

南极中山站海冰综合观测系统的建设

赵杰臣^{1,2}, 郝光华¹, 李杰³, 杨清华^{1,4}, 田忠翔¹, 沈辉¹, 孙启振¹, 丁卓铭¹,
李荣滨¹, 韩晓鹏^{1,5}, 李明¹, 张林¹

(1.国家海洋环境预报中心 国家海洋局海洋灾害预报技术研究重点实验室,北京 100081; 2.中国海洋大学海洋与大气学院,山东 青岛 266100; 3.国家海洋局天津海洋环境监测中心站,天津 300450; 4.中山大学 大气科学学院 广东省气候变化和自然灾害研究重点实验室,广东 珠海 519082; 5.国家海洋局北海分局,山东 青岛 266061)

摘要: 利用我国南极中山站的越冬观测平台,国家海洋环境预报中心自2010年起,在中山站附近海域选取固定海冰观测点,陆续布放各种自动化观测设备,初步建立海冰综合观测系统,开展常规气象要素、辐射、涡动通量、积雪和海冰温度、厚度、海水温盐等多要素的业务化观测。目前每年度的现场观测始于南半球初冬,即3—4月份,持续时间一般为8—10个月,自动观测要素的采样频率一般为1 min,人工观测要素的采样频率一般为7 d。结果表明:获取的高精度、长时间序列的现场数据可以广泛应用于我国的南极海冰数值预报和雪龙船海冰服务保障等工作中,初步解决了极地海冰预报保障对现场海冰观测数据的迫切需求。

关键词: 南极中山站;海冰;观测系统

中图分类号: P731.15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2018)05-0041-12

1 引言

极地地区是全球气候变化的敏感地区,南北极的海冰对20世纪以来的全球变暖表现出明显的响应,受到科学家的广泛关注。海冰变化是区域性大气海洋相互作用的结果,是极地气候变化的直接指示器。在南极长期连续的海冰观测可以得到南极海冰从日到年不同时间尺度的变率,同时可以认识全球气候变化对南极气候系统的影响。虽然目前可利用卫星遥感获取连续可靠的海冰密集度,但对厚度的卫星反演技术还很不成熟,只能依靠现场观测获取。而南极自然环境极端恶劣,暴风雪天气频繁,南极海冰观测数据非常稀少。目前,在澳大利亚南极局的倡议下,多个国家的南极考察站加入到固定冰监测网(The Antarctic Fast- Network, AFIN)框架,旨在通过国际合作来加强南极周边海域的固

定冰观测,填补南极海冰观测的数据空白。南极中山站的海冰观测已经纳入到AFIN中,因此在普里兹湾开展冰雪厚度的连续观测,可为AFIN提供更多的现场观测数据,来更全面的认识气候变化背景下南极海冰的变化。

海冰的观测,通常是在考察站附近的一系列固定站点进行一定频率的冰雪相关要素测量。一般情况下,利用螺旋钻打孔的方式测量海冰厚度,用直尺测量积雪的深度,而钻孔里水面距离冰面的高度(干弦高度)也同时记录在册。另外,近岸海冰冻结和破碎的日期以及海冰的范围变化等信息对建立固定冰季节变化和年际变化的完整时间序列和科学研究都是十分必要的资料。

南极大陆各个考察站的固定冰观测和数据收集尽管稀少,却也是南极海冰长期变率研究的有价值的科学记录。海冰,不管是浮冰还是固定冰,都

收稿日期: 2017-08-08; 修回日期: 2017-09-18。

基金项目: 国家自然科学基金(41876212, 41406218, 41428603); 南北极环境综合考察与评估专项(CHINARE-01-01)。

作者简介: 赵杰臣(1984-),男,工程师,博士,主要从事极地海冰观测和数值预报研究。E-mail: zhaojiechen@outlook.com

是构成南极气候系统的重要组成部分。海冰的物理参数随时间的变化过程包含着海洋-大气-海冰三者相互作用的某些线索,例如和某次天气事件的关联。因此不仅应该观测冰厚和雪深,同样要观测海冰的冻结日期、破碎日期,包括因风暴造成的海冰破碎事件。海冰数据还可以作为某种局地变化的指示器,海冰冻结日期、最大海冰厚度的变化等,可能会成为全球气候变化的重要证据。

在南半球冬季,整个南极大陆近岸基本都被固定冰围绕。和它的定义一样,固定冰是静止不动的。固定冰的形成主要取决于热力学机制上海冰生长,固定冰的产生和增长可以反映出南极环境的基本特征。因此固定冰特性的长期观测,可以给我们提供一个南极海洋-大气-海冰系统变化的重要指标,而固定冰冰雪厚度信息在规划航道、冰面车道,对破冰船的行进和车辆在冰面上的行驶都有重要作用。通常在越冬考察站中,从越冬队员中选拔志愿海冰观测员的机制是很多外国考察站获得连续

的长期的观测数据的主要手段。

我国中山站位于南极普里兹湾地区。目前该地区有4个常年运行的外国考察站(见图1b),分别是戴维斯站(澳大利亚)、莫森站(澳大利亚)、进步站(俄罗斯)。戴维斯站的海冰观测始于1958年,通常设置7个固定的观测点,主要观测项目包括:海冰厚度、冰上积雪厚度、干弦高度等。每年由两名志愿观测员采用手摇钻和汽油钻钻孔的方式进行测量,从3月初海冰冻结且允许冰上作业开始观测,频率为每周一次,至12月份海冰融化为止停止观测。莫森站的海冰观测开始于1954年,通常设置4个固定的观测点,观测从每年的4月初开始,至12月初结束,观测方法和频率与戴维斯站相同,另外莫森站的某些站点进行表面消融观测。进步站自1989年建站以来,即在附近海域开展海冰观测,每年由2名专职海冰观测员负责海冰厚度、冰上积雪厚度的测量,频率为5~10 d,每次打洞3~5个,采用手摇钻和汽油钻钻孔的方式,从每年的2月份开始,至12

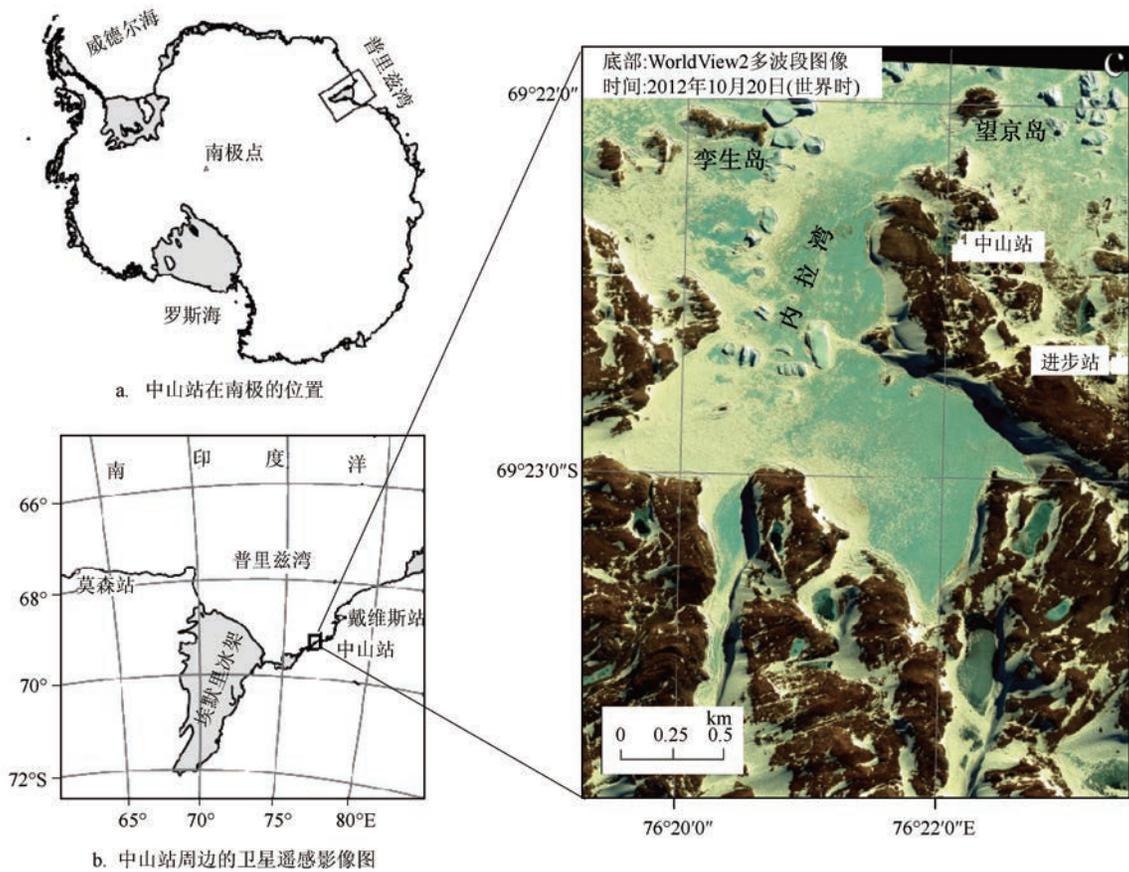


图1 中山站地理位置及周边情况

月份海冰融化停止观测。同时俄罗斯站海冰观测员还进行冰山位置和尺寸的绘图。

中山站所在的普里兹湾是我国南极考察活动的核心区域,中国南极考察船每年都要穿越冰清复杂的普里兹湾到达中山站海域,通过冰上卸货将大量科考设备和生活物资运抵站区,因此普里兹湾海域的海冰分布、海冰厚度和冰上积雪厚度都是雪龙船选择破冰航道时需要掌握的重要数据。在普里兹湾开展连续海冰观测,认识其变化规律可为雪龙船破冰、中山站海冰卸货提供更有有效的海冰预报保障,这对于我国南极科学考察事业具有重要的实际意义。

2 我国极地海冰观测回顾

我国科学家参与的极地海冰观测始于正式开展南极科学考察之前。张青松^[1]利用1981年在戴维斯站越冬机会,参与了该站海域海冰厚度的手动钻孔测量,给出了1981年3—11月戴维斯站海冰厚度变化曲线和月平均增长速度。这是中国人首次参与南极海冰厚度观测工作。其后很长的时间内,我国科学家开展了基于科考船的走航裸眼海冰观测和基于科考站的沿岸海冰观测,但并未系统的、持续的进行。孙波等^[2]在中国首次北极考察期间利用雷达电磁波探测海冰厚度,结果表明雷达波可穿透6 m的海冰,并反映出海冰下表面的形态特征。康建成等^[3]介绍了国际“海冰遥感地面对比试验”实施过程中,利用雪/冰雷达和机载、冰面EM仪等测量雪层和冰层的厚度,以对AMSR-E等卫星的遥感数据进行验证。卢鹏等^[4]在中国第二次北极考察“雪龙”船走航期间利用遥感摄像技术获取冰、雪厚度信息,为我们提供了一种优于裸眼观测的走航海冰厚度观测方法。李志军等^[5]在中国第二次北极考察期间利用雷达、EM物理探测和打钻钻孔等方法测量了多条断面的海冰厚度。李志军等^[6]总结了现行各种冰厚观测技术的优劣,并介绍了3种新的冰、雪厚度探测方法及初步试验结果。秦建敏等^[7]设计了一种基于压差式水位传感器的冰层厚度自动检测系统,并通过现场试验证明其可行性。窦银科等^[8]使用电阻率冰厚自动检测装置对中山站周边的海冰进行监测,结果表明该仪器可以成功分辨出空

气、冰、水3种不同的介质,进而估算得到海冰厚度。唐述林等^[9]在中山站附近内拉湾内沿盛行风向对4个测点的海冰厚度和冰上积雪厚度进行了冰钻钻孔测量,发现风吹雪现象造成的积雪再分布会影响到海冰厚度和冰上积雪深度。雷瑞波等^[10]利用船载CCD监测技术测量了固定冰边缘区海冰厚度,并在中山站天鹅岭附近海域采用冰钻钻孔的方式对融冰期内的海冰厚度进行测量,发现海冰厚度在向岸方向有明显的增加趋势。郭井学等^[11]利用EM31-ICE型电磁感应仪和激光测距仪组合成船载海冰厚度探测系统,沿“雪龙”船航线测量海冰厚度,经和观测对比表明该系统是可以大范围测量海冰厚度的有效方式。Lei等^[12]利用热电阻丝冰/雪厚度测量装置和冰钻钻孔方式获得了2006年度中山站附近海域一整年的海冰厚度和雪深数据,发现海冰厚度有明显的季节演化和空间差异;同时其利用磁致位移冰/雪厚度测量仪观测了海冰生长率日内变化。沈辉等^[13]结合中山站的气象情况简单分析了多年的海冰变化特征。近年来,无人值守的海冰观测浮标开始广泛的应用于我国在极地的海冰观测工作中,国家海洋环境预报中心从2014年起,在中山站固定站点持续布放海冰物质平衡浮标,进行业务化观测,取得了大量的珍贵的现场数据^[14]。

3 中山站海冰综合观测系统

中山站周边海域的海冰以固定冰为主。基于固定冰的观测始于1989年,大都在每年南极夏季进行,观测时间不超过3个月。过去相当长的一段时期内,我国对南极海冰观测的重视程度不够,部分科考队员在附近海冰上开展了零散的人工观测,但无固定观测点,造成现场观测不规范,数据收集不及时,很多资料已经遗失。

为适应极地环境快速变化对海冰观测数据的亟需和AFIN对各观测站点的要求,国家海洋环境预报中心自2010年起,利用中山站的越冬考察平台,在天鹅岭附近海冰表面设置观测点,规范观测步骤,逐步建立多种设备的自动化的海冰观测系统。

3.1 观测站点和断面

为获取固定冰的年际变化和延长已有的时间

序列,固定冰的观测每年都应该在相同或相近的地点进行。因此通过手持GPS的帮助,应该每年在同一经纬度处建立观测点。

中山站周边海域固定冰分布情况复杂,东北方向是错乱的堆积在站区前缘的多年冰和盛行风作用下从外海吹过来的冰山。西北方向天鹅岭下的海冰为当年冰,冰面平整,适合进行海冰观测(见图2)。

内拉湾内存在部分多年冰,冰面平整,适合使用车辆进行海冰断面观测(见图1b)。另外现场观测人员视当年的冰山和潮汐裂隙情况,兼顾安全和科研目的,围绕往年的观测位置选取合适的观测点和断面。

图2中P1点是开展持续观测的固定站点(见表1),一般是当年冻结的新冰。3月初在该点布放各类自动化观测设备,并开展人工观测项目包括冰厚、雪厚、干弦高度、表面消融、冰温、水温等。根据每年固定冰的不同情况,可酌情开展其他观测。以中国第28次南极考察为例,2012年度越冬期间,P1点是当年冰,而P2点是去年未融化的多年冰,因此国家海洋环境预报中心的越冬队员在P1点和P2点同时开展观测,以获取当年冰和多年冰的对比观测数据(见表1)。

3.2 观测要素和设备

从2010年开始,国家海洋环境预报中心陆续布放各类自动化设备,进行常规气象要素和海冰反照



图2 中山站天鹅岭海冰观测场全景

(P1为固定观测点,P2为临时观测点。此照片拍摄于2012年3月初,固定冰刚冻结成片,冰厚为20 cm。)

表1 中山站两个观测点的地理位置

站点	经度/E	纬度/N
固定观测点P1	76°21'44"	69°22'09"
临时观测点P2	76°21'43"	69°22'08"

率的观测,在固定的三角支架上安装常规气象要素传感器和四分量辐射传感器,定点连续观测长波/短波、向上/向下的辐射强度(见图3a),计算反照率。2011—2012年开展了移动式辐射观测,利用三脚架和辐射传感器进行断面的辐射监测(见图3b)。2012年在辐射观测的支架上新增加了自动观测积雪厚度、气温、冰雪表面温度的传感器。2013年增加高光谱辐射传感器,可以分光谱的观测不同波段的辐射强度(见图3c)和海冰电磁感应厚度测量设备EM31,可以进行大面海冰厚度观测(见图3d)。2014年在固定三角支架上新增加了涡动通量传感器,可以观测三维湍流风速风向、声学虚温脉动和二氧化碳、水汽密度脉动(见图3e),进而计算通量。另外2014年开始新增了基于温度链的海冰物质平衡浮标,用来观测海冰的温度剖面,分析积雪深度和海冰厚度(见图3f)。

为观测海水的温盐变化,从2014年起配备了小型的CTD,开展不定期的温盐剖面观测。

在开展多项自动化观测的同时,自2012年开始进一步规范中山站的人工固定冰观测作业。主要内容包括:建立固定观测点;将冰厚、雪厚、辐射等观测提前到3—4月份;新增加表面消融、海冰冻结、破碎时间等要素的观测;在冰厚快速变化期,加密观测频率至3~5 d,其他时期维持7~10 d的观测频率。

另外,近年来国内其他科研院所也在越冬期间开展过不同设备的自动化海冰观测,如太原理工大学于2011—2016年度在布放的自动冰雪监测仪,进行海冰厚度和冰上积雪厚度的自动观测;中国极地研究中心于2013起在中山站其他位置布放SIMBA海冰物质平衡浮标,进行海冰温度观测;这些都丰富了国家海洋环境预报中心主导的海冰综合观测系统。

3.3 观测系统的集成

经历了多年的不断完善和建设,目前中山站已



a. 常规气象及四分量辐射观测



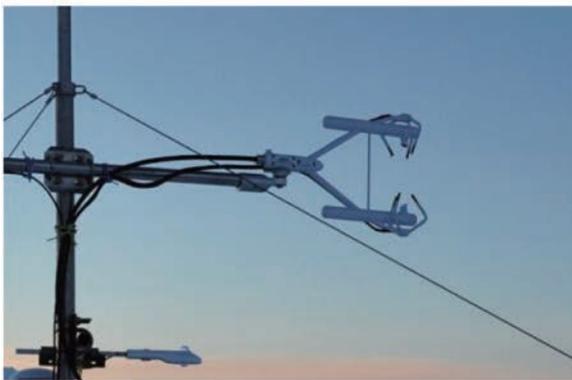
b. 移动式辐射观测



c. 高光谱观测



d. EM31观测



e. 涡动通量观测



f. 海冰物质平衡浮标观测

图3 中山站开展的各项自动化观测现场图

形成了完备的涵盖大气-海冰-海洋的海冰综合观测系统,并在“南北极环境综合考察与评估专项”和中山站越冬平台的支撑下,实现了业务化常规观测。

大气中的观测要素主要包括常规气象要素(风、温、压、湿等)、涡动通量、四分量辐射(反照率)、高光谱辐射,涵盖了主要的气象信息;积雪和海冰中的观测要素主要包括雪表面温度、积雪内部

的温度、海冰内部的温度、积雪的厚度、海冰的厚度等;海水中观测的要素包括不同深度的海水的温度和盐度(见图4)。自动观测要素的采样频率一般为1 min,人工观测要素的采样频率一般为7 d。

在国家海洋环境预报中心越冬队员的艰苦努力下,目前该系统每年冬季可以稳定运行8个月左右。一般3—4月份开始开始在P1点陆续布放各项自动

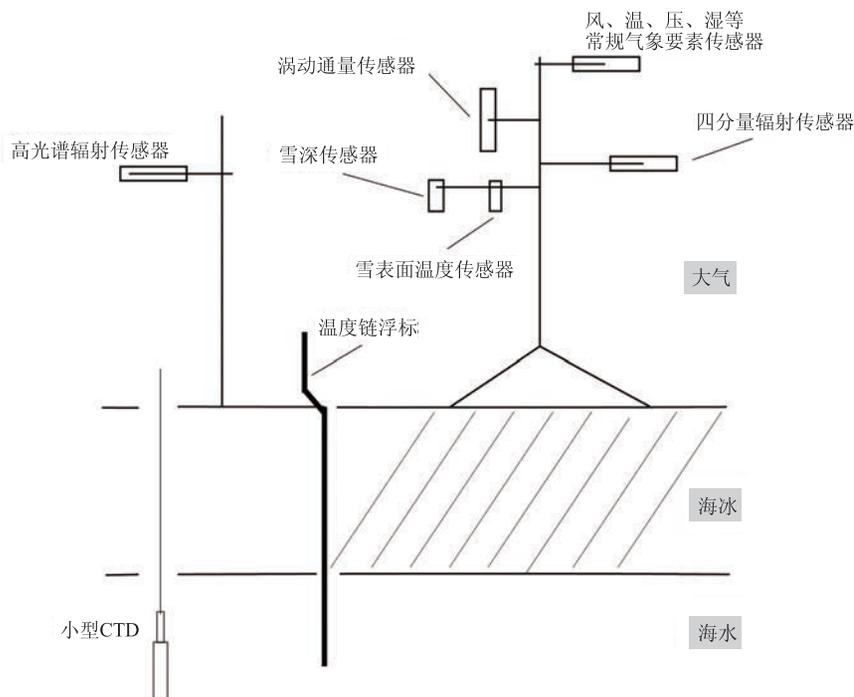


图4 海冰综合观测系统示意图

化设备,在极夜前完成所有设备的调试、数据校对工作,至当年的12月份撤回所有的设备,现场观测停止。

4 观测结果示例

4.1 海冰破碎与冻结

天鹅岭下方的海冰在1月份左右,随着温度的升高,开始融化,海冰强度降低。在风浪的作用下,1月中旬出现明显的破碎,2月份海冰基本以浮冰状态存在,3月上旬随着气温的降低海水会重新冻结,并快速增长,3月底基本冻结成片,形成当年冰(见图5)。

4.2 常规气象要素

冰面以上观测到的常规气象要素包括:空气温度、大气压强、相对湿度和风速(见图6)。以2016年为例,从4月8日开始观测,至11月26日结束,采样频率为1 min,共取得10 990组观测数据。

4.3 辐射和涡动通量

与辐射和涡动通量相关的观测要素包括:水汽通量、向上(下)长(短)辐射、反照率、积雪厚度、感

热通量、潜热通量等(见图7),以2016年为例,从4月8日开始观测,至11月26日结束,采样频率为1 min,共取得10 990组观测数据。

4.4 定点人工观测

海冰人工观测采用电动钻钻孔的方式,基本每7 d观测一次。以2016年为例,最小冰厚53 cm,出现在4月份,最大冰厚182 cm,出现在10月份,平均冰厚126.2 cm(见图8)。4月和5月份的时候,海冰呈现负增长,6月份的时候海冰增长率达到最大,11月份的时候海冰厚度基本保持稳定,说明海冰状态开始向融化转变。

4.5 断面人工观测

每年11月利用为考察队和雪龙船探冰的机会,进行长距离、密集钻孔的积雪和海冰特征观测。以2016年为例,路线为中山站向北15 km左右(见图9),穿过中山站前的乱冰区、冰山区、对海冰厚度、积雪深度和潮汐裂缝的位置、宽度进行了观测和记录。

4.6 海冰物质平衡浮标

海冰物质平衡浮标(SIMBA)主要由仪器箱和



图5 2016年夏季天鹅岭固定冰的演化过程(20160105表示2016年1月5日)

软性温度链组成(见图3f),温度链长4.8 m,内置了240个间距为2 cm的温度传感器,温度观测精度 $0.0625\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。SIMBA可以自动观测大气-积雪-海冰-海水垂直温度剖面,可设置的最短观测时间间隔为15 min。数据通过铱星系统准实时传输回国内(见图10),可以实时的查看海冰内部的温度剖面(见图11)。

通过长期的数据累积,便可以得到积雪和海冰内部温度的时间序列(见图12),这是研究海冰热力学过程、天气过程对海冰的影响,以及服务极地天气和海冰预报的重要数据。

4.7 海水温盐观测

海洋要素的人工观测在P1点开展,时间是4—

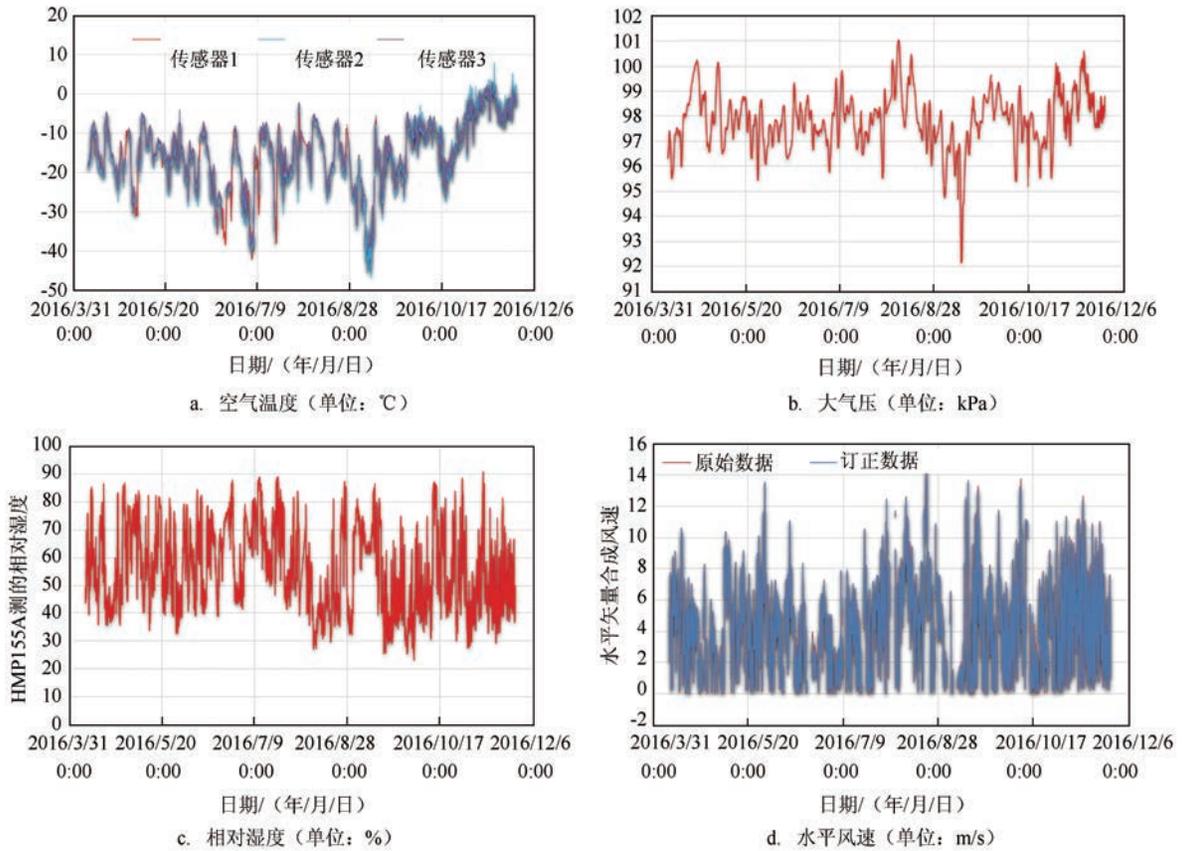


图6 常规气象要素时间序列

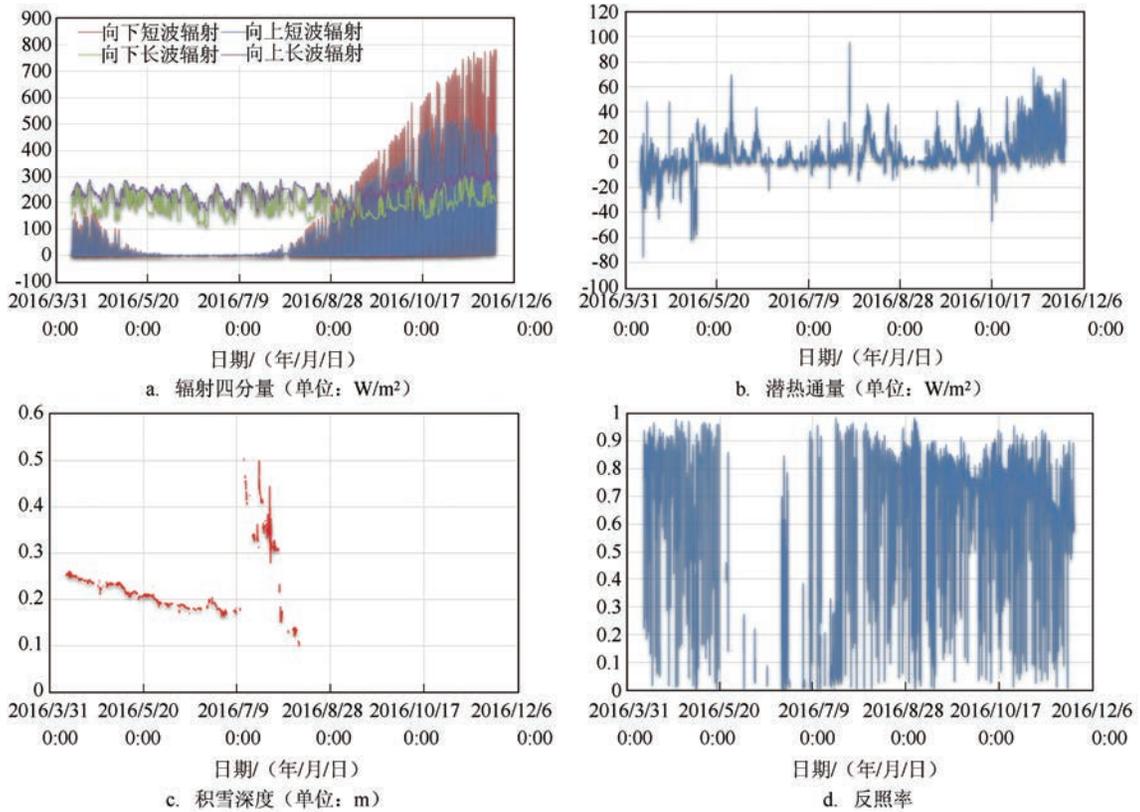


图7 常规气象要素时间序列

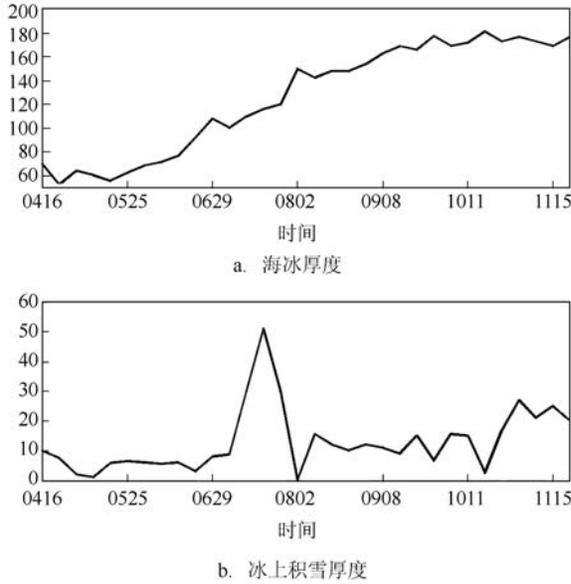


图8 2016年P1点观测结果(单位:m,0416表示4月16号)

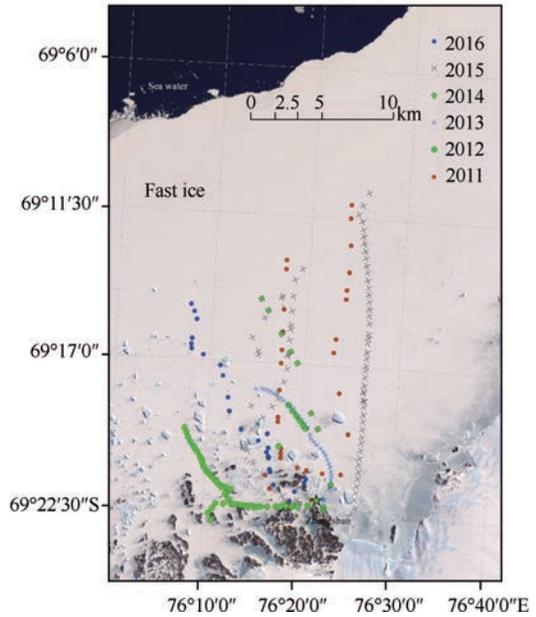


图9 2011—2016年南半球夏季中山站探冰路线

20161021 SAMS MaTech :: SIMBA Chains :: Control Center

Name & ID	Message	Latest Lat	Latest Lng	Updated	Links
Active (5)					
NMEFC 06 01 300234064914110	GPS	56.451460	-5.443280	16 days : 2016-10-04 08:07:51	TXT :: MAP
	Temp	(56.4601*)	(-5.3942*)	16 days : 2016-10-04 08:06:38	GRAPH
	Status	(56.4431*)	(-5.3296*)	22 days : 2016-09-28 10:01:27	STATUS
NMEFC 05 01 300234060734730	GPS	79.149040	-155.713973	04:09 hrs : 2016-10-20 21:08:48	TXT :: MAP
	Temp	(79.0980*)	(-155.3836*)	04:11 hrs : 2016-10-20 21:07:34	GRAPH
	Status	(79.1415*)	(-155.9023*)	01 days : 2016-10-19 23:03:14	STATUS
NMEFC 05 02 300234060474370	GPS	81.532800	-135.200480	13:13 hrs : 2016-10-20 12:05:24	TXT :: MAP
	Temp	(81.6375*)	(-135.1741*)	07:14 hrs : 2016-10-20 18:03:48	GRAPH
	Status	(81.5317*)	(-135.5162*)	03 days : 2016-10-17 02:03:15	STATUS
NMEFC 4 300234061262820	GPS	-69.368880	76.361893	174 days : 2016-04-29 09:06:59	TXT :: MAP
	Temp	(-69.3792*)	(76.3340*)	181 days : 2016-04-22 08:01:33	GRAPH
	Status	(-69.4118*)	(76.3100*)	181 days : 2016-04-22 11:06:43	STATUS
NMEFC 1 300234060690090	GPS	-69.379146	76.356920	15:05 hrs : 2016-10-20 10:13:35	TXT :: MAP
	Temp	(-69.3712*)	(76.2352*)	03:12 hrs : 2016-10-20 22:06:12	GRAPH
	Status	(-69.4244*)	(76.3100*)	13:13 hrs : 2016-10-20 12:05:12	STATUS
Inactive (2)					
NMEFC 3 300234061767890	GPS	0.000000	0.000000	424 days : 2015-08-23 01:27:11	TXT :: MAP
	Temp	(73.4424*)	(-136.6010*)	424 days : 2015-08-23 01:22:10	GRAPH
	Status	(73.5547*)	(-135.7162*)	427 days : 2015-08-20 03:20:25	STATUS
NMEFC 2 300234061769850	GPS	73.312640	-133.800826	325 days : 2015-11-30 07:02:35	TXT :: MAP
	Temp	(73.1008*)	(-134.3896*)	323 days : 2015-12-02 20:01:07	GRAPH
	Status	(73.3465*)	(-133.5856*)	327 days : 2015-11-28 22:00:50	STATUS

* Indium Latitude and Longitude (this is not an accurate fix and should only be used as an indication of location)

Last Email scan @ 2016-10-21 02:00:02 (18 mins)

图10 铱星系统数据传输界面

11月,由观测人员每周去现场观测一次(见图13)。观测设备包括便携式温盐仪和小型CTD等。

5 数据共享

中山站海冰综合观测系统是在“南北极环境综

合考察与评估专项”的支持下,经过国家海洋环境预报中心多名越冬队员的辛苦工作逐步建设完成的,所有的观测数据都已按照要求编制成年度报告上交给自然资源部极地考察办公室(极地办)。经过质量控制后的数据也分批次提交至中国南北极数据中心(网址: <http://www.chinare.org.cn/index/>)。

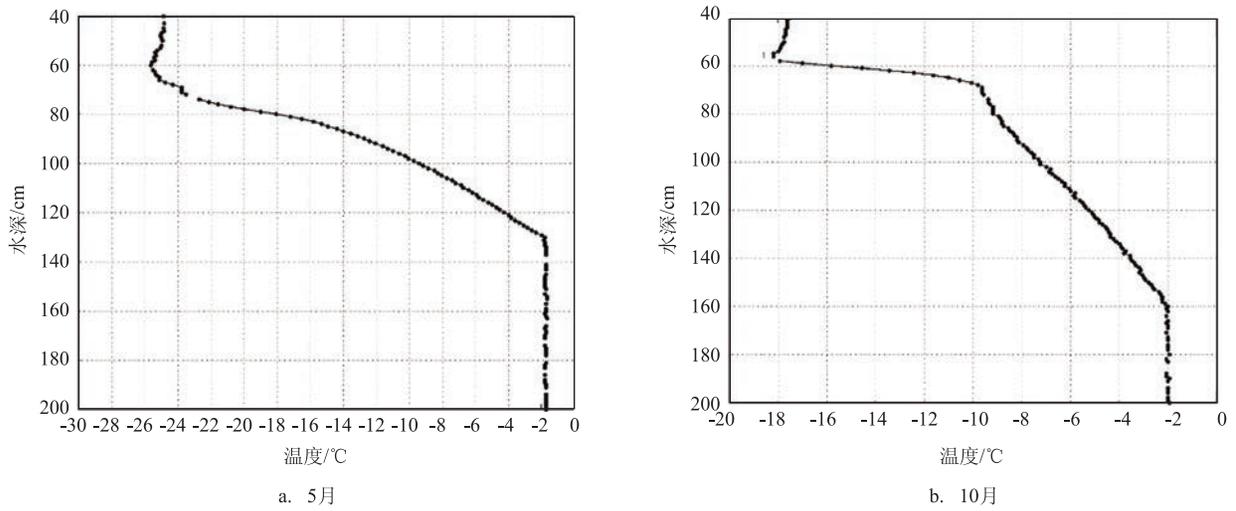


图 11 2016年浮标观测到的海冰内部温度剖面

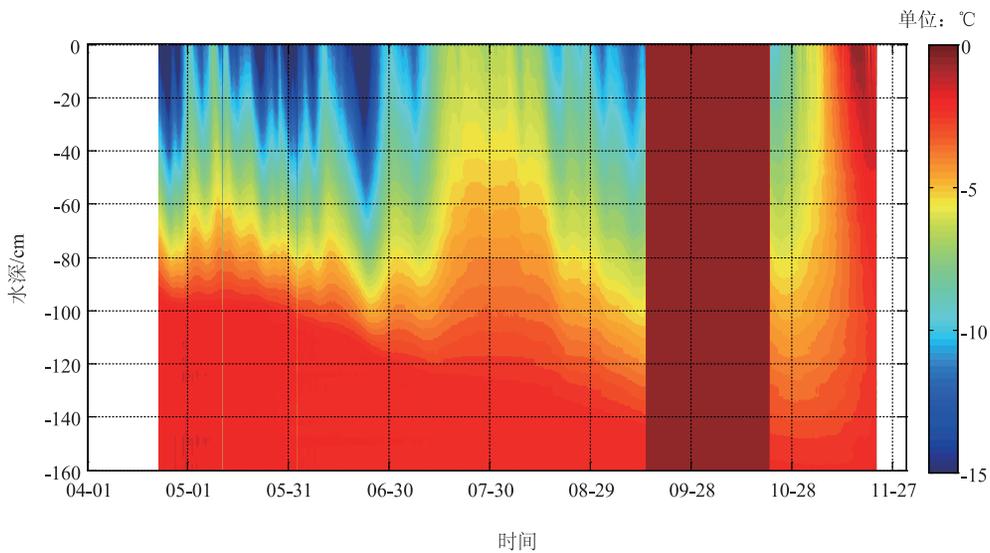


图 12 2016年海冰内部温度剖面的时间序列(04-01表示4月1号)

对中山站海冰观测数据有兴趣的国内同行,可向极地办索取或者登录中国南北极数据中心网站下载。

6 结论

海冰作为极地特有的自然现象,对其长期观测对于全球气候变化研究具有特殊的指导意义。南极中山站是我国开展极地海冰观测的绝佳场所,每年冬季其周边的固定冰存在时间长达10个月左右,厚度可达1.5~2.0 m,适合开展各种人工和自动化

观测项目。我国南极科考队对中山站的补给和在其周边的科学考察作业都受到固定冰的影响,因此对其开展持续观测也是服务于我国南极科学考察活动的实际需要。

在“南北极环境综合考察与评估专项”的支持下,国家海洋环境预报中心历经多年的努力,在中山站周边建立了海冰固定观测点,开展了人工和自动化观测项目,实现了常规业务化运行。一般情况下,观测作业时间跨越4—12月,最长可达10个月。在海冰上搭建的综合观测系统可以观测常规

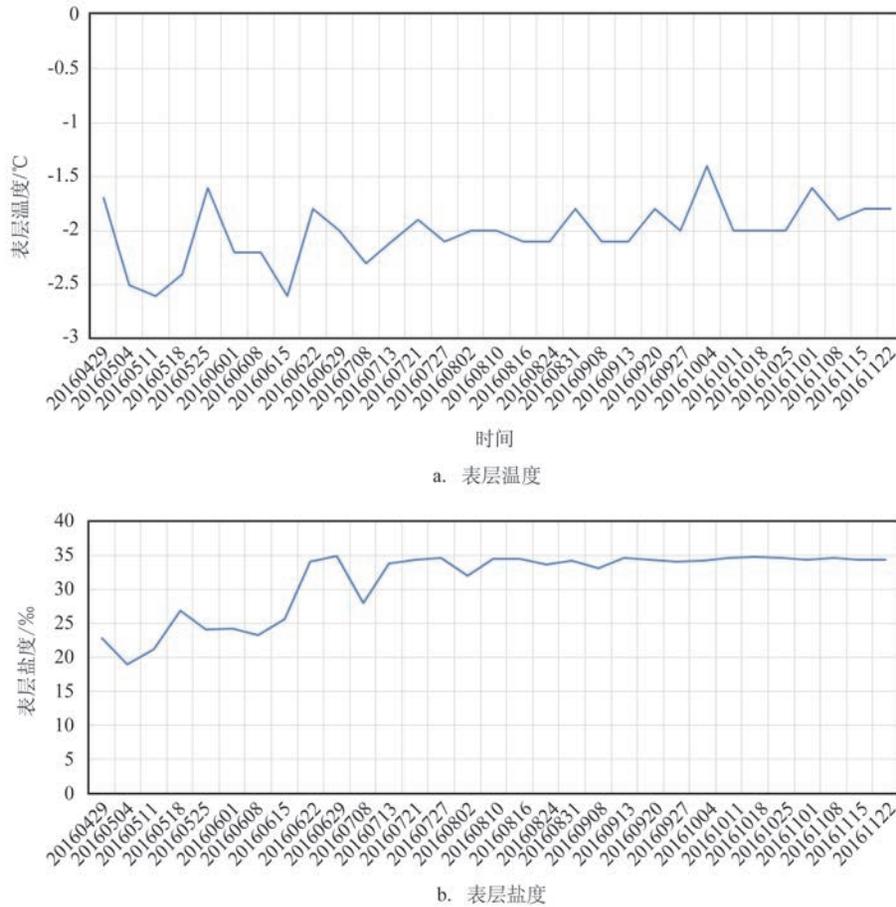


图13 2016年海水温盐观测的时间序列(20160429表示2016年4月29号)

气象要素、辐射和反照率、涡动通量、积雪和海冰的温度及厚度、海水的温盐等,形成了气-冰-海多要素观测系统,取得了大量珍贵的现场观测数据,已广泛应用于我国的南极大气与海冰数值模拟、服务保障等工作。该观测系统的最大优点是在中山站越冬队员的支持下可以随时布放、随时维护和随时回收,保证仪器的安全和正常运行,保证观测数据的质量和连续性;目前的短板是无法实现多频次的断面人工观测,这主要是由于极地恶劣的环境和考察站后勤保障能力不足造成。实现海冰观测由点到面的跨越是未来的努力方向。

中山站海冰综合观测系统是我国最重要的极地海冰观测平台,深入发掘和利用这些珍贵的观测资料可以促进我国极地海冰研究和预报水平。欢迎相关研究团队借助中山站海冰综合观测系统搭载其他传感器,或者利用历史数据开展共同研究,

发挥该系统的最大作用。

参考文献:

- [1] 张青松. 南极大陆东部戴维斯站地区海冰观测[J]. 冰川冻土, 1986, 8(2): 143-148.
- [2] 孙波, 温家洪, 康建成, 等. 北冰洋海冰厚度穿透雷达探测与下表面形态特征分析[J]. 中国科学(D辑), 2002, 32(11): 952-958.
- [3] 康建成, 唐述林, 刘累保. 南极海冰遥感现场对比实验[J]. 极地研究, 2003, 15(4): 310-317.
- [4] 卢鹏, 李志军, 董西路, 等. 基于遥感影像的北极海冰厚度和密集度分析方法[J]. 极地研究, 2004, 16(4): 317-323.
- [5] 李志军, 张占海, 董西路, 等. 中国第二次北极科考航线海冰密集度和厚度[J]. 极地研究, 2005, 17(4): 291-298.
- [6] 李志军, 韩明, 秦建敏, 等. 冰厚变化的现场监测现状和研究进展[J]. 水科学进展, 2005, 16(5): 753-757.
- [7] 秦建敏, 郝玉珠, 韩明, 等. 基于压差式水位传感器的冰层厚度自动监测系统[J]. 水文, 2006, 26(2): 68-70, 56.
- [8] 窦银科, 常晓敏, 秦建敏. 电阻率冰厚监测装置在南极海冰考察中的应用[J]. 太原理工大学学报, 2006, 37(4): 454-456.

- [9] 唐述林, 秦大河, 任贾文, 等. 夏季南极威德尔海至普里茨湾之间海冰的特性研究[J]. 地学前缘, 2006, 13(3): 213-218.
- [10] 雷瑞波, 李志军, 张占海, 等. 南极中山站附近海域固定冰的夏季变化[J]. 极地研究, 2007, 19(4): 275-284.
- [11] 郭井学, 孙波, 田钢, 等. 南极普里兹湾海冰厚度的电磁感应探测方法研究[J]. 地球物理学报, 2008, 51(2): 596-602.
- [12] Lei R B, Li Z J, Cheng B, et al. Annual cycle of landfast sea ice in Prydz Bay, East Antarctica[J]. Journal of Geophysical Research: Oceans, 2010, 115(C2): C02006.
- [13] 沈辉, 孙启振, 董剑, 等. 2015年南极中山站气象和海冰特征分析[J]. 海洋预报, 2017, 34(6): 27-38.
- [14] 赵杰臣, 杨清华, 程斌, 等. 基于温度链浮标获取南极普里兹湾积雪和固定冰厚度的研究[J]. 海洋学报, 2017, 39(11): 115-127.

Construction of integrated sea ice observation system at Antarctic Zhongshan Station

ZHAO Jie-chen^{1,2}, HAO Guang-hua¹, LI Jie³, YANG Qing-hua^{1,4}, TIAN Zhong-xiang¹, SHEN Hui¹, SUN Qi-zhen¹, DING Zhuo-ming¹, LI Rong-bin¹, HAN Xiao-peng^{1,5}, LI Ming¹, ZHANG Lin¹

(1. Key Laboratory of Research on Marine Hazards Forecasting of State Oceanic Administration, National Marine Environmental Forecasting Center, Beijing 100081 China; 2. College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Ocean University of China, Qingdao 266100 China; 3. Tianjin Marine Environment Monitoring Central Station, State Oceanic Administration, Tianjin 300450 China; 4. Guangdong Province Key Laboratory for Climate Change and Natural Disaster Studies, School of Atmospheric Sciences, Sun Yat-sen University, Zhuhai 519082 China; 5. North China Sea Branch of State Oceanic Administration, Qingdao 266061 China)

Abstract: To solve the urgent need of field sea ice observations for polar forecast and service, National Marine Environmental Forecasting Center have set up a sea ice observation site near Antarctic Zhongshan Station, deployed different kinds of automatic devices, and built up the integrated sea ice observation system since 2010. The operational system includes observations of normal meteorological parameters, radiation, heat flux, snow and ice temperature, thickness, sea water temperature and salinity. The observation starts from March or April every year and lasts for eight to ten months. The frequency of automatic and manual observations were 1 minute and 7 days, respectively. The valuable data collected from the system have been used in Antarctic sea ice numerical forecast and service to icebreaker Xuelong.

Key words: Antarctica Zhongshan Station; sea ice; observation system