

研究论文

北极阿蒙森湾冬季冰下海水 结构及对流混合研究

李翔 赵进平 李涛 李淑江

(中国海洋大学, 青岛 266100)

摘要 使用加拿大环北极冰间开放水道研究计划从 2007 年 11 月至 2008 年 1 月底整个极夜期间对北极阿蒙森湾的考察数据, 研究了没有太阳加热条件下冰下海水的对流混合。结果表明, 冬季冰下海水结构以对流混合为主要形式, 混合层的深度达到数米至数十米。发生对流混合时并没有出现静力不稳定性现象, 对流混合层密度小于下层水体密度, 此处的对流混合不同于前人的发现, 它是由于卤汁的不连续排放造成的。混合层的温度与海水的冰点非常接近, 由结冰导致的密度对流所形成。跃层以下海水的温度也在持续下降, 文中认为是通过跃层与上混合层交换热量导致的。在冬季的前期, 混合层的厚度与混合层的盐度有很好的对应性, 但晚冬两者有明显差别, 混合层厚度趋于减小。通过对三个位置接近站位的观测结果表现对流混合层的演化规律, 体现了对流混合层在整个冬季温度持续降低、盐度持续升高的特征。

关键词 对流混合 混合层 结冰析盐 温盐结构 北冰洋 阿蒙森湾

doi: 10.3724/SP.J.1084.2010.00404

0 引言

冬季, 由于没有太阳的能量供给, 北冰洋海水迅速失去热量, 在海面形成海冰覆盖层。海冰冻结过程中排放出高盐分的卤汁, 密度高于周边水体, 在重力的作用下下沉, 一直下沉到与其密度相当的水层; 与此同时, 同样数量的下层水体向上运动, 导致垂直方向上的盐度对流 (convection), 从海面到十几米至几十米 (乃至更深) 的温度盐度均匀混合的水层, 称为对流混合层^[1]。在出现冰间湖的海域, 会发生频繁的海冰冻结过程, 产生的卤汁更多, 形成的垂向对流也更强^[2]。这种盐度对流是北冰洋冬季上层海水的显著特点, 在很多海区已经被观测证实^[3]。整个冬季, 北冰洋的海冰处于不间断的变化中, 上混合层的厚度、温度和盐度也在不停地变化^[1]。已有研究表明, 对流混合是北冰洋冬季上层海洋结构变化与调整的主要形式^[4]。

[收稿日期] 2008 年 10 月收到来稿, 2010 年 8 月收到修改稿。

[基金项目] 国家自然科学基金重点项目 (No. 40631006)、国际 (地区) 合作交流项目 (No. 40810220) 和教育部留学回国人员科研启动基金 (教外司留 [2009] 1001) 资助。

[作者简介] 李翔, 男, 1983 年生。博士, 主要从事极地物理海洋学研究。

然而, 迄今为止的北极考察绝大多数在夏季进行, 冬季的观测数据极其稀少。冬季气候条件恶劣, 海冰厚重, 船只在冰区航行十分困难和危险, 后勤补给困难。即使有少量的冬季考察航次, 也难以在一个区域进行长时间观测。因此, 人们对北极冬季海冰覆盖下海水的温盐特点长期以来知之甚少。

2007—2008年, 加拿大破冰船阿蒙森号执行加拿大国际极地年的环北极冰间开放水道(Circumpolar Flaw Leads, CFL) 研究计划, 以北极波弗特海沿岸的开放水道为观测对象, 进行了为期一年的现场考察^[5]。本文作者参加了从2007年11月至2008年2月整个极夜期间的考察, 对没有太阳加热条件下上层海洋的变化过程进行了观测, 获取了宝贵的数据。

该计划的研究范围包括北冰洋的波弗特海及其边缘海阿蒙森湾(Amundsen Gulf) (图1)。由于阿蒙森湾与波弗特海海冰运动的不一致性, 两海域的衔接处经常出现开放水道, 是冬季北极海气相互作用的重要区域。冰间水道在冬季不断形成海冰, 对冬季海水结构的变化有重要贡献。近年来夏季北极海冰迅速减少, 对冬季的海冰也有明显的影响^[6, 7]。鉴于此, 了解冬季海洋和海冰变化特征, 对全面认识北极正在发生的快速变化过程是十分必要的。

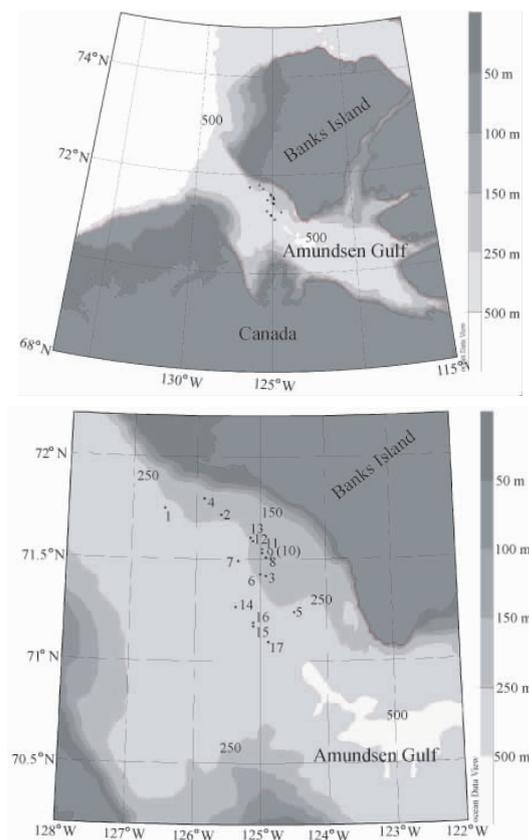


图1 CFL计划2007/2008年冬季阿蒙森湾温度和盐度观测站位图。其中点为观测站位

Fig. 1. Observation station map for temperature and salinity of CFL Project 2007/2008 in winter Amundsen Gulf. Dots stand for stations

虽然 CFL 计划的研究范围很大,但是,由于冬季没有办法补给油料,以及来自加拿大北极群岛北部多年冰的威胁,其冬季的考察范围很小,主要集中在阿蒙森湾内部狭小的空间。阿蒙森湾中部水深很大,最大深度约 600 m,冬季全部被海冰覆盖。冬季阿蒙森湾北部的波弗特海海水和南部的群岛间水体均趋向于进入阿蒙森湾,但都止于湾外,导致湾内海水与外部交换不畅,湾外的多年海冰也不进入阿蒙森湾。湾内海冰全部是当年冰,冰下海水结构是海冰冻结过程产生的,是研究冬季海水结构变化的理想海域。冬季考察的空间范围不大,站位比较集中,形成的观测数据有利于说明海水结构的时间变化过程。本文将利用这些数据,研究冬季阿蒙森湾上层海水的温盐结构特征以及对流混合层的演化过程,增加对冬季海水结构和海气交换过程的认识。

本文使用的温盐深剖面探测仪(CTD)的现场观测数据来自加拿大 CFL 研究计划的第 4 和第 5 航段(Leg 4,5),观测海域集中在阿蒙森湾东侧(图 1)。这 2 个航段时间从 2007 年 11 月中旬至 2008 年 1 月底,覆盖了该海区整个冬季的极夜期,记录了该海区冰下海水结构的变化过程。观测采用的 CTD 为 Ocean Seven 304,其温度、盐度和深度的探测分辨率分别为 $0.001\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 0.001 psu 、 0.01 dbar 。该项观测的目标是探测近表层冰下海水结构,全部站位的数据均为冰上作业得到,有效观测站位共 20 个,本文选择其中空间位置集中的 17 站(表 1)。该数据的优点是不受船体影响,很好地反映冰下近表层水体的温盐结构,缺点是仪器探测的深度不大,最大深度为 65 m。本文利用这些数据研究冰下上层水体对流混合过程中温盐结构的变化。

表 1 CFL 计划 2007/2008 年冬季阿蒙森湾温度和盐度观测站位表

Table 1. Station information for CFL Project 2007/2008 observation of temperature and salinity in winter Amundsen Gulf

站号	纬度	经度	日期	时间	投放深度(米)
1	71.747	-126.496	2007-11-22	08:23	64.23
2	71.715	-125.617	2007-12-02	02:08	61.96
3	71.417	-124.924	2007-12-05	19:52	62.94
4	71.795	-125.881	2007-12-18	11:55	62.54
5	71.240	-124.490	2008-01-03	17:55	55.99
6	71.425	-125.010	2008-01-04	23:22	49.57
7	71.490	-125.347	2008-01-05	11:17	49.39
8	71.508	-124.922	2008-01-15	22:52	65.41
9	71.530	-124.978	2008-01-17	10:59	63.50
10	71.530	-124.978	2008-01-17	22:59	62.99
11	71.548	-124.978	2008-01-18	23:23	62.53
12	71.587	-125.121	2008-01-20	22:50	59.51
13	71.603	-125.157	2008-01-22	10:54	65.33
14	71.265	-125.383	2008-01-23	22:48	61.36
15	71.170	-125.115	2008-01-24	21:38	53.27
16	71.188	-125.115	2008-01-25	23:11	45.81
17	71.093	-124.887	2008-01-28	22:50	54.37

1 冬季阿蒙森湾海水的垂向温盐结构

观测海区的典型温盐结构如图 2 所示。由于观测海区水体的温度很低且变化很小,

该海域海水密度几乎是由盐度决定的,经计算在这17个站中的盐度和密度的相关系数均达到99.99%以上。根据不同站位海水的垂向温盐密的特征,水体的温度和盐度结构可以分成以下三类:

(1) 均匀混合结构(图2a)。这种类型的混合呈现垂向完全均一的特点,整个水层的温度和盐度变化很小,温度变化在 -1.719 — -1.712 °C之间,盐度在 31.137 — 31.169 psu之间。均匀混合结构的背景是海水处于强对流混合状态,混合层的厚度已经超出了仪器的探测深度。

(2) 混合层-跃层结构(图2b)。在上层海水中发生一定厚度的对流混合层,混合层下面是对流混合没有到达的深度,海水保持原有的温盐结构;在混合层和原有海水之间形成了跃层。由于温度和盐度都发生跃层,可以确定该跃层是混合层与原有海水之间通过混合形成的。

(3) 中间暖水结构(图2c)。这种结构的水体上层是一个很浅的低温对流混合层,中部是一个暖水层,暖水层以下是高盐低温的水层。由于上层的温度和盐度都存在跃层,可以断定上部的均匀层是对流混合层。冬季没有太阳辐射加热,中部的暖水层不会是外部加热的结果,只能是来自暖水的平流或原有温度和盐度结构残留部分。其他研究表明^[8],该海域上层水体一般来自太平洋的暖水,上部和中部的水体应该均为暖平流的结果;图2c的结构表现了正在发生的对流混合导致上部逐渐发生低温的对流混合层,而中部结构未受对流混合的影响,温度和盐度保持不变,呈现为偏暖的水层。

这三种结构虽然有显著的差异,但实际上处于相同的状态,即下部是未受扰动的背景温盐场,上部是对流混合层。背景温盐场的上层存在来自太平洋的暖水,下部是低温低盐的陆架水。对流混合层处处发生,只是由于处于对流混合的不同阶段,对流混合层的厚度有很大的差别。在对流混合层和背景温盐场之间发生有温度和盐度一致变化的跃层,证实了上混合层的对流混合机制;这次考察观测到的最浅混合层只有约8 m厚,有些站点的混合层深度大于我们的观测深度,因而看不到跃层。不同站点的混合层深度差别很大,但并不表明混合层的空间差异,而主要体现了混合层的时间变化。

由于混合层下部的密度跃层是对流混合形成的,密度跃层的强度与原有海水的结构及对流的强度有密切关系,跃层之间的差别也很明显。有些站没有明显的跃层,如图2d,盐度随深度缓慢增加,从混合层以下的11.04 m开始到大概61 m,盐度仅从30.536增至32.287,盐度变化只有0.035 psu/m。在这17个站里,测得的最强的跃层强度为0.260 psu/m。

从观测数据来看,对流混合层的厚度并不是持续加大,而是和结冰过程相联系。观测期间,该海域早已由海冰覆盖,对流混合的水体主要来自于海冰加厚排放的高密度水体。已经冻结的海冰还在不连续地排放卤汁,造成持续的对流混合。结冰过程停止一段时间后,没有新排出的高密度水体,不仅混合层不再加大,而且由于扩散的作用,混合层被跃层下的水体蚕食,厚度逐渐减小。

Morison 等^[1]认为,在冬季极地海区的冰和冰间水道下的海水表层存在垂向的对流过程。这种垂向对流主要是由于静力的不稳定造成的,即密度在上面高,下面低。Muench 等^[3]在冰间水道用高时间分辨率的连续现场观测,探测出高密度水体微团的下沉过程,

指出冬季高盐份卤汁的排放,实际上造成了不连续的高密度水体微团下沉,引发对流混合。由于这个过程是不连续的,水体呈现间歇式静力不稳定状态。我们的观测结果表明,在冰下发生的对流混合与静力不稳定对流和间歇式静力不稳定对流都不一样,对流过程中密度始终处于静力稳定状态。静力稳定条件下,只有密度高于混合层水体密度的下沉水体引发的对流才能导致混合层的加深,而形成这种高密度水的唯一可能原因,是排放出来的卤汁密度远高于海水的密度;由于冰下湍流运动微弱,卤汁下沉过程中与周边水体交换不大,可以穿越密度跃层,并将跃层下水体对流到上层,形成跃层的加深。

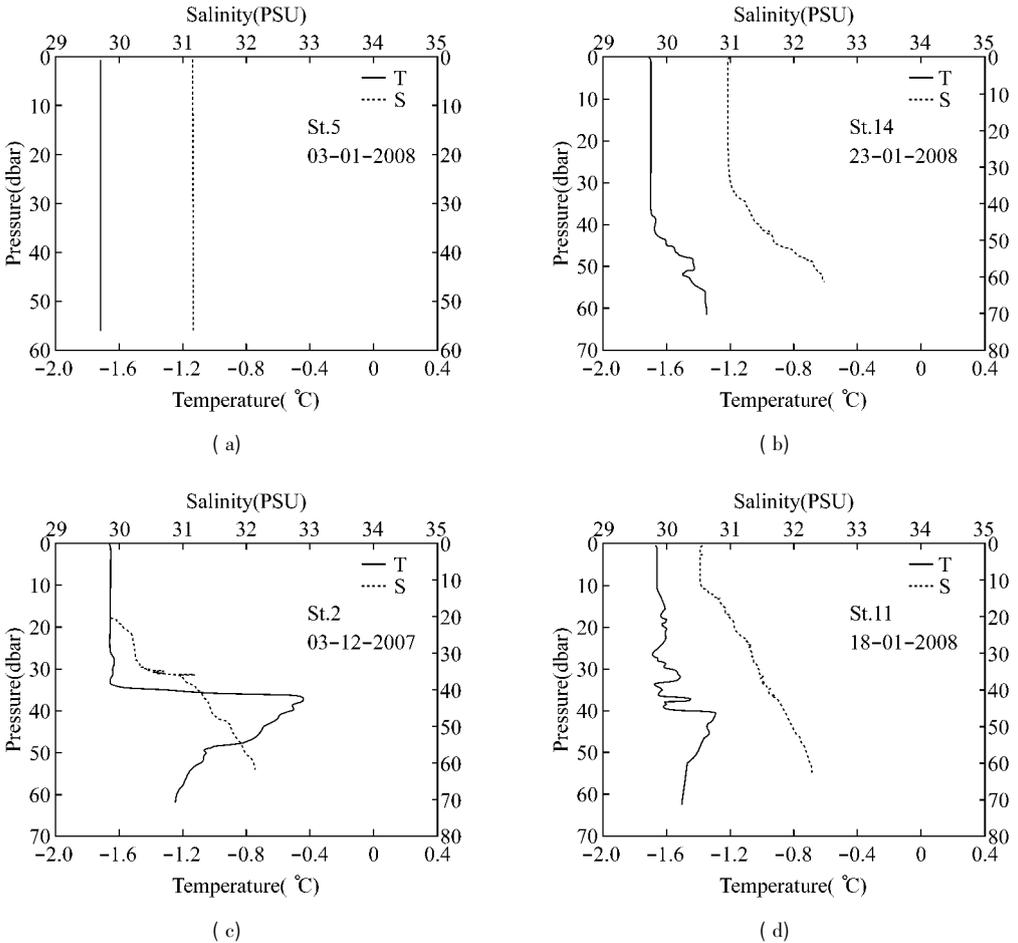


图 2 温度和盐度的典型垂向分布特征。(a) 站点 $71^{\circ}14.4'N, 124^{\circ}29.4'W$, 观测时间 2008 年 1 月 3 日, 呈现出均匀的混合层; (b) 站点 $71^{\circ}15.9'N, 125^{\circ}23.0'W$, 观测时间 2008 年 1 月 23 日; (c) 站点 $71^{\circ}42.9'N, 125^{\circ}37.0'W$, 观测时间 2007 年 12 月 2 日, 该站有明显的盐跃层; (d) 站点 $71^{\circ}32.9'N, 124^{\circ}58.7'W$, 观测时间 2008 年 1 月 18 日, 该站没有明显的盐跃层

Fig. 2. Typical vertical distribution of temperature and salinity. (a) $71^{\circ}14.4'N, 124^{\circ}29.4'W$, Jan 3rd 2008, uniform mixed layer; (b) $71^{\circ}15.9'N, 125^{\circ}23.0'W$, Jan 23rd 2008; (c) $71^{\circ}42.9'N, 125^{\circ}37.0'W$, Dec 12th 2007, obvious halocline; (d) $71^{\circ}32.9'N, 124^{\circ}58.7'W$, Jan 18th 2008, no obvious halocline

2 水团结构及其时间变化

2.1 混合层平均温度与冰点的关系

图3给出了对流混合层平均温度与冰下海水冰点的变化曲线,其中对流层温度是现场测量结果,海水冰点是用混合层的平均盐度计算的,取的参考面为海面,在几十米的混合层范围内是合理的。由图中可见,混合层的平均温度和海水冰点基本上是一致的,相关系数达到0.76(可以通过99%水平的显著性检验)。在所有的17个观测点中,两者相差最大的只有0.04℃。结果说明两个问题,一是海水温度处于冰点附近,表明海水的混合层完全是结冰导致的密度对流所形成;二是冰下海水温度处于冰点,随着气温的下降会随时导致新的海冰生成。

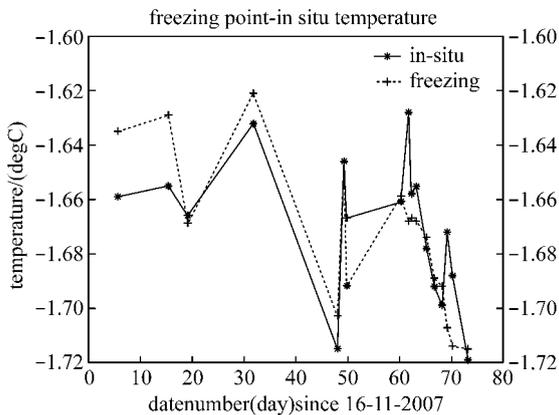


图3 混合层平均温度与海表面冰点的关系

Fig. 3. The relationship between temperature of mixed layer and sea surface freezing point

2.2 混合层盐度的特点以及对流混合过程

在冬季极区上层海水温度接近冰点,密度主要受盐度控制,因此结冰析盐过程是冬季极区表层垂向对流的驱动因素,冰海界面产生的盐分通过垂向对流,使得十几米至几十米深度的海水温盐属性均一,形成混合层。

海冰冻结过程排出的卤汁密度高于海水,如果卤汁在下沉过程中不与周边海水交换,可以下沉到很大的深度;但其在下沉的过程中不断与周边水体混合,这种混合的效应一方面使卤汁的密度不断变小,下沉的速度不断减慢最终停止下沉,一方面使海水的盐度逐渐升高和均匀化。因此,在冰下水体结构相同的情况下,结冰过程越活跃,界面处产生的盐分越多,对流的垂向范围越大,混合层厚度就越大^[2]。在开放水道、薄冰和大海气温差等条件下,海冰冻结很快;随着海冰厚度的增大,海冰的冻结速度降低,排出的卤汁也大幅度减少^[9]。17个观测站位非常集中,其结冰与混合层的机制应一致,因此可以将混合层深度和混合层盐度进行对比(图4),可以看到,在结冰的前期,两者有很好的一致性,表明在结冰季节,对流混合层深度与混合层盐度同步增大。

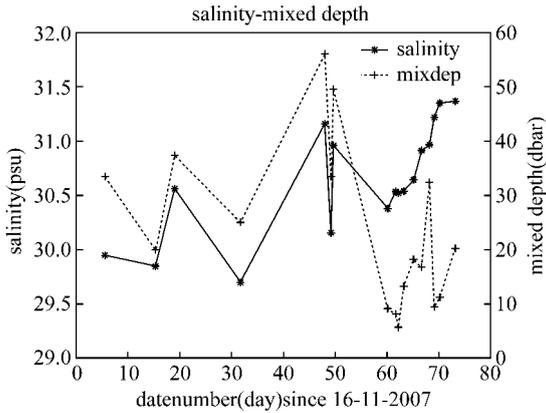


图 4 各站对流混合层厚度与混合层盐度的比较

Fig. 4. The comparison between the thickness and the salinity of mixed layer

但是自第 8 个站(1 月 15 日)起,二者出现明显的区别,较高的盐度对应的是较小的对流混合层厚度。我们认为,其原因是海冰冻结速度大大降低甚至停滞导致的。随着海冰越来越厚,结冰的过程会越来越弱,产生的盐分越来越少。支配极地对流混合层主要有两个过程,对流和扩散。当结冰析盐产生混合时以对流过程为主,当对流很弱或消失时垂向自由扩散作用占主导。对流混合在混合层下部形成很大的温度、盐度和密度梯度,一旦对流过程消失,混合层失去维持机制,跃层趋于向上扩展而减弱,并侵蚀混合层,导致混合层厚度减小。在冬天结冰期,随着时间推移,海冰厚度越来越厚,海冰厚度至第 8 站时,结冰过程已经非常弱,不能维持垂向的对流,混合层厚度无法保持。

为了说明这种机制,我们用一个海洋柱模式做了一个简单的数值实验,来模拟混合层和跃层在失去维持机制情况下的自由扩展和对混合层的侵蚀(图 5)。其控制方程来自扩散方程,只有时间变化项和二阶导数项。图中粗线表示给定的初始场,包括上面的混合层、中间的盐跃层和下面盐度缓慢增加的较深水层。在不考虑垂向对流以及平流的情况下,随着时间的推移,跃层强度慢慢变弱,混合层被不断侵蚀,厚度减小,以至消失。

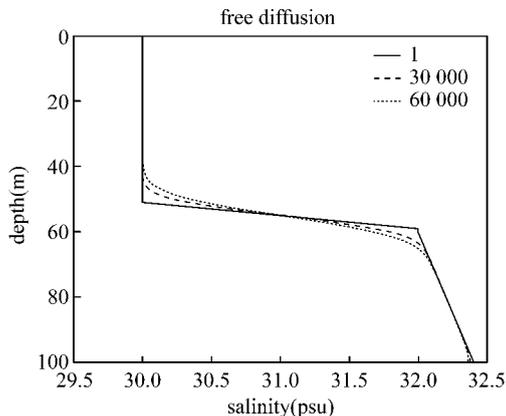


图 5 自由扩散实验. 图例分别为起始状态, 30000 s, 60000 s 后的状态

Fig. 5. Free diffusion experiment. Lines for initial state, $t = 30000\text{s}$, and $t = 60000\text{s}$

2.3 混合层以下最高温度变化特征

前面提到,由于对流混合是卤汁排放过程为主体产生的混合,混合层之下的海水基本不受混合过程的影响,只是在与混合层的交界处形成较强的温度和盐度跃层。然而,跃层以下海水结构并不是一成不变的,图6是不同时间跃层下暖水的最高温度的值,可以看到,跃层下海水的温度也在持续下降。11月22日是第1个测站,跃层下温度最大值最高,达到 $-0.169\text{ }^{\circ}\text{C}$;此后,温度最大值一直在下降,最小值出现在最后1个(1月28日)测站,暖水层温度最大值仅有 $-1.458\text{ }^{\circ}\text{C}$ (这里没有考虑那些因为投放深度有限无法判断最大值的测站)。在严寒的冬季,温度最大值不断下降是可以理解的,但是其热量的流失渠道需要讨论。我们认为,跃层以下水体的热量仍然是通过跃层与上混合层交换的。盐度的跃层虽然明显,但强度不是很大,对湍流扩散的抑制能力不强,跃层上下的水体仍然可以交换热量。即使在结冰过程活跃的时期,对流混合层厚度大、温度均匀,但仍然可以发生与下层水体的热交换,导致海水温度不断下降。

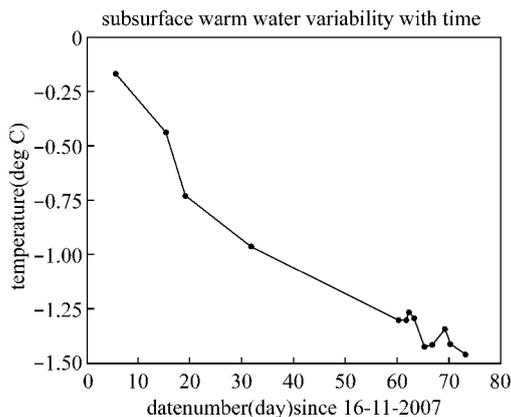


图6 次表层暖水温度最大值随时间变化,其中点代表测点

Fig. 6. Variation of maximum temperature of subsurface warm water with time. Dots stands for samples

2.4 水团结构的时间变化

上面的研究,以时间为序表达各站的水体结构变化,在一定程度上体现了对流混合层演化的规律;然而,我们更希望了解贯穿整个冬季冰下水团的演化特征。我们选取了3个点寻找其水团结构的时间变化过程,该3个观测点分别于2007年12月2日、2008年1月15日和1月28日进行观测。图7是这3次观测得到的T-S图。可以看到,12月1日的水体基本呈现高温低盐的特征。随着时间的发展,混合层的盐度在不断增大,主要是由于结冰析盐和对流混合导致的混合层盐度不断增大,从12月1日的 29.8 psu 左右变到1月28日的 31.3 psu 。另外,跃层以下的暖水最大值也在变小,从12月1日接近 $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,变到1月28日的小于 $-1.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。图中还可以看到,前两个站的温度均匀的深度大于盐度均匀的深度。这与LEADDEX计划中在北冰洋许多冰间开放水道中实测的结果一致^[5]。

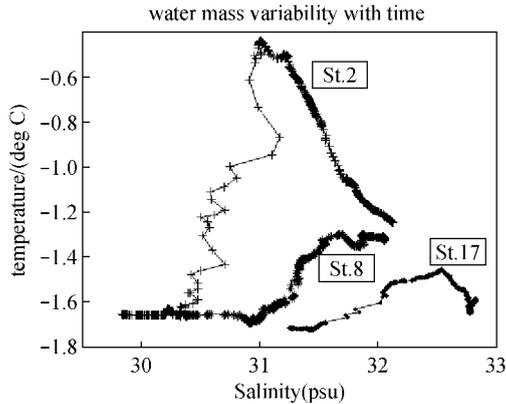


图 7 3 个邻近站位的 TS 图. 观测时间分别为 2007 年 12 月 2 日(第 2 站), 2008 年 1 月 15 日(第 8 站), 2008 年 1 月 28 日(第 17 站)

Fig. 7. TS - plot for three nearby stations. Time of the observations: Dec 2nd 2007(station 2) , Jan 15th 2008 (station 8) , Jan 28th 2008(station 17)

3 结论

世界上北极考察航次大都在夏季,冬季观测航次稀少,数据珍贵。作者参加了加拿大环北极冰间开放水道研究计划从 2007 年 11 月至 2008 年 1 月底整个极夜期间对北极阿蒙森湾的考察,对没有太阳加热条件下上层海洋温盐结构的变化过程进行了观测,用以研究冬季冰下海水的对流混合。

(1) 在冬季,冰下海水结构以对流混合为主要形式,处于不间断的变化之中。观测数据表明,冰下水体普遍出现混合层与跃层的结构。混合层的深度随时间变化很大,达到数米至数十米的深度。由于观测到的跃层体现了温度和盐度一致性,表明其产生于结冰析盐导致的对流混合。发生的对流混合并没有出现静力不稳定性现象,对流混合是在混合层密度小于下层水体密度的情况下发生的。与前人的研究不同,本文提出对流混合是由不连续排放的卤汁造成的。混合层的温度与海水的冰点非常接近,表明海水的混合层完全是结冰导致的密度对流所形成,也表明随着气温的下降会随时导致新的海冰生成。

(2) 结果表明,在冬季的前期,混合层的厚度与混合层的盐度有很好的对应性,但晚冬两者有明显差别,且混合层厚度趋于减少。作者认为,垂直对流有利于形成混合层厚度和盐度同步变化,对流混合减弱或停止后跃层在垂向自由扩散占优势,形成对混合层的侵蚀,导致混合层减小以至消失。

(3) 虽然对流混合层没有影响跃层以下的海水结构,但跃层以下海水的温度也在持续下降。文中提出,盐度跃层强度不是很大,对湍流热传导的抑制能力不强,跃层以下水体的热量仍然可以通过跃层与上混合层交换,导致海水温度不断下降。

(4) 通过对 3 个位置接近站位的观测结果来表现对流混合层的演化规律。从 T-S 图中体现了对流混合层在整个冬季温度持续降低、盐度持续升高的特征。

致谢 感谢加拿大 CFL 计划首席科学家 David Barber 为我们提供了宝贵的考察机会,感谢加拿大破冰船 Amundsen 号全体考察队员和船员对我们海上作业提供的帮助。

参考文献

- 1 Morison M , Curtin P. The oceanography of winter leads. *J Geophys Res* ,1992 ,97(C7) : 11199—11218.
- 2 Smith M. A numerical study of haline convection beneath leads in sea ice. *J Geophys Res* ,1993 ,98(C6) : 10069—10083.
- 3 Muench R , Smith D , Paulson C. Convection beneath freezing leads: New observations compared with numerical model results. *J Geophys Res* ,1995 ,100(C3) : 4681—4692.
- 4 Rudels B , Anderson L G , Jones E P. Formation and evolution of the surface mixed layer and halocline of the Arctic Ocean. *J Geophys Res* ,1996 ,101(C4) : 8807—8821.
- 5 Barber D G. The Circumpolar Flaw Lead (CFL) System Study. (Project proposal) ,2007.
- 6 Kauker F , Kaminski T , Karcher M , Giering R , Gerdes R , Vossbeck M. Adjoint analysis of the summer 2007 low in Arctic sea-ice area. *Geophys Res Abs* ,2008 ,10 , EGU2008-A-09303; EGU General Assembly 2008.
- 7 Overland J E , Wang M Y. Future regional Arctic sea ice declines. *Geophys Res Lett* ,2007 ,34: L17705.
- 8 Steele M , Morison J , Ermold W , Rigor I , Ortmeyer M and Shimada K. Circulation of summer Pacific halocline water in the Arctic Ocean. *J Geophys Res* ,2004 ,109: C02027 , doi: 10. 1029/ 2003JC002009.
- 9 Wadhams P. Ice in the ocean. London: Gordon and Breach Science Publishers ,2002: 351.

A STUDY OF WATER PROPERTIES AND CONVECTION UNDER SEA ICE IN WINTER AMUNDSEN GULF

Li Xiang , Zhao Jinping , Li Tao and Li Shujiang

(Ocean University of China , Qingdao 266100 , China)

Abstract

The convection under sea ice in winter Amundsen Gulf without solar heating is studied. The data we used are from Circumpolar Flaw Leads System Study project (CFL) during the time of polar night from November 2007 to the end of January 2008. It is shown that the vertical haline convection is the main character of the sea water in winter time in this region. The thickness of the mixed layer varies from meters to tens of meters. No static instability is found , i. e. the density of the water in mixed layer is lower than that of the water below. Unlike the convection others studied , the convection we observed is caused by continual released haline parcel. The temperature of the water in the mixed layer is almost at the freezing point , which is the result of the haline/density convection during the period of the ice formation. Below the mixed layer , there is a warm layer. But the temperature decreased with time during the observation period. We think , the main reason for it is the energy exchange with the water in mixed layer. According to the results , the salinity and thickness of the mixed layer coincide in early winter , while the thickness decreased in late winter with the salinity increasing. We also analyzed the

temperature and salinity data from 3 stations which are coarsely at the same position and found that the salinity of the mixed layer increased and the temperature of the warm layer decreased during the observation period.

Key words convection , mixed layer , brine rejection during ice formation , thermohaline structure , Arctic Ocean , Amundsen Gulf

关于《Chinese Journal of Polar Science》(《极地研究》(英文版))更名的通告

经上海市新闻出版局研究,并报经国家新闻出版总署批复,同意《Chinese Journal of Polar Science》(《极地研究》(英文版))更名为《Advances in Polar Science》(《极地科学进展》(英文版))。

自 2011 年起,将正式实施更名,并扩为季刊,大 16 开,原刊号作废,新编国内统一连续出版物号为 CN 31-2050/P,定价为 30 元/期(5 美元/期)。

《极地研究》编辑部

2010 年 12 月