

南极普里兹湾邻近海域海冰生消发展特征分析*

郑少军, 史久新**

(中国海洋大学教育部物理海洋学重点实验室, 山东 青岛 266100)

摘要: 利用美国冰雪数据中心发布的2003—2008年高分辨率海冰密集度数据,分6个阶段对普里兹湾区域海冰季节性变化的空间分布特征进行了研究,并根据普里兹湾海区的地形和环流对这些特征的成因进行了分析。结果表明,普里兹湾海冰冻结过程和融化过程分别经历7个月和5个月,海冰融化速度最快月份是10月和11月,主要表现为海冰密集度的减少;海冰冻结速度4月和6月最快,海冰外缘线向北扩展。由于普里兹湾近岸达恩利角冰间湖、普里兹湾冰间湖和Barrier湾冰间湖的存在,海冰的融化呈现大洋区由北向南、近岸区由南向北的双向融化特征;而在普里兹湾口、弗拉姆浅滩和四女士浅滩均存在不易融化的冰舌,两者之间的低密集度海冰区,则对应于暖水侵入普里兹湾的通道。南极绕极流在流经凯尔盖朗海台中部时向北偏转,造成此处处在盛冰期较其它经度的海冰外缘更靠北,可达 5°S 。南极辐散带的表层场和上升暖流抑制海冰冻结和聚集,形成了低海冰密集度区域。

关键词: 海冰; 海冰生消发展; 普里兹湾; 南极

中图法分类号: P728.2

文献标志码: A

文章编号: 1672-5174(2011)7/8-009-08

南极是全球大气热机运转的冷源,对于全球大气和海洋环流以及气候的变换起着重要的作用,海冰则是冷源的关键要素^[1]。海冰通过热力学、动力学过程以及在时空上的反馈机制对地区乃至全球的气候状态和变化起着极其重要的作用^[2]。南极海冰对大气-海洋间相互作用有重大影响,特别是对深海洋区中冬季的结冰和发育造成的垂向对流、夏季的融化是形成南极表层水,进而形成南极中层水的主要原因。南极陆架区的海冰兴衰过程是形成南极陆架水的直接原因,它与变性南极绕极深层水混合并受到冰川冰的进一步冷却作用,成为形成南极底层水的主要水团。南极海冰区是南大洋生物的主要生长区,海冰变化对海洋食物链和海洋生物资源造成重大影响^[3]。

普里兹湾是南极大陆除了威德海和罗斯海之外,凹进南极大陆最深的海湾。其位于 $67^{\circ}45'\text{S}\sim 69^{\circ}30'\text{S}$, $70^{\circ}\text{E}\sim 80^{\circ}\text{E}$ 所围成的区域内,西与达恩利角相临,湾北为凯尔盖朗海台(图1给出的仅为其南部),湾底与埃默里冰架相接,湾内东、西分别为四女士浅滩和弗拉姆浅滩,2个浅滩中间是水深大于500m,呈东南-西北走向的凹槽,它是湾内外交换的主要通道。冬季,整个海湾冰封,冰厚可达2m,夏季,海冰大部分消融,但仍有个别区域被浮冰覆盖,且覆盖区多变^[4]。海冰时空变

化是影响夏季普里兹湾表层陆架水的重要因素^[5-7]。我国自1989年建立中山站($76^{\circ}22'40''\text{E}$, $69^{\circ}22'24''\text{S}$,见图1)以来,考察船经常要穿越普里兹湾浮冰区进入中山站进行后勤补给和人员更换,并且开展普里兹湾区域的综合科学考察。因此,全面认识普里兹湾所在区域的海冰分布特征不仅能够更好理解该区域的海冰变化规律,为安全航行提供保障,而且能为普里兹湾生物和化学等研究提供依据。

国内外对南极海冰的研究已经取得了很多成果,但多集中于大尺度海冰变化规律^[8-11],海冰变化与ENSO、全球海平面变化、温度场等的关系^[12-14],以及南极海冰变化对中国的影响^[15-16]等,针对普里兹湾区域海冰分布的研究非常有限^[17-21]。张林等^[17]用卫星资料计算了普里兹湾海冰北界多年逐月平均值和距平值,并与实测资料进行了对比,指出普里兹湾海冰季节变化很显著,然而由于当时卫星数据的空间分辨率只有25km,无法给出细致的海冰空间分布特征。Tang等^[19-20]基于考察船走航观测资料,对南极威德尔海至普里兹湾之间海冰分布进行了研究,反映考察船航线上的海冰分布特征,无法刻画海冰整体空间分布特征和季节变化规律。Rintoul等^[21]研究表明在普里兹湾东部 85°E 附近存在1个明显的北向突出的“冰舌”。就目前发表的论文看,

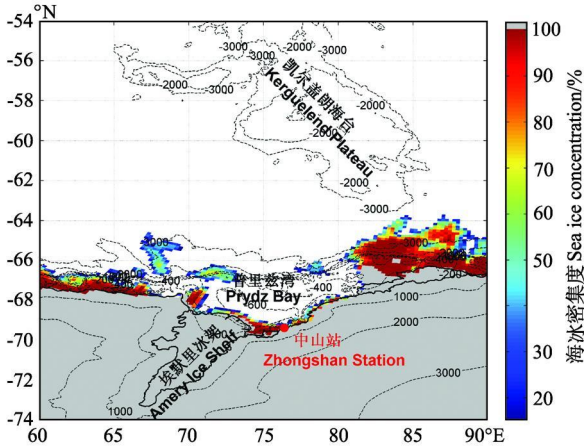
* 基金项目: 国家自然科学基金项目(40676011); 国家科技支撑计划项目(2006BAB18B02); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-10-0720)资助

收稿日期: 2010-12-02; 修订日期: 2011-01-04

作者简介: 郑少军(1983-),男,博士生,主要从事极地物理海洋学研究。

** 通讯作者: E-mail: shijuxin@ouc.edu.cn

对普里兹湾海冰的变化规律和空间分布仍缺乏全面和细致的研究。本文将利用较高分辨率海冰密集度资料,结合地形、气象资料以及对该海域水团和环流的认识,分析普里兹湾区域的海冰季节变化规律和空间分布特征。



(色标为海冰密集度(15~100);灰色部分为陆地和冰架;黑色等值线为等深线。Color bar denotes ice concentration(15~100); Gray part denotes land and ice shelves; Black contours are isobaths.)

图1 南极普里兹湾及其邻近海域地形以及2003年1月1日海冰密集度分布图

Fig. 1 Bathymetry of the Prydz Bay region and sea ice concentration on 1 Jan., 2003

1 数据及处理

本文海冰卫星遥感数据来自美国冰雪数据中心 NSIDC(National Snow and Ice Data Center)提供的 AMSR-E/Aqua 海冰密集度数据^[22](见图1)。该数据序列为逐日资料,采用极方位立体投影,空间分辨率为12.5 km,所用数据的时间范围为自2003年1月1日到2008年12月31日。水深及地形高度场采用 NGDC(National Geophysical Data Center)的ETOPO2数据。风场数据采用 NCEP/NCAR 全球月平均再分析资料^[23]。

本文用海冰面积来量化普里兹湾海冰。海冰面积是海冰资料格点中海冰密集度大于15%的纯海冰面积的总和^[1],即用大于15%的海冰密集度乘以对应网格的面积得到该网格海冰的面积,然后将计算区域内的所有网格海冰的面积相加,便可得到所要计算区域的海冰面积。本文计算普里兹湾的海冰面积时,东西方向取70°E~80°E,南从海岸和冰架开始,向北一直累加到海冰外缘线。海冰范围是计算研究区域内海冰密集度大于

15%的所有网格面积的和。根据研究所需,分别计算了多年日平均、多年月平均海冰面积和海冰范围。

2 普里兹湾海冰面积的季节变化规律

作者首先简要分析普里兹湾海冰面积的季节变化特征,从而为海冰空间分布特征研究提供基础。从2003—2008年普里兹湾逐日海冰面积(见图2)可以看到,普里兹湾区域海冰面积变化存在明显的年周期。一般而言,海冰面积在2月底达到最小值,之后从3月份海冰开始冻结,直到9月份海冰面积达到最大值;10月份海冰开始融化,到下一年2月达到最小值,构成1个年循环。海冰融化过程和冻结所经历的时间是不同的,海冰融化过程经历约5个月,而海冰冻结过程经历约7个月时间,这与整个东南极海冰的年变化规律相同^[8]。融化和冻结时间的不同说明海冰融化速度和冻结速度存在差异,为了便于定量分析这一差异,计算了2003—2008年多年月平均的海冰冻结和融化面积指数^[8],即用当月的海冰面积减去前1个月海冰面积,差值为正值则为冻结,为负时则为融化,同理计算了海冰范围的季节变化情况(见图3)。从图3可以看到,海冰在冻结和融化阶段存在明显的阶段性,海冰融化阶段海冰面积和海冰范围分别在11和12月减少最快,海冰冻结阶段两者在4月份增长最快。该结果与卞林根等^[11]所得出的整个南极海冰面积融化和冻结最快月份的分别为12~1月和4~5月结论稍有不同,反映了普里兹湾局地的海冰变化特征。对比同一月份海冰面积和海冰范围可以看到两者的变化并非同步的,比较明显的是在10月,海冰面积减少值明显大于海冰范围减少值,而在12月海冰面积减少值却明显小于海冰范围减少值。因此海冰融化和冻结存在几个明显的阶段性,10月为海冰融化初期,海冰开始缓慢融化,海冰面积和海冰范围相比9月缓慢减少,之后11~12月为海冰融化中期,海冰快速融化,海冰面积和海冰范围均迅速减少,并且减少值分别在11和12月到达极值,到1~2月进入海冰融化末期,海冰面积和海冰范围又缓慢减少;3月份为海冰冻结初期,海冰缓慢冻结,海冰面积和海冰范围相比2月缓慢增加,之后4~8月为海冰冻结中期,海冰快速冻,海冰面积和海冰范围迅速增加,并在4月增加值达到最大,到9月份进入海冰冻结末期,海冰面积和海冰范围又缓慢增加。

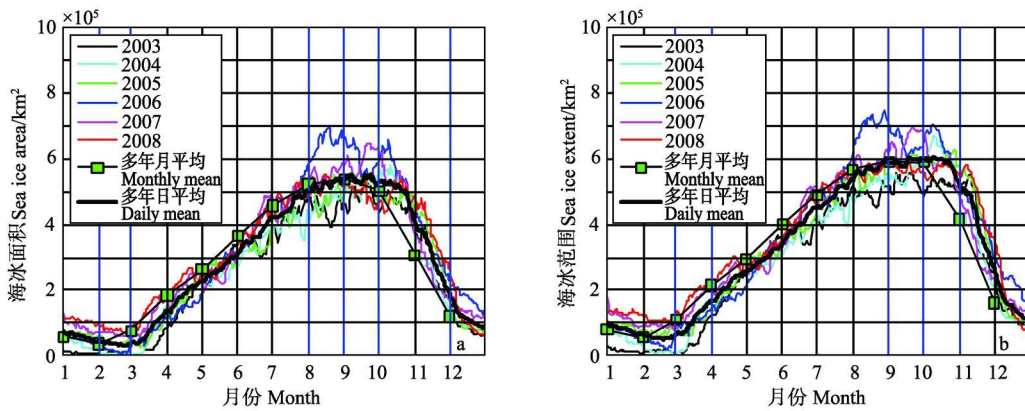
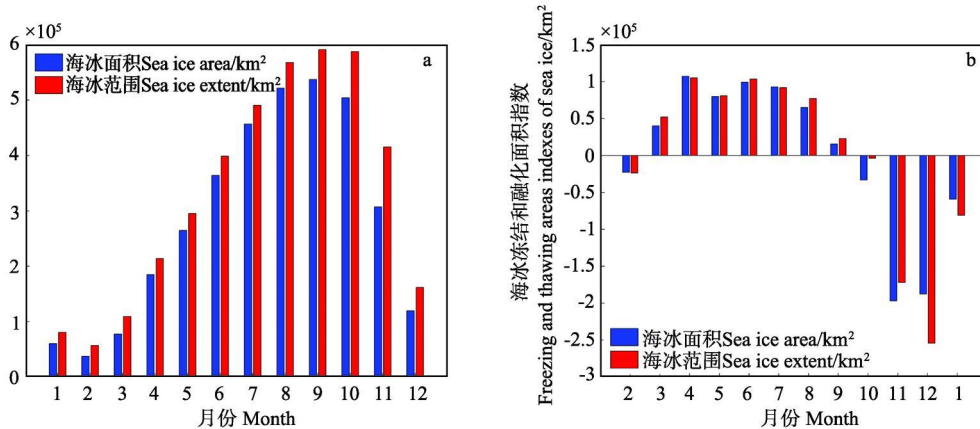


图2 普里兹湾 2003—2008 年海冰面积 (a) 和海冰范围 (b) 变化指数

Fig. 2 Sea ice area (a) and sea ice extent (b) indexes of the Prydz Bay region from 2003 to 2008



(蓝色为海冰面积; 红色为海冰范围。Blue denotes sea ice areas; Red denotes sea ice extent.)

图3 普里兹湾 2003—2008 年多年月平均海冰面积和海冰范围 (a) 和多年月平均的海冰冻结和融化面积指数 (b)

Fig. 3 Monthly sea ice area (a) and extent freezing and thawing areas indexes (b) from 2003 to 2008 in the Prydz Bay

3 普里兹湾海冰季节性变化阶段的空间分布特征

根据以上分析的普里兹湾海冰融化和冻结过程的差异, 本节对上述 6 个阶段海冰空间分布特征进行分析, 即海冰融化初期 (10 月), 海冰融化中期 (11~12 月), 海冰融化末期 (1~2 月), 海冰冻结初期 (3 月), 海冰冻结中期 (4~8 月), 海冰冻结末期 (9 月), 并且选取各个时期中具有代表性的月份进行详细讨论。为了方便分析海冰融化和冻结不同阶段海冰变化的主要原因, 本文计算了 2003—2008 年多年月平均海冰外缘线 (见图 4), 即普里兹湾区不同月份海冰密集度大于 15% 的海冰所能到达的最北端。

3.1 海冰融化初期 (10 月)

海冰的范围和面积在 9 月达到极大值, 自 10 月海冰开始融化。相比 9 月份, 海冰范围没有明显变化 (见图 3), 其原因是海冰外缘线 (见图 4) 没有明显的向南退缩。相比海冰范围, 海冰面积减少显著。因此, 海冰融化初期主要以海冰密集度减少为主, 即体现为浮冰

区内部的融化。比较图 5j 和图 5i, 可以看到海冰面积的减少主要来源于海冰覆盖区北部、特别是凯尔盖朗海台处海冰密集度的减小。该处的海冰外缘线接近 57°S, 比其它区域偏北约 1 个纬度。这样, 10 月的海冰分布在海台处体现出海冰分布范围较大、但密集度较小的特征。这一特征的形成, 可以联系海洋环流的形式来解释。东向的南极绕极流在经过凯尔盖朗海台时, 分成 3 支, 分别从其北部、中部和南部绕过^[24-25]。从海台中部通过的分支绕过海台南部的海山的北部, 将海冰带到更低纬度, 形成了海冰外缘线偏北的现象; 而转向东南方向的流动, 能将低纬的能量携带至海台区域, 从而使海台处的海冰先融化, 海冰密集度减小。另外, 海台处来自西北方向的风将低纬度的暖空气带过来, 也有利于此处海冰的消融。比较而言, 近岸区海冰变化并不明显。因此, 这个时期, 海冰的融化主要体现在北部海冰密集度的减小。

3.2 海冰融化中期 (11~12 月)

相比 10 月份, 11 月份为海冰快速融化时期。海冰面积和海冰范围都显著减少, 且海冰面积的变化在所

有月份中达到极大值(见图3)。海冰面积的减少值仍大于海冰范围减少值,说明海冰融化仍以海冰密集度减少为主。从图5k可以看到,63°S以北区域海冰密集度显著减少,海冰外缘线南移,而且之前海台处存在的海冰外缘线北向突出已经不存在;而63°S以南仍以海冰密集度大于70%的密集冰区为主,但是在近岸处却出现了3个海冰密集度的低值区,即形成了达恩利角冰间湖(68°E~70.5°E)、普里兹湾冰间湖(75°E~79°E)和Barrier湾冰间湖(在78.8°E与普里兹湾冰间湖相连接)^[26],从陆坡附近直到海岸。总体上看,11月的海冰密集度空间分布上呈现出随纬度增加先增加后减少再增加的特殊分布。对比图5k和图5j可以看到,海冰的融化并不是单单从北向南整体推进,而是从南北2个方向进行。近岸冰间湖的出现无疑是造成这一特殊分布的关键因素。南极的冰间湖多出现在沿岸地区^[27],主要原因是南极地区特殊的海陆分布特征,使南极大陆沿岸产生强的下降风,将浮冰吹离岸边,形成潜热型冰间湖^[28]。在融冰期间出现的冰间湖显然与海冰的融化相关,只有海冰密集度减少,产生了较多的冰间水域,才能在风力的作用下,形成冰间湖这样大面积的集中开阔水域。当然,这3个冰间湖的形成还有地形、海洋环流等其他因素的影响。值得注意的是在四女士浅滩与弗拉姆浅滩之间存在1个低海冰密集度区域,且从79°E,64°S可以扩展到75°E,66°S。夏季的观测表明,这里正是大洋区的绕极深层暖水进入普里兹湾的通道^[29]。如果11月也存在进入普里兹湾的暖水,将有助于普里兹湾内海冰的融化,这一推论尚有待于春季海洋观测资料的支持。同时,西向的陆坡流流经此处时,由于不再受到四女士浅滩的阻挡,可以向南侵入到湾内,从而为海冰融化提供能量,也可能是湾内海冰减少的原因。

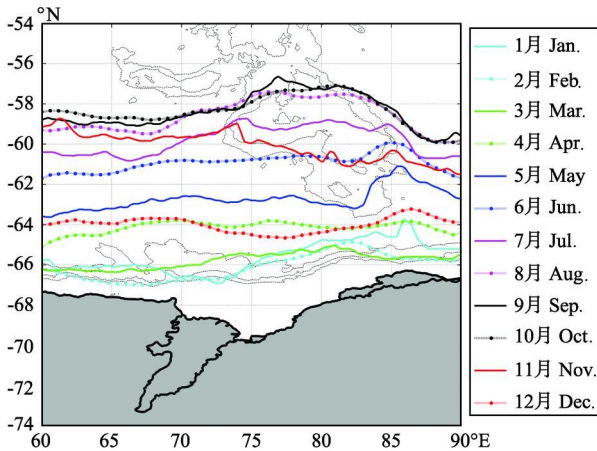


图4 普里兹湾2003—2008年多年月平均海冰外缘线
Fig. 4 Monthly sea ice edges from 2003 to 2008 in the Prydz Bay

12月份仍为海冰快速融化时期,海冰面积和海冰范围仍继续减少,但海冰范围减少值明显大于海冰面积减少值,且为全年之最(见图3)。该月海冰融化以海冰外缘线向南退缩为主,海冰外缘线整体上急剧向南退缩至64°S附近(见图4)。上文提到的3个冰间湖的海冰密集度继续减少,出现海冰密集度小于15%的开阔水域,且普里兹湾冰间湖和Barrier湾冰间湖连成一片。而11月已初现端倪的四女士浅滩与弗拉姆浅滩两处密集海冰之间的低密集度冰区也充分发展,形成了1个海冰密集度低于60%的区域,该区域大约以74°E,67°S为中心呈西北-东南走向,且中心位于普里兹湾口的深水道。如前所述,这一低值区的形成很可能与湾外深层暖水和沿岸流侵入湾内有关。低值区两侧的高密集度海冰区很早就受到中国学者的关注^[1,10],因为它们经常成为考察船进出普里兹湾的障碍,被称为湾口的“冰坝”。从本文的海冰密集度图上看,盘踞湾口的这两条冰坝分别处于弗拉姆浅滩和四女士浅滩,与地形有非常好的对应;湾口东侧的冰坝从西冰架大体沿着四女士浅滩形成了1条东北-西南走向的冰舌,与陆坡流的方向一致^[25];而湾口西侧的冰坝则来自普里兹湾的西侧,与湾内顺时针流场的出流一致^[30]。在达恩利角存在不封闭的逆时针的环流,当海流流经弗拉姆浅滩时,受该浅滩的阻挡而向北和西形成逆时针的绕流,从而造成了海冰在达恩利角以东堆积形成密集冰区。该冰舌在夏季经常存在,即使在湾内海冰融化较多的月份(如2003年1月)依然存在。综上所述,这两条冰坝的形成,与普里兹湾的地形和环流场有密切的关系。

3.3 海冰融化末期(1~2月)

相比12月份,1月份为海冰缓慢融化时期。1月份海冰面积和海冰范围都缓慢减少,且海冰范围减少值大于海冰面积减少值(见图3),即海冰融化仍以海冰外缘线的退缩为主。北部海冰外缘线退缩至65°S以南(见图4),而且普里兹湾内无冰水域的范围也比12月份扩大,呈东北-西南走向,大致位于湾东部73°E~82°E的区域,南北跨越可以达到2个纬度;浮冰区密集度也明显减少,除了几个孤立的密集冰区,海冰密集度多已降到50%以下(见图5a)。达恩利角以东冰舌的范围减少,沿着达恩利角突出的方向呈东北-西南走向,占据67.4°S~68.3°S,70°E~71.5°E的区域。四女士浅滩处的冰舌最南端位于76°E,67°S,海冰密集度约为70%,沿着东北-西南走向海冰密集度逐渐增加,在82°E,65.5°S与西冰架外密集度为100%密集海冰相接。在85°E存在海冰密集度为15%的海冰突出,其最北端可以达到63.5°S附近,这也是1月多年平均海冰所能达到的最北端。上文提到的南极绕极流的东南分

支绕过海台后急剧向北偏转^[25], 可能是形成这一北向的突出的主要原因。值得注意的是, 埃默里冰架前缘的东部还存在 1 个密集冰区, 位于 $73^{\circ}\text{E} \sim 77^{\circ}\text{E}$, 最北端可达到 69°S 。这个密集冰区恰位于冰架与海岸形成的小湾内。

2 月海冰的范围和面积都进一步减小(见图 3), 海冰面积达到最小值(见图 2), 但海冰融化的速度较前 3 个月已经明显减慢。2 月海冰分布情况与 1 月相似, 集中在普里兹湾东西两侧的近岸区域和湾口的陆坡附近(见图 5b)。近岸达恩利角冰间湖和普里兹湾内开阔水域范围继续扩大, 湾口的 2 条冰舌虽仍然存在, 但是海冰密集度已降至 70% 以下。西冰架外缘存在海冰密集度为 100% 的密集海冰。此外, 60°E 附近、埃默里冰架前缘东部和西冰架以西依然存在海冰密集度达到 100% 的密集海冰。

3.4 海冰冻结初期(3 月)

随着气温的降低, 从 3 月份开始海冰进入冻结时期, 海冰面积和范围都缓慢增加, 且海冰面积的增加值小于范围增加值(见图 3), 但海冰外缘线向北扩展并不显著, 其扩展主要位于 $60^{\circ}\text{E} \sim 75^{\circ}\text{E}$ 范围内, 其它区域海冰边缘线基本上不变(见图 4)。相比 2 月份, 达恩利角冰间湖、普里兹湾冰间湖和 Barrier 湾冰间湖所在位置海冰密集度明显增加, 海冰冻结以湾内冰间湖所在位置海冰密集度的增加为主。原来的冰间湖已全部为海冰覆盖, 整个冰区不存在任何无冰水域。除此之外, 达恩利角以东和四女士浅滩处海冰密集度也明显增加。达恩利角以东高密度海冰从 $70^{\circ}\text{E}, 68^{\circ}\text{S}$ 向东北方向延伸, 与沿着陆架坡折呈东北-西南走向的四女士浅滩处的海冰连成一片, 从而形成湾口陆架坡折处海冰密集度高于其南部和北部的特殊海冰分布特征。西冰架以北 $82^{\circ}\text{E} \sim 84^{\circ}\text{E}$ 之间依然存在海冰密集度为 80% 的密集海冰, 相比 2 月份其海冰密集降低, 控制范围减小, 由此可以看到当湾内大部区域海冰开始冻结时, 西冰架北部的海冰密集度仍处于减少阶段, 其开始冻结阶段相比湾内要晚。2 月份在 60°E 附近和埃默里冰架前缘以东的密集冰区范围均显著减小甚至消失。总体上看, 相对于前 3 个月而言, 3 月的海冰覆盖区内密集度的差异明显减小, 呈现相对均一的态势, 即海冰冻结初期的区域性差异不大, 这与融化期密集冰区与开阔水域并存的分布特征(见图 5a、b 和 l) 形成鲜明的对比, 体现出该区域海冰冻结和融化过程的差别。

3.5 海冰冻结中期(4~8 月)

从图 3 可以看到, 4~8 月为海冰快速冻结时期, 在此阶段海冰面积和海冰范围增长速度都较快。一方面, 海冰外缘线大幅度地逐步向北扩展, 从 66°S 的陆坡附近, 一直推进到 59°S 附近, 北进了 7 个纬度(见图

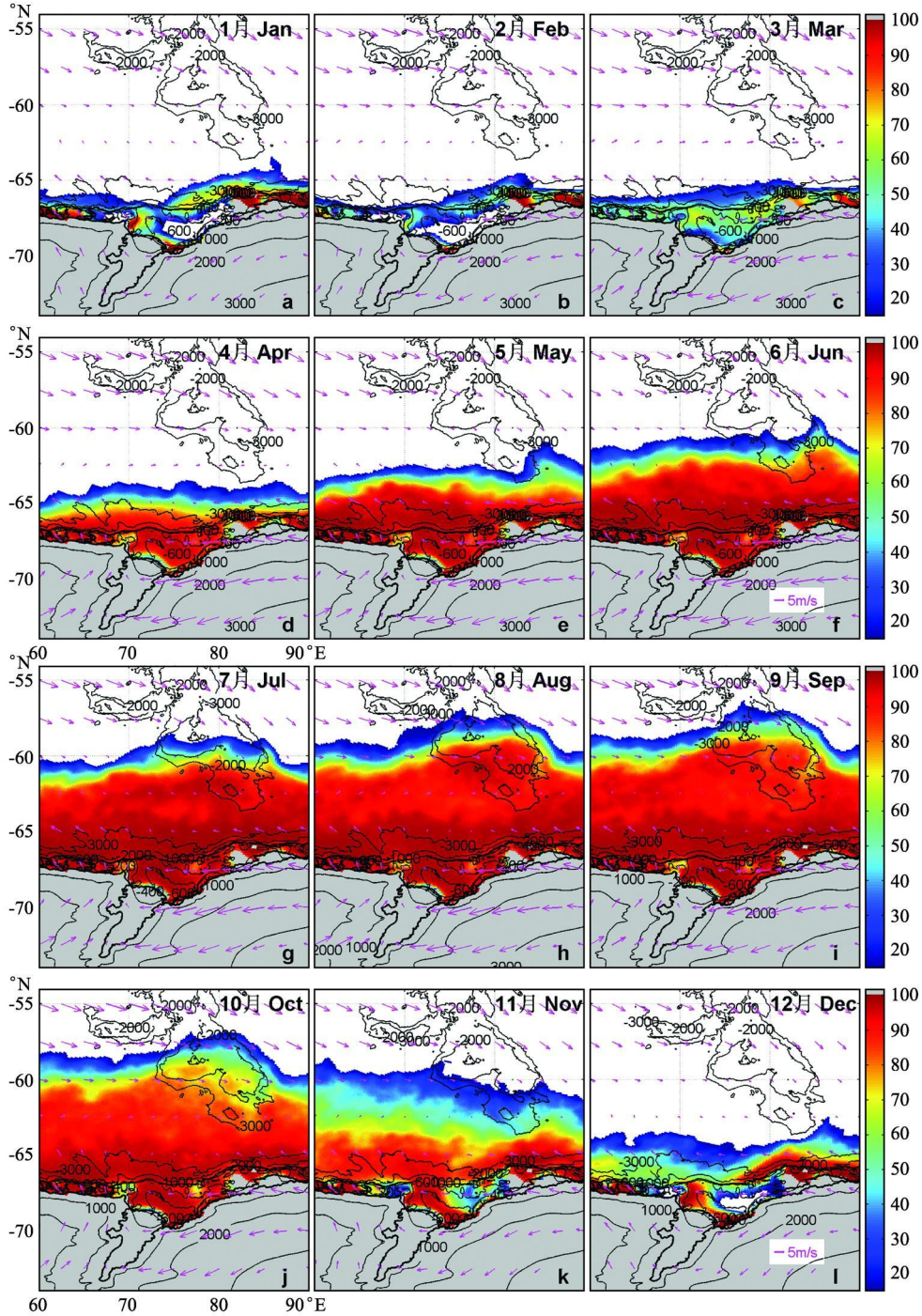
4); 另一方面, 海冰密集度也显著增加, 只是在海冰外缘线以南约 2 个纬度之内海冰密集度可以低于 70% (见图 5e~h), 在此之南绝大多数是密集冰区。只是在达恩利角以北、沿埃默里冰架前缘, 西冰架前缘的 86°E 处存在小块的密集度为 70% 的海冰区域, 如前所述, 这些区域存在的强烈南极下降风是形成这些冰间湖的主要原因。在 $78^{\circ}\text{E}, 67^{\circ}\text{S}$ 的四女士浅滩以南也存在小块海冰密集度为 70% 的区域, 这可能与进入湾内的暖水有关。4 月份是海冰冻结速度最快的阶段, 海冰面积增长值略大于海冰范围增长值。4 月份普里兹湾海冰密集度明显增加, 整个普里兹湾被密集海冰所覆盖, 海冰冻结主要表现为普里兹湾海冰密集度的增加(见图 5d), 5 月份海冰面积和海冰范围增长值小于 4 月份和 6 月份, 体现出海冰增长过程的复杂性。作者认为, 造成这一现象的主要原因是 5 月份海冰外缘线推进到了南极辐散带^[30-31] 所在位置。由于南极辐散带北部为终年西风所控制的东向流(南极绕极流), 南部为极地东风控制的西向流(南极沿岸流), 从而在该处形成了辐散上升流。一方面, 辐散带南侧的偏南流, 阻碍了海冰外缘线的北进; 另一方面, 上升流携带深层暖水为海冰融化提供能量, 阻碍海冰密集度的增加。因此, 辐散带成为浮冰区扩张的障碍, 从而使 5 月份海冰增长速度低于 4 月份和 6 月份。从图 5e 可以看到, 5 月份沿岸区域基本上被密集度为 100% 的密集海冰所覆盖, 大洋区海冰向北最远可以扩展到 61°S 附近, 海冰密集度超过 80% 的海冰基本上分布于 64°S 以南的区域, 海冰密集度向北逐渐减小, 海冰外缘线在 $60^{\circ}\text{E} \sim 84^{\circ}\text{E}$ 之间基本上沿着 63°S 纬线, 在中部稍微向北突出, 而在 85°E 附近海冰外缘向北突出明显, 可达到 61°S , 比其东部 83°E 附近的海冰外缘突出接近 2 个纬度。Rintoul 等^[21] 研究表明, 85°E 附近受地形限制的近岸流和异常南向的风场是形成这一北向突出的主要原因。从地形上可以看到 3 000 m 等深线在 $83^{\circ}\text{E}, 63^{\circ}\text{S}$ 存在明显的向南弯曲, 东向的南极绕极流绕过海台南端后而转向东北^[25], 从而形成了在 $83^{\circ}\text{E}, 63^{\circ}\text{S}$ 海冰外缘略向南凹进, 而在 $85^{\circ}\text{E}, 61^{\circ}\text{S}$ 海冰向北明显突出的特殊海冰分布特征。同样, 当东向的南极绕极流绕道凯尔盖朗海台中部的凹陷时, 能将高纬度冷水带到北部, 从而使海冰外缘线从 7 月份开始形成在凯尔盖朗海台处明显北向突出的特征。

3.6 海冰冻结末期(9 月)

9 月海冰面积达到最大值(见图 2), 海冰冻结速度达到最小值, 海冰范围和海冰密集度的增加非常有限(见图 3), 海冰外缘线与上个月相比变化不大(见图 4), 为海冰冻结末期。此时海冰外缘线在东西方向上基本上平行于等深线, 仅在凯尔盖朗海台北部存在沿

2 000 m 等深线向北的突出, 可以达到 57°S, 仍然体现了海台的重要影响。随着纬度的升高, 海冰密集度逐渐增加, 而在 63°S 附近稍微降低, 然后继续增加, 在 64°S 以南除达恩利角以北、埃默里冰架前缘和四女士浅滩以外, 海冰均为密集度为 100% 的密集冰区。值得注意的是 60°S~ 64°S 之间的海冰密集度约为 90%, 而

其南部和北部均存在密集度为 100% 的海冰, 特别是在 73°E~ 80°E 之间这种现象尤为显著, 这种特殊的海冰分布特征同样是由于南极辐散带造成的。辐散的流场使海冰在辐散带不易聚集, 上升的暖水阻碍海冰的增加, 从而最终形成了海冰密集度比其南部和北部都略低的特征。



(品红箭头为 2003 年到 2008 年多月平均 10 m 高的风速, 灰色的为陆地。其它同图 1 一致。Magenta arrow denotes monthly wind velocity from 2003 to 2008 in 10 m. Other figure settings are the same as Fig. 1.)

图 5 2003 年到 2008 年多月平均海冰密集度

Fig. 5 Monthly sea ice concentration from 2003 to 2008

4 结论

本文利用美国冰雪数据中心提供的 2003—2008 年高分辨率海冰密集度数据,结合风场数据和以往的水团和环流研究结果,对普里兹湾区域海冰的季节变化和空间分布特征进行了讨论,得出如下结论:

(1) 普里兹湾区域海冰面积呈现相对稳定的季节变化规律,表现为自 3~9 月份为海冰冻结阶段,9 月份海冰面积达到最大值,自 10 月到下一年 2 月份为海冰融化阶段,2 月份海冰面积达到最小值。海冰冻结过程和融化过程分别经历 7 和 5 个月。

(2) 海冰冻结速度和融化速度存在差异,海冰融化速度最快月份是 10 和 11 月,海冰冻结以 4 和 6 月为最快,而 5 月的冻结速度有所降低。海冰融化阶段,10~11 月份海冰融化以海冰密集度减少为主,之后 11~2 月份海冰融化以海冰外缘线向南退缩为主。海冰冻结阶段,2~4 月份海冰冻结以海冰密集度增加为主,之后 4~9 月份海冰冻结以海冰外缘线向北扩展为主。

(3) 普里兹湾近岸存在达恩利角冰间湖、普里兹湾冰间湖和 Barrier 湾冰间湖,这 3 个冰间湖自 11 月份开始出现到下一年 2 月份冰间湖面积达到最大值,冰间湖可以维持约 4 个月的时间,且普里兹湾冰间湖与 Barrier 湾冰间湖经常连成一片,从而形成大面积的冰间开阔水域。由于普里兹湾近岸冰间湖的存在,在海冰融化阶段,形成了海冰密集度从大洋到陆架坡折处先增加,到湾内冰间湖区减少,在埃默里冰架前缘又增加的特殊海冰分布。因此普里兹湾海冰存在大洋区由北向南融化,近岸区由南向北融化的特征。这种特殊的融化机制不仅会加速普里兹湾近岸海冰的融化,同时也将影响湾内海洋过程。

上述研究使作者对于普里兹湾区域海冰的季节变化和空间分布特征有了较全面的认识,下面对影响普里兹湾海冰分布的因素进行简要讨论。位于达恩利角以东和四女士浅滩处冰舌,与地形有非常好的对应,两冰舌之间的低密集度海冰可能由于从湾口深水道侵入湾内的暖水形成。南极绕极流在流经凯尔盖朗海台时,在海台中部向北偏转,从而形成使 8~10 月海冰外缘线在海台处形成向北的凸起,最北可达 57°S。南极绕极流在流经凯尔盖朗海台时绕过海台南部后转向东北,使 5 月海冰外缘线在 85°E 附近向北突出明显。受南极辐散带的表层辐散流和上升暖流的影响,5 月海冰外缘线跨越南极辐散带时受阻;在冬季冰盛期,南极辐散带处海冰密集度明显小于周围区域。南极大陆下降风有利于普里兹湾近岸冰间湖的产生,海冰融化初期西北方向的风带来低纬度的暖空气,从而有利海台处海冰融化,异常南向的风场是 85°E 附近向北突出另 1

个主要原因。因此地形、流场和风场均对普里兹湾海冰分布特征具有重要影响,但其具体过程仍有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 解思梅,魏立新,郝春江. 南极海冰和陆架冰的变化特征[J]. 海洋学报, 2003, 25(3): 32-46.
- [2] 唐述林,秦大河,任贾文,等. 极地海冰的研究及其在气候变化中的作用[J]. 冰川冻土, 2006, 28(1): 91-100.
- [3] 董兆乾,梁湘三. 南极海冰、冰穴和冰川冰及其对水团形成和变性的作用[J]. 南极研究, 1993, 5(3): 1-16.
- [4] 董兆乾,内维尔·史密斯,诺尔斯·克里,等. 南极普里兹湾海域夏季的水团和环流[C]. // 董兆乾. 南极科学考察论文集(第二集),北京:海洋出版社,1984: 1-24.
- [5] 孙日彦. 南极普里兹湾海域夏季异常表层水温及其成因[J]. 青岛海洋大学学报, 1994, 24(4): 593-598.
- [6] 周培强,孙日彦. 南极普里兹湾海域水文特征研究—夏季温、盐分布特征及底层水形成的探讨[J]. 青岛海洋大学学报, 1995, 25(4): 445-452.
- [7] 蒲书箴,葛人峰,董兆乾,等. Emery 冰架北缘盐结构的不均匀性及其成因[J]. 海洋科学进展, 2007, 25(4): 376-382.
- [8] 解思梅,郝春江,钱平,等. 南极海冰变化特征初探[J]. 南极研究, 1993, 5(2): 57-62.
- [9] Zwally H J, Comiso J C, Parkinson C L, et al. Variability of Antarctic sea ice 1979—1998 [J]. Journal of Geophysical Research, 2002, 107(C5): 3041. DOI: 10.1029/2000JC000733.
- [10] 解思梅,魏立新,张占海,等. 南极海冰和陆架冰的时空变化动态[J]. 冰川冻土, 2003(suppl. 2): 234-240.
- [11] 卞林根,林学椿. 近 30 年南极海冰的变化特征[J]. 极地研究, 2005, 17(4): 233-244.
- [12] Xie Simei, Zou Bing, Wang Yi, et al. Anomalous change of the Antarctic sea ice and global sea level change [J]. Acta Oceanologica Sinica, 1996, 15(2): 193-208.
- [13] 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.
- [14] Stammerjohn S E, Martinson D G, Smith R C, et al. Trends in Antarctic annual sea ice retreat and advance and their relation to El Niño-Southern Oscillation and Southern Annular Mode variability [J]. Journal of Geophysical Research, 2008, 113, C03S90. DOI: 10.1029/2007JC004269.
- [15] 马丽娟,陆龙骅,卞林根. 南极海冰与我国夏季天气的关系[J]. 极地研究, 2006, 18(1): 30-38.
- [16] 卞林根,林学椿. 南极海冰涛动及其东亚季风和我国夏季降水的可能影响[J]. 冰川冻土, 2008, 30(2): 196-203.
- [17] 张林,李同娟,邹斌. 南极普里兹湾海冰变化及其监测[C]. // 周秀骥. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究. 北京:气象出版社, 1996: 397-402.
- [18] 张林,程展,任北期,等. 南极普里兹湾海冰数值模拟试验[J]. 海洋学报, 2000, 22(1): 131-135.
- [19] Tang Shulin, Kang Jiancheng, Zhou Shangzhe, et al. Sea ice characteristics between the middle Weddell Sea and the Prydz Bay, Antarctica during the austral summer of 2003 [J]. Acta Oceanologica Sinica, 2005, 24(2): 9-15.
- [20] Tang Shulin, Li Zhijun, Kang Jiancheng, et al. A case study of

- sea ice distributions between Middle Weddell Sea to Prydz Bay, Antarctica 2003 [J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(2): 142-146.
- [21] Rintoul S R, Sokolov S, Massom R A. Rapid development and persistence of a massive Antarctic sea ice tongue [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113, C07045, doi: 10.1029/2007JC004541.
- [22] Cavalieri Donald, Thorsten Markus, Josefino Comiso. 2004, updated daily. AMSR-E/Aqua Daily L3 12.5 km Brightness Temperature, Sea Ice Concentration, & Snow Depth Polar Grids V002, 2003—2008 [DB]. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. Digital media.
- [23] Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project [J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1996, 77: 437-470.
- [24] Park Y H, Gamborini L. Large scale circulation and its variability in the south Indian Ocean from TOPEX/POSEIDON altimetry [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1995, 100(C12): 24,911-24,929, doi: 10.1029/95JC01962.
- [25] Shi Jiuxin, Le kentang, Choi B H. Circulation and its seasonal variability in region around the Kerguelen Plateau [J]. *ACTA Oceanologica Sinica*, 2002, 21(1): 1-18.
- [26] Massom R A, Harris P T, Michael K J. The distribution and formative processes of latent-heat polynyas in East Antarctica [J]. *Annals of Glaciology*, 1998, 27: 420-426.
- [27] 高郭平, 董兆乾. 南极威德尔海冰间湖形成机制的研究进展 [J]. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2004, 34(1): 1-6.
- [28] Maqueda M A, Willmott A J, Biggs N R T. Polynya dynamics: a review of observations and modeling [J]. *Review of Geophysics*, 2004, 42: 1-37.
- [29] 蒲书箴, 胡筱敏, 董兆乾, 等. 普里兹湾附近绕极深层水和底层水及其运动特征 [J]. *海洋学报*, 2002, 24(3): 1-8.
- [30] 乐肯堂, 史久新. 普里兹湾区环流与混合的研究 [C]. [s.l.]: 海洋科学集刊, 1997: 38.
- [31] Heil P, Allison I. The pattern and variability of Antarctic sea ice drift in the Indian Ocean and western Pacific sectors [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1999, 104: 15789-15802.

The Characteristic of Sea Ice Growth and Melt in the Prydz Bay Region, Antarctica

ZHENG Sha-Jun, SHI Jiuxin

(The Key Lab of Physical Oceanography, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

Abstract: The spatial distribution character of sea ice in different seasons divided by 6 periods in the Prydz Bay were studied, by using high resolution ice concentration data from 2003 to 2008 year, which provided by the National Snow and Ice Data Center, at the same time its causation was analyzed according to the bathymetry and circulation of Prydz Bay region. The result indicated that the freezing and thawing stages went through 7 months and 5 months separately, the fastest months of sea ice thawing were October and November, mainly from the decrease of sea ice concentration; the fastest months of sea ice freezing were April and June, mainly from the expending of sea ice edge. In the melting period, sea ice had the bidirectional melting character for the existent of Cape Darnley polynyas, Prydz Bay polynyas and Barrier Bay polynyas in the coast of the Prydz Bay, namely sea ice melt from north to south in abyssal ocean, and melt from north to south in the coast region of Prydz Bay. There were persistent ice tongues north of Cape Darnley and Four Ladies Bank, and the low sea ice concentration region between them was corresponding to the path of warm water intruding to the Prydz Bay. The Antarctic Circumpolar Current turned north when flowing by the Kerguelen Plateau, and made sea ice edge more north in winter time than that in the same longitude, which could reach 57°S. The divergent surface flow field of the Antarctic Divergence and upwelling warm current could restrict sea ice freezing and congregating, and formed low sea ice concentration region.

Key words: sea ice; sea ice growth and melt; the Prydz Bay; Antarctica

责任编辑 庞旻