

# 2025 年度拟提名陕西省自然科学奖项目公示内容

## 一、项目名称

多维度高分辨联合计算成像理论及应用

## 二、提名者及提名意见

提名者：陕西省教育厅

提名意见：

面向“光电技术与集成电路”、“多维光电探测技术”、“高端光电装备”等国家重大装备战略需求，项目组围绕多维度成像感知探测行业卡脖子问题，开展多层张量网络感知机理、异构信息协同表征模型、弱观测目标增强框架等多维度高分辨联合计算成像理论及应用，重点解决了“多模态联合结构难感知”、“同源异构信息难重构”、“降质辨识特征难识别”的挑战难题，突破了弱观测条件下多模态偏振光谱信息联合感知和重构瓶颈，形成关键技术研发-设备研制-应用推广的多维度联合成像装备全链条制造产业格局。

理论研究的相关成果在国内外重要学术刊物和会议上发表学术论文 300 余篇（其中 SCI 收录论文 150 余篇，累计他引 6400 余次）、撰写专著 4 部，申请国家发明专利 80 余项，授权发明专利 30 余项。研究成果得到了众多国内外权威专家学者的关注、引用或正面评价。此外，本项目将理论研究成果成功地转化为实际应用，与北方广微科技有限公司联合研制出“国内首款非制冷红外焦平面微偏振阵列探测器”，突破了国外的技术封锁，助力国防安全、科学研究、新质生产力提升等。

项目技术集成度高，具有具有较强的创新性，且经济效益、社会效益明显，已获陕西高等学校科学技术研究优秀成果特等奖，推荐其提名省自然科学奖二等奖。

## 三、项目简介

现有的偏振光谱成像架构不仅难以快速获取同时具有高空间/光谱分辨率以及高偏振灵敏度的图像，而且面临着“多模态联合结构难感知”、“同源异构信息难重构”、“降质辨识特征难识别”的挑战，这极大限制了其在需要精准解译结果领域（如战场目标识别、自动驾驶、医学内窥成像检测、安全监测、低空经济等）的应用。因此，快速获取高空间分辨率、高光谱分辨率以及高偏振灵敏度的完备数据成为偏振光谱成像系统实现工程应用亟待破解的难题。

本项目提出的高分辨偏振光谱多维度联合计算成像系统突破了传统成像架构，提出并建立多维度联合计算成像理论，为快速高分辨偏振光谱图像获取和处理提供理论依据和方法保障。科学发现如下：

1. 揭示了多层张量网络感知机理。通过探索强耦合空间-光谱-偏振多模态视角下不同维度间的差异化和一致性信息，跨维度、跨尺度挖掘并整合目标信息的

高维、全局空间-光谱-偏振分布特征和局部拓扑结构特征，解决了空间-光谱-偏振信息的多模态联合感知难题。

2. 提出了异构信息协同表征模型。根据高维特征在低维映射过程中所蕴含可迁移结构的基本思想，探索了多源特征在稀疏低秩子空间的结构化表征，制定了空间-光谱-偏振物理信息联合域自适应规则，增强对高保真的空间-光谱-偏振融合信息的鲁棒推断，克服了偏振光谱图像同源异构信息重构难题。

3. 发现了弱观测目标增强框架。基于降质目标信息在低维空间的保辨识特征优势，引入了基于低维子空间正则化的弱观测信息约束策略，提升目标增强建模对偏振光谱先验的表达精度，使得多维度联合计算成像应用到复杂场景下，有效攻克在弱观测条件下偏振光谱降质辨识特征识别难题。

本项目在国内外重要学术刊物和会议上发表学术论文 300 余篇，其中 SCI 收录论文 150 余篇(IEEE Transactions 期刊论文 50 余篇)，累计他引 6400 余次。撰写专著 4 部，申请国家发明专利 80 余项，授权发明专利 30 余项。5 篇代表性论文 SCI 他引 880 次，单篇论文最高 SCI 他引 298 次，其中 3 篇论文入选 ESI 高被引论文。研究成果得到了包括中国科学院院士徐宗本教授，中国工程院院士邓龙江教授，IEEE Fellow、遥感领域顶级期刊 IEEE TGRS 前主编 Antonio Plaza 教授、西安电子科技大学校长高新波教授、IEEE Fellow、IEEE JSTARS 期刊主编李军教授、IEEE Fellow、IEEE JSTARS 前主编 Du Qian 教授、IEEE Fellow、国际电磁科学院 Fellow 陈旭东教授在内的众多国内外权威专家学者的关注、引用或正面评价。此外，本项目将理论研究成果成功转化为实际应用，授权代表性国家发明专利 2 项，专注于成像探测器的技术创新与制造，与北方广微科技有限公司联合研制出“国内首款非制冷红外焦平面微偏振阵列探测器”，突破了国外技术封锁，这款探测器首次亮相第 20 届中国国际光电博览会，受到了广泛关注。同时，相关成果为上海航天八院、中国工程物理研究院等多家科研机构提供了坚实的技术支撑，解决了复杂环境中目标检测与识别等难题，支持了“十三五”项目的相关研究。

## 四、客观评价

本项目成果在国际学术界获得了广泛关注和高度认可，被来自麻省理工学院、根特大学、东京大学等全球 20 余个国家和地区的著名大学及研究机构的研究人员大量引用。引文作者涵盖本领域的著名学者（其中包括 20 多位中国科学院院士、中国工程院院士、IEEE Fellow），引文中均对本项目研究工作给予了正面评价。代表性评价如下：

2024 年邓龙江教授(中国工程院院士)在 JOURNAL OF MATERIOMICS 上发表文章引用【代表性论文 5】，认为“Various techniques have been proposed to acquire polarization information, including division of time, division of aperture, division of amplitude and division of focal plane (DoFP) [13]. Among these approaches, the DoFP method offers advantages such as miniaturization and easy integration, making it widely employed in commercial polarization cameras.”（将【代表性论文 5】选为

获取偏振信息的代表性成像方式，并肯定了分焦平面型偏振成像方式小型化、高集成度的优势。)

2024 年徐宗本教授(中国科学院院士)在 REMOTE SENSING 上发表文章引用【代表性论文 4】，认为“Due to simplicity, tensor is a more natural and powerful tool for representing it [15], and thus, we directly work on such a tensor representation in this paper.”(张量是更自然和强大的表示工具，受到【代表性论文 4】中张量表示理论的启发，开展张量表示的相关研究)。

2023 年西安电子科技大学校长高新波教授(IEEE Fellow)在 IEEE TRANSACTIONS ON CYBERNETICS 上发表文章引用【代表性论文 3】，认为“Xue et al. [25] considered the spatial-spectral subcontrolled low-rank relationship (SSLRR) between high-resolution multispectral images (HR-MSI/LR-HSI) and potential HSI. They propose a novel SSLRR model to formulate the HSI super-resolution model as a variational optimization problem, leveraging the learned spatial - spectral low-rank structure, which results in significant improvements in visual and quantitative evaluation performance.”(薛等人考虑空间光谱控制低秩关系，提出了一种新的 SSLRR 模型，利用学习到的空间光谱低秩结构，将 HSI 超分辨率模型作为变分优化问题来表述，从而显著提高了视觉和定量评价表现。肯定了【代表性论文 3】为高光谱图像超分辨率技术的发展提供的创新性方法和模型。)

2024 年西班牙 Extremadura 大学 Antonio Plaza 教授(IEEE Fellow, IEEE Journal on Miniaturization for Air and Space Systems 主编, IEEE TGRS 前主编)和中国地质大学李军教授(IEEE Fellow, IEEE JSTARS 期刊主编)在 IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING 上发表文章引用【代表性论文 2】，认为“To tackle this issue, we suggest a straightforward method to estimate the CP rank of each NPT. We drew inspiration from the approach proposed in the study[47]and gradually increased R until we achieved the optimal value by optimizing the following process to obtain a perfect fit.”(【代表性论文 2】为张量分解和秩估计研究提供了重要的方法和思路。受到【代表性论文 2】的启发，提出了一个直接的方法来估计每个 NPT 的 CP 秩。通过优化下面的过程,逐步增加 R,直到达到最优值进而得到一个完美的拟合。)

2023 年美国 Mississippi State University 大学 Du Qian 教授(IEEE Fellow, IEEE JSTARS 前主编)在 IEEE TGRS(2023,vol61)上发表文章引用【代表性论文 2】，认为“Xue et al. [47] adopted the CP decomposition model, using the number of tensor components, the smoothness of the factor matrix, and low-rank matrix decomposition to construct three layers of sparsity for tensor completion.”(薛等人利用 CP 模型，使用张量分量数量来平滑因子矩阵和低秩矩阵去构造三层稀疏性用于张量补全)。

2025 年新加坡国立大学的陈旭东教授(IEEE Fellow, 国际电磁科学院 Fellow)在 APPLIED OPTICS 上发表文章引用【代表性论文 1】，认为“In general, effective

image priors are indispensable for CASSI reconstruction, such as total variation (TV) [16,17], sparsity [18,19], low-rank [20,21], and deep image prior (DIP) [22,23]”。（研究发现在 CASSI 重建过程中，各类图像先验发挥着关键作用，不同类型的先验如总变分、稀疏性等，为提升重建效果提供了重要的理论和方法支持，这一观察结果也与【代表性论文 1】近期研究中的发现相符，【代表性论文 1】验证了各类图像先验在提升重建效果中的关键作用，为 CASSI 重建领域提供了重要的理论支持。）

2025 年哈尔滨工业大学的谷延锋教授(国家杰青)在 JOURNAL OF MARINE SCIENCE AND ENGINEERING 发表文章引用【代表性论文 1】，认为“However, due to factors inherent to hyperspectral imaging systems and external imaging environmental conditions (such as sensor technology, atmospheric interference, sampling distance and angle, etc.), hyperspectral remote sensing images are subject to varying degrees of noise interference during acquisition [3]”。（研究发现高光谱遥感图像的质量易受多种内外部因素影响，噪声干扰是其在获取阶段面临的一个普遍问题，这一观察结果也与【代表性论文 1】近期研究中的发现相符，表明这些干扰因素的多样性也增加了后续对高光谱遥感图像进行处理和分析的难度。）

## 五、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	通讯 作者	第一 作者	国内 作者	他引 总次 数	检索 数据 库	知识产 权是否 归国内 所有
1	Hyperspectral Image Denoising via Sparse Representation and Low-Rank ConstraintLow-Rank Constraint	IEEE Transaction s on Geoscience and Remote Sensing	Yongqiang Zhao, Jinxiang Yang	2015 年 53 卷 29 6-308 页	2018 年 6 月 5 日	Yong qiang Zhao	Yon gqia ng Zhao	赵永 强, 杨劲 翔	322	Web of Scien ce	是
2	Nonlocal Low-Rank Regularized Tensor Decomposition for Hyperspectral Image Denoising	IEEE Transaction s on Geoscience and Remote Sensing	Jize Xue, Yongqiang Zhao, Wenzhi Liao, Zhangwei Chen	2019 年 57 卷 51 74- 5189 页	2019 年 6 月 1 日	Yong qiang Zhao	Jize Xue	薛吉 则, 赵永 强, 廖文 志, 陈章 伟	166	Web of Scien ce	是
3	Spatial-Spectral Structured Sparse Low-Rank Representation for Hyperspectral Image Super- Resolution	IEEE Transaction s on Image	Jize Xue, Yongqiang Zhao, Yuan yang	2021 年 30 卷 30	2021 年 3 月 1 日	Yong qiang Zhao	Jize Xue	薛吉 则, 赵永 强,	151	Web of Scien ce	是

		Processing	Bu, Wenzhi Liao, Zhangwei Chen, Philips, Wilfried	84- 3097 页				卜远 洋, 廖文 志, 陈章 伟			
4	Multilayer Sparsity-Based Tensor Decomposition for Low-Rank Tensor Completion/IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems	IEEE Transaction s on Neural Networks and Learning Systems	Jize Xue, Yongqiang Zhao, Shaoguang Huang, Wenzhi Liao, Zhangwei Chen, Seong G. Kong	2022 年 33 卷 69 16- 6930 页	2022 年 1 月 1 日	Yong qiang Zhao	Jize Xue	薛吉 则, 赵永 强, 黄绍 光, 廖文 志, 陈章 伟	141	Web of Scien ce	是
5	Demosaicking DoFP images using Newton's polynomial interpolation and polarization difference model	Optics Express	Ning Li, Yongqiang Zhao, Quan Pan, Seong G. Kong	2019 年 27 卷 13 76- 1391 页	2019 年 1 月 1 日	Yongq iang Zhao	Ning Li	李 宁, 赵永 强, 潘泉	100	Web of Scien ce	是
6	Multi-band Polarization Imaging and Applications	Springer- Verlag Berlin	Yongqiang Zhao , Chen Yi , Seong	2016 年 47-71 页	2016 年 3 月 18	Yong qiang Zhao	Yong qian g	赵永 强, 益	126	Web of Scien	是

		Heidelberg	G. Kong , Quan Pan , Yongmei Cheng		日		Zhao	琛, 潘 泉, 程咏 梅		ce	
合 计									1006	Web of Scien ce	是

## 六、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
赵永强	1	无	教授	西北工业大学	西北工业大学	突破了阵列参数设计与加工工艺相互独立的传统模式，将复合光栅阵列设计与加工工艺融合，提出了光栅和焦平面一体化设计、加工、封装技术，解决了现有设计理念使消光比、透过率急剧降低及串扰严重等问题，在此基础上，创新提出了无缝集成技术，并成功应用于分焦平面偏振探测器研制，对应于代表性论文专著中的 1，2，3，4，5 工作。
薛吉则	2	无	副教授	西安邮电大学	西安邮电大学	揭示了多层张量网络感知机理。通过探索强耦合空间-光谱-偏振多模态视角下不同维度的差异化和一致性信息，跨维度、跨尺度挖掘并整合目标信息的高维、全局空间-光谱-偏振分布特征和局部拓扑结构特征，解决了空间-光谱-偏振信息的多模态联合感知难题，对应于代表性论文专著中的 1，4，5 工作。
李宁	3	无	副研究员	郑州大学	郑州大学	提出了多光谱偏振图像多维度联合低秩约束的高保真复原技术和影像质量敏感特征学习的无参考评价技术，补



						偿优化了加工工艺对消光比、透过率的降低以及所产生的串扰问题，实现了高质量多光谱偏振图像获取，对应于代表性论文专著中的 2 工作。
--	--	--	--	--	--	------------------------------------------------------------------

## 七、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	西北工业大学作为本项目第一完成单位，揭示了多层张量网络感知机理，建立了新型强耦合空间-光谱-偏振特征解离框架，解决了强耦合空间-光谱-偏振信息的解构难题:破解了现有偏振光谱成像方式强串扰、低分辨、高信息丢失率等难题，建立了多维度空间-光谱-偏振信息协同表征模型，实现了对多维度、多源异质、强关联的空间-光谱-偏振特征进行稀疏低秩子空间结构化表征，使高阶偏振光谱信息感知的本征表达和内在结构推断能力获得质的提升;基于高分辨偏振光谱多维度联合计算成像理论，揭示了偏振光谱特征在不同维度对目标增强表征的机理，提出了多维度特征增强的抗干扰成像探测方法，有效攻克传统成像在复杂环境或特定应用场景(如:强散射、高反光)失效的难题。
西安邮电大学	2	西安邮电大学作为本项目参与单位，揭示了多层张量网络感知机理，建立了新型强耦合空间-光谱-偏振特征联合结构感知框架，能够跨维度、跨尺度挖掘并整合目标信息的全局空间-光谱-偏振分布特征和局部拓扑结构特征，在深入探索多模态视角下不同维度间的差异化和一致性信息的基础上，致力于认知和理解层次结构的信息特征，使不同的层级特征基元能共享全局特征模式，实现空间-光谱-偏振信息的多层次结构刻画，增强多源数据解耦合、多异构特征融合感知，解决了强耦合空间-光谱-偏振信息的联合感知难题，并应用于偏振光谱信息完备化中，该创新框架进一步拓宽了空间-光谱-偏振信息完备化的理论边界，并为空间-光谱-偏振信息完备化提供了全新的技术实现路径。
郑州大学	3	郑州大学作为本项目参与单位，基于高分辨偏振光谱多维度联合计算成像理论，揭示了偏振光谱特征在不同维度对目标增强表征的机理，提出了多维度特征增强的抗干扰成像探测方法，构建偏振信息和光谱特征之间的深层次关联，有效攻克传统成像在复杂环境或特定应用场景(如:强散射、高反光)失效的难题，提升目标增强建模对偏振光谱先验的表达精度，极大地拓展了偏振光谱多维度联合计算成像的应用范围。

## 八、完成人合作关系说明

作为本项目第一完成人，现就团队合作模式及分工协同情况作如下说明：

### 一、成员之间的合作基础

#### 1.我与第二完成人（薛吉则副教授）的合作

依托西北工业大学自动化学院信息融合教育部重点实验室，自 2014 年起，在国家自然科学基金、省部级研究计划等多个项目的资助下，双方围绕“偏振光谱成像理论”科学问题开展持续研究，通过探索强耦合空间-光谱-偏振多模态视角下不同维度的差异化和一致性信息，跨维度、跨尺度挖掘并整合目标信息的高维、全局空间-光谱-偏振分布特征和局部拓扑结构特征，解决了空间-光谱-偏振信息的多模态联合感知难题。共同提出基于“多层张量网络感知机理”的“偏振光谱图像联合重构”理论框架，合作发表《Nonlocal Low-Rank Regularized Tensor Decomposition for Hyperspectral Image Denoising》、《Spatial-Spectral Structured Sparse Low-Rank Representation for Hyperspectral Image Super-Resolution》、《Multilayer Sparsity-Based Tensor Decomposition for Low-Rank Tensor Completion》等高影响力论文。

#### 2.我与第三完成人（李宁副研究员）的合作

依托西北工业大学自动化学院信息融合教育部重点实验室，与第三完成人在 2016 至 2022 年间合作发表高水平论文十余篇，合著著作一部，合作申请授权国家发明专利 4 项，合作开展国家自然科学基金、装备部探索研究等多个项目。针对多维度成像感知探测中的关键科学问题，第一完成人与第三完成人共同提出了多光谱偏振图像多维度联合低秩约束的高保真复原技术和影像质量敏感特征学习的无参考评价技术，补偿优化了加工工艺对消光比、透过率的降低以及所产生的串扰问题，实现了高质量多光谱偏振图像获取。

### 二、团队协同创新模式

建立“理论建模-算法优化-实验验证”三级分工，各完成人既独立负责专项任务，又根据各阶段的需求动态调整研究任务。

### 三、合作成果的完整性

所有完成人均全程参与项目全周期，共同署名论文、专利与软件著作权均体现集体智慧。这种深度合作模式确保了研究成果的系统性与创新性。