

中国东北与西北地区寒潮开始和结束的变化特征和影响机制

姜楠¹, 刁一娜^{1*}, 李建平^{1,2,3}, 黄菲¹

¹中国海洋大学海洋与大气学院, 山东 青岛

²中国海洋大学深海圈层与地球系统前沿科学中心/物理海洋教育部重点实验室/海洋碳中和中心, 山东 青岛

³中国海洋大学未来海洋学院, 山东 青岛

收稿日期: 2026年2月6日; 录用日期: 2026年3月6日; 发布日期: 2026年3月13日

摘要

全球变暖背景下, 影响我国的寒潮发生了显著的变化, 然而对于寒潮开始与结束区域特征和影响因子的认识仍显不足。本文基于1972~2021年站点资料, 首先给出了一个刻画我国西北和东北地区寒潮开始和结束早晚的指数, 进而分析了影响寒潮开始和结束的关键因子。结果表明, 西伯利亚地区高空的环流异常是影响寒潮开始和结束早晚的重要因子。当秋季(春季)存在高压异常时, 寒潮开始(结束)较晚(早)。异常高压的位置决定了其影响区域: 当高压异常位于我国西北(东北)以北时, 西北(东北)地区寒潮开始较早和结束较晚。秋季和春季异常高压的形成可分别归因于北太平洋和北大西洋海表面温度(SST)的异常。大气对上述区域SST异常的响应所形成的稳定环流异常作为波源激发纬向异常波列调制西伯利亚高空环流。并且, SST异常偏西或偏东伴随西伯利亚异常环流偏西或偏东, 分别造成西北或东北寒潮开始、结束的早晚。由于上述海区SST存在明显的增暖趋势, 因此我国东北和西北地区寒潮存在开始延后, 结束提前的趋势。

关键词

寒潮开始日期, 寒潮结束日期, 气候变化

Characteristics and Influence Mechanisms of the Start and End of Cold Waves in Northeast and Northwest China

Nan Jiang¹, Yina Diao^{1*}, Jianping Li^{1,2,3}, Fei Huang¹

*通讯作者。

文章引用: 姜楠, 刁一娜, 李建平, 黄菲. 中国东北与西北地区寒潮开始和结束的变化特征和影响机制[J]. 气候变化研究快报, 2026, 15(2): 370-381. DOI: 10.12677/ccrl.2026.152042

¹College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Ocean University of China, Qingdao Shandong

²Frontiers Science Center for Deep Ocean Multispheres and Earth System (FDOMES)/Key Laboratory of Physical Oceanography/Center for Ocean Carbon Neutrality, Ocean University of China, Qingdao Shandong

³Academy of Future Ocean, Ocean University of China, Qingdao Shandong

Received: February 6, 2026; accepted: March 6, 2026; published: March 13, 2026

Abstract

Under global warming, cold surges (CS) affecting China have significant changes; however, understanding of the regional characteristics of their start and end, as well as the influencing factors, remains limited. Based on station data from 1972~2021, this study first proposes an index to characterize the CS start date and end date in Northwest and Northeast China, and then investigates the key factors influencing these timings. The results show that upper-level geopotential height anomalies over Siberia play a crucial role in modulating the start and end of CS. The presence of a high-pressure anomaly in autumn (spring) is associated with a later start (earlier end) of CS. The location of the anomalous high determines the affected region: when the high-pressure anomaly lies to the north of Northwest (Northeast) China, CS in that region tend to start earlier and end later. The formation of the anomalous high pressure in autumn and spring can be attributed to sea surface temperature (SST) anomalies in the North Pacific and North Atlantic, respectively. The atmospheric response to SST anomalies in these regions generates quasi-stationary circulation anomalies that act as wave sources, exciting zonally oriented wave trains that modulate the upper-level circulation over Siberia. Moreover, when SST anomalies shift westward or eastward, the corresponding anomalous circulation over Siberia also shifts westward or eastward, resulting in earlier start and later end of CS in Northwest or Northeast China, respectively. Due to the significant warming trend in SST over the aforementioned oceanic regions, CS in Northeast and Northwest China exhibit a trend toward later start and earlier end.

Keywords

Cold Surge Start Date, Cold Surge End Date, Climate Change

Copyright © 2026 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

在全球变暖的背景下, 极端天气事件频发, 寒潮作为冬季影响我国的主要的天气过程, 其发展规律备受关注。寒潮是指极地或高纬度地区的强冷空气大规模向中纬度侵袭的天气现象, 常伴随着大风, 降雪, 冻雨等灾害天气, 对农业生产, 人体健康, 交通带来诸多不利的影响[1]-[3]。寒潮的活动发展与北极涛动(AO)、西伯利亚高压、东亚冬季风等系统密切相关[4]-[6]。在我国, 东北和西北地区是寒潮影响最为频繁和严重的区域, 长期以来是研究寒潮的重点区域。研究表明, 影响西北和东北地区寒潮的发生均与乌拉尔山高压脊, 日本-韩国一带的高压脊以及乌拉尔山低压槽等环流系统有关[7], 但不同区域寒潮发生发展机制存在一定差异。东北地区地势平坦, 是冷空气南下的主要通道, 影响该地区寒潮多为偏西路径, 冷空气经过西伯利亚和寒潮关键区向东输送到东北地区[8]。冷空气在东移过程中若与蒙古气旋结合,

可导致寒潮持续时间延长[9],若与中低纬度的冷涡相结合,则冷空气可进一步南下影响华北地区[10]。在AO 负位相期间,极涡对冷空气约束作用减弱,冷空气可直接侵袭东北地区[6][11][12]。而影响西北地区的冷空气来自新地岛以东的洋面,直接侵袭西北地区[10]。也有学者提出较弱的正AO 位相期间,极地海平面气压的正异常有可能利于西北地区寒潮的发生[7]。

尽管已有大量研究,目前对于寒潮的认识还仍存在不足,现有工作多集中于寒潮强度、频次变化及其环流分析,部分研究关注一年中寒潮发生的天数变化[13],而对于寒潮什么时候开始,什么时候结束,以及哪些要素可影响寒潮的开始和结束日期,缺乏相关研究。目前仅有的研究分析了山东省,安徽省,和柳州市等地区[14]-[17]的寒潮开始和结束日期的特点,尚未系统阐明影响寒潮开始和结束早晚的物理机制和关键因子。我国幅员辽阔,各地气候差异显著,西北和东北既是寒潮影响最为频繁的区域,也是灾害易发区[18][19],然而针对两地寒潮开始和结束日期的相关研究仍属空白。因此,本文选取东北和西北两个典型区域,旨在分析寒潮开始和结束日期的变化特征,揭示影响其早晚的关键环流机制,以期为农业生产布局和寒潮预报提供科学参考,为寒潮的预报提供一个新的视角。

2. 数据与方法

2.1. 数据

本文用到数据的时间段均为1971~2021年,包括:

(1) 国家气象科学数据共享服务平台提供的“中国地面气候资料日值数据集(V3.0)”中624个气象站点的日最低气温数据。

(2) 美国国家环境预测中心/国家大气研究中心(NCEP/NCAR) [20]提供的位势高度数据(空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$),海表温度数据(空间分辨率为 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$)。

2.2. 方法

2.2.1. 寒潮的定义

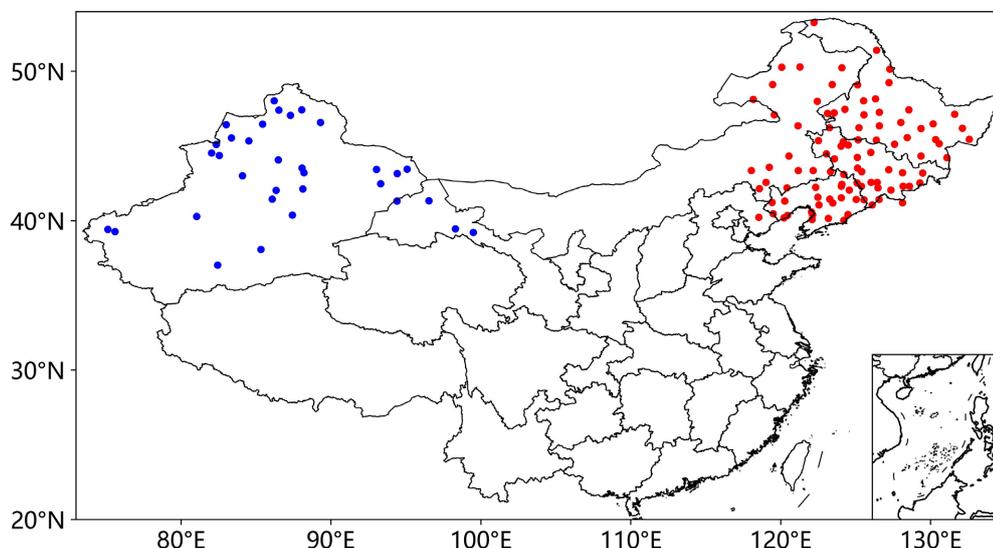
本文参考《GB/T21987-2013 冷空气过程检测指标》[21]和魏凤英[6]的研究定义单站寒潮。某站点发生寒潮时应同时满足降温条件和最低气温条件。降温条件为24小时内日最低气温下降超过 8°C 或48小时内日最低气温下降超过 10°C 或72小时内日最低气温下降超过 12°C 。最低温度条件则根据站点区域来划分,降温后日最低气温需要低于 5°C 。将降温条件满足上述要求的第一天,视作寒潮开始的日期,最低气温开始回升时,视作寒潮的结束。

2.2.2. 寒潮开始日期和结束日期的定义

将8月1日至次年7月31日视作一个寒潮年,例如,将1971年8月1日至1972年7月31日记作1972年。之后将每个寒潮年内各站点的首次寒潮开始日期视作本年该站寒潮开始日期,最后一次寒潮的结束日期视作寒潮的结束日期,且第一次寒潮和最后一次寒潮不为同一次寒潮过程,否则认为该年不存在寒潮开始日期和结束日期。为方便后续计算,将开始日期和结束日期分别减去对应寒潮年的8月1日,将日期转化为数值,方便后续计算。故日期的正趋势表示延后,负趋势表示提前。

2.2.3. 站点的选取

选取 118°E 以东和 40°N 以北的地区作为东北地区, 100°E 以西和 35°N 以北作为西北地区。之后剔除了1971~2021年中存在缺测的站和受寒潮影响较小的海拔高度大于2500m的高原站和高山站。并剔除了寒潮发生频率较低的站(50年中超过10年不存在寒潮开始和结束日期的站)。其空间分布如图1所示。



注：该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2020)3184 号的标准地图制作，底图无修改。

Figure 1. Spatial distribution of stations used in this study (blue scatters denote stations in Northwest China, and red scatters denote stations in Northeast China)

图 1. 本研究所用站点的空间分布(蓝色散点为西北地区站点，红色散点为东北地区站点)

2.2.4. Li-Yang 波射线通量

为较好地反映 Rossby 波的传播，很多学者都提出了不同方法表示波列的传播，如 T-N 波通量，E-P 通量等。本研究采用 Li-Yang 波射线通量(Rossby wave ray flux, WRF)来展示本研究的波列的传播[22]。最早在 2012 年有学者[23]提出了水平非均匀基流中波射线追踪理论，该方法可较好追踪静止 Rossby 的路径。在此基础上进一步提出了波射线通量的概念。首先认为水平波射线传播的平均速度

$$V_g = u_R \mathbf{i} + v_R \mathbf{j} \quad (1)$$

其中 $\overline{u_R} = a \cos \varphi \frac{\Delta \lambda_g}{\Delta t}$, $\overline{v_R} = a \frac{\Delta \varphi_g}{\Delta t}$; $\overline{u_R}$, $\overline{v_R}$ 分别表示穿过给定小网格的波的平均纬向和经向传播速度， a 为地球半径， $\Delta \lambda_g$ 和 $\Delta \varphi_g$ 表示穿过给定小网格的波轨迹的经纬度距离， Δt 表示射线通过给定小网格的周期的持续时间。Li-Yang WRF 的单位为 m/s，表示单位时间内通过单位网格面积的波流量，即：

$$F_{WR} = \frac{1}{S_\varphi} \iint_{S_\varphi} V_R dS_\varphi = (\overline{u_R} \mathbf{i} + \overline{v_R} \mathbf{j}) \quad (2)$$

其中， S_φ 为网格积分的面积元， $\overline{u_R} = \sum_{i=1}^n \overline{u_{Ri}}$, $\overline{v_R} = \sum_{i=1}^n \overline{v_{Ri}}$ 其中 $\overline{u_{Ri}}$, $\overline{v_{Ri}}$ 为每条波通过给定小网格的平均速度。以往的波活动通量如 E-P 通量，T-N 通量只可表征某个区域内波的活动特点，无法挑出哪些波是某个波源激发出的波。波射线通量可通过设置波源位置，精确挑选出某波源激发的波。另一方面波射线通量可克服以往方法不适用于科氏参数较小的热带地区的缺陷，为分析 Rossby 波的传播特性提供了一个更全面的工具。

3. 结果与分析

3.1. 西北和东北地区寒潮开始和结束指数

为定量评估一个地区寒潮开始和结束相较于常年平均的早晚，本研究给出了寒潮开始指数和结束指数。对于开始日期的计算方式如下：首先，基于各站点的日最低气温数据和上文对于寒潮开始日期的定

义, 逐年计算各站点的寒潮开始日期, 并求得 1972 至 2021 年期间多年平均的寒潮开始日期(气候态)。随后, 计算各站点逐年寒潮开始日期与其自身气候态的差值, 得到每年每站寒潮开始异常。最后, 分别将同一年份西北, 东北地区内所以站点的异常值进行区域平均, 即得到逐年区域平均的寒潮开始指数(图 2) 该指数可较好地表征在某年中每个站点相对于自己寒潮开始偏早还是偏晚。该指数的单位为天数, 正值为相对于气候态偏晚, 负值为相对于气候态偏早。如 2021 年, 西北地区寒潮开始指数约为 21 天, 较常年而言, 西北地区平均每个站点寒潮开始晚了 21 天。结束日期指数的计算方式同理。分析表明, 无论是西北还是东北地区, 寒潮开始指数呈现上升趋势, 结束指数呈现下降趋势。表明近些年随着全球变暖, 西北和东北地区的寒潮开始逐渐延后, 结束逐渐提前, 且结束日期提前的幅度大于开始日期延后的幅度。50 年中, 西北地区 and 东北地区寒潮开始延后 9.03 天和 5.61 天, 寒潮结束提前 6.50 天和 13.00 天。

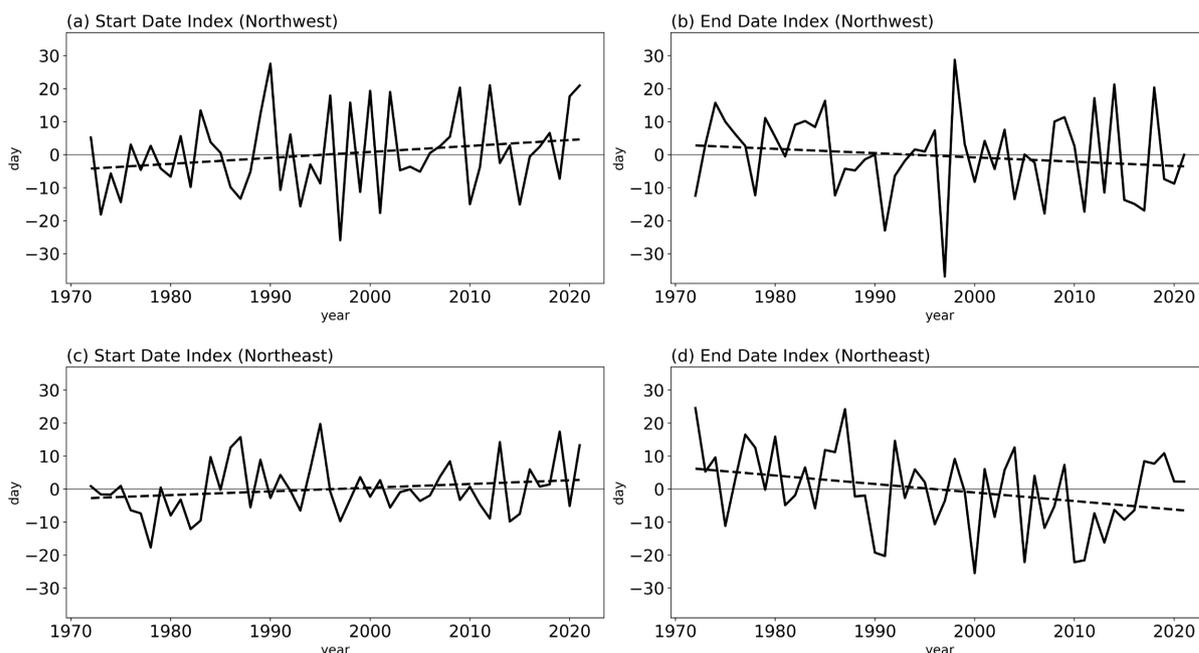


Figure 2. Time series of cold surge (a) start and (b) end index in Northwest China during 1972~2021; (c, d) as (a, b) but for Northeast China (dashed lines denote linear trends)

图 2. 1972~2021 年西北地区寒潮(a) 开始指数和(b) 结束指数; (c) (d) 同(a) (b), 但为东北地区(虚线为趋势线)

3.2. 影响西北和东北寒潮开始的关键因子

为探究影响西北和东北地区寒潮的开始的关键因子, 本研究先从年际变化角度进行分析。利用去趋势后的西北和东北寒潮开始指数, 分别对秋季(9~11 月) 500 hPa 位势高度场和风场进行回归分析(图 3)。该指数的正位相为寒潮开始偏晚的位相, 即不利于寒潮发生的位相。结果表明, 秋季亚欧大陆中高纬度 500 hPa 位势高度场呈现“高-低-高”的异常分布, 欧洲和西伯利亚上空为高压异常, 乌拉尔山附近为较弱的低压异常, 呈现出一个副极地波列。寒潮的形成与阻塞高压密切相关, 在此背景下, 乌拉尔山附近存在较弱的低压异常, 不利于阻塞高压的形成和维持, 减弱了冷空气在乌拉尔山附近的堆积, 不利于冷空气的南下。同时, 受西伯利亚附近高压异常的影响, 东亚大槽强度减弱, 对南下冷空气引导作用减弱。此外, 高压会在其南侧激发出偏东风和偏南风异常, 减弱南下和向东传输的冷空气的强度, 共同造成秋季寒潮开始较晚。高压异常中心位置的差异, 决定了哪些区域寒潮开始较晚。当高压位置偏西偏南, 中心位于 90°E 附近, 最东部延伸到 120°E 附近时, 高压主体位于西北地区北部。此时, 西北地区受到高

压激发的东南风异常的影响最为显著,造成该地区寒潮开始较晚。而当高压中心位置偏东,中心位于 130°E 时,高压和其南侧的低压异常配合,形成高低压系统间较强的气压梯度,产生较强的地转风,造成我国东北地区存在较强的偏东风异常。同时, 95°E 附近存在偏北风异常,此配置一方面阻碍冷空气向南扩散,另一方面也抑制了冷空气向东输送至东北地区,从而导致东北地区寒潮开始日期偏晚。

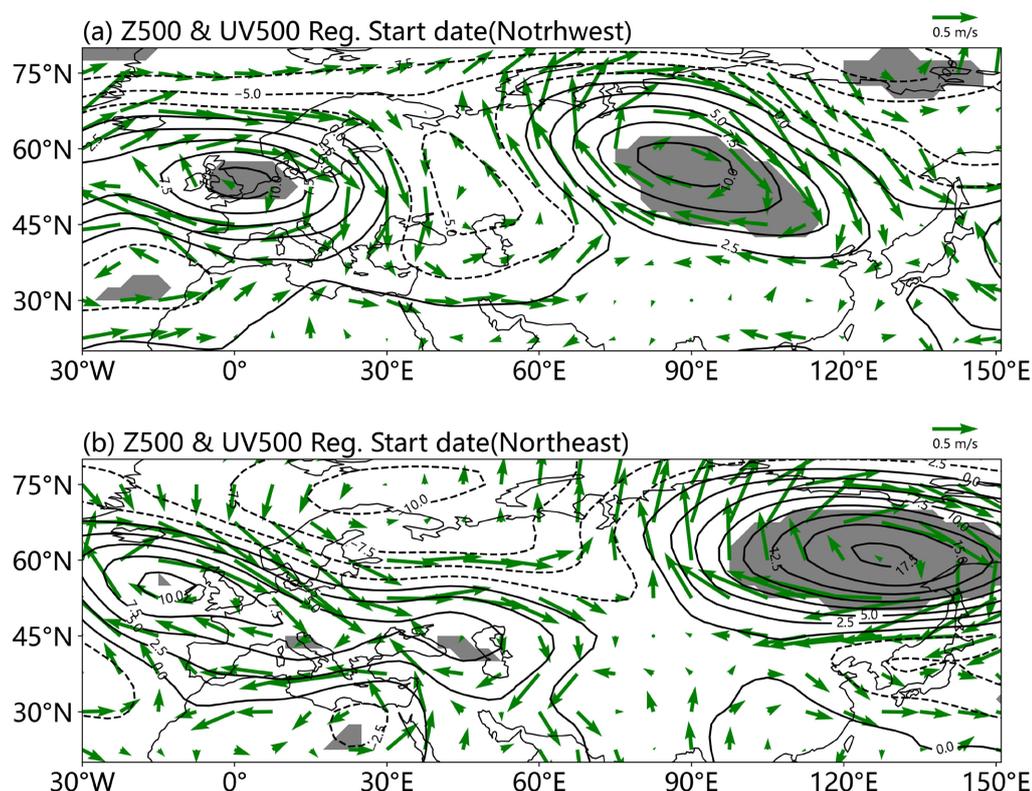


Figure 3. Regression of autumn 500 hPa hgt (contours, units: gpm) and wind (vectors, Unit: m/s) on detrended cold surge start index of (a) Northwest China and (b) Northwest China during 1972~2021. Shaded areas denote hgt anomalies significant at the 90% confidence levels

图 3. 1972~2021 年(a) 西北地区和(b) 东北地区寒潮开始指数回归秋季 500 hPa 位势高度场(等值线, 单位: gpm)和 wind(矢量, 单位: m/s), 阴影为位势高度通过 90%置信水平

寒潮开始受到西伯利亚地区高压异常的影响,而该高压异常的形成与海温异常密切相关。用寒潮开始指数回归海温场后发现(图 4),寒潮开始的早晚与太平洋海温异常密切相关。西北和东北寒潮开始较早时,太平洋 35°N 附近海温均存在暖异常。该暖海温可通过异常感热和潜热作用加热其上空大气,在其上空形成高压异常,进而激发波列向东传播(图 5)。本研究将暖异常和高压异常所在区域设置为 Li-Yang WRF 波射线通量的波源,可见该波列从北太平洋出发,经过北美,大西洋,欧洲,最后形成欧洲-乌拉尔山-西伯利亚地区形成“高-低-高”型副极地波列的,相应的位势高度场有利于寒潮开始较早。暖海温异常中心的位置差异,决定了其影响的主要区域。当海温暖异常位置偏西偏南时,更容易影响新疆寒潮的开始,位置偏东偏北时,更容易影响东北寒潮的开始。具体而言,与秋季西北寒潮开始密切相关的海温暖异常中心位于 170°E 附近,激发的波列整体位置也更偏西,波列从 180° 附近出发,高压中心位置分别位于北美西岸, 15°E 的欧洲和我国西北地区北部,造成西北地区寒潮开始较晚。而与东北地区寒潮开始日期密切相关的太平洋暖异常则位于 150°E 附近,且位置更加偏北,激发波列的高压中心位置则分别位于北美东岸, 40°E 的欧洲和东北地区的北部,造成东北地区寒潮开始较晚。

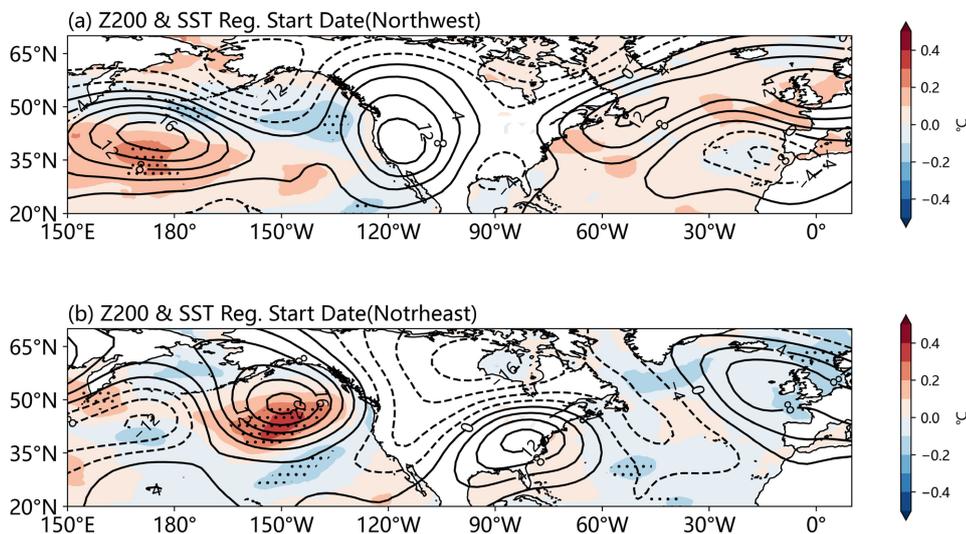


Figure 4. Regression of autumn 200 hPa hgt (contours, units: gpm) and sea surface temperature (SST) (shading, Unit: °C) on detrended cold surge start index of (a) Northwest China and (b) Northwest China during 1972~2021. Dotted areas denote SST anomalies significant at the 90% confidence levels

图 4. 1972~2021 年(a) 西北地区(b) 东北地区寒潮开始指数回归秋季 200 hPa 位势高度场(等值线, 单位: gpm)和海表温度(填色, 单位: °C), 打点区域为海表温度通过 90%置信水平

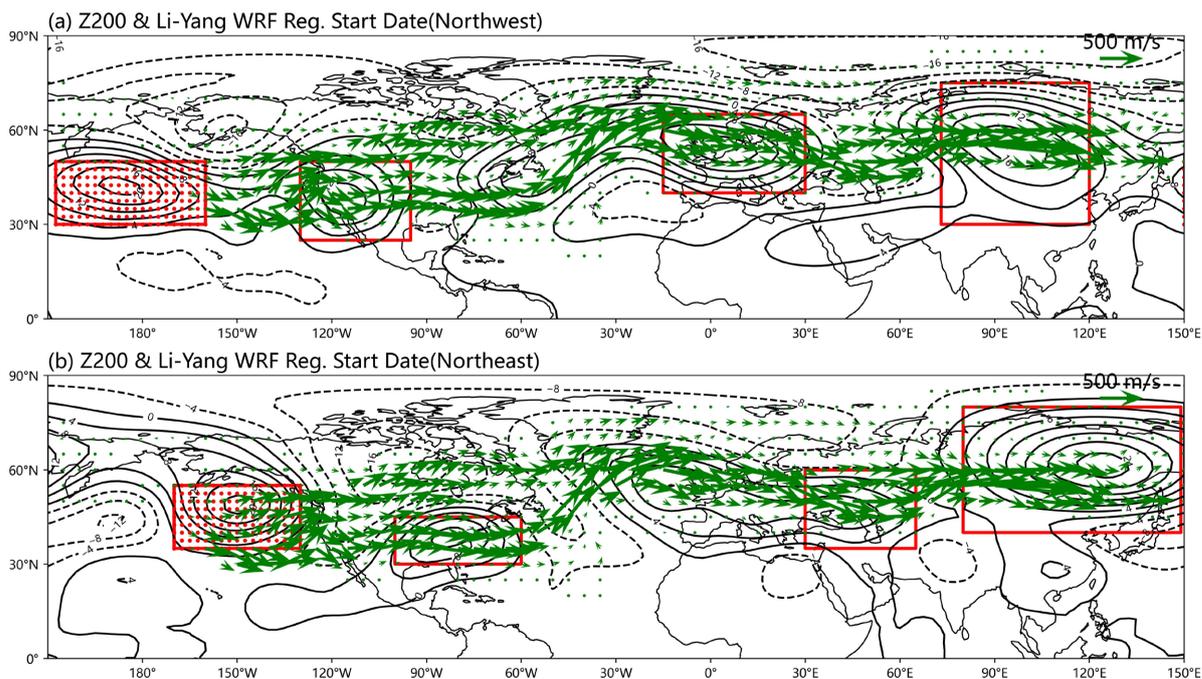


Figure 5. Regression of autumn 200 hPa hgt (contours, units: gpm) and Li-Yang WRF (vectors, Unit: m/s) on detrended cold surge start index of (a) Northwest China and (b) Northwest China during 1972~2021. Dotted areas denote the location of the Li-Yang WRF wave source, boxes denote the position of the high pressure

图 5. 1972~2021 年(a) 西北地区(b) 东北地区寒潮开始指数回归秋季 200 hPa 位势高度场(等值线, 单位: gpm)和 Li-Yang WRF (矢量, 单位 m/s), 红色打点区域为 Li-Yang WRF 波源所在位置, 红框为高压所在位置

3.3. 影响西北和东北寒潮结束的关键因子

为方便分析寒潮开始逐渐延后, 结束逐渐提前这一特征, 本研究将寒潮结束指数乘-1 进行转换。转

化后, 正位相为寒潮结束较早的位相, 即寒潮不易发生的位相。将西北和东北地区寒潮结束指数去趋势后回归春季(3~5月) 500 hPa 位势高度的结果如图 6 所示。在春季, 西北地区寒潮结束较早时, 我国北方中高纬度位势高度场呈现东西向的偶极子结构, 90°E 附近为异常高压, 130°E 附近为异常低压。西北地区位于异常高压的南侧, 受偏东风异常控制。此外, 袭击我国西北地区寒潮大多来自偏北和偏西方向, 高压西侧的偏南风异常也可较好阻止极地的冷空气南侵。当东北地区寒潮结束较早时, 东亚地区位势高度场呈现一个南北向的偶极子结构, 即西伯利亚地区存在高压异常, 而 30°~45°N 之间为低压异常。东北地区位于高低压系统间, 受强偏东风异常影响。此种环流模态同样不利于冷空气的南侵, 和寒潮的发生, 有利于东北地区寒潮提前结束。综上, 当西伯利亚地区高空出现异常高压时, 有利于我国寒潮提前结束; 若高压位于西北地区北部, 则西北地区寒潮结束较早; 若异常的高压位于东北以北地区, 则东北部地区寒潮结束较早。

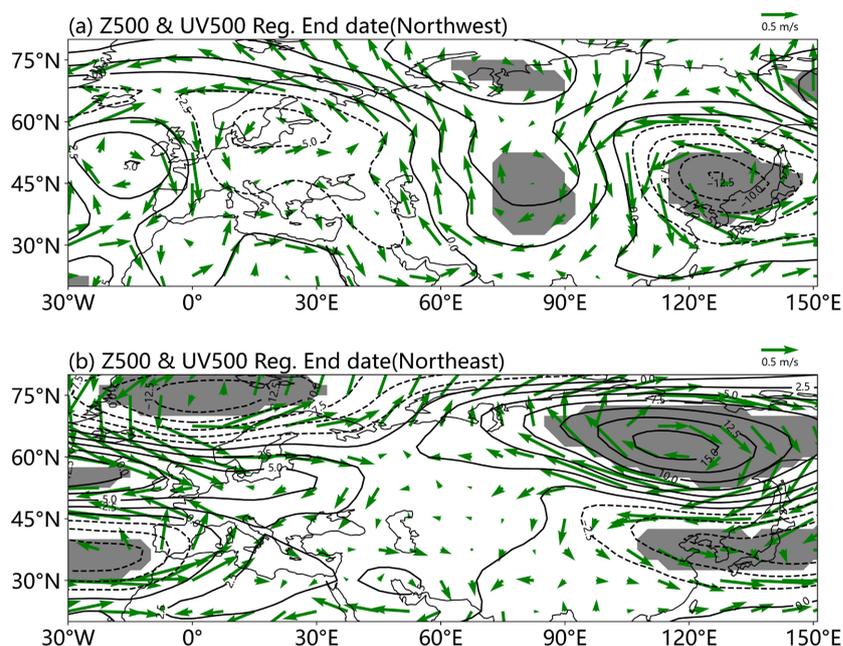


Figure 6. Regression of spring 500 hPa hgt (contours, units: gpm) and wind (vectors, Unit: m/s) on detrended cold surge end index of (a) Northwest China and (b) Northwest China during 1972~2021. Shaded areas denote hgt anomalies significant at the 90% confidence levels

图 6. 1972~2021 年(a) 西北地区(b) 东北地区寒潮结束指数回归春季 500 hPa 位势高度场(等值线, 单位: gpm)和风场(矢量, 单位: m/s), 阴影为位势高度通过 90%置信水平

进一步用去趋势的西北和东北地区寒潮结束指数回归 SST 场后(图 7), 发现影响寒潮结束的信号主要位于大西洋。大西洋海温呈现一个三级子的结构: 15°N 和 50°N 附近存在暖海温异常, 而在 45°N 附近为冷异常。海温异常可通过感热和潜热的异常影响大气, 在冷海温的上空诱发低压异常, 在暖海温上空诱发高压异常, 从而激发向下游传播的 Rossby 波(图 8)。该波列最终导致西伯利亚地区出现高压异常, 促使寒潮结束提前。海温异常位置的差异, 决定了其上空位势高度异常的差异, 进而波列同样存在位置差异。与西北地区寒潮结束较早相关的北侧的暖海温和中间冷海外位置均偏西, 呈现东北-西南向的分布, 由此激发的位势高度异常场呈现东西向的分布, 其波列沿亚欧大陆中纬度地区向东传播, 经过东欧后影响西北地区。而与东北地区寒潮结束较早相关的海温三级子位置则偏东和偏北, 冷暖海温异常呈现南北向分布。形成的位势高度异常场同样为南北向分布, 激发的波列位置偏北, 沿着副极地向东传播。最终在东北地区北部形成高压异常, 不利于冷空气南下, 造成寒潮结束较早。

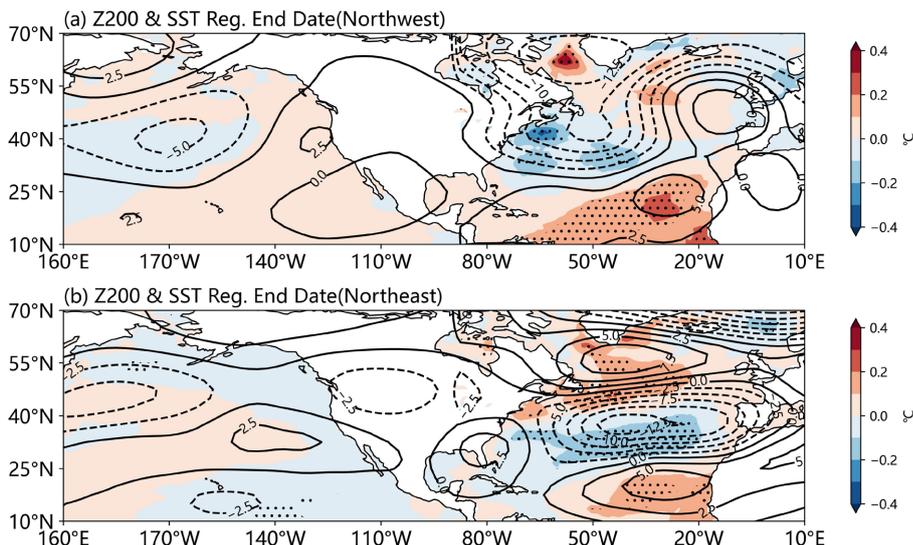


Figure 7. Regression of spring 200 hPa hgt (contours, units: gpm) and sea surface temperature (SST) (shading, Unit: °C) on detrended cold surge end index of (a) Northwest China and (b) Northwest China during 1972~2021. Dotted areas denote SST anomalies significant at the 90% confidence levels

图 7. 1972~2021 年(a) 西北地区(b) 东北地区寒潮结束指数回归春季 200 hPa 位势高度场(等值线, 单位: gpm)和海表温度(填色, 单位: °C), 打点区域为海表温度通过 90%置信水平

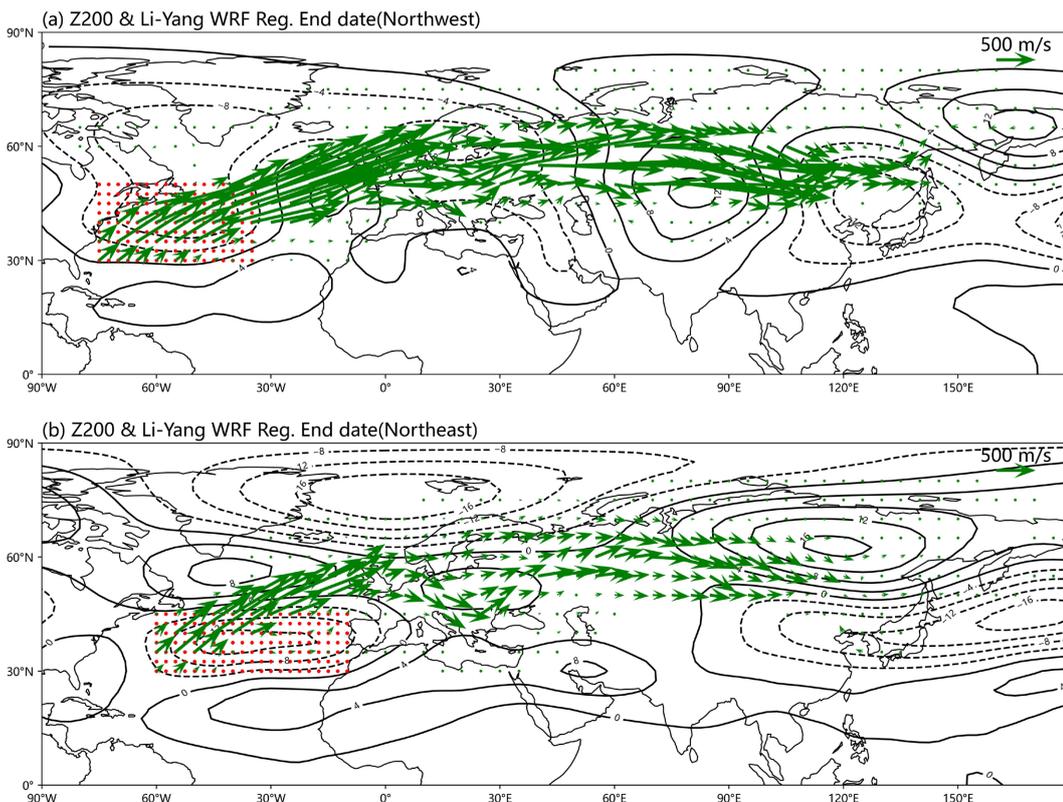


Figure 8. Regression of spring 200 hPa hgt (contours, units: gpm) and Li-Yang WRF (vectors, Unit: m/s) on detrended cold surge end index of (a) Northwest China and (b) Northwest China during 1972~2021. The red dotted areas denote the location of the Li-Yang WRF wave source

图 8. 1972~2021 年(a) 西北地区(b) 东北地区寒潮结束指数回归春季 200 hPa 位势高度场(等值线, 单位: gpm)和 Li-Yang WRF (矢量, 单位 m/s), 红色打点区域为 Li-Yang WRF 波源所在位置

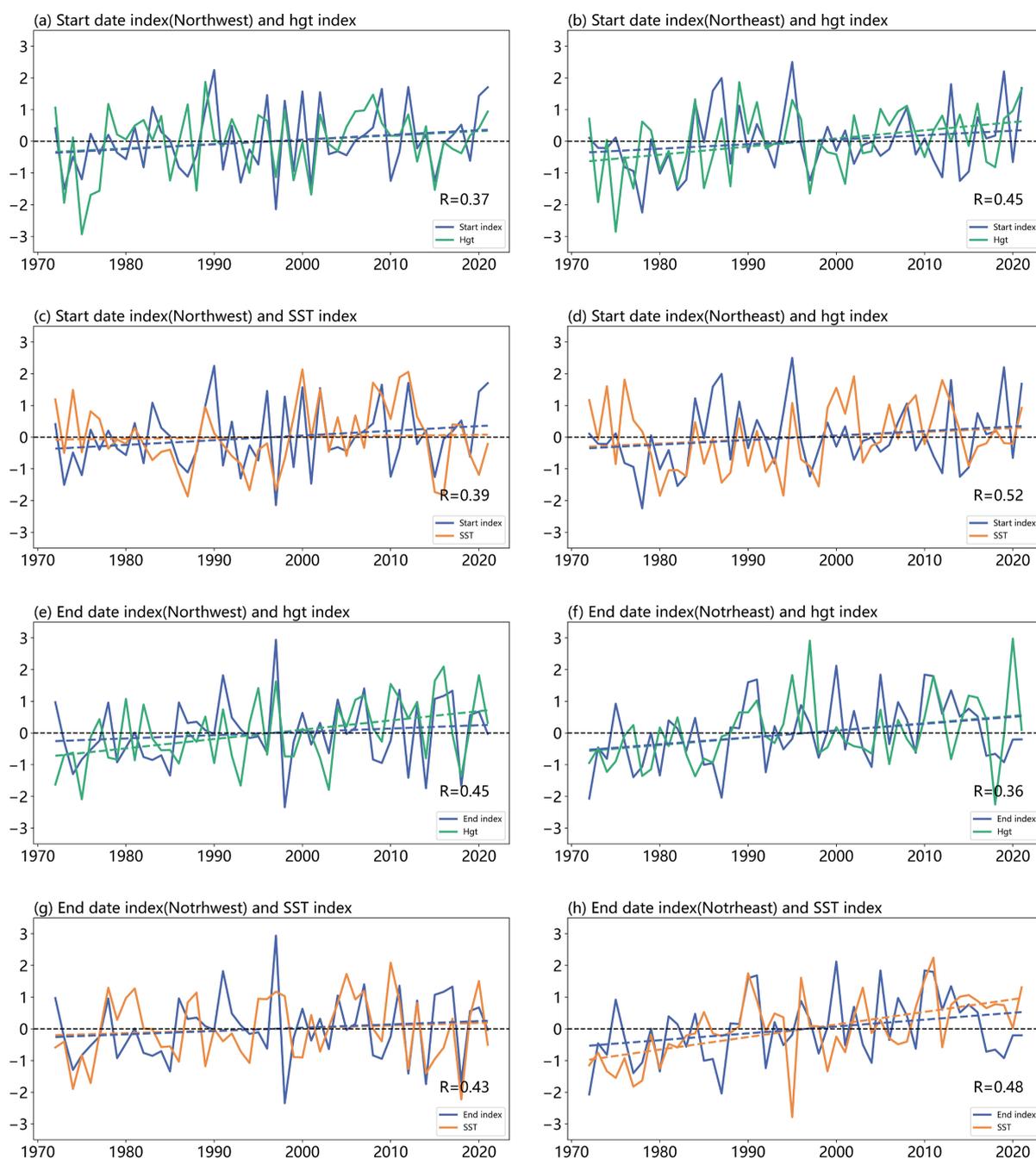


Figure 9. Cold surge start date index in Northwest China and (a) hgt index, (b) Pacific SST index in autumn; cold surge end date index and (e) hgt index, (g) Atlantic SST index in spring. (b, d, f, h) Same as (a, c, e, g), but for Northeast China. Dashed lines denote linear trends. The numbers in the lower-right corners indicate the interannual correlation coefficients after detrending (all are significant at the 95% confidence level)

图 9. 西北寒潮开始指数和秋季(a) 位势高度指数和(c) 太平洋 SST 指数; 西北寒潮结束指数和(e) 春季位势高度指数和(g) 大西洋 SST 指数; (b) (d) (f) (h) 同(a) (c) (e) (g), 但为东北地区寒潮指数。图中虚线为趋势线, 右下角为去趋势后年际变化部分的相关系数(图中的相关系数均超过 95%置信水平)

3.4. 寒潮开始和结束长期趋势的可能来源

前文分析了影响寒潮开始和结束年际变化的环流场, 下文则重点探讨开始延后, 结束提前这一趋势

的可能来源。分别选取了东北和西北地区寒潮开始指数回归太平洋海温异常中(图 4), 通过显著性检验的暖海温区域的海温平均减去冷海温区域的海温平均, 得到 1972~2021 年的秋季太平洋海温指数, 同理可得到春季大西洋海温指数。再分别用寒潮开始指数和结束指数回归秋季和春季 500 hPa 位势高度场(图 3, 图 6)中通过显著性检验区域的高压异常区域的位势高度平均值作为位势高度指数, 结束如图 9 所示。西北(东北)地区寒潮开始指数与秋季太平洋 SST 指数和位势高度指数的相关系数分别为 0.37 (0.45), 0.39 (0.52)。近些年, 全球海温都呈现增暖的趋势。大西洋和太平洋的增暖, 导致有利于寒潮开始偏晚(结束偏早)的海温模态出现频率增加。同时 PDO 在 21 世纪以来逐渐转为负位相也加增加了中太平洋暖海温异常模态出现的频率。上述海温出现频率的增加, 造成西伯利亚地区高压异常出现频率的增加, 最终造成了西北和东北地区寒潮开始逐渐延后, 结束日期逐渐提前。

4. 结论

本文利用 1972~2021 年我国站点数据, 分别计算东北和西北地区寒潮开始和结束日期, 并分析哪些要素可影响寒潮开始和结束早晚, 得出如下结论:

(1) 全球变暖背景下, 东北和西北地区寒潮活动呈现一致的长期变化趋势: 开始日期延后, 结束日期提前。

(2) 寒潮开始和结束的早晚主要受西伯利亚地区的高压异常的影响, 高压系统南侧激发的偏东风和偏南风不利于寒潮的开始并促进寒潮的结束。当高压位于西北(东北)地区以北时, 对应西北(东北)地区寒潮开始较晚, 结束较早。

(3) 西伯利亚地区高压异常的形成, 在秋季与太平洋的暖海温异常密切相关, 在春季则与大西洋冷海温异常相关。秋季太平洋暖海温可激发波列, 在西伯利亚地区表现为高压异常, 暖海温偏西(东)偏南(北)时, 高压位置同样偏西(东)偏南(北), 位于西北(东北)地区, 影响西北(东北)地区寒潮的开始。春季, 大西洋海温异常呈现三级子结构, 大西洋冷海外异常位于北美以东时, 激发的波列位置偏西, 在西北形成高压异常, 当冷海外位于大西洋中部时, 与北侧的暖异常相配合, 激发波列经过副极地传播到东北北部, 造成东北地区寒潮结束较早。

(4) 长期趋势归因分析表明, 太平洋和大西洋有利于寒潮开始较晚和结束较早的海温模态出现频率的增加, 推动了上述西伯利亚地区高压异常出现频率的增加, 造成寒潮开始延后, 结束提前。

基金项目

国家重点研发计划项目 2023YFF0805100。

参考文献

- [1] 郑山, 王敏珍, 史莹莹, 等. 低温寒潮对人体健康影响研究进展[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2011, 47(4): 44-48.
- [2] Añel, J., Fernández-González, M., Labandeira, X., López-Otero, X. and De la Torre, L. (2017) Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. *Atmosphere*, **8**, Article No. 209. <https://doi.org/10.3390/atmos8110209>
- [3] 满苏尔·沙比提. 南疆近 60a 来寒潮气候特征及其对农业生产的影响[J]. 自然资源学报, 2012, 27(12): 2145-2152.
- [4] Ma, T. and Chen, W. (2021) Climate Variability of the East Asian Winter Monsoon and Associated Extratropical-Tropical Interaction: A Review. *Annals of the New York Academy of Sciences*, **1504**, 44-62. <https://doi.org/10.1111/nyas.14620>
- [5] 王遵娅, 丁一汇. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能原因[J]. 大气科学, 2006, 30(6): 1068-1076.
- [6] 魏凤英. 气候变暖背景下我国寒潮灾害的变化特征[J]. 自然科学进展, 2008, 18(3): 289-295.

- [7] Qing, Y., Wu, J. and Luo, J. (2025) Characteristics and Subseasonal Prediction of Four Types of Cold Waves in China. *Theoretical and Applied Climatology*, **156**, Article No. 192. <https://doi.org/10.1007/s00704-025-05420-3>
- [8] 方修琦, 张学珍. 1951-2005 年中国大陆冬季温度变化过程的区域差异[J]. 地理科学, 2010, 30(4): 571-576.
- [9] 丁一汇. 中国自然地理系列专著: 中国气候[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [10] 王淼淼, 丁明虎, 吕俊梅, 等. 近 40 年中国冬季寒潮的气候特征及大气环流异常[J]. 应用气象学报, 2024, 35(3): 298-310.
- [11] 梁苏洁, 丁一汇, 赵南, 等. 近 50 年中国大陆冬季气温和区域环流的年代际变化研究[J]. 大气科学, 2014, 38(5): 974-992.
- [12] Zhang, J., Yue, P., Zhang, Q. and Wang, Z. (2023) Impact of Tropospheric Polar Vortex on Winter Cold Extremes over Northeast China. *Atmospheric Research*, **294**, Article ID: 106942. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106942>
- [13] Gao, W., Duan, K. and Li, S. (2021) A Spatial-Temporal Analysis of Cold Surge Days in Northern China during 1960-2016. *Natural Hazards*, **108**, 147-162. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04659-z>
- [14] Gao, W., Duan, K. and Li, S. (2019) Spatial-Temporal Variations in Cold Surge Events in Northern China during the Period 1960-2016. *Journal of Geographical Sciences*, **29**, 971-983. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1668-0>
- [15] 张辛, 张凌云. 近 54 年柳州市寒潮气候特征统计分析[J]. 气象研究与应用, 2016, 37(S1): 60-61.
- [16] 朱红芳, 余金龙, 邱学兴. 安徽省近 52 年寒潮的气候特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(S1): 116-121.
- [17] 任钊潼, 程清平, 金韩宇. 1961-2018 年横断山区寒潮时空变化及其影响因素[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2022, 47(11): 72-79.
- [18] 乔雪梅, 刘普幸. 中国北方地区寒潮时空特征及其成因分析[J]. 冰川冻土, 2020, 42(2): 357-367.
- [19] 王蕊, 林纾, 卢国阳, 等. 1961-2020 年新疆区域性强冷空气及寒潮时空分布特征[J]. 冰川冻土, 2024, 46(3): 850-860.
- [20] Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., et al. (1996) The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **77**, 437-471. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1996\)077<0437:tnyrp>2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:tnyrp>2.0.co;2)
- [21] 王遵娅, 司东, 段丽瑶. QX/T 393-2017 冷空气过程监测指标[S]. 北京: 气象出版社, 2017.
- [22] Yang, Y. and Li, J. (2025) Novel Monsoon Indices Based on Vector Projection and Directed Angle for Measuring the East Asian Summer Monsoon. *Climate Dynamics*, **63**, Article No. 210. <https://doi.org/10.1007/s00382-025-07696-7>
- [23] 李艳杰, 李建平. 水平非均匀基流中行星波的传播[J]. 地球物理学报, 2012, 55(2): 361-371.