**2024年度陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖励推荐项目公示内容**

**一、成果名称：涡旋光束轨道角动量特性及旋转多普勒效应精密测量研究**

**二、完成单位排序及贡献：西安工业大学**

1. **成果简介：**

**成果的主要技术内容：**

随着对涡旋光束轨道角动量特性研究的不断发展，人们发现涡旋光束具有旋转多普勒效应，依据入射到旋转目标表面涡旋光束产生的多普勒频移，即可直接计算出旋转目标转速，这一发现对于光学遥感旋转目标探测领域来说具有十分重要的意义。

项目组在陕西省自然科学基金等项目支持下，持续开展了任意阶新型涡旋光束空间传输特性及轨道角动量特性研究。从湍流对部分相干涡旋光束轨道角动量特性影响、部分相干涡旋光束旋转多普勒效应测量以及矢量涡旋光束轨道角动量特性三个层面深入开展研究工作，取得了三个科学发现，即揭示了湍流环境对部分相干涡旋光束轨道角动量特性的影响机理，阐明了部分相干涡旋光束经旋转目标旋转多普勒频移，提出了高效产生矢量涡旋光束的新方法并分析了确定性光学系统对光束的轨道角动量影响规律，为新型涡旋光场轨道角动量及其应用提供了理论支撑。主要科学发现点为：

1.揭示了湍流环境对部分相干涡旋光束轨道角动量特性的影响机理

针对部分相干涡旋光束对大气条件下湍流效应的敏感性，开展部分相干涡旋光束大气传输的轨道角动量谱密度及交叉谱密度研究，分析涡旋光束轨道角动量谱的弥散及波前畸变对部分相干涡旋光束远程传感产生的影响，进行不同相干度部分相干涡旋光束大气传输特性的探测仿真研究，并通过相位矩阵作用提高部分相干涡旋光束相位螺旋度。

2.阐明了部分相干涡旋光束经空间目标的旋转多普勒效应

研究部分相干涡旋光束通过旋转毛玻璃后的散斑特性，进一步反映叠加态涡旋光束经过调控后OAM态的组成分布，得到涡旋光场空间相干长度以及光束拓扑荷值与其散斑场之间的关系。分析旋转随机粗糙表面均方根粗糙度对光束传输的影响，计算部分相干涡旋光束经旋转随机粗糙表面后，与参考光进行干涉得到不同转速下归一化强度值随时间变化曲线，通过光强-时间函数间接求得频移量，进一步反演得到旋转目标的转速。

3.提出了高效产生矢量涡旋光束的新方法并分析了确定性光学系统对光束的轨道角动量影响规律

研究矢量涡旋光束经光阑-透镜系统以及湍流环境下的轨道角动量与偏振特性，探索矢量涡旋光束空间传输特性及旋转目标散斑轨道角动量效应，讨论矢量涡旋光束传输中轨道角动量谱和偏振散斑场的关系，深入探索旋转目标随机散射光场中存在的相位奇异和偏振奇异现象。

**成果的主要创新点：**

1、提出利用旋转毛玻璃实现随机相位屏，研究湍流大气对部分相干涡旋光束轨道角动量谱分布影响，揭示了涡旋光束相干性退化与轨道角动量谱扩散的内在关系。

2、阐明了确定性光学系统对部分相干涡旋光束轨道角动量的影响机理,深入分析了光束空间相干长度及拓扑荷值与其散斑场之间的关系，并通过散斑场反演矢量光束轨道角动量。

3、提出利用单个空间光调制器高效产生矢量涡旋光束的新方法，发现含光阑-透镜系统对任意阶矢量涡旋光束轨道角动量特性影响规律。

**成果的推广应用情况：**

1. **主要论文专著目录和主要知识产权证明目录：**

**论文目录：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **论文名称** | **刊名/出版社** | **发表时间** | **论文作者** |
| 1 | Statistical characteristics of speckle field and orbital angular momentum of partially coherent superposition vortex beams | Optical Engineering | 2020.7 | 吕宏，刘旭东，任程程，党磊，贺蕊 |
| 2 | Orbital angular momentum spectrum of partially coherent vortex beams in slant atmospheric turbulence | Infrared Physics & Technology | 2020.1 | 吕宏，任程程，刘旭东 |
| 3 | 叠加态涡旋光束经旋转随机粗糙表面的频移特性 | 电子学报 | 2021.10 | 吕宏，党磊，贺蕊 |
| 4 | Experimental generation and orbital angular momentum properties of focused field for vector vortex beams on Hybrid-order Poincaré sphere | Optics Communications | 2022.5 | 吕宏，贺蕊，闫丽凝，庞令阳，孔妍 |
| 5 | Method to design the common aperture multi-band optical system based on the PSO algorithm. | Optics Express | 2021.5 | 陈阳，高明，宋晓 |
| 6 | 涡旋光束通过非高斯随机粗糙面的场分布特性 | 光电工程 | 2020.3 | 吕宏，任程程，刘旭东，党磊 |
| 7 | 矢量涡旋光束经光阑-透镜系统的OAM与偏振特性 | 红外与激光工程 | 2022.12 | 闫丽凝，吕宏，贺蕊，庞令阳，孔妍 |
| 8 | 弱湍流大气中部分相干涡旋光束的轨道角动量特性 | 激光与红外 | 2019.11 | 任程程，杜玉军，吕宏，刘旭东，朱运周 |

**专著目录：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **出版时间** | **著作名称** | **作者** | **出版单位** |
|  |  |  |  |  |

**知识产权目录：**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **授权项目名称** | **知识产权类别** | **国（区）别** | **授权号** |
|  |  |  |  |  |

1. **客观评价：**

成果将部分相干涡旋波束及轨道角动量特性引入到远程传感与精密测量领域，完成了部分相干涡旋光束的轨道角动量特性及用于旋转多普勒效应测量的研究。首次探讨了斜程传输条件下部分相干涡旋光束的轨道角动量统计特性。研究了部分相干涡旋波束的旋转目标散射特性以及利用矢量涡旋波束轨道角动量测量旋转物体转速的测量方法，提出了部分相干叠加涡旋光束旋转目标散斑场及对光束轨道角动量特性影响的分析方法，并进一步对空间旋转目标对部分相干涡旋波束散射及OAM效应机理进行了探索。成果基于标量部分相干涡旋光场研究基础，通过多种光场调控的手段，获得了既有相位奇异性又有偏振奇异性的复杂矢量涡旋光场，并开展了携带轨道角动量的矢量涡旋光束高效产生、传输特性以及光束经空间旋转目标的轨道角动量特性研究。成果目前培养硕士研究生11名，其中毕业研究生6名，在读研究生5名。

**六、推广应用情况（技术发明、技术开发、技术推广和社会公益类项目必写）：**

**七、科学意义和科学价值（基础研究类必写）：**

光学涡旋轨道角动量在高灵敏度传感和高精确度测量方面的科学研究是未来光学领域的一个重要方向，开展部分相干涡旋光束轨道角动量特性与旋转多普勒效应测量研究，研究产生矢量涡旋光束的新方法，包括矢量涡旋光束空间传输特性以及旋转目标对矢量涡旋光束OAM特性影响机理，可进一步丰富人们对这种新型结构光束的认知，进而探索新颖的光物理效应。研究结果可以为涡旋光束旋转目标转速测量应用，以及未来目标转速光学遥感探测，提供一定的参考。同时，本成果也有望丰富具有特殊空间结构波束的产生、调控与应用方法，揭示涡旋光束轨道角动量效应的物理机制，为光学通信、远场超分辨成像、激光技术等应用领域提供新的理论支持和有效的技术手段。

**八、主要完成人员情况：**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **姓名** | **排 名** | **职务/职称** | **工作单位** | **完成单位** | **对项目的主要学术和技术创造性贡献** |
| 吕宏 | 1 | 副教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 空间旋转目标对标量及矢量涡旋光束散射及轨道角动量特性机理研究 |
| 高明 | 2 | 教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 涡旋光束产生及旋转目标探测光路系统设计 |
| 杜玉军 | 3 | 副教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 大气湍流对涡旋光束轨道角动量特性及偏振特性的影响 |
| 陈阳 | 4 | 副教授 | 西安工业大学 | 西安工业大学 | 旋转多普勒效应测量实验的光路调节系统及调制过滤系统设计 |

**九、完成人及完成单位合作关系说明：**

（简要叙述完成人（完成单位）在项目中的合作经历，包括合作时间、方式、产出及证明材料等。）

项目依托陕西省光电测试与仪器技术重点实验室，得到西安工业大学学科建设等项目经费支持。项目所确定的研究目标和研究内容以及所采取的研究方案是在对国内外目标散射、大气湍流波传播、统计光学、涡旋光束以及旋转多普勒效应等多个学科领域深入研究、论证和综合分析的基础上提出的，并广泛征求了相关领域专家学者意见基础上确定的。在项目论证过程中，项目组全面深入的分析了目标激光波束散射，大气湍流环境涡旋光束传播特性以及激光旋转多普勒效应等相关学科的国内外发展历史，技术现状，发展趋势，最终选定了既代表学科前沿，又属学科发展基础的一些科学问题，随着研究的深入，将会有更广泛的拓展空间。项目组成员近年来一直从事涡旋光束及轨道角动量特性的研究工作，积极跟踪新涌现的研究成果，自2006年开始关注涡旋光束及其应用以来，对这一国际物理学研究的热点进行了深入的了解，目前的研究成果已经发表在物理学报、光学学报、中国科学、红外与激光工程、INFRARED PHYSICS & TECHNOLOGY、Optical Engineering以及Optics Communications等颇具影响力的学术期刊上。

**十、知情同意证明：**

（申报奖励项目的支撑材料，其中论文、专著、专利等成果的第一作者（著者、发明人、设计人、专利权人）并非本奖励项目的主要完成人或完成单位，需征得第一完成人或完成单位同意，方可使用该成果。）