

南极普里兹湾区环流与混合的研究*

乐肯堂 史久新

(中国科学院海洋研究所)

Mosby(1934)指出,如果南极区的陆架水由于海冰的形成而变得足够咸,那么该陆架水将因其密度较大而沿着大陆坡下沉,并因此而形成底层水。当然,在南极周围的海域中,由于较高密度的海水下沉而引起的混合过程是十分复杂的。由于南极底层水(Antarctic Bottom Water, AABW)的主要源区在威德尔海,故以往研究者对于这种混合过程的研究多数集中于威德尔海(Foster et al., 1987)。

至于位于印度洋扇形区的普里兹湾及其邻近海区,一般认为这种类型的海水混合过程实际上并不强烈。Smith et al. (1984)曾经根据 1980—1981 年澳大利亚对普里兹湾区的考察资料,分析了这一区域的水团和环流。他们认为,在这一区域中,南极底层水的主要部分源于威德尔海和罗斯海。Middleton and Humphries(1989)利用澳大利亚 1981—1985 年夏天对普里兹湾海区的考察资料,分析了那里的混合过程,他们认为那里的绕极深层水(CDW)在周期性的上升流过程(它与潮汐和陆架波有关)的参与下与陆架上较冷的陆架水(SW,它与陆架上的海冰形成有关)相混合,形成了低温、高盐的混合水,这种混合水被称为普里兹湾底层水(PBBW),他们认为在多数年份中,这一混合过程可能对普里兹湾中活跃的底层水的形成起主导作用。

在上一篇文章(乐肯堂等,1996;以下简称“上文”)中,我们以中国第六次(CNARE-VI)和第七次(CNARE-VII)南极考察中所获得的温、盐资料为基础,并结合有关的化学要素资料,对普里兹湾区的水团分布特性进行了分析。分析结果表明,1991 年 1 月,在普里兹湾外的陆架底部确实存在着上述的 PBBW,且这一较重(密度较大)的水有可能沿着大陆坡下滑而达到 800m 以下的水层。

在本文中,我们仍以上述考察资料为基础,对普里兹湾区的环流和混合过程进行分析,进一步探讨普里兹湾区底层水形成的可能方式。本文所用的考察资料和站位均与“上文”相同,故相同部分不再赘述。

一、总 环 流

1. 正压环流 本区的实测资料位于南纬 60°以南,其正压流动主要是风生流动。

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2843 号。

本课题为国家自然科学基金资助项目,49376260 号。

本文所用的资料由我国第六、七次南极考察水文组、化学组提供;于康玲打印文稿,杜渭山清绘图件,在此一并志谢。

收稿日期:1995 年 12 月 16 日。

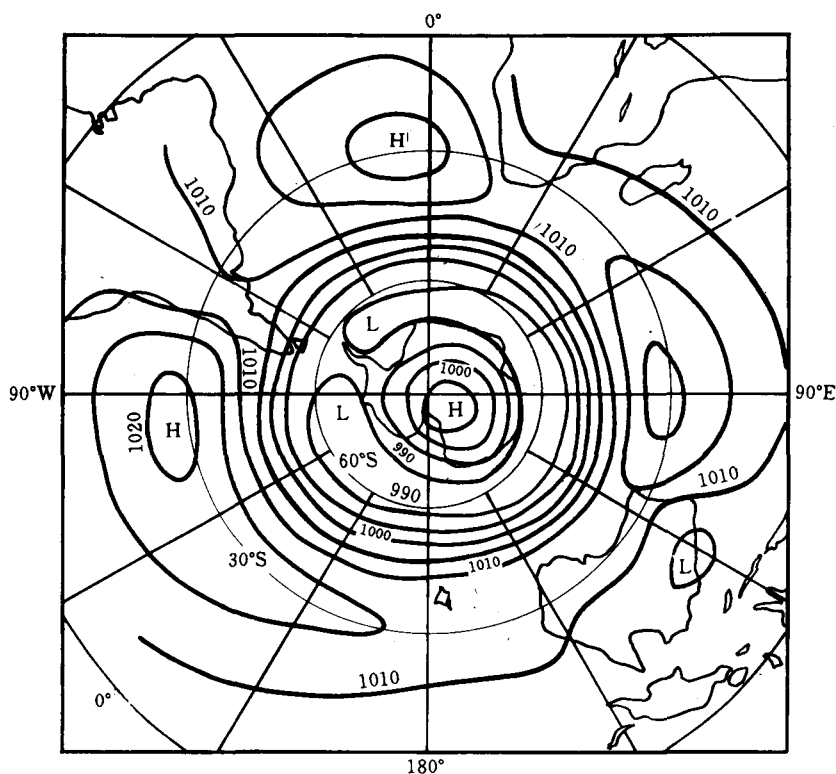


图1 南大洋一月份十年(1973—1983)平均海平面气压图(hpa)

十年平均(1973—1983)的一月份海平面气压图(图1;陈善敏等,1988)显示,在本区的50°—60°S之间为一低压中心区,中心气压往往可以低至970hpa。在这一低压中心区中盛行西风。由于普里兹湾区属气旋发生的高频数区(陈善敏等,1987),因此可以说,在观测区的大约65°S以北的海区上部全年盛行西风,此时的风生流动成为向西的南极绕极流的一部分。在约65°S以南的近岸区为一沿岸东风带,盛行东风。Han and Lee(1981)^①指出,南极大陆夏季的平均风应力基本上是纬向的,从11月到1月,沿岸风产生的平均风应力约为 0.1N/m^2 ,而到3月,则增加到 0.2N/m^2 。由此,在夏季沿岸带的无冰区中,东风所产生的向西的沿岸流为5—10cm/s,Ekman摩擦深度约为50—80m,这一深度与测区的季节性温、盐跃层深度的范围基本一致。

西向的沿岸流与东向的南极绕极流之间为一辐散带。正如南极绕极流有显著的时空变化(Саруханян и Смирнов,1986)一样,从中尺度动力学角度来看,这一辐散带的位置也有显著的时空变化。图2给出了根据CNARE-VI和CNARE-VII资料绘制的测区辐散带位

^① Han, Y. J. and S. W. Lee, 1981, A new analysis of monthly wind stress over the global ocean, Oregon State University Climate Research, Institute Report, 26:1—133.

置。从图2可以看出,在本测区,辐散带的位置在 $63^{\circ}30' - 66^{\circ}\text{S}$ 的范围内,且它在测区的西侧偏南,而东侧偏北,这不仅与南极大陆的岸形有关,而且也与冰架的分布有关。尽管对此辐散带以北的东向南极绕极流已有许多观测和研究,但迄今尚没有对本区辐散带以南的东风漂流进行过直接的海流观测研究,不过正如 Tchernia and Jeanin(1983)所指出的,冰山漂移的轨迹已证实了上述东向沿岸流的存在。

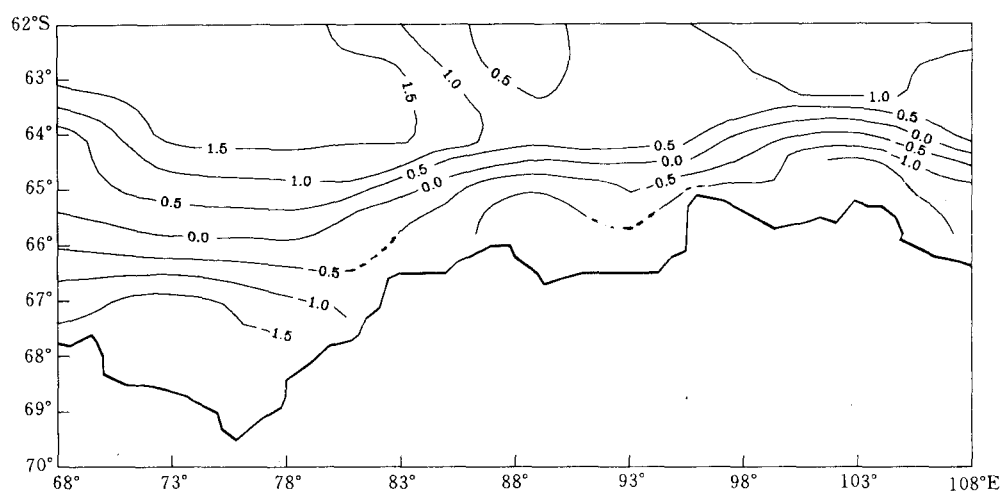


图2 测区200m层水温($^{\circ}\text{C}$)分布
(图中零度线表示辐散带的位置)

在普里兹湾湾内,风生环流的型式可以通过数值模拟得到。现有的数值模式^①表明,在湾内存在着一个气旋式的风生环流,也就是说,外海水从湾的东侧进入湾内,而湾内的水则从西侧湾口流出。

2. 斜压环流 图3给出了利用CNARE-VI的CTD资料得到的动力高度分布图。从图3可见,在普里兹湾口辐散带以北的大尺度斜压环流的型式与风生环流型式一致。这表明,南极绕极流的成因既有动力因子(风),也有热力因子(斜压性)。在图3中,在 83°E 和 88°E 之间出现了非纬向性流动分量,这可能是由于地形因素和西冰架的存在造成的。在西冰架以东的近岸带,由于资料的限制,动力高度线阙如。但由于西冰架和谢克尔顿冰架的存在,那里近岸区的上层水温显然要低于西部同纬度区的水温。由于复杂的结冰和融冰过程以及陆地冰川入海,使表层海水盐度的时空变化十分复杂,同时考虑到那里的辐散带有显著的时空变化,因此可以推测,那里斜压环流亦将会有复杂的时空变化。

至于西冰架以西海区(图3),在辐散带以南存在着一支散开的状羽流,它从普里兹湾东侧进入湾内,而一支较强的海流则由普里兹湾西侧流出,并加入到向西的沿岸流中。这种流场型式与 Middleton and Humphries(1989)的动力计算结果类似。

值得注意的是在 73°E 断面上地转流速的分布。表1给出了在此断面上各层流速的计

① 侍小兵,1992,南极普里兹湾夏季流场诊断分析(硕士论文)。

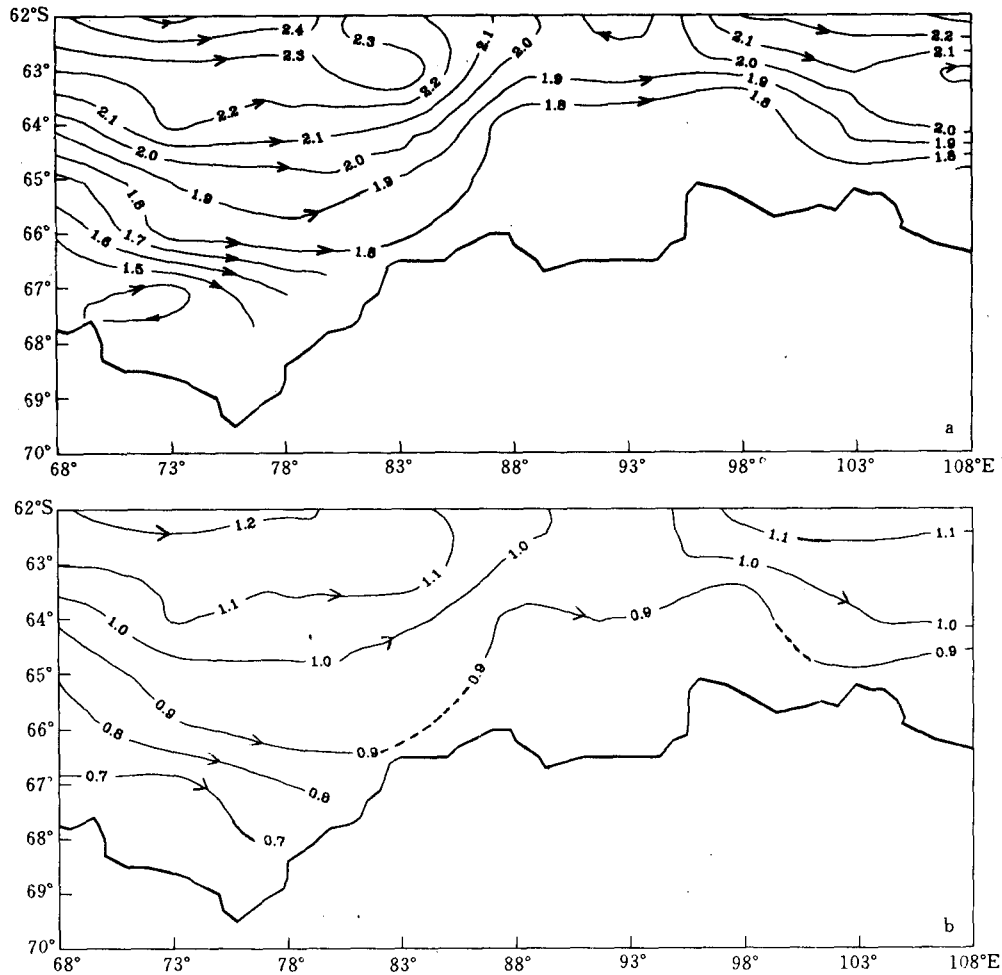
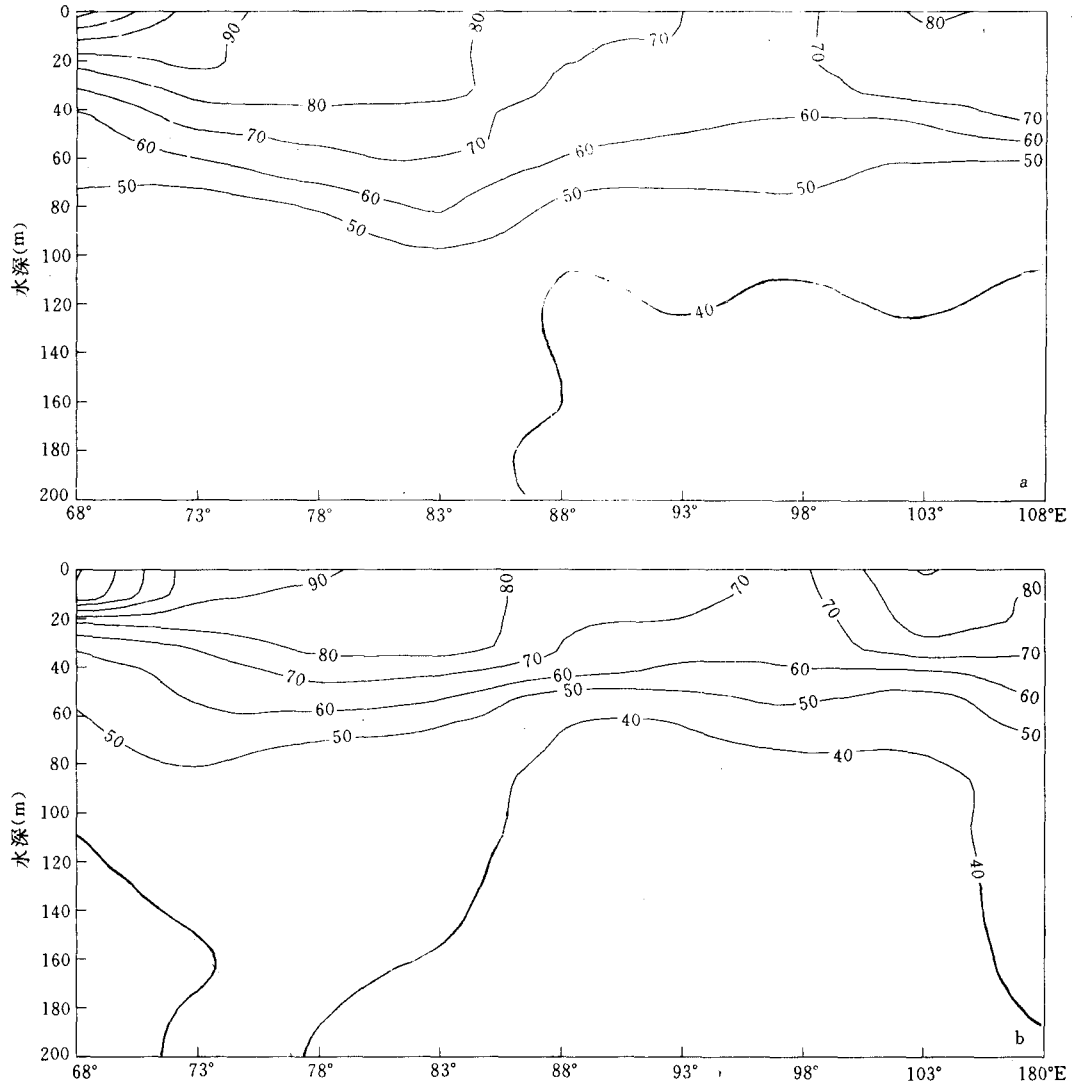


图3 测区海面动力高度(dym dm)分布(参考面为500m)

a. 2m层; b. 200m层

算结果。表1表明,在 $62^{\circ}\text{--}67^{\circ}\text{S}$ 的区域中,大多数的地转流速均为正值,即在这里地转流以向东为主。由于这一区域位于普里兹湾口以北,因此,这一向东的地转流实际上已成为南极绕极流的一部分。不过在 $63^{\circ}\text{--}64^{\circ}\text{S}$ 之间,表层(32.5m以浅)与次表层(32.5—112.5m)的流向却正相反。当然,如用零面的选取来解释这一现象,那是比较容易的。因为如取1000m为计算零面,那么这两层之间的流速便具有相同的符号(均为正号)。但是计算表明,不论选取何种零面,都难以改变表层流速与其以下各层流速在垂直方向上梯度的符号差异,因此,这种现象或许意味着在这里存在着某种垂直传播的内波。为了验证这一猜测,我们进行了等比容距平分析(图4)。从图4可以看出,由 $\delta_{\theta}=50\text{--}60(\text{cl/t})$ 所表征的季节跃层确实存在波状分布,这一点为上述猜想提供了部分佐证。遗憾的是,由于没有直接的测流资料,并且上述地转流量值比其南北两侧的地转流量值均小一个量级,故难以判断此内波的旋转性质及传播特性。但图4的 δ_{θ} 线的走向却显示,此季节跃层所显示的内

图4 等势面比容距平(σ_t/t)面的经向分布

a. 63°S 断面; b. 64°S 断面

波有可能由海面上的过程所激发。这种由海面过程激发的内波,将有可能促使深层水上升到 400m 以浅的层次上。

在 65°—66°S 的区域中,次表层(32.5—112.5m)地转流速的垂向梯度与其上、下层的相应梯度相反,其原因可能与上述情况相同,不过由于其位置界于弗拉姆浅滩与四女士浅滩之间,使这一内波现象变得更弱了。

表 1 还表明,在 67°—68°S 区域中,流向是向西的,这不仅表明在此断面中西向的沿岸流也具有斜压分量;而且,由于 67°—68°S 的区域正界于湾口的位置上,这样,考虑到 78°E 以东西冰架的形状向北伸展到 66°S 附近,故这一向西的流动也有可能成为湾内水流向湾外之流动的组成部分。

表 1 在 73°E 断面上东西向地转流速(m/s, 参考零面为 500m)

纬度(°S) 层次(m)	62	63	64	65	66	67 68
2.50	.202	.011	.225	.031	.327	-.074
7.50	.202	.010	.224	.028	.322	-.066
12.50	.203	.010	.223	.025	.317	-.058
17.50	.203	.009	.221	.021	.312	-.050
22.50	.203	.008	.219	.018	.306	-.041
27.50	.204	.005	.219	.016	.300	-.033
32.50	.206	.000	.220	.014	.293	-.030
37.50	.207	-.005	.219	.016	.287	-.028
42.50	.208	-.010	.216	.020	.282	-.028
47.50	.209	-.014	.211	.024	.278	-.029
55.00	.210	-.018	.206	.027	.274	-.031
65.00	.209	-.021	.195	.034	.267	-.035
75.00	.204	-.020	.184	.040	.258	-.036
85.00	.194	-.014	.173	.044	.249	-.033
95.00	.182	-.009	.165	.046	.240	-.030
112.50	.170	-.005	.160	.047	.231	-.027
137.50	.143	.001	.148	.048	.207	-.018
162.50	.122	.004	.136	.050	.183	-.013
187.50	.107	.006	.122	.050	.165	-.010
225.00	.096	.007	.107	.048	.151	-.009
275.00	.076	.008	.080	.044	.123	-.005
350.00	.057	.009	.060	.036	.096	-.003
450.00	.027	.007	.028	.018	.048	-.002

上述特征也可从图 5 得到佐证。图 5 表示,在表 Ekman 层之下,在 64°S 以北,各层的斜压环流都是向东的,它们构成了南极绕极流的一部分。如果说,在西风带中,南极绕极流的表层部分是以正压流动为主的,那么,由于在研究区的西风带中表 Ekman 层的厚度可以达到约 150m(以九级风计),故应当认为,在此深度以下的绕极流必定以斜压海流为主。值得注意的是图 5b,c,在 73°E 断面(图 5b)上,67°S 以北, $\delta_\theta=27-30(\text{cl/t})$ 的海水都是向东流动的,这显示了它们是绕极流的一部分;但在 67°—68°S 之间的海水则是向西的,它似乎是作为南极沿岸流的一部分。在 78°E 断面(图 5c)上,65°—66°S 之间、约 200—500m 的中层,流动也是向西的,故在这一层次上这支向西的较弱的流动可能作为向西的南极沿岸流的一部分,显然,也不能排除其中的部分海水从普里兹湾东侧进入湾内的可能性。当然,这部分海水还可能与湾内的气旋式环流一起从该湾的西侧流出。如果上述推测被证实的话,那么至少可以说,在 1991 年 1 月观测期间,本测区中的南极沿岸流不仅具有正压分量,而且还包含斜压分量的成分,这一斜压分量可以达到约 450m 层。

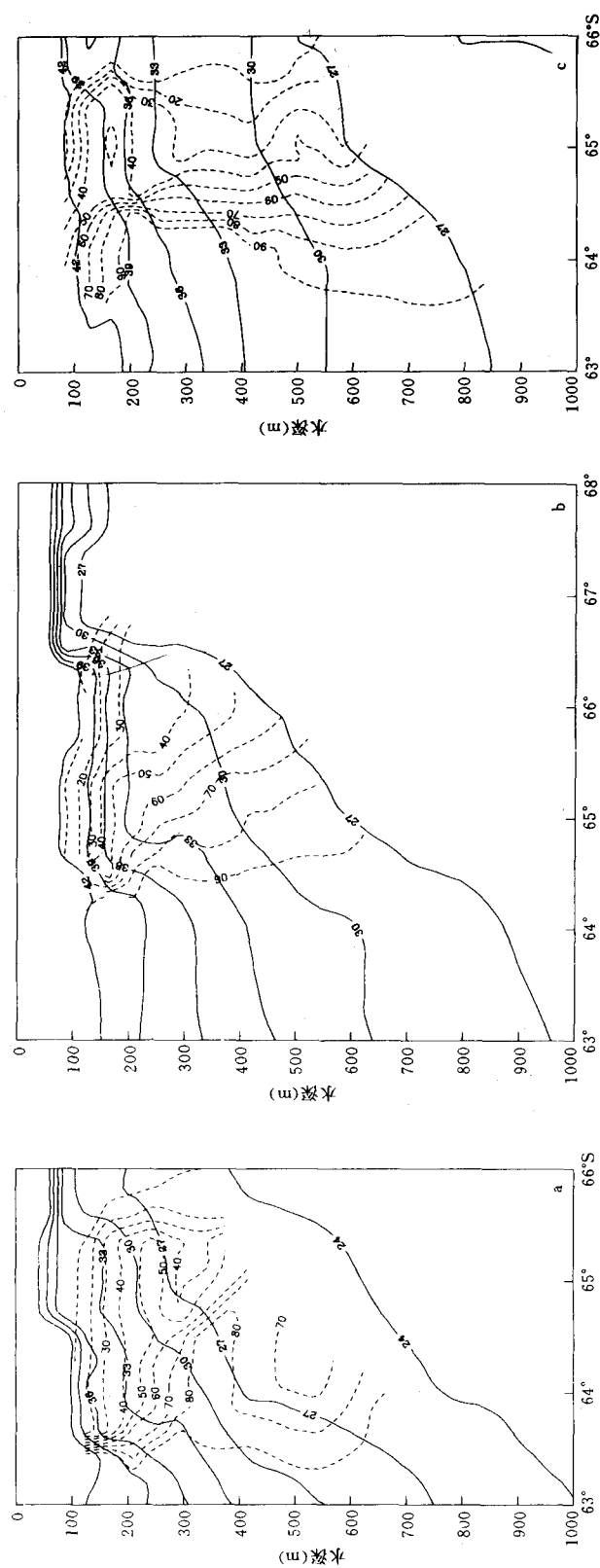


图 5 等位势比容距平 (cl/t) 面的纬向分布 (虚线为相对盐度, %)
a. 68°E 断面; b. 73°E 断面; c. 78°E 断面

二、陆架水和深层水的混合

Smith et al. (1984)认为,尽管作为变性的暖深层水沿着普里兹湾外的大陆坡向西流动,但由于没有证据表明它能上升到普里兹湾口的陆架之上,故它似乎与普里兹湾中的环流没有联系;而 Middleton and Humphries (1989)则认为,高盐的普里兹湾陆架水在周期性的上升流参与下有可能与暖深层水混合而产生“普里兹湾底层水”。根据 CNARE-VI 的 CTD 资料,我们曾指出,上述这种混合在普里兹湾海区是有可能发生的(乐肯堂等, 1996),但需要探讨这种混合出现的时空尺度及有关过程。

1. 方法 为了分析测区陆架水和深层水的混合过程,我们应用 Tsuchiya (1968)提出的等比容距平分析方法,它是以等密度面分析(Parr, 1938)为基础的方法。Montgomery (1938, 1940)认为,海洋中的等位势密度面分析相当于气象学中的“等熵分析”。事实上,在等比容分析中,等位势比容距平面既具有比容距平(δ)面的特性又具有 σ_t 面之特性。

考虑到在南极大陆附近南大洋中的盐度极值接近于 $\delta_0 = 30\text{cl/t}$ 面,同时由于在研究区的 $\delta_0 = 27\text{cl/t}$ 和 30cl/t 面上的位温变化范围相对较小,故我们主要在这两个等位势比容距平面上来考察盐度的变化。

2. 沿等密度面的混合 在普里兹湾海区中,最重要的混合过程是绕极深层水与普里兹湾陆架水之间的混合。根据“上文”的分析,它们的温、盐特征指标分别为: $0.5^\circ\text{C} \leq T \leq 2^\circ\text{C}$, $34.50 \leq S \leq 34.75$ (绕极深层水)和 $T < -1.5^\circ\text{C}$, $34.50 \leq S \leq 34.60$ (普里兹湾陆架水)。为了追踪绕极深层水的扩展路径, Gordon (1971a, b)利用水温极大值和盐度极大值作指标进行分析;而 Callaham (1972)则利用 $\delta_0 = 30\text{cl/t}$ 面作为路径指标,实际上,这两种指标之间具有内在的联系。其根据是,不论盐度极大值是否代表流动的子午向分量,只要通过相对于某一合适的压力面的较简单的混合路径,便显然就可以把它们连接起来(Jacobs and Georgi, 1977),并且除了靠近南极大陆的分量之外, 30cl/t 面确实代表这一区域的盐度极大值。另一方面,如果取用上述绕极深层水的特征指标,在 CNARE-VI 的测区范围内,位势比容距平值将变动于 $20-40\text{cl/t}$ 区间内。由此可见, $\delta_{01} = 30\text{cl/t}$ 则相当于上述区间之中值。根据这一方法,我们也可以给出表征普里兹湾陆架水的位势比容距平面。对于普里兹湾陆架水,对应于上述温、盐特征指标的位势比容距平值均落在 $23.18-32.22\text{cl/t}$ 区间内,因此我们将选取 $\delta_{02} = 27\text{cl/t}$ 面作为普里兹湾陆架水扩展路径的表征。显然,在普里兹湾陆架外,绕极深层水与普里兹湾陆架水之间的混合,应表现为绕极深层水沿 δ_{01} 面的上升过程和普里兹湾陆架水主要沿 δ_{02} 面下降过程中的混合。因此,可以说, δ_{01} 面与 δ_{02} 面之间的区域为这两种水团混合的主要区域。

从图 5 可以看出,绕极深层水可以从深层(大于 1000m)上升到次表层,以至于表层(小于 200m),上升最强烈的区域为 $68^\circ-73^\circ\text{E}$ 之间的海区;而在 78°E 断面上,它充其量只能上升至 400m 层。同样,在 $68^\circ-73^\circ\text{E}$ 区,位于次表层的普里兹湾陆架水可以从普里兹湾口外沿等密度面下降到 $500-700\text{m}$ 水层上;但在 78°E 断面处,深层水的上升运动似乎至多只能到达约 350m (66°S),在 500m 以浅的水层中已很难辨认出普里兹湾陆架水。上述情况似乎与四女士浅滩和西冰架的存在有关,四女士浅滩阻挡了深层水的进一步上升,

而西冰架又使处于该冰架之下的海水形成了冰架水,而不是普里兹湾陆架水。但四女士浅滩的存在却为上升至次表层的深层水从普里兹湾口东侧进入普里兹湾创造了有利条件(参见图6)。这样,正如图6所表明的,75°—68°E的次表层是绕极深层水与普里兹湾陆架水发生混合的主要区域。

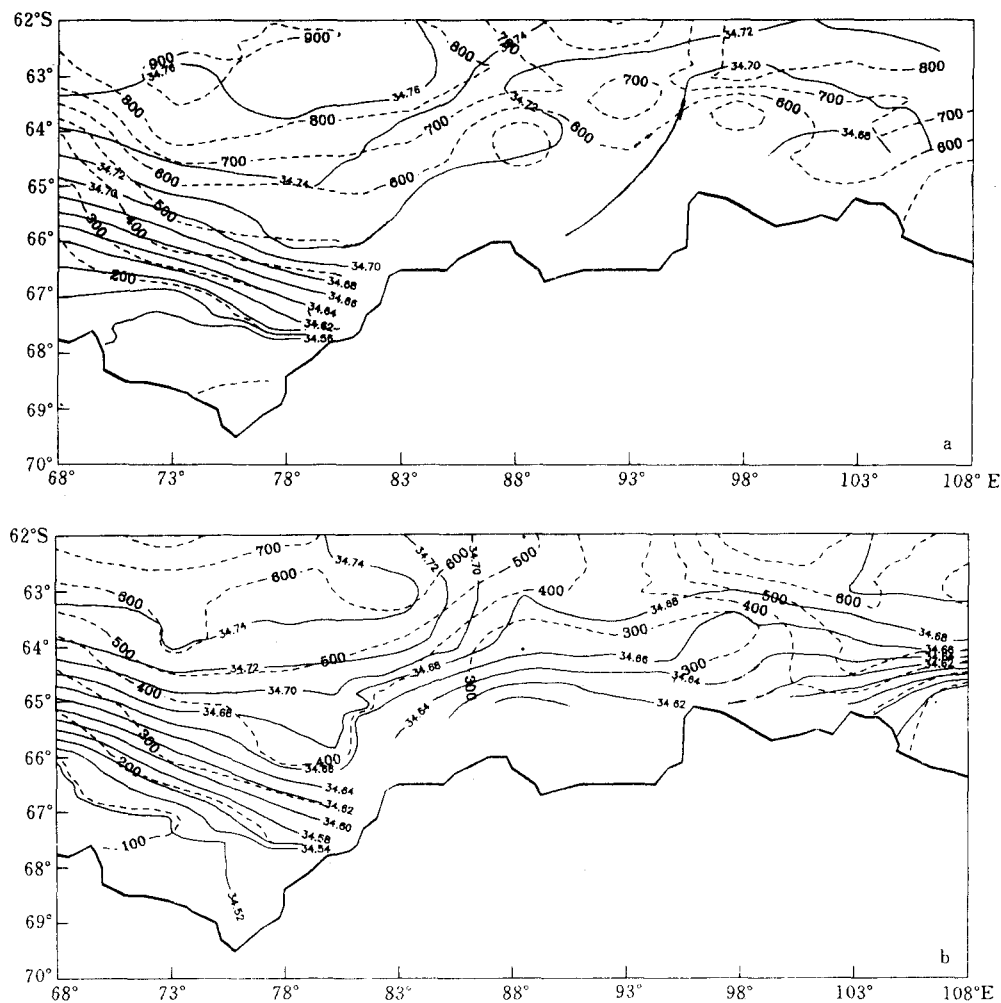


图6 等位势比容距平面上的盐度分布

a. $\delta\sigma = 27\text{cl/t}$ 面; b. $\delta\sigma = 30\text{cl/t}$ 面

——盐度; $\delta\sigma$ 面的深度等值线

值得注意的是,在图5b上200m以下的等密度面呈强烈的向上的波状分布。这种波状分布提示我们,在这一区域内可能存在着子午方向上的扰动。由于资料所限,目前尚不能了解这种扰动的来源及其性质。现在的问题是,这种波状分布与图4所显示的表层中可能存在的内波是否有外在或内在的联系,此问题只能留待将来解决。

此外,图6b还呈现出一个令人瞩目的特征,即绕极深层水在62°—63°S处上升到

600m 以上后,除了向西冰架以西海区扩展外,还向西冰架以东海区扩展,大致在 $88^{\circ}-93^{\circ}\text{E}$, $63.5^{\circ}-66.5^{\circ}\text{S}$ 的区域内与从戴维斯海(Davis, Sea)向东北流出的陆架水混合。这两种水混合的结果是否能像深层水与普里兹湾陆架水的混合而产生高密度的普里兹湾底层水($\sigma_t=27.90$)那样,产生有可能形成南极底层水的混合水,尚待进一步观测和研究。

3. 跨等密度面的混合 Middleton and Humphries (1989)的分析表明,在 ADBEX^① 11 站(67.4°S , 63°E)的大陆坡上(水深 500—1000m)具有较重的水($T<0^{\circ}\text{C}$, $S>34.62$)。在“上文”中我们发现,在 CNARE-VII 期间,35,45 和 114 站的 800—1000m 层和 104 站的 500—1000m 层上的海水均具有普里兹湾底层水(PBBW)的特性。问题是这种较重的普里兹湾底层水是如何产生的,并且它们是否有可能继续沿大陆坡下沉而形成南极底层水,为此,必须首先了解强对流发生的位置和层次。因为在强对流区中,必然发生强烈的跨密度面的混合,这样,由于混合增密效应,就有可能产生密度大于其原始水团的混合水。

为了分析跨密度混合发生的区域和位置,图 5 和图 7 给出了等密度面与相对盐度的分布。

从图 7a 可以看出,在 64°S 断面上,强烈的垂直对流混合主要出现在 $68^{\circ}-78^{\circ}\text{E}$ 和 $98^{\circ}-108^{\circ}\text{E}$ 两个区间内。 $68^{\circ}-78^{\circ}\text{E}$ 区间的混合状况较为复杂,大致可以认为在 100—300m 层表现为南极冬季水、陆架水和绕极深层水三者的混合;而在 300—700m 层则为南极陆架水与深层水的混合。由于 73°E 附近海域既是深层水从大于 700m 层(62°S)向南迅速上升到约 200m 层(66°S)的区域,又是普里兹湾陆架水有可能沿陆坡下滑到较大深度的区域(参见图 6),故次表层的强烈混合可以达到 900 多米。在 $83^{\circ}-98^{\circ}\text{E}$ 的区间内,表征深层水的 30cl/t 面上升至 200—300m,因此在这一层次上,看来它仅与冬季水有较弱的垂向混合。从约 97°E 向东至约 108°E 的范围内,300—800m 层的跨密度混合又表现得相当强烈,这可能与谢克尔顿冰架外的较重的陆架水下沉有关。尽管在 CNARE-VII 资料中, 88°E 以东经向断面的测站相对较稀,但 Саруханян 等(1986)提供的 97°E 断面的水团分布为这一分析提供了佐证。需要进一步弄清的是,图 4 中季节跃层表现出来的内波行为与图 7a 次表层中等密度面的波状分布的关系,然而由于资料有限,这个问题只能留待将来解决。至于 66°S 断面的混合状况,正如图 7b 所显示的,可以大致分为两部分,这可能是由于它位于普里兹湾湾口附近这一特殊位置之故。在 73°E 以东,较强烈的垂向混合自 200m 层以下一直存在,其原因可能为:(1)部分深层水有可能从 78°E 附近向湾口推进;(2)西冰架的影响。因此,这里的跨密度混合过程必然受到来自西冰架冰架水的强烈影响。另一方面,在 $73-68^{\circ}\text{E}$ 区段中,图 7b 显示,在 200—400m 层中,绕极深层水与普里兹湾陆架水发生强烈混合;而在 400—800m 层中,垂向混合显著减弱,在 $\delta_{\theta}=26-24\text{cl/t}$ 面之间,主要混合过程为沿等密度面混合。由此表明,绕极深层水与普里兹湾陆架水在进行强烈的对流混合过程中,由于混合增密的作用,产生了 $\delta_{\theta}\leq 26\text{cl/t}$ 的混合水(或称普里兹湾底层水),这些混合水在 73°E 以西沿着等密度面向下滑动,已能到达约 800m 的层次上。

^① 1982—1985 年,澳大利亚南极考察(Australian Antarctic Research Expedition)队在普里兹湾区共进行了五次考察,其中三个航次称之为 ADBEX(Antarctic Division Biomass Experiment),即 ADBEX₁(phase 1, Nov. — Dec., 1982), ADBEX₂(phase 2, January, 1984)和 ADBEX₃(phase 3, Oct. — Nov., 1985)。

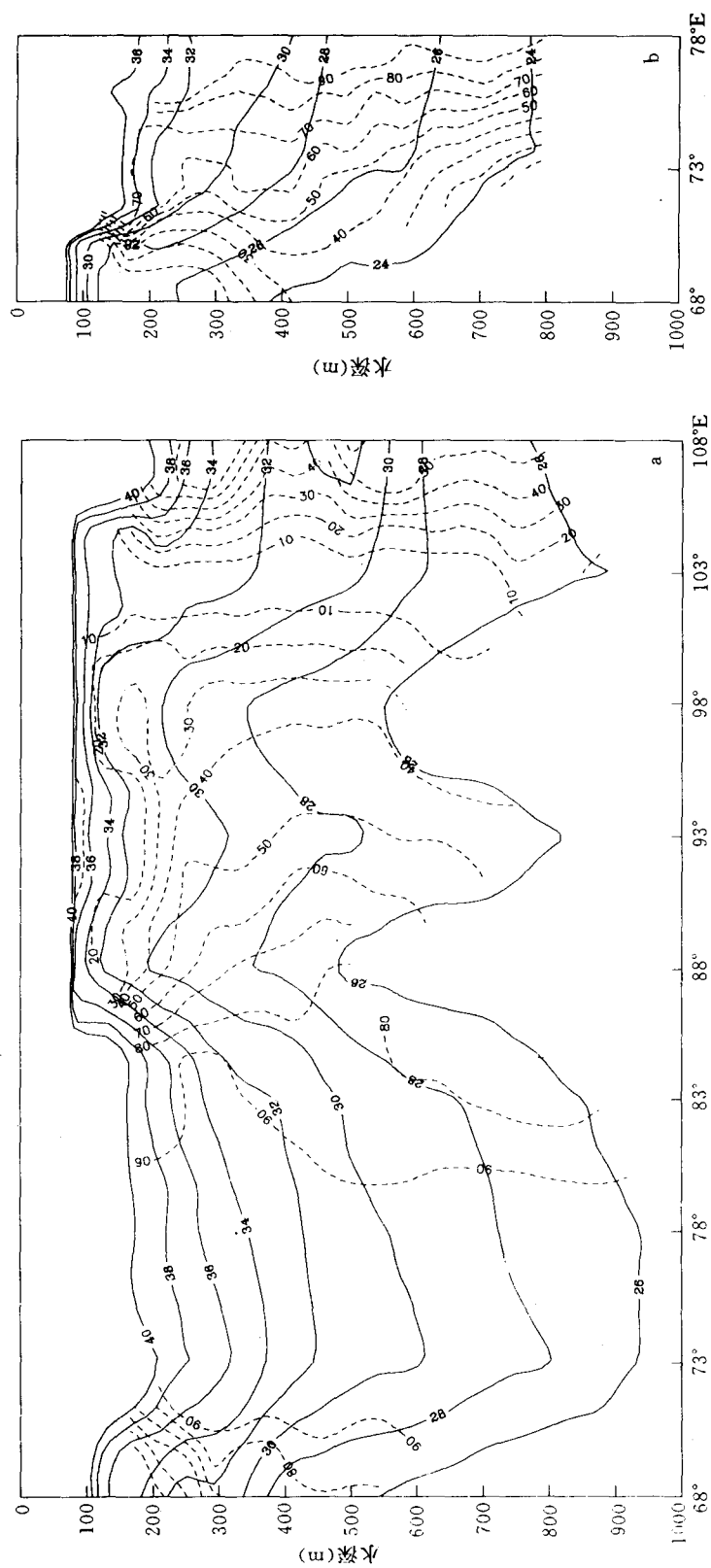


图7 等密度面与相对盐度的分布

a. 64°S 断面; b. 66°S 断面

—— 位势比容偏差的等值线 (cl/t); 相对盐度 (‰)

三、结果和结语

本文所获得的主要结果归纳如下:

(1) 在测区(62° — 68° S, 68° — 108° E)范围内,环流的型式基本上以南极辐散带为界,辐散带以北为向东的南极绕极流,以南为向西的南极沿岸流。

(2) 在测区范围内,南极辐散带位于 $63^{\circ}30'$ — 66° S 的区间内,其分布的基本特征为西侧偏南而东侧偏北。

(3) 在夏季(一月),沿岸流主要是由东风产生,因此它基本上为正压的,其流速为 5 — 10 cm/s, Ekman 摩擦深度约为 50 — 80 m。

(4) 频繁发生的东风使普里兹湾内的环流具有顺时针运行的特征,但流速较小。

(5) 辐散带以北的斜压环流型式与风生环流型式一致,即在本测区范围内,南极绕极流是由具有相同量级的正压分量和斜压分量构成的。

(6) 在普里兹湾湾口附近(67° — 68° S),如以 1000 m 为零面,则各个层次上的地转流向均与向西的风生流一致,但其量值要比其北面的东向的地转流小一个量级。由此表明,在某些区段,南极沿岸流不仅是风生的,而且也含有斜压分量。

(7) 在 73° E 断面上, 63° — 64° S 区间表层(0 — 32.5 m)与次表层(32.5 — 112.5 m)的地转流在流向上是相反的,这似乎表明,在 1991 年 1 月,那里存在着某种垂向传播的内波。

(8) 在 68° — 73° E 的区段内,绕极深层水可以从 1000 m 以深上升到次表层,甚至上升到 200 m 以浅的表层,这种上升运动,主要沿 $\delta_{\theta}=30$ cl/t 的等密度面进行;同时,普里兹湾陆架水主要沿 $\delta_{\theta}=27$ cl/t 的等密度面向下运动,它可以达到约 750 m 层处。

(9) 在测区范围内,深层水与陆架水发生强烈垂向对流混合的区段主要是 68° — 73° E 和 98° — 108° E;在这两个区段中,深层水和陆架水主要在 30 — 27 cl/t 面之间发生混合。

(10) 在上述区段中由于混合增密效应,深层水与陆架水混合而产生的较重的水($\sigma_t=27.90$)有可能下沉到 900 m 以深处,这为形成南极底层水创造了有利的条件。

应当指出的是,本文结果主要是根据 1991 年 1 月“极地号”考察船的 CTD 观测资料获得的。由于没有实测流场的资料,上述关于测区流场的分析结果仍有待实测流场资料的验证。此外,由于本区的热盐结构和混合过程具有显著的年际变化,因此还需要进行多年的现场考察,才能对环流、水团和混合问题有更深入的了解。

参 考 文 献

- 乐肯堂、史久新、于康玲,1996,普里兹湾区的水团和热盐结构的分析,海洋与湖沼,27(3):1—8。
陈善敏、卞林根、贾朋群,1987,南极海冰和南半球气旋资料图集,气象出版社,8—12。
陈善敏、夏建国、卞林根、贾朋群编译,1988,南半球数值分析资料图集,气象出版社,137。
Callahan J. E., 1972, The structure and circulation of Deep Water in the Antarctic, *Deep-Sea Research*, 19:563—575。
Foster T. D., et al., 1987, Mixing and bottom water formation in the shelfbreak region of the southern Weddell Sea, *Deep-Sea Research*, 34:1771—1794。
Gordon A. L., 1971a, Recent physical oceanography studies of Antarctic waters, In: Research in the Antarctic, L. Quan, editor, Washington D. C., American Association for the Advancement of Science, 609—629。
Gordon A. L., 1971b, Oceanography of Antarctic waters, In: Antarctic Oceanography I: Antarctic Research Series,

- Reid, editor, American Geophysical Union, 15: 169—203.
- Jacobs S. S. and D. T. Georgi, 1977, Observations on the southwest Indian/Antarctic Ocean, In: A Voyage of Discovery, Martin Angel, editor, Pergamon Press, 43—84.
- Middleton J. H. and S. E. Humphries, 1989, Thermohaline structure and mixing in the region of Prydz Bay, Antarctica, *Deep-Sea Research*, **36**(8): 1255—1266.
- Montgomery R. B., 1938, Circulation in upper layers of southern North Atlantic deduced with use of isentropic analysis, *Physical Oceanography and Meteorology*, **6**(2): 1—55.
- Montgomery R. B., 1940, The present evidence on the importance of lateral mixing processes in the ocean, *Bulletin of the American Meteorological Society*, **21**(3): 87—94.
- Mosby H., 1934, The waters of the Atlantic and Antarctic Ocean, Scientific Results of the Norwegian Antarctic Expeditions, 1927—1928, Oslo, 1: 1—131.
- Parr A. E., 1938, Isopycnic analysis of current flow by means of identifying properties, *Journal of Marine Research*, **1**(2): 133—154.
- Smith N. R., et al, 1984, Watermasses and circulation in the region of Prydz Bay, Antarctica, *Deep-Sea Research*, **31**(9): 1121—1147.
- Tchernia P. et D. F. Jeanin, 1983, Quelques aspects de la circulation oceanique Antarctique reveles par l'observation de la derive d'icebergs (1972—1983), Centre National d' Etudes spatiales, Expéditions Polaires Francaises, september, 467—474.
- Tsuchiya. M., 1968, Upper waters of the intertropical Pacific Ocean, The Johns Hopkins Oceanographic Studies, **4**: 1—50.
- Саруханян Э. И. и Н. П. Смирнов, 1986, Водные массы и циркуляция Южного океана, Ленинград Гидрометеоиздат, 48—276.

A STUDY OF CIRCULATION AND MIXING IN THE REGION OF PRYDZ BAY, ANTARCTICA *

Le Kentang and Shi Jiuxin

(Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences)

ABSTRACT

The circulation and mixing in the region of Prydz Bay, Antarctica were studied on the basis of the hydrographical data acquired from the Seventh Chinese National Antarctic Research Expedition (1990/1991). The main results are: (1) In the observed region, the Antarctic Divergence is located within the range of $60^{\circ}30' - 66^{\circ}\text{S}$, and is the boundary between the Antarctic Circumpolar Current (ACC) and the Antarctic Coastal Current (AACC). (2) The eastward ACC consists of both barotropic and baroclinic components having the same order of magnitude. (3) The westward AACC driven mainly by east winds is barotropic with its speed of $5 - 10\text{cm/s}$. (4) In the $63 - 64^{\circ}\text{S}$ region of the 73°E section the geostrophic currents at the surface layer ($0 - 32.5\text{m}$) and subsurface layer ($32.5\text{m} - 112.5\text{m}$) had opposite directions, which seems to indicate that there was a kind of internal wave propagating vertically in January, 1991. (5) In the study area the $68^{\circ} - 73^{\circ}\text{E}$ and $98^{\circ} - 108^{\circ}\text{E}$ region were the strong mixing area due to vertical convection between the Circumpolar Deep Water and Antarctic Shelf Water, which produced heavier water ($\sigma_t = 27.90$) down to below 800m .

* Contribution No. 2843 from the Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences.