

# 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

中国测绘学会

成果编号

成果名称	名称	陆探一号雷达卫星测绘关键技术及应用		
	公布名	陆探一号雷达卫星测绘关键技术及应用		
主要完成人		李涛、葛大庆、廖明生、唐新明、张祥、周晓青、张变英、陶明亮、禄競、张雪飞、李坛、杨成生、董杰、窦显辉、马广迪		
主要完成单位		自然资源部国土卫星遥感应用中心、中国自然资源航空物探遥感中心、武汉大学、中国人民解放军 61618 部队、西北工业大学、长安大学、北京国遥新天地信息技术股份有限公司		
推荐单位 (盖章)		自然资源部国土卫星遥感应用中心		
学科分类 名称	1	42020 摄影测量与遥感技术	代码	42020
	2		代码	
	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		A1 国家科技支撑计划, D1 国家自然科学基金		
<b>具体计划、基金名称、项目名称和编号:</b> 星载新体制 SAR 综合环境监测技术, 国家重点研发计划项目, 2017.7-2021.6 (2017YFB0502701) 基于独立参数分解的星载 SAR 干涉定标技术研究, 国家自然科学基金, 2019.1-2021.12 (61801136) 国产 InSAR 卫星指标论证与仿真技术, 公益性行业科研专项, 2016.1-2017.12 国产卫星应急观测与信息支持关键技术, 国家民用航天预研项目, 2019.1-2021.12 (B0302) L 波段差分干涉 SAR 卫星工程在轨测试, 卫星工程项目, 2022.3-2023.5 L 波段差分干涉 SAR 卫星星地一体化“多用户应用方案”及“在轨测试方案”, 国防科工局卫星型号项目, 2019.12-2022.12 协同多传感器 SAR 数据的农田土壤水分反演研究, 国家自然科学基金, 2020.1-2022.12 (41901303)				
授权发明专利(项)		10	授权的其他知识产权(项)	14
项目起止时间		起始: 2016 年 01 月 05 日	完成: 2023 年 12 月 29 日	
推荐单位推荐等级		一等奖		

## 二、推荐意见

推荐单位	自然资源部国土卫星遥感应用中心		
通讯地址		邮政编码	
联系人		联系电话	
电子邮箱		传 真	

### 推荐意见：

该项目面向全国地质灾害调查监测、地理信息资源建设与更新等需求，突破了陆探一号雷达卫星指标论证、卫星几何与干涉检校、InSAR 高精度地形测绘与形变监测等关键技术，构建了一整套从 SAR 卫星指标论证与设计、在轨检校、业务化处理到广域 SAR 数据产品研发的全自主国产 SAR 卫星测绘技术体系。项目提出了顾及相位解缠的最优干涉基线仿真方法、基于独立参数分解的干涉检校技术，全球首次构建了具备干涉测绘与形变监测能力的 L 波段干涉雷达卫星技术指标体系，突破了雷达卫星几何干涉检校的准确性、稳定性难题；构建了基于趋势面稳健估计的形变场平差技术和时序部分相干相位堆叠技术，解决了 SAR 广域形变产品精度不一致性问题，显著提高了形变识别精度；研发了无迹卡尔曼滤波相位解缠技术，改进了广域测绘产品区域网平差技术，解决了高噪声大梯度相位解缠技术难题和广域地形测绘产品系统性残差去除问题，获取了我国陆探卫星 1:5 万比例尺全国 DOM 和 DSM 产品。项目成果得到规模化应用，实现了对国外雷达卫星的有效替代，在地质灾害隐患识别、自然资源调查监测、测绘产品生产及国家重大工程实施过程中发挥了重要作用，取得了显著的经济社会效益。综上，该项目取得了多项国内外领先的创新性研究成果，并首次实现了规模化业务应用，极大地提升了 SAR 卫星在自然资源监测监管的应用服务能力和科学技术水平。依据《自然资源科学技术奖章程（暂行）》有关规定，本项目符合评选条件，特此推荐该项目申报自然资源科技进步一等奖。

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

### 一、立项背景

我国干涉 SAR 卫星受指标论证、在轨检校及数据处理等关键技术的制约，导致业务化干涉应用能力较弱。陆探一号雷达卫星具备双星绕飞和双星跟飞编队模式，分别开展广域高精度地形测绘和地表形变监测，对卫星定量化应用，特别是业务化干涉提出了迫切需求。因此，面向陆探一号雷达卫星，在卫星工程在轨测试、国家重点研发计划、国家自然科学基金等项目支持下，开展我国干涉卫星指标论证、在轨检校及 InSAR 形变监测与地形测绘理论研究、技术攻关和工程应用，为我国干涉 SAR 卫星高精度数据处理与定量化应用提供技术保障。

### 二、研究目标

本项目面向国产干涉 SAR 卫星定量化应用能力提升的迫切需求，重点开展国产干涉 SAR 卫星技术指标论证、卫星几何与干涉检校、InSAR 高精度地形测绘、形变监测等技术攻关，形成了一整套从 SAR 卫星指标论证与设计、在轨检校、业务化处理到广域 SAR 数据定量化产品研发的全自主国产 SAR 卫星测绘技术体系。

### 三、创新成果

**创新点 1:** 提出了 L-SAR 双星绕飞与跟飞模式的相干性分析方法、顾及相位解缠精度的最优干涉测绘基线仿真方法，首次面向国产 SAR 卫星提出了双星跟飞管控半径 350m 的指标与双星绕飞模糊高 35-55m 的指标，确保了国产民用干涉 SAR 卫星同时具备业务化形变监测与地形测绘的能力，实现了干涉测绘与形变监测卫星总体设计的定量化。

**创新点 2:** 提出了基于独立参数分解的干涉检校技术、顾及参数敏感度的远近波位基线检校方法和基于统计独立性差异的干扰检测抑制方法，突破了高精度几何干涉检校技术与辐射质量提升难题，实现了 L-SAR 卫星检校前百米级定位精度提升至检校后米级，业务化地形测绘精度提升至 5 米以内，干扰抑制后影像相干性提升 20%-40%，构建了 L-SAR 卫星检校软硬件系统。

**创新点 3:** 提出了 DInSAR 形变场平差方法、时序部分相干 Stacking 技术、多基线联合构网时序 InSAR 技术，解决了广域形变产品精度不一致、覆盖效率低、观测点密度低等问题。生产了首套基于国产 SAR 卫星的 10 米格网全国形变场产品，形变场产品精度优于 5 厘米，形变时序产品精度优于 9mm/年，为广域地质灾害早期隐患识别提供了数据支撑。

**创新点 4:** 提出了无迹卡尔曼滤波相位解缠算法和广域地形测绘产品区域网平差技术，解决了高噪声大梯度相位解缠技术难题和广域地形测绘产品系统性残差去除问题，为国内外多云多雨区高精度地形测绘提供了核心技术支撑，生产了 L-SAR 卫星 1: 50000 比例尺全国 DOM 和 DSM 一版图。

### 四、经济社会效益

获得国家发明专利 10 项，软著 14 项，发表论文 73 篇，其中 IEEE TGRS, ISPRS Journal、测绘学报等高质量期刊 53 篇。完成数十份、近百万字的试验设计方案和研究报告，形成了 1

套 SAR 数据处理软件产品，已应用于 L-SAR 卫星应用系统。

解决了制约国产干涉 SAR 卫星高精度定量化应用的卡脖子难题，InSAR 形变监测和地形测绘精度达到国外最高水平，实现了我国干涉 SAR 卫星业务化测绘“从无到有”、“从有到好”的两次大步跨越。截止目前，通过检校场建设和云平台数据分发共节省财政支出 70.11 亿元。研发的各类广域 SAR 测绘产品，已节省和未来预期节省财政支出 41.32 亿元。

## 四、客观评价

### 一、陆探一号雷达卫星测绘关键技术及应用科技成果评价意见

2024年4月30日，中国测绘学会组织专家在北京对自然资源部国土卫星遥感应用中心等单位提交的“陆探一号雷达卫星测绘关键技术及应用”科技成果进行了评价，评价委员会（名单附后）听取了成果介绍，审阅了相关文档资料，经质询与讨论，形成评价意见如下：

一、提交的文档资料齐全规范，符合科技成果评价要求。

二、面向国产 SAR 卫星数据应用的重大需求，开展了我国 L 波段差分干涉 SAR 卫星总体指标设计与应用关键技术研究，研制了雷达卫星干涉测量处理系统，实现了 1:5 万比例尺地形测绘精度以及厘米级地表形变监测，研发了 LT-1 雷达卫星数据处理系统，为地质灾害隐患识别、地理信息资源建设等提供了有力支撑。

三、成果主要创新点：

1.提出了顾及相位解缠精度的最优干涉基线仿真方法，在全球首次构建了具备干涉测绘与形变监测能力的 L 波段干涉雷达卫星星地一体化技术指标体系。

2.提出了基于独立参数分解的干涉检校技术、顾及参数敏感度的远近波位基线检校方法、基于统计独立性差异的干扰检测抑制方法，高程精度优于 5 米，影像相干性较抑制前提升 20%-40%，突破了 L 波段雷达卫星几何干涉检校的准确性、稳定性难题。

3.提出了基于趋势面稳健估计的 DInSAR 形变场平差方法，研发了时序部分相干相位堆叠技术，解决了 SAR 广域形变产品精度不一致性问题，形变时序产品精度优于 9mm/年，显著提高了形变识别精度。

4.提出了两步法无迹卡尔曼滤波相位解缠算法，改进了广域地形测绘产品区域网平差技术，解决了高噪声大梯度相位解缠技术难题和广域地形测绘产品系统性残差去除问题，生成了我国 LT-1 卫星 1:5 万精度的全国 DOM 和 DSM 产品。

四、应用效果：

该成果实现了国产干涉雷达卫星数据处理的业务化，软件和数据已经在全国得到规模化应用，实现了对国外雷达卫星的有效替代，在我国地质灾害隐患识别、自然资源调查监测、测绘产品生产及国家重大工程实施过程中发挥了重要作用，取得了显著的经济社会效益。

评价委员会认为，该成果整体达到了国际先进水平，其中干涉基线仿真方法、远近波位基线检校方法、时序部分相干相位堆叠技术达到国际领先水平。

评价委员会主任：吴一戎

## 二、L 波段差分干涉 SAR 卫星工程在轨测试总结报告评审意见

2023 年 5 月 31 日，自然资源部科技发展司会同国防科工局重大专项工程中心，在北京组织召开了“L 波段差分干涉 SAR 卫星（陆地探测一号卫星）工程在轨测试总结报告”评审会，评审专家组（名单附后）听取了在轨测试总结报告，审阅了相关材料，经质询和讨论，形成评审意见如下：

1.按照《L 波段差分干涉 SAR 卫星工程在轨测试大纲》与《L 波段差分干涉卫星工程在轨测试细则》，完成了各项测试工作，内容全面，结果可信。

2.卫星平台及载荷系统、地面系统、应用系统各项功能正常，性能达到了研制建设总要求的各项工程技术指标，卫星具备 6 中不同的成像模式，各模式空间分辨率、幅宽和极化特性满足设计要求。

3.卫星实现了双星绕飞和双星跟飞两种编队的构型转换并稳定运行，卫星具备精确轨道控制及星上处理功能，双星编队各项功能、性能均满足设计要求。

4.双星绕飞模式下地形测绘精度满足 1:50000 比例尺要求，双星跟飞模式下，差分干涉形变测量精度优于 5 厘米，时序形变监测精度优于 9 毫米/年。

5.双星在轨运行稳定，卫星数据已在地质、土地、地震、减灾、测绘和林业等行业得到初步应用。

专家组认为 L 波段差分干涉 SAR 卫星工程首次实现了民用卫星 1:50000 地形测绘与高精度地表形变监测，各系统功能和性能全面满足《L 波段差分干涉 SAR 卫星工程研制建设总要求》，同意通过评审。

建议：进一步加强卫星应用系统建设以及行业应用推广，尽快启动后续业务卫星的立项。

评审专家组组长：吴一戎

评审专家组副组长：岳清瑞 於伟民

## 三、国家重点研发计划课题-新体制星载 SAR 综合环境监测体系架构研究绩效评价专家组意见

2021 年 9 月 27 日，中国科学院空天信息创新研究院在北京组织召开国家重点研发计划“星载新体制 SAR 综合环境监测技术”项目对“新体制星载 SAR 综合监测体系架构研究”课题的绩效评价会，会议组成了专家组（名单附后），专家组听取了“新体制星载 SAR 综合监测体系架构研究课题绩效评价汇报”，并进行了质询讨论，形成意见如下：

1、开展了新体制星载 SAR 综合需求分析、海洋陆地星地一体化综合应用指标论证和新体制星载 SAR 综合检测体系架构研究，形成了新体制星载 SAR 综合环境监测需求分析报告，构建了新体制 SAR 海洋陆地星地一体化综合应用指标论证软件和新体制 SAR 综合监测体系架

构，课题完成了任务书要求的研究任务，技术指标达到了任务书要求。

2、构建了以应用需求为牵引，理论推导与模拟仿真相结合的新体制 SAR 应用技术指标分级论证体系，提升了应用、载荷、平台技术指标分析论证的系统性；提出了基于分布布朗运动的地形测绘仿真方法，将点尺度的技术指标仿真论证拓展至面尺度，提升 InSAR 地形测绘指标论证结果的适用性和推广性；课题以行业应用需求为输入，从卫星体系架构和应用体系架构两个角度实现了新系统星载 SAR 综合检测体系的架构设计，工作具有创新性。

3、为整个项目实现星载新体制 SAR 综合环境监测提供了综合应用需求和海洋陆地应用技术指标体系输入，以及综合环境监测体系架构支撑；新体制 SAR 综合需求分析与应用技术指标分级论证体系为双天线 X 波段干涉 SAR 卫星技术预研与立项论证提供了支撑，构建的应用系统建设体系为 L 波段差分干涉 SAR 卫星应用系统建设提供了依据。

课题人才培养成效显著，组织保障支撑有力，验收文档齐全，专家组同意课题通过绩效评价。

专家组组长：卢乃锰

## 五、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 SAR 严密成像模型的子像素级角反射器自动定位方法	中国	ZL201611180810.5	2019-01-11	第 3212757 号	自然资源部国土卫星遥感应用中心	唐新明, 高小明, 李涛等	有效
发明专利	基于卫星控制点库和 DEM 的 SAR 影像正射纠正方法	中国	ZL201710554588.9	2020-11-10	第 4088771 号	自然资源部国土卫星遥感应用中心	唐新明, 高小明, 陈乾福等	有效
发明专利	基于分形布朗运动的干涉 SAR 影像仿真方法	中国	ZL201910225864.6	2021-05-28	第 4448543 号	自然资源部国土卫星遥感应用中心	李涛, 唐新明, 陈乾福等	有效
发明专利	一种双极化 HH、HV 雷达图像特征增强方法	中国	ZL202110329382.2	2023-08-15	第 6235393 号	自然资源部国土卫星遥感应用中心	陈乾福, 唐新明, 李涛等	有效
发明专利	基于张量低秩逼近的	中国	ZL202010260933.X	2023-02-10	第 5733158 号	西北工业大学	陶明亮, 李劼	有效

	合成孔径雷达干扰抑制方法						爽, 栗嘉等	
发明专利	基于时频语义感知的干扰智能检测方法	中国	ZL202110759956.X	2024-02-09	第6703119号	西北工业大学	陶明亮, 李劼爽, 王伶等	有效
发明专利	农作物覆盖区全极化多维度SAR土壤水分反演方法	中国	ZL202210295876.8	2022-11-25	第5602736号	自然资源部国土卫星遥感应用中心	张祥, 唐新明, 周晓青等.	有效
发明专利	一种表喷覆盖型冰川的自动化提取方法	中国	ZL202010812775.4	2023-04-07	第5864609号	长安大学	杨成生等	有效