

吴静, 刁一娜, 庄绪宗. 2016. 冬季乌拉尔山阻塞与东亚冬季风的联系分析 [J]. 气候与环境研究, 21 (5): 577–585. Wu Jing, Diao Yina, Zhuang Xuzong. 2016. The relationship between the Ural blocking in boreal winter and the East Asian winter monsoon [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 21 (5): 577–585, doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2016.15172.

冬季乌拉尔山阻塞与东亚冬季风的联系分析

吴静^{1,2} 刁一娜² 庄绪宗¹

¹ 海军东海舰队海洋水文气象中心, 浙江宁波 315100

² 中国海洋大学海洋与大气学院, 山东青岛 266100

摘要 利用美国国家环境预报中心和美国大气科学研究中心(NCEP/NCAR) 1948/1949~2012/2013年的逐日再分析资料, 从年际变化和季节内演变两种时间尺度分析了冬季乌拉尔山阻塞与东亚冬季风的联系。结果表明, 从年际变化角度, 东亚冬季风综合指数(EAWMI)与冬季乌拉尔山阻塞频数显著相关, 且两者的线性趋势与周期一致。当乌拉尔山阻塞频繁发生时, 对流层中层西伯利亚反气旋异常, 东亚大槽加深; 对流层低层表现为贝加尔湖及东亚沿岸北风显著加强, 中亚和东亚大部分地区地表温度降低, 东亚冬季风较常年加强。乌拉尔山阻塞的由强盛到崩溃的过程对应着西伯利亚高压由加强到减弱东移的季节内演变, 850 hPa风场对应为异常北风由贝加尔湖以北逐渐影响至低纬度菲律宾以东的演变特征。

关键词 乌拉尔山阻塞 东亚冬季风 年际变化 季节内演变

文章编号 1006-9585 (2016) 05-0577-09

中图分类号 P466

文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9585.2016.15172

The Relationship between the Ural Blocking in Boreal Winter and the East Asian Winter Monsoon

WU Jing^{1,2}, DIAO Yina², and ZHUANG Xuzong¹

¹ Ocean Hydrometeorology Institute, Navy Donghai-Armada, Ningbo, Zhejiang 315122

² College of Oceanic and Atmosphere Sciences, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100

Abstract Based on the National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) gridded reanalysis data during 1948–2013, the relationship between the Ural blocking in boreal winter and the East Asian winter monsoon was investigated on both interannual and intraseasonal time scales. Results show that the integrated index of the East Asian winter monsoon is highly correlated with the Ural blocking frequency. In addition, they share the same linear tendency and period. The Ural blockings exert significant influences on the East Asian winter monsoon on interannual time scale. Further analyses suggest that in the winter with frequent occurrence of the Ural blocking, the anti-cyclone over Siberia at 500 hPa tends to intensify and the East Asian trough becomes deeper than normal. There are also significant signals in the lower troposphere. High frequency of the Ural blocking potentially promotes a cold EAWM (East Asia Winter Monsoon) and equatorward wind anomalies over Lake Baikal and the coastal region of East Asia. As such, a link is established between the EAWM and the Ural blocking. The intensification and eastward migration of Siberia High correspond to the peak and decaying of the Ural blocking. Meanwhile, equatorward wind anomalies develop and gradually affect a large area from Lake Baikal to the east of the Philippines.

收稿日期 2015-07-18; **网络预出版日期** 2016-05-16

作者简介 吴静, 女, 1986年出生, 硕士, 主要从事气候动力学方面的研究。E-mail: zhuangxuzong1984@126.com

通讯作者 刁一娜, E-mail: diaoyin@ouc.edu.cn

资助项目 国家重点基础研究发展计划(973)项目 CB955604、CB417403, 国家自然科学基金项目 NSFC40905030

Funded by National Basic Research Program of China (973 Program and Grants CB955604, CB417403), National Natural Science Foundation of China (Grants 40905030)

Key Words Ural blocking, East Asian winter monsoon, Interannual variability, Intraseasonal evolution

1 引言

东亚冬季风 (East Asian winter monsoon, 简称 EAWM) 是全球大尺度环流系统的重要组成部分 (贺圣平和王会军, 2012), 它的活动可以影响全球范围的大气环流变化 (朱乾根, 1990)。我国的气象研究者对东亚冬季风的研究开始较早, 20 世纪 50 年代, 陶诗言 (1957, 1959) 就开始了对于东亚冬季风及寒潮活动的研究。至 20 世纪 90 年代, 学者们已对东亚冬季风进行了系统全面的研究, 其中涉及东亚冬季风统计特征 (丁一汇, 1990)、与青藏高原大地形的关系 (朱乾根和杨松, 1990; 陈维松和朱乾根, 1991)、与 ENSO 相互影响 (李崇银和胡季, 1987; Li, 1989; 郭其蕴和王日昇, 1990) 以及对中国天气气候的影响 (Sun and Sun, 1994; 孙淑清和孙柏民, 1995)。目前, 对东亚冬季风的研究日趋成熟, 但 2008 年 1 月的一次强冰冻雨雪灾害使得东亚冬季风再次引起了强烈关注 (顾雷等, 2008; Zhou et al., 2009), 国内外学者将更多的目光移到其他系统对东亚冬季风的影响机制方面, 试图从多个角度掌握大气内部动力过程和外部强迫信号对东亚冬季风的影响 (Gong et al, 2001; Wu and Wang, 2002), 进而提高东亚冬季风的预测水平。

关于冬季阻塞系统对东亚冬季风影响机制的研究前人已经开展了开创性的工作。20 世纪 50 年代 Yeh and Dunn (1957) 注意到乌拉尔山阻塞与东亚冬季风存在紧密关联, 乌拉尔山阻塞高压的崩溃往往是东亚寒潮发生的前兆 (陶诗言, 1959)。Takaya and Nakamura (2005) 将东亚上游大西洋阻塞和下游的太平洋阻塞分别与欧亚遥相关型 (EU) 和西太平洋遥相关 (WP) 两类冬季遥相关型联系在一起, 并指出了季节内时间尺度对流层高层环流场的异常以及地表热力状况异常对冬季风爆发有重要作用。Lu and Chang (2009) 分析了 2005 年冬季寒潮频繁爆发的原因, 指出大西洋阻塞长时间持续以及中亚地区的异常反气旋是造成寒潮频发的主要原因。Wang et al. (2010) 的研究结果表明乌拉尔山—西伯利亚阻塞活动与西伯利亚高压相关联, 同时将平流层极涡下传对大气定常波的调制作用与阻

塞活动联系起来: 当乌拉尔山阻塞异常偏强时, 穿越欧亚大陆的 Rossby 波列向平流层上层上传反馈的同时还明显的向东传播, 在东亚地区产生负位势高度异常。另外 21 世纪以来, 东亚冬季风出现了年代际的增强信号引起了诸多学者的关注, 分析表明这一现象与近年来乌拉尔山地区冬季阻塞频数增多关系密切 (Wang and Chen, 2014)。

前人的研究成果已经证实冬季乌拉尔山地区阻塞活动对东亚冬季风的调节起到了关键作用, 但已有的研究结果主要侧重于个例分析, 或是将阻塞活动与大气准定常波 (EU、WP 和北极涛动 AO 等) 相结合分析其与东亚冬季风的联系。但乌拉尔山地区阻塞活动作为行星尺度波与天气尺度波非线性作用的结果 (姜智娜等, 2005), 其本身与东亚冬季风的关联还值得进一步研究, 尤其是冬季乌拉尔山地区阻塞发生后东亚地区的环流演变过程更是值得深入探讨。本文的目标是从年际变化和季节内演变两种时间尺度分析乌拉尔山区阻塞活动对东亚冬季风影响及其演变特征, 为东亚冬季风的预测提供更多的供理论依据。

2 资料和指数

2.1 资料

本文的再分析资料采用的是美国国家环境预报中心和美国大气科学研究中心 (NCAR/NCEP) 提供的水平分辨率为 2.5° (纬度) $\times 2.5^\circ$ (经度), 时间范围为 1948 年 12 月 1 日至 2013 年 2 月 28 日的逐日再分析高度场、风场以及海平面气压场的数据, 地表温度为全球 192° (纬向) $\times 94^\circ$ (经向) 的高斯网格月平均资料。

2.2 指数

2.2.1 阻塞指数

本文采用的阻塞指数是 Diao et al. (2006) 定义的负指数。负指数的优点在于其增加了指数的自由度, 能够反映等压面上的二维信息, 它可以通过跟踪区域来直接反映阻塞的空间和时间上的真实过程, 而不是通过间接的途径去反映 (Dole and Gorden, 1983; Lejenäs and Økland, 1983)。这一阻塞指数定义如下:

$$N_1 = h(\lambda, \phi_s) - h(\lambda, \phi), \quad (1)$$

其中, $h(\lambda, \phi)$ 是 500 hPa 位势高度, λ 和 ϕ 分别表示经度和纬度, $0^\circ \leq \lambda \leq 360^\circ$, $\phi_s \leq \phi \leq 90^\circ \text{W}$, ϕ_s 是发生经向环流等压面下降最大时 $30^\circ \text{N} \sim 40^\circ \text{N}$ 之间的某个特定纬度, 同时也代表经向环流向南伸出的切断低压或低压槽的位置。负指数是这个特定纬度的等压面高度和所有这个纬度以北的等压面高度的差值。根据 Diao et al. (2006) 的定义, 冬季乌拉尔山地区 ϕ_s 取为 $35^\circ \text{N} \sim 40^\circ \text{N}$ 。

在根据负指数挑选阻塞事件的时, 认为当 T 时刻出现负指数且绝对值不低于 50 gpm 时, 作为一次阻塞事件的开始。在连续性方面, 认为如果在该格点 $T+1$ 时刻也出现负指数且绝对值不低于 50 gpm 或者在 $T+1$ 时刻距离上一个时刻发生阻塞事件地点的相对距离少于 10 个经度, 则可认为是一个连续的阻塞过程。当这样的持续事件在某个 $T+N$ 时刻的阻塞指数小于 50 gpm, 则认为该次阻塞事件结束。 N 即为发生整个阻塞过程的累计持续天数或称为持续时间, 其中 N 大于或等于 5 d。

2.2.2 东亚冬季风指数

本文采用的东亚冬季风指数是贺圣平和王会军 (2012) 定义的东亚冬季风综合指数 (Integrated index of East Asian winter monsoon, 简称 EAWMII)。这个指数能够反映东亚冬季风各个主要特征及其年际变化, 同时包括西伯利亚高压、东亚大槽和纬向风经向切变信息。相比于单一要素 (如单一基于海平面气压场、风场或高度场等) 指数 (邵鹏程和李栋梁, 2012; 张自银等, 2012; 刘舸等, 2013), EAWMII 能够更好地描述整个东亚地区冬季表面温度的变化, 这说明 EAWMII 能够较好的表征东亚冬

季风的综合特征。EAWMII (I) 的定义如下:

$$I = \frac{I_1 - I_2 + I_3}{3}, \quad (2)$$

其中, I_1 为西伯利亚高压区域 ($40^\circ \text{N} \sim 60^\circ \text{N}$, $80^\circ \text{E} \sim 125^\circ \text{E}$) 加权平均值标准化后的强度指数; I_2 为东亚大槽关键区 ($25^\circ \text{N} \sim 45^\circ \text{N}$, $110^\circ \text{E} \sim 145^\circ \text{E}$) 500 hPa 位势高度的区域加权平均值标准化后的东亚大槽强度指数; I_3 为 300 hPa 纬向西风在正负异常区的区域平均值差异标准化后定义的东亚急流经向切变强度指数, 具体可表示为

$$I_3 = N_{\text{orm}} [u_{300}(25^\circ \text{N} \sim 40^\circ \text{N}, 80^\circ \text{E} \sim 180^\circ \text{E}) - u_{300}(45^\circ \text{N} \sim 60^\circ \text{N}, 60^\circ \text{E} \sim 160^\circ \text{E})], \quad (3)$$

其中, u_{300} 代表 300 hPa 纬向风的区域平均值, N_{orm} 表示标准化。

3 冬季乌拉尔山阻塞频数对东亚冬季风年际变化的影响

图 1 为 1948~2012 年 EAWMII 的年际变化特征 (此处 1948 年冬季表示 1948/1949 年 12~2 月月平均, 其余同)。由图 1a 可见, 近 65 年来东亚冬季风活动的年际差异较大。线性趋势分析 (虚线) 表明, 此 65 年期间东亚冬季风呈由强到弱的减弱趋势, 这与全球变暖以及 20 世纪 70 年代中期气候背景转换的结果一致 (Wang et al., 2010; 张自银等, 2012)。通过比较功率谱分布图 (图 1b) 各个谐波方差的大小, 对 EAWMII 的周期进行提取可知, EAWMII 方差峰值对应的周期为 3.42 年, 此峰

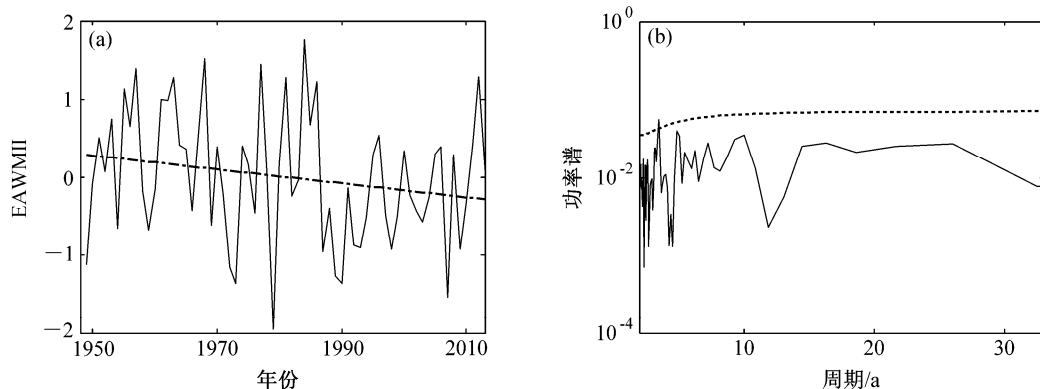


图 1 (a) 1948~2012 年东亚冬季风综合指数的时间序列特征分布及其线性趋势 (虚线); (b) 1948~2012 年东亚冬季风综合指数功率谱分布 (虚线为功率谱对应各谐波置信度为 95% 的 F 检验值)

Fig. 1 (a) The interannual variation of the EAWMII (integrated index of East Asian winter monsoon) during 1948~2012 winters and the linear tendency of the EAWMII (dashed line); (b) power spectrum analysis of the EAWMII (the dashed line denotes the corresponding values that pass the harmonic F test at the 95% confidence level)

值通过了置信度为 95% 的显著性检验。

为了定量分析东亚冬季风强度与阻塞的关系, 我们将 EAWMII 时间序列与北半球冬季阻塞频数分布求相关 (图 2)。结果表明, 上游欧洲与乌拉尔山地区的阻塞频数与东亚冬季风的强度显著相关, 欧洲区 ($0^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{E}$) 阻塞频数与东亚冬季风指数为负相关, 乌拉山区 ($60^{\circ}\text{E}\sim 90^{\circ}\text{E}$) 呈正相关。说明在年际变化时间尺度上, 当欧洲区阻塞稀少而乌拉尔山区阻塞频繁发生时东亚冬季风较强。值得注意

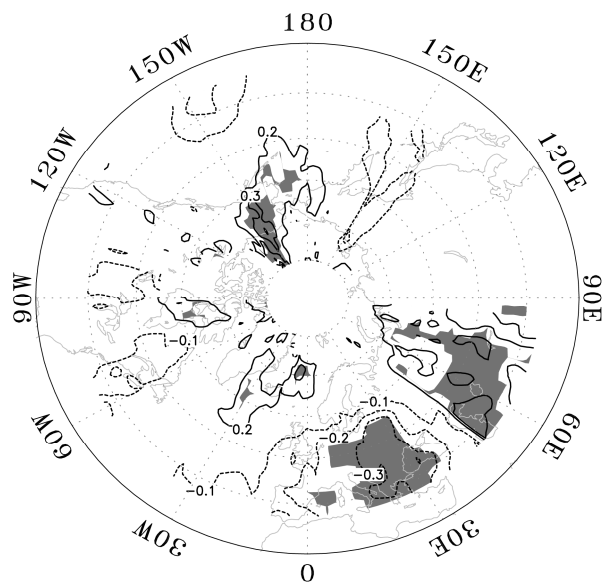


图 2 东亚冬季风指数与北半球冬季阻塞频数相关系数分布 (阴影部分通过了 95% 信度检验)

Fig. 2 Correlation of wintertime Ural blocking frequency and the EAWMII for the period of 1948-2012 (shading indicates the correlation is significant at the 95% confidence level)

的是, 欧洲区与乌拉尔山区分别为 EU 高度场异常呈负相关分布的两个活动中心, 且欧洲区阻塞频繁而乌拉尔山区阻塞稀少通常对应着北大西洋涛动 (NAO) 正位向 (柴晶晶和刁一娜, 2011)。说明从年际变化时间尺度, 与乌拉尔山区阻塞相联系的大气异常环流对东亚冬季风的影响通常伴随着上游 NAO 和 EU 的信号增强。

接下来我们研究的目标为冬季乌拉尔山区域 ($60^{\circ}\text{E}\sim 90^{\circ}\text{E}$) 阻塞对东亚冬季风的具体影响。图 3a 为 1948~2012 年冬季乌拉尔山区阻塞频数标准化分布特征及其线性趋势。与 EAWMII 一致, 乌拉尔山阻塞频数近 65 年呈减少趋势; 功率谱分析显示 (图 3b) 其包含在时间函数中的主要周期有两个: $T_1=3.33$ 年、 $T_2=4.64$ 年。说明冬季乌拉尔山阻塞频数与 EAWMII 均存在 3.5 年左右的周期振荡, 且两者的线性趋势一致。进一步将冬季乌拉尔山阻塞频数与 EAWMII 时间序列做相关分析, 结果表明两者之间相关系数为 0.45, 通过了 95% 的信度检验。这一结果进一步说明两者之间的关系密不可分。以冬季乌拉尔山阻塞频数标准化超过 0.8 作为阻塞频繁年, 低于 -0.8 作为阻塞稀少年。参照此标准, 将 1948~2012 年, 频繁、稀少年列表如表 1 所示。由表 1 可知, 1948~2012 年阻塞频繁年共有 15 年, 而阻塞稀少年共 34 个。为了考察阻塞频数不同时对东亚冬季风的环流场差异, 将 500 hPa 高度场及 850 hPa 矢量风场差异分别加以合成, 原因在于由于东亚冬季风是一个深厚系统, 整个冬季风的变化在对流层各层都有所反应 (况雪源等, 2008)。合

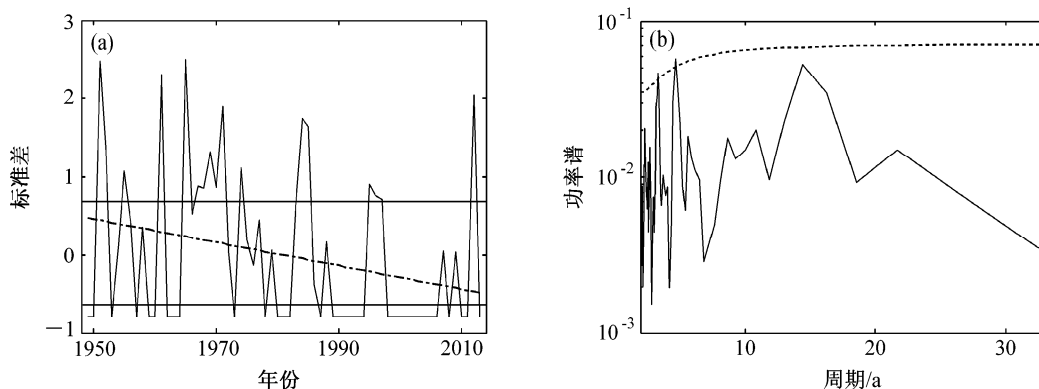


图 3 (a) 1948~2012 年乌拉尔山阻塞频数标准化时间序列特征分布及其线性趋势 (虚线); (b) 1948~2012 年乌拉尔山阻塞频数功率谱分布 (虚线为功率谱对应各谐波置信度为 95% 的 F 检验值)

Fig. 3 Interannual variation of the standard deviation of Ural blocking frequency during winters of 1948-2012 and the linear tendency of the Ural blocking frequency (dashed line); (b) power spectrum analysis of the Ural blocking frequency (dashed line donates the corresponding values that pass the harmonic F test at the 95% confidence level)

表 1 冬季乌拉尔山阻塞 15 个频繁年与 34 个稀少年

Table 1 The 15 years of frequent and 34 years of rare Ural blocking events

年数	年份
频繁年 15	1950、1951、1954、1960、1964、1966、1967、1968、1969、1970、1973、1983、1984、1994、2011
稀少年 34	1948、1949、1952、1956、1958、1959、1961、1962、1963、1972、1977、1979、1980、1981、1986、1988、1989、1990、1991、1992、1993、1997、1998、1999、2000、2001、2002、2003、2004、2005、2007、2009、2010、2012

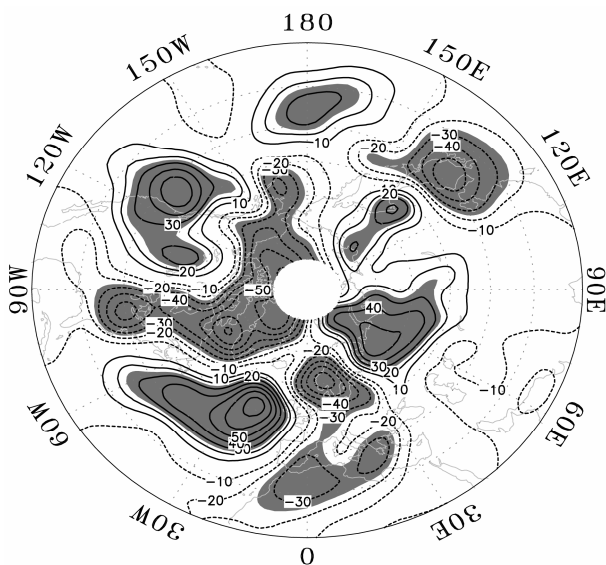


图 4 500 hPa 高度场差异合成 (单位: m; 等值线为 15 个频繁年的合成高度场减去 34 个稀少年的合成高度场, 阴影部分通过了 95% 信度检验)

Fig. 4 The composite of the 500-hPa geopotential height differences (m) between the 15 frequent and 34 rare Ural blocking years (shading indicates the differences are significant at the 95% confidence level)

成分析的结果如图 4 和图 5 所示。乌拉尔山阻塞活跃时, 对应着 EU 波列 (Wallace and Gutzler, 1981; Ohhashi and Yamazaki, 1999; Sung et al., 2009) 的正位相, 具体表现为斯堪的纳维亚 (55°N , 20°E)、西伯利亚 (55°N , 60°E) 以及日本 (40°N , 130°E) 附近的 3 个活动中心异常扰动显著 (图 4), 这一结论与之前的研究结果一致 (刘毓赞和陈文, 2012)。乌拉尔山阻塞频发导致东亚大槽加深, 并且对流层 850 hPa 西伯利亚地区反气旋式环流加强, 在东亚沿岸和贝加尔湖以北存在显著的北风异常 (图 5)。将乌拉尔山阻塞频数标准化时间序列回归到欧亚地区地表温度场 (图 6), 结果表明当乌拉尔山阻塞频繁发生时, 包括中亚、东北亚以及中国东部直日本南部降温显著, 进一步证明了东亚冬季风的显著加强。

4 冬季乌拉尔山阻塞频数对东亚冬季风季节内时间尺度的影响

我们从年际变化时间尺度分析了乌拉尔山阻塞频数对东亚冬季风的影响, 结果表明冬季乌拉尔山阻塞频数与东亚冬季风的强度有较强的正相关关系, 两者的变化趋势与周期也较为一致。当某年冬季乌拉尔山阻塞频繁时, 当年的东亚大槽加深, 对流层低层西伯利亚高压加强, 东亚沿岸和贝加尔湖北侧北风异常加强。接下来我们将进一步讨论乌拉尔山区阻塞发生前后东亚冬季风的环流演变。

Suda (1957) 对东亚冬季风季节内演变的研究

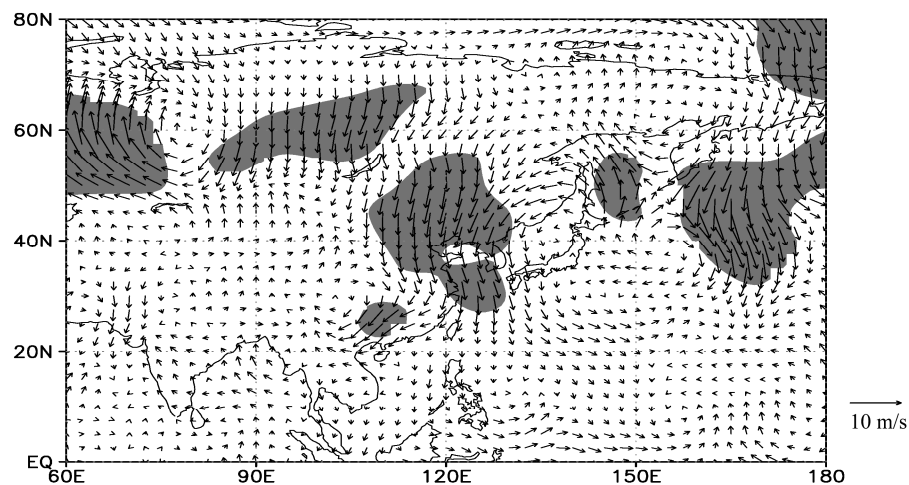


图 5 850 hPa 风场差异合成 (矢量为 15 个频繁年的合成风场减去 34 个稀少年合成的风场, 阴影部分通过了 95% 信度检验)

Fig. 5 The composite of the 850-hPa wind anomalies differences between the 15 frequent and 34 rare Ural blocking years (shading indicates the differences are significant at the 95% confidence level)

结果表明冬季风爆发前欧亚大陆对流层高层为显著的波列状环流形势。波列各活动中心对应着形成、发展和崩溃并向下游传播的过程 (Joung and Hitchman, 1982)。图 7 合成了 1948~2012 年期间

冬季共 38 次乌拉尔山阻塞强盛及其崩溃期间对流层高层与低层演变特征。乌拉尔山阻塞强盛时 (阻塞强度最强的一天 Lag0), 300 hPa 乌拉尔山区为异常反气旋式环流, 东亚地区的高度场显著降低。与

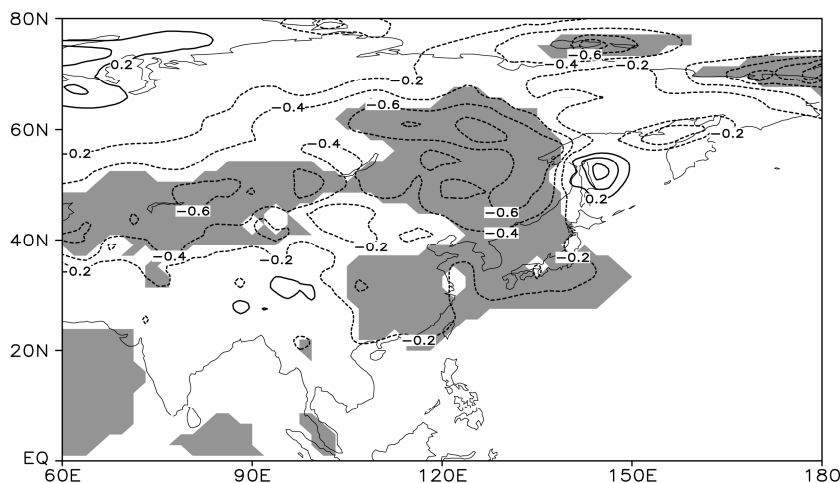


图 6 冬季乌拉尔山阻塞频数对东亚地区地表温度 (单位: $^{\circ}\text{C}$) 的回归分布 (阴影部分通过了 95% 信度检验)

Fig. 6 Surface temperature ($^{\circ}\text{C}$) regressed onto the Ural blocking frequency during 1948–2012 (shading indicates the values are significant at the 95% confidence level)

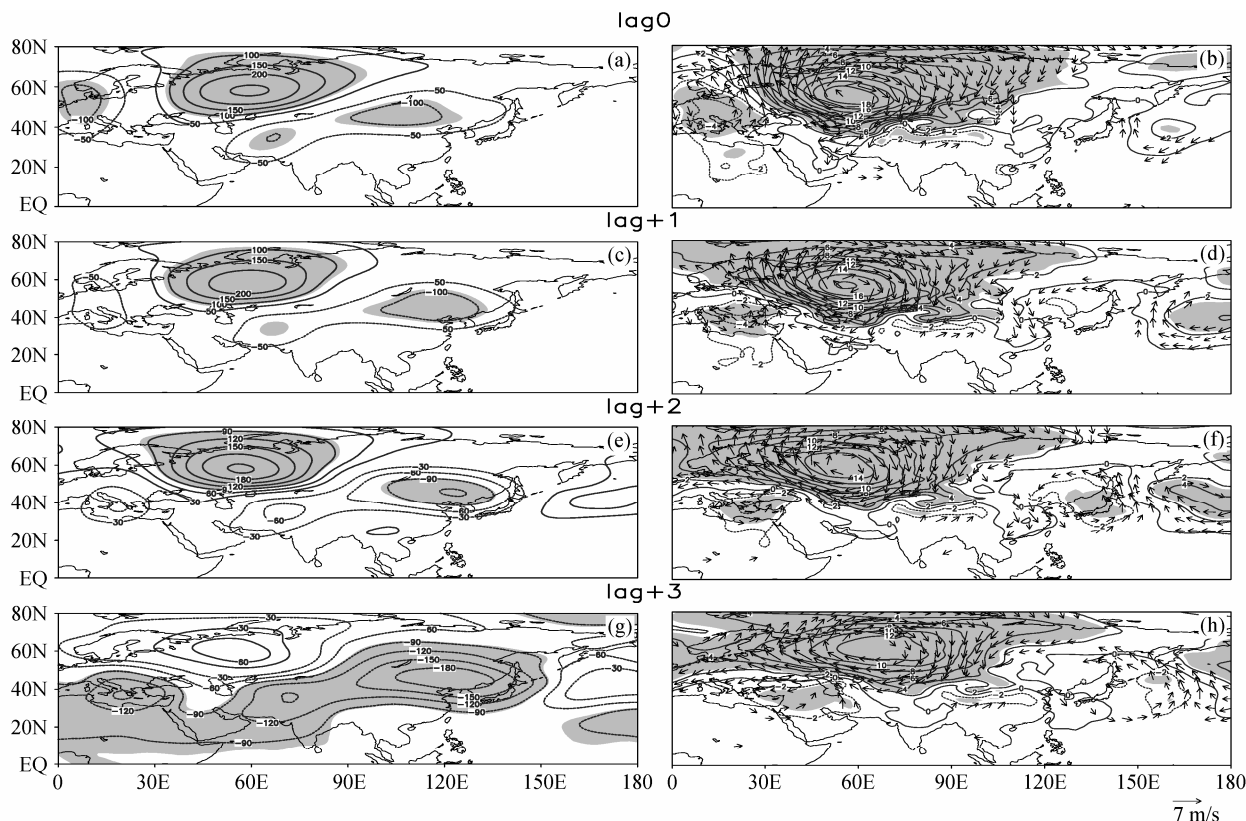


图 7 冬季乌拉尔山阻塞由强盛到崩溃欧亚地区 300 hPa 高度场距平 (单位: m) (左列) 与海平面气压距平 (等值线, 单位: hPa) 及 850 hPa 风场距平 (矢量) (右列) 合成: (a, b) Lag0; (c, d) Lag+1; (e, f) Lag+2; (g, h) Lag+3

Fig. 7 Time sequences of the composite 300-hPa geopotential height anomalies (m) (left column), 850-hPa wind anomalies (contours, units: hPa) and sea level pressure anomalies (vector) (right column) over Eurasia from day 0 to day +3 corresponding to the total 38 Ural blocking events during 1948–2012: (a, b) Lag0; (c, d) Lag+1; (e, f) Lag+2; (g, h) Lag+3

之对应的对流层低层, 西伯利亚高压较其气候平均位置偏西且异常强大, 造成贝加尔湖以北异常北风显著。由于欧亚地区环流场为准正压垂直结构, 因此只在远东地区斜压性加强 (Lau and Lau, 1984)。

阻塞形势开始衰减时 (阻塞强度最强之后的第一天 Lag+1、第二天 Lag+2), 乌拉尔山高度场正异常减弱, 但下游东亚大槽处负异常显著增强, 这种形势对应前文所阐述的遥相关波列上游活动中心的衰减和崩溃, 与下游活动中心的形成与发展。另外值得注意的是, 对流层低层东北亚地区的海平面气压场降低, 导致海陆间的气压差增大, 因此 850 hPa 东亚沿岸北风异常加强, 从蒙古经中国东部地区一直延伸到南海地区, 冬季风爆发特征显著。最后, 阻塞高压的崩溃 (阻塞强度最强之后的第三天 Lag+3) 对应着西伯利亚高压东移并逐渐减弱, 异常北风进一步影响到菲律宾以东的低纬度地区。

有关乌拉尔山阻塞对东亚冬季风的影响机制, Takaya and Nakamura (2005) 在解释上游阻塞对西伯利亚高压加强的季节内影响时指出, 低频的准定常波包和高频瞬变涡动的共同作用 (准定常波包的作用较瞬变涡动更显著) 引起了局地阻塞形势加强, 在西伯利亚地区地表异常冷平流显著存在的前提下, 阻塞能量向下游的频散可引起西伯利亚高压的季节内加强。Cheung et al. (2012) 认为乌拉尔山阻塞同时受到大气内部动力过程和外部强迫信号的控制, 只有在北极涛动 (AO) 与 ENSO 两者位相一致时, 乌拉尔山阻塞频数对东亚冬季风的影响才足够显著。然而本文的分析结果显示, 无论年际变化或是季节内时间尺度, 乌拉尔山阻塞对东亚冬季风的加强均为显著的。

5 结论

本文基于 1948/1949~2012/2013 共 65 年的 NCEP/NCAR 再分析资料, 运用线性趋势、功率谱分析、相关分析、合成分析等统计方法, 从年际变化和季节内演变两种时间尺度分析了冬季乌拉尔山阻塞对东亚冬季风的影响, 得出以下主要结论: 从年际变化时间角度, 东亚冬季风综合指数(EAWMII)与冬季乌拉尔山阻塞频数显著相关, 且近 65 年两者的线性趋势与周期一致。当乌拉尔山阻塞频繁发生时, 对流层中层西伯利亚反气旋异常, 东亚大槽加深; 对流层低层表现为贝加尔湖及东亚沿岸北风显

著加强, 中亚和东亚大部分地区地表温度降低, 东亚冬季风较常年加强。乌拉尔山阻塞的由强盛到崩溃的过程对应着西伯利亚高压由加强到减弱东移的季节内演变, 850 hPa 风场对应为异常北风由贝加尔湖以北逐渐影响至低纬度菲律宾以东的演变特征。

从年代际时间尺度角度, 现有研究结果表明: 20 世纪 80 年代中后期至 21 世纪初东亚冬季风经历了一次年代际信号减弱, 东亚冬季风与西太平洋海温之间的相关关系较之前减弱, 但与乌拉尔山阻塞频数的相关关系却在显著增强, 乌拉尔山阻塞频数对东亚冬季风年际变化的解释方差也显著增加 (陈文等, 2013)。最近 Wang and Chen (2014) 证实了 2004 年以来东亚冬季风再次进入了年代际强位相, 而 2004 年以来乌拉尔山冬季阻塞频数也同时增加。上述结论表明热带外强迫信号对东亚冬季风的影响可能在逐渐减弱, 大气内部变率对东亚冬季风的影响却有可能在增强。乌拉尔山地区作为联系欧亚大陆天气系统的关键因子, 对东亚冬季风影响的机理研究成为了亟待解决的问题。今后的研究我们将比较东亚冬季风不同年代际期间乌拉尔山阻塞活动的差异, 引起乌拉尔山阻塞活动的因素有哪些, 以及这些差异如何导致冬季风系统的改变。另外, 本文在分析乌拉尔山阻塞活动与东亚冬季风的年代际变化关系时, 未研究乌拉尔山阻塞强度 (振幅) Diao et al. (2006) 与 EAWMII 的关系, 未来的研究我们还将深入分析乌拉尔山阻塞强度变化与东亚冬季风系统的联系。

东亚冬季风系统是冬季北半球最为活跃的环境流系统之一 (朱乾根, 1990), 与我国天气气候的关系更是密不可分。本文的结果为东亚冬季风的研究和预测提供了依据, 同时为认清冬季乌拉尔山阻塞对东亚冬季风的影响提供了理论参考。本文的结果同时可对认识欧亚大陆冬季气候系统的年际变化和季节内演变特征提供参考意义。

参考文献 (References)

- 柴晶晶, 刁一娜. 2011. 北大西洋涛动指数变化与北半球冬季阻塞活动[J]. 大气科学, 35 (2): 326-338. Chai Jingpin, Diao Yi'na. 2011. The effect of the variation of the North Atlantic Oscillation on winter blocking activities in the Northern Hemisphere[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (2): 326-338, doi: 10.3878/j.issn.1006-9895. 2011.02.11.
- 陈维松, 朱乾根. 1991. 青藏高原大地形对冷涌作用的理论研究 [J]. 气象学报, 49 (4): 385-393. Chen Weisong, Zhu Qiangen. 1991. Theoretical

- research on the cold surge of the Qinghai-Xizang Plateau as a huge orography [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 49 (4): 385–393, doi: 10.11676/qxxb1991.052.
- 陈文, 魏科, 王林, 等. 2013. 东亚冬季风气候变异和机理以及平流层过程的影响 [J]. *大气科学*, 37 (2): 425–438. Chen Wen, Wei Ke, Wang Lin, et al. 2013. Climate variability and mechanisms of the East Asian winter monsoon and the impact from the stratosphere [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 37 (2): 425–438, doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.2012.12309.
- Cheung H N, Zhou W, Mok H Y, et al. 2012. Relationship between Ural-Siberian blocking and the East Asian winter monsoon in relation to the Arctic Oscillation and the El Niño-Southern Oscillation [J]. *J. Climate*, 25 (12): 4242–4257, doi: 10.1175/JCLI-D-11-00225.1.
- Diao Y N, Li J P, Luo D H. 2006. A new blocking index and its application: Blocking action in the Northern Hemisphere [J]. *J. Climate*, 19 (19): 4819–4839, doi: 10.1175/JCLI3886.1.
- 丁一汇. 1990. 东亚冬季风的统计研究 [J]. *热带气象*, 6 (2): 119–128. Ding Yihui. 1990. A statistical study of winter monsoons in East Asia [J]. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 6 (2): 119–128.
- Dole R M, Gordon N D. 1983. Persistent anomalies of the extratropical Northern Hemisphere wintertime circulation: Geographical distribution and regional persistence characteristics [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 11 (8): 1567–1586, doi: 10.1175/1520-0493(1983)111<1567:PAOTEN>2.0.CO;2.
- Gong D Y, Wang S W, Zhu J H. 2001. East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 28 (10): 2073–2076, doi: 10.1029/2000GL012311.
- 顾雷, 魏科, 黄荣辉. 2008. 2008 年 1 月我国严重低温雨雪冰冻灾害与东亚季风系统异常的关系 [J]. *气候与环境研究*, 13 (4): 405–418. Gu Lei, Wei Ke, Huang Ronghui. 2008. Severe disaster of blizzard, freezing rain and low temperature in January 2008 in China and its association with the anomalies of East Asian monsoon system [J]. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 13 (4): 405–418, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2008.04.06.
- 郭其蕴, 王日昇. 1990. 东亚冬季风活动与厄·尼诺的关系 [J]. *地理学报*, 45 (1): 68–77. Guo Qiyun, Wang Risheng. 1990. The relationship between the winter monsoon activity over East Asia and the El Niño events [J]. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 45 (1): 68–77, doi: 10.11821/xb199001007.
- 贺圣平, 王会军. 2012. 东亚冬季风综合指数及其表达的东亚冬季风年际变化特征 [J]. *大气科学*, 36 (3): 523–538. He Shengping, Wang Huijun. 2012. An integrated East Asian winter monsoon index and its interannual variability [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 36 (3): 523–538, doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.2011011083.
- 姜智娜, 罗德海, 刁一娜. 2005. 行星尺度阻塞波和天气尺度波相互作用的数值模拟 [J]. *中国海洋大学学报 (自然科学版)*, 35 (6): 895–899. Jiang Zhi'na, Luo Dehai, Diao Yi'na. 2005. Numerical simulation of interaction between planetary-scale waves and synoptic-scale waves [J]. *Journal of Ocean University of China* (in Chinese), 35 (6): 895–899.
- Joung C H, Hitchman M H. 1982. On the role of successive downstream development in East Asian polar air outbreaks [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 110 (9): 1224–1237, doi: 10.1175/1520-0493(1982)110<1224:OTROSD>2.0.CO;2.
- 况雪源, 张耀存, 刘健. 2008. 对流层上层副热带西风急流与东亚冬季风的关系 [J]. *高原气象*, 27 (4): 701–712. Kuang Xueyuan, Zhang Yaocun, Liu Jian. 2008. Relationship between subtropical upper-tropospheric westerly jet and East Asian winter monsoon [J]. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 27 (4): 701–712.
- Lau N C, Lau K M. 1984. The structure and energetics of midlatitude disturbances accompanying cold-air outbreaks over East Asia [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 112 (7): 1309–1327, doi: 10.1175/1520-0493(1984)112<1309: TSAEOM>2.0.CO;2.
- Lejenäs H, Økland H. 1983. Characteristics of Northern Hemisphere blocking as determined from a long time series of observational data [J]. *Tellus A*, 35A (5): 350–362, doi: 10.1111/j.1600-0870.1983.tb00210.x.
- 李崇银, 胡季. 1987. 东亚大气环流与埃尔尼诺相互影响的一个分析研究 [J]. *大气科学*, 11 (4): 359–364. Li Chongyin, Hu Ji. 1987. A study on interaction between the East Asia atmospheric circulation and El Niño [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 11 (4): 359–364, doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.1987.04.03.
- Li C Y. 1989. Frequent activities of stronger aerotroughs in East Asia in wintertime and the occurrence of the El Niño event [J]. *Science in China (Series B)*, 32 (8): 976–985, doi: 10.1360/yb1989-32-8-976.
- 刘舸, 纪立人, 孙淑清, 等. 2013. 关于东亚冬季风指数的一个讨论—东亚中、低纬冬季风的差异 [J]. *大气科学*, 37 (3): 755–764. Liu Ge, Ji Liren, Sun Shuqing, et al. 2013. A discussion on the East Asian winter monsoon index—Differences between the East Asian winter monsoon at mid-high and low latitudes [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 37 (3): 755–764, doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.2012.12054.
- 刘毓赞, 陈文. 2012. 北半球冬季欧亚遥相关型的变化特征及其对我国气候的影响 [J]. *大气科学*, 36 (2): 423–432. Liu Yuyun, Chen Wen. 2012. Variability of the Eurasian teleconnection pattern in the Northern Hemisphere winter and its influences on the climate in China [J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 36 (2): 423–432, doi: 10.3878/j.issn.1006-9895.2011.11066.
- Lu M M, Chang C P. 2009. Unusual late-season cold surges during the 2005 Asian winter monsoon: Roles of Atlantic blocking and the central Asian anticyclone [J]. *J. Climate*, 22 (19): 5205–5217, doi: 10.1175/2009JCLI2935.1.
- Ohhashi Y, Yamazaki K. 1999. Variability of the Eurasian pattern and its interpretation by wave activity flux [J]. *J. Meteor. Soc. Japan*, 77 (2): 495–511.
- 邵鹏程, 李栋梁. 2012. 东亚冬季风指数的分类和比较 [J]. *气象科学*, 32 (2): 226–235. Shao Pengcheng, Li Dongliang. 2012. Classification and comparison of east Asian winter monsoon indices [J]. *Journal of the Meteorological Sciences* (in Chinese), 32 (2): 226–235, doi: 10.3969/2012jms.0018.
- Sun B M, Sun S Q. 1994. The analysis on the features of the atmospheric circulation in preceding winters for the summer drought and flooding in the Yangtze and Huaihe River valley [J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 11 (1): 79–90, doi: 10.1007/BF02656997.
- 孙淑清, 孙柏民. 1995. 东亚冬季风环流异常与中国江淮流域夏季旱涝天气的关系 [J]. *气象学报*, 53 (4): 440–450. Sun Shuqing, Sun Bomin. 1995. The relationship between the anomalous winter monsoon circulation over East Asia and summer drought/flooding in the Yangtze

- and Huaihe River valley [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 53 (4): 440–450, doi: 10.11676/qxxb1995.050.
- Sung M K, Lim G H, Kwon W T, et al. 2009. Short-term variation of Eurasian pattern and its relation to winter weather over East Asia [J]. *International Journal of Climatology*, 29 (5): 771–775, doi: 10.1002/joc.1774.
- Takaya K, Nakamura H. 2005. Mechanisms of intraseasonal amplification of the cold Siberian high [J]. *J. Atmos. Sci.*, 62 (12): 4423–4440, doi: 10.1175/JAS3629.1.
- 陶诗言. 1957. 阻塞形势破坏时期的东亚一次寒潮过程 [J]. *气象学报*, 28 (1): 63–74. Tao Shiyan. 1957. A synoptic and aerological study on a cold wave in the far east during the period of the break down of the blocking situation over euroasia and atlantic [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 28 (1): 63–74, doi: 10.11676/qxxb1957.005.
- 陶诗言. 1959. 十年来我国对东亚寒潮的研究 [J]. *气象学报*, 30 (3): 226–230. Tao Shiyan. 1959. Study on East Asian cold waves in China during recent 10 years (1949–1959) [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 30 (3): 226–230, doi: 10.11676/qxxb1959.031.
- Wallace J M, Gutzler D S. 1981. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 109 (4): 784–812, doi: 10.1175/1520-0493(1981)109<0784:TITGHF>2.0.CO;2.
- Wang L, Chen W. 2014. The East Asian winter monsoon: Re-amplification in the mid-2000s [J]. *Chinese Science Bulletin*, 59 (4): 430–436, doi: 10.1007/s11434-013-0029-0.
- Wang L, Chen W, Zhou W, et al. 2010. Effect of the climate shift around mid 1970s on the relationship between wintertime Ural blocking circulation and East Asian climate [J]. *International Journal of Climatology*, 30 (1): 153–158, doi: 10.1002/joc.1876.
- Wu B Y, Wang J. 2002. Winter arctic oscillation, Siberian high, and East Asian winter monsoon [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 29 (19): 3–1–3–4, doi: 10.1029/2002GL015373.
- Yeh Tu-cheng, Dunn Ge-yun. 1957. The mean meridional circulation and angular momentum balance in the atmosphere [J]. *Scientia Sinica*, 6 (2): 339–346.
- 张自银, 龚道溢, 胡森, 等. 2012. 多种东亚冬季风指数及其与中国东部气候关系的比较 [J]. *地理研究*, 31 (6): 987–1003. Zhang Ziyin, Gong Daoyi, Hu Miao, et al. 2012. Comparisons of the multiple East Asian winter monsoon indices and their relations to climate over eastern China [J]. *Geographical Research* (in Chinese), 31 (6): 987–1003, doi: 10.11821/yj2012060003.
- 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 [J]. *Mon. Wea. Rev.*, 137 (11): 283–293, doi: 10.1175/2009MWR2952.1.
- 朱乾根. 1990. 我国的东亚冬季风研究 [J]. *气象*, 16 (1): 3–10. Zhu Qiangen. 1990. A review of studies on East Asia winter monsoon in China [J]. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 16 (1): 3–10.
- 朱乾根, 杨松. 1990. 青藏高原大地形对冷涌作用的数值模拟研究 [J]. *气象学报*, 48 (2): 162–171. Zhu Qiangen, Yang Song. 1990. A study of the Tibetan Plateau effects on cold surge by using numerical model [J]. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 48 (2): 162–171, doi: 10.11676/qxxb1990.020.