

北半球中高纬度大气环流主模态的季节演变及其与北极海冰变化的联系*

樊婷婷^{1,2}, 黄菲^{1**}, 苏洁¹

(1. 中国海洋大学物理海洋实验室, 山东 青岛 266100; 2. 中国极地研究中心, 上海 200136)

摘要: 利用 31 a(1979—2009)气候月平均的海平面气压(SLP)资料,提出 1 种与北半球中高纬度环流转变相适应的分季法。并根据这个客观分季方法,通过 SEOF 分析,发现大气环流主模态的季节演变有着典型的北极涛动(AO)空间结构,其时间系数在 1990 年代中期发生转型。500 hPa 上纬向波的涡度有着南北反位相的分布特征,冬季正涡度的区域对应着气旋性环流,其覆盖范围广,而夏季正涡度区域更偏北,可见 AO 在冬季增强,夏季减弱。北半球 SLP 异常的 EOF 分解第一模态为北极涛动(AO),第二模态是偶极异常(DA);将这 2 个模态称之为北半球中高纬度大气环流异常的优势模态。通过计算优势模态与海冰面积的超前滞后相关性,发现 AO 依然是控制海冰变化的前期大气环流异常的模式,而 DA 则可能是海冰快速变化后期大气环流的主导模式。

关键词: 客观分季; 中高纬; 大气环流; 季节演变; 优势模态; 北极海冰

中图分类号: P732.6

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2012)7-8-019-07

北极作为地球的“冷源”,为全球的热量平衡扮演着十分重要的角色,特别在全球变暖背景下对气候的异常起着放大器的作用。近十几年来极端天气的不断上演,北极海冰的快速减少,Comiso 等^[1]的研究特别指出 2007 年夏季(9 月)北极海冰面积骤减 31%,是有卫星观测数据以来北极夏季海冰面积的最低值,这使得国内外学者相继把关注的热点集中到北极。由于北极特殊的下垫面,使得北半球中高纬度气候系统更加复杂,“海-冰-气”耦合过程成为该地区特有的气候特征。在这个特殊的耦合系统中,大气环流的异常可通过热通量、海面风应力等动力热力过程反映在海冰上,同样海冰的变化也会投射到大气环流的异常变化中。北极海冰骤减发生在北极温度稳步上升的时候,但海冰并不是持续性减少的,比如在 1996,2001,2004,2008 这几年海冰总量都有小幅回升,可见热力作用并不是造成北极海冰变化的主要因素。Thompson 和 Wallace^[2]通过引入经验正交函数(EOF)分解得到北极涛动(AO),并认为 AO 是北半球中高纬度大气环流在半球尺度上的主导模态,能解释热带外环流异常 20%~30%的变率。随后 Rigor^[3]首次将 AO 与北极海冰联系起来,认为北极海冰的减少发生在 AO 由负位相向正位相转变、波弗特高压和穿极漂流的共同作用下。但是一些研究^[4-6]发现在 1993、2002 年后 AO 由正位

相向中立或负位相变化时,北极海冰仍在减少,于是开始质疑 AO 与海冰的耦合关系,认为北极海冰与 AO 正处于“退耦”阶段。

在全球变暖的背景下,北极海冰的逐年减退,大气对海冰的变化起着什么推动作用,或是海冰的变化又影响着大气系统如何做出改变? Zhang^[7]和 Deser^[8]认为北极气候正经历着“tipping point”的过程,大气环流的变化是 2007 年夏季海冰骤降的触发环节,相对大气这个快过程,海冰仍记忆着异常变化的过程,较为敏感的新生海冰的反馈则加速了海冰的减少。而 Wang^[9]和 Wu^[10]则认为大气环流主模态由 0 波向 1 波过渡,DA(Dipole Anomaly)成为海冰快速变化后的大气环流异常的主导模态,夏季强 DA 是造成北极海冰持续减少的原因。

鉴于海冰的物理变化主要发生在季节过渡的时期,在进行北极海冰与气候关系的研究时,非常有必要认识大气环流异常的主模态是否也存在季节演变的特征。国内外对北半球中高纬度季节的划分缺乏统一的标准,为了避免主观因素对客观研究的干扰,本文为此提出 1 种反映环流特征转变的季节划分方法,对北半球的气候系统进行客观的探索整理,并初步探讨大气主模态的季节演变特征,以及大气优势模态下海冰如何改变。

* 基金项目:全球变化研究国家重大科学研究计划项目(2010CB951403);国家自然科学基金项目(40876003;40975038)资助

收稿日期:2011-11-02;修订日期:2011-12-05

作者简介:樊婷婷(1986-),女,博士。

** 通讯作者:E-mail: huangf@ouc.edu.cn

1 资料说明与数据处理

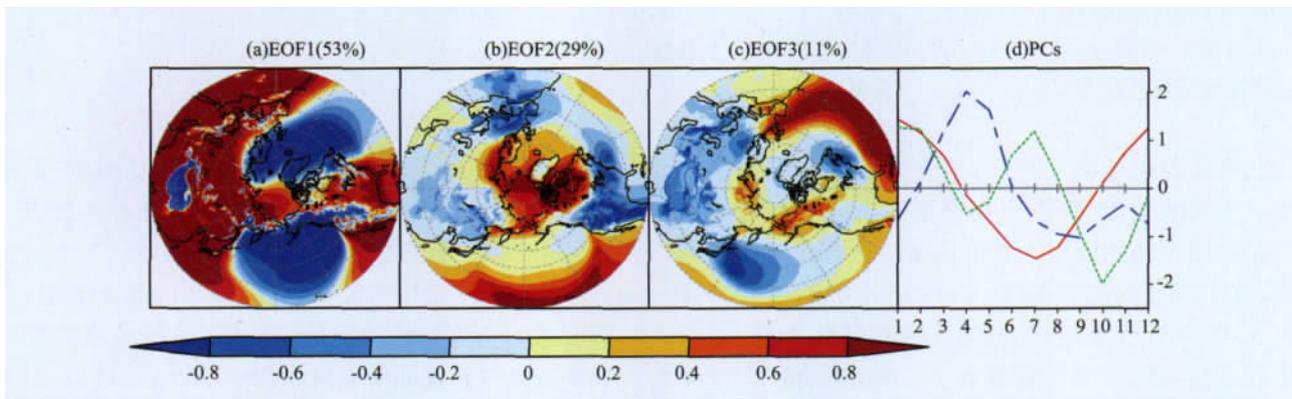
本文采用了如下几套大气和海冰数据:(1) 1979—2009年(12月×31a)逐月的来自The NCEP Climate Forecast System Reanalysis (CFSR)高分辨率的SLP再分析资料(20° N以北),水平分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 。该数据致力于提供全球更高分辨率,耦合“海-气-陆面-海冰”系统,对1979—2009这31a气候做出最好的估计,并对未来气候做出更精准的预测。(2) 1979—2008年(12月×30a)的逐月的全球风场再分析资料(0° N以北),来自于美国国家环境预报中心和气象研究中心(NCEP/NCAR),垂直方向共17层(1000、925、850、700、600、500、400、300、250、200、150、100、70、50、30、20、10 hPa),水平网格分辨率 2.5°

× 2.5° 。(3) 伊利诺伊大学海冰数据库(University of Illinois Sea Ice Dataset)提供的海冰密集度资料,时间长度为1979—2008年(12月×30a),水平网格分辨率 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 。(4) 根据微波遥感SSM/I和Hadisst^[11]的海冰数据计算得到的北极海冰面积序列,时间长度为1979—2008年(12月×30a)。

本文所进行的客观分析方法主要有EOF分析,SEOF(Wang B^[12])分析,超前滞后相关分析,合成分析和谐波滤波等统计分析方法。

2 气候平均态下SLP的时空分布

为提取北半球中高纬度气候平均态SLP的时空分布特征,本文引入EOF分析(见图1),取前3个模态。



(PC1为红色实线,PC2为蓝色虚线,PC3为绿色点线。PC1: Red solid line, PC2: Blue dashed line, PC3: Green dotted line.)

图1 气候平均态下北半球中高纬度SLP场EOF分析前三模态的空间型及其时间系数

Fig.1 Top three EOF modes of the climatologically mean SLP with the spatial patterns and their corresponding principal components

从图中可以看出,对气候平均SLP场EOF分解前2个模态占主(累积方差贡献达到82%)。空间型主要反映了显著的海陆差异,由于特殊的下垫面使得北冰洋和青藏高原都有着独立于海陆差异外的信号。由于CFSR高分辨率SLP数据,对高原地形的过高估计,可能造成了青藏高原这种独立信号,若用分辨率稍低的NCEP/NCAR再分析数据,青藏高原的独立信号就消失了(图略)。第一模态时间系数呈现出年周期的变化特征和冬夏差异,其中6~9月对应SLP场的空间分布为陆地上低压(亚洲低压、北美低压)和海洋上高压(北太平洋副热带高压、北大西洋副热带高压),此空间型与北半球夏季平均海平面图相似,于是将6~9月定义为北半球中高纬度的夏季;而12~次年1~3月对应SLP场的空间分布与夏季相反,陆地上主要为高压,海洋上多为低压,遂将当年12月与次年1~3月定义为冬季。从第二模态时间系数的年循环中可以看出4~5月在全年的权重较大,在其空间结构上主要表现出北

美、东亚和欧洲地区反位相的分布特征,中纬度陆地受热升温快形成近地面热低压,而冬季寒潮冷高压则退缩到北冰洋的极区,具有北半球春季过渡季节的特征,于是将4~5月定为春季。尽管第三模态方差贡献不大,但是其模态的时空分布仍具有明显的物理意义,它主要反映了半年周期的变化特征,但春秋季节不对称,秋季10~11月的变化最大,对应空间场上主要反映了东西半球的反位相振荡,遂将10~11月定为秋季。

根据气候平均态下SLP的时空分布特征,本文给出新的相对客观的适应于中高纬度的季节划分(春:4~5月,夏:6~9月,秋:10~11月,冬:12~次年1~3月)。对客观分季后的北半球中高纬度海平面气压的四季分布(图略),不仅可以清晰看到大气场中存在的季节性活动中心和半永久性活动中心,还能看到北极气旋的活动在秋、冬2季主要发生在极地边缘。

3 北半球大气环流主模态的季节演变

为提取出大气环流主模态的季节演变特征,本文

对客观分季后的 SLP 场进行 SEOF 分析(见图 2)。在此需指出,客观分季的 SLP 数据是利用第 3 节的客观分季结果,对 30 a 360 个月(30×12)的原始 SLP 数据进行季节平均处理得到的,1 年 4 季共 30 a(30×4)。第一模态解释了总方差贡献的 20.6%,其空间结构呈现出典型的 AO 环状结构(见图 3a),并随着季节的演变,其位相和振幅发生变化,冬季最强,夏季最弱。其时间系数在 1979—2009 这 31 a 来有着明显的年代际

和年际变化特征。在 1990 年代中期以前,时间序列变化振幅大,周期长;而到 1996 年后其振幅减小,周期也变短,季节演变的时间系数在 1990 年代中期出现了气候转型。作者注意到,在此期间,北极海冰经历着快速减少的变化。前面已经指出,海冰的物理变化主要发生在季节转换的期间,从大气主模态的季节演变的时空特征来看,有理由相信,大气主模态的季节演变与北极海冰的变化有着密切的联系。

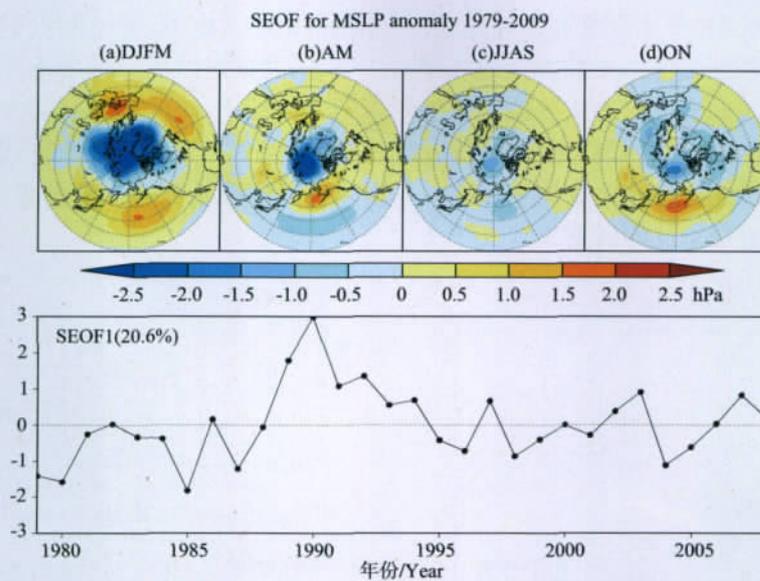
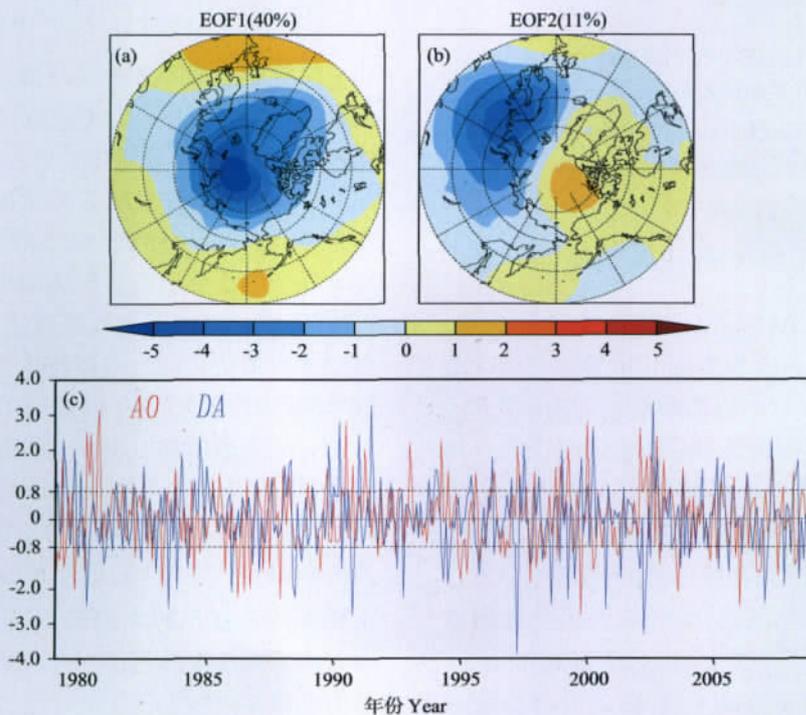


图 2 1979—2008 北半球中高纬度海平面气压 SEOF 第一模态的时空分布
Fig. 2 Spatial-temporal pattern of the first SEOF mode for SLP during 1979—2008



(a: AO, b: DA, c: 前 2 个模态的时间序列。a: AO, b: DA, c: The time series of the first two modes of EOF analysis.)

图 3 北半球 SLP 距平场 EOF 分解前 2 个模态的时空分布

Fig. 3 the time-space pattern of the first two modes of EOF on SLP field

已有研究^[13-16]证明 AO 是北半球大气环流的内部模态,其水平空间场具有环状结构的特点。涡度是与大气环流相联系,用来描述流体旋转特性的物理量,于是选取对纬圈平均 500hPa 的涡度进行空间的谐波滤波,因为 AO 在水平空间场是纬向 0 波的结构,于是本文保留谐波滤波后的 0 波结构,然后对客观分季后的纬向 0 波进行比较(见图 4)。从图中可以看到,从赤道到极地由负涡度向正涡度过渡。不同季节涡度在不同纬度发生正负涡度的转变,冬季在 30°N 附近由负涡度变成正涡度,而夏季涡度的变号发生在更高的纬度,大约在 45°N 附近,春秋两季涡度的正负变化发生的纬度介于冬夏之间。从图中也可以看出冬季正涡度覆盖纬度带范围广,对应着气旋性的大气环流,相比而言,夏季气旋性的大气环流更偏北,从另一角度证实了前面给出的结论:大气主模态随着季节的演变也在发生变化,冬季最强,夏季最弱。

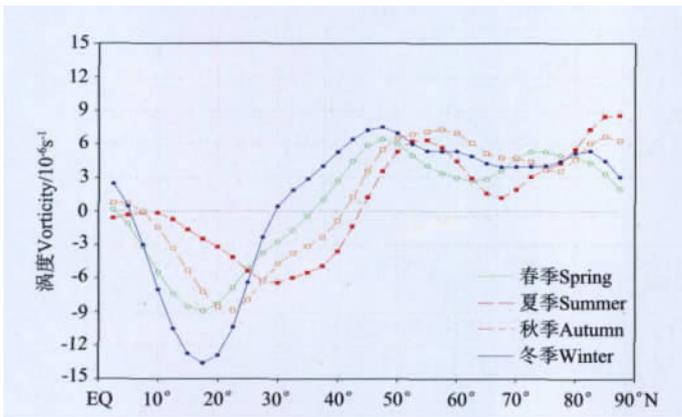


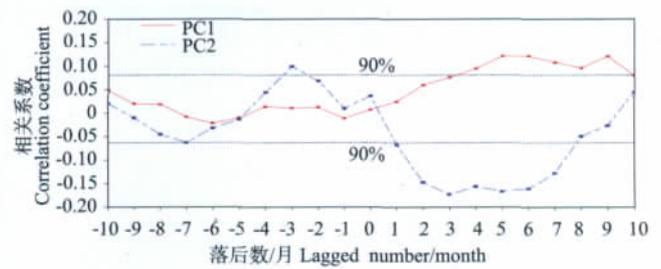
图 4 纬圈平均 500 hPa 涡度空间滤波后 0 波的四季分布

Fig. 4 The seasonal distribution of the zonal mean 500 hPa vorticity (spatial filter; wave 0)

4 海冰的变化与北半球中高纬度气候的联系

已有研究^[19-21]指出 AO 与海冰是 1 个耦合过程,北极海冰面积的退缩与 AO 有着密切的联系。AO 空间分布的主要特点是:有 2 个活动中心,分别位于北太平洋和北大西洋,1 个闭合活动中心位于北极中心。正位相时,中心“圆”为低值中心而外围 2 个活动中心为高值中心,于是会有 1 个异常的气旋性风异常;相反,对于 AO 负位相,会有异常的反气旋性风异常。AO 正位相导致气旋性的风异常,而异常气旋性风会使得波福特涡旋减弱或向南退^[22],在 Ekman 输运的作用下,沿岸的海冰被带走,造成更开阔的海域,常年冰会被新生冰代替,新生冰会加剧冰面的反馈作用,从而使海冰进一步减少。但这种耦合关系却在近几年出现出“退耦”的状态,而大气环流的 EOF 第二模态(DA: Dipole

Anomaly)正逐步成为驱动海冰变化越来越重要的主要因子^[23]。DA 的空间分布特点是东西分布呈跷跷板式,正位相时:加拿大群岛范围为正异常,巴伦支范围为负异常。于是会有由西向东吹的风异常;相反负位相会有由东向西的风异常。DA 导致径向型的风异常,正位相时异常风自西向东,加强穿极漂流,更多海冰流出弗拉姆海峡;负位相时穿极漂流减弱,更多海冰维持在西边。尽管海冰持续快速减少与大气环流的异常变化的关系存在争议,并没有明确找出造成海冰快速变化的最根本原因,但是能肯定的是在不同大气环流模态下,北极海冰依次做出不同的异常响应。在以前的研究基础上,遂将 AO 和 DA,也就是 SLP 异常 EOF 分解的前 2 个模态(见图 3),作者称之为北半球中高纬度大气环流异常的优势模态,对北极海冰的变化起直接贡献。



(PC1: AO index; PC2: DA index)

图 5 北半球 SLP 距平场 EOF 分解前两主成份与海冰面积的超前滞后相关

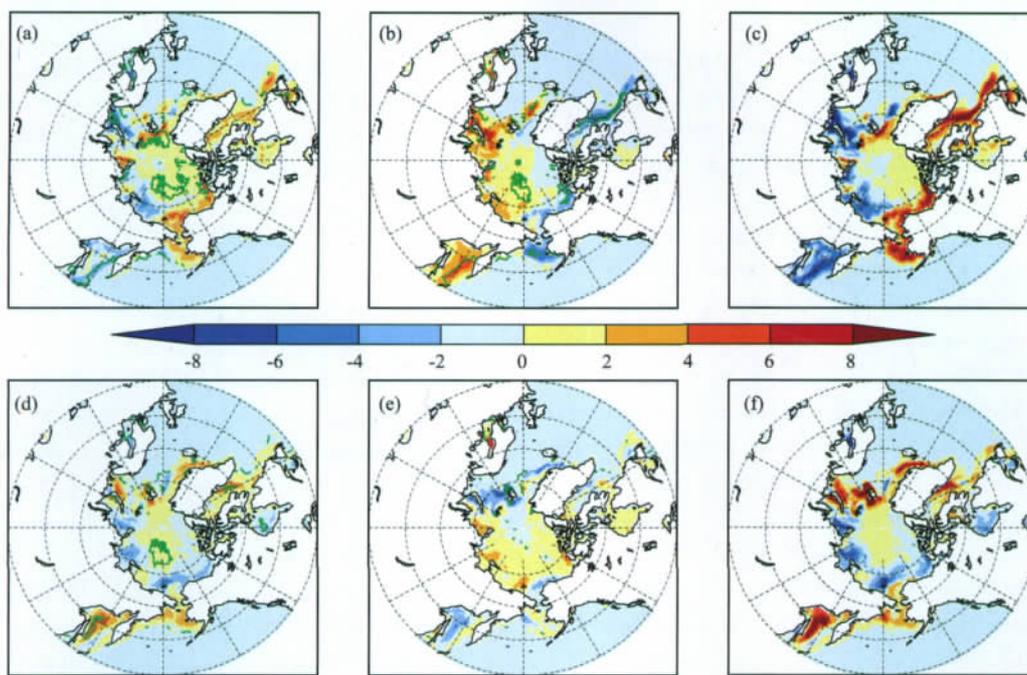
Fig. 5 The lagged correlation of the first two modes of EOF on SIE field

尽管作为北半球大气环流主模态的 AO 与海冰的关系处于“退耦”中,但相对大气这个快过程,海冰的变化相对较慢,把异常变化的信号记忆下来,可能造成当 AO 变成负位相时海冰的持续减少。对于北半球高纬度来说,特殊的下垫面,复杂的“海-冰-气”耦合是造成气候异常的重要原因。海冰的持续快速变化会不会直接反馈到大气中,对大气环流造成一定的影响,使得控制海冰发生变化的大气环流模态发生变化?为了弄清这个问题,作者用 AO 指数和 DA 指数分别与海冰面积进行超前滞后相关分析,并进行 90% 的显著性检验(见图 5)。从图中可以发现, AO 和 DA 这 2 个大气环流异常主模态与北极海冰的变化同期不存在显著的相关关系,只有在 AO 超前海冰变化 5 个月时达到最大正相关, DA 超前海冰面积 3~5 月时达到最大负相关,同时注意到在海冰超前 DA 模态 3 个月时同样也达到最大正相关,这些超前滞后相关表明大气环流与海冰变化之间是相互影响和反馈的, AO 只存在超前海冰约半年的相关意味着冬季的 AO 会影响夏季的海冰变化,而 DA 则不仅会影响北极海冰的面积变化,也受到

海冰变化的反馈作用,海冰的快速变化会直接导致后期 DA 型大气环流的改变。

为了更清楚地说明 AO/DA 对应海冰的变化,给出不同位相时海冰密集度的分布,来提取在不同大气环流模态下海冰分布的特点。分别选取 AO/DA 指数大于 0.8 个标准差所在的时间进行个例的合成,样本总量为 360 月,合成正位相所含样本分别为 67 和 72 个月,合成负位相样本容量分别为 71 和 59 个月。为此给出海冰密集度在大气优势模态正负位相的变化及其正负位相间的差异(见图 6)。可以看出在 AO(+) 正位相时,海冰密集度增加集中在西半球和白令海峡;在 AO(-) 负位相时,海冰密集度增加的区域集中在东

半球。在 DA(+) 正位相时,海冰增加的区域集中在极圈外围的边缘海附近;而到 DA(-) 负位相时,海冰增加的区域就向极圈内收缩,极圈外围边缘海附近的海冰减少。对于任一优势模态的正负位相,海冰密集度增加显著的区域主要分布在楚科奇海,白令海,喀拉海,戴维斯海峡,哈德孙湾这几个边缘海,并且边缘海附近的海冰呈现出显著的反位相变化。但是不同之处在于,对于 AO 正负位相海冰密集度的差异主要呈现出东西不对称的特点,而对于 DA 正负位相间的差异表现为极圈内边缘海海冰密集度减少,极圈外边缘海海冰密集度显著增加。



(a~b 分别为 AO 正负位相时海冰密集度的变化;c 为 AO 正负位相间的差异;d~e 分别为 DA 正负位相时海冰密集度的变化;f 为 DA 正负位相间的差异;绿色等直线为 95% 信度检验,单位:%。a The positive phase of AO; b The negative phase of AO; c The positive-minus-negative; d The positive phase of DA; e The negative phase of DA; f The positive-minus-negative; Green line represents the 95% reliability test; unit: %.)

图 6 海冰密集度在大气优势模态不同位相的变化以及正负位相间的差异

Fig. 6 The variability of SIC under the different phase of the advantage mode of atmospheric circulation and the difference between the positive and the negative

5 结论

(1) 为了避免季节划分的主观性,本文首次提出 1 种与北半球中高纬度环流转变相适应的季节划分。利用 EOF 分析这一工具对气候平均态下的海平面气压场进行分解,提取出气候平均态下海平面气压的时空分布特点,规定 4~5 月为春季,6~9 月为夏季,10~11 为秋季,12 月~次年 3 月为冬季。

(2) 大气环流的主模态随着季节的演变而发生改变,水平空间场呈现出典型的 AO 空间型,冬季最强,夏季

最弱;其时间系数在 1990 年代中期发生转型,振幅变小,周期变短。

(3) 由于 AO 在水平空间场是纬向 0 波的结构,500 hPa 涡度场空间滤波后的 0 波结构随着四季的演变也发生着变化,冬季正涡度控制的纬度范围广,夏季正涡度范围北缩,不同季节涡度变化发生的纬度不同,冬季更偏南,夏季更偏北,春秋过渡季介于两者之间。

(4) AO 是控制北极海冰变化的前期大气环流条件,超前半年之久,而 DA 正逐步成为越来越重要的前期环流条件,海冰的快速变化会直接导致后期大气环流的

改变。AO正负位相海冰密集度的差异主要呈现出东西不对称的特点,而对于DA正负位相间的差异表现为极圈内外反位相的分布特点。当AO正(负)位相时,海冰密集度增加的区域集中在西半球(东半球);DA正(负)位相时,海冰密集度增加的区域分散在极圈外围的边缘海(极圈内)。值得注意到,对于任一优势模态的正负位相,海冰密集度增加显著的区域主要分布在楚科奇海,白令海,喀拉海,戴维斯海峡,哈德孙湾这几个边缘海,并且边缘海附近的海冰呈现出显著的反位相变化。北极海冰在大气环流优势模态的控制下呈现出区域性变化的特点。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Thompson D W J, Wallace J M. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields [J]. *Geophysical Research Letter*, 2008, 25: 1297-1300.
- [3] Rigor I G, Wallace J M, Colony R L. Response of sea ice to the Arctic oscillation [J]. *J Climate*, 2002, 15: 2648-2663.
- [4] Deser C, Walsh J E, Timlin M S. Arctic Sea Ice variability in the context of recent atmospheric circulation trends [J]. *J Climate*, 2000, 13: 617-633.
- [5] Maslanik J, Drobot S, Fowler C, et al. On the Arctic climate paradox and the continuing role of atmospheric circulation in affecting sea ice conditions [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34, L03711. doi: 10.1029/2006GL028269.
- [6] Zhang X, Sorteberg A, Zhang J, et al. Recent radical shifts in atmospheric circulations and rapid changes in arctic climate system [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 35, L22701, doi: 10.1029/2008GL035607.
- [7] Zhang J, Lindsay R. The thinning of arctic sea ice, 1988 - 2003: Have We Passed a Tipping Point? [J]. *J Climate*, 2005, 18: 4879-4894.
- [8] Deser C, Teng H. Evolution of Arctic sea ice concentration trends and the role of atmospheric circulation forcing, 1979-2007 [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35, L02504, doi: 10.1029/2007GL032023.
- [9] 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, 36, L05706, doi: 10.1029/2008GL036706.
- [10] Wu B Y, Zhang R H, Wang B. On the association between spring arctic sea ice concentration and Chinese summer rainfall: A further study [J]. *Adv Atmos Sci*, 2009, 26(4): 666-678.
- [11] 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(21): 129-138.
- [12] Wang B, An S I. A method for detecting season-dependent modes of climate variability: S-EOF analysis [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, Vol. 32, L15710, doi: 10.1029/2005GL022709.
- [13] Wallace J M, Thompson D W J. The Pacific center of action of the northern hemisphere annular mode: Real or artifact? [J]. *J Climate*, 2002, 15: 1987-1991.
- [14] Robert X B, Brent A M. Submonthly polar vortex variability and stratosphere-troposphere coupling in the Arctic [J]. *J Climate*, 2009, 22: 5886-5900.
- [15] Thompson D W J, Wallace J M. The Arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields [J]. *Geophysical Research Letter*, 2008, 25: 1297-1300.
- [16] Zhang J, Rothrock D, Steele M. Recent changes in arctic sea ice: The interplay between ice dynamics and thermodynamics [J]. *J Climate*, 2000, 13: 3099-3114.
- [17] 武炳义. 冬季北极海冰运动主模态的构成及其与海平面气压变化的关系 [J]. *大气科学*, 2005, 29(5): 747-760.
- [18] Zhang J, Lindsay R, Steele M, et al. What drove the dramatic retreat of arctic sea ice during summer 2007? [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35, L11505, doi: 10.1029/2008GL034005.
- [19] Overland J E, Wang M. The third Arctic climate pattern: 1930s and early 2000s [J]. *Geophysical Research Letters*, 2005, 32, L23808. doi: 10.1029/2005GL024254.
- [20] Serreze M C, Holland M M, Stroeve J. Perspectives on Arctic's shrinking sea-ice cover [J]. *Science*, 2007, 315: 1533-1536.
- [21] Simmonds I, Keay K. Extraordinary september Arctic sea ice reductions and their relationships with storm behavior over 1979-2008 [J]. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36, L19715, doi: 10.1029/2009GL039810.
- [22] Serreze Mark C, Andrew P Barrett. Characteristics of the beaufort sea high [J]. *J Climate*, 2011, 24: 159-182.
- [23] Wu B, Wang J, Walsh J E. Dipole Anomaly in the winter Arctic atmosphere and its association with Arctic sea ice motion [J]. *J Climate*, 2006, 19: 210-225.
- [24] Stroeve J, Holland M M, Meier W, et al. Arctic sea ice decline: faster than forecast [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34, L09501. doi: 10.1029/2007GL029703.
- [25] Walsh J E, Johnson C M. Analysis of Arctic sea ice fluctuations 1953-77 [J]. *Journal of Physical Oceanography*, 1979, 9(3): 580-591.
- [26] Simmonds I, Burke C, Keay K. Arctic climate change as manifest in cyclone behavior [J]. *J Climate*, 2008, 21: 5777-5796.
- [27] Zhang X D. Sensitivity of arctic summer sea ice coverage to global warming forcing: towards reducing uncertainty in arctic climate change projections [J]. *Tellus*, 2010, 62A: 220-227.

The Seasonal March of Dominate Mode of the Mid-High Latitude Atmosphere Circulation in Northern Hemisphere and the Associated Arctic Sea Ice

FAN Ting-Ting^{1,2}, HUANG Fei¹, SU Jie¹

(1. Physical Oceanography Laboratory, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Polar Research Institute of China, Shanghai 200136, China)

Abstract: Based on the monthly mean sea level pressure during the period 1979—2009, by employing the Empirical Orthogonal Function (EOF) analysis, we pose a relatively objective quarterly, which highly adapted to mid-high latitude in northern hemisphere. Based on this objective quarterly, it is found that the seasonal march of the dominate mode of atmosphere circulation exhibits a typical Arctic Oscillation (AO) pattern evolving with season, the strongest in winter and the weakest in summer, and its time series imply a decadal change in around mid-1990s. Besides the 500 hPa zonal wave in four seasons, all show an out-of-phase oscillation in high latitude and low latitude. In winter, the area of positive vorticity is larger than its in summer, which implies positive vorticity of summer is much more polarward. We define the top two mode of EOFs as the advantage modes of atmosphere circulation in northern hemisphere, by calculating the lagged correlation coefficient between advantage modes and Arctic sea ice area, it is found that the winter AO can influence summer sea ice, while DA can not only affect sea ice, but also can be influenced by sea ice, which means DA is becoming the dominate mode associated with Arctic sea ice.

Key words: objective quarterly; mid-high latitude; atmosphere circulation; seasonal march; advantage mode; Arctic sea ice

责任编辑 庞 旻