

全球气候变暖中南北半球海冰变化的差异

吕晓娜¹ 方之芳² 黄勇勇³ 刘 琦⁴

(1. 河南省气象台, 郑州 450003; 2. 成都信息工程学院;
3. 国家海洋环境预报中心; 4. 山西省气象科技服务中心)

提 要: 应用海冰面积资料, 分析在全球气候变暖下, 南北半球海冰季节和年际变化的差异, 结果表明: 冬季南半球海冰面积为北半球的 1.13 倍, 而夏季仅为北半球的 2/5, 南半球海冰的季节变化比北半球更为显著, 其季节振幅为北半球的 1.6 倍。1979—2006 年, 北半球海冰总面积呈显著减少趋势, 夏秋季最快, 特别在 1990 年代中后期以来, 减少尤为迅速; 夏秋季, 整个区域海冰为均一的减少趋势, 北冰洋靠近北太平洋的近海变化最为迅速, 冬春季, 主要发生在北太平洋海域。南半球海冰自 1980 年代初以来有所增多, 四季整个区域海冰并未呈均一的减少趋势, 而是有一显著减少中心, 位于南极半岛附近, 两个增多中心, 分别位于罗斯海外围和西南印度洋一带。随夏—秋—冬—春的季节转换, 3 个中心区域位置存在东移和返回的过程。

关键词: 全球变暖 南极海冰 北极海冰 季节变化 趋势变化 差异

Different Changes Between Arctic and Antarctic Sea Ice under Global Warming

Lv Xiaona¹ Fang Zhifang² Huang Yongyong³ Liu Qi⁴

(1. Henan Meteorological Observatory, Zhengzhou 450003; 2. Chengdu University of Information Technology;
3. National Marine Environmental Forecasting Center; 4. Shanxi Meteorological Science and Technology Center)

Abstract: Based on monthly sea ice extent data from 1979 to 2006, the seasonal change and tendency of Antarctic and Arctic sea ice were statistically analyzed. The results show as follows: the seasonal change of Antarctic sea ice is more remarkable than that of the Arctic. In recent 30 years, Arctic sea ice decreases rapidly, especially in summer and autumn, and more quickly since the mid 1990s. The decline mainly appears over the Arctic Ocean near the Pacific in summer and autumn, over north of the Pacific in winter and spring. Antarctic sea ice shows uptrend since the early 1980s, especially in summer and autumn. There is a decreasing centre near Antarctic Peninsula. In addition, there are two increasing centers over Ross

Sea and southwest of Indian Ocean. The centers move eastwards and go back around Antarctica with the seasonal transition from summer to spring.

Key Words: global warming Antarctic sea ice Arctic sea ice seasonal transition tendency difference

引 言

气候变暖是全球气候变化的一个重要方面。各种平均温度观测记录都表明,从 19 世纪末期到 1990 年代,全球表面温度已上升 $0.4\sim 0.8^{\circ}\text{C}$ ^[1-2]。自 1861 年有器测气象记录至 2006 年,1998 年为最暖年,比 1961—1990 年的 30 年平均气温偏高 0.54°C ^[3-4],2006 年是第六个暖年,比 30 年平均气温高 0.42°C ,其中,北半球的年平均气温较 1961—1990 的 30 年平均气温偏高 0.58°C ,而此时南半球较其偏高 0.26°C ^[5]。

南北半球海冰作为气候变化的敏感指示器,也有着明显的季节和年际变化。海冰季节变化方面,郝春江等^[6]和汪代维等^[7]做了北半球的相关研究,解思梅等^[8]和卞林根等^[9]对南半球海冰的季节变化进行了分析。

海冰年际变化方面,诸多研究表明^[10-14],北半球海冰是减少的,1980 年代中后期以来减少更为迅速,1990 年代后减少已超过自然变化,速度更快。冬春季,主要发生在北大西洋和北太平洋区域,中心位于格陵兰海和巴伦支海一带;夏秋季,北冰洋靠近欧亚大陆及北太平洋一侧海冰减少更为迅速。

南半球海冰变化^[8-9,15-16]与北半球不同,自 1980 年代以来整体有所增多。卞林根等^[9]采用 1973—2002 年的海冰密集度资料,通过研究海冰格点数的变化来反映其面积的变化,对年平均、夏季(2 月)和冬季(9 月)总格点数分析表明,三者均呈增多趋势,冬季速度更快,倾向率达 38 个网格/10a;年平均海冰密集度的趋势变化表明,别林斯高晋海附

近海冰有所减少,威德尔海和罗斯海的外围海冰呈增多趋势。此外,由于南半球海冰的特殊分布,通过海冰北界和净冰面积等均可反映该区海冰的年际变化特征^[8,16],得出结果接近。

可见,全球气候变暖,南北半球因极区地理环境不同,海冰的季节和年际变化有着明显的差异。以前的工作大多偏重于一个半球海冰变化特征的分析;资料年代最近至 2002 年。本文融入了全球气温明显上升的近几年海冰资料,即 1979—2006 年的海冰面积资料;着重对南北半球海冰的季节和年际变化进行对比分析,以此,更具体地认识两个半球海冰对全球气候变暖的不同响应。

1 资料和方法

应用英国 Hadley 气候研究中心提供的全球逐月海冰密集度格点资料。诸多研究发现^[16-18],该资料 1979 年以后对海冰的观测更为准确,因此本文资料年代为 1979—2006 年,范围是 $89.5^{\circ}\text{N}\sim 89.5^{\circ}\text{S}$, $179.5^{\circ}\text{W}\sim 179.5^{\circ}\text{E}$,分辨率为 $1^{\circ}\times 1^{\circ}$,数值为每个网格点内海冰覆盖面积占网格总面积的比率,即取值范围为 $0.0\sim 1.0$,其中,0.0 为无冰,1.0 为该网格内全为冰。根据海冰的分布特点,北极海冰最多时可向南延伸至 45°N 左右^[19],南极海冰最多时向北延伸至 55°S 左右^[20],因此本文选取 40°N 以北区域和 49°S 以南区域为本文讨论范围。

由于该海冰资料为海冰密集度网格点资料,在靠近极地区域,单位网格点面积小,而纬度越低,则单位网格点面积越大。北半球

海冰靠近极地,而南半球海冰离极地较远,因此,同样的海冰密集度,南北半球海冰由于所处的纬度不同而实际海冰面积会有所差异。故将 Hadley 海冰密集度资料转化为海冰面积资料。具体方法为:将 $1^\circ \times 1^\circ$ 网格视作矩形,纬度 1° 的间距视为常数,约 111.0km,经度 1° 的间距计算公式为 $(2\pi R \cos \alpha) \cdot 360^{-1}$,其中 R 为地球半径,取值 6371.0km, α 为纬度。则每个格点海冰实际面积为,该网格面积乘以海冰密集度 α ,即

$$111.0 \times (2\pi R \cos \alpha) \cdot 360^{-1} \times \alpha,$$

据此计算的海冰面积基本可反映海冰的真实面积。以下计算均采用转化后的海冰面积资料。

采用一元线性回归、回归系数检验、趋势方差贡献等统计方法对北半球和南半球海冰趋势变化进行分析。

2 南北半球海冰季节变化对比

求算南北半球各月海冰总面积的多年平均值,得到两个半球海冰总面积的季节变化图,如图1所示。

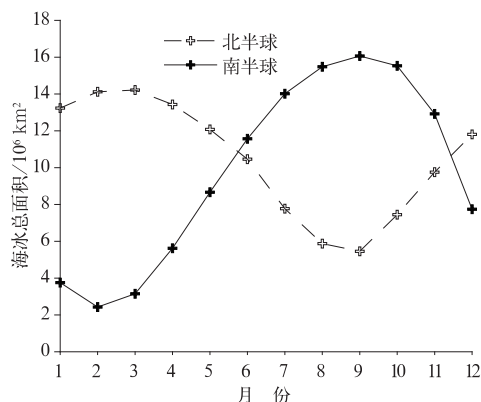


图1 两个半球海冰总面积28年平均的季节变化

由图可见,北半球3月海冰面积最大,达 $14.2 \times 10^6 \text{ km}^2$; 2、4月次之,分别为 $14.1 \times 10^6 \text{ km}^2$ 和 $13.4 \times 10^6 \text{ km}^2$; 9月海冰面积最小,仅 $5.5 \times 10^6 \text{ km}^2$, 8月次之,为 $5.9 \times$

10^6 km^2 ; 该区海冰年较差为 $8.7 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。南半球海冰面积2月最小,仅 $2.4 \times 10^6 \text{ km}^2$; 9月份最大,达 $16.1 \times 10^6 \text{ km}^2$, 二者差值为 $13.7 \times 10^6 \text{ km}^2$, 季节振幅为北半球的1.6倍。海冰最多时,南半球海冰面积为北半球的1.13倍;海冰最少时,为北半球的2/5;季节变化比北半球更为显著,因此,可能南半球海冰对气候的影响更大。

从海冰季节增融上看,北半球3—9月为海冰的消融期,持续大约6个月;而9月至次年3月为海冰增长期,持续大约亦6个月,平均每月增长或消融 $1.5 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。其中,1—4月和8—9月为海冰稳定期;5—8月海冰迅速减少,其中6—7月海冰减少最快,为 $2.7 \times 10^6 \text{ km}^2$; 9—12月,海冰增长迅速,平均每月增长 $2.1 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。北半球海冰季节变化与汪代维^[7]等的结果一致。南半球2—9月为海冰增长期,持续达7个月,平均每月增长 $2.0 \times 10^6 \text{ km}^2$, 与北半球相当; 9月至次年2月为海冰消融期,持续约5个月,平均每月减少 $2.7 \times 10^6 \text{ km}^2$, 几乎为北半球的两倍。8—10月和1—3月为海冰稳定期; 4—7月,海冰迅速增长,其中4—5月增长最快,约为 $3.1 \times 10^6 \text{ km}^2$; 11—12月海冰减少最快,约为 $5.2 \times 10^6 \text{ km}^2$; 可见,南半球海冰增长时间比北半球长一个月,而消融时间比北半球短一个月; 平均增长速度与北半球相当,而消融速度几乎为北半球的两倍,南半球海冰的快速消融,对大气和海洋的热量吸收作用大大超过北半球。

由以上分析来看,冬季南半球海冰面积为北半球的1.13倍,夏季仅为北半球的2/5; 季节变化比北半球更为显著,季节振幅为北半球的1.6倍。南、北半球海冰增长消融时间的差异可能与两个半球极区的特殊地理分布有关,北半球极区为海洋,周围为陆地包

围,大部分海冰被限制在北冰洋这个有限固定的区域内,因此季节变化较小,而南极极区为陆地,周围为宽阔的海洋,南极海冰的季节变化比北极要大。

根据海冰季节变化特点,定义北半球海冰 1—3 月为冬季,4—6 月为春季以此类推;南半球海冰 7—9 月为冬季,10—12 月为春季,以此类推。

3 南北半球海冰趋势变化对比

近 30 年来,随着全球气候变暖,海冰面积也发生着变化,首先讨论南北半球海冰总面积的趋势变率。应用上述海冰资料,计算南北半球各月海冰总面积的变率,列于表 1。

表 1 南-北半球各月海冰的变率

	北半球		南半球			北半球		南半球	
	变率	s	变率	s		变率	s	变率	s
1 月	-19.4 * *	30	17.6	12	7 月	-30.0 * *	35	2.2	0
2 月	-21.3 * *	23	16.0 *	18	8 月	-32.8 * *	49	-2.0	0
3 月	-16.2 *	18	15.0	10	9 月	-40.1 * *	48	3.7	1
4 月	-16.2	13	25.7	14	10 月	-47.0 * *	42	-5.3	1
5 月	-14.1	14	19.8	8	11 月	-21.7 * *	26	13.5	7
6 月	-22.9 * *	34	13.2	5	12 月	-24.2 * *	41	19.0	8

变率单位: $10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$; 通过 0.05 和 0.01 显著水平检验分别用 * 和 * * 标注; s: 趋势项的方差贡献百分率, 单位: %

从表中可见,北半球各月海冰均在迅速减小,大部分月份减少速率通过 0.01 显著性水平;尤其 7—10 月,即夏、秋两季,海冰每年减少在 $3.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ 以上,10 月可达 $4.7 \times 10^4 \text{ km}^2$,即在 1979—2006 年 28 年,10 月海冰减少约 $1.3 \times 10^6 \text{ km}^2$,达该月北半球海冰总面积的 17.7%。表 1 亦表明,8—10 月和 12 月北半球海冰趋势项的方差贡献均大于 40%,即在北半球夏、秋两季,在海冰的年际变化中,减少为最主要的趋势。

南半球海冰在大部分月份呈略微增多趋势,夏秋两季较迅速,2 月通过 0.05 显著性水平,平均每年增多 $1.6 \times 10^4 \text{ km}^2$;28 年增多约 $0.5 \times 10^6 \text{ km}^2$,为 2 月总海冰面积的 18.5%。仅在冬春季的 8 月和 10 月出现减少,但未通过显著性检验,减少值远远小于北半球。

综上可知,全球海冰面积的减少主要发生在北半球,以夏、秋两季最为显著;而南半球海冰在夏、秋两季略微的增多。

考虑上述南北半球各月海冰面积总和和年

际变率的差异,为了探讨二者海冰年际变化的季节特点,分析南北半球四季海冰总和的年际变化(图 2、图 3)。

由图 2 可见,北半球冬、春、夏、秋四季海冰的变率分别为: -19.0、-17.8、-34.3、-31.0,单位为 $10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,即各季海冰均呈减少趋势,以夏季和秋季最为明显,与表 1 各月海冰减少数值基本一致。在 1980 年代各季海冰均处于较多的水平,自 1990 年代中后期起,海冰均呈十分显著的减少,2006 年几乎均为 28 年来海冰最少的一年。秋季海冰减少年份出现最早,在 1992 年;夏季和春季分别在 1996 年和 1999 年,其前海冰几乎均呈线性下降;相对而言,冬季海冰明显减少出现最迟,是在 2003 年,但减少迅猛,至 2006 年这三年间已减少了 $0.9 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。

与北半球相比,南半球海冰的年际变化则完全不同,如图 3 所示。冬春两季海冰均无明显的趋势变化,夏、秋两季海冰则呈增多趋势,尤以夏季最为显著。可见,在全球变暖中,南半球海冰变化有其特殊规律。

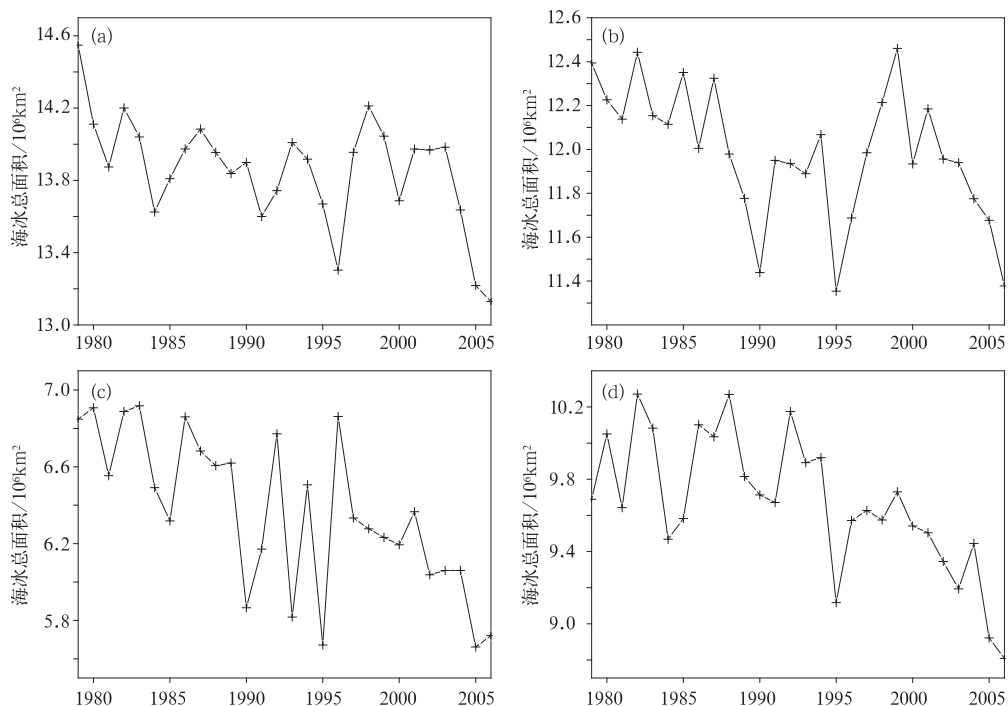


图 2 北半球四季海冰总面积 1979—2006 年的年际变化

(a)冬季,变率为 -19.0 ; (b)春季,变率为 -17.8 ; (c)夏季,变率为 -34.3 ; (d)秋季,变率为 -31.0 ; 变率单位: $10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$

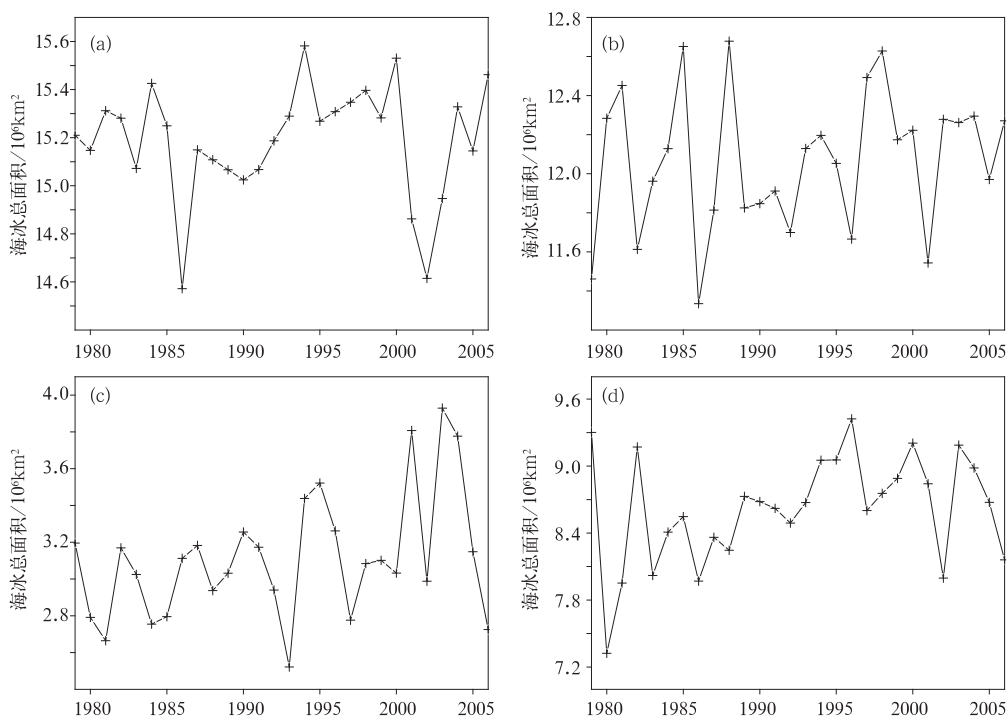


图 3 南半球四季海冰总面积 1979—2006 年的年际变化

(a)冬季,变率为 1.3 ; (b)春季,变率为 9.1 ; (c)夏季,变率为 16.2 ; (d)秋季,变率为 19.6 ; 变率单位: $10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$

综合分析可得,随着全球气候变暖,两半球的海冰变化各异。北半球海冰总面积的年际变化下降趋势明显,夏秋两季下降最快,特别在1990年代后期以来,海冰减少尤为迅速。而南半球海冰总面积自1980年代初以来有所增多,以夏、秋两季最为明显。

4 南北半球海冰年际变化空间特征对比

在年际变化中,南北半球海冰总面积有明显差异;随季节变化,海冰分布范围变化亦有所不同。应用1979—2006年的海冰面积资料,对南北半球逐点海冰的趋势变化进行分析,以讨论近30年来海冰变化特征的区域差异。

4.1 北半球海冰年际变化空间特征分析

分季节讨论整个北半球海域各格点海冰的趋势变化,根据变率的显著性检验:达到

0.01显著性水平的趋势值约是 $0.033 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,达到0.05显著性水平的趋势值约为 $0.020 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,即表示在1979—2006的28年,如达到0.01显著性水平,则该点海冰至少减小 $0.92 \times 10^3 \text{ km}^2$,如达到0.05显著性水平,则该格点海冰至少减小 $0.56 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。

图4是1979—2006年四季北半球海冰面积的趋势变化空间分布图。图中可见,各季海冰均以减少为主,冬春季主要发生在北太平洋和北大西洋海域,即白令海、鄂霍次克海和格陵兰海、巴伦支海一带,夏秋季主要在北冰洋靠近大陆海域,即波弗特海、楚克奇海和东西伯利亚海一带。将上述各海域海冰的中心变率值列于表2。

由图4和表2可见,冬季,北太平洋区域鄂霍次克海海冰减少最为迅速;中心位于 54.5°N 、 149.5°E ,近海冰边缘,值达 $-0.138 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,即在28年中,该处海冰已减

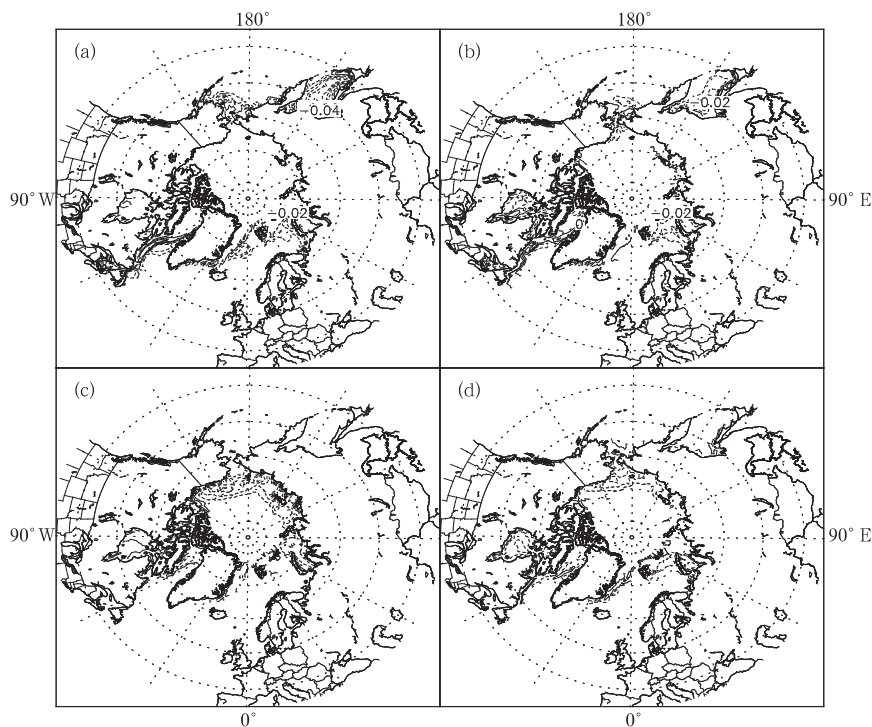


图4 1979—2006年四季北半球海冰面积的趋势变化
a. 冬季, b. 春季, c. 夏季, d. 秋季, 变率单位: $10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$

表 2 北半球 1979—2006 年各季各区域
变率中心值(单位: $\times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$)

趋势	区域	冬季	春季	夏季	秋季
减少	鄂霍次克海	-0.138	-0.105	基本无冰	很少冰
	白令海	-0.091	-0.086		
	格陵兰海	-0.054	-0.018	-0.028	-0.031
	巴伦支海	-0.053	-0.051	-0.036	-0.040
	楚克奇海一带	永久冰		-0.097	-0.074

少了 $3.9 \times 10^3 \text{ km}^2$, 约占该格点面积的 54%。根据 1994 年方之芳和 Wallace 的工作, 应用美国大气海洋局冰雪数据中心 (NSIDC) 海冰资料, 计算该点冬季海冰密集度的平均值, 年代为 1972—1989 年; 该点冬季海冰密集度的平均值约为 0.50^[21], 转化为面积约为 $3.58 \times 10^3 \text{ km}^2$; 如按照本文应用的 Hadley 海冰密集度转化后的面积资料, 1979—1989 该点的海冰面积约为 $3.23 \times 10^3 \text{ km}^2$, 两者基本相近, 然而 21 世纪以来该点平均面积仅为 $1.7 \times 10^3 \text{ km}^2$; 2005 和 2006 年, 该点已无海冰。冬季, 北大西洋区域的格陵兰海和巴伦支海的部分海域海冰亦呈迅速减少。以上海域海冰减少均通过 0.01 的显著性水平。但在格陵兰海的近岸处、戴维斯海峡和拉布拉多海的靠近北美大陆一带, 海冰有增多趋势, 呈沿岸分布 (图 4a)。

春季, 北半球各区域海冰变化趋势和冬季相似, 仍以减少为主, 减少中心仍然在白令海和鄂霍次克海一带, 其中鄂霍次克海中心负变率达 $-0.105 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$, 位于 21.5°N 、 141.5°E ; 即在 28 年中, 该处海冰已减少了 $3.86 \times 10^3 \text{ km}^2$, 约占该格点面积的 32.6%。巴伦支海和格陵兰海 (图 4b) 海冰亦呈减少趋势, 巴伦支海中心变率为 $-0.051 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$, 与冬季接近; 格陵兰海中心变率值为 $-0.018 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$, 减少速度比冬季明显减小。总体而言, 春季北半球大部分海域海冰减少速度均比冬季有所减缓。此外, 在格陵兰海的近岸处, 戴维斯海峡和拉布拉多海的靠近北美大陆一带, 海冰仍呈增

多趋势, 范围比冬季扩大, 由格陵兰岛以东延伸至以南, 由哈得逊海峡附近向南延伸至纽芬兰岛一带。

夏季, 除哈得逊湾外, 北半球海冰呈均一减少趋势, 北冰洋周围的波弗特海、楚科奇海和东西伯利亚海一带减少尤为迅速, 中心位于东西伯利亚海中 (71.5°N 、 168.5°E), 值为 $-0.097 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$, 即近 28 年来该区域中心的海冰面积减少了 $2.7 \times 10^3 \text{ km}^2$, 占该格点面积的 70% 左右。根据方之芳和 Wallace 的工作, 该点夏季海冰密集度的平均值在 0.8 以上^[21], 即对应海冰实际面积在 $3.13 \times 10^3 \text{ km}^2$ 以上; 如按照本文 Hadley 海冰密集度转化后的面积资料, 1979—1989 的海冰面积约为 $3.22 \times 10^3 \text{ km}^2$, 二者仍然基本相近, 然而, 在 21 世纪初, 该点平均海冰面积仅为 $1.2 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。

秋季, 整个区域海冰的变化趋势与夏季相似, 海冰呈均一的减少趋势, 速度比夏季较缓, 波弗特海、楚科奇海和东西伯利亚海一带仍为海冰减少区域, 中心位于楚科奇海 (71.5°N 、 164.5°W), 值为 $-0.074 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$, 即近 28 年来该区域中心的海冰面积减少了约 $2.1 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。

综上所述, 在近 30 年中, 北半球各季海冰均以减少为主要趋势, 冬春季出现在纬度较低、海冰与洋面交界的海域, 即北太平洋区域的白令海和鄂霍次克海一带, 北大西洋区域的巴伦支海、格陵兰海、戴维斯海峡和拉布拉多海一带。夏秋季则出现在北冰洋中靠近太平洋一侧的近海, 即波弗特海、楚科奇海和东西伯利亚海。在北冰洋的中心, 即南森海盆、欧亚海盆、马卡罗夫海盆、加拿大海盆四季均被海冰覆盖, 为稳定的海冰层。冬春季, 在北大西洋海域的格陵兰海、戴维斯海峡和拉布拉多海的边缘, 海冰出现增多趋势, 呈沿岸分布, 与洋流的走向一致。冬季虽然北半球海冰整体减少速度为四季中最小, 但就区

域而言,鄂霍次克海和白令海海冰的负变率在四季中仍较大。

4.2 南半球海冰年际变化空间特征分析

如同北半球,分季节讨论南半球海域各

格点海冰的年际变化,1979—2006 年南半球海冰密集度的趋势变化,如图 5 所示。

由图可见,四季南半球海冰趋势变化始终有一减少区域和两个增多区域。减少区域位于南极半岛附近别林斯高晋海和德雷克海

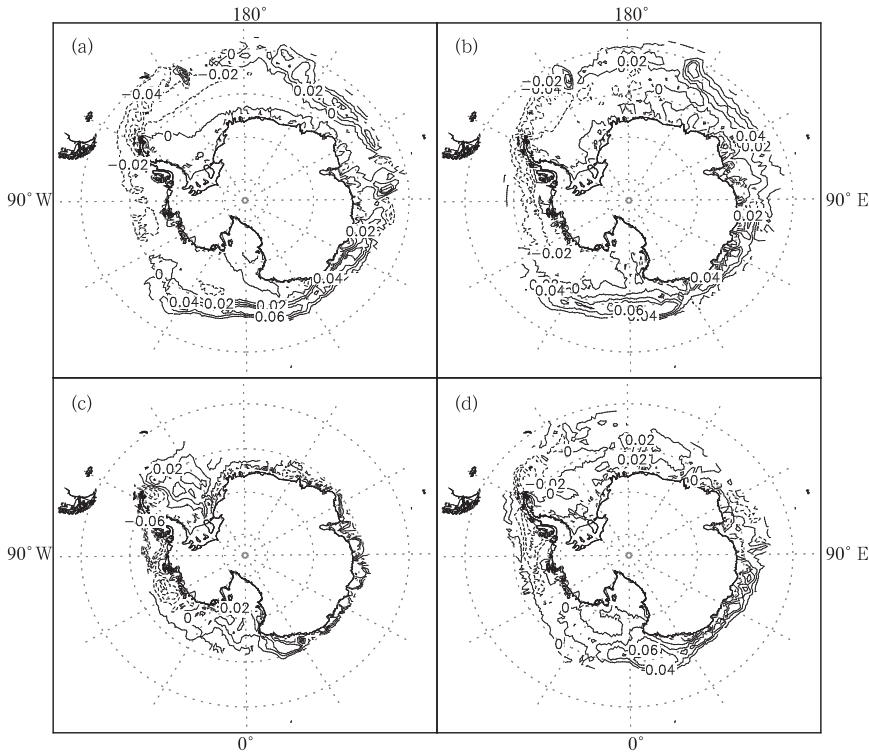


图 5 1979—2006 年四季南半球海冰面积的趋势变化
(a. 冬季, b. 春季, c. 夏季, d. 秋季, 变率单位: $10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$)

峡一带;增多中心分别位于罗斯海外围和西南印度洋一带,三个中心几乎均呈纬向带状分布。

将上述三个倾向率较大区域的中心值列于表 3。定义倾向率绝对值大于 0.020×10^3

$\text{km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,即其通过 0.05 显著性检验的区域为中心区域。由于绕南极的海流为由西向东方向,海冰受海流的影响亦存在由西向东的移动,故选取中心区域东边界为参考,将其所在经度列于表 3,以反映海冰中心的移动。

图 5 与表 3 分析可见,冬季(图 5a),正变率最大值为 $0.118 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,在罗斯海外围,位于 $62.5^\circ \text{S}, 163.5^\circ \text{E}$,即每年该处海冰增多 118 km^2 ,28 年来则增多了 $3.3 \times 10^3 \text{ km}^2$,占该格点面积的 58%;另一正变率中心位于拉普捷夫海靠近印度洋处($60.5^\circ \text{S}, 41.5^\circ \text{E}$),其中心值为 $0.07 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ 。两个正变率中心及附近海区均通过 0.01 显著性水平检验。负变率区的范围也很大,以南极半岛北部

表 3 南半球 1979—2006 年各季各区域变率中心值

趋势	区域	夏季	秋季	冬季	春季
减少	南极半岛附近	变率 -0.123	-0.110	-0.103	-0.080
	C	50.5°W	40.5°W	9.5°W	26.5°W
增多	罗斯海外围	变率 0.130	0.109	0.118	0.109
	C	158.5°W	156.5°W	140.5°W	131.5°W
	西南印度洋一带	变率 0.066	0.052	0.070	0.092
	C	22.5°W	30.5°E	67.5°E	67.5°E

C:中心区域(变率绝对值大于 0.02)东移方向最外边界所在经度

海域海冰减少最为显著,中心位于 63.5°S 、 59.5°W ,值为 $-0.103 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,即 28 年来大约减少了 $2.9 \times 10^3 \text{ km}^2$,超过该格点面积的一半,该区大部分区域海冰减少均通过 0.01 显著性水平检验。

春季海冰总体范围和冬季接近(图 5b),各区域海冰的变化趋势亦和冬季相似,即仍然存在一个负变率区和两个正变率区。负变率区位置仍然位于南极半岛北部海域,中心值小于冬季,仅为 $-0.080 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$;负变率中心区域的范围,由冬季的 9.5°W 西退至 26.5°W 。罗斯海外围的正变率区中心强度与冬季相仿,但范围向南扩展至 70°S 附近,中心由冬季的 140.5°W 东移至 131.5°W 附近。西南印度洋一带,中心区域的东界较稳定。

夏季,南半球海冰范围远小于冬春两季,减少中心位于南极半岛附近的别林斯高晋海一带,中心位于 69.5°S 、 79.5°W ,值达 $-0.123 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,远大于冬春两季,即 28 年来该格点海冰大约减少了 $3.4 \times 10^3 \text{ km}^2$,已超过整个格点面积的 80%,是四季中最大值。海冰增多中心与春季有很大差异,罗斯海外围的中心南退至紧靠南极大陆东南极海岸,最大变率位于 64.5°S 、 100.5°E ,值达 $0.130 \times 10^3 \text{ km}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,即 28 年来增多约 $3.6 \times 10^3 \text{ km}^2$,约为该格点面积的 70%。计算 1979—1984 年和 2001—2006 前后 6 年该格点海冰的平均面积,分别为 $1.2 \times 10^3 \text{ km}^2$ 和 $4.2 \times 10^3 \text{ km}^2$,即 21 世纪初,该处海冰为 1980 年代的 4 倍;即南极大陆东南极沿岸($90^{\circ}\text{E} \sim 180^{\circ}$),近 28 年中海冰显著增多。可见,夏季南极海冰的增多和减少在四季中均很显著。此外,威德尔海区域的海冰亦呈增多趋势,速度相对较缓。

秋季,南极半岛附近海冰的减少和罗斯海外围南极大陆附近靠近太平洋海域海冰的明显增多均通过 0.01 显著性水平检验。中心位置较夏季有所移动。南极半岛附近海冰减少中心由夏季 50.5°W 东移至 40.5°W ;罗斯海外围海冰增多中心由夏季 158.5°E 东移至 156.5°W 。

综上所述可见,近 30 年来,南半球海冰有着和北半球不同的变化。四季中,整个区域未呈均一的变化趋势,而是始终有一显著减少中心,位于南极半岛附近别林斯高晋海和德雷克海峡一带;存在两个增多中心,分别位于罗斯海外围和西南印度洋一带;其中,南极半岛附近和罗斯海外围海冰的趋势变化更为明显,尤其在夏季。随夏—秋—冬—春的季节转换,三个变率中心的位置有着东移和返回的过程。

5 小结与讨论

采用 1979—2006 年海冰面积资料,通过对南-北半球海冰季节和年际变化的对比分析,可以得到如下结论:

(1) 冬季南半球海冰面积为北半球的 1.13 倍,而夏季则为北半球的 $2/5$,南半球海冰的季节变化比北半球更为显著,其季节振幅为北半球的 1.6 倍。因此,可能南半球海冰对全球气候变化的影响更大。南半球海冰增长时间比北半球长一个月,而消融时间比北半球短一个月;平均增长速度和北半球相当,而消融速度比北半球大得多。

(2) 南北半球海冰总面积的年际变化有很大差异。北半球四季海冰年际变化均呈显著下降趋势,夏、秋两季下降最为显著,特别在 1990 年代后期以来,海冰减少尤为迅速,2006 年几乎均为 28 年来海冰最少的一年。而南半球四季海冰均有微弱的增多,亦以夏、秋两季较为迅速。

(3) 南北半球海冰趋势变化的空间分布有所不同。北半球海冰大部分区域四季均呈减少趋势;冬春季,主要在北太平洋海域,即白令海和鄂霍次克海一带,夏秋季,在北冰洋靠近太平洋一带的近海;而南半球海冰四季趋势变化始终有一减少中心,位于南极半岛附近;两个增多中心,分别位于罗斯海外围和西南印度洋一带;其中,南极半岛附近和罗斯海外围海冰的趋势变化更为明显,尤其在夏季。随夏—秋—冬—春的季节转换,3 个变

率中心的位置有着东移和返回的过程。

为了客观分析海冰变化特征,本文采用由 Hadley 海冰密集度转化而来的海冰面积资料,因此,得出的结论与海冰密集度资料分析的结果有所不同,比如,冬季海冰减少中心位于白令海和鄂霍次克海,而不是在格陵兰海和巴伦支海^[12,14]。

全球气温升高,北半球海冰显著减少,而南半球海冰有所增多,二者并未呈一致的变化趋势。这与两个半球极区所处的地理环境有关。北半球,极区为北冰洋,周围为陆地所包围,海冰几乎在一个封闭固定的范围中;该区气温升高,海冰逐渐融化,呈显著减少趋势。南半球,极区是常年被冰盖和冰原所覆盖的南极大陆,海冰位于环陆地的洋面上,其周围为开阔的海洋;可能该区气温升高,海冰强度减弱,断裂、疏松形成浮冰,随大气环流向北漂至更低的纬度,使外围海域的海冰面积扩大^[8];也可能由于全球变暖,东南极大陆周围出现冰盖崩塌入海,随洋流向低纬漂移,使海冰面积扩大^[22]。南极半岛附近海冰迅速减少,可能和该地区温度的升高有关^[23-24]。

极地是全球大气热机运转的冷源,海冰作为极地的关键区,其面积的变化影响着大气热机中冷源的强度,从而对全球经向大气环流产生重要作用。此外,海冰的融化及冰盖的崩塌入海使大量冷的淡水注入海洋,对全球海平面、海洋环流等有着不可忽视的影响。

参考文献

- [1] 张秀年,严华生,郭世昌. “全球变暖”背景下的全球温度时空变化特征[J]. 热带气象学报, 2004, 20(5): 561-570.
- [2] 王绍武. 现代气候学研究进展[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 82.
- [3] 王绍武, 罗勇, 赵宗慈, 等. 关于气候变暖的争议[J]. 自然科学进展, 2005, 15(8): 917-922.
- [4] 龚道溢, 王绍武. 1998年: 中国近一个世纪以来最暖的一年[J]. 气象, 1999, 25(8): 3-5.
- [5] 李威, 朱艳峰. 2006年全球重大天气气候事件概述[J]. 气象, 2007, 33(4): 108-111.
- [6] 郝春江, 谢思梅. 北极海冰的变化特征[J]. 海洋湖泊通报, 1994, (2): 84-91.
- [7] 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): 129-138.
- [8] 解思梅, 魏立新, 郝春江, 等. 南极海冰和陆架冰的变化特征[J]. 海洋学报, 2003, 25(3): 32-46.
- [9] 卞林根, 林学椿. 近30年南极海冰的变化特征. 极地研究, 2005, 17(4): 233-244.
- [10] Konstantin Y V, Robock A, Stouffer R J et al. Global warming and Northern Hemisphere Sea ice extent[J]. Science, 1999, 286: 1934-1937.
- [11] Cavalieri D J, Gloerson P, Parkinson C L, et al. Observed Hemispheric Asymmetry in Global Sea Ice Changes[J]. 1997, 278: 1104-1106.
- [12] 王嘉. 北半球海冰时空变化及其与初夏东亚大气环流的关系[D]. 中国科学院研究生院硕士学位论文, 2002, 12.
- [13] 方之芳, 郭裕富, 乔琪, 等. 北极海冰减少及其与相关气象场的联系[J]. 高原气象, 2002, 21(6): 565-575.
- [14] 方之芳, 张丽, 程彦杰. 北极海冰的气候变化与20世纪90年代的突变. 干旱气象, 2005, 23(3): 1-11.
- [15] 赵玉春, 孙照渤, 王叶红. 南、北极海冰的长期变化趋势及其与大气环流的联系. 南京气象学院学报, 2001, 24(1): 119-126.
- [16] 马丽娟, 陆龙骅, 卞林根. 南极海冰的时空变化特征[J]. 极地研究, 2004, 16(1): 29-37.
- [17] James A. Renwick. Southern hemisphere circulation and relations with sea ice and sea surface temperature[J]. Journal of Climate, 2002, 15: 3058-3068.
- [18] W. Lefebvre, H. Goosse. Analysis of the projected regional sea-ice changes in the southern ocean during the twenty-first century[J]. Clim Dyn, 2008, 30: 59-76.
- [19] Walsh J E, Johnson C M. An analysis of Arctic sea ice fluctuations[J]. Journal of Physical Oceanography, 1979, 9: 580-591.
- [20] 彭公炳, 李晴, 钱步东. 气候与冰雪覆盖. 北京: 气象出版社, 1992: 9-15.
- [21] Fang Z F and Wallace J W. Arctic sea ice variability on a time-scale of weeks and its relation to atmospheric forcing. Journal of Climate, 1994, 7: 1897-1914.
- [22] 林之光. 南极冰山入海只是全球变暖的信号[J]. 人与自然, 2006, 1: 64.
- [23] 卞林根, 陆龙骅, 贾朋群. 南极地区温度和海冰的变化特征及相互关系[J]. 大气科学, 1997, 21(5): 564-572.
- [24] 卞林根, 王金星, 林学椿, 等. 南极半岛近百年气温的年代际振荡[J]. 冰川冻土, 2004, 26(3): 267-273.