

2026 年度拟提名陕西省技术发明奖项目公示内容

一、项目名称

微波成像卫星星地协同伪影抑制关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省知识产权局

提名意见：

面向我国微波成像卫星高分辨、精细化对地观测的重大战略需求，针对雷达卫星影像中“距离模糊、方位模糊、射频干扰”伪影难题，该项目突破了传统星上与地面分立处理的局限，创建了“星上动态收发-地面精细处理”协同一体处理架构，发明了信号编码扩展的多维联合变换距离模糊抑制、高精度空域参数校正的方位多通道重构、静默接收协同感知的数模混合驱动干扰抑制等关键技术，自主研制了任务驱动引导的星地协同伪影抑制软硬件系统，在 12 型国产卫星中投入在轨业务化应用。

该项目技术难度很大，有重大自主创新，技术自主可控，总体技术达到国际先进水平，其中静默接收协同感知的数模混合驱动干扰抑制技术居国际领先水平。成果已成功应用于陆探一号、四维高景二号、天绘系列、海丝一号等 12 型国产微波成像卫星，显著提升了我国雷达卫星影像质量与应用效能，在国土资源监测、灾害应急响应、国土安全保障等领域中发挥了重要作用，社会经济效益显著，应用前景广阔，形成理论创新、技术突破、系统研制到重大应用的国家能力。

提名材料属实，经公示，完成单位、完成人对排序及成果权属无异议。

提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。

三、项目简介

微波成像卫星作为空间信息获取体系的核心装备，是我国对地观测基础设施中不可或缺的战略组成部分。然而，在轨高分辨成像过程中，系统长期面临距离模糊、方位模糊和射频干扰等突出问题，在影像中呈现为具有遮蔽特性的压制性伪影。传统技术局限于星上或地面单一环节的伪影抑制，面临三大核心挑战：一是有效回波与伪影在时频域深度耦合，导致伪影分离“失真大”；二是平台复杂空间热环境引入的多通道阵列形变扰动，造成空域滤波“偏差大”；三是异源干扰呈现强时变、并发与异构特征，抑制模型“泛化弱”。三者相互耦合，作用机制复杂，导致显著伪影漏检与抑制残留，严重制约图像辐射精度与几何保真度，成为当前国内外微波成像卫星高分辨、精细化遥感应用发展的核心瓶颈。

在国产重点卫星系统研制、国家自然科学基金等项目持续支持下，团队历经十年集智攻关，发明了微波成像卫星星地协同伪影抑制关键技术。通过构建

“星上动态收发、地面精细处理”伪影抑制软硬件系统，实现日均业务化处理影像超千景，已在陆探一号、四维高景二号、天绘系列、海丝一号等 12 型国产微波成像卫星上规模化部署应用，显著提升了成像质量与系统在轨运行效能，引领推动了从技术、产品到应用的行业进步与发展。主要创新发明点如下：

发明点 1：发明了信号编码扩展的多维联合变换距离模糊抑制技术，大幅提升强耦合条件下距离模糊对消质量。提出了方位-距离联合相位编码与多域协同滤波相结合的距离模糊抑制方法，构建了星上正交相位编码与地面联合解调相协同的信号处理架构，经在轨验证，距离模糊比提升了 4dB，影像质量得到显著改善。

发明点 2：发明了高精度空域参数校正的方位多通道重构技术，显著增强平台扰动下方位模糊抑制稳健性。提出了基于子视伪彩合成的残余模糊检测和自适应通道幅相偏差估计方法，突破了星上方位多通道雷达系统方位模糊度优化设计技术，经在轨验证，相位一致性优于 1 度，方位模糊比提升 5dB，有效解决高分宽幅成像中的方位模糊难题。

发明点 3：发明了静默接收协同感知的数模混合驱动干扰抑制技术，实现地面与星间复杂时变干扰伪影的适变抑制。创立了星上“静默脉冲”干扰感知新模式，提出了地面端模型数据混合驱动智能处理系列方法，图像干扰抑制比优于 15dB，相干系数提升优于 20%，显著提升图像质量与干涉产品精度。

该项目授权发明专利 52 项，制订国际标准 1 项、企业规范 31 项，发表高水平学术论文 45 篇，通过有效抑制伪影、提升数据可用性，挽回科学数据经济损失等产生直接经济效益 17.87 亿元，先后获 2025 年度电磁频谱领域十大科技进展、IEEE 地球遥感与科学协会青年成就奖、国际无线电科学联盟青年科学家奖、全国博新计划十大创新成果等国内外学术奖励，引领推动我国伪影抑制技术向“低失真稳健分离、精密伪影参数估计、强认知动态抑制”跨越式发展。院士专家评价认为“该成果可实现对国外同类雷达卫星的有效替代，基于统计独立性差异的干扰检测抑制技术达到国际领先水平”“属国内外首创的重大技术发明，技术难度很大，有重大创新，总体技术处于国际先进水平”。

四、客观评价

国土自然资源卫星应用中心评价：“实现干扰抑制前后相干性提升优于 20%，性能优于日本 ALOS 卫星、欧洲 Sentinel-1 卫星的同类技术，显著提升了干涉数据质量，有效解决了 L 波段雷达卫星几何干涉检校的准确性、稳定性难题”“为全国 31 个省市自治区地质灾害隐患识别提供了数据保障，为我国掌握 L 波段 InSAR 地形测绘技术提供了核心支持”。

上海航天技术研究院评价：“首次实现了星地一体化协同的伪影抑制模式，有力引领和推动了我国高精度、精细化定量遥感领域的创新发展，在提升国家战略安全能力、推动空间信息产业发展方面产生广泛而深远的影响”。

自然资源陕西省卫星应用技术中心评价：“显著提升了干涉相位质量与数据可靠性，成功制作了基于陆探一号卫星数据的首张陕西省全域干涉形变一张图，

显著增强了国土空间开发利用监测、自然资源动态监管、生态环境综合评价和地质灾害综合治理等方面的精细化卫星遥感监测能力，有力支撑推动了陕西省自然资源治理能力的现代化转型”。

中国电子科技集团公司第三十八研究所评价：“该技术已成功应用于我国新体制微波成像卫星，以及海丝一号、巢湖一号、泰景四号 01 星等多颗商业 SAR 卫星的雷达载荷系统设计与在轨数据处理”“方位模糊伪影得到显著抑制，图像分辨率与辐射精度明显改善，关键核心指标达到了国际领先水平，为多通道 SAR 卫星载荷系统的研制与性能优化提供了关键技术支撑”。

五、应用情况和效益

该项目创新提出了微波成像卫星星地协同伪影抑制关键技术，解决了复杂环境下影像质量提升关键问题，形成了从技术发明到产业应用的完整闭环，有力推动了我国遥感技术的进步与应用水平的跨越式发展，社会与经济效益显著，应用前景广阔，典型应用情况如下表所示。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间
1	国土自然资源卫星应用中心	整体技术发明	陆探一号遥感卫星	2022年1月-至今
2	上海卫星工程研究所	整体技术发明	中轨卫星	2019年1月-至今
3	北京遥感信息技术研究所	整体技术发明	遥感系列卫星	2022年12月-至今
4	中国电子科技集团公司第三十八研究所	整体技术发明	遥感系列卫星、商业SAR卫星	2020年1月-至今
5	自然资源陕西省卫星应用技术中心	整体应用	陕西省地质灾害隐患综合管理系统	2022年1月-至今

六、主要知识产权证明目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家 (地区)	授权号	授权日期	权利人	发明人
1	发明专利	一种基于相位重构的伪影抑制方法	中国	ZL 202510211850.4	2025 年 10 月 21 日	西北工业大学	陶明亮, 李劼爽, 栗嘉, 刘艳阳, 郭子薰, 谢坚, 王伶.
2	发明专利	一种基于距离-方位二维截取处理的干扰抑制方法	中国	ZL 202510306082.0	2025 年 10 月 21 日	西北工业大学	陶明亮, 赖思琦, 刘艳阳, 周亚石, 陈士超, 栗嘉, 郭子薰, 王伶.
3	发明专利	一种基于频域信号恢复的 SAR 影像干扰抑制方法	中国	ZL 202510034535.9	2025 年 09 月 19 日	西北工业大学	陶明亮, 李佳旺, 王伶, 刘艳阳, 栗嘉, 陈士超, 范一飞, 郭子薰, 谢坚.
4	发明专利	基于时频语义感知的干扰智能检测方法	中国	ZL 202110759956.X	2024 年 2 月 9 日	西北工业大学	陶明亮, 李劼爽, 王伶, 范一飞, 栗嘉, 李建瀛, 宫延云, 韩闯, 张兆林, 杨欣, 汪跃先, 谢坚, 李 滔.
5	发明专利	一种基于多时相耦合分析的干扰抑制方法	中国	ZL 202210830698.4	2023 年 05 月 02 日	西北工业大学	陶明亮, 赖思琦, 栗嘉, 范一飞, 王伶, 张兆林, 李滔, 宫延云, 韩闯, 杨 欣, 谢坚, 汪跃先.

6	发明专利	基于展开式深度网络的参数自学习干扰抑制方法	中国	ZL 202110679439.1	2022 年 10 月 14 日	西北工业大学	陶明亮, 李劼爽, 栗嘉, 王伶, 范一飞, 李建瀛, 宫延云, 韩闯, 张兆林, 杨欣, 汪跃先, 谢坚, 李滔.
7	发明专利	基于张量低秩逼近的合成孔径雷达干扰抑制方法	中国	ZL 202010260933.X	2023 年 2 月 10 日	西北工业大学	陶明亮, 李劼爽, 栗嘉, 范一飞, 王伶, 张兆林, 韩闯, 宫延云.
8	发明专利	方位多通道 SAR 系统时变宽带干扰检测方法及系统	中国	ZL 2024411115246.3	2025 年 11 月 18 日	上海卫星工程研究所	刘艳阳, 陈筠力, 崔雷, 路瑞峰, 魏春
9	发明专利	基于杂波相消的 HRWS SAR 通道相位偏差校正方法	中国	ZL 201510466324.9	2024 年 04 月 26 日	上海卫星工程研究所	刘艳阳, 张久玲, 陈重华, 陈国忠, 薛伶玲, 徐有栓, 李东霖.
10	发明专利	适用于方位多通道 SAR 系统的干扰信号检测及抑制方法	中国	ZL 202311396660.1	2025 年 6 月 24 日	上海卫星工程研究所	刘艳阳, 陈筠力, 倪涛, 汤楚衡, 李相东, 路瑞峰, 杨超

七、主要完成人情况（不超过 6 人）

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
陶明亮	1	副院长	教授	西北工业大学	西北工业大学	担任项目负责人，全面负责总体方案设计与关键技术攻关，对发明点一、二、三作出了重要贡献。
陈士超	2	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	负责关键技术攻关与系统研制，对发明点二、三做出重要贡献。
郭子薰	3	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	担任项目技术骨干，负责总体方案设计和关键技术攻关，对发明点二、三做出重要贡献。
王海涛	4	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	担任项目技术骨干，负责关键技术攻关，对发明点三做出重要贡献。
刘艳阳	5	主任	研究员	上海卫星工程研究所	上海卫星工程研究所	负责关键技术攻关，对发明点一、二、三做出了重要贡献。
陈筠力	6	总师	研究员	上海卫星工程研究所	上海卫星工程研究所	负责关键技术攻关，对发明点一、三做出了重要贡献。

八、主要完成单位情况（不超过 3 个）

完成单位	排名	对本项目主要贡献（限 600 字）
西北工业大学	1	作为项目负责单位，负责总体技术路线制定、研究内容实施、关键技术攻关与试验验证测试、成果推广应用等工作。对发明点一、二、三做出了重要贡献。创立了基于信号编码与多维域联合变换的星地协同距离模糊抑制技术。突破了传统单边处理的局限，通过新型编码与多维域处理，实现了对距离模糊的高效分离。提出了基于方位多通道高精度重构的方位模糊抑制方法。通过系统优化设计与精准信号处理，解决了高分宽幅成像的核心矛盾。开发了“静默脉冲”协同感知与模型数据混合驱动的射频干扰抑制技术。首创星上干扰感知与地面智能处理相结合的新模式，显著提升图像信干比。研制了自主可控的星地协同处理软件平台并首创性能评估体系。实现了技术成果的工程化集成与应用，为行业提供了完整的解决方案和评测标准。
上海卫星工程研究所	2	作为第二完成单位，负责关键技术攻关和成果推广应用，对发明点一、二、三做出了重要贡献。创立了基于信号编码与多维域联合变换的星地协同距离模糊抑制技术；提出了基于方位多通道高精度重构的方位模糊抑制方法；研发了星载多通道 SAR 误差条件下的方位模糊度计算方法及系统，以及基于杂波相消的雷达遥感载荷通道相位偏差校正方法。通过系统开展卫星平台研制与工程实施，我单位为项目技术在陆探一号、高景、天绘等系列卫星中的成功应用与推广提供了关键支撑，有效推动了技术成果的转化与落地。

九、完成人合作关系说明

西北工业大学联合上海卫星工程研究所、上海航天技术研究院共同开展微波成像卫星星地协同伪影抑制关键技术攻关及应用等系列工作。陶明亮、陈士超、郭子薰、王海涛、刘艳阳、陈筠力等六人共同参与了该项目的研究过程，主要合作内容包括关键技术攻关、成果推广应用与知识产权申报等。陶明亮负责总体方案设计、主持关键技术攻关，主导提出并构建了微波成像卫星星地协同伪影抑制关键技术及应用。陈士超、郭子薰、王海涛参与完成了抗干扰软硬件系统研制，参与系统测试与试验验证工作。刘艳阳、陈筠力负责关键技术攻关与卫星应用工作。