

中国近50年寒潮冷空气的时空特征及其与北极海冰的关系*

朱晨玉, 黄菲**, 石运昊, 党振中, 张玉轩

(中国海洋大学海洋环境学院 山东省高校海洋-大气相互作用与气候重点实验室, 山东 青岛, 266100)

摘要: 利用中国具有较长时间序列的527个站点1961—2010年的日平均温度观测资料, 美国国家环境预报中心和国家大气研究中心(NCEP/NCAR)再分析资料以及伊利莱诺斯大学的海冰密集度资料, 分析了我国近50年来寒潮的时空变化及与其相联系的海冰和大气环流异常的关系。结果表明, 中国寒潮冷空气活动频数存在两个主要模态, 第一模态表现在中国北方冷空气活动频数呈年代际减少趋势, 1980年之前寒潮冷空气频数偏多, 1990年后寒潮冷空气频数偏少; 第二模态表现为我国南方冷空气频数的年际振荡特征。第一模态寒潮冷空气频数的减少主要与全球变暖有关, 北极海冰的减少使得1980年代后期北极涛动加强, 并激发出欧亚遥相关波列进而影响我国的寒潮冷空气活动。第二模态则与近些年来夏季北极海冰的快速融化以及北极大气出现偶极子型环流异常有关, 通过激发跨极型和类欧亚遥相关波列影响到后冬的中国南方寒潮冷空气活动增多。

关键词: 寒潮; 海冰; 全球变暖; AO; EU; 遥相关型; 偶极子异常

中图分类号: P429

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2014)12-012-09

寒潮通常会造出剧烈的降温和大风, 有时还伴有雨、雪、冻雨或霜冻, 是中国冬半年主要的灾害性天气, 对经济发展、交通以及人们身体健康等都有很大影响, 特别是2008年初的南方冻雨事件, 引起了全国乃至世界的关注。在全球变暖的大背景下^[1], 极端天气现象频发, 特别是2007年以来北极海冰的急剧变化, 与中国寒潮冷空气活动的相关关系也有新的变化。所以用最新的资料研究近50年寒潮发生的时空分布特征及其与北极海冰的关系显得尤为重要。

针对中国的寒潮问题, 国内已经做了很多研究。王遵娅等^[2]、康志明等^[3]的研究表明, 近50年来, 中国寒潮强冷空气逐年活动频次下降, 强度减弱。王遵娅等^[2]还指出冬季西伯利亚高压和东亚冬季风强度与中国寒潮频次呈明显正相关。王春红等^[5]的研究表明, 北极Ⅲ区重冰年, 西伯利亚冷高压强大, 中国气温偏低, 反之轻冰年中国气温偏暖。解小寒等^[6]指出了年际尺度上冬季北极海冰异常与中国气温变化紧密联系的关键区。李峰等^[7]的研究表明, 极区、近极区环流系统的改变, 造成近30年中国强冷空气事件的爆发特性发生了年代际变化。武炳义等^[8-9]指出冬季喀拉海、巴伦支海海区是影响东亚以及北半球气候变化的关键区之一, 并进一步指出冬季巴伦支海、喀拉海海冰偏多时, 中国冷空气活动减少。龚道溢等^[10]指出, 近50年

来随着北极涛动指数的增强, 中国异常低温事件频次显著增加。刘毓赞等^[11]认为, 当冬季欧亚型遥相关(EU)处于正位相时, 东亚冬季风偏强, 东亚地区温度偏低; 当冬季EU处于负位相时, 东亚冬季风偏弱, 东亚地区温度偏高。

寒潮相关研究多数是针对2007年以前寒潮的变化趋势^[2-4]和区域性特征^[12-13], 并且全国用同一寒潮标准或者简单的分为南方和北方, 具有一定局限性。为了弥补上述研究中的不足, 本文基于全国527个台站的地面观测数据重新给出了适合各个站点的寒潮标准, 并在此基础上研究近50年寒潮发生的时空分布特征及其与海冰和大气环流异常的关系。

1 数据和方 法

1.1 研究资料

本文中所用的中国站点温度资料是由中国气象局发布的全国756个台站的日平均温度数据。大气环流资料为美国国家环境预报中心和国家大气研究中心(NCEP/NCAR)发布的水平分辨率为 2.5° 的全球逐月再分析资料, 垂直方向从1000~10 hPa共17个气压层, 时段为1948年1月~2010年12月。海冰密集度资料为伊利莱诺斯大学水平分辨率为 1° 的月平均的海冰密集度(SIC)资料, 时段为1870年1月~2010年12

* 基金项目: 全球变化研究国家重大科学研究计划项目(2010CB951403; 2012CB955604); 海洋公益性行业科研专项(201005017-6)资助

收稿日期: 2013-05-02; 修订日期: 2013-05-30

作者简介: 朱晨玉(1991-), 男, 研究生。E-mail: zhuouc@163.com

** 通讯作者: E-mail: Huangf@ouc.edu.cn

月。

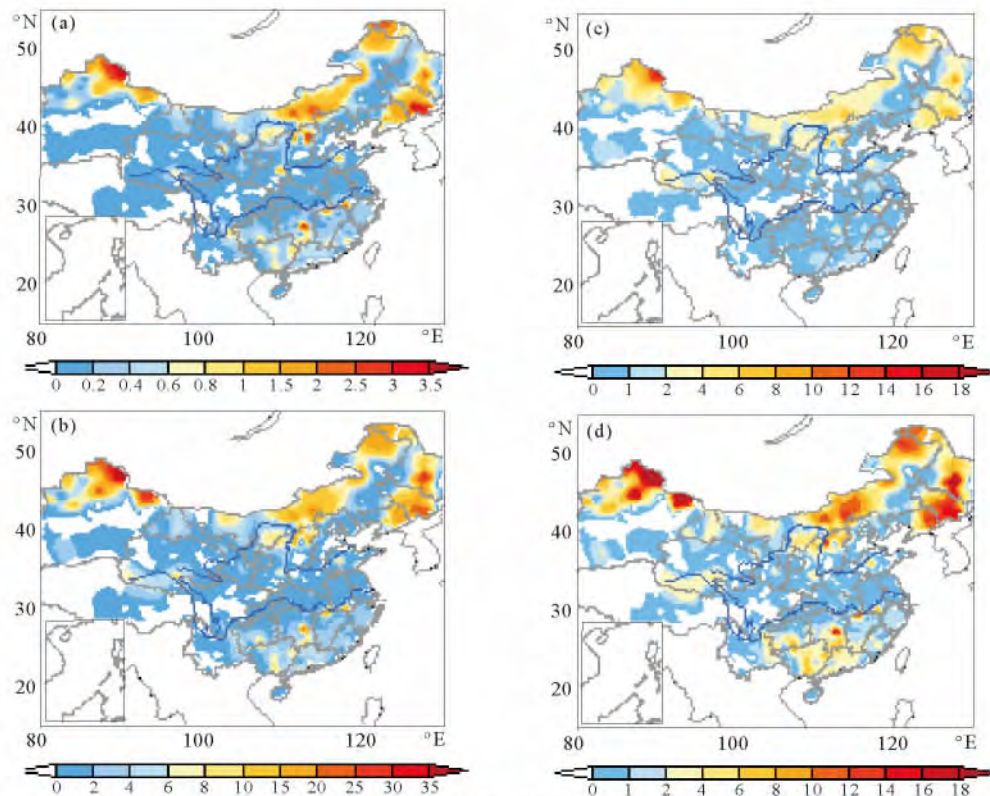
为了保证数据的连续性和一致性,本文对每个台站的数据进行筛选,从建站时间看大部分站点从 1961 年之后就有连续观测,因此取 1961—2010 年时段的数据,要求每个台站每年冬季缺测数据不大于 10 个且不连续缺测,缺测数据用前后两天的等权重平均进行插补,经筛选和插补,从中国 756 个台站中选取了 527 个拥有较长时间序列的台站。

1.2 寒潮冷空气事件的定义

单站寒潮冷空气过程的筛选标准是:冷空气侵入后,24 h 内平均温度降低 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及以上且低于该站 30

年冬季(10 月~次年 3 月)平均温度时寒潮爆发,平均温度回升到 30 年该站冬季平均温度之上时寒潮结束,这个过程为寒潮冷空气过程。冬季每个寒潮从爆发到结束所经历的总天数被称为冬季寒潮冷空气的频数,冬季经历的寒潮过程的个数称为寒潮的频次。

图 1 给出了近 50 年冬季寒潮冷空气频数和频次的空间分布,可以发现,寒潮冷空气的频次和频数的分布类似,大值区在东北东部、内蒙、新疆北部和华南。前、后冬寒潮冷空气频数的分布与整个冬季的类似,但后冬发生较多(见图 1(c),(d))。



((a)寒潮频次;(b)寒潮冷空气频数;(c)前冬(OND)平均寒潮冷空气频数;(d)后冬(JFM)平均寒潮冷空气频数。
(a) Cold surge number;(b) Cold surge frequency;(c) Cold surge frequency in OND;(d) Cold surge frequency in JFM.)

图 1 1961—2010 年中国寒潮冷空气的气候平均

Fig. 1 The climatology of cold surge during 1961—2010 in China

1.3 研究方法

本文采用经验正交函数分解(EOF)的方法来得到中国近 50 年来冬季寒潮变化的主要空间模态及其相应的时间变化。由于近年来寒潮冷空气的活动往往在前冬和后冬表现出不同的变化特征,为了更细致地研究这种冬季内的演变特征,本文采用季节 EOF(SEOF)方法^[14]研究前、后冬演变过程寒潮冷空气活动的主要时空模态特征。本文统计寒潮所用的时段是 1961 年 10 月~2010 年 3 月,冬季定义为 10 月~次年 3 月,前冬为 10~12 月,后冬为次年 1~3 月。这样便得到 49 年的冬季数据。

2 我国寒潮冷空气时空变化的主模态特征

2.1 冬季寒潮冷空气的两个主模态特征

对 1961—2010 年中国 527 个台站寒潮冷空气频数距平场做 EOF 分析,得到前几个主要模态的空间和时间变化特征。结果表明,最大方差贡献的前 2 个模态分别解释了总方差的 13.6%和 9.2%(见图 2(d)),但前 10 个模态彼此都不独立,表明中国冬季寒潮冷空气活动模态的多样性特征,没有非常显著的独立主模态,因此本文只重点分析方差贡献最大的前两个模态的时空分布特征。

第一主模态(EOF1)空间分布(见图 2(a))表现为除中国中部河西走廊一带外全国大部分地区的一致变化特征。结合其对应的时间序列 PC1(见图 2(c))可以发现,第一模态反映了以 1980 年代中后期为界全国大部分地区寒潮频数呈年代际减少的趋势,特别是天山以北、河套、东北以及江南地区冷空气频数大幅度减少,而中部河西走廊一带则略微增加,表明寒潮冷空气

的路径可能存在年代际的变化。功率谱分析表明,PC1 的显著周期为 2.80 年,与东亚冬季风 2~3 年的周期相符合,同时还存在较为显著的年代际变化,通过比较 1980 年代之前和 1990 年代之后 2 个时段寒潮冷空气频数的差值场(图略)可以发现,第一模态空间分布中江南地区的高频数区域变化不存在年代际变化特征,而是主要体现了准 2 年的年际变化。

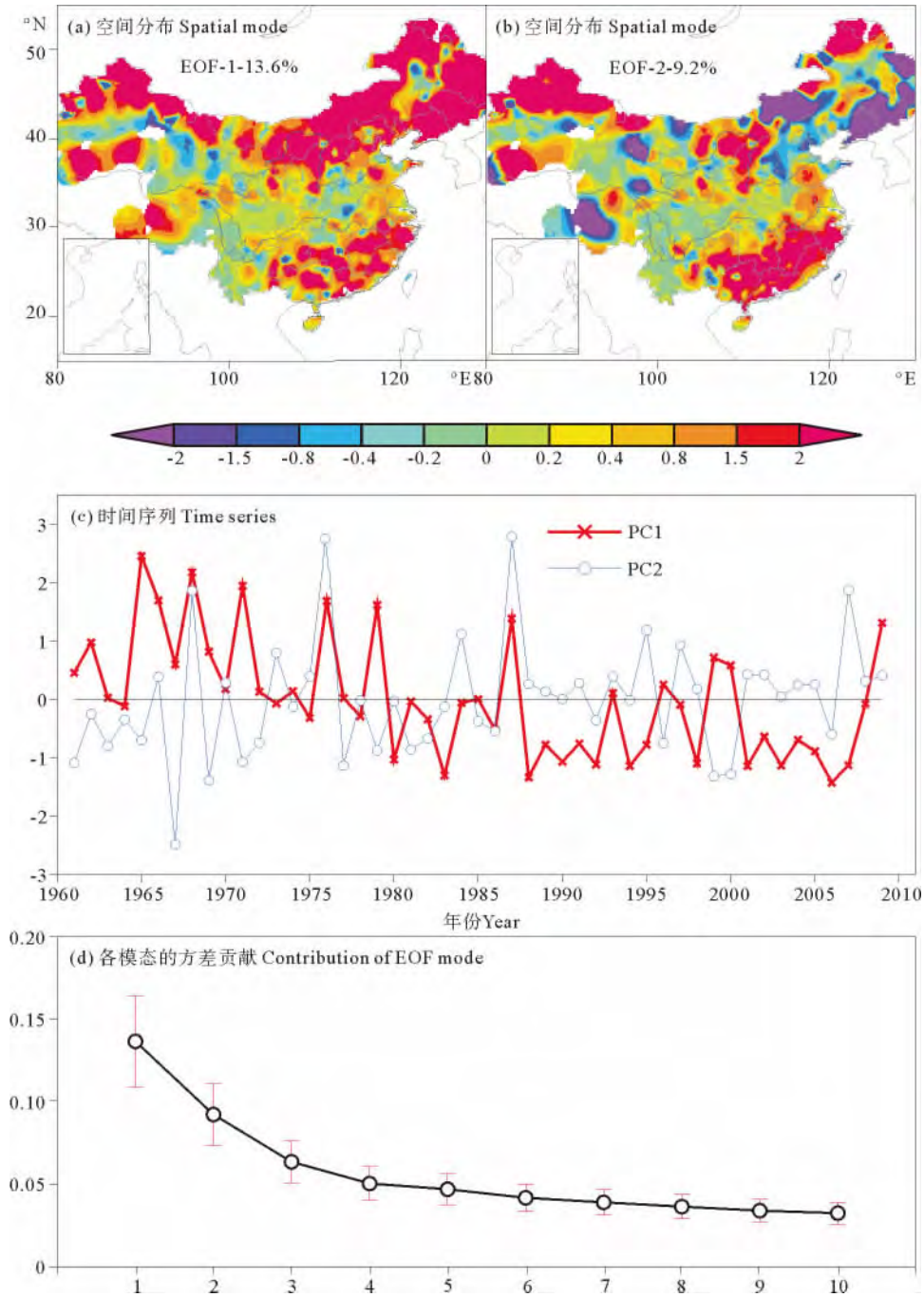


图 2 1961—2009 年中国冬季寒潮冷空气频数距平场 EOF1~2

Fig. 2 EOF1~2 of wintertime cold surge frequency anomaly field during 1961—2009 in China

第二主模态(EOF2)空间上主要体现了中国江南地区与新疆北部、河套地区和东北北部地区与内蒙中

部、东北东部和青藏高原东部地区反位相的振荡特征(见图 2(b)),时间序列的变化则以年际振荡为主,但年

际振荡的振幅在 1980 年代末之后有年代际减弱,这可能意味着寒潮路径在年际尺度上的多变性。值得注意的是该模态的最大频数中心出现在江南地区,似乎与 2007—2008 年冬季中国南方的冰冻雨雪灾害天气相吻合,因此该模态可能主要反映了中国南方寒潮的年际变化特征。

2.2 寒潮冷空气前、后冬演变的主模态特征

本文在前面对中国寒潮冷空气频数时空特征的分析主要统计的冬半年的整体特征,实际上,寒潮冷空气并不是在整个冬季有规律地爆发,常常是在冬半年的一段时间内频繁出现,而另一段时间内却相对较少,近些年常有前冬暖后冬冷的感觉。为了研究这种前、后冬演变的时空特征,本文借用 SEOF 的思想,对 1961—2010 年中国 527 个台站前后冬寒潮冷空气频数进行

SEOF 分析,与冬季的结果类似,前 2 个模态分别解释了总方差的 10.9%和 7.6%,这里只分析前 2 个主模态特征。图 3 和 4 分别给出了我国前后冬寒潮冷空气频数距平场 SEOF 前 2 个模态的空间分布及其对应的时间序列。与图 2 对比发现,前后冬 SEOF 结果和整个冬季的 EOF 结果相似,第一模态主要反映北方地区寒潮冷空气频数的年代际减弱,这可能与全球增暖有关,但该模态在后冬更加显著;第二模态则主要反映了后冬江南地区寒潮冷空气频繁活动的影响,该模态与 32°N 以南地区寒潮冷空气频数的 SEOF 第一模态结果极为相似(图略),时间序列相关达 0.76,远远超过 99%的置信度水平,且时间系数都主要呈现出年际变化特征,反映了在 1969、1977、1996 和 2008 年初江南地区寒潮冷空气频数的增多和 1968、2000 年寒潮冷空气的减

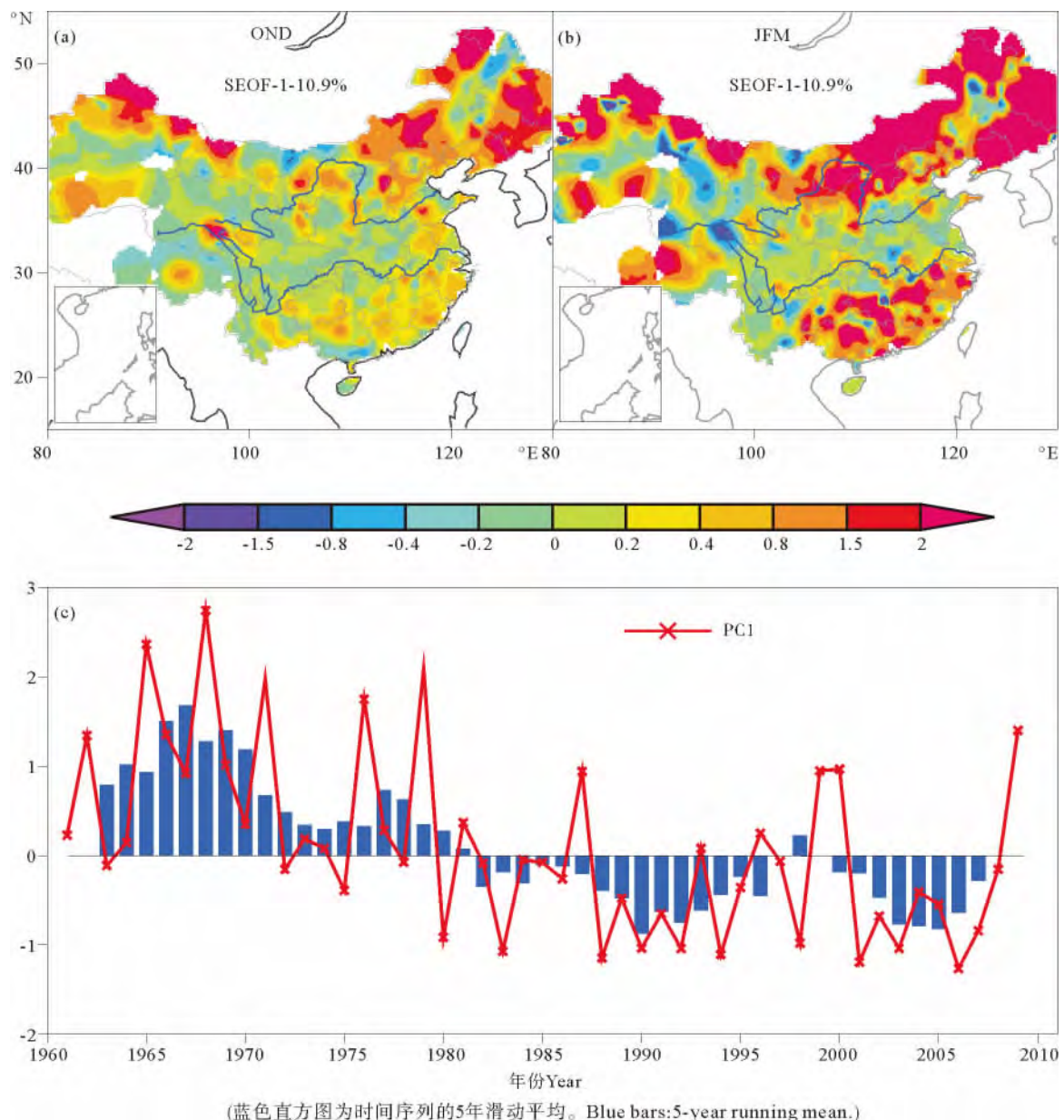


图 3 1961—2009 年我国冬季寒潮冷空气频数距平场的 SEOF1

Fig. 3 SEOF1 of wintertime cold surge frequency anomaly field during 1961—2009 in China

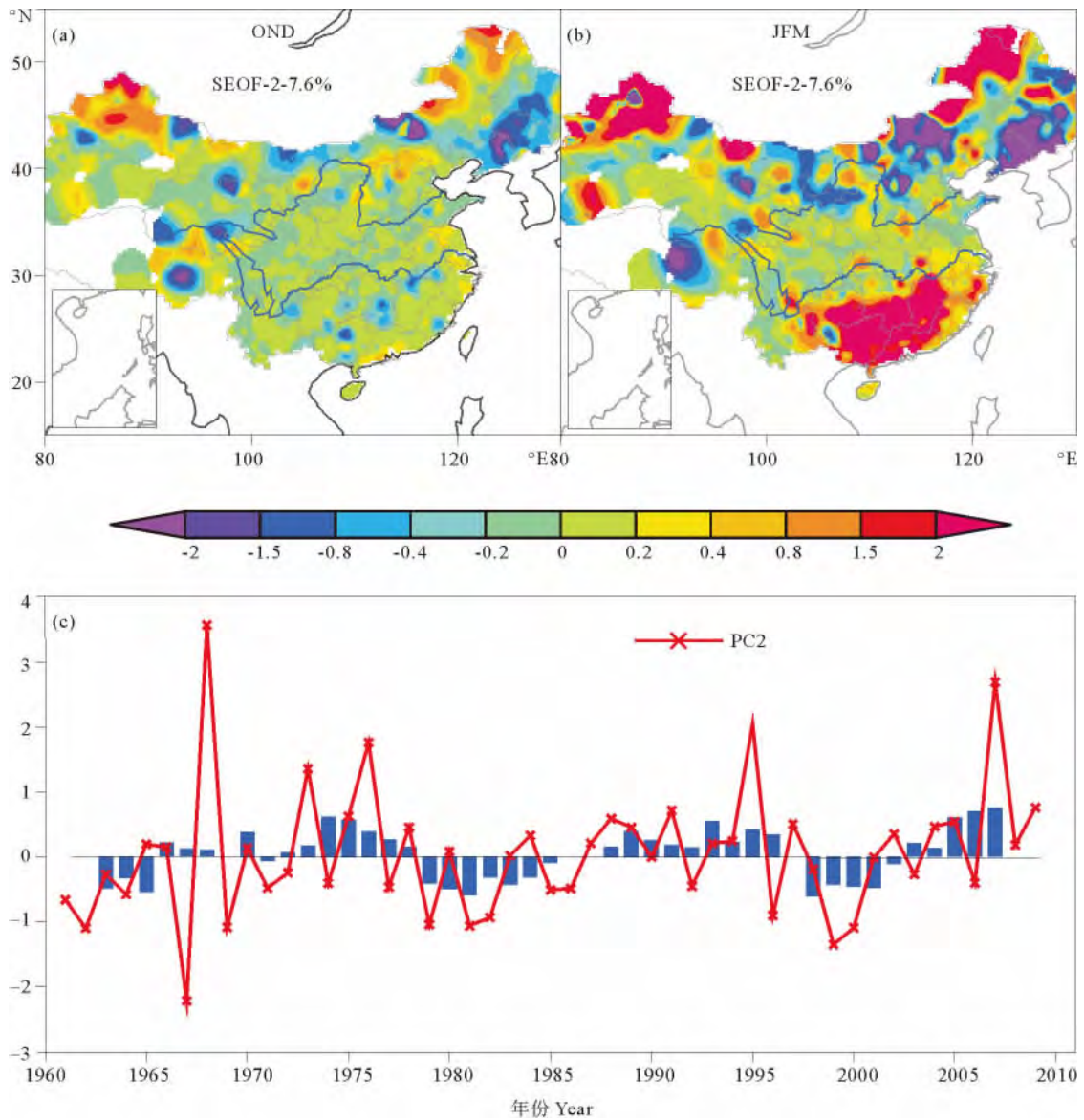


图4 同图3,但为1961—2009年我国冬季寒潮冷空气频数距平场的SEOF2

Fig.4 Same as in Fig. 3, but the SEOF2 of wintertime cold surge frequency anomaly field for 1961—2009 in China

少,其中最值得关注的2008年初中国南方的冰冻雪灾过程与该模态相吻合。该模态的出现是否与2007年夏秋季北极海冰破纪录的快速融化有关?作者将在下面进一步讨论。

3 与北极海冰的关系

在全球变暖的气候背景下,北极海冰呈线性减少的趋势^[15-17],特别是2007年和2012年夏季,北极海冰面积达到历史最小,呈现出加速融化的趋势^[18-19]。汪代维等^[20]指出北极冰总面积过去44年来确实经历了一种趋势性的减少,并且叠加在这种趋势变化之上的是年代尺度变化。黄土松等^[21]数值试验表明,海冰的影响是全球性的,首先是在海冰正(负)异常区大气降(增)温,导致高层等压面高度降低(升高),从而激发出全球大气环流异常遥相关型波列。图5是与中国冬季

寒潮 SEOF1、SEOF2 相联系的海冰密集度分布场。SEOF1 北极海冰全是正值,对应着时间序列是年代际下降,表明整个北冰洋的海冰在近些年都是显著减少的,但在不同的季节海冰显著融化的区域有所不同,在寒潮频发的冬季(JFM(0))和其后的春季(AMJ(1))主要是大西洋扇区(巴伦支海、格陵兰海和鄂霍次克海)海冰减少,夏季(JAS)则主要是太平洋扇区(拉普捷夫海、东西伯利亚海和鄂霍次克海)的海冰显著减少; SEOF2 与海冰的关系主要是前期的夏季(JAS(-1))和前冬(OND(0))北冰洋东半球(拉普捷夫海、东西伯利亚海)的海冰减少,这表明在对应时间序列的正值年份,夏秋季节北极海冰(特别是东半球海冰)的减少可能会导致中国后冬南方寒潮冷空气频数的增多,夏季海冰融化如何影响到冬季我国寒潮冷空气的活动?下面将进行初步探讨。

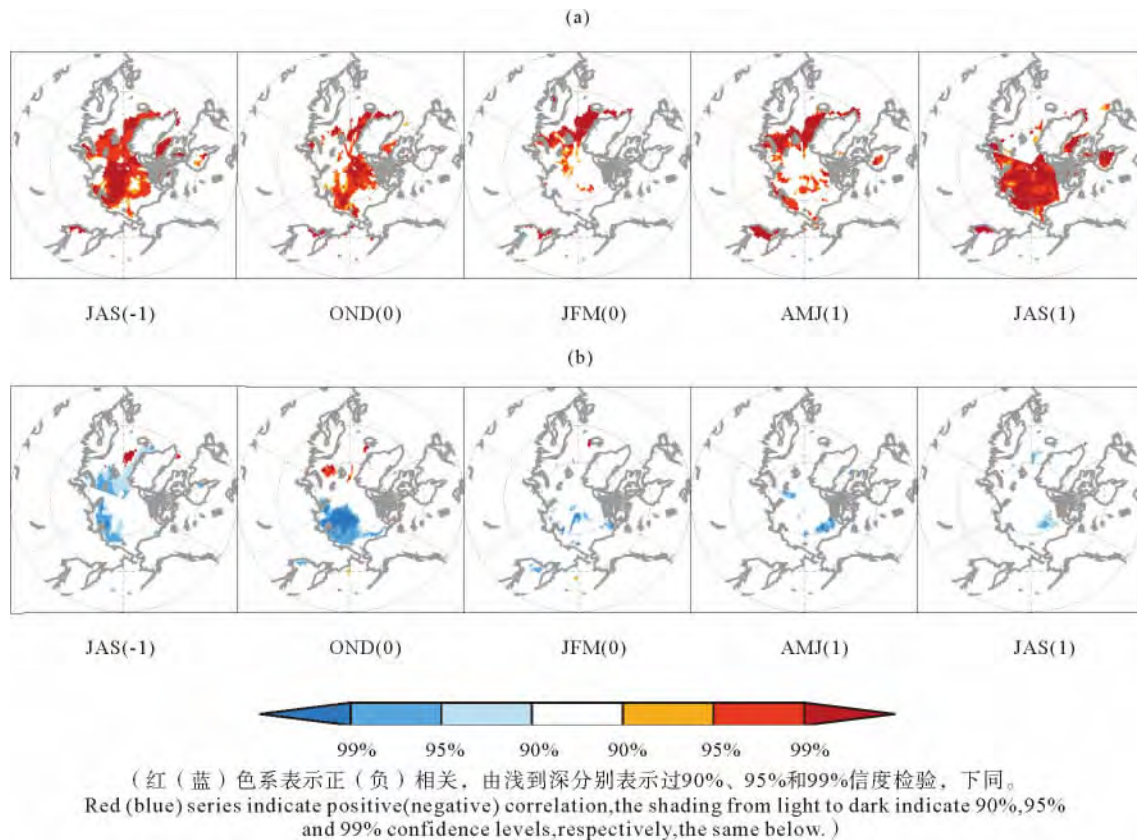


图 5 1961—2009 年中国冬季寒潮冷空气频数距平场 SEOF1(a)和 SEOF2(b)对应的时间序列与海冰密集度(SIC)的相关

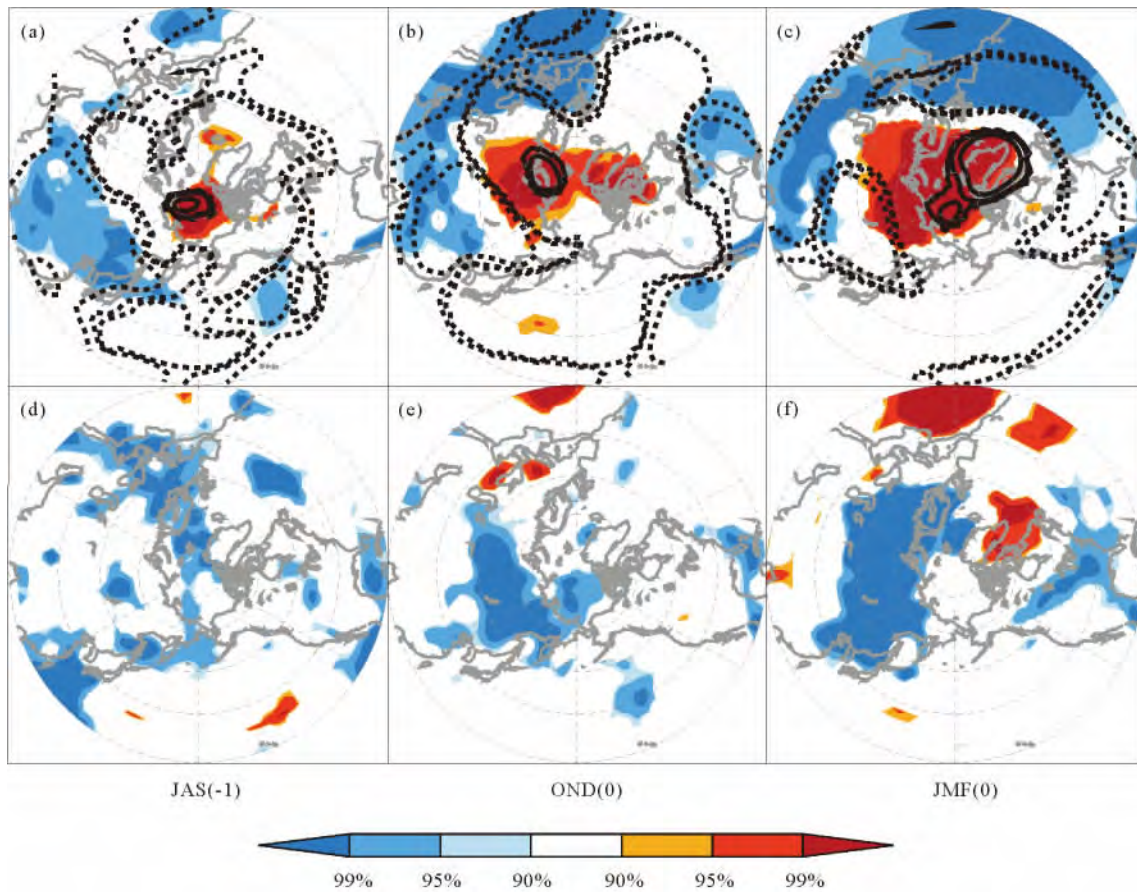
Fig. 5 The correlation map of SIC with the normalized first principal component PC1 (a) and second principal component PC2 (b) of wintertime cold surge frequency anomaly field during 1961—2009 in China

海冰的异常往往与北极涛动(AO)/北大西洋涛动(NAO)相联系。武炳义和黄荣辉^[22]、Gong等^[23]的研究分析表明,冬季AO通过影响西伯利亚高压进而影响东亚季风。图6((a)~(c))中SEOF1对应的海平面气压异常场表明1980年代之前北极地区为高压异常,中纬度地区为低压异常,特别是在后冬(JFM)时段,极区和中纬度跷跷板的反位相振荡类似于NAO的负位相特征,1990年代之后则转换为NAO的正位相分布。AO/NAO由负位相转变为正位相时,极涡加强,限制了冷空气向南爆发,从而中国寒潮冷空气活动减少。武炳义和黄荣辉^[22]还指出:冬季NAO强(弱)则西伯利亚高压弱(强),NAO通过影响西伯利亚高压进而影响东亚冬季风。1980年代之前PC1为正值,对应着冰岛低压减弱,亚速尔高压减弱,从而造成NAO减弱,北大西洋上西风减弱,为低指数环流,前冬(OND)欧亚中东部和后冬(JFM)整个欧亚大陆冷空气活动偏多,气温异常偏冷(见图6(e)~(f)),因而我国北方寒潮冷空气活动也偏多;1990年代之后PC1为负值,NAO加强,则对应着我国北方寒潮冷空气活动偏少。

一些研究表明^[11,24],东亚冷暖事件出现的概率与欧亚遥相关型(EU)有密切的联系。在图6(b)中还可以看到大气环流异常—欧亚遥相关^[25]的影响,前冬

(OND)500 hPa位势高度场上表现出北大西洋-北欧亚的EU波列遥相关分布型,乌拉尔山一带出现异常反气旋式环流,亚洲上空则出现异常气旋式环流。1980年代之前,PC1为正值,表明EU呈负位相分布^[11]。东亚大槽和乌拉尔山地区的阻塞环流偏强,从而东亚冬季风偏强,入侵中国的寒潮活动偏多。1990年代后,PC1为负值,东亚和乌拉尔山附近分别有正、负位势高度异常,表明东亚大槽和乌拉尔山地区的阻塞环流偏弱,东亚冬季风偏弱,造成1990年代后中国北方寒潮冷空气活动减少。

在分析SEOF2中国南方寒潮冷空气频发模态时注意到北极地区夏季(JAS)存在SLP偶极子型异常(DA)^[26]。武炳义等^[27]的研究揭示了夏季北极大气变率的偶极子结构异常,显示出准正压结构,2个相反的异常中心分别位于加拿大北极地区和波弗特海以及喀拉海与拉普捷夫海之间,夏季北极大气偶极子异常不同于冬季,反映了夏季极涡中心位置在北极东、西部之间的交替变化。本文的结果与之类似。图7a为我国冬季寒潮SEOF2的时间序列与SLP相关得到的呈年际振荡的北极夏季海平面气压偶极子异常,PC2为正值时,北极夏季SLP负异常中心在喀拉海与拉普捷夫海之间,正异常中心在加拿大北极地区,这样的偶极



(黑色实(虚)线表示正(负)相关,下同。
Solid (dashed) contours indicate positive (negative) correlation, the same below.)

图6 1961—2009年我国冬季寒潮冷空气频数距平场 SEOF1 对应的时间序列 PC1 与不同季节((a)~(c))海平面气压 (SLP, 填色等值线)、500 hPa 高度场(等值线)和((d)~(f))1 000 hPa 温度场的相关场

Fig. 6 The correlation map of the first principal component (PC1) of wintertime cold surge frequency anomaly field for 1961-2009 in China with ((a)~(c)) SLP (shaded contour), 500 hPa geopotential height (contour) and ((d)~(f)) 1 000 hPa air temperature (shaded contour) in different season

型环流特征意味着北冰洋中从太平洋到大西洋扇区穿极漂流加强,驱动了海冰向大西洋扇区的输送,同时由于表层 Ekman 漂流的作用,海冰向西半球一侧输送,东半球一侧海冰则异常减少^[28](见图 5b)。PC2 为负值时正好相反。这一异常分布在 850、500、200 hPa 上都存在,表现为相当正压结构特征。这种 DA 型的大气环流异常与夏季北极海冰(特别是太平洋扇区海冰)的快速融化有关,这点从相关的 1 000 hPa 气温场上可以很清楚地看到海冰融化引起的北冰洋太平洋扇区气温的异常升高(见图 7(d))。因此,当夏季北极海冰异常融化,且出现 DA 型大气环流异常时,冬季我国南方易受寒潮冷空气活动影响,这种影响仍然是通过前冬跨极型和后冬类 EU 型大气遥相关波列影响到东亚和我国(见图 7(b),(c))。进一步考察 PC2 所对应的极大值出现的年份如 1995 和 2007 年(见图 4(d))可以发现,它们均为北极海冰夏季快速融化的年份,特别是 2007 年夏季海冰融化创历史之最(这里的数据未包括 2012 年),2008 年后冬中国南方就出现了大范围严重

的冻雨雪灾天气。因此,SEOF2 对应的海冰异常分布对于中国南方寒潮的发生有一定预报意义,当夏季北极东半球海冰异常融化,则后冬中国南方寒潮冷空气活动频数可能偏多。

4 结语

本文利用多种资料,通过 EOF 和 SEOF 的方法分析了中国近 50 年来寒潮的时空变化的主模态及其与北极海冰的关系。结果表明,中国冬季寒潮冷空气活动频数呈现出 2 个主要模态,第一模态反映了以 1980 年代中后期为界全国大部分地区寒潮频数呈年代际减少的趋势,这种变化在前、后冬的空间分布较为一致,但后冬的减少趋势更强,这可能与全球增暖有关,全球变暖造成北极海冰的异常融化,进而造成大气环流异常(AO/NAO 异常),激发出 EU 遥相关型,使日本和乌拉尔山附近出现位势高度异常,导致东亚冬季风异常,进而影响到我国的寒潮冷空气活动;第二模态则主要反映了我国南方寒潮冷空气活动的年际变化特征,

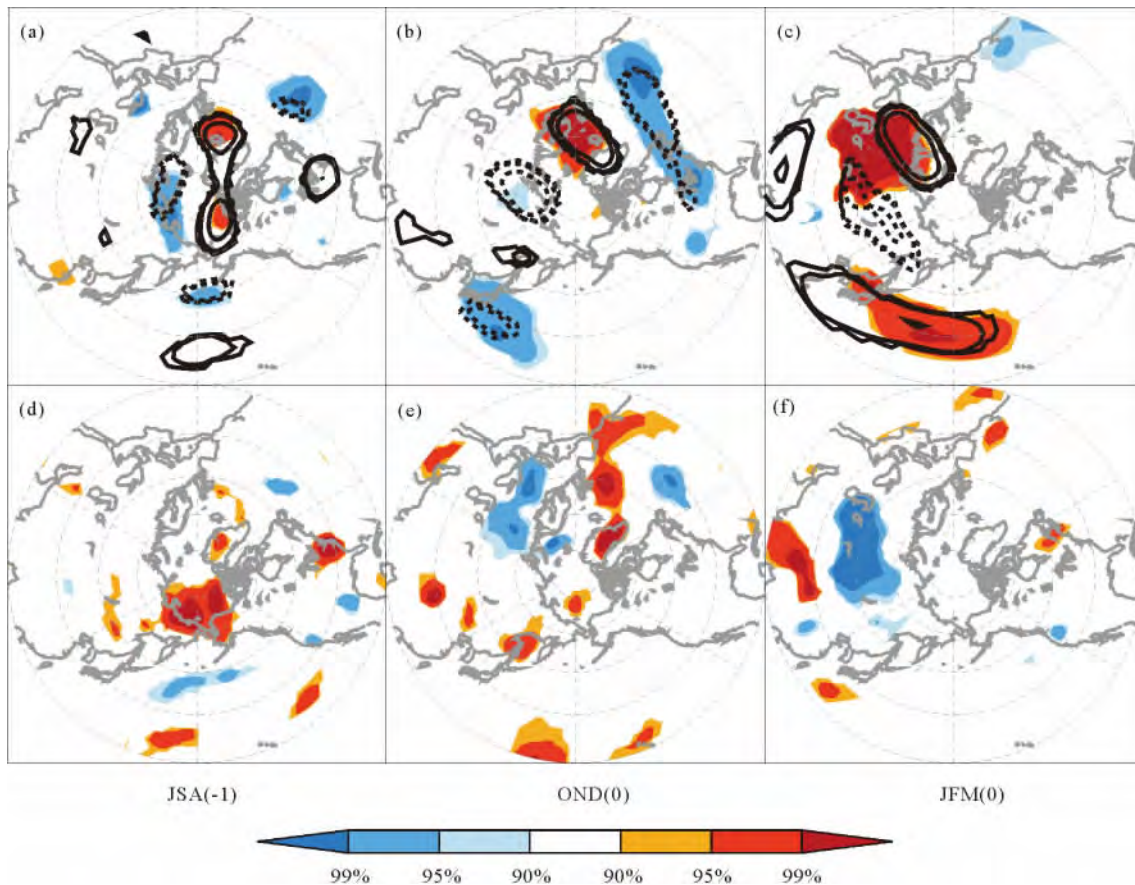


图 7 1961—2009 年我国冬季寒潮冷空气频数距平场 SEOF2 对应的时间序列 PC2 与不同季节((a)~(c))海平面气压(SLP, 填色等值线)、500 hPa 高度场(等值线)和((d)~(f))1 000 hPa 温度场的相关场

Fig. 7 The correlation map of the second principal component (PC2) of wintertime cold surge frequency anomaly field for 1961–2009 in China with ((a)~(c)) SLP (shaded contour), 500hPa geopotential height (contour) and ((d)~(f)) 1 000 hPa air temperature (shaded contour) in different season

且主要反映了后冬江南地区寒潮冷空气频繁活动的影响,这种影响与前期夏季北极大气偶极子型异常环流的出现以及北极东半球海冰的减少有关,这种影响通过激发跨极型和类 EU 型大气遥相关波列影响到东亚和我国南方地区,对我国南方寒潮具有一定的先期预报意义。

参考文献:

- [1] 王绍武, 叶瑾琳. 近百年全球气候变暖的分析 [J]. 大气科学, 1995, 19(5): 545-553.
- [2] 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): 1074-1075.
- [3] 康志明, 金荣花, 鲍媛媛. 1951—2006 年期间我国寒潮活动特征分析 [J]. 高原气象, 2010, 29(2): 425-427.
- [4] 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, 37(6): 1276-1277.
- [5] 王春红, 蒋全荣, 余志豪. 北极 III 区海冰面积低频变化对北半球冬季大气环流异常的作用 [J]. 大气科学, 1997, 21(1): 123-126.
- [6] 解小寒, 杨修群. 冬季北极海冰面积异常与中国气温变化之间的年际关系 [J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2006, 4(6): 559-560.
- [7] 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): 210-217.
- [8] 武炳义, 苏京志, 张人禾. 秋冬季节北极海冰对冬季西伯利亚高压的影响 [J]. 科学通报, 2011, 56(27): 2335.
- [9] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 冬季北极喀拉海、巴伦支海海冰面积变化对东亚冬季风的影响 [J]. 大气科学, 1999, 3(23): 273-274.
- [10] 龚道溢, 王绍武, 朱锦红. 北极涛动对我国冬季日气温方差的显著影响 [J]. 科学通报, 2004, 49(5): 487-491.
- [11] 刘毓赞, 陈文. 北半球冬季欧亚遥相关型的变化特征及其对我国气候的影响 [J]. 大气科学, 2012, 36(2): 424-431.
- [12] 林爱兰, 吴尚森. 近 40 多年广东省的寒潮活动 [J]. 热带气象学报, 1998, 14(4): 337-342.
- [13] 陈豫英, 陈楠, 马金仁, 等. 近 48 年宁夏寒潮的变化特征及可能影响的成因初步分析 [J]. 自然资源学报, 2010, 25(6): 939-947.
- [14] Wang B, An S I. A method for detecting season-dependent modes of climate variability: S-EOF analysis [J]. Geophysical Research Letters, 2005, 32: L15710.
- [15] Cavalieri D J, Gloersen P, Parkinson C L, et al. Observed hemispheric asymmetry in global sea ice changes [J]. Science, 1997, 278: 1104-1106.
- [16] Vinnikov K Y, Robock A, Stouffer R J, et al. Global warming and North Hemisphere sea ice extent [J]. Science, 1999, 286:

- 1934-1936.
- [17] Claire L P, Donald J C, Gloersen P, et al. Arctic sea ice extents, areas, and trends, 1978-1996 [J]. *Geophysical Research Letters*, 1999, 104(c9): 20837-20856.
- [18] Serreze M C, Holland M M, Stroeve J. Perspectives on Arctic's shrinking sea-ice cover [J]. *Science*, 2007, 315: 1533-1536.
- [19] Comiso J C, Parkinson C L, Gersten R, et al. Accelerated decline in the Arctic sea ice cover [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35, L01703, doi: 10.1029/2007GL031972.
- [20] 汪代维, 杨修群. 北极海冰变化的时间和空间型 [J]. *气象学报*, 2002, 60(2): 135-137.
- [21] 黄土松, 杨修群, 蒋全荣, 等. 极地海冰变化对气候的影响 [J]. *气象科学*, 1995, 15(4): 46-50.
- [22] 武炳义, 黄荣辉. 冬季北大西洋涛动极端异常与东亚冬季风 [J]. *大气科学*, 1999, 23(6): 641-651.
- [23] Gong D Y, Wang S W, Zhu J H. East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation [J]. *Geophysical Research Letters*, 2001, 28 (10): 2073-2076.
- [24] Sung M K, Lim G H, Kwon W T, et al. Short-term variation of Eurasian pattern and its relation to winter weather over East Asia [J]. *International Journal of Climatology*, 2009, 29(5): 771-775.
- [25] Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height fields during the Northern Hemisphere winter [J]. *Mon Wea Rev*, 1981, 109(4): 784-812.
- [26] Wu B, Wang J, Walsh J E. Dipole anomaly in the winter arctic atmosphere and its association with sea ice motion [J]. *J Clim*, 2006, 19: 210-225.
- [27] 武炳义, 张人禾, D'Arrigo Rosanne. 北极偶极子异常与中国东北夏季降水 [J]. *科学通报*, 2008, 53(12): 1422-1428.
- [28] Wang J, Zhang J, Watanabe E, et al. Is the Dipole Anomaly a major driver to record lows in Arctic summer sea ice extent? [J]. *Geophysical Research Letters*, 2009, 6, L05706, doi: 10.1029/2008GL036706.

Spatial-Temporal Patterns of the Cold Surge Events in China in Recent 50 Years and Its Relationship with Arctic Sea Ice

ZHU Chen-Yu, HUANG Fei, SHI Yun-Hao, DANG Zhen-Zhong, ZHANG Yu-Xuan

(The Key Laboratory of Ocean-Atmosphere Interaction and Climate in Universities of Shandong, College of Physical and Environmental Oceanography, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: Based on the observed daily mean temperature data from 527 China station with a long time series from the year 1961 to 2010, the National Center for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR) reanalysis dataset and the sea ice concentration (SIC) dataset from Illinois University, this study analysis the spatial-temporal patterns of the cold surge events in China in recent 50 years and the related SIC anomaly and atmospheric circulation. It reveals that there are two leading modes of the cold surge frequency in China. The first mode shows obvious interdecadal variation of the cold surge frequency in north China, with higher than the normal frequency of cold surge occurrence before the year 1980, but lower after the year 1990. The second mode is mainly shown as interannual variability of the cold surge frequency in the south of China. The reduction of cold surge frequency in the first mode is mainly related to global warming. The reduction of the Arctic sea ice enhanced the Arctic Oscillation since the late of 1980 s and excited a wave trains of Eurasian teleconnection (EU) pattern and then influenced the cold surge events in China. The second mode is mainly related to the rapid melting of Arctic sea ice and the appearance of Arctic dipole anomaly of atmospheric circulation in the summer during the past few years, which increased the cold surge events in late winter in the south of China by exciting a EU-like wavetrain pattern.

Key words: cold surge; sea ice; global warming; AO; EU; teleconnection; dipole anomaly

责任编辑 庞 旻