

极地环境监测网的设计及其在南极普里兹湾的应用

程文芳¹, 朱建钢¹, 吴荣荣¹, 詹德川², 陆大海³, 闫可⁴, 郑小罗⁵

(1. 中国极地研究中心, 上海 200136; 2. 南京大学, 江苏 南京 210046; 3. 西南电子电信技术研究所上海分所, 上海 200434; 4. 复旦大学, 上海 200120; 5. 上海海洋大学, 上海 201306)

摘要: 为了保护南极和北极的生态系统和环境, 中国自 20 世纪 90 年代初开始推行和实施了极地环境监测计划, 部署了各学科监测传感器阵列; 采集了多学科数据, 包括海洋、大气、冰冻圈、生物圈等主题; 架构了“R/V 雪龙号破冰船—极地考察站—国内基地”之间的快速数据传输网络; 建立了海洋环境监测系统、太阳能地面空间监测系统、生态环境监测系统等系列监测系统。为了实现长期监测, 达到预测和预警目标, 本文针对国内外现状, 在现有基础上设计了一套中国极地环境长期监测网(Polar Environment monitoring network of China, CPEMN)。该监测网集成各监测系统并在监测指标设计上覆盖我国极地所有常规监测/观测任务, 且根据国际科研动态和长期监测规划拓展了预期监测范围。最后本文利用南极普里兹湾进行的破冰导航应用示范验证了 CPEMN 具有可执行性。

关键词: 南极; 北极; 极地; 环境监测; 普里兹湾

中图分类号: TP311.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2018)02-0034-12

DOI: 10.11759/hyxx20170527003

如今, 全人类正面临着一场空前的环境退化所引起的深刻危机——环境危机^[1-2]。气候变化的影响在极地地区比世界其他地区更为明显。北极和南极的部分地区升温速度是世界其它地区的 2 倍, 导致冰川消融、冰架崩解、南极绿地增多。例如, 21 世纪下半叶, 威德尔海上的气温升温可能会引发南极第二大冰架龙尼-菲尔希纳(Filchner-Ronne)冰架大幅消融^[3]; 北极气团变暖和海冰不断减少, 影响海洋循环和喷流, 且可能与北半球的寒潮、热浪和干旱等极端现象有关, 典型的事件如欧亚 2011 年冬天出现 700 多人死亡的饥寒气候^[4-6]。

在强大环境监测和预测需求背景下, 需要的数据不足够支撑环境模型预测。例如, 尚没有足够的资料对南极海冰厚度趋势作出结论; 对冰架和冰盖, 特别是南极洲冰架和冰盖的物质损失的估测受到卫星测高和重力测量监测的限制^[7-8]; 另外, 我们对太阳活动如何影响地球大气环境变化的认识仍然处于较低水平。可见, 当前国际极区环境监测需求呈逐步长期化、系统化和网络化的发展趋势。

自 1904 年开始, 104 个南极考察站陆续建成, 各国以此在南北极地区展开了以建立中长期监测、预测为主要目标的观测与研究活动^[9-11], 这些活动的开展有利于监控极地环境演变、揭示极地环境变异, 为预测全球变化的规律和发展趋势提供了基础科学依

据^[12-13]。2017 年, 世界气象组织(World Meteorological Organization, WMO)和亥姆霍兹极地和海洋研究中心(Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research, AWI)启动为期 2 a 的极地预测年(Year of Polar Prediction, YOPP), 20 多个国家参与到此活动中, 该活动旨在全面改进极地冰川和气候预测, 从而对航运和其他人类活动提供更可靠的风险评估、更好地了解极地气候变化如何影响地球中纬度地区的天气^[14]。在南极领空, 以美国、俄罗斯、法国、新西兰、瑞典等为首的国家建立了相应的 20~50 a 的长期监测计划。例如, 美国和澳大利亚在南极建立了长期的生态物种、海冰、冰架、海洋、大气、环境污染等方面的监测^[15]。再如, 澳大利亚南极局(Australian Antarctic Division, AAD)自 2003 年开始建立南极环境监测指标数据库系统^[16], 目前其环境指标数量已经从原先的 20 个扩展到 90 多个, 基本覆盖了 AAD 大部分的常规科学观测项目和年度科学

收稿日期: 2017-05-27; 修回日期: 2017-09-12

基金项目: 海洋公益性行业科研专项——极地海洋环境监测网系统研发及应用示范(No. 201405031)

[Foundation: Public Science And Technology Research Funds Projects of Ocean, No. 201405031]

作者简介: 程文芳(1979-), 女, 湖北黄石人, 汉族, 高级工程师, 主要从事数据共享, 数据挖掘, 数据集成等研究, 电话: 021-58711277, Email: chengwenfang@pric.org.cn

考察项目。南极研究科学委员会(Scientific Committee on Antarctic Research, SCAR)2010年8月公布了南大洋观测系统(The Southern Ocean Observing System, SOOS)用以观测南大洋的海平面、气候、生物等^[17-18]。在北极领空,加拿大、俄罗斯、瑞典、美国、冰岛、芬兰等强国建立了一系列的环北冰洋监测^[19]。美国科学院2006年正式出版北极观测网(Arctic Observing Network, AON)的构想、组成和实施策略(《Toward an Intergrated Arctic Observing Network》)和 Study of Environmental Arctic Change (SEARCH) 计划^[20-21], 该计划目标意在建立一个高度整合的、长期运行的国际北极观测网络,标准化地生产北极地区时空数据和主题数据,为全面理解、研究和准确评估北极地区正在发生的变化提供基础和依据。以挪威牵头的 Svalbard 北极地球综合观测系统(Svalbard Integrated Arctic Earth Observing System, SIOS)计划是欧洲研究设备战略论坛(The European Strategy Forum on Research Infrastructures, ESFRI)的地球系统观测战略框架计划之一,这是一个未来 15~20 a 的观测计划,旨在建立可开展联合观测和长期环境监测系统。

极地气候变化对我国有着独特的影响。特别是北极的气候变化对于亚洲季风和我国长江流域旱涝灾害有明显的影 响,春季(秋季)的极地环状模态(Southern Annular Mode, SAM)异常能够通过北冰洋、南印度洋把异常信号传递到我国,影响夏季(冬季)的东亚季风强度,从而影响我国降水分布^[22-23]。

意识到监测网络的重要性,中国在南极中山站建立了雪冰和空间特殊环境与灾害国家野外科学观测研究站,配备有极轨卫星接收系统、高频雷达、电离层测高仪、极光观测系统、大气成分观测、气象常规观测、冰雪监测系统等一批现场观测系统。在南极长城站建立了极地生态国家野外科学观测研究站,配备有极轨卫星接收系统、自动气象站、海洋环境监测系统等一批环境监测设备。在冰穹 DomeA 和内陆 PANDA 断面,通过冰下雷达和物质平衡标杆观测,开展冰川动力学监测,同时对沿途大气化学和气象开展监测。在北极黄河站通过海水、土壤、沉积物样品采样进行生态环境、温室气体、有机污染物分析;通过标杆观测和冰雪样品分析,开展 Svalbard 地区现代冰川与气候环境变化的监测研究。经过多年以来的建设,我国以南极长城站、中山站、昆仑站、泰山站和北极黄河站、冰岛极光观测台、“雪龙”号极地考察船为平台建设了通讯网络,开展了广

泛的与环境变化相关的调查研究。虽然我国极地考察已有 30 多年历史,但是缺乏长期监测规划,无法满足常规观测和监测的业务化工作。在这样的背景下,本文依托中国极地“十三·五”计划设计了中国极地环境监测网(Polar Environment monitoring network of China, CPEMN)。

1 中国极地观测监测网设计

中国极地“十三·五”拟围绕全球重大科学环境问题、前沿领域和重点区域,组织开展“极地快速变化的气候与环境效应研究”重大课题,力争在普里兹湾-艾默里冰架综合集成、深冰芯古气候记录、北极海冰快速变化的机制及其对我国和北半球中低纬度国家的气候影响、北极快速变化下碳源汇格局以及渔业资源的北移机理等方面取得重大成果。因此 CPEMN 以极地环境变化趋势分析和预测为目标,建立以基站、船基、海冰(冰盖)基、海床基为重点的极地区域性集成监测系统和极地多圈层立体监测体系,见图 1。

CPEMN 建立了海-陆-空三维立体监测体系,包括 7 个固定观测台站,2 条走航观测系统,6 个综合监测系统,20 个监测子系统,涉及海洋科学、地球物理学、大气学、冰冻圈、环境科学在内的 24 个学科。

长期观测站包括:长城站、中山站、昆仑站、泰山站、罗斯海维多利亚站、黄河站、冰岛极光观测台。走航观测系统包括南极走航观测系统、北极走航观测系统。

综合观测监测系统包括:极地船基海洋环境观测系统、极地站基生态环境监测系统、极地冰区海洋过程多学科观测网、极地冰盖/冰川综合观测系统、极地空间和大气环境综合观测系统、南北极环境污染物地/海/气立体监测系统。

2 中国极地环境监测系统设计

2.1 数据传输网络

CPEMN 依据监测系统或监测设备开发传感器数据采集标准和方法体系,实现监测数据的实时或准实时采集与传输;开展前端无线传感器数据传输组网技术研究,包括 LTE(4G, 5G)无线组网技术、微波中继通信技术、高纬度卫星通信技术等,建立前端现场传感器数据采集和传输网络,确保现场监测系统的高效集成以及数据的实时/准实时传输;CPEMN 物理体系架构如图 2 所示。物理架构由环境监测数

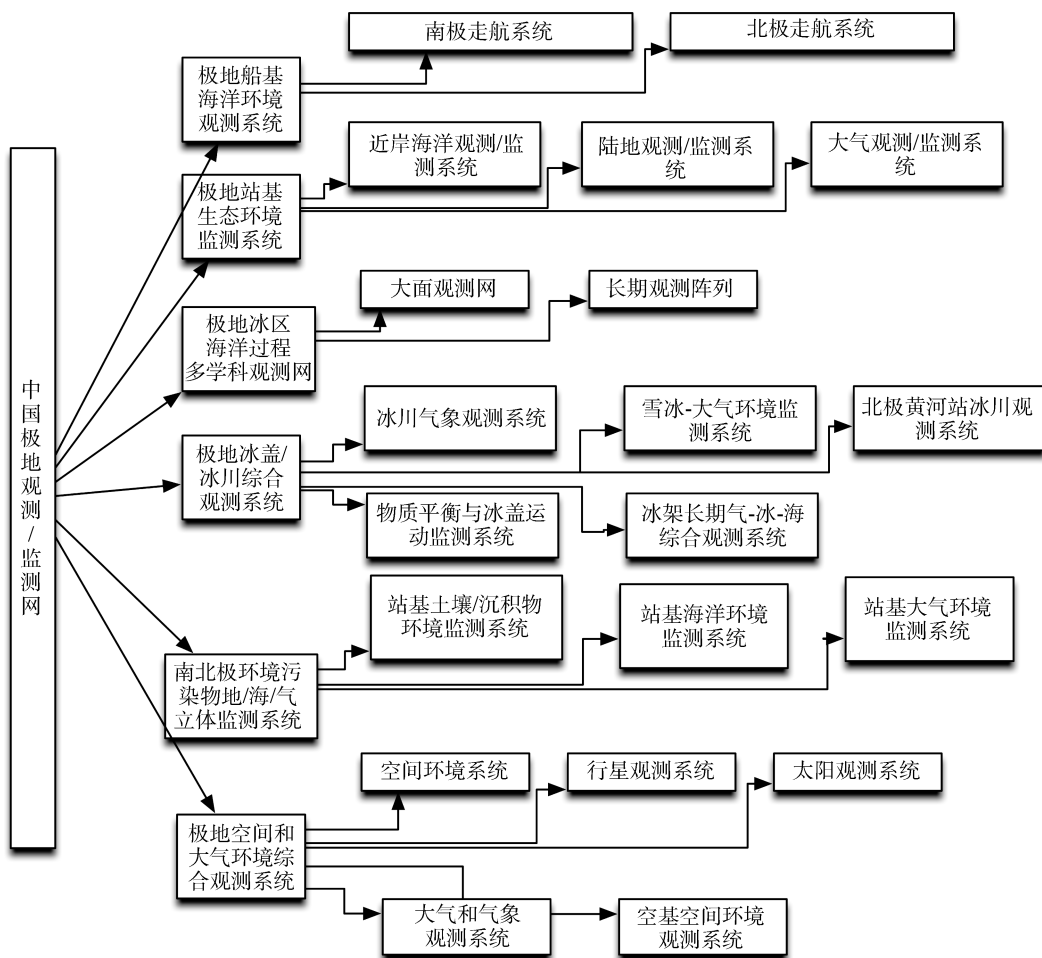


图 1 CPEMN 框架示意图

Fig. 1 Frame of CPEMN

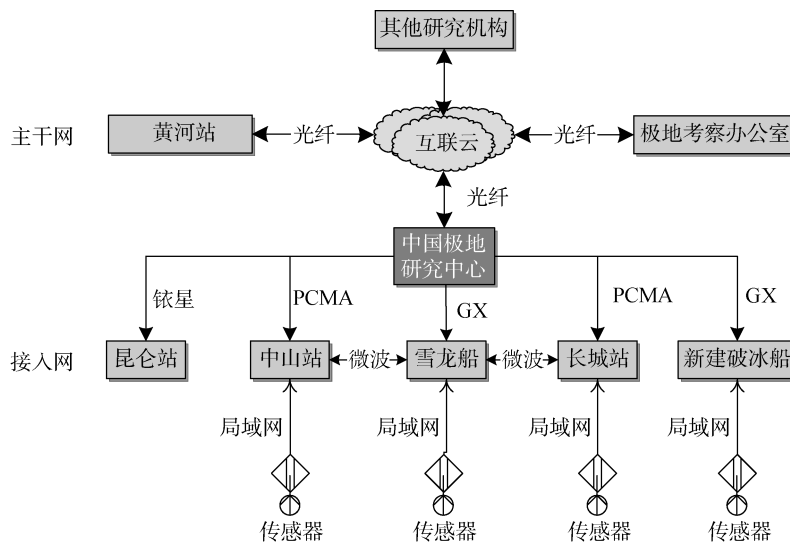


图 2 CPEMN 通信网络体系

Fig. 2 CPEMN communication network

据感知、网络安全传输、本地监测处理站和监测集中处理中心等部分组成，包括各船站环境监测传感器、

无线/有线通信传输、计算设备、存储盘阵、仪器仪表等。其中，位于“两船四站”的环境监测传感器，实现

了对多区域海洋环境的水下、地面和大气等监测原始数据的立体采集; 位于“两船四站”的本地监测处理站, 以及位于中国极地研究中心(Polar research institute of China, PRIC)的监测集中处理中心, 通过卫星、光纤等多种通信方式互联, 对监测数据进行存储整合、综合分析和研究评估, 实现了对极地环境的预测预警。

图 2 中, PCMA(Paired Carrier Multiple Access)是一种全新的卫星通信系统的频率复用方式, 可以与各种不同类型的多址方式(如 FDMA(Frequency Di-

vision Multiple Access)、TDMA(Time Division Multiple Access)、CDMA(Code Divission Multiple Access))结合使用。GX(Inmarsat 5 Global Xpress)通过 3 颗同步卫星实现 Ka 频段的全球覆盖, 能提供下行最高 50Mbps, 上行最高 5Mbps 的通信速率。

2.2 监测/观测数据指标

CPEMN 监测和观测包含气温、气压、风速、风向、盐度、温度、营养盐等典型要素, 如表 1 所示。

表 1 监测指标
Tab. 1 Monitor indicators

系统	内容	指标/数据
极地船基海洋环境观测系统	海表气象	气温、气压、湿度、风速、风向、露点温度、云高、能见度
	海洋物理	温度、盐度、密度、流速、流向
	海洋生物生态	溶解氧、叶绿素、初级生产力
	海洋化学	二氧化碳、硝酸盐、亚硝酸盐、重金属、持久性有机污染物(POPs)、同位素等
近岸海洋观测(监测)断面	海洋生物(海洋微型食物网、浮游植物、浮游动物、底栖动物、鱼类、磷虾)	丰度、种类、多样性密度、多样性、生物量
	基础环境	风向、风速、大气、温度、大气压力、大气湿度、水温、水色、水深、透明度、海况、温度、盐度、pH、溶解氧、营养盐、叶绿素、类胡萝卜素、总有机碳、颗粒有机碳
	环境污染(有机污染物、重金属)	铜、锌、镉、铅、多环芳烃 (PAHs)、多氯联苯(PCBs)、化学需氧量(COD)、石油类、甾醇、阻燃剂、抗性基因等
极地站基生态环境监测系统	海洋生物(微生物、底栖生物、大型藻类)	丰度、多样性、种类、密度、生物量
	基础环境	pH、营养盐、总碳/有机碳/无机碳、粒度、相对湿度、温度、盐度、潮位
	环境污染(有机污染物、重金属)	铜、锌、镉、铅、多环芳烃 (PAHs)、多氯联苯(PCBs)、化学需氧量(COD)、石油类、甾醇、阻燃剂、抗性基因等
陆地土壤观测(监测)样方	生物(微生物、样方植物、样方地衣、植被、鸟类观测、海豹观测)	丰度、多样性、种类组成、物候、盖度、生物量、覆盖度、种群变动、个体数
	基础环境	pH、营养盐、总碳/有机碳/无机碳、粒度、相对湿度、温度
	环境污染(传统典型有机污染物、重金属)	铜、锌、镉、铅、石油类、多环芳烃 (PAHs)、多氯联苯(PCBs)
湖泊定点观测(监测)	生物(细菌、古菌、浮游植物、浮游动物、底栖动物)	丰度、多样性、种类、密度、生物量
	基础环境	pH、营养盐、总有机碳/颗粒态有机碳、光合色素、温度、盐度、叶绿素、有机碳、悬浮物
	环境污染(传统典型有机污染物、重金属)	铜、锌、镉、铅、石油类、多环芳烃 (PAHs)、多氯联苯(PCBs)
大气定点观测(监测)	基础环境	温度、压力、湿度、风速、风向
	大气成分、多环芳烃等有机污染物、重金属	铜、锌、镉、铅、石油类、多环芳烃 (PAHs)、多氯联苯(PCBs)

续表

系统	内容	指标/数据
极地冰区海洋过程多学科观测网	大面调查	温度、盐度、流速、流向、溶解氧、叶绿素、初级生产力、二氧化碳、硝酸盐及其他海洋生化要素等
	长期观测	温度、盐度、密度、水位、流速、流向、溶解氧、沉积物等；海冰漂移速度、漂移轨迹、气温、气压、降雪、冰温、冰厚、冰海界面温盐等
极地冰盖/冰川综合观测系统	基础环境	气温、降水、长/短波辐射、相对湿度、气压、风速、风向、冰温等
	冰川/冰盖(大气化学、冰川物质平衡、冰川运动、冰川水文、雪冰化学、冰尘、冰碛物)	常规离子、痕量元素、N 同位素、花杆长度、雪密度、雪坑剖面形态、冰川表面点云数据、水位、流速、水温、水化学(悬浮物、营养盐、叶绿素)冰雪常规离子、痕量元素、水稳定同位素、微生物种类、粒度、常规金属元素含量、总磷含量以及腐殖酸含量
南北极环境污染物地/海/气立体监测系统	重金属	铜、锌、镉、铅
	传统典型有机污染物	石油类、多环芳烃 (PAHs)、多氯联苯(PCBs)
	新兴污染物	阻燃剂、抗性基因等
极地空间和大气环境综合观测系统	太阳观测	太阳风, 日冕, 日冕空洞, 日冕物质抛射, 宇宙射线, 太阳活动区, 太阳耀斑, 日食云图, 太阳辐射照度, 太阳震荡, 日珥/太阳暗条, 太阳能无线电波辐射, 太阳天气图, 太阳紫外线辐射, 太阳能速度场, 太阳 X-射线辐射, 太阳黑子
	地基空间环境观测(极光、电离层、地磁、空间等离子波、宇宙线等高粒子)	630.0、557.7 和 427.8 nm 波段极光强度、电离层相对吸收强度、电离层闪烁指数、电离层总电子含量、地磁 3 分量的相对变化值、地磁水平分量的时间变化率、哨声、吱声分布、色散关系、u(MUON)子计数
	空基空间环境观测	电离层总电子含量、电子密度剖面随空间分布、沉降粒子成分、大气电导率、地空电流量、电场强度、总电子含量、先导发光时间、先导速度、电流密度
	大气和气象观测	气溶胶后向散射、气溶胶消光、气溶胶前向散射、气溶胶光学深度/厚度、气溶胶粒子特性、气溶胶辐射、碳质气溶胶、云凝结核、灰尘/灰/烟雾、硝酸盐粒子、有机粒子、颗粒物、硝酸盐颗粒、气旋、干旱、雾、冰冻、霜、飓风、闪电、季风、风暴、龙卷风、台风、压力、温度、湿度、对流层/平流层云、风速、风向、能见度、排放量、铅、氮氧化物、颗粒、烟雾、硫氧化物、浊度、挥发性有机物
	臭氧探空观测	臭氧(O ₃)、氮氧化物(NO _x)、二氧化氮(NO ₂)、一氧化氮(NO)

2.3 系统设计

CPEMN 系统设计分为六层, 分别为: 接入网、数据汇交、数据集成、数据共享、数据分析和应用层, 如图 3 所示。

2.3.1 接入网

接入网负责将监测子系统采集的原始数据传输至 PRIC, 便于后续的数据处理及分析, 接入网包括 6 个综合观测监测系统。采集的数据类型分为实时数据和非实时数据。

2.3.2 数据汇交

数据汇交层包含数据存储和数据预处理两个部分。根据数据类型将数据存储于对应数据库系统。在数据入库阶段, 根据原始数据处理规范对文件格式、文件内容等方面做预处理。如图 4 所示。

数据预处理部分包括数据转换、数据归约、数据清理以及数据离散化。数据转换是对数据形态做出改变以适应于新的业务需求, 例如数据分析。数据归约是 CPEMN 系统采用直方图、聚类和抽象三种方法实现数量归约^[24]。数据清理是 CPEMN 系统使用

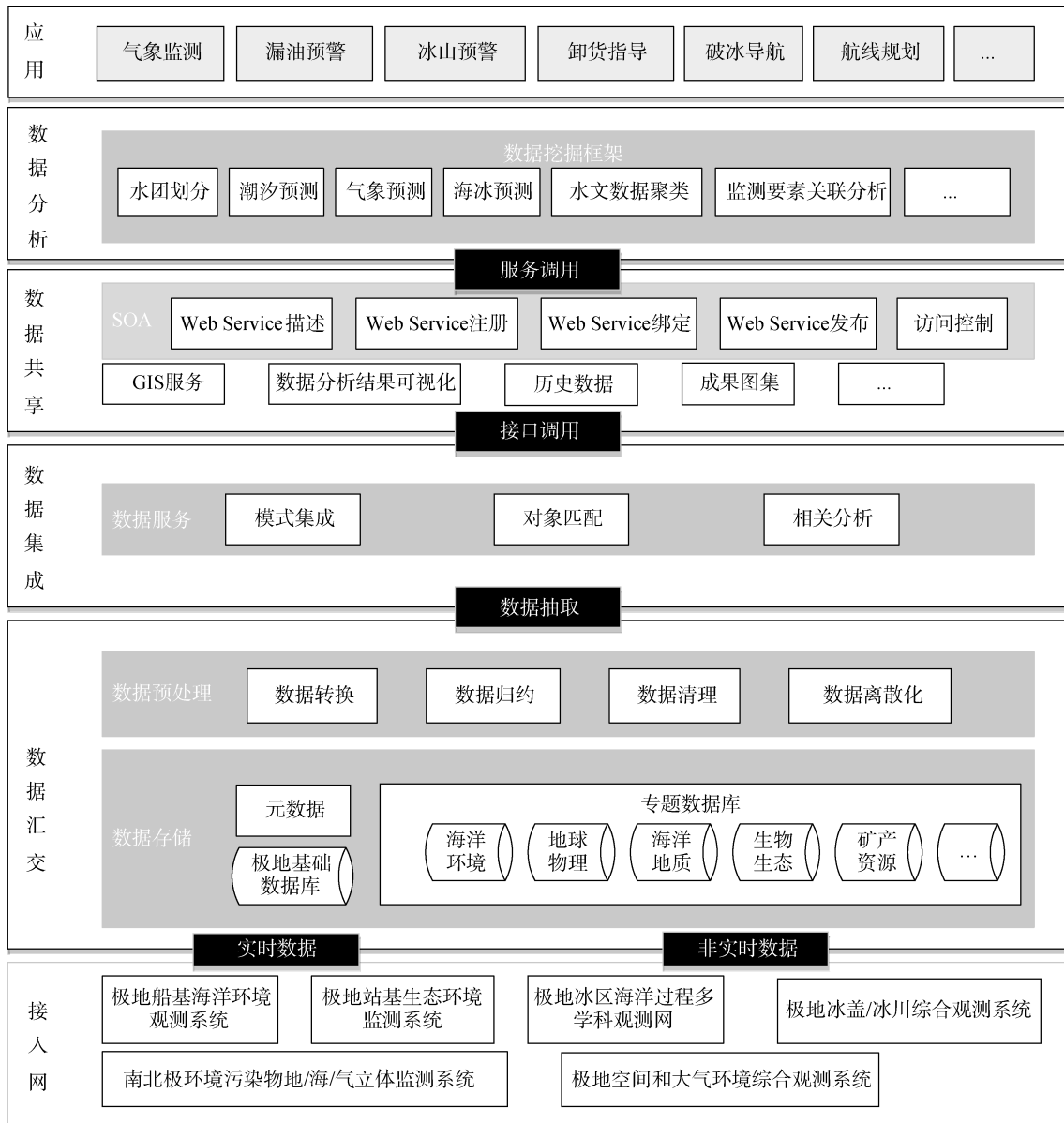


图 3 CPEMN 系统逻辑结构

Fig. 3 Logical structure of the CPEMN system

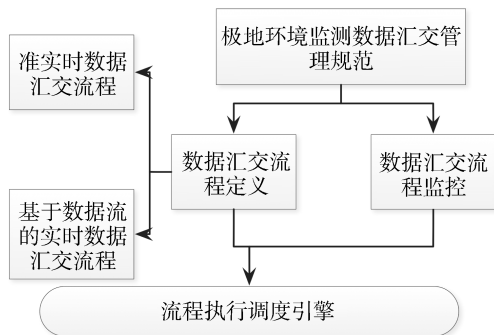


图 4 数据汇交流程

Fig. 4 Data exchange process

局部范围属性中心度量填充缺失值，这里的中心度量是指在一定时间和空间范围内采集的所有数据的平均值。同时采用离群点识别噪声，利用聚类以及局部加权回归散点平滑法(locally weighted scatterplot smoothing, LOWESS 或 LOESS)来监测离群点。利用 LOWESS 对时间序列数据进行一定的平滑处理，去除偏移值较大的点，去掉噪声^[25]。

2.3.3 数据集成

CPEMN 系统的数据集成部分通过数据抽取 (Extraction-Transformation-Loading, ETL) 的方式来收集数据汇交层收集并处理的数据，通过模式集成、

对象匹配以及相关分析对数据进行集成,并为上层的数据共享提供数据调用接口。

2.3.4 数据共享

CPEMN 系统数据共享分为两种,一种基于文件共享数据,另一种基于 WebServices 接口共享数据。文件类型包含成果图集、数据分析结果的可视化文件、历史数据文件等。按照 SOA(Service-Oriented Architecture)的框架体系理念,CPEMN 的共享框架体系可分为服务发布者、服务使用者以及服务代理者三部分,并通过数据集成总线有机结合在一起^[26]。SOA 框架为上层的数据分析提供相关服务调用。

2.3.5 数据分析

目前 CPEMN 主要的数据分析应用有:水团划分、潮汐预测、气象预测、海冰预测、水文数据聚类、监测要素评估分析等。由于科学数据的数据量非常大,同时数据维度也非常高,CPEMN 主要分析时间序列和结构化数据。时间序列数据是极地环境监测数据中所占比例很高的一种数据类型。对于时间序列数据的处理,基本划分为四个方面:数据降维、数据相似度定义、处理模式定义和算法确定。对于结构化数据的处理则需要考虑关联信息的保留与否以及如何进行有效处理。

数据挖掘算法众多,CPEMN 主要采用关联分析、聚类、逻辑回归来预测分析。如图 5 所示。针对极地环境监测数据特点,关联分析主要选取 Apriori 算法。而聚类分析则选取 BIRCH 算法,BIRCH 算法本身上属于一种聚类算法,不过他克服了一些 K-Means 算法的缺点,例如聚类个数 k 的确定,因为这个算法事先本身就没有设定有多少个聚类。

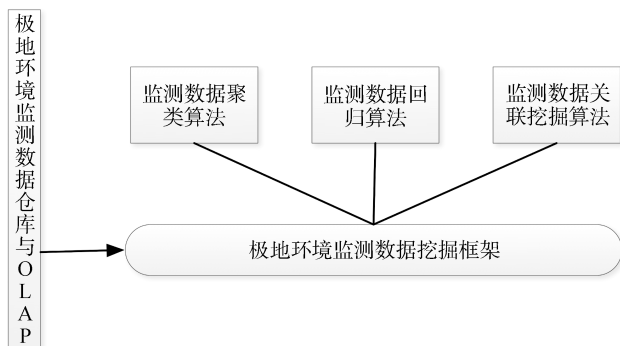


图 5 数据挖掘流程

Fig. 5 Data mining process

2.3.6 应用

CPEMN 系统开展了极地气象监测、极地海冰监

测、极地生物生态监测、极地空间和大气环境监测、极地环境污染物监测等应用服务的建设,并提供基于极地环境科学面向全球气候变化等重大研究课题的数据分析和监测预测等服务,例如气象监测、漏油预警、冰山预警、卸货指导、破冰导航、航线规划等一系列面向极地未来科学考察的应用服务。如图 6 所示。

CPEMN 通过 Landsat、SPOT、QuickBird、资源二号、MODIS 等卫星,航空航拍,气象气球等空中监测平台获得海洋地形地貌、陆地地形地貌、风速、风向、大气污染、气团变化等遥感影像数据;通过台站、浮标、船舶、岸基雷达等地面、海面监测平台获得气温、风速、风向、气压、盐度、pH、波浪、潮汐、流速、流向、海底地形地貌、海岸地形地貌、湿地、潮间带、植被等数据;通过海底监测平台水下传感器获得微生物、矿物质、悬浮物等数据。

3 应用

南大洋、大气和冰冻圈的相互作用会对全球的气候、生物地球化学循环和生物生产力产生影响。南极环流目前连接了主要几个海洋盆地,是它们之间的主要交流方式^[26-27]。普里兹湾位于南大洋印度洋扇区,南端与艾莫里冰架相连,喇叭状湾口东西两侧分别分布着四女士浅滩和弗拉姆浅滩,湾内的水深在 400~600 m,是南大洋的第三大海湾。自 1989 年中山站建立以来,普里兹湾随即成为我国南极科学考察的重点海域之一。目前,普里兹湾海洋环境监测系统的实现手段主要包括:大面站综合观测、锚定潜标、生物地球化学潜标、海冰浮标、地球物理观测等。

3.1 普里兹湾数据源

采集数据包括站点基本信息(经纬度)、CTD (Conductivity Temperature & Depth)数据、ADCP (Acoustic Doppler current profiler)、LADCP(Lowered Acoustic Doppler current profiler)、抛弃式 XBT (eXpendable Bathy Thermographs)/XCTD(eXpendable Conductivity Temperature&Depth)、潮汐、SBE21 (SEA-BIRDElectronics, 表层温盐仪)等数据。具体见表 2。

通过以上数据,本文构建了普里兹湾水深地形、空间重力异常、布格重力异常和地磁异常等海底环境基础模型;综合进行了普里兹湾水团特征、表层水变化、普里兹湾绕级深层水涌升、大洋上层温盐空间分布和锋面的年际变化特征、海冰消融变化、卫星测高重力数据评估与融合研究。

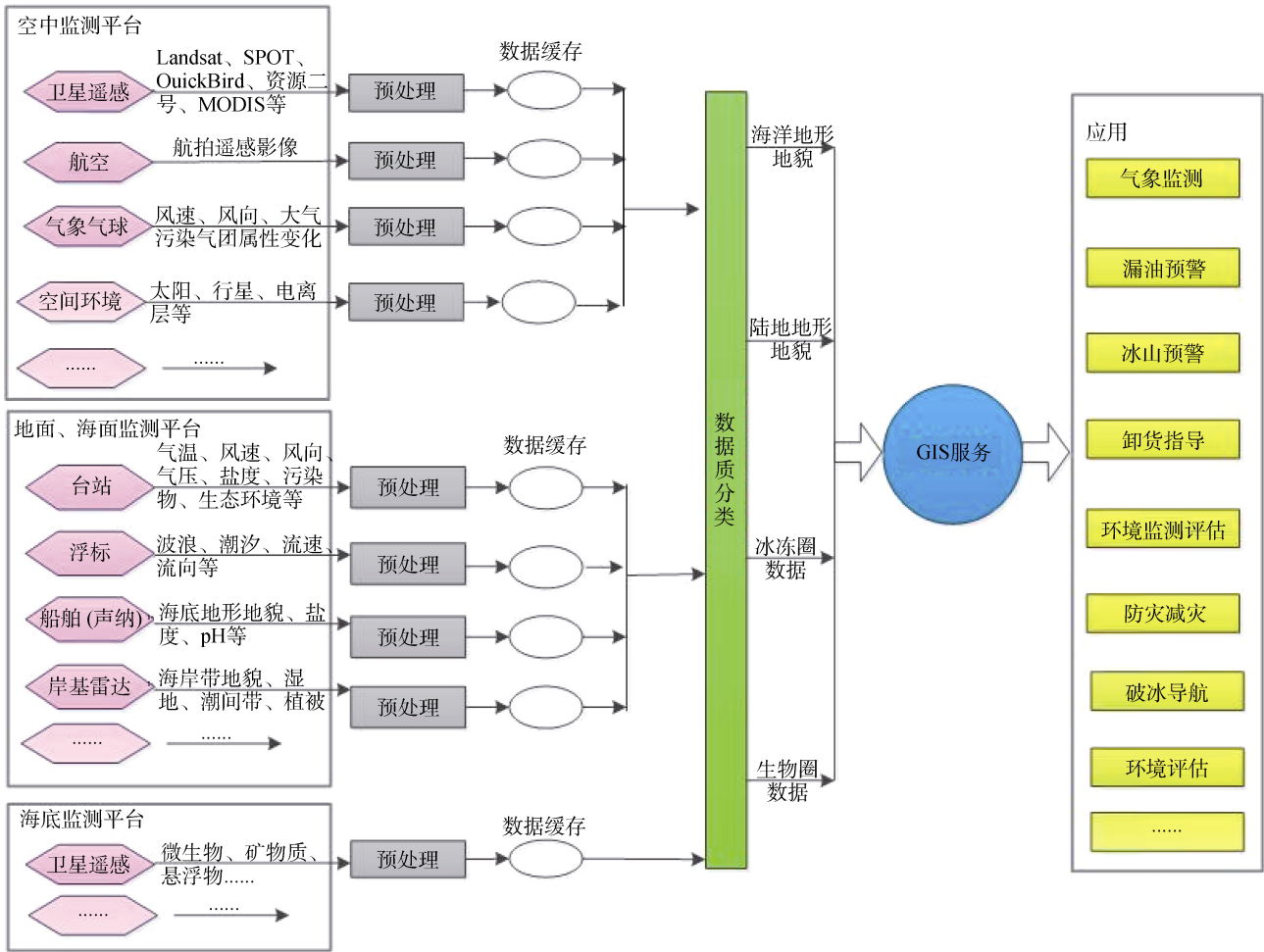


图 6 数据应用流程图
Fig. 6 Data application process

表 2 普里兹湾数据资源
Tab. 2 Data on Prydz Bay

数据类型	时间范围	观测/监测方法	参数
走航气象	FR 2004	自动气象站、人工观测	温度、湿度、气压、风速、风向、能见度、云层数
海洋物理	FR 1989	CTD、SBE21、XBT/XCTD LADCP、ARGO、锚定潜标	深度、密度、声速、盐度、温度、压强、位温、盐度、荧光、有色溶解有机物、水温、叶绿素、浊度、深度、密度、声速、盐度、温度、压强、传导率、海流、深度、压强、温度、盐度
海洋化学	FR 1999	潜标、CTD、捕获器、营养盐自动分析仪、风光光度计、质谱仪、潜水泵等	总通量、生物硅、有机碳、碳酸钙、温度、营养盐(磷酸盐、硝酸盐、铵盐、硅酸盐)、有机碳、POC 通量、DO、溶解氧、N ₂ O、总碱度(TA)、溶解总无机碳(DIC)、18O、13C、15N、210Po、226Ra、228Ra
地球物理	FR 2012	测深仪、双屏 GPS、重力仪、磁力仪等	正常场、绝对重力值、温度、盐度、声速、温度、深度
海洋生物(微型生物、微微型浮游生物)和生态	FR 2012	叶绿素荧光仪、初级生产力培养器、流式细胞仪、浮游植物网、浮游动物多联网、底栖生物采集器等	丰度、叶绿素、初级生产力、体长、眼径、性期、磷虾

续表

数据类型	时间范围	观测/监测方法	参数
海冰/冰山	FR 2005	Modis、卫星云图、Landsat、AMSR、Radarsat2-SAR、雷达	厚度、深度、密集度、范围、轮廓线、分布、运动速度、海流
海洋地质(沉积物表层/悬浮体/重力岩芯/多管)	FR 2012	箱式取样器、重力取样器、多管取样器、大体积海水原位过滤器、悬浮颗粒物真空过滤器	210Pb、13C、总有机碳、有孔虫、介形虫、15N、13C、18O、210Pb、210Po、226Ra、228Ra 主量元素、10Pb、微量元素、蛋白石、古生物、P 波速率、湿密度、相对孔隙率、磁化率、声学阻抗、放射率、XRF、AMS14C 测年

3.2 数据处理

利用普里兹湾收集到的数据通过数据挖掘手段进行环境预测是环境监测的最终目标。破冰船雪龙号在冰区航行时常受到天气、海冰、冰山、水流的影响,为了辅助船舶航行,CPEMN 监测网建立了一套基于遥感图像、气象数据、物理海洋数据的破冰导航系统(Ice breaking navigation system of Xuelong, XLIBNS)。XLIBNS 处理流程分为三个阶段:数据预处理阶段、可行区域判别阶段、航线规划阶段。

3.2.1 数据预处理阶段

首先对以往船只航线覆盖海域的多模态数据进行清洗和再组织。目前数据分为船只传感数据、覆盖航线的 MODIS 数据、覆盖航线的卫星云图以及定点和船载的气象数据。项目组首先利用 MATLAB 等数据处理软件将此类数据整理成为含标注信息(时间、经纬度坐标、特征)的形式。

具体来说,为了对可行区域进行判断,在对数据进行标注阶段,人工标注训练步骤包括:(1)收集待标注的历年 MODIS 卫星遥感图像收集,并进行投影转换和图像变化等;(2)使用 MODIS29,勾勒出图像中的云区域、冰区域和海区域;(3)人工鉴别标注厚冰、厚云、薄冰、薄云;(4)在处理后的图像上随机生成一组坐标点,提取以该点为中心的 20×20 像素大小的图像块,将人工鉴别出的标记作为提取出的图像块的标记,并将厚冰区域和厚云区域归为同一类,薄冰区域和薄云区域归为同一类,海水区域单独归为一类,从而得到大量带标记的 20×20 像素大小的频段 1 图像块作为训练数据。(5)对收集的 MODIS 卫星遥感图像频段 2,重复步骤 2 到步骤 5,生成带标记的 20×20 像素大小的频段 2 图像块,并与带标记的频段 1 图像块一一对应,2 个一组作为训练数样本。

而对于以上步骤产生的图像块抽取特征方面,本文创新地提出了一种称为近似秩度量特征(AR 特征)方法,以提取并手工标记的 20×20 像素大小的频

段 1 图像块作为输入数据。详述如下:

(1)将频段 1 图像旋转 7 个方向,分别是 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° ,得到对应的 7 张图像块,对每张图像块的灰度矩阵进行谱分解,每个矩阵得到其对应的一组特征值;(2)针对生成的一个矩阵的全部特征值,把这些特征值按降序排列,按顺序累加特征值,直到当前特征值之和达到所有特征值之和的 90%为止,记录当前所需特征值的个数,记作 N_i , N_i 即为所处理矩阵对应的近似秩;(3)针对生成的近似秩,按序拼接 7 个方向近似秩的值,得到频段 1 图像块对应的一个长度为 7 的向量;(4)针对频段 2 图像块,生成频段 1 图像块对应的一个长度为 7 的向量,并拼接,作为近似秩特征(AR 特征);(5)提取频段 1 与频段 2 图像块的综合光密度的均值、方差,作为光密度特征,与近似秩特征拼接,获得一对图像块的完整特征表示。

3.2.2 可行区域判别阶段

经过预处理,数据可被整理成为带标签(时间、经纬度坐标、特征、可行区域/未标记区域)的形式,结合船只传感数据对可行区域/未标记区域进行细分,采用 Multi-Instance、Multi-Label 学习和 RBF-SVM 技术对可行区域的可行度进行打分,这样可行区域判别问题就转化成为了对函数 f 的学习问题,其中 f 是从标签(时间、经纬度坐标、特征)到可行度的映射。

3.2.3 航线规划阶段

在取得离散的可行海冰区域之后,将可行区域连接成为完整航线的工作具体为:借鉴图像处理相关技术通过离散点进行航线拟合、启发式方法对其进行筛选(常规航海规则、最短时间或最短路径规则等条件)、并对得到的航线进行回测,利用得到的误差指导可行区域判别阶段的 PU 学习过程。

3.3 应用结果

海冰现报和船只导航的实验运行于 12G 内存的计算服务器上,语言平台为 python2.7;历史 MODIS

数据上预测时间(包括特征抽取+预测)少于 6 min, 基于该类型特征的分类器可以对 20×20 像素大小的遥感图像区域进行冰区、海域和云层的判别, 分类准确率以 AUC 评价达到 0.82。该方法经过系统整合, 如图 7 所示。系统能够给出 MODIS 图像鼠标悬停处

的海冰、云和海水的概率, 可以实时进行导航规划。图 7 为 2016 年 11 月底雪龙号经过普里兹湾泊入中山站过程中的规划结果, 其中右下图红色线为雪龙船实际航行线路, 黄绿色为系统规划路线, 可见两者高度重合。

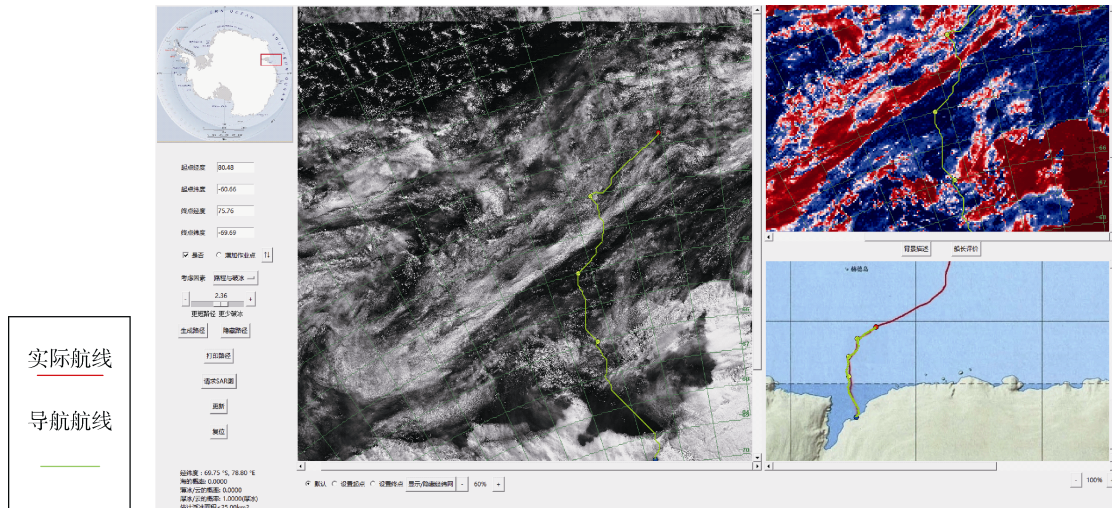


图 7 破冰系统效果图

Fig. 7 Effect of ice breaking system

4 结论与展望

CPEMN 系统规划了我国极地未来 20 a 的监测计划, 并明确了各考察业务的监测指标, 为我国长期的极地环境监测起到了规划和指导作用。在南极普里兹湾进行的破冰导航系统, 在第七、八次北极考察和第三十三次、三十四次南极考察活动中提供了现场破冰航行保障, 起到了应用示范作用, 并验证了 CPEMN 的可执行性。在中国极地考察执行期间, CPEMN 系统根据极地考察实际情况、国际动态、国内科技战略不断更新和完善, 将为监测子系统建设、环境监测要素评估、环境预测等业务工作提供有效依据。

参考文献:

- [1] 达娜·德索尼. 极地: 再难固守的最后一方净土[M]. 王娟, 陆志波, 译. 上海: 上海科技教育出版社, 2011. Dana Desonie. Polar Regions: Human Impacts (Our Fragile Planet)[M]. Wang Juan, Lu Zhibo. Shanghai: Shanghai science and Technology Education Press, 2011.
- [2] Tin T, Fleming Z L, Hughes K A, et al. Impacts of local human activities on the Antarctic environment[J]. Antarctic Science, 2009, 21(1): 3-33.
- [3] Hellmer H H, Kauker F, Timmermann R, et al. The fate of the Southern Weddell Sea continental shelf in a warming climate[J]. Journal of Climate, 2017, 30(12): 4337-4350.
- [4] Cohen J, Screen J A, Furtado J C, et al. Recent Arctic amplification and extreme mid-latitude weather[J]. Nature Geoscience, 2014, 7(9): 627-637.
- [5] Francis J A, Vavrus S J. Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid latitudes[J]. Geophysical Research Letters, 2012, 39(6): L06801.
- [6] Mori M, Watanabe M, Shiogama H, et al. Robust Arctic sea-ice influence on the frequent Eurasian cold winters in past decades[J]. Nature Geoscience, 2014, 7(12): 869-873.
- [7] 杜宗亮. 南极冰盖表面信息遥感监测及粒雪层密度模型研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2015. Du Zhongliang. The Antarctic ice sheet surface remote sensing monitoring and grain density layers model research[D]. Beijing: University of the Chinese Academy of Sciences, 2015.
- [8] 贾路路, 汪汉胜, 相龙伟, 等. 冰川均衡调整对南极冰质量平衡监测的影响及其不确定性[J]. 地球物理学报, 2011, 54(6): 1466-1477. Jia Lulu, Wang Hansheng, Xiang Longwei, et al. Effects of glacial isostatic adjustment on the estimate of ice mass balance over Antarctica and the uncertainties[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(6): 1466-1477.

- [9] Pellizari F, Silva M C, Silva E M, et al. Diversity and spatial distribution of seaweeds in the South Shetlands, Antarctica: an updated database for environmental monitoring under climate changes scenarios[J]. *Polar Biol*, 2016, 40(8): 1671-1685.
- [10] Bharti P K, Sharma B, Singh R K, et al. Waste generation and Management in Antarctica[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2016, 35: 40-50.
- [11] Bharti P K. Environmental monitoring and assessment in Antarctica[C]//Bharti P K, Gajananda K. Environmental Health and Problems. Delhi: Discovery Publishing House, 2013: 178-186.
- [12] Harald Grip, Håkan Olsson. Swedish Environmental Monitoring North of 60°N[R/OL]. <http://monitoring.N6O.slu.se.2009:1-60>.
- [13] Turner J, Colwell S R, Marshall G J, et al. Antarctic climate change during the last 50 years[J]. *International Journal of Climatology*, 2005, 25(3): 279-294.
- [14] Goessling H F, Jung T, Klebe S, et al. Paving the way for the year of polar prediction[J]. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2016: 151106131820001.
- [15] Press A J, Head Inquirer. 20 Year Australian Antarctic Strategic Plan[R]. Australia: AAD. 2014.
- [16] 张洁, 凌晓良, 汪大立, 等. 探讨建立基于 Web 的中国南极环境评估系统[J]. *极地研究*, 2006, 18(4): 273-281.
Zhang Jie, Ling Xiaoliang, Wang Dali, et al. Study on the web-accessible Chinese Antarctic environment evaluation system[J]. *Chinese Journal of Polar Research*, 2006, 18(4): 273-281.
- [17] Stephen R Rintoul, Mike Sparrow, Michael P Meredith, et al. The Southern Ocean Observing System: Initial Science and Implementation Strategy[R]. Australia: CSIRO and Antarctic Climate and Ecosystems Cooperative Research Centre, 2011: 1-76.
- [18] Australian Antarctic Division. Australian Antarctic Science Strategic Plan 2011–12 to 2020–21[R/OL]. http://www.omtarctica.gov.au/_data/assets/pdf_file/0019/27307/AASSP_final-pullshed-version-Apr-2011.pdf. 2010: 1-85.
- [19] Hung H, Katsoyiannis A, Brorström-Lundén E, et al. Temporal trends of persistent organic pollutants (POPs) in arctic air: 20years of monitoring under the arctic monitoring and assessment programme (AMAP)[J]. *Environmental Pollution*, 2016, 217: 52-61.
- [20] Lee O, Eicken H, Kling G, et al. A Framework for Prioritization, Design and Coordination of Arctic Long-term Observing Networks: A Perspective from the U.S. SEARCH Program[J]. *Journal of Medicinal Chemistry*, 2015, 68(5): 669.
- [21] Boulder, Colorado. Arctic Observing Network (AON): 2009 program status report[R]. The Third AON Principal Investigators (PI) Meeting. 2009: 170.
- [22] 南素兰, 李建平. 春季南半球环状模与长江流域夏季降水的关系[J]. *气象学报*, 2005, 63(6): 837-846.
Nan Sulan, Li Jianping. The Relationship Between The Summer Precipitation In The Yangtze River Valley And The Boreal Spring Southern Hemisphere Annular Mode[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2005, 63(6): 837-846.
- [23] Zhao X, Xu L, Stein A, et al. The impact of averaging methods on the trend analysis of the Antarctic sea ice extent and perimeter[J]. *Spatial Statistics*, 2016.
- [24] 韩家炜, 坎伯, 著. 数据挖掘: 概念与技术[M]. 范明, 孟小峰, 译. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2001: 100-103.
Han Jiawei, Micheline Kamber. Data mining: Concepts and techniques[M]. Fan ming, Meng Xiaofeng. Second edition. Beijing: China Machine Press, 2001: 100-103.
- [25] 王伟, 程文芳, 李四海, 等. SOA 理念在“数字海洋”数据体系构建中的应用[J]. *海洋通报*, 2009, 28(4): 121-125.
Wang W, Cheng W F, LI S H, et al. The application of SOA concept in the construction of “digital ocean” data system[J]. *Marine Science Bulletin*, 2009, 28(4): 121-125.
- [26] Stephen Rintoul, Esmee van wijk, Anna Wahlin, et al. Seeing below the ice: A strategy for observing the ocean beneath Antarctic sea ice and ice shelves[R]. Australia: SOOS, 2016.
- [27] Kusahara K, Williams G D, Massom R, et al. Roles of wind stress and thermodynamic forcing in recent trends in Antarctic sea ice and Southern Ocean SST: An ocean-sea ice model study[J]. *Global & Planetary Change*, 2017, 158: 103-118.

Design of polar environment monitoring networks of China and demonstration on Prydz Bay

CHENG Wen-fang¹, ZHU Jian-gang¹, WU Rong-rong¹, ZHAN De-chuan²,
LU Da-hai³, YAN Ke⁴, ZHENG Xiao-luo⁵

(1. Polar Research Institute of China, Shanghai 200136, China; 2. Nanjing University, Nanjing 210046, China; 3. Shanghai Branch, Southwest Electronics and Telecommunication Technology Research Institute, Shanghai 200434, China; 4. Fudan University, Shanghai 200120, China; 5. Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China)

Received: May 27, 2017

Key words: Antarctic; Arctic; Polar; Environment Monitoring; Prydz Bay

Abstract: China has promoted and implemented an environmental monitoring program and arrayed multidisciplinary monitoring sensors since the early 1990s to protect polar environment and the associated dependent ecosystems. Multidisciplinary data, including hydrological, meteorological, geophysical, and biological, were collected. A rapid data transmission network connecting R/V Xuelong, polar stations, and domestic berth was framed. A series of monitoring systems were set up, including marine environment monitoring system, solar-terrestrial space monitoring system, and ecological environment monitoring system. For forecasting and prediction based on long-term monitoring, this study designed a long-term China Polar Environmental Monitoring Network (CPEMN) based on the existing work. All the conventional monitoring works in China were covered in the design objectives of this network. We also expanded the monitoring works according to new international developments and long-term planning. CPEMN has been proved to be performable and exemplary in the ice-breaking navigation work in the Antarctic Prydz Bay.

(本文编辑: 李晓燕)