

冬春季节北极海冰的年际和年代际变化*

武炳义 高登义 黄荣辉

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

摘要 利用 1953~1990 年海冰密集度资料, 研究了冬、春季节北极海冰的时空变化特征。结果表明: 冬、春季节海冰变率大的海区主要有巴伦支海、格陵兰海、巴芬湾、戴维斯海峡以及白令海; 在巴芬湾、戴维斯海峡和白令海海区, 冬季海冰变率比春季的大; 冬、春季节喀拉海、巴伦支海海冰面积均与春季白令海海冰面积呈反向变化关系, 与巴芬湾、戴维斯海峡海冰面积也存在相反的变化趋势。分析还表明: 北极海冰面积还表现出年代际时间尺度变化, 尤其在冬季, 春季格陵兰海海冰明显存在 12 年变化周期, 而在冬、春季节, 喀拉海、巴伦支海海冰存在 10 年变化周期。

关键词: 北极海冰; 面积指数; 年际变化; 年代际变化

1 引言

气候系统有诸多组成部分。海冰, 作为海洋整体的一部分, 其变化对气候系统的影响正日益受到人们的关注。它以两个正反馈过程来调节气候变化: (1) 海冰的形成减少了海-气之间的热量输送, 抑制了海洋通过局地热量储存、侧向热量输送来调节气候的正常能力; (2) 海冰的形成导致大部分太阳辐射被反射回太空, 并导致大气变冷、海冰增多。此外, 海冰与温盐环流变化也有密切的联系。研究表明, 海冰变化可以导致半球乃至全球大气环流的异常^[1], 可以引起北大西洋以及北极地区的盐度突变层的灾变和热盐环流的变化^[2]。北极海冰变化与 ENSO 事件也存在很好的对应关系^[3], 并且, 它还是导致年代际时间尺度气候变化的重要影响因子之一^[4]。既然海冰在气候变化中的作用如此重要, 其时空变化特征就成了人们关注的问题。

早在 1979 年, Walsh 和 Johnson^[5]根据 1953~1977 年北极海冰密集度资料分析了海冰的季节变化。后来, Parkinson 和 Cavalieri^[6]以及 Parkinson^[7]通过对卫星观测资料的分析, 研究了北极各海区海冰的季节和年际变化。王小兰和彭公炳等^[8]根据 Walsh 提供的 1953~1984 年海冰资料, 对其时、空演变也进行了分析研究。这些研究有一个共同特点: 用月平均 (卫星资料) 或每个月最后一天资料为单位, 研究北极海冰的季节以及年际变化; 不同之处是对北极海冰的分区方法各不相同。例如, Parkinson 的研究以海区来划分, 而王小兰和彭公炳等把北极海冰分成 8 个区域 (每个区域跨越 45 个经度)。由于所用资料不同、分区方法不同, 得出的结论存在很大的差异。

在本研究中, 以季度海冰资料 (3 个月平均) 为单位, 研究其年际和年代际变化。

1998-12-11 收到, 1999-10-22 收到再改稿

* 本研究得到国家“九五”重中之重项目 96-908 以及国家自然科学基金资助项目“北极海冰变化对东亚季风的影响研究” (No.49905003) 的资助

不同季节采用不同的分区方法。事实证明, 该研究方法效果很好: 找出了影响东亚气候变化的关键海区海冰——喀拉海, 巴伦支海海冰, 并通过这个关键区的海冰变化把大西洋和太平洋的气候变化有机地联系在一起^[9]。本文主要讨论春、冬季节北极海冰的时空变化。

2 北极海冰的观测资料和区域划分

本文用的海冰资料为美国伊利诺斯大学 Walsh 教授提供的格点海冰浓度资料, 也称为海冰密集度资料。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, 即把相邻两个月最后一天资料取平均。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。

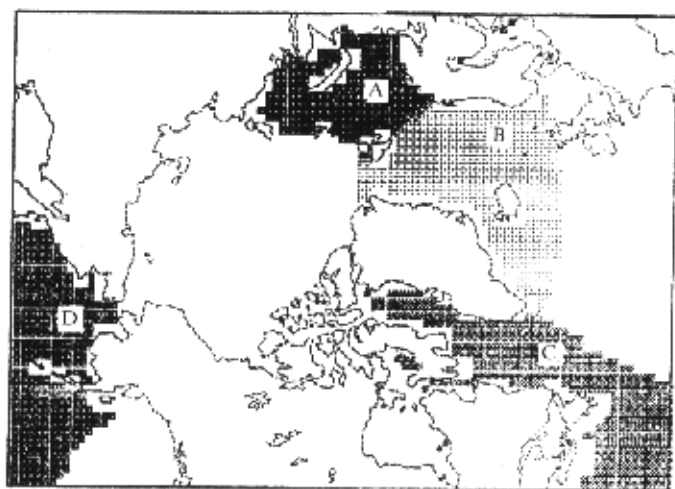


图 1 春、冬季北极海冰自然区域的划分

A: 喀拉海、巴伦支海; B: 格陵兰海;
C: 巴芬湾、戴维斯海峡; D: 白令海

以前研究北极海冰的影响, 主要把北极海冰划分为 4 个区, 即 I 区: $160^\circ\text{E} \sim 180^\circ \sim 110^\circ\text{W}$; II 区: $20^\circ \sim 110^\circ\text{W}$; III 区: $70^\circ \sim 160^\circ\text{E}$; IV 区: $20^\circ\text{W} \sim 0^\circ \sim 70^\circ\text{E}$ 。研究表明, 对中国有较大影响的是 I 区和 IV 区的海冰。我们通过计算发现, 因季节不同而把北极海冰划分为不同的自然区效果更为理想, 具体是: 春季和冬季, 按海区来划分, 共分为四个海区 (图 1): 喀拉

海和巴伦支海海区 (82°N 以南, $20^\circ \sim 100^\circ\text{E}$); 格陵兰海区 (84°N 以南, $45^\circ\text{W} \sim 0^\circ \sim 20^\circ\text{E}$); 巴芬湾、戴维斯海峡 (80°N 以南, $45^\circ \sim 80^\circ\text{W}$); 白令海海区 (65°N 以南, $160^\circ\text{E} \sim 180^\circ \sim 150^\circ\text{W}$)。

3 北极海冰的年际变化

3.1 春季 (3~5 月)

如图 2 所示, 不论是整个北极还是各海区海冰都存在明显的年际变化。巴芬湾、戴维斯海峡海冰与喀拉海、巴伦支海海冰存在相反的变化趋势。这与 Parkinson 和

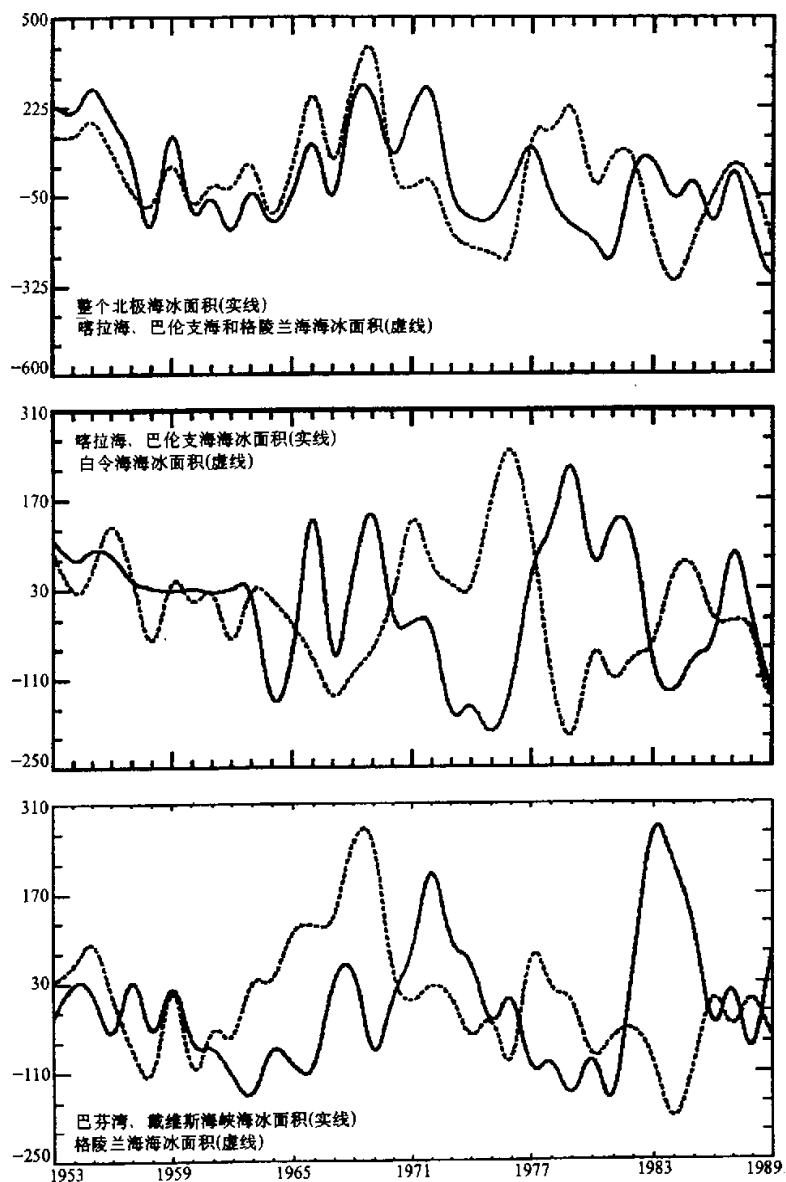


图2 春季整个北极以及各海区海冰面积指数的年际变化

Cavalieri^[6]的研究结果一致。白令海海冰与喀拉海、巴伦支海海冰也存在相反的变化趋势, 两者的相关系数为 -0.3605 ($|R_{0.05}|=0.324$)。从整个北极海冰变化来看, 1976年以前, 格陵兰海和喀拉海、巴伦支海海冰变化与整个北极海冰的变化非常一致, 说明这两个海区的海冰变化就能代表整个北极的海冰变化。但在1977~1986年, 这种关系不

再适用(这段时间正好对应北太平洋地区发生了一次显著的年代际变化),很明显,这是由于巴芬湾、戴维斯海峡以及白令海海冰变化幅度增大所致。尤其是白令海海冰,在1976~1979年发生了突变性的变化,海冰面积由最大值突变至最小值;巴芬湾、戴维斯海峡海冰在1981~1983年也发生了类似的但方向相反的变化。

为了便于比较,我们把整个北极以及各海区海冰面积的平均值和标准差列在表1中,并且从海冰面积时间序列中各选出6个轻冰年和6个重冰年也列于表1中。

表1 春季北极及各海区海冰面积的平均值、标准差和轻、重冰年的海冰面积距平 $\times 10^4 \text{ km}^2$

	整个北极	喀拉海、巴伦支海	格陵兰海	巴芬湾、戴维斯海峡	白令海
平均值	1399	201	108	176	52
标准差	22.8	15.3	12.6	14.5	12.8
轻冰年 (面积距平)	1989(-42.2)	1990(-31.5)	1984(-25.9)	1981(-23.7)	1979(-29.2)
	1981(-35.5)	1975(-26.2)	1960(-17.3)	1979(-20.5)	1989(-23.7)
	1990(-31.4)	1973(-23.3)	1958(-17.2)	1963(-19.9)	1967(-18.8)
	1958(-29.5)	1964(-21.6)	1976(-16.4)	1977(-15.3)	1981(-15.6)
	1962(-24.4)	1989(-17.7)	1990(-13.2)	1966(-15.1)	1978(-15.5)
	1986(-22.9)	1984(-17.6)	1985(-12.7)	1988(-14.3)	1968(-11.9)
重冰年 (面积距平)	1972(+39.8)	1979(+32.5)	1969(+34.1)	1983(+37.8)	1976(+34.1)
	1955(+38.8)	1966(+27.3)	1968(+32.8)	1972(+29.8)	1975(+22.1)
	1968(+38.3)	1969(+22.9)	1966(+14.9)	1984(+26.9)	1971(+21.2)
	1969(+33.8)	1981(+18.1)	1965(+14.8)	1990(+26.0)	1956(+18.8)
	1959(+30.3)	1982(+16.1)	1967(+14.1)	1985(+15.7)	1977(+15.3)
	1953(+29.4)	1987(+15.6)	1977(+13.6)	1989(+10.8)	1953(+11.2)

从表1中看到,春季整个北极海区海冰面积大约是1400万 km^2 。海冰面积变化幅度以1972年和1989年为例,1972年海冰偏多近40万 km^2 ,而1989年却偏少近40万 km^2 ,所以,整个北极海区海冰年际变化幅度不超过总面积的3.5%,并不是很大。喀拉海、巴伦支海海冰面积平均值约为200万 km^2 ,年际变化幅度不超过其面积的16%;格陵兰海海冰变化幅度在21%以内;白令海海冰年际变化相对偏大,超过60%。就各海区实际海冰面积变化的极值来看,差异并不是很大。尤其是在白令海和喀拉海、巴伦支海海区,白令海1976年海冰最多,面积距平为34万 km^2 ;1979年最小,海冰面积比平均值少29万 km^2 。而在喀拉海、巴伦支海海区,1979年海冰最多,1990年最少,面积距平的绝对值都是32万 km^2 。从海冰面积的年际变率来看,喀拉海、巴伦支海最大,达15.3万 km^2 ,而白令海为12.8万 km^2 。但是喀拉海、巴伦支海要比白令海偏北10个纬距以上,在这四个海区中最靠近北极。如果考虑海冰对大气环流的影响,很可能喀拉海、巴伦支海更为重要。

3.2 冬季(12~2月)

在图3中仍然可以看到,70年代以后巴芬湾、戴维斯海峡海冰与喀拉海、巴伦支海海冰存在相反的变化趋势。冬季北极海冰的变化主要取决于格陵兰、喀拉海和巴伦支海海冰状况。表2列出了冬季整个北极海冰以及各海区海冰面积的平均值、标准差、轻冰年和重冰年的海冰面积距平。由表2中可见,整个北极以及各海区海冰面积均小于春季的数值:冬季整个北极海冰面积比春季约小37万 km^2 ;喀拉海、巴伦支海约小10万 km^2 ;巴芬湾、戴维斯海峡约小13万 km^2 。各海区海冰面积的标准差大小说明,格

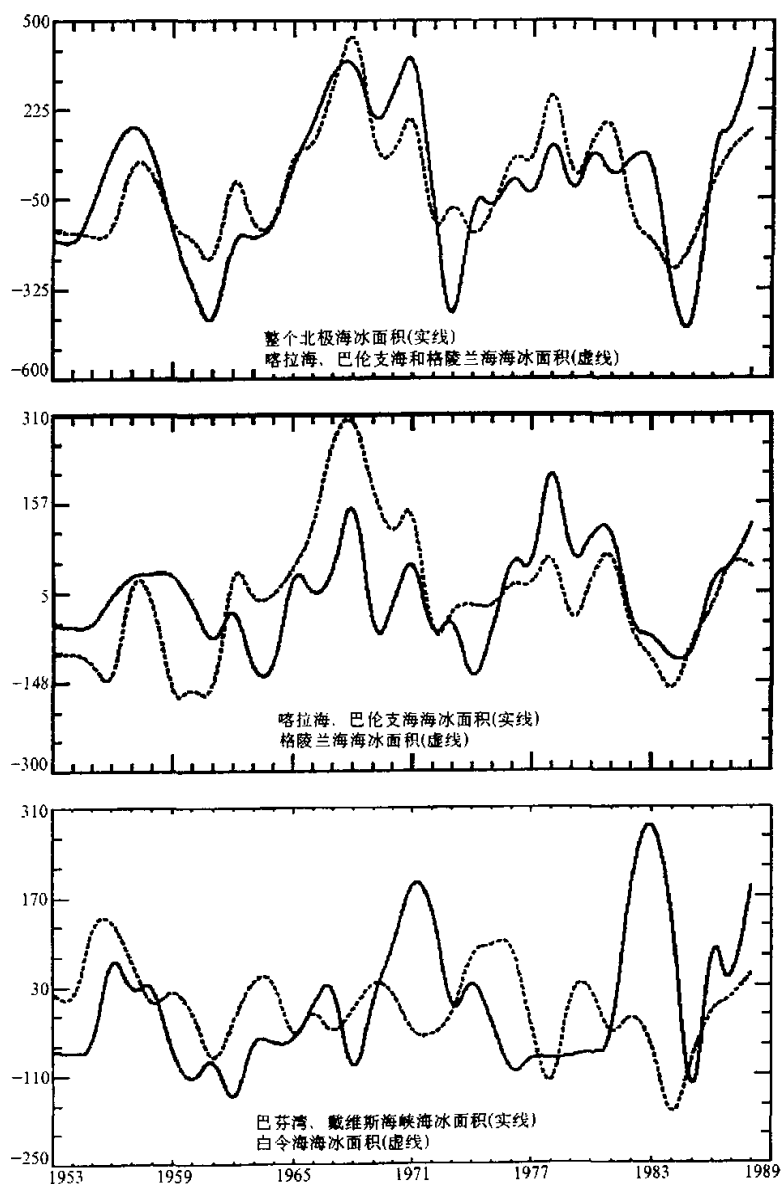


图3 冬季整个北极以及各海区海冰面积指数的年际变化

陵兰海和巴芬湾、戴维斯海峡海冰面积年际变率增大, 均为 14.7 万 km^2 ; 白令海海冰年际变率最小, 仅为 8.8 万 km^2 。由此可见, 冬季和春季白令海海冰年际变率均小于喀拉海、巴伦支海海冰年际变率。

由表1和表2, 我们还发现, 冬季喀拉海、巴伦支海重冰年与后期春季白令海轻冰

年有比较好的对应关系。在春季白令海 6 个轻冰年中, 有 3 年对应前期冬季喀拉海、巴伦支海出现重冰, 它们是 1979、1989 和 1981 年。这并不是偶然巧合, 这两个海区海冰面积变化确实存在很好的关系。图 4 是冬季喀拉海、巴伦支海与春季白令海海冰面积指数变化曲线 (对于冬季海冰, 1954 表示 1953/1954 年冬季)。图 4 表明, 冬季喀拉海、巴伦支海海冰偏多, 则后期春季白令海海冰面积偏小; 反之亦然, 两者的相关系数达 -0.5152, 超过 1% 统计显著性水平。这种关系对于了解北极海冰对西太平洋副热带高压的影响是至关重要的。方之芳^[10]、彭公炳等^[8]先后论述了春季白令海海冰对夏季西太平洋副热带高压的影响。我们则从冬季喀拉海、巴伦支海海冰变化着手, 研究了该海区海冰通过对高、低纬度大气环流以及低纬度地区海温的影响而间接影响夏季西太平洋副热带高压。有关这方面的内容作者将另文论述。

表 2 冬季北极及各海区海冰面积的平均值、标准差和轻、重冰年的海冰面积距平 $\times 10^4 \text{ km}^2$

	整个北极	喀拉海、巴伦支海	格陵兰海	巴芬湾、戴维斯海峡	白令海
平均值	1362	191	105	163	46
标准差	30.1	13.6	14.7	14.7	8.9
轻冰年 (面积距平)	1973/1974 (-64.0)	1974/1975 (-20.5)	1959/1960 (-22.9)	1985/1986 (-26.7)	1984/1985 (-24.8)
	1985/1986 (-61.2)	1963/1964 (-17.2)	1961/1962 (-22.6)	1962/1963 (-21.0)	1978/1979 (-19.4)
	1961/1962 (-58.4)	1964/1965 (-16.5)	1984/1985 (-22.2)	1968/1969 (-16.9)	1961/1962 (-12.6)
	1984/1985 (-46.3)	1984/1985 (-14.2)	1956/1957 (-20.5)	1960/1961 (-15.5)	1985/1986 (-9.8)
	1960/1961 (-38.7)	1985/1986 (-12.7)	1960/1961 (-18.9)	1976/1977 (-14.6)	1965/1966 (-7.8)
	1954/1955 (-25.6)	1969/1970 (-12.1)	1955/1956 (-13.8)	1978/1979 (-10.3)	1981/1982 (-7.1)
	1971/1972 (+55.3)	1978/1979 (+32.8)	1968/1969 (+39.5)	1983/1984 (+38.7)	1956/1957 (+17.3)
	1988/1989 (+51.0)	1968/1969 (+25.1)	1967/1968 (+33.8)	1971/1972 (+25.4)	1955/1956 (+16.7)
重冰年 (面积距平)	1968/1969 (+47.8)	1981/1982 (+15.7)	1971/1972 (+21.8)	1982/1983 (+25.3)	1976/1977 (+13.1)
	1967/1968 (+44.1)	1988/1989 (+14.9)	1969/1970 (+20.8)	1988/1989 (+22.7)	1975/1976 (+11.6)
	1970/1971 (+34.5)	1980/1981 (+13.1)	1966/1967 (+13.5)	1972/1973 (+20.7)	1974/1975 (+11.0)
	1957/1958 (+23.8)	1971/1972 (+10.2)	1970/1971 (+11.3)	1984/1985 (+19.9)	1957/1958 (+8.5)

4 冬、春季节北极海冰年际变化的空间特征

春季 (图 5a), 海冰密集度变率大的海区主要有喀拉海、巴伦支海、格陵兰海、巴芬湾、戴维斯海峡以及白令海和东西伯利亚海。不论是范围还是大小, 前 3 个海区的海

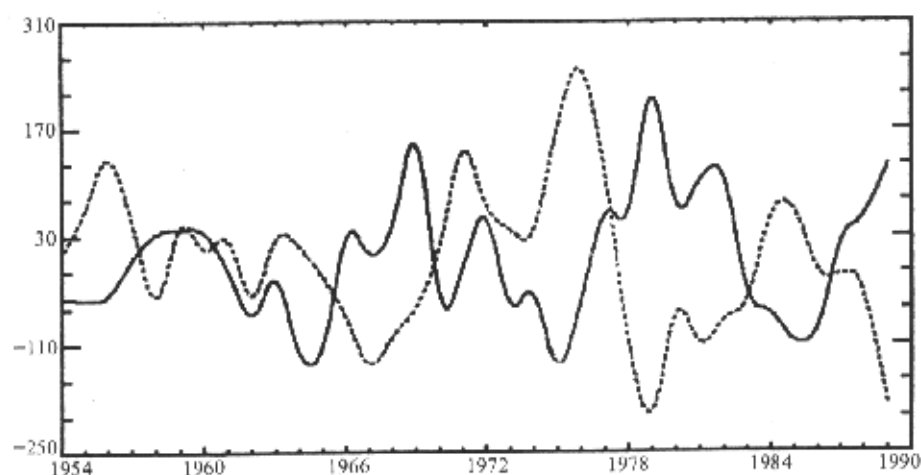


图4 冬季喀拉海、巴伦支海与后期春季白令海海冰面积指数的年际变化

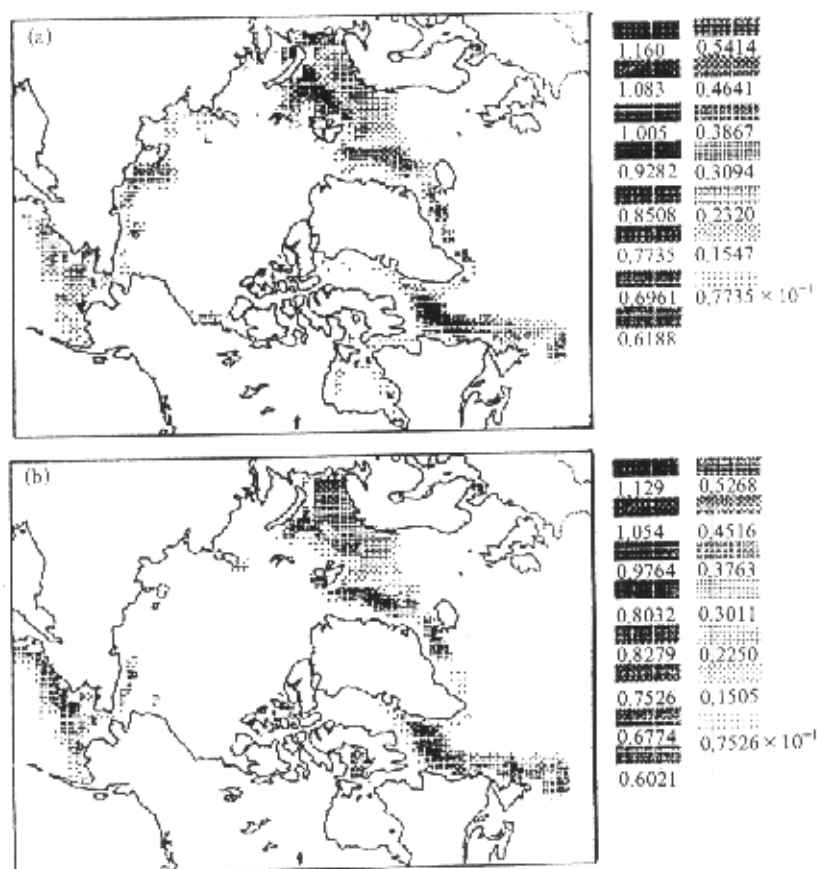


图5 北极海冰密集度的标准差分布

(a) 春季; (b) 冬季

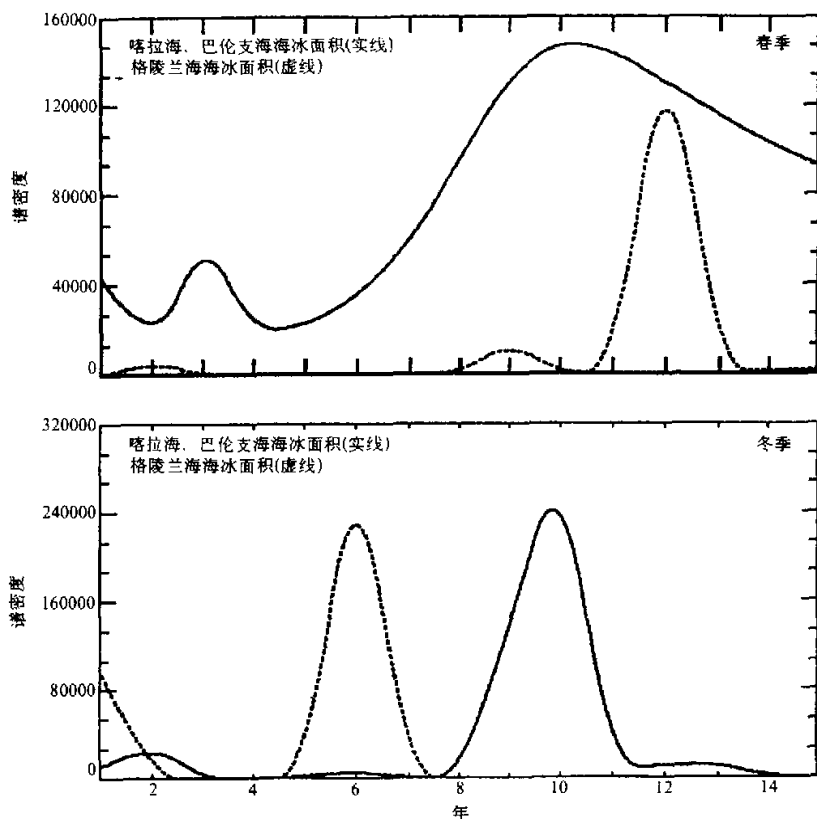


图6 北极海冰的最大谱分析

冰密集度变率都比白令海的大,这说明春季白令海海冰对大气环流的影响可能要弱于前3个海区。冬季(图5b),巴伦支海、格陵兰海、巴芬湾、戴维斯海峡以及白令海海冰密集度变率都比较大。在巴芬湾、戴维斯海峡以及白令海海区,冬季海冰密集度变率明显比春季的要大。

5 北极海冰的年代际变化和周期性变化趋势

春季,在喀拉海、巴伦支海海区,60年代以后表现出年代际变化,海冰面积的极大值分别出现在1969、1979和1987年(图2)。冬季,北极海冰的年代际变化更为清晰(图3)。就整个北极海冰而言,海冰面积的极小值分别出现在1961/1962、1973/1974和1985/1986冬季;此外,冬季喀拉海、巴伦支海海冰变化也表现出显著的年代际变化,海冰面积的极小值分别出现在1963/1964、1974/1975和1985/1986冬季。

为了揭示北冰海冰的周期性变化趋势, 这里采用最大熵谱分析方法。谱分析是气象学中常用的资料处理方法, 一般功率谱用谱图或周期图估计, 但两者都对资料作了不切实际的假定: 前者需要对资料作零延拓, 即默认相关函数快速趋于零; 后者假定资料是以样本长度为其周期之一的周期函数^[4]。这样, 当处理样本长度与周期长度相当的短记录时, 两种估计的分辨率是很低的, 且容易发生功率谱值的偏移。而最大熵谱分析具有分辨率高、功率谱偏移小的优点。此外, 它可以从较短的样本资料中分辨出较长的周期来, 这是其他谱方法不可比拟的。利用这一特点可以研究气候系统的年代际变化。

最大熵谱计算结果显示(图6): 春季, 格陵兰海海冰明显存在12年变化周期, 其次, 还有9年和2年变化周期, 不过明显偏弱; 而喀拉海、巴伦支海海冰除了10年变化周期外, 还有3年变化周期。冬季, 格陵兰海海冰有6年变化周期; 喀拉海、巴伦支海海冰仍以10年变化周期为主, 此外, 还存在2年和6年变化趋势, 不过明显比10年周期要弱得多。

6 结论

通过以上分析我们得出以下结论:

(1) 整个北极以及各海(分)区海冰面积都存在明显的年际变化。冬、春季节喀拉海、巴伦支海海冰面积均与春季白令海海冰面积呈反向变化关系, 与巴芬湾、戴维斯海峡海冰面积也存在相反的变化趋势。

(2) 北冰海冰面积还表现出年代际时间尺度变化: 春季格陵兰海海冰明显存在12年变化周期, 而冬、春季节喀拉海、巴伦支海海冰存在10年变化周期。

(3) 冬、春季节, 海冰变率大的海区主要有喀拉海、巴伦支海、格陵兰海、巴芬湾、戴维斯海峡以及白令海。在巴芬湾、戴维斯海峡以及白令海海区, 冬季海冰变率比春季的大。

致 谢 中国气象科学研究院贾鹏群副研究员为本文提供了海冰资料, 在此表示衷心感谢

参 考 文 献

- 1 杨修群、谢倩、黄士松, 北极冰异常对亚洲夏季风影响的数值模拟, 海洋学报, 1994, 16(5), 34~40.
- 2 Mysak L. A., D. K. Manak, R. S. Marsden, Sea-ice anomalies observed in the Greenland and Labrador Seas during 1901-1984 and their relation to an interdecadal Arctic climate cycle, *Climate Dynamics*, 1990, 5, 111~133.
- 3 Wu Bingyi, Gao Dengyi and Huang Ronghui, ENSO events and interannual variation of winter sea-ice in the Greenland, the Kara and the Barents Seas, *Chinese Science Bulletin*, 1997, 42(16), 1382~1385.
- 4 高登义、武炳义, 北半球海-冰-气系统的十年振荡及其振源初探, 大气科学, 1997, 22(2), 137~144.
- 5 Walsh, J. E. and C. M. Johnson, An analysis of arctic sea ice fluctuations, 1953-1977, *J. Phys. Oceanogr.*, 1979, 9(3), 580~591.
- 6 Parkinson, C. J. and D. J. Cavalieri, Arctic sea ice 1973-1987: seasonal, regional and interannual variability, *J. Geophys. Res.*, 1989, 94(C10), 14499~14523.
- 7 Parkinson, C. J., Interannual variability of the spatial distribution of sea ice in the North Polar region, *J. Geophys. Res.*, 1991, 96(C3), 4791~4801.

- 8 彭公炳等, 气候与冰雪覆盖, 北京: 气象出版社, 1992, 19~27.
- 9 武炳义, 北极海冰变化及其对东亚与北半球气候的影响, 中国科学院大气物理研究所博士论文, 1997, 43~54.
- 10 方之芳等, 极地海冰对北太平洋副热带高压影的可能途径, 海洋学报, 1986, 38(5), 558~565.

Interannual and Interdecadal Variations in Arctic Sea-Ice in Spring and Winter

Wu Bingyi, Gao Dengyi and Huang Ronghui

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract By using sea-ice concentration data, the temporal and spatial variations in Arctic sea-ice in spring and winter have been studied. The results indicate that in spring and winter, sea-ice variability are predominant in the following sea regions: the Kara and the Barents Seas, the Greenland Sea, the Baffin Bay and Davis Strait, the Bering Sea; and sea-ice variability in winter is greater than that in spring in the Baffin Bay, Davis Strait and the Bering Sea; spring and winter sea-ice area variations in the Kara and the Barents Seas are anti-phase with spring sea-ice variations in the Bering Sea. The results also suggest that Arctic sea-ice area variations exhibit decadal time-scale variation, especially in winter.

Key words: Arctic sea-ice; area index; interannual variation; interdecadal variation