

我国近 46 年来的寒潮时空变化与冬季增暖

钱维宏 张玮玮

北京大学物理学院大气科学系, 北京 100871

摘 要 使用中国气象局资料中心整编的 572 个站点 1960 年 1 月 1 日到 2005 年 12 月 31 日日最低温度、日平均气压、日平均风速和北极涛动 (AO) 指数等气象要素, 从一个新的角度分析了我国寒潮时空变化与冬季增暖的联系。寒潮爆发以降温和升压和大风天气为主要特征。定义 1 日和 2 日降温达到 10°C 以上的降温事件为寒潮, 大于 20°C 为极端寒潮。发生在我国的寒潮以北方 (35°N 以北) 最多, 其次是中国东部的江南地区。东北的寒潮始于 10 月, 而河套和江南的寒潮在 4 月份比较频繁。把 10 月到次年 4 月寒潮频繁活动的时段确定为冬季风时期。在所有的降温事件中, 只有不到 1/3 的事件伴随有升压和大风天气。过去的 45 个冬季风期间, 寒潮和极端寒潮事件普遍减少, 我国新疆、华北、东北和华东减少最为显著, 减少的最大幅度达到 1~2 次/10 a。降温事件、升压频次和大风频次也都在减少。AO 指数升高表征了西风带上天气尺度斜压波动的减少和减弱, 从而导致我国中高纬度寒潮事件的减少。降温频次的减少在一定程度上导致了冬季最低温度平均值的升高, 形成了持续的暖冬。

关键词 寒潮 极端事件 气温 变化趋势

文章编号 1006-9895 (2007) 06-1266-13

中图分类号 P461

文献标识码 A

Changes in Cold Wave Events and Warm Winter in China during the Last 46 Years

QIAN Wei-Hong and ZHANG Wei-Wei

Department of Atmospheric Sciences, School of Physics, Peking University, Beijing 100871

Abstract This study used the data of 572 stations from the China Meteorology Data Sharing Service System, from 1 January 1960 to 31 December 2005. The variables including the daily minimum temperature, mean surface pressure, mean wind speed and the Arctic Oscillation (AO) index were used for analysing the relationship between cold wave events and warm winter in China. The arrival of cold wave is generally characterized by a sharp drop of temperature, steep rise of pressure, and strengthening of wind at the surface. In the nationwide view, the temperature drop above 10°C in one or two days was defined as cold wave, that above 20°C as extreme cold wave. Cold wave occurred most frequently in northern China (north of 35°N) and south parts of the middle-lower reaches of the Yangtze River (i. e., Jiangnan). Climatologically, cold wave began in October in Northeast China. A peak period was found in April over central North China and the Jiangnan. Cold wave was active from October to April, which was the winter monsoon period. Among all temperature-drop events, less than one third of them were accompanied with pressure rise and strong wind.

In the last 45 winters, the frequencies of cold waves and extreme cold waves were generally decreasing, significantly in Xinjiang, central North China, Northeast China and East China, with the maximum negative trend about 1-2 times per decade. Decreasing trends were observed from those events of temperature drop, pressure rise and strong wind. The increase of AO index denoted the weakening and reducing of baroclinic waves along westerly zone, which was not in favor of the cold wave in China. To some extent, the frequency decrease of temperature drop af-

fected the mean minimum temperature in winter, and led to continuous warm winters.

Key words cold wave, extreme event, temperature, trend

1 引言

北方寒冷的空气活动达到一定强度,并大规模向南侵袭的过程,称为寒潮。寒潮是影响我国冬半年的主要灾害性天气,最突出的表现是剧烈降温并且伴有偏北大风^[1]和气压猛升。根据我国气象业务部门的规定,如果一次冷空气能使长江中下游及其以北地区 48 小时内降温 10°C 以上,长江中下游最低气温达到 4°C 或以下,陆上有相当于三个大区出现 5~7 级大风,沿海有三个海区出现 7 级以上大风,则这股冷空气就被称为“寒潮”^[2]。更细的分类会从范围和强度上把冷空气活动划分为全国性寒潮、区域寒潮、强冷空气和一般冷空气等^[3]。不同的研究者针对不同的区域使用了不同的寒潮定义。在韩国, Ryoo 等^[4]用两天最低温度降幅大于 7.5°C 为标准。在香港, Lau 和 Chang^[5]确定寒潮标准为 3 个条件,包括降温大于 5°C , 中国内陆与沿海的地面压力差大于 5 hPa, 南海北部盛行北风风速大于 5 m/s 。

半个世纪以来,中国的寒潮研究大致可以分为三个阶段。第一阶段是 1950 年代中期,代表性的工作是陶诗言^[6]和李宪之^[7]根据影响中国大陆的冷空气源地、路径和环流的不同对寒潮进行了分类。1958 年,中国科学院研究人员总结了我国寒潮的典型过程^[8]。第二阶段是 1980 年代早期,具有代表性的是仇永炎等^[9~12]的工作。他们分析了寒潮天气的物理过程,对寒潮中期预报方法进行了一系列探索^[13~15]。1980 年代中后期到 1990 年代早期,一些发表在国外刊物上的文章多用东亚冬季风(winter monsoon)来描述这种强烈的寒潮(cold surge or cold wave)降温^[5,16,17]。第三阶段是最近的十年,这归因于国际上北极涛动(AO)研究的增多^[18,19]和我国逐日气象观测资料的积累^[20]。

进入 21 世纪以来,研究地方性寒潮较多^[21,22],但对全国范围内的寒潮变化分析得还较少。2001 年, Qian 等^[23]分析发现中国冬季气温、西伯利亚高压和阿留申低压中心强度、西伯利亚高压 1030 hPa 等压线南伸纬度和两个大气活动中心之间的气压梯度,在过去的百年中存在 1920 年代和 1980 年

代的两次突变。在过去的 50 年中,冬季大气活动中心强度及其指数变化与中国北方和东部地区的冬季气温有显著的年际相关。大气活动中心在 1980 年代的显著突变与中国乃至全球气温的突变一致。最近,王遵娅和丁一汇^[24]利用更新的 1951~2004 年中国 740 站的逐日温度资料,对中国寒潮频次分布特征及其变化的原因进行了统计分析,认为西伯利亚高压和冬季风强度的减弱、西伯利亚上空低层冷堆温度和中国地表温度的显著升高是中国寒潮及其相伴随大风频次减少的可能原因。寒潮作为极端事件之一,目前对它的定义存在着差异。严中伟和杨赤^[25]曾根据极端最低温度和极端风速变化来判断寒潮气候变化。究竟是把寒潮看成是西伯利亚高压系统的异常活动,还是把寒潮看成是局地温度变化的极端事件? 这里的关系可能是前者是因,后者为果。对我国来说,关注前者与中高纬度大气中斜压波动的联系有理论和预测意义,关注后者更有实际意义。

本文分析选用的资料与最近王遵娅和丁一汇^[24]的工作相同,但在寒潮定义上有所不同。为此,将以分析结果来客观地认识:(1) 寒潮频发季节与南北分布的差异,(2) 我国北方寒潮降温的分界线,(3) 寒潮事件中的降温与升压、大风的联系,(4) 寒潮与温度(暖冬)的因果关系等。因此,本文把寒潮看成为极端降温事件来分析,将丰富以往的研究内容。

2 资料和方法

本文使用的常规观测资料来自中国气象局资料中心整编的中国地面 753 站从建站到 2005 年的气候日值数据。寒潮事件最典型的表现是降温与升压和大风的并存,因此本文综合利用日最低温度、日平均气压和日平均风速对寒潮进行分析。为了与以前的极端事件研究^[20]一致,并考虑 1960 年前观测站点数的限制,本文选取了从 1960 年 1 月 1 日到 2005 年 12 月 31 日日最低温度缺测不超过 1% 的共 572 个站点。在分析中,去掉了海拔 2500 m 以上的高山站。为了解释我国寒潮的长期变化趋势,本文使用了月平均北极涛动(AO)指数^[18],取 10 月~次年 4 月份的值计算了冬季平均 AO 指数。

王遵娅和丁一汇^[24]的分析采用了中央气象台的以过程降温和温度距平结合来定寒潮标准,考虑了单站寒潮、全国寒潮和区域寒潮,没有对寒潮的强度进行分级。过程降温是指冷空气影响过程中,日平均气温的最高值与最低值之差。寒潮可以被看成为极端气候的一种形式,即极端的降温(或冷)事件。为了全面地考察不同降温幅度下的事件频率,本文把日最低温度按降温程度的大小分成 10 个等级。从 1 日或 2 日降温 0℃ 以上,到降温 25℃,每隔 2.5℃ 划分为一个等级,共得到十个等级,对每一个等级考察其气候时空分布。考虑到日平均气温并不是真实可测的温度,最低温度不受太阳辐射的影响,可以较好地反映降温的相对幅度。研究日最低温度的变化也更具有生物学的意义。本文用日最低温度计算 1 日或 2 日内的降温。1 日降温是指当天最低温度与前一天最低温度的差,2 日降温为连续的两个 1 日降温之和。根据我国气象业务部门对区域性寒潮日平均气温过程总降温大于 10℃ 的定义^[26],本文确定以最低温度降温 10℃ 作为寒潮发生的阈值。考虑到寒潮有可能是一次持续时间比较长的降温过程,这里只选择一次持续降温过程中 1 日或 2 日之内降温幅度最大的降温值。对上述降温又定义 1 日和 2 日达到 10℃ 以上的降温事件为寒潮

事件,大于 20℃ 的为极端寒潮事件。寒潮是以降温为特色的自然灾害,这里以最低温度的相对变化为标准,而没有考虑绝对温差或温度距平的条件。

寒潮爆发时除了剧烈降温外,还常常伴随地面气压的猛升和风速增大。但冷空气运动受局地地形和热力的影响,降温、升压和大风三者的最大变化或达到标准的变化也不一定是同步的。Chen 等^[27]曾确定在中国南海附近寒潮发生时 24~48 h 压差至少要达 4 hPa。在本文中,分析的寒潮主要集中在我国的北方地区。这个地区受西伯利亚高压的影响较大,寒潮爆发时的地面气压变化也大。在考察了地面气压升高与寒潮爆发的概率分布后,本文选取 1 日升压 10 hPa 为事件的标准。寒潮爆发时日平均风速也会比较大,这里选取日平均风速值 5.5 m/s 以上为大风事件的标准,并考虑连续几日达到 5.5 m/s 以上的事件只记为一次。日平均风速值大于 5.5 m/s 的标准与文献^[24]相同,不同的是这里不是 2.5° 格点插值,而是站点观测资料。

3 各级降温事件的频次分布

我们计算了 1960~2005 年最低温度 1 日内降温发生总次数在每个等级上的空间分布,共分 10 个等级。根据分级降温的相似分布分为 4 组,图 1

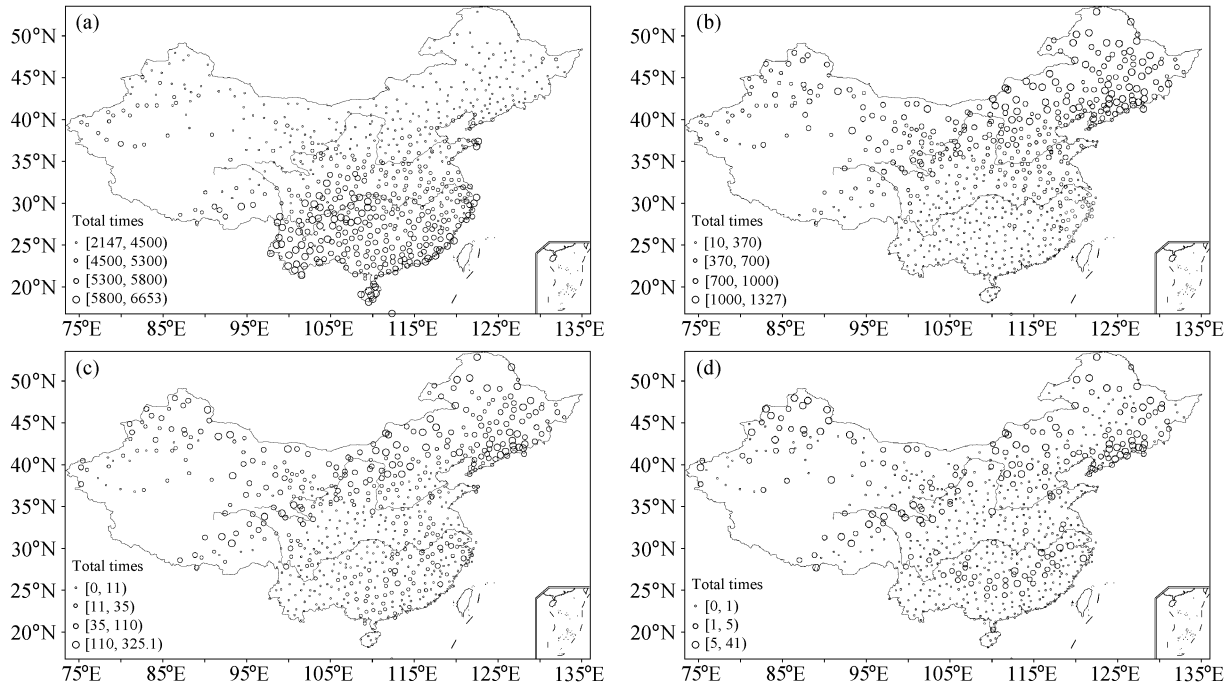


图 1 1960~2005 年最低温度 1 日降温总次数的空间分布: (a) 降温 0~2.5℃; (b) 降温 5~7.5℃; (c) 降温 10~12.5℃; (d) 降温 15~17.5℃

Fig. 1 Spatial distributions of total times of 1-day minimum temperature drops from 1960 to 2005; (a) dropping 0~2.5℃; (b) dropping 5~7.5℃; (c) dropping 10~12.5℃; (d) dropping 15~17.5℃

给出了每组的典型分布。第一组是 0~2.5℃ 以内的降温 (图 1a)，高频区集中在南方，分季考察发现这是由于南方夏季降水频繁引起的降温事件。第二组包括 2.5~5℃、5~7.5℃ (图 1b) 和 7.5~10℃ 等 3 个等级的降温，北方频率高于南方，反映了北方频繁出现的弱冷空气活动。第三组包括 10~12.5℃ (图 1c)、12.5~15℃、15~17.5℃ (图 1d) 和 17.5~20℃ 等 4 个等级的降温，反映了寒潮和强寒潮影响我国时受地形和环流等因素作用下的降温区域分布。第四组降温由 20~22.5℃ 和 22.5~25℃ 等 2 个等级构成，降温总次数达到 2 次以上的点在新疆的北部、河套的东北侧、东北等地 (图略)。2 日各级降温分布与 1 日各级降温分布基本相似。1 日降温 5~10℃ 的事件主要集中在 35°N

以北的我国北方地区。我们重点关注 1 日降温大于 10℃ 的事件。从图 1c、d 中看出，除了 35°N 以北集中发生的高频降温事件外，长江以南也存在一个高频降温事件带。中国东部 (105°E 以东)，长江以北到 35°N 之间是降温大于 10℃ 事件的低频区。

4 寒潮降温、升压和大风事件的气候分布

图 2 是 46 年中分别以 1 日和 2 日内变温计算的全国 572 个站点降温 10℃ 以上的年平均频次分布。从图 2a 中可以看到，对年平均 1 日降温大于 10℃ 的事件，2 次以上的发生区除了长江和黄河源头的几个站外，还是集中在 35°N 以北。最高 1 日降温 10℃ 以上的事件可达 12 次。2 日降温 10℃ 以

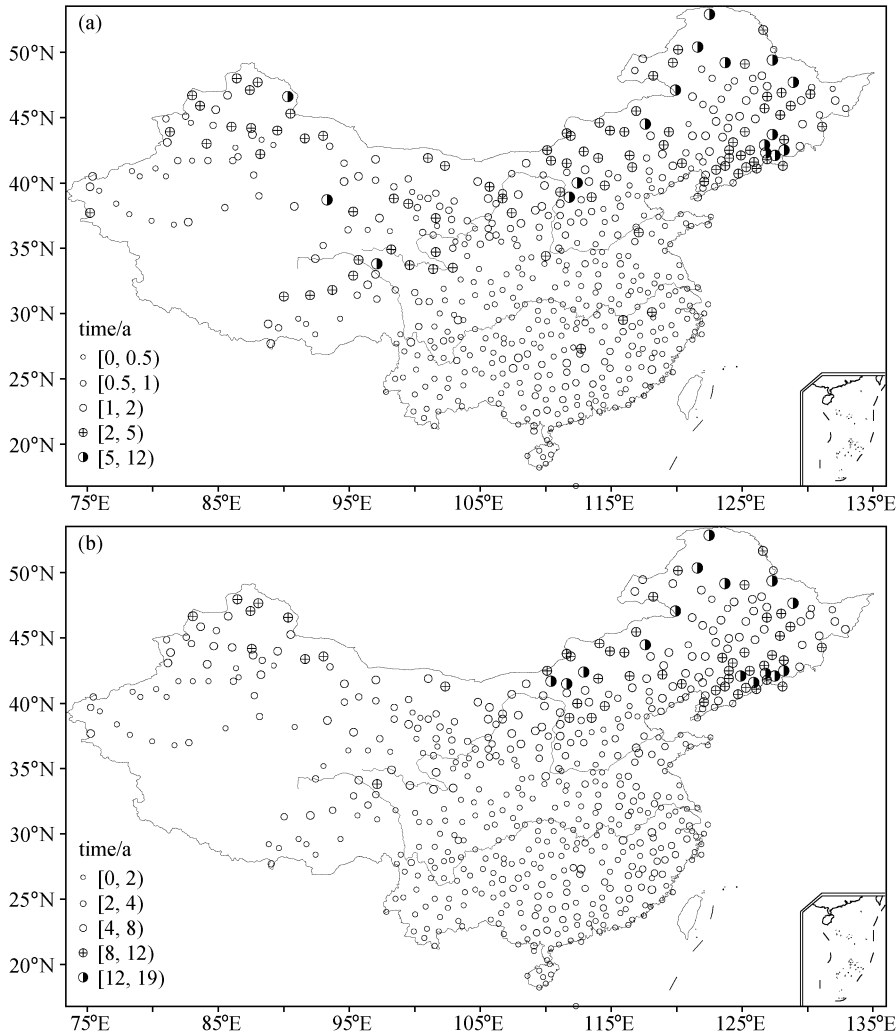


图 2 1960~2005 年全国 572 个站全年 1 日 (a) 和 2 日 (b) 降温 ($\geq 10^{\circ}\text{C}$) 的年平均频次分布
Fig. 2 Annual mean frequency distributions of (a) 1-day and (b) 2-day temperature drops above 10°C in China based on 572 stations during 1960–2005

上的年频次大于 8 次的分布也主要集中在 35°N 以北, 尤以华北和东北为多。

根据以上得到的高频降温事件主要集中在 35°N 以北的特点, 我们从 75°E~135°E 每 5 个经度一个间隔, 计算 35°N 以北每个区域上的平均降温频次, 得到经向-时间频次剖面分布 (图 3)。对 1 日降温频次 (图 3a), 最早的降温在 9 月中旬从华北就开始了, 但频次较少。我们选择大于 0.06 次/a 降温事件作为气候寒潮爆发的开始, 则连续的寒潮在新疆和东北是在 11 月份开始的, 到次年的 3 月份结束。1 日寒潮

频次以东北最多, 新疆次之, 河套地区在 4 月份才出现了高频时段。对 2 日降温频次 (图 3b), 如果选择大于 0.12 次/a 的降温事件作为标准, 则寒潮主要开始于 10 月, 结束在次年的 4 月份。2 日降温高频发生有 3 个中心, 分别在新疆北部、河套和东北, 仍然以东北的频次最高。东北有两个降温事件特别集中的时段, 分别在 11 月份和 2 月份, 西伯利亚冷高压最强的 12 月和 1 月份反而不是我国寒潮最频繁的时段。

长江以南的 1 日和 2 日经向-时间降温频次分布如图 4。在江南地区, 无论是 1 日降温, 还是 2 日

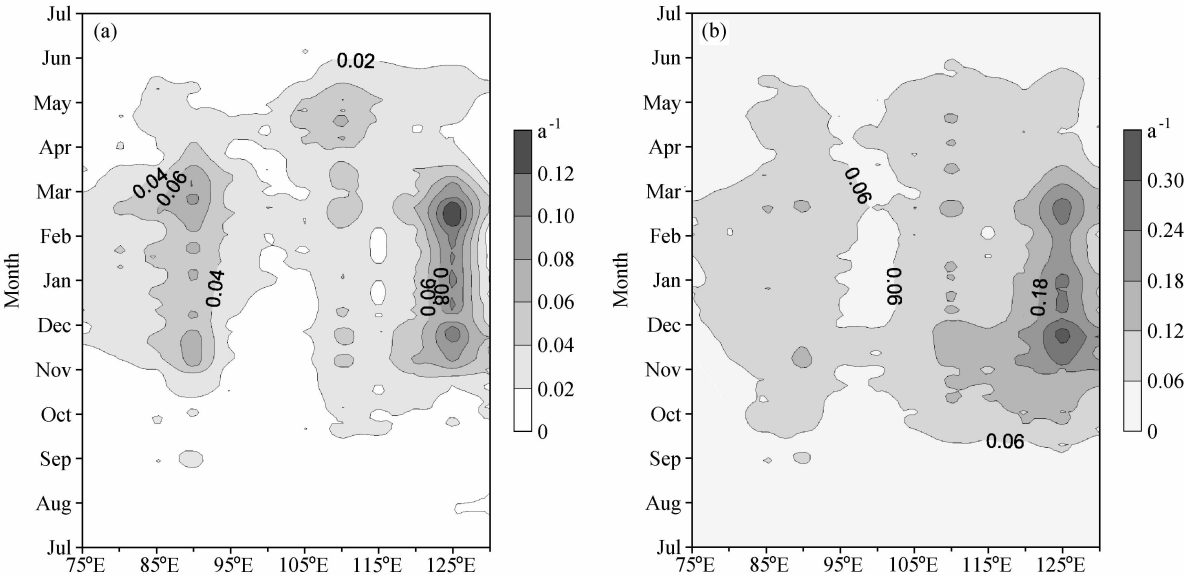


图 3 75°E~135°E 每 5 个经度一个间隔计算 35°N 以北每个区域上平均的 1 日 (a) 和 2 日 (b) 降温 ($\geq 10^{\circ}\text{C}$) 频次的经度-时间剖面
Fig. 3 Longitude-time sections of frequencies of (a) 1-day and (b) 2-day temperature drops above 10°C averaged over every 5 degrees from 75°E to 135°E to the north of 35°N

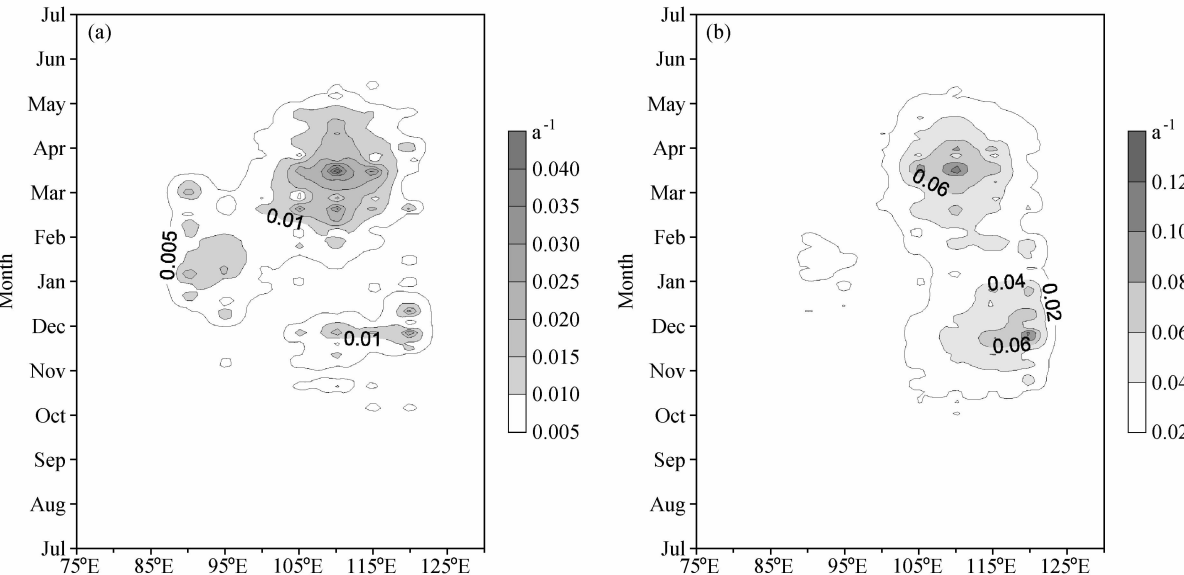


图 4 同图 3, 但为 22°N~30°N
Fig. 4 As in Fig. 3 except from 22°N to 30°N

降温在 11 月份就出现了，主要的降温中心出现在 3~4 月份，这是江南的春季。春季 3~4 月份，我国有两个高频的寒潮活动区，一个在江南，一个在河套—华北地区。前者反映的是春季影响我国的冷空气可以到达我国江南，形成南方的锋面活动，后者反映的是我国北方极锋的活动。我国寒潮降温事件集中出现在 10 月到次年 4 月正反映了我国冬季风的时段。事实上，如果把时段限制在 10 月到次年 4 月，画出的冬季寒潮频次分布与图 2 一样。

图 5 中分别给出了冬季（10 月~次年 4 月）平均的日升压大于 10 hPa 以上的事件数和日平均风速值大于 5.5 m/s 的日数。冬季升压频次较高的区域（图 5a）与影响我国的冷空气活动路径基本一致，包括新疆、黄河中下游、东北和华中与华东地

区。但值得注意的是，从东北，经过渤海到华中存在一条高频升压带。这个升压高频带覆盖了东北平原、华北平原和华中平原，无疑与地形有关。风速大于 5.5 m/s 发生频次大值区基本上也与寒潮降温比较频繁的区域重合。冬季年平均大风达标大于 23 次的区域在新疆、河西走廊、河套、华北到东北以及华东沿海。

根据降温 10℃、升压 10 hPa 和大风 5.5 m/s 三个标准，表 1 和表 2 给出了我国新疆北部、河套和东北 3 个区域平均和单个站点上的一个变量达标事件与其他两个变量对应事件之间的关系。表 1 是根据区域上每个站先计算 45 个冬季的变量达标总数，然后对所有站点计算平均得到的。从表 1 中看出，新疆北部的寒潮降温事件中只有不到 1/3 的事

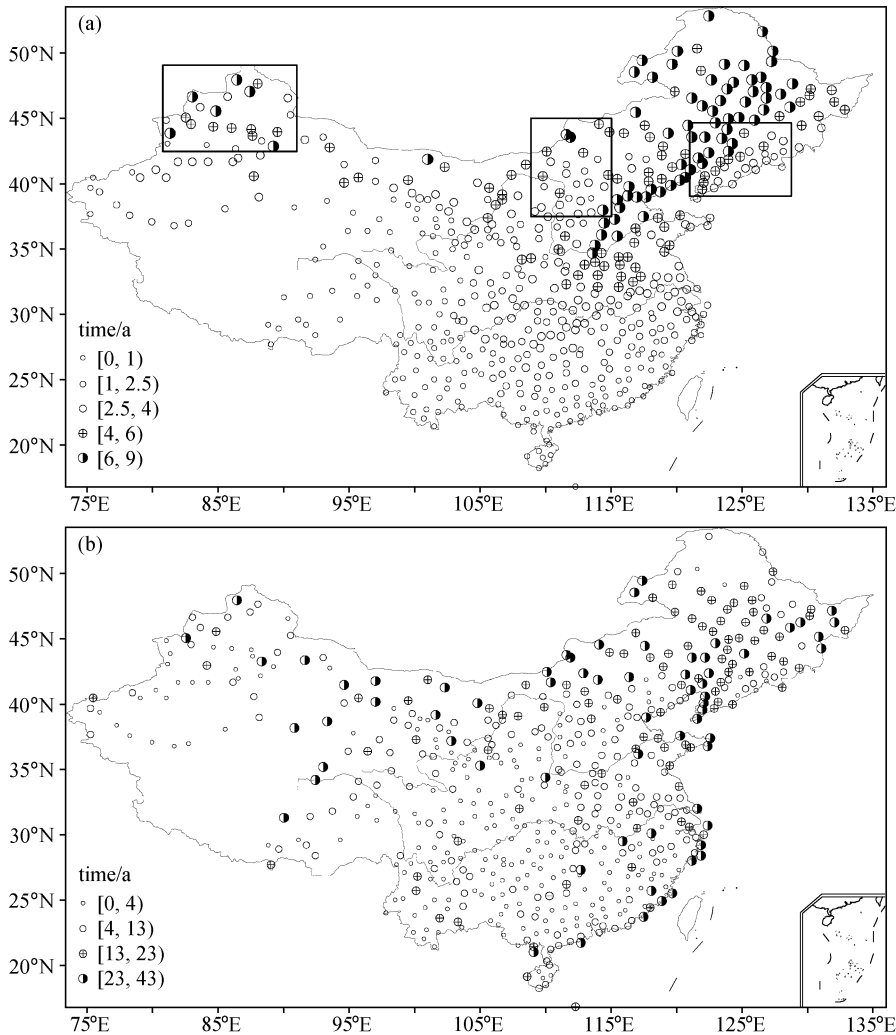


图 5 冬季升压 (≥ 10 hPa) 事件 (a) 和日平均风速 (≥ 5.5 m/s) 事件 (b) 的年平均频次分布
Fig. 5 Distributions of annual mean frequencies of events with (a) pressure rise above 10 hPa in winter and (b) strong wind speed above 5.5 m/s in winter

表 1 我国北方 45 个冬季区域降温、升压和大风事件(次数)之间的对应关系

Table 1 Frequencies of temperature drop, pressure rise and strong wind events over three typical areas in 45 winters

区域	降温	升压	大风
新疆	达标降温数: 168.7	对应降温数 41.2 (24.4%)	对应降温数 45.6 (27.0%)
	对应升压数 41.3 (22.0%)	达标升压数: 187.6	对应升压数 69.9 (37.3%)
	对应大风数 33.2 (7.6%)	对应大风数 61.6 (14.2%)	达标大风数: 433.7
河套	达标降温数: 150.1	对应降温数 37.8 (25.2%)	对应降温数 85.5 (57.0%)
	对应升压数 37.9 (21.5%)	达标升压数: 176.1	对应升压数 114.1 (64.8%)
	对应大风数 69.0 (7.3%)	对应大风数 93.0 (9.8%)	达标大风数: 946.3
东北	达标降温数: 188.2	对应降温数 28.0 (14.9%)	对应降温数 32.7 (17.4%)
	对应升压数 28.1 (18.2%)	达标升压数: 154.8	对应升压数 47.4 (30.6%)
	对应大风数 29.3 (7.0%)	对应大风数 38.4 (9.2%)	达标大风数: 415.6

表 2 我国北方 3 个区域上选择站点在 45 个冬季降温、升压和大风事件(次数)之间的对应关系

Table 2 Same as Table 1, except at three stations

区域	降温	升压	大风
新疆福海 (51058)	达标降温数: 127	对应降温数 46 (36.2%)	对应降温数 29 (22.8%)
	对应升压数 46 (14.7%)	达标升压数: 312	对应升压数 104 (33.3%)
	对应大风数 33 (7.6%)	对应大风数 136 (31.5%)	达标大风数: 432
河套阿巴嘎旗 (53192)	达标降温数: 114	对应降温数 36 (31.6%)	对应降温数 58 (50.9%)
	对应升压数 38 (15.1%)	达标升压数: 252	对应升压数 132 (52.4%)
	对应大风数 59 (6.9%)	对应大风数 128 (15.0%)	达标大风数: 855
东北本溪 (54346)	达标降温数: 118	对应降温数 22 (18.6%)	对应降温数 19 (16.1%)
	对应升压数 24 (14.3%)	达标升压数: 168	对应升压数 37 (22.0%)
	对应大风数 17 (6.7%)	对应大风数 23 (9.1%)	达标大风数: 253

件是同时升压和伴随大风的。升压达标时只有 1/5 的降温 and 1/3 的大风次数对应。新疆北部刮大风是很平常的事件,但不一定对应寒潮和升压事件。表 1 中河套地区降温事件中有 25.2% 对应升压和 57% 对应大风。升压事件中有 21.5% 对应降温和 64.8% 对应大风。河套地区的大风事件也很多,对应的降温事件和升压事件却很少。东北地区在 3 者的关系中,除了升压事件对应有 1/3 的大风外,其他的都低于 20%,大风发生对应的降温和升压事件都小于 10%。表 2 虽然分别是在新疆北部、河套、东北上述 3 个区域上各选择的一个站降温、升压和大风的对应分布,但与区域上的对比基本一致。

5 寒潮事件的变化趋势

从上面的分析看到,降温、升压和大风频次的对应关系因地区而异,难以得到显著的统计年际变

化关系。这里,我们从长期趋势上分析它们之间的联系。统计发现,过去的 45 个冬季中大于 10℃ 的降温事件面临着减少的趋势(图 6)。无论是 1 日降温还是 2 日降温,寒潮事件减少的趋势主要集中在新疆、华北、东北和华东地区。上述地区中,最大的减少次数达到 1~2 次/10 a。但在黄河以南的一些站点还有降温频次增加的趋势。

冬季 1 日升压频次趋势和冬季大风频次趋势如图 7 中所示。升压频次减少的趋势并达到信度水平的站点集中在河套-华北和华中地区,很多点上在过去的 45 年中减少了 1~2 次。全国大风次数普遍减少,北方比南方减少的多,东部比西部减少的多。大风频次减少幅度不大或有所增加(没有达到检验标准)的站点出现在我国西南地区。

我国北方以降温 5℃ 为等级并满足大于 2 日 10℃ 降温的事件在不同十年中也是表现为减少的。

每个十年平均每年的各级降温发生频次表明(表 3), 1980~1990 年代与 1960~1970 年代相比, 表现为明显的减少。1966/1967 年的冬季, 2 日降温达到 -33.4°C , 进入 1990 年以来的十多年中最大的 2 日降温没有超过 -30°C 。从表 4 的 1 日升压和大风频次看, 年平均次数也是前 20 年比后 25 年多。

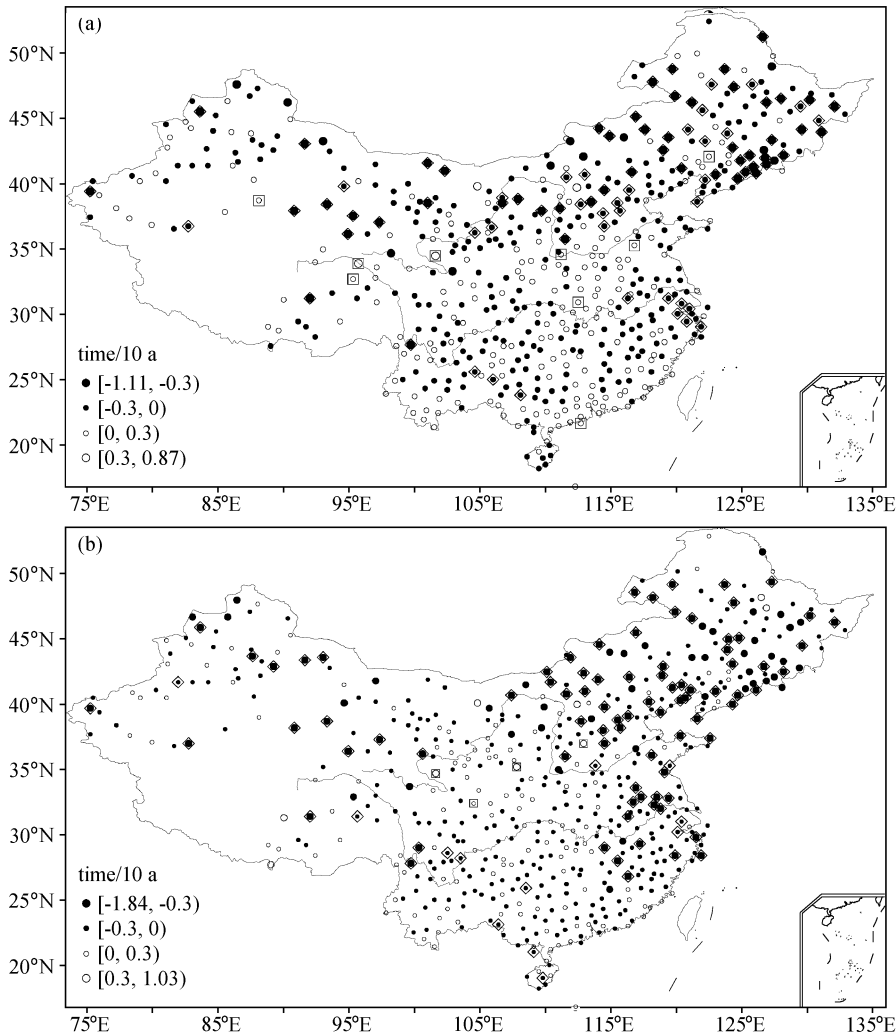


图 6 1960~2005 年 45 个冬季 1 日 (a) 和 2 日 (b) 寒潮降温 ($\geq 10^{\circ}\text{C}$) 频次趋势 (单位: 次数/10 a)。空心圆和实心圆分别表示正、负趋势, 方形和菱形表示正、负趋势达到 0.05 的显著水平

Fig. 6 The frequency trends of events with (a) 1-day and (b) 2-day temperature drops above 10°C in the 45 winters from 1960 to 2005. Circles denote the positive trends and solid dots denote the negative trends. Squares and diamonds denote the positive and negative trends above the 0.05 significance level

表 3 中国北方 (35°N 以北) 区域 (276 个站点) 平均 2 日降温 ($\geq 10^{\circ}\text{C}$) 各级降温事件年频次在不同十年中的分布

Table 3 Annual mean frequency distributions of 2-day temperature drop above 10°C averaged over northern China for various drop scales based on 276 stations

	降温频次/ a^{-1}				最大降温/ $^{\circ}\text{C}$ (冬季)
	10~15 $^{\circ}\text{C}$	15~20 $^{\circ}\text{C}$	20~25 $^{\circ}\text{C}$	>25 $^{\circ}\text{C}$	
1960~1969 年	4.20	0.72	0.10	0.01	-33.4 (1966/1967)
1970~1979 年	3.92	0.63	0.08	0.01	-31.2 (1970/1971)
1980~1989 年	3.50	0.41	0.04	0	-32.2 (1987/1988)
1990~1999 年	3.56	0.49	0.05	0.01	-29.3 (1990/1991)
2000~2005 年	3.61	0.46	0.05	0.01	-28.9 (2000/2001)

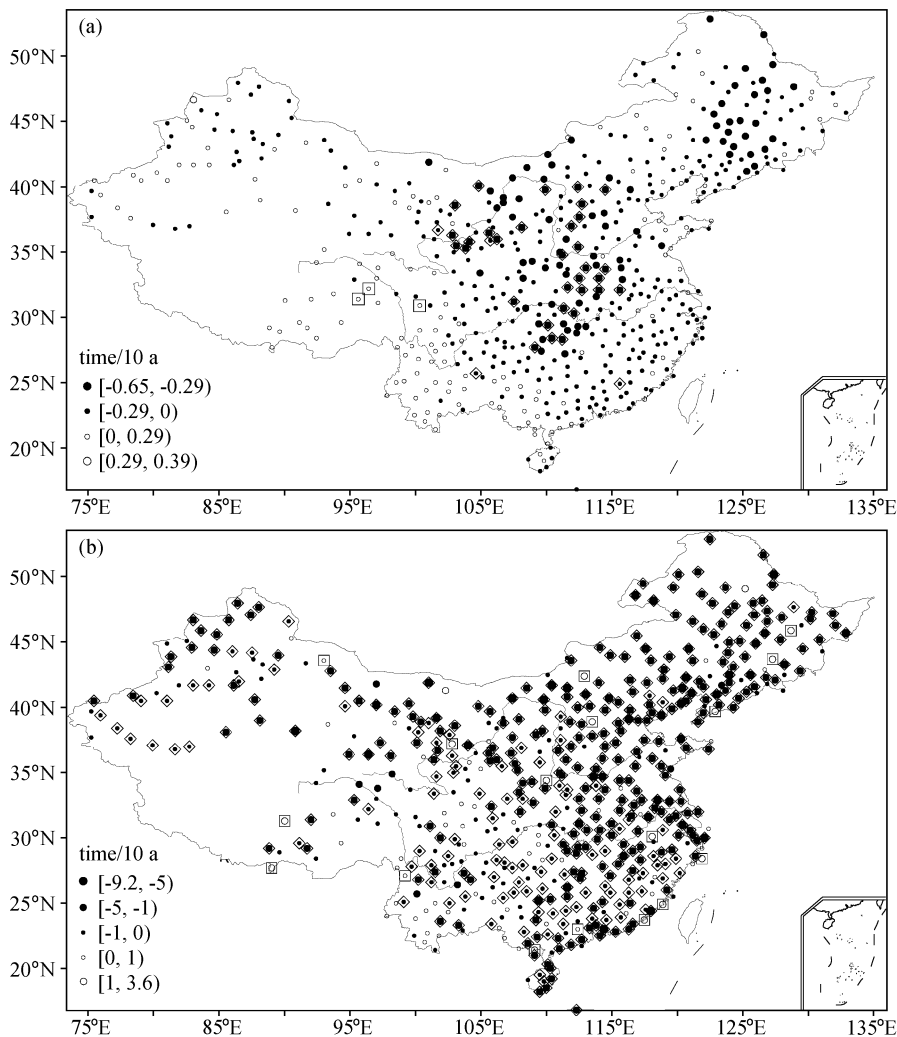


图 7 同图 6, 但为冬季 1 日升压频次 (a) 和大风频次 (b) 的变化趋势 (单位: 次/10 a)

Fig. 7 As in Fig. 6, except for 1-day (a) pressure rise and (b) strong wind

表 4 同表 3, 但为平均 1 日升压事件年频次和平均大风事件年频次在不同十年中的分布

Table 4 Same as Table 3, except for events with 1-day pressure rise above 10 hPa and wind speed above 5.5 m/s

	升压和大风频次/a ⁻¹				最大风速/m·s ⁻¹ (年)
	升压 10~16 hPa	升压 16 hPa 以上	风速 5.5~7.7 m/s	风速>7.7 m/s	
1960~1969 年	4.28	0.40	10.62	5.52	30.3 (1969/1970)
1970~1979 年	3.68	0.31	10.72	5.47	32.0 (1973/1974)
1980~1989 年	3.66	0.20	8.51	3.45	28.5 (1982/1983)
1990~1999 年	3.74	0.27	7.30	2.47	30.8 (1998/1999)
2000~2005 年	3.76	0.27	6.56	2.21	26.9 (2004/2005)

6 寒潮活动与其他变量的趋势

我们曾先后用近 500 站的中国冬季日平均温度、日最高和日最低温度做了近 40 年温度变化的

趋势分析。分析发现, 1960 年以来冬季的平均温度是全国普遍升高^[28]。在我国北方由于冷夜的减少和暖夜的增多比暖日的增多和冷日的减少趋势还大, 这导致了我国温度日较差 (DTR) 的普遍减

小^[20]。过去的 40 多年中，我国冬季（10 月～次年 4 月）日最低温度在很多站点上增温达 2~4℃（图略），表现为暖冬在持续增多。

寒潮天气的减少与冬季最低温度和平均温度的升高以及大气环流变化之间必然有着内在的联系。图 8 给出了中国北方冬季区域平均的降温频次、最

低温度、升温事件、大风事件和 AO 指数各自的趋势变化。我国北方 1 日降温事件和 2 日降温事件减少达到了 0.001 的显著水平，每十年分别减少了 0.17 次和 0.26 次。北方寒潮相当于文献[24]定义的全 国寒潮，两者的递减率相似。最多的降温事件发生在 1965/1966 年冬季，1 日事件和 2 日事件数

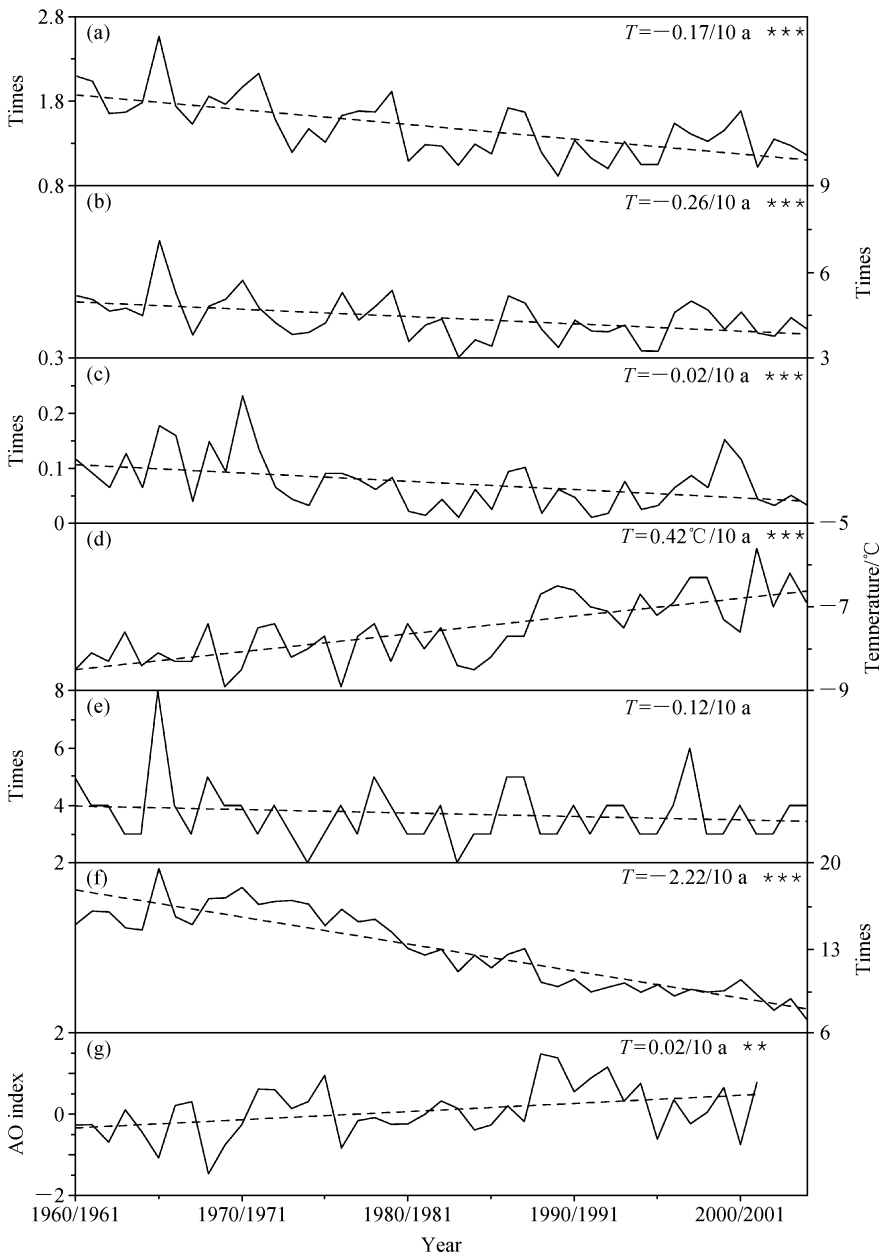


图 8 中国北方（35°N 以北）冬季区域平均 1 日降温（≥10℃）频次（a），2 日降温（≥10℃）频次（b），2 日降温（≥20℃）极端寒潮频次（c），日平均最低温度（d），1 日升压（≥10 hPa）频次（e），日平均风速（≥5.5 m/s）的时间序列（f）和冬季 AO 指数时间序列（g）及其趋势（T）。**、*** 代表趋势达到 0.01、0.001 的显著水平

Fig. 8 Time series and the trends (T) for (a) 1-day temperature drop above 10℃, (b) 2-day temperature drop above 10℃, (c) 2-day temperature drop above 20℃, (d) daily mean minimum temperature, (e) 1-day pressure rise above 10 hPa, (f) daily mean wind speed above 5.5 m/s averaged over northern China, and (g) AO (the Arctic Oscillation) index in winter. Signs **, *** denote the trends at the significance levels of 0.01, 0.001, respectively

分别达到 2.6 次和 7.1 次。但在 1989/1990 年冬季 1 日降温事件仅为 0.9 次, 1983/1984 年 2 日降温事件只有 3.0 次。不但是普通的寒潮事件, 降温大于 20°C 的极端寒潮频次的减少也达到了 0.001 的显著水平。寒潮事件的显著减少也带来了冬季最低温度的显著升高, 45 年来冬季最低平均温度从 -8.5°C 升高到 -6.9°C 。冬季的升压次数也是减少的, 但并没有达到显著水平。45 个冬季以来, 大风频次以每 2.2 次/10 a 的速率在显著减少。在这 45 年中, 冬季 AO 指数向正位相发展的趋势达到 0.01 的显著水平。从这些序列中可以注意到在 1990/1991 年前后, 降温事件、升温、升压和大风频次与 AO 指数都存在同期变化的特征。这些变量的多年分布中不但有长期减少或增加的趋势, 也还存在 7~8 年的振荡。

7 结果与讨论

本文使用中国气象局资料中心整编的 572 个站点 1960 年 1 月 1 日到 2005 年 12 月 31 日日最低温度、日平均温度、日平均气压、日平均风速和 AO 指数等变量对我国寒潮的时空分布做了初步的分析。从全国的角度考虑寒潮, 定义 1 日和 2 日降温达到 10°C 以上的事件为寒潮。在这一定义下, 本文对我国寒潮时空分布和可能的影响途径有了一些新的认识。发生在我国的寒潮以北方 (35°N 以北) 最多, 其次是江南地区, 东部有一个相对低值带在长江以北到 35°N 之间。南北两个寒潮高频活动带反映了影响我国的南方锋区和北方锋区的存在。在北方的寒潮中又有 3 个高频中心, 分别在新疆的北部、河套和东北地区, 这与当地气旋波高发中心^[30]的存在有关。中国的寒潮主要出现从 10 月到次年的 4 月, 我们把这一时段称为冬季风时期。在冬季风期间, 东北的寒潮从 10 月份就出现了, 而河套和江南的寒潮在 4 月份还存在高频时段。

一般认为, 寒潮爆发时会同时出现降温、升压和大风等天气现象。除了寒潮的发生具有区域差异外, 冬季我国日平均气压的升高也受地理位置的限制, 高频升压主要出现在东北平原、华北平原和华中原的位置上。冬季我国的大风除了高原和高山站外, 高频发生区与影响我国的寒潮活动路径相对应。以日降温 10°C 、日升压 10 hPa 和日平均大风大于 5.5 m/s 为标准, 分析了一个变量达标事件与

其他两个变量达标事件之间的关系。在所有的降温事件中, 只有不超过 1/3 的事件是伴随升压和大风的。升压事件或大风事件对应的其他两个变量同时达标的频次除了河套地区有较高的比例外, 一般只有 10%~20%。

过去的 45 个冬季中大于 10°C 的降温事件呈现为减少的趋势。无论是 1 日降温还是 2 日降温, 寒潮事件减少的趋势主要集中在新疆、华北、东北和华东地区, 最大的减少次数达到 1~2 次/10 a。升压频次减少的趋势并达到信度水平的站点集中在河套-华北和华中地区, 很多点上在过去的 40 年中减少了 1~2 次。全国大风次数普遍减少, 北方比南方减少的多, 东部比西部减少的多。虽然寒潮常常与降温、升压和大风相联系, 但不存在确切的对应统计关系。

过去的 45 个冬季, 影响中国的普通寒潮 (降温 $10\sim 15^{\circ}\text{C}$) 事件、强寒潮 (降温 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$) 事件, 乃至降温大于 20°C 的极端寒潮频次都显著减少了, 强度也减弱了。与寒潮减少同步的是冬季大风事件的显著减少, 但冬季的平均最低温度显著增加了。这里的问题是温度的升高导致寒潮的减少, 还是寒潮事件的减少导致温度的升高? 寒潮活动是与冬季天气尺度波动, 即中高纬度气旋与反气旋的活动紧密联系的。过去的 40 多年来, 影响我国北方冬季的气旋频次是减少的^[29]。AO 指数是 20°N 以北的海平面气压场作 EOF 分解后得到的主分量模态的时间序列, 可以用来表征极地涡旋 (Polar Vortex) 的强弱^[18], 并且会影响高纬度阻塞系统的形成和维持^[19]。一般来说, 低 AO 指数时, 容易形成阻塞系统。阻塞系统会减慢天气系统波动的向东传播, 影响极地冷空气向低纬度地区的爆发和形成寒潮。反之, 高 AO 指数时期不容易发生寒潮。Thompson 和 Wallace^[19]发现低 AO 指数时, 不仅仅是北美、欧洲和西伯利亚更容易发生冷的事件, 在东亚也是一样。冬季 AO 指数在 1960~2002 年期间呈现为上升的趋势, 可以解释我国北方以及华东寒潮频次减少的趋势。AO 指数的上升表征西风带上天气尺度斜压波动 (气旋) 的减弱和减少, 即影响我国中高纬度寒潮事件的减少。降温频次的减少会导致冬季平均最低温度的升高, 在一定程度上对暖冬的维持产生作用。1960 年代和 1970 年代, 寒潮降温事件不但强也频繁, 这必然使冬季平均温

度向冷的气候态偏移。近几十年来, 强寒潮降温 and 频次都在减少, 则会使冬季平均温度向暖的气候态偏移。

随着全球增暖, 特别是北半球高纬地区较高的冬季增温, 这会导致冬季南北温差的减小, 结果使大气的斜压性减小, 气旋-大风频次和冬季寒潮频次减少, 也就形成了暖冬。

参考文献 (References)

- [1] 商联. 寒潮知识. 气象, 1975, **2** (9): 13~15
Shang Lian. Knowledge on cold surge. *Meteorological Monthly* (in Chinese), **2** (9): 13~15
- [2] 邓先瑞. 寒潮. 北京: 商务印书馆, 1977. 75pp
Deng Xianrui. *Cold Wave* (in Chinese). Beijing: The Commercial Press, 1977. 75pp
- [3] 刘传凤. 我国寒潮气候评价. 气象, 1990, **16** (12): 43~45
Liu Chuanfeng. The climate assessment of cold waves in China. *Meteorological Monthly* (in Chinese), **16** (12): 43~45
- [4] Ryoo S B, Kwon W T, Jhun J G. Surface and upper-level features associated with wintertime cold surge outbreaks in South Korea. *Adv. Atmos. Sci.*, 2005, **22** (4): 509~524
- [5] Lau K M, Chang C P. Planetary scale aspects of the winter monsoon and atmospheric teleconnection. *Monsoon Meteorology*. USA: Oxford University Press, 1987. 161~202
- [6] 陶诗言. 东亚冬季冷空气活动的研究. 见: 中央气象局编. 短期预报手册. 1957
Tao Shiyuan. A study of activities of cold airs in East Asian winter. *Handbook of Short-term Forecast* (in Chinese), Chinese Meteorological Administration, Ed. 1957
- [7] 李宪之. 东亚寒潮的侵袭研究. 中国近代科学论著选刊——气象学 (1919~1049). 北京: 科学出版社, 1955. 35~177
Li Xianzhi. A study of cold waves in East Asia. *Offprints of Scientific Works in Modern China—Meteorology* (1919~1949) (in Chinese). Beijing: Science Press, 1955. 35~117
- [8] Staff Members of Academia Sinica. On the general circulation over eastern Asia; Part II. *Tellus*, 1958, **10** (1): 58~75
- [9] 仇永炎, 赵其庚. 1978 年 10 月份寒潮前后的正压能量转换与季节过渡. 气象学报, 1983, **41** (2): 159~166
Qiu Yongyan, Zhao Qigeng. Barotropic energy conversion before and after the cold wave in October 1978 and seasonal transition. *Acta Meteorology Sinica* (in Chinese), 1983, **41** (2): 159~166
- [10] 仇永炎, 王为德. 寒潮中期预报研究进展. 气象科技, 1983, **3**: 9~15
Qiu Yongyan, Wang Weide. Advances on the project for medium range forecast of cold wave. *Meteorological Science and Technology* (in Chinese), 1983, **3**: 9~15
- [11] 仇永炎, 刘景秀. 寒潮中期预报研究成果简介. 气象学报, 1985, **43** (2): 253
Qiu Yongyan, Liu Jingxiu. A brief report of the mediumrange forecast of cold wave in China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1985, **43** (2): 253
- [12] 刘怡, 仇永炎. 用轨迹法研究寒潮个例. 气象学报, 1992, **50** (1): 62~73
Liu Yi, Qiu Yongyan. A case study of cold wave in East Asia using trajectory techniques. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1992, **50** (1): 62~73
- [13] 仇永炎, 朱亚芬. 关于寒潮中期过程的正压能量学的统计研究. 全国寒潮中期预报文集. 北京: 北京大学出版社, 1984. 41~51
Qiu Yongyan, Zhu Yafen. The investigation on barotropic energetics for the medium range variations of general circulation during the outbreaking of severe cold waves. *Collective Works on the Mediumrange Forecast of Cold Wave* (in Chinese). Beijing: Peking University Press, 1984. 41~51
- [14] 丑纪范. 寒潮中期数值预报的多时刻模式. 全国寒潮中期预报文集. 北京: 北京大学出版社, 1984. 142~151
Chou Jifan. A model of medium-range forecasting for “cold wave” utilizing multiple instant observational data. *Collective Works on the Mediumrange Forecast of Cold Wave* (in Chinese). Beijing: Peking University Press, 1984. 142~151
- [15] 王为德, 缪锦海. 东亚寒潮中期物理过程的初步分析. 全国寒潮中期预报文集. 北京: 北京大学出版社, 1984. 53~64
Wang Weide, Miao Jinhai. An elementary analysis on middle range physical process for the cold wave in eastern Asia. *Collective Works on the Mediumrange Forecast of Cold Wave* (in Chinese). Beijing: Peking University Press, 1984
- [16] Ding Y H. Build-up, air mass transformation and propagation of Siberian high and its relation to cold surge in East Asia. *Meteor. Atmos. Phys.*, 1990, **44**: 281~292
- [17] Zhang Y, Sperber K R, Boyle J S. Climatology and interannual variation of the East Asian winter monsoon: Results from the 1979 - 95 NCEP/NCAR reanalysis. *Mon. Wea. Rev.*, 1997, **125** (10): 2605~2619
- [18] Thompson D W J, Wallace J M. The arctic oscillation signature in wintertime geopotential height and temperature fields. *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **25** (9): 1297~1300 (<http://www.jisao.washington.edu/ao/#monthly>)
- [19] Thompson D W J, Wallace J M. Regional climate impacts of the Northern Hemisphere annular mode. *Science*, 2001, **293** (5527): 85~89
- [20] Qian W H, Lin X. Regional trends in recent temperature indices in China. *Climate Research*. 2004, **27** (2): 119~134
- [21] 姚正兰. 遵义市寒潮天气过程统计分析, 贵州气象, 2000, **24** (1): 10~13
Yao Zhenglan. Statistical analysis of the cold wave weather process in Zunyi City. *Journal of Guizhou Meteorology* (in Chinese), 2000, **24** (1): 10~13

- [22] 王明洁, 周永吉, 邹立尧. 黑龙江省寒潮天气及预报. 黑龙江气象, 2000, **3**: 30~33
Wang Mingjie, Zhou Yongji, Zou Liyao. Characteristics and forecast of cold waves in Heilongjiang Province. *Heilongjiang Meteorology* (in Chinese), 2000, **3**: 30~33
- [23] Qian W H, Zhang H N, Zhu Y F, et al. Interannual and interdecadal variability of East Asian Acas and their impact on temperature of China in winter season for the last century. *Adv. Atmos. Sci.*, 2001, **18**: 511~523
- [24] 王遵娅, 丁一汇. 近 53 年中国寒潮的变化特征及其可能原因. 大气科学, 2006, **30** (6): 14~22
Wang Zunya, Ding Yihui. Climate change of the cold wave frequency of China in the last 53 years and the possible reasons. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2006, **30** (6): 14~22
- [25] 严中伟, 杨赤. 近几十年我国极端气候变化格局. 气候与环境研究, 2000, **5** (3): 267~372
Yan Zhongwei, Yang Chi. Geographic patterns of climate extreme changes in China during 1951–1997. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5** (3): 267~272
- [26] 北京气象中心气候应用室. 寒潮年鉴. 北京: 气象出版社, 1986
Laboratory of Climate Application of National Climate Center. *The Almanac of Cold Waves* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1986
- [27] Chen T-C, Yen M-C, Huang W-R, et al. An East Asian cold surge: Case study. *Mon. Wea. Rev.*, 2002, **130** (9): 2271~2290
- [28] Qian W H, Qin A M. Spatial-temporal characteristics of temperature variation in China. *Meteor. Atmos. Phys.*, 2006, **93** (1–2): 1~16, doi: 10.1007/s00703-005-0163-6
- [29] Qian W H, Quan L S, Shi S Y. Variations of the dust storm in China and its climatic control. *J. Climate*, 2002, **15** (10): 1216~1229