

南极海冰与南半球大气环流关系的初步探讨

吴仁广 陈烈庭

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100080)

提 要

本文利用1973—1982年南极海冰北界资料,分析了南极海冰平均北界(海冰范围)的变化及其与南半球大气环流变化间的联系。1976年前,南极海冰平均北界偏北(海冰范围扩大),而1977年—1980年,南极海冰平均北界偏南(海冰范围缩小)。与此相对应,这两个时期的南半球大气环流具有明显不同的特点。在南极海冰平均北界偏北、海冰范围扩大时期,南极高压和绕极低压带偏弱,南半球中高纬度地区槽脊位置偏西,南印度洋和南大西洋副热带高压偏弱,南太平洋副热带西风减弱,中纬度西风加强,而南太平洋副热带高压和印度尼西亚低压带发展,南方涛动处于正位相阶段;在南极海冰平均北界偏南、海冰范围缩小时期,则相反。分析表明,南方涛动与南极海冰之间存在相互联系,并以南极海冰超前南方涛动约2个月时的关系最好,其次是南极海冰落后南方涛动4个月。

关键词: 南极海冰;南半球环流;南方涛动。

一、引 言

最近十几年来的广泛研究表明,热带海洋对大气的加热作用,在大气环流和气候变化中起着重要作用,特别是赤道太平洋地区的海水异常增暖会引起全球性的大气环流和气候异常^[1,2]。另一方面,关于极地海冰与大气环流关系的研究也表明,海冰在大气环流和气候变化中也同样起着重要作用^[3,4]。海水不仅具有比无冰海面高得多的反射率,而且将海水与大气隔离开来,起着一种调节海洋与大气之间热量交换的作用^[5],从而直接影响着极地及其附近地区的大气环流,并进而影响到半球甚至全球的热量平衡,大气环流和气候的变化。

南极地区,南极大陆终年基本上都为冰雪覆盖,变化不大,但环绕南极大陆的大洋上的海冰有明显的变化。因此,南极热汇区对大气环流和气候变化的作用,主要是由于海冰范围的变化,即海冰北界的变动所引起^[6]。由于资料的限制,关于南极海冰与大气环流和气候变化关系的研究至今仍然较少。但有限的研究已经表明,它们之间确实存在着联系。如分析表明,南极大陆纬度的年平均温度变化与南极海冰持续时间、海冰范围的变化都有

密切联系^[4],海冰持续时间长、海冰北界偏北时,年平均温度低;反之,则年平均温度高。南极海冰区北侧气旋的产生、移动路径和平均纬向风速依赖于海冰向北伸展的北界位置^[6,7]。并且,各月海冰范围的变化与南方涛动指数的时滞相关表明,它们之间也存在着一定联系^[8]。有人分析了南极海冰面积的变化与北半球大气环流^[9]和中国长江流域梅雨变动^[10]的关系,并讨论了它们之间的可能联系途径^[9,10]。最近, Ledley^[11] 用一个耦合气候——海冰能量平衡模式来模拟海冰输送对海气能量交换和大气温度的影响。模拟结果表明,海冰向赤道方向的输送虽然会引起冰缘的冷却,但靠极地一侧地区是增暖的。杨修群等^[12]则进行了7月份南极海冰正常和南极无冰时的对比试验。另一方面,海冰资料分析表明,1973—1980年期间,南极海冰总面积呈明显减少趋势^[8,13]。这种海冰减少趋势在大气环流变化等方面是否会有所反映,值得探讨。

本文中,我们试图利用1973—1982年(共10年)南极海冰北界资料,探讨南极海冰的变化与南半球大气环流变化间的可能联系。南极海冰资料取自文献[14],每隔10个经度取一个值,其中,1975年8月的缺测值,以多年平均值代替。南半球海平面气压和500hPa高度资料从1972年5月分别到1980年7月和1979年11月,为NMC八边形扩展的正方形型式,由大气物理所资料中心提供。

二、南极海冰北界的变化

在以前的讨论中,大多以南极海冰面积来表示海冰范围。本文中,我们以各个经度海冰北界所在纬度的平均值(简称海冰平均北界)来表示海冰范围的大小。图1给出了1973年1月—1982年12月南极海冰平均北界距平(正距平表示偏南,负距平表示偏北)与海冰面积距平的变化曲线。从图可见,二者的变化呈非常明显的反相关系,即当海冰平均北界距平为负(平均北界偏北)时,海冰面积距平为正,海冰范围扩大;反之,当海冰平均北界距平为正(平均北界偏南)时,海冰面积距平为负,海冰范围缩小。平均北界距平的峰(谷)与面积距平的谷(峰)几乎一一对应,二者间的负相关系数高达-0.984。这说明,海冰平均北界与海冰面积一样,都能反映海冰范围大小的变化,而平均北界及其距平的计算更为简单。

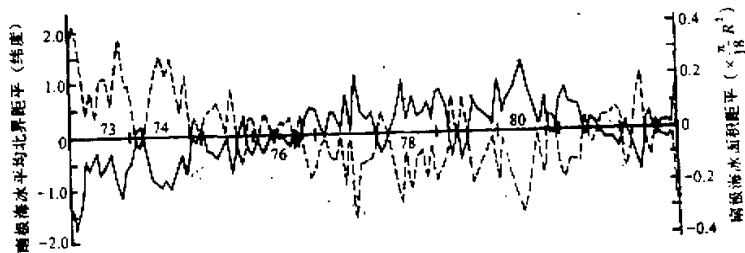


图1 1973—1982年南极海冰平均北界距平和海冰面积距平($\times \frac{\pi R^2}{18}$, R ——地球半径)

实线,单位: 纬度 虚线,单位: km^2

图 2 是 1973—1982 年南极海冰平均北界变化与各个经度北界变化的相关分布曲线。可见,平均北界与绝大多数经度北界的变化有明显正相关,特别是罗斯海地区

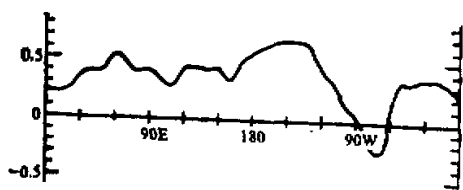


图 2 南极海冰平均北界与各经度北界相关分布 (1973—1982)

(180° — 130° W)相关在 0.50 以上,超过了 0.001 信度水平(相关系数 0.30)。这说明海冰平均北界的变化能代表大部分地区海冰北界的变化,因而能反映海冰范围大小的变化。图中, 70° — 60° W 地区的负相关,反映那儿海冰北界的变化与其他地区具有相反趋势,这可能是由于受南极大陆地形影响的缘故。

从图 1 中南极海冰平均北界距平的变化曲线可见,1976 年以前,南极海冰平均北界距平几乎均为负值,而 1977 年到 1981 年 5 月,海冰平均北界距平几乎均为正值,即这两个时期南极海冰平均北界分别具有偏北(面积扩大)和偏南(面积缩小)的特征。Chiu^[8]、Kukla 和 Gavin^[13]也曾指出 1973—1980 年期间,南极海冰总面积有缩小趋势。

三、南极海冰与南半球大气环流变化的关系

图 3 是 1972 年 5 月到 1980 年 7 月南极点海平面气压距平的变化曲线。可以看出,

1976 年以前,南极点海平面气压偏低;而 1976 年以后,南极点海平面气压明显偏高。同图 1 比较,南极点海平面气压的偏低时期对应着南极海冰平均北界的偏北时期,而南极点海平面气压的偏高时期则与南极海冰平均北界的偏南时期相对应。这说明,南极海冰面积增大时,南

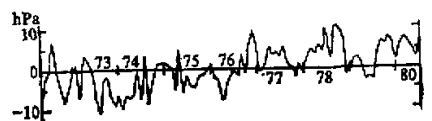


图 3 南极点海平面气压距平(1972.5—1980.7)
(单位: hPa)

极高压减弱;反之海冰面积缩小时,南极高压发展。因此,南极海冰面积大小的变化与南极地区气压的变化相联系。那么这种联系在南半球其他地区是否也存在呢?为此,对应于南极海冰平均北界偏北和偏南两个时期,我们分别作了南半球海平面气压距平和 500hPa 高度距平的合成图,结果分别见图 4 和图 6。

1. 与海平面气压场之间的关系

比较图 4a 与 4b 可见,对应于南极海冰平均北界偏北和偏南时期南半球海平面气压距平分布的符号正好相反,并且距平中心位置也非常一致(符号相反)。在南极海冰平均北界偏北时期(图 4a),南极大陆基本上为明显负距平,负距平中心位于南极的印度洋一侧。在环绕南极大陆的大洋上, 50° — 70° S 之间为一环极正距平带。这个正距平带中,澳大利亚经度地区、南非经度地区和东南太平洋地区各有一个正距平中心。同多年平均海平面气压分布图(图略)比较,可以看出这些正距平区处于绕极低压带的相对低压中心

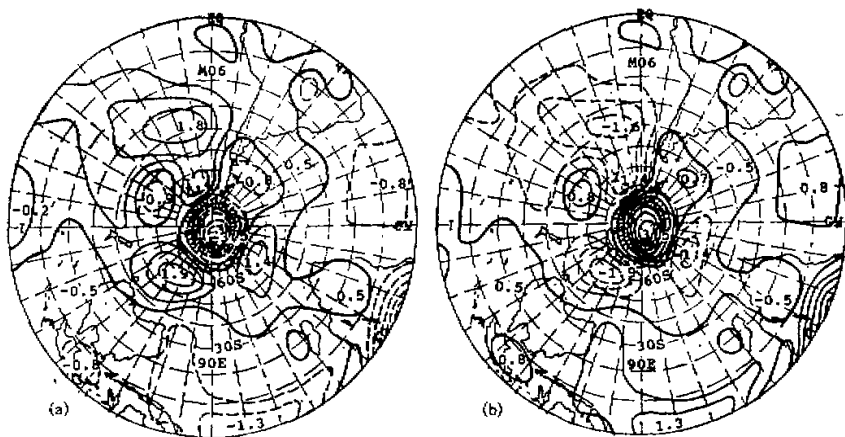


图4 南半球海平面气压平均距平

(a) 1973.1—1976.9, (b) 1976.11—1980.7, 单位: hPa

的东侧附近。在付热带地区, 南太平洋东部有一个明显正距平区。在南大西洋和南印度洋的低纬度地区, 与南太平洋不同, 为负距平控制。在热带, 特别值得注意的是在澳大利亚北侧—印度尼西亚一带有一个较大负距平区, 它与南太平洋中东部的正气压距平正好相反, 相当于南方涛动的正位相。在南非, 赤道地区为很大的负距平, 而南部则是正距平。在南极海冰平均北界偏南时期(图4b), 南半球海面气压距平分布具有相反特点, 这里不再一一赘述。上述气压距平分布说明, 在南极海冰平均北界偏北、海冰范围扩大时期, 南极地区海平面气压偏低, 极地高压偏弱, 绕极低压带减弱, 南太平洋中东部副热带高压偏强, 印度尼西亚—赤道印度洋低压带发展, 南方涛动处于正位相阶段, 而南印度洋与南大西洋副热带高压偏弱; 反之, 在南极海冰平均北界偏南、海冰范围缩小时, 南极地区气压偏高,

极地高压偏强, 绕极低压带发展, 南太平洋中东部副热带高压偏弱, 印度尼西亚—赤道印度洋低压带减弱, 南方涛动处于负位相阶段, 而南印度洋与南大西洋副热带高压偏强。

为了进一步说明南极海冰与南半球大气环流变化之间的联系, 我们计算了南极海冰平均北界与南半球海平面气压、500hPa 高度场的同时相关, 结果见图5和图7。图5中

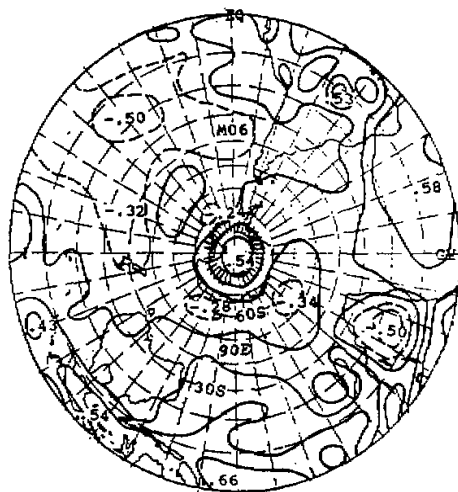


图5 南极海冰平均北界与南半球海平面气压同时相关场

相关系数超过 0.21、0.27 和 0.34 的地区分别为达到 0.05、0.01 和 0.001 信度水平的区域。从图 5 可见,许多地区相关都较高,并且相关场的结构与南极海冰平均北界偏北或偏南时期的海平面气压距平成场非常相似,即相关场上的正相关区与南极海冰平均北界偏北时期的气压负距平区或偏南时期的气压正距平区相对应,相关场上的负相关区则与海冰平均北界偏北时期的正距平区或者偏南时期的负距平区对应。并且较大的正负距平对应的相关通常也较大。所不同的是,在距平成场上,大值正负距平区有偏向高纬度和极地一侧趋势,这是由于高纬度地区距平的变化相对较大。因此,相关分析进一步证实了由距平成分析所得到的结论。

上述分析说明,在南极海冰平均北界偏北和偏南时期,不仅南极点的海平面气压距平具有相反趋势(分别偏低和偏高),而且整个南半球各个环流系统的强度都具有相反特征,特别是南方涛动分别处于正位相和负位相阶段。

2. 与 500hPa 高度场之间的关系

比较图 6a 和 6b 可见,与海平面的情况类似,在南极海冰平均北界偏北和偏南时期,南半球 500hPa 高度距平的分布亦分别具有相反特点,且距平中心位置也很一致(符号相反)。在南极海冰平均北界偏北时期(图 6a),热带低纬度地区为明显负距平控制,南太平洋副热带地区为明显正距平,南大西洋和南印度洋副热带地区以负距平为主。在中高纬度地区,澳大利亚经度地区、西南印度洋—南非经度地区和南太平洋东部为较大正距平,它们与海平面上气压正距平相对应,并位于平均槽的东侧。南极大陆上正距平则比较弱小。在南印度洋中部中纬度、南太平洋中部中纬度与威德尔海地区各有一个负距平区。在南极海冰平均北界偏南时期(图 6b),距平分布符号相反。对照多年平均 500hPa 高度分布(图略)说明,在南极海冰平均北界偏北、海冰范围扩大时期,南半球整个热带地区

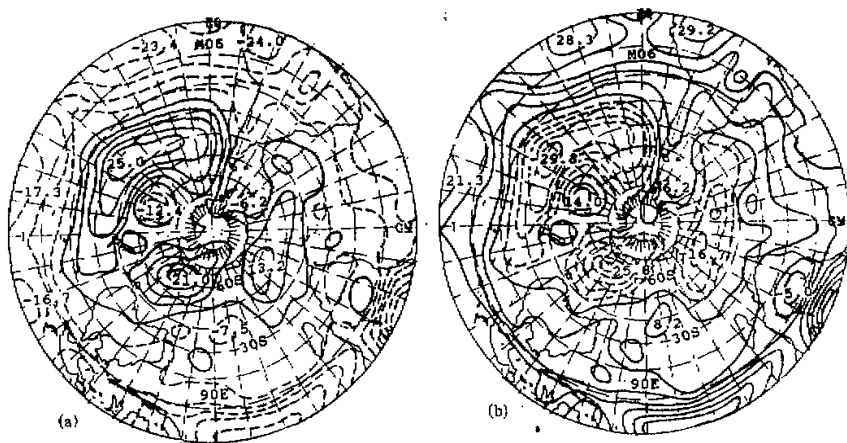


图 6 南半球 500hPa 高度平均距平

(a) 1973 年 1 月—1976 年 9 月; (b) 1976 年 11 月—1979 年 11 月; 单位: 位势米

500hPa 高度偏低,南太平洋副热带地区高度偏高,南太平洋副高加强偏南、副热带西风减弱、中纬度西风偏强,南大西洋和南印度洋副高偏弱,而在中高纬度地区,槽脊位置偏西;反之,在南极海冰平均北界偏南、海冰范围缩小时期,南半球整个热带地区 500hPa 高度偏高,南太平洋副热带地区高度偏低,南太平洋副高减弱偏北、副热带西风加强、中纬度西风减弱,南大西洋和南印度洋副高偏强,在中高纬度地区,槽脊位置偏东。

类似于图 5, 图 7 给出了南极海冰平均北界与 500hPa 高度场的同时相关。图中相关系数超过 0.22、0.29 和 0.36 的地区分别为达到 0.05、0.01 和 0.001 信度水平的区域。与海平面的情况相同,相关场的结构与南极海冰平均北界偏北或偏南时期的 500hPa 距平合成场非常相似。因此,相关分析进一步证实了由距平合成分析所得到的结论。

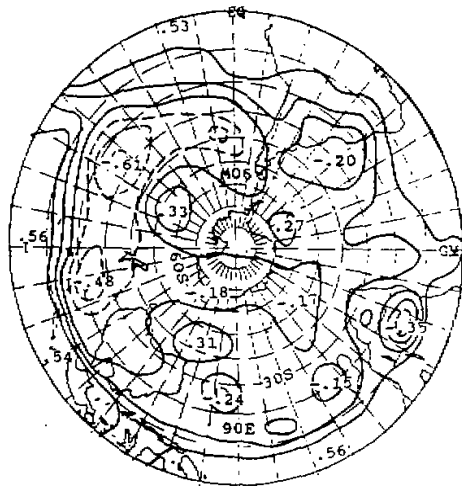


图 7 南极海冰平均北界与南半球 500hPa 高度同时相关场

上述关于南极海冰平均北界偏北和偏南时期南半球海平面气压和 500hPa 高度距平分布的对比说明,南极海冰平均北界的变化与南半球大气环流之间存在着密切联系。对应于海冰平均北界偏北和偏南的分别是二种截然相反的海平面气压和 500hPa 高度距平分布,相应地主要环流系统的变化具有相反的特点。

四、南极海冰平均北界与南方涛动的关系

早在 1923 年, Walker^[42] 在检查全球各地不同气象要素之间的时滞相关后就提出南方涛动可能源于南极地区。在 Krishnamurti 等^[46]的全球海平面气压 3—5 年周期演变图中,构成南方涛动的正负气压距平就有来自南极大陆附近地区的。作者^[17]最近的一个分析也有类似结果。另一方面,由于在南极大陆及其附近地区,海水范围的变化在海气能量交换和大气环流变化中起着非常重要的作用。这意味着南方涛动的强弱很可能与海冰范围的变化相联系。本文前一部分的分析则已表明它们之间的联系确实存在,并且在南极海冰平均北界偏北和偏南的二个不同时期,南方涛动分别处于正位相和负位相阶段。

为了进一步分析南方涛动与南极海冰之间的关系,我们计算了南方涛动指数(以 Tahiti 和 Darwin 站海平面气压距平差来表示)和南极海冰平均北界距平之间从超前 24 个月到落后 24 个月的时滞相关,结果见图 8。从图可见,在海冰平均北界距平落后南方涛动指数 5 个月到超前 14 个月,二者负相关系数均在 0.20 (0.05 信度水平)以上,尤其是海冰超前 1—3 个月的负相关系数超过了 0.30 (0.001 信度水平)、南方涛动指数超前 4

个月时的负相关也达到 0.001 信度水平。这说明, 南极海冰平均北界(范围)的变动与南

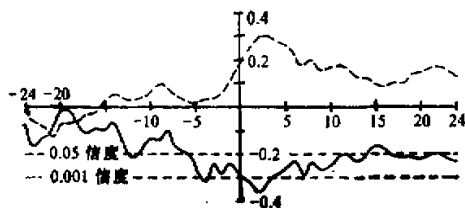


图 8 南极海冰平均北界和南方涛动指数(实线)、赤道中东太平洋海温距平(虚线)时滞前关

方涛动之间存在着持续负相关, 并且以海冰变化超前南方涛动 2 个月左右的负相关最高。因此, 南方涛动与南极海冰变化之间存在着相互联系, 并以海冰变化超前南方涛动大约 2 个月时的关系最好。Chiu^[3]也曾计算了各月海冰范围的变化和南方涛动指数之间的时滞相关。从相关系数的变化来看, 既存在南方涛动早于海

冰范围变化时的明显相关, 也存在着海冰范围变化先于南方涛动时的明显相关, 并且平均来看以海冰变化超前南方涛动 1—2 个月时的负相关最高。这与本文的结果是一致的。图 7 中还给出了海冰平均北界变化与赤道中东太平洋海温距平(以 180°W — 80°W , 5°N — 5°S 范围 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 网格点平均海温距平来表示)间的类似的时滞相关演变。其中, 海冰变化超前海温 1—6 月的正相关超过了 0.05 信度水平, 最大正相关约在海冰变化超前 3 个月左右(已达 0.001 信度水平)。由于南方涛动与赤道中东太平洋海温变化密切联系, 因此上述相关关系是可以解释的。

上述分析说明, 南极海冰北界的变动和范围的变化不仅会影响南极及其附近地区的海气能量交换和大气环流的变化, 而且与发生于较低纬度的南方涛动和赤道中东太平洋地区的海水异常增暖现象相联系。其可能联系过程有待于进一步分析。

五、小结和讨论

从 1973 年到 1976 年, 南极海冰平均北界偏北海冰范围偏大, 而从 1977 年到 1980 年, 南极海冰平均北界偏高海冰范围偏小。合成分析与相关分析说明, 对应于这两个时期, 南半球海平面气压和 500hPa 高度距平场具有相反特征, 相应地主要环流系统的变化具有相反特点。在南极海冰平均北界偏南, 海冰范围缩小时, 南极高压和绕极低压带发展, 南印度洋和南大西洋副热带高压偏强, 南太平洋副热带高压偏弱, 副热带西风加强、中纬度西风减弱, 南半球中高纬度地区槽脊偏东; 在南极海冰平均北界偏北, 海冰范围扩大时期, 相反。分析也表明, 南极海冰的变化与南方涛动间存在着相互联系, 并以南极海冰平均北界变化超前 2 个月左右时的关系最好。当南极海冰平均北界偏北, 海冰范围扩大时, 南方涛动处于正位相阶段, 反之, 则处于负位相阶段。

Ledley^[11] 的模拟结果说明, 海冰向赤道一侧输送会引起海冰边缘的冷却, 而极地附近是增冰的。Mitchell 等^[12] 的去掉 66°S 以北海冰的试验也表明, 海冰去除区的感热通量大大增加, 地面气压下降, 南极则增压, 而围绕南极西风减弱。结合本文的结果, 我们推测就南极海冰对南半球大气环流变化的影响来说, 其过程可能如下: 当南极海冰平均北界偏南、海冰范围缩小时, 海冰北界附近海洋向对流层大气的热量通量增加, 大气增暖, 空气

向极地和中低纬度辐散,极地和中低纬度地区气压增加,而北界附近气压下降,结果使极地高压和绕极低压带发展,副热带高压加强偏南,中纬度西风带偏南,气旋路径偏南;当南极海冰平均北界偏北、海冰范围扩大时,则相反。上述过程可以解释南大西洋和南印度洋地区的环流变化,而南太平洋地区的环流变化正好相反。这可能是由于在南印度洋—南太平洋地区存在着南方涛动这一强信号。

本文利用有限资料分析,揭示出南极海冰范围的变化与南半球大气环流变化和南方涛动等的联系。实际上,既存在海冰对大气的作用,也存在大气对海冰的作用,即海冰和大气之间存在着相互作用。此外,由于资料较短,本文所得结果只能说是初步的,有待于用更长资料作进一步分析。

参 考 文 献

- [1] Horel, J. D. and J. M. Wallace, 1981, Planetary-scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 813—829.
- [2] Pan, Y.-H. and A. H. Oort, 1983, Global climate variations connected with sea surface temperature anomalies in the eastern equatorial Pacific Ocean for the 1958—1973 period, *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 1244—1258.
- [3] Fletcher, J. O., 1969, Ice extent on the Southern Ocean and its relation to world climate. Memo. RM-5793-NSF, The Rand Corporation, Santa Monica, Calif.. Published by Westview Press. 1—180.
- [4] Fletcher, J. O. and J. J. Kelly, 1978, The role of the polar regions in global climate change. *Polar Research: To the Present and the Future*, M. A. McWhinnie, Ed., 97—116.
- [5] Budd, W. F., 1975, Antarctic sea-ice variations from satellite sensing in relation to climate, *J. Glaciology*, **15**, 417—427.
- [6] Budd, W. F., 1982, The role of Antarctica in Southern Hemisphere weather and climate, *Aust. Met. Mag.*, **30**, 262—272.
- [7] Stretten, N. A. and D. J. Pike, 1980, Characteristics of the broadscale Antarctic sea ice extent and the associated atmospheric circulation 1972—1977, *Arch. Met. Geophys. Biokl., Ser. A*, **29**, 279—299.
- [8] Chiu, L. S., 1983, Antarctic sea ice variations in 1973—1980, Variations in the Global Water Budget, F. A. Street-Portrott et al., Eds., 301—311.
- [9] 赵汉光、姬菊枝, 1989, 南极极冰的时空变化特征及其对大气环流的影响, *气象*, **15**, 第2期, 3—8。
- [10] 符淙斌, 1981, 我国长江流域梅雨变动与南极冰雪状况的可能联系, *科学通报*, **26**, 484—486。
- [11] Ledley, T. S., 1991, The climatic response to meridional sea-ice transports, *J. climate*, **4**, 147—163.
- [12] 杨修群、黄士松, 1992, 北半球夏季南极冰气候效应的数值试验, *大气科学*, **16**, 69—76。
- [13] Kukla, G. J. and J. Gavin, 1981, Summer ice and carbon dioxide, *Science*, **241**, No. 4520, 497—503.
- [14] 陈善敏等, 1987, 南极海冰和南半球气旋资料图集, 气象出版社。
- [15] Walker, G. T., 1923, Correlation in seasonal variations of weather, VIII, *Mem. Ind. Meteor. Dept.*, **24**, 75—131.
- [16] Krishnamurti, T. N., S.-H. Chu and W. Iglesias, 1986, On the sea level pressure of the Southern Oscillation, *Arch. Met. Geophys. Biokl., Ser. A*, **34**, 385—425.
- [17] 吴仁广、陈烈庭, 1993, 1980—1989年全球1000hPa高度距平3—5年尺度演变(待发表)。
- [18] Mitchell, J. F. B. and T. S. Hills, 1986, Sea-ice and the Antarctic winter circulation: A numerical experiment, *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, **112**, 953—969.

A Preliminary Investigation of the Relationship between the Antarctic Sea Ice and the Atmospheric Circulation of the Southern Hemisphere

Wu Renguang and Chen Lieting

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

Abstract

The relationship between the atmospheric circulation of the Southern Hemisphere and the mean latitudinal extent of Antarctic sea ice is investigated by using the data of the Antarctic sea ice from 1973 to 1982. The mean latitudinal extent of Antarctic sea ice is greater before 1976, and smaller during 1977 through 1980. Correspondingly, the atmospheric circulation of the Southern Hemisphere is very different between these two periods. During the period of greater sea ice extent, the Antarctic high and the circumpolar trough are weaker, the troughs and ridges are shifted westwards at mid-and high-latitudes, the subtropical high is weaker over south Indian and Atlantic Oceans. In the South Pacific, the westerlies are weaker over subtropics and stronger over mid-latitude. The South Pacific subtropical high and the Indonesia low-pressure zone are developed, and the Southern Oscillation is in the positive phase. During the period of smaller sea ice extent, atmospheric circulation systems are in the opposite phase. It is also shown that there are inter-associations between the Southern Oscillation and the Antarctic sea ice variation. The association is stronger when the mean latitudinal sea ice extent precedes the Southern Oscillation by about 2 months. It is also very strong when the mean latitudinal sea ice extent lags behind the Southern Oscillation by about 4 months.

Key words: Antarctic sea ice; atmospheric circulation of the Southern Hemisphere; Southern Oscillation.