

李丹华,杨扬,李红英,等. 京津冀地区 1961—2020 年冬季区域性寒潮过程特征和路径分析[J]. 陕西气象,2025(1):13-17.

文章编号:1006-4354(2025)01-0013-05

京津冀地区 1961—2020 年冬季区域性寒潮过程特征和路径分析

李丹华^{1,2}, 杨扬^{2,3}, 李红英⁴, 王兴丽⁵, 陈佩璇¹

(1. 兰州区域气候中心, 兰州 730020;

2. 中国气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点开放实验室, 西安 710016;

3. 兰州干旱气象研究所, 兰州 730020; 4. 甘肃省酒泉市气象局, 甘肃酒泉 735000;

5. 甘南藏族自治州气象局, 甘肃合作 747000)

摘要:利用 1961—2020 年冬季京津冀地区 126 站逐日最低气温、降水量资料及 ERA5 再分析资料,对京津冀地区冬季区域性寒潮天气过程进行气候特征和影响路径分析,结果表明:京津冀地区区域性寒潮过程一般持续 2~5 d,最低气温平均为 $-18.9\text{ }^{\circ}\text{C}$;近 60 a 共出现 52 次区域性寒潮天气过程,年际变化呈略减少趋势,气候趋势率为 $-0.1\text{ 次}/(10\text{ a})$,空间分布上,从南向北寒潮频次增加;1961—2020 年冬季京津冀地区共有 16 次较湿以上过程(区域平均降温幅度 $13.0\text{ }^{\circ}\text{C}$),31 次较干以上过程(区域平均降温幅度 $11.8\text{ }^{\circ}\text{C}$);通过 FLEXPART 模式对京津冀地区区域性寒潮过程路径进行分析发现,西北路径共 26 次、偏西路径 15 次、偏北路径 10 次、东北路径仅 1 次。

关键词:寒潮;干湿过程;路径;京津冀地区

中图分类号:P467

文献标识码:A

寒潮天气过程是一种大范围的强冷空气活动,是我国北方地区最主要的灾害性天气之一。近年来,国内外学者对寒潮爆发的移动路径以及影响寒潮爆发的潜在物理因子和物理机制做过许多分析。研究表明,冷空气的来源和形势场的不同会导致寒潮输送路径不同。目前,寒潮路径一般有:从西伯利亚中部经蒙古到我国河套地区的西北路径;从西伯利亚中部经蒙古到我国华北北部的偏东路径;从西伯利亚中部经新疆、青海、西藏高原东南侧南下的偏西路径;以及黄河、长江之间汇合的东路加西路路径^[1-3]。此外,不同的形势场影响下的寒潮天气强度、持续时间、影响范围均

存在差异^[4-10]。钱维宏等^[8]分析了 1960—2015 年我国寒潮时空变化特征,发现发生在我国的寒潮天气过程以北方(35°N 以北)最多,其次是中国东部的江南地区;段丽瑶等^[9]研究发现,环渤海地区寒潮次数虽明显减少,但极端寒潮事件并未减少;白松竹^[11]等研究表明,阿勒泰地区寒潮和强寒潮次数呈减少趋势。事实上大部分寒潮天气过程的爆发与欧洲或乌拉尔山阻塞高压衰退导致的横槽形成和转向有关,超过 40% 的寒潮天气由阻塞高压造成^[12-14];而大气环流的异常可以间接影响寒潮的发生,北极涛动(AO)偏强时,西太平洋副高偏弱,东亚高空西风急流偏弱,东亚大槽偏

收稿日期:2023-04-04

作者简介:李丹华(1991—),女,汉族,甘肃民乐人,硕士,工程师,从事气候监测预测和气候变化研究。

通信作者:杨扬(1988—),女,汉族,甘肃民乐人,硕士,副研究员,从事陆气相互作用研究。

基金项目:秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放基金课题(2022G-13);干旱气象科学研究基金项目(IAM202014);甘肃省气象局青年基金项目(Qn2025-C-19);中国气象局预报司预报员复盘总结专项(FPZJ2023-138);甘肃省青年科技基金计划项目(22JR5RA753)

弱,乌拉尔山阻高不易形成,不利于寒潮天气爆发^[12];在El Niño发展年,冬季亚洲上空的环流型呈现出东亚冬季风偏弱,同样不利于寒潮的向南爆发^[13]。此外,有研究发现,当北大西洋生成极端气旋并北移,附近大气层会出现异常增暖,中高纬度大气环流表现为乌拉尔阻高形成,极涡断裂,低压槽加深南压,我国就会发生寒潮天气^[13-15]。

京津冀地区寒潮天气秋季发生最多,冬季次之^[4],冬季是一年中寒冷的季节,寒潮天气对农业、经济等的影响更为严重。因此,基于站点观测资料和再分析资料,分析该地区1961—2020年冬季区域性寒潮过程的时空变化特征和路径,为防灾减灾和冬季寒潮天气的预测提供参考依据。

1 数据和方法

1.1 研究区域概况

京津冀地区位于我国华北地区环渤海心脏地带,行政范围包括北京市、天津市及河北省。京津冀地区是中国北方经济规模最大、最具活力的地区。区域人口约1.1亿,总面积21.8万km²。该区域属于温带半湿润半干旱大陆性气候区,多年平均降水量522 mm,多年平均气温10℃,降水量自东南向西北递减,地势由西北向东南倾斜,地貌类型多样,以平原为主。

1.2 数据来源

研究区内126个国家气象站1961—2020年冬季(12月—次年2月)逐日最低气温和降水量数据来源于甘肃省气象信息与保障中心,风速为欧洲中期天气预报中心(ECMWF)第五代大气再分析资料ERA5的200 hPa的*u*分量和*v*分量,空间分辨率为0.25°×0.25°。

1.3 寒潮标准与研究方法

根据国家标准《寒潮等级》(GB/T 21987—2017)^[16],寒潮分为寒潮、强寒潮、特强寒潮3个等级。单站寒潮指某地的日最低气温24 h内降温幅度≥8℃,或48 h内降温幅度≥10℃,或72 h内降温幅度≥12℃,而且该地日最低气温≤4℃的冷空气活动,48 h、72 h的日最低气温连续下降;强寒潮指某地的日最低气温24 h内降温幅度≥10℃,或48 h内降温幅度≥12℃,或72 h内降温幅度≥14℃,而且该地日最低气温≤2℃的

冷空气活动,48 h、72 h的日最低气温连续下降;超强寒潮指某地的日最低气温24 h内降温幅度≥12℃,或48 h内降温幅度≥14℃,或72 h内降温幅度≥16℃,而且该地日最低气温≤0℃,48 h、72 h的日最低气温连续下降的冷空气活动^[17]。

目前,区域性寒潮划分没有统一标准,在气候服务和评价中缺乏针对区域性寒潮降温过程的定量评估,本研究确定影响范围内超过30%以上的站点达到寒潮(强寒潮、超强寒潮)标准,且持续时间超过2d,判定发生了区域性寒潮(强寒潮、超强寒潮)^[4]。

1.4 寒潮路径追踪方法

寒潮冷空气路径的追踪采用基于拉格朗日算法的FLEXPART模式^[18],自区域性寒潮过程爆发当日向前追踪5 d,追踪起点为发生当日平均降温最大的方格中心,假设气团可用质点来代替,那么质点的轨迹方程为

$$\frac{dX(t)}{dt} = \dot{X}[X(t), t] \quad (1)$$

其中*X(t)*为*t*时刻的质点坐标, \dot{X} 为当前坐标下的风速。

算法中利用二阶形势的差分方程计算轨迹,则轨迹方程为

$$X(t_1) \approx X(t_0) + \frac{1}{2}(\Delta t) [\dot{X}(t_0) + \dot{X}(t_1)] \quad (2)$$

其中Δ*t*是时间步长,方程的解可以通过如下迭代方法:

$$X^1(t_1) \approx X(t_0) + (\Delta t) \dot{X}(t_0), \quad (3)$$

$$X^2(t_1) \approx X(t_0) + \frac{1}{2}(\Delta t) [\dot{X}(t_0) + \dot{X}^1(t_1)], \quad (4)$$

.....

$$X^i(t_1) \approx X(t_0) + \frac{1}{2}(\Delta t) [\dot{X}(t_0) + \dot{X}^{i-1}(t_1)] \quad (5)$$

(1)~(5)式中,上标*i*表示迭代次数,*t*₁是*t*₀的前一天。当等式右侧的两个迭代项之间的差值小于某一特定值,迭代则结束,此时可以确定寒潮冷空气的轨迹。

利用 200 hPa u 分量和 v 分量,首先找到寒潮过程降温幅度最大的经度和纬度,利用公式(3)得到前一日质点位置经纬度,依次类推向前追踪 5 d 得到寒潮路径。

2 结果分析

2.1 区域性寒潮频次的时空变化特征

京津冀地区近 60 a 来区域性寒潮过程共发生 52 次,1965、1966、2008 年最多,均为 3 次;区域性寒潮频次年际变化呈减少趋势(图 1),气候趋势率为 -0.1 次/(10 a);平均每隔 1 a 发生 1~2 次区域性寒潮天气过程。

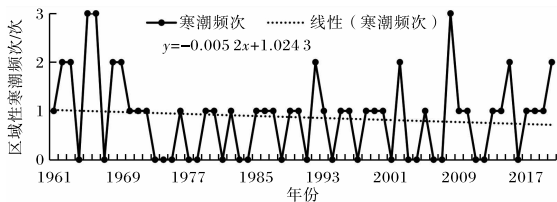


图 1 1961—2020 年京津冀地区冬季区域性寒潮过程频次年际变化

从年代际分布(表略)来看,1960 年代和 2000

年代区域性寒潮频次多于其他年代。1960 年代最多为 13 次,1970 年代和 1980 年代均为 7 次,1990 年代和 2000 年代为 9 次,2010—2020 年为 8 次。区域性强寒潮过程在 1960 年代和 1970 年代出现 2 次,在 1980 年代和 1990 年代为 3 次,2000 年代为 2 次,2010—2020 年没有出现;区域性超强寒潮过程在 1961—1990 年每 10 a 发生 1 次,1990—2020 年没有出现。

从区域性寒潮过程相关性特征(表略)来看,持续日数与达到寒潮标准站数、最大降温幅度相关系数分别为 0.76、0.42(通过 0.05 的显著性检验),说明强度越强,持续日数越久,影响范围越大,降温幅度亦越大。从区域性寒潮过程频次和最大降温幅度空间分布(图 2)来看,1961 年以来,冬季区域性寒潮过程频次由南向北增加,寒潮出现时区域内最大降温幅度偏北地区较大,最大降温 21.4°C 。在 52 次区域性寒潮过程中,持续日数在 2~5 d 之间,其中有 25 次持续 2 d,占比 48%,21 次持续 3 d,占比 40%,5 次持续 4 d,1 次持续 5 d。

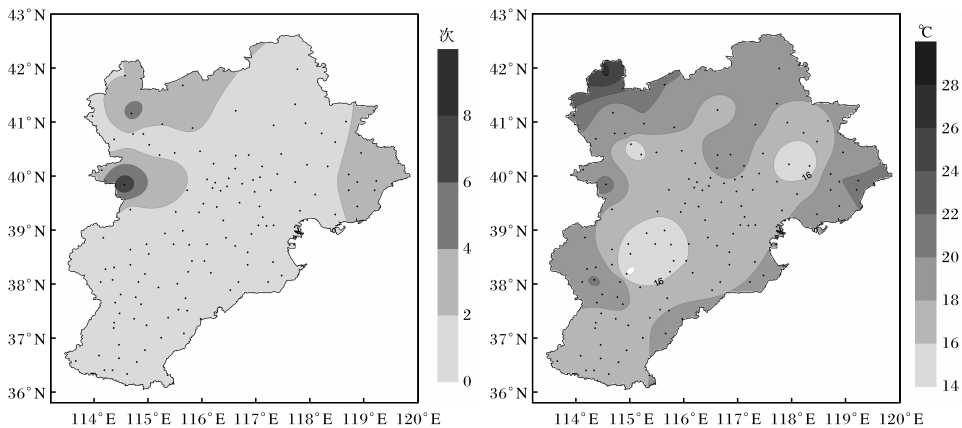


图 2 1961—2020 年区域内冬季平均区域性寒潮过程频次和平均最大降温幅度空间分布(黑点代表站点;审图号为 GS(2016)1610 号)

2.2 干湿过程定义及其特征

参照有关寒潮干湿判别标准^[4],定义区域性寒潮干湿特征的判别指标 I_{DW} ,计算公式为 $I_{\text{DW}} = (r - r_0)/s$,式中 r 为某次寒潮过程中所有达到寒潮标准站的降水量平均值, r_0 和 s 分别为 1961—2020 年冬季 52 次寒潮过程降水量的平均值和标准差。区域性寒潮干湿级别根据判别指标 I_{DW} 划

分: $\leq -50\%$ 为干过程, $(-50\%, -20\%]$ 为较干过程, $(-20\%, 20\%)$ 为正常过程, $[20\%, 50\%)$ 为较湿过程, $\geq 50\%$ 为湿过程。

对 16 次较湿过程、湿过程(简称“较湿以上过程”)和 31 次干过程、较干过程(简称“较干以上过程”)的最大降水量、区域平均降温幅度进行对比分析(图 3)。整体上,较湿以上过程的区域平均

表 1 京津冀地区 1961—2020 年冬季各月区域性寒潮过程 单位:次

月份	总频次	干过程	较干过程	正常过程	较湿过程	湿过程
12	17	8	1	3	4	0
1	21	7	5	1	5	4
2	14	6	4	1	3	0
冬季	52	21	10	5	12	4

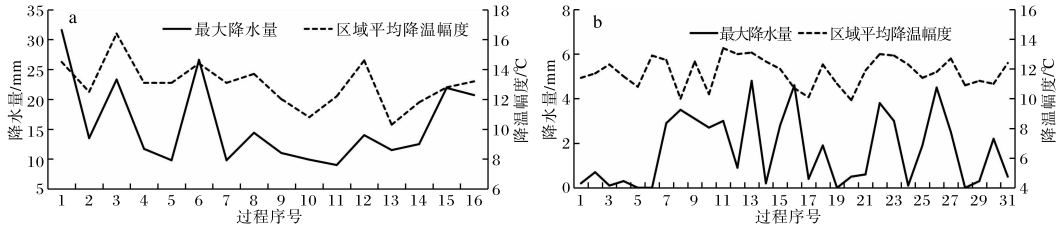


图 3 1961—2020 年京津冀地区冬季 16 次区域性较湿以上过程(a)和 31 次区域性较干以上过程 (b)区域平均降温幅度、最大降水量分布图

降温幅度大于较干以上过程,二者降温幅度均值分别为 13.0 °C 和 11.8 °C,较湿以上过程降温幅度与降水量比较干以上过程有更好的相关性,区域平均降温幅度与平均降水量和最大降水量的相关系数分别为 0.61、0.63,较干以上过程相关系数分别为 0.11、0.23(均通过 0.05 的显著性检验)。

2.3 寒潮路径分析

利用拉格朗日算法的 FLEXPART 模式,对京津冀地区 52 次区域性寒潮过程路径(图 4)分析发现:有 26 次过程为西北路径,冷空气主要来自

新地岛以西的白海、巴伦支海经西部西伯利亚、蒙古进入;有 15 次过程为偏西路径,冷空气在南欧大陆自西向东经新疆、蒙古影响京津冀地区;有 10 次过程为偏北路径,冷空气自新地岛以东喀拉海或新西伯利亚进入亚洲北部,自北向南经蒙古影响京津冀地区;有 1 次东北路径,冷空气自西伯利亚东部进入。其中,西北路径发生频次最高,偏西和偏北路径次之,东北路径最少。西北路径、偏西路径、偏北路径寒潮过程的最低气温平均分别为 -18.8 °C、-19.9 °C、-17.4 °C,最大降温幅度分别为 12.0 °C、12.8 °C、12.2 °C。

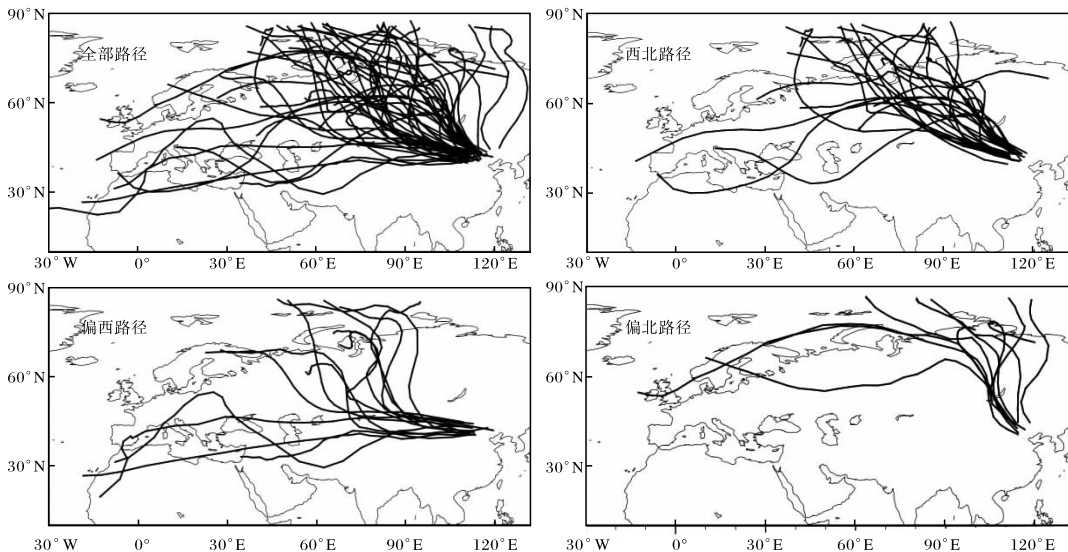


图 4 1961—2020 年冬季京津冀地区区域性寒潮过程路径

3 结论

(1) 1961—2020 年冬季京津冀地区共发生 52 次区域性寒潮天气过程,一般持续 2~5 d,最低气温平均为 $-18.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,平均最大降温幅度为 $12.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。京津冀地区冬季寒潮频次呈减少趋势,气候趋势率为 $-0.1\text{ 次}/(10\text{ a})$ 。寒潮持续日数与达到寒潮标准站数、最大降温幅度相关系数分别为 0.76、0.42(通过 0.05 的显著性检验);从空间分布来看,寒潮频次由南向北增加。

(2) 京津冀地区区域性寒潮天气过程共有 16 次较湿以上过程,31 次较干以上过程。整体上,较湿以上过程的区域平均降温幅度($13.0\text{ }^{\circ}\text{C}$)大于较干以上过程($11.8\text{ }^{\circ}\text{C}$),较湿以上过程气温和降水量比较干以上过程有更好的相关性,区域平均降温幅度与平均降水量和最大降水量的相关系数分别为 0.61、0.63,较干以上过程相关系数分别为 0.11、0.23(均通过 0.05 的显著性检验)。

(3) 京津冀地区 52 次区域性寒潮过程中,26 次为西北路径,15 次为偏西路径,10 次为偏北路径,1 次为东北路径。其中,西北路径发生频率最高,偏西和偏北路径次之,东北路径最少。

参考文献:

- [1] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理与方法[M]. 3 版. 北京:气象出版社,2000.
- [2] 黄丹,耿焕同,谢佩妍. 欧亚遥相关型位相变化对我国寒潮路径的影响[J]. 大气科学学报, 2021,44(6):888-897.
- [3] 白寒冰. 1990-2011 年影响我国华北地区的寒潮冷空气路径变化及其可能机理[D]. 南京:南京信息工程大学,2018.
- [4] 李红英,林纾,王云鹏,等. 1961—2017 年京津冀地区寒潮活动特征[J]. 干旱气象, 2022,40(1):41-48.
- [5] 时盛博,张调风,马占良,等. 青藏高原东北部寒潮

- 次数时空变化特征研究[J]. 冰川冻土, 2020,42(4):1169-1178.
- [6] 博尔楠,赵江伟,红都孜,等. 近 64 a 阿勒泰市春季不同等级寒潮过程气候特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020,14(6):85-91.
- [7] 刘美娇,李颖,孙美平. 1961—2018 年河西走廊寒潮频次时空变化特征及其环流影响因素研究[J]. 冰川冻土, 2020,42(3):801-811.
- [8] 钱维宏,张玮玮. 我国近 46 年来的寒潮时空变化与冬季增暖[J]. 大气科学, 2007,31(6):1266-1278.
- [9] 段丽瑶,刘爱霞,于莉莉. 1961—2010 年环渤海地区寒潮时空分布及变化特征[J]. 气象与环境学报, 2013,29(4):54-58.
- [10] 王丹,张林梅. 阿勒泰地区一次强寒潮天气过程诊断分析[J]. 陕西气象, 2017(2):7-11.
- [11] 白松竹,博尔楠·哈不都拉,谢秀琴. 气候变暖背景下阿勒泰地区寒潮活动变化特征[J]. 冰川冻土, 2015,37(2):387-394.
- [12] 杜莉丽,刘嘉慧敏,张黎,等. 陕西 2018 年 4 月强寒潮天气过程决策服务探讨[J]. 陕西气象, 2019(5):53-56.
- [13] 胡思乐,李艳,方从羲,等. 乌拉尔山阻塞高压和西伯利亚高压协同作用与东亚冬季风之间的联系[J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2018,54(4):440-452.
- [14] 李艳. 欧亚大陆关键区阻塞高压及其与我国冬季灾害性天气气候关系的研究[D]. 兰州:兰州大学, 2010.
- [15] 张琳,吕俊梅,丁明虎. 2015 年初北极极端气旋对中国寒潮的影响[J]. 应用气象学报, 2020,31(3):315-327.
- [16] 寒潮等级:GB/T 21987—2017[S].
- [17] 冷空气过程监测指标:QX/T 393—2017[S].
- [18] STOHL A. Computation, accuracy and applications of trajectories: A review and bibliography[J]. Atmos Environ, 1998,32(6):947-966.