

美国侧边吊臂发射回收无人机的特点及应用前景

洪达, 郑震山, 周磊

中国人民解放军 92728 部队, 上海 200346

摘要 对侧边吊臂系统的吊臂、滑轨、滑动回收器等组成, 发射与回收无人机的原理, 设计与使用的主要特点, 以及共轨集成设计、能量与过载控制、进近引导与控制、自动复飞决策等主要关键技术进行了分析, 并与其他无人机发射回收方式进行对比, 分析其在非航母舰艇上应用的前景, 认为其可提升非航母编队远程察打一体的任务能力。

关键词 侧边吊臂; 舰载无人机; 发射回收

近年来, 舰载无人机成为世界海军强国发展的重点, 舰载固定翼无人机相比相同重量等级的旋翼或复合布局飞行器, 具有续航时间长、速度快等优势, 但驱护舰艇直升机甲板空间有限, 发射回收空间和条件有限。“侧边吊臂”(SideArm)系统由美极光飞行科学公司研发, 是一套能水平发射、回收重达 500 kg 无人机的小型机械装置, 可实现无人机安全发射和受控减速回收, 兼容当前和未来的战术无人机, 适用于海上或陆地平台, 旨在为美军全球部队提供海上或陆地平台快速发射和回收无人机的能力。该系统已于 2016 年 12 月在实验室环境下开展了全尺寸回收技术演示验证, 反复捕获了洛克希德·马丁公司重约 181 kg 的“狂怒”无人机, 并可回收重达 499 kg 的无人机, 超出美国防高级研究计划

局(DARPA)的设计目标, 为在车辆、舰船和固定基地的部署铺平了道路^[1-4]。

1 研究背景

1.1 侧边吊臂发射回收无人机技术发展需求

“侧边吊臂发射并回收无人机”项目是 DARPA 于 2013 年启动“战术侦察节点(TERN)”项目的子项目, 原计划 2017 年完成, 美国海军研究办公室也参与项目管理^[5-6]。该项目旨在发展可搭载驱逐舰、护卫舰等非航母水面作战舰艇的中空长航时察打一体无人机, 能力与陆基“捕食者”无人机相当: 携带 272 kg 有效载荷的情况下, 可在距离舰船 1700 km 范围内执行持久情报监视侦察和打击任

收稿日期: 2020-08-20; 修回日期: 2020-10-31

作者简介: 洪达, 工程师, 研究方向为无人机总体、装备论证, 电子邮箱: honda198829@126.com

引用格式: 洪达, 郑震山, 周磊. 美国侧边吊臂发射回收无人机的特点及应用前景[J]. 科技导报, 2022, 40(5): 132-137; doi:10.3981/j.issn.

1000-7857.2022.05.015

务;最大有效载重 450 kg;可支持在 5 级海况下起降;不需要对母舰进行耗时长、规模大和不可逆的改造^[7]。侧边吊臂发射并回收无人机舰载和陆基使用场景构想如图 1^[8]所示。



图1 舰载和陆基使用场景构想

从作战需求角度看,该项目的特点在于:(1) 适载舰船平台广。美军现役巡洋舰、驱逐舰、护卫舰、濒海战斗舰等无需大的改装即可搭载无人机,将极大地提高美非航母水面舰艇编队远程侦察打击能力。(2) 任务领域广。不仅涵盖传统情报搜集、战场监视、战术侦察、电子战、通信中继等任务领域,还可拓展承担察打一体作战任务。(3) 重点区域全覆盖。美国国防高级研究计划局研究认为,全球 97% 的陆地区域位于距海岸线不超过 1700 km 范围内。TERN 无人机由距海岸线 100 n mile (1 n mile=1852 m) 的舰船上起飞时,可有效覆盖全球 95% 的陆地面积。

项目为美国海军航空作战能力分布式部署创造了条件,极大地提升了作战的隐蔽性和灵活性,有望推动海上作战样式变革。

1.2 项目进展情况

侧边吊臂系统发射/回收关键技术攻关得到了 TERN 项目的支持,极光飞行科学公司于 2013 年 10 月获得 280 万美元的合同,并于 2016 年 12 月在实验室环境下开展了全尺寸回收技术演示验证,试验情况于 2017 年 2 月 6 日公布,DARPA 该项目负责人在新闻发布会上表示“正在寻找潜在合作伙伴,并在探索将其用于其他无人机系统。”DARPA 于 2017 年底根据官方网站的新闻访问量,将其列为“2017 年度最受关注的十大科技项目”。但公开资料未见对侧边吊臂系统发射/回收无人机技术的后续支持,目前也无更新报道。

1.3 与其他回收技术途径的对比

从起降方式看,非航母舰载无人机除了旋翼、混合布局类可依靠自身动力起降外,借助发射回收装置也是较为常见的技术途径。20 世纪 70 年代以来,以美国为代表的各国海军先后发展出撞网、垂绳/天钩等回收方式^[9-11]。

其中,撞网回收是指在舰船甲板尾部设置拦阻网,无人机在引导设备的引导下撞向拦阻网,实现回收。受舰上安装位置、空间以及无人机抗过载能力限制,其回收无人机重量相对有限,典型代表美军“先锋(RQ-2A)”无人机是实际回收重量最大的无人机,为 170 kg。每次撞网均会对无人机造成一定损伤,且无人机从舰船尾部进入、航向正对舰船上层建筑,舰尾流影响较大,容易失控,造成后果严重。目前,这种回收方式已基本淘汰。无人机撞网回收方式如图 2^[9]所示。



图2 无人机撞网回收方式

垂绳/天钩回收是指在舰船尾部舷侧布置发射装置和天钩回收系统,无人机利用翼尖勾取垂绳实现回收。受回收原理、装置尺寸和重量限制,回收无人机重量较小,典型代表为美军“扫描鹰”“黑杰克(RQ-21A)”无人机,其重量分别为 30 和 60 kg 级。其垂绳位于舷外,无人机从舰船尾部侧向进入,回收失效复飞逃逸空间大。美军“扫描鹰”无人机自 2004 年使用以来,舰上发射回收已超过 1 万次,未见人员、舰船损坏事故的报道,安全性好。无人机垂绳/天钩回收方式如图 3^[9]所示。

各种舰载固定翼无人机回收技术途径对比见表 1。

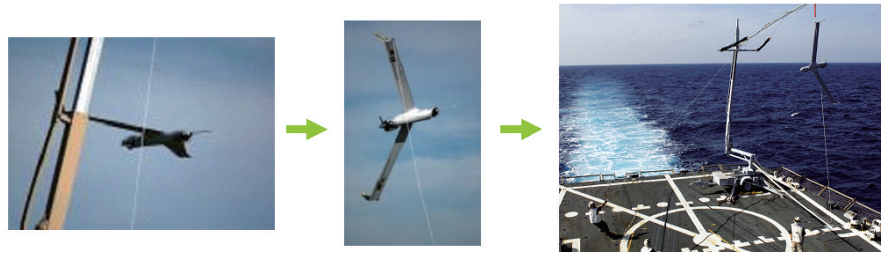


图3 美军“扫描鹰”无人机采用垂绳/天钩方式回收

表1 舰载固定翼无人机回收技术途径对比

回收方式	撞网	垂绳/天钩	侧边吊臂
典型应用	“先锋(RQ-2A)”无人机	“扫描鹰”“黑杰克(RQ-21A)”无人机	“狂怒”无人机
实际回收无人机重量/kg	170	30/60	181
预估可回收无人机重量/kg	200	60	500
飞行速度/(m·s ⁻¹)	40~60	30~60	30~60
回收场地需求/(m×m)	网高8×网宽20	回收底座2×2,发射底座2×1	底座1.5×2
引导与控制精度要求/m	横向精度±5,垂向精度±2	横向精度±1.5,垂向精度±3	横向精度±1,垂向精度±0.5
适应海况	3级以下	3级以下	5级以下
母舰资源需求	较大	一般	一般
机上增加设备	—	翼尖回收钩	机背发射/回收钩
技术难点	近场高精度导航、回收网阻尼系统	近场高精度导航、回收机构阻尼系统	近场高精度导航、回收机构阻尼系统、回收姿态控制
回收失效情况下可预见损失程度	较大	较小	较小
回收成功率	较低	较高	较高

表1显示,从回收能力看,侧边吊臂方式可回收的无人机重量范围最大,垂绳/天钩方式相对较小;从回收安全性看,侧边吊臂、垂绳/天钩方式都较好;从占用母舰空间看,撞网方式相对大,侧边吊臂、垂绳/天钩方式相对较小;从回收适应海况条件看,侧边吊臂可适应更高海况;从技术成熟度看,撞网方式已淘汰,垂绳/天钩方式已成熟应用,侧边吊臂尚处于技术攻关阶段。因此,侧边吊臂是具有较高应用潜力的舰载固定翼无人机回收方式。

2 侧边吊臂发射并回收无人机技术初步分析

2.1 系统组成

侧边吊臂发射并回收无人机(以下简称“侧边吊臂”)系统外形类似吊车,主要由吊臂(含动力系统)、滑轨(含适配、传动装置)及滑动回收器(含水平吊绳、缓冲防护网架)组成^[12-13](图4)。

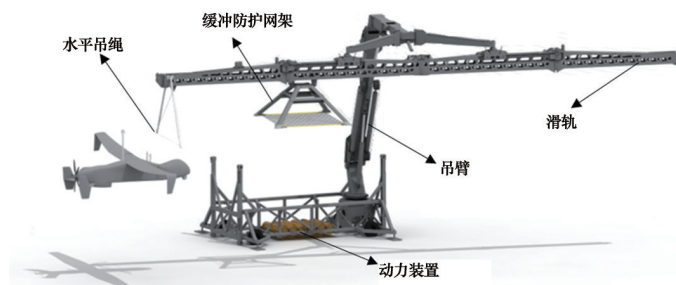


图4 侧边吊臂发射回收无人机系统示意

极光飞行科学公司公布的专利“无人机导轨式回收系统”提及侧边吊臂系统可采用液压、气动、电力、弹簧等多种动力源,且对无人机动力量(螺旋桨或喷气动力)也无限限制。基于DARPA公布的原理图分析,其目前方案应采用压缩气体作为动力源;构想场景中的无人机采用螺旋桨动力,其试验中发射回收的“狂怒”无人机正常情况下也采用螺旋桨动力。

2.2 工作原理

发射时,动力系统驱动滑轨牵引无人机加速,无人机获得起飞速度后与滑轨解锁继续前飞,牵引装置缓冲制动,并在动力系统反向牵引下复位。其中,无人机的起飞速度根据无人机的重量和气动性能确定,侧边吊臂装置可提供的无人机的发射条件约束为系统的能量输出,按照500 kg无人机可获得50 m/s起飞速度进行推算,装置可提供的发射能量输出估计为625 kJ。

回收时,预先安装滑动回收器,无人机由差分GPS引导进近,吊臂也可能对舰船运动进行补偿,无人机背部挂钩首先钩住滑轨上的水平吊绳(若挂绳失败,无人机自动复飞),在拦阻拉力和惯性共同作用下减速、上摆抬头、冲向缓冲防护网架,机头上的倒刺挂住防护网,实现两点稳定制动,之后受控减速,完成回收。装置在回收过程实现了无人机飞行动能的耗散/回收,其可承受的无人机的能量级与发射过程相当。回收过程无人机运动及回收装置机构运行原理如图5^[14]所示。

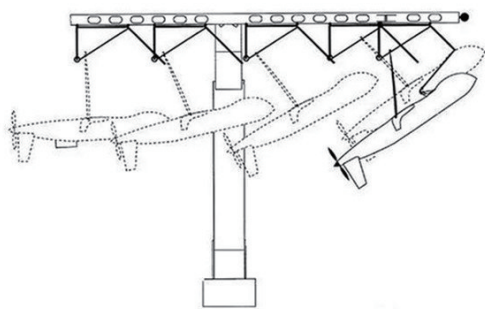


图5 回收过程原理示意

2.3 主要特点

上述侧边吊臂发射及回收无人机有如下特点。

1) 设计巧妙,结构紧凑。发射与回收系统共

架,通过防护网避免无人机回收过程中与滑轨碰撞,并实现缓冲制动均匀可控,整体占用空间小,适合部署于舰船或岛礁、山区等起降空间狭小的地区。侧边吊臂系统、无人机状态可折叠。

2) 可回收重量范围大。目前其回收上限为500 kg,较“扫描鹰”“黑杰克(RQ-21A)”等垂绳/天钩回收小型固定翼无人机(60 kg以下)具有更强的任务能力。

3) 部署和使用灵活。系统相对独立,对外界基础设施依赖少,可折叠封装于标准6 m集装箱中,便于由卡车、轮船、铁路、C-130运输机和CH-47直升机运输,仅需2~4人即可在数分钟内完成部署^[14]。

4) 操作维护相对简便。吊臂可伸缩、360°旋转、折叠,便于挂装无人机和滑动回收器。

对进近引导和无人机控制精度要求高。5级海况下,引导对接垂向精度 ± 0.5 m,横向精度 ± 1 m。

2.4 主要关键技术

侧边吊臂系统较为新颖,为实现无人机短距发射和安全回收,发射回收装置与无人机控制系统必须解决以下关键技术。

1) 短距发射回收装置共轨集成设计技术。侧边吊臂系统短距发射与回收装置共轨,需要实现系统高度集成、发射/回收功能快速切换,对总体设计提出了较高要求。

2) 发射/回收能量与过载控制技术。侧边吊臂系统发射/回收无人机过程中,不仅需要动力系统提供能量快速、可控释放和均衡吸收,还需合理设计横绳/缓冲防护网两级阻尼系统,实现滑动回收器与无人机速度啮合,确保发射/回收过载在无人机可承受范围内。

3) 高精度进近引导与控制技术。侧边吊臂系统回收舰载无人机过程中,无人机挂钩、水平吊绳长度均较短,舰船、吊臂也都处于运动状态,引导对接窗口小;无人机处于舰尾流和近海面复杂流场区域,对控制系统要求高^[15-18]。

4) 自动复飞决策技术。自动复飞决策是无人机着陆、着舰必须具备的能力,相比其他回收方式,侧边吊臂系统为无人机提供的逃逸复飞空间更为

有限,仅为海平面以上、滑轨以下以及远离舰船的区域,对无人机自动判断态势、决策复飞的能力提出了更高要求^[19-20]。

2.5 技术成熟度分析

极光飞行科学公司在实验室环境下开展了全尺寸回收技术演示验证,试验场景如图6^[8]所示。试验中无人机拆除了动力系统,由另配的发射装置、瞄准滑动回收器近距离弹射,无人机自身无姿态调整、直接回收。分析认为,该试验重点针对回收过程,未对发射回收装置一体化设计、精确进近引导与控制等技术进行验证。



图6 侧边吊臂回收无人机试验场景

试验中回收的无人机“狂怒”无人机重量为181 kg,侧边吊臂项目发射回收无人机重量目标为410 kg,可推测该试验在无人机重量不变的条件下,通过设定更大的发射速度,验证了回收装置具备更高回收能级,进而推算出回收装置可回收以正常速度飞行、重量更重的无人机。

综合上述情况,上述试验主要针对最关键的回收技术进行了验证,但未实现全系统、全功能、全过程的集成验证,技术成熟度为4级。

3 侧边吊臂技术应用前景分析

侧边吊臂技术为固定翼无人机舰上发射回收提供了一种全新的可选技术途径。从目前技术水平看,可发射回收重量至少为500 kg级的无人机,有效载重可达250 kg(含任务载荷、燃油),最大续航时间预计可达15 h(典型配置任务载重100 kg情况下)。可搭载光电、雷达、电子侦察、通信中继以及磁探载荷,遂行常态化广域海上侦察监视、目标指示、电子侦察、通信中继、辅助探潜、火力校射及

毁伤评估等任务,有效地增强了非航母编队战场态势综合感知能力和生存能力,充分发挥了编队对海远程精确打击能力,满足了海上多维兵力指挥协同需要。也可搭载航炮、小型空地导弹,对可疑或敌对目标实施警示驱离,对防空能力较弱的小型水面舰船、武装渔船等时敏目标及岛岸目标实施火力打击,还可适当选择平台构型,实现快速响应,提升非航母编队远程察打一体的任务能力。

4 结论

侧边吊臂项目是美军立足持久情报、监视、侦察和精确打击能力需求开展的关键技术攻关项目,具有设计巧妙、结构紧凑、可回收重量范围大、部署和使用灵活、操作维护相对简便等特点,是一种具有较高应用潜力的、固定翼无人机在非航母舰艇上的发射回收方式,对提升海上驱护编队广域侦察监视和快速响应打击能力具有重要意义。通过对其开展特点和应用前景分析,可得到如下启示。

1) 系统功能架构调整,可带来总体方案创新。为实现无人机在狭小空间起降,不仅可依靠无人机自身垂直起降,还可利用发射回收装置。传统发射回收装置相对分离,分别完成各自功能;而侧边吊臂系统将发射回收装置整合,一个系统兼顾2种功能,通过更换系统接口,实现发射与回收使用模式的切换,从而实现了总体方案的创新。

2) 系统部分的创新,可实现整体能力的跃升。固定翼无人机较旋翼飞行器在性能上有明显优势,鉴于舰船上的起降条件限制,固定翼无人机所依靠的发射回收装置限制了其重量等级,容易形成思维定式,即一般仅中小型无人机可利用天钩方式在舰船上发射回收,但创新性的发射回收解决方案,可使无人机平台能力实现突破。

3) 项目管理上,采取分阶段竞争策略。先期不局限于传统行业格局和解决方案思维框架,广泛征集概念方案,通过探索性研究实践,实现技术成熟度提升,并识别系统真正的关键技术风险,在里程碑节点进行决策,不仅得到现阶段优质装备,而且为其他可能方案进行技术储备。

参考文献 (References)

- [1] DARPPA 研制“侧臂”舰上无人机回收设备[J]. 国际航空, 2017(8): 88-88.
- [2] 袁成. 美国防高级研究计划局资助发展的“侧边吊臂”原型系统成功捕捉全速飞行的全尺寸无人机[EB/OL]. (2017-02-08) [2020-01-20]. https://www.sohu.com/a/125735182_613206.
- [3] Keddie I. SideArm undergoes successful testing[J]. Jane's International Defense Review, 2017, 50: 29-29.
- [4] DARPA's sideArm prototype launches and retrieves drones in short order[EB/OL]. (2017-02-06) [2019-10-12]. <http://newatlas.com/darpa-sidearm-drone-catcher/47766/>.
- [5] 王鹏, 韩力. 战术侦察节点无人机将实现全球侦察[J]. 国际航空, 2015(1): 38-39.
- [6] 杨小川, 叶德章, 毛仲君, 等. 美空中装备及作战理念发展的威胁浅析[J]. 飞航导弹, 2019(6): 59-63.
- [7] Tactically exploited reconnaissance node (TERN) UAS program[EB/OL]. (2017-02-06) [2019-08-12]. <http://www.navaldrone.com/TERN.html>.
- [8] DAPAR. Tern SideArm capture system. [EB/OL]. (2017-02-09) [2022-01-10]. <https://www.military.com/video/aircraft/pilotless-aircraft/tern-sidearm-capture-system/5317154746001>.
- [9] 洪达, 周磊, 郑震山. 国外小型舰载固定翼无人机装备回收技术发展研究[J]. 飞航导弹, 2014(4): 50-54.
- [10] 李若兰. 小型舰载无人机撞网回收控制技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2014.
- [11] 杜聪聪, 李武军, 陈朝浪, 等. 固定翼无人机回收与发射系统发展综述[J]. 科技传播, 2016, 8(7): 113-115.
- [12] Gundlach J, Bourven J M, Giannini F, et al. Rail recovery system for aircraft: 9010683[P]. 2015-04-21.
- [13] Lovell G H, Hui C K, Umbreit M K. Stabilized UAV recovery system: 8172177[P]. 2012-05-08.
- [14] Sidearm launch and recovery system, runway-independent operation of fixed wing aircraft[EB/OL]. (2020-04-03) [2020-05-23]. <https://www.aurora.aero/>.
- [15] 甄子洋. 舰载无人机自主着舰回收制导与控制研究进展[J]. 自动化学报, 2019, 45(4): 669-681.
- [16] 杨曼. 基于机器视觉的固定翼无人机回收阶段导航系统研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2019.
- [17] 陶琨, 王寅. 视觉导航技术在小型无人机撞线回收中的应用[J]. 兵工自动化, 2013(7): 80-82.
- [18] 刘刚, 刘晓航. 基于机载视觉的舰载无人机自主着舰引导技术研究[J]. 舰船科学技术, 2017(20): 189-191.
- [19] 张友民, 余翔, 屈耀红, 等. 无人机自主控制关键技术新进展[J]. 科技导报, 2017, 35(7): 41-50.
- [20] 昂海松. 无人机系统概念和关键技术[J]. 无人系统技术, 2018(1): 66-71.

Analysis of US military Sidearm system characteristics and its application prospect

HONG Da, ZHENG Zhenshan, ZHOU Lei

Chinese People's Liberation Army 92728, Shanghai 200346, China

Abstract In this paper, the composition of the lifting arm, the slide rail and the sliding retractor of the side arm system, the principle of UAV launching and recovering, the main characteristics of design and use are analyzed, as well as the key technologies such as common rail integrated design, energy and overload control, approach guidance and control, automatic decision-making, compares with other UAV launch and recovery methods. The application prospect in ships without aircraft carrier is analyzed. It is considered that it can improve the mission ability of remote observation and combat of non aircraft carrier formation.

Keywords SideArm; shipborne UAV; launch and recovery ●



(责任编辑 王志敏)