

自然资源科学技术奖推荐书

(科技进步奖)

(2023 年度)

一、成果基本情况

专业评审组

中国海洋学会和中国太平洋学会

成果编号

成果名称	名称	北极环境卫星遥感与预报预测关键技术研究及应用		
	公布名	北极环境卫星遥感与预报预测关键技术研究及应用		
主要完成人	王其茂、石立坚、崔廷伟、孙从容、邹斌、柯长青、李明、刘健、张晰、黄磊、任广波、阮成卿、张华国、张问一、闫朝星			
主要完成单位	国家卫星海洋应用中心、自然资源部第一海洋研究所、南京大学、国家海洋环境预报中心、国家卫星气象中心、自然资源部北海预报减灾中心、航天长征火箭技术有限公司、中国科学院空天信息创新研究院、自然资源部第二海洋研究所			
推荐单位 (盖章)	国家卫星海洋应用中心			
学科分类 名称	1	4202040 遥感信息工程	代码	4202040
	2	1706035 物理海洋学	代码	1706035
	3		代码	
所属国民经济行业	科学研究、技术服务和地质勘查业			
任务来源	A4 其他计划			
具体计划、基金名称、项目名称和编号： 十三五国家重点研发计划“海洋环境安全保障”专项“北极环境卫星遥感与数值预报合作平台建设”项目(2018YFC1407200) 国家国际科技合作专项项目“基于多源卫星遥感数据北极船舶航行保障的合作研究”(2011DFA22260)				
授权发明专利(项)	5	授权的其他知识产权(项)	19	
项目起止时间	起始: 2012年05月01日		完成: 2021年12月31日	
推荐单位推荐等级	一等奖或二等奖		是否推荐特等奖	

二、推荐意见

推荐单位	国家卫星海洋应用中心		
通讯地址	北京市海淀区大慧寺路8号	邮政编码	100081
联系人	刘宇昕	联系电话	010-62105650
电子邮箱	liuyuxin@mail.nsoas.org.cn	传 真	010-62103743

推荐意见：

极地是关系到国家利益的战略新疆域，新疆域的治理关乎人类共同未来，我国有责任和义务主导治理。面向深度参与北极治理、建设冰上丝绸之路等重大国家需求，国家卫星海洋应用中心联合国内优势单位承担了国家重点研发计划“海洋环境安全保障”专项“北极环境卫星遥感与数值预报合作平台建设”项目和国家国际科技合作专项“基于多源卫星遥感数据北极船舶航行保障的合作研究”项目，面向我国北极活动自主海洋环境安全保障能力薄弱，保障产品时效性、精度、时空分辨率不足的突出问题，围绕北极恶劣环境条件下卫星数据的高可靠性实时接收、多星融合北极环境参数高时空分辨率遥感反演、实时多源卫星遥感资料驱动下的北极冰海气全耦合数值预报等关键技术，组织攻关，研发了北极自主卫星接收高可靠性高速解调技术，建立了基于遥感并结合现场观测的星地一体北极环境监测系统，发展了北极自主卫星冰海气陆遥感技术并建立了数值预报预测模式，形成了北极卫星遥感和预报预测产品业务生产能力，构建了北极区域观测预报综合分析与应用示范平台，全面推进北极遥感观测和中长期预报应用示范，极大提升了极区船舶航行服务保障能力，整体成果达到了极区卫星遥感和预报同类研究的国际领先水平。

声明：本单位遵守《自然资源科学技术奖章程（暂行）》规定，承诺遵守评审工作纪律，对申报材料真实性和准确性负责，确认不存在任何违反国家保密法律法规或侵犯他人知识产权的情形，以及其他依规不得推荐的情况。如产生争议，将承担相应的调查核实责任，并积极配合处理。如有材料虚假或违纪行为，愿承担相应责任。

法人代表签名：

推荐单位（公章）

年 月 日

三、成果简介

本项目属于遥感信息工程、物理海洋领域。

极地是关系到国家利益的战略新疆域，习近平总书记在致中国南极秦岭站的贺信中，希望广大极地工作者“更好地认识极地、保护极地、利用极地”。本项目瞄准我国深度参与北极治理、建设冰上丝绸之路等重大需求和北极活动自主海洋环境安全保障能力薄弱的突出问题，联合国内优势单位，在国家重点研发计划和国家国际科技合作专项项目支持下，经过 12 年联合攻关，在北极冰海气陆定量化遥感技术、冰海气全耦合数值预报预测模型、卫星遥感为主的星地一体北极环境监测系统等方面取得了一系列创新性成果，全面推进北极遥感观测和预测预报的应用示范，极大提升了极区船舶航行服务保障能力。主要创新点有：

1、突破了北极冰海气陆多要素高时空分辨率遥感反演技术瓶颈，发展了北极海冰要素多源卫星综合探测、北极弱光照条件叶绿素浓度主被动光学遥感反演、云导风风矢量追踪匹配和高度估计技术等一系列卫星遥感反演方法和技术，提高了我国自主卫星北极定量化遥感水平。

2、研发了针对北极地区的大气、海冰和海洋耦合预报预测模式，发展了卫星遥感数据资料在数值预报模式中的准实时同化技术，突破了海洋和海冰多要素联合同化时的高效并行技术，建立了针对北极地区的大气、海冰和海洋耦合短期和中长期数值预报系统。

3、国内首次全面、系统地研制了高时效、高空间分辨率的海洋大气海冰和海岛海岸带 6 类 16 种卫星遥感产品，业务化发布了北极地区短期大气、海冰和海洋数值预报产品，研发的自主北极海冰中长期预测产品填补了国内空白。

4、建立了北极圈内我国海洋卫星的国际合作接收系统，构建了北极卫星遥感数据快速处理、现场信息获取、冰海气陆监测和预报预测产品制作一体化综合服务保障平台。通过航行前中期预报航线规划与航行中实时卫星遥感观测预报相结合，探索形成了高效稳定的北极航行保障服务模式，为北极科考船和商船提供了全航行周期的环境信息支撑与服务保障。

显著提高了北极环境卫星遥感与预报预测的能力和精度，其中遥感服务时效由 180 分钟提高至 30 分钟，海冰厚度融合产品平均绝对偏差达到 0.29m，大气温湿廓线精度分别提高 1K 和 5%，短期预报产品由 2 类 7 种增加到 3 类 11 种，空间分辨率达到 3km。发表 57 篇学术论文（含 28 篇 SCI 论文），出版 1 部专著；获 5 项发明专利，20 项软件著作权。

本项目为 2019 年“向阳红 01”北极科考，2020 年“雪龙 2 号”北极科考，2020-2022 年中远特运商船北极航行提供了卫星遥感产品和数值预测预报产品保障服务，为船舶的安全航行提供了重要信息支撑。项目成果还应用于交通、国防保障、南极科考、海洋权益等诸多方面，取得显著的社会经济效益，为后续我国极地环境监测提供了坚实基础。

本项目面向北极环境，在国际合作卫星数据接收、高精度遥感信息反演、冰海气耦合数值预报预测和商业航行/极地科考示范应用四方面取得了创新性成果，包括 **2 位院士和 7 名著名专家组成的成果评价组一致认为**：本项目成果“全面推进了北极卫星遥感观测和中

长期预报预测应用技术发展，极大提升了我国极区船舶航行服务保障能力，整体成果达到了国内领先、国际先进水平。”

四、主要科技创新

全球变暖背景下，北极海冰加速融化、航道开通、大国博弈加剧。面向深度参与北极治理、建设冰上丝绸之路等重大国家需求，针对北极活动自主海洋环境安全保障能力薄弱，保障产品时效性、精度、时空分辨率不足的突出问题，本项目围绕北极恶劣环境条件下卫星数据的高可靠性实时接收、多星融合北极环境参数高时空分辨率遥感反演、实时多源卫星遥感资料驱动下的北极冰海气全耦合数值预报等关键技术，汇集国内优势技术力量开展联合技术攻关，研发了北极自主卫星接收高可靠性高速解调技术，建立了基于遥感并结合现场观测的星地一体北极环境监测系统，发展了北极自主卫星冰海气陆遥感技术并建立了数值预报预测模式，形成了北极卫星遥感和预报预测产品业务生产能力，构建了北极区域观测预报综合分析与应用示范平台，全面推进北极遥感观测和中长期预报应用示范，极大提升了极区船舶航行服务保障能力，整体成果达到了极区卫星遥感和预报同类研究的国际先进水平。

一、北极冰海气陆环境参数卫星遥感反演模型创新【属遥感信息工程学科】

目前，具有自主知识产权的北极冰海气陆环境要素的卫星遥感产品类型、时空分辨率和反演精度均不能满足北极航道服务保障应用的迫切需求。本项目利用北极区域极轨卫星密集重访的特点，突破北极冰海气陆多要素高时空分辨率遥感反演技术瓶颈，发展北极弱光照条件海洋主被动光学遥感反演技术、北极海冰多源卫星综合探测技术、北极地区冰雪下垫面的云雾判识技术、云导风风矢量追踪匹配和高度估计技术，研制高时效、高空间分辨率的海洋大气海冰和海岛海岸带6类卫星遥感产品，填补我国北极卫星遥感业务化监测产品的空白，为北极冰-海气全耦合数值预报模式提供高时空分辨率同化资料，为北极科考和船舶航行提供安全保障服务。

【1-1】面向我国自主极区海冰卫星遥感产品较少的问题，充分挖掘我国自主卫星极地海冰监测潜力，研发了海冰密集度、类型、厚度、漂移速度、融池、冰间水道和冰山等极地海冰多要素反演方法，发布了具有自主知识产权的北极海冰卫星遥感监测产品。针对我国自主海洋、气象卫星微波辐射计观测数据研发了海冰密集度反演方法，利用动态特征值表示不同类型海冰辐射特性的季节变化，有效提高了海冰密集度反演精度，实现了基于我国自主卫星的海冰密集度产品业务化生产，摆脱了对于国外卫星数据的依赖；发展了融合多源卫星高度计的海冰厚度反演算法，提高了北极海冰厚度产品的时间分辨率；提出了一种基于改进光流法的海冰漂移速度反演方法，通过引入图像金字塔改进光流法，解决传统方法不适用于大尺度运动信息提取的局限性，从而得到了空间连续的海冰漂移速度；基于机器学习算法，结合主要的遥感影像特征，构建了基于最优分类器-特征的冰山识别算法，解决了对冰山影像特征认识不清的问题，提高了冰山识别的精度。相关成果发表论文13篇（附件15文章列表1-13），专著1部（附件16），授权专利2项（附件12专利列表1-4），授权软件著作权7项（附件13软著列表1-7）。

国内外比较：基于动态特征值的海冰密集度反演结果精度优于国外算法，业务化产品已替代国外同类产品进入北极海冰数值预报模式，解决了极地海冰预报模式同化数据源“卡脖子”问题。充分利用HY-2B卫星雷达高度计双频探测优势，实现了多年冰、一年

冰、初生冰、开阔水域与冰间水道五种海表类型的识别，成功绘制了全北极的 HY-2B 海冰厚度探测结果，填补了国产高度计无海冰厚度产品的空白；基于多源卫星高度计的海冰厚度融合探测方法，在空间分辨率保持不变的情况下，将海冰厚度网格化产品的时间分辨率从 1 个月提高至半个月，从而为极地预报提供更高时间分辨率的初始场。

【1-2】利用北极卫星轨道密集重访的独特技术优势，发展了多源卫星北极海洋遥感数据融合技术，综合利用多源卫星遥感资料，研制并发布了具有自主知识产权的 2016-2020 年高时空分辨率北冰洋海面风场、海浪、海表面温度、叶绿素 a 浓度等海洋环境参量卫星遥感融合产品，填补了北极区域的高时空分辨率海洋环境卫星遥感产品的空白。发展了北极滨海湿地与岸线变迁高精度遥感监测技术，研制了北极马更些河三角洲（2002-2017）、勒拿河三角洲（2000-2020）、新奥尔松（1985-2019）海岸带湿地高分辨率长时序遥感监测产品，以及阿拉斯加德鲁角海岸（1974-2017）、西伯利亚莫戈托耶沃湖海岸（1992-2017）、东西伯利亚努泰佩利缅海岸（1975-2017）岸线变迁高精度长时序卫星遥感监测产品，为北极海岸带气候变化响应研究奠定了遥感技术和数据基础。开展了考虑地球曲率影响和北冰洋水体光学性质特点的海-气耦合矢量辐射传输模拟，发展了太阳高度低、弱光照条件下的卫星水色反演算法，建立了北冰洋叶绿素 a 浓度、悬浮物浓度、溶解有机物、溶解有机碳等海洋生态参数遥感反演新模型，提高了北冰洋卫星水色反演精度，其中，叶绿素 a 浓度反演精度优于目前国际主流水色卫星产品。利用激光雷达可全天时观测的技术优势，建立了星载激光雷达北冰洋叶绿素 a 浓度、海水漫衰减系数、颗粒物后向散射系数遥感反演模型，解决了北冰洋极夜条件下海水生态环境信息遥感获取的问题。相关成果发表学术论文 12 篇（附件 15 文章列表 14-25），其中 SCI 论文 7 篇；授权软件著作权 3 项（附件 13 软著列表 8-10）。

国内外比较：研制的北冰洋海面风场、海浪、海表面温度多源卫星融合产品的时空分辨率优于国际同类产品，填补了北极区域的高时空分辨率海洋环境卫星遥感产品的空白；北冰洋叶绿素 a 浓度卫星遥感产品、滨海湿地分类产品的精度优于国际同类产品；北极岸线变迁遥感监测产品的空间覆盖、时间跨度优于国际同类产品。

【1-3】针对国产自主卫星高纬北极地区海雾识别和云导风等大气参数遥感监测技术不成熟问题，以国产气象卫星风云三号（FY-3D）为主体，通过解决北极区域云导风反演所涉及的追踪块和追踪区域优化选择算法、风矢量高度估算和质量控制技术以及北极地区太阳高度角低、逆温多发等不利观测和复杂大气条件下的云雾识别等关键技术问题，筛选高质量的地面/探空数据、同类卫星遥感数据以及数值预报再分析场数据，率先对北极区域的 FY-3D 云检测、大气温湿度廓线反演方案进行全面评估。研发了基于神经网络的高太阳天顶角辐射订正技术，针对北极弱光照条件，基于风云三号 FY-3D/ MERSI-II 红外通道观测数据，结合地基和天基多源观测数据，构建云雾多光谱辐射特性模型，研发北极区域复杂环境下的云检测算法，发展了基于机器学习方法的海雾光谱特性提取技术，构建了北极云和海雾/低空层云遥感识别算法。通过分析 FY-3D/MERSI-II 图像分辨率、图像重访周期等多种因素，确定了示踪图像块和搜索区域，建立了准确有效的云导风产品追踪算法；选取 FY-3D/MERSI-II 红外/水汽双通道数据结合最大贡献像元法，研发了北极云导风高度确定算法。发展了 FY-3D/GNOS 数据大误差廓线订正算法，通过研制的大误差廓线订正算法，使得订正后 GNOS 数据的精度得到显著提升。相关成果发表学术论文 5 篇（附件 15 文章列表 26-30），授权软件著作权 3 项（附件 13 软著列表 11-13）。

国内外比较：首次实现了北极区域 FY-3D 的极区云导风产品的反演，填补了北极风云

卫星云导风产品的空白，解决了国产卫星在极地高纬度地区反演产品的自主化问题，为数值预报模式提供了自主可控的遥感产品。经算法优化后的基于 GNOS 反演的湿度廓线在北极地区的精度优于当前国际主流掩星结果。海雾识别算法成功应用于国产 FY-3 气象卫星并为第十二次北极科考提供了保障服务，拓展和提升了国产卫星数据的应用和服务能力。

二、北极冰海气全耦合数值预报预测技术创新【属物理海洋学科】

北极冰海气全耦合数值预报模式的核心是数值天气预报模式和海冰海洋模式的全耦合，其关键难点在于两套数值模式在海洋表层的通量交换协同性、水平网格一致性、积分计算同步性等，进而实现海洋大气数值计算的双向耦合。卫星观测可为北极冰海气全耦合数值预报提供具有不同的覆盖率、时间分辨率、空间分辨率和反演精度的海洋、大气、海冰实时遥感资料，为此需提出遥感资料区域边界的平滑过渡方案，发展大气-海冰-海洋参量的同化方法，为数值预报系统提供动力协调的初始场。本项目以提高北极短期和中长期大气、海冰和海洋预报预测水平为目标，研发了针对北极地区的大气、海冰和海洋耦合预报预测模式，发展了卫星遥感数据资料在数值预报模式中的准实时同化技术，突破了海洋和海冰多要素联合同化时的高效并行技术，构建了海洋-海冰相互协调的初始场，建立了针对北极地区的大气、海冰和海洋耦合短期和中长期数值预报系统，系统评估检验了模式预报结果，发布了北极地区多要素的业务化数值预报预测产品。

【2-1】面向我国自主极区海洋短期数值预报产品较少的问题，以提高北极短期大气、海冰和海洋预报水平为目标，研发北极大气、海冰和海洋全耦合预报技术，解决耦合变量的传递问题，以及海陆分布、模式网格匹配等关键技术问题；发展卫星遥感数据资料尤其是我国自主卫星遥感资料在数值预报模式中的准实时同化技术，摆脱了对国外北极海冰密集度遥感资料的依赖，构建海洋-海冰相互协调的初始场，建立针对北极地区的大气、海冰和海洋全耦合短期数值预报系统，并系统评估检验模式的预报结果，业务化发布北极地区短期大气、海冰和海洋 3 类 11 种数值预报产品。相关成果发表论文 4 篇（附件 15 文章列表 31-34），授权软件著作权 1 项（附件 13 软著列表 14）。

国内外比较：基于我国自主开发的 C-Coupler2 耦合器，研发北极大气、海冰和海洋全耦合数值预报技术，解决了在耦合过程中出现的耦合变量、耦合频率、海陆分布、网格匹配等多项技术问题，完成了耦合系统在国家海洋环境预报中心大型机上的稳定运行；研发北极卫星遥感资料在短期耦合模式中的准实时同化技术，业务化同化本项目反演的北极海冰密集度遥感数据，并对预报结果进行了系统的检验评估，有效地解决了我国北极海冰数值预报模式依赖国外遥感资料的问题；建立北极地区的大气、海洋和海冰短期全耦合数值预报系统，业务化发布北极地区大气、海冰和海洋共 11 种短期预报产品，预报产品精度较单向耦合模式有效提高。

【2-2】针对我国北极海冰中长期预测依赖美国 NCEP 预测系统的问题，本课题基于 FIO-ESM 和 CESM 地球系统模式，分别建立了独立运行的两套北极中长期预测系统。基于自主气候模式 FIO-ESM 和集合调整卡尔曼滤波数据同化方法研发了自主的北极海冰中长期预测系统，该系统在同化自主北极海冰密集度数据、PIOMAS 海冰厚度数据、AVHRR 全球海表温度数据和卫星融合的全球海面高度异常数据的基础上，针对北极夏季海冰开展了准业务化的实时预测，为我国第十、十一和十二次北极科学考察及 2019 年以来我国穿北极航道的商业航行提供了海冰中长期预测产品，摆脱了对美国 NCEP 预测系统的依赖。基于 CESM 地球系统模式和集合卡曼滤波同化方法，对观测的大气、海洋、海冰数据进行同化，改善了

预报初始场，提升了模式预报效果；同化近 30 年北极观测数据，构建北极海冰历史数据集；基于北极中长期预报系统，业务化发布北极海冰密集度、海冰厚度、海表面温度等中长期数值预报产品，为北极科学考察和商业航运等活动提供环境保障。相关成果发表论文 3 篇（附件 15 文章列表 35-37），授权软件著作权 2 项（附件 13 软著列表 15-16）。

国内外比较：研发的 FIO-ESM 自主北极海冰中长期预测系统实现了北极海洋-海冰的联合数据同化，填补了我国在北极海冰中长期预测中的空白，摆脱了对国外预测系统的依赖，有力支撑了我国在北极的科学考察和商业航行活动，该预测系统具有较高的预测技巧，基于观测资料的评估结果表明，该系统对北极海冰的中长期预测能力优于美国的 NCEP 预测系统。

三、北极一体化综合分析服务保障平台及其推广应用【属遥感信息工程学科】

北极中欧联合遥感卫星地面站常年环境条件恶劣，而多星密集重访情形下的数据接收任务频率高、数据量大，位于极区的遥感地面站需要以无人值守、远程监控的方式运行，并保障卫星数据的高可靠接收和数据快速处理。同时，北极现场观测数据、卫星遥感反演产品、预报预测产品等多种数据结构复杂、来源多、数量大，整个保障服务流程涉及数据接收、产品反演、数值预报多个环节，流程分割严重，没有形成统一的业务化数据链路，业务化保障时效性亟待提高。根据北极环境特点和业务化应用需求，建立了北极遥感卫星地面站与联合运行机制，实现中欧遥感数据共享；构建了北极观测预报综合分析平台，为应对全球变化和冰上丝绸之路建设提供预报服务，为中国积极参与北极治理开辟新途径。

【3-1】研究了双通道并行处理系统资源与处理器计算速度的综合优化策略，基于传统高速数传技术平台，发展了高速数传并行处理技术、低复杂度盲均衡技术、自适应幅相误差校正技术、交叉极化干扰对消技术，实现基于联合接收同步、参数估计与信道均衡多级并行结构的高速数传技术优化方案；在此基础上，发展了高码率低损耗解调译码技术并研发了高性能高可靠高速解调设备等产品，实现北极遥感卫星数据的高可靠接收。研发了基于云计算平台的多星多载荷智能运维管理技术，实现任意终端对芬兰北极站的卫星接收任务规划、地面站设备运行管理、卫星数据接收处理监控、获取应用成果等服务，通过相关插件的远程升级系统或上线扩展，保障了芬兰站的远程运维和稳定运行。研发了基于流式处理架构的多源北极卫星数据实时快速处理技术，提高了时效性，形成卫星数据极地下行、原始数据实时传输及全自动流式快速处理技术的解决方案，提供了更加灵活的数据处理作业流程编排和更高效的数据处理作业状态管理和控制，实现了北极恶劣环境条件下卫星数据的高可靠性实时接收和处理。通过与芬兰联合建设 1 座北极卫星遥感地面站，2 个合作天线，突破了卫星境外观测境内回放的时间延迟问题。该地面站在 2019-2021 年北极合作接收期间系统稳定运行，接收海洋、哨兵系列等 7 颗中欧卫星数据，快速处理海洋卫星数据，海冰和海面风场等 2 级产品时效性由 180 分钟缩短至 30 分钟，实现了北极环境常态化准实时遥感监测。相关成果发表论文 10 篇（附件 15 文章列表 38-47），授权专利 1 项（附件 12 专利列表 5），获得软件著作权 2 项（附件 13 软著列表 17-18）。

国内外比较：高码率低损耗解调译码技术在国内处于领先地位。基于流式架构的数据实时快速处理技术首次在国产卫星北极接收站落地应用（以前的海洋、气象、高分和陆地观测卫星数据均传回国内进行处理和应用）。

【3-2】开展了北极气象、海洋与海岸带现场观测，在北极黄河站获取了连续气象观测

数据，现场采集了无人机高光谱、地物光谱、植被生长参数、海岸侵蚀数据，开展了北极海洋光学观测现场，获取了宝贵的现场观测数据，揭示了北冰洋水体光学特征，为北极多参数遥感反演模型研究奠定了坚实的数据基础。研发了多源、异构、分布式环境下观测预报系统集成技术，通过消息驱动、定时启动和手动运行等多种模式获取海岸带、海冰、大气遥感数据产品和冰-海-气耦数值模式产品，构建了北极观测预报综合分析平台，通过互联网和移动端在线共享并分析北极海冰、海洋、气象观测与预报数据，实现了极地遥感数据接收及快速处理、现场信息获取、冰海气陆监测和预报预测产品研制的全链条集成。开展了 2019 年向阳红十北、2020 年雪龙二号十一北、2020 年和 2021 年中远特运北极商运航总共 4 批次的北极航行保障应用示范，全面推进北极遥感观测和预测预报应用示范，大幅提升了极区船舶航行服务保障能力。相关成果发表论文 10 篇（附件 15 文章列表 48-57），获得软件著作权 2 项（附件 13 软著列表 19-20）。

国内外比较：本项目在挪威斯瓦尔巴群岛黄河站 Pedersenbreen 冰川成功架设了一套自动气象站，首次在 P 冰川进行气象监测。构建了北极卫星遥感地面站与现场观测站业务化运行联合机制，国内首次实现了北极卫星遥感地面站自主海洋卫星的数据业务化接收与国际交换共享。通过航行前中期预报航线规划与航行中实时卫星遥感观测预报相结合，建立了高效稳定的北极航行保障服务模式，为北极科考船和商船提供了全航行周期的环境信息支撑与服务保障。

五、客观评价

2023年12月1日，中国海洋学会在北京组织召开了“北极环境卫星遥感与预报预测关键技术研究及应用”项目科技成果评价会。包括潘德炉、蒋兴伟2位院士和5名著名专家组成的成果评价组一致认为：本项目在极端严寒北极圈开展国际合作、建设自主卫星接收系统的基础上，为提升极地遥感环境产品的时效性与极地环境遥感和预报预测产品的种类及精度开展研究，取得显著成果。主要创新点包括：1、首次建立了北极圈内接收我国海洋卫星的中欧合作接收系统，构建了北极卫星遥感数据接收及快速处理、现场信息获取、冰海气陆监测和预报预测产品制作一体化综合分析服务保障平台，开展无人值守远程监管，接收我国海洋一号、海洋二号和欧洲哨兵一号等7颗卫星数据，形成北极遥感快交付产品由180分钟提高至30分钟的能力，极大提高了数据应用时效性。2、突破了北极冰海气陆多要素高时空分辨率遥感反演技术瓶颈，研发了北极弱光照条件主被动光学遥感反演技术、北极海冰多源卫星综合探测技术、北极地区冰雪下垫面的云雾判识技术、云导风风矢量追踪匹配和高度估计技术，研制了高时效、高空间分辨率的海洋大气海冰和海岛海岸带6类16种卫星遥感产品，填补我国北极卫星遥感业务化监测产品的空白。3、研发了针对北极地区的大气、海冰和海洋双向耦合预报预测模式，发展了海冰与海温资料联合同化高效并行技术，提高了预报精度，发布了北极地区多要素的业务化数值预报预测产品。通过航行前中期预报航线规划与航行中实时卫星遥感观测预报相结合，探索形成了高效稳定的北极航线保障服务模式，为北极科考船和商船提供了全航行周期的航行支撑与服务保障。评价委员会认为，该成果全面推进了北极卫星遥感观测和中长期预报预测应用技术发展，极大提升了我国极区船舶航行服务保障能力，**整体成果达到了国内领先、国际先进水平。**

（附件3）

2022年9月8至9日，中国21世纪议程管理中心组织召开了国家重点研发计划“海洋环境安全保障”重点专项“北极环境卫星遥感与数值预报合作平台建设”项目

（2018YFC1407200）综合绩效评价会议。专家组认为：“项目建设了中芬联合卫星地面接收站，实现了7颗中欧卫星数据接收和无人智能管控下的业务化运行；发展了具有自主知识产权的卫星遥感北极冰海气陆环境参数反演方法，研发了北极水色水温、海洋动力、海冰、大气物理、云雾和海岛海岸带6类16种卫星遥感产品；完成了极地耦合模式多要素联合同化技术研究，建立了北极冰海气耦合短期预报系统和中长期预测系统，提高了北极海冰数值预报和预测系统的准确性；构建了星基遥感数据为主的北极区域观测预报集成与应用示范平台，开展了北极自动气象站部署和黄河站周边的海岸带调查，开展了4批次的航行保障服务，提升了极区船舶航行自主服务保障能力。”（附件4）

2015年5月27日，受科技部国际合作司委托，科技部国际科技合作专项办公室组织专家组在北京召开了“基于多源卫星遥感数据北极船舶航行保障的合作研究”（项目编号：2011DFA22260）项目验收会。专家组形成验收意见如下：“该项目以高分辨率冰雪热力学模型HIGHTSI为基础，建立了基于多源卫星遥感数据的北极航道海冰信息和海洋动力环境信息反演算法；在国内首次建立了基于多源卫星遥感数据的北极航行信息保障示范系统，提高了我国极区航线保障的服务能力”，“进一步扩大了我国自主海洋卫星的国际影响力，为北极区域海冰的深入合作研究奠定了数据基础”，“通过项目实施，形成了良好的国际合作与交流环境及渠道，为北极区域海冰观测和卫星遥感研究奠定了基础，建立了良

好的技术引进及联合研究机制”。（附件 5）

国家海洋信息中心受国家卫星海洋应用中心委托，根据委托方提出的查新点，针对“北极环境卫星遥感与预报预测关键技术研究及应用”这一项目在前述检索范围内进行国内外文献检索。综合分析检索到的相关文献，并与该委托项目的查新点进行对比分析，可以得出如下结论：（1）该查新项目充分利用 HY-2B 卫星雷达高度计双频探测优势，实现了多年冰、一年冰、初生冰、开阔水域与冰间水道五种海表类型的识别，成功绘制了全北极的 HY-2B 海冰厚度探测结果，基于多源卫星高度计的海冰厚度融合探测方法，将海冰厚度网格化产品的时间分辨率从 1 个月提高至半个月，且空间分辨率保持不变，可为极地预报提供更高时间分辨率的初始场，在国内外公开文献中未见完全相同报道。（2）该查新项目通过分析 FY-3D/MERSI-II 图像分辨率、图像重访周期等多种因素，确定了示踪图像块和搜索区域，实现了准确有效的云导风产品追踪算法，实现了北极区域 FY-3D 的极区云导风产品的反演，解决了国产卫星在极地高纬度地区反演产品的自主化问题，为数值预报模式提供了自主可控的遥感产品，在国内外公开文献中未见完全相同报道。（3）该查新项目基于我国自主开发的 C-Coupler2 耦合器，研发北极大气、海冰和海洋全耦合数值预报技术，解决了在耦合过程中出现的耦合变量、耦合频率、海陆分布、网格匹配等多项技术问题，业务化同化自主北极海冰密集度遥感数据，实现了耦合系统稳定运行，在国内外公开文献中未见相同报道。（4）该查新项目发展了高码率低损耗解调译码技术并研发了高性能高可靠高速解调设备，研发了基于云计算平台的多星多载荷智能运维管理技术和基于流式处理架构的多源北极卫星数据实时快速处理技术，形成卫星数据极地下行、原始数据实时传输及全自动流式快速处理技术的解决方案，实现了北极恶劣环境条件下卫星数据的高可靠性实时接收和处理，在国内外公开文献中未见完全相同报道。综上，本项目所述“北极环境卫星遥感与预报预测关键技术研究及应用”，在所检文献以及时限范围内，除该查新项目委托单位及其合作单位公开的文献外，国内外均未见与该查新项目研究内容及全部创新点相一致的文献报道。（附件 14）

六、应用情况、经济效益和社会效益

1. 应用情况

本项目在 2019 年“向阳红 01”北极科考，2020“雪龙 2 号”北极科考，2020、2021 年中远特运商船北极航行中，为北极国际科考船和商业船只提供卫星遥感产品和数值预报产品保障服务：在航船出发前开展夏季北极海冰预测，服务于航线规划；在船舶航行中针对航道上的关键航线区域，利用我国自主海洋一号、海洋二号、高分三号等卫星数据，获取并制作海冰密集度、海冰分析图，利用北极海气冰全耦合短期数值预报系统，提供海冰、海洋环境、大气等多类要素预报产品，为船舶的安全航行提供了重要信息支撑，获得了航行保障应用示范报告和应用证明。

1) 十北航行保障

我国新一代远洋综合科考船“向阳红 01”于 2019 年 8 月 10 日从青岛起航，执行我国第 10 次北极考察任务。科考期间，项目组牵头单位国家卫星海洋应用中心充分利用我国自主海洋卫星数据，每天为科学考察队业务化提供海面风场、海冰密集度、卫星遥感影像等多种产品，共发送保障产品 34 期。参加单位国家海洋环境预报中心、自然资源部第一海洋研究所为科学考察队提供大气、海洋、海冰多类预报预测产品。上述遥感和预报产品为“向阳红 01”科考船安全、高效的开展第十次北极科学考察提供了信息支撑。中国第十次北极考察队发来感谢信，对我中心的保障服务工作表示了感谢。

2) 十一北航行保障

第十一次北极科学考察期间，课题组基于中欧多源卫星数据，为考察队提供了高分辨率光学和 SAR 卫星遥感影像，以及海冰密集度、海面风场等多源遥感产品，为第 11 次北极科学考察顺利开展提供了信息支撑。

3) 中远特运航行保障

北极航行是中远海运集团落实国家主席习近平关于“要开展北极航道合作，共同打造‘冰上丝绸之路’，落实好有关互联互通项目”指示的重要举措。自 2013 年永盛轮首航北极至 2021 年底，中远海运特运已经安排 26 艘船舶完成了 56 个航次的北极东北航道航行任务。中远海运特运北极东北航道常态化运营已初具规模，这一举措是对“冰上丝绸之路”的探索实践，拓展了“一带一路”建设的内涵，对于中国制造和中国装备走出去、欧洲货物出口远东，繁荣亚欧贸易，起到了十分积极的促进作用。

在每年的具体航行规划制定过程中，中远特运需要当年特别是夏季的北极海冰预测报告，为货物接驳和通航窗口提供依据。而在每条船在东北航道的航行过程中，需要根据海冰分布情况和短期预报情况确定具体航线。为此，需提供中长期海冰预测、卫星遥感海冰监测及短期预报等信息支撑。

2020 年 3 月底，项目组提供了北极中长期海冰预测报告，根据这一报告和商船多源信

息的综合研判分析，中远特运初步制定了 2020 年的中欧货物接驳和东北航道航行计划。2020 年 6 月底，项目组提供了更新的北极中长期海冰预测报告，根据报告中远特运对航行计划进行了针对性的调整。在船舶航行于东北航道期间，项目组提供了每日的海冰卫星遥感监测报告和预报保障报告。其中海冰卫星遥感监测包括了大范围的、低分辨率的海冰密集度数据、高分辨的局部海域的 SAR 数据和光学数据，结合上述高低分辨率的不同数据，商船及时调整了正在以及即将航经北极船舶的航线。特别在通过北地群岛等海域的关键海峡时，项目组提供的航道上的海冰密集度产品为商船顺利通过相关区域提供了重要信息。

2020 年至 2021 年期间，中远特运共安排了 25 个航次的北极东北航道航行任务，其中 2020 年 11 个航次，2021 年 14 个航次。在此期间，项目组向提供了 2 个批次的信息保障服务，其中第一批次 2020 年提供了 3 期中长期海冰预测报告和 55 期卫星遥感及预报报告，第二批次 2021 年提供了 1 期中长期海冰预测报告和 44 期卫星遥感及预报报告。项目组通过微信等手段，将上述报告、遥感影像图、专题图等产品及时的提供商船，为商船的年度航次规划、临近航道确定、关键海峡的航线选择提供了科学数据支撑，为安全顺利的完成当年运输任务提供了有力保障。

2. 经济效益和社会效益

一、学科贡献情况

为我国全球海洋立体观测网向极区拓展提供自主卫星观测支撑。随着海洋强国建设的不断推进，进一步提升我国的全球海洋观测能力显得越来越重要，国家“十三五”规划中明确提出，建成布局合理、规模适当、体系完整的中国全球海洋立体观测系统。基于本项目研究成果形成的业务化工作的开展，可以形成覆盖极地重点关注区域的业务化观测能力和运行保障能力，实现我国全球海洋立体观测网向极地区域的拓展。

为我国深度参与极地和全球变化研究提供中国遥感卫星支撑。全球变化加快，极地地区变化尤为突出，这对全球的社会、经济和生态系统都将产生显著的影响。极地海冰作为全球气候系统的一个重要组成部分，本项目开展北极冰海气陆卫星遥感观测，可以为研究海冰和全球气候系统耦合作用提供数据支持，为国家制定气候变化应对策略提供科学依据。

推进我国自主卫星极区定量化、业务化水平和应用。我国已经发射的海洋卫星和海洋作为牵头主用户的卫星达到 10 余颗，我国海洋卫星已从单一型号发展到多种型谱，从试验应用转向业务服务，海洋卫星体系已经初步形成。利用我国后续发射的海洋系列卫星结合本项目的算法研究成果开展卫星遥感极区业务化观测，将提高我国自主海洋卫星数据产品的定量化应用、快速分发和全球服务能力。

本项目共发表第一标注学术论文 57 篇，其中 SCI 论文 28 篇；专著 1 部；共申请发明专利 18 项，其中授权 5 项，进入实质审查 13 项；获得软件著作权 20 项。（附件 12、13、15、16）

二、行业贡献情况

为我国“冰上丝绸之路”等北极开发战略具体实施提供支持。与美国、俄罗斯和加拿大等北极理事会成员国相比，我国在北极圈以内并没有领土领海，对北极海域的开发和北极权益方面在国际法上处于不利地位。长此以往，必将影响我国未来在北极和全球战略中的长远利益。开展卫星遥感北极区域业务化观测和预报预测，有利于弥补上述短板，可以为北极商业船舶航行提供环境保障信息，也有助我国参与北极地区的资源开发，提升我国在北极政治和战略上的国际话语权。

为我国南北极科学考察顺利开展提供信息保障服务。我国每年开展南北极科学考察，大面积、高分辨率、准实时的环境信息和准确的预报预测信息是开展科学考察的航线规划、冰区航线的选择决策必不可少的。本项目成果为我国南北极科学考察的顺利实施提供了信息支撑。

三、国际交流情况

本项目执行过程中，充分利用国际合作资源和优势，推动与芬兰在数据接收、卫星遥感、数值预报等多个方面的合作。2018 年 2 月 12 日-18 日，项目组成员赴芬兰气象局及其

下属北极研究中心开展卫星数据接收技术交流与访问。访问期间，代表团介绍了卫星中心和海洋卫星情况，以及北极合作平台项目的数据接收需求。芬方介绍了数据接收设备、卫星数据源、波罗的海海冰信息发布系统以及相关业务化工作。双方就数据需求逐项进行了详细讨论，初步制定了后续数据接收工作计划及时间节点。访问过程中，合作双方利用北极研究中心天线开展了 HY-2B 卫星数据的接收实验。2019 年 10 月 16-17 日，项目参加单位国家海洋环境预报中心在北京组织召开了第四届中国-芬兰极地科学研讨会。本次研讨会邀请了中国、芬兰、德国、俄罗斯等国专家学者参加，针对极地气候、遥感、海冰等主题开展了广泛的讨论和交流，为我国深度开展“冰上丝绸之路”建设提供重要科学支撑。

项目组部分核心人员先后赴英国 ECMWF、韩国极地研究中心、韩国 Kangwon 国立大学、韩国海洋科学技术研究院、韩国首尔大学等单位交流访问，深入探讨了项目相关科学和关键技术问题，并与这些国外高水平研究机构建立了良好的国际合作关系。项目实施期间，多名研发骨干和研究生参加了在日本、意大利、北京、杭州等地举办的国内外地球科学和遥感学术会议，向国内外同行展示了项目研究成果。

四、人才培养情况

经过 10 余年技术积累，本项目形成了一支北极环境卫星遥感和预报预测研究团队，培养毕业研究生 18 名，其中博士 3 名，硕士 15 名。

七、代表性论文专著目录与被他人引用情况

1. 代表性论文专著目录

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷页码(xx年xx卷xx页)	发表时间年月日	通讯作者/第一作者是否为本成果主要完成人	SCI他引次数	他引总次数
1	Summer albedo variations in the Arctic sea ice region from 1982 to 2015	International Journal of Climatology	Peng Hai-Tao, Ke Chang-Qing, Shen Xiaoyi, Li Mengmeng, Shao Zhu-De	2020, 40(6): 3008-3020	2024-10-29	柯长青	16	16
2	基于 CryoSat-2 数据的 2010-2017 年北极海冰厚度和体积的季节与年际变化特征	海洋学报	柯长青, 王蔓蔓	2018, 40(11): 1-13	2018-11-01	柯长青	14	14
3	Atmospheric Correction Algorithm for HY-1C CZI over Turbid Waters	Journal of Coastal Research	Cheng Tong; Bing Mu; Rong-Jie Liu; Jing Ding; Min-Wei Zhang; Yan-Fang Xiao; Xi-Jian Liang; Xiao-Ying Chen	2019, 90: 156-163	2019-09-30	RongJie Liu	13	17
4	An Arctic Gridded Sea Surface Temperature Product Constructed from Spaceborne Radiometer Data	Journal of Coastal Research	Weifu Sun; Jie Zhang; Junmin Meng; Yuheng Li; Kaixiang Cao	2020, 102, 280-286	2021-01-08	Weifu Sun	3	6

5	我国海洋卫星极区海冰遥感反演方法	海洋出版社	石立坚、王其茂、张晰等	2022, ISBN: 9787521010251	2022-12-01	石立坚	0	0
6	Improving remote sensing retrieval of water clarity in complex coastal and inland waters with modified absorption estimation and optical water classification using Sentinel-2 MSI	International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation	Song Qing, Tingwei Cui, Quan Lai, Yuhai Bao, Ruixiang Diao, Yalei Yue, Yanling Hao	2021, 102, 102377	2021-06-11	崔廷伟	22	22
7	Seasonal Trends in Clouds and Radiation over the Arctic Seas from Satellite Observations during 1982 to 2019	Remote Sensing	Wang Xi, Jian Liu, Bingyun Yang, Yansong Bao, George P. Petropoulos, Hui Liu, and Bo Hu	2021, 13(16): 3201.	2022-08-12	Jian Liu	5	5
8	海洋卫星北极多区域遥感成像任务规划及应用评估	极地研究	孙从容, 刁宁辉, 韩静雨, 刘金普, 刘建强	2022, Vol. 34, No. 2	2022-06-01	孙从容	0	2

2. 被他人引用情况

序号	被引代表性论文 专著序号	引文名称/作者	引文刊名	引文发表时间（年 月 日）
1	1	Climate Extremes across the North American Arctic in Modern Reanalyses/Alvaro Avila-Diaz, David H. Bromwich, Aaron B. Wilson, Flavio Justino, and Sheng-Hung Wang	Journal of Climate	2024-02-25
2	2	基于气温的浮冰侧向融化速率参数化方案实验研究/艾润冰, 谢涛, 刘彬贤, 赵立, 方贺	海洋学报	2020-05-01
3	3	Estimating ultraviolet reflectance from visible bands in ocean colour remote sensing/Huizeng Liu, Xianqiang He, Qingquan Li, Susanne Kratzer, Junjie Wang, Tiezhu Shi, Zhongwen Hu, Chao Yang, Shuibo Hu, Qiming Zhou, Guofeng Wu	Remote Sensing of Environment	2021-05-03
4	4	Red tide detection based on high spatial resolution broad band optical satellite data / Rongjie Liu, Yanfang Xiao, Yi Ma, Tingwei Cui, Jubai An	ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	2022-04-07
5	6	Dynamic monitoring and analysis of chlorophyll-a concentrations in global lakes using Sentinel-2 images in Google Earth Engine/Desong Zhao, Jue Huang, Zhengmao Li, Guangyue Yu, Huagang Shen	Science of the Total Environment	2023-12-06
6	6	Monitoring inland water via Sentinel satellite constellation: A review and perspective/Fanxuan Zeng, Chunqiao Song, Zhigang Cao, Kun Xue, Shanlong Lu, Tan Chen, Kai Liu	ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing	2023-10-01
7	7	Robust and perfectible constraints on human-induced Arctic amplification/Hervé Douville	Communications Earth & Environment	2023-09-04

8	8	语义描述驱动的启明星一号自主任务 规划方法/仵倩玉;王密;陈俊博	武汉大学学报(信 息科学版)	2023-04-03
---	---	-------------------------------------	-------------------	------------

八、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态
发明专利	基于海洋二号卫星扫描微波辐射计的海冰密集度获取方法	中国	ZL201410498638.2	2024-07-14	2552689	国家卫星海洋应用中心	石立坚, 王其茂, 林明森, 邹斌, 黄磊	有效
发明专利	阈值确定方法、海冰厚度反演方法、装置、设备及介质	中国	ZL202110364950.2	2022-03-08	4985161	国家卫星海洋应用中心	石立坚、曾韬、施英妮、张茜、鲁云飞、梁超、冯倩、邹斌、王其茂	有效
发明专利	海冰海水的遥感分类方法、装置与电子设备	中国	ZL202110364950.2	2022-04-05	5050046	国家卫星海洋应用中心	蒋城飞、林明森、曹瑞雪、马小峰、贾永君、王其茂、石立坚、安文韬等	有效
发明专利	一种海冰表面积雪厚度的遥感估算方法	中国	ZL 202011413151.1	2021-10-29	4759133	南京大学	柯长青, 李海丽, 朱庆辉	有效

发明专利	基于OFDM信号归一化一阶矩的单脉冲测角方法及跟踪应用	中国	ZL201811536045.5	2021-02-05	4238324	北京遥测技术研究所, 航天长征火箭技术有限公司	付林罡, 闫朝星, 谌明	有效
计算机软件著作权	北极区域观测预报综合分析与应用示范平台	中国	2020SR0781918	2020-05-30	软著登字第55660614号	国家卫星海洋应用中心	邹斌等	有效
计算机软件著作权	卫星遥感及数值预报产品制作软件	中国	2022SR0108748	2022-01-07	软著登字第9062947号	国家卫星海洋应用中心、广东航天宏图信息技术有限公司	邹斌等	有效
计算机软件著作权	冰山识别软件	中国	2019SR1113419	2019-04-13	软著登字第4534176号	南京大学	柯长青, 肖湘文, 沈校熠	有效
计算机软件著作权	基于国产卫星的北极海岸带遥感图像监测软件	中国	2021SR1180242	2021-08-10	软著登字第7902868号	自然资源部第一海洋研究所	任广波等	有效
计算机软件著作权	基于FIO-ESM的北极海冰中长期预测系统V1.0	中国	2021SR1457292	2021-09-30	软著登字第8179918号	自然资源部第一海洋研究所	舒启等	有效

九、成果获科技奖励情况

获奖成果名称	获奖时间	奖项名称	奖励等级	授奖单位
我国海洋卫星极区海冰遥感反演方法	2023-12-31	国家级优秀海洋图书	省部级	中国太平洋学会
高分三号保障双龙探极	2023-11-30	高分专项卫星应用优秀成果应用案例成果	二等奖	国家国防科技工业局高分观测专项办公室