

南大洋海冰气候特征研究*

李鸿洲 刘瑞晨 徐元太

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

摘 要 应用 1973~1988 年海冰资料, 将南大洋划分为 5 个海区, 即: $20^{\circ}\sim 88^{\circ}\text{E}$, $90^{\circ}\sim 158^{\circ}\text{E}$, $160^{\circ}\text{E}\sim 132^{\circ}\text{W}$, $130^{\circ}\sim 62^{\circ}\text{W}$, $60^{\circ}\text{W}\sim 18^{\circ}\text{E}$, 按这 5 个海区分析了南大洋海冰的空间分布特征及其时间变化特征。这些研究结果, 对气候背景的研究是有益的。

关键词 南大洋 海冰 气候特征

1 引言

长期以来, 对极冰的研究, 一直是地球科学家所关注的重要课题, 其研究所涉及的时、空尺度和内容极其广泛。由于南极、北极有着截然不同的地理、地形环境, 使两半球海冰的特征各有不同。南极大陆四面环海, 而围绕南极大陆的南大洋是连接世界三大洋的唯一海区, 这使得对南极海冰的研究显得更有其特色和重要性。70 年代以来随着气象卫星探测和其他遥感技术手段的发展与广泛应用, 对海冰分布的观测有了根本性改善。获得了日渐丰富的系统性海冰资料。从而也推动了这一领域的研究工作的发展, 近 20 年来, 在海冰时、空特征, 特定海域的海冰特征以及微观变化和结构等方面都有许多研究工作^[1~4]揭示一些重要观测事实, 但这些研究多是以较少年份为时段或是个例分析的结果。对长时间序列的海冰气候学的综合分析还显得不足。80 年代以来, 我国也开展了相应的科考与研究, 还整编出版了有关资料图集和专题论述^[5~9], 也有少数文献分析讨论了南极海冰变化问题^[10]。这些工作, 为我国进一步开展对南极的综合研究奠定了重要基础。按我们现时所获得的南极海冰资料, 通过几种海冰要素, 以年、季、月为时间尺度, 以天气尺度和行星尺度为空间尺度, 以较长的时间序列资料, 综合分析研究南大洋海冰气候特征, 已成为可能。

本文应用 1973~1988 年资料, 从气象学的角度出发, 通过对几种海冰要素时空变化的研究, 揭示南大洋海冰气候特征的基本事实, 以为研究南大洋海冰与全球大气以及全球气候的相互联系, 提供海冰气候学依据。

2 关于资料

在本研究中共使用了 3 组资料, 它们的时段及所给的海冰要素各自不同, 空间分辨率各异, 资料的载体也不同。这些情况都使统一成一个完整的资料序列造成不便, 对此

1994-12-28 收到, 1995-03-18 收到修改稿

* 南极“八五”规划 85-905-05 资助项目

有待日后分析研究。因此我们基本是采用了分段分析，同期比较，求大同的方法，对海冰的气候特征进行分析。由于只有 10 年（1979 年 1 月～1988 年 12 月）的资料磁带，主要计算是用这组资料进行的。3 组海冰资料及所选用要素，如表 1 所示。

表 1 海冰资料及选用海冰要素一览表

序号	资料名称	起迄时间	空间分辨率，选用要素	资料形式	注
1	Atlas of the COLA / CAC AMIP SST and Sea-ice Data Set	1979-01～1988-12 月平均资料	2°×2° 经纬度，≥ 50%海冰密度格点	图集，数据磁带	PCMDI-Program for Climate Model Diagnosis and Intercomparison
2	南极海冰和南半球气旋资料图集	1973-01～1982-12 月平均资料	10 经度，海冰北界	图集，数据表格	文献[7] 缺 1975-08
3	南极海冰资料图集及资料	1973-01～1986-12 月平均及夏(12, 1～3 月) 周平均	经向 0.25°，纬向格距随纬度升高而增大由 0.25°～30.0° 经度，海冰净冰面积指数	图集，数据表格	文献[9]

3 组资料有各自不同的整理原则，但它们的时段互有交错，同取自卫星遥感资料。因此，我们在分析中注意了它们所涉及的时、空尺度。在对各组资料的共同时段的比较分析时，突出了宏观特征分析，以确保其反映的规律能在较长的时间序列中的可参考性。资料 1，是由马里兰大学海洋-陆地-大气相互作用中心（COLA）和华盛顿市国家气象中心气候分析中心（CAC）用所有可用的现时、气候和卫星资料整理出来的名为“COLA / CAC AMIP SST and Sea-Ice Data Set”。其他有关资料的详细介绍，参阅文献[7，9]。

3 分析方法

分别统计分析了不同时间（年、月），空间（各经圈和南大洋及其各不同海域分区）海冰北界所在位置的平均纬度及其距平、标准差，海冰范围面积及海冰实冰面积的平均和距平等，用以讨论海冰的年际变化、季节变化及一些气候极值。计算了海冰北界的纬向平均，及各经圈冰界对纬向平均距平等，用以讨论海冰的空间分布及其相应的变化。还针对海流背景和不同海冰变化特征，将南大洋划分为 5 个扇形区（20～88°E，90～158°E，160°E～132°W，130～62°W，60°W～18°E，如图 1 所示），依据不同海区，比较细致的从不同侧面剖析南大洋海冰分布的时、空特征，以保证所得结果，能较好的反映南大洋海冰的基本气候特征。

4 南大洋海冰分布的基本气候学特征

4.1 南大洋海冰同北半球的海冰

根据资料 1 计算分析了南半球、北半球及全球各月 ≥ 50%海冰密集度的面积（如

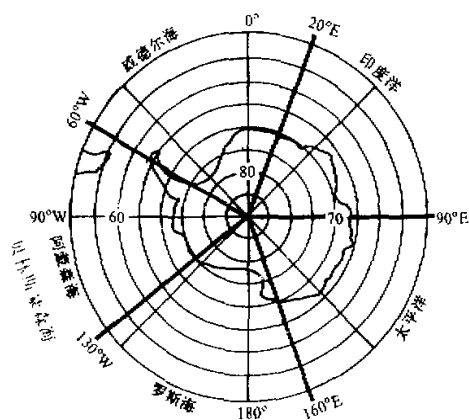


图 1 南大洋海区分区示意

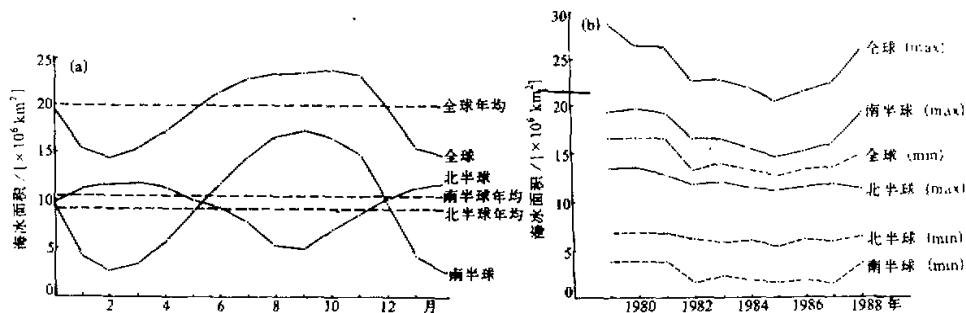
图 2a、b)、主要得到以下结果。

(1) 多冰期与少冰期都历经一个稳定的少变期, 一般为 2~3 个月;

(2) 多冰期与少冰期之间辗转变化中, 南半球海冰存在着一个突变(骤增、突减)过程, 而北半球海冰的突变过程并不明显;

(3) 就海冰密集度 $\geq 50\%$ 范围面积而言, 南半球海冰季节变化明显大于北半球海冰季节变化;

(4) 80 年代中期南、北极海冰密集度 $\geq 50\%$ 范围都出现了低谷期, 这种变化以南极的年最大值尤为明显 (图 2b)。

图 2 (a) 海冰密集度 $\geq 50\%$ 范围累年平均变化曲线 (1979~1988)(b) 海冰密集度 $\geq 50\%$ 范围极值逐年变化曲线 (1979~1988)

4.2 南大洋海冰的时、空分布

海冰的时、空变化是紧密相关的, 因而在分别讨论其时间和空间变化时只能是各有所侧重。

4.2.1 海冰时、空变化的一般特征

南大洋海冰北界方差的大小可从某一侧面反映海冰时、空变化的基本状况, 由海冰北界方差的时、空分布图 (图 3a) 可以清楚地看到, 罗斯海域及威德尔海域是海冰时、空变化都很大的两个海域, 但它们的变化对整个南大洋海冰变化是否有举足轻重的影响, 还取决于此二海域海冰在总体上的比重, 对此后面将进一步讨论。图 3b、c 给出了海冰北界各经圈和各月的平均方差的变化, 就海冰方差平均变化而言, 同样在上两海区比较突出, 而年际变化大的时段是 12 月~次年 3 月和 5、6 月, 即海冰的消融后期~少冰期和海冰骤增期。

我们还相应分析了 1979~1988 年海冰密集度为 $\geq 50\%$ 格点资料的海冰北界逐月变

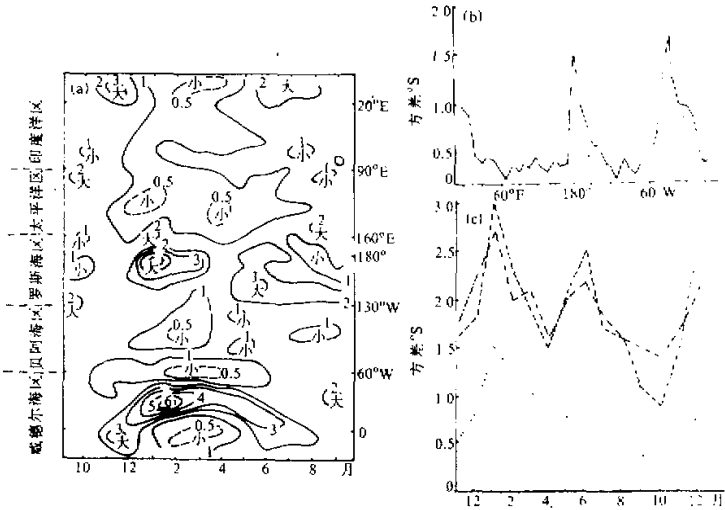


图3 南大洋海冰北界方差 (1973~1982 年)
(a) 海冰北界方差时空分布; (b) 海冰北界经圈平均方差分布曲线; (c) 海冰北界月平均方差分布曲线
实线: 经圈平均; 点线: 各月平均; 断线: 罗斯海月平均; 点划线: 威德尔海月平均

化 (图略), 它们也同样得到了上述结果。

4.2.2 海冰的季节变化

(1) 多冰季与少冰季

定义月海冰面积在年平均面积以上 (下) 的一段时间为多 (少) 冰期; 最大月冰面积与最小月冰面积之差为年较差。表 2 是根据资料 1 制作的。表 2 中给出了南、北半球及全球海冰的多冰期, 增长期, 消融期以及年较差等平均状况。结合图 2b 不难看到以下事实: 南大洋海冰的年变化最大, 其年较差同多冰月的海冰面积量级相当, 多冰月海

表 2 南、北半球及全球海冰多年平均季节变化
(1979~1988 海冰密集度 $\geq 50\%$ 区范围 $\times 10^6 \text{ km}^2$)

项 目 区	平均 年较差 (面积)	多冰期 稳定期	多冰月 平均面积	少冰期 稳定期	少冰月 平均面积	增长期 骤增期	消融期 速融期
南半球	14.526	5~11月 8~10月	9 17.097	11~5月 1~3月	2 2.571	3~8月 4~6月	11月~次年1月 11月~次年1月
北半球	5.724	11~次年6月 1~4月	3 11.942	6~11月 7~8月	9 6.218	9~次年1月 —	4~8月 —
全球	9.309	5~11月 7~11月	10 23.650	11~5月 1~3月	2 14.341	3~7月 —	11月~次年1月 11~12月

冰面积比少冰月海冰面积大一个量级。北半球海冰的年变化最小；南大洋海冰的季节性变化有其独有的特点。无论是在海冰的增长期或是在消融期，南大洋都存在着一个急剧变化期，而全球海冰及北半球海冰的相应期间则无此明显的急剧变化。

(2) 季节变化的年际变化

南大洋海冰密集度 $\geq 50\%$ 范围的年极值不仅有明显的年际变化 (图 2b)。它的季节变化也有明显的年际变化。主要反映在几个方面，一为年极值 (最大、最小) 的出现时间不同且年较差也各异；二为多冰期和少冰期不尽相同，多冰月出现在 7~10 月，少冰月出现在 1~2 月间，再则为海冰的骤增期和骤减期也有明显差异。并且这些特征也有随海域不同而有显著差别。

4.2.3 海冰的空间分布

(1) 南极海冰的剧变区与缓变区

对南极各经圈海冰的多种参数 (海冰北界，海冰北界距平等) 进行统计分析都表现出南极海冰随时间变化的空间分布极不均匀有明显的剧变区和缓变区。威德尔海区是剧变区 (海冰北界年均变幅为 13~15 个纬距)，罗斯海区为次剧变区 (年均变幅为 10~12 个纬距)，印度洋、太平洋等其他三海域为缓变区 (年均变幅仅为 3~6 个纬距)。威德尔海区的多冰月有落后于罗斯海 1 个月的趋势。

(2) 不同季节中的海冰分布特征

对 1974 年南大洋海冰密集度 $\geq 50\%$ 北界的 Fourier 分析 1~3 波结果^[1] (图 4) 表明，1 波的谱密度值 $\geq 50\%$ 出现在 7~10 月，其峰值出现在 9~10 月，2 波在第 30~60 天期间出现一个接近 50% 的密度值，3 波在第 150~170 天 (5~6 月间) 出现了一个谱密度值接近 50%。即：在多冰季是 1 波为主，在少冰期以 2 波为主，在冰的增长期以 3 波为主。这一个例分析结果，在对资料 1 的分析中得到了普遍印证。图 5 给出了南大洋海冰密集度 $> 50\%$ 北界多年平均纬向偏差，在 1979~1988 年 10 年纬向偏差的连续变化 (图略) 过程中也反映了同样的趋势，各年间主要是在波的振幅及波峰、波谷所在经度存在一定差异，多冰期北界廓线峰区位于 0~20°E，谷区位于 100°W 附近，少冰期的两峰分别于 100°E 和 60°W 附近，两谷分别于 180° 和 20°W 附近。这一结果说明南极大陆的宏观地形对海冰的影响存在着显著季节性变化。少冰季受地形影响与多冰季受地形影响也明显不同，特别在南极半岛两侧的诸海域 (威德尔海和罗斯海)。

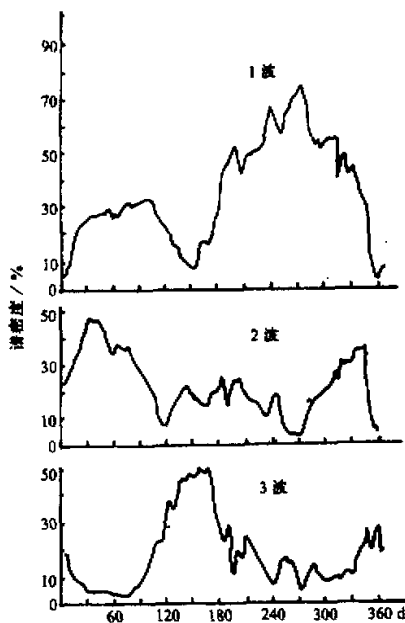


图 4 1974 年南大洋海冰密集度 $\geq 50\%$ 的 1、2、3 波分析

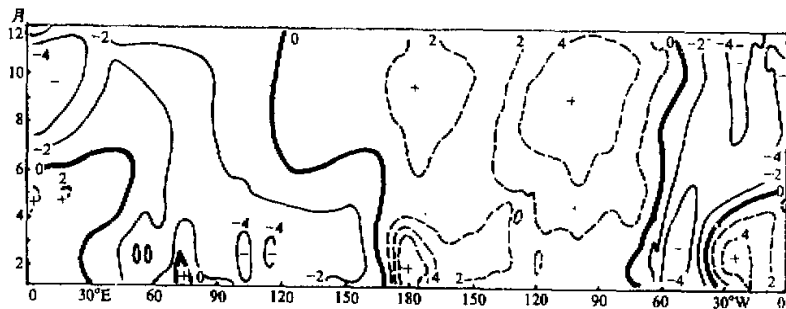


图5 南大洋海冰密集度 $\geq 50\%$ 北界多年平均纬向偏差 (1979~1988年)

同时还表明, 制约海冰变化的因素比较复杂特别在海冰骤增(减)期间。

(3) 威德尔海、罗斯海等海区海冰与南大洋海冰

威德尔海、罗斯海两海域海冰的时、空变化都极为突出, 而变化的量级也相当可观, 因而有必要分析它们在南极海冰的总体构成中的地位。图6是根据资料3所做的南大洋及部分海域海冰(月平均净冰面积)的逐年变化曲线。由图6可看出威德尔海(曲线③)和罗斯海(曲线④)的海冰月平均净冰面积比其他海域, 如太平洋(曲线⑤)及印度洋及阿蒙森和贝林斯豪森海(图略)等海域的相应海冰面积约大2~4倍。而威德尔海及罗斯海的净冰面积和(曲线②)超过了整个南大洋净冰面积总和(曲线①)的一半以上, 且两者有着几乎相同的趋势, 两曲线的相关达0.80以上。这一事实表明, 威德尔海及罗斯海等两海域的海冰在整个南大洋海冰中所占比重是很可观的。但必须指出, 上述两海域海冰的增、减有时同步, 有时是完全反相的(见图6中曲线③、④的1977~1981年时段), 这种变化趋势主要反映在多冰期(图略)。从历年变化曲线, 同样可以看到这一趋势。而罗斯海比威德尔海的海冰距平与整个南大洋的海冰距平有更好的同步趋势(图7)。

4.3 海冰增长、消融期内的海冰剧变过程

在冷暖季的交替过程中, 海冰也历经着由多而少继而再增多的过程, 然而这种交替

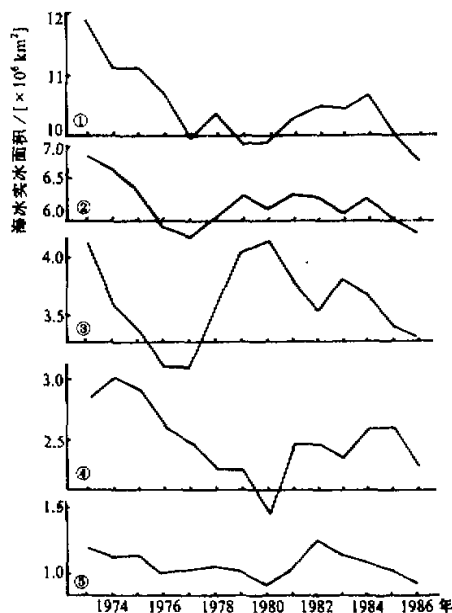


图6 南大洋及部分海区海冰

净冰月平均面积的逐年变化

①南极, ②威德尔海与罗斯海之和,

③威德尔海, ④罗斯海, ⑤太平洋

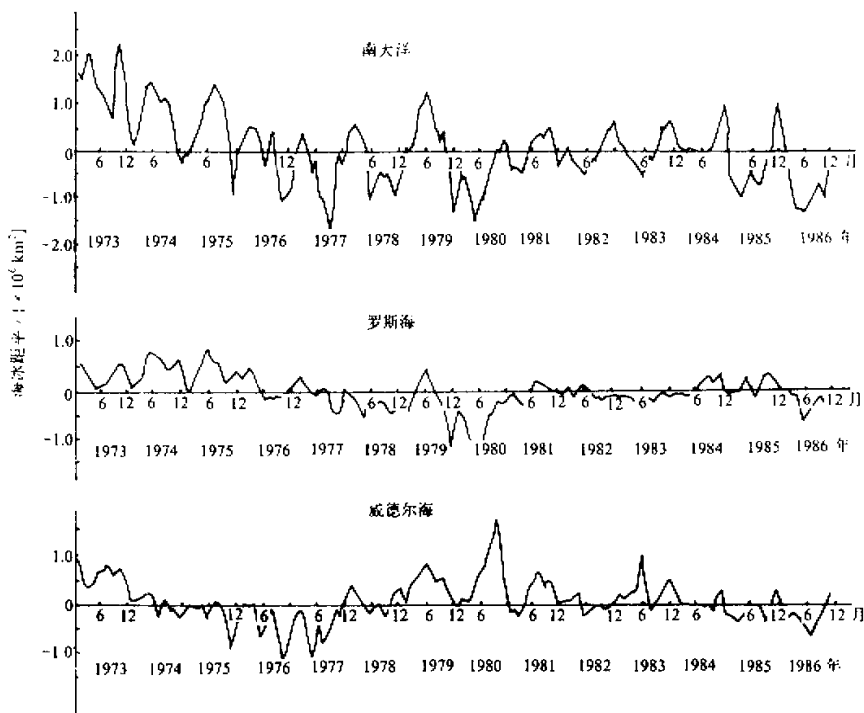


图7 南大洋海冰及部分海区海冰净冰面积距平时间变化

上曲线：南大洋；中曲线：罗斯海；下曲线：威德尔海

过程多有‘突变’发生，尤其在冰的剧变区和次剧变区内，有时相邻两月之间在同—经圈上海冰北界变化可达10个纬距以上，并有自西南向东北方推进的趋势。图8是根据文献[11]中的资料绘制的大海冰密集度 $\geq 60\%$ 北界分析的1980年3~8月威德尔海域海冰增长期中海冰增长过程的实例。曲线3、4、5是海冰自南向东北的过程，两个月的时间里，海冰向东推进了40~60个经度，向北10~15个纬度。向东最大值出现在70~60°S，向北最大值出现在0~30°W。最快时是曲线3~4，在这30天里向东达30个经度以上（沿67°S），在30°W经圈上，向北达10°S以上，平均推动速率达0.9 m/s。显然这一过程的形成与海洋平流以及与其有紧密联系的温盐环流和热交换等因素有关^[2,10]。这种剧变过程在海冰剧变区内的消融期间也有类同的变化趋势。不同的是，海冰在消融期中海冰北界是自东北向西南迅速收缩，其收缩速度明显大于增长期的增长速度。图9给出了威德尔海多年平均海冰北界增长过程（左）和消融收缩过程（右），各月海冰北界廓线变化图。

4.4 南大洋海冰特征距平场

1973~1982南极海冰北界距平场（图略）的连续变化表明，南大洋海冰北界距平无明显的季节变化，而有其自身特征，最大距平变化和最大值均出现在南大洋的海冰剧

变区, 对某一海区而言某种符号的距平一出现可维持比较长的时间, 一般可维持数月, 最长者可维持达 1~2 年之久, 且均出现在威德尔海及罗斯海区。就我们的资料而言, 还不足以确定南大洋海冰有几种海冰距平型, 对此有待日后进一步研讨。就对南大洋海冰有重要影响的威德尔海和罗斯海的海冰距平分布特征来看, 当距平都较大时, 大致有如下 4 种情况。即威德尔海与罗斯海距平为同号(“+”, 如 1973 年, 或“-”, 如 1986 年)和威德尔海与罗斯海为反号(“+”、“-”, 如 1975 年下;“-”、“+”, 如 1980 年夏)。

5 小结

(1) 南大洋海冰范围的季节变化比北半球海冰范围的季节变化显著偏大, 且有最大的年较差;

(2) 南大洋海冰时、空变化分布极不均匀, 威德尔海和罗斯海是变化大的两个海

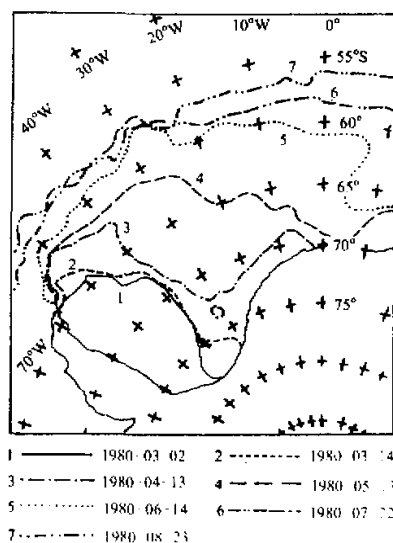


图 8 1980 年 3~8 月威德尔海海冰密集度 $\geq 60\%$ 冰界演变

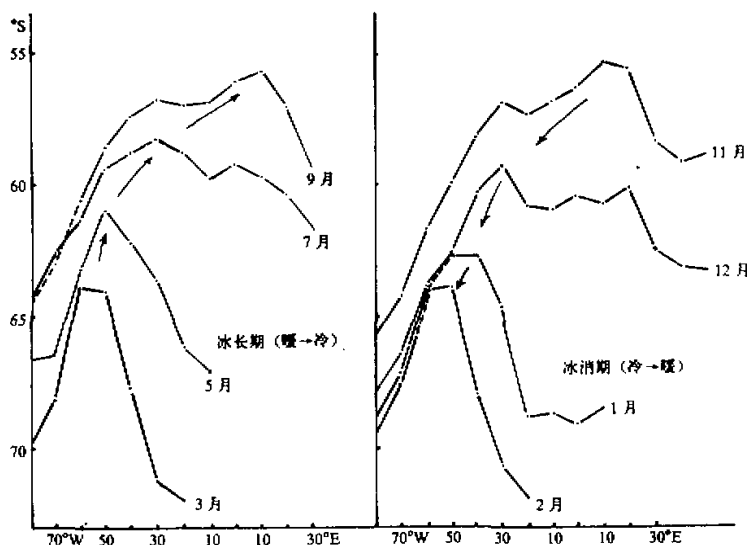


图 9 威德尔海多年月平均海冰北界廓线 (1973~1982)

左: 海冰增长过程 (3~9月); 右: 海冰消融收缩过程 (10~次年 2月)

域,在海冰消融后期(12月~次年3月)和海冰增长中期(5~6月)变化最大,同样,在上述二海域中尤为突出,而存在着海冰剧变区(威德尔海)和次剧变区(罗斯海)与缓变区(印度洋,太平洋,阿蒙森海等);

(3) 南大洋海冰季节变化的年际变化主要反映在各年年较差的大小,多冰期与少冰期的不同;再则是骤增期与骤减期的某些差异。且这些差异也随海域的不同而有所变化;

(4) 南大洋海冰的季节变化还表现在其海冰空间分布的波形随时间有明显变化。多冰期(6~11月)以1波为主(谱密度 $\geq 50\%$),2波在少冰期中(1~2月)3波在海冰的骤增期(5~6月间),表明南极大陆宏观地形对海冰分布的影响在各季显著不同。在多冰期间的稳定期(8~10月)一般影响最不明显。

(5) 威德尔海和罗斯海海冰的净冰面积的和占整个南大洋海冰净冰面积的一半以上,且有很好的同步,显见此两海域海冰在南极海冰的地位是很重要的。

致谢: 本文在完成过程中,得到张学洪、宋正山、陈烈庭、陈善敏、解思梅等教授的热心帮助和提供的宝贵资料,得到杨艳霞同志帮助清绘图表,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 Cavalieri, D.J. and C.L. Parkinson, 1981, Large-scale variations in observed Antarctic Sea ice extent and associated atmospheric circulation, *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 2323~2336.
- 2 Gordon Arnold L., 1981, Seasonality of southern ocean sea ice, *J. Geophys. Res.*, **86**, No. C5, 4193~4197.
- 3 Carsey, F.D., 1980, Microwave observation of Weddell Polynya, *Mon. Wea. Rev.*, **108**, 2032~2044.
- 4 Gloersen, P. and W.J. Campbell, 1988, Variations in the Arctic, Antarctic and global sea ice covers during 1978~1987 as observed with the Nimbus-7 scanning multi-channel microwave radiometer, *J. Geophys. Res.*, **93**, 10666~10674.
- 5 符滨斌, 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, 484~486.
- 6 吴仁广, 陈烈庭, 1994, 南极海冰与南半球大气环流关系的初步探讨, 大气科学, **18**, 增刊, 792~800.
- 7 陈善敏, 卞林根, 贾明群, 1987, 南极海冰和南半球气旋资料图集, 气象出版社.
- 8 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**, No.2, 3~7.
- 9 郭 锐等, 1991, 南极海冰图集及资料, 中国科学技术出版社.
- 10 解思梅等, 1993, 南极海冰变化特征初探, 南极研究, **5**, No.3, 57~62.
- 11 Massom, R. A., 1992, Observing the advection of sea ice in the weddell sea using buoy and satellite passive microwave data, *J. Geophys. Res.*, **97**, No. C10, 15559~15572.

A Study of the Climate Feature of the Antarctic Sea Ice

Li Hongzhou, Liu Ruichen and Xu Yuantai

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

Abstract This paper uses the sea ice data during 1973~1988, and divides the South Ocean into five regions: 20~88°E, 90~158°E, 160°E~132°W, 130~62°W and 60°W~18°E, to analyse the spatial distribution of the Antarctic sea ice extent and its time variation. Some results are very useful to the research of the climatic background.

Key words South Ocean sea ice climatic feature