

DOI:10.7522/j.issn.1000-0240.2022.0362

XU Liling, KANG Hengyuan, PAN Mingxi, et al. Characteristics analysis of extremely cold weather in the Greater Khingan Mountains region [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2022, 44(6):1748–1756. [许丽玲, 康恒元, 潘明溪, 等. 大兴安岭地区极寒天气特征分析[J]. 冰川冻土, 2022, 44(6):1748–1756.]

## 大兴安岭地区极寒天气特征分析

许丽玲<sup>1</sup>, 康恒元<sup>2</sup>, 潘明溪<sup>3</sup>, 韩凤岐<sup>1</sup>, 沈月钊<sup>4</sup>, 喻文兵<sup>5</sup>, 张秀红<sup>3</sup>

(1. 漠河市气象局, 黑龙江 漠河 165399; 2. 哈尔滨市气象局, 黑龙江 哈尔滨 150001; 3. 呼兰区气象局, 黑龙江 呼兰 150025; 4. 五常市气象局, 黑龙江 五常 150200; 5. 重庆交通大学, 重庆 400074)

**摘 要:** 极寒天气对大兴安岭地区冬季生产生活有重要影响。本文利用大兴安岭地区1974—2021年极寒天气时地面观测站日最低气温数据, 月环流指数资料, 采用气候统计方法, 分析极寒日数和极端最低气温的时空分布及变化特征; 用Mann-Kendall方法、Morlet小波分析检验极寒日数和极端最低气温的突变和周期; 用经验频率方法计算极端最低气温的重现期; 采用相关法分析对极寒日数有显著影响的环流因子。结果表明: (1) 大兴安岭地区极寒日数空间分布不均匀, 由西北向南逐渐减少, 极寒日数最多是呼中717 d, 最少是加格达奇29 d, 全区极寒日数在1979年发生突变, 突变后年平均极寒日数比突变前减少14.2 d, 年极寒日数存在2~4年显著周期; (2) 全区极端最低气温在1990年发生突变, 突变之前极端最低气温偏低, 之后开始上升, 年极端最低气温的显著周期是4~5年, 极端最低气温-49.6℃, 出现在漠河, 其次是呼中-49.2℃; 两年一遇、五年一遇、十年一遇的极端最低气温出现在呼中, 二十年一遇、五十年一遇、百年一遇的极端最低气温出现在漠河; (3) 斯堪的纳维亚遥相关型与大兴安岭地区冬季(12月和次年1、2月)极寒日数相关性很好, 呈正向增长的环流模态, 对大兴安岭地区冬季的极寒天气变化影响较大。

**关键词:** 极端最低气温; 极寒天气; 极寒日数

**中图分类号:** P458 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2022)06-1748-09

## 0 引言

21世纪以来, 随着北极地区的迅速升温<sup>[1-3]</sup>, 整个欧亚大陆和美国东部地区都出现了降温趋势<sup>[4-8]</sup>, 北半球中高纬度大陆地区在冬季经历了频繁的、更严重的极端严寒天气<sup>[2-4, 9-11]</sup>。例如2009—2010年冬季北美和欧亚大陆的严寒、2013—2014年冬季北美暴雪、2015—2016年冬季中国霸王级寒潮<sup>[12-16]</sup>、2020—2021年中国跨年寒潮<sup>[17]</sup>, 2021年初欧洲的大部分地区陷入低温和冰雪状态, 造成至少24人死亡, 美国的很多州都经历了零下十几度的极端天气, 给美国人民的生活带来极大困难<sup>[18]</sup>。极端冷事件的频发重新塑造了公众对变暖背景下冬季的看法, 极端冷暖事件频发且强度增大已成为新常态(国家气候中心)。关于极端冷事件变化的成因研

究以及极端冷事件的发生离不开高纬度的冷空气向南侵入中纬度地区<sup>[19-20]</sup>, 而冷空气的南侵又与中高纬度的环流异常息息相关, 如中纬度地区的阻塞高压(通常持续时间为几日到几周)的建立和崩溃控制冷空气的活动<sup>[21-25]</sup>。具体来说, 冬季乌拉尔山—西伯利亚地区的阻高可能促使东亚冬季风变得更强<sup>[26]</sup>, 进而使得东亚发生更多的极端冷事件<sup>[27-28]</sup>。另一方面, 欧亚遥相关型(EU)、斯堪的纳维亚遥相关型(SCAND)、东大西洋—西俄罗斯遥相关型(EATL/ERUS), 三种遥相关型对北半球冬季的变化影响比较大, 1979年之后SCAND对北半球气温的影响有很大加强, 主要表现为其正(负)位相引起的极区增温范围明显扩大, 欧亚大陆北部的温度负(正)中心显著向东南方向延伸, 甚至可以影响到我国长江流域<sup>[29]</sup>, 这些典型的异常环流型对于区域极

收稿日期: 2022-03-22; 修订日期: 2022-08-22

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFA0605603); 黑龙江省自然科学基金联合引导项目(LH2019D013); 黑龙江省经济社会发展重点研究项目(22130)资助

作者简介: 许丽玲, 高级工程师, 主要从事短期天气预报和气象服务. E-mail: mhxll@126.com

端冷事件的发生有着至关重要的影响<sup>[30-31]</sup>。从动力学角度出发,基于自组织映射神经网络方法对北半球中高纬度陆地的环流进行环流分型,发现该地区极端温度事件的变化趋势与其环流型的变化有关,使得近些年来中高纬度地区极端冷事件频发<sup>[32]</sup>。大兴安岭地区位于中国最北,纬度最高,也是我国离极地最近的地区,每年冬季受极地冷空气南下影响,给大兴安岭地区带来寒潮、降温,出现极寒天气。2021年1月27日—2月1日,大兴安岭地区遭遇入冬以来最强寒潮,此次寒潮强度大、范围广、持续时间长。呼中站最低气温 $-47.0^{\circ}\text{C}$ ,为41年来历史同期最低,也是大兴安岭地区1974年以来第12个极端最低温,呼玛站最低气温 $-45.0^{\circ}\text{C}$ ,为40年以来历史同期最低;漠河站 $-46.2^{\circ}\text{C}$ ,为20年来历史同期最低;新林、塔河最低气温分别为 $-45.6^{\circ}\text{C}$ 、 $-44.2^{\circ}\text{C}$ ,分别为建站以来最低气温第2位、第5位。极寒天气常伴有冰雾现象出现,气温越低,能见度越低,是一种双重危害的极恶劣天气,这种气温极低恶劣的天气环境,直接影响人们的正常生活和工作,已成为制约大兴安岭地区社会发展的重要因素。

为减轻和防御极寒天气的影响,首先就要做好灾害预报预警工作,把保障公众生命财产安全作为防灾减灾的首要任务。为进一步研究大兴安岭

地区极寒天气特征,本文利用大兴安岭地区48年(1974—2021年)极寒观测资料,分析极寒天气时空分布和变化特征,以及影响极寒天气的环流指数,为大兴安岭地区防灾减灾以及冷资源的利用提供科学依据。

## 1 研究区与数据

### 1.1 研究区概况

大兴安岭地区位于 $121^{\circ}12'\sim 127^{\circ}00'\text{E}$ , $50^{\circ}10'\sim 53^{\circ}33'\text{N}$ (图1),大兴安岭东与小兴安岭毗邻,西以大兴安岭山脉为界与内蒙古自治区接壤,南濒广阔的松嫩平原,北以黑龙江主航道中心线与俄罗斯为邻。面积 $8.46\times 10^4\text{ km}^2$ ,海拔300~700 m。全区地势呈西高东低,地形总势呈东北—西南走向,属浅山丘陵地带,境内原始森林茂密,是我国重要的林地之一。大兴安岭地区属寒温带大陆性季风气候,冬季受西伯利亚冷空气的影响,在极地大陆气团和蒙古高压控制下,冬季漫长严寒而干燥,昼短夜长。大兴安岭地区有6个国家气象观测站,历史上极端最低气温(图1):漠河 $-52.3^{\circ}\text{C}$ (1969年)、呼中 $-49.2^{\circ}\text{C}$ (1979年)、呼玛 $-48.2^{\circ}\text{C}$ (1956年)、新林 $-46.9^{\circ}\text{C}$ (1980年)、塔河 $-45.8^{\circ}\text{C}$ (1980年)、加格达奇 $-45.4^{\circ}\text{C}$ (1980年),冬季低温寒冷是大兴安岭地区的典型天气特征。

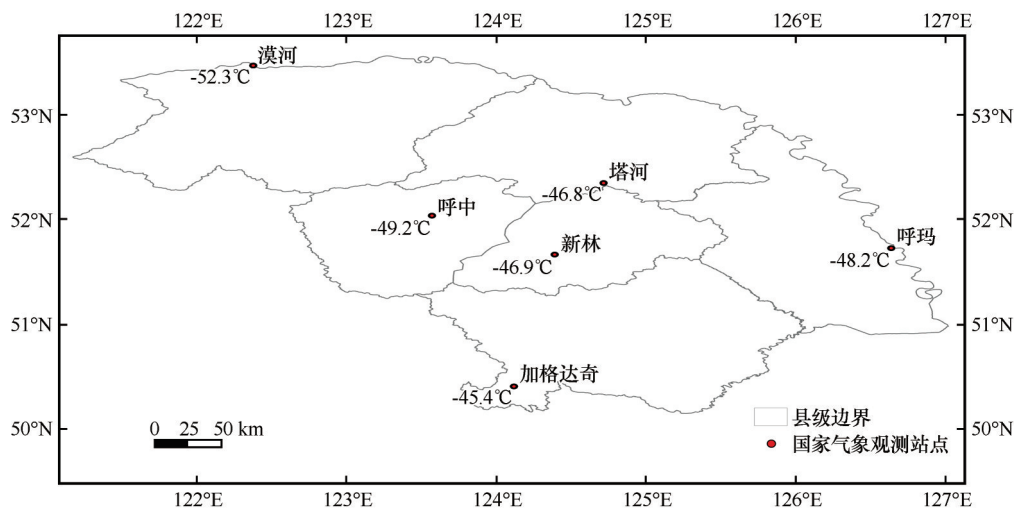


图1 大兴安岭地区6个国家气象观测站历史极端最低气温

Fig. 1 Historical extreme minimum temperature at 6 national meteorological stations in the Greater Khingan Mountains region

### 1.2 数据与方法

利用世界气象组织(World Meteorological Organization, WMO)在气候变化监测会议中所定义的极端气温指数,极端最低气温是年内各月日最低

气温最低值<sup>[33]</sup>。选取大兴安岭地区6个国家地面观测站冬季日最低气温( $\leq -40^{\circ}\text{C}$ )数据,日最低气温 $\leq -40^{\circ}\text{C}$ 的天气为极寒天气,所用最低气温数据来自黑龙江省气象观测站网,时间尺度为日,时间序

列 1974—2021 年,由于漠河本站建站较晚,漠河站使用北极村数据;环流指数选取冬季(1、2、12 月)月资料,源自国家气候中心业务使用的 88 个环流指数。

极端最低气温重现期的计算基于经验频率方法,极寒天气突变分析使用 Mann-Kendall 方法,周期分析使用 Morlet 小波分析,相关显著性使用  $P=0$  的临界值检验<sup>[34]</sup>,通过对大气环流指数与极寒日数(1、2、12 月)做相关性分析,找出主要影响大兴安岭地区冬季极寒天气的环流因子。

## 2 结果与分析

### 2.1 极寒天气分布

#### 2.1.1 极寒日数空间分布

1974—2021 年大兴安岭地区 6 个国家站逐日资料统计分析(表 1),全区共出现极寒日数 904 d(各

站不重复日数)。极寒日数空间分布从西北向南减少十分明显,西北部呼中出现极寒日数最多,共 717 d,其次是漠河 645 d,中部地区新林 187 d、塔河 156 d,东南部呼玛 148 d,南部加格达奇出现极寒日数最少是 29 d,年平均极寒日数西北部比南部多 13.6 d(表 1),大兴安岭地区极寒日数存在明显的空间差异。

#### 2.1.2 极寒日数旬分布

1974—2021 年大兴安岭地区极寒天气发生频次最多月份是 1 月,占 46.7%,最少月份为 3 月,占 1.7%,从图 2 可以看出,大兴安岭地区自 11 月中旬至次年 3 月中旬均有极寒天气出现,但主要集中在 12 月上旬至 2 月下旬,极寒天气以 1 月中旬出现最多,共 154 d,1 月下旬次多,出现 150 d,进入 2 月份极寒天气开始明显减少,春季天气回暖 3 月中旬仅为 2 d,11 月中旬是极寒天气初发期,仅出现 1 d。

表 1 1974—2021 年大兴安岭地区极寒日数

Table 1 Number of extreme cold days in the Greater Khingan Mountains region from 1974 to 2021

日数	全区	呼中	漠河	新林	塔河	呼玛	加格达奇
极寒日数/d	904	717	645	187	156	148	29
年平均极寒日数/d	18.8	14.9	13.4	3.9	3.3	3.1	0.6

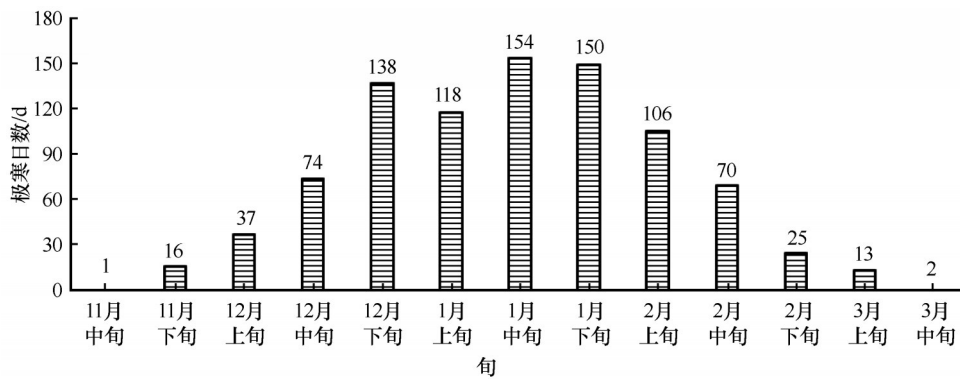


图 2 大兴安岭地区 1974—2021 年各旬极寒日数

Fig. 2 Distribution of extreme cold days in each ten-day period from 1974 to 2021 in the Greater Khingan Mountains region

#### 2.1.3 极寒天气时间分布

1974—2021 年大兴安岭地区极寒天气出现最早的日期是 2000 年 11 月 17 日 $-40.3^{\circ}\text{C}$ (漠河),结束最晚的日期是 1985 年 3 月 12 日 $-40.7^{\circ}\text{C}$ (漠河)。在一日当中最早出现极寒天气的时间是 17:00(北京时,下同),最晚结束时间是次日 12:00,主要出现在漠河站和呼中站。在一日 17:00—23:00,00:00—12:00 均有极寒天气出现,仅 13:00—16:00 时段没有出现,极寒天气主要出现在 03:00—09:00,以 07:00

出现频率最多,08:00 出现频率为次多,11:00—12:00 和 17:00—20:00 偶尔有极寒天气出现,21:00—23:00 是极寒天气开始增多的时段。

### 2.2 极寒天气变化特征

#### 2.2.1 极寒日数年际变化

1974—2021 年大兴安岭地区极寒日数,发生的频次存在着明显的年代际变化(图 3),从 20 世纪 70 年代中期至 21 世纪 20 年代初期是逐步呈递减的趋势,其倾向率为 $-2.88\text{ d}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (通过 0.01 显著性检

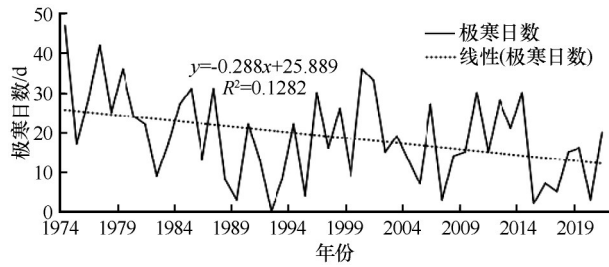


图3 大兴安岭地区极寒日数年际变化

Fig. 3 Interannual variation of extreme cold days in the Greater Khingan Mountains region

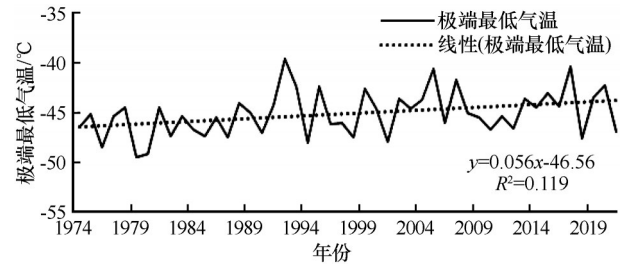


图4 大兴安岭地区极端最低气温年际变化

Fig. 4 Interannual variation of extreme minimum temperature in the Greater Khingan Mountains region

验),在20世纪70年代末之前冬季极寒天气发生频繁,之后极寒天气呈减少趋势。极寒日数年际变化率较大,1974年为大兴安岭地区极寒天气发生频次最多的一年47 d,而1992年没有出现极寒天气。48年中高于极寒天气距平值(19 d)的年份占46%,2008—2014年极寒天气又有小幅增多,但小于1981年之前,极寒日数减少最为明显是1988—1993年,比年平均极寒日数偏少10 d,这和1988年中国北方地区近50年来最低气温变暖突变相一致<sup>[35]</sup>。

### 2.2.2 极端最低气温年际变化

年极端最低气温从20世纪70年代中期至21世纪20年代初期是逐步呈上升趋势(图4),相对峰值升高趋势比相对谷值升高趋势明显,其倾向率为 $0.55\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ (通过0.05显著性检验),从《东北区域气候变化评估报告:2020决策者摘要》发布的数据显示来看,和东北区域(1961—2017年)极端最低气温以 $0.63\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{a})^{-1}$ 的速率升高趋势一致,大兴安岭地区年极端最低气温升高趋势明显。48年平均极端

最低气温 $-45.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,低于年平均极端最低气温年份占50%,年极端最低气温 $-49.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,出现在1979年漠河站,除了1992年极端最低气温 $-39.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之外,其他47年极端最低气温均达到极寒天气。48中年极端最低气温极值57%出现在呼中,其次是漠河,占43%。年极端最低气温升高最明显是1992年,比1979年偏高 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在全球气候变暖背景下,大兴安岭地区2018—2021年中有两年极端最低气温 $\leq -47.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,可见极端低温天气气候事件发生频率明显。

### 2.2.3 极端最低气温旬变化

从1974—2021年11—3月旬极端最低气温(图5),大兴安岭地区极寒天气从11月中旬开始,3月中旬结束。极端最低气温 $-49.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,出现在1月上旬和1月下旬,其次是1月中旬 $-49.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。11月中旬至1月上旬极端最低气温逐渐递减趋势,1月中旬极端最低气温略高于上旬和下旬,1月下旬至3月中旬极端最低气温逐渐上升趋势(除2月中旬略高2月下旬),年极端最低气温多出现在12月下旬和1月下旬。

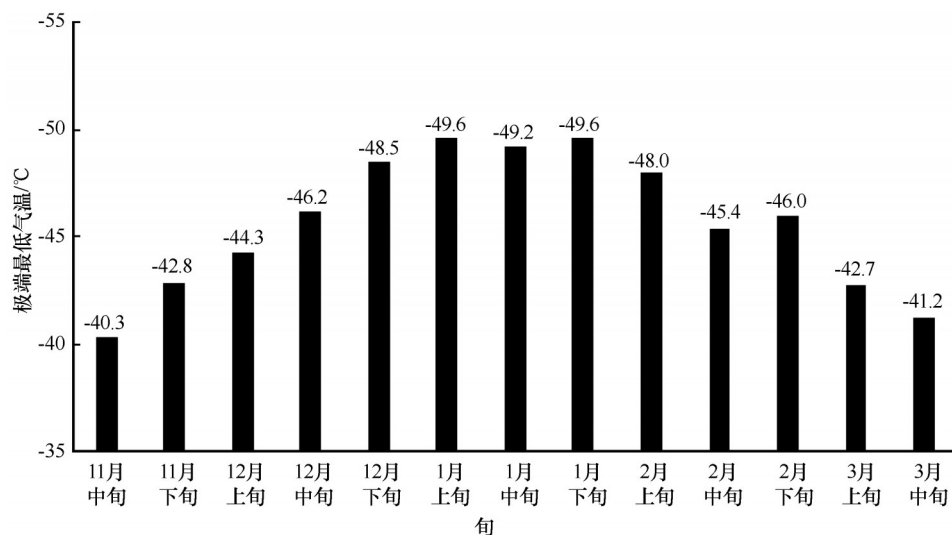


图5 大兴安岭地区极端最低气温旬变化

Fig. 5 Ten-day variation of extreme minimum temperature in the Greater Khingan Mountains region



旬,占48年19%,2月下旬最少,占4%,年极端最低气温几乎不出现在3月和11月。

### 2.3 极端最低气温重现期

根据大兴安岭地区1974—2021年各站资料,统计每年出现的极端最低气温,计算出极端最低气温的重现期(表2),6个国家站中有5个站两年一遇极

寒天气,只有加格达奇站 $-38.71^{\circ}\text{C}$ 没有出现极寒天气;6个站中两年一遇、五年一遇、十年一遇极端最低气温分别为 $-45.11^{\circ}\text{C}$ 、 $-46.96^{\circ}\text{C}$ 、 $-47.95^{\circ}\text{C}$ ,都出现在呼中;二十年一遇、五十年一遇、百年一遇极端最低气温分别为 $-48.89^{\circ}\text{C}$ 、 $-49.63^{\circ}\text{C}$ 、 $-49.89^{\circ}\text{C}$ ,都出现在漠河。

表2 大兴安岭地区各站极端最低气温( $^{\circ}\text{C}$ )重现期

Table 2 Return period of extreme minimum temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) at each station in the Greater Khingan Mountains region

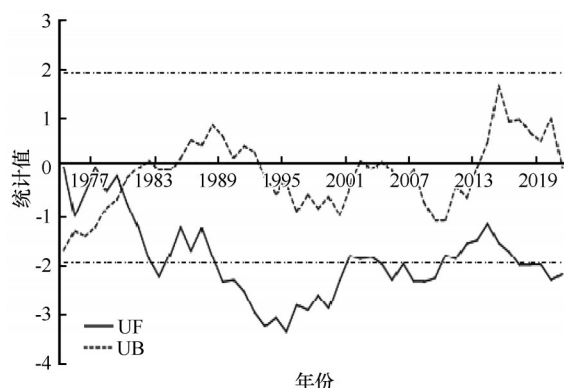
站点	两年一遇	五年一遇	十年一遇	二十年一遇	五十年一遇	百年一遇
呼中	-45.11	-46.96	-47.95	-48.58	-49.01	-49.17
漠河	-44.64	-46.33	-47.85	-48.89	-49.63	-49.89
新林	-41.66	-43.13	-44.56	-45.71	-46.57	-46.89
塔河	-41.32	-43.15	-44.24	-45.01	-45.55	-45.75
呼玛	-40.21	-42.72	-44.31	-45.85	-47.24	-47.81
加格达奇	-38.71	-41.05	-42.20	-43.68	-45.10	-45.68

### 2.4 Mann-Kendall 检验

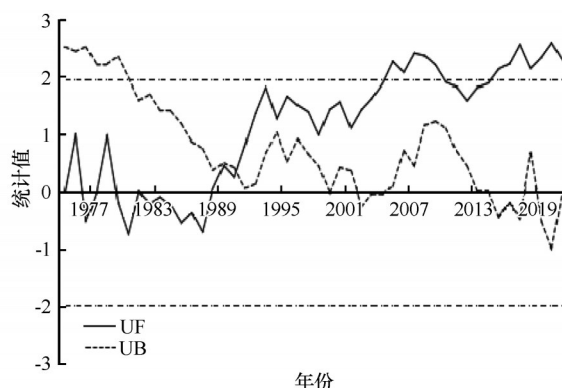
#### 2.4.1 极寒日数突变性检验

从1974—2021年极寒天气日数Mann-Kendall检验曲线[图6(a)],UF和UB两条曲线出现交点,并且仅有一个交点落在95%置信区间内,可以判断

是突变点,突变时间在1979年,说明大兴安岭地区在1979年之前极寒天气日数是偏多,之后极寒天气日数开始减少,减少最明显是1989—2000年,这和极寒日数年际变化相符。突变后年极寒日数比突变前减少14.2 d。



(a) 极寒日数Mann-kendal检验



(b) 极端最低气温Mann-kendal检验

图6 大兴安岭地区极寒日数和极端最低气温Mann-Kendall检验

Fig. 6 Extreme cold days (a) and extreme minimum temperature (b) Mann-Kendall test in the Greater Khingan Mountains region

#### 2.4.2 极端最低气温突变性检验

从极端最低气温Mann-Kendall检验[图6(b)],在1990年UF和UB两条曲线出现交点,说明大兴安岭地区在1990年之前极端最低气温偏低,之后极端最低气温开始上升,上升趋势最显著是2005—2009年和2015—2021年,大兴安岭地区有明显增暖趋势,但2021年极端最低气温在突变后增暖的趋势上呈下降趋势。

### 2.5 Morlet小波分析

#### 2.5.1 极寒日数周期性特征分析

1974—2021年大兴安岭地区极寒日数频次小波功率谱[图7(a)],图中小波功率越大,等值线越密集,倒锥形线为影响锥,该锥线以下表明该部分小波功率谱受到边缘效应的影响,表现出的周期特征存在较大的不确定性。在图中对应周期特征为2~4年,分别出现在1974—1978年和1984—2019年,表明这两个时间段内,年极寒天气波动以2~4年

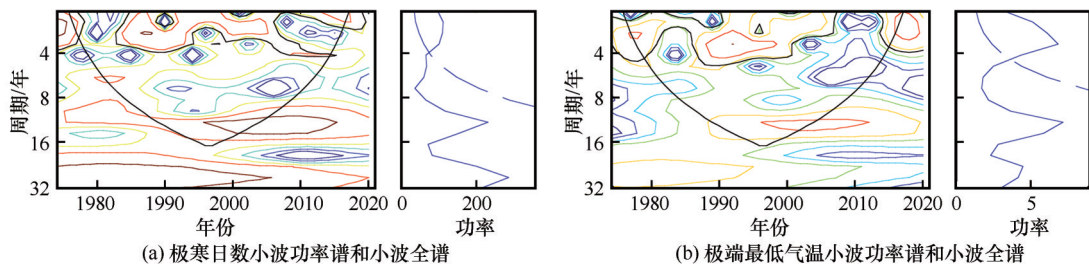


图7 极寒日数、极端最低气温小波功率谱和小波全谱图(曲线)及0.05显著性水平线(虚线)

Fig. 7 Extreme cold days (a), extreme minimum temperature (b) wavelet power spectrum and wavelet full spectrum (curve) and 0.05 significance horizontal line (dotted line)

周期为主。图7(a)为对小波谱进行显著性检验的小波全谱图。可以看出,当虚线小于功率谱曲线时,表明该区段对应的周期特征达到了0.05水平显著性检验,因此,从图中可以看出,通过显著性检验的周期为2~4年。

#### 2.5.2 极端最低气温周期性特征分析

大兴安岭地区48年极端最低气温小波功率谱分析[图7(b)]。在图中对应周期特征为4~5年,分别出现在1974—2007年、2014—2021年,表明这两个时间段内,年极端低温波动以4~5年周期为主。图7(b)为对小波谱进行显著性检验的小波全谱图,虚线小于功率谱曲线时,表明该区段对应的周期特征达到了0.05水平显著性检验,因此,通过显著性检验的周期为4~5年。

#### 2.6 影响极寒天气的环流指数

大气环流是全球气候异常的主要因子,其气候系统的变化会对中高纬地区天气形势和气候特征产生影响<sup>[36]</sup>,大兴安岭地区是中国纬度最高地区,影响冬季极端冷事件的主要因子与中高纬度的位势高度异常场有关<sup>[37]</sup>,为了探讨大兴安岭地区极寒天气变化的影响环流因子,通过分析大气环流指数与极寒日数的相关性,筛选出与48年冬季1月、2月、12月极寒日数相关性好的大气环流因子(表3),均通过0.01显著性检验。结果表明:(1)大兴安岭地区1月极寒天气变化与斯堪的纳维亚遥相关型指数(SCAND)、北半球极涡面积指数(NHPVAI)、亚洲区极涡面积指数(APVAI)呈显著的正相关,相关系数分别为0.683、0.478、0.377,说明SCAND、NHPVAI、APVAI在1月份是正向增长的环流模态,极寒天气偏多偏强;与极地-欧亚遥相关型指数(POL)、北大西洋涛动指数(NAO)、东亚槽强度指数(EATII)、北大西洋-欧洲区极涡强度指数(A-EPVII)、欧亚纬向环流指数(EZCI)、东大西洋-西俄罗

斯遥相关型指数(EATL/ERUS)、北极涛动指数(AO)呈显著的负相关,相关系数分别为-0.523、-0.461、-0.456、-0.435、-0.421、-0.421、-0.383。说明POL、NAO、EATII、A-EPVII、EZCI、EATL/ERUS、AO在1月份北半球高纬度反向增长的环流模态,其中NAO、EATII、EZCI、AO主要通过影响东亚大槽、西伯利亚高压等区域性的大气环流,东亚大槽和西伯利亚高压增强(减弱),使侵入中国北方的冷空气次数增多(减少),影响大兴安岭地区极寒天气,这与乔雪梅等<sup>[38]</sup>研究EATII、AO环流指数是影响中国北方寒潮频次变化重要的因素相一致。(2)大兴安岭地区2月极寒天气变化与SCAND和

表3 冬季(1、2、12月)极寒日数与大气环流指数相关系数  
Table 3 Correlation coefficient between extreme cold days and atmospheric general circulation index in winter (January, February and December)

环流指数	月份	相关系数
斯堪的纳维亚遥相关型指数(SCAND)	12	0.447
斯堪的纳维亚遥相关型指数(SCAND)	1	0.683
斯堪的纳维亚遥相关型指数(SCAND)	2	0.423
北半球极涡面积指数(NHPVAI)	1	0.478
北半球极涡面积指数(NHPVAI)	2	0.388
亚洲区极涡面积指数(APVAI)	1	0.377
极地-欧亚遥相关型指数(POL)	1	-0.523
北大西洋涛动指数(NAO)	1	-0.461
东亚槽强度指数(EATII)	1	-0.456
北大西洋-欧洲区极涡强度指数(A-EPVII)	1	-0.435
欧亚纬向环流指数(EZCI)	1	-0.421
东大西洋-西俄罗斯遥相关型指(EATL/ERUS)	1	-0.421
北极涛动指数(AO)	1	-0.383
北半球副高北界位置指数(NHSHNBPI)	12	-0.442
北太平洋副高北界位置指数(PSHNBPI)	12	-0.441
南极涛动指数(AAO)	12	-0.438
北半球副高脊线位置指数(NHSHRPI)	12	-0.431
北太平洋副高脊线位置指数(PSHRPI)	12	-0.428
西太平洋副高北界位置指数(WPSHNBPI)	12	-0.382

NHPVAI 呈显著的正相关, 相关系数为 0.423 和 0.388, 说明 SCAND 和 NHPVAI 是主要影响 2 月份极寒天气变化的环流因子, 呈正向增长的环流模态。(3) 大兴安岭地区 12 月极寒天气变化与 SCAND 呈显著的正相关, 相关系数为 0.447; 与北半球副高北界位置指数(NHSHNBPI)、北太平洋副高北界位置指数(PSHNBPI)、南极涛动指数(AAO)、北半球副高脊线位置指数(NHSHRPI)、北太平洋副高脊线位置指数(PSHRPI)、西太平洋副高北界位置指数(WPSHNBPI)呈显著的负相关, 相关系数分别为 -0.442、-0.441、-0.438、-0.431、-0.428、-0.382。说明只有 SCAND 一项环流因子在 12 月份呈正向增长的环流模态, NHSHNBPI、PSHNBPI、AAO、NHSHRPI、PSHRPI、WPSHNBPI 以反向增长的环流模态, AAO 减弱, 使大兴安岭地区 12 月份极寒天气的频次和强度增强, 符合范可等<sup>[39]</sup>研究冬季南极涛动强弱影响中国北方地区气温增高(降低); NHSHNBPI、PSHNBPI、NHSHRPI、PSHRPI、WPSHNBPI 位置的变化, 对大兴安岭地区 12 月份极寒天气的频次和强度变化也有很好的指示意义。基于以上研究, 显著影响大兴安岭地区冬季 1 月、2 月、12 月极寒天气最主要的因子是 SCAND, 这和刘毓赞<sup>[29]</sup>研究的 SCAND 遥相关型对北半球气温的影响有很大加强, 主要表现为其正(负)位相引起的极区增温范围明显扩大, 欧亚大陆北部的温度负(正)中心显著向东南方向延伸, 影响到我国北方地区, 这一结论相一致。与 1 月和 2 月极寒天气正相关性好的环流因子是 SCAND 和 NHPVAI (北半球极涡面积指数), 极涡是极区大尺度冷性环流系统, 大规模强冷空气的表征, 极涡位置移动、面积大小、强度的变化都可以对中高纬地区天气形势产生影响<sup>[40]</sup>, 亚洲极涡面积扩大(缩小), 北方寒潮频次偏多(少)<sup>[38]</sup>。

### 3 结论

本文利用 1974—2021 年大兴安岭地区 6 个国家地面观测站冬季日最低气温  $\leq -40^{\circ}\text{C}$  的极寒日数和极端最低气温资料, 通过采用气候变化趋势和变化率分析、经验频率计算方法、Mann-Kendall 检验、小波功率谱和小波全谱分析方法, 以及影响极寒天气的大气环流指数和极寒日数做相关性分析, 得到如下结论:

(1) 1974—2021 年大兴安岭地区冬季极寒日数共 904 d (各站不重复), 极寒日数呈减少趋势, 其倾

向率为  $-2.88 \text{ d} \cdot (10\text{a})^{-1}$  (通过 0.01 显著性检验), 极寒日数最多在 1974 年 47 d, 而 1992 年没有出现极寒天气 ( $\leq -40^{\circ}\text{C}$ ); 极寒日数最多是呼中 717 d, 其次是漠河 645 d, 最少是加格达奇 29 d, 空间分布从西北向南减少十分明显; 极寒天气发生频次最多月份是 1 月, 占 46.7%, 最少月份为 3 月, 占 1.7%; 极寒日数在 1979 年发生突变现象, 突变后比突变前减少 14.2 d, 极寒日数存在 2~4 年显著周期。

(2) 大兴安岭地区冬季 48 年平均极端最低气温  $-45.2^{\circ}\text{C}$ , 极端最低气温呈上升趋势, 其倾向率为  $0.55^{\circ}\text{C} \cdot (10\text{a})^{-1}$  (通过 0.05 显著性检验), 极端最低气温极值, 出现在 1979 年漠河站  $-49.6^{\circ}\text{C}$ , 只有 1992 年 ( $-39.7^{\circ}\text{C}$ ) 极端最低气温没有达到  $-40^{\circ}\text{C}$ , 其他 47 年极端最低气温均达到极寒天气。在 48 年中, 年极端最低气温极值 57% 出现在呼中, 43% 出现在漠河。极端最低气温在 1990 年发生突变, 显著周期是 4~5 年, 极端最低气温升高最明显是 1992 年, 比 1979 年偏高  $10^{\circ}\text{C}$ 。

(3) 重现期计算出大兴安岭地区 6 个国家站中有 5 个站两年一遇极寒天气, 只有加格达奇站  $-38.71^{\circ}\text{C}$  没有出现极寒天气; 6 个站中两年一遇、五年一遇、十年一遇的最低气温极值都出现在呼中; 二十年一遇、五十年一遇、百年一遇的最低气温极值都出现在漠河。

(4) 影响大兴安岭地区冬季 (1、2、12 月) 极寒天气最主要的环流指数是斯堪的纳维亚遥相关型指数, 呈正向增长的环流模态, 斯堪的纳维亚遥相关型指数对大兴安岭地区冬季的气温变化影响较大, 主要表现为其正位相引起的极区增温范围明显扩大, 欧亚大陆北部的温度负中心显著向东南方向延伸, 影响到我国北部大兴安岭地区冬季的极寒天气变化。

### 参考文献 (References):

- [1] Vihma T. Effects of Arctic Sea ice decline on weather and climate: a review [J]. *Surveys in Geophysics*, 2014, 35 (5): 1175-1214.
- [2] Cohen J, Screen J A, Furtado J C, et al. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather [J]. *Nature Geoscience*, 2014, 7(9): 627-637.
- [3] Overland J, Francis J A, Hall R, et al. The melting Arctic and midlatitude weather patterns: are they connected? [J]. *Journal of Climate*, 2015, 28(20): 7917-7932.
- [4] Cohen J L, Furtado J C, Barlow M A, et al. Arctic warming, increasing snow cover and widespread boreal winter cooling [J]. *Environmental Research Letters*, 2012, 7(1): 014007.
- [5] Outten S D, Esau I. A link between Arctic Sea ice and recent cooling trends over Eurasia [J]. *Climatic Change*, 2012, 110



- (3/4): 1069-1075.
- [6] Kug J S, Jeong J H, Jang Y S, et al. Two distinct influences of Arctic warming on cold winters over North America and East Asia[J]. *Nature Geoscience*, 2015, 8(10): 759-762.
  - [7] Nakamura T, Yamazaki K, Iwamoto K, et al. A negative phase shift of the winter AO/NAO due to the recent Arctic Sea-ice reduction in late autumn[J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2015, 120(8): 3209-3227.
  - [8] Chen Xiaodan, Luo Dehai. Arctic Sea ice decline and continental cold anomalies: upstream and downstream effects of Greenland blocking[J]. *Geophysical Research Letters*, 2017, 44(7): 3411-3419.
  - [9] Cohen J, Jones J, Furtado J, et al. Warm Arctic, cold continents: a common pattern related to Arctic Sea ice melt, snow advance, and extreme winter weather[J]. *Oceanography*, 2013, 26(4): 150-160.
  - [10] Mori M, Watanabe M, Shiogama H, et al. Robust Arctic Sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in past decades[J]. *Nature Geoscience*, 2014, 7(12): 869-873.
  - [11] Zhang Jiankai, Tian Wenshou, Chipperfield M P, et al. Persistent shift of the Arctic polar vortex towards the Eurasian continent in recent decades[J]. *Nature Climate Change*, 2016, 6(12): 1094-1099.
  - [12] Ding Yihui, Wang Zunya, Song Yafang, et al. Causes of the unprecedented freezing disaster in January 2008 and its possible association with the global warming[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2008, 66(5): 808-825. [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.]
  - [13] Overland J E, Wood K R, Wang Muyin. Warm Arctic—cold continents: climate impacts of the newly open Arctic Sea[J]. *Polar Research*, 2011, 30(1): 15787.
  - [14] Wallace J M, Held I M, Thompson D W J, et al. Global warming and winter weather[J]. *Science*, 2014, 343(6172): 729-730.
  - [15] Wolter K, Eischeid J K, Quan Xiaowei, et al. How unusual was the cold winter of 2013/14 in the upper Midwest? [J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2015, 96(12): S10-S14.
  - [16] Ma Shuangmei, Zhu Congwen, Liu Boqi, et al. Polarized response of east Asian winter temperature extremes in the era of Arctic warming[J]. *Journal of Climate*, 2018, 31(14): 5543-5557.
  - [17] Zheng Lili. 2020—2021 New Year cold wave latest news: will usher in the widest range of snow [EB/OL]. (2020-12-28) [2022-01-04]. <http://www.mnw.cn/news/shehui/2347149.html>. [郑莉莉. 2020—2021 跨年寒潮最新消息: 将迎来最广泛围降雪 [EB/OL]. (2020-12-28) [2022-01-04]. <http://www.mnw.cn/news/shehui/2347149.html>.]
  - [18] nameless. How cold is the extreme cold in Europe? What causes the extreme cold? What kind of impact will it have? [EB/OL]. (2021-02-27) [2022-01-04]. <http://www.yjcf360.com/licaiji/785631.html>. [佚名. 欧洲极寒天气到底有多寒冷? 极寒天气形成的原因是什么? 会带来什么样的影响? [EB/OL]. (2021-02-27) [2022-01-04]. <http://www.yjcf360.com/licaiji/785631.html>.]
  - [19] Yu Yueyue, Ren Rongcai, Cai Ming. Dynamic linkage between cold air outbreaks and intensity variations of the meridional mass circulation[J]. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 2015, 72(8): 3214-3232.
  - [20] Kretschmer M, Coumou D, Agel L, et al. More-persistent weak stratospheric polar vortex states linked to cold extremes[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2018, 99(1): 49-60.
  - [21] Rex D F. Blocking action in the middle troposphere and its effect upon regional climate[J]. *Tellus*, 1950, 2(3): 196-211.
  - [22] Hoskins B J, Sardeshmukh P D. A diagnostic study of the dynamics of the Northern Hemisphere winter of 1985-86[J]. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1987, 113(477): 759-778.
  - [23] Sillmann J, Croci-Maspoli M. Present and future atmospheric blocking and its impact on European mean and extreme climate[J]. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36(10): L10702.
  - [24] Buehler T, Raible C C, Stocker T F. The relationship of winter season North Atlantic blocking frequencies to extreme cold or dry spells in the ERA-40[J]. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 2011, 63(2): 174-187.
  - [25] Sun Chenghu, Yang Song, Li Weijing, et al. Interannual variations of the dominant modes of East Asian winter monsoon and possible links to Arctic Sea ice[J]. *Climate Dynamics*, 2016, 47(1/2): 481-496.
  - [26] Cheung H N, Zhou Wen, Mok H Y, et al. Relationship between Ural-Siberian blocking and the east Asian winter monsoon in relation to the Arctic oscillation and the el niño-southern oscillation[J]. *Journal of Climate*, 2012, 25(12): 4242-4257.
  - [27] Park T W, Ho C H, Deng Yi. A synoptic and dynamical characterization of wave-train and blocking cold surge over East Asia[J]. *Climate Dynamics*, 2014, 43(3/4): 753-770.
  - [28] Yang Zifan, Huang Wenyu, Wang Bin, et al. Possible mechanisms for four regimes associated with cold events over East Asia[J]. *Climate Dynamics*, 2018, 51(1/2): 35-56.
  - [29] Liu Yuyun. Spatio-temporal Evolution characteristics and mechanism of Eurasian Teleconnection type [D]. Beijing: Chinese Academy of Sciences, 2013. [刘毓贻. 欧亚遥相关型的时空演变特征及其机理研究[D]. 北京: 中国科学院, 2013.]
  - [30] Loikith P C, Broccoli A J. Characteristics of observed atmospheric circulation patterns associated with temperature extremes over North America[J]. *Journal of Climate*, 2012, 25(20): 7266-7281.
  - [31] Palmer T. Record-breaking winters and global climate change[J]. *Science*, 2014, 344(6186): 803-804.
  - [32] Horton D E, Johnson N C, Singh D, et al. Contribution of changes in atmospheric circulation patterns to extreme temperature trends[J]. *Nature*, 2015, 522(7557): 465-469.
  - [33] Peterson T C, Folland C, Gruza G, et al. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs (1998—2001) [R/OL]. ICPO Publication Series No. 48, 2001 [2022-06-22]. [http://eprints.soton.ac.uk/30144/1/048\\_wgccd.pdf](http://eprints.soton.ac.uk/30144/1/048_wgccd.pdf).
  - [34] Huang Jiayou, Li Qingxiang. Statistical analysis method of meteorological data [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2015. [黄嘉佑, 李庆祥. 气象数据统计分析方法[M]. 北京: 气象出版社, 2015.]
  - [35] Guo Zhimei, Miao Qilong, Li Xiong. Variation characteristics of temperature over Northern China in recent 50 years[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(4): 448-454. [郭志梅, 缪启龙, 李雄. 中国北方地区近 50 年来气温变化特征的研究[J]. *地理科学*, 2005, 25(4): 448-454.]
  - [36] Li Feng, Jiao Meiyun, Ding Yihui, et al. Climate change of Arctic atmospheric circulation in last 30 years and its effect on strong cold events in China[J]. *Plateau Meteorology*, 2006, 25(2): 209-219. [李峰, 矫梅燕, 丁一汇, 等. 北极区近 30 年环流的变化及对中国强冷事件的影响[J]. *高原气象*, 2006,



- 25(2): 209-219. ]
- [37] Liao Zhen, Zhai Panmao, Chen Yang, et al. Differing mechanisms for the 2008 and 2016 wintertime cold events in Southern China [J]. *International Journal of Climatology*, 2020, 40 (11): 4944-4955.
- [38] Qiao Xuemei, Liu Puxing. The temporal and spatial characteristics and genesis of cold wave in Northern China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2020, 42(2): 357-367. [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. ]
- [39] Fan Ke, Wang Huijun. Interannual variation of the Antarctic Oscillation and its influence on winter and spring climate in East Asia [J]. *Science in China (Series D: Earth Sciences)*, 2006, 36(4): 385-391. [范可, 王会军. 南极涛动的年际变化及其对东亚冬春季气候的影响[J]. *中国科学(D辑: 地球科学)*, 2006, 36(4): 385-391. ]
- [40] Zhu Qianguan, Lin Jinrui, Shou Shaowen, et al. Principle and methods of synoptic meteorology [M]. Rev. ed. Beijing: China Meteorological Press, 1992. [朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. *天气学原理和方法* [M]. 修订本. 北京: 气象出版社, 1992. ]

## Characteristics analysis of extremely cold weather in the Greater Khingan Mountains region

XU Liling<sup>1</sup>, KANG Hengyuan<sup>2</sup>, PAN Mingxi<sup>3</sup>, HAN Fengqi<sup>1</sup>, SHEN Yuezhao<sup>4</sup>,  
YU Wenbing<sup>5</sup>, ZHANG Xiuhong<sup>3</sup>

(1. Mohe Meteorological Bureau, Mohe 165399, Heilongjiang, China; 2. Harbin Meteorological Bureau, Harbin 150001, China; 3. Hulan District Meteorological Bureau, Hulan 150025, Heilongjiang, China;  
4. Wuchang Meteorological Bureau, Wuchang 150200, Heilongjiang, China;  
5. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

**Abstract:** Extremely cold weather has an important influence on winter production and life in the Greater Khingan Mountains region. This paper uses the daily minimum temperature data of ground observation stations during extreme cold weather from 1974 to 2021 in the Greater Khingan Mountains region, monthly circulation index data, the spatial distribution and temporal variation characteristics of extreme cold days and extreme minimum temperature were analyzed by climate statistical method; The abrupt changes and periods of extreme cold days and extreme minimum temperature were tested by Mann-Kendall method and Morlet wavelet analysis; calculating the recurrence period of extreme minimum temperature by empirical frequency method; correlation method was used to analyze the circulation factors which had significant influence on the number of extremely cold days. The results are followed: (1) The spatial distribution of extreme cold days in the Greater Khingan Mountains region was not uniform, and gradually decreasing from northwest to south. The extreme cold days was at most 717 d in Huzhong, and at least 29 d in Gagadaki, the extreme cold days in the whole region mutated in 1979, and the average annual extreme cold days decreased 14.2 d after the mutation compared with that before the mutation, and the annual extremely cold days have a significant cycle of 2 to 4 years. (2) The extreme minimum temperature in the whole region mutated in 1990, before the mutation the extreme minimum temperature was low and after the mutation began to rise, the significant cycle of annual extreme minimum temperature was 4 to 5 years, the extreme lowest temperature was  $-49.6^{\circ}\text{C}$  in Mohe, followed by  $-49.2^{\circ}\text{C}$  in Huzhong; the extreme lowest temperature occurs once every 2 years, once every 5 years and once every 10 years in Huzhong, while the extreme lowest temperature occurs once in 20 years, once in 50 years and once in 100 years in Mohe. (3) SCAND teleconnection pattern has a good correlation with extreme cold days in winter (January, February and December) in the Greater Khingan Mountains region. Positive growth of the circulation mode, it has great influence on the extreme cold weather in winter in the Greater Khingan Mountains region.

**Key words:** extreme minimum temperature; extremely cold weather; extreme cold days

(责任编辑: 孟宪红)