

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

固定翼无人机协同决策、定位与控制关键技术

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省知识产权局

提名意见：

该项目面向固定翼无人机多平台自主协同重大需求，围绕异构无人集群自主组群与任务联盟、多平台被动探测定位与协同态势感知、多任务多约束协同规划与制导，形成三项相互衔接的技术发明。项目发明了面向动态任务的异构无人机编队决策与控制技术，实现成员加入退出、任务切换条件下的快速成群与在线重组；发明了多无人机多目标被动协同定位与关联匹配技术，实现由分散、间断的局部观测向连续、可信、可共享目标态势的转化；发明了多任务多约束航迹规划与预设时间协同制导技术，有效提升动态多约束条件下多平台任务方案的实时生成与一致执行能力。项目获授权发明专利 40 项、软件著作权 20 项；发表高水平论文 29 篇，出版专著 2 部；形成国家标准 6 项、行业标准 1 项。经试飞、半实物和系统应用验证，32 架异构无人机、10 类任务样式条件下在线任务规划时间不超过 0.7 s，任务完成时间缩短 48.3%；多目标跨平台关联正确率不低于 90%，运动目标协同定位误差小于 5 m；在线航迹规划时间不超过 0.5 s，支持 3 种协同制导模式，协同到达时间误差达到 1 s 级。成果已在多型无人机、光电载荷、地面指控和集群系统中应用，取得良好的工程、社会和经济效益。

项目技术创新性强、知识产权体系完整、工程应用规模大，符合陕西省技术发明奖授奖条件，提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。

三、项目简介

（一）项目背景

固定翼无人机具有航程远、成本低、可快速大规模制造等显著优势，通过预编程协同方式对敌方纵深目标进行饱和打击，在最近的俄乌、美以伊战争中成为重要“杀手锏”武器。然而，随着战争对抗烈度和任务复杂度提升，传统固定翼无人机的运用模式也面临新的挑战：1）在任务切换、集群成员损耗、目标运动等动态条件下，传统无人机依赖操作员进行决策和规划，适应性差，在通讯受干扰时无法有效执行任务；2）传统无人机对运动目标实时定位，无论是采用雷达还是光学测向+激光测距模式，均需要向目标主动发射电磁信号，必然触发目标预警反制，导致命中概率大幅降低；3）传统无人机预编程协同方式，无法有效考虑航路风速风向等实时因素影响，导致到达目标时间一致性差，容易被防空系统逐个拦截，同时也无法实现对运动目标的协同打击。因此，为了打赢与强敌高

烈度对抗战争，提升固定翼执行复杂动态任务的能力，更好服务于低空经济的高质量发展，迫切需要构建新的固定翼无人机任务协同技术体系，全面提升复杂动态条件下决策与规划能力，实现对运动目标的隐蔽协同定位和高精度协同围捕打击。

固定翼无人机自身飞行动力学特性和广域动态应用环境，决定了其集群协同控制是典型的强耦合、强时变、强非线性系统。首先，固定翼无人机飞行高度、速度与姿态等参数紧密耦合，对任务决策规划实时性要求高；异构无人机飞行性能和载荷性能各不相同，编队成员成员决策与控制复杂度高。其次，采用不少于两架搭载光学传感器固定翼无人机，对运动目标进行隐蔽协同定位，由于固定翼无人机和目标相对高速运动，影响量测误差因素多，定位精度提升难度大；另外，如何确保无人机广域跨视角观测到同一目标也是一个挑战。第三，如何在目标快速运动及主动规避条件下，综合考虑无人机自身动力学特性、视场角和跟踪能力等约束，通过局部航迹滚动优化，实现高精度同时到达等新型打击模式也是成功毁伤目标的关键。因此，研究构建新型自主决策控制-隐蔽协同定位-协同围捕打击技术体系就成为提升固定翼无人机在复杂动态环境下任务能力的关键。

（二）主要技术发明

1.发明面向动态任务的异构无人机编队决策与控制技术。针对多目标、多任务并发条件下任务资源难快速匹配、成员组合与编队结构难随任务变化在线调整的问题，提出双阶段动态联盟组建的分布式任务规划方法，依据通信可达性、任务需求、平台能力、剩余载荷和预估航迹代价快速形成并优化任务子群；进一步发明有限时间编队集群协同决策与自适应控制方法，将任务联盟映射为可执行空间战位，实现成员加入退出、任务切换条件下的快速成群与在线重组。经验证，32架异构无人机、10类任务样式条件下在线任务规划时间不超过0.7s；任务完成时间缩短48.3%。

2.发明多无人机多目标被动协同定位与关联匹配技术。针对红外等被动传感器纯角度观测条件下距离不可直接获取、多平台目标身份难统一的问题，提出基于时空特征和运动约束的目标被动协同定位方法，建立面向运动目标的协同定位状态寻优与分布式融合机制，依据观测几何和状态估计结果实时优化多平台观测关系；进一步发明基于快速协方差交互和分布式孪生网络的多目标匹配关联方法，通过方位变化、运动连续性等时空证据，实现多目标交叉及短时丢失后的可靠再关联。经验证，运动目标协同定位误差小于5m，多目标跨平台关联正确率不低于95%，实现由分散、间断的局部观测向连续、可信、可共享目标态势的转化。

3.发明多任务多约束航迹规划与预设时间协同制导技术。针对固定翼多无人机任务编组、航迹生成和制导执行相互耦合的问题，提出面向异构平台和动态任务需求的任务联盟构建与资源协同分配方法，构建多曲线组合航迹生成和策略切换机制，发明多约束航迹自主规划与在线重规划方法，根据目标和环境变化对局部航迹进行滚动优化；建立融合到达时间和空间关系的协同制导统一框架，发明多目标鲁棒增强预设时间协同中末制导方法，实现同时到达、序贯到达和反斜面

到达 3 种协同制导模式。经验证，在线航迹规划时间不超过 0.5 s，协同到达时间误差达到 1 s 级，有效提升动态多约束条件下多平台任务方案的实时生成与一致执行能力。

项目形成授权发明专利 44 项，发表高水平论文 29 篇，获得软件著作权 22 项，出版专著 2 部，形成国家标准 6 项、行业标准 1 项。

（三）推广应用及效益

项目成果面向固定翼无人机多平台协同运行需求，形成了涵盖机间相对定位与编队控制、多平台被动探测定位与目标关联、协同航迹规划与中末制导的系列关键技术，可嵌入无人机飞控计算机、任务计算机、光电探测系统和协同任务控制系统，为固定翼无人机协同飞行、协同感知和自主任务执行提供技术支撑。

一是推动多无人机协同技术工程应用，提升无人平台自主协同能力。相关成果先后应用于航天七院、中航无人机、西安爱生技术集团有限公司、西安羚控电子科技有限公司等单位的无人机及集群系统，完成 20 架异构飞行器协同实飞、24 架无人机协同任务、50 架固定翼无人机编队飞行和 128 架半实物协同运行验证；部分系统具备 1 个地面站控制 128 架固定翼无人机执行动态任务的能力，实现编队集结、队形变换、协同搜索、协同定位、动态避障、在线规划和协同制导等功能。

二是促进关键技术成果转化，带动无人机产业链协同发展。项目形成的编队控制、被动协同感知和规划制导方法具有较强的平台通用性，可按模块化方式适配不同尺度、不同任务类型的固定翼无人平台，已形成由基础算法、任务软件、协同载荷到无人机整机和地面指控系统相衔接的成果转化链，为无人机总体、飞控航电、光电载荷和任务系统等上下游单位提供可复用的软件模块和工程方案，并可向应急巡查、灾情监测、资源勘察、管线巡检和遥感测绘等场景拓展。

三是形成良好的经济社会效益和行业示范作用。项目成果降低了多无人机协同功能重复开发和系统集成成本，提升了多平台任务组织效率、目标感知范围和任务连续性；相关技术支撑多型无人机研制、外贸配套和重大演训任务，并推动应用企业获得专精特新、知识产权优势及军民融合示范等资质。相关型号配套与成果转化形成综合经济效益约 32 亿元，对陕西省无人机产业技术升级和智能无人系统产业发展具有积极作用。

四、客观评价

（一）应用单位评价

航天七院评价：围绕无人机集群编队飞行与动态避障、协同侦察、多目标在线任务分配、协同打击等开展科研合作，项目团队仿真实现了 3 型共 128 架次无人机对指定任务区域的快速普查、重点区域详查、无人机集群编队飞行和队形变换，编队动态避障、集群协商自主任务分配、在线协同打击规划；2021 年 6 月应用项目团队开发的协同任务控制器实飞控制 20 架固定翼无人机、巡飞弹等异构无人飞行器，实飞验证了算法的有效性，实现了巡飞弹群同时到达协同打击重要目标，对移动车辆目标的精准协同打击。相关成果已经在我单位远程巡飞蜂群等

背景预研任务推广应用，军事应用前景广阔，经济效益巨大。

西安爱生技术集团有限公司评价：在多型无人机研制与任务验证中，应用项目任务驱动的异构无人集群自主组群、动态联盟构建和有限时间编队协同技术。其中，无人机在复杂电磁对抗、模拟卫星导航拒止环境下完成了 3 种集群动态任务，同时实现了 24 架无人机编队集结、编队飞行、队形变换及末端协同任务验证，并通过半实物系统验证 128 架无人机协同运行能力。相关算法经项目验证，在 32 架异构无人机、10 类任务样式条件下在线任务规划时间不超过 0.7 s；128 节点决策与规划响应由秒级提升至毫秒级，任务完成时间缩短 48.3%。项目成果应用后提升了多型号平台在成员变化、任务切换条件下快速成群和在线重组能力。

西安爱生无人机技术有限公司评价：应用团队开发的固定翼无人机编队控制算法及系统，在重点项目的研制中，实飞控制 50 架固定翼无人机完成编队集结、编队飞行、队形变换等任务；在模拟卫星拒止环境下，实现了编队协同搜索、协同定位、动态避障、末端协同打击等战术任务，飞行距离超过 200km。无人机所采用感知模块结合被动感知算法，经验证多目标跨平台关联正确率达到 90%以上、运动目标协同定位精度优于 5 m，增强了复杂观测条件下的连续态势获取能力。

成都紫瑞青云航空宇航技术有限公司评价：在机动式、固定式无人机地面站产品系列及综合航电系统中应用项目异构集群自主决策与动态编队协同技术，重点解决多平台任务资源匹配、任务联盟形成、编队结构调整和规模化控制问题。相关系统具备 1 站控制 128 架固定翼无人机执行动态任务的能力，并在有人机—无人机协同场景中实现对 4 架无人僚机的协同控制。所采用算法经项目验证，在 20 架异构无人机、10 类任务样式条件下在线任务规划时间不超过 1 s，提升了地面站对大规模集群任务变化的快速响应与重构能力。

西安因诺航空科技有限公司评价：无人机集群项目中应用项目任务联盟构建、多约束在线航迹规划与动态编队控制技术，并将相关模块用于管线巡检、场地勘察、室外测绘和室内定位等任务，提高多无人机实时控制、动态避障和平台协同作业能力。利用项目成果针对目标、环境和平台状态变化对受影响航迹段进行滚动优化，经验证协同轨迹规划时间不超过 0.5 s，协同到达最大时间差为 1.14 秒；结合任务驱动联盟方法后，任务完成时间缩短 48.3%。相关技术减少了任务调整过程中的人工干预，提升了多场景任务连续性和系统推广适应性。

（二）学术影响与同行评价

项目团队长期围绕无人机自主协同、协同定位与编队控制等方向开展系统研究，相关研究基础和技术成果对智能无人领域人才培养、科研平台建设和学科发展形成了有力支撑。项目主要完成人中有 2 人次入选国家、军队科技类拔尖或领军人才；相关研究支撑获批“无人飞行器技术”全国重点实验室、“无人机技术”教育部关键核心技术集成攻关大平台、“智能飞行器陕西省高校工程研究中心”等高水平科研平台，并支撑“无人系统科学与技术”博士学位授权点和“空天智能无人机系统与运用”新工科专业建设，形成了较为完整的智能无人领域科研创

新与高层次人才培养体系。同时，相关技术成果还支撑应用单位创新能力提升和平台建设，对推动陕西省智能无人系统学科发展和产业技术进步发挥了积极作用。

项目形成的无人机协同定位、编队控制等研究成果在国内外高水平学术期刊发表并受到同行关注。相关成果发表于《航空学报》英文版、IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 等 SCI 一区期刊，被美国马里兰大学、英国克莱菲尔德大学、北京航空航天大学等国内外航空领域研究团队引用，同行研究认为相关方法能够有效提升多无人机编队控制的稳定性和鲁棒性，表明项目相关理论方法在多无人机协同控制与协同定位领域具有较好的学术影响力和同行认可度。

五、应用情况和效益

1. 应用情况

项目整体技术自2018年起陆续在无人机总体、飞控航电、光电载荷、地面指控及集群系统中实施应用，覆盖固定翼无人机、巡飞飞行器、机载光电侦察设备和协同任务控制系统。应用内容由编队集结、队形调整拓展至协同搜索、被动定位、任务分配、在线规划和协同制导，形成算法模块、任务控制器、协同载荷和系统集成相衔接的工程应用链。

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	中国航天科技集团有限公司第七研究院第七设计部	协同航迹规划与协同制导	3型无人机108架次验证；20架异构无人机实飞	2019.06~至今	李兵 /15101538415
2	西安爱生技术集团有限公司	自主组群、动态联盟与编队控制	ASN系列；24架协同任务、128架半实物	2018.10~2025.01	卢杨 /13991872482
3	西安爱生无人机技术有限公司	编队控制与被动协同感知	支撑LQ-301型等无人机装备系统研制生产，及新型蜂群系统设计论证；50架固定翼无人机编队	2020.05~2025.02	曹正阳 /15109211065

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
4	成都紫瑞青云航空宇航技术有限公司	集群决策与模块化控制	地面站1站控制128架；有人/无人协同	2019年3月至今	栾洪帅 /18583739250
5	西安因诺航空科技有限公司	任务规划、编队控制与在线重规划	多个集群项目及巡检、测绘应用；	2023.06~至今	呼卫军 /13772104506
6	西安科为实业发展有限公司	动态编队与协同规划制导	2架高空高速无人机编队；1有人机协同8无人机	2019.03~至今	周颖 /18682659277
7	西安羚控电子科技有限公司	集群指控与被动协同感知	控制最大容量128架无人机集群完成自主动态任务规划	2021~至今	段晓军 /13891861024
8	中国科学院长春光学精密机械与物理研究所	多机多目标被动协同定位	基于光学传感器对地面动目标的实时被动定位精度达到5米	2020年5月~2024年11月	孙辉 /189846582866
9	中航（成都）无人机系统股份有限公司	多机多目标被动协同定位	基于光学传感器对地面动目标的实时被动定位精度达到5米	2020年6月~2024年11月	唐勇 /13541239951
10	空军工程大学无人机与管理学院	被动协同定位、目标关联与规划制导	无人机运用管理教学科研与仿真验证	2021年6月~2021至今	张鹏 /13359209286

2. 应用效益

项目围绕固定翼无人机“稳定组群、协同感知、规划制导”全过程自主协同能力建设，将基础算法转化为可嵌入飞控、任务、光电和协同控制系统的工程技术，推动多无人机协同能力由单项功能验证向系统化任务应用发展，形成较好的技术、社会和产业效益。

（1）在无人机型号研制和协同任务能力提升方面取得显著应用效益。项目成果支撑多型固定翼无人机在卫星导航信息受限、目标动态变化和多任务约束条件下开展协同飞行、目标定位和任务执行，使多平台由依赖地面逐机控制向基于局部状态和共享态势的自主协同转变。相关技术已完成多架次、多规模验证，在多型系统中实现编队飞行、协同搜索、协同定位、在线任务规划和协同制导等功能，有效提升任务组织效率和连续执行能力。

（2）在推动行业科技进步和低成本无人系统应用方面取得明显社会效益。项目贯通编队控制、被动协同感知与规划制导环节，为固定翼无人机多平台全过程自主协同提供可复用的方法体系。利用红外等被动传感器开展多平台协同定位和目标关联，可发挥既有低成本传感器和多平台空间分布优势，在不增加主动测距设备的情况下提升目标位置和状态获取能力，降低协同感知系统复杂度与应用成本。相关成果已服务型号研制、外贸配套和演训验证，并可向应急保障、复杂区域巡检和遥感测绘等场景拓展。

（3）在技术成果转化和产业带动方面形成良好经济效益。项目成果通过算法软件、任务控制器、飞控与任务计算机、光电协同感知模块及无人机整机系统等方式实现转化，带动无人机总体、飞控航电、任务载荷和协同控制系统等上下游产业发展。相关型号配套与成果转化形成综合经济效益约 31.490628 亿元（西安爱生技术集团有限公司 26.87 亿元、西安爱生无人机技术有限公司 0.365 亿元、成都紫瑞青云航空宇航技术有限公司 0.5442 亿元、西安因诺航空科技有限公司 0.529 亿元、西安科为实业发展有限责任公司 1.381853 亿元、西安羚控电子科技有限公司 1.790215 亿元），依托完成单位的工程化和产业化基础，可进一步形成从关键算法、软件模块、任务设备到无人机整机应用的成果转化链，促进陕西省无人机产业技术升级和产业集群发展。

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	一种无人机有限时间编队集群协同决策与控制方法	中国	ZL202410794590.3	2024年08月30日	第7330590号	西北工业大学	符文星、矫永康、韩啸、沈如松、邹金和、张艺扬、余兰林、都海波、万磊
2	发明专利	无人机与地面机动目标虚拟编队战位保持控制方法	中国	ZL201910201696.7	2021年12月10号	第4844192号	西北工业大学	贾伟、孙哲芃、肖佳伟、汤恒先
3	发明专利	一种单领队异质低成本无人飞行器编队协同定位方法	中国	ZL202210200276.9	2024年11月05日	第7501710号	西北工业大学	符文星、马文卉、吴自豪、方洋旺
4	发明专利	一种基于航路点的分布式无人机动态编队切换方法	中国	ZL202010226439.1	2022年06月24日	第5260420号	西北工业大学	张栋,索文博,王孟阳
5	发明专利	一种基于时间一致性的分布式无人机绕飞编队方法	中国	ZL202010226440.4	2022年06月24日	第5254480号	西北工业大学	索文博,张栋,王孟阳

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
6	发明专利	基于时空依据的分布式双红外传感器多目标同一性判定方法	中国	ZL202410366330.6	2024年06月07日	第7077631号	西北工业大学	符文星、杨韬、郑育行、付斌、张通、陈康、常晓飞、张晓峰、许涛、郭行
7	发明专利	一种融合动平台里程信息的被动传感器多目标跟踪方法	中国	ZL202410619839.7	2024年07月30日	第7240022号	西北工业大学	杨韬;符文星;方博汇;邵维瑜;陈冠印
8	发明专利	一种基于沃尔什变换的图像矩的目标识别方法	中国	ZL201910203611.9	2022年08月09日	第5370233号	西安羚控电子科技有限公司	李靖,段晓军,刘慧英,唐虹,陈怀民,陈楸,孙景峰,徐庚,苏永旺
9	发明专利	一种多目标协同末制导律方法	中国	ZL202011463788.1	2023年01月24日	第5709797号	西北工业大学	许涛、张晓峰、程昊宇、常晓飞、符文星、陈康
10	发明专利	一种编队协同中制导技术统一框架的构建方法	中国	ZL202011311696.1	2022年07月15日	第5309033号	西北工业大学	方洋旺、马文卉、吴自豪、王志凯、邓天博

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
符文星	1	副院长	教授	西北工业大学	西北工业大学	主持项目总体技术路线和系统方案，提出异构无人集群自主组群、有限时间编队协同控制及多平台被动协同感知方法，负责三项发明成果的总体集成与验证。
贾伟	2	总工程师	研究员	西安爱生技术集团有限公司	西安爱生技术集团有限公司	负责无人机型号与工程应用需求牵引，开展虚拟编队战位保持、目标定位和任务规划技术的系统集成，组织多型无人机试飞与规模化验证。
吴自豪	3	—	副教授	西北工业大学	西北工业大学	负责多平台协同制导统一框架、预设时间协同到达和多模式制导方法研究，形成相关发明专利并参与仿真与系统验证。
杨韬	4	—	副教授	西北工业大学	西北工业大学	负责多目标跨平台关联、运动目标协同定位研究，形成相关专利和算法模块，参与试验验证与应用适配。
张栋	5	—	教授	西北工业大学	西北工业大学	负责固定翼无人机协同任务系统的工程集成和测试验证，推动自主组群、任务分配与航迹规划技术在无人机平台中的应用。
段晓军	6	董事长	教授	西安羚控电子科技有限公司	西安羚控电子科技有限公司	负责集群指挥控制、任务规划软件和无人机系统的产业化应用，组织128架规模系统集成验证和市场推广，促进成果转化与经济效益形成。

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（限 600 字）
西北工业大学	1	作为项目第一完成单位，负责总体技术路线、核心算法和知识产权体系建设，围绕异构无人集群自主组群与任务联盟、多平台被动探测定位与协同态势感知、多任务多约束协同规划与制导开展持续攻关，形成主要发明专利、算法软件和测试方案；组织32架异构无人机任务规划、20架异构实飞和128架半实物协同运行等多层级验证，并推动成果向行业单位转化。
西安爱生技术集团有限公司	2	面向无人机型号研制和复杂任务需求，负责项目技术的工程化集成、平台适配、试飞验证与应用推广，将自主组群、动态联盟、编队控制、协同感知和规划制导技术应用于ASN系列无人机及集群系统，完成24架无人机协同任务和128架半实物协同运行验证，为成果规模化应用提供总体、飞控、航电和试验条件。
西安羚控电子科技有限公司	3	负责集群指挥控制、任务规划、地面站和相关软件模块的产品化集成与市场应用，开展动态任务规划、协同搜索、编队和运动目标定位的系统能力；推动相关成果服务无人机型号、外贸出口和演训应用，并通过产品销售与技术服务形成显著经济效益。

九、完成人合作关系说明

本项目6名主要完成人分别来自西北工业大学、西安爱生技术集团有限公司和西安羚控电子科技有限公司，围绕固定翼无人机协同决策、定位与控制关键技术，形成了产学研稳定合作关系。

自2016年起，我（符文星）牵头组织西北工业大学研究团队围绕固定翼无人机多平台自主协同开展持续研究，负责总体技术路线、系统方案及三项技术发明的统筹集成。杨韬重点承担多平台被动协同感知、多目标关联、运动目标协同定位研究；吴自豪重点承担协同中末制导统一框架、预设时间协同到达及多模式制导方法研究。三人通过联合理论研究、算法开发、专利布局和仿真验证，形成项目的基础理论、核心算法与主要知识产权。

自2018年10月起，我带领研究团队与西安爱生技术集团有限公司围绕型号需求开展产学研协同。贾伟负责无人机型号需求牵引、工程应用总体协调和试验组织，张栋负责航迹规划研究、协同任务系统工程集成及测试验证。通过高校团队提供算法与软件原型，企业团队完成飞控、航电、任务计算机和地面系统集成，发挥两者各自优势，并联合开展多型无人机试飞、半实物仿真及不同无人机编队规模验证，推动研究成果由算法原型转化为可部署的工程系统。

自2021年起，我带领研究团队与西安羚控电子科技有限公司围绕无人机集群指挥控制、任务规划和编队控制开展联合攻关。段晓军负责企业侧任务规划软件、地面站和无人机系统的产品化集成、应用推广与反馈迭代，组织128架规模集群系统集成验证，推动成果服务无人机型号、外贸配套和演训应用。

六名完成人依托联合技术攻关、知识产权布局、系统联调、试飞验证和应用

反馈，形成“高校基础研究与算法创新—企业工程集成与型号验证—产业化推广与行业应用”的稳定合作关系，各自贡献边界清晰、相互衔接。