

陕西省技术发明奖公示信息

(2026年度)

一、项目基本情况

项目名称	开放场景规模化机器人智能协同作业关键技术及应用
主要完成人	兰旭光、秦伟伟、刘岗、陈星宇、刘泽阳、郭文昕
主要完成单位	西安交通大学、中国人民解放军火箭军工程大学、西安航天精密机电研究所

二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	中共陕西省军民融合发展委员会办公室	提名等级	☒ 一等奖 ☐ 二等奖及以上
提名意见：提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。			
说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名人应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。			

三、项目简介

1. 研究背景

智能机器人是事关我国国民经济提质增效、工业转型升级和工业智能化水平提升的核心关键装备和战略先导技术，被视为新质生产力的重要方向。近年来，规模化机器人系统迅猛发展，广泛应用于大批量、高精密、高价值部件生产、存储与转运，火工品生成等国防智能制造和仓储运管领域，极大提升了生产效率和仓储运转效能。然而，规模化机器人系统在开放场景的应用还存在诸多痛点难题有待突破，距离世界先进水平还有一定差距。开放场景涉及大量操作人员（人），自主作业机器（机）和大型武器装备（物），属于典型的“人-机-物”时空混杂开放环境。传统规模化机器人系统通常采用典型的“视觉引导定位+定制化机构执行”作业模式，主要依靠环境中“人-机-物”程序动作逻辑和低维几何平面信息机械化引导群组协同作业，无法满足开放场景需求，存在协作方式僵化、协作效率低、开放时空场景适用性差等问题，严重制约了机器人系统规模化应用，成为了业内公认的梗阻难题。特别是，规模化机器人协同作业所面临的时空复杂堆叠、时空动态混杂、协同逻辑交叉等问题，是国内外公认且急需解决的理论难题。因此，亟需突破开放场景规模化机器人系统所面临的基础理论和工程应用难题，实现在航空、航天、兵工等国防高端制造业的自主可控应用，从而促进我国向智能制造强国迈进。

为此，在国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目和陕西省重点研发计划重点产业创新链（群）项目的连续支持下，创新性开展了空间推理驱动规模化机器人智能协同作业关键技术研究，重点突破基于空间推理的动态非结构协作场景理解、空间推理模型驱动的人机增强高效决策范式、规模化机器人空间推理学习与协同作业等瓶颈难题，提升规模化机器人-人协同作业效率，推动复杂开放场景规模化机器人系统产业化应用。

2. 主要发明点

（1）发明了基于空间推理的动态非结构协作场景理解模型

针对人-机-物时空混杂开放环境下空间推理及人体行为意图理解难题，阐明了动态非结构协作场景机器人空间推理机制，开创性地提出了操作对象间关联关系、属性、功能推理等与操作之间的深度图网络模型，构建了世界首个机器人操作关系数据集VMRD；建立了人类行为-意图-任务的统一不确定性表征，创建了基于记忆和时-空关系的识别与意图预测的深度贝叶斯模型，保证了机器人在时空混杂开放环境中稳健推理，从而赋予机器人更强的鲁棒性和泛化性。

（2）发明了空间推理模型驱动的人机增强高效决策范式

针对时空混杂环境中高度不确定性状态给机器人自主决策带来的瓶颈难题，创新了空间推理模型驱动的人机增强高效决策范式。首先，设计了用于消除环境不确定性的人机自然语言交互机制，提升了开放场景操作对象信念状态表征的准确性；其次，提出了人类知识增强的目标导向操作优先规划方法，实现了高度不确定性环境下人机协同决策作业；进而，开发了人机增强智能机器人原型系统，实现了真实环境中机器人安全可靠可信自主作业。

（3）发明了规模化机器人空间推理学习与协同作业架构

针对规模化机器人协同作业存在的全局场景理解能力弱、训练效率低、规模化应用难等问题，开发了人机增强大规模分布式强化学习训练平台，构建了与平台深度耦合的决策算法体系，实现算法与环境的动态绑定，提出了融合空间推理的规模化机器人全局场景理解方法和系统训练方法。通过融入机器人在开放场景中推理所得的认知，实现高效人机协同决策，从而支持面向开放场景下的训练学习，并实现了在军事重大需求领域的技术验证和推广应用。

3. 知识产权情况

项目构建了世界首个机器人操作关系数据集 VMRD，同时成果获授权国家发明专利 17 项、实用新型专利 1 项、软件著作权 4 项，发表高水平学术论文 45 篇（其中 ESI 1 篇，TOP 期刊或者顶会 29 篇，Google Scholar 总引用量 2278 次，单篇最高引用 781 次），受到了来自于多名中国工程院院士、德国工程院院士、加拿大工程院院士等知名学者的高度评价和正面引用。此外，多次受邀参加包含 IROS、RCAR、ICIRA 在内的国际机器人领域顶级会议并作报告 9 次。

4. 应用情况及效益

本成果开发了开放场景规模化机器人智能协同作业系统，交付某型贮存输送对接分系统 2 套及智能化生产线 8 套，直接经济效益 5 亿余元。相关成果先后在 14 家单位的装备生产、智能仓储、智慧交通等生产线或系统中得到应用，累计 20 台/套。

四、客观评价

1、同行评价

中国工程院院士、湖南大学王耀南教授等业内专家认为：该项目技术难度大，创新性强，具有完全自主知识产权，构建了世界首个机器人操作关系数据集 VMRD，整体技术达到国际先进水平，其中基于空间推理的动态非结构协作场景理解、空间推理模型驱动的人机增强高效决策和规模化机器人空间推理学习与协同作业达到国际领先水平。

2、项目验收评价

■ 2022 年 8 月，国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目“人-机器人互适应自主协作理论与方法研究”（91748208）通过结题验收，**成绩为优秀**。

■ 2024 年 1 月，陕西省重点研发计划重点产业创新链（群）-工业领域“工业机器人柔顺操作关键技术研究”（2018ZDCXL-GY-06-07）通过结题验收。

■ 2025 年 2 月，陕西省重点研发计划重点产业创新链（群）-工业领域“工业机器人集成应用关键技术研究与应用示范”（2018ZDCXL-GY-06-06）通过结题验收。

3、查新报告

2026 年 8 月 17 日，教育部科技查新工作站（L29）对项目创新点进行了查新，查新报告认为：除该委托项目组发表的文献外，国内外均未见与该查新项目查新点相同的文献报道。基于此，本项目技术处于国际先进水平。

4、第三方测试

2025 年 6 月 4 日，国家光电子信息产品质量检验检测中心湖北省计量测试技术研究院（CNAS 认证）对《开放场景规模化机器人智能协同作业系统》进行了测试，得出结论：测试结果均满足指标要求。

5、同行引用评价

发表高水平学术论文 45 篇（其中 ESI 1 篇，TOP 期刊或者顶会 29 篇），Google Scholar 总引用量 2278 次，单篇最高引用 781 次。受到中国工程院院士、德国工程院院士、加拿大工程院院士等专家学者的引用和高度评价。

综上评价情况可知：该项目技术难度大，有重大自主创新，拥有多项自主知识产权，总体技术达到国际先进水平，部分技术达到国际领先水平。

五、应用情况和效益

1. 应用情况

本成果开发了开放场景规模化机器人智能协同作业系统，交付某型贮存输送对接分系统 2 套及智能化生产线 8 套。相关成果先后在 14 家单位的装备生产、智能仓储、智慧交通等生产线或系统中得到应用，累计 20 台/套。主要包括：中国运载火箭技术研究院（中国航天科技集团一院及其所属战术武器事业部、系统工程部等），北京机械设备研究所、北京无线电计量测试研究所、北京新立机械有限责任公司（中国航天科工集团二院 203 所、206 所、699 厂），陕西电器研究所（中国航天科技集团第四十四研究所），西安北方惠安化学工业有限公司（中国兵器工业集团国营第 845 厂），中国飞行试验研究院天润工业技术股份有限公司（中国规模最大、世界第二大曲轴生产企业），北京理工艾尔安全科技有限公司，大唐移动通信设备有限公司，灵动科技（安徽）有限公司，中国人民解放军 96841 部队等。同时，以相关方法和系统为支撑，获批国家自然科学基金杰出青年项目、科技创新 2030-“新一代人工智能”重大项目等重大项目、陕西省杰出青年科学基金项目，累计科研经费超 1.2 亿元。

2. 经济效益和社会效益

项目创新成果作为一项集前沿科技与深度智慧于一体的里程碑式突破，其可应用于人工智能决策辅助、智能仓储、工业机器人、智能工厂、各种开放场所智能装备等领域。其社会意义不止于技术层面的进步，更在于推动社会全面数字化转型、促进经济高质量发展、提升国家综合实力，未来这些成果也将继续发挥其巨大的潜力与价值。

①科研团队建设。以项目创新成果为支撑，课题组围绕人工智能前沿基础理论及其在国家航天重大工程、智能制造、视觉大数据智能化处理等领域的应用，构建了面向人工智能研究和发展的完整创新链，在基础算法模型、新型计算架构及专业芯片和示范应用等方面，取得了一系列具有国内外重要影响力的科研成果。培养了一大批在学术界、产业界和科技界发挥骨干作用的领军人才，2019年入选陕西省“三秦学者”创新团队支持计划（战略性顶尖团队），2019年获中国自动化学会首届自动化与人工智能创新团队奖。团队已建成国内领先、国际一流的国家、省部级高水平科研平台以及校企联合实验室，包括人机混合增强智能全国重点实验室、视觉信息与应用国家工程研究中心、国家人工智能产教融合创新平台、以及教育部与国家外国专家局高等学校学科创新引智基地、教育部混合增强智能技术创新示范中心、陕西省混合增强智能共性技术研发平台、陕西省数字技术与系统重点实验室等。

②重大科研项目。近年来，先后承担了一大批面向国家重大战略需求和产业核心关键技术的国家重大科研项目，包括载人航天三期重大专项、探月三期重大专项等多项国家重大航天科研任务，“核高基”重大科技专项，军委科技委创新特区，国家973计划，国家重点研发计划，国家自然科学基金重大科研仪器研制、人工智能应急管理重点项目、陕西省重点实验室项目等，已成为国家人工智能领域的重要战略科技力量，有力支撑国家战略目标实现，推动产业升级，并产生深远战略影响。此外，以相关成果为支撑，获批国家自然科学基金杰出青年项目、陕西省杰出青年科学基金项目、科技创新2030-“新一代人工智能”重大项目、十四五军民融合重大专项等研究课题，累计科研经费超1.2亿元。

③人才培养。本项目构建了以西安交通大学、火箭军工程大学、西安航天精密机电研究所为主体的“产学研”攻关团队，拥有一支能力突出、结构合理的高水平教学科研团队，其中教授和副教授等专任教师36人、科研专职人员60余人、高工等实验技术人员6人及兼职教授10余人，包括中国工程院院士1人、国家杰青1人、陕西省杰青1人、IEEE Fellow 4人，专任教师中国国家级领军人才、国家青年人才占比达三分之一以上。近年来，课题组立足国家发展全局，聚焦人工智能重大科学前沿问题、国家重大需求和应用基础理论瓶颈，加强“人工智能+”多学科的深度交叉融合，推进教育、科技、人才“三位一体”协同融合发展，为我国人工智能科技水平跻身世界前列，为加快建设创新型国家和世界科技强国做出更大的贡献。

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	一种基于视觉推理的机器人作业方法	中国	ZL201810924992.5	2020 年 11 月 10 日	第 4082966 号	西安交通大学	兰旭光 张翰博 周欣文 张 扬 田智强 郑南宁
2	发明专利	一种基于三维视觉的智能机器人抓取方法	中国	ZL202010652696.1	2021 年 07 月 13 日	第 4544474 号	西安交通大学	兰旭光 赵冰蕾 张翰博 郑南宁
3	发明专利	基于动态层级通信网络的多智能体强化学习方法及系统	中国	ZL202111216476.5	2024 年 03 月 15 日	第 6790961 号	西安交通大学, 中国航天科工集团第二研究院	兰旭光 刘泽阳 万里鹏 睢 雪 丁季时 雨 董 博 杨哲睿
4	发明专利	跟随式遥控操作战车及控制方法	中国	ZL202110596157.5	2023 年 09 月 26 日	第 6355009 号	中国人民解放军火箭军工程大学	秦伟伟 郑德仲 代琦昱 雷城伟 田忠杰 刘 帅 郭文昕 宋泰年
5	发明专利	基于图神经网络的机器人自主工具构建方法、系统及相关设备	中国	ZL202010652687.2	2021 年 07 月 13 日	第 4548195 号	西安交通大学	兰旭光 杨辰杰 张翰博 郑南宁
6	发明专利	一种基于多模态融合的三维目标检测方法及系统	中国	ZL202111648759.7	2024 年 10 月 18 日	第 7449905 号	西安交通大学	兰旭光 谈 逊 陈星宇
7	发明专利	可穿戴人体上肢位姿采集设备及采集方法	中国	ZL202010978825.6	2024 年 02 月 13 日	第 6709520 号	中国人民解放军火箭军工程大学	秦伟伟 郭文昕 宋泰年 张嘉良 秦庆强 何佳杰

								刘刚 胡琛 何兵 赵欣 赵鹏涛
8	发明专利	跟随式排爆机器人装置及控制方法	中国	ZL202110416024.5	2022年 09月 02日	第 5424224 号	中国人民解放军火箭军工程大学、北京启航凯博科技有限公司	秦伟伟 郭文昕 崔陆 宋泰年 秦庆强 刘刚 何兵 胡琛 赵欣 赵鹏涛
9	发明专利	一种利用视觉系统识别存在冗余标签的多标签检测方法	中国	ZL201710160476.5	2020年 01月 31日	第 3678281 号	西安航天精密机电研究所	罗华 刘岗 杨娜 张栋栋
10	发明专利	适用于旋翼无人机的被动式快速抓取机械手	中国	ZL202011262363.4	2022年 07月 12日	第 5305468 号	西安交通大学	兰旭光 唐湘毅 刘瑾瑜 雷博书

七、主要完成人情况表

姓 名	兰旭光	排 名	1
行政职务	人工智能学院党委书记		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 项目负责人，对项目整体技术有重要贡献。			

姓 名	秦伟伟	排 名	
行政职务	室副主任		
技术职称	教授		
工作单位	中国人民解放军火箭军工程大学		
完成单位	中国人民解放军火箭军工程大学		
对本项目主要学术贡献： 空间推理模型驱动的人机增强高效决策范式技术负责人，对“主要技术发明”中技术发明点 2 做出了主要贡献。			

姓 名	刘岗	排 名	3
行政职务	总工程师		
技术职称	研究员		
工作单位	西安航天精密机电研究所		
完成单位	西安航天精密机电研究所		

对本项目主要学术贡献：

规模化机器人空间推理学习与协同作业架构技术负责人，对“主要技术发明”中技术发明点 3 做出了主要贡献。

姓 名	陈星宇	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 基于空间推理的动态非结构协作场景理解技术负责人，对“主要技术发明”中技术发明点 1 做出了主要贡献。			

姓 名	刘泽阳	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	讲师		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 基于空间推理的动态非结构协作场景理解技术主要完成人，对“主要技术发明”中技术发明点 1 做出了主要贡献。			

姓 名	郭文昕	排 名	6
行政职务	无		
技术职称	讲师		
工作单位	中国人民解放军火箭军工程大学		
完成单位	中国人民解放军火箭军工程大学		
对本项目主要学术贡献： 空间推理模型驱动的人机增强高效决策范式技术主要完成人，对“主要技术发明”中技术发明点 2 做出了主要贡献。			

八、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
对本项目主要学术贡献： 项目完成单位西安交通大学作为牵头单位，重点开展总体方案论证、理论攻关和关键技术突破。针对开放场景规模化人-机-物协作领域公认的国际难题，开展规模化机器人智能协同作业关键技术研究，解决了基于空间推理的动态非结构协作场景理解、空间推理模型驱动的人机增强高效决策范式、规模化机器人空间推理学习与协同作业等瓶颈难题，突破了空间推理与理解、最优自主规划和人机高效协作等关键技术。特别是：（1）针对人-机-物时空混杂开放环境下空间推理及人体行为意图理解难题，阐明了动态非结构协作场景机器人空间推理机制，开创性地提出了操作对象间关联关系、属性、功能推理等与操作之间的深度图网络模型，构建了世界首个机器人操作关系数据集VMRD；（2）针对时空混杂环境中高度不确定性状态给机器人自主决策带来的瓶颈难题，创新了空间推理模型驱动的人机增强高效决策范式。有效提升了复杂协作场景中人体意图预测的鲁棒性和泛化性，提高了人机协作的安全和作业效率。联合火箭军工程大学和西安航天精密机电研究所进行原理样机研制，为企业及部队应用提供理论与技术支持。	

单位名称	中国人民解放军火箭军工程大学
对本项目主要学术贡献： 项目完成单位火箭军工程大学主要完成原理样机研制及部队推广有关工作，针对空间推理驱动的人机增强决策范式缺失问题，设计了基于自然语言交互的人机增强空间推理决策范式。通过构建部分可观测马尔可夫决策过程，实现机器人自主提问，交互式引入外部知识，消除场景中不完备观测产生的不确定性，实现非结构协作场景的空间推理增强，使机器人能合理自主作业，解决了开放场景下不确定性建模和决策难题。自主设计并研发了多代部分可观测条件下的人机增强智能机器人原型系统，分别在多种人-机-物时空混杂开放环境中开展了算法验证试验，通过系统在实际应用场景中面对突发状况时的表现，迭代更新算法策略，确保系统在人机协同环境中的应用效能。此外，为检验系统工作效能，结合定向培养军士、入伍新兵和火箭军某部队手榴弹实投训练，在10次实弹投掷任务中，累计排除20枚未爆弹，同时处置人员训练时间由原来的10小时缩减到1小时以内，效率提升达90%，极大降低了训练难度，提升了部队的实战化水平。	

单位名称	西安航天精密机电研究所
对本项目主要学术贡献： 项目完成单位西安航天精密机电研究所重点提供产品研发应用及推广支持，联合西安交通大学和火箭军工程大学，先后在中国运载火箭技术研究院（中国航天科技集团一院及其所属战术武器总体技术部、系统工程业务部等），北京机械设备研究所、北京无线电计量测试研究所、北京新立机械有限责任公司（中国航天科工集团二院 203 所、206 所、699 厂），中国飞行试验研究院，天润工业技术股份有限公司，北京理工艾尔安全科技有限公司，大唐移动通信设备有限公司，灵动科技（安徽）有限公司，中国人民解放军 96841 部队等单位推广应用项目研发成果，在节省了大量人力成本的同时，还显著提升了规模化机器人协同作业的可靠性和效率，节省了大量的时间成本，给制造业带来巨大的经济效益。自项目研究至今，已累计实现直接经济效益 5 亿余元，项目研究具有广阔的市场前景、经济价值和国防效益。	

完成人合作关系说明

本成果 6 位完成人之间存在非常密切的合作关系，通过科研项目合作、联合授权专利、联合发表论文、联合申报科技进步奖励等方式开展了深入、密切的实质性工作。

一、共同立项

①兰旭光（1）与秦伟伟（2）、郭文昕（6）合作完成 1x3 技术领域基金-基于有监督深度强化学习的 xxxxx 控制理论与方法（2021-JCxx-xx-xx87）；

②兰旭光（1）与秦伟伟（2）、郭文昕（6）联合申请并获得立项陕西省杰出青年科学基金项目“太不确定性影响下变构型高超声速飞行器全域一体化智能增强控制方法研究”（2025JC-JCQN-077）；

③兰旭光（1）与陈星宇（4）合作完成国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目“人-机器人互适应自主协作理论与方法研究”（91748208）；

④兰旭光（1）与陈星宇（4）合作完成陕西省重点研发计划重点产业创新链（群）项目“工业机器人柔顺操作关键技术研究”（2018ZDCXL-GY-06-07）。

二、共同知识产权

①兰旭光（1）与刘泽阳（5）合作完成知识产权证明 03；

②兰旭光（1）与陈星宇（4）合作完成知识产权证明 06；

③秦伟伟（2）与刘岗（3）、郭文昕（6）合作完成附加知识产权证明-9，

④秦伟伟（2）与郭文昕（6）合作完成知识产权证明 04、知识产权证明 07、知识产权证明 08。

三、共同获奖

兰旭光（1）与秦伟伟（2）、陈星宇（4）、刘泽阳（5）、郭文昕（6）合作申报并荣获 2024 年中国自动化学会科技进步一等奖。

四、论文合著

①兰旭光（1）与秦伟伟（2）、郭文昕（6）合作完成学术贡献证明-序号 37；

②兰旭光（1）与陈星宇（4）合作完成学术贡献证明-序号 3 等；

③兰旭光（1）与陈星宇（4）、刘泽阳（5）合作完成学术贡献证明-序号 4 等；

④秦伟伟（2）与刘岗（3）、郭文昕（6）合作完成学术贡献证明-序号 36。

本项目 6 位完成人之间存在非常密切的项目合作或师生关系（兰旭光（1）为陈星宇（4）与刘泽阳（5）的研究生导师；秦伟伟（2）为郭文昕（6）的研究生导师）。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/ 项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同立项	兰旭光(1)与秦伟伟(2)、郭文昕(6)	2018.01.01	2024.12.30	1x3 技术领域基金-基于有监督深度强化学习的xxxxx控制理论与方法	未列入附件
2	共同立项	兰旭光(1)与秦伟伟(2)、郭文昕(6)	2024.08.10	至今	陕西省杰出青年科学基金项目-大不确定性影响下变构型高超声速飞行器全域一体化智能增强控制方法研究	未列入附件
3	共同立项	兰旭光(1)与陈星宇(4)	2018.01.01	2021.12.31	国家自然科学基金“共融机器人基础理论与关键技术研究”重大研究计划重点支持项目-人-机器人互适应自主协作理论与方法研究	验收报告 01
4	共同立项	兰旭光(1)与陈星宇(4)	2018.07.15	2021.07.31	陕西省重点研发计划重点产业创新链(群)项目-工业机器人柔顺操作关键技术研究	验收报告 02
5	共同获奖	兰旭光(1)与秦伟伟(2)、陈星宇(4)、刘泽阳(5)、郭文昕(6)	2018.01.01	2024.12.30	2024 年中国自动化学会科技进步一等奖	未列入附件

6	共 同 知 识 产 权	兰 旭 光 (1)与陈 星宇 (4)	2018.01.01	2024.10.18	一种基于多 模态融合的 三维目标检 测方法及系 统	知识产权 证明 06
7	共 同 知 识 产 权	秦 伟 伟 (2)与郭 文昕 (6)	2018.01.01	2024.02.13	可穿戴人体 上肢位姿采 集设备及采 集方法	知识产权 证明 07
8	共 同 知 识 产 权	秦 伟 伟 (2)与刘 岗 (3)、 郭 文 昕 (6)	2018.01.01	2023.04.25	智能感知样 本目标识别 检 测 系 统 V1.0	未列入附件
9	论 文 合 著	兰 旭 光 (1)与陈 星宇 (4)	2018.01.01	2024.07.14	学术论文—A causality guided loss for imbalanced learning in scene graph generation	未列入附件
10	论 文 合 著	秦 伟 伟 (2)与刘 岗 (3)、 郭 文 昕 (6)	2018.01.01	2021.01.01	学术论文—A two-step kinematic calibration method based on biological characteristics for exoskeleton	未列入附件
11	论 文 合 著	兰 旭 光 (1)与秦 伟伟 (2)、 郭 文 昕 (6)	2018.01.01	2024.05.30	学 术 论 文 — Robust control for affine nonlinear systems under the reinforcement learning framework	未列入附件

