

# 2020/2021年冬季中国北方一次寒潮天气过程与北极增暖的可能联系

宋 伟\*, 朱 辉, 陈 迪, 裴昭昭

民航局空管局气象中心, 北京

收稿日期: 2025年2月2日; 录用日期: 2025年2月28日; 发布日期: 2025年3月10日

## 摘要

2020年12月29日~2021年1月7日, 华北、华东和中南部出现了寒潮天气过程和入冬以来的气温新低, 多个机场出现大风和降雪天气, 对运行产生了一定影响。寒潮发生时, 对流层中层乌拉尔山阻塞高压偏强, 贝加尔湖以东横槽维持, 对流层低层西伯利亚高压和阿留申低压均偏强, 以上环流形势均有利于引导高纬度冷空气向南输送。当东亚偏冷时, 北极地区却呈现明显暖异常, 当北极偏暖发生时, 中高纬度阻塞高压容易增强, 同时使西伯利亚高压增强, 进一步导致寒潮发生; 此外, “北正南负”的厚度异常形势使北半球中高纬厚度经向梯度减小, 减小的厚度经向梯度导致欧亚大陆中纬度地区纬向西风变弱, 减弱的纬向西风使东亚大槽和欧亚阻塞高压增强, 即欧亚大陆中高纬环流的经向气压梯度增大, 便于冷空气向南输送, 有利于寒潮发生。

## 关键词

北极变暖, 寒潮, 环流

# Possible Link between a Cold Wave Weather Process in Northern China during the Winter of 2020/2021 and Arctic Warming

Wei Song\*, Hui Zhu, Di Chen, Zhaozhao Pei

Aviation Meteorological Center, ATMB, CAAC, Beijing

Received: Feb. 2<sup>nd</sup>, 2025; accepted: Feb. 28<sup>th</sup>, 2025; published: Mar. 10<sup>th</sup>, 2025

\*通讯作者。

文章引用: 宋伟, 朱辉, 陈迪, 裴昭昭. 2020/2021 年冬季中国北方一次寒潮天气过程与北极增暖的可能联系[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(2): 217-224. DOI: 10.12677/ccrl.2025.142023

## Abstract

From December 29, 2020, to January 7, 2021, a cold wave weather process occurred in North China, East China, and the central and southern parts of China, with the lowest temperatures since the beginning of winter. Strong winds and snowfall occurred at many airports, which had a certain impact on operations. When the cold wave occurred, the Ural blocking high in the middle troposphere was relatively strong, the transverse trough east of Lake Baikal persisted, and both the Siberian high and the Aleutian low in the lower troposphere were relatively strong. The above circulation patterns were all conducive to guiding the cold air from high latitudes to move southward. When East Asia was relatively cold, the Arctic region showed an obvious warm anomaly. When the Arctic warming occurred, the blocking high in the mid-high latitudes was likely to intensify, and at the same time, the Siberian high was strengthened, further leading to the occurrence of the cold wave. In addition, the thickness anomaly pattern of "positive in the north and negative in the south" reduced the meridional gradient of the thickness in the mid-high latitudes of the Northern Hemisphere. The reduced meridional gradient of the thickness led to the weakening of the westerly winds in the mid-latitudes of Eurasia. The weakened westerly winds enhanced the East Asian trough and the Eurasian blocking high, that is, the meridional pressure gradient of the mid-high latitude circulation in Eurasia increased, which facilitated the southward transport of cold air and was conducive to the occurrence of the cold wave.

## Keywords

Arctic Warming, Cold Wave, Circulation

---

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

东亚地处欧亚大陆的东侧，与太平洋紧密相邻。独特的海陆分布造就了显著的热力差异，使得该区域呈现出典型的季风气候特征。在全球气候变暖的大背景下，北极地区的升温现象尤为突出。受此影响，近十几年来，东亚地区冬季气温的波动变得愈发不稳定。这种不稳定性具体表现为冬季极端低温事件发生的频率显著增加，强度也不断增强[1]-[4]。这些极端低温事件给社会多个领域带来了严重的负面影响。在交通运输方面，大雪和冰冻会导致道路湿滑、航班延误，阻碍人员和物资的正常流通；电力供应因线路结冰、设备故障等问题面临严峻挑战；能源需求在极寒天气下大幅攀升，给能源生产和供应带来巨大压力；农业生产更是深受其害，农作物遭受冻害，产量大幅下降。鉴于此，东亚地区冬季极端低温问题已引发社会各界的高度重视。

厄尔尼诺 - 南方涛动(ENSO)作为海气相互作用的关键信号，在区域乃至全球天气气候的调节中发挥着举足轻重的作用。在厄尔尼诺(El Niño)发生的冬季，东亚沿岸常吹偏南风，此时东亚大槽往往较浅，这种状况不利于冷空气向南大举进发，使得中国东部地表气温偏高，呈现出暖冬态势。而在拉尼娜(La Niña)发生的冬季，情况则通常与之相反。自 21 世纪起，中国中东部地区经历了数次较为明显的冷空气侵袭。例如在 2005 年初、2008 年初、2011 年初以及 2016 年初，均出现此类情况。以 2008 年 1 月为例，长江流域和华南地区遭遇异常低温与持续雨雪，进而引发大面积冰冻灾害。长江流域下游及贵州省的连续低温日数突破了此前由 1954/1955 年冬季所创造的纪录，形成了 50 年一遇的极端冰冻雨雪灾害天气[1][2]。过往研究表明，尽管 2007/2008 年的超级拉尼娜事件确实在一定程度上促使了中国极端寒潮的发生，但

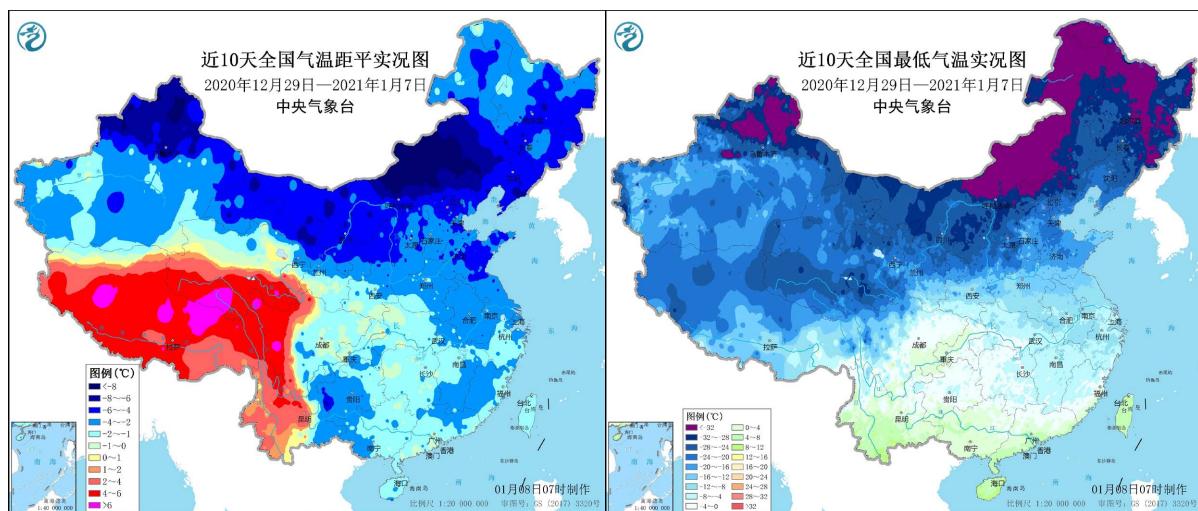
寒潮的形成往往是多种因素在特定时间与地点相互叠加、交织的结果。由此可见，拉尼娜现象仅是冷空气爆发的原因之一，其他因素同样可能导致冷空气入侵中国，这些因素不容小觑。也就是说，并非所有寒潮都与拉尼娜事件紧密相关。例如，2015/2016年出现了一次超级厄尔尼诺事件，这是1951年以来三次超级厄尔尼诺事件之一。在2015/2016年整个冬季，Niño3.4指数始终维持在2.0°C以上。与此同时，2016年1月21~25日，东亚地区的最低气温打破了1961年以来的历史记录[5]。虽然ENSO是年际气候预报的重要因子，但东亚的天气气候受到诸多因素的综合影响。这些因素与东亚天气气候之间的复杂关系，给天气预报和气候预测带来了巨大挑战。因此，仅依据ENSO信号，难以成功预测所有的寒潮过程。

过往研究显示，中国大尺度天气气候的异常状况，与低纬度以及中高纬度的大气环流紧密相连。北极地区，作为大气与海洋进行物质和能量交换的关键区域之一，其气候系统的变动，对欧亚地区的气候有着显著影响[6][7]。近年来，科学界对北极及其影响的研究关注度日益提升[8]~[10]。自20世纪70年代起，全球气候持续变暖，其中北极地区在北半球变暖幅度居于首位。到21世纪，北极变暖程度已达全球平均水平的两倍，这一现象被称作“北极放大”。大量基于观测资料与数值模拟的研究发现，北极近地面气温与欧亚大陆天气气候异常在年际尺度上存在极为显著的联系，即北极变暖会导致欧亚地区变冷[5][12]。在北极持续变暖的大环境下，进入21世纪，中国寒潮的发生频率与强度出现了一定改变。因此，对寒潮天气过程的深入研究依旧是气象领域的重点。2020年12月29日至2021年1月7日，中国北方地区出现了一次典型的寒潮天气过程。深入分析此次寒潮天气过程及其成因，有助于进一步揭示寒潮天气的形成原因与机制，为中国冬季寒潮天气的精准预报提供参考依据。

## 2. 资料和方法

利用常规地面观测资料、探空资料、机场气象站报文资料和NCEP $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 再分析资料，结合天气动力学诊断方法和统计分析方法，对2020/2021年冬季一次寒潮天气过程进行分析。

## 3. 天气实况

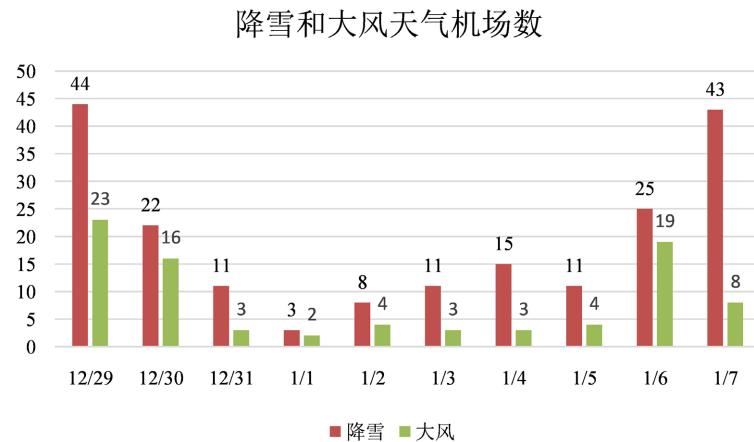


**Figure 1.** Distribution maps of temperature anomaly and minimum temperature in China from December 29, 2020 to January 7, 2021

**图 1.** 2020年12月29日~2021年1月7日中国气温距平和最低气温分布图

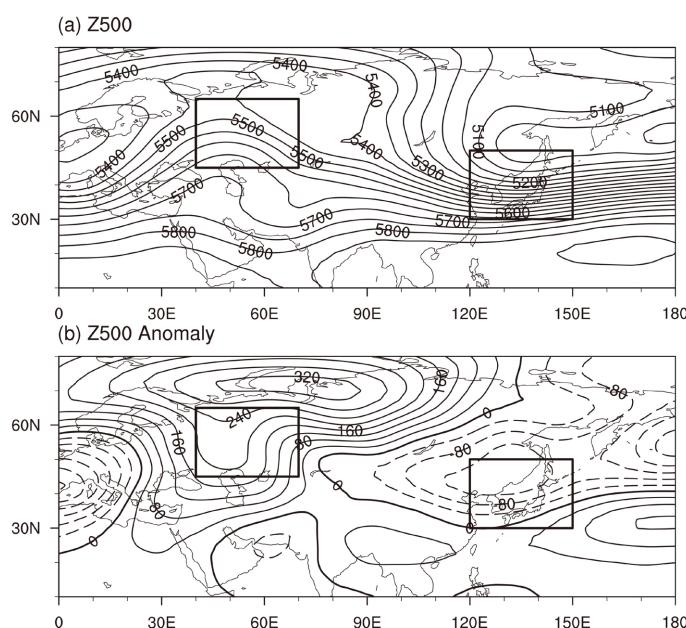
2020年12月29日至2021年1月7日，中国出现了大范围寒潮天气过程，华北、华东、中南部出现了明显的大风降温天气和入冬以来的气温新低，此次寒潮天气过程具有影响范围广、华北黄淮低温

极端性显著、大风持续时间长等特点。由图1可以看出,受寒潮天气影响,淮河以北表现为十分明显的负气温距平( $-2$ 至 $-8$ ℃),最大负气温距平位于华北中部地区和乌鲁木齐北部( $<-8$ ℃)。从最低气温分布图上可以看出(图1),最低气温0℃线位于云南中部、贵州南部、湖南南部、江西南部和福建南部一线,最低气温 $-12$ ℃线位于甘肃南部、陕西南部、河南南部和江苏北部一线,华北地区最低气温在 $-28$ ℃以下,内蒙古中部地区最低气温突破 $-32$ ℃。从降雪和大风机场数也可以看出(图2),本次寒潮过程中多个机场出现降雪和大风天气,对运行产生了一定的影响。



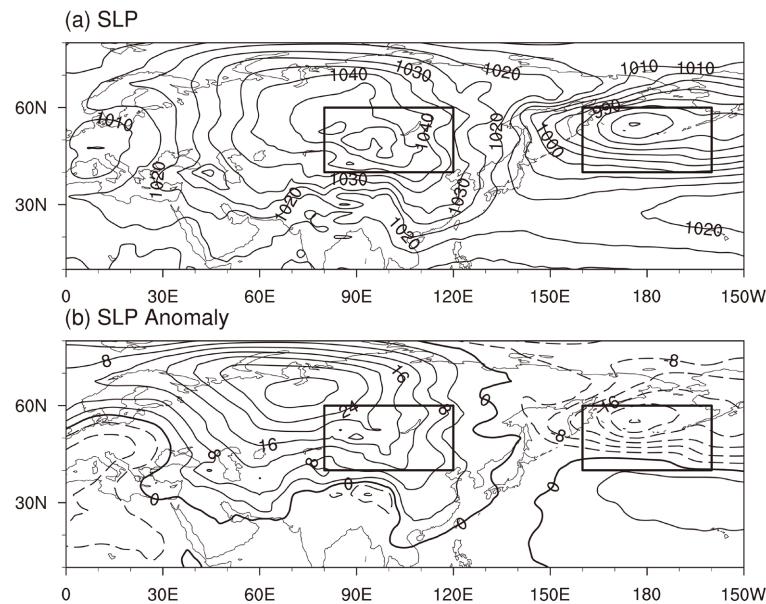
**Figure 2.** Number of airports with snowfall and gale weather from December 29, 2020 to January 7, 2021  
**图 2.** 2020年12月29日~2021年1月7日降雪和大风天气机场数

#### 4. 环流形势分析



**Figure 3.** (a) Geopotential height field and (b) anomaly field at 500 hPa from December 29, 2020 to January 7, 2021 (Unit: gpm); the rectangular boxes represent the climatological positions of the Ural blocking high and the east Asian trough respectively

**图 3.** 2020年12月29日~2021年1月7日(a) 500 hPa 位势高度场和(b) 距平场(单位: gpm); 矩形框分别为乌拉尔山阻塞高压和东亚大槽的气候态位置



**Figure 4.** (a) Sea level pressure field and (b) anomaly field from December 29, 2020 to January 7, 2021 (Unit: hPa); the rectangular boxes represent the climatological positions of the Siberian high and the Aleutian low respectively  
**图 4.** 2020 年 12 月 29 日~2021 年 1 月 7 日(a) 海平面气压场和(b) 距平场(单位: hPa); 矩形框分别为西伯利亚高压和阿留申低压的气候态位置

寒潮发生时, 500 hPa 位势高度(图 3(a))上乌拉尔山地区有明显的高压脊维持, 贝加尔湖以东地区有一很强的横槽存在, 从距平场(图 3(b))也可以看出, 乌拉尔山地区和贝加尔湖以东分别呈现明显的位势高度正距平和负距平, 这种环流形势有利于冷空气南下侵袭中国。从海平面气压场的分布来看(图 4(a)), 伴随着冷空气沿着乌拉尔山东部高压脊南下, 冷空气在西伯利亚地区逐渐堆积并形成地面冷高压, 中心强度达到 1052.5 hPa, 阿留申地区也形成了明显的低压中心-阿留申低压。海平面气压距平场显示(图 4(b)), 欧亚大陆和北太平洋分别为正距平和负距平-即增强的西伯利亚高压和阿留申低压, 这种环流形势也有利于引导北极冷空气向南输送。

## 5. 寒潮发生可能的物理机制

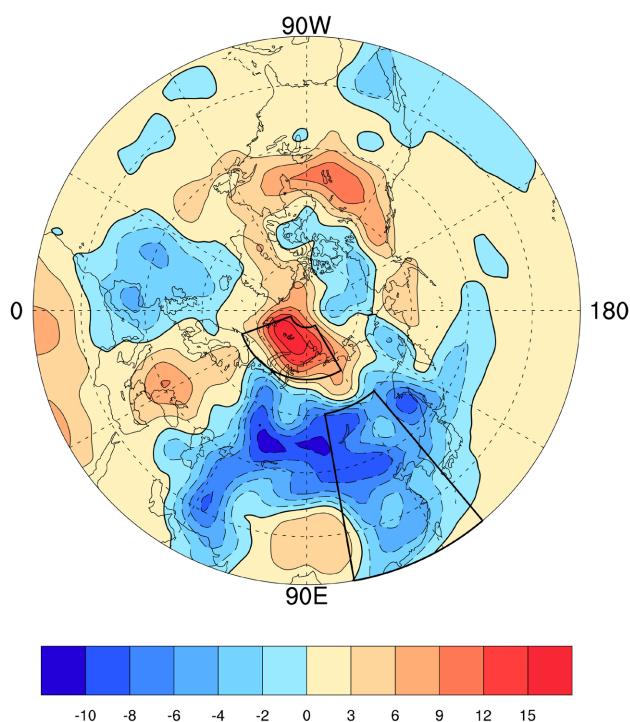
从第 4 节距平图可以看出, 正距平中心均位于巴伦支海附近, 这可能与北极气候变化存在一定的关联, 前人很多研究也指出, 北极气候的变化与东亚冬季气候有明显关联。从寒潮发生时段 1000 hPa 气温距平的分布来看, 北极地区( $20^{\circ}\text{~}120^{\circ}\text{E}$ ,  $70^{\circ}\text{~}85^{\circ}\text{N}$ )有明显的暖中心, 东亚地区( $100^{\circ}\text{~}130^{\circ}\text{E}$ ,  $20^{\circ}\text{~}60^{\circ}\text{N}$ )为明显的负气温距平(图 5), 这与前人所提出的“暖北极-冷欧亚”形势十分类似。为了探究北极地区气温与东亚地区气温是否存在关联, 将北极地区气温的区域平均作为气温指数, 与海平面气压、500 hPa 位势高度、1000~500 hPa 厚度和 500 hPa 纬向风场进行回归分析。

通过对图 6(a)的分析可知, 在气温上升阶段, 贝加尔湖西北侧出现了海平面气压正异常中心, 并且该中心沿着东南方向延伸至东亚地区。这意味着从西伯利亚到东亚区域, 海平面气压呈现升高态势, 同时东亚沿岸出现北风异常。这种北风异常的状况, 为高纬度地区的冷空气向东亚地区输送创造了有利条件。与此同时, 在北太平洋区域, 海平面气压出现降低现象, 即阿留申低压呈现增强趋势。无论是西伯利亚高压的增强, 还是阿留申低压的增强, 这两种情况都对东亚地区寒潮的形成起到了促进作用。从图 6(b)所示的 500 hPa 高度场对气温指数的回归分析结果来看, 当气温指数升高时, 从乌拉尔山附近一直到鄂霍茨克海的广大区域, 均呈现出位势高度正异常的状态。这一现象表明, 乌拉尔山、贝加尔湖以及鄂

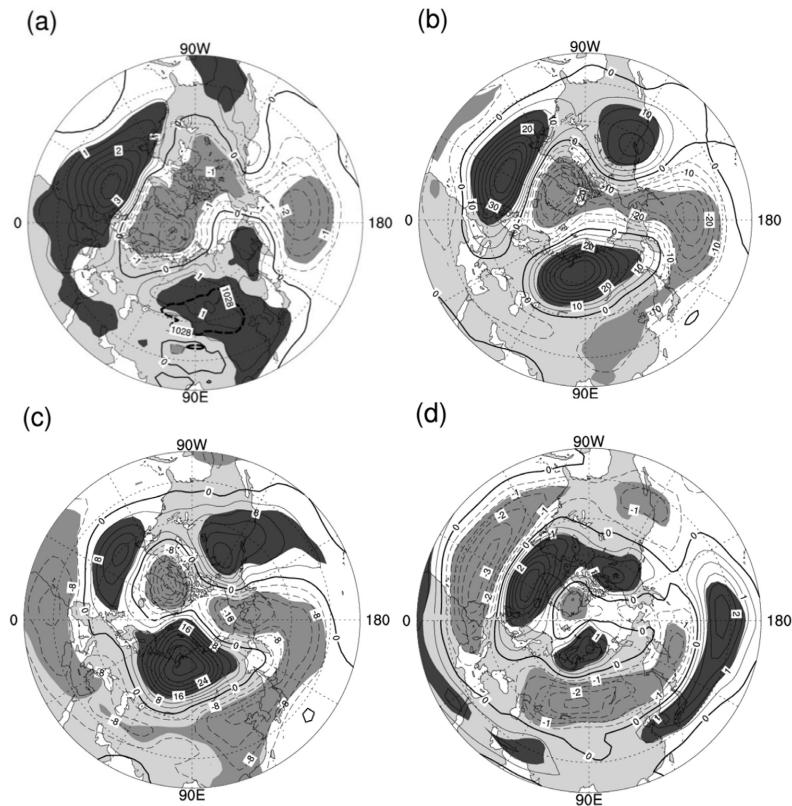
霍茨克海地区的阻塞高压容易出现偏强的情况。根据宋伟等(2018)的研究成果,当北极地区出现增温现象时,会为欧亚阻塞高压的建立与发展提供有利条件。而欧亚阻塞高压的增强,又会进一步促使西伯利亚高压强度增加,最终导致东亚地区的温度下降。

对 1000~500 hPa 厚度与气温指数展开回归分析,所得结果如图 6(c)所示。在气温指数上升阶段,贝加尔湖以北区域,1000~500 hPa 厚度呈现正异常状态,其中正异常中心在巴伦支海、喀拉海附近。然而,在贝加尔湖以南的欧亚大陆区域,该厚度却呈现负异常。这种厚度分布呈现出“北正南负”的形势,使得北半球中高纬度之间的厚度经向梯度减小。根据气象学原理,中高纬度之间厚度经向梯度减小,会致使欧亚大陆中纬度地区的纬向西风减弱。前人的研究指出[13],纬向西风变弱时,通常伴随着波动振幅的增强,以及槽的加深、脊的伸长。这样的环流形势,会进一步加大中高纬度环流的经向气压梯度。在这种情况下,高纬度地区的冷空气更易于向南输送,进而增加了极端天气气候事件发生的可能性。正如前人的研究中所提到的[9],这种环流变化是导致极端天气事件频发的重要因素。

观察图 6(d)可知,当气温指数上升,欧亚大陆中东部在 500 hPa 高度上,从副热带至北极区域,纬向风呈现出“正-负-正”的独特变化格局。具体表现为,在日本南部至中国江淮流域之间,存在一条呈“东北-西南”走向的正异常风速带;在北纬 45°~65°的欧亚大陆区域,是一条“东-西”走向的负异常风速带;而北极地区同样为正异常风速带。在欧亚大陆的中纬度地带,这种减弱的西风态势,为高纬度冷空气向南侵袭创造了有利条件,进而使得中国东部地区出现温度负异常现象。为深入探究中纬度纬向西风减弱与乌拉尔山阻塞高压以及东亚大槽之间的内在联系,我们特别定义了纬向风指数。该指数选取欧亚大陆中纬度 500 hPa 纬向风显著减弱的区域( $60^{\circ}$ ~ $135^{\circ}$ E,  $45^{\circ}$ ~ $65^{\circ}$ N),计算此区域内 500 hPa 纬向风的平均值。之后,将该指数对 500 hPa 位势高度场进行回归分析。结果显示,当欧亚大陆中纬度纬向风减弱时,从巴伦支海、喀拉海延伸至贝加尔湖地区,位势高度升高;而在贝加尔湖以南的东亚地区,位势高度降低(此处相关图示省略)。这一现象表明,乌拉尔山阻塞高压脊和东亚大槽均出现增强态势。



**Figure 5.** Distribution of temperature anomaly at 1000 hPa from December 29, 2020 to January 7, 2021 (Unit:  $^{\circ}$ C)  
**图 5.** 2020 年 12 月 29 日~2021 年 1 月 7 日 1000 hPa 气温距平分布(单位:  $^{\circ}$ C)



**Figure 6.** Distribution of regression coefficients of (a) sea-level pressure (hPa), (b) geopotential height at 500 hPa (gpm), (c) 1000~500 hPa thickness (gpm), and (d) zonal wind at 500 hPa (m/s) on the temperature index in winter from 1961 to 2020. In (a), the thick dashed line represents the 1028 hPa isopleth, and the shaded areas indicate passing the significance test at the 0.05 level

**图 6.** 1961~2020 年冬季(a) 海平面气压(hPa), (b) 500 hPa 位势高度(gpm), (c) 1000~500 hPa 厚度(gpm)和(d) 500 hPa 纬向风(m/s)对气温指数回归系数分布。(a)中粗虚线为 1028 hPa 等值线, 阴影表示通过 0.05 的显著性检验

综上, 当气温指数升高时, “北正南负”的厚度异常分布, 致使北半球中高纬之间的厚度经向梯度减小。这一减小的梯度, 又使得欧亚大陆中纬度地区的纬向西风变弱。而变弱的纬向西风, 对欧亚大陆阻塞高压的发展以及东亚大槽的加深具有促进作用。这些变化最终导致欧亚大陆中高纬环流的经向气压梯度增大, 使得冷空气更易于向南输送, 为东亚地区寒潮的发生提供了有利条件。

## 6. 结论与讨论

(1) 2020 年 12 月 29 日至 2021 年 1 月 7 日, 中国出现了大范围寒潮天气过程, 华北、华东、中南部出现了明显的大风降温天气和入冬以来的气温新低, 此次寒潮天气过程具有影响范围广、华北黄淮低温极端性显著、大风持续时间长等特点。

(2) 寒潮发生过程中, 500 hPa 上乌拉尔山地区和贝加尔湖以东分别呈现明显的位势高度正距平和负距平; 海平面气压场上, 欧亚大陆和北太平洋分别为正距平和负距平 – 即增强的西伯利亚高压和阿留申低压。以上环流形势有利于引导北极冷空气向南输送。

(3) 当气温指数升高时, 乌拉尔山、贝加尔湖和鄂霍茨克海阻塞高压容易增强, 同时使西伯利亚高压增强, 进一步导致寒潮发生; 此外, “北正南负”的厚度异常形势使北半球中高纬厚度经向梯度减小, 减小的厚度经向梯度导致欧亚大陆中纬度地区纬向西风变弱, 减弱的纬向西风使东亚大槽和欧亚阻塞高压增强, 即欧亚大陆中高纬环流的经向气压梯度增大, 便于冷空气向南输送, 有利于寒潮的发生。

近年来的研究也表明北极海-冰-气耦合系统与寒潮联系的方式、过程和机理还没有统一的定论，尚存在不同的观点，因此今后的研究需要扩展思路，进一步从急流、阻高和东亚大槽等方面深入研究北极对寒潮的影响。

## 参考文献

- [1] 马晓青, 丁一汇, 徐海明. 2004/2005 年冬季强寒潮事件与大气低频波动关系的研究[J]. 大气科学, 2008, 32(2): 380-394.
- [2] 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[J]. 气象学报, 2008, 66(5): 808-825.
- [3] 司东, 马丽娟, 王朋岭, 等. 2015/2016 年冬季北极涛动异常活动及其对我国气温的影响[J]. 气象, 2016, 42(7): 892-897.
- [4] 宋伟, 吴志伟, 李跃凤, 等. 冬季中国东部与北极之间近地面温度变化的年际联系[J]. 气候与环境研究, 2018, 23(4): 463-478.
- [5] Ma, S., Zhu, C., Liu, B., Zhou, T., Ding, Y. and Orsolini, Y.J. (2018) Polarized Response of East Asian Winter Temperature Extremes in the Era of Arctic Warming. *Journal of Climate*, **31**, 5543-5557. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-17-0463.1>
- [6] Honda, M., Yamazaki, K., Nakamura, H. and Takeuchi, K. (1999) Dynamic and Thermodynamic Characteristics of Atmospheric Response to Anomalous Sea-Ice Extent in the Sea of Okhotsk. *Journal of Climate*, **12**, 3347-3358. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1999\)012<3347:datcoa>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1999)012<3347:datcoa>2.0.co;2)
- [7] Honda, M., Inoue, J. and Yamane, S. (2009) Influence of Low Arctic Sea-ice Minima on Anomalously Cold Eurasian Winters. *Geophysical Research Letters*, **36**, L08707. <https://doi.org/10.1029/2008gl037079>
- [8] Francis, J.A., Chan, W., Leathers, D.J., Miller, J.R. and Veron, D.E. (2009) Winter Northern Hemisphere Weather Patterns Remember Summer Arctic Sea-Ice Extent. *Geophysical Research Letters*, **36**, L07503. <https://doi.org/10.1029/2009gl037274>
- [9] Francis, J.A. and Vavrus, S.J. (2012) Evidence Linking Arctic Amplification to Extreme Weather in Mid-Latitudes. *Geophysical Research Letters*, **39**, L06801. <https://doi.org/10.1029/2012gl051000>
- [10] Li, Y. and Leung, L.R. (2013) Potential Impacts of the Arctic on Interannual and Interdecadal Summer Precipitation over China. *Journal of Climate*, **26**, 899-917. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-12-00075.1>
- [11] Screen, J.A. and Simmonds, I. (2010) The Central Role of Diminishing Sea Ice in Recent Arctic Temperature Amplification. *Nature*, **464**, 1334-1337. <https://doi.org/10.1038/nature09051>
- [12] Tang, Q., Zhang, X., Yang, X. and Francis, J.A. (2013) Cold Winter Extremes in Northern Continents Linked to Arctic Sea Ice Loss. *Environmental Research Letters*, **8**, Article ID: 014036. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/1/014036>
- [13] Palmén, E. and Newton, C.W. (1969) Atmospheric Circulation Systems. Academic Press.