

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^{*}

武炳义 黄荣辉 高登义

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘 要 通过大量的数据分析发现, 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, 该海区海冰面积变化与大气 500 hPa 高度场的 EU 遥相关型以及东亚冬季风强、弱之间存在密切的关系。冬季该海区海冰偏多, 则 500 hPa 高度场容易出现 EU 遥相关型(日本及西欧 500 hPa 高度场偏高), 亚洲大陆上的冷高压减弱、而北太平洋海域海平面气压升高, 致使东亚冬季风偏弱以及 2 月份入侵我国的冷空气次数减少; 而冬季该海区海冰偏少时, 情况正好相反。

关键词 海冰面积 EU遥相关型 冬季风 东亚

1 引言

长期以来, 人们对热带、副热带地区大气环流变化及其影响因子给予特别的关注, 而对中高纬度地区, 尤其是高纬度地区的研究相对较少。有关海冰变化与气候系统变化关系的研究仍然是初步的, 甚至有些结论是自相矛盾的。例如, 观测研究发现^[1], 热通量变化最强烈的地区位于喀拉海、巴伦支海和东西伯利亚海区, 这些地区新冰量的变化甚至可能导致平均湍流热通量符号的改变。但是, Walsh 的研究结果表明^[2], 那里的海-气相互作用并不重要; Walsh 认为在海冰增冻季节(8~1月), 海冰对大气环流的影响稍大于大气对海冰的影响, 而其他季节主要是大气影响海冰。我国学者研究发现^[3], 白令海 3~5 月海冰明显影响夏季西太平洋副热带高压。因此, 海冰与大气之间、海冰与海洋之间的相互作用关系还远没有揭示清楚, 或许正是由于有诸多不清楚的问题, 致使人们设计出的大气环流模式对高纬度地区的模拟效果不令人满意, 与实际情况存在明显的偏差。作为高纬度地区大气下垫面的海冰, 它的异常变化可以导致盐度突变层的灾变和热盐环流的突然变化^[4], 可以导致半球乃至全球大气环流的异常^[5]。我们通过研究发现, 冬季喀拉海、巴伦支海以及格陵兰海海冰面积变化与 ENSO 事件有很好的对应关系, 并且海冰变化具有超前性^[6]。此外, 在气候系统的年代际变化中, 北极海冰也具有重要的影响^[7]。

东亚冬季风强、弱变化不仅仅影响该区域的天气气候, 由冬季风冷涌造成的赤道附近地区降水的增多就是一个很好的例证。然而, 目前有关北极海冰与东亚冬季风强、弱变化之间关系的研究还非常少。在文献[7]中, 我们从年代际时间尺度气候变化着手,

1998-02-24 收到, 1998-04-29 收到修改稿

^{*} 本研究得到国家“九五”重中之重项目“96-908”的资助

首次探讨了北极海冰与东亚冬季风强、弱之间的变化关系, 本文从年际变化出发探讨冬季北极海冰变化如何影响东亚冬季风的。

2 海冰和大气资料

本文用的海冰资料为美国伊利诺斯大学 Walsh 教授提供给我国学者的格点海冰浓度资料^[6], 也称为海冰密集度。该海冰资料是每个月最后一天的海冰浓度分布而不是月平均值, 在分析时, 将其转换成月平均资料。格点间隔 60 海里近似为 1° , 北极点坐标为 (35, 35), 正的 x 轴和 y 轴分别对应 20°W 和 70°E , 共有格点 80×58 , 时间为 1953~1990 年。北半球大气 500 hPa 月平均高度场利用美国 NMC 资料, 时间为 1946 年 1 月~1979 年 12 月, 该数据资料为北半球极射赤面投影的八边形网格点资料, 我们采用 16 点贝塞尔插值程序将其内插到间隔为 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 的经纬度网格点上。1980~1989 年月平均 500 hPa 高度场资料取自欧洲中期天气预报中心 (ECMWF)。东亚季风强度指数取自文献^[8]以及北半球月平均海平面气压 1946~1989 年。大气环流特征量指数取自国家气象中心, 时间为 1951~1990 年。

3 冬季喀拉海、巴伦支海海冰变化对大气环流的影响

我们主要考虑冬季喀拉海、巴伦支海 (82°N 以南, $20^{\circ} \sim 100^{\circ}\text{E}$) 海冰对大气环流的影响。从图 1 中可以看到, 喀拉海、巴伦支海在地理位置上最靠近北极, 并且冬季海冰密集度的变化明显大于格陵兰海区, 同时, 这两个海区又是观测到的热通量变化最为强烈的地区之一^[1]。从海-气相互作用的角度考虑, 该区域可以称得上是一个关键区, 冬季冷空气常常在这里堆积, 并不断由此南下造成大范围的寒潮天气过程。该路径的寒潮

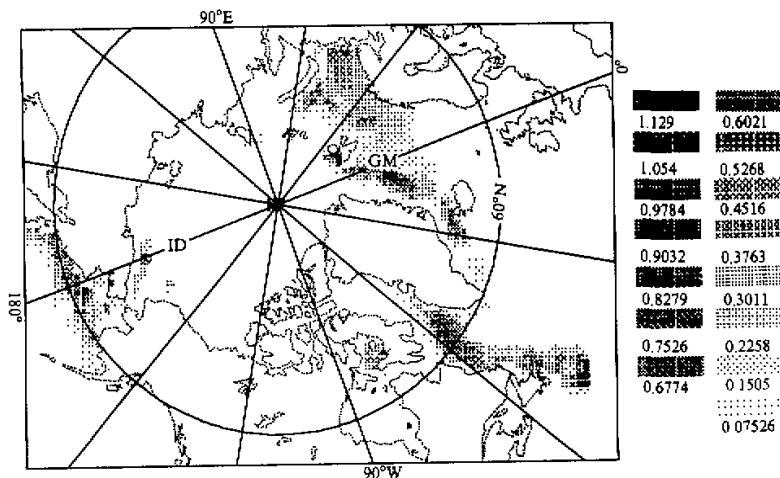


图 1 冬季北极海冰密集度的标准差分布

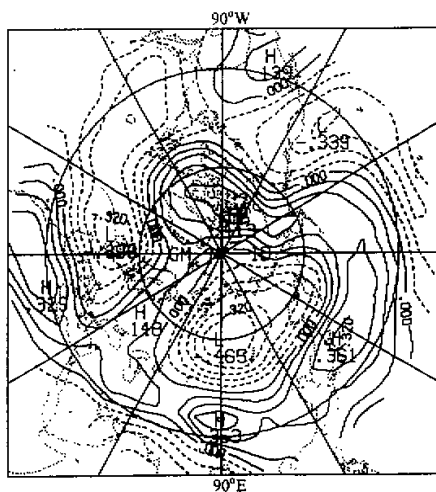


图2 冬季喀拉海、巴伦支海冰面积指数(12~2月3个月平均)与同期500 hPa高度场的相关系数分布
 $|R_{0.05}| = 0.33$, $|R_{0.01}| = 0.43$

8.5%), 图中明显表明是反 EU 遥相关型, 除了正负号相反外, 两张图所示的波列结构基本上是一致的, 并且位于 $(60^{\circ}\text{N}, 90^{\circ}\text{E})$ 附近的负相关中心以及位于日本以东的正相关中心也与经验正交分析的结果比较一致。图4是冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积指数与冬季500 hPa高度场的经验正交分析第4分量的时间系数(EOF4)变化曲线, 两条曲线变化趋势相反, 同时相关达 -0.4684 , 超过 1% 统计显著性水平 ($|R_{0.01}| = 0.43$)。这说明喀拉海、巴伦支海海冰确实与同期 EU 遥相关型有着密切联系, 海冰偏多, 容易出现 EU 遥相关型。既然 EU 遥相关型有相反的分佈形势, 而东亚冬季风也有强弱之分, 那么, 两者有无联系?

4 冬季喀拉海、巴伦支海海冰变化对东亚冬季风的影响

这里东亚冬季风强度指数采用文献[8]的方法, 定义为 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}\text{N}$ 7 个纬度带(间隔

强度明显比其他路径的强。冬季从海洋向大气输送的热通量的变化可以达到 2 个量级以上^[1]。倘若该海区海冰偏少且海冰厚度偏薄, 必然会减缓南下冷空气的强度。

图2是冬季喀拉海、巴伦支海海冰与同期大气 500 hPa 高度场的相关系数分布。冬季该海区海冰偏多, 则其下游的高纬度地区高度场降低, 最大负相关中心位于 $(60^{\circ}\text{N}, 90^{\circ}\text{E})$ 附近。而日期变更线以西的中纬度地区高度场反而升高, 变化最明显的是青藏高原附近和日本以东地区。从相关系数的空间分布结构来看, 很类似于 EU 遥相关型。

为了探讨该海区海冰与 EU 遥相关型之间的联系, 对 1946~1989 年共 43 个冬季(12~2月)月平均 500 hPa 高度场进行经验正交分析, 图3是经验正交分析的第4特征向量场的空间场(占总方差的

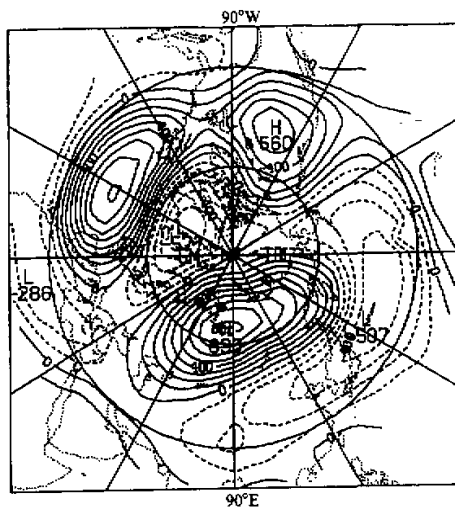


图3 冬季月平均 500 hPa 高度场的 EOF4 空间场

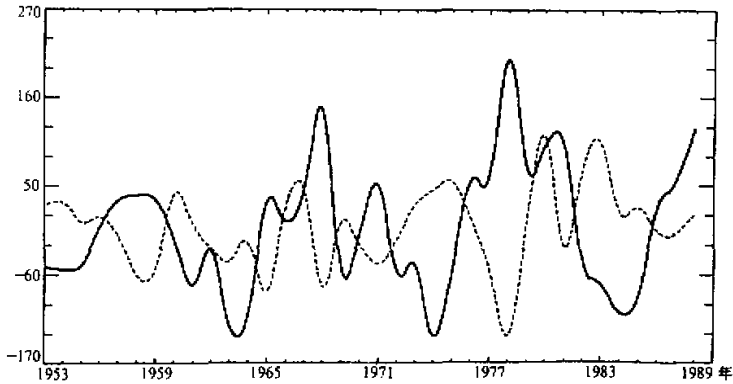


图4 冬季喀拉海、巴伦支海冰面积指数(实线)和500 hPa高度场的EOF4时间系数(虚线)变化曲线,其中EOF4时间系数已扩大10倍

5°) 的纬向标准化海平面气压差(110~160°E)的和,并进行一次标准化处理:

$$I_t = \sum_{i=1}^7 (P_{11i}^* - P_{21i}^*), \quad i = 1, 2, \dots, 7, \quad t = 1, 2, \dots$$

$$I_t^* = \frac{I_t - \bar{I}}{\sigma_I},$$

上式中, $\bar{I}$ 、 σ_I 表示 I 的平均值与均方差, * 表示经标准化处理后的结果, P_{11i}^* 、 P_{21i}^* 分别是 110°E、160°E 的第 i 纬度带第 t 年的标准化观测值。东亚冬季风强度指数的这种定义方法与郭其蕴的定义方法有两点不同: 第一, 将区域定义在 20~50°N; 第二, 计算时分别进行了两次标准化处理, 以避免各纬度带海平面气压的均方差不同带来的不合理现象。

图 5 是东亚冬季风强度指数与冬季 500 hPa 高度场 EOF4 时间系数变化曲线, 可以看到, 两条曲线变化趋势相同, 两者的相关系数为 0.493 ($|R_{0.01}| = 0.43$), 说明东亚冬季风强弱与 EU 遥相关型有着密切的关系。强东亚冬季风对应反 EU 遥相关型; 而弱东亚冬季风对应 EU 遥相关型。实际上这种对应关系也是容易理解的, EU 遥相关型的分布形势决定了日本和欧洲是冷冬还是暖冬^[9], 日本的冷冬对应反 EU 遥相关型, 此时来自西伯利亚的冷空气强并不断向南侵袭, 对应强东亚冬季风; 而当 500 hPa 高度场为 EU 遥相关型时, 日本及其附近 500 hPa 高度场偏高, 冷空气活动偏北, 对应弱东亚冬季风。

从冬季喀拉海、巴伦支海冰面积指数的时间序列中分别选出 5 个重冰的冬季和 5 个轻冰的冬季, 重冰的冬季有 1968/1969, 1978/1979, 1980/1981, 1981/1982, 1988/1989 年; 轻冰的冬季是 1963/1964, 1964/1965, 1974/1975, 1984/1985, 1985/1986 年(见图 4)。分别对轻、重冰冬季的海平面气压场(12~2 月平均)进行合成分析, 图 6 是合成的轻、重冰年冬季海平面气压的累积距平分布。图中显示

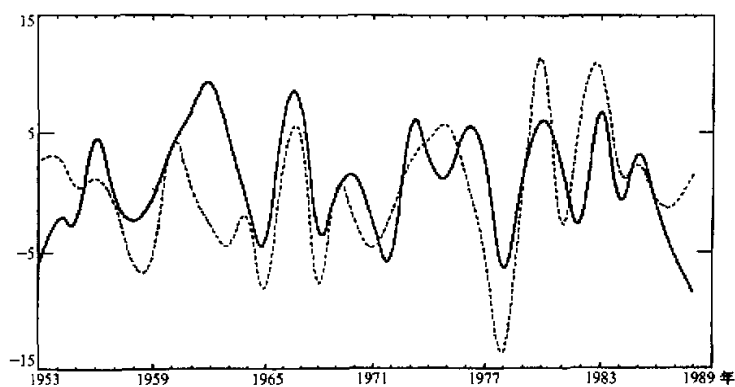


图5 东亚冬季风强度指数(实线)与500 hPa高度场的EOF4时间系数(虚线)变化曲线
其中冬季风强度指数已扩大5倍

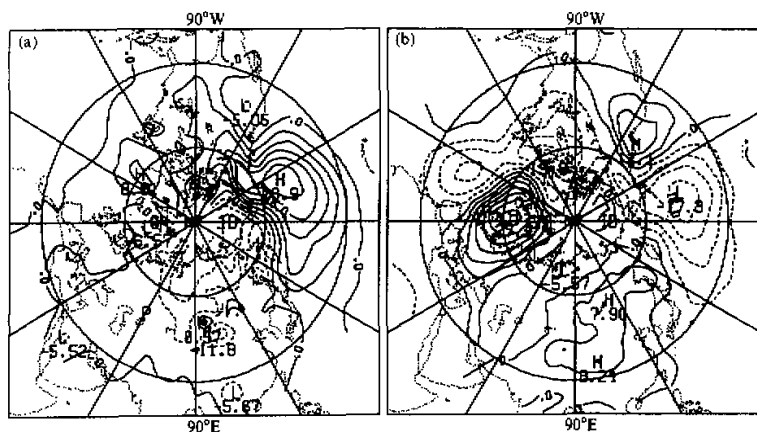


图6 喀拉海、巴伦支海冬季重冰(a)、轻冰(b)的海平面气压累积距平

(图6a) 30°N 以北、 30°E 以东的亚洲大陆上都是负气压距平, 降压最明显的是在贝加尔湖南部, 说明冬季喀拉海、巴伦支海海冰偏多, 则亚洲大陆冷高压减弱, 同时, 北太平洋尤其是阿留申低压所在海域海平面气压明显升高, 这种大的气压距平分布形势表明东亚冬季风偏弱; 而冬季喀拉海、巴伦支海海冰减少时(图6b), 亚洲大陆冷高压加强而北太平洋海域气压降低—阿留申低压加深, 东亚冬季风偏强, 从北大西洋到亚洲大陆海平面气压距平正负相间分布, 明显类似于EU遥相关型。此外, 从图中还可以看到与喀拉海、巴伦支海海冰面积异常变化密切相关的是西伯利亚高压与阿留申低压。有一点值得注意: 尽管冬季喀拉海、巴伦支海出现重冰, 但是那里的海平面气压仍然是负距平; 而冬季该海区出现轻冰时, 降压中心却出现在喀拉海南部。这说明该海区海平面气压变化与冬季轻、重冰之间的关系并非很明显, 或许正是由于这个原因, 致使 Walsh

得出那里的海-气相互作用并不重要的结论。但是, 如果我们换一个角度来讨论这个问题, 结果会完全不同。

为了进一步讨论喀拉海、巴伦支海海冰面积变化与海平面气压变化之间的关系, 本文把某年冬季海冰面积变化幅度定义为当年与上一年冬季海冰面积指数之差, 对冬季海平面气压也作同样的处理。从海冰面积变化幅度时间序列中分别选出前 5 个海冰面积变化幅度为最大和负最大的冬季。前 5 个海冰面积变化幅度为最大的冬季依次为 1978/1979 (海冰面积变化幅度约为 $29.47 \times 10^4 \text{ km}^2$, 下同), 1965/1966 (24.0), 1968/1969 (21.28), 1986/1987 (17.37), 1976/1977 年 (17.04); 前 5 个海冰面积变化幅度为负最大的冬季依次为 1969/1970 (-37.21), 1979/1980 (-28.44), 1982/1983 (-23.67), 1972/1973 (-20.58), 1974/1975 年 (-17.70)。

依据选出的冬季, 对海平面气压的变化幅度分别进行合成分析, 如图 7 所示。从图中可以看到 (图 7a), 当海冰面积增大时, 存在以喀拉海、巴伦支海为中心的海平面气压增值区。这是合理的, 冬季海冰面积最大时, 一方面隔绝了由海洋向大气的热量输送, 同时, 减少了下垫面对太阳辐射的吸收, 这两个方面作用都使其上部的空气因冷却而堆积, 气压必然要升高。从图中看到 (图 7a), 西伯利亚高压减弱, 而北太平洋海域气压反而升高, 因此, 东亚冬季风减弱; 当冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积减少时 (图 7b), 海平面气压变化情况正相反, 致使东亚冬季风增强。由图中不难看到, 海平面气压变化主要集中在喀拉海、巴伦支海海区、北太平洋中部以及格陵兰东南方和西欧部分地区, 与上述三个区域相比, 西伯利亚高压变化明显偏弱。因此, 导致东亚冬季风增强 (减弱) 的原因是与冬季喀拉海、巴伦支海海冰变化密切相关的大气环流变化的结果, 尤其是北太平洋中部的气压变化。平均而言, 冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积每增大 (缩小) $3 \times 10^4 \text{ km}^2$, 则该海区海平面气压增幅 (减弱) 约 1 hPa。当冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积减小时, 北太平洋中部海平面气压变化更明显; 而当冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积增大时, 北大西洋及西欧部分地区降压明显。随着喀拉海、巴伦支海海冰

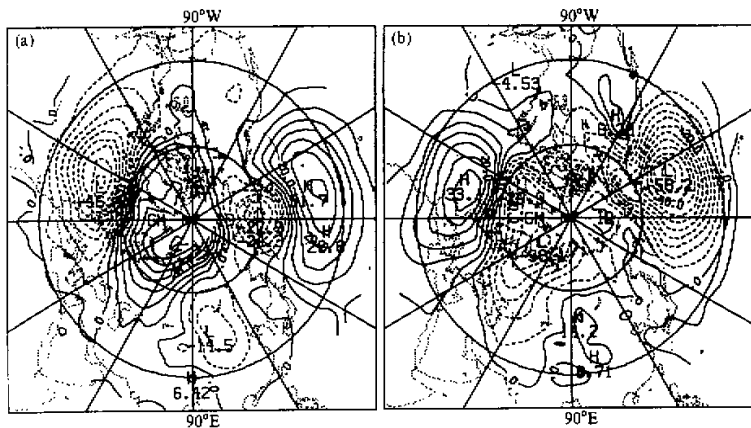


图 7 冬季海平面气压变化的累积值
冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积变化幅度为正的最大的 (a)、为负的最大 (b)

面积变化, 北大西洋(包括西欧部分地区)与北太平洋海平面气压呈现“跷跷板”式的变化关系。因此, 冬季喀拉海、巴伦支海海平面气压变化与海冰面积变化仍然存在很好的对应关系。

冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积变化不仅仅影响同时期的北半球大气环流, 而且对冬末春初的海平面气压变化也有显著的影响, 如图 8 所示。结果分析同图 7, 这里不再赘述。

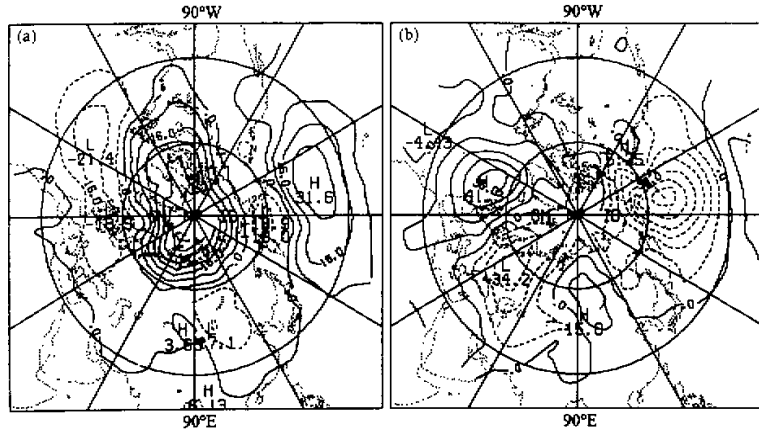


图 8 2~3 月海平面气压变化的累积值
冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积变化幅度为正的最大(a), 为负的最大(b)

此外, 我们还注意到, 选出的 10 个海冰面积变化幅度个例中, 有 6 个对应 ENSO 事件发生, 它们分别是 1965/1966、1969/1970、1972/1973、1976/1977、1982/1983、1986/1987 年。在 1955 至 1988 年间共发生 8 次 ENSO 事件, 因此, 北极海冰变化与 ENSO 事件的关系值得进一步研究。

5 冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积变化对冷空气活动的影响

通过以上分析, 我们看到冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积变化对东亚冬季风有显著的影响, 而东亚冬季风变化必然影响东亚地区的气温。这里采用国家气象中心编辑整理的侵袭我国的冷空气次数来表征海冰对东亚地区气温的影响。图 9 是冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积指数与 2 月份入侵我国的冷空气次数的变化曲线。图中显示, 除 1982/1983~1984/1985 年三个冬季外, 冬季喀拉海、巴伦支海海冰

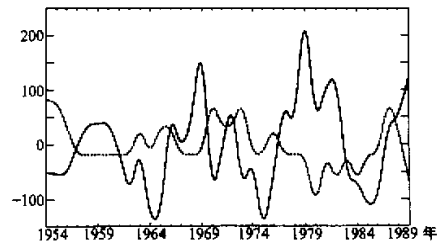


图 9 冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积指数(实线)与 2 月份入侵我国的冷空气次数(虚线)变化曲线, 其中冷空气次数已扩大 50 倍

面积变化与 2 月份入侵我国的冷空气次数呈现相反的变化关系, 若冬季该海区海冰面积偏大, 则 2 月份入侵我国的冷空气次数容易偏少; 反之, 则容易偏多。这与前面的分析结果是一致的。

以上我们通过相关分析, 合成分析研究了冬季喀拉海、巴伦支海海冰变化对东亚冬季风的影响。由于篇幅所限, 有关该海区海冰变化影响东亚冬季风的动力学机制分析以及数值模拟研究将另文给出。

6 结论

通过以上分析我们得出以下结论:

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, 该海区海冰面积变化与大气 500 hPa 高度场的 EU 遥相关型以及东亚冬季风强、弱之间存在密切的关系。冬季该海区海冰偏多, 则 500 hPa 高度场容易出现 EU 遥相关型 (日本及西欧 500 hPa 高度场偏高), 亚洲大陆上的冷高压减弱, 而北太平洋海域海平面气压升高, 致使东亚冬季风偏弱以及 2 月份入侵我国的冷空气次数减少; 而冬季该海区海冰偏少时, 情况正好相反。研究还表明, 冬季喀拉海、巴伦支海海冰面积处于增大 (缩小) 时期, 该海区海平面气压将升高 (降低), 对应亚洲大陆冷高压处于减弱 (增强) 时期, 同时, 北太平洋海平面气压也处于增幅 (降低) 阶段, 导致东亚冬季风呈现减弱 (增强) 趋势。

本文仅从统计分析和合成分析角度探讨了北极关键区海冰对东亚冬季风的影响, 其影响的动力学和热力学过程十分复杂, 有待于进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Aleksandr, P. M., 1984, The heat budget of Arctic ice in the winter, Arctic and Antarctic Research Institute, 46~62.
- 2 Walsh, J. E. and C. M. Johnson, 1979, Interannual atmospheric variability and associated fluctuations in Arctic sea ice extent, *J. Geophys. Res.*, **89**, 6915~6928.
- 3 彭公炳等, 1992, 气候与冰雪覆盖, 北京: 气象出版社.
- 4 Mysak, L. A., Manak, D. K. and Marsden, R. S., 1990, Sea-ice anomalies observed in the Greenland and Labrador Seas during 1901—1984 and their relation to an interdecadal Arctic climate cycle, *Climate Dynamics*, **5**, 111~133.
- 5 杨修群, 谢倩、黄士松, 1994, 北极冰异常对亚洲夏季风影响的数值模拟, *海洋学报*, **16**(5), 34~40.
- 6 Wu Bingyi, Gao Dengyi and Huang Ronghui, 1997, ENSO events and interannual variation of winter sea-ice in the Greenland, the Kara and the Barents Seas, *Chinese Science Bulletin*, **42**(16), 1382~1385.
- 7 高登义、武炳义, 1998, 北半球海-冰-气系统的十年振荡及其振源初探, *大气科学*, **22**(2), 137~144.
- 8 施能等, 1996, 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*, **19**(2), 168~176.
- 9 朝仓正著, 周力译, 王绍武校, 1991, 气候异常与环境破坏, 北京: 气象出版社, 24~30.

The Impact of Variation of Sea-Ice Extent in the Kara Sea and the Barents Seas in Winter on the Winter Monsoon Over East Asia

Wu Bingyi, Huang Ronghui and Gao Dengyi

(*Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029*)

Abstract By analyzing the observation data, it is shown that the region of the Kara Sea and the Barents Sea is a key region to influence climate variation over the Northern Hemisphere. The variation of winter sea-ice extent in the key region is closely associated with that of the EU teleconnection pattern at 500 hPa level and the winter monsoon intensity over East Asia. When the heavy sea-ice prevails in the key region, the EU teleconnection pattern at 500 hPa level is excited easily (there are positive 500 hPa height anomalies over around Japan and West Europe), and winter Siberia High is weakened. Meanwhile, sea-level pressure appears positive anomaly over the Northern Pacific. Therefore, the winter monsoon over East Asia will be weakened and the number of cold-air activities in February over China will be decreased. When light sea-ice occurs in the key region, the results will be opposite.

Key words sea-ice extent EU teleconnection pattern winter monsoon East Asia