

2026 年度拟提名陕西省科技进步奖项目公示内容

一、项目名称

大飞机数字化装配场景下的智能物料配送关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：周光辉 教授 西安交通大学机械工程学院 机械工程专业

提名意见：该成果针对大飞机装配现场物料易碎、易散、易混等典型物料取放、调度、无人配送、信息交互等难题，开展了现代制造信息技术、机器人技术、人机共融操作技术的研究，构建了非结构环境下移动机器人定位导航及物料智能分拣的方法体系，建立了基于多源融合的导航定位模型及力位混合控制的柔性抓取理论框架，实现了异构物料分拣效率、机器人定位精度等关键指标的精准把控；发明了任务驱动的“传感 - 拾取”一体化自适应末端执行器及带力矩前馈的工具空间力 / 位置混合控制算法，突破了柔性抓取碰撞控制及异构物料有效分拣的技术难题，实现了同一套末端覆盖 30 类复杂异构物料的识别分拣；构建了非结构环境下多源融合导航框架与动态障碍物实时识别路径重规划算法，实现了移动机器人在复杂环境下 $\pm 2\text{mm}$ 的实时定位精度与自主避障连续导航；研发了大飞机装配复杂物料转运机器人集群调度系统、可重构管控软件及多类型智能搬运装备。相关技术成果已成功应用于西安飞机工业集团有限公司、陕西飞机工业（集团）等我国龙头制造企业，为我国航空航天制造业的高效发展提供了有力支撑，此外，项目研究的相关共性技术应用于其他行业，创造了显著的经济效益。提名陕西省科学技术进步二等奖。

提名者：孙亚波 研究员 中国重型机械研究院股份公司 机械制造专业

提名意见：大飞机制造对我国意义非凡，堪称国之重器。它不仅是衡量国家科技水平、工业水平和综合实力的重要标志，更是我国实现制造业高端化、智能化、绿色化发展，加快产业结构优化升级，建设现代化产业体系的关键支撑。该项目围绕大飞机数字化装配场景下的智能物料配送关键技术展开研究，发明了任务驱动的飞机装配物料智能识别与机器人协同分拣技术、突破了非结构环境下的移动机器人高精度定位与自主导航技术，并且构建了机器人集群全域动态物流与生产一体化管控体系，攻克了单一末端执行期识别并分拣至少 30 类飞机异构物料的难题，实现了物料输运机器人呢集群部署，解决了非结构环境下的高精度定位与主动安全等问题，整体成果达到国际先进水平，最终在中航西飞、陕飞等多家飞机制造单位成功应用，取得了良好的经济和社会效益，推广应用前景广阔。提名陕西省科学技术进步二等奖。

三、项目简介

大飞机制造对我国意义非凡，堪称国之重器。它不仅是衡量国家科技水平、工业水平和综合实力的重要标志，更是我国实现制造业高端化、智能化、绿色化发展，加快产业结构优化升级，建设现代化产业体系的关键支撑。以运 20 等为代表的大飞机，正在我国军事工业和世界经济格局竞争中扮演越来越重要的作用，通常其零部件数量多达 上百万个，针对大飞机装配现场物料易散、易混、相似件多等典型物料取放、调度、无人配送、信息交互等难题，通过现代制造信息化技术、机器人技术、人机共融操作技术的研究，构建大飞机数字化装配场景下的智能仓储与无人配送技术系统，实现飞机装配物料的准确、安全、自主、可靠配送，减少企业库存量与仓储占地面积，缩短装配站点，降低装配过程物料配送错误率，降低生产成本，提高生产效率。为此，在国家重点研发计划、陕西省重点研发计划等项目的支持下，历经数年攻关，按照“基础理论-关键技术-装备研制与应用”的总体研究思路，实现了在大飞机装配现场的应用，为飞机高效脉动智能化装配技术提供技术保障，并将相关共性技术进行了拓展应用。该项目的主要发明和创新成果如下：

一：任务驱动的飞机装配物料智能识别与机器人协同分拣技术。针对飞机装配过程中巨量物料类型多、数量多、异形构件多、相近物料自动识别难、难以抓取等问题，采用基于智能算法的软硬件结合方式实现复杂构件智能识别，开发多参量集成柔性智能传感系统及机械夹持、真空吸附等多类型拾取搬运系统，研发了基于多敏感机理融合的“传感-拾取”一体化自适应末端执行器，应用单一末端实现了超 30 类异构物料的有效分拣，结合移动机器人、工业机器人实现多类零件的智能化转移。开展了力位混合控制技术研究，建立机械臂正逆运动学及动力学方程，编制动力学求解程序，实现任务空间、关节空间与工具空间的位置与力转换，在经典方案基础上提出带力矩前馈的工具空间力/位置混合控制算法。这一技术突破了经典控制器仅能沿固定坐标轴控制力的局限，实现空间坐标下力与位置的同时控制，解决了柔性抓取碰撞控制问题。

二：非结构环境下的移动机器人高精度定位与自主导航技术。针对飞机装配车间等非结构环境中存在的障碍物多变、随机干扰多、无线网络限制、全局定位易失效等问题，建立了基于环境特征自适应匹配的定位修正模型，通过引入卡尔曼滤波与粒子滤波的融合算法，解决了传统定位方法中因环境动态变化导致的漂移问题，实现了 $\pm 2\text{mm}$ 的实时定位精度。同时，构建了基于视觉 SLAM、惯性导航与 UWB 超宽带定位的多源融合导航框架，开发了动态障碍物实时识别与路径重规划算法，实现了机器人在复杂环境下的自主避障与连续导航。这为移动机器人在非结构制造环境中的高效作业提供了可靠的导航与定位保障，大幅提升了机器人的环境适应性与作业安全性。

三：大飞机装配复杂物料转运机器人集群调度方法与可重构管控软件。针对柔性制造系统中物流与生产环节存在的信息孤岛、配送节奏与生产节拍不匹配、资源利用率低等问题，构建了全域动态物流与生产一体化建模体系，开发了融合生产排程、设备状态与物料库存的实时数据交互平台，实现了对大飞机装配物料

运输的动态感知与协同管控，配送节奏匹配误差从 $\pm 12\%$ 降至 $\pm 3\%$ ，有效减少了固定装配站点。同时，建立了基于智能优化算法的物料配送动态调度模型，通过引入遗传算法与模拟退火算法的混合策略，解决了传统调度方法中因多目标冲突导致的优化效率低问题，实现了物料配送路径、时间与资源分配的全局最优，系统平均响应时间 150ms，可同时处理 500 个订单的并发量，物流成本下降 20%。这为复杂制造系统的高效运转提供了科学的调度方案，显著降低了物流成本，提升了生产整体效率。

该项目获授权国家发明专利 18 项，在 IEEE Transactions 等行业著名期刊发表高水平学术论文 21 篇，登记软件著作权 6 项；研究成果已成功应用于中航西飞、陕飞等我国龙头制造企业，达到了国际领先水平。项目实施以来，采用本技术发明，应用单位新增经济效益 7.13 亿元、新增利润 1.47 亿元，并取得了显著的社会效益。构建了大飞机装配物料智能输运从理论、方法、路径、装备、应用的完整体系，实现了飞机装配物料智能管控与精准配送技术的自主创新，加速我国大飞机高效脉动装配线迭代升级。

四、客观评价

1. 技术评价

(1) 检测报告：中国软件测评中心（工业和信息化部软件与集成电路促进中心）对“产线移动操作设备管控软件 V1.0”的检测结果：用户文档与软件功能一致，功能可稳定运行【附件 13】；广东产品质量监督检验研究院对“移动操作机器人及其移动机械臂系统”的检测结果：支持 200kg 和 500kg 负载，定位精度 $\pm 2\text{mm}$ 【附件 18】；陕西省机械产品质量监督检测总站有限公司对“智能分拣技术与装备”的检测结果：分拣物料种类 ≥ 30 类，一次分拣成功率 $\geq 90\%$ 【附件 17】；陕西省机械产品质量监督检测总站有限公司对“多机器人系统巡检系统”的检测结果：多机协同实施数量 ≥ 10 台；

(2) 国家科技部验收委员会评价：“项目研发了大飞机装配非机构环境下复杂物料的多层级协同管控，实现了超过 30 类复杂物料的智能分拣及无人配送，显著提升了大飞机装配物料的协同管控能力。”

(3) 科技成果评价：陕西省技术转移中心对“大飞机数字化装配场景下的智能物料配送关键技术及应用”的鉴定意见为“该项目创新性强，具有完全自主知识产权，整体技术达到国际先进水平。”

(4) 教育部科技查新工作站查新表明：“在国内外公开发表的中外文文献中，与委托项目查新点完全相同的未见报道，具有突破性创新”。

2. 学术评价

德国达姆施塔特工业大学的 Groche, P. 生产工程与成型机械研究所研究所所长在期刊“ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb”上正面引用评价了该项目的研究成果：“通过结合异常检测的初步方法与归一化流原理，可以实现对抗光照变化的异常检测鲁棒性。通过基于图像的在线过程控制，利用提取的过程知识优化零件特性”【ZWF, 2025, 120(s1): 128-134.】。

英国拉夫堡大学的 Li, Baihua 教授在期刊 “Measurement Science and Technology” 中大篇幅正面引用评价该项目的研究成果：“提出了一种基于同心圆模型的地面分割算法，以增强分割稳定性。”“提出了一种使用解耦旋转和平移的全局点云配准方法，以消除累积误差。”【Meas. Sci. Technol., 2024, 35(11):115112.】。

国际模式识别协会（IAPR）和匈牙利工程院的双料院士 Sziranyi, T.在期刊 “IEEE Open Journal of Signal Processing” 正面评价该项目的研究成果：“应用了视觉 Transformer 并利用了 RGB 图像上的预训练模型，在类似数据上达到了与使用 CNN 的方法相当的结果，评价这些研究至关重要。”【IEEE Open J. Signal Process., 2025, 6:118-128.】。

五、应用情况

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	中航西安飞机工业集团股份有限公司	大飞机数字化装配场景下的智能物料分拣与运输系统	应用于运 20 大飞机部总装车间,新增经济效益 2.68 亿元	2021.07 -至今	惠阳
2	陕西飞机工业有限责任公司	大飞机装配复杂物料高效协同配送	应用于预警机等飞机装配,新增经济效益 5424 万元	2021.07 -至今	封璞加
3	无锡黎曼机器人科技有限公司	飞机装配中的物料分拣	应用于商飞、沈飞等脉动飞机装配生产线,新增经济效益 1.61 亿元	2016.11 - 2020.12	张刚
4	成都抉云软件有限公司	分拣识别算法和调度算法	应用于成飞等工业软件,新增经济效益 4716 万元	2023.01 -至今	蔡长春
5	无锡超通智能制造技术研究院	机器人协同分拣技术	应用于复杂机电系统,新增经济效益 8766 万元	2022.01 -至今	梅岭南
6	无锡华工大光电智能科技有限公司	精密光电设备智能装配生产线	应用于微机电系统装配线,新增经济效益 9301 万元	2022.01 -至今	丁劲锋

六、主要知识产权和标准规范等目录（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	基于五杆机构与欠驱动形式的机械手爪	中国	ZL202210420167.8	2023 年 12 月 05 日	6533870	西安交通大学	运侠伦;高雪峰;姜歌东;梅雪松;耿涛
2	发明专利	一种基于多传感器融合及二维码校正的定位与建图方法	中国	ZL202110874239.1	2022 年 12 月 09 日	5635157	西安交通大学	史晓军;胡佳祥;张小栋;梅雪松;姚鑫;王迎新
3	发明专利	悬挂机构及移动机器人	中国	ZL201810993448.6	2019 年 10 月 29 日	3577010	深圳优艾智合机器人科技有限公司	许璠; 张朝晖;赵万秋;边旭
4	发明专利	二维码定位方法、电子设备及存储介质	中国	ZL202311466381.8	2024 年 03 月 08 日	6773387	深圳优艾智合机器人科技有限公司	陈文钊;边旭; 冉东来
5	发明专利	机器人的机械臂控制方法、电子设备及存储介质	中国	ZL202410764848.5	2024 年 11 月 12 日	7518227	深圳优艾智合机器人科技有限公司	边旭; 陈文钊;冉东来
6	发明专利	一种确定平板结构在纯弯曲载荷作用下的布局方法	中国	ZL202111097794.4	2024 年 08 月 09 日	7276801	中航西安飞机工业集团股份有限公司	卢茜; 杨宝华;师鹏

7	发明专利	一种装配对接部位端面自动精加工工艺方法	中国	ZL202010554441.1	2021 年 12 月 24 日	4864486	陕西飞机工业（集团）有限公司	马峥翔;封璞加
8	发明专利	一种多移动机器人路径规划方法、系统、计算机设备及存储介质	中国	ZL202210552128.3	2024 年 10 月 18 日	7449497	西安交通大学	史晓军;王迎新;何晓南;姚鑫; 胡佳祥
9	发明专利	一种智能工厂用立体智能循环储料架	中国	ZL202210454237.1	2024 年 01 月 12 日	6620109	西安理工大学	刘善慧;秦高将;刘杰; 陈宇宏;季海阳;陈亮
10	发明专利	机器人移动路径检测方法 & 移动平台	中国	ZL202210193098.1	2024 年 04 月 16 日	6911481	深圳优艾智合机器人科技有限公司	汪佳俊;何驭西;张朝辉;边旭; 赵万秋

七、主要完成人情况

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
运侠伦	1	无	教授	西安交通大学	西安交通大学	主导成果完成和领导项目开发
郑炜	2	部长	研究员	中航西安飞机工业集团股份有限公司	中航西安飞机工业集团股份有限公司	针对柔性制造系统中物流与生产环节存在的信息孤岛、配送节奏与生产节拍不匹配、资源利用率低等问题，构建了全域动态物流与生产一体化建模体系
惠阳	3	厂长助理	高工	中航西安飞机工业集团股份有限公司	中航西安飞机工业集团股份有限公司	围绕智能物流与智能制造中对柔性化、智能化分拣的迫切需求，针对传统分拣系统难以处理多类别、异形状、随机堆叠物料的行业痛点，开展机器人智能分拣技术的深入研究。
边旭	4	技术总监	工程师	深圳优艾智合机器人科技有限公司	深圳优艾智合机器人科技有限公司	负责完成了移动机器人的整体本体方案设计，并成功实现了多传感器融合感知算法。通过集成激光雷达、视觉相机及惯性测量单元(IMU)，构建了高精度环境感知系统
封璞加	5	副厂长	高工	陕西飞机工业有限责任公司	陕西飞机工业有限责任公司	开发了基于移动机器人的激光测量与感知方法，以解决飞机装配环节的高精度测量难题。
师鹏	6	主任师	高工	中航西安飞机工业集团股份有限公司	中航西安飞机工业集团股份有限公司	攻克了机器人分拣系统中的多技术融合难题。
刘善慧	7	无	教授	西安理工大学	西安理工大学	完成了移动机器人及线边库系统的整体方案设计与部署实施。
张朝辉	8	总经理	工程师	深圳优艾智合机器人科技有限公司	深圳优艾智合机器人科技有限公司	创新性地提出了移动机器人的主动安全技术架构，旨在解决非结构化环境下的运行

						安全问题。
史晓军	9	无	教授	西安交通大学	西安交通大学	针对大飞机装配现场物料转运需求，开展多机器人集群协同部署方法及高精度控制技术研究。
许璿	10	首席产品官	工程师	深圳优艾智合机器人科技有限公司	深圳优艾智合机器人科技有限公司	主导现场系统部署工作，完善功能迭代和设备系统性能迭代

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

完成单位	排名	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献 (限 600 字)
西安交通大学	1	构建了非结构环境下移动机器人定位导航及物料智能分拣的方法体系，建立了基于多源融合的导航定位模型及力位混合控制的柔性抓取理论框架，实现了异构物料分拣效率、机器人定位精度等关键指标的精准把控；发明了任务驱动的“传感 - 拾取”一体化自适应末端执行器及带力矩前馈的工具空间力 / 位置混合控制算法，突破了柔性抓取碰撞控制及异构物料有效分拣的技术难题，实现了同一套末端覆盖 30 类复杂异构物料的识别分拣；构建了非结构环境下多源融合导航框架与动态障碍物实时识别路径重规划算法，实现了移动机器人在复杂环境下 $\pm 3\text{mm}$ 的实时定位精度与自主避障连续导航。
中航西安飞机工业集团股份有限公司	2	面向大飞机脉动生产的重大需求，成功研发并实施了一套智能仓储协同管控体系。针对装配线边物料种类繁多、配送时效要求高的核心挑战，项目团队开发了面向脉动生产的智能仓储协同管控体系，通过构建数字孪生平台，实现了对库存、AGV 调度及线边供料的全局优化与实时联动。同时，创新性地提出了融合深度视觉与激光测量的复杂物料识别方法，攻克了大型、异形、反光零件的精准定位与自适应抓取技术难题，确保了机械臂操作的可靠性与高效性。最终，该成果在国内某大型航空制造企业得到了全面部署与应用，打通了从仓储到装配站点的物流流与信息流，显著提升了飞机总装环节的物流自动化水平与生产效率，为行业提供了可复制的智能化解决方案。
深圳优艾智合机器人科技有限公司	3	围绕智能移动机器人在复杂现实环境中的自主运行难题，取得了三项关键技术突破。提出了非结构环境下高精度定位与鲁棒建图技术，通过多传感器融合和先进 SLAM 算法，有效应对地形变化与特征缺失的挑战，实现了在未知及动态场景中的稳定位姿估计与地图构建。开发了动态环境下在线路径规划与自主导航技术，使机器人能够实时感知周围障碍物运动并快速重新规划局部路径，保障了移动的连续性与安全性。进一步提出了端到端多机协同运动规划与避障方法，通过集中与分布相结合的决策机制，实现了多机器人系统的高效任务协作与无冲突运动。这些技术有效提升了机器人在物流、巡检等复杂场景中的自主性、适应性和协同效率。
陕西飞机工业有限责任公司	4	提升智能装备在复杂工业环境下的感知与定位精度，成功开发了两项核心关键技术。针对环境感知难题，研发了多传感器融合算法，有效融合视觉、激光及惯性测量单元 (IMU) 等多源数据，克服了单一传感器在光照变化、遮挡及动态干扰下的局限性，显著提升了系统对周围物体识别与状态判断的鲁棒性和准确性。同时，针对高精度空间定位需求，开发了先进的激光测量定位方法，通过点云匹配与实时建图技术，实现了在大型室内外场景中的厘米级精确定位与稳定追踪。这两项技术协同工作，为自主移动机器人、智能物流等系统提供了可靠的环境理解与导航定位能力，并在实际工业场景中成功应用验证，有效提升了

		作业自动化水平和运行效率。
西安理工大学	5	针对智能制造与物流领域中的调度与精准定位需求，突破了两项关键技术。提出了智能动态调度与多目标实时优化方法，通过融合运筹学算法与实时数据感知，实现了在多机器人协同、多任务并发场景下的高效任务分配与路径规划，有效提升了系统响应速度与整体运行效率。同时，提出了高精度激光测量与定位方法，基于激光点云匹配与SLAM技术，实现了复杂动态环境下的厘米级定位精度与稳定姿态估计，为自动化设备提供了可靠的导航与操控基础。两项技术在实际工业场景中集成应用，显著增强了系统在智能化、精度与适应性方面的综合性能。

九、完成人合作关系说明

完成人合作说明：完成人均均为项目研发、推广应用的主要完成人，其中运侠伦为国家重点研发计划的课题组长，郑炜、惠阳、边旭、封璞加、师鹏、刘善慧、张朝辉、史晓军、许鄱为关键技术与推广应用的核心人员。

合作方式说明：**一是项目合作：**该项目完成人均是飞机装备制造物料顺运技术领域的代表性研究人员，并联合申报了国家重点研发、陕西省重点项目等项目。**二、合作时间：**研究团队的合作关系从2019年起延续多年，共同针对提升大飞机装配物料转运效率的理论与技术难题进行攻关。**三、主要合作成果：**该项目完成人共同完成的科研成果，作为共同作者在著名期刊发表论文21篇，并合作申请发明专利20余项，授权发明专利18项。**四、合作者排名：**完成人严格按照对成果的实际贡献大小依次排名。经项目组成员充分协商，按完成人承担完成研究任务、创新点贡献、推广应用工作量等综合实际绩效依次排名，各完成人及所在单位一致同意其排序。

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	项目合作	运侠伦(1)、郑炜(2)、师鹏(6)、许璿(10)	2019.01	2024.12	国家重点研发计划“数据驱动的运20飞机部总装协同脉动生产线智能管控及集成技术-智能多级仓储协同与区域配送管控系统”	项目合同
2	项目合作	运侠伦(1)、边旭(4)、张朝辉(8)、封	2019.07	2024.12	陕西省重点研发计划“复合型智能移动操作机器人关键技术研发与应用示范”、“基	项目合同

		璞加(5)、 刘善慧 (7)、许璿 (10)			于多机器人协同的飞机装配过程智能辅助技术”	
3	项目合作及论文	运侠伦 (1)、史晓军 (9)	2020.01	2023.12	国家重点研发计划 “智能工厂柔性物流系统管控优化决策理论与架构”、论文 “RangeViT++:refuning the early convolutional stem help ViT see better”	论文
4	项目、专利、论文合作	运侠伦 (1)、郑炜 (2)、惠阳 (3)	2019.01	2023.12	“航空精密组件机器人装配关键技术及系统集成项目”、“一种进给轴热致定位误差解耦建模方法”	论文专利等