

# 南极普里兹湾气旋的生消发展

解思梅<sup>1</sup>, 郝春江<sup>1</sup>, 梅 山<sup>1</sup>, 刘克威<sup>1</sup>, 魏立新<sup>1</sup>

(1. 国家海洋环境预报中心, 北京 100081)

**摘要:** 利用 1989~2000 年现场观测的气象资料, 特别是自 1997 年以来在南极考察船上接收的 NOAA 卫星极轨高分辨的卫星云图, 研究了普里兹湾气旋的生消发展; 提出了夏季绕极气旋进入普里兹湾内也会发展加强, 在湾内东风带里也能生成气旋的新观点, 修正了普里兹湾仅是气旋基地的不全面说法, 从而进一步完善了南极西风带绕极气旋和东风带上气旋生消发展的理论; 研究了普里兹湾冰-气-海相互作用的机理, 解释了气旋发生、发展的物理过程. 用整体动力学输送法计算了进入普里兹湾 980205 号绕极气旋爆发性发展的能量交换, 指出气旋在超过冰坝进入冰间湖可以获得巨大的热量, 使气旋迅速发展成为具有南极特色的强风暴, 风力达 12 级以上, 平均风速为 38 m/s; 瞬时最大风速达 100 m/s.

**关键词:** 普里兹湾; 南极气旋; 冰-气-海相互作用

中图分类号: P732

文献标识码: A

文章编号: 0253-4193(2002)06-0011-09

## 1 引言

普里兹湾是在东南极  $65^{\circ} \sim 80^{\circ} \text{E}$  范围内的海湾, 是南极地区仅次于威德尔(Weddell)海和罗斯(Ross)海以外的第 3 大海湾, 并且在湾的南部有很大范围的艾默里冰架(Amery Ice Shelf)和兰伯特冰川. 中国中山站( $69^{\circ} 22' 24'' \text{S}$ ,  $76^{\circ} 22' 40'' \text{E}$ )位于海湾的东南部南极大陆的一个半岛上. 我国每年都要派船穿越冰情复杂的普里兹湾到达中山站, 进行后勤补给和在湾内进行大洋调查. 湾内的海冰和大风是影响考察队装卸货物和海洋调查的重要灾害. 影响大风的天气系统主要是南极大陆冰盖上形成的下降风和气旋系统. 对南极的绕极气旋系统的研究是从国际地球物理年(IGY)1957/1958年开始的. IGY和1979年全球大气实验(FGGE)对南极气象进行了较全面的观测, 获取了较丰富的资料. 利用这些资料系统地分析了南半球的天气过程,

收稿日期: 2001-09-25; 修订日期: 2002-03-15.

基金项目: 国家科技部社会公益研究资助项目(2001DIA 50040); 国家自然科学基金资助项目(49776280).

作者简介: 解思梅(1941-), 女, 山东省即墨市人, 研究员, 日本理学博士, 博导, 从事南北极海冰、极冰与气候和冰-气-海相互作用的研究.

指出在南半球  $45^{\circ} \sim 65^{\circ} \text{S}$  有环绕南极大陆的气旋族, 该纬度带被称为极锋带, 在极锋带上的气旋称为绕极气旋. 绕极气旋自西向东移动的过程中, 遇到中高纬度的高压阻挡, 就会沿高压边缘向南极大陆沿岸扩展, 在沿岸地区形成了高、低压交互存在的阻塞形式, 常常会有气旋进入南极大陆内部或海湾内. 另外, 在南极大陆沿岸附近的东风带上, 也会有弱气旋或低压形成, 缓慢东移或西退停滞消失; 绕极气旋多发地在  $30^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{E}$ ,  $90^{\circ} \sim 100^{\circ} \text{E}$ ,  $170^{\circ} \sim 150^{\circ} \text{W}$ ,  $60^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{W}$ ; 气旋消失的墓地在  $20^{\circ} \sim 30^{\circ} \text{E}$ , 普里兹湾  $60^{\circ} \sim 80^{\circ} \text{E}$ ,  $120^{\circ} \sim 160^{\circ} \text{E}$ ,  $110^{\circ} \sim 70^{\circ} \text{W}$  等地<sup>[1]</sup>. 对于威德尔海、罗斯海海域, 由于参与国家多, 研究比较充分. 对于普里兹湾海域参与国家少, 区域性的气候特征的研究还尚需加强. 1989 年以前这里只有俄罗斯和澳大利亚的考察站, 我国 1988/1989 年在这里建立了中山站, 并且每年派船到中山站进行考察和后勤补给, 该海区的大风和海冰对我们的考察影响很大, 深入研究该区的灾害性海洋和天气系统已经成为我国南极考察研究的紧迫任务.

根据前人的研究, 认为普里兹湾是气旋消失的“墓地”<sup>[2]</sup>, 绕极气旋进入湾内停滞消失, 并且认为在湾内没有气旋生成. 本文是根据我国 1989~2000 年十多年来的现场观测和实际对我国南极考察船造成大风影响的事实, 特别是自 1997 年以来, 在中山站和“雪龙”船上都安装了极轨高分辨的卫星接收系统. 根据现场接收的卫星云图, 对研究普里兹湾气旋的生消发展有了更准确的依据, 从而可进行更深入的研究.

## 2 观测仪器和资料来源

利用我国南极考察船“雪龙”号上安装的“船载气象卫星接收系统”<sup>[3-4]</sup>, 接受 NOAA 卫星 AVHRR 资料. 利用卫星遥感技术, 选取了可见光 2 个通道和近红外通道的综合处理模式, 从卫星资料中提取出清晰的海冰和气象信息; 通过 2 行元素计算卫星轨道和星下点位置的方法, 设计和编写了动态定位和套网格的图像处理系统, 能够迅速准确地卫星云图上确定低压和锋面及其任意点的准确位置, 制作所需要的冰图和云图.

利用“船载气象自动观测站”、气象传真图、海冰常规观测和引进美国的海洋观测仪 CT D 等进行观测, 获得气象、海洋和海冰的综合资料.

## 3 普里兹湾的气旋

### 3.1 南极绕极气旋进入普里兹湾的生消发展

#### 3.1.1 绕极气旋进入普里兹湾

绕极气旋一般不进入普里兹湾内, 在湾口的北面自西向东移走. 此时的大气环流形势为纬向环流. 当大气环流为经向型, 印度洋上的副高南压阻挡气旋东移, 迫使气旋向南, 进入普里兹湾. 如果湾内的浮冰多, 气旋由北面的暖湿洋面上进入冰区, 迅速减弱消失, 所以被称为气旋的墓地<sup>[2]</sup>. 根据我们的实际观测发展, 在大气环流形势场有利的情况下, 绕极气旋有时可以进入普里兹湾, 并能够发展加强或爆发性发展. 1998 年 2 月 4 日在普里兹湾西北部, 绕极气旋多发地处 ( $30^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{E}$ ,  $60^{\circ} \text{S}$ ) 生成一气旋, 自西向东移动, 2 月 5~6 日进入普里兹湾突然发展为强风暴. 该气旋进入普里兹湾的天气形式场和湾内的海冰分布情况见图 1 和图 2.

图 1 是 1998 年 2 月 5 和 6 日 00:00 时的天气图. 图中 2 月 5 日在  $50^{\circ} \text{E}$ ,  $60^{\circ} \text{S}$  上生成的低压向东移动, 在普里兹湾的北部洋面上有副热带高压阻挡气旋向东移动, 迫使气旋向东南方向

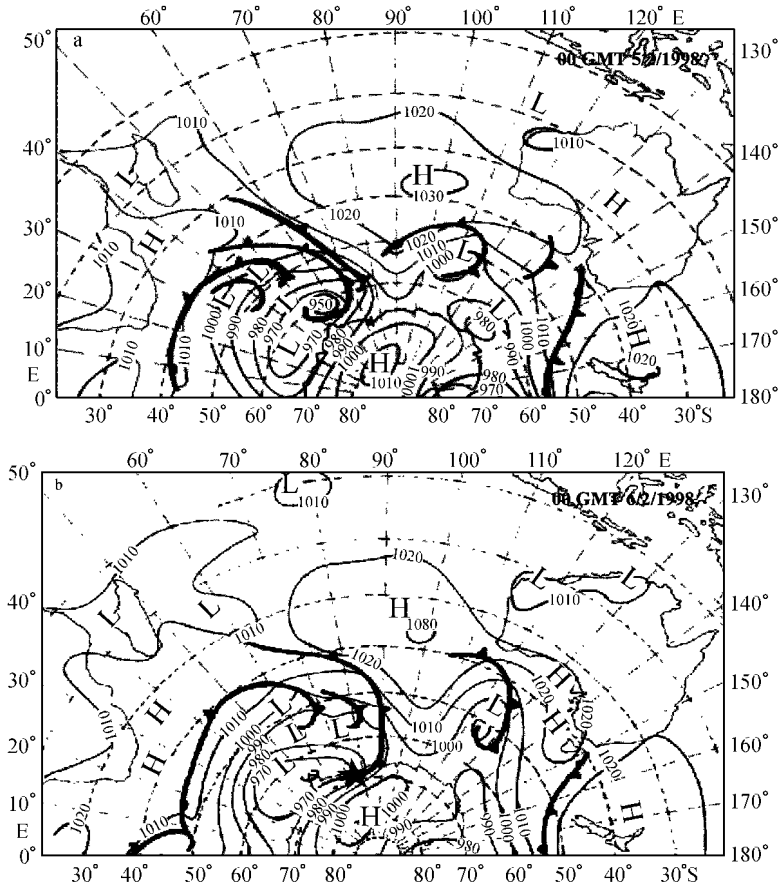


图1 南极普里兹湾地区的地面天气图. 1998年2月5日00:00(a)在湾的西北部(64°S, 50°~70°E)有较强的低压生成, 向东移动, 10:00锋面过境, 12级以上的大风持续了36 h. 2月6日00:00(b)气旋的冷锋进入普里兹湾东移登陆. ★表示中山站的位置

移动, 2月6日进入了普里兹湾, 并且发展加强东移, 在湾的东岸登陆移走.

图2是2月4和5日普里兹湾的气象和海冰情况. 2月4日普里兹湾晴空万里, 湾中有一个东北-西南向的9~10成冰的大冰坝斜插于湾中央, 东部海域A区形成陆岸冰间湖, 此时考察船“雪龙”号停泊在澳大利亚戴维斯站锚地. 当时船抛双锚, 迎风开到60%的马力抗风. 气象自动站的显示屏幕上不断显示出80 m/s以上的大风, 10分钟的平均风速为38 m/s, 平均最大风速达48 m/s, 瞬间最大风速达100 m/s, 12级以上大风持续36 h, 形势非常紧张和危险.

此次气旋过程是我国1989年在东南极建立中山站以来遇到风力最大、持续时间最长的强气旋过程, 也是在南极大陆附近自有观测记录以来风力最大最强的气旋系统, 称此气旋系统为980205号气旋.

### 3.2 980205号气旋进入普里兹湾发展加强的原因

一般进入普里兹湾的绕极气旋位置偏北, 不容易到达湾的南部, 即使进入普里兹湾, 在湾内会很快减弱消失, 或者进入后东移登上南极大陆很快减弱消失. 因此, 普里兹湾被称为气旋

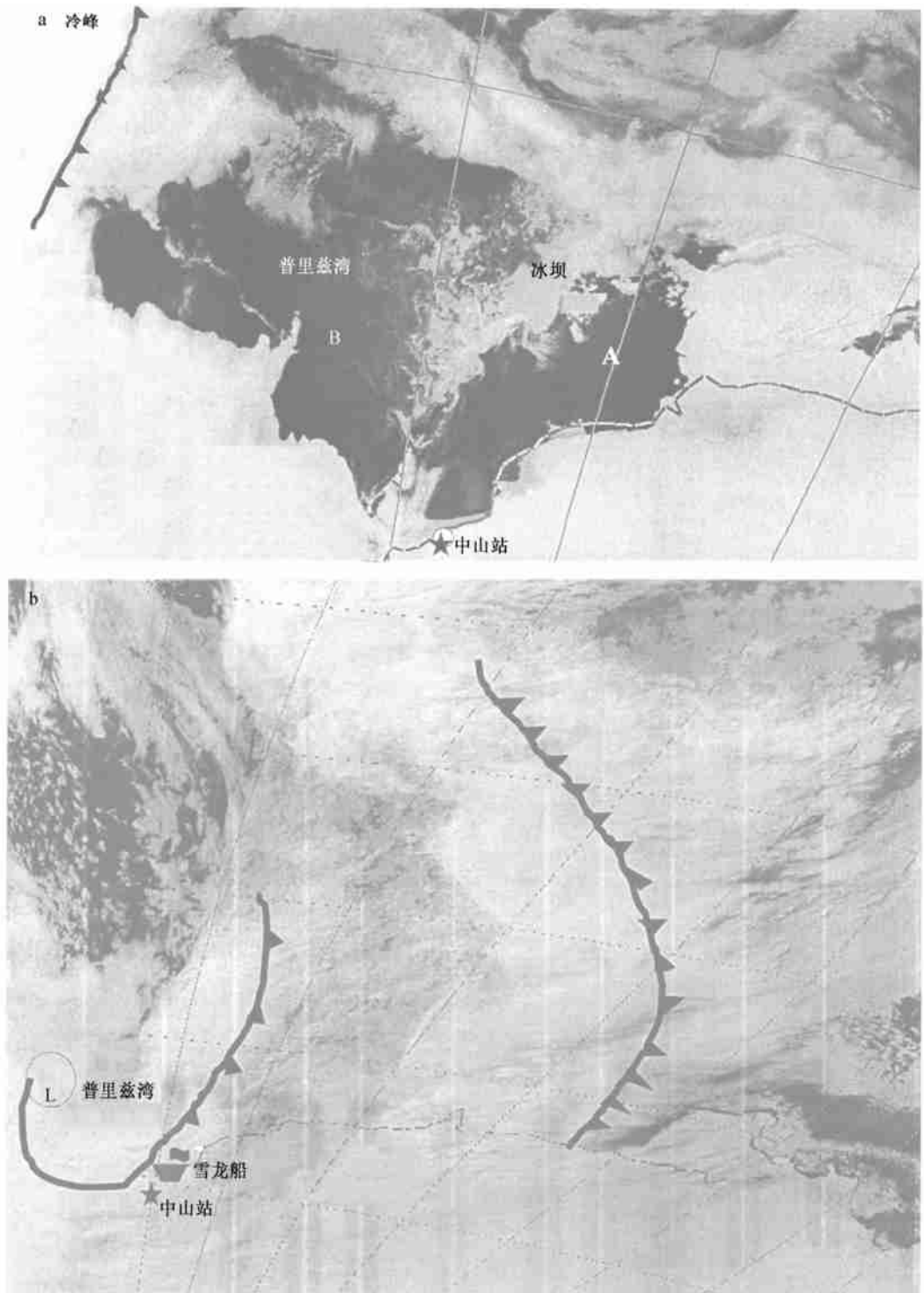


图 2 1998 年 2 月 4 日 10:00(a) 和 2 月 5 日 10:00(b) 的卫星云图. 2 月 4 日普里兹湾晴空万里, 湾内有一个东北 - 西南向的大冰坝. 2 月 5 日连续两个锋面进入湾内发展东移, 12 级以上大风持续 36 h

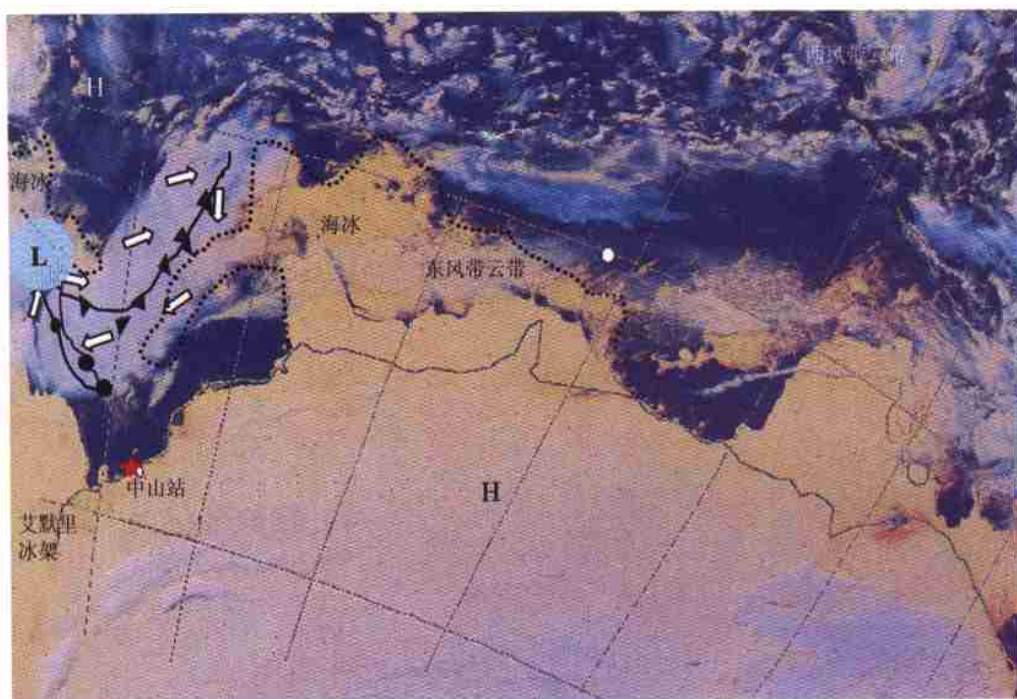


图3 1998年2月13日的冰情和气旋. 在普里兹湾里有一个东北-西南的冰坝  
图中 $\Rightarrow$ 为气流的方向, H为高压, L为低压

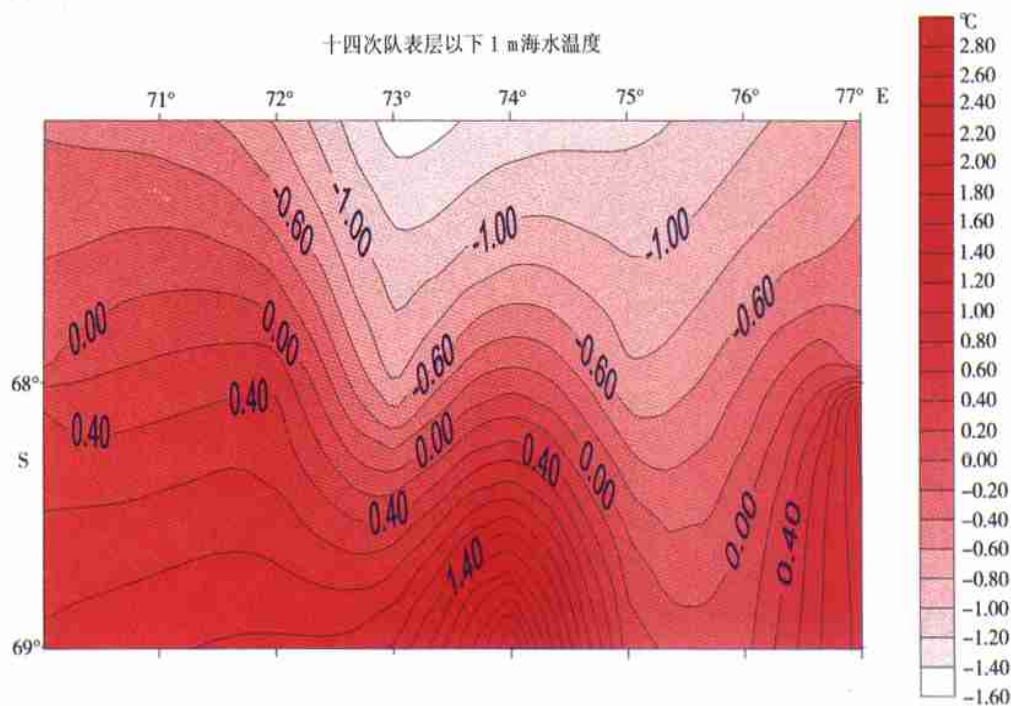


图4 1998年2月普里兹湾的海表面温度分布

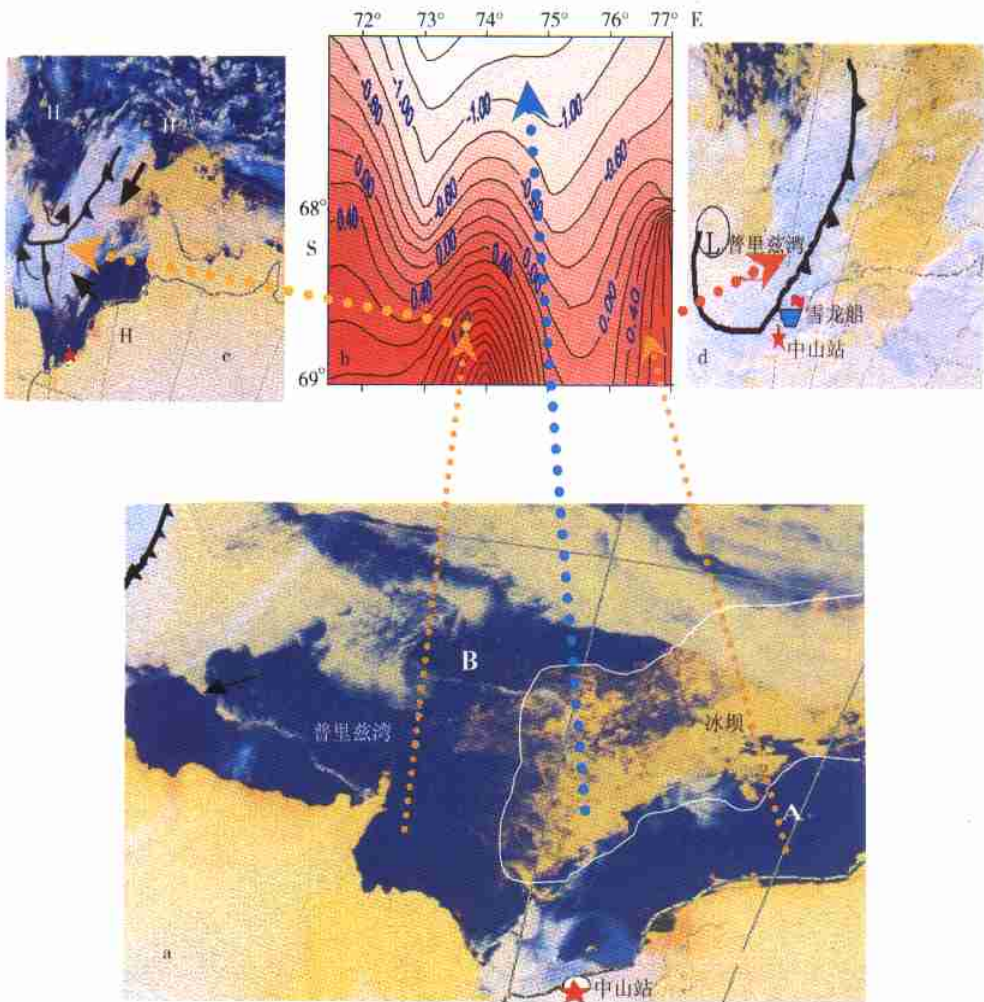


图5 南极普里兹湾冰-气-海相互作用示意图(1998年2月)。图a是普里兹湾海冰分布图,在湾内有一个冰坝。图b是海表面温度 $T_s$ 分布图, $T_s$ 受海冰的影响,北部低温区就是冰坝的位置,无冰的海域对应的是高温区,形成暖湿的下垫面,对在湾内东风带气旋的生成(图c)和进入湾内的气旋发展有利(图d)

的墓地。980205号气旋过程为何如此强大?

(1) 在980205号气旋2月4日生成的同时,印度洋的副高发展加强,副高轴向转为南北向。2月5日副高南伸,在东西两个气旋之间形成阻塞高压的形势,使980205号气旋东移受阻,迫使气旋南压进入普里兹湾(见图1)。

(2) 普里兹湾的中央有一个东北-西南向的冰坝,将普里兹湾分成了两部分,其中戴维斯锚地A区形成了陆岸冰间湖。冰间湖从1月形成,湖中海冰很少,只有1~3成冰。在这里海水能够吸收大量的太阳能储存并使海水升温,海表面温度相对于冰坝区是高温区,且海温高于气温,破坏了由于大陆下降风和冰盖辐射冷却造成的逆温层对沿岸的影响。气旋越过冰坝突然进

入暖湿的冰间湖, 迅速发展加强.

根据整体动力学输送法动量通量( $M$ )、感热通量( $H_s$ )和潜热通用( $H_l$ )的计算公式和现场观测资料, 可以计算出 10 m 高的海-气能量交换:

$$M = \rho C_d U_{10}^2, \quad (1)$$

$$H_s = \rho c_p C_h U_{10} (\theta_0 - \theta_{10}), \quad (2)$$

$$H_l = \rho L C_e U_{10} (q_0 - q_{10}), \quad (3)$$

式中,  $C_d$ ,  $C_h$  和  $C_e$  为大气的曳力系数、感热和潜热交换系数, 可根据周明煜<sup>[5]</sup>、Garratt<sup>[6]</sup>和 Wu<sup>[7]</sup>给出的公式(略), 求出不稳定大气层结状态的  $C_d = 1.313 \times 10^{-3}$ ,  $C_h = C_e = 1.356 \times 10^{-3}$  的值;  $L_s$  为水面蒸发潜热,  $L_s = (597 - 0.56T_s) \times 4186.8$  J/kg;  $C_p$  和  $\rho$  分别为定压比热和大气密度, 可以根据现场观测的气温和气压值由气象参数表中查到;  $\theta_0$  和  $\theta_{10}$  为海平面和 10 m 高的位温, 用现场观测的海温和 10 m 高的气温求出;  $q_0$  和  $q_{10}$  分别用现场观测的露点温度  $T_{d_0} = 0$  °C,  $T_{d_{10}} = -5.8$  °C, 求出  $q_0 = 3.81$  g/kg,  $q_{10} = 2.53$  g/kg.

A 区的海温  $T_s = 0$  °C, 10 m 高的气温  $T_{10} = -4.2$  °C, 现场强气旋的平均风速为 38 m/s. 由公式(1)~(3) 求出  $M = -2.458$  N/m<sup>2</sup>,  $H_s = 389.27$  W/m<sup>2</sup>;  $H_l = 209.42$  W/m<sup>2</sup>. 这些值大于西太平洋上西风爆发时海洋向大气输送的热量<sup>[8]</sup>.

由此可知, 在气旋越过冰坝进入冰间湖后可以获取巨大的热量, 使气旋迅速发展成为南极特色的强风暴.

### 3.3 普里兹湾生成的气旋

在南极气象学里<sup>[1]</sup>, Stretten 和 Troup<sup>[9]</sup> 根据 IGY 资料的研究, 指出普里兹湾是气旋的墓地, 绕极气旋进入普里兹湾停滞消失, 在普里兹湾内不会有气旋生成. 实际上, 自我国 1989 年在东南极普里兹湾建立中山站以来, 每年考察船进入普里兹湾进行后勤补给和大洋调查时, 经常会受到气旋的影响, 而根据上述的停滞消失理论又解释不通.

1998 年在南极考察船上安装了我国自行研制的“船载气象极轨高分辨的卫星接收和图像处理系统”<sup>[3~4]</sup>, 现场接收到的卫星云图观测得到了可靠的依据. 证明在普里兹湾不仅有进入湾内的绕极气旋停滞和消失的现象, 有发展和加强、继续西移的, 而且在湾内还有新生气旋, 即在东风带生成的气旋.

图 3 是 1998 年 2 月 13 日的卫星云图. 在普里兹湾有一个明显的云带, 云带的西北侧是印度洋高压南伸至普里兹湾的西北部呈桃型, 迫使南面的冷气流沿高压边缘北上; 在云带的东南部, 南极大陆高压北伸, 使北面的暖湿气流沿高压向南输送, 形成气旋. 这是一个在南极大陆东风带里生成的气旋. 图中标出了气旋的冷暖锋面.

## 4 普里兹湾气旋生消与海冰和海温的关系

图 4 是 1998 年 2 月普里兹湾的海表层以下 1 m 深的温度场. 在 67°S, 73°E 处是低温中心, 最低温度为 -1.4 °C; 在 69°S, 74°E 处是高温中心, 最高温度大于 1.4 °C. 在湾的东北部是低温区, 恰好是普里兹湾的东北-西南向大冰坝的位置. 在湾的南部和东南部有 2 个暖中心, 分别靠近南部的艾默里冰架和湾的东南部中山站和戴维斯站附近无冰的域区. 这表明海冰对海表面温度的关系非常密切, 有海冰的海域海温低, 无冰的海域海温高; 这是因为海冰是热的

不良导体和反照率高的特性造成的。在冰封区海冰隔离了海洋和大气的热交换,也不能吸收南极夏季极昼期充足的太阳能。随着海冰密集度 5~10 成冰的变化,有 40%~80% 的太阳能被反射回宇宙空间,所以冰区的海温低。根据现场观测,在开水域或冰间湖,海水最大能吸收 95% 的太阳辐射能,可以使海表面温度升高。因此,海冰的有无直接影响海表面温度。

图 5 给出了在普里兹湾冰-气-海相互作用的实例示意图。图中以冰图 a 为基础,海冰直接影响海温的变化。冰坝存在区与低温对应,开水域与高温区对应(图 b)。暖湿的高温洋区有利于湾内气旋的生成和进入湾内绕极气旋的发展。反之,当湾内海冰多时,则进入湾内的气旋,遇上冷的下垫面,气旋容易停滞消失。

## 5 结论

(1) 夏季在南极普里兹湾的开水域能够使进入湾内的绕极气旋爆发性发展,并随西风带上的气旋东移影响南极大陆。

(2) 在湾内东风带里可以生成气旋,气旋有时会西退停滞或向东或东北方向移动与西风带气旋合并。

(3) 普里兹湾气旋能否发展,关键问题是海冰的多少和分布。海冰直接影响海表面温度,有冰的海域海温低,无冰的水域温度高,在高温暖湿的海面上容易使气旋发展或形成新气旋。气旋越过冰坝进入长时间维持的冰间湖会爆发性发展,其强度能够达到 12 级以上强风暴。1998 年 2 月 5 日进入普里兹湾的冰间湖获取充足的热量,发展成强风暴,平均风速达 38 m/s,12 级以上的大风持续长达 36 h,最大瞬时风速达 100 m/s。这是自有记录以来最大的大风。

## 参考文献:

- [1] WENDLER G, KODAMA Y. On the climate of Dome C Antarctic, in relation to its geographical setting [J]. *J Climatol*, 4: 495—508.
- [2] 日本国立极地研究所. 南极气象学, 解思梅, 范晓莉, 田少奋译. [M]. 北京: 海洋出版社, 1991. 90—103.
- [3] XIE Simei, HAO Chunjiang, ZOU Bing et al. A new-type shipboard meteorological satellite receiving-processing system [J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2000, 19(1): 35—46.
- [4] 邹 斌, 解思梅, 郝春江, 等. 卫星遥感图象处理系统在南北极考察中的应用 [J]. *南极研究*, 2000, 12(4).
- [5] 周明煜, 李诗明, 吕乃平. 近南极洲海域夏季潜热及感热通量的计算. 南极与全球气候环境相互作用和影响的研究 [M]. 北京: 气象出版社, 1996. 121—125.
- [6] GARRATT J R. Review of drag coefficients over oceans and continents [J]. *M on Wea Rev*, 1977, 105: 915—929.
- [7] WU Jin. Wind stress coefficients over sea surface near neutral conditions—A revisit [J]. *J Phys Oceanogr*, 1980, 10: 729—740.
- [8] 曲绍厚, 王 赛. 西太平洋热带海域西风带爆发过程湍流输送的某些特征 [J]. *大气科学*, 1996, 20(2): 188.
- [9] STRETEN N A, TROUP A J. A synoptic climatology of satellite observed cloud vortices over the Southern Hemisphere [J]. *OJR Meteorol Soc*, 1973, 99: 56—72.



## Cyclone formation-development in the Antarctic Prydz Bay

XIE Si-mei<sup>1</sup>, MEI Shan<sup>1</sup>, LIU Ke-wei<sup>1</sup>, WEI Li-xin<sup>1</sup>

(1. *National Marine Environment Forecasting Center, Beijing 100081, China*)

**Abstract:** Using meteorological data of field observation in 1989~ 2000, especially polar orbit high-resolution NOAA satellite cloud maps received from the Antarctic expedition vessel since 1997, the formation and development of the Prydz Bay cyclone are studied. Some new view points are suggested such as: when surround polar cyclone enters the Prydz Bay, it can also intensify and develop in summer; cyclone can also develop in the easterlies in this bay. These view points revise old incomplete view-point that the Prydz Bay is a burial ground of cyclone, and also further consummate formation-development theory of surround-cyclone in the Antarctic westerlies and cyclone in the Antarctic easterlies. The mechanism of ice-air-sea interaction in the Prydz Bay is studied, and the physical process of cyclone formation-development is explained. By use of wholly dynamic transportation method, an energy exchange case of a cyclone, which explosively developed after entering the Prydz Bay, is calculatee. It is pointed that when cyclone passes through ice dam and enters the Polynya, it can obtain a great number of heat energy and develop rapidly into a very strong cyclone with Antarctic feature. In this case wind force was as strong as 12 grade, with 10 min average wind speed of 38 m/s, and instantaneous wind speed of 100 m/s.

**Key words:** the Prydz Bay; Antarctic cyclone; ice-air-sea interaction