

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

复杂干扰下跨尺度目标辨识关键技术及在航空领域中的应用

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省知识产权局

提名意见：

复杂干扰下跨尺度目标辨识是航空装备完成侦察监视、巡逻搜寻任务和保障结构安全的共性关键难题。该项目针对目标本征特征被传播路径干扰、场景杂波与本体完好基底所掩盖，以及辨识对象与观测条件跨尺度剧烈变化导致的探测效率低、虚警漏检率高等瓶颈，依托国家级科研任务持续攻关，构建了覆盖外部地海目标与内部结构损伤的跨尺度目标辨识技术体系。该项目取得四项主要发明：一是跨域迁移的特征统一表征方法，实现了无标注条件下新场景、新模态的特征对齐与统一表达；二是先验引导的观测变尺度辨识技术，实现了远距点目标到近距面目标连续变化条件下的准确辨识；三是差异驱动的本体变尺度辨识技术，实现了结构内部损伤由萌生到扩展全过程的高灵敏检出与定量评估；四是知识先验驱动的跨尺度轻量化灵巧辨识平台，实现了辨识模型在机载及边缘端的轻量化稳定部署。

项目获授权国家发明专利 35 项，发表高水平学术论文 45 篇。成果已在中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所、洛阳电光设备研究所、西安飞行自动控制研究所等多家单位实现工程化应用，显著提升了复杂条件下目标发现识别能力与航空装备安全保障水平，取得了显著的军事、经济和社会效益。对照陕西省技术发明奖授奖条件，该项目创造性突出，整体技术先进，应用效果显著，对行业科技进步推动作用重大。

提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。

三、项目简介

随着航空强国战略的深入实施，以有人/无人航空器为代表的航空装备已成为侦察监视、巡逻搜寻等任务的核心力量，也是国家战略安全的重要支撑。航空装备效能的发挥，对外依赖于对地面、海面目标的准确发现与辨识，对内依赖于机体结构的完好可靠：远海巡逻、目标侦察等任务要求在复杂气象与强杂波背景下全天候锁定地海面目标，而长期服役中航空装备复合材料结构内部萌生的分层、脱粘等损伤若不能及早检出，将直接威胁飞行安全。二者本质上是同一个科学问题的两个侧面，即从复杂干扰的观测中获取对象的本征特征。

然而，真实观测中本征特征往往被复杂干扰所掩盖：对外，目标信号在传播路径上被云雾气象衰减散射，在场景中与地海杂波、伪目标混淆交织；对内，损伤信号被材料介质阻隔，淹没于本体完好基底的强背景之中。更为困难的是，辨识对象与观测条件均在跨尺度变化：平台高速运动使同一目标由数个像素的点目标连续变化为轮廓清晰的面目标，损伤自身则由微小萌生持续演化至扩展失效，特征形态随尺度剧烈改变，单一尺度、单一先验条件下的方法难以通用。传统手段探测效率低、

虚警漏检率高，对外易失处置良机、对内难除安全隐患。为解决上述难题，本项目在国家级科研任务支持下，历经多年攻关，发明了跨域迁移的特征统一表征、先验引导的观测变尺度辨识、差异驱动的本体变尺度辨识、知识先验驱动的跨尺度轻量化灵巧辨识平台等四项技术，构建了复杂干扰下跨尺度目标辨识技术体系。本项目的主要发明点概括如下：

（1）发明了跨域迁移的特征统一表征方法。针对训练域与应用域成像条件、传感模态差异导致的分布失配、标注稀缺，以及不同尺度对象语义粒度差异大、逐任务建模代价高的难题，提出了多模态领域自适应无监督匹配方法（ZL202210148720.7），建立无标注条件下新场景、新模态的特征对齐与快速迁移机制；提出了视觉基础模型驱动的高效特征提取与分割方法（ZL202510728912.9），以少量参数适配建立从局部纹理到语义属性的统一表征，为跨尺度目标辨识提供了统一的特征基础，显著提升了新场景条件下的特征表征稳定性与迁移效率。

（2）发明了先验引导的观测变尺度辨识技术。针对平台抵近过程中目标由远距点目标连续变化为近距离目标、特征形态随观测尺度剧烈改变的难题：在点目标阶段，依据目标与杂波生成机制不同的结构先验，提出了反事实因果学习的红外微弱目标检测方法（ZL202210605568.0），构建无目标条件下的背景反事实推断，将目标成分从耦合杂波中剥离，实现目标早期发现；在面目标阶段，提出了语义感知的多模态图像融合方法（ZL202410512661.6）与多源信息一致性综合判别方法（ZL202411840833.9），剔除失配观测、抑制虚警，实现观测尺度连续变化下地海面目标的准确辨识，显著提升了复杂气象与强杂波条件下的目标发现识别能力。

（3）发明了差异驱动的本体变尺度辨识技术。针对结构内部损伤类型位置无先验可用、特征随损伤自身尺度演化剧烈变化的难题：在萌生期，提出了太赫兹有效信号提取与时域分段成像方法（ZL201910955998.3），按层深分离各界面反射，凸显缺陷与完好基底的响应差异，实现多深度微小缺陷高灵敏度检出；在扩展期，提出了红外热成像分层缺陷智能识别与面积自动计算方法（ZL202111427533.4），发明了激光超声可视化检测设备（ZL201911137748.5），实现大尺寸构件全域扫查、损伤精确定位与损伤程度定量评估，显著提升了航空结构损伤检测的灵敏度与效率。

（4）研制了跨尺度轻量化灵巧辨识平台。针对机载及边缘端平台算力受限、目标实测样本稀缺、辨识模型跨平台适配困难的难题，提出了基于语言大模型知识先验的空间红外目标特性快速预测方法（ZL202510733934.4），生成覆盖不同目标尺度、观测条件和运行工况的多尺度训练数据，支撑轻量化辨识模型快速训练与迭代；提出了基于模糊推理树的深度强化学习策略迁移方法（ZL202411778280.9），实现辨识策略的跨场景快速迁移与免重训适配，支撑辨识算法在多平台、跨任务边缘端的轻量化稳定部署。

依托上述发明，项目形成了从表征方法、辨识技术到轻量化平台的复杂干扰下跨尺度目标辨识技术体系。项目获授权国家发明专利 35 项，发表高水平学术论文 45 篇。项目成果已在中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所、洛阳电光设备研究所、西安飞行自动控制研究所、辽宁省无人智能装备有限公司、上海航恺电子科

技有限公司等单位实现工程化应用，覆盖多型有人/无人航空器机载目标辨识系统、机载光电探测设备与航空结构损伤检测评估系统，有效支撑了航空器对地面、海面典型目标的发现、识别与定位任务，以及航空结构内部损伤的检出、定位与定量评估工作，显著提升了复杂条件下目标辨识能力与航空装备安全保障水平，取得了显著的军事、经济和社会效益。

四、客观评价

1. 专家鉴定及评价意见

项目成果获得了多位相关领域专家的高度评价。专家评价认为：项目面向航空装备目标辨识与结构安全的重大需求，构建了覆盖外部地海目标与内部结构损伤的跨尺度目标辨识技术体系，定位准确，需求牵引清晰，体系设计完整，研究工作扎实，技术路线合理，创新性强，具有突出的工程应用价值；项目成果整体技术达到国际先进水平，其中跨域迁移的特征统一表征方法、反事实因果学习的微弱目标检测方法、太赫兹时域分段成像检测方法等达到国际领先水平，对提升我国航空装备目标辨识与安全保障水平具有重要意义。

2. 第三方检测报告

西安新空间信息科技有限公司对项目系统开展了第三方测试，设计并全部执行了各项测试用例，各项考核指标全部达标，覆盖跨域条件下特征表征性能、微弱目标检测识别精度、目标定位精度、缺陷检出灵敏度与定量评估精度、模型轻量化程度与部署效率等方面，验证了项目各项技术发明的先进性与有效性。

3. 项目验收意见

（1）2020年12月，军委装备发展部装备项目管理中心组织验收委员会，对西北工业大学承担的“复杂环境下运动目标智能感知技术”项目进行了验收。验收委员会认为：项目完成了数据集构建、图像质量提升、基于多传感器融合的目标检测识别等研究内容，突破了基于试验校模优化的复杂环境目标数据生成、基于对比度优化与深度神经网络的图像质量提升、基于多尺度多通道融合的目标识别等关键技术；研制了地面型训练识别一体化系统样机与目标检测识别嵌入式系统原理样机，在逼真环境中完成了实时目标识别等功能的飞行试验测试，达到了合同规定的技术指标；成果已在快速转化渠道接续安排，意向应用于沈阳飞机设计研究所某型无人作战飞机等平台。验收委员会同意该项目通过验收。

（2）项目主管部门组织专家组对西北工业大学独立承担的“无人机对某地海目标识别”项目开展现场测试、功能验证及综合验收评审，确认：项目完成了复杂场景目标检测识别一体化系统设计等研究内容，具备对典型目标多粒度识别和关联定位能力，各项技术指标符合合同约定及项目需求，成果在某高空无人机等平台进行了试验验证，实现了项目研究目标；项目实现的相关功能满足实际业务应用需求，具备稳定可靠的应用能力。验收结论为通过。

（3）项目主管部门组织专家组对“某环境下信息交互设备技术”项目验收，确认：突破了低照度条件下微弱目标特征增强与检测识别等关键技术，各项技术指标符合合同约定及项目需求，验收结论为通过。

(4) 2019 年 1 月, 受项目主管部门委托, 空军工程大学组织召开“航空复合材料太赫兹波无损检测技术研究”项目结题验收评审会。评审组认为: 项目针对军机航空复合材料损伤缺陷检测能力不足的问题, 总结分析了军机复合材料使用情况与现有检测手段, 研究了航空复合材料损伤失效机理和太赫兹波段的光学特性, 搭建了原理性太赫兹检测试验系统, 完成了不同材料、不同结构航空复合材料的检测试验, 全面验证了基于太赫兹波的复合材料损伤缺陷检测能力, 达到了任务书要求。评审组同意该项目通过结题验收评审。

(5) 2015 年 12 月, 项目主管部门在北京组织召开“单兵机务维修支持系统”项目结题验收评审会。评审组听取了项目研制总结报告、试用报告、资料审查报告和性能测试报告, 经现场演示与质疑讨论认为: 项目针对现行机务维修过程中发动机、进气道检查过程缺乏实时记录和复查手段的问题, 开展了单兵机务维修支持系统研制, 实现了机务维修实景实时传输和监控、双工语音通信等功能, 提高了机务维修的准确性和工作效率, 达到了项目任务书要求; 提交的资料齐全、规范, 符合结题验收要求。评审组同意该项目通过结题鉴定验收, 并建议扩展系统在机务检查中的应用。

4. 成果引用及国际同行评价

(1) 加拿大工程院院士、美国工程院国际院士、欧洲科学与艺术学院院士、IEEE Life Fellow Rabab Kreidieh Ward 教授在其发表的学术论文中, 将项目组领域自适应目标感知方法作为相关代表性工作予以引用, 指出该类方法被应用于高、低分辨率航空影像, 以在无标注条件下获取更多的图像标注, 支撑跨域条件下的目标辨识。

(2) IEEE Fellow、加拿大工程院院士、IEEE TGRS 副主编 Jonathan Li 教授在其发表的学术论文中指出, 项目组工作提出了层对齐方法与特征协方差损失函数, 以缓解跨域偏移问题, 是跨域特征对齐方向的代表性进展。

(3) IEEE Fellow、欧洲科学院院士、ACM Fellow 李学龙教授团队在其发表的学术论文中, 指出项目组方法将针对自然图像设计的视觉基础模型分割架构迁移应用于遥感数据, 并将项目组方法作为代表性工作予以引用。

(4) IEEE Fellow、中国工程院院士童小华教授及其团队在其发表的学术论文中, 指出项目组提出的利用卷积神经网络对遥感图像进行增强补偿处理是一项具有代表性的工作, 将项目组提出的方法作为该方向的前沿进展纳入其理论体系, 为复杂干扰下微弱目标特征提取提供了支撑。

五、应用情况和效益

1. 应用情况

本项目技术已在中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所、中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所、中国航空工业集团公司西安飞行自动控制研究所、辽宁省无人智能装备有限公司、上海航恺电子科技有限公司等多个单位实现工程化应用, 覆盖多型有人/无人航空器机载目标辨识系统、机载光电探测设备、结构损伤检测与评估系统、机务维修保障系统等, 服务于目标侦察、巡逻搜寻、装备研制、

维修保障与结构安全保障等场景。应用单位证明表明，项目研制的跨尺度目标辨识技术成果有效支撑了航空器对地面、海面典型目标的发现、识别与定位能力，以及航空结构内部损伤的检出、定位与定量评估能力，取得了显著的应用效益。

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	单位联系人/电话
1	中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所	先验引导的观测变尺度辨识技术	多型有人/无人航空器机载目标辨识系统的研制与试验验证	2021 年至今	/
2	中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所	跨域迁移特征表征与微弱目标检测技术	机载光电探测设备目标检测识别功能研制	2022 年至今	/
3	中国航空工业集团公司西安飞行自动控制研究所	多源信息一致性判别与轻量化辨识技术	机载设备研制与地面试验验证	2021 年至今	/
4	辽宁省无人智能装备有限公司	跨尺度轻量化灵巧辨识平台技术	无人智能装备目标辨识载荷研制与应用	2021 年至今	/
5	上海航恺电子科技有限公司	差异驱动的结构损伤检测与定量评估技术	航空结构件损伤检测与评估服务	2020 年至今	/
6	...				

2. 应用效益

项目由西北工业大学、中国人民解放军空军工程大学、中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所共同完成，成果已在中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所、洛阳电光设备研究所、西安飞行自动控制研究所、辽宁省无人智能装备有限公司、上海航恺电子科技有限公司等单位获得应用，在推动科技进步、提高国防能力、保障社会安全和培养人才等方面发挥了积极作用。项目突破的跨域迁移特征统一表征、先验引导的观测变尺度辨识、差异驱动的本体变尺度辨识、跨尺度轻量化灵巧辨识平台等关键技术，有效支撑了多型航空装备目标辨识系统研制与结构安全检测评估工作，显著提升了复杂条件下的目标发现识别能力，及早消除了结构安全隐患，保障了装备完好率与飞行安全，同时培养了一批智能感知与无损检测方向的研究生和青年技术骨干。经各应用单位核算，近年来应用本项目技术取得的经济效益总体逾 1.1 亿元，取得了良好的经济和社会效益。

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	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种多模态遥感图像领域自适应无监督匹配方法	中国	CN114359603B	2024-03-15	ZL202210148720.7	西北工业大学	张兆祥; 徐之玥; 马菁春; 刘博兴; 吴秀群; 冯塬钧; 刘闯
2	发明专利	一种基于视觉基础模型的高	中国	CN120236210B	2025-08-01	ZL202510728912.9	西北工业大学	张兆祥; 许悦雷; 郭继唐; 刘

		效空间目标分割方法						阎;张程林;何云龙
3	发明专利	一种基于反事实因果学习的红外微弱目标检测方法	中国	CN114972869B	2024-02-20	ZL202210605568.0	西北工业大学	张兆祥;许悦雷;周清;马林华;加尔肯别克;回天;袁超峰
4	发明专利	一种基于语义感知学习的多模态图像融合方法	中国	CN118097362B	2024-07-05	ZL202410512661.6	西北工业大学	许悦雷;吕军锋;鄯镕凯;张兆祥;王璇;苏紫涛;曾博涵
5	发明专利	一种基于语言大模型的空间红外目标特性快速预测方法	中国	CN120258124B	2025-09-09	ZL202510733934.4	西北工业大学	张兆祥;许悦雷;郭继唐;刘闯;王付伟;刘志恒
6	发明专利	一种基于模糊推理树的深度强化学习策略迁移方法	中国	CN119250161B	2025-09-19	ZL202411778280.9	西北工业大学	许悦雷;张成;苏紫涛;陶承阳;冯伟嘉;许志强;郑爽;张兆祥;王璇;汪洪桥;鄯镕凯;曾博涵;王程航;唐浩宸
7	发明专利	一种飞机自动配平指令有效性综合判别方法及系统	中国	CN119882764B	2025-11-28	ZL202411840833.9	中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所	靳方留;李文哲;刘浩;吴淼;翟明圆
8	发明专利	基于太赫兹有效信号提取的时域分段成像方法	中国	CN110728646B	2022-10-11	ZL201910955998.3	中国人民解放军空军工程大学	王强;周洪斌;李欣屹;胡秋平;刘嘉;张晗;夏瑞聪;刘秋寒
9	发明专利	碳纤维复合材料红外热成像分层缺陷面积自动计算方法	中国	CN114092745B	2024-04-05	ZL202111427533.4	中国人民解放军空军工程大学	王强;夏瑞聪;史越;汪诚;刘秋寒;刘嘉;周洪斌;高建国;章磊;张鹏涛
10	发明专利	针对复合材料筒体结构的激光超声可视化检测设备及方法	中国	CN110824009B	2025-01-07	ZL201911137748.5	中国人民解放军空军工程大学	王强;夏瑞聪;胡雨浓;刘秋寒;周洪斌;胡秋平;刘嘉

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
----	----	------	------	------	------	--------

许悦雷	1	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	项目负责人，技术总体负责。提出复杂干扰下跨尺度目标辨识总体技术思路，确定外部目标辨识与内部损伤检测两条技术路线及各发明点任务分工，统筹关键技术攻关与工程应用验证。对发明点一、二、四做出创造性贡献，主持跨域迁移特征统一表征方法与轻量化辨识平台的建立与应用。
张兆祥	2	无	副教授	西北工业大学	西北工业大学	主要完成发明点一、发明点二相关技术。提出领域自适应无监督匹配的跨域特征对齐方法与语义感知的多源目标辨识方法，负责辨识算法的机载工程化实现、嵌入式部署与外场试验验证。
刘浩	3	书记兼副部长	正高级工程师	中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所	中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所	主要完成发明点二中多源信息一致性综合判别相关技术，提出飞机自动配平指令有效性综合判别方法。主持项目辨识技术在多型航空器平台上的机载适配、集成验证与工程应用，支撑装备研制任务。
王强	4	无	教授	中国人民解放军空军工程大学	中国人民解放军空军工程大学	发明点三负责人。完成基于激光红外、太赫兹波等技术的飞机复合材料结构内部损伤检测与识别方法研究，提出太赫兹有效信号提取与时域分段成像和红外热成像分层缺陷面积自动计算等方法，实现结构内部微小缺陷高灵敏检出、损伤精确定位与定量评估，推动检测技术在航空装备结构安全保障中的应用。
章磊	5	无	副教授	中国人民解放军空军工程大学	中国人民解放军空军工程大学	参与完成飞机进气道异常检查单兵系统研制和飞机复合材料结构内部分层损伤识别算法的设计与验证。参与提出红外热成像分层缺陷智能识别与面积自动计算方法，负责检测系统的试验验证与数据分析，支撑损伤定位与定量评估能力形成。
秦浩	6	无	无（博士研究生）	西北工业大学	西北工业大学	主要参与项目辨识方法的算法设计、实验验证与工程化实现工作，与团队共同拥有授权知识产权，支撑项目成果在装备与产品中的转化应用。

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
------	----	----------

西北工业大学	1	项目第一完成单位和技术总体单位。提出复杂干扰下跨尺度目标辨识总体技术思路与体系架构，主要完成跨域迁移的特征统一表征、先验引导的观测变尺度辨识和知识先验驱动的跨尺度轻量化灵巧辨识平台等发明内容。牵头组织各单位联合攻关，完成辨识算法研制、机载工程化实现与试验验证，推动项目成果在多家单位的工程化应用。
中国人民解放军空军工程大学	2	主要完成差异驱动的本体变尺度辨识技术相关发明内容。开展基于太赫兹波、红外热成像与激光超声等技术的航空复合材料结构内部损伤检测与识别方法研究，研制相关检测装置，实现结构内部损伤的高灵敏检出、精确定位与定量评估，支撑航空装备结构安全检测与评估应用。
中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所	3	主要参与先验引导的观测变尺度辨识技术相关发明内容，开展多源信息综合判别等方法研究。主持项目辨识技术在多型航空器平台上的机载适配、集成验证与典型应用，支撑装备研制任务。

九、完成人合作关系说明

本项目由第一完成人许悦雷牵头，各完成人围绕复杂干扰下跨尺度目标辨识关键技术开展了长期、稳定的合作，主要合作关系如下：

（1）许悦雷与王强：双方开展技术委托合作，空军工程大学委托西北工业大学许悦雷团队完成单兵机务维修支持系统智能化升级，围绕航空装备智能维修保障工作开展科技合作，形成了外部目标辨识与内部损伤检测相结合的联合研究基础。

（2）许悦雷与刘浩：双方开展技术委托合作，许悦雷团队研制的目标辨识技术在中国航空工业集团公司沈阳飞机设计研究所相关型号任务中完成应用验证，有应用证明。

（3）许悦雷与张兆祥：二人为西北工业大学同一课题组成员，长期共同开展跨域特征表征与目标辨识研究，共同发表学术论文、共同授权多篇发明专利。

（4）许悦雷与秦浩：秦浩为西北工业大学许悦雷团队博士研究生，二人共同拥有授权知识产权专利，共同开展相关技术攻关，推动项目技术的工程化转化与应用。

（5）章磊与王强：二人为中国人民解放军空军工程大学同一课题组成员，长期共同开展结构损伤检测与定量评估研究，共同授权发明专利、共同发表学术论文。