

# 北极 I 区海冰面积变化及其与大气遥相关型的联系

蒋全荣 王春红 徐桂玉

(南京大学大气科学系,南京,210093)

## 摘 要

EOF 和功率谱分析表明,北极 I 区海冰面积的第 2、第 3 特征向量的年际变化具有 40 个月左右的振荡周期。在这一频带上,海冰面积变化的热力强迫作用可分别激发出 EU 和 EA 大气遥相关型。经对比,进一步发现,北极海冰和赤道中、东太平洋海温对北半球冬半年中纬度大气环流的影响有一定的相似性,它们都是引起短期气候变化的重要因子。

**关键词:** 北极 I 区海冰面积, EU 和 EA 大气遥相关型, 短期气候变化。

## 1 引 言

众所周知,海冰具有高反射率,北极海冰面积的变化势必会使北极地区下垫面接受到的太阳辐射能以及海洋向大气的潜热输送等也相应发生变化,再通过极地大气温度的变化改变经向温度梯度和经向环流。关于北极海冰对大气环流和短期气候异常的影响已有许多研究。研究指出,北极海冰异常能够产生和热带海温异常产生的全球气候异常类似的现象<sup>[1,2]</sup>;极地海冰与北半球副热带环流存在相互作用且具有明显的滞后性和季节性<sup>[3]</sup>;北极海冰异常还对中国的旱涝有着重要的影响<sup>[4]</sup>等。本文将首先对北极 I 区(160°E—110°W,具体范围可参阅文献[5])海冰面积进行 EOF 分解,对其相应的时间系数作功率谱分析,然后讨论它们与北半球冬半年(11 月—次年 4 月,下同)大气遥相关型的联系,最后与 ENSO 现象相比较。

本文使用了 Walsh 的北极 I 区海冰面积和欧洲中期天气预报中心(ECMWF)的北半球 500hPa 月平均高度场资料,资料年代为 1953—1984 年,计 32a。

## 2 结果分析

在有关冰气的相关分析中,北极某区的海冰面积的变化特征往往以该区的面积指数来表示(如文献[2])。然而,海冰面积指数仅反映了该区海冰面积变化的平均特征,没有反映出该区海冰的分布特征,于是可能影响了某些观测事实的揭示。图 1 就是一个例子。图中显然不存在明显的相关,尤其在中纬度地区,更没有冬半年典型的遥相关型出现。我们认为,这可能就与没有考虑海冰的分布结构有关。

• 初稿时间:1994 年 5 月 31 日;修改稿时间:1994 年 8 月 8 日。  
资助课题:国家基础性研究重大关键项目“气候动力学和气候预测理论的研究”。

## 2.1 EOF 分解

考虑到 75°N 以北的极区终年冰封, 为永冻区, 没有任何的月际和年际变化, 因此我们选择 75°N 以南海域中海冰面积具有代表性且具有明显年际变化的 36 个点的资料来进行 EOF 分解(格点位置见图 2a)。表 1 为北极 I 区海冰面积的前 4 个特征向量的特征值和它们对总方差的贡献。由表可见, 前 4 个特征向量的累积贡献达 81.1%, 表明这 4 个典型场已基本能反映出 I 区海冰面积变化的主要空间分布特征。

分析表明, 第 1 特征向量全为正值(图 2a), 即全场呈同位相, 其相应的时间系数具有明显的年周期变化, 图 2b 为第 1 特征向量逐月的平均时间系数(经 32a 平均)。不难看出, 特征向量与时间系数相配合后所反映的主要是北极 I 区海冰面积的季节变化特征, 即冬季冰封、夏季消融、春秋为过渡季节, 这显然是太阳辐射强度的季节变化所引起的。

表 1 北极 I 区海冰面积前 4 个特征向量的特征值和对总方差的贡献

	第 1 特征向量	第 2 特征向量	第 3 特征向量	第 4 特征向量
特征值	211.03	42.77	13.99	7.86
对总方差 的贡献(%)	62.10	12.60	4.10	2.30
累积贡献(%)	62.10	74.70	78.80	81.10

北极 I 区海冰面积的第 2、第 3 特征向量给出在图 3。与图 2a 不同, 它们的分布均显示出明显的正负相间的波状结构。前者为 I 区的北部和南部呈反位相, 中心分别在(72°N、155°W), (72°N、165°E), (63°N、170°W)附近(图 3a); 后者为 I 区的中部与其南部、北部呈反位相, 中心位于(68°N、170°W)和(74°N、145°W), (63°N、170°W)附近(图 3b)。为了讨论这两个特征向量场与大气遥相关型的联系, 以下我们先对其时间系数进行功率谱分析。

## 2.2 功率谱分析

取  $1/84 \leq f \leq 1/21$ , 作带通滤波, 滤去 21 个月以下的短周期和 7a 以上的长周期。图 4 为北极 I 区海冰面积的第 2、第 3 特征向量的时间系数经上述带通滤波后的谱分析图, 其中取  $m = 40$ 。很清楚, 这两个时间系数都存在显著的 40 个月左右的振荡周期。这一优势周期在过去的一些类似工作中(如文献[6])几乎未被揭示过。我们知道, 在大气和海洋的低频变化中, 如 ENSO 循环<sup>[7]</sup>、西北太平洋副热带高压活动<sup>[8]</sup>以及中国东部地区的降水、气温变化等<sup>[9]</sup>都具有这一优势周期, 它是海气相互作用的低频变化中的一个重要周期。因此北极海冰面积变化这一周期的揭示可能是有意义的, 从下面讨论它与大气遥相关型的联系中可看出这一点。

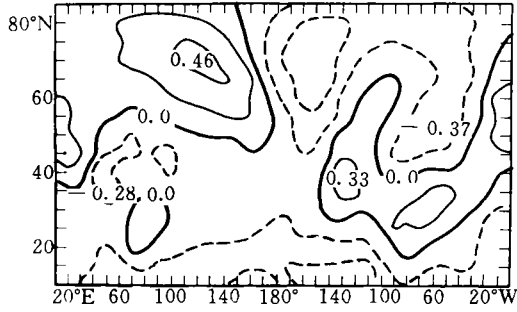


图 1 北极 I 区海冰面积指数与北半球 500hPa 高度场在冬半年(11 月一次年 4 月)的同时相关

### 2.3 与大气遥相关型的联系

计算表明,未经滤波的北极 I 区海冰面积的第 2、第 3 特征向量的时间系数与北半球冬半年 500hPa 高度场没有明显的相关型。但是,当其时间系数经上述带通滤波处理后,结果起了明显的变化(见图 5)。在图 5a 中,存在三个相关中心,它们分别位于(60°N、20°E), (60°N、75°E)和(40°N、145°E)附近,相关系数分别为-0.76、0.75和-0.56。这明显是 EU 型遥相关结构<sup>[10]</sup>。换句话说,北极 I 区海冰面积的第 2 特征向量与大气 EU 型存在着联系。当北极 I 区海冰面积南部缩小,北部扩大时,500hPa 高度场在斯堪的纳维亚、波兰及日本附近有明显的负距平;而在西伯利亚有明显的正距平;反之亦然。经计算,这一结构是在海冰超前大气 1 个月时达到最强。图 5b 表明,北极 I 区海冰面积的第 3 特征向量则是和 EA 遥相关型相联系。相关中心在(55°N、20°W), (25°N、20°W)和(45°N、40°E)附近,相关系数分别为

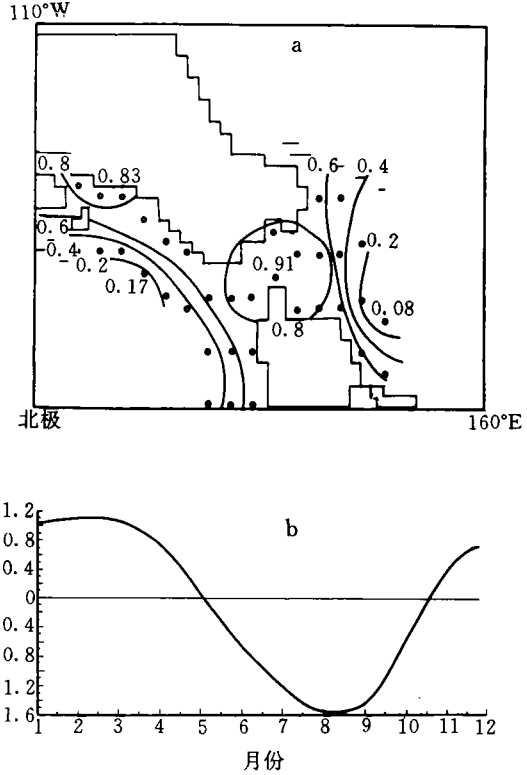


图 2 北极 I 区海冰面积的(a)第 1 特征向量, (b)及其相应的逐月平均系数(经 32a 平均)

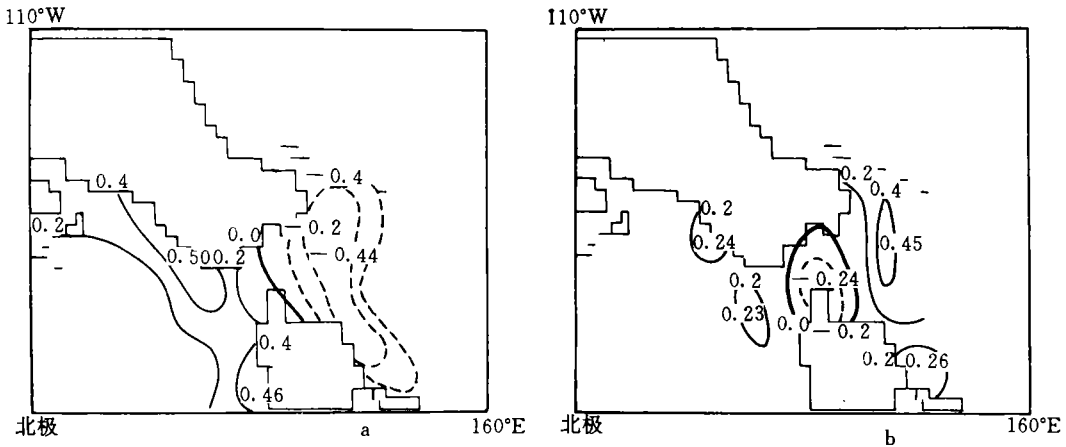


图 3 北极 I 区海冰面积的(a)第 2 特征向量, (b)第 3 特征向量

0.73, -0.69和-0.58。中心位置与文献<sup>[10]</sup>给出的 EA 型完全吻合。因此当 I 区海冰面

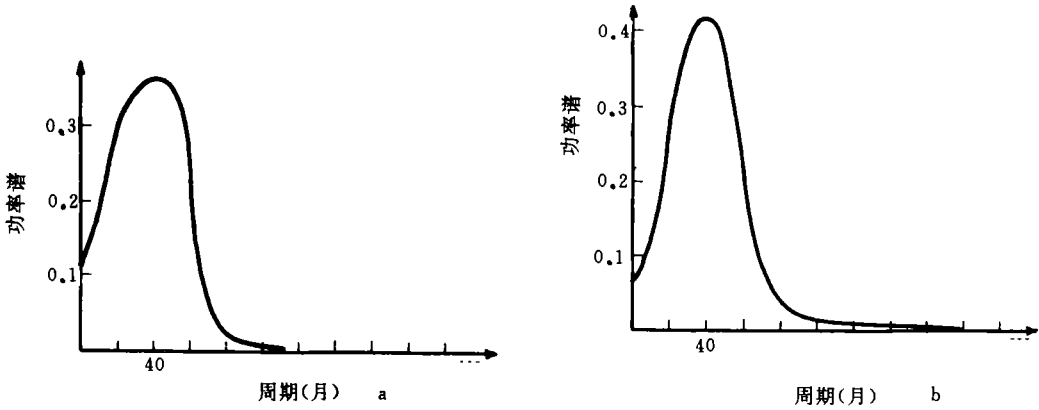


图 4 北极 I 区海冰面积的 (a) 第 2 特征向量和 (b) 第 3 特征向量的时间系数经带通滤波后 ( $1/84 \leq f \leq 1/21$ ) 的谱分析图

积中部缩小而其北部和南部扩大时, 500hPa 高度场在加那里群岛和黑海附近有明显的负距平, 而在英国及其邻近地区有明显的正距平; 反之亦然。计算还表明, 图 5b 中的结构是以同时相关为最强。

Hoskins 等曾经指出, 大气对热力强迫响应的的时间尺度约 1—2 周<sup>[11]</sup>。因此我们认为, 从短期气候的角度来看, 图 5 中的结果都反映了北极海冰面积变化对大气的热力强迫作用。大气的这种热力响应还可以用以下另一种计算来进一步推断。图 6 为经带通滤波后的北极 I 区海冰面积的第 2、第 3 特征向量的时间系数与大气 EU、EA 型遥相关指数(取法同[10])的后延相关。十分清楚, 后延相关曲线明显呈偶对称分布, 尤其是 EA 型。我们知道, 与海温相类似, 海冰面积的自相关函数亦为一偶函数, 且由于大气对热力强迫响应特征时间的短暂, 因此海洋对大气的热力强迫作用在它们的后延相关中表现为偶对称。图 5 就是大气对北极 I 区海冰面积变化所引起的热力强迫的响应的一个粗略估计。从图 6 中我们还可以得出另一有意义的事实: 即当北极 I 区海冰面积的第 2、第 3 特征向量的时间系数超前大气分别在 6 个月(对 EU)和 3 个月(对 EA)以内时, 它们的相关水平都达到了 0.001 的信度。因此根据北极 I 区海冰面积的前期变化特征, 可以提前 1—2 个季度来预测北半球冬半年的大气环流的异常, 这对长期天气预报来说, 显然是具有一定的参考价值的。

## 2.4 与 ENSO 的比较

上述讨论表明, 北极 I 区海冰面积变化可激发产生冬半年大气中的 EU 和 EA 遥相关型。换言之, 对北极海冰面积变化所引起的冷源扰动, 大气在北半球中纬度地区有较强的遥响应, 即大气在远离强迫源中心的位置上产生了新的扰动中心。众所周知, 当赤道中、东太平洋有厄尼诺时, 北半球中纬度大气对赤道海洋的热源扰动也产生较强的遥响应, 例如出现 PNA、甚至 EU 型。只不过前者是冷源强迫, 后者是热源强迫。因此两者之间有一定的相似性。另外, 作者曾以与本文基本相同的方法讨论过赤道中、东太平洋海温与 PNA 型的联系<sup>[12]</sup>, 据计算, PNA 的 4 个中心的相关值分别为 0.66(20°N、160°W)、-0.62(50°N、165°W)、-0.48(30°N、95°W)和 0.43(55°N、110°W)。从对比中不难看出, 图 5 所显示

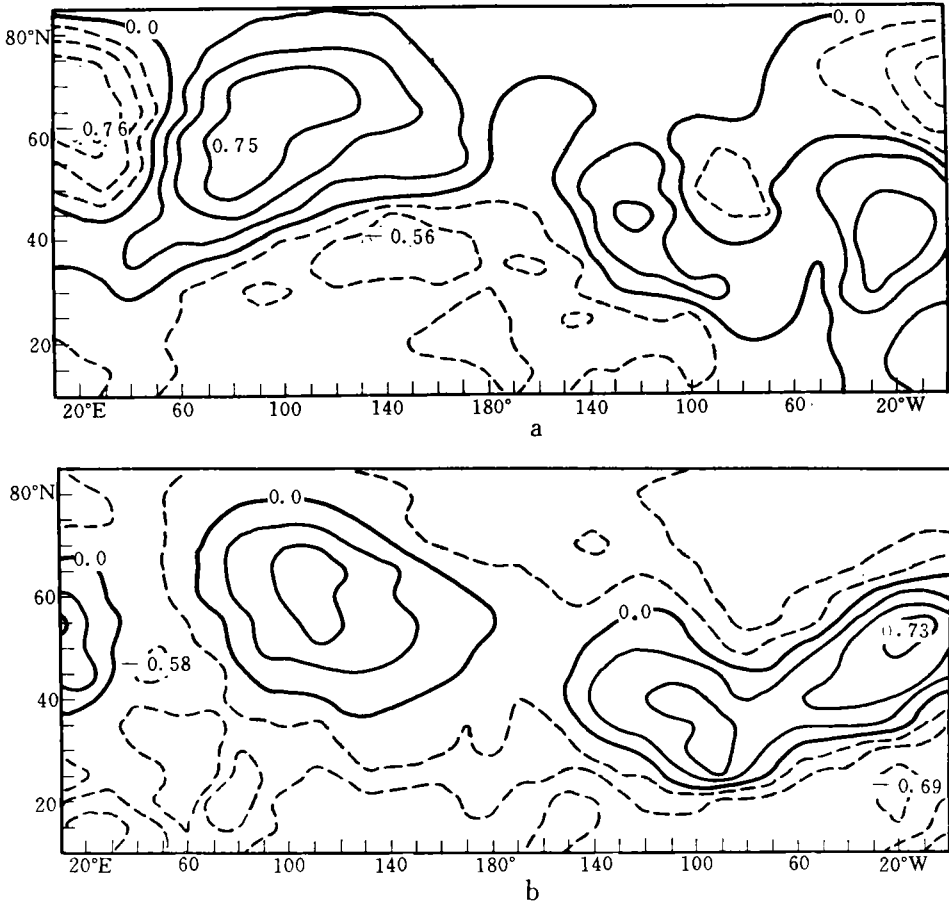


图5 北极 I 区海冰面积的(a)第 2 特征向量和(b)第 3 特征向量的时间系数  
 经带滤波( $1/84 \leq f \leq 1/21$ )后与北半球冬半年 500hPa 高度场的相关  
 (a 中海冰超前大气 1 个月, b 中为同时相关。高度场均固定在冬半年 11 月一次年 4 月)

的北极 I 区海冰与大气的水平明显要强得多。因此从这个意义上来说,对大气环流异常的影响,北极海冰的热力强迫作用完全可与赤道中、东太平洋海温的作用相比拟。

由平均环流知,北半球冬半年副热带高压脊线位于  $15^{\circ}\text{N}$  以南地区。图 5 显示,EU 和 EA 型的强相关区均出现在副热带高压脊线以北的中纬度地区。这隐含地表明,极地冷源所激发的波列仅在西风带中传播,它似乎不能穿越副热带高压脊线进入其以南的东风气流中。这一点也与厄尼诺现象相似,并与 Hoskins 等在讨论球面大气在热力强迫的定常线性响应时所得出的在  $\bar{u} = 0$  的临界纬度处波的群速趋于零的结论相一致<sup>[13]</sup>。

众所周知,Hoskins 等所提出的球面上传播的二维 Rossby 波理论虽然有助于解释遥相关型的结构及其传播特征等,但没有给出这类低频振荡的原因,因此必须讨论产生低频振荡的机制。在有关 ENSO 循环的研究中,Zebiak 等<sup>[14]</sup>的结果表明,热带太平洋的海气耦合系统可以产生不规则的年度低频变化现象,其主振荡周期为 3—4a(即约 40 个月)。这个周期恰也是北极 I 区海冰与 EU 和 EA 遥相关型之间的振荡周期。因此,产生大气中低频振荡的机制也可以产生于高纬度地区冰气系统间的相互作用,并也可能存在着类似于

ENSO 的循环过程。

综上所述,赤道中、东太平洋海温与北极 I 区海冰对北半球冬半年中纬度大气的影响有着许多相似作用。对于这种相似性,我们认为是合理的。因为在影响大气环流的基本因子中,温度经向分布的不均匀性是一个重要的因子。这种热力分布的不均匀性的变化既可来自于低纬热源的变化(如厄尼诺现象),也可以来自极地冷源的变化(如海冰的面积变化),或者两者同时发生,它们具有相似的热力效应。又如果这种不均匀性的变化具有某一准周期,那末在热力强迫的驱动下,大气环流的变化亦应表现出相应的周期性。因此赤道海洋和极地冰雪圈的慢变热力强迫作用都是产生大气低频振荡的重要机制,它们都是引起短期气候变化的外部强迫的重要形式。

### 3 结 语

本文通过对北极 I 区海冰面积的 EOF 分解、对其相应的时间系数的功率谱分析及其相关计算得出了以下几点主要结果:

(1) 北极 I 区海冰面积的第 2、第 3 特征向量的时间系数均具有 40 个月左右的低频振荡周期。

(2) 发现在 40 个月左右的周期上,北半球冬半年大气对高纬冷源的强迫响应分别为 EU 和 EA 遥相关型,EU 与第 2 特征向量相联系,EA 和第 3 特征向量相联系。根据北极 I 区海冰面积的前期变化特征,我们可提前 1—2 个季度来预测北半球冬半年中纬度地区的大气环流异常,这对中长期预报有一定的参考意义。

(3) 对比表明,北极 I 区海冰面积变化与赤道中、东太平洋海温的变化对北半球冬半年中纬度大气中的低频变化的影响有一定的相似性,它们都是引起短期气候变化的重要的外部强迫因子,且海冰的作用完全可与赤道中、东太平洋海温的作用相比拟。

通过本文的分析,我们认为尚有许多问题值得深入研究。如引起海冰面积变化的原因是什么,主要是来自于海洋本身,还是主要来自大气?极地冷源产生扰动后,大气中波列的传播路径又怎样,是否也沿着二维 Rossby 波列的大圆路径?是否只要有 40 个月左右(即 3—4a)的准周期的外部热源强迫,大气中便可激发出 3—4a 的低频振荡?冰气系统之间是否存在类似于 ENSO 的循环过程?另外,在我们的工作中仅讨论了大气对海冰的热力强迫的响应问题,那末大气对海冰的反馈机制又怎样?这些值得深入探讨的问题,显然不仅需要更多的观测事实的揭示,并且更需要发展和利用包含有冰气系统相互作用的耦合模式来进行数值模拟,以便更清楚地认识冰气系统中的低频动力学模态及其结构和传播

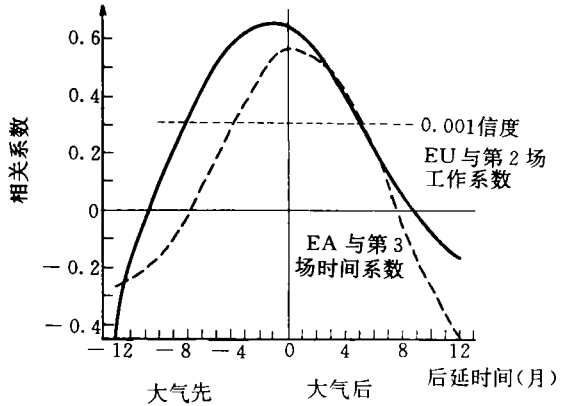


图 6 经带通滤波后的北极 I 区海冰面积特征向量的时间系数与大气遥相关指数的后延相关 (实线为 EU 与第 2 特征向量的时间系数,虚线为 EA 与第 3 特征向量的时间系数。遥相关指数固定在冬半年 11 月—次年 4 月)

等问题,从而提高短期气候的预测能力。

致谢:蒙石宗祥先生帮助绘图,特此致谢。

## 参考文献

- [ 1 ] Ni Yunqi et al. Numerical study of the short-term climatic oscillation forced by El Nino during Northern winter. *Acta Meteor Sinica*. 1990, 4 (5) : 554—568.
- [ 2 ] 方芝芳, 谭友邦, 隋学海. 夏季北极海冰激发的 500hPa 遥相关型. *大气科学*, 1991, 15 (1) : 53—60.
- [ 3 ] 方芝芳. 北半球副热带高压与极地海冰的相互作用. *科学通报*, 1986, 31 (4) : 286—289.
- [ 4 ] 郑维中, 苏炳凯, 徐桂玉, 林元弼. 北极海冰异常对我国降水影响的数值试验. *大气科学论文集*, 南京大学出版社, 1994.
- [ 5 ] 许健民等. 北极逐月海面冰覆盖资料. 北京: 气象出版社, 1985.
- [ 6 ] 王小兰等. 北极海冰面积时空分布特征的统计学分析. *海洋学报*, 1991, 13 (4) : 475—488.
- [ 7 ] 季劲钧. 海洋大气耦合系统中多年振荡的理论. *中国科学, B 辑*, 1981, 10: 1248—1259.
- [ 8 ] 中国科学院地理研究所长期天气预报组. 热带海洋对副热带高压长期变化的影响. *科学通报*, 1977, 22 (7) : 313—317.
- [ 9 ] 莫如平. 中国降水、气温的年际振荡及其与厄尔尼诺的联系. *海洋学报*, 1989, 11 (2) : 143—149.
- [ 10 ] Wallace J M and Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon Wea Rev*. 1981, 109 (4) : 784—812.
- [ 11 ] Hoskins B J. Dynamical processes in the atmosphere and the use of model. *Quart J Roy Meteorol Soc*, 1983, 109, 1—21.
- [ 12 ] 蒋全荣. 冬半年北半球大气对赤道东太平洋海温的响应. *气象科学*, 1989, 9 (3) : 255—262.
- [ 13 ] Hoskins B J and Karoly D J. The steady linear response of a spherical atmosphere to thermal and orographic forcing. *J Atmos Sci*. 1981, 38: 1179—1196.
- [ 14 ] Zebiak S E and Cane M A. A model El Nino-Southern Oscillation. *Mon Wea Rev*. 1987, 1 (5) : 2262—2279.

## VARIATION OF THE ARCTIC SEA ICE COVER IN REGION I AND ITS RELATION TO THE ATMOSPHERIC TELECONNECTION PATTERNS

Jiang Quanrong Wang Chunhong Xu Guiyu

*(Department of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing, 210093)*

### Abstract

EOF and power spectral analysis show that the interannual variability of the time coefficients of the second and third eigenvectyr of the Arctic sea ice cover in region I has a period of approximately 40 months. At this frequency band EU and EA teleconnection patterns can be excited by the thermal forcing of the variation of the sea ice cover. By comparison it is confirmed that the influence of the Arctic sea ice cover on the mid-latitude general circulation in Northern winter bears some analogue to one of the SST over the central-eastern equatorial Pacific. They are the important factors to induce the short term climatic change.

**Key words:** Arctic sea ice cover in region I . EU and EA atmospheric teleconnection patterns, Short term climatic change.