

无人机

UNMANNED VEHICLES

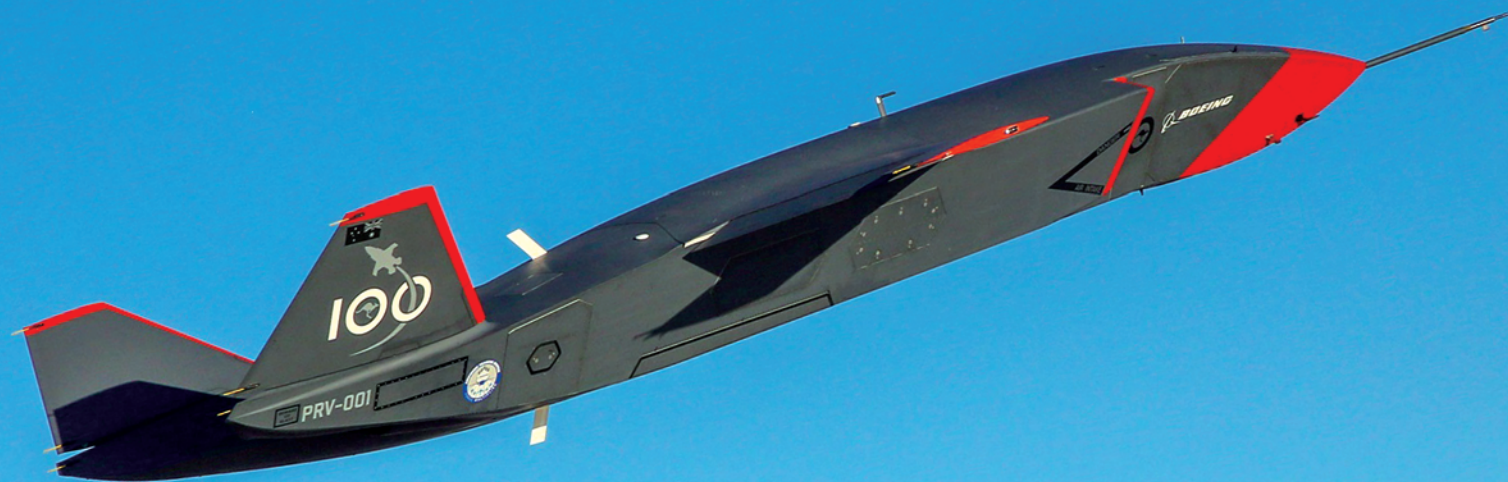
中航传媒 出品

定价: 25.00元

www.aviationnow.com.cn

2022.5

总第94期



ISSN 2096-2037



“幽灵蝙蝠” 自主无人僚机快速发展

国外跨域协同海战的发展现状及关键技术分析

东南亚国家无人机发展概述

《无人机》理事单位

(按单位名称循环排序)



中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所

所长：王朝阳 党委书记：袁 鹏
电话：0379-63323028 传真：0379-63938146
地址：河南省洛阳市洛龙区王城大道696号
产品：光电任务载荷、武器火控系统、任务数据记录器



航天彩虹无人机股份有限公司

董事长：胡梅晓 总经理：秦永明
电话：010-88536133 传真：010-68191926
地址：北京市丰台区云岗西路17号（100074）
产品：“彩虹”系列无人机、“射手”系列导弹及相关服务



中国人民解放军总参谋部第六十研究所

所长：张 逊 党委书记：吴高强
电话：025-80848800 网址：www.nrisc.com
地址：江苏省南京市黄埔路二号(210016)
产品：机动隐身靶、高速靶机、低速靶机、无人直升机



西安爱生无人机技术有限公司

董事长：贾兆虎 总经理：李大健
电话：029-88451000 传真：029-88455798
地址：陕西省西安市高新区科技五路10号
产品：“灵鹊”系列无人机、便携式地面站、小型飞行控制系统



中国电子科技集团公司第十研究所

所长：何 刚 党委书记：汤兴华
电话：028-87555955 网址：www.swiet.com.cn
地址：四川省成都市金牛区营康西路85号(610036)
产品：无人机电磁干扰与协同防护系统、ST-410系列无人机数据链



沈阳飞机设计研究所

所长：刘志敏 党委书记：奚继兴
电话：024-26784088 传真：024-86368067
地址：辽宁省沈阳市725信箱(110035)
产品：无人机



中国航空工业集团公司西安飞行自动控制研究所

所长：雷宏杰 党委书记：王东辉
电话：029-61888600 网址：www.facri.com
地址：陕西省西安市雁塔区锦业路西段129号(710076)
产品：中高端固定翼无人机、旋翼无人机飞行控制与管理系统



浙江氢航科技有限公司

总经理：刘海力 手机：18600073973
电话：0572-8223775 网址：www.qinghangfc.com
地址：浙江省湖州市德清县雷甸镇通用航空产业园15号(莫干山国家高新区)
产品：燃料电池动力系统、氢动力飞行器、制氢加氢设备



中国直升机设计研究所

所长：许建华 党委书记：黄文俊
电话：0798-8465165 网址：www.chrdi.com
地址：江西省景德镇市825信箱(333001)
产品：AR500无人直升机、X-M20变距多旋翼无人机



北京北航天宇长鹰无人机科技有限公司

总经理：符俊辉
电话：010-82314125 网址：www.buaauas.com
地址：北京市海淀区学院路35号世宁大厦(100191)
产品：无人侦察机、察打一体无人机、无人直升机、物流无人机



江苏航空职业技术学院

党委书记：浦黄忠 院长：殷国兴
电话：0511-87057729 网址：www.jatc.edu.cn
地址：江苏省镇江新区端城路88号(212132)
教学范围：飞机制造、维修、无人机应用、航空服务等职业教育



中国电子科技集团公司第二十九研究所

所长：高贤伟 党委书记：赵栓成
电话：028-87551000 网址：www.mei29.scgb.com
地址：四川省成都市外西茶店子429信箱(610036)
产品：无人机电磁信息载荷系统、无人机侦察监视与反制系统



中国电子科技集团公司第三十八研究所

所长：陈学军 党委书记：宗 伟
电话：0551-65391000
地址：安徽省合肥高新区香樟大道199号(230000)
产品：JY-300“天哨”空中无人预警监视系统



中国电子科技集团公司无人机系统研发中心(中国电科27所)

所长：周 彬 党委书记：赵 玉
电话：0371-61272755
地址：河南省郑州市郑东新区博学路36号(450047)
产品：MX6应急无人机、MF3复合翼无人机、MJ30无人直升机



中国航天

航天恒星科技有限公司(503所)

董事长：彭 涛 总经理：王 涛
电话：010-68176000 传真：010-68197500
地址：北京市海淀区中关村环保科技园内中国航天五〇三所(100095)
产品：“蓝翼”小型固定翼无人机、“龙翔”无人直升机



四川腾盾科技有限公司

电话：028-82982333
地址：四川省成都市金牛区金科东路50号国宾工投总部基地7栋
邮编：610037
产品：TA、TB固定翼无人机, HA、HB无人直升机



中国航天

中国航天空气动力技术研究院

院长：胡梅晓 党委书记：王献雨
电话：010-68375458 传真：010-68374758
地址：北京市7201信箱1分箱(100074)
产品：小型超近程无人机、中空长航时无人机、太阳能无人机



中国航天

中国航天科技集团有限公司第九研究院第九设计部 (航天时代飞鸿技术有限公司)

主任：陈建国 党委书记：李 辉
电话：010-88106884 网址：www.caaet.cn
地址：北京市海淀区永丰丰滢东路1号(100094)
产品：“飞鸿”无人机、“飞腾”精确制导武器, 信息化、智能化无人体系研究



东北师范大学先进能源技术研究所

所长：张雪明 党委书记：李金环
手机：13514467320 邮箱：zhangxm634@nenu.edu.cn
地址：吉林省长春市人民大街5268号物理学院(130024)
产品：N3无人机、N4无人旋翼机



中国兵器工业计算机应用技术研究所

所长：柴玮岩 党委书记：王少军
电话：010-68963610
地址：北京市海淀区车道沟10号院(100089)
产品：“金雕”CR500无人直升机、SR100无人直升机、多旋翼无人机



西北工业大学第三六五研究所(西安爱生技术集团公司)

所长：王俊彪 党委书记：高广元
电话：029-88451020 网址：www.asn-xa.com
地址：陕西省西安市高新区沣惠南路34号(710065)
产品：ASN-216、ASN-218和ASN-219长航时无人机



中国船舶工业系统工程研究院

院长：张宏军 党委书记：王东军
电话：010- 59515634 传真：010-59515521
地址：北京市海淀区丰贤东路一号(100094)
产品：无人机控制系统、舰载小型长航时无人机、系留无人机



北京航空航天大学无人系统研究院

院长：王英勋 分党委书记：刘玉战
电话：010-82317388 传真：010-82317755
地址：北京市海淀区学院路37号(100191)
研究范围：新概念无人飞行器设计、新能源动力、智能控制与信息处理



中国电子科技集团公司第五十四研究所

所长：张桂华 党委书记：原 普
电话：0311-86928309 传真：0311-83635440
地址：河北省石家庄市174信箱(050081)
产品：CT300、CT411-E、CT402-E系列测控与信息传输系统及数据链



郑州亚柏智能科技有限公司

董事长：陈海峰 总经理：陈海峰
电话：15936221314
地址：河南省新郑市龙湖镇泰山路1号(451191)
产品：高、低速靶机，电子干扰无人机，无人坦克靶，靶船



中电科特种飞机系统工程有限公司

董事长：任劲松
电话：028-62680661 传真：028-62680699
地址：四川省成都市高新西区百川路9号
产品：垂直起降固定翼无人机系列、飞行指挥与任务管理系统



爱生集团 无人机试验测试中心

爱生无人机试验测试靖边有限公司

执行董事：祝小平 总经理：屈文卿
电话：0912-8040403
地址：陕西省榆林市靖边县海则滩(718500)
产品：无人系统试验测试



长春通视光电技术有限公司

董事长：戴 明 总经理：柏旭光
电话：0431-89121799 网址：www.allview-t.com
地址：吉林省长春市净月区杜鹏路888号(130033)
产品：MOES-350光电侦察平台



航空工业导弹院凯迈(洛阳) 测控有限公司

董事长：尚海林 总经理：孟庆虎
电话：0379-63385403 网址：www.camamc.com
地址：河南省洛阳市解放路105号(471009)
产品：系列化瞄准、侦察光电吊舱



导航及无人系统研究所

上海交通大学仪器科学与工程系导航与无人机技术研究所

所长：王红雨 专家顾问：林一平
手机：13761036008
邮箱：redrain@sjtu.edu.cn
地址：上海市闵行区东川路800号电信楼群2-129(200240)



腾焰燃控

西咸新区腾焰燃控科技有限公司

经理：薛继军 手机：18992043824
电话：4008118991 网址：www.tengyanrk.com
地址：陕西省西咸新区西部云谷B3楼北单元三层
产品：高能点火器、点火电缆、半导体电嘴、火焰检测器



中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

院长：贾 平 党委书记：马明亚
电话：0431-86176816 网址 www.ciomp.ac.cn
地址：吉林省长春市东南湖大路3888号(130033)
产品：系列航空光电成像、测量、指示吊舱与任务载荷



成都飞机工业(集团) 有限责任公司

董事长：宋承志 总经理：蒋 敏
电话：028-87405966 网址：www.cac.com.cn
地址：四川省成都市外西黄田坝(610092)
产品：无人机



中国科学院沈阳自动化研究所

所长：于海斌 党委书记：桑子刚
电话：024-23970213 传真：024-23970021
网址：www.sia.cn 地址：辽宁省沈阳市南塔街114号(110016)
产品：“翔鹰”-200无人直升机、“云鹞”-100无人直升机



长空科技

南京长空科技有限公司

董事长：杨 波 总经理：裴锦华
电话：025-84890003
地址：江苏省南京市浦口区江浦街道浦滨大道88号2号楼(211899)
产品：单兵无人侦察机、小型长航时无人机、高速隐身无人机系统



西安现代控制技术研究

所长：王 东 党委书记：陈西峰
电话：029-88295065 传真：029-88293333
地址：陕西省西安市23号信箱(710065)
产品：“蓝箭”系列无人机机载空地导弹



中航(成都) 无人机系统股份有限公司

董事长：蒋 敏 总经理：李永光 党委书记：曾 强
电话：028-61776323 传真：028-61776375
地址：四川省成都市高新西区合作路1199号(611731)
产品：“翼龙”系列无人机系统



南京航空航天大学无人机研究院

院长：赵剑峰 党委书记：高小泽
电话：025-84892881 网址：www.nuaa.edu.cn
地址：江苏省南京市御道街29号(210016)
产品：“长空”“鸿雁”“飞鹰”“锐鹰”系列覆盖大型靶机 侦察干扰 民品外贸



西南技术物理研究所

所长：崔东旭 党委书记：崔东旭
电话：028-68011420 网址：www.xiwu.net
地址：四川省成都市人民南路四段七号(610041)
产品：武器系统、激光探测器、激光应用产品



致 导 科 技

致导科技(北京) 有限公司

总经理：李晓宇
电话：010-82961282 网址：www.AheadX.com
地址：北京市海淀区知春路1号学院国际大厦(100098)
产品：导航飞控系统、仿真飞行训练系统、飞行数据云服务



软科互动(深圳) 科技有限公司(无人机管理云系统)

董事总经理：左文韬
电话：0755-33043542 网址：www.hoodon.com
地址：广东省深圳市福田区中心四路1-1号嘉里建设广场三座13楼(518000)
产品：无人机管理云系统



重庆宗申航空发动机制造有限公司

总经理：周 丹
电话：023-66376087 网址：www.zsaeroengine.com
地址：重庆市巴南区渝南大道126号宗申工业园(400054)
产品：C12H、C20、C115HT、C145HT 航空活塞发动机



江西洪都航空工业集团有限责任公司

董事长：纪瑞东 总经理：王卫华
电话：0791-87669851 网址：www.hongdu.com.cn
地址：江西省南昌市南昌高新技术产业开发区航空城(330095)
产品：无人机



成都飞机设计研究所

所长：赵 民 党委书记：李 松
传真：028-85508611
地址：四川省青羊区日月大道1610号(610091)
产品：无人机

广告

郑州亚柏智能科技有限公司

JDB-125 型大机动中速靶机

无人机 UNMANNED VEHICLES

2022 年第 5 期 (总第 94 期)
刊期：月刊
出版日期：2022 年 5 月 30 日

中航出版传媒有限责任公司 China Aviation Publishing & Media Co., Ltd.

董事长 Chairman
刘 柱 Zhu Liu

总经理 President
龙明灵 Mingling Long

编委会主任：杨 伟
技术顾问：顾诵芬 李 明 赵 煦 樊邦奎 向锦武
编委会副主任：王 政 史克录 李世民 王英勋
编委会委员：(按姓氏笔画排序)
丁旭昶 王卫东 王田苗 王合龙 王红雨 王诗奎
王养柱 王俊彪 王海峰 王 薇 文运丰 牛轶峰
朱鸿翔 朱雪耀 刘志敏 刘培志 许建华 张 弘
张永科 张宏军 张雪明 陈 严 吴利荣 宋承志
宋科璞 李大健 李屹东 李 锋 李新军 何玉庆
何 涛 沈宏海 杨 军 周坚鑫 周 彬 苗 勇
昂海松 赵小川 赵剑峰 祝小平 胡延霖 胡梅晓
荣海春 姜 梁 徐 丰 顾冬雷 聂海涛 浦黄忠
曹振忠 都基焱 麻广林 符俊辉 彭建平 舒振杰
裴锦华 戴 明 戴 勇 滕海山

编辑部 Editorial
主编 Editor-in-Chief
刘 柱 Zhu Liu
执行主编 Executive Editor-in-Chief
刘英姿 Yingzi Liu
手机 Mob：13801355256
编辑 Editors
马元 Yuan Ma 颜思铭 Siming Yan
特约编辑 Special Editor
李悦霖 Yuelin Li
投稿邮箱：uv@aviationnow.com.cn

设计制作印务 Design & Production
张 炼 Lian Zhang 余 淼 Miao She
电 话 Tel：010-85672635

发行范围：公开发行
发行经理：余 声 Sheng Yu
电 话 Tel：010-85672520

主 管：中国航空工业集团有限公司
主 办：中航出版传媒有限责任公司
出 版：中航出版传媒有限责任公司

地 址：北京市朝阳区京顺路 5 号曙光大厦 4 层 (100028)

国内统一连续出版物号：CN 10-1426/V
国际标准连续出版物号：ISSN 2096-2037

印 刷：北京博海升彩色印刷有限公司
定 价：25 元

广告经营许可证号：中京朝工商广字第 8170 号 (1-1)

特约法律顾问：中闻律师事务所 张继先

中国航空航天领域极具影响力的专业、权威奖项



第十五届 航空航天月桂奖

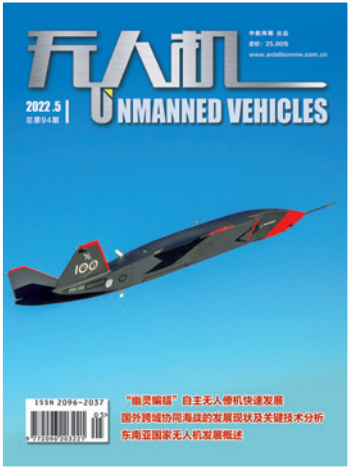


谁将摘得 2022月桂桂冠

航空航天月桂奖自 2005 年创办至今已成功举办了 14 届。旨在弘扬行业精神、讴歌骨干精英、探索新知前沿，谱写工匠篇章，更大规模、更多内涵，致力于成为航空航天领域极具广泛影响力的权威盛会。

谁将摘得“月桂荣耀”？2022，我们翘首以待！

详情请致电：马华 女士 010-85672518
mahua@aviationnow.com.cn



2022年第5期 / 总第94期
May 2022, No. 94

封面说明 About The Cover

“幽灵蝙蝠”自主无人僚机具有明显的发展潜力。项目团队利用数字工程技术,按比例加大设计方案的尺寸,便能研制一种航程更长的换代机型。据悉,澳大利亚皇家空军计划以两年为一个周期,对“幽灵蝙蝠”进行产品迭代和性能改进。



《无人机》深度报道世界无人系统前沿技术、型号进展、先进装备、研究成果和新闻动态,搭建学术交流和科研成果转化平台,推动无人系统产业创新发展。

UNMANNED VEHICLES(Semimonthly),Founded in 2016
Block C, Shuguang Building, No.5 Jingshun Road,
Chaoyang District, Beijing, 100028, China
Tel:86-10-85672521

版权声明:凡投稿本刊或允许本刊登载的作品,均视为已授权上载于www.aviationnow.com.cn及本刊授权的合作媒体使用,支付稿酬包含授权费用。本刊所发表图文均为本刊依照有关法律与拥有出版权或经合法授权之作品。欢迎个人、机构或媒体与本刊接洽上述版权作品使用事宜。未经本刊授权擅自使用上述版权作品之个人、机构或媒体,均属侵犯本刊合法权益,本刊保留依法追究的权利。



P12 “幽灵蝙蝠”自主无人僚机快速发展

目录 CONTENTS



安全风险管在民用无人机监管中的应用



东南亚国家无人机发展概述



国外跨域协同海战的发展现状及关键技术分析



无人装备在城市作战中的运用研究

4	新闻快递 / News Flash	4	创新应用 / Innovative Application	
12	热点关注 / Focus		无人直升机在应急救援领域中的应用	35
	“幽灵蝙蝠”自主无人僚机快速发展		Application Of Unmanned Helicopter To Emergency Rescue	
	MOVING FAST			
16	行业观察 / Industry Observation		技术研究 / Technical Research	
	安全风险管在民用无人机监管中的应用		无人直升机发动机高原起动性能改善研究	38
	Research On The Application Of Safety Risk Management To Civil UAV Regulation		Study On The Performance Improvement Of Unmanned Helicopter Engine Started On The Plateau	
20	发展纵横 / Development		直升机/无人机蜂群协同作战关键技术分析	43
	国外跨域协同海战的发展现状及关键技术分析		Analysis Of The Key Technology Of Cooperative Operation Between Helicopter And UAV Swarm	
	Research On The Foreign Development And Key Technology Of Cross-domain Cooperative Sea Combat			
25	东南亚国家无人机发展概述		无人机电油混合动力系统(六)	45
	Overview Of The UAV Development Of Southeast Asian Nations		Hybrid Propulsion System For UAV (Part6)	
32	作战运用 / Warfare Application		无人机自动断电开关机构研究与试验	50
	无人装备在城市作战中的运用研究		Research And Experiment Of An Automatic Power-off Switch Mechanism For UAV	
	Research On The Application Of Unmanned Equipments To Urban Combat		服务保障 / Service & Support	
			某型无人直升机机组岗位胜任能力模型构建	54
			Construction Of The Job Competency Model For An Unmanned Helicopter Crew	

广告目录

《无人机》理事单位	封二
《无人机》理事单位	前插1
《无人机》理事单位	前插2
《无人机》理事单位	前插3
《无人机》理事单位	前插4
第十五届航空航天月桂奖	P1
致导科技(北京)有限公司	P15
天屿创新(北京)科技有限公司	P31
《军工文化》杂志创刊15周年	P42
爱生无人机试验测试靖边有限公司	封三
重庆宗申航空发动机制造有限公司	封底



通用原子公司推出MQ-9B短距起降舰载无人机

近日，通用原子航空系统公司公开了MQ-9B短距起降舰载无人机的宣传视频。未来，美国海军陆战队可在航母或两栖攻击舰上部署该型无人机。MQ-9B舰载无人机配置了可选装机翼和尾翼套件，起飞快速而无须其他辅助工具。机翼被折叠后，MQ-9B舰载无人机可停放在甲板上或机库中。通用原子公司称，该型短距起降舰载无人机可执行超远程情报监视任务，将在美国海军陆战队“远征前进基地”作战中发挥作用。



喜鹊工程公司开发新型油电混合动力系统

“克特斯”（Cortex）混合动力系统由喜鹊工程（Currawong Engineering）公司研制，配置了二冲程重油发动机，功率密度高，不仅能为无人机提供动力，还能为机载系统供电，减少了无人机飞行所需的电池数量，以及降低了无人机最大起飞重量。在重油发动机空中再起动力过程中，“克特斯”混合动力系统中的电推进系统能将电能传输给发动机，为发动机再起动力过程提供更大的功率。



美国纳提卢斯公司制造“纳提卢斯”3.8T验证机



美国纳提卢斯（Natlus）公司将制造首架“纳提卢斯”3.8T（Natlus 3.8T）支线货运无人机验证机，计划2023年开展试飞。该机设计航程为1667km，任务载荷重量3.8t，巡航速度407km/h。今年3月，纳提卢斯公司透露，柯林斯航宇公司将为该型无人机提供货物装载系统。

MQ-9B无人机将集成“海浪”7500E V2海事雷达

2021年4月14日，通用原子航空系统公司第5批次MQ-9A无人机搭载“海浪”7500E V2（Seaspray 7500E V2）海事雷达开展试飞。目前，该公司正在为MQ-9B“海上卫士”无人机集成“海浪”7500E V2雷达。该型海事雷达由英国莱昂纳多公司设计和制造，具有卓越的态势感知能力，是“海浪”有源相控阵雷达系列产品中的最新改型，安装了新型处理器和接收机，以满足不断变化的需求。MQ-9B“海上卫士”无人机搭载该型雷达，可在海岸线上空和海洋上空等复杂环境执行情报、监视和侦察（ISR）任务。



“空港一号”机场试运营正式开启



在英国政府和现代汽车公司下属企业天国（Supernal）公司的支持下，英国城市空港（Urban Air Port）公司在英国考文垂市正式开启“空港一号”（Air-One）机场试运营。此举预示一个无碳排放、非拥堵城市空中交通新时代即将到来。该机场专为电动垂直起降（eVTOL）飞行器而设计，试运营期为1个月。在试运营期间，城市空港公司将开展飞行器指挥和控制

系统运行、电动垂直起降飞行器充电、物流无人机投送货物等演示。当地警察局和英国天空旅行（Skyfarer）物流无人机公司将率先在“空港一号”机场开展飞行器运营。此外，总部位于英国的无人机制造商马洛伊航空（Malloy Aeronautics）公司也将展示大型货运无人机的运输能力，这是该型货运无人机首次在人员密集和多建筑物的城市环境中飞行。

泰国海军增购“坎姆考普特”S-100无人直升机

泰国海军与奥地利西贝尔（Schiebel）公司签订“坎姆考普特”S-100（CAMCOPTER S-100）情报、监视和侦察（ISR）无人直升机增购合同，该合同有效期截止到2022年底。据悉，泰国海军已于2019年采购了“坎姆考普特”S-100无人直升机。自2019年以来，泰国海军陆上和海上平台一直使用该型无人直升机执行情报、监视和侦察任务。2005年，奥地利西贝尔公司“坎姆考普特”S-100研制成功。该机采用旋翼布局设计，配备了功率为41kW的AE50R发动机，最大起飞重量200kg，续航时间6h，如果加装副油箱，续航时间可达10h，最高飞行速度达220km/h。



荷兰空军MQ-9无人机完成首次飞行训练

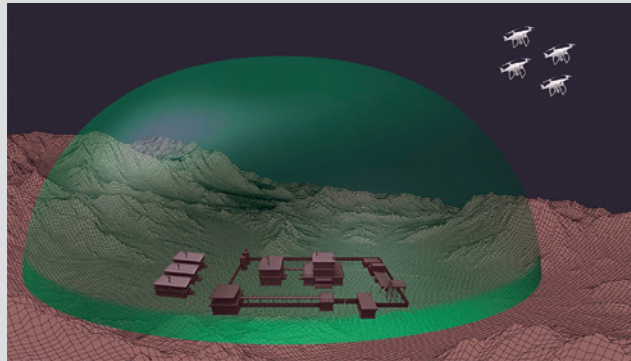
荷兰国防部宣布，荷兰皇家空军一架MQ-9无人机于4月20日在库拉索岛成功完成首次飞行训练，使用了卫星通信技术，飞行时间为2h。荷兰皇家空军将继续测试该型无人机的性能，并新增2架MQ-9无人机开展作战测试和评估。据悉，用于测试的第4架MQ-9无人机仍在美国，未来2个月内将完成验收和测试，然

后与两个地面控制站一起被运到荷兰。荷兰皇家空军采购的MQ-9无人机计划于2022年下半年投入使用。





美国空军研究实验室推进反小型无人机系统开放式架构系统的开发



为继续开发作战型反小型无人机系统的开放式架构系统，2022年4月25日，美国空军研究实验室授予位于纽约州乌蒂卡市的黑河系统公司一份修订合同（FA8750-19-C-0040 P00023），合同总金额为7649万美元，旨在持续且快速推进“第二阶段小企业创新研究”合同涉及的技术和方法商业化应用，支持反小型无人机系统的研究、原型机开发、性能测试、评估和技术转化。美国空军正在从2022财年研究、发展、试验与鉴定经费，2022财年使用与维修经费，2021财年采购经费中拨资金给黑河系统公司。根据合同规定的条款，黑河系统公司预计在2023年5月1日前完成所有开发工作。

美国陆军在杜格威试验场测试无人机蜂群

美国陆军2022年验证试验网关演示（EDGE 22）近日在犹他州杜格威试验场举行。在演示中，UH-60直升机和MQ-1C“灰鹰”无人机模拟陆军未来攻击侦察机，分4批共发射28架阿里亚-I公司ALTIUS 600空射效应（ALE）蜂群无人机，在一名操控员的控制下，无人机蜂群完成了侦察任务并摧毁仿敌阵地。这是美国陆军有史以来开展的最大规模自组网空



射无人机蜂群技术验证。

测试结果表明，蜂群无

人机之间建立了自组织通信网

络，深入敌方目标区后利用红

外传感器和电子战任务载荷探测敌方目标，为UH-60有人直升机的空中突击任务提供预着陆区的信息，极大增强了战场态势感知能力，并降低了飞行员的工作强度。

ALTIUS 600空射效应无人机系统可以由机组人员控制，也可自主飞行，并利用自组网将信息传输给有人直升机和地面部队。

美国昂德菲恩技术公司发布下一代静音无人机的概念设计



科技初创企业昂德菲恩（Undefined）技术公司位于美国佛罗里达州，推出了一种静音电动垂直起降（eVTOL）无人机设计方案。该方案充分利用飞行器周围的离子云来产生推力，体现了低噪声创新设计理念。目前，该公司计划在无人机噪声低

于70dB的情况下，实现更长的续航时间。

离子推进技术取得突破，将为无人机在民用和军事领域的应用创造机会，例如最后一公里货物运输。

蓝光环公司“泰坦”反无人机系统中标美国国防部采购计划

蓝光环（Bluehalo）公司“泰坦”（Titan）便携式反无人机系统已中标美国国防部采购计划（Program of Record），但具体用户尚未公开。

来自美国国防部的用户已确定将“泰坦”反无人机系统作为首选分层防御解决方案。“泰坦”是一种基于射频（RF）传感器技术的反无人机系统，具备威胁目标识别和威胁消除能力，可在2min内完成快速部署，简单易用，为众多区域创建安全空间。“泰坦”利用人工智能和机器学习技术，探测、识别和定位单架无人机或无人机蜂群，也可用于反无人机作战训练。使用者无须进行大量专业知识与操作培训。



莱特耶系统公司交付首套“盾牌”高能激光武器

在美国陆军高能激光武器（HEL）项目支持下，莱特耶系统公司（Liteye Systems）于2021年获得一份多年期合同，开始将自主研发的任务载荷集成到高能激光武器反无人机系统。近期，莱特耶系统公司已向美国陆军交付首套“盾牌”（SHIELD）高能激光武器反无人机系统。“盾牌”反无人机系统使用了新型雷达，可在作战环境中对第1类和第2类无人机系统进行探测、跟踪和识别。



芬兰国防军计划采购无人侦察机



芬兰国防军计划在2年内购买1000~2000套无人侦察机系统，采购经费约1500万欧元。这些无人机将在从芬兰南部海岸到拉普兰省的北部地区执行情报、侦察、监视和目标获取任务，为各军兵种提供情报信息。为尽快确定潜在的无人机供应商，芬兰国防军已经发布采购公告，要求供应商在5月9日之前提交申请。芬兰国防军将在2023年夏季前确定无人机的类型及供应商名单，而系统培训预计在2023年下半年举行。

“跟踪者”VXE垂直起降无人机续航时间达39h



2022年2月18日，洛马公司“跟踪者”VXE（Stalker VXE）垂直起降无人机在加利福尼亚州圣玛格丽塔牧场连续飞行39h17min7s，刷新了最大起飞重量为5~25kg的第2类无人机的飞行纪录，展示了超强的续航能力。该机可执行多种复杂任务，其任务载荷采用模块化设计以及开放式架构，具有一定的发展潜力。

为了完成此次飞行任务，“跟踪者”VXE无人机的机翼加装了一个副油箱。洛马公司的合作伙伴边缘自主（Edge Autonomy）公司、自适应能量（Adaptive Energy）公司、复合材料技术发展（Composite Technology Development）公司以及克洛维斯领域模型（Clovis Area Modelers）公司也参与了此次飞行。



UAVOS公司完成S1-V300中空长航时无人机验证机制造

UAVOS公司已完成S1-V300中空长航时无人机验证机制造。该机基于UAVOS公司“猎隼”（Saker）无人机发展而成，机长8.7m，翼展18.7m，任务载荷重量300kg，巡航速度220km/h，续航时间28h，航程超过4000km，配备了功率为191kW的重油发动机，具有强劲的动力。

S1-V300无人机安装了UAVOS公司自主研制的航空电子设备、冗余飞行控制系统，配置了起飞和着陆自动滑行系统、卫星通信设备，集成了最先进的光电/红外（EO/IR）吊舱、合成孔径雷达等任务载荷，具有全自主飞行能力，可全天候、全天时执行情报、监视和侦察（ISR）等复杂任务。



以色列完成一系列高能激光武器拦截试验



以色列国防部国防研究与发展局（DDR&D）与拉斐尔公司联合开展一系列陆基高能激光武器拦截试验。在试验中，拉斐尔公司“铁束”激光武器系统验证机发射的激光击毁了飞行中的无人机、迫击炮弹、火箭弹和反坦克导弹。

通用原子公司提升增程型“灰鹰”无人机系统多领域作战能力



在美国陆军资助下，通用原子航空系统公司（GA-ASI）开始对2架增程型“灰鹰”（GE-ER）无人机进行升级，以增强该机多域作战（MDO）能力，2022年晚些时候将进行无人机飞行

奎奈蒂克公司与英国皇家海军签订“吸血鬼”舰载靶机项目第一阶段合同

英国奎奈蒂克（QinetiQ）公司获得“吸血鬼”（Vampire）项目第一阶段合同，合同期限是4年，总金额6百万美元，将为英国皇家海军提供“女妖”（Banshee）靶机及其相关服务，以支持英国皇家海军未来高性能舰载无人机的飞行训练。英国皇家海军将测试并评估“女妖”小型固定翼靶机舰载起飞性能及海洋环境下的飞行能力，为未来组建有人-无人系统部队奠定基础。



测试和鉴定。

美国陆军表示，该次升级旨在让增程型“灰鹰”无人机系统更好地支持有人-无人协同作战，进一步提升作战效率。增程型“灰鹰”有望成为陆军空射效应（ALE）无人机的载机。

作为第5类先进无人机，增程型“灰鹰”无人机系统已在尤马试验场演示了多域作战能力，包括集成远程传感器、空射效应无人机的能力。同期，操控员演示了使用笔记本电脑控制增程型“灰鹰”无人机的飞行。该机能与基于开放式架构的其他飞行器和地面指挥控制系统集于一体，拥有先进的数据链和推进系统，大大增强了作战能力。

增程型“灰鹰”多域作战能力升级后，续航时间达40h，能够在多域战场场景下持续作战，有效加强了部队的生存力。

美国海军计划于2026年在“罗斯福”号航母上部署MQ-25A无人加油机

美国海军中将凯文·怀特塞尔在2022年海上航空研讨会上表示，MQ-25A“黄貂鱼”无人加油机有望在2025年之前形成初始作战能力，在2026年之前部署在“罗

斯福”号航空母舰上。届时，MQ-25A将取代F/A-18F“超级大黄蜂”战斗机并执行空中加油任务。目前F/A-18F战斗机承担了20%~30%的空中加油任务。此前，

MQ-25A已完成成为F/A-18F战斗机、F-35C战斗机和E-2D预警机空中加油试验。



日本海岸警卫队将部署MQ-9B“海上卫士”无人机

日本海岸警卫队(JCG)将于2022年10月开始部署通用原子航空系统公司研制的MQ-9B“海上卫士”无人机。该型无人机具有较强的海上监视能力，集成了多种传感器，可执行侦察、监视、目标搜索等一系列任务。通用原子公司一架MQ-9B曾于2020年在日本展示海上监视能力。



北约联合地面监视部队接收RQ-4D“凤凰”无人机系统



北约联合地面监视管理局(NAGSMA)已将RQ-4D“凤凰”高空长航时无人机系统移交北约联合地面监视部队(NAGSF)，全部系统包括5架RQ-4D无人机、地面控制站以及先进传感器。RQ-4D无人机可为北约成员国提供重要的情报、监视和侦察（ISR）信息。第1架RQ-4D已于2019年部署在意大利西西里岛锡戈内拉空军基地。

澳大利亚取消MQ-9B“天空卫士”无人机采购

通用原子航空系统公司表示，澳大利亚国防部已取消12~16架MQ-9B“天空卫士”无人机采购项目。此前，澳大利亚“空中”7003项目(Project Air 7003)选中了MQ-9B无人机，希望使用MQ-9B无人机在陆地和海上目标区执行持久情报、监视、侦察（ISR），电子战和精确打击任务。通用原子公司和澳大利亚相关单位已经为该采购项目投入大量资金。





“航空探测器”小型无人机首次在美国海军导弹驱逐舰上开展试飞

4月4日，德事隆系统公司首次在美国海军导弹驱逐舰（DDG）上成功集成“航空探测器”（Aerosonde）小型无人机系统并开展试飞。

美国海军于2021年9月授予德事隆系统公司一份多年期“航空探测器”采购合同，希望该型无人机为2艘导弹驱逐舰提供海上情报、监视和侦察（ISR）信息。

德事隆系统公司在产品设计之初，就已考虑“航空探测器”的多任务能力。目前，该机总飞行时间已超过55万小时，经历了沙漠高温和北极低温环境下的实测，可靠性和性能得到验证。集成于舰船作战系统后，“航空探测器”可执行全天时广域监视、通信中继、信号情报等任务。该机由重油发动机提供动力，使用的燃料与舰船涡轮机相同，无须单独准备燃料，



能够定点起飞和降落，最大限度地减少了对舰船的影响。

“航空探测器”此次在驱逐舰上成功首飞，说明其实现了海上任务扩展，未来可为海军提供实时态势感知信息。

贝卡尔-马奇纳公司完成“红苹果”超声速无人机机翼组装



土耳其贝卡尔-马奇纳公司（Baykar Makina）公司“红苹果”（KIZILELMA）无人机系统已完成机翼组装，将继续开展整机制造，计划于2023年首飞。该型无人机具有短距起降能力，可在土耳其TCG“阿纳多鲁”（TCG Anadolu）两栖攻击舰等舰船上起降。

“云雀”3H混合动力无人机开展验证试验

2022年3月21日至23日，埃尔比特系统公司英国分公司与英国民用航空局（CAA）合作，在英国皇家空军（RAF）乌帕文空军基地对“云雀”3H混合动力无人机系统进行了一系列验证试验。通过试验，英国皇家空军将评估该型无人机的性能，为未来“云雀”3H作战部署提供依据。

“云雀”3H军用无人机由埃尔比特系统公司研发，可执行情报、监视、目标获取和侦察（ISTAR）任务。相较普通型“云雀”3

无人机，最新型“云雀”3H在保持翼展不变的前提下，除实用升限由4570m下降至3660m外，其余性能均大幅提升，航程从100km提至120km、续航时

间从5h提高到18h。同时，“云雀”3H配备的1套地面控制系统（GCS），可支持2架“云雀”3H同时执行任务，地面人员可根据实际情况灵活调整策

略，极大提高了作战效率。

英国皇家空军近年来高度重视情报、监视、目标获取和侦察任务，曾于2021年5月在沃丁顿空军基地组建了空军联队，来承担情报、监视、目标获取和侦察任务。“云雀”3H拥有优异的性能，将在未来空战中为英国皇家空军提供高效ISTAR任务，增强英国空中作战力量。此外，“云雀”3H使用了混合动力系统，无碳排放，对英国空中力量建设以及绿色航空技术发展具有重要意义。



雷神公司完成高能激光武器与国家先进地空导弹协同打击无人机蜂群演练



雷神情报与太空公司在白沙导弹靶场进行了高能激光武器（HELW）与国家先进地空导弹（NASAMS）协同打击无人机

蜂群演练。美国军方、民间机构、国际防务部门的多位代表现场观摩了演练。

在演练中，国家先进地空导弹火力分配中心（FDC）向高能激光武器发送位置、距离、飞行高度、飞行速度等敌方无人机蜂群的信息，高能激光武器自动处理收到的目标信息，利用光电/红外传感器对来袭目标进行跟踪和识别，在适当的距离快速击落了敌方空中目标。

演练结果显示，高能激光武器击落2批共9架蜂群无人机。此次演练取得成功，说明高能激光武器反无人机系统可与国家先进地空导弹协同作战，真正实现分层防御。

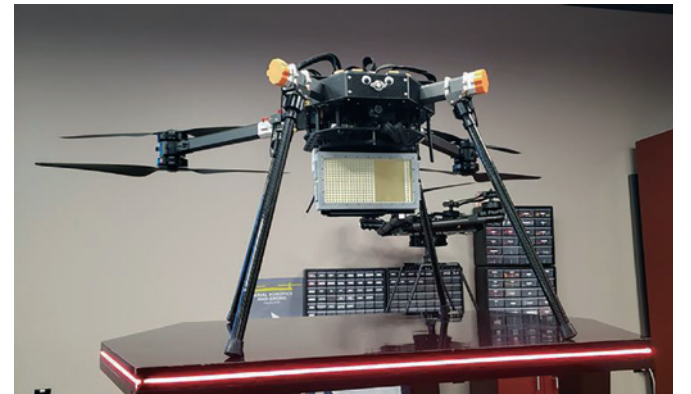
雷神情报与太空公司表示，参与演练的高能激光武器采用开放式架构，可快速安装在陆基、海基和空基平台，满足反无人机作战任务的需求。

霍尼韦尔公司推出可跟踪自主无人机的轻型雷达

霍尼韦尔公司城市空中交通与无人机系统部门开发了一种紧凑型雷达系统，名为RDR-84K，目前正安装在无人机上进行测试。在测试中，该型雷达已经成功探测到无人机的飞行方向。

2021年，研究团队构建了算法，并在真实环境中对算法进行飞行测试，旨在消除无人机与有人机之间的冲突，助力空中出租车和城市空中交通运营系统的发展。

RDR-84K雷达的重量仅1.4kg，安装在一个采用3D打印技术制成的框架中，可以探测到约3km以外与“空中国王”飞机尺寸相似的目标，以及约1km以外的直升机，并能识别300m以外的小型无人机。一架飞行器如果配置7个RDR-84K雷达，即可实现360°覆盖。



“侦察兵”330小型无人侦察机获型号合格证

泰雷兹集团“侦察兵”330（Spy'Ranger 330）小型无人侦察机已取得法国武器装备总署（DGA）适航部门的型号合格证。法国陆军可使用该型无人机进行教学、训练和作战使用，无须特别审批。

“侦察兵”330的航程比“追踪者”智能无人侦察机提高了3倍，使用了“侦察兵550”（Spy'Ranger 550）微型无人侦察机的结构模块。“侦察兵”系列无人机非常耐用、续航时间长、数据链路安全、指挥和控制（C2）系统易于操作，能够在复杂环境中执行任务，机载情报采集设备的性能满足前沿侦察部队的需要。

“侦察兵”330由电池提供动力，续航时间3h，机身采用碳纤维复合材料制成，结构新颖，重量轻，机头下方挂装有光电/红外高分辨率传感器，该传感器采用了高性能图像处理技术。同时，“侦察兵”330配有经过实战检验的指挥控制系统，满足多种军事要求，可在雨、风、沙灰等恶劣环境中执行作战任务。



2020年12月，在一次打击武装分子的军事行动中，法国陆军十分满意“侦察兵330”无人机的出色表现。

“幽灵蝙蝠”自主无人僚机快速发展

MOVING FAST

“幽灵蝙蝠”自主无人僚机具有明显的发展潜力。项目团队利用数字工程技术，按比例加大设计方案的尺寸，便能研制一种航程更长的换代机型。据悉，澳大利亚皇家空军计划以两年为一个周期，对“幽灵蝙蝠”进行产品迭代和性能改进。

布拉德利·佩雷特（悉尼）

MQ-28A“幽灵蝙蝠”（MQ-28A Ghost Bat）无人僚机由美国波音公司设计，目前仅作为技术验证机。根据澳大利亚“忠诚僚机”的发展计划，项目团队将对“幽灵蝙蝠”无人僚机实施快速、分阶段的改进。

澳大利亚皇家空军（RAAF）表示，即使在整机研制完成后，“幽灵蝙蝠”也能得到非常快的升级，以应对不断变化的威胁。此外，“幽灵蝙蝠”无人僚机具有明显的发展潜力，其设计方案具有可扩展性。项目团队利用产品初始开发所使用的数字化方法,按比例加大“幽灵蝙蝠”设计方案的尺寸，便能研制一种航程更长的换代机型。

项目进展

2022年3月29日，澳大利亚皇家空军“幽灵蝙蝠”项目主管克里斯·哈克(Chris Hake)上尉概述了“幽灵蝙蝠”无人僚机的进展情况和潜力，但他很谨慎，拒绝透露该机的未来任务和传感器类型。哈克上尉称，项目团队在非常短的时间内，仅利用一小部分传统方法便开发出有水平的无人僚机。

波音公司基于数字工程技术开发无人僚机

波音公司正在开发“幽灵蝙蝠”验证机，并将其视为面向全球市场的产品。不过，初始产品制造仍在澳大利亚完成，未来提供给市场的产品可能会一直变化。

波音公司“空中力量编队系统”项目总监格伦·弗格森（Glen Ferguson）表示，项目团队从一开始就使用了数字化开发方法，为项目发展奠定了坚实的基础，今后仍然能以如此快的速度继续开发高性能产品。项目团队的重点工作之一是创建一个数字孪生产品，即最终产品的虚拟模型。

数字工程技术的优势是，它将从迭代设计、测试到设计反馈这一回路的持续时间缩短约90%。基于数字工程技术，项目团队能对改进的设计方案进行评估，无须先制造满足改进要求的实物，大幅节约了开发成本。

验证试验

“幽灵蝙蝠”无人僚机试验项目的名称是Def 6014，旨在开展探索性工作 and 验证试验，为“空中 6015”（Air 6015）自主编队项目中的无人僚机生产和部署提供决策依据。

首批3架“幽灵蝙蝠”验证机中的第1架于2021年2月首飞。澳大利亚皇家空军随后又订购3架，可能用于任务和传感器开发，或是为了组建制造团队。

哈克上尉告诉新南威尔士皇家联合军种研究所，在试验期间，“幽灵蝙蝠”验证机遇到了一些意想不到的困难，但总体而言，验证机的性能与预测指标基本一致。

澳大利亚政府将在2027年左右为“空中 6015”项目提供74亿~110亿澳

元（约合55亿~82亿美元）的专项拨款。如果军方决定采购“空中 6015”项目中的无人僚机，“幽灵蝙蝠”有望实现量产。

大型无人僚机开发

澳大利亚皇家空军的官员透露，波音公司的工程师已着手设计换代机型，但并未说明换代机型的性能指标超过现有机型多少量级。鉴于现有验证机的性能尚未得到充分验证，澳大利亚政府不太可能批准开发新的生产型“幽灵蝙蝠”无人僚机，更不可能批准开发全新的机型。

不过，从项目的开发过程可以窥见澳大利亚皇家空军的雄心。哈克上尉曾两次提及，一旦掌握产品开发程序，项目团队有可能继续研制一种比现有机型更大的大型无人僚机。他表示，澳大利亚皇家空军须要学习如何利用现有技术开发大型无人僚机。如果决定开发，澳大利亚皇家空军能够使用数字工程技术，按比例加大“幽灵蝙蝠”设计方案的尺寸，复制大型无人僚机。因为太平洋非常广阔，无人僚机大有用武之地。未来，无人僚机的动力、燃料、航程和任务载荷等技术将得到提升。

澳大利亚皇家空军打算以两年为一个周期，采用灵活的数字工程技术，对“幽灵蝙蝠”实施重大产品迭代和性能改进。

项目团队在澳大利亚本地工作，除了使用数字工程技术快速设计和迭代产品外，还有诸多优势和灵活性。例如，



图1 第1架“幽灵蝙蝠”验证机于2021年2月首飞。



图2 为实施“忠诚僚机”技术验证计划,澳大利亚皇家空军订购了6架MQ-28A“幽灵蝙蝠”验证机。

当“幽灵蝙蝠”无人僚机部署时，软件修改可以在数月内完成，而不是数年；自主飞行程序调整可以在数天内完成，而不是数月。

“忠诚僚机”获新名称

澳大利亚和波音公司于2019年发布“幽灵蝙蝠”计划，当时使用的名称是“空中力量编队系统”（ATS），现在制造商仍在使用“空中力量编队系统”。

2022年3月，澳大利亚皇家空军对外公布了“忠诚僚机”的新名称，即MQ-28A“幽灵蝙蝠”。“幽灵蝙蝠”是澳大利亚本土哺乳动物，习性是喜欢群体出动搜寻猎物 and 捕食。“MQ-28A”属于美军Q序列无人机，首个英文字母

M表示多任务(Multimission)无人僚机。

技术特点

模块化结构设计

哈克上尉证实，“幽灵蝙蝠”采用模块化结构设计，从实际外形也能看出设计方案的特点。因为该机机长38英寸，机身和被拆下的机翼正好适合装进长度为40英寸的集装箱，可由卡车运输。“幽灵蝙蝠”可以在很短的跑道起飞，几乎不须要后勤保障支持，因此军方可关闭空军基地，以粉碎敌人压制澳大利亚空中力量的企图。

发动机选型

波音公司在2019年透露，“幽灵

蝙蝠”将使用超轻型私人飞机的专用发动机。当时有报道称，“幽灵蝙蝠”无人僚机发动机的推力将超过908kg，而威廉姆斯（Williams）国际公司FJ33-5A发动机具有强劲的动力，推力达839kg，可满足“幽灵蝙蝠”无人僚机对推力的需求。据猜测，FJ33-5A发动机可能会以缩短大修间隔时间为代价来提供更大的推力。虽然推力为908kg的发动机无法达到战斗机在加速、爬升和转弯阶段的推力，但“幽灵蝙蝠”却能以编队中有人机的飞行速度和高度执行任务，最初规定的航程即空载转场航程可达3700km。

任务载荷配置

“幽灵蝙蝠”无人僚机的任务载荷由其他设备供电和冷却，安装在一个大尺寸机头模块中，该模块位于发动机进气口的正前方。机头模块中的设备显然是一台无源射频传感器、一台雷达或一组干扰机。从一张图片可见，红外搜索和跟踪传感器安装在机头模块的上表面。模块化机头的固定仅使用了几个紧固件，操作人员能在约45min内完成机头更换。机头更换操作仅仅是为了满足作战需求，而非工厂安装程序。该机任务载荷的安装位置虽不适合武器运输，但设计师似乎在主起落架正前方为武器舱预留了一个空间，该武器舱可容纳长度为1.8m的武器。据推测，未来换代机型会使用这种空间，甚至会加大空间的尺寸。

监控软件运用

波音公司表示，开发工作的核心任务是获得适当的自主性，澳大利亚皇家空军的空战机组人员正与负责“幽灵蝙蝠”项目数字仿真环境工作的工程师合作，以优化人工智能的行为。

“幽灵蝙蝠”是一种自主无人僚机而不是遥控无人僚机，采用了人工智能（AI）技术，因此武器使用会引发伦理问题。但是，“运行时间保证”（Runtime assurance）监控软件可以限制自主无人僚机的行动范围，该软件旨在将人工智能行为控制在可接受的范围。技术人员将在

实验室反复测试人工智能技术的水平，甚至可以说自主系统永远不会出错。

作战需求

低成本可消耗“忠诚僚机”在部队服役的时间较短，军方会连续采购多次“忠诚僚机”。

哈克上尉认为，澳大利亚很难预测6年后空军对无人僚机的需求，因此更好的办法是，现在先采购新型无人僚机，快速用完后采购下一代无人僚机。不过，另一种作战概念是，军方应像储备导弹一样，储备大量无人僚机，供危机时使用。哈克上尉的思路与这种作战概念并不能保持一致。

鉴于澳大利亚所处的地理位置，澳大利亚皇家空军关注的关键性能指标之一是航程。自2010年F-111轰炸机退役以来，澳大利亚皇家空军一直依赖波音公司F/A-18F“超级大黄蜂”（Super Hornets）执行打击任务，以及空客公司A330多用途飞机（可作为加油机和运输机）为F/A-18F提供支持。

澳大利亚战略政策研究所的分析师马尔科姆·戴维斯（Malcolm Davis）指出，加油机的生存力正在面临挑战，



图3 2010年，F-111轰炸机退役，在不加注燃油的情况下，澳大利亚军机此时的打击半径已经减小。图3显示，F-111轰炸机正在一次航展上进行飞行表演。

击落这类飞机似乎是中国空中战略的一部分任务。澳大利亚没有理由不把“幽灵蝙蝠”发展成一种性能更强、任务载荷重量更重的无人僚机，以填补F-111轰炸机退役后留下的空白。

尽管如此，如果须要打击强大的防御系统或是移动式防空系统，无人僚机应具有更优异的飞行性能和功能更强的传感器。“幽灵蝙蝠”自主无人僚机的作战能力应该远超低成本可消耗“忠诚僚机”。而将无人僚机的作战任务定位

于打击防御能力较弱的固定目标，初始产品设计方案似乎更容易满足这类任务的要求。

维修工作量小

“幽灵蝙蝠”无人僚机只进行外场维修，“现阶段”没有深度维修，未来可能会进行一些定期维修。这种例行维修的工作量最少，也符合“忠诚僚机”在较短周期内可消耗和可更换的理念。

■（李悦霖编译）



扫码了解方案细节

广告

免像控 高精度无人机测绘方案

AheadX
致 导 科 技

定位、拍摄、解算等各个环节严格把控，提高测量精度并降低误差，
实现在多旋翼无人机1:200、固定翼/混合翼无人机1:300高成图分辨率，
不布设地面像控点的前提下，测绘成果达到可用精度。



中海达UBase基准站/千寻网络RTK

狮子座2代导航飞控系统

赛尔全系列相机



测绘任务规划



测绘任务执行



作业成果

AxTimeSync时间同步技术

可将狮子座2导航飞控、相机全系统时间进行微秒级时间同步，极大地提高了POS数据精度。

相机安装校正算法

校正相机与飞控间位置姿态偏差，消除由于安装引起的测量偏差。

www.AheadX.com



官方网站

全国统一服务电话：400-827-5966
致导科技(北京)有限公司
致导创新(天津)科技有限公司

地址：北京市海淀区知春路1号学院国际大厦801室
地址：天津市滨海新区滨海-中关村科技园大唐总部基地东区4号楼8单元



官方微信

安全风险 管理在民用无人机监管中的应用

Research On The Application Of Safety Risk Management To Civil UAV Regulation

随着民用无人机产业规模持续增长，运行安全备受关注，基于运行风险的分 类管理已经成为监管的核心理念。本文对国内外民用无人机安全目标水平、安全风险 管理程序、安全风险 管理方法进行总结，阐述现阶段安全风险管理工作发挥的重要作用，为我国民用无人机监管政策制定提供参考。

刘菲^{1,2}
1.中国民航管理干部学院
2.浙江省通用航空运行技术研究重点实验室

2021年是“中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划”开局之年。作为战略性新兴产业，无人驾驶航空器（下称无人机）在2021年备受关注。在民用领域，无人机运营企业数量及机队规模继续快速增长，我国首批13个民用无人驾驶航空试验基地（试验区）发展迅速，积极推动了基础设施建设、产业规模、监管体系的发展。2021年底，丰鸟航空科技有限公司完成支线物流无人机试运行许可和经营许可审定，极大鼓舞了社会各方发展无人机的信心。

民用无人机的发展直接取决于规模化商业运营，而无人机安全地融入国家空域是规模化运营的前提。以美国为例，从1990年至今，民用无人机经历了从被禁止商业运行、经许可后进入国家空域到按照特定要求有序融入国家空域运行三个阶段。根据《2012年美国联邦航空管理局（FAA）现代化与重组法案》的实施细则，美国联邦航空管理局开始主管无人机系统在国家空域中的运行工作，并实施了“融合试点”（IPP）、“空中交通管理试点”（UPP）、“超越”（BEYOND）、“测试基地试点”等一系列项目，不断积累无人机监管经验，修订和完善监管体系，在无人机满足安全目标水平下，逐渐按照从低到高的运行

风险对无人机运行进行常态化许可。

民用无人机安全目标水平

在广义层面，民航业自身的风险就是危害，它将乘客和机组人员置于危险之中。法规、规则、标准的制定原则都以减少或消除乘客和机组人员所遭受的危害为出发点，同时限制航空器对地面人员的伤害。美国国家运输安全委员会（National Transportation Safety Board，NTSB，）数据库的数据分析结果为现有有人驾驶航空器（下称有人机）的风险管理方法制定提供了参考。

无人机的关键特征是，机组人员在地面，自动化水平高，运行环境复杂多样，即使坠机，可能不会危及人员生命安全。因此，现有有人机监管政策并不完全适用于无人机。针对无人机进入国家空域运行而触发的新风险，各国主管部门都在飞行批准前启动了安全风险 管理程序。运营人及监管部门面临的首要问题是，无人机运行达到多高的安全水平才能进入空域？安全水平的定性与定量标准是什么？

可接受安全水平

民用无人机运行可接受安全水平（Acceptable Level of Safety，ALOS）受技术、规则、经济、政策、社会及公众等因素影响。无人机与有人机在机型

迭代周期、运行任务及技术复杂性等方面存在明显差异。无人机积累的运营数据有限，而有限的运营数据很难为安全水平标准提供支持。前期可接受安全水平主要从 不影响现有空域安全水平及使用效率角度出发，以定性描述为主（见表1）。

等效安全水平

相关单位在开展无人机安全性分析及运行风险评估时，对可接受安全水平进行定性描述，难以指导具体工作。因此，基于有人机历史运行经验的等效安全水平（Equivalent Level of Safety，ELOS）被广泛接受。等效安全水平使用须要两个前提条件，一是有人机的运行风险水平具有可接受性，且可为无人机运行风险管理提供基础，如地面撞击和空中碰撞的致死率；二是对比机制明确，例如无人机运行应具备与有人机同样的安全性，对空中人员、地面人员及地面设施造成危害的等级应低于有人机造成危害的等级。

基于以上前提条件并从公共安全角度出发，统计指标通常采用每飞行小时死亡率、每飞行小时死亡人数，而不是财产损失。历史数据分析可得到地面撞击和空中碰撞事故的指标量化结果，详见表2。这种基于有人机历史运行数据的等效安全水平指标对数据选取时间段和作业类型（如商业运输、农林作物药

表1 可接受安全水平的定性描述。

来源	定性描述
欧洲航空安全局（EASA）制定的《关于无人驾驶航空器的运行规则和程序》委员会第2019/947号实施条例（EU））	1.无人驾驶航空器运行应达到有人机的安全水平。
	2.无人驾驶航空器的运行规则和程序应与运营任务、风险相匹配。规则和程序制定应考虑无人驾驶航空器的运行特征以及运行区域的特征，如人员密集区、地面特征和地面建筑物。
国际民航组织（ICAO）发布的《无人驾驶航空器系统（UAS）》（ICAO Cir 328）文件	一些国家的民航主管部门要求无人机必须达到与有人机等效的安全水平。无人机必须遵守空中交通管制指令。
美国联邦航空管理局编制的《2013年第一版民用无人驾驶航空器系统（UAS）融入国家空域路线图》	美国联邦航空管理局高度重视小型无人机运行规则制定工作。该局监管工作的重点内容是，在不影响国家空域安全和使用效率的情况下，增加无人机的运行空域，为商业运营提供机会。从长远发展看，美国联邦航空管理局的监管目标是，实现且保持尽可能高的统一安全水平，保持或提高国家空域的使用效率。这意味无人机运行应确保所有空域用户、地面人员和地面设施的安全。

物喷洒、电力线巡检等）比较敏感，没有考虑死亡率随地理位置的变化。每飞行小时死亡率及每飞行小时死亡人数不能反映公众、机组人员等不同人员面临的伤亡风险，也不能反映安全运行趋势及事故严重程度，但可为无人机运行风险提供一种通用衡量指标。

安全风险 管理

为保证各类有人机在国家空域内安全飞行，各国建立了一套复杂的规章制度和规则。与此同时，业界已广泛接受基于风险的无人机监管理念。为支持法规制定、符合性评估、新机型号空域准入等监管事项决策，主管部门须要启用安全风险 管理程序。

安全风险 管理程序

安全风险 管理（Safety Risk Management，SRM）是安全管理系统（SMS，Safety Management System）四个组成部分之一，主要为决策层提供有关危险源、安全风险及安全风险缓解的信息，增强安全风险应对能力。安全风险 管理程序（Safety Risk Management Process，SRMP）是将安全管理政策、程序和实施工作系统地应用于沟通、咨询、运行概念建立，以及风险识别、分析、评估、处理、监控和审查等活动中。其具体流程包括运行概念建立、风险识别、风险分析、风险评估、风险缓解及风险监控，每个步骤还涉及相关方的沟通和协商过

程。运营人申请运行许可须要按照安全风险 管理程序开展风险评估及企业安全管理工作。

考虑到现有有人机安全评估规则不再适用于无人机，美国、加拿大等国家的民航主管部门发布了有关安全风险 管理的指导性文件，并确定了适用于无人机的安全风险 管理程序，避免重复评估。2019年10月，美国联邦航空管理局发布《无人机系统安全风险 管理政策》（ORDER 8040.6），该文件重点考虑国家空域系统（NAS）和地面第三方安全风险，对《安全风险 管理政策》（ORDER 8040.4B）的内容进行补充。如果无人机运行引发新的安全问题（如潜在危害、缓解措施失效、不符合规章规定）或计

表2 等效安全水平的定量描述示例。

地面撞击事故		方法及数据
数值	单位	
1.0 × 10 ⁻⁶	每飞行小时地面死亡人数	基于1982—1998年美国民航和海军航空事故数据汇总
1.0 × 10 ⁻⁷	每飞行小时地面死亡人数	基于美国国家运输安全委员会发布的1984—2004年航空事故数据汇总
8.4 × 10 ⁻⁸	每飞行小时地面无意识死亡人数	基于美国国家运输安全委员会发布的1984—2004年航空事故数据分析
1.0 × 10 ⁻⁸	每飞行小时地面无意识死亡人数	基于美国国家运输安全委员会发布的1983—2003年航空事故数据分析
1.0 × 10 ⁻⁸	每飞行小时发生的事故造成人员重伤、人员死亡及重大财产损失的概率	澳大利国防军适航规章中关于无人机风险管理水平的建议（包括地面人员面临的 风险）
空中碰撞事故		方法及数据
数值	单位	
4.10 × 10 ⁻⁷	每飞行小时空中碰撞概率	基于美国国家运输安全委员会发布的1982—1998年民航和美国海军航空事故数据
2.32 × 10 ⁻⁷	每飞行小时空中碰撞的致死率	基于美国国家运输安全委员会发布的1984—2004年航空事故数据
1.0 × 10 ⁻⁷	每飞行小时空中碰撞概率	基于美国国家运输安全委员会发布的1983—2006年航空事故数据
1.0 × 10 ⁻⁸	每飞行小时发生的事故造成人员重伤、人员死亡及重大财产损失的概率	澳大利国防军适航规章中关于无人机风险管理水平的建议（包括地面人员面临的 风险）
1.0 × 10 ⁻⁹	每飞行小时空中碰撞概率	美国联邦航空管理局系统安全手册中规定的目标安全水平标准
地面无意识死亡：死亡人员与飞行活动无关，无法控制死亡风险。死亡通常由飞行器终止飞行后撞击地面或坠落残骸所致。		

划变化，美国联邦航空管理局须启动安全风险管理工作程序。对于特殊情况，美国联邦航空管理局的项目负责人可向管理层提出升级，并与相关部门协调解决具体问题。

可接受风险评估方法

安全风险管理的核心是风险评估。对于运行风险评估，美国联邦航空管理局发布的《无人机系统安全风险管理工作》（ORDER 8040.6）采用了传统安全管理方法，可作为参考案例；欧洲航空安全局和中国民用航空局引用了无人驾驶航空器系统规章制定联合机构（JARUS）制定的特定运行风险评估（SORA）方法。除此以外，领结图、故障树分析也是可接受的符合性方法，运营人可根据实际需求而选择使用。

特定运行风险评估方法具有定量与定性评估的特点，使用较为简单，且已形成较为完备的危险源库、风险缓解措施与符合性指标体系，因此备受关注。尽管如此，特定运行风险评估的前提假设与模型限制了其适用范围，并不适用于载人或危险品运输。特定运行风险评估仅用于运行风险，而安保、隐私、环境保护、噪声、频谱使用等评估，各国须根据实际情况进行综合评估。

安全风险管理的

目前，监管部门基于有人机运行经验建立了无人机等效安全水平，大部分安全风险管理工作都集中于解决高级别地面风险和空中风险。这种自上而下的风险分析方法为实现安全目标提供了一个监管框架。

基于风险实施分类监管

按照有人机的不同用途及安全目标水平，监管部门面向人、机、管、环建立了监管体系，但这种有人机监管体系并不一定适用于无人机。例如，为保障公共安全，无人机可采取自毁，避免与有人机和地面第三方发生碰撞，但飞行器毁坏对有人机来说是一个灾难性事故。无人机谱系范围广泛，应用场景远超有人机，其风险管理具有宽泛性。因

此，监管部门开始基于运行风险逐步建立新的民用无人机监管体系，按照低风险、中风险、高风险运行分类，提出监管要求。对于中低风险运行，监管部门逐一探索典型场景，总结监管法规；对于高风险运行，则参考有人机的监管方式。

中风险监管最具有挑战性。中风险运行场景丰富，机型种类繁多，监管与风险管理紧密结合。在特定运行风险评估中，最终地面风险经缓解后，与空中风险用于确定特定保证性与完整性等级（Specific Assurance and Integrity Levels，SAIL）。特定保证性与完整性等级分为六级，Ⅰ级到Ⅵ级对应的运行安全目标（Operational Safety Objectives，OSOs）符合性要求逐渐提高，这决定了监管部门对无人机适航管理、运营人能力、运行限制等要素的监管介入程度不同（如表3所示）。不同国家根据实际情况制定相应的规则。

基于风险实施分类适航管理

2011年，美国联邦航空管理局发布咨询通告《23部飞机系统安全性分析与评估》（AC 23.1309-1C），对最大起飞重量低于2724kg的单发飞机的故障概率进行解释：根据历史运行数据统计，由于运行及飞机原因，在能见度受限的情况下，飞机发生致命性事故的概率约为 1×10^{-4} /飞行小时；大约10%的事故由飞机系统故障所致，由此得出故障条件下致命性事故发生的概率 1×10^{-5} /飞行小时；假设潜在的灾难性故障条件大

约有十种且发生概率相同，则每个故障条件的概率为 1×10^{-6} 。国防部长办公室对军用无人机运行数据进行分析，该分析结果显示，无人机故障率比23部单发飞机高，无人机进入国家空域飞行可能造成不可接受的风险。但是，如果主管部门直接要求无人机提升可靠性，将会提高设计和制造成本，但可能对运行安全几乎没有影响。

为解决这一问题，中国、美国和欧洲国家都提出了无人机适航管理与运行风险相结合的监管思路，并基于运行风险，提出无人机安全性要求，以确定无人机可接受安全水平及适航审定标准。欧洲航空安全局认为，无人机的审定要求与运行风险评估结果应直接相关，当特定保证性与完整性等级为Ⅰ级和Ⅱ级时，主管部门不要求运营人使用经过适航审定的无人机，但如果运营人采用无人机的功能或设备（如降落伞）作为风险缓解措施，则要求功能或设备进行适航审定；当特定保证性与完整性等级为Ⅲ、Ⅳ级时，欧洲航空安全局参考ELA2型飞机的适航审定标准，制定专门的无人机适航审定规则，当特定保证性与完整性等级高于Ⅳ级时，主管部门应要求运营人使用经过适航审定的无人机。中国民用航空局综合分析危害的严重性和可能性，针对不载人运营、载人运营两种情况，将民用无人机安全性要求分为A、B、C、D、E、F、G七类，并根据可接受安全性水平确定可接受安

表3 中风险运行的具体要求示例。

具体要求	特定保证性与完整性等级		
	Ⅰ-Ⅱ	Ⅲ-Ⅳ	Ⅴ-Ⅶ
运行风险评估	须要	须要	须要
设计批准	不须要	最大起飞重量 < 25kg时, 不须要	须要
		最大起飞重量 > 25kg时, 须要	
生产批准	不须要	最大起飞重量 < 25kg时, 不须要	须要
	—	最大起飞重量 > 25kg时, 须要	—
适航批准	不须要	不须要	须要
无人机系统符合性检查	须要	—	
远程操控员执照	须要	须要	须要
运营人管理能力审定	不须要	不须要	须要
维修能力审定	不须要	不须要	须要

表4 欧洲航空安全局公布的预先风险评估案例。

预先风险评估编号	无人机技术指标	超视距运行/视距内运行(BVLOS/VLOS)	运行区域	无人机与远程操控员之间的最大距离	最大飞行高度	空域要求
PDRA-S01	最大起飞重量25kg，最大特征尺寸3m。	VLOS	人员密集区域,但地面区域应可控。	无人机在操控员视距内	120m	管制空域,与有人机相撞的风险较低。
PDRA-S02	最大起飞重量25kg，最大特征尺寸3m。	BVLOS	人员稀少地区,且地面区域可控。	有地面观察员,可达到2km;无地面观察员,可达到1km。	120m	管制空域,与有人机相撞的风险较低。
PDRA-G01	最大起飞重量25kg，最大典型动能34KJ。	BVLOS	人员稀少地区	无地面观察员,可达到1km。	150m	非管制空域,与有人机相撞的风险较低。
PDRA-G02	最大起飞重量25kg，最大典型动能34KJ。	BVLOS	人员稀少地区	无	以保留空域为准	以保留空域类型为准
最大特征尺寸:固定翼无人机翼展,旋翼机主旋翼直径。 典型动能:人们通常使用空速计算动能。固定翼无人机使用巡航速度计算典型动能,其他类型无人机使用终端速度计算典型动能。						

全性目标以及适用的适航标准。

建立典型运行场景的预先风险评估

对于典型运行场景，中国、美国和欧洲国家都在与运营企业合作，探索民用无人机的监管模式，并基于风险评估结果总结经验。为避免对同一场景进行重复评估，欧洲航空安全局将典型场景评估结果提炼为具体运行限制与运行要求，如标准场景（Standard Scenario，STS）。

2020年5月，欧洲航空安全局颁布《第2020/639号实施条例（EU）》，该条例是《第2019/947号实施条例（EU）》（2019/947（EU））的修订版，并在修订版实施条例的附录中增加了两个标准场景。为进一步详细描述标准场景，便于主管部门与运营人使用，欧洲

航空安全局发布了（2019/947（EU））条例的可接受符合性方法（Acceptable Means of Compliance，AMC）和 指导材料（Guidance Material，GM）。2020年12月，修订版实施条例增加了4个标准场景的可接受符合性方法—预先风险评估（Predefined Risk Assessment，PDRA）案例。欧洲航空安全局和无人驾驶航空器系统规章制定联合机构分别发布了2个标准场景，预先风险评估编号分别使用“PDRA-S#”“PDRA-G#”加以区分。面向场景的监管具有诸多优势，例如主管部门可以根据场景运行风险水平决定介入程度，如果运营人期望开展低风险标准场景运行，可参考预先风险评估，向监管部门提供符合性声明，大幅降低了监管成本。

展望

民用无人机进入国家空域运行给监管部门带来了挑战。安全风险管理工作是监管方与运营人共同使用的工具，基于运行风险逐渐完善监管政策是监管方的必然选择。监管部门的核心任务是，基于安全目标水平制定具体要求。无人机失控与有人机并不相同，呈现了独特的风险，监管方须要利用更多的数据、案例进行自下而上的反馈，完善安全风险管理体系，利用迭代循环支持基于运行风险的监管决策。现阶段，监管方缺乏民用无人机运行数据的深度分析及不安全事件的分析报告，这可能导致决策过程缓慢或出现偏差。因此，产业发展须要各方协同合作，相互支持。■

国外跨域协同海战的发展现状及关键技术分析

Research On The Foreign Development And Key Technology Of Cross-domain Cooperative Sea Combat

本文介绍国外跨域协同海战的发展现状以及美国海军举行的“无人集成作战问题”21有人-无人联合部队军事演习，分析跨域协同海战的网络化通信技术和态势感知技术，阐述跨域智能指挥控制系统应具备的能力，最后对跨域协同海战的技术发展趋势进行展望。

刘倩，林永生，陈涛，黄子露，黄新俊
江西洪都航空工业集团有限责任公司

随着云计算、大数据、人工智能等新兴技术的推陈出新及其在军事领域中的广泛应用，跨域无人系统协同技术在海战中的应用持续且迅速发展。世界诸多国家提出了基于人机交互技术的全新智能化海战理念，以推进无人空中系统、无人水面系统、无人水下系统在跨域协同海战演习中的应用，同时不断加大跨域无人系统在海军作战力量体系中的比例，将传统装备与人工智能、异构协同等技术相融合，提升装备在强对抗环境下的战场态势感知、自主决策、路径规划、突防攻击等作战能力。智能化前沿海战的主要特征是，陆、海、空、天、电、网等作战平台相互融合，各型无人系统最大限度地发挥作战效能，人在回路对各平台实施绝对控制，形成跨域智能化有人-无人协同作战样式，构建全方位态势感知网络、强大的进攻网络和弹性化防御网络，提高海军装备的整体作战效能。

国外跨域协同海战的发展现状与应用场景

无人空中、水面和水下系统的迅速发展，为海军全方位智能海战体系建设奠定了基础。在智能海战中，各型无人系统根据作战任务自动编队，通过信息交互对敌展开作战行动，以拓展深海作



图1 跨域协同海战体系架构图。

战能力。智能海战无人系统主要包括无人机（UAS）、无人水面艇（USV）、无人水下航行器（UUV）。这些无人系统具有机动性高、隐身性强等优点，相互间建立跨域通信，成为作战网络的节点，在有人平台的指挥下执行任务。

在跨域海战场景中，无人机基于卫星通信链路执行预警、情报、侦察、监视、态势感知等任务，为反舰导弹及其他远程武器系统提供目标引导，同时在有人平台的指挥下，完成远程武器发射条件判断与发射后制导控制、战场毁伤评估、目标打击等任务；无人水面艇主要执行

情报监视侦察、扫雷、搜索救援、移动目标打击等作战任务；无人水下航行器执行反潜作战、水下防御作战和自主作战等任务。跨域协同海战体系详见图1。

国外跨域协同海战军事演习概况
目前，欧洲和美国相继开展了多次跨域协同海战军事演习，演练无人系统发射回收、编队控制、任务管理、跨域信息交互等任务，突破了跨域无人系统分布式控制、对抗环境下智能决策、任务规划、协同作战能力评估等关键技术，对跨域无人系统协同作战的可行性进行探索，加速推动跨域协同海战理念的实

战化应用。国外已开展的跨域协同海战演习详见表1。

“无人集成作战问题”21军事演习
2021年4月，美国海军举行大规模“无人集成作战问题”21（UxS IBP 21）有人-无人联合部队演习，展示了跨域无人系统的典型智能海战场景。在演习期间，大量跨域无人系统和有人舰艇在海战中协同打击水面目标。参与本次演习的系统详见表2。

此次演习展示了无人机与驱逐舰协同作战、基于无人系统导引的“标准”6实弹射击、无人系统反潜战三大场景。参加演习的部分系统详见图2至图6。

在演习中，一艘模拟敌舰从LPD-23两栖舰上被卸下，“阿力伯克”级驱逐舰DDG-113在远处航行，同时寻找模拟敌舰。无人机与无人水面艇在空中与海面交错运行，使用无源电子接收机

接收敌方无线电频率，无人水面舰艇群中的一艘无人艇使用拖曳声呐浮标阵列探测水下威胁。不久，MQ-9B“海上卫士”无人机利用声呐浮标和其他传感器探测靶船（该靶船配备了小型雷达发射器以及能发射电磁信号的模拟雷达），并将靶船的位置信息通过卫星通信链路发送给驱逐舰DDG-113。在融合信息支持下，驱逐舰DDG-113发射了一枚“标准”6导弹，成功击中远程超视距目标靶船。“标准”6实弹射击取得成功，证明了美国海军可在不使用有源传感器的情况下，利用无人系统协同通信网络，共享目标数据，形成了同一目标打击能力，同时证明了“标准”6导弹的射程大大超过受地球曲率限制的舰载雷达探测距离。

此次演习展示了美军有人-无人协同作战能力。MQ-9B“海上卫士”无

人机完成声呐浮标投放等各种反潜战任务。声呐浮标将目标数据转发给驱逐舰，当“海神”P-8A有人海上巡逻机返回基地后，MQ-9B“海上卫士”仍在持续监视特定区域中的水下威胁。与此同时，“洛杉矶”级攻击型核潜艇的鱼雷管发射并回收了一艘“艾弗”4无人水下航行器。

跨域协同海战的关键技术

国外跨域协同海战演习以有人-无人作战编队为基础，围绕复杂多样化任务，构建具有以人为主、跨域协同、网络共享等特征的整体作战框架，展示了强大的海上战场信息优势。为了形成成熟可靠的跨域协同海战能力，网络化通信、态势感知、智能指挥控制等关键技术有待进一步发展。

表1 国外跨域协同海战军事演习统计表。

参演单位	演习时间	演习任务	参演系统
美国通用动力公司	2016年	无人水下航行器、无人机、核潜艇之间建立跨域协同通信。	无人水下航行器、潜艇各1艘,无人机1架。
美国航空环境公司		1.核潜艇发射无人机。 2.无人机为核潜艇、无人水下航行器、无人水面艇搭建通信中继平台。	核潜艇、无人水下航行器、有人水面舰艇各1艘,“黑翼”无人机1架。
英国奎奈蒂克公司		1.旨在开发一种指挥控制系统。 2.单系统对不同数量的无人机、无人水面艇和无人水下航行器进行指挥控制。	无人机、无人水面艇和无人水下航行器总数量为50。
美国洛克希德-马丁公司		1.无人水下航行器发射无人机。 2.“矢量鹰”固定翼无人机、“金枪鱼”无人水下航行器、核潜艇建立跨域协同通信。	无人水面艇、无人水下航行器各1艘。
美国诺斯罗普-格鲁门公司		旨在开发全新的跨域异构无人系统协同作战控制架构“先进任务管理与控制系统”(AMMCS)。	RBs600无人水下航行器1艘、“波浪清翔者”无人水面艇2艘、有人直升机1架。
美国诺斯罗普-格鲁门公司	2017年	1.旨在开发一种指挥控制系统。 2.单系统对不同数量的无人机、无人水面艇和无人水下航行器进行指挥控制。	“普罗特斯”、REMUS 100、TVER无人水下航行器各1艘,“激流”无人水下航行器、“波浪滑翔者”无人水面艇各2艘,无人机1架。
法国舰艇制造局		基于14“无人机”任务系统技术,3种无人系统协同探测目标,并瓦解敌方小艇的指控作战任务。	IT180小型旋翼无人机、REMORINA无人水面艇和无人水下航行器。
美国通用动力公司		无人水下航行器发射无人机。	“金枪鱼”-21无人水下航行器1艘、“黑翼”无人机1架。
美国波音公司		无人水下航行器与无人水面艇建立跨域协同通信。	无人水面艇、无人水下航行器各1艘。
美国海德罗伊公司		无人水下航行器与无人机协同执行情报监视(ISR)任务。	REMUS 600 无人水下航行器1艘、“黑翼”无人机1架。
美国通用动力公司	2019	无人水面艇,无人水下航行器,近海战斗舰(LCS)以及核潜艇等有人-无人作战编队建立跨域协同通信,并传输目标探测信息。	“金枪鱼”-9无人水下航行器、通用无人水面艇、近海战斗舰和核潜艇。
美国通用动力公司	2021	情报监视、目标指示、导弹设计、跨域有人-无人协同作战等能力评估。	无人空中系统、无人水面系统、无人水下系统和有人系统共29种类型。

表2 参与“无人集成作战问题”21军事演习的系统。

系统分类	装备类型	装备名称	演习任务
无人系统	反潜持续跟踪无人水面艇(MDUSV)	“海上猎手”号、“海鹰”号	执行目标搜索和跟踪任务。
	无人水面艇	MANTAS T38、“魔鬼射线”	执行ISR、反水雷、远征后勤保障等任务
	远程无人水面艇(LDUSV)	LDUSV	执行目标跟踪和目标精确打击任务。该型无人艇部署了可自主起降的巡飞弹。
	无人机	“瓦妮拉”、MQ-8B“火力侦察兵”、MQ-9B“海上卫士”	执行情报监视侦察、远程目标定位任务,并配合近海战斗舰执行反水雷、反舰战和反潜战任务。
	水下/水面双模式无人航行器	“海神”(Triton)	—
	无人水下滑翔机	“卡瑞娜”(CARINA)	—
	无人水下航行器	“艾弗” 4(IVER 4)	—
	无人机集群	“超级蜂群”项目无人机集群	—
有人系统	驱逐舰	“朱姆沃尔”特级导弹驱逐舰(DDG-1001)、“阿力伯克”级导弹驱逐舰(DDG-62、DDG-106、DDG-111、DDG-113)	执行有人-无人协同指挥与控制任务。
	巡洋舰	“提康德罗加”级导弹巡洋舰(CG-59)	—
	战斗舰	近海战斗舰(LCS-3、LCS-4、LCS-24)	—
	运输舰	“圣安东尼奥”级两栖船坞运输舰(LPD-23)	靶船运输。
	核潜艇	“洛杉矶”级攻击型核潜艇(SSN767)	执行自主攻击任务,并发射和回收水下航行器。
	海上巡逻机	“海神”P-8A	—
	预警机	“鹰眼”E-2C	—
	电子战飞机	“咆哮者”EA-18G	—
	直升机	MH-60R、MH-60S	—



图2 在演习中,“阿达拉”(ADARO)无人系统与“奥克兰”号(LCS-24)近海战斗舰协同作战。



图4 “朱姆沃尔”特级驱逐舰(DDG-1001)引领编队航行。

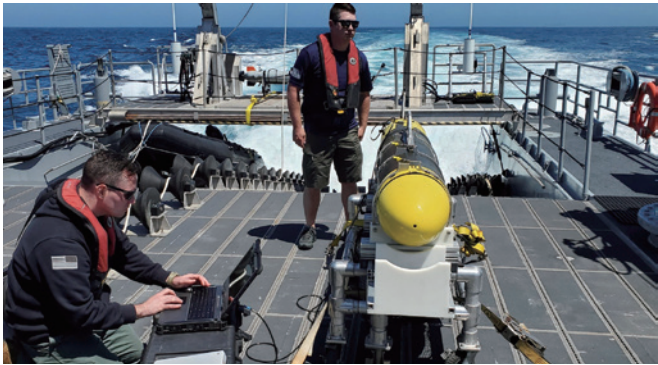


图3 操作人员准备布放“卡瑞娜”无人水下滑翔机。



图5 “标准”6导弹发射瞬间。



图6 MQ-9B“海上卫士”无人机携带声呐浮标,飞过“科罗拉多”号近海战斗舰。

海战网络化通信技术

目前,有人机、无人机、导弹、舰船、潜艇等作战单元仅作为相对独立的系统在局部作战区域中运用。未来,具有不同功能的各型作战单元及其组成的编队将在海上战场协同作战,所有作战单元都是整个作战系统信息栅格中的一个节点,并与指挥系统实现互联、互通。

海战通信网络以各型舰艇、飞机、导弹为通信节点,综合运用卫星通信链路、视距数据链等无线通信手段,组成具有移动组织特点的海战通信网络。

按照信息精度和信息实时性等不同要求,海战通信网络可分为武器控制、兵力控制和计划协调3个层次。海战单元种类繁多,各单元协同作战须要交互大量数据信息,通信网络将按需求特点,使用不同的通信手段。因此,海战通信网络具有通信手段差异大、网络拓扑变化复杂、传输带宽有限、容量可变、链路质量不稳定等特点。

针对跨域协同海战通信网络的特点,各型无人系统应采用无线分布式动

态多址接入、实时鲁棒性传输、数据链网络顽存等关键技术,构建作战单元集群自适应网络体系,为实现实时、宽带、安全的集群通信网络提供技术支撑。

跨域协同海战通信网络中单一链路传输的信号存在不稳定的问题,各型无人系统须要采用多跳中继传输信息。由于多跳中继动态变化,节点容量受限,各型无人系统须要将网络编码技术与路由技术相结合,选择编码机会大的路径传输信息,优化基于网络编码的节点接入策略和多跳网络节点间信息传输策略,在不增加时延的情况下提高网络吞吐量,实现网络大容量信息传输。

海战态势感知技术

战场态势感知是系统对作战时间与空间内各元素作战意图的理解,并对战场发展趋势进行预测。在未来跨域协同海战中,态势感知技术将为整个军事行动的指导与决策提供信息。如何利用已获取的战场信息和已知的作战信息来构建直观的态势模型,是未来海战研究领域的一个重要课题。

现代海战通常具有环境背景相对简单,作战单元种类繁多、数量庞大,多兵种协同程度高,战场中的大型舰船数量较少,作战单元配比较为固定等特点。

根据跨域协同海战的发展趋势,协同海战态势感知系统须采用以下主要技术。

(1)多类型、多功能、高性能传感器技术

多传感器协同技术为态势感知提供了足够的技术支持。海上战场的复杂性决定了作战系统须要使用多类型、多功能、高性能传感器来广泛收集目标的多维特征,对目标进行探测,对目标信息进行分类和处理。

(2)多维信息融合技术

在跨域协同海战中,通信网络易遭受电子干扰和终端捕获而发生通信中断。为实现信息共享,态势感知系统须具备多维信息获取和处理能力,使得作战系统能够较好地克服所面临的困难。

(3)传感器管理技术

海战态势感知系统须对无人系统配置的多传感器进行感知建模,为各传感

器部署方案提供设计依据。同时，针对战术侦察、电磁兼容性等要求，及时对各传感器进行集中管控。

（4）可量化战场态势信息技术

己方对传感器获取的海上战场环境、敌方作战单元数量和类型，已知的战场部署和兵力配置等信息进行建模，形成一个可视化战场影像，为指挥人员的决策方案提供信息支持，或者建立一个可量化战场模型，为战场数字指挥系统的决策提供参考。

跨域协同海战的智能指挥控制系统

有人－无人协同作战是未来海战的重要作战样式。它可实现平台作战能力互补，以及整个海战武器系统内部火力配置的高度融合。有人系统和无人系统在作战中的任务定位可能会随着不同无人系统的自主能力、战场环境变化、作战任务变化而发生改变。因此二者的功能须要动态地适应作战场景的变化。跨域协同海战智能指挥控制技术研究须要充分利 用有人、无人两种系统的优势，平衡二者的能力，合理组建有人－无人编队，发挥最大作战效能。为满足跨域有人－无人编队协同作战的需求，海战智能指挥控制系统须具备以下能力。

（1）全域多维快速转换能力

未来海战将不会局限于海军单兵种作战，其作战空间将由传统的海面、浅海、空中进一步拓展到深海、赛博等空间。这须要未来海战指挥控制系统具备在不同作战域间快速灵活切换的全域多维快速转换能力。

（2）战场快速决策能力

在未来海战中，海量信息的复杂度增大，使信息处理量已远超人脑的运转负荷。而人工智能（AI）处理技术和算法可大幅提升海量战场信息的处理速度。因此，智能指挥控制系统应具备大数据分析和战场态势模型学习与训练功能，提升海量数据的快速运算与处理能力，迅速做出指挥决策，为作战部署提供有力支撑。

（3）精准指挥控制能力

海战跨域分布式对抗须要指挥控制系统对作战环境、作战资源、作战流程等要素进行快速组织、精确控制。因此，为实现所有作战单元之间同时协调运转，智能指挥控制系统须具备准确地执行指挥意图的能力。

（4）智能要素协同能力

无人系统在跨域协同海战中承担着多维感知、全域响应、高效机动与精确打击等作战任务。无人系统在整个海战武器系统中的占比将越来越大，无人系统之间、有人系统与无人系统之间的智能交互、认知交互、意图交互等协同能力对海战智能指挥控制尤为重要。

技术发展趋势

海下、海面、海洋上空等不同空间中的作战单元越来越丰富，其作战能力越来越强大，尤其是无人系统的自主能力正在快速提升。未来，海战将向多平台协同作战，有人－无人协同作战等方向发展。受当前技术水平制约，整个海战中的作战单元还必须由人在回路实施控制，但随着跨域协同技术的不断发展，无人系统大量使用是未来海战的发展趋势。

通信网络通用架构标准建立

首先，海战跨域网络化通信系统须要建立一套适用于各型作战系统的通用架构标准。这套标准应该涵盖操作、服务、数据和信息等层面的内容，以确保多个作战域中的各型系统保持指挥、控制和通信等要素同步，进而实现多域和多系统之间的无缝协同。以数据和信息为例，通用架构标准应包含基于通用语言编写的通用数据模型，实现不同系统和模块之间的信息交互。另外，随着电子技术的迅速发展，网络化通信对网络安全提出了更高要求，未来网络通信须要不断加强赛博防御机制，并发展灵活、高效的电子防御技术，确保网络信息在传输过程中保持完整性、可靠性和可用性。

基于人工智能技术的自主性提升

人工智能技术是未来有人－无人协同作战系统发展的核心驱动力，直接决定了作战系统的自主能力。其中，无人系统自主性越高，将能执行更加复杂的战场任务，并在有人－无人协同作战中承担更重要的任务。而全自主无人系统将具有类似人类的智能，自主感知战场态势，自主决策任务。当前，机器学习等人工智能算法正在快速发展，未来海战研究应关注如何将成熟的算法应用到实战场景。此外，由于海量信息运算非常复杂，须要强大的计算能力，未来海战须要解决云计算技术如何移植到无人系统的嵌入式硬件。

新的测评和验证技术开发

跨域协同海战与传统海战之间存在明显的差异性。因此，传统技术测试、评估、校核和验证模型须要进行适应性改进，并采用新的开发、仿真等方法和技术。此外，增强现实、虚拟现实等数字仿真平台将为系统测试与验证、人机交互提供重要手段。

结束语

在未来跨域协同海战中，各型无人系统将充分发挥优势，协助海军在未来军事作战中完成使命，并与舰载装备组成编队执行任务，显著增强作战体系的作战效能。我军海战体系建设应紧跟目前世界海战的发展趋势，加快有人－无人编队部队建设，大力发展海战智能化关键技术。同时，我国海军反跨域无人系统作战研究迫在眉睫，只有形成强大的防御系统，才能提前有效地遏制敌方作战意图。

东南亚国家无人机发展概述

Overview Of The UAV Development Of Southeast Asian Nations

东南亚国家近年来不断加大无人机采购力度，同时寻找自主研发路径，努力提高无人机作战能力。本文阐述7个东南亚国家无人机发展现状，介绍这些国家在研、在试和计划采购的无人机型号。

王小刚，霍鹏，薛莉

东南亚地区位于亚洲东南部，包括马来西亚、缅甸、印度尼西亚、菲律宾、新加坡、泰国、越南等国家。近年来，东南亚国家出于实际需求，不断加大无人机采购力度，加快无人机自主研发进程，努力提高无人机作战能力。

马来西亚无人机发展现状

为了以高效、低成本手段监控南中国海、马六甲海峡和苏禄海，马来西亚特别是马来西亚空军和海军，非常重视无人机的广泛运用。马来西亚部队目前租用美国波音公司旗下英西图公司生产的“扫描鹰”无人机，并装备了国产“阿鲁德拉” Mk1（ALUDRA Mk1）战术无人机。

现有无人机系统

（1）“扫描鹰”无人机

“扫描鹰”无人机由美国波音公司旗下英西图公司生产，机长1.2m，翼展3m，续航时间大于24h，最大飞行高度5943m，采用气动弹射器起飞，无须跑道，利用“天钩”系统进行空中回收。根据美国海事安全倡议计划，美国向马来西亚海军出售12架“扫描鹰”无人机。马来西亚海军于2021年4月组建了第601中队，该中队负责操控“扫描鹰”无人机。2021年7月，美方已交付6架“扫描鹰”，按计划于2021年底交付其余6架。

（2）“阿鲁德拉” Mk1 无人机

“阿鲁德拉” Mk1 战术无人机由马来西亚无人系统技术公司研制，采用了马来西亚无人系统技术公司21世纪初开发的SR-1和SR-2无人机技术。自2006年以来，马来西亚部队至少租用了15架“阿鲁德拉” Mk1 无人机。

（3）“管鼻鹱” 小型无人机

“管鼻鹱”（Fulmar）小型无人机由泰雷兹（Thales）集团西班牙分公司研制，最大起飞重量20kg，续航时间8h，使用重油发动机，采用弹射器起飞，回收使用拦阻网。“管鼻鹱”挂装了具有目标自动探测和跟踪功能的光电/红外传感器，可配备标准型海上目标自动识别系统。该型无人机能在水面上漂浮24h。马来西亚海事执法署于2016年采购了6架“管鼻鹱”，将该型无人机部

署在新一代巡逻艇上，执行反海盗、反走私、渔业监管和边境监视等任务。

在研在试无人机

（1）“阿鲁德拉” Mk2 无人机

马来西亚空军计划采购“阿鲁德拉” Mk2，但是仍在使 用“阿鲁德拉” Mk1 战术无人机。目前看来，马来西亚空军已经没有“阿鲁德拉” Mk1 战术无人机的采购需要。

缅甸无人机发展现状

缅甸部队装备有一系列中国、以色列和俄罗斯制造的无人机。在近年军事行动中，缅甸军用无人机执行了任务。

现有无人机系统

（1）“彩虹”-3 无人机

“彩虹”-3 无人机由中国航天空气



图1 马来西亚海事执法署采购了6架“管鼻鹱”小型无人机。

动力技术研究院研发。缅甸采购了多架该型无人机。

(2) “云雀” I-LEX 无人机

“云雀” I-LEX (Skylark I-LEX) 小型电动无人机由以色列埃尔比特系统公司研制,翼展3m,最大起飞重量7.5kg,实用升限4572m,续航时间约3h,航程40km,采用手抛发射方式起飞,由两名操控员控制,可自动跟踪和探测静止与移动目标,执行空中侦察、监视以及通信中继任务。2015年前后,以色列向缅甸提供了多架“云雀” I-LEX,但自2018年以来,以色列已停止供货和提供有关支持。

(3) “海雕”-10 无人机

“海雕”-10 (Orlan-10) 无人机由俄罗斯圣彼得堡特种技术有限责任公司研制,翼展约3m,最大起飞重量约10kg,续航时间大于10h,飞行速度70~150km/h,采用弹射装置起飞,可执行情报侦察监视任务,也可搭载干扰机执行电子战任务。2021年1月,俄罗斯国防部长谢尔盖·绍伊古访问缅甸期间,会见了缅甸三军总司令敏昂莱大将,并签订“铠甲” S1防空系统和“海鹰”-10E(“E”为出口型号)无人机采购合同,但无人机具体采购数量不详。

印度尼西亚无人机发展现状

印度尼西亚是一个群岛国家,拥有岛屿超过17000座。多年来,为加强广阔领海的防御能力,印尼一直声称须要无人机。但是,印尼缺乏技术、工业基础和财政资金,印尼部队采购和自主开发无人机的尝试屡次受阻。

现有无人机系统

(1) “航空星” 战术无人机

“航空星”(Aerostar) 战术无人机由以色列航宇工业公司研制,机长4.5m,翼展8.7m,机高1.2m,最大起飞重量230kg,最大任务载荷重量50kg,续航时间12h,最大飞行速度204km/h,挂装有光电/红外传感器。“航空星”无人机由位于西加里曼丹坤甸市附近的印尼空军第51航空中队操控。

(2) “彩虹”-4 无人机

“彩虹”-4 无人机由中国航天空气动力技术研究院研制。该机安装了卫星通信系统,航程达2000km。印度尼西亚与中国签订了6架“彩虹”-4军用无人机的采购及相关技术转让合同。目前,印尼空军已接收至少4架“彩虹”-4,首批2架“彩虹”-4于2019年8月抵达印度尼西亚,并开展了一系列飞行演示,同年10月,“彩虹”-4首次在印尼公开亮相。2019年9月,印度尼西亚空军、陆军和海军在东爪哇省举行联合军事演习,“彩虹”-4无人机在演习期间执行侦察任务,并发射AR-1制导弹药打击地面模拟目标。

(3) “武隆” 无人机

“武隆”(Wulung) 无人机由印

度尼西亚航宇工业公司研发,翼展6.2m,最大起飞重量130kg,实用升限3048m,续航时间5h,巡航速度124km/h,航程150km。“武隆”无人机计划于2004年启动,旨在生产一种国产无人机,在印尼群岛上空执行非法捕鱼监视、伐木监视,人工播云和消防支援等民用领域的任务。

在研在试无人机

(1) “黑鹰” 无人机

“黑鹰”无人机由印度尼西亚航宇工业公司研发,是一种中空长航时军用无人机,外形与“彩虹”-4颇为相似,翼展16m,最大起飞重量1300kg,续航时间约30h,视距内作战半径250km,最大飞行速度235km/h。“黑鹰”无人机原定在2020年初进行飞行



图2 “海雕”-10 无人机也可搭载干扰机执行电子战任务。



图3 “航空星” 战术无人机已在印尼空军部队服役。

试验,但受疫情影响,飞行试验被推迟到2021年底。2021年12月,“黑鹰”无人机开展了第一次地面测试。

菲律宾无人机发展现状

近年来,菲律宾国防部和部队加速提升部队作战能力。该国部队最早使用改装型商用无人机执行战术情报侦察监视任务,但是后来列装了以色列和美国制造的无人机。

现有无人机系统

(1) RQ-11B “大乌鸦” 无人机

RQ-11B “大乌鸦”(Raven) 无人机由美国航空环境公司研制。由于菲律宾反恐计划获得美国支持,菲律宾陆军已经接收RQ-11B “大乌鸦”无人机。“大乌鸦”无人机翼展1.4m,机长0.9m,最大起飞重量1.9kg,续航时间60~90min,航程10km,巡航速度32km/h,最大飞行速度81km/h,采用手抛发射方式起飞。

(2) “扫描鹰” 无人机

“扫描鹰”无人机由美国波音公司下属企业英西图公司生产。菲律宾空军从美国进口了数架“扫描鹰”无人机,交接仪式于2018年3月在菲律宾帕赛市维拉莫尔空军基地举行。第300空中情报和安全联队驻扎在巴拉望岛安东尼-包蒂斯塔空军基地,负责操控“扫描鹰”无人机。

(3) “赫尔墨斯” 450 无人机

“赫尔墨斯”450 (Hermes 450) 战术无人机由以色列埃尔比特系统公司研制,翼展10.5m,最大起飞重量550kg,任务载荷重量180kg,续航时间17h,实用升限5486m。菲律宾空军采购了4架“赫尔墨斯”450,首批2架“赫尔墨斯”450于2019年8月下旬抵达菲律宾,其余2架于2020年交付。根据菲律宾于2019年10月宣布的一份总金额为1.53亿美元的合同条款,菲律宾从以色列采购4架“赫尔墨斯”450无人机、9架“赫尔墨斯”900无人机、“云雀”3无人机、“云雀” I-LEX无人机和“雷神”四旋翼无人机。



图4 印度尼西亚“黑鹰”中空长航时无人机。

(4) “赫尔墨斯” 900 无人机

“赫尔墨斯”900 (Hermes 900) 无人机由以色列埃尔比特系统公司研制,是菲律宾进口的第一型中空长航时无人机。该机翼展15m,最大起飞重量约1200kg,最大任务载荷重量350kg,续航时间36h,实用升限9144m。菲律宾空军采购了9架“赫尔墨斯”900,以色列埃尔比特系统公司已于2020年底交付完毕。

(5) “云雀” 3 无人机

“云雀”3 (Skylark 3) 战术无人机由以色列埃尔比特系统公司研制,采用气动发射器起飞。该机翼展4.7m,最大起飞重量40kg,续航时间6h,实用升

限4572m,航程100km。

(6) “云雀” I-LEX 无人侦察机

“云雀” I-LEX 战术无人侦察机由以色列埃尔比特系统公司研制,采用手抛发射方式起飞,为营级部队提供侦察信息。该机在100m或更高的高度飞行时,地面人员几乎听不到无人机发出的声音。

(7) “雷神” 四旋翼无人机

“雷神”(Thor) 四旋翼无人机由以色列埃尔比特系统公司研制,飞行高度3~610m,任务载荷重量3kg,最大飞行速度65km/h,续航时间75min,作战半径10km,可执行军事和国土防卫任务。根据2019年10月签订的采购协



图5 菲律宾从以色列引进了“赫尔墨斯”900 中空长航时无人机。

议，菲律宾共采购1000架“雷神”无人机。

新加坡无人机发展现状

由于人力资源长期短缺，新加坡部队将技术视为关键力量倍增器，指挥控制、情报侦察监视和精确打击能力整合是该国部队现代化建设的重点任务。因此，无人机已成为新加坡部队作战能力转型的关键推动因素。

现有无人机系统

(1) “扫描鹰”无人机

“扫描鹰”无人机由美国波音公司下属企业英西图公司生产。该机部署在新加坡海军6艘“胜利”级导弹护卫舰上，为护卫舰提供空中侦察监视信息。

(2) “赫尔墨斯”450无人机

“赫尔墨斯”450 (Hermes 450) 无人机由以色列埃尔比特系统公司研制。2007年，新加坡空军接收了首批“赫尔墨斯”450，并于2015年3月投入使用。第116中队驻扎在新加坡西部的登加空军基地，负责操控“赫尔墨斯”450无人机。

(3) “苍鹭”1无人机

“苍鹭”1 (Heron 1) 中空长航时无人机由以色列航宇工业公司研制，采用常规上单翼、双尾撑和双垂尾布局设计。新加坡空军于2012年5月引进“苍鹭”1，以替代旧型“搜索者”战术无人机。新加坡空军宣布，“苍鹭”1无人机于2017年3月形成完全作战能力，由第119中队和第138中队操控。

(4) “天刃”Ⅱ与“天刃”Ⅲ无人机

“天刃”Ⅱ与“天刃”Ⅲ (Skyblade Ⅱ、Skyblade Ⅲ) 无人机由新加坡科技工程有限公司研制。

“天刃”Ⅱ是一种近程小型无人机采用混合推进系统提供动力，最大起飞重量5kg，续航时间1h，作战半径8km，以手抛发射方式起飞，回收使用降落伞。

“天刃”Ⅲ便携式无人机采用手抛发射方式起飞，最大起飞重量5kg，续



图6 “扫描鹰”无人机在舰上起飞。

航时间1h，作战半径8km，可装在两个背包中，每个背包重20kg。操控员可在20min内完成无人机组装和飞行准备工作。

在研、在试及拟购无人机

(1) V15垂直起降无人机

V15垂直起降复合翼无人机由新加坡国防科技研究院自主研发。该型无人机于2017年11月亮相，配置了光电/红外传感器，续航时间3h，专为城市作战而设计，可在行进中的无人地面车上起降。

(2) “毒刺”无人机

“毒刺”无人机由新加坡科技工程有限公司研制，是一种半自主多旋翼

军用无人机，续航时间30min。该机可携带光电/红外传感器、火控系统和“无敌”100 Mk8 (Ultimax 100 Mk8) 5.56mm口径轻型机枪，为连级部队提供侦察信息和火力支援。

(3) “快速”系列无人机

“快速”15 (Veloce 15, V15) 和“快速”60 (Veloce 60, V60) 垂直起降复合翼无人机由新加坡科技工程有限公司地面系统部门研制，具有战术优势，组装快捷，易于运输。V15和V60最大起飞重量分别为16 ~ 17kg和50 ~ 70kg。

(4) “轨道器”4无人机

“轨道器”4 (Orbiter 4) 近程无人

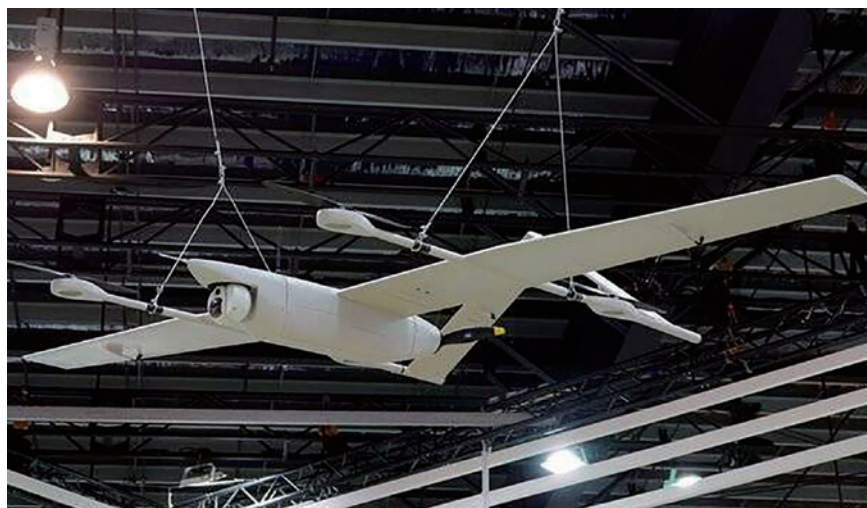


图7 V15垂直起降复合翼无人机专为城市作战而设计。

机由以色列航宇工业公司研发。2022年3月，新加坡国防部透露，新加坡空军已采购“轨道器”4无人机。该机翼展5.4m，最大起飞重量50kg，任务载荷重量12kg，最大飞行速度130km/h，实用升限5486m，续航时间24h，采取发射器起飞，机身由轻量化材料制成，具有低可探测性和静音飞行特性，可提高新加坡部队的态势感知能力。

泰国无人机发展现状

近年来，泰国对情报的需求不断增长，本国无人机研发能力随之增强。泰国国有国防技术研究所在中国和以色列等国家的技术援助下，努力提高本土无人机生产能力，并持续推动国防工业创新发展。

现有无人机系统

(1) “航空星”战术无人机

“航空星” (Aerostar) 战术无人机由以色列航宇工业公司研制，已进入泰国皇家空军服役。新成立的第404中队驻扎在塔赫利空军基地，负责操控“航空星”无人机。

(2) RQ-11“大乌鸦”无人机

RQ-11“大乌鸦”无人机由美国航空环境公司研制。2010年，泰国皇家陆军采购了大约12架RQ-11“大乌鸦”无人机，以执行战术情报侦察监视任务。

(3) “虎鲨”Ⅱ无人机

泰国皇家空军、太空军和航空科学技术研发中心于2015年前后开始设计“虎鲨”Ⅱ中程战术无人机。该机作战半径150km，实用升限3048m，任务载荷重量30kg。泰国国防部在2016年签订了一份金额为1800万美元的零件采购合同，以组装17架“虎鲨”Ⅱ无人机。

(4) U-1战术无人机

泰国皇家空军列装的战术无人机U-1由泰国RV康内克斯 (RV Connex) 公司和泰国皇家空军联合开发，采用了早期“虎鲨”Ⅱ和“天空侦察兵” (Sky Scout) 无人机技术。目前，



图8 新加坡“毒刺”多旋翼无人机。



图9 新加坡空军已采购“轨道器”4无人机。



图10 “虎鲨”Ⅱ无人机的研制工作于2015年前后启动。

R V康内克斯公司计划为U-1战术无人机安装轻型空对地导弹。

(5) “统治者”无人机

“统治者”(Dominator)无人机由以色列航宇工业公司研制。该型无人机由DA42“钻石”双发轻型飞机经无人化改装而成,翼展13.5m,机长8.6m,机高2.5m,最大起飞重量为1910kg,最大飞行速度277km/h,续航时间大于20h。

在研在试无人机

(1) “塔雷姆”战术多旋翼无人机

“塔雷姆”(Tarem)战术多旋翼无人机由泰国皇家海军研发办公室研制,2017年在曼谷举行的泰国国防与安全展览会上亮相,可执行通信中继和监视任务。

(2) D-“眼睛”04无人机

D-“眼睛”04(D-eyes 04)中型无人机由泰国国防技术研究所与泰国皇家陆军联合研制,在泰军炮兵部队服役,替代了泰军使用的以色列“搜索者”MK II无人侦察机。

越南无人机发展现状

依靠航空航天和通信领域的技术实力,越南航空航天协会和维特尔集团(Viettel Group)已自主研发无人机。

现有无人机系统

(1) “轨道器”系列无人机

“轨道器”(Orbiter)系列无人机



图11 “统治者”无人机由DA42“钻石”有人机改装而成。

由以色列航宇工业公司研发。2014—2015年,越南购买了1架“轨道器”2和1架“轨道器”3小型无人机,提高了炮兵部队和岸防导弹部队的态势感知和目标定位能力。

(2) “巡逻”VT战术无人机

2014年,越南维特尔集团飞行器中心推出“巡逻”VT(Patrol VT)战术无人机。该机目前在越南部队服役,作战半径50km,可携带光学/红外传感器并实时传输高清影像。

在研、在试和拟购无人机

(1) “扫描鹰”无人机

“扫描鹰”无人机由美国波音公司下属企业英西图公司研制。2019年,

越南和美国签订采购合同,引进6架“扫描鹰”无人机,部署在越南海岸警卫队,美国计划于2022年3月交付完毕。

(2) HS-6L 高空长航时无人机

HS-6L 高空长航时无人机由越南科学工业研究院与越南公安部研制。该机采用双尾撑布局设计,翼展22m,航程4000km,续航时间35h。2015年11月,越南完成原型机研制,2016年第二季度开展飞行测试。

(3) 维特尔集团无人侦察机

2020年9月底,在越南举办的一次军事装备展上,维特尔集团展示了一架采用双尾撑布局设计的新型中空长航时无人侦察机模型。



VOLITATION
天响创新

飞行器设计服务、复材飞行平台智造、科研服务提供商

广告

飞行器设计/复材飞行平台智造

■ 飞行器设计全流程业务

☑ 客户需求定位 ☑ 布局构型选择 ☑ 动力系统 ☑ 概念方案评估

■ 飞行器设计关键环节

独立单元定制服务

☑ 结构机械设计 ☑ 设备系统布置 ☑ 气动优化 ☑ 气动方案

■ 飞行器专业化深度分析

提供行业领先的分析、优化服务、满足科研级别的深度需求

☑ 结构优化分析 ☑ 飞行性能评估 ☑ 加工工艺 ☑ 综合成本评估

复材定制开模, OEM/ODM

白虎95kg级垂起
45kg载重(含油)



复合材料飞行平台智造(机体+动力)

- 青龙: 35kg串联翼油电混垂直起降固定翼, 载重15kg(含燃油)
- D35: 35kgH尾油电混动垂直起降固定翼, 载重15kg(含燃油)
- 玄武: 15kg串联翼纯电垂直起降固定翼, 载重3kg
- 朱雀: 10kg4+1布局纯电垂直起降固定翼, 载重1.6kg



青龙



D35



玄武



朱雀



天响创新(北京)科技有限公司

天响创新(北京)科技有限公司成立于2015年,专注于飞行器设计服务、复材智造和科研服务。国家高新技术企业,获得ISO9001质量体系认证。核心团队来自北航、清华、瑞典皇家理工、乌克兰安东诺夫、南航、昌航等高等院校。

地址:北京市海淀区知春路7号北航致真大厦D2211/河北省保定市满城联东U谷25号楼

电话:朱经理:17605141886/王经理:15295080612

邮箱:txcx@tx-tech.cn

网址:www.tx-tech.cn

无人装备在城市作战中的运用研究

Research On The Application Of Unmanned Equipments To Urban Combat

城市已成为未来战争的主要战场，城市作战是作战类型之一。随着科技的发展，无人装备技术日趋成熟，大量无人装备陆续进入部队服役，将在军事行动特别是城市作战中发挥重要作用。本文阐述无人装备的概念、优势、城市作战的主要特点，并对无人装备承担的任务进行分析，以期为无人装备的发展与运用提供参考。

安洪伟，王刚
陆军装甲兵学院

纵观近年世界上发生的局部战争和武装冲突，我们不难发现，城市已经成为未来战争的主战场，城市作战将逐步成为我军信息化局部战争的重要形式。

无人机、无人潜航器、无人船、无人艇和无人战车等无人装备无须考虑人员的生理极限，能在冲击波、辐射、核生化污染等极其恶劣的环境中遂行任务，具有持久作战能力强、人员零伤亡、效费比高等优势，在战场上逐渐成为一支重要的新型作战力量。随着技术的进步，小型低成本无人装备不断拓展应用场景，特别是适用于陆战分队的军用无人装备逐步成熟，并与有人作战行动有机结合，产生了灵活多样的战法。

城市作战的概念

城市作战是指部队在城市市区及其外围地区进行作战，分为城市进攻作战和城市防御作战。未来，城市进攻作战将面临作战行动复杂、打保矛盾突出、火力运用受限、协同保障困难、政治影响敏感等挑战。

无人装备用于城市作战的优势

我军现行编装条件下的合成营若以传统作战方式遂行城市夺控战，将遇到“察不明、通不畅、打不着、控不力、保不好”等诸多问题，特别是在战斗激烈的巷战阶段，会有较大的战损与人员

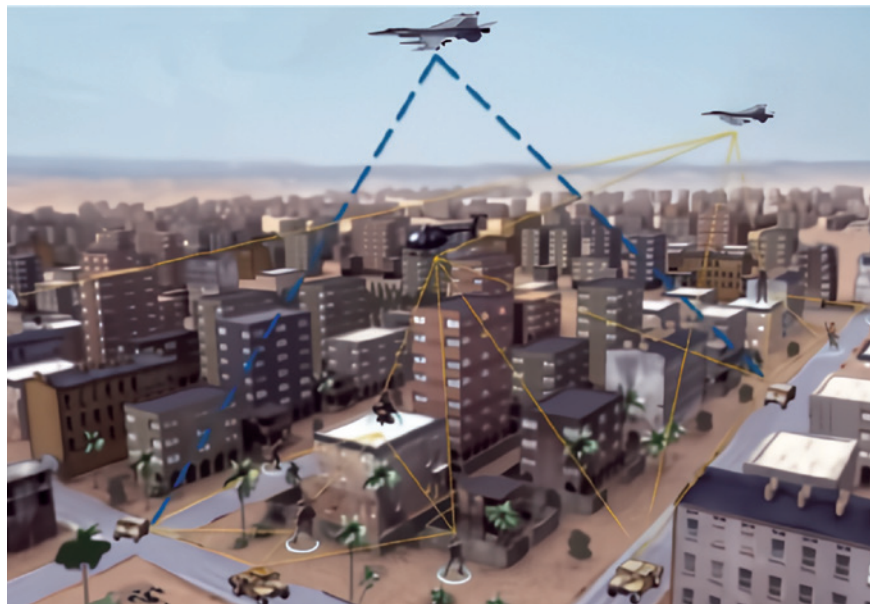


图1 在城市作战中，无人装备与有人机协同作战，大幅提高了作战效能。

伤亡。现在，无人装备广泛运用于城市作战，战场形势将发生明显变化。

一是作战空间时达化。部队引入无人作战力量后，复杂城市环境对作战行动的阻隔作用明显变弱，尤其是在各种复杂和狭窄的街道、房屋、楼道等作战环境，无人机、无人车可以隐蔽而灵活地进入城市各个角落。

二是目标打击精确化。无人侦察装备为有人精确打击平台提供目标引导，察打一体无人装备可打击战场空间中的几乎所有目标，并有效减少附带损伤。

无人装备有望在侦察打击任务受限的城市作战和多域战精确打击任务中发挥重要作用。

三是任务多样化。无人装备可独立完成作战任务，或采用有人—无人协同作战模式在危险和特殊环境下执行多样化任务。

现代城市作战的主要特点

(1) 城市建筑物密集坚固，攻坚任务艰巨

现代大型城市的建筑物密集，大部

分建筑物坚固抗毁。守敌遂行城市防御时，通常会就地建筑物改造为防御工事，依楼守卫，依托建筑物构筑地堡、掩蔽部、射击掩体等坚固工程，建立高、中、低多层火力体系，采取凭坚固守、逐层抵抗的方式，迟滞我军进攻速度，消耗我军大量有生力量。坚固密集建筑物加大了城市进攻战斗的难度，使攻坚任务异常艰巨。

(2) 城市空间立体多样，地形环境复杂

城市空间由城区空域、地面建筑、地面和地下四部分构成。受楼宇阻断、墙壁隔断、水系割断、地层遮断等因素影响，城市战场被分隔成几平方米至几万平方米不等的成千上万个空间，而且每个战斗空间都不相同。这些空间高低错落、形状各异、结构不一，并与不同类型的通道相互联结，战场地形环境极为复杂。

(3) 街道楼巷反复被争夺，短兵近战激烈

城市街道纵横交错，类型各异。在城市作战中，这些街道及其两侧建筑物具有极其重要的地位和作用。一方面，城市主要街道为我军提供了机动通道；另一方面，道路两侧的建筑物具有很强的瞰制作用，是敌方攻击的主要目标。巷战、近战成为城市作战的重要形式，战斗短距化、班组化特征非常明显。

(4) 民生敏感目标混杂，作战手段受限

城市敏感目标是指，在城市作战中能引发舆论、法律和外交等问题的政治和民生目标。国际法禁止作战双方攻击平民，非军事用途的宗教目标，医院、学校、文化古迹等民生慈善设施。在城市作战中，军事目标与非军事目标混杂，增加了目标选择和目标打击的难度，限制了作战手段运用。

(5) 心理战重要，攻防挑战突出

在城市作战中，民众心理极度焦虑，其立场瞬息万变。敌军畏惧心理重、求生意愿强，我军若不注重分化瓦解，一味强打硬攻，就会丧失不战而屈人之兵

的良机，付出更大的伤亡代价。我攻击分队入城后，面对陌生地形、多元危险，心理处于紧张状态，而且连续作战易导致人员体力疲劳，加重人员心理负荷，我方亟须加强心理防护，稳固官兵心理防线。

(6) 战斗伤亡损耗巨大，后装保障困难

在城市作战中，敌我攻防激烈，弹药物资消耗巨大，易造成大量人员伤亡和装备损毁。受城市环境影响，后装保障困难突出，一是伤员分布广，散落于“立体”空间多个点位，人员搜救较为困难；二是城区道路、桥梁等交通设施和建筑物易遭破坏，补给物质无法及时前运；三是城市街巷较为狭窄，受损装备极易造成道路堵塞，抢救抢修行动暴露于敌火之下，面临极大风险。

城市作战任务分析

无人系统迅猛发展，正在逐步改变战场形态。依靠兵力夺控的作战样式正在向信息化作战、精确打击作战等方向转变。在战法上，有生力量打击和消灭向“破体夺志”转变，有人—无人协同作战、功能集成将实现能力体系的非对称性；立体布势、多点同步可实现作战进程的非线性；人机协同、先机后人实现了作战的非接触性。

在联合体系支撑下，有人装备与无人装备可协同遂行如下城市夺控任务。

(1) 多域侦察监视 根据无人系统型号、功能以及所担负的任务，各侦察队(组)可灵活选编无人装备，并利用平台及任务载荷

的功能和特点，对预定战场、预定区域和预定目标展开先期侦察、战场监视和补充侦察等多域侦察行动。

在上级情报支援的基础上，我方统筹建制内、配属及体系侦察力量，采取“立体布势、先机后人、多维侦察、全程情侦监、一体融合”作战策略，综合运用声、光、电磁、红外、雷达等多种技术手段对敌重要目标和作战体系实施侦察，使作战部队共享敌方信息。无人侦察机在指定城市空域侦察，地面无人侦察装备被秘密部署在前沿作战区域，或先遣机动至预定作战地域切换为“休眠”模式潜伏待敌。无人装备最终在预定作战地域完成大范围持久侦察任务。

(2) 节点精打毁瘫

节点精打毁瘫包括电子攻防、引导打击等行动。



图2 小型垂直起降无人侦察机在城市街巷上空执行侦察任务。



图3 无人车在预定区域执行侦察探测任务。

在兵力接触前，无人作战力量与传统火力打击力量对敌作战体系节点和重要目标实施打击，有效瘫痪和破坏敌方作战体系。

无人平台为体系内远程火力的精确打击任务提供重要目标引导。察打一体无人平台具有“发现即摧毁”能力，可对敌方重要节点目标实施突然攻击。时敏目标具有动态性强、难捕捉、可打击时间短等特征，察打一体无人平台可对临机捕获的时敏目标进行精确确体。

（3）立体拔点夺控

通常，立体突击力量有效突破敌外围防御且突入敌浅近纵深区域后或同时，才会展开立体拔点夺控。立体拔点夺控包括“察打结合、火力拔点”和“强行攻击，伴随跟进”等行动。



图4 四足机器人在地下空间执行侦察探测任务。



图5 无人战车前出实施突击，为有人作战力量实施清剿行动创造条件。

有人作战力量与无人作战力量协同配合，采用无人作战平台在先、有人作战平台在后的作战样式，共同完成任务。中大型无人攻击平台前出实施突击，实时吸引敌方隐蔽兵力和火力，发挥机动性和防护能力较强的优势，突击敌重要点位，为有人作战力量前进、清剿行动创造条件。

（4）通信中继

在城市作战中，建筑阻挡、管网遮蔽、电磁环境复杂，这些因素对通信系统造成了严重影响。敌方实施全频段强电磁干扰，通信装备动中通、扰中通能力普遍下降。为解决通信保障难题，无人平台搭载不同任务载荷，前伸突入敌信息系统密集布防地域，执行侦察、电子干扰等多种任务。无人平台的主要任务包括：一是抵近侦察、压制干扰；二是对敌方通信节点进行干扰；三是根据网络需求，执行通信中继、补网增链等任务。

（5）电子对抗

无人机集群充当假目标诱骗敌防空雷达开机，并及时对敌方重要目标

进行定位和识别，为后期有人作战平台实施火力清除创造条件。

（6）毁伤评估

无人侦察平台具有突防能力强、效费比高等优势，可深入敌方纵深或抵近敌目标对打击效果进行精确侦察。后方作战人员根据无人平台提供的侦察结果，评估毁伤效果。

（7）综合保障

无人作战平台在城市战中可发挥综合优势，采用伴随保障和机动保障等方式完成破障排雷、核生化污染消除等作战保障任务，以及抢救抢修、前运后送等后装保障任务。

无人扫雷装备利用远程探地雷达，对地雷或简易爆炸物进行探测，并执行破障排雷、雷场检测和道路清扫等任务。“三防”无人平台进行核生化侦察和洗消任务。根据保障需求，无人机执行物资投送任务，实施主动保障。

（8）城市心战攻防

城市作战并不是单纯的军事作战，而是政治军事战。群众力量发动、对敌军分化瓦解、舆论法理反制等方面的要求都高于其他作战形式。

地面喊话机器人伴随破障车行进并喊话，无人机在空中喊话，无人机向城市要点、民众聚集点精准抛撒传单，宣扬我方行动的正义性和敌人的反动性，明确战争形势及发展态势，达到攻心夺志、震慑瓦解敌军的目的，还能引导普通民众远离交战、避免伤亡。此外，无人机向被困对象投送食品药品，采集战场证据等行动，可与军事打击行动形成互补，达到作战目的。

随着战争形态的发展，城市作战越来越重要。因此，我们要积极探索无人装备在城市作战中的运用，大力发展有人—无人协同作战模式，突出人机协同作战运用，深入研究城市作战场景和未来作战发展方向，切实提高部队遂行多样化任务的能力。

无人直升机在应急救援领域中的应用

Application Of Unmanned Helicopter To Emergency Rescue

近年来，应急救援领域对无人直升机的需求越来越强烈。本文分别介绍无人直升机在灾情侦察与勘测、应急物质运送、搜寻救助、应急通信中继等场景中的应用，为相关单位执行应急救援任务提供参考。

潘涛

中国直升机设计研究所

应急救援是国家应急救援体系的重要工作。在国家和军队有关部门的支持和推动下，我国应急救援装备体系建设取得很大进展，应急救援装备产业和应急救援力量初具规模，基础保障设施布局不断优化。航空应急救援装备体系以直升机为主，固定翼飞机为辅，同时对无人机的需求日益增长。

无人直升机具有独特的飞行能力、机动性高、无人员伤亡、生存力强、无须跑道、使用方便等特点，可以执行某些航空器无法完成任务，近年来在众多领域广泛应用，特别是应急救援领域。因此，国内外正在加快无人直升机在应急救援领域中的发展速度。

应急救援无人直升机的能力

应急救援无人直升机具有以下能力，可广泛应用于应急救援领域。它能够快速到达事发现场，承担目标影像采集、通信中继、搜寻救助、物资投送等任务。

（1）垂直起降能力

应急救援无人直升机不须要专用跑道和起降辅助设施，可在复杂地形、恶劣环境、人迹罕至、高原等地区快速起降。

（2）自动化功能

应急救援无人直升机具备一键自主起降、按预设航线自动飞行，不须要操控员持续控制，可长时间执行枯燥乏味、肮脏、危险的任务。

（3）悬停和低速飞行能力

应急救援无人直升机可在空中持续悬停，采集定点目标的信息，并能以较低的飞行速度在指定区域进行长时间目标搜索。

（4）载重能力

应急救援无人直升机可同时搭载光电/红外设备、通信中继设备、应急物资、搜救设备等任务载荷，全天候长时间执行任务。

典型应用场景

自然灾害、事故灾难、公共安全突发事件通常会导致道路阻断、公网瘫痪，并伴随恶劣天气。无人直升机可在复杂天气条件下飞行，搭建空中应急通信基站，为灾区提供通信保障，搜索被困人员，快速投送应急食品和药品，同时对受灾区域进行高精度测绘，为灾情侦察、灾后评估提供实时而准确的信息。

灾情侦察与勘测

下面阐述无人直升机搭载光电/红

外吊舱等设备，执行灾情侦察与勘测任务的流程。

（1）操作人员为无人直升机系统加注燃油，以满足续航要求。

（2）无人直升机自主垂直起飞。

（3）无人直升机转入斜爬升飞行状态，根据任务需求爬升至飞行高度。

（4）到达飞行高度后，无人直升机按预设航线进入受灾地区。

（5）无人直升机在操控员控制下进入任务高度。

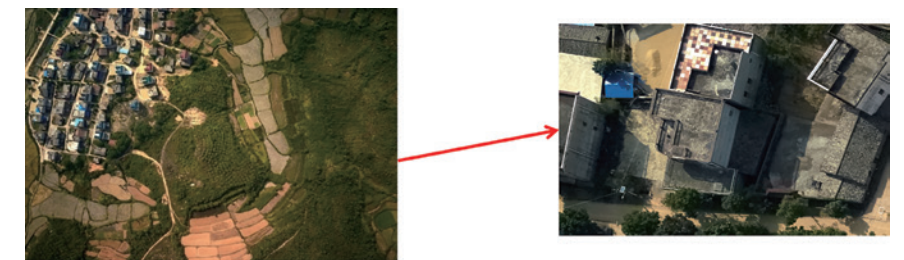
（6）无人直升机到达任务高度后低速飞行，并对灾区进行侦察与勘测。

（7）无人直升机将获取的灾情信息实时传输至后方地面指挥中心，为灾情评估、指挥决策提供信息支持。

（8）无人直升机完成侦察与勘测任务后，爬升至飞行高度并返航。

应急物质运送

无人直升机采用空运、空投等手段，搭载投送装置，携带救护支援物资并实现



高清影像实时处理：随拍随传

图1 无人直升机勘测影像图。左图为灾区高清影像图，右图为灾区局部影像图。



图2 无人直升机灾情侦察与勘测应用场景。

定点精准投送，解决被困人员物资缺乏问题。应急物质运送任务剖面如下所述。

(1) 操作人员在指定区域展开无人直升机系统，安装光电/红外吊舱、投送装置以及应急物资等，并为无人直升机加注燃油，以满足续航要求。

(2) 无人直升机自主垂直起飞。

(3) 无人直升机转入斜爬升飞行状态，根据任务需求爬升至飞行高度。

(4) 无人直升机到达飞行高度后，按预设航线进入受灾地区。

(5) 无人直升机在操控员控制下进入任务高度。

(6) 无人直升机定点悬停，机载光电/红外吊舱对投放区域进行侦察，采用伞降方式向受灾区域空投物资。

(7) 远程应急物质运送：操控员对无人直升机的飞行任务进行远程控制。无人直升机携带应急物质到达任务高度后低速飞行，对降落区域进行侦察，选择合适区域降落后将应急物质放置在降落点。

(8) 无人直升机完成应急物质运送后，爬升至飞行高度并返航。

搜寻救助

(1) 海上搜寻救助

无人直升机携带光电/红外吊舱、应急救援装备、机载船舶自动识别系统

(AIS) 以及机载甚高频无线通信设备 (VHF)，执行海上应急搜寻和目标定位、应急现场支持、救援装备抛投等任务。具体任务剖面如下所述。

①操作人员在指定区域展开无人直升机系统，安装光电/红外吊舱、应急救援装备、机载船舶自动识别系统以及机载甚高频无线通信设备等任务载荷，并为无人直升机加注燃油，以满足续航要求。

②无人直升机自主垂直起飞。

③无人直升机转入斜爬升飞行状态，根据任务需求爬升至飞行高度。

④无人直升机到达飞行高度后，按



图3 无人直升机应急物资运送应用场景。

预设航线进入遇险区域。

⑤无人直升机在操控员控制下进入任务高度。

⑥应急搜寻和目标定位任务：无人直升机低速飞行，对遇险区域开展搜索。当搜索到遇险人员时，无人直升机利用机载定位装置对遇险人员进行定位，并将人员遇险的位置实时传输至指挥中心。

⑦应急现场支持作业：无人直升机到达任务高度后，根据目标位置，进入盘旋状态，实时拍摄遇险现场状况，并将现场影像实时传输至地面指挥中心，为应急决策提供信息。同时，无人直升机利用机载甚高频无线通信设备、喊话器进行现场指挥和协调。

⑧搜救物资抛投：无人直升机到达任务高度，根据目标位置，进入悬停状态，利用投放装置将救生衣、水上应急示位标、缆绳等物资投放给被困人员。

⑨完成搜寻救助任务后，无人直升机爬升至飞行高度并返航。

(2) 陆地搜寻救助

在道路阻断、低能见度天气等恶劣条件下，无人直升机携带光电/红外吊舱、探照灯、喊话器等设备，全天时执行大范围失踪人员搜索、不间断跨区域搜索、救援目标定位等任务。具体任务剖面如下所述。

①操作人员在指定区域展开无人直升机系统，安装光电/红外吊舱、探照灯、喊话器等设备，并为无人直升机加注燃



图4 无人直升机搜寻救助应用场景。

油，以满足续航要求。

②无人直升机自主垂直起飞。

③无人直升机转入斜爬升飞行状态，根据任务需求爬升至飞行高度。

④无人直升机到达飞行高度后，按预设航线进入遇险区域。

⑤无人直升机在操控员控制下进入任务高度。

⑥应急搜索和目标定位：无人直升机低速飞行，对遇险区域开展搜索，当搜索到遇险人员时，利用机载定位装置进行目标定位，并将遇险人员的位置实时传输至后方指挥中心。

⑦应急现场支持：无人直升机到达任务高度，根据目标位置，进入盘旋状态，实时拍摄遇险现场状况，并将遇险影像实时传输给后方地面指挥中心，为应急决策提供信息，同时利用喊话器进行现场指挥和协调。

⑧应急物资抛投：无人直升机到达任务高度，根据目标位置，进入悬停状态，利用投放装置将应急救援物资投放给被困人员。

⑨完成陆地搜寻救助任务后，无人直升机爬升至巡航高度并返航。

应急通信中继

无人直升机搭载通信中继设备，飞行至任务区后进入定点悬停或盘旋状态。作为空中通信节点，无人直升机有效拓宽了任务区域的通信信号覆盖范围，并减少通信盲区。具体任务剖面如下所述。

(1) 操作人员在指定区域展开无人直升机系统，安装机载通信中继设备等任务载荷，并为无人直升机加注燃油，以满足续航要求。

(2) 无人直升机自主垂直起飞或通过人员操控垂直起飞。

(3) 无人直升机转入斜爬升飞行状态，根据任务需求爬升至飞行高度。

(4) 到达飞行高度后，无人直升机按预设航线进入任务区。

(5) 无人直升机在操控员控制下进入任务高度。

(6) 到达任务高度后，无人直升机进入盘旋状态或指定飞行状态，为受灾区域搭建通信专网或为公网提供应急通信中继保障。

(7) 无人直升机完成应急通信中继任务后，爬升至飞行高度并返航。

随着我国积极推进应急管理体系和能力的建设，无人直升机将在应急通信中继、搜寻救助、应急物资投送、灾情评估等场景中发挥关键作用，逐步成为一种重要应急救援装备。



图5 无人直升机应急通信中继应用场景。



无人直升机发动机高原起动性能改善研究

Study On The Performance Improvement Of Unmanned Helicopter Engine Started On The Plateau

为了探究发动机高原起动性能的影响因素，本文将发动机起动理论与无人直升机高原起动实际数据分析进行对比研究，进而找出影响发动机高原起动性能的因素，并据此提出改善发动机高原起动性能三项措施。

段勇亮
中国直升机设计研究所

我国幅员辽阔、地形复杂、西高东低，青藏高原平均海拔超过4000m。为满足无人直升机在高原地区的使用要求，发动机必须具备优异的高原起动性能。与平原机场相比，高原机场的环境和气候具有海拔高、气压低、大气密度小、昼夜温差大等特点，这对发动机高原起动性能产生了不利影响。

为此，本文依据发动机起动原理，对无人直升机发动机的高原起动实际数据进行分析，找出影响高原起动性能的因素。

发动机起动原理

发动机地面起动是指，在起动系统控制下，发动机转子从静止状态加速到慢车状态的过程。在起动阶段，发动机

必须借助外界动力源，因为发动机起动时燃气涡轮产生的功率不足以带动发动机转子加速。只有发动机达到一定转速后，燃烧室内的气流才能建立稳定燃烧，维持燃气发生器正常自立运转。发动机起动过程一般分为3个阶段。

第1阶段也称冷运转阶段 ($0 \leq N < N_1$ ， N 表示发动机转速)，是从起动发电机接通到燃烧室喷油点火，燃气涡轮开始做功的阶段。在此阶段，发动机转子在起动发电机带动下，达到点火转速。

第2阶段为起动发电机与涡轮共同带转阶段 ($N_1 \leq N < N_2$)，是从燃气涡轮投入工作到起动发电机退出起动状态的阶段。这此过程中，起动发电机和燃气涡轮共同带动发动机转子加速。随着

转速的上升，压气机需用扭矩和涡轮产生的可用扭矩均不断上升，但是涡轮产生的可用扭矩的上升速度更快。当涡轮产生的可用扭矩增加到压气机需用扭矩时，此时发动机燃气发生器达到平衡状态，起动发电机即可退出起动状态。但是，为了保障发动机正常起动并缩短起动时间，起动发电机须要继续工作一段时间再退出起动状态。

第3阶段为涡轮单独带转到慢车状态 ($N \geq N_2$)，是从起动发电机退出起动状态到发动机加速到慢车状态的阶段。在这一过程中，压气机转子带动只由燃气涡轮完成。当发动机燃气涡轮输出扭矩与发动机燃气发生器阻力矩第二次达到平衡状态时，发动机随机达到慢车状态。

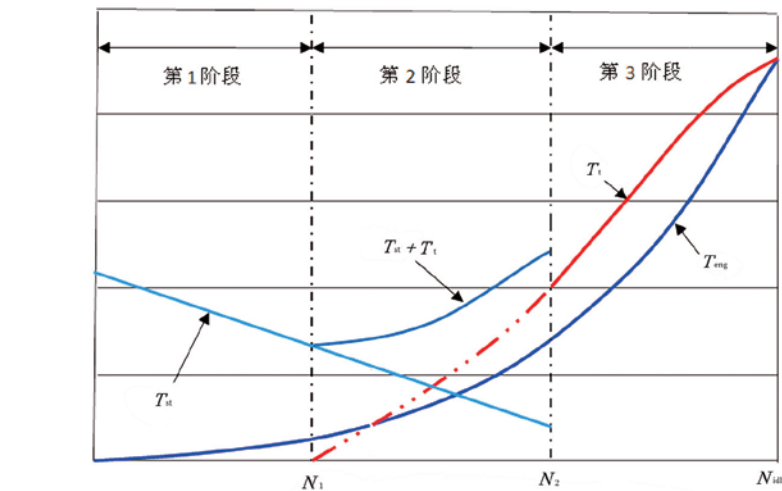


图1 发动机起动过程扭矩图。 T_{st} 表示起动发电机输出扭矩； T_t 表示发动机燃气涡轮输出扭矩； T_{eng} 表示发动机燃气发生器阻力矩； N_1 表示发动机点火转速； N_{bal} 表示 T_t 与 T_{eng} 第一次达到平衡时的转速； N_2 表示起动发电机退出起动状态时的转速； N_{idl} 表示慢车转速。

发动机高原起动特点

相较平原地区，发动机在高原起动具有以下特点。

(1) 起动时间更长

由于高原大气密度小，在相同进气体积流量条件下，发动机的进气质量流量降低。发动机功率下降，做功能力降低，发动机燃气发生器输出扭矩降低，从而导致发动机转子的加速度减小，起动加速时间增长。

(2) 发动机易发生热悬挂

由于进气质量流量下降，发动机的余气系数减小。在相同进气温度条件下，油气比会偏高，易产生富油燃烧，造成燃烧室后温度升高。转速的加速率常与燃烧室温度升高不匹配，在数控系统温度限制下，发动机极易发生热悬挂。

(3) 阻力矩更大

高原地区气温通常较低，润滑油温度相应降低，进而增加了润滑油的粘性，发动机转子的阻力矩随之增大，起动难度加大。

(4) 带载能力不足

根据无人直升机的使用需求，发动机须要给无人直升机配套设备提供动力，驱动起动发电机发电。在平原地区，发动机达到自立转速后，起动发电机即可由起动机状态转为发电机状态，提取

发动机功率为全机提供电能。在高原起动时，发动机达到自立转速后至慢车转速前，自身剩余的功率较低，带载能力不足。若此时起动发电机正常提取发动机功率用于发电，可能会导致发动机转速瞬时下降，甚至直接引起起动失败。

发动机起动控制逻辑

(1) 无人直升机发出起动到慢车的指令后，发动机立即接通点火控制信号、起动发电机控制信号和起动电磁阀信号。

(2) N_g 表示燃气发生器转速，当 $N_g < 2600r/min$ 时，发动机燃油系统开始按起动供油规律供油。

(3) 起动时间达到25s或 $N_g \geq 16700r/min$ ，发动机数控系统断开起动电磁阀、点火控制信号。

(4) 起动时间达到35s或 $N_g \geq 19300r/min$ ，发动机数控系统断

表1 试验历程。

试验次数	起动类型	电源类型	起动结果	备注
第1次	冷起动	第1次使用蓄电池	成功	起动前冷转
第2次	热起动	第1次使用地面电源车	成功	
第3次	热起动	第2次使用蓄电池	成功	第2次起动后的再起
第4次	冷起动	第3次使用蓄电池	失败	
第5次	冷起动	第4次使用蓄电池	失败	
第6次	热起动	第1次使用备用蓄电池	成功	

开起动控制信号，起动发电机由起动状态转为发电状态。

在起动过程中，发动机若出现下列情况之一，发动机数控系统将直接控制发动机停车。

正常停车：发动机接到无人直升机停车指令后正常停车。

起动超温：在起动过程中，发动机涡轮间温度T45超过规定的限制，发动机停车。

起动悬挂：发动机在起动过程中进入起动状态30s后， N_g 仍未达到8350r/min；或进入起动状态70s内未起动到地慢，发动机停车。

故障停车：在起动过程中，发动机出现关键故障而停车。

此外，为在起动过程中保护发动机，数控系统设有超温保护。当发动机涡轮间温度T45超过800℃时，发动机自动减油。

无人直升机高原起动案例分析试验历程

无人直升机在高原机场完成6次起动试验，试验历程详见表1。

(1) 发动机采用机载蓄电池起动4次。其中2次起动成功，2次起动失败。

(2) 发动机采用备用蓄电池起动1次，起动成功。

(3) 发动机采用地面电源车起动1次，起动成功。

试验数据分析

第3次和4次使用蓄电池的冷起动试验，均因出现热悬挂而失败，现象一致。本文仅对第3次使用蓄电池的冷起动试验数据进行分析。

(1) 位置①：发动机开始供油。

(2) 位置②：发动机点火成功。

(3) 位置③：发动机燃气发生器转速加速率进入恒定闭环控制。

(4) 位置④：因达到启动时间35s的要求，启动发电机退出启动状态。启动发电机由起动机状态转换为发电机状态。启动发电机从燃气发生器提取功率，降低了燃气发生器转速的加速率。由于燃气发生器转速的加速率比给定值低，发动机增加供油量，T45随之升高。

(5) 位置⑤：T45超过800℃，为保证发动机不超温，发动机自动减少供油量，燃气发生器转速的加速率降低。当T45低于800℃后，发动机又因燃气发生器转速的加速率偏低而再次增加燃油供应，T45再次超过800℃。

(6) 位置⑥：发动机转速依然无法上升，无法成功启动。操作员执行发动机停车程序，启动失败。

高原启动试验结果对比

为找出发动机使用蓄电池冷启动的成功与失败结果间的差异，本文将发动机第1次、第3次、第4次使用蓄电池启动的试验数据进行对比，如图2所示。

(1) 第1次启动与第4次启动对比：点火成功后，与第4次启动相比，第1次启动的燃气发生器转速加速更快。

(2) 第1次启动与第3次启动对比：点火成功后，与第3次启动相比，第1次启动的燃气发生器转速加速更快。

由发动机使用蓄电池进行3次冷启动的试验数据对比可知，第3、4次启动试验中的燃气发生器转速加速率明显低于第1次启动，启动发电机带转能力显著弱于第1次启动试验。

据此，本文对启动电源在6次启动试验过程中供给启动发电机的电流、电压、功率及发动机工作状态等数据进行分析，找出发动机高原启动的特点和影响性能的因素。启动电源供给启动发电机的电流、电压、功率与发动机转速的对应关系如图5所示。

经对比试验数据后，本文得出如下结论。

一是启动电源的容量影响启动发电

机的带转能力。发动机第3、4次使用蓄电池启动（总第4、5次试验）时，启动电源供给启动发电机的电压、电流比其他次启动偏低，蓄电池提供功率越来越小，蓄电池功率衰减直接引起第3、4次使用蓄电池启动的试验失败。发动机第3次使用蓄电池（总第4次试验）启动前期，燃气发生器转速加速率偏低而再次增加燃油供应，T45再次超过800℃。由此可知，蓄电池容量下降将导致启动发电机带转能力下降。

二是高原启动时间增长。发动机第1、3、4次使用蓄电池启动（总第1、4、5次试验），均为发动机冷启动。其中，当发动机第1、3次使用蓄电池启动时，启动发电机均由于启动时间到达35s，数控系统按预定逻辑控制启动发电机退出启动状态，此时发动机未达到自立转速。相比于平原启动，发动机在高原启动时，其转子加速率明显减小，启动时间增长。

三是热启动更顺畅。与第1次使用蓄电池启动相比，发动机第2次使用蓄电池启动（总第3次试验）时，燃气发生器转速加速更快，启动更顺畅。虽然第2次使用

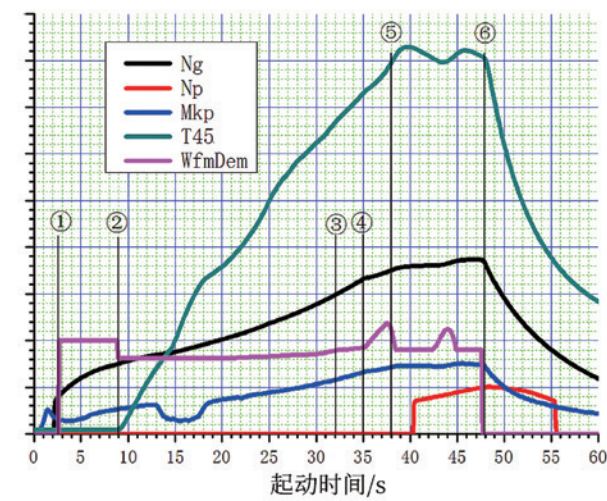


图2 第3次使用蓄电池的冷启动历程曲线。Np表示动力涡轮转速；Mkp表示发动机输出轴扭矩；T45表示涡轮间温度；WfmDem表示发动机燃油流量。

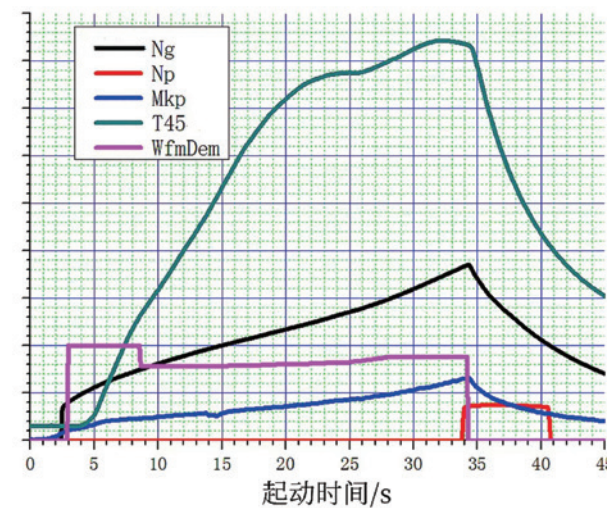


图3 第4次使用蓄电池的冷启动历程曲线。

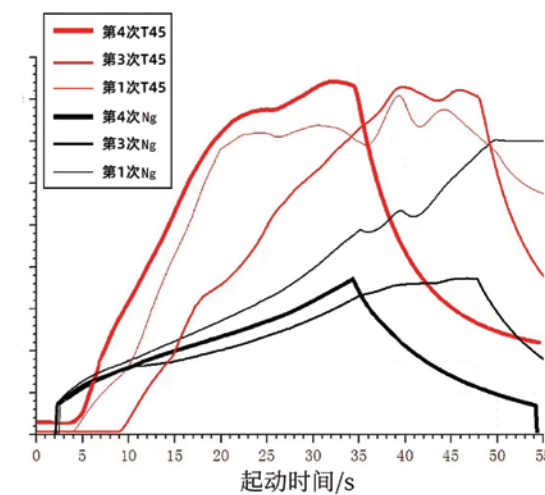


图4 发动机第1次、第3次和第4次使用蓄电池启动的数据对比。

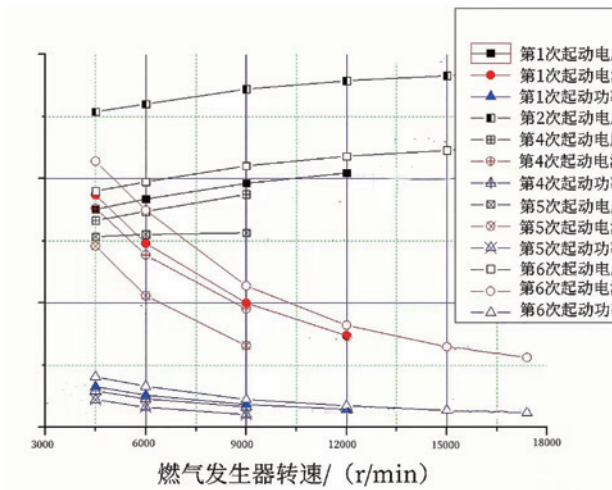


图5 启动电源供给的电流、电压、功率与发动机转速的对应关系。

的蓄电池容量较第1次偏低，但第2次启动为热启动，发动机自身的温度较高，润滑油粘度低，发动机阻力矩较低。

四是启动过程带载能力不足。从各次启动过程看，启动发电机从起动机转为发电机后，发动机燃气发生器转速的加速率均出现明显降低。

启动失败的原因分析

发动机点火成功之前，发动机燃气发生器由启动发电机单独带转。发动机点火成功后，燃气涡轮和启动发电机共同提供功率，助力发动机启动。但是在不同阶段，燃气涡轮和启动发电机的功率占比不同。在启动前，启动发电机的输出功率占比较高。

当发动机第3次使用蓄电池进行冷启动时，蓄电池提供给启动发电机的功率偏低，导致启动发电机带转能力偏低，空气流量偏低，使启动过程中的油气比与燃气发生器转速不能有效匹配，燃油雾化差，造成联焰困难，点火时间可能增长，燃气涡轮做功能力差，在规定的35s

内，发动机在启动发电机单独带转下无法加速到自立转速。启动发电机由起动机状态转换为发电机状态后，从燃气发生器提取功率用于发电，进一步恶化启动环境，从而导致启动失败。

当发动机第4次使用蓄电池进行冷启动时，蓄电池提供给启动发电机的功率进一步降低，启动发电机带转能力进一步降低，燃气发生器转速加速更慢，发动机出现热悬挂，启动失败。

总结

根据无人直升机发动机6次高原启动试验的分析以及发动机高原启动的特点，本文提出以下改善发动机高原启动

性能的措施。

一是增加蓄电池的容量。蓄电池容量越大，供给启动发电机的电压越高，可有效提高启动发电机的带转能力，从而提高燃气发生器转速的加速率，达到改善启动性能的目的。在无法增加蓄电池容量的情况下，应确保蓄电池处于满电状态以及启动电压、电流和功率满足高原启动需求。

二是采用热机启动。发动机处于热机状态时，润滑油粘度较低，大大减小了发动机转子的阻力矩。因此，若第一次启动失败后，发动机有一定程度的升温，可尝试再次启动。通常，再起动机成功率较第一次冷启动成功率高。此外，对发动机进行加温，可提高发动机高原启动的成功率。

三是启动过程中避免功率提取。高原的大气密度低，在启动过程中发动机剩余功率较低。启动发电机转为发电机状态后，直接提取发动机功率，会增加发动机负载，对启动影响很大。在高海拔环境下，发动机实际做功能力减弱，此时若发电负荷超过发动机做功能力，可能会导致发动机热悬挂，发动机无法成功启动。因此，在发动机成功启动到地慢前，启动发电机转为发电机状态后，暂不向无人直升机系统供电。



直升机/无人机蜂群协同作战关键技术分析

Analysis Of The Key Technology Of Cooperative Operation Between Helicopter And UAV Swarm

在未来全域作战的背景下，直升机或无人机蜂群单独行动均无法满足灵活部署、高效指控的实战需求，直升机/无人机蜂群协同作战能力提升已成为热门课题。本文总结直升机作为无人机蜂群载机的优势，分析直升机/无人机蜂群协同作战的关键技术。

董明兆
69008 部队

早在上世纪90年代末，美军就率先提出“无人机蜂群作战”这一超前概念，并开展概念界定和相关技术研究。目前，美国无人机蜂群技术与验证试验处于世界先进行列。

相较以美国为首的西方军事强国，我国无人机蜂群技术研究、直升机/无人机蜂群协同作战研究起步较晚且缺乏实战牵引，整体进度略为滞后，尤其是直升机/无人机蜂群协同作战研究仍处于初始阶段，实际运用与美军存在一定差距。因此，直升机/无人机蜂群协同作战的军事需求分析与核心能力研究是当前我军的重要任务之一。

我国相关单位正在集中力量研制空射无人机，对直升机/无人机蜂群协同作战的可行性进行分析论证，并计划对无人机蜂群新的作战概念、蜂群自组网、蜂群协同控制及协同干扰等技术进行验证，旨在形成实战能力。

直升机作为载机的优势

无人机蜂群发射方式分为陆基发射、空基发射和海基发射等类型。其中，空基发射主要采用固定翼飞行器和旋翼飞行器两种载机。作为无人机蜂群的载机之一，直升机具有飞行速度匹配性好、发射效率高、任务部署灵活等优势，是有人/无人协同作战不可或缺的重要装备。



图1 美军提出新的作战概念，即F-35战斗机在空中发射无人机，形成隐身突防作战能力。

一是作为无人机蜂群的发射平台，运输型直升机拥有较强的载重能力和高效发射装置，能在较短时间内发射大量蜂群无人机。

二是直升机具有机动性高等飞行特征，可根据不同作战时段和任务要求，选择不同地点和时机发射蜂群无人机，有效提升任务部署的应变能力。

三是在无遮挡的环境中，直升机充当空中指控系统指挥无人机蜂群作战，增强了有人/无人协同作战效能。

美国“空中发射效应”项目

随着无人机机载计算机尺寸不断

缩小和功能逐步增强，智能化无人机技术快速发展。这些技术进步催生出一种全新作战方式，即母机发射大量小型无人机，执行前出侦察任务。2018年，美国陆军发布“空中发射效应”（Air Launched Effects, ALE，下称“空射效应”）项目公告，计划采用旋翼机或大型无人机，在敌防空区域低空发射可消耗微型无人机。该项目涉及飞行器、传感器、武器、相关支持设备开发及任务系统应用。

“未来垂直起降”（Future Vertical Lifting, FVL）系统是美军优先发展的六大项目之一，主要包括未来攻击侦

军工文化
MILITARY INDUSTRY CULTURE
2007—2022 年
中国国防科技工业文化实践协会刊

弘扬军工文化
传播先进理念
关注行业发展
彰显企业风采

察机 (Future Attack Reconnaissance Aircraft, FARA)、未来远程突击机 (Future Long-Range Assault Aircraft, FLRA) 和各种未来无人机系统 (UAS)。其中,“空射效应”无人机蜂群作为未来攻击侦察机系统的重要组成部分,可携带多种任务载荷,执行情报侦察监视任务,必要时对威胁目标实施打击,其模块化开放架构消除了新技术集成的障碍。无人机蜂群采用自主或半自主方式进行作战,将有效提升美国陆军航空兵和地面部队的生存能力、危险目标识别能力、目标定位和打击能力等。

“空射效应”无人机蜂群将在2022—2023年开展复杂环境下的电子战等试验，计划2024—2025年部署于美国陆军现役直升机。国外部分“空射效应”项目已顺利研制出工程验证机，正在积极开展复杂环境下的实战化任务考核。

关键技术

直升机/无人机蜂群协同作战涉及的关键技术包括无人机蜂群发射与回收、协同组网和协同控制等技术。

蜂群发射与回收技术

早期无人机蜂群研究受成本和技术条件的制约，空中发射技术并无较大发展。随着技术水平的不断提高，目前无人机蜂群采用机舱内部装置发射、外部挂架发射和其他设备（如多管装置）发射等空基发射方式。蜂群回收采用机械臂抓取、空中撒网、空中钩取和缆绳浮标等方式。据报道，美国“空射效应”蜂群无人机由“黑鹰”直升机机身侧面挂载的美军标准发射管发射。

协同组网技术

目前,国内外无人机蜂群主要采用集中式、分布式和分层式网络结构实现作战信息交互。科学合理的通信网络结构是信息高效传输的重要前提。系统通信网络主要由直升机与蜂群间的通信网络以及蜂群内部通信网络构成,其结构复杂且动态变换,现有蜂群组网技术无法满足信息高效传输的需求。因此,在蜂群自组网技术基础上,相关单位应重



图2 运输型直升机的机舱内部可装载CH-901无人机蜂群。



图3 美军在尤马试验场开展“黑鹰”直升机/“空射效应”无人机蜂群协同作战验证试验。

点开展直升机/无人机蜂群协同组网技术研究。

为实现直升机对无人机蜂群的指挥与控制,诸多国家对有人机/无人机蜂群协同组网技术开展了一系列研究,探索直升机/无人机蜂群编队在协同作战中涉及的关键技术。

协同控制技术

直升机/无人机蜂群协同控制技术
研究包括有人机/无人机协同控制, 无人机蜂群自主决策、任务规划、航线规划等内容。2005年, 美国空军提出协同空域作战 (CAO) 概念, 阐述有人机/无人机协同作战机制, 强调有人机/无

人机集成于一体并相互协作，实现数据共享，提升任务执行效率。但是，受无人机蜂群技术的制约，无人机蜂群无法实现全自主作战。

总结

为健全无人空中作战力量体系，推进无人机蜂群技术发展，提升整体作战效能，我军应利用直升机机动性高的飞行特点，突破现有无人机蜂群和直升机的任务能力，充分发挥直升机/无人机蜂群协同作战的独特优势，为我国后续发展直升机/无人机蜂群协同作战模式提供支撑。

无人机油电混合动力系统(六)

Hybrid Propulsion System For UAV (Part6)

本文介绍电动垂直起降飞行器动力装置的类型、电池集成技术以及7种配装油电混合动力系统的电动垂直起降飞行器,并阐述各型飞行器的技术特点与发展历程。

符长青

电动垂直起降飞行器动力装置的类型

飞行器的动力装置也称动力系统，包括燃油发动机系统和电动机系统两大类。其中，燃油发动机系统由发动机、油料油箱、润滑油系统和各种动力辅助装置等部分组成；电动机系统包括电动机、电池组、新型燃料电池和转速控制系统等部分。按照垂直起降飞行器的定义，垂直起降飞行器的整体布局实质上就是一种旋翼飞行器，它可以采用5种类型的动力装置（见图1）。但是，电动垂直起降（eVTOL）飞行器不同于垂直起降飞行器，英文eVTOL中的第一个小写字母e表示电动，后面4个大写字母VTOL表示垂直起降。顾名思义，电动垂直起降飞行器的动力系统必须包含电动机和电池，可选用动力系统只有三种类型，即混合动力装置、动力电池和燃料电池，因为这三种动力系统都包含电动机和电池。

前面章节已经对各种动力系统的优缺点做了对比分析, 结论是, 油电混合动力系统是当前电动垂直起降飞行器最适合使用的动力装置。

电动垂直起降飞行器的电池集成技术

电动垂直起降飞行器采用动力电池作为能源,可以得到稳定电压以及受外界影响很小且能长时间稳定供电的电流。动力电池具有结构简单、携带方便、



图1 垂直起降飞行器的动力装置。

充放电操作简便易行、受外界环境温度影响较小、性能稳定可靠等优点。目前适用于电动垂直起降飞行器的动力电池主要有锂电池以及燃料电池、石墨烯电池、铝空气电池、纳米电池和固态电池等各类新型电池。电动垂直起降飞行器电池集成是指动力电池在机身内安装的集成方式。目前常用的电池集成技术主要有三类,一是传统的电池包集成技术;二是新的CTP (Cell to Pack) 和CTC (Cell to Chassis) 电池包集成技术。

(1) 传统电池包集成技术

电动垂直起降飞行器传统电池包是一种标准化模块。它由电芯组成模组后,再与机身地板组装在一起。这种集成方法的优点是,每个电池包都由多个模组组成,每个模组都有单独的壳体保护和控制单元,便于电池的电量控制和热管理。在维修时,操作人员可以单独更换电池模组,维修方便。缺点是模组间存在安全间隙及整体重量较大,不仅空间利用率低,而且每个模组都要配置单独的控制单元,导致整体重量较大,成本

较高。

(2) CTP 电池集成技术

电动垂直起降飞行器CTP电池集成技术取消了传统集成方式的模组结构，电芯直接组成电池包，电池包集成到无人机机身地板上，成为机身结构件的一部分组成。这种集成方法的优点是，消除了模组之间的布置间隙，增加了电芯的数量，取消了模组结构，从而降低了整体电池包的重量。缺点是电池包须要作为机体结构件的一部分组成而承载载荷，对动力电池的结构设计提出了更高的要求。

(3) CTC 电池集成技术

电动垂直起降飞行器CTC电池集成技术是指，电芯直接集成在无人机机身地板框架内部，将地板上下板作为电池壳体，即电池成为电动垂直起降飞行器机身的一部分组成。它是CTP方案的进一步集成，机身地板的上下板代替了电池壳体和盖板，电芯与机身地板采用一体化设计，形成一个强度和刚度都非常大的结构体。这从根本上改变了电池

的安装形式，电池的电芯不仅是能量存储和释放单元，而且成为电动垂直起降飞行器整机结构件的一部分组成。这种集成方法的优点是，取消了电池包的结构件，实现了高度集成化和模块化，大大提高了电动垂直起降飞行器空间利用率，降低了电动垂直起降飞行器的重量，使电动垂直起降飞行器的续航时间增加15%~25%。缺点是，电芯作为机身结构件的一部分承载载荷，须要考虑如何与上下结构件固定在一起，以应对最为苛刻的剪切力。该技术对生产工艺提出了更高的要求，电池维修较困难。

上述三种电池集成技术对比如表1所示。对比结果表明，电动垂直起降飞行器使用CTC方案，其空间利用率最高，电池电量的提升有显著效果。在现有电池技术不变的条件下，CTC方案是有效提升电量的最佳集成方案。

配装油电混合动力系统的电动垂直起降飞行器

随着人们生活水平的提高，现在很多人都拥有自己的小汽车，但是道路交通拥堵特别严重，尤其是一线城市的道路，很多出行计划经常会因严重的塞车而被迫取消。在当代市场经济环境下，广大顾客的需求就是商机。于是，世界著名飞机制造商、汽车生产商和许多新的初创公司瞄准了这个巨大的市场，纷纷上马并投入巨资，开始研制电动垂直起降飞行器。下面列举几个以油电混合动力系统为动力的电动垂直起降飞行器案例。

吉利控股集团有限公司开发电动垂直起降飞行器

吉利控股集团有限公司是一家中国民营汽车制造企业，2017年收购了美国太力（Terrafugia）飞行汽车公司后，开发了一款电动飞行汽车，名为TF-1。TF-1电动飞行汽车采用了油电混合动力装置，可搭乘2人，航程超过600km，最高飞行速度160km/h，最大飞行高度3048m。2021年1月15日，TF-1电动垂直起降飞行器获得美国联邦航空管理局（FAA）颁发的轻型运动飞机（LSA）特许适航证。飞行汽车设计存在较大难度，因为要同时满足地面行驶和空中飞行这两个存在很大内在矛盾的使用要求。因此，TF-1电动飞行汽车能成功获得美国联邦航空管理局颁发的特许适航证，说明该产品取得了很大的成就。

轻型运动飞机不属于审定类飞行器，美国联邦航空管理局不要求轻型运动飞机进行适航审定。轻型运动飞机制造商仅向美国联邦航空管理局提交符合性声明，然后美国联邦航空管理局的检查员对相关文件进行审查，审查完成后，轻型运动飞机制造商就可以量产并销售产品。特许适航证不是正常型号合格



(a)TF1展开机翼变成固定翼飞机



(b)TF1收起机翼变成小汽车

图2 TF1电动飞行汽车。

证（即适航证）。按现有规定，轻型运动飞机的最大起飞重量为600kg。美国联邦航空管理局正在修订的轻型运动飞机最大起飞重量有可能提高到750kg，而TF-1电动飞行汽车的最大起飞重量为850kg，大大超过了美国联邦航空管理局轻型运动飞机的要求。因此，TF1电动飞行汽车须获得美国联邦航空管理局批准的多项许可。

目前，吉利控股集团有限公司正在研制电动垂直起降飞行器TF-2A，并预告TF-2A全尺寸原型机即将问世。TF-2A飞行器拥有8个升力螺旋桨和1个推进螺旋桨，无须地面跑道即可垂直起降。此外，与倾转旋翼飞行器或倾转机翼飞行器相比，TF-2A采用了复合式构型，这种构型的飞行器容易通过适航审定并取得较高的经济效应。出于安全性考虑，TF-2A安装了三点轮式起落架，在紧急迫降时，该型飞行器拥有更多的迫降点选择。TF-2A可搭载2名乘客，最大航程100km，巡航速度180km/h，实用升限3000m。

联合开发中心科技股份有限公司推出电动垂直起降飞行器

联合开发中心科技股份有限公司



图3 吉利控股集团有限公司TF-2A电动垂直起降飞行器。

（JDC Technology Inc）位于美国加州洛杉矶市，多年来一直从事消防无人机研制与销售。该公司提出的电动垂直起降飞行器方案采用了复合式构型和“星链”通信网络技术，拥有8个轴16副旋翼和1个推进螺旋桨，能以多旋翼无人机模式垂直起降，又能以固定翼无人机模式实现较高的飞行速度和巡航飞行。该公司FF-1（FireFighting-1）消防无人机和PP-1（Passenger Plane-1）载人飞行器的气动和总体结构相同，只是任务载荷不同。其中，FF-1为不载人无人机，任务载荷重量600kg，可承担高层建筑灭火和森林灭火任务；PP-1飞行器可搭载5名乘客，主要用于旅客运输，是一种经济高效、省时的中短途交通运输工具（见图4）。

FF-1和PP-1飞行器均使用油电混合动力系统提供动力，安装了滑撬式起落架，机长8m，机高1.8m，翼展1.8m，双垂尾高1m，最大航程500km，巡航速度200km/h，实用升限3000m。基于星链网络技术，FF-1和PP-1飞行不受通信链路传输距离限制，通信信号可覆盖全球。在地球上能看到天空的任何地方，FF-1和PP-1飞行器至少能与三颗“星链”卫星进行网络通信。“星链”网络无人机的数据传输速率达1Gb/s、时延小于10ms（与5G通信网络的数据传输速率相当）。

阿斯顿马丁公司公布“沃兰特愿景”电动垂直起降飞行器

阿斯顿马丁公司是英国一家汽车制造商，以生产敞篷旅行车、赛车和限量版豪华跑车而闻名于世。近期，阿斯顿马丁公布了一种概念飞行器，名为“沃兰特愿景”（Volante Vision），计划开发电动垂直起降飞行器。

“沃兰特愿景”电动垂直起降飞行器采用了混合动力技术和自动驾驶技术，由阿斯顿马丁公司、克兰菲尔德大学和劳斯莱斯公司联合开发，是一种飞行的士，旨在为交通拥挤的城市提供通勤服务。“沃兰特愿景”采用三轴设计，前端两轴上的螺旋桨能以任意角度偏

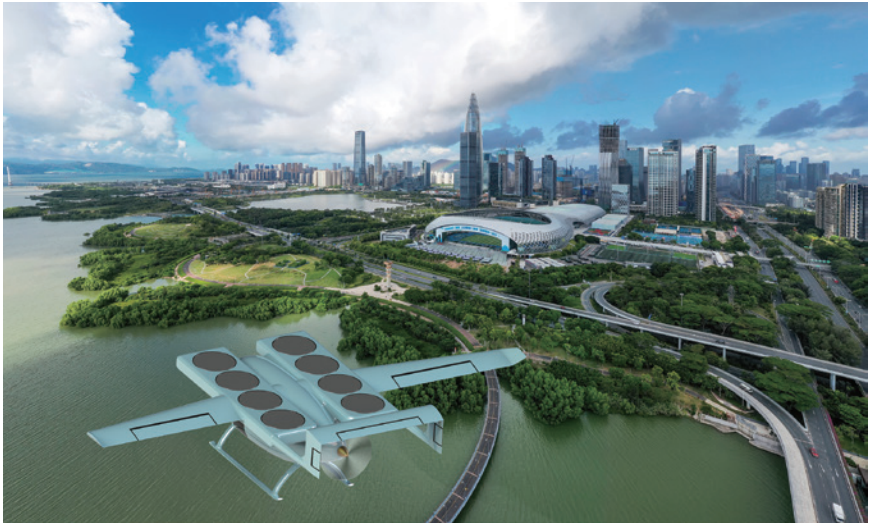


图4 联合开发中心科技股份有限公司开发的PP-1电动垂直起降飞行器。

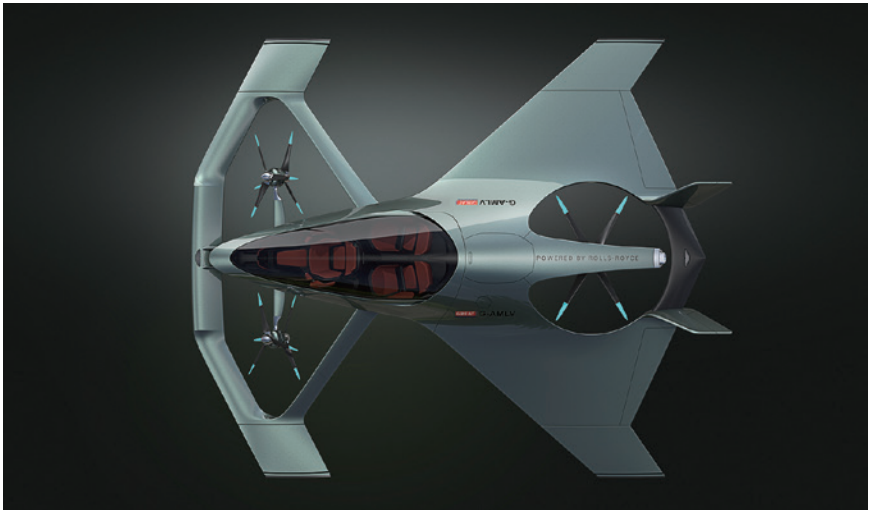


图5 阿斯顿马丁公司“沃兰特愿景”电动垂直起降飞行器的概念图。

表1 三种电池集成技术方案对比表。

	传统方案	CTP方案	CTC方案	
基本概念	电芯→模组→电池包→机身	电芯→电池包→机身	电芯→机身	
空间利用率	低	较高	最高	
集成方案	电池自身先集成,然后安装到机身。	电池自身二次集成,然后安装到机身。	电池包有独立上盖,可代替机身地板。	机身地板作为电池上盖。
电池电量	少	比传统方案增加10%~15%	比CTP方案增加5%~10%	
电池是否承载	否	部分	是	
可维护性	可单独更换模组	只能换电池包	只能换电池包	更换电池包且重新密封



图6 英国劳斯莱斯公司电动垂直起降飞行器。

转，实现前飞和转向，而后轴的螺旋桨与地面平行，为飞行器提供升力。由概念图可见，该型飞行器的外形十分漂亮，内饰也和阿斯顿马丁公司生产的汽车一样，非常奢华。

劳斯莱斯公司开发电动垂直起降飞行器

英国劳斯莱斯公司是世界超豪华轿车制造商之一，1906年成立于英国。该公司公布了一种电动垂直起降飞行器。该机最大飞行速度402km/h，最大航程805km，其油电混合动力系统中的涡轮增压汽油发动机可以提供500KW的最大功率。劳斯莱斯公司将该型飞行器定位为飞行的士、私人飞机和货机。

该机采用了倾转机翼布局设计，4个螺旋桨及油电混合动力系统安装在机翼上，机翼可90°旋转，能像双旋翼横列式无人直升机那样垂直起飞，起飞后机翼绕水平轴相对于机体逐渐向前转动，逐渐转入前飞状态，当过渡到平飞姿态时，该机如同固定翼无人机，依靠固定翼产生升力，支撑机体重量，以及依靠转轴近乎水平的螺旋桨产生向前的推力。

奥迪公司推出“下一代超时尚”概念机

奥迪公司是世界著名的汽车制造商，于1898年在德国创立，总部位于

德国英戈尔施塔特市。多年来，奥迪汽车在世界各地广受欢迎。当前，世界电动垂直起降飞行器热潮来袭，奥迪公司也没有放过这次大好商机。在2020年日内瓦车展上，奥迪公司联合老牌飞机制造商空客公司，推出了“下一代超时尚”（Pop. Up Next）电动垂直起降飞行器的概念机。由概念图可见，“下一代超时尚”由汽车底座和飞行模块两部分构成，以油电混合动力装置为动力。飞行模块由碳纤维复合材料制成，配备有4个螺旋桨。座舱可搭乘2人，舱内未配备方向盘，仅配有一台大尺寸显示



图7 “下一代超时尚”电动垂直起降飞行器的概念图。

器。“下一代超时尚”也是一种飞行的士，旨在提供通勤服务。今年6月，奥迪公司获得德国政府颁发的飞行出租车测试资格证，计划在奥迪公司总部进行测试。

PAL-V公司PAL-V电动垂直起降飞行器亮相

PAL-V公司位于荷兰，推出了PAL-V电动垂直起降飞行器。该机以油电混合动力装置为动力，将汽车、摩托车和直升机的概念结合在一起。它既能像汽车一样在地面行驶，也能像直升机一样在空中飞行。2009年4月27日，PAL-V公司向荷兰交通部长展示

了PAL-V原型机。据悉，PAL-V电动垂直起降飞行器最先承担紧急服务部门的任务。使用者只须按一个键，该型飞行器在10min内便可全自动完成汽车形式与直升机形式间的切换。PAL-V飞行器的最大行驶速度可达180km/h，而安装在车后方的可折叠水平旋翼、尾翼与推进器展开后，该机就能腾空飞行，最大飞行速度可达185km/h，航程800km，飞行高度1200m。2020年10月，PAL-V公司宣布，PAL-V电动垂直起降飞行器已成功通过欧洲道路通行考试，并获得官方颁发的正式牌照。

骏马集团“确信飞行”电动垂直起降飞行器亮相

骏马集团（Workhorse）位于美国俄亥俄州，主要业务包括无人机和卡车生产制造。因此，该公司既能从卡车业务中获得自动驾驶技术，又能从无人机业务中获得油电混合动力技术，然后将这两种关键技术同时应用于“确信飞行”（SureFly）电动垂直起降飞行器。“确信飞行”采用了多旋翼气动布局设计，具有4个轴8副旋翼，主用定位是私人飞行器、商用运输机、农用飞行器和轻型军用飞行器。

2017年6月，“确信飞行”电动垂直起降飞行器在法国举行的巴黎航展上正式亮相。2018年1月，骏马集团在美国内华达州举行的2018消费电子产品展会上展示了“确信飞行”。该机于2018年4月在美国俄亥俄州辛辛那提市伦肯机场成功完成首次飞行，并于同年8月开展了多次飞行测试。2018年11

月，美国陆军与骏马集团签订合作研究与开发协议（CRADA），旨在探索这种轻型飞行器的潜在作战能力。2019年底，“确信飞行”电动垂直起降飞行器获得美国联邦航空管理局颁发的型式认证。

上述7种电动垂直起降飞行器均采用了油电混合动力系统，但是这并不等

于说基于纯电动技术的电动垂直起降飞行器就没有市场前景。

随着电动垂直起降飞行器的快速发展，以及人类不断推进空中巴士、空中出租车等电动垂直起降飞行器的示范性商业应用，城市空中交通时代即将开启。未来，在全新的智慧交通体系中，私人交通工有望实现“飞”起来的梦想。■

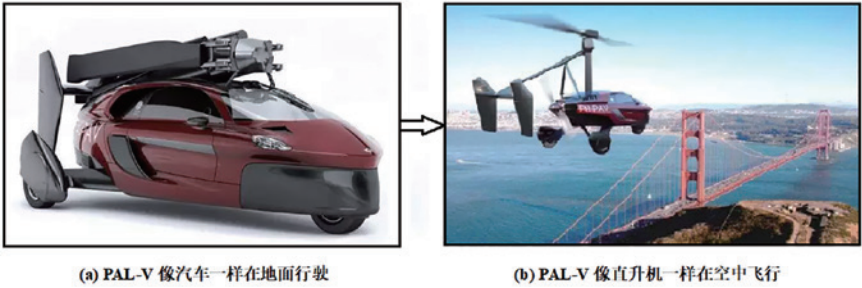


图8 荷兰PAL-V公司研制的PAL-V电动垂直起降飞行器。



图9 美国骏马集团推出一款电动垂直起降飞行器“确信飞行”。

表2 部分电动垂直起降飞行器一览表。

序号	制造商	产品型号名称	动力装置类型	产品进展	产品定位
1	吉利控股集团有限公司	TF2A	混合动力	验证机测试	私人飞行器、飞行的士
2	JDC公司	FF-1、PP-1	混合动力	验证机测试	消防无人机、飞行的士
3	劳斯莱斯公司	—	混合动力	概念机	私人飞行器、飞行的士
4	阿斯顿马丁公司	“沃兰特愿景”	混合动力	概念机	私人飞行器、飞行的士
5	奥迪公司和空客公司	“下一代超时尚”	混合动力	载客测试	私人飞行器、飞行的士
6	PAL-V公司	PAL-V	混合动力	载客测试	私人飞行器、飞行的士
7	骏马公司	“确信飞行”	混合动力	载客测试	私人飞行器、货机、农用飞行器
8	沃洛考普特公司(Volocopter)	VC20	纯电动	载客测试	私人飞行器、飞行的士
9	空客公司A³创新中心	瓦哈那(Vahana)	纯电动	验证机测试	私人飞行器、飞行的士

无人机自动断电开关机构研究与试验

Research And Experiment Of An Automatic Power-off Switch Mechanism For UAV

本文研究一种多旋翼无人机自动断电开关，阐述其工作原理、外形与内部结构设计，最后搭建试验平台，对自动断电开关进行测试，验证断电开关的性能和可靠性。无人机使用该型断电开关，无须人员操作便能自动完成断电与上电。

张冬, 袁春阳
天津航天中为数据系统科技有限公司

多旋翼无人机自动机场提供了一种全新作业模式。在整个作业过程中，自动机场中的无人机无须人员操控，便能一键起飞，按照预设航线飞行，完成作业后返回自动机场，完成整机断电以及锂电池充电。无人机自动机场可减少人力投入，提高作业效率，为高速公路巡查、城市道路巡查、安防、石油管道巡检、海岸巡查等应用领域提供一种更便捷的智能解决方案。目前，多旋翼无人机技术已经越发成熟，行业须要解决的问题是，无人机如何在没有人员参与的前提下完成断电，使用者如何防止无人机长时间上电导致的元器件使用寿命和精度下降。无人机在作业过程中，由于多个电调同时工作，无人机总输出电流较大，极限作业时电流可达上百安，传统远程机械式或电子式断电开关均无法满足无人机断电的需求。

为解决问题，本文研究一种无人机机械式自动断电开关，这种断电开关耐疲劳，使用寿命长，具有良好的稳定性和可靠性。在起降过程中，无人机使用这种开关，能够自动完成断电或上电。

机构组成与工作原理

自动断电开关主要包括电源输入端、电源输出端、输出与输入电极以及通断机构，其工作原理如图1所示。自动断电开关被串联在锂电池正极与无人机供电口正极之间。

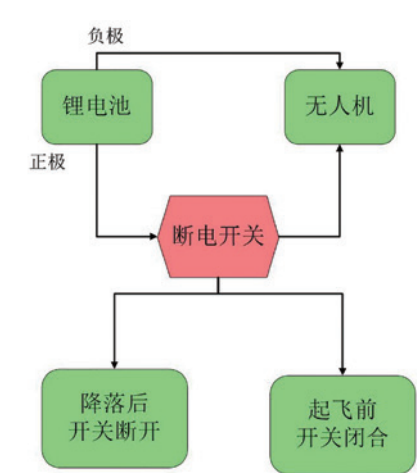


图1 无人机自动断电开关的工作原理图。

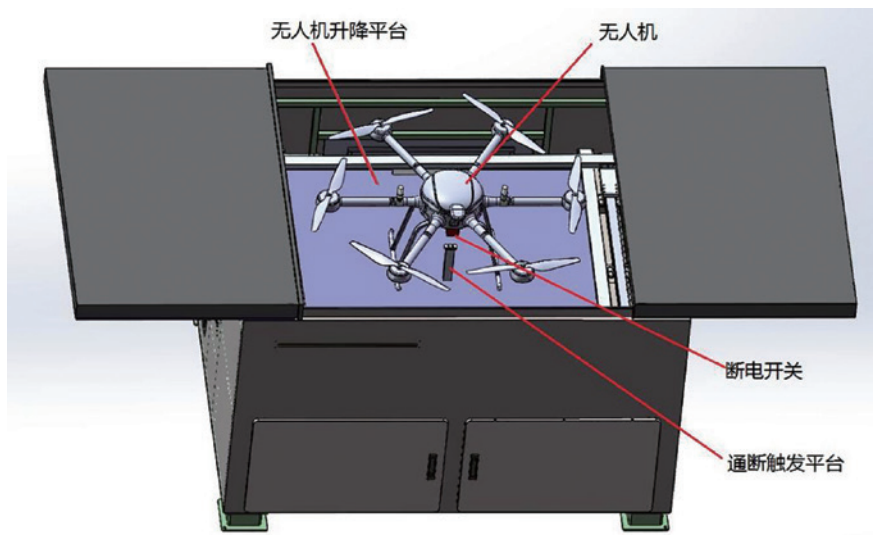


图2 断电开关实施方案。

自动断电开关可实现无人机与锂电池之间的通断，其实方案详见图2。无人机降落在自动机场停机坪升降平台后，随升降平台下降到指定高度，这时安装于无人机机身底部的断电开关与通断触发平台接触，开关断开，无人机断电。在起飞前，无人机随升降平台上升，断电开关与通断触发平台分离，开关闭合，无人机上电。

断电开关设计

前文已初步确定断电开关的工作原理和实施方案。下面阐述开关的外形和内部结构设计。

表1 自动断电开关的设计指标。

指标名称	数据
重量	≤200g
额定电流	120A
高度	≤70mm
工作温度	-20~55℃
防护特性	防尘、防水达到IP67
工作湿度	0%~95%

外形设计

自动断电开关通过三个螺钉固定于无人机机身底部。开关外壳由前壳、中壳、后壳以及推杆四部分组成。其中，外壳采用尼龙材料制成，可以起到绝缘效果。尼龙是一种常用工程塑料，具有机械强度高、韧性好、抗疲劳、抗氧化、耐高温等特点，能够延长开关的使用寿命。同时，尼龙的密度比合金小，减小了开关的重量。

内部结构设计

断电开关的内部组件主要包括压力

弹簧、磁铁、固定铁片、弹簧片、输出与输入电极等器件。其中，输入电极与锂电池的正极供电线被焊接在一起；输出电极与无人机供电口正极被焊接在一起。输出与输入电极闭合时，无人机处于上电状态，弹簧处于压缩状态，弹簧压缩产生的压力将输入与输出两个电极压在一起。同时，为了防止弹簧在无人机振动过程中失效而导致输出与输入两电极断开，磁铁吸附在固定铁片上，磁力将输出与输入电极紧压在一起，作为二次保护。无人机降落后，随着升降平台下降，无人机自身的重力挤压推杆，弹簧被进一步压缩，输出与输入电极断开，无人机断电。

无人机起飞前，输出与输入电极处于分离状态，此时两个电极的电压差较大，上下两个电极接触瞬间，由于无人机内部电容快速充电，两个电极会出现严重的打火现象，导致电极逐渐腐蚀，

无法继续使用。为了防止电极打火，本方案使用具有四个贴片电阻的整体电阻，该整体电阻被串联在输出电极与弹簧片之间，详见图6中的电阻电路板。输出与输入电极接触闭合前，弹簧片优先与输入电极接触，串联电阻起到限流作用，待弹簧片与输入电极充分接触后，输出与输入两电极才会延迟闭合，无人机上电。开关闭合的动态过程如图7所示。

元器件选型

(1) 磁铁选型

在不考虑弹簧压力的情况下，磁铁若满足断电开关二次保护的要求，必须提供足够的吸力。设断电开关移动部分的总质量为 m ，如图8所示。考虑到无人机产生的高频振动，磁铁与铁片产生的吸力除克服断电开关移动部分自身的重力外，该吸力至少是2倍的移动部分惯性力。

则磁铁与铁片产生的吸力 $F1 \geq 3 \times m \times g$ (g 为物体在地球上的重力加速度)。

模型中测得的移动部分总质量 $m=101g$ ，则 $F1 \geq 3.03N$ 。

通过对比多种磁铁的吸力，同时考虑安装空间以及固定方式，本文选择圆形强磁性磁铁，该磁铁中间带有安装孔。经过弹簧秤测试，磁铁与铁片产生的吸力 $F1=3.8N$ ，满足条件。

(2) 弹簧选型

根据机构特点，本方案选用两根弹簧，弹簧始终处于压缩状态。当开关闭合时，弹簧压缩量最小，受机构空间限制，弹簧的初始长度为26mm，此时弹簧提供的弹簧压力为 $F2$ ；当开关断开时，推杆向上移动，弹簧压缩量增大，压力增大；当推杆向上移动到极限位置时，弹簧压缩量达到最大，此时弹簧长度为20mm，此时弹簧提供的弹簧压力为 $F3$ 。考虑到机构特点以及无人机产生的高频振动，弹簧压力除克服断电开关移动部分自身的重力外，该压力至少是2倍的移动部分惯性力。

则 $F2 \geq 3 \times m \times g$ 。



图3 断电开关的安装方式。

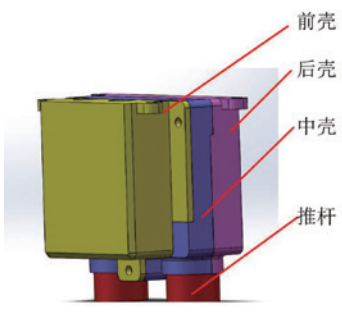


图4 断电开关的外形。

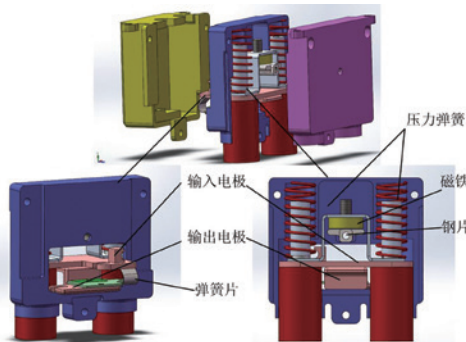


图5 断电开关的内部结构图。

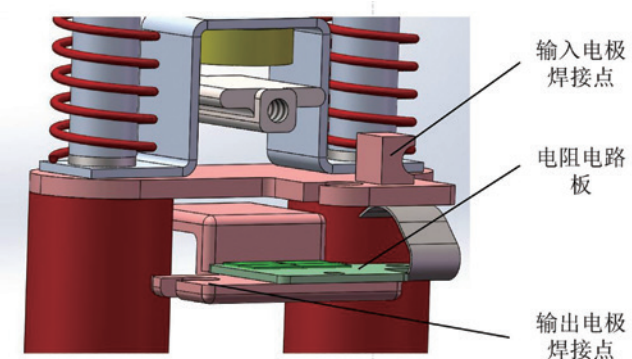


图6 防打火装置。

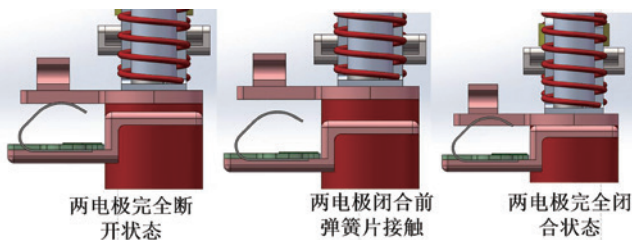


图7 开关闭合过程。

同时,为了保证无人机能完全断电,无人机应利用自身重力,使弹簧压缩量达到最大,

则 $F_3 < M \times g$, 其中, M 为无人机总质量(在标准任务载荷下), $M=6.5\text{kg}$ 。

根据上述限制条件,本方案选用圆形螺旋形弹簧,弹簧自由长度为35mm,弹簧最大压缩量为25mm。为防止弹簧因长时间压缩而产生的弹性变形,弹簧材料选用弹簧钢。经弹簧秤测试,弹簧压力 $F_2=3.6\text{N}$, $F_3=6\text{N}$, 满足条件。

断电开关装配

断电开关加工完成后,工作人员根据三维模型进行装配,装配完成后的开关实物详见图9。由于电阻电路板加工周期较长,试验可暂时使用陶瓷电阻代替电阻电路板。

打火问题及其解决办法

断电开关装配完成后,经过测量,总质量为188g,满足设计要求。接下来,工作人员将开关安装在无人机机身底部。无人机选用的锂电池为高压型22000mAh-6s锂电池,经测量,电池

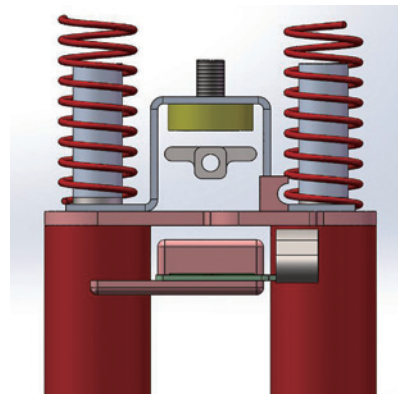


图8 开关移动部分。

文提出转移打火位置的方案,并对该方案进行验证。

本文建议将打火位置转移到旁路弹簧片和输入电极接触的位置,将弹簧片作为消耗品。技术人员可通过试验验证弹簧片寿命,以定期更换弹簧片。

在验证试验中,技术人员将旁路接通(即不在旁路内串联整体电阻,只在旁路中串联弹簧片)后发现,弹簧片位置打火严重,输出与输入两电极之间不打火,而试验中弹簧片重复使用不超过10次,弹簧片与输入两电极的接触点却因打火烧蚀严重,导致绝缘,无法使用。同时,无人机在工作过程中总电流很大,导致通过断电开关的电流很大,旁路供电线无法支撑,因此该方案不可取。

电阻未被串联在电路中的问题分析

旁路串联电阻后,打火现象未得到解决,说明电阻并没有发挥作用。原因可能是,在输出与输入两电极闭合前,旁路未接通,旁路内串联电阻没有发挥作用。

在验证试验中,技术人员在输出与输入两电极之间放入绝缘片,主电路处于断开状态,仅旁路接通。经测量,旁路中的串联电阻为 $4.7\text{K}\Omega$,说明串联电阻可以正常工作,该方案成立。

增加无人机电容充放电时间的办法

旁路串联电阻后,打火现象没有得到解决,说明电阻并没有发挥作用。原因可能是,旁路通电时间过短,无人机内部电容充放电时间不够,电阻无法充分发挥作用。

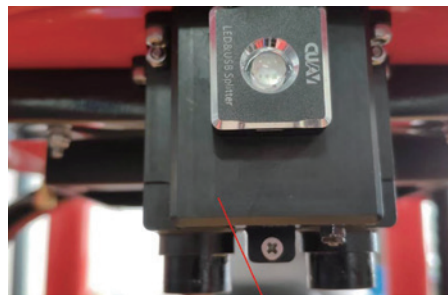


图9 断电开关实物图。

在验证试验中,无人机接入24V电池,输出与输入电极之间加入绝缘片,处于断开状态,仅旁路接通。旁路接通时间须超过1min,以保证无人机内部电容拥有足够的充放电时间。试验人员关闭主电路,但打火现象没有明显改善,该方案成立。

解决电阻值过大、限流作用过大的办法

经测量,AS150防打火公头两端的内部电阻为 5Ω ,该公头内阻的电阻值与断电开关最初设计的电阻值 $4.7\text{K}\Omega$ 之间存在较大差异。后期,经技术人员核实,无人机输入总电压24V,旁路串联电阻两端的电压为21.5V,打火原因可能是串联电阻的电阻值过大,限流作用过大,电阻几乎不能发挥作用。

在验证试验中,技术人员更换旁路串联电阻,将AS150防打火公头串联在旁路中,模拟电阻值为 5Ω 的电阻,先闭合旁路,电阻两端电压为4V,3s后主电路闭合,打火现象消失,该方案成立。

接下来,技术人员依次将电阻值为 100Ω 、 50Ω 、 20Ω ,功率为0.5W的



图10 串联AS150公头。

现有成品电阻串联在旁路中,上电瞬间打火减弱,但是电阻直接发生高温熔化,电阻功率不足,无法使用。

为进一步开展验证试验,技术人员对电阻进行更换,使用额定功率为100W的大功率黄金外壳电阻,并将电阻值分别为 20Ω 、 10Ω 、 5Ω 、 2Ω 的黄金外壳电阻依次串联到旁路中,在断电开关上电后观察打火现象,发现电阻的电阻值减小后,火花逐渐减小,当旁路内串联电阻的电阻值为 5Ω 时,火花基本消失,当旁路内串联电阻的电阻值为 2Ω 时,输出与输入两电极接触面火花消失,但旁路弹簧片开始产生火花。因此,本方案应选用电阻值为 5Ω 的电阻。

低温、长时间压缩工况下弹簧性能测试

无人机自动机场处于正常工作模式下,无人机停放在停机坪内,长时间处于断电状态,所处环境复杂,其开关内的弹簧长时间处于被压缩状态,尤其当外界环境温度较低时,弹簧有可能产生弹性变形,导致开关无法正常压紧闭合。因此,弹簧应完成低温、长时间压缩工况下的性能测试。

在测试中,温箱环境温度为 -20°C 左右,开关完全被压缩的状态持续48h。测试结束后,无人机断电开关马上进行上电测试,技术人员观察开关能否正常工作,弹簧是否有不可恢复的变形。经过重复测试,弹簧未出现问题。

某型无人直升机机组岗位胜任能力模型构建

Construction Of The Job Competency Model For An Unmanned Helicopter Crew

本文介绍四种目前广泛应用的岗位胜任能力模型构建方法。经评估后，本文采用工作分析法划分某型无人直升机机组的岗位职责，再以机组飞行指挥员岗位为例，分析该岗位在不同阶段的工作内容，根据分析结果构建飞行指挥员岗位胜任能力模型，同时为其他岗位胜任能力模型构建提供思路。

张耀丹
中国直升机设计研究所

目前，某型无人直升机机组的岗位胜任能力特征与训练内容仅包含无人直升机运行程序类知识，岗位胜任能力特征要素单一，不能全部覆盖机组人员必须具备的主要素质，无法满足机组人员选拔与持续发展要求。在机组岗位胜任能力特征要素中，除运行知识外，行业法规、心理素质与认知能力也非常重要，甚至成为直接影响无人直升机安全运行的主要因素。

为保证无人直升机安全运行，本文对某型无人直升机机组各岗位在不同工作阶段所须的岗位胜任能力特征进行分析，建立机组岗位胜任能力模型，从而为机组有针对性、有依据地选拔、评估与培养各类岗位人员提供支撑。

岗位胜任能力模型介绍

岗位胜任能力模型是指，按照工作岗位要求，某岗位人员能够顺利完成本职工作所必备的个人特征结构，包含动机、特质、自我形象、态度或价值观、专业知识、职业素养、技能、认知能力等诸多要素。岗位胜任能力模型能够对人员承担某项工作所须的胜任特征及胜任特征组合结构进行明确说明，同时也是一种测评人员从外显到内隐特征的重要尺度和依据，为人力资源部门合理规划与配置工作岗位提供科学性前提。

岗位胜任能力模型构建方法

岗位胜任能力模型构建方法主要包括行为事件访谈法、专家访谈法、问卷调查法和工作分析法。每个方法的具体内容如下所述。

行为事件访谈法

行为事件访谈法是回顾式调查方法，通过收集参与者亲身经历、有较深感悟和印象的几项工作（包括成功和失败工作），找到影响工作绩效的细节行为，然后对这些行为进行分析，对比绩优者和绩效一般者的行为，得到岗位胜任特征。行为事件访谈法虽然信效度比较高，但是访谈过程中的内容、进度控制以及访谈后期的信息处理，都要求研究人员具备较高的专业素质。

专家访谈法

专家访谈法可以在较短时间内了解研究领域的关键信息，快速构建岗位胜任能力模型。根据不同访谈对象，该方法选用不同的专家，例如拥有丰富经验的一线从业人员、直接管理者、对目标岗位有深入研究的专家和学者。相对于行为事件访谈法，专家访谈法省时省力，但专家访谈法容易受样本量和信效度的影响，所以专家访谈法经常与其他研究方法配合使用。

问卷调查法

问卷调查法是指测评人员预先设计好问卷，并将纸质问卷发放给参与者，

收集参与者意见和感受的一种调查方法。问卷制作人员须要通过文献查阅、工作分析、结构化或者半结构化访谈等途径，收集或研究与目标有关的关键信息，形成关键行为域，再根据关键行为编制、发放和回收问卷，分析调查结果。因此，问卷编制和设计过程较为复杂，该方法对问卷编制和设计人员的要求较高。

工作分析法

工作分析法又称岗位分析法，通过系统地收集与目标工作有关的信息，确定目标岗位的工作需求。工作分析法重点关注岗位对人的需求，而不是人员本身，但是可依据工作分析获得岗位的任务、责任、义务和工作环境等信息。用人单位利用工作分析法，提取岗位职责，根据岗位职责确定岗位需求，进而根据岗位需求确定胜任特征。

构建机组岗位胜任能力模型的流程

综合考虑时间成本、人力成本及信效度等因素后，本文选用工作分析法，列出无人直升机机组各岗位的相关指标和具体描述，例如主要任务、专业知识、技能、心理素质与认知能力等要素，初步构建无人直升机机组的岗位胜任能力模型，后续再结合问卷调查法、专家访谈法等其他探究方法，进一步修改和更

新模型。

在构建模型之前，本文首先阐述无人直升机飞行操控的特点。无人直升机系统的飞行和任务控制须要一个团队共同协作完成，各岗位操控员应熟练掌握本职岗位的操控技能，同时与团队中的其他人员进行紧密沟通与协作。因此，无人直升机飞行机组中的所有人员须具备更强的团队协作和协同决策能力，不仅要掌握装备知识，而且要掌握更高的操控技能。

根据无人直升机的操控特点，本文以某型无人直升机机组的飞行指挥员岗位为例，采用工作分析法构建岗位胜任能力模型。模型构建分四个步骤。

岗位划分与职责

本文结合某型无人直升机机组的岗位划分，对各岗位的主要职责进行描述。表1为机组岗位划分与职责描述。

岗位工作任务分析

本文以飞行指挥员岗位为例，分析该岗位在各个飞行阶段的具体工作任务。图1为飞行指挥员岗位在各个飞行阶段的具体工作任务。

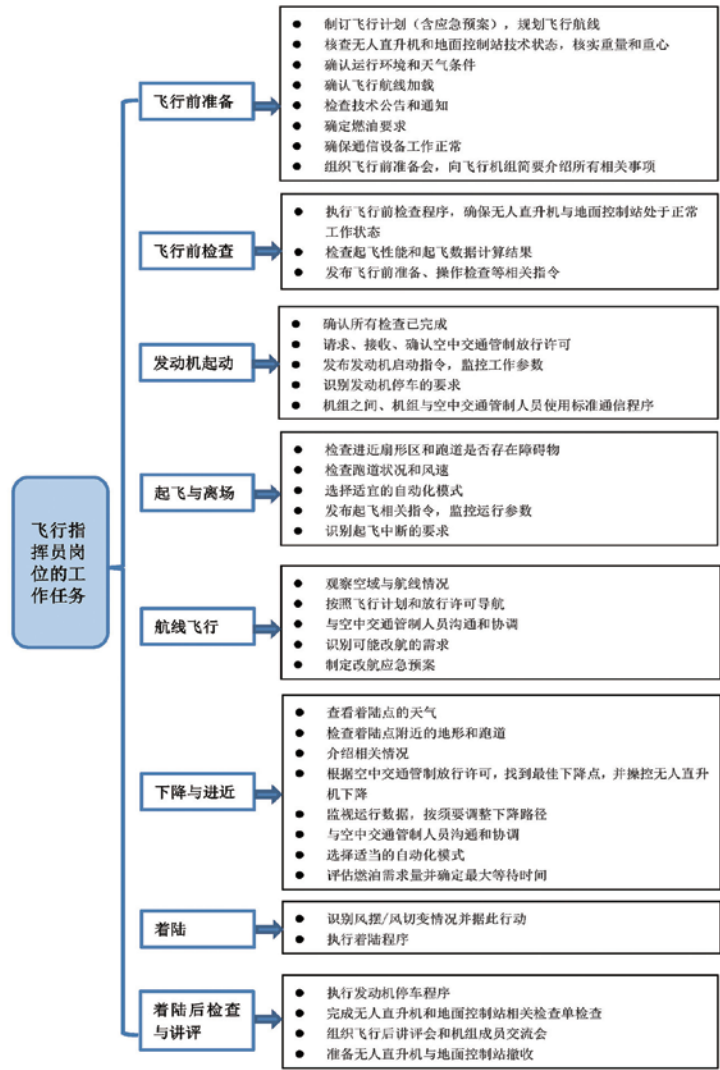
岗位胜任能力特征总结

本节对飞行指挥员在各飞行阶段的工作任务进行分析，得出飞行指挥员岗

表1 机组岗位划分与职责描述。

岗位序号	岗位划分	职责
1	飞行指挥员	(1) 确认无人直升机飞行任务及飞行前的技术状态
		(2) 发布无人直升机飞行控制指令
		(3) 监测无人直升机的飞行参数
		(4) 处理应急情况
		(5) 负责地面控制站部署
2	指令控制员	(1) 加载航路点
		(2) 发送无人直升机控制指令
		(3) 监测无人直升机的飞行参数
		(4) 监控数据链路和伺服系统
		(5) 负责地面控制站维护
		(6) 负责地面控制站部署
3	任务控制员	(1) 操控任务载荷
		(2) 监控任务信息
4	飞行操控员	(1) 利用遥控器对无人直升机实施人工操控
		(2) 处置应急情况
		(3) 定期维护与保养遥控器
备注:1~3岗位职责可视情合并。		

图1 飞行指挥员岗位工作任务分析图。



位的胜任能力特征，再对各项特征进行提炼、归类，形成初步岗位胜任能力模型。本文将飞行指挥员的岗位胜任能力特征分为如下四个维度。图2为飞行指挥员岗位胜任能力模型。

显性胜任能力特征主要由知识、技能等要素构成。

(1) 知识

知识是指飞行指挥员指挥日常飞行和处置空中特情所须的专业信息，如运行法规、起降场地使用限制条件、气象、空域使用条件、飞行计划、运行数据、运行程序、应急情况判断与处置依据。

(2) 技能

技能是指飞行指挥员指挥无人直升

机飞行的能力,如情景意识、指挥决策、沟通、团队合作等能力。

隐性胜任能力特征主要由社会角色、自我认知、个人特质和动机等要素构成。作为的内层因素,隐性特征包含的各种要素可归纳为心理素质和认知能力。

(3) 心理素质

心理素质是指客观事物在人员头脑中的特殊反映。在指挥无人直升机飞行时,心理素质能调节或控制飞行指挥员的工作,让飞行指挥员及时调整不良情绪,保持心平气和、镇定自若。

(4) 认知能力

认知是指个体基于获取的信息,进一步学习、研究、理解、概括和分析信息的能力,包括个体空间感知能力、逻辑思维能力、记忆力、判断力等综合要素。

修改与完善

岗位胜任能力初步模型形成后,用人单位后续可结合问卷调查法、专家访谈法等其他探究方法对工作分析方法构建的机组岗位胜任能力模型进行总结、分析和讨论,并进一步修改和更新,在实际操作中对模型进行验证和评价。

结束语

机组岗位胜任能力模型有利于企业对机组各岗位人员的能力进行盘点,明

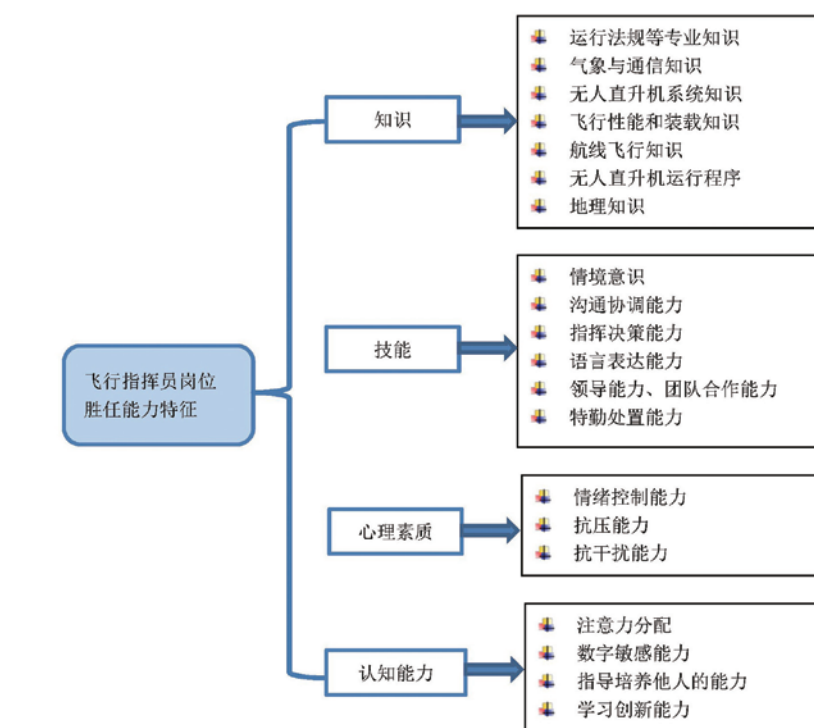


图2 飞行指挥员岗位胜任能力模型。

晰能力储备与未来要求之间的差距,建立一套标杆参照体系,帮助企业管理者确定机组各岗位人员的岗位胜任能力维度与方向,为企业更加全面和有针对性地制订培训计划提供依据,保障无人直升机的运行安全。对机组人员而言,胜任能力模型为各岗位人员指明了努力方

向,使岗位人员明白自身从事的工作以及承担岗位工作应具备的条件,结合岗位需求查找自身差距,有计划、有目标地学习与成长,提高个人能力,促进个人职业生涯发展。



爱生集团 无人机试验测试中心

广告



爱生无人机试验测试靖边有限公司(无人机试验测试中心)位于陕西省靖边县,隶属于西安爱生技术集团有限公司(西北工业大学无人机研究所),是国内面向行业的专业无人机系统试验测试与研究基地,也是面向社会的集无人机科研试验、定型鉴定、适航审定、试验测试技术研究、试验测试标准研究、竞技展示、会议会展、操控与维护培训、应急维修、科普教育、物流集散和通航等12大功能为一体的公共服务平台。“中心”于2021年建成投运,具备完善的试验测试与保障条件,可满足各类大中型无人机试验测试需要,已面向全国40多家单位开展1500余架次中大型无人机试验测试工作。

热忱欢迎国内外用户来“中心”开展试验、交流工作!

一流的条件

- | | | | |
|---------------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| ➤ 试验空域5000km ² | ➤ 跑道2400m×45m | ➤ 调试停机坪55000m ² | ➤ 弹射试验区360000m ² |
| ➤ 独立靶区2km×4km | ➤ 集成调试工房10000m ² | ➤ 独立试车区300m ² | ➤ 接待能力300人 |
| ➤ 办公与后勤保障设施11000 m ² | | | |

测试保障条件: 空管/气象/高速摄像/雷测/光测/加油车/消防车/移动电源/各类靶标/频谱测量/电磁干扰设备等



爱生无人机试验测试靖边有限公司

联系人: 任先生 0912-8040423 18309261612

地址: 陕西省榆林市靖边县海则滩

邮箱: sizhuoren@126.com



C145HT系列航空活塞发动机

震撼上新



- ✓ 废气涡轮增压，升限10000m
- ✓ 发电功率：(1+6) kW@4000r/min
- ✓ 最大功率：105kW@5800r/min
- ✓ 发动机型式：四缸四冲程水平对置
- ✓ 冷却方式：全水冷
- ✓ 产品优势：高功重比、高可靠性、
优异的高空适应性、
高低温及振动环境适应性
- ✓ 适配机型：700~1600kg级固定翼、旋翼机、
直升机、倾转旋翼机等通航飞机和无人机

更多明星产品

C12H：最大功率11kW、重油燃料、重量6.5kg

C20F：最大功率20kW、风冷

C115HT：最大功率84.5kW、缸头水冷&缸体风冷

变距螺旋桨：电动变距、10000m使用升限



C12H



C20F



C115HT



变距螺旋桨



重庆宗申航空发动机制造有限公司

是宗申动力机械股份有限公司(上市代码001696)控股企业，致力于航空发动机设计研发、制造、销售、售后服务等一体化业务，主要为固定翼、旋翼等通航飞机和无人机提供动力装备，并依托自身研发实力为各飞机制造企业提供定制化动力系统解决方案。公司C系列航空活塞发动机已批量配套各知名无人机和通航飞机；是重庆航空活塞发动机重点实验室，获得航空活塞发动机CNAS实验认证。