 与3波呈负相关, 但是鄂海阻高累积指数与1波振幅的相关关系正好与乌山的相反。

3) 从年均角度来说, 当乌山阻高持续时间增加到7天时, 30°N上1波振幅增加, 由29 gpm增大到42 gpm, 60°N上1、2、3波振幅均有增加, 其中2波增加幅度最大, 增加了近2倍。冬季乌山阻高累积天数增加至7天时, 60°N上2波振幅由112 gpm增加至130 gpm, 由此说明2波振幅的激增可能会导致乌山阻高持续时间增长。

上述研究主要关注超长波的波谱比重、振幅与同期欧亚关键区阻高的联系, 得到了对于欧亚三个关键区阻高持续时间、强度等密切相关的超长波。但是, 超长波如何通过波流相互作用对于阻高的发生演变调制的深层次物理特征, 还需要在下一步的研究中进行深入研究。

基金项目

本研究受到甘肃省科技计划项目(18CX6JA014)和甘肃省基金项目(18JR3RA301)。

参考文献

- [1] 金荣花, 李艳, 王式功. 四种客观定量表征阻塞高压方法的对比分析[J]. 高原气象, 2009, 28(5): 1121-1128.
- [2] 刘刚, 沈柏竹, 廉毅, 等. 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[J]. 地理科学, 2012, 32(10): 1269-1274.
- [3] 叶笃正. 北半球冬季阻塞形式的研究[M]. 北京: 科学出版社, 1962: 1-10.
- [4] 齐艳军, 张人禾, Tim Li. 1998年夏季长江流域大气季节内振荡的结构演变及其对降水的影响[J]. 大气科学, 2016, 40(3): 451-462.
- [5] Sidorenkov, N.S. and Sumerova, K.A. (2012) Temperature Fluctuation Beats as a Reason for the Anomalously Hot Summer of 2010 in the European part of Russia. *Russian Meteorology & Hydrology*, 37, 411-420. <https://doi.org/10.3103/S106837391206009X>
- [6] 丁一汇, 王遵娅, 宋亚芳, 等. 中国南方2008年1月罕见低温雨雪冰冻灾害发生的原因及其与气候变暖的关系

- [C]//海峡两岸气象科学技术研讨会, 2008: 808-825.
- [7] 李双双, 杨赛霓, 刘宪锋, 等. 2008 年中国南方低温雨雪冰冻灾害网络建模及演化机制研究[J]. 地理研究, 2015, 34(10): 1887-1896.
- [8] 马宁, 李跃凤, 琚建华. 2008 年初中国南方低温雨雪冰冻天气的季节内振荡特征[J]. 高原气象, 2011, 30(2): 318-327.
- [9] 施春华, 蔡雯映, 金鑫. 强厄尔尼诺事件下 2016 年 1 月中国南方超级寒潮的动力学机制: 瞬变波对大气长波异常的调制[J]. 大气科学学报, 2016, 39(6): 827-834.
- [10] Davini, P., Cagnazzo, C. and Anstey, J. (2015) A Blocking View of the Stratosphere-Troposphere Coupling. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **119**, 11100-11115. <https://doi.org/10.1002/2014JD021703>
- [11] 毕慕莹, 丁一汇. 1980 年夏季华北干旱时期东亚阻塞形势的位涡分析[J]. 应用气象学报, 1992, 3 (2): 145-156.
- [12] Okawa, T. (1973) Growth Mechanism of the Okhotsk High. *Journal of Meteorological Research*, **25**, 65-77. (In Japanese)
- [13] Luo, D., Xiao, Y., Diao, Y., et al. (2016) Impact of Ural Blocking on Winter Warm Arctic-Cold Eurasian Anomalies. Part II: The Link to the North Atlantic Oscillation. *Journal of Climate*, **29**, 3949-3971. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0612.1>
- [14] 李艳, 路瑶, 王嘉禾, 等. 冬季两类 ENSO 事件对欧亚地区阻塞高压的影响[J]. 兰州大学学报(自科版), 2017, 53(5): 628-635.
- [15] Hansen, A.R. and Chen, T.C. (2009) A Spectral Energetics Analysis of Atmospheric Blocking. *Monthly Weather Review*, **110**, 415-425.
- [16] Lejenäs, H. and Döös, R. (2007) The Behaviour of the Stationary and Travelling Planetary-Scale Waves during Blocking—A Northern Hemisphere Data Study. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **65**, 709-725. https://doi.org/10.2151/jmsj1965.65.5_709
- [17] Austin, J.F. (2010) The Blocking of Middle Latitude Westerly Winds by Planetary Waves. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **106**, 327-350. <https://doi.org/10.1002/qj.49710644807>
- [18] Harald, L. (1977) On the Breakdown of the Westerlies. *Atmosphere*, **15**, 89-113. <https://doi.org/10.1080/00046973.1977.9648433>
- [19] 高守亭, 朱文妹, 董敏. 大气低频变异中的波流相互作用(阻塞形势)[J]. 气象学报, 1998, 56(6): 665-680.
- [20] 康志明, 金荣花, 鲍媛媛. 1951-2006 年期间我国寒潮活动特征分析[J]. 高原气象, 2010, 29(2): 420-428.
- [21] 曹杰, 黄荣辉, 陶云. 夏季东北亚阻塞高压年际变化的一个物理机制[J]. 地球物理学报, 2006, 49(1): 37-44.
- [22] 张培忠. 夏季东亚阻塞高压形成维持的波数域动能分析[J]. 应用气象学报, 1998, 9(3): 298-303.
- [23] Kistler, R., Kalnay, E. and Collins, W. (2001) The NCEP/NCAR 50-Year Reanalysis: Monthly Means CD-ROM and Documentation. *Bulletin of American Meteorological Society*, **82**, 247-268.
- [24] Zhou, W., Chan, J.C.L., Chen, W., et al. (2009) Synoptic-Scale Controls of Persistent Low Temperature and Icy Weather over Southern China in January 2008. *Monthly Weather Review*, **137**, 3978-3991. <https://doi.org/10.1175/2009MWR2952.1>
- [25] Huang, J., Tian, W., Zhang, J., et al. (2017) The Connection between Extreme Stratospheric Polar Vortex Events and Tropospheric Blockings. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, **143**, 1148-1164. <https://doi.org/10.1002/qj.3001>
- [26] Lejenäs, K. (1983) Characteristics of Northern Hemisphere Blocking as Determined from a Long Time Series of Observational Data. *Tellus*, **35A**, 350-362. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0870.1983.tb00210.x>
- [27] Tibaldi, S. and Molteni, F. (1990) On the Operational Predictability of Blocking. *Tellus*, **42A**, 343-365. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v42i3.11882>
- [28] Luo, D., Xiao, Y., Yao, Y., et al. (2016) Impact of Ural Blocking on Winter Warm Arctic-Cold Eurasian Anomalies. Part I: Blocking-Induced Amplification. *Journal of Climate*, **29**, 160314154953007. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0611.1>
- [29] Ye, P.L. and Li, Y. (2014) Simulation and Projection of Northern Hemisphere Blockings in CMIP5 Models. *Advanced Materials Research*, **6**, 962-965. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.962-965.1308>
- [30] 卜玉康. 大气环流基础[M]. 北京: 气象出版社, 1994.
- [31] 黄忠恕. 波谱分析在气象学中的应用[J]. 气象科技, 1982(1): 37-41.
- [32] 郭其蕴. 从海平面气压场的波谱分析比较南、北半球大气环流的变化[J]. 气象学报, 1981(3): 44-56.

- [33] 江剑民. 北半球 500 毫巴候平均图的波谱分析和预报[J]. 气象学报, 1983, 41(4): 433-443.
- [34] 朱福康. 多年月平均 500 毫巴图上 60°N 和 30°N 纬圈的波谱分析[J]. 气象学报, 1964(1): 33-42.
- [35] 佚名. 国外关于大气环流超长波的研究[J]. 气象科技, 1977(1): 18-22.
- [36] Rex, D.F. (1950) Blocking Action in the Middle Troposphere and Its Effect upon Regional Climate. *Tellus*, **2**, 196-211. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v2i3.8546>
- [37] Altenhoff, A.M., Martius, O., Crocimaspoli, M., *et al.* (2008) Linkage of Atmospheric Blocks and Synoptic-Scale Rossby Waves: A Climatological Analysis. *Tellus Series A—Dynamic Meteorology & Oceanography*, **60**, 1053-1063.
- [38] Mullen, S.L. (1987) Transient Eddy Forcing of Blocking Flows. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **44**, 3-22. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1987\)044<0003:TEFOBF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1987)044<0003:TEFOBF>2.0.CO;2)
- [39] 杨贵名, 孔期, 毛冬艳, 等. 2008 年初“低温雨雪冰冻”灾害天气的持续性原因分析[J]. 气象学报, 2008, 66(5): 836-849.
- [40] 缪锦海. 波与波的相互作用对阻塞高压的形成、维持和衰退的影响[J]. 气象学报, 1984, 42(1): 35-45.
- [41] 张鐔. 东亚寒潮结构的个例分析[J]. 气象学报, 1958(4): 52-64.
- [42] 黄荣辉, 邹捍. 球面斜压大气中上传行星波与纬向平均气流的相互作用[J]. 大气科学, 1989, 13(4): 383-392.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: ag@hanspub.org