

# 近53年中国寒潮的变化特征及其可能原因

王遵娅<sup>1,2,3</sup> 丁一汇<sup>2</sup>

1 中国气象科学研究院, 北京 100081

2 国家气候中心, 北京 100081

3 中国科学院研究生院, 北京 100049

**摘要** 利用1951~2004年中国740站逐日温度资料, 对中国寒潮频次的气候特征及其变化进行了分析, 并在此基础上对中国寒潮频次减少的可能原因进行了讨论: 冬季西伯利亚高压和东亚冬季风强度与中国寒潮频次呈显著的正相关。秋冬季节西伯利亚上空低层冷堆温度和中国寒潮频次呈显著的负相关。在气候变暖的大背景下, 西伯利亚高压和冬季风强度的减弱使得冬季中国地表温度持续升高, 而温度的这种变化与中国寒潮频次及其相伴随大风频次的减少均有密切的联系。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。

**关键词** 寒潮 气候变暖 西伯利亚高压 冬季风

**文章编号** 1006-9895(2006)06-1068-09

**中图分类号** P461

**文献标识码** A

## Climate Change of the Cold Wave Frequency of China in the Last 53 Years and the Possible Reasons

WANG Zun-Ya<sup>1, 2, 3</sup> and DING Yi-Hui<sup>2</sup>

1 *Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*

2 *National Climate Center, Beijing 100081*

3 *Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

**Abstract** By virtue of the 740 stations daily surface temperature data in China from 1951 to 2004, the climatology and the climate change of the cold wave frequency of China are analyzed and the possible reasons for the climate change of it are further discussed in this paper.

Firstly, a cold wave is defined according to the difference between the maximum and the minimum daily temperature and the anomaly of the minimum daily temperature from its climatological 10-day mean temperature during the period of the activity of a cold air. Then the temporal and spacial distributions of the cold wave frequency of China are revealed. Cold waves of China occur mainly in autumn, especially in November. But the temporal distributions of cold waves between southern China and northern China are not all the same. The cold waves are relatively more in spring than in autumn in southern China, with the situation being opposite in northern China. The cold waves occur mostly in northern China, especially in northern Xinjiang and middle Inner Mongolia, being over 10 times per year on average. There were 371 regional and countrywide cold waves of China from 1951 to 2003, including 104 countrywide ones. Further analyses are processed and the main conclusions are as follows: In recent 53 years, cold waves in most stations of China decreased significantly, especially in Northeast China. As for the countrywide cold wave and the regional cold wave, both of them decreased obviously and their linear trend coefficients are  $-0.031$  times/

year and  $-0.063$  times/year, respectively. The regional cold wave in northern China decreased most, with its linear trend coefficient being  $-0.071$  times/year. The cold wave began to decrease in the 1960s and changed abruptly in the late 1970s. The decreasing trend is most significant in winter and least significant in spring.

On the basis of analyses about climatology and climate change of the cold wave frequency of China, the possible reasons why they have changed are discussed by correlation analysis. In winter, the strength of Siberian high has a positive correlation with the frequency of regional and countrywide cold waves of China. The weakening of Siberian high mainly resulted in the decrease of their total number. Under the background of global warming, the surface temperature of China and the temperature of the cold mass over Siberian high have increased evidently in the last 53 years. And they both have the negative correlation with the cold wave frequency, especially in autumn and winter and in northern China. They may explain directly why the cold wave frequency of China decreased, the gale frequency having being decreased accordingly. And, it may cause the increase of the surface temperature of China, especially in northern China, that Siberian high and the winter monsoon have weakened in the last 53 years on different degree. They have important impacts on the cold wave frequency of China through the change in temperature.

**Key words** cold wave, climate warming, Siberian high, winter monsoon

## 1 引言

东亚冬季风强烈的向南爆发会产生寒潮。寒潮天气通常会造成剧烈降温和大风,有时还伴有雨、雪、雨淞或霜冻,给国民经济造成巨大损失。李宪之<sup>[1]</sup>早在1955年就指出东亚寒潮可以分为三大类型。陶诗言<sup>[2]</sup>研究了影响中国大陆的冷空气源地和路径。后来,经丁一汇<sup>[3]</sup>和张培忠等<sup>[4]</sup>的进一步研究证实,侵袭中国的寒潮源地主要有三个:一是新地岛以西的北冰洋洋面;二是新地岛以东的北冰洋洋面;三是冰岛以南的大西洋洋面。冷气团在上述源地形成后,移至西伯利亚中部( $43^{\circ}\text{N}\sim 65^{\circ}\text{N}$ ,  $70^{\circ}\text{E}\sim 90^{\circ}\text{E}$ )的寒潮关键区停留一段时间,聚集加强,然后在适当天气形势下,沿西路、中路和东路三条路径爆发南下。通过大量有关寒潮的主要源地、寒潮的统计特征<sup>[5]</sup>、寒潮天气系统及其天气过程<sup>[6,7]</sup>、寒潮的成因及预报等研究<sup>[8~10]</sup>,形成了比较系统和经典的寒潮理论<sup>[11,12]</sup>。最近,Chan等<sup>[13]</sup>对东亚冬季风进行了全面总结,这对于了解东亚寒潮形成的环流背景和条件是十分有益的。

近十几年来,中国的气温出现了明显的升高趋势,尤其在冬季<sup>[14]</sup>。在此背景下,很多研究发现中国寒潮的发生频率和强度也出现了明显变化。统计分析表明,从20世纪50年代到80年代中国各类寒潮的发生频次呈减少趋势,且强度有所减弱<sup>[15~20]</sup>。但这些研究大都针对国内不同地区,其结论具有明显的区域性;很多关于寒潮特征和变化的研究都在20世纪80年代中期以前进行的,目前

有必要用新的资料对其进行更新;并且对于寒潮的长期变化原因一直以来都研究得较少。因此,本文的目的就是用最新的资料,着眼于全国,对中国寒潮进行统计并分析其长期变化状况,并在此基础上讨论造成寒潮变化的可能原因。

## 2 资料和方法

本文所用资料是来源于中国气象局国家气象中心整编的740台站逐日平均温度和日最低温度资料,长度为1951年1月1日~2005年3月31日;729站逐日风速资料,长度为1951年1月1日~2004年12月31日。有关这份站点资料的详细情况可参考文献<sup>[14]</sup>。也使用了NCAR/NCEP逐月海平面气压,850 hPa和700 hPa逐月温度资料,长度为1951~2004年,水平分辨率为 $2.5^{\circ}$ (经度) $\times 2.5^{\circ}$ (纬度),该资料由美国国家环境预报中心和美国大气科学研究中心(NCAR/NCEP)共同完成<sup>[21]</sup>。在对中国寒潮频次的长期变化特征进行讨论时,主要采用了线性回归的趋势分析方法,并利用时间与变量之间的相关系数对变化趋势进行显著性检验。

## 3 寒潮标准

根据中央气象台的标准,以过程降温和温度距平相结合来划分冷空气活动的强度,可分为寒潮、强冷空气和一般冷空气。本文仅对寒潮进行讨论,并且着重于寒潮的发生频率,而不再对寒潮强度进行分级。并在讨论中将寒潮区分为单站寒潮、区域

性寒潮和全国性寒潮。单站寒潮的标准为：过程降温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ ，且温度距平 $\leq -5^{\circ}\text{C}$ 。全国性寒潮的标准为：达单站寒潮标准的南方站点数和北方站点数分别占当年总南方站点数和总北方站点数的  $1/3$  和  $1/4$ ；或者达单站寒潮标准的站数占全国总站数的  $30\%$  以上，并且过程降温 $\geq 7^{\circ}\text{C}$ ，温度距平 $\leq -3^{\circ}\text{C}$  的站数占全国总站数的  $60\%$  以上。区域性寒潮的标准为：除全国性寒潮外，达单站寒潮标准的站数占全国总站数的  $15\%$  以上，并且过程降温 $\geq 7^{\circ}\text{C}$ ，温度距平 $\leq -3^{\circ}\text{C}$  的站数占全国总站数的  $30\%$  以上。其中，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；温度距平指冷空气影响过程中最低日平均气温与该日所在旬的多年旬平均气温之差。南北方的分界线取  $32^{\circ}\text{N}$ 。为研究方便，将寒潮季定义为当年的 9 月到次年 5 月，只包含春（3~5 月）、秋（9~11 月）、冬（12~2 月）三季，共讨论了 53 年的寒潮特征及变化。

本文中全国和区域性寒潮的标准是根据寒潮年鉴<sup>[22]</sup>制订的，略有不同的是，寒潮年鉴以发生寒潮的单站数目多少为标准，而本文以发生寒潮的单站数占当年总站数的百分比值为标准。在对 1951~2003 年各年的寒潮次数进行统计之后，将其与同时段寒潮年鉴中的结果（1951~1987 年）进行比较，发现两者基本一致，但存在部分差异。全国性寒潮的次数两者非常相近，在少数年份出现了 $\pm 1$  次的差异。而对区域性寒潮，本文中的统计普遍偏多 1~2 次。造成这种差异的原因主要有以下两个：（1）在寒潮年鉴中，固定选取了全国 149 个站点进行统计。而在本文中，选取了当年有记录的所有台站进行统计。（2）寒潮年鉴中南北方的界限是大致在  $30^{\circ}\text{N}$  附近的一条曲线，而本文中则以  $32^{\circ}\text{N}$  为南北分界线。

#### 4 中国单站寒潮的气候特征及变化

图 1 所示为中国单站寒潮的年均发生频次。从北向南的递减是显而易见的，两个大值带分别位于内蒙古中部和新疆北部，都在 8 次以上，尤其是前者，达 10 次以上。黄河以北地区，年均发生寒潮次数在 4 次以上。中国东部的长江流域到华南一带，在 3 次左右。青藏高原和西南一带最少。春、秋和冬季的情况与年均相似（图略），虽然 3 个季节的差别不大，但秋季是寒潮最为频发的季节，春

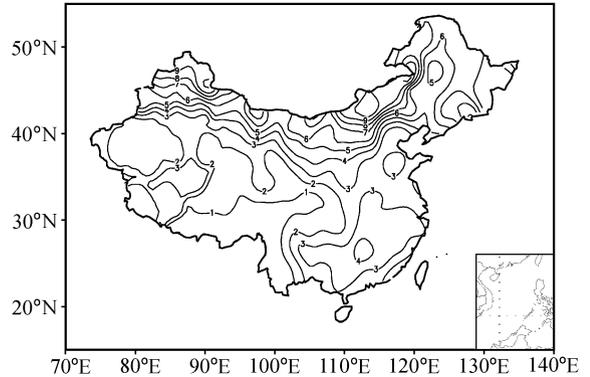


图 1 中国多年平均（1951~2003）的单站寒潮次数  
Fig. 1 Mean cold wave frequency of each station in China averaged from 1951 to 2003

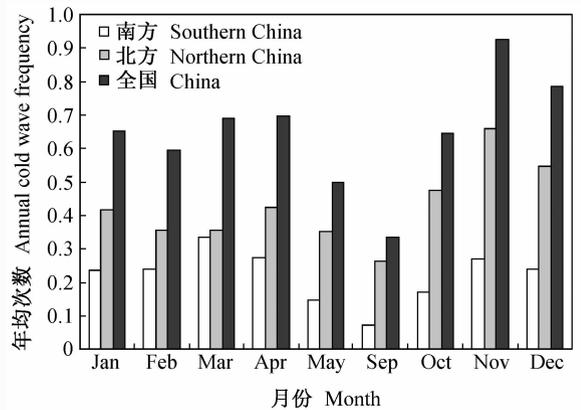


图 2 区域平均的单站寒潮频次在各月份的分布  
Fig. 2 Monthly area-averaged cold wave frequencies

季次之，冬季最少。从图 2 还可以看出区域平均的单站寒潮频次在各月份的分布。就全国而言，单站寒潮在 11、12 月份和 3、4 月份发生最多，9 月最少；南方的寒潮多发生于春季，以 3 月份为最；而北方刚好相反，10~12 月份的寒潮明显多于其他月份，尤其是 11 月。

利用线性回归方法讨论寒潮频次在近 53 年的变化趋势可知，对单站而言（图 3），全国大部分区域的寒潮频次在寒潮季都减少了，东北地区尤其明显，线性趋势系数大都在  $-0.05$  次/年以上，局部地区达到  $-0.08$  次/年。并且，东北地区寒潮的减少趋势达到了  $95\%$  的信度水平。在其余地区，寒潮频次的变化趋势大都为  $-0.02$  次/年左右。就各个季节而言（图略），冬季的情况与寒潮季最为相似，几乎在全国都为减少趋势，且东北大部 and 西北局部地区通过了信度检验。春季和秋季在中国北方

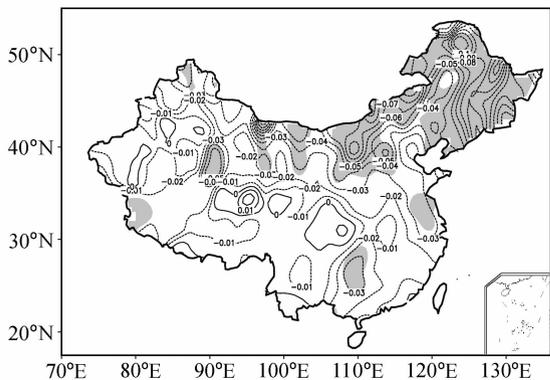


图 3 中国近 53 年 (1951~2003) 各站寒潮季寒潮频次的线性变化趋势系数 (单位: 次/a), 阴影区为通过了 95% 的信度检验  
Fig. 3 Linear trend coefficients of the cold wave frequency (times/a) of each station in China from 1951 to 2003. Shaded areas denote the values passing the 95 % confidence level

都为负趋势, 但在南方出现了正趋势, 通过信度检验的区域也有所减少。虽然冬季不是单站寒潮最为频发的季节, 但寒潮频次的减少在冬季最明显。

### 5 全国和区域性寒潮的气候特征及变化

据统计, 近 53 年以来, 全国和区域性寒潮 (统称为总寒潮次数) 共发生 371 次, 平均每年 7 次, 其中全国性寒潮为 104 次, 平均每年发生 2 次左右。总寒潮次数在各月的频次分布 (图略) 显示, 11 月是寒潮发生最频繁的季节, 53 年中共发生 63 次, 占总数的 17.3%; 其次是 4 月和 12 月, 各占总数的 14%; 9 月最少, 53 年内一共出现了 8 次, 仅占总数的 2%。全国性寒潮的情况与此相同, 11 月最多, 而 9 月没有出现过全国性寒潮。

从图 4 可以很明显地看出寒潮的年际变化特征, 总寒潮次数及全国性寒潮次数的标准差分别为 2.46 和 1.36。其年代际变化也很显著, 20 世纪 50、60 年代寒潮偏多, 70 年代为一过渡时期, 80、90 年代寒潮偏少。总寒潮次数在 50 年代最多, 而 80 年代最少, 但全国性寒潮次数从 50 年代到 90 年代逐渐递减。M-K 检验表明 (图略), 中国寒潮频次的减少自 20 世纪 60 年代末开始, 并在 20 世纪 70 年代末出现突变, 显著减少。进入 20 世纪 90 年代, 减少趋于平缓。从长期变化来看, 无论是总寒潮次数还是全国性寒潮次数, 在近 53 年都出现了明显的减少趋势, 其线性趋势系数分别为 -0.063

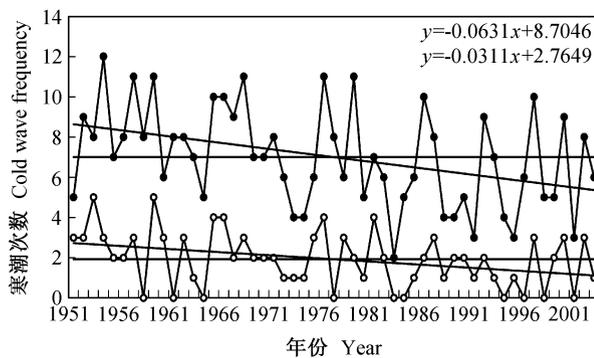


图 4 1951~2003 年总寒潮次数 (上) 和全国性寒潮次数 (下) 的序列及线性趋势

Fig. 4 Time series of the frequency of the regional and country-wide cold waves (top) and the frequency of the countrywide cold waves (bottom) and their linear trends from 1951 to 2003

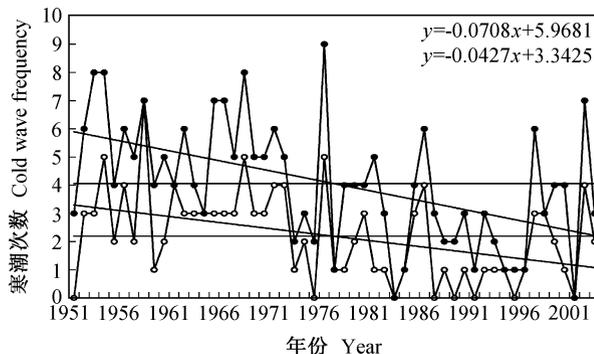


图 5 1951~2003 年北方总寒潮次数 (上) 和北方型寒潮次数 (下) 的序列及线性趋势

Fig. 5 Time series of the total number of cold waves impacting northern China (top) and the cold wave frequency of northern China (bottom) from 1951 to 2003 and their linear trends

次/年和 -0.031 次/年, 两者都通过了 95% 的信度检验。实际上, 寒潮在春季、秋季和冬季都是呈减少趋势的, 线性趋势系数分别为 -0.0092 次/年, -0.026 次/年和 -0.034 次/年, 秋季和冬季通过了 95% 的信度检验。

从图 3 可知, 中国北方单站寒潮频次的减少比南方明显得多。因此, 采用中国北方的站点, 根据区域性寒潮的标准, 对北方型寒潮 (仅影响中国北方) 频次进行了统计 (图 5)。北方型寒潮占了中国区域性寒潮的主要部分, 其减少趋势是各区域中最强的, 线性趋势系数达 -0.0427 次/年, 通过了 95% 的信度检验。全国性寒潮同样会影响中国北方。如果将全国性寒潮也统计在内, 则北方发生的总寒潮次数仅略少于图 4 中全国的总寒潮次数 (图

5), 而寒潮频次的下降趋势更明显, 线性趋势系数为 $-0.0708$ 次/年, 通过了 $95\%$ 的信度检验。这充分表明了北方寒潮减少的显著及其对中国各类寒潮频次减少所起的重要作用。

## 6 中国寒潮频次变化的可能原因分析

寒潮是西伯利亚高压向南爆发的一种激烈天气过程, 因此在寒潮频次发生变化的时候首先会考虑它是否由西伯利亚高压强度的变化引起。取( $40^{\circ}\text{N} \sim 60^{\circ}\text{N}$ ,  $70^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$ )区域作为西伯利亚高压主体, 将该区域内海平面气压的平均值作为西伯利亚高压强度。通过计算该强度与总寒潮次数之间的相关系数发现: 在冬季, 西伯利亚高压越强, 全国性和区域性寒潮的总次数就越多, 两者的相关系数为 $0.33$ , 达到 $95\%$ 的信度。并且, 西伯利亚高压强度与中国单站寒潮频次也成显著的正相关, 尤其在华北北部(图略)。而在春季和秋季, 西伯利亚高压强度与寒潮频次分别呈弱的负相关和正相关关系。相关关系在冬季显著而在春秋季节不明显, 主要的原因是西伯利亚高压在冬季最强, 而在春秋季节较弱。分析表明, 近53年来西伯利亚高压强度在冬季呈显著的下降趋势, 线性趋势系数为 $-0.048$  hPa/a。这与龚道溢等<sup>[23]</sup>的研究结果比较一致, 他们建立的近百年西伯利亚高压强度序列表明, 西伯利亚高压在20世纪60年代最强, 而从80年代后期到90年代变弱。该下降趋势与中国冬季寒潮的减少显著相关, 说明西伯利亚高压强度的减小是全国和区域性寒潮减少的可能原因。天气经验也表明, 一次强西伯利亚高压有时可对应多次寒潮的向

南爆发。

与西伯利亚高压相配合, 西伯利亚上空低层冷空气的堆积是寒潮爆发的必要条件。如图6和图7所示, 西伯利亚地区 $700$  hPa和 $850$  hPa上的温度与中国寒潮频次有密切关系。秋冬季节, 两者在全国绝大部分地区呈负相关, 并且从新疆北部、内蒙古西部经华北、长江中下游到华南的大范围区域, 相关系数都在 $0.4$ 左右, 通过了 $95\%$ 的信度检验。该高相关区域正好对应于寒潮南下的路径, 表明强的冷空气堆非常有利于寒潮的南下。春季是两者间相关关系最差的季节(图略), 虽然在大部分区域也为负相关, 但仅有局部地区通过信度检验。另外还发现,  $850$  hPa上, 西伯利亚冷堆温度与寒潮频次的关系在冬季要比秋季更为密切, 而在 $700$  hPa秋季的相关略好于冬季。这说明秋季单站寒潮的次数更多地受到西伯利亚上空较高层次的冷空气堆强弱的控制, 而冬季单站寒潮的多少则更多受较低层次西伯利亚冷空气堆温度的影响。通过表1也可以发现, 冷堆温度与总寒潮次数之间有密切关系, 且与单站寒潮相一致。在两个层次都呈反相关, 相关关系在秋冬季节好, 春季略差。 $850$  hPa上三个季节都通过了信度检验, 而 $700$  hPa春季没有达到信度。经计算知, 近53年来秋冬季节冷堆温度在该两个层次明显增加, 这种变化可能导致了我国寒潮次数的显著减少。而冷堆温度的显著升高, 不仅与西伯利亚高压的减弱相配合, 实际还受到了全球气候变暖的影响。

寒潮作为东亚季风区冬季的一种重要天气过程, 是否与冬季风的强度有一定关系? 针对这个问

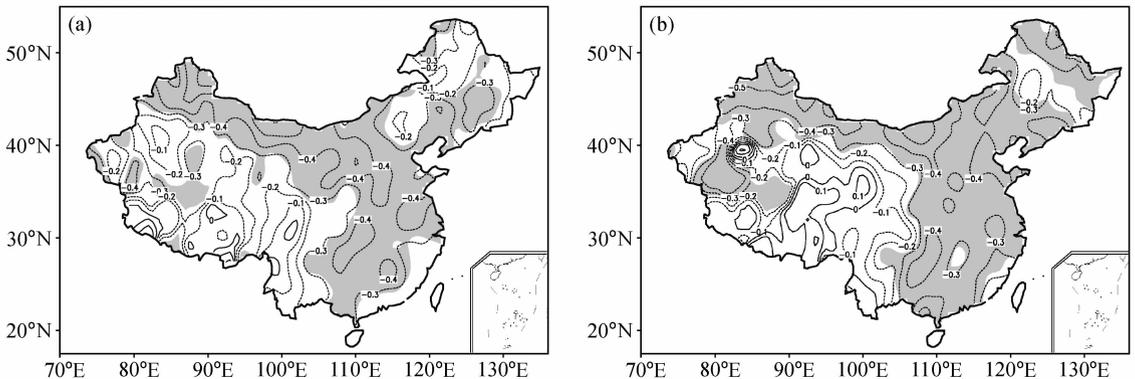


图6 秋季(a)和冬季(b)西伯利亚上空 $850$  hPa冷堆温度和单站寒潮频次的相关系数, 阴影区为通过 $95\%$ 的信度检验

Fig. 6 Correlation coefficient between the temperatures of the air mass at  $850$  hPa over Siberian high and the cold wave frequency of each station in autumn (a) and winter (b). Shaded areas denote the values passing the  $95\%$  confidence level

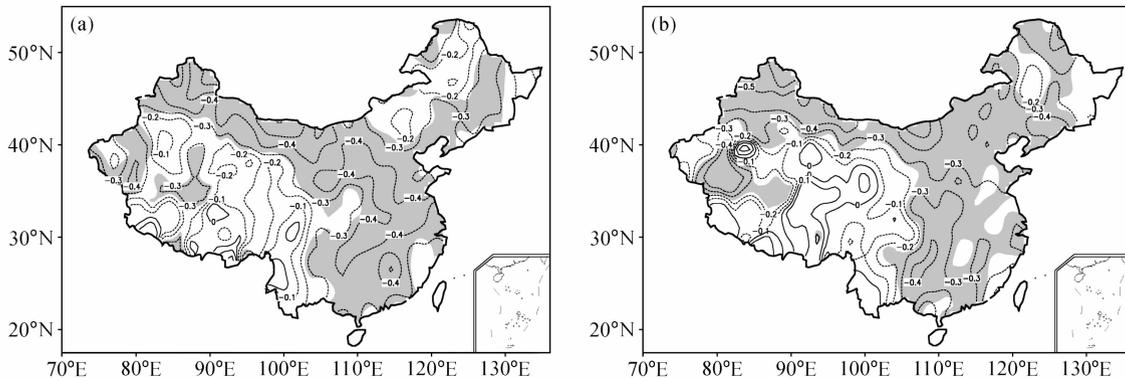


图 7 同图 6，但为 700 hPa  
 Fig. 7 Same as Fig. 6, but for 700 hPa

题，讨论了冬季风强度和寒潮的相关关系。由于冬季风强度存在着多种形式的定义，本文只取其中两种进行讨论，一种是施能<sup>[24]</sup>用海平面气压定义的东亚冬季风强度，定义时段为 12 月到次年 2 月；另一种是陈文等<sup>[25]</sup>用地面经向风速 ( $v$ ) 定义的冬季风强度指数，定义时段为 11 月到次年 3 月。根据这两种定义所作出的冬季风强度指数序列在近 53 年都呈较弱的下降趋势，前者与中国东部的单站寒潮呈弱的负相关，而后者正好相反，呈正相关且部分地区达到 95% 的信度。这在某种程度上反映了利用地面经向风所定义的冬季风强度指数比用海平面气压差所定义的指数更能反映冷空气活动强度。而按这两种方法定义的冬季风指数与总寒潮次数都呈正相关关系，相关系数分别为 0.053 和 0.157，但没有达到 95% 的信度。可见，不同方法定义的冬季风指数与寒潮的关系不尽相同。但根据上述分析，总体上冬季风强度减弱对中国寒潮频次的减少有一定影响。

根据定义，寒潮过程完全由温度决定，因此，大尺度的温度变化必然是寒潮发生变化的重要因子。如图 8 所示，冬季中国各站温度和寒潮频次间呈明显的负相关，这种相关关系北方明显好于南方，整个北方都达到了 95% 的信度，东北部分地区两者的相关系数达到了 0.6 左右。秋季的情况与此非常相似，但春季这种相关关系相对弱一些，通过信度检验的区域较少（图略）。中国在各季节的平均温度与总寒潮次数间的相关关系（表 1）也表明，两者在三个季节都为负相关，且在秋冬季节相关显著。近百年来，全球温度持续增加，中国的地表温

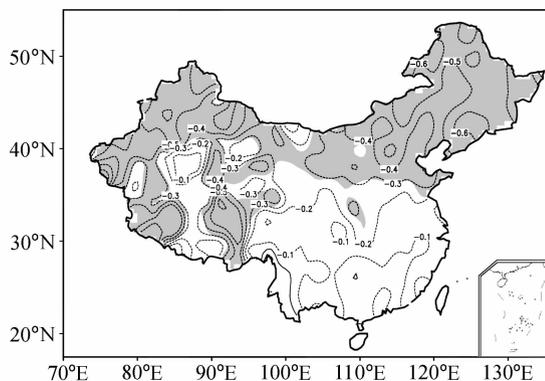


图 8 近 53 年 (1951~2003) 各站冬季温度和单站寒潮频次的相关，阴影区为通过 95% 信度检验  
 Fig. 8 Correlation coefficient between the winter temperature and the cold wave frequency of each station in China from 1951 to 2003. Shaded areas denote the values passing the 95 % confidence level

度也同样出现了显著的上升。如图 9 所示，寒潮季的平均温度在近 53 年持续升高，尤其是进入 20 世纪 90 年代以后，增温尤其明显。同时段总寒潮次数则持续减少。从图 9 中可以很明显地看到温度距平和寒潮频次之间的反位相分布。不仅如此，寒潮大风出现的频次与温度也有密切联系，图 10 显示了两者的变化趋势的对比。可见，在整个中国温度大幅上升的同时，5 m/s 风速频次显著减少，两者呈完全相反的变化趋势，并且温度升高越明显的地方，大风出现的次数也越少。因此，中国地表气温的显著升高是中国寒潮和大风频次减少的可能原因。分析还发现，近 53 年来冬季西伯利亚高压强度和 中国平均温度的相关能达到 -0.633，冬季风指数和温度的相关也能达到 -0.39 以上。龚道溢

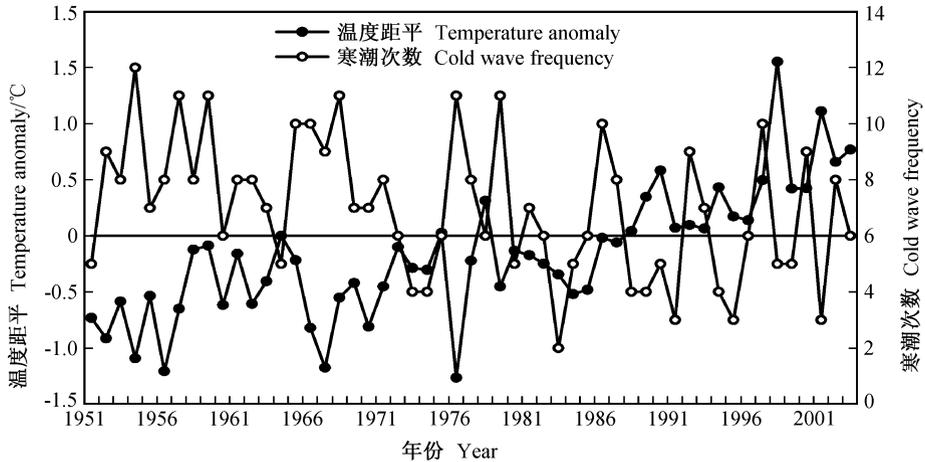


图9 近53年(1951~2003)寒潮季中国平均温度与全国总寒潮频次的时间序列

Fig. 9 Time series of the temperature averaged over China and the frequency of the regional and the countrywide cold waves during the period from Sep to the next May from 1951 to 2003

表1 温度与中国寒潮总次数的相关

Table 1 Correlation coefficient between the temperature and the frequency of the regional and country wide cold waves in China

	$C_s$	$C_a$	$C_w$
$T_s$	-0.062		
$T_a$		-0.540 *	
$T_w$			-0.386 *
$T_{s850}$	-0.311 *		
$T_{a850}$		-0.559 *	
$T_{w850}$			-0.519 *
$T_{s700}$	-0.258		
$T_{a700}$		-0.575 *	
$T_{w700}$			-0.515 *

注:  $C$  表示寒潮次数,  $T$  表示中国地表温度,  $T_{850}$  表示西伯利亚高压上空 850 hPa 的温度,  $T_{700}$  表示西伯利亚高压上空 700 hPa 的温度, \* 为通过 95% 信度, 下标 s 表示春季, 下标 a 表示秋季, 下标 w 表示冬季。

Note:  $C$ ,  $T$ ,  $T_{850}$  and  $T_{700}$  denote the cold wave frequency, the surface temperature of China, the temperature of the air mass at 850 hPa over Siberian high and the temperature of the air mass at 700 hPa over Siberian high, respectively. \* denotes the value passing the 95% confidence level. The subscripts s, a and w denote spring, autumn and winter, respectively.

等<sup>[23]</sup>的研究也曾指出,用西伯利亚高压强度能较好地解释近几十年来中国冬季气温变化的特征。并且,郭其蕴<sup>[26]</sup>研究发现,东亚冬季风包括强度及其南扩程度的变化是中国冬季气温变化的直接原因。

也就是说,西伯利亚高压和东亚冬季风强度的减弱在一定程度上造成了中国冬季温度的上升,加上全球变暖的影响,使中国的温度在很大程度上升高;而温度的这种变化与寒潮和大风频次的减少关系密切;同时,西伯利亚高压和冬季风强度又与寒潮频次呈显著的正相关。因此,在温度、西伯利亚高压强度、冬季风强度、寒潮和大风这几者之间可能存在着相互的反馈作用。

## 7 结论

(1) 就中国单站而言,平均每年的寒潮频次从北向南逐渐减少,北方一般都在 4 次以上,新疆、内蒙古和东北能达到 8 次以上。南方略少,青藏高原东部和西南地区最少。南方的寒潮多发于春季,以 3 月为最多,而北方多发于秋季,11 月份最多。近 53 年,全国大部分站点的寒潮都明显减少,尤其是东北地区,通过了 95% 的信度检验。冬季寒潮的减少最明显,其次是秋季和春季。

(2) 从 1951 年到 2003 年,全国和区域性寒潮共发生 371 次,平均每年 7 次,其中全国性寒潮 104 次,平均每年发生 2 次左右。11 月是寒潮发生最多的月份。全国和区域性寒潮频次的减少自 20 世纪 60 年代末开始,并在 20 世纪 70 年代末出现突变。减少趋势,冬季最显著,其次是秋季和春季,秋冬季节通过了 95% 的信度检验。中国北方寒潮频次的减少尤为显著。

(3) 分析发现,冬季西伯利亚高压强度和东亚

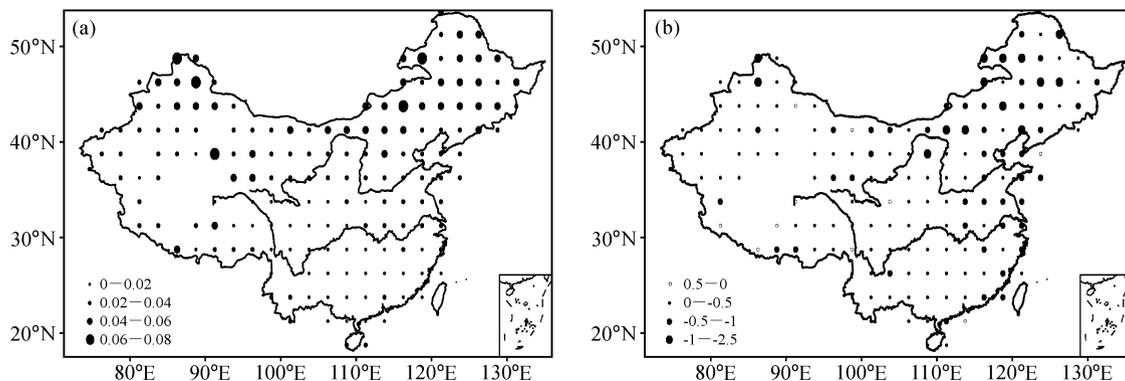


图 10 2.5°×2.5°格点近 53 年 (1951~2003) 寒潮季平均温度 (a, 单位: °C/a) 和 5 m/s 风速频次 (b, 单位: 次/a) 的线性变化趋势  
Fig. 10 Linear trend coefficient of the mean temperature (a, units: °C/a) and the frequency of 5 m/s winds (b, units: times/a) on each grid 2.5°×2.5° during the period from Sep to the next May from 1951 to 2003

冬季风强度均与中国寒潮频次呈显著的正相关, 近 53 年来两者明显减弱可能造成了中国寒潮的减少。在秋冬季节, 与西伯利亚高压相配合的低层冷空气堆温度与中国寒潮频次有很好的负相关关系, 其显著升高是引起中国寒潮频次减少的可能原因。在全球变暖的大背景下, 西伯利亚高压和东亚冬季风强度的减弱使得中国冬季地表温度持续上升, 而这种上升与中国寒潮频次及其相伴随大风频次的减少都存在密切联系。因此, 造成中国寒潮频次减少的可能原因包括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。当然, 西伯利亚高压和冬季风的强度在一定程度上也受到全球变暖的影响, 但这种影响究竟有多大, 西伯利亚高压和冬季风的自然变率又有什么贡献, 还需要进一步的验证。

**致谢** 国家气象中心吴迅英高级工程师和国家气候中心张秀芝研究员提供了本文所用资料, 在此谨表感谢。

### 参考文献 (References)

- [1] 李宪之. 东亚寒潮侵袭的研究. 见: 中国近代科学论著选刊——气象学 (1919~1949). 北京: 科学出版社, 1955. 35~117  
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
- [2] 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
- [3] Ding Yihui. 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
- [4] 张培忠, 陈光明. 影响中国寒潮冷高压的统计研究. 气象学报, 1999, **57** (4): 493~501  
Zhang Peizhong, Chen Guangming. A statistical analysis of the cold wave high which influences on China. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1999, **57** (4): 493~501
- [5] 丁一汇. 东亚冬季风的统计研究. 热带气象, 1990, **6**: 119~128  
Ding Yihui. A statistical study of winter monsoons in East Asia. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1990, **6**: 119~128
- [6] Ding Yihui, Krishnamurti T N. Heat budget of the Siberian high and the winter monsoon. *Mon. Wea. Rev.*, 1987, **115**: 2428~2449
- [7] 丁一汇, 蒙晓. 一次东亚寒潮爆发后冷涌发展的研究. 气象学报, 1994, **52** (4): 442~451  
Ding Yihui, Meng Xiao. A case study of development of a cold surge after outbreak of cold wave in East Asia. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1994, **52** (4): 442~451
- [8] Lim H., Chang C-P. A theory for midlatitude forcing of tropical motions during winter monsoons. *J. Atmos. Sci.*, 1981, **38**: 2377~2392
- [9] 丁一汇, 温市耕, 李运锦. 冬季西伯利亚高压动力结构的研究. 气象学报, 1991, **49** (4): 430~439  
Ding Yihui, Wen Shigeng, Li Yunjin. A study of dynamic structures of the Siberian high in winter. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1991, **49** (4): 430~439
- [10] 谢安, 卢莹, 陈受钧. 冬季风爆发前西伯利亚高压的发展. 大气科学, 1992, **16** (6): 677~685  
Xie An, Lu Ying, Chen Shoujun. The evolution of Siberian high prior to the outbreak of cold air. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (*Scientia Atmospherica Sinica*) (in Chinese), 1992, **16** (6): 677~685

- [11] 丁一汇. 高等天气学. 北京:气象出版社, 1991. 328~330  
Ding Yihui. *Advanced Synoptic Meteorology*, (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1991. 328~330
- [12] 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 天气学原理和方法. 北京: 气象出版社, 1992. 377~418  
Zhu Qiangen, Lin Jinrui, Shou Shaowen, et al. *Principle and Methods of Synoptic Meteorology* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1992. 377~418
- [13] Chan J C, Li C Y. The East Asia winter monsoon. *East Asian Monsoon*. Chang C-P, Ed. Singapore: World Scientific, 2004. 54~106
- [14] 丁一汇, 王遵娅, 何金海, 等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析. 气象学报, 2004, **62** (2): 228~236  
Ding Yihui, Wang Zunya, He Jinhai, et al. An updating analysis of the climate change in China in recent 50 years. *Acta Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2004, **62** (2): 228~236
- [15] 刘传凤. 我国寒潮气候评价. 气象, 1990, **16** (12): 40~43  
Liu Chuanfeng. The climate assessment of cold waves in China. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 1990, **16** (12): 40~43
- [16] 白歧凤, 尤莉. 内蒙古寒潮的统计分析. 内蒙古气象, 1993, (2): 4~9  
Bai Qifeng, You Li. Statistical analysis of cold waves in Inner Mongolia. *Meteorology Journal of Inner Mongolia* (in Chinese), 1993, (2): 4~9
- [17] 林爱兰, 吴尚森. 近 40 多年广东省的寒潮活动. 热带气象学报, 1998, **14** (4): 337~343  
Lin Ailan, Wu Shangsen. The characteristics of cold wave action in Guangdong province during recent 44 years. *Journal of Tropical Meteorology* (in Chinese), 1998, **14** (4): 337~343
- [18] 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 cold waves in Zunyi city. *Journal of Guizhou Meteorology* (in Chinese), 2000, **24** (1): 10~13
- [19] 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**: 29~32  
Wang Mingjie, Zhou Yongji, Zou Liyao. Characteristics and forecast of cold waves in Heilongjiang Province. *Heilongjiang Meteorology* (in Chinese), 2000, **3**: 29~32
- [20] 丁一汇, 王守荣. 中国西北地区气候与生态环境概论. 北京: 气象出版社, 2001. 204pp  
Ding Yihui. Wang Shourong. *Introduction of the Climate and the Environment of Northwest China* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2001. 204pp
- [21] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCAR/NCEP 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 1996, **77**: 437~471
- [22] 国家气候中心气候应用室. 寒潮年鉴. 北京: 气象出版社, 1951~1980.  
Laboratory of Climate Application of National Climate Center. *The Almanac of Cold Waves*. Beijing: China Meteorological Press. 1951~1980.
- [23] 龚道溢, 王绍武. 西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究. 地理学报, 1999, **54** (2): 125~133  
Gong Daoyi, Wang Shaowu. Long-term variability of the Siberian high and the possible connection to global warming. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 1999, **54** (2): 125~133
- [24] 施能. 东亚冬、夏季风百年强度指数及其气候变化. 南京气象学院学报, 1996, **19** (2): 168~176  
Shi Neng. East Asian winter/summer monsoon intensity indices with their climatic change in 1873~1989. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1996, **19** (2): 168~176
- [25] Chen Wen, Graf H F, Huang Ronghui. The interannual variability of East Asian winter monsoon and its relation to the summer monsoon. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2000, **17** (1): 48~60
- [26] 郭其蕴. 东亚冬季风的变化与中国气温异常的关系. 应用气象学报, 1994, **5** (2): 218~225  
Guo Qiyun. Relationship between the variations of East Asian winter monsoon and temperature anomalies in China. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 1994, **5** (2): 218~225