

无人机在军事物流领域的应用探析

王鑫¹, 马云飞², 陈文阁³, 吴凯³

(1.中国航天系统科学与工程研究院, 北京 100089; 2.陆军后勤部, 北京 100089

3.军事科学院 系统工程研究院, 北京 100161)

摘要: **目的** 分析无人机的特点优势, 提出无人机在军事物流领域应用的模式。**方法** 通过归纳总结、对比分析等方法, 设计无人机在军事物流领域的典型应用场景, 结合目前存在的问题差距提出针对性对策建议。**结果** 使用无人机进行物资投送保障不受复杂道路条件制约, 能有效解决军事物流末端保障难题。**结论** 无人机在军事物流领域的应用前景十分广阔, 但当前仍需解决无人机环境适应性、用途多样化、物资投送包装等方面的问题。

关键词: 无人机; 军事物流; 物资保障; 应用场景

中图分类号: V279; E234 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)09-0320-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.09.039

Analysis on Application of UAVs in Military Logistics

WANG Xin¹, MA Yun-fei², CHEN Wen-ge³, WU Kai³

(1. China Aerospace Academy of Systems Science and Engineering, Beijing 100089, China; 2. Army Logistics Department, Beijing 100089, China; 3. Systems Engineering Institute, AMS, PLA, Beijing 100161, China)

ABSTRACT: The work aims to analyze the characteristics and advantages of UAVs and put forward the application mode of UAVs in the field of military logistics. The typical application scenarios of UAVs in the field of military logistics were designed through the methods of summary and comparative analysis, and the corresponding countermeasures and suggestions were put forward based on the existing problems and gaps. The use of UAVs for material delivery support was not restricted by complex road conditions and could effectively solve the problem in military logistics terminal support. The application prospects of UAVs in the field of military logistics are broad, but at present, the problems of environmental adaptability, use variety and material delivery packaging of UAVs still need to be solved.

KEY WORDS: UAV (unmanned aerial vehicle); military logistics; material support; application scenario

军事物流保障能力是决定现代战争胜负的重要因素, 战时物资需求量大、紧迫性更高, 且保障链路长、战场交通环境条件恶劣^[1-2], 对军事物流末端供应保障能力带来极大挑战, 如果物资不能及时供应到一线, 就难以形成持续的作战能力。科学技术的快速发展, 促使无人机在我国民用和军事方面的应用愈加广泛。无人机因其具有可以规避城市交通拥堵, 能跨越山地湖泊等特殊地形的优点, 可以缩短物流配送时

间、降低物流成本, 从而使其物流配送应用范围越来越广。近两年, 由于新冠疫情具有极强的传染性, 使得无接触配送受到了人们的广泛关注, 无人机在农村和城市物流配送中得到推广应用^[3]。与此同时, 无人机具有不受道路条件限制、自重轻、速度快的显著优势, 自发明以来已被多个国家应用于侦察、电子对抗、作战、通信等军事领域^[4]。

着眼建设与世界一流军队相适应的现代化后勤,

收稿日期: 2022-12-22

作者简介: 王鑫(1976—), 女, 硕士。

通信作者: 陈文阁(1967—), 男, 本科。

实现建军一百年奋斗目标,开创国防和军队现代化新局面^[5],探索研究无人机在军事物流领域的应用,提升军队无人机物资投送保障能力,推动军事物流方式的根本转变。为适应现代化军事物流的需要,加快构建无人智能化保障装备体系具有重要意义。

1 无人机在物流领域应用的现状

在打破道路限制、提升流转效率、降低运营成本方面,无人机是不可忽视的重要物流运输工具^[6]。无人机技术是民用领域研究应用的热点,在农业植保、电力巡检、航空拍摄等领域加速发展,随着物流配送需求的加剧以及人力成本的提升,无人机受到了物流企业的高度重视^[7-8]。

1.1 城市物流配送

无人机应用场景逐渐增多,尤其是城市物流配送模式下,无人机配送的市场需求规模直接影响了未来低空空域、设施规划建设,例如亿航、智航和迅蚁等多家无人机公司都已进行多轮融资,逐步开始研发产品^[9]。城市交通便利、设施齐全,物流配送环境总体较好,卫星定位、智能导航等信息技术的应用大大提升了物流系统运转效率,使得整个物流供应链路总体流畅快捷,特别是随着智能仓储、快递柜等的出现,城市物流过程已经由“快递员—消费者”点对点的直线流程逐步转换为“快递员—聚合点—消费者”的中转流程。但这种模式对常态居家的老人等群体并不友好,客观上要求快递员上门配送。城市高楼林立,快递员有时不得不爬楼梯派送,形成了实际的派送“瓶颈”。为解决“最后一公里”这一物流运输过程中消耗人力最多的环节,进一步提升物流效率,很多物流企业加快无人机派件的研究探索,希望抢占物流无人化发展的先机。2013年12月亚马逊最早开始测试无人机派送快件^[10],中国邮政、顺丰快递、京东物流等物流企业都进行了无人机在物流领域的应用研究^[11-13]。目前,无人机配物流送有2种模式,一种是以京东为代表的“点对多”无人机物流配送模式,拟打造“干线—支线—末端”三级智慧物流航空体系;另一种是以顺丰为代表的“点对点”无人机物流配送模式,着重开展支线无人机的研制与应用。从民用物流领域的应用情况看,无人机采取直线运输,不受地面交通状况影响,具有速度快、效率高、成本低、经济环保等突出优势^[14],在物流领域应用前景十分广阔。

1.2 农村物流配送

无人机物流配送作为近年来崛起的新技术,对提高农村配送的效率、收益、范围均有着重要的促进作用。相较于城市物流配送的“最后一公里”,偏远农村的快递配送更加分散,人力成本也更高,加之订单量相对较少,大多数农村地区的物流点采用的是营业点

自提的方式。随着无人机技术的发展,无论是顺丰、京东这些“电商派”无人机物流领域领军者,还是迅蚁这样的新兴企业,都无一例外选择在农村开展无人机物流试点。考虑到航道占用、噪声、安全等问题,将无人机应用于农村物流需要经过严格的审批,民航局所制定的无人机运行相关准入要求,对运输无人机操作员和无人机的运行前提等作出了有关的门槛设定。随着无人机技术应用于航拍、植保、地质勘察等领域,越来越多的企事业单位开始申请使用无人机。2018年,顺丰公司取得了无人机航空运营资格证书,通过无人机开展快递运输等项目^[15]。京东公司也开始在农村尝试无人机配送,2018年广西桂林市全州县举行了京东集团“无人机”智慧物流广西首飞仪式,完成广西首单无人机配送,开启了广西快递物流“无人机”送货新阶段,有利于克服广西地理环境对物流配送带来的诸多难题,提升物流配送的精准度和速度,消除物流盲区,降低物流成本,为乡村振兴注入新活力,助力脱贫攻坚^[16]。京东最初的无人机机配送方式不是将货物直接送到顾客家门口,而是先送到京东的农村推广员站点,再由推广员完成从站点到村民家中的配送。由于农村地广人稀,飞行条件较好,这种模式更加符合国情,也大大降低了航线申请的复杂程度。目前,京东无人机已经可以在操作员的控制下,从站点直接飞至客户的院子里面卸货,或者飞到客户家附近的道路上,由用户取件。相比于驱车派送,这种方式更适合农村的道路条件和地理环境,也更加省时高效。

2 无人机在军事物流领域的典型应用场景设计

近年来,我国交通基础设施建设成就瞩目,地面交通网络日渐发达,道路交通条件越来越好,通过铁路、公路等基本能够快速完成干线、支线的军事运输任务,但在战场末端物流配送仍然面临诸多难题。运用无人机开展物资配送的模式与农村物流配送具有很大的相似性,特别是无人机具有越障能力强、速度快、定位准、适应性高、零伤亡、成本低、使用维护方便等突出优势。基本能够克服中等距离、环境复杂、地形险恶、道路条件运输差的现实困难。在军事物流领域具有广阔的应用前景,可广泛用于平时、战时和非战争军事行动的物资保障任务^[17-20]。

2.1 偏远地区物资保障

我国幅员辽阔,陆地边境线全长约2.2万公里,海岸线全长约1.8万公里,地理环境复杂多样。虽然平时的物资保障任务具有一定的计划性,但还有很多边防哨所、海岛等长期面临着物资保障难题。很多边防哨所建在一些陡峭山顶,附近山高谷深,难

以修建公路,末端保障物资运送依然需要人搬肩扛。在严重缺氧、高原反应、体能消耗严重的情况下,日常物资补给困难重重,一旦遇到大雪封山,边防一线的后勤保障就会被迫中断,给边防执勤部队造成极大威胁^[21]。如西藏军区某边防营下辖的几个前沿哨所均地处山路崎岖、山势陡峭、氧气稀薄的边境一线,受地形、天气制约,无法实现公路全通,部分哨所执勤战士每天早晨背负食品、饮水等物资上山,直线距离不到1公里,行程却超过3公里,耗时近2h,中午常常吃不到热食。当遭遇恶劣风沙天气或上山通道被大雪覆盖,物资保障更为困难;还有一些边防哨所一年大雪封山期长达8个月左右,需要在4个月的“无雪期”囤积全年的物资。高原几公里的路程如果靠汽车运输大约10min便能配送到位,但是由于到达哨所的最后几公里往往都是崎岖山路,不通公路,靠人力运输在天气条件好的情况下就得需要数小时,恶劣条件下,几乎无法运输,如遇突发情况,后果更是无法设想。海上岛礁远离内陆、四面环海、人迹罕至,供电供水和物资保障等都需要定期补给,如遭遇恶劣海况船舶无法靠岸时,食品、油料、药品等紧缺物资都面临补给难的问题,战备执勤会受到严重影响^[22]。

战场物资无人机配送是未来信息化战争后勤保障发展的重点方向,是适应未来高强度、快节奏战争的重要手段^[23-24]。2018年,国防大学联合地方高校、科研院所成功组织了战场无人化后装保障专项演练^[25]。无人机的优势非常适合用于边防地区极端情况下“最后一公里”的物资配送保障,可以有效解决艰苦地区驻守部队补给困难的问题。一是解决高原边防哨所物资保障难题,使用无人机保障不需要飞行员、不受道路条件制约,能快速飞到补给点位,将紧缺物资送给哨所官兵;二是解决海上岛屿物资保障难题,对于驻守偏远海岛的边防部队,利用无人机的垂直起降能力,可越海实施立体物资投送补给;三是能够跨越各类障碍、快速响应应急需求,能实现不间断作业,实现精确高效保障^[26]。

2.2 战场紧缺物资保障

现代战争已进入“读秒”时代,战场态势瞬息万变,军事物流保障的“卡滞”极有可能形成“瓶颈”,进而影响战争的胜负。物资保障对支撑作战极为重要,也是敌方打击破坏的重点。俄乌冲突初期乌军就接连伏击俄军的后勤保障力量,大大迟滞了俄军的进攻速度。特别是进入新时代,军事物流也面临着全域部署、全域机动、任务多样化的新要求,必须适应现代战争战场“点多、线长、面广”的分布特点,在战略、战役和战术层面上都提供充分的物资保障。特别是在核生化沾染、无人区、敌占区、边远地区等恶劣环境条件下,军事物流需要克服环境复杂、地形险恶、道

路运输条件差等现实困难,保障人员面临着极大的困难和风险。

现代战争节奏对各方面的保障要求更高,直接面临环境险恶交织、投送复杂多变、供应迟缓不济等一系列现实困难,给投送保障工作带来诸多难题。现有战场物资配送模式主要集中于陆上车辆配送、海上船舶配送、空中运输机配送以及多式联运配送^[27-28]。利用无人机独特的空间优势,可以在这些人类难以承受的恶劣环境地区快速机动、垂直起降,实现跨地形精确、快速、隐蔽、持续的运输能力,在不适合人员作业的区域灵活实施战场补给任务,甚至可以根据作战需要成为“流动式”的补给中心,从而有效突破传统意义上的军事物流保障瓶颈。无人机在战场物资投送保障方面具有显著优势。

1) 实施战略战役支援运输。结合战争进程和作战部署,利用无人机配合有人运输机,向担负作战任务的部队紧急投送大批量装备物资,以满足作战需要。

2) 开展战场前沿物资配送。在战场前沿地幅内,使用无人机空投补给弹药油料、药品给养等紧缺物资,实施伴随跟进保障,可大大提升补给效率,同时减少人员伤亡。美国海军陆战队曾在阿富汗战场上使用K-MAX无人直升机进行物资补给,取得良好的作战效果。

3) 支撑特种作战物资保障。以分散隐蔽的方式,为深入敌占区执行敌后渗透、斩首夺点等任务的特种作战部队和空降部队补充武器弹药、设备器材、给养药品等物资。

2.3 战场装备维修保障

随着机械化、信息化和智能化技术的不断发展与应用,现代武器装备的技术含量和作战能力持续提升,对赢得战争胜利尤为关键。战时,武器装备既是我方作战的重要依托,也是敌方打击毁伤的重点目标,对战损装备必须及时快速修复,恢复武器装备的作战能力。特别是现代战争强对抗性和武器装备高密度的使用条件下,对军事装备的战场快速维修需求将更加迫切。武器装备的战损具有很大的随机性,很难事先准确预测各类维修备件的需求,也不可能战场上随时携带充足的维修器材,因而战时往往需要根据武器装备受损情况按需前送所需的维修备件,对器材前送的精确性和时效性要求很高。

在争分夺秒的战场上,无人机在武器装备战场维修保障领域大有可为。一是可以实时传回战场武器装备维修保障需求,方便指挥部门从最近的仓库调拨所需维修器材;二是可以使用无人机“点对点”保障方式快速向战场投送维修器材,以争取宝贵的战争时间,实现受损武器装备的快速修复,使一线受损武器装备重新恢复战斗力;三是对于损坏较为严重的装备器材,可以使用无人机以最快速度运送到后方维修基地修

复,并再次投送到战场,最大限度地节省和利用好战场资源,快速形成对敌方的火力优势。

2.4 战场伤员医疗救护

战场伤病员救护是现代战争后勤保障的重要内容,实现战争“零伤亡”的目标,进而鼓舞军心士气,对赢得战争胜利意义重大。战场救护特别强调在第一时间对伤员予以恰当的救治,以有效降低伤员的伤亡率。传统的战场救护需要依托卫生人员和医疗装备,容易受到道路中断、火力封锁等战场恶劣条件因素制约,难以及时实施抢救,很容易错过战场救治的黄金时期。美军广泛应用无人地面车辆系统执行医疗后勤任务,逐渐重视无人机系统在伤员后送方面的研究和实践^[29],实现不同环境中自动起飞、航行、着陆,实现在救援黄金时间内对伤员的适当护理和有效后送。以色列在黎巴嫩的作战行动中发现空军直升机时,不得不在密集的火力下执行医疗救援任务,这对救援人员的生命造成极大的威胁,从而迫切需要一种无人平台实现战场伤员医疗救护^[30]。

无人机在战场伤病员救治方面已经开展了成功试验,因人机不受地域影响、飞行速度快等性能优势,大大提升了战场救护工作的快速性、灵活性和高效性,在空间层次上进一步加强战场伤员医疗救护能力^[31]。一是可以快速空投急救药品,通过无人机可向战场伤员投送救命药、血液等紧急医疗用品,解决前方急需;二是可以指导战场自救互救,利用无人机的语音通信功能,后方专业医务人员可远程指导现场人员进行医疗急救,大幅提高急救成功率;三是战场伤员后送,无人机可以突破战场环境、交通情况、地形地貌等局限,对需要后送治疗的伤员实现“点对点”后送保障,甚至可以实现多批次快速后送。

3 存在问题与改进建议

虽然无人机投送具有不受道路条件限制的显著优势,可以实现跨地形,精确、快速的投送保障,但受技术发展的限制,无人机在环境适应性、续航和负载能力、智能化水平、多样化应用以及物资投送平台等方面仍有较大提升空间。因此,需进一步深入探索无人机在军事物流领域的典型应用。如何解决无人机存在的技术难题和管理困境将会是未来无人机军事物流应用的重点突破方向。

3.1 提高环境适应性

从无人机应用试验情况看,在高原地区高寒低温环境下会导致电池性能急剧下降、能耗加快,使得飞行距离和时间大大缩短,而海上高盐高湿环境会严重影响无人机的使用寿命,特别是电子元器件的可靠性和稳定性;在强风条件下无人机难以保持正常的飞行

稳定性态势;在战场复杂电磁环境条件下,容易被对手电子干扰或诱捕。目前,由于卫星遥感和载人航空遥感在获取灾害信息时受时空分辨率、外界环境和使用成本的影响,其在灾害应急救援过程中的作用受到限制^[32]。与此同时,由于无人机系统的可靠性以及城市环境中复杂多变的作业场景和人口分布,极易发生撞地事故,给地面人员带来了巨大风险^[33]。以上因素都会导致无人机无法顺利完成军事物流保障任务,需要针对军事应用环境和场景改进技术,设计智能算法对无人机航迹进行规划^[34-35],增强无人机在避障时的智能性与有效性,提高无人机对各类复杂环境条件的适应性。

3.2 提升续航和负载能力

无人机通常采用锂电池供电,除了发动机和飞行控制系统,各种传感器、全球定位系统、机载设备等功耗都较大,限制了无人机的有效作业时间和飞行距离,制约着无人机的使用效果。同时受无人机体积、自身质量、成本等方面的约束,大部分无人机的设计载重能力较小,只能挂载部分体积小、质量轻的物资开展应急配送,投送能力十分有限^[36]。在无人机保障通信过程中,由于无人机节点所处的环境以及接入用户数量的不同,导致能量消耗的时间不同,因此其续航能力也产生差异^[37]。需要重点解决无人机的供电问题,提升电池能量密度,严格控制系统和机载设备功耗,探索应用太阳能充电技术进行持续充电,不断提升无人机的续航能力和负载能力。

3.3 增强智能化水平

无人机在飞行执行任务过程中,在路径规划、飞行控制等方面可以依赖自身预设的智能化算法实现自主飞行。但在起降、吊装、充电等一些工作阶段仍需人工控制,对操作人员技术水平要求较高,而且限制了无人机执行任务的范围。需要进一步采用人工智能、大数据分析、数据链技术、飞控导航技术、多机协同技术等^[38-40],不断提升无人机的自主起降、自动识别、自适应巡航等智能化水平。随着“无人机机巢”等概念的落地与发展,无人机在军事物流应用中将进一步提升常态化和智能化水平^[41]。

3.4 实现多样化用途

目前,受限于无人机电池能量、机载设备质量等限制,大部分无人机功能比较单一,只能执行一些特定的专用任务,部队不得不携带大量不同用途的无人机。但未来战场对无人机的需求是多样化的,希望无人机在具备物资配送等功能之外,同时具备战场情报侦察、交通环境监测、应急通信中继、夜间应急照明等多种功能。完善成本约束下面向任务需求的无人机高效配置以及可远距离长时间作业的无人机系统^[42],从而形成遂行多样化任务的能力^[43-44]。

3.5 探索集群配送技术

无人机集群是无人机技术和集群智能融合发展的成果。与单个无人机相比,无人机集群具有平均成本低、生存能力好、综合能力强等突出优势。美国国防部在《无人机系统路线图 2005—2030》指出,到2025年以后,无人机将具有集群战场认知能力^[45]。目前,国内复杂体系集群智能技术整体尚处于探索发展阶段,无人机集群在实践应用方面仍存在一些技术难题,如自组织网络安全与可靠性、集群任务规划与调整控制等。应加强群体智能技术在无人机集群物资投送保障领域的应用研究,围绕集群智能感知、智能通信、智能决策等方面,重点突破目标识别跟踪技术、高动态网络自组网技术、集群分布式任务分配技术、动态环境下的航迹规划技术、基于仿生的集群智能算法等关键技术,全面提升无人机集群物资保障的智能化水平^[46]。此外,将云计算、物联网、大数据技术及新一代无人化技术应用于物流保障领域,突破设备智能协同,训练使无人化物流装备能得到精确保障,实现数据流程与物流保障流程的无缝链接并相互驱动^[47]。提升多无人机任务完成效率,缩短任务完成时间,需要根据人们的需求对任务进行协同分配,以获取最大效益为目的,实际完成无人设备的集群控制、状态监控和应急处置等操作^[48]。构建全方位遂行保障任务的动态体系,实现高度协同的无人机群物资投送保障任务^[49-50]。

3.6 统一物资投送平台

无人机体积较小,通常采用挂载悬吊等方式实施物资投送,但目前缺少统一的无人机投送平台。有的直接挂载物资飞行,而物资原有包装未考虑空气动力学要求,对大风条件下无人机飞行的稳定性造成较大影响;有的虽然提供了物资负载平台,但不同厂家的无人机投送平台内部尺寸设计不符合军用包装标准,不便于部队应用,需要基于部队常用应急保障物资的包装尺寸,研制飞行稳定性好、自质量小、容量大、强度高的系列标准化组合化物资投送平台。对主要装备设备和武器平台加装传感器等自动识别终端装置,进行数据引接融合和挖掘分析^[51],实现物资、弹药、油料等物资的规范管理,促进军地物流资源要素共享利用^[52],更好地满足无人机物资投送保障需要。

4 结语

随着智能化技术的飞速发展和作战形式的不断革新,无人机成为现代智能化技术的突出代表,强调了信息主导、智能决策、系统集成和高效快捷,很好地契合了未来军事物流“需求实时感知、资源可视掌控、系统快速响应、远程立体投送、精确快速配送”^[18]的特点和要求,大大推动了军事物流保障模

式的创新。为高山海岛、高原高寒、荒漠丛林等复杂的地理环境条件下的物资保障难题提供了适合的解决方案。

着眼未来战场保障需求,朝着“快速、多维、立体、机动”的方向创新研究保障方式,加强突破无人机的环境适应性、续航和负载能力、智能化水平等关键技术,让科技为胜战能力赋能,进一步提升无人机在军事物流领域的应用保障效能。不断适应现代战争对抗的新情况与新要求,持续发挥物资投送保障对打赢战争的重要支撑作用。

参考文献:

- [1] 李绍斌,姜大立,付高阳,等. 战场物资无人机配送研究[J]. 国防科技, 2019, 40(3): 98-104
LI Shao-bin, JIANG Da-li, FU Gao-yang, et al. Review and Prospect of Research on UAV Delivery of Battlefield Materials[J]. National Defense Science & Technology, 2019, 40(3): 98-104
- [2] 刘正元,王清华. 战时军队物资保障中无人机配送的应用[J]. 物流技术, 2020, 39(8): 128-132
LIU Zheng-yuan, WANG Qing-hua. Application of UAV Distribution in Wartime Military Material Support[J]. Logistics Technology, 2020, 39(8): 128-132
- [3] 马永红. 无人机在物流末端配送中的应用研究[J]. 物流科技, 2022, 45(11): 56-58
MA Yong-hong. Research on the Application of UAV in Logistics Terminal Distribution[J]. Logistics Sci-Tech, 2022, 45(11): 56-58
- [4] 施诗,陈凯婷. 无人机在战场上的应用和展望[J]. 科技与创新, 2020(4): 154-155.
SHI Shi, CHEN Kai-ting. Application and Prospect of UAV in Battlefield[J]. Science and Technology & Innovation, 2020(4): 154-155.
- [5] 中共中央举行新闻发布会介绍解读党的二十大报告[R/OL]. [2022-10-25]. <http://cpc.people.com.cn/20th/GB/448350/448434/index.html>
The Central Committee of the Communist Party of China Held a Press Conference to Introduce and Interpret the Report of the 20th National Congress of the party[R/OL]. [2022-10-25]. <http://cpc.people.com.cn/20th/GB/448350/448434/index.html>
- [6] 孙涛茜. 京东物流:智能物流体系中的配送机器人与无人机技术[J]. 机器人产业, 2022(5): 56-58.
SUN Pu-qian. JINGDONG Logistics: Distribution Robot and UAV Technology in Intelligent Logistics System[J]. Robot Industry, Robot Industry, 2022(5): 56-58.
- [7] 孙捷. 智慧物流背景下无人机配送发展分析[J]. 价值

- 工程, 2019, 38(29): 218-219.
- SUN Jie. Analysis on the Development of UAV Distribution under the Background of Intelligent Logistics[J]. Value Engineering, 2019, 38(29): 218-219.
- [8] 梁璐莉, 吕文红, 葛家丽, 等. 无人机物流发展综述[J]. 物流技术, 2018, 37(12): 41-45.
- LIANG Lu-li, LYU Wen-hong, GE Jia-li, et al. Overview of Development of UAV Logistics[J]. Logistics Technology, 2018, 37(12): 41-45.
- [9] 任新惠, 王佳雪. 城市物流无人机低空空域交通量预测[J]. 交通信息与安全, 2022, 40(1): 97-105.
- REN Xin-hui, WANG Jia-xue. Forecasting Traffic Volume of Urban Logistics Drones in Low-Altitude Airspace[J]. Journal of Transport Information and Safety, 2022, 40(1): 97-105.
- [10] 谷金蔚, 刘旭. 无人机物流分析与应用研究[J]. 科技资讯, 2018, 16(18): 131-132.
- GU Jin-wei, LIU Xu. Research on Logistics Analysis and Application of UAV[J]. Science & Technology Information, 2018, 16(18): 131-132.
- [11] 李宏. 无人机在物流领域中运用研究[J]. 花炮科技与市场, 2018, 24(4): 205.
- LI Hong. UAV Application and Analysis in Logistics Industry[J]. Fireworks Technology and Market, 2018, 24(4): 205.
- [12] 陈明舟. 无人机物流配送服务动向[J]. 物流工程与管理, 2020, 42(10): 90-92.
- CHEN Ming-zhou. Trends in Logistics Delivery Services Using UAV[J]. Logistics Engineering and Management, 2020, 42(10): 90-92.
- [13] 赵焱飞, 郑雨欣. 城市物流无人机飞行任务剖面构建与优化[J]. 飞行力学, 2021, 39(3): 54-59.
- ZHAO Yi-fei, ZHENG Yu-xin. Construction and Optimization of Flight Mission Profile of Urban Logistics UAV[J]. Flight Dynamics, 2021, 39(3): 54-59.
- [14] 吕宁. 无人机在物流中的应用[J]. 科技通报, 2021, 37(2): 106-108.
- LYU Ning. Application of UAV in Logistics[J]. Bulletin of Science and Technology, 2021, 37(2): 106-108.
- [15] 白云鹏. 无人机配送技术应用前景分析[D]. 深圳: 深圳大学, 2017.
- BAI Yun-peng. Analysis on Application Prospect of UAV Distribution Technology[D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2017.
- [16] 黎聪, 谢莉. 物流无人机技术在广西农村配送的可行性研究及实际应用[J]. 物流工程与管理, 2022, 44(9): 31-33.
- LI Cong, XIE Li. Feasibility Study and Practical Application of Logistics UAV Technology in Rural Distribution in Guangxi[J]. Logistics Engineering and Management, 2022, 44(9): 31-33.
- [17] 张建东, 吴兆东. 外军物资保障领域无人化装备发展现状及对我军的启示[J]. 物流技术, 2018, 37(5): 150-152.
- ZHANG Jian-dong, WU Zhao-dong. Current Development Situation of Unmanned Equipment in Material Support by Foreign Armies and Its Enlightenment to us[J]. Logistics Technology, 2018, 37(5): 150-152.
- [18] 刘威. 我国无人机发展现状及在后勤保障领域的应用[J]. 无线互联科技, 2020, 17(3): 5-6.
- LIU Wei. Current Situation of UAV Development in China and Its Application in the Field of Logistics Support[J]. Wuxian Hulan Keji, 2020, 17(3): 5-6.
- [19] 朱启豪, 干静, 吕冰心. 无人机物流模式及机型概念设计[J]. 设计, 2018(3): 20-21.
- ZHU Qi-hao, GAN Jing, LYU Bing-xin. Conceptual Design of Uav Logistics Mode and Uav Products[J]. Sheji, 2018(3): 20-21.
- [20] 卢姗姗, 王伟. 无人机在海上救援行动中的应用现状及发展展望[J]. 医疗卫生装备, 2019, 40(2): 94-98.
- LU Shan-shan, WANG Wei. Application and Development Prospect of Unmanned Aerial Vehicle in Maritime Search and Rescue Operation[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2019, 40(2): 94-98.
- [21] 于文胜. 无人机在陆地边境管控中的应用展望[J]. 武警学院学报, 2015, 31(3): 18-21.
- YU Wen-sheng. A Research of UAV Application in Land Border Control[J]. Journal of Chinese People's Armed Police Force Academy, 2015, 31(3): 18-21.
- [22] 张晓峰, 伍瑞昌, 王运斗, 等. 军用机器人在卫勤领域的应用及我军的现状及发展对策[J]. 医疗卫生装备, 2011, 32(11): 93-95.
- ZHANG Xiao-feng, WU Rui-chang, WANG Yun-dou, et al. Application of Military Robot and Its Development in China[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2011, 32(11): 93-95.
- [23] 冯逸飞, 吕振义, 蔡懿灵, 等. 基于无人机搜救平台的海上落水伤员救援决策演练设计[J]. 解放军医院管理杂志, 2019, 26(12): 1133-1135.
- FENG Yi-fei, LYU Zhen-yi, CAI Yi-ling, et al. Design of the Decision-Making Drill for the Rescue of the Wounded Drowning at Sea Based on the UAV Search and Rescue Platform[J]. Hospital Administration Journal of Chinese PLA, 2019, 26(12): 1133-1135.
- [24] 李绍斌, 姜大立, 杨西龙, 等. 基于混合遗传算法的多基地多无人机场物资配送任务分配[J]. 装甲兵工程学

- 院学报, 2019, 33(2): 10-19.
- LI Shao-bin, JIANG Da-li, YANG Xi-long, et al. Multi-base and Multi-UAV Battlefield Material Distribution Task Assignment Based on Hybrid Genetic Algorithm[J]. Journal of Armored Forces, 2019, 33(2): 10-19.
- [25] 王逸涛, 许志晖. 体系作战条件下无人化后装保障演练成功实施[N]. 新华社, 2018-10-23.
- WANG Yi-tao, XU Zhi-hui. Successful Implementation of Unmanned Afterloading Support Drill under System Combat Conditions[N]. Xinhua News Agency, 2018-10-23.
- [26] 董炳艳, 张自强, 徐兰军, 等. 智能应急救援装备研究现状与发展趋势[J]. 机械工程学报, 2020, 56(11): 1-25.
- DONG Bing-yan, ZHANG Zi-qiang, XU Lan-jun, et al. Research Status and Development Trend of Intelligent Emergency Rescue Equipment[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2020, 56(11): 1-25.
- [27] 朱泉钢. 中东地区军用无人机的扩散、应用及其安全影响[J]. 西亚非洲, 2022(5): 109-134.
- ZHU Quan-gang. The Diffusion, Application and Security Impact of Military Unmanned Aerial Vehicles in the Middle East[J]. West Asia and Africa, 2022(5): 109-134.
- [28] 刘佳明. “中转站+无人机空运”在战术投送保障中的运用[J]. 军事交通学院学报, 2019, 21(1): 60-64.
- LIU Jia-ming. Application of Transit Station and Unmanned Aerial Vehicle Transport Modes in Tactical Delivery Support[J]. Journal of Academy of Military Transportation, 2019, 21(1): 60-64.
- [29] 赵润州, 侍才洪, 陈炜, 等. 美军战场救援机器人系统研究进展[J]. 军事医学, 2013, 37(4): 318-320.
- ZHAO Run-zhou, SHI Cai-hong, CHEN Wei, et al. Development of US Army's Rescue Robot Systems[J]. Military Medical Sciences, 2013, 37(4): 318-320.
- [30] 郭月, 赵新华, 陈炜, 等. 救援机器人的研究现状与发展趋势[J]. 医疗卫生装备, 2014, 35(8): 105-108.
- GUO Yue, ZHAO Xin-hua, CHEN Wei, et al. Research Status and Development Tendency of Disaster Rescuing Robot[J]. Chinese Medical Equipment Journal, 2014, 35(8): 105-108.
- [31] 张峰, 佟巍, 周立冬, 等. 国外救援无人机的发展现状[J]. 中国医疗设备, 2016, 31(6): 175-177.
- ZHANG Feng, TONG Wei, ZHOU Li-dong, et al. Development Status of Rescue Unmanned Aerial Vehicle in Abroad[J]. China Medical Devices, 2016, 31(6): 175-177.
- [32] 雷添杰, 李长春, 何孝莹. 无人机航空遥感系统在灾害应急救援中的应用[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(1): 178-183.
- LEI Tian-jie, LI Chang-chun, HE Xiao-ying. Application of Aerial Remote Sensing of Pilotless Aircraft to Disaster Emergency Rescue[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(1): 178-183.
- [33] HAN Peng, YANG Xin-yue, ZHAO Yi-fei, et al. Quantitative Ground Risk Assessment for Urban Logistical Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Based on Bayesian Network[J]. Sustainability, 2022, 14(9): 95-97.
- [34] 杜茂康, 罗娟, 李博文. 基于多车场的车载无人机协同配送路径优化[J]. 系统工程, 2021, 39(6): 90-98.
- DU Mao-kang, LUO Juan, LI Bo-wen. Research on Cooperative Delivery Route Optimization of Vehicle-Carried Drones Based on Multi-Depot[J]. Systems Engineering, 2021, 39(6): 90-98.
- [35] 李翰, 张洪海, 张连东, 等. 城市区域多物流无人机协同任务分配[J]. 系统工程与电子技术, 2021, 43(12): 3594-3602.
- LI Han, ZHANG Hong-hai, ZHANG Lian-dong, et al. Multiple Logistics Unmanned Aerial Vehicle Collaborative Task Allocation in Urban Areas[J]. Systems Engineering and Electronics, 2021, 43(12): 3594-3602.
- [36] 海军, 高红广. 部队开展运输投送无人机应用须关注的重点问题[J]. 国防交通工程与技术, 2020, 18(6): 20-22.
- HAI Jun, GAO Hong-guang. Important Problems Worth Our Great Attention in the Application of Transportation-and-Delivery UAVs[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defense, 2020, 18(6): 20-22.
- [37] 权治, 李艳冠, 李保罡, 等. 空中应急通信网络中基于多属性的关键节点识别[J]. 无线电工程, 2022, 52(5): 904-910.
- QUAN Zhi, LI Yan-guan, LI Bao-gang, et al. Key Node Identification Based on Multiple Attributes in Air Emergency Communication Network[J]. Radio Engineering, 2022, 52(5): 904-910.
- [38] 李绍斌, 姜大立, 方海洋, 等. 基于车载模式的战场物资多无人机联合配送任务分配研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2020, 34(3): 19-25.
- LI Shao-bin, JIANG Da-li, FANG Hai-yang, et al. Research on Task Allocation of Multi-UAV Joint Distribution of Battlefield Materials Based on Vehicle Mode[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2020, 34(3): 19-25.
- [39] 刘钦, 袁茵. 物流配送无人化的关键技术分析[J]. 河南科技, 2021(6): 14-17.
- LIU Qin, YUAN Yin. Analysis on the Key Technology

- of Unmanned Logistics Distribution[J]. Henan Science and Technology, 2021(6): 14-17.
- [40] 车彦卓. 无人机全面助力“应急产业”迈进智慧化时代[J]. 中国安防, 2021(9): 72-75.
CHE Yan-zhuo. Unmanned Aerial Vehicles Comprehensively Help the "Emergency Industry" to Step into a Smart Era[J]. China Security & Protection, 2021, 2021(9): 72-75.
- [41] 钟建卫, 李林, 吕偿, 等. 多用途固定翼无人机及其远程控制系统研究[J]. 中国新技术新产品, 2018(3): 28-30.
ZHONG Jian-wei, LI Lin, LYU Chang, et al. Research on Multi-purpose Fixed Wing UAV and Its Remote Control System[J]. New Technology & New Products of China, 2018(3): 28-30.
- [42] 肖和业, 杨建峰, 白俊强, 等. 面向任务需求的模块化无人机配置方法研究[J/OL]. 航空学报: 1-17[2022-12-03]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1929.v.20220710.1600.022.html>.
XIAO He-ye, YANG Jian-feng, BAI Jun-qiang, et al. Study on Modular UAVs Configuration Method Responded to Task Requirements[J/OL]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica: 1-17[2022-12-03] <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1929.v.20220710.1600.022.html>.
- [43] 李春鹏, 张铁军, 钱战森, 等. 多用途无人机模块化布局气动设计[J]. 航空学报, 2022, 43(7): 103-118.
LI Chun-peng, ZHANG Tie-jun, QIAN Zhan-sen, et al. Aerodynamic Design of Modular Configuration for Multi-Mission Unmanned Aerial Vehicle[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2022, 43(7): 103-118.
- [44] Headquarters. United states air force unmanned aircraft systems flight plan 2009-2047[R]. Washington: DC USAF, 2009.
- [45] 牛轶峰, 肖湘江, 柯冠岩. 无人机集群作战概念及关键技术分析[J]. 国防科技, 2013, 34(5): 37-43.
NIU Yi-feng, XIAO Xiang-jiang, KE Guan-yan. Operation Concept and Key Techniques of Unmanned Aerial Vehicle Swarms[J]. National Defense Science & Technology, 2013, 34(5): 37-43.
- [46] 谭威, 胡永江, 李文广, 等. 多无人机协同任务规划研究综述[J]. 微型电脑应用, 2021, 37(9): 189-192.
TAN Wei, HU Yong-jiang, LI Wen-guang, et al. A Survey of Multi-UAV Cooperative Mission Planning[J]. Microcomputer Applications, 2021, 37(9): 189-192.
- [47] 段晓稳, 李波, 雒浩然. 基于云架构的有/无人机协同作战任务分配方法[J]. 数字技术与应用, 2021, 39(7): 164-168.
DUAN Xiao-wen, LI Bo, LUO Hao-ran. Research on Manned and Unmanned Aerial Vehicle Coordinated Attack Task Allocation Based on Cloud Architecture[J]. Digital Technology and Application, 2021, 39(7): 164-168.
- [48] 肖骅, 张天宇, 罗凯文, 等. 军事物流无人化物资保障实验室建设探索与实践——基于综合演练实践能力评价[J]. 物流科技, 2022, 45(12): 143-145.
XIAO Hua, ZHANG Tian-yu, LUO Kai-wen, et al. Exploration and Practice of Unmanned Material Support Laboratory Construction in Military Logistics Management—Based on the Evaluation of Comprehensive Drill Practice Ability[J]. Logistics Sci-Tech, 2022, 45(12): 143-145.
- [49] 孙昱, 周京京, 魏耀聪, 等. 基于人工势场的配送无人机集群动态航迹规划[J]. 军事交通学报, 2022, 1(6): 80-85.
SUN Yu, ZHOU Jing-jing, WEI Yao-cong, et al. Dynamic Path Planning of Distribution UAV Cluster Based on Artificial Potential Field[J]. Journal of Military Transportation, 2022, 1(6): 80-85.
- [50] 连尧, 丁皓, 朱建民. 现代军事物流信息系统建设总体构想[J]. 包装工程, 2022, 43(19): 291-296.
LIAN Yao, DING Hao, ZHU Jian-min. General Conception of Modern Military Logistics Information System Construction[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(19): 291-296.
- [51] 曹继霞, 杨建明, 任杰. 应急物流军地协同形成机制研究[J]. 军事交通学院学报, 2018, 20(9): 60-64.
CAO Ji-xia, YANG Jian-ming, REN Jie. Formation Mechanism of Civil-Military Coordination for Emergency Logistics[J]. Journal of Academy of Military Transportation, 2018, 20(9): 60-64.