

无人机

2022.4 | 总第83期

UNMANNED VEHICLES

中航传媒 出品

定价：25.00元

www.aviationnow.com.cn



ISSN 2096-2037



“黑鹰”直升机以无人模式完成自主飞行任务
空客公司签订71亿欧元“欧洲无人机”项目合同
国外无人直升机发展动向

《无人机》理事单位

(按单位名称循环排序)



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

中国航天电子技术研究院无人系统总体部

主任：姜 梁 党委书记：闫 懿
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”系列无人机，智能化、信息化、网络化无人装备与无人系统



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鹃路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)



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、“云鹗”-100无人直升机



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

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(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

ASN 无人机技术
UAV Technology

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.nr1st.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



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



2022 年第 4 期（总第 93 期）
刊期：月刊
出版日期：2022 年 4 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 吴忠泽
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 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

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。

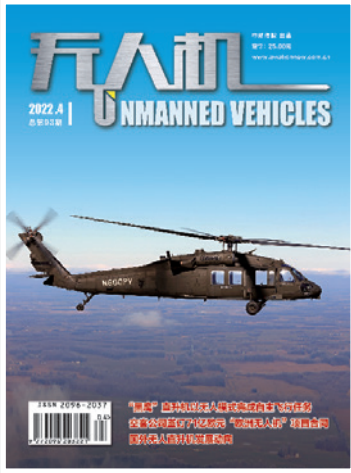
谁将摘得“月桂荣耀”？2022，我们翘首以待！

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

广告

西安爱生无人机技术有限公司

“灵鹊”系列 LQ-216
小型垂直起降无人机系统



2022年第4期 / 总第93期
April 2022, No. 93

封面说明
About The Cover

S-70A“黑鹰”直升机以无人模式飞行30min,完成一次自主飞行试验任务,展示了与众不同的任务灵活性和自主处理突发事件的能力。在试验中,“矩阵技术”自动驾驶系统实时规划新的航线,规避了障碍物。



《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。



P9 “黑鹰”直升机以无人模式完成自主飞行任务

目录 CONTENTS

新闻快递 / News Flash

热点关注 / Focus

“黑鹰”直升机以无人模式完成自主飞行任务
Black Hawk Flew With No Safety Pilots On An Autonomous Mission

空客公司签订71亿欧元“欧洲无人机”项目合同
Eurodrone Contract Signed With Airbus In Germany

发展纵横 / Development

国外无人直升机发展动向
Development Of Foreign Unmanned Helicopters

无人机自动机场发展现状与关键技术
Development And Key Technology Of Deploy Drones

作战运用 / Warfare Application

基于PFT-COI方法的无人侦察机作战效能指标体系构建
Construction Of The Operational Effectiveness Index System Of
Unmanned Reconnaissance Aircraft Based On PFT-COI

飞行安全 / Military Application

一种基于多传感器信息的无人直升机空地状态判定方法
A Judgment Method For The Air And Ground Condition Of Unmanned
Helicopter Based On Multi-sensor Information



P13 空客公司签订71亿欧元“欧洲无人机”项目合同



P20 无人机自动机场发展现状与关键技术



P15 国外无人直升机发展动向



P24 基于PFT-COI方法的无人侦察机作战效能指标体系构建

4	服务保障 / Service & Support	
9	某型无人机机载数据存储器无法存储侦察影像数据故障分析 Analysis Of The Fault Of A UAS Airborne Data Memorizer Unable To Store Reconnaissance Imaget	34
13	无人直升机传感器和执行器故障的类型与分析 Analysis And Type Of The Sensor And Actuator Fault Of Unmanned Helicopter	38
15	浅析S1000D规范在无人直升机交互式电子技术出版物 编制中的应用 Analysis Of The Application Of S1000D Specification To Unmanned Helicopter IETM Compilation	41
20		
24	技术研究 / Technical Research	
24	无人机油电混合动力系统(五) Hybrid Propulsion System For UAV (Part5)	44
30	全权限数字电子控制系统在小型无人直升机活塞式发动机 中的应用研究 Study On The Application Of Full Authority Digital Electronic Control System To Piston Engine Of Small Unmanned Helicopter	49
	基于分布式卡尔曼滤波的无人直升机传感器容错控制 Fault Tolerance Control Of Unmanned Helicopter Based On Distributed Kalman Filter	52
	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	P12
	西安伟健电子有限责任公司	P19
	《环球飞行》杂志	P29
	《军工文化》杂志创刊15周年	P37
	第十四届中国国际航空航天博览会	P48
	中航出版传媒有限责任公司	封三
	重庆宗申航空发动机制造有限公司	封底



MQ-9无人机在演习中承担空中监视保障任务

2022年1月，美国通用原子航空系统公司与美国陆军第7特种部队空降大队开展联合演习。在演习中，通用原子公司一架MQ-9无人机的空降大队军事高空自由降落训练提供保障，对人员跳伞过程进行空中监视，实现了远程监视。MQ-9无人机从美国亚利桑那州尤马试验场起飞后，将监视信息实时传输给通用原子公司，通用原子公司再将MQ-9无人机传输的视频转发给位于美国佛罗里达州的埃格林空军基地的士兵和指挥人员。此次演习为通用原子公司的机组人员提供了一个机动性战术训练的实践机会。

阿尔法作战支队是一个完全独立开展行动的陆军特种部队，在演习期间，该支队评估了MQ-9无人机的任务规划等能力



及其整体表现。根据阿尔法作战支队的评估，MQ-9无人机提高了部队防御能力，增强了整体态势感知能力，并能满足保障任务的所有要求。

澳大利亚MQ-9B无人机将在21世纪20年代中期形成初始作战能力



澳大利亚国防部表示，该国外购MQ-9B“天空卫士”无人机，旨在为澳大利亚军方提供情报、监视、侦察和精确打击能力。MQ-9B预计在21世纪20年代中期形成初始作战能力（IOC）。澳大利亚国防部没有透露MQ-9B机载航空电子设备和其他系统的细节，但制造商通用原子航空系统公司表示，MQ-9B配备了传感器等系统，能够在多域战中执行任务。

BAE系统公司和美国国防部联合开展有人机/无人机协同作战试验

近期，英国BAE系统公司和美国国防部联合开展了有人机/无人机协同作战（MUM-T）试验。一架战斗机和多架无人机参与试验，其中，每架无人机都配置了任务传感器，自主规划飞行航线，执行战术并完成预设任务。有人战斗机飞行员利用人机交互界面（HMI）实时控制无人机的任务进展。

本次试验验证了典型作战环境中有人机/无人机协同作战能力，基本达到预期目标。经过大量模拟试验，BAE系统公司开发出人机交互

界面。战斗机飞行员反映，BAE系统公司开发的技术成熟度高，人机交互界面友好。

BAE系统公司表示，有人

机/无人机协同作战技术体系采用了高可靠性开放式专用架构，易集成于新装备。这项技术采用底层算法，能在战术层



面实现分布式自主决策，所用软件开发工具包允许第三方引入新算法，在新装备中植入软件，以执行新任务。

在接下来的一年里，BAE系统公司将与美国国防部继续合作，进一步完善有人机/无人机协同作战技术套件的性能，同时将该套件用于其他有人机/无人机编队，以展示技术套件的灵活性和开放性。BAE系统公司将本公司恩迪科特（Endicott）工厂开展有人机/无人机协同作战项目的改进工作。

MQ-9A无人机飞行时间突破200万小时

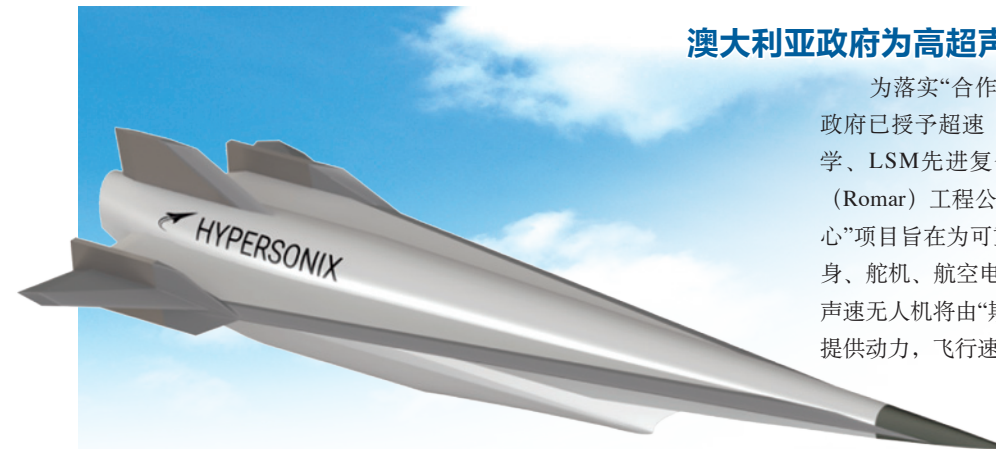


通用原子航空系统公司MQ-9A无人机的飞行时间已突破200万飞行小时。而“捕食者”A、“捕食者”XP、增程型“捕食者”B、“守护者”“灰鹰”和增程型“灰鹰”、MQ-9B“天空卫士”、MQ-9B“海上卫士”等无人机的飞行小时数总计超过720万小时。这些无人机支持了近50

万项任务。目前，通用原子公司制造的无人机平均每月飞行超过48000h，正在美国空军、陆军、海军陆战队、美国国家航空航天局、意大利空军、英国空军、法国空军、阿联酋部队、印度部队服役。最新MQ-9A无人机已交付荷兰空军。

澳大利亚政府为高超声速无人机项目拨款295万美元

为落实“合作研究中心”项目（CRC-P）开发，澳大利亚政府已授予超速（Hypersonix）发射系统公司、南昆士兰大学、LSM先进复合材料公司和位于新南威尔士州的罗马尔（Romar）工程公司总金额为295万美元的合同。“合作研究中心”项目旨在为可重复使用的高超声速无人机制造复合材料机身、舵机、航空电子设备和氢燃料推进系统。据悉，该型高超声速无人机将由“斯巴坦”（SPARTAN）氢燃料超燃冲压发动机提供动力，飞行速度为Ma12。



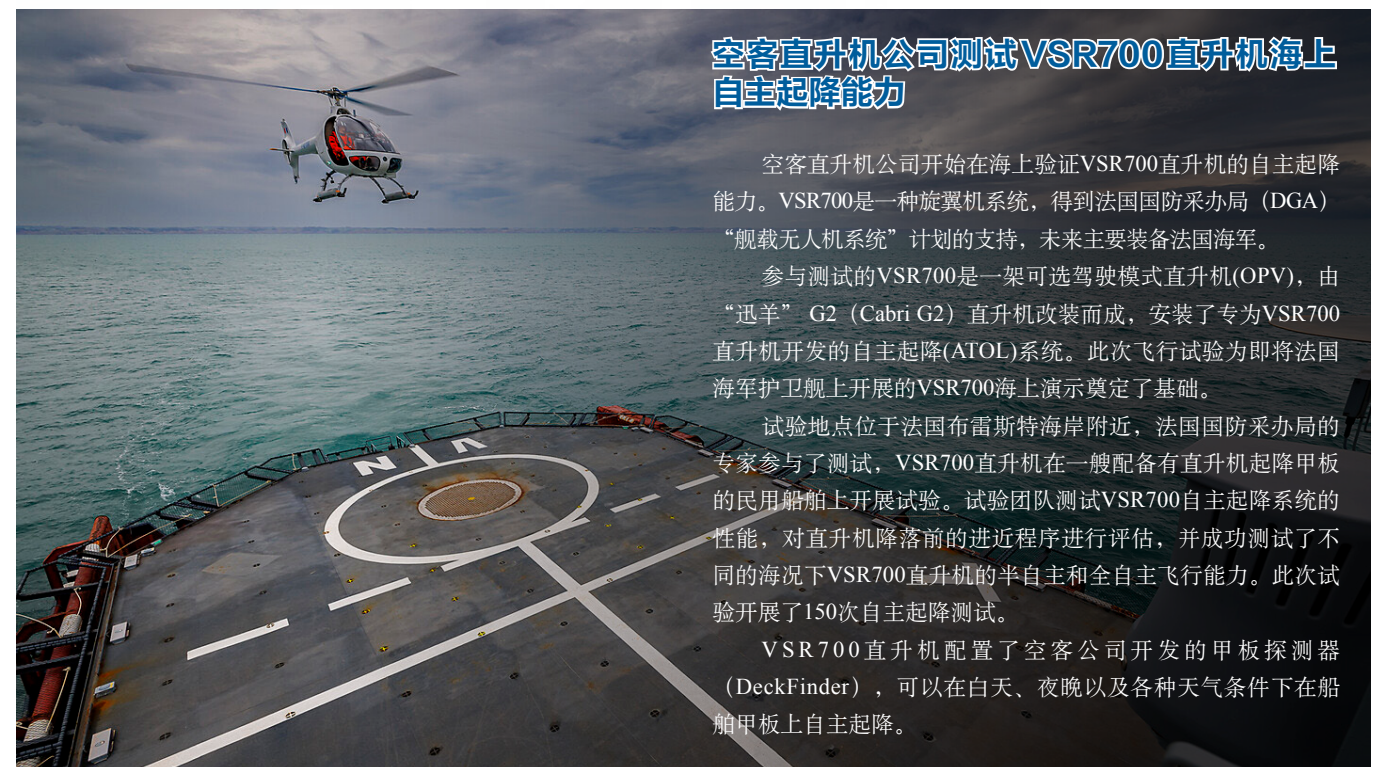
空客直升机公司测试VSR700直升机海上自主起降能力

空客直升机公司开始在海上验证VSR700直升机的自主起降能力。VSR700是一种旋翼机系统，得到法国国防采办局（DGA）“舰载无人机系统”计划的支持，未来主要装备法国海军。

参与测试的VSR700是一架可选驾驶模式直升机（OPV），由“迅羊”G2（Cabri G2）直升机改装而成，安装了专为VSR700直升机开发的自主起降（ATOL）系统。此次飞行试验为即将法国海军护卫舰上开展的VSR700海上演示奠定了基础。

试验地点位于法国布雷斯特海岸附近，法国国防采办局的专家参与了测试，VSR700直升机在一艘配备有直升机起降甲板的民用船舶上开展试验。试验团队测试VSR700自主起降系统的性能，对直升机降落前的进近程序进行评估，并成功测试了不同的海况下VSR700直升机的半自主和全自主飞行能力。此次试验开展了150次自主起降测试。

VSR700直升机配置了空客公司开发的甲板探测器（DeckFinder），可以在白天、夜晚以及各种天气条件下在船舶甲板上自主起降。





印度持续推进“勇士”忠诚僚机项目发展

印度斯坦航空有限公司（HAL）正在积极推动忠诚僚机项目发展，预计在2024年开展“勇士”忠诚僚机的飞行试验。“空中作战编队系统”（CATS）项目于2018年启动，目前已经取得实质性进展。“勇士”忠诚僚机是该项目中的一种机型，曾在2021年印度航展上亮相。

印度斯坦航空有限公司开发的“勇士”是一种双发无人战斗机（UCAV），可在有人战斗机后面或侧面飞行，打击空中和地面目标。目前，该公司正在开展“勇士”忠诚僚机风洞试验，该机最早部署时间预计是2024~2025年。“勇士”忠诚僚机有两种本土备选发动机方案，即PTAE-7发动机和HTFE-25发动机。



印度开发反无人机微型导弹

印度经济炸药（EEL）公司正在开发一种反无人机微型导弹（CDM）。该导弹重量仅2kg，射程2km，能与全地形越野车车载雷达和干扰机建立通信。每个导弹发射箱或发射吊舱可安装24、36、48枚微型导弹。车载雷达探测距离4~5km，导弹内置光学系统可识别空中目标。

印度经济炸药公司表示，与同类型激光制导微型导弹相比，这种新型导弹系统便携性强，可攻击无人机蜂群，具有航程远、战场生存能力强等优势。目前，该公司还在开发重量为1kg、射程600m的便携式反无人机微型导弹，以及发射重量为2~10kg、射程2~3km的无人机机载导弹。



森尔特种航空公司将开发可在火星大气中飞行的无人机



欧洲航天局（ESA）将与森尔特种航空（SENER Aeroespacial）公司共同开发“空中”（AERIAL）项目，后者牵头设计一种能在火星大气层中飞行的无人机系统。此外，西班牙阿尔德隆（AERDRON）公司将参与无人机设计和制造，负责开发六旋翼无人机原型机。据称，该机最大起飞重量5kg，能在火星大气模拟环境中飞行。

森尔特种航空公司在空间系统机载电子设备、导航与控制系统、通信系统、光学设备和机器人作动器等产品设计、集成和验证方面拥有丰富经验。

美国海军开发新型机载扫雷传感器系统



美国海军正在开发一种新型机载扫雷传感器组件SMAMD。MQ-8C无人直升机挂装SMAMD组件后，能够探测、定位海上或海岸的水雷、地雷、障碍物等目标。目前，MQ-8C“火力侦察

机”部署在美国海军“密尔沃基”号近海战斗舰上，支持美国第四舰队作战行动。

SMAMD组件由BAE系统公司开发，具备实时机载处理能力。收到该组件传输的威胁信息后，作战人员能够做出快速响应。

“火力侦察兵”项目办公室表示，未来战场可能位于水雷密布的海域沿岸，水雷对近海战斗舰（LCS）等装备造成了严重威胁。因此，SMAMD扫雷传感器系统能够有效降低水雷造成的风险。

2022年2月，第24空中测试和评估中队（UX-24）对机载SMAMD组件进行性能测试，采集数据，并对MQ-8C无人直升机的性能、飞行安全性进行评估。在MQ-8C无人直升机所有任务载荷中，SMAMD扫雷传感器组件的重量最重。

贝尔公司“自主吊舱运输”无人机开展物质空投试验



作为一种高机动性电动垂直起降（eVTOL）平系统，贝尔公司“自主吊舱运输”（APT）无人机正在不断拓展货运、战场物质补给等应用。APT无人机采用自主架构设计，可实现精准投放。该机具有尺寸小、可自主起降和低噪声等优点，在战斗关键时刻，能为部队提供支援，快速运输物质。

2022年3月，美国陆军“2022年远征战士试验”（AEWE2022）在美国陆军乔治亚州本宁堡基地举行。在试验中，贝尔公司向美军汇报了APT无人机的最新进展，并展示了补给物质空投能力。APT无人机将两袋总重量约15.9kg的货物运送到距离起飞地点17.7km的目标区，然后在空中投放了货物。此外，APT无人机完成了一次投放一种货物的演示。

目前，APT无人机已在军事基地、亚利桑那州尤马试验场开展了420多次飞行试验，技术成熟度较高。

北约测试多种反无人机解决方案

PISQ试验场位于意大利撒丁岛。近期，北约在该试验场完成了非致命性技术演习（NNTX-22C），测试了远程控制系统、黑客系统、高能激光武器、无人机网捕系统等非动能反无人机系统。在测试中，一些系统成功消除了无人机威胁，而有些系统则未能毁伤无人机。代尔夫特动力公司展示了一种配备网枪的多旋翼无人机系统，能够安全地击落无人机。



印度计划提高“鲁斯特姆”-II无人机的续航时间

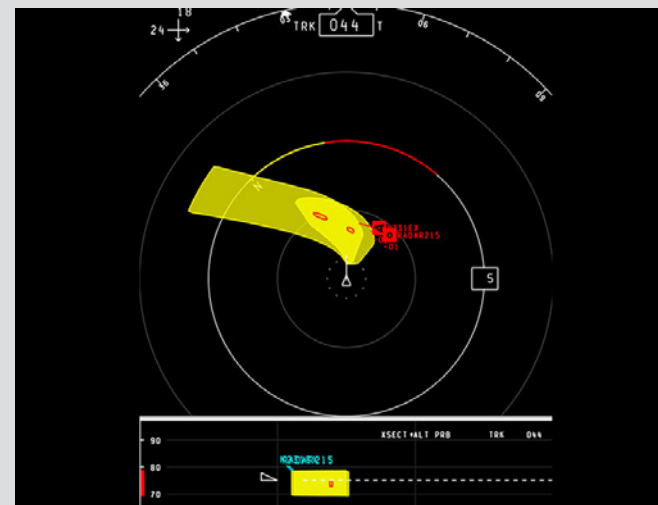


印度国防研究与发展组织（DRDO）表示，“鲁斯特姆”-II（Rustom-II）中空长航时无人机的飞行高度已达8500m，该组织准备再花一个月时间，将“鲁斯特姆”-II的续航时间提高到18h以上。据悉，“鲁斯特姆”-II无人机巡航速度约250km/h，由两台土星公司36T涡桨发动机提供动力，每台36T发动机额定功率为74kW。

通用原子公司测试MQ-9B无人机探测和规避技术

根据美国联邦航空管理局（FAA）的相关要求，通用原子航空系统公司（GA-ASI）于2022年1月与北方平原无人机试验场（NPUASTS）合作，在本公司飞行测试和训练中心开展一系列飞行测试，成功验证了MQ-9B“天空卫士”（SkyGuardian）无人机机载探测和规避（DAA）技术。

美国联邦航空管理局将利用这些测试数据，继续开展无人机融入国家空域系统



的试验，例如，搭载探测和规避系统的无人机在国家空域系统进行超视距飞行。

该型机载探测和规避系统由通用原子公司与霍尼韦尔公司联合开发，使用了有源相控阵列雷达（AESA），可对未安装广播式自动相关监视系统（ADS-B）的飞机进行定位，能识别潜在威胁，并将实时探测数据发送给远程飞行员。通用原子公司目前正在升级DAA系统，未来安装于大型无人机。



以色列埃尔比特系统公司将为英国陆军提供无人机蜂群

英国陆军于2022年3月10日发布《机器人和自主系统（RAS）战略》后，以色列埃尔比特系统公司于3月30日宣布，英国国防部未来能力小组已选用该公司5种自主蜂群无人机。在机器人和自主系统项目支持下，埃尔比特系统公司将为英国陆军提供蜂群无人机。

埃尔比特系统公司表示，自主蜂群无人机采用了本公司开发的开放式自主架构、人工智能技术和机器学习算法，可执行监视任务，续航时间8h，能将静态图像和视频实时传输给地面控制站，蜂群无人机之间可共享信息。



无人机仪器公司推出太阳能固定翼无人机



无人机仪器（UAV Instruments）公司已研制出一种太阳能固定翼无人机CIES 2.2。该机机翼安装了太阳能电池板，续航时间达10h，在测绘、环境保护、公共安全、农作物生长监测等领域拥有广阔市场前景。CIES 2.2太阳能无人机最大起飞重量为4kg，巡航速度55.56km/h，航程100km，能搭载三种任务载荷。无人机仪器公司表示，该型无人机具有目标跟踪、车牌或人脸识别能力，可集成一款新型摄像机。

韩国规划未来无人机技术发展战略



韩国国防采办计划管理局（DAPA）将基于“2030未来国防技术战略：无人机”项目，制订无人机中长期技术发展战略图，该路线图主要包括三项内容。

第一，韩国将分析各类无人机的设计要求，确定20种通用无人机，满足不同应用需求。

第二，结合未来作战环境和技术发展趋势，提出未来新概念军用无人机，例如仿昆虫无人机、仿鸟无人机、舰载无人机、多用途通用无人机等机型，满足军事和产学研领域的广泛应用需求。

第三，分析满足未来军用无人机发展的166项核心技术。其中，军用无人机技术87项、民用无人机技术66项和军民两用无人机技术13项。

MQ-9B 无人机装配 V 型复合材料尾翼

通用原子航空系统公司（GA-ASI）已接收GKN航宇公司交付的首个V型复合材料尾翼，并将该尾翼安装在MQ-9B“天空卫士”无人机上。V型复合材料尾翼将是MQ-9B无人机的标准配置。通用原子公司与GKN航宇公司已合作十多年，最早合作项目是MQ-9A无人机。现在，MQ-9B将列装英国皇家空军。



“黑鹰”直升机以无人模式完成自主飞行任务

Black Hawk Flew With No Safety Pilots On An Autonomous Mission

西科斯基公司S-70A“黑鹰”直升机以无人模式飞行30min，完成一次自主飞行试验任务，展示了与众不同的任务灵活性和自主处理突发事件的能力。在试验中，机载激光雷达模拟器探测数字数据库中的虚拟建筑，“矩阵技术”自动驾驶系统实时规划新的航线，规避了虚拟障碍物。

格雷厄姆·沃里克（华盛顿）

2022年2月，西科斯基公司自动化技术取得新进展。该公司开发的“矩阵技术”（Matrix Technology）自动驾驶系统有望在复杂任务中发挥战略优势，为机组人员的飞行安全提供支持。

“矩阵技术”自动驾驶系统开发

西科斯基公司（Sikorsky）于2013年启动“矩阵技术”自动驾驶系统计划，旨在减少飞行员在执行常规任务和复杂任务（特别是紧急任务）中的工作量，以提高旋翼机的安全性、

任务灵活性尤其是执行危险任务时的灵活性。直升机安装“矩阵技术”系统后，能以无人模式执行任务。

与此同时，西科斯基公司开发了一种驾驶舱内置模式转换器。模式转换器上标注了“2-1-0”档位，“2”档表示机上有两名操控员，“1”档表示机有一名操控员，“0”档表示机上无操控员。当开关被置于“2”档时，“矩阵技术”自动驾驶系统协助两名操控员执行一项复杂任务；在“1”档时，“矩阵技术”系统作为一种数字化自动驾驶仪，供一

名操控员使用；在0档时，机上无操控员，“矩阵技术”系统控制直升机飞行。

在直升机飞行中，“矩阵技术”系统允许操控员设置高级任务目标和约束条件，同时赋予自主软件重新规划任务的灵活性，以规避障碍和威胁。该系统采用人性化设计，操控员可以坐在S-70A直升机驾驶舱的后座上，操作平板电脑控制直升机飞行。

“矩阵技术”系统不是人工智能系统，而是操控员向直升机发送任务指令。但是，该系统具有较强的功能，



图1 S-70A“黑鹰”是一种可选驾驶模式直升机。

比人类更擅长处理紧急任务。例如，当一架重型直升机在低空飞行时，一台发动机突然停车，这时飞行员必须在数秒甚至不到一秒内做出决策，是紧急降落还是让直升机继续使用其他无故障发动机为飞行提供动力，并获得足够的空速以减少飞行动力。面对此类突发事件，“矩阵技术”系统能够非常明确地做出决策。在西科斯基公司开展的多次模拟试验中，“矩阵技术”系统几乎每次都能战胜人类。

S-70A“黑鹰”直升机发展概况

西科斯基公司S-70A“黑鹰”(S-70A Black Hawk)于2019年3月首飞，是一种可选驾驶模式直升机(OPV)，由陆军退役直升机UH-60A改装而成，最大起飞重量6356kg，安装了全权限电传飞行控制系统和“矩阵技术”自动驾驶系统。其机头下方挂载了激光雷达传感器，用于探测和规避障碍物。

目前，S-70A“黑鹰”直升机仅挂装一台激光雷达，但配置“矩阵技术”系统的量产型直升机将安装一种带有多台激光雷达和摄像仪的分布式系统。根据操控员的实际需求，分布式系统可提供360°视野覆盖。

“机组人员驾驶舱内置自动化系统”计划实施

美国国防预研局(DARPA)项目经理斯图亚特·杨(Stuart Young)介

绍，2016年，美国国防部高级研究项目办公室启动“机组人员驾驶舱内置自动化系统”(Alias)计划，目的是开发一种灵活、可扩展自主架构，提高现役有人机的安全性和作战效能。9种不同型号的军机和民机已利用“机组人员驾驶舱内置自动化系统”开展飞行测试。

“机组人员驾驶舱内置自动化系统”负责规划任务，提供任务执行的方法并按照人类发送的指令完成任务。虽然该系统的自动化程度较低，但拥有诸多优势。

一是减轻飞行员的认知工作量，让飞行员专注于任务管理和高级决策。

二是有望减少培训需求和维护成本。

三是能将传动控制装置的运行时间缩短到仅10min。

四是防止寿命有限的部件发生过载，将这些部件的使用寿命延长近一倍而不影响部件性能。

在美国国防预研局“机组人员驾驶舱内置自动化系统”计划支持下，西科斯基公司正在探索“矩阵技术”系统在军用旋翼机、军用固定翼飞机、商用货运飞机、设计中的未来电动垂直起降(eVTOL)飞行器和混合动力垂直起降(VTOL)飞行器中的应用。

目前，西科斯基公司正在将开发的技术移交给陆军，以帮助陆军拓展“未来垂直起降”(FVL)等项目的自主性需求。美国空军对“机组人员驾驶

舱内置自动化系统”在洛克希德-马丁公司F-16战斗机中的应用也表现出兴趣。

“机组人员驾驶舱内置自动化系统”计划的总经费为1.5亿美元。在6年时间里，美国国防预研局和西科斯基公司大致分别使用了7500万美元。该计划现已接近尾声，预计2022年底结束。西科斯基公司仍在继续使用S-70A可选驾驶模式直升机和西科斯基公司S-76研究用自主直升机(SARA)拓展“矩阵技术”系统的性能，以开发传感器数据融合算法和其他功能的算法。

S-70A以有人模式出色完成试验任务

2021年，S-70A“黑鹰”可选驾驶模式直升机在亚利桑那州尤马试验场参加美国陆军“2021项目融合”(PC21)技术验证试验，展示了对抗环境下的后勤物质补给能力。

西科斯基公司在“矩阵技术”系统中加装了一个开放式应用程序编程接口。在“2021项目融合”试验期间，陆军验证了陆军用户界面控制直升机的能力。

美国陆军任务规划人员表示，在“2021项目融合”试验中，他们已经看到S-70A与机上安全操控员一起飞行，S-70A实现了预期目标，期待不久能见证S-70A采用无人模式自主飞行。

现在，美国陆军须要证明，“矩阵技术”系统拥有足够强的性能控制S-70A在无人模式下飞行。

S-70A以无人模式完成自主飞行任务

美国陆军坎贝尔堡基地位于美国肯塔基州，是美国陆军第101空降师和第160特种作战航空团的驻地，两者都是“黑鹰”直升机的运营单位。

2022年2月5日，西科斯基公司在陆军坎贝尔堡基地测试了“矩阵技术”自动驾驶系统的性能。首先，2名

操控员对一架跑道上的S-70A“黑鹰”直升机进行模式重置，将转换器上的开关从“2”档快速旋转到“0”档后关机，然后从驾驶舱出来，离开直升机。接着，地面操控员操作平板电脑，向“矩阵技术”系统发送指令，“矩阵技术”系统收到指令后启动辅助动力装置，为机上无操控员的S-70A“黑鹰”直升机充电，并按照检查清单项目，自动对直升机实施飞行前检查，最后启动两台发动机。此后，S-70A“黑鹰”升空，飞行30min后降落在跑道上，并自主停机。值得一提的是，S-70A“黑鹰”以无人模式完成了自主飞行任务。

在试验期间，地面操控员收到S-70A“黑鹰”直升机传输的信号，“黑鹰”直升机自主执行了一项从平板电脑发出的预设任务。

此次自主飞行任务其实是S-70A“黑鹰”直升机模拟纽约市曼哈顿区上空的飞行。S-70A未开启激光雷达，但机载激光雷达模拟器探测了纽约市数字数据库中的建筑物，并将障碍物数据发送给“矩阵技术”系统，“矩阵技术”系统实时对飞行任务进行重新规划，规避了模拟障碍物并完成任务。操作人员在激光雷达模拟器中加载了数字数据库，并将位置从曼哈顿区重新定位到坎贝尔堡基地，而“矩



图2 在“2021项目融合”试验中,安全操控员在机上操作平板电脑控制S-70A“黑鹰”飞行。



图3 2022年2月5日，S-70A“黑鹰”可选驾驶模式直升机完成一次自主飞行试验。

阵技术”系统中的其他设备并不清楚建筑物的位置。当虚拟障碍物进入激光雷达模拟器的探测范围时，“矩阵技术”系统会重新规划在建筑物周围飞行的航线。

西科斯基公司创新部门总监伊戈尔·切尔平斯基(Igor Cherepinsky)称，此前开展全自主飞行试验时，S-70A“黑鹰”直升机驾驶舱都有安全操控员。这次试验是一次真正的无人飞行，“矩阵技术”系统在试验中展示了与众不同的灵活性和自主处理突发事件的能力。

参与试验的S-70A可选驾驶模式直升机归属于西科斯基公司。但是，美国陆军已完成一架现役UH60M直升机的改装，并给UH60M安装了电传飞控和“矩阵技术”系统，计划2022年4月初开展试飞。两架“黑鹰”可选驾驶模式直升机可能会在下一次“项目融合”试验中展示自主协同飞行能力。

下一步，美国陆军将验证“矩阵技术”系统的其他能力，即在低能见度环境中，如何为机组人员的飞行安全提供支持。

未来发展规划

西科斯基公司积极与美国陆军合作，以交付可选驾驶模式直升机，并计划将“矩阵技术”系统定制为一种套件，供UH-60直升机和F-16战斗机等现役军机使用，还准备将“矩阵技术”系统的技术授权给其他制造商。

西科斯基公司正在与美国联邦航空管理局合作，开展首个民用系统的适航审定，以期执行包括夜间空中灭火和水上搜救在内的高风险民用任务。西科斯基公司没有透露民用系统的具体名称，只透露它是“一架大型货机”。但据航空网站“气流”(Air Current)报道，“矩阵技术”系统控制了一架美国联邦快递公司(FedEx Express)ATR72货机飞行。(李悦霖 编译)■



广告

免像控 高精度无人机测绘方案

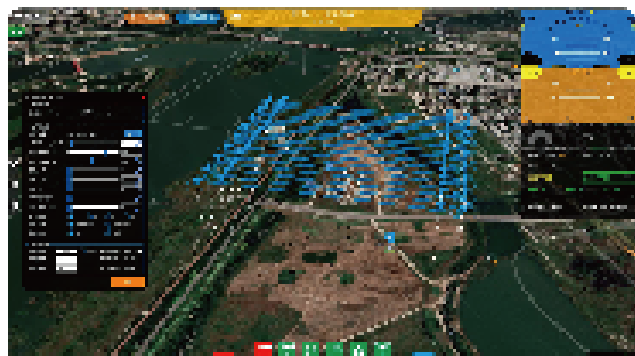
定位、拍摄、传输等各个环节上严格把控，配备高精度差分定位设备，
采用多架无人机同时飞行，通过图像融合算法实现高精度测绘，
不受地形、天气等因素影响，测绘成果清晰可用。



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



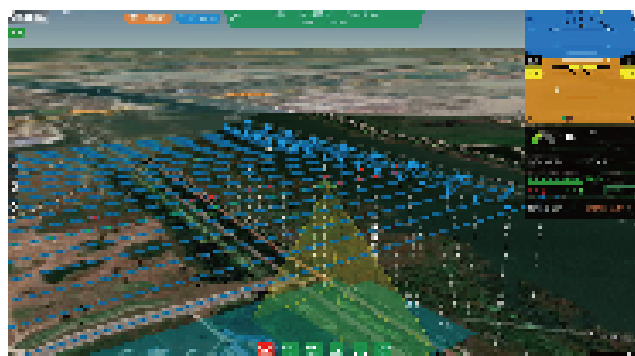
航线任务规划

AxTimeSync时间同步技术

通过狮子座2代导航飞控、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，消除因
于安装引起的测量偏差。



测绘任务执行



作业成果

www.AheadX.com



全国统一服务热线：400-827-5966
领导科技(北京)有限公司
设计制造(天津)科技有限公司

地址：北京市海淀区知春路1号学发国际大厦804室
地址：天津市滨海新区滨海中关村科技园大港产业园8号路8号



官方微信

热点关注 / Focus

空客公司签订71亿欧元“欧洲无人机”项目合同

Eurodrone Contract Signed With Airbus In Germany

随着空客德国分公司与欧洲联合军备合作组织成功签订“欧洲无人机”项目合同，欧洲工业界期盼已久的中空长航时无人机项目终于尘埃落定。据悉，项目合作国家将购买20套“欧洲无人机”系统，首批无人机预计2030年之前交付。

托尼·奥斯本(伦敦)

欧洲近年来多次尝试开发中空长航时(MALE)无人机系统，但均以失败而告终。EADS公司(现归属空客公司)“塔拉里昂”(Talarion)无人机、BAE系统公司和达索航空(Dassault Aviation)公司联合设计的“特勒莫斯”(Telemos)无人机都只是模型而已。BAE系统公司和比亚乔航空(Piaggio Aerospace)公司曾分别推出“螳螂”(Mantis)和“锤头”(HammerHead)中空长航时无人机原型机，但这些项目从未获得真正的关注。为满足中空长航时无人机需求，欧洲主要从以色列和美国引进无人机。

随着欧洲工业界启动“欧洲无人机”(Eurodrone)研制，欧洲已进军中空长航时无人机市场，这是欧洲工业界十年来呼吁的结果。

合同签订成功

为开发中空长航时无人机技术，欧洲工业界一直在积极争取数十亿欧元的经费。欧盟委员会已为“欧洲无人机”项目的早期开发提供1亿英镑资助，该资金来自欧洲国防工业发展计划拨款。

欧洲工业界原希望在2020年签订合同，但由于预算一直未获批，合同签订被推迟。西班牙是最后签订合同的国



图1 按照项目时间表，首批“欧洲无人机”预计2030年之前交付客户。

家，因为该国政府在2022年1月底才批准“欧洲无人机”计划。

2022年2月24日，空客德国分公司与欧洲联合军备合作组织(OCCAR)成功签订71亿欧元(约77亿美元)全球性合同，内容涉及“欧洲无人机”开发、生产和初始服役支持等条款。法国达索航空公司、意大利莱昂纳多航空(Leonardo Aviation)公司和空客西班牙分公司为分承包商。法国、德国、意大利和西班牙四个项目合作国家共订购20套“欧洲无人机”系统，每套系统包括三架双发无人机。

任务分工

在合同生效的第一个工作日(2022年3月1日)，空客公司“欧洲无人机”项目开发部部长迪埃·普兰特科斯特(Didier Plantecoste)表示，“欧洲无人机”项目在2018年已通过系统需求审查和系统初步设计审查(SPDR)，完成了大量准备工作，具备项目启动的必要条件。随着合同签订完毕，空客公司将进入生产准备阶段和产业化发展初期。

然而，项目须要等待批复，项目进程因此发生了变化。原型机开发将推迟到2024年，产品交付时间将延迟到本

世纪20年代末。不过，普兰特科斯特部长称，这些变化不会对“项目时间框架”造成影响。

从技术和科技角度看，空客公司已经掌握所有项目要素，对“欧洲无人机”的成功研制充满信心。“欧洲无人机”多项技术的成熟度研究已完成，降低了项目风险，各合作方均拥有丰富经验，空客公司在飞机制造领域拥有强大的技术实力。

空客德国分公司负责飞行管理、空域集成、起落架和地面控制站开发等工作；空客西班牙分公司制造机身和尾翼，开发地面安全控制系统并集成发动机。

达索航空公司承担安全飞行和着陆系统开发、通信系统维修。

莱昂纳多公司制造机翼，并开发电气系统、环控系统、任务系统和武器系统。

发动机供应商已确定

2022年3月25日，空客公司宣布，经过竞标和技术分析，已选定意大利阿维奥（Avio）公司为“欧洲无人机”提供“催化剂”（Catalyst）发动机和螺旋桨。阿维奥公司称，公司已签订一份协议，涉及120台发动机交付、多年服务和维修服务等条款。“催化剂”发动机在欧洲研制，已经完成验证试验，不受美国《国际武器贸易条例（ITAR）》限制，具有较强的国际市场竞争力。

无人机总装厂选址

由于德国是最大客户，将购买7套系统，空客公司已决定在德国巴伐利亚州曼兴市（Manching）进行“欧洲无

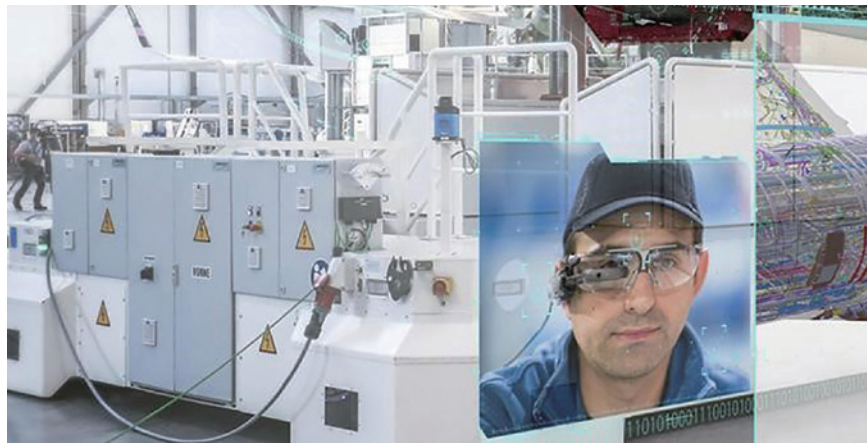


图2 “欧洲无人机”开发将采用更多的数字化技术。

人机”总装。

协同配合能力。

数字化方法运用

无人机开发所采用的数字化设计、制造和服务（DDMS）方法是项目的关键要素之一。空客公司将“欧洲无人机”作为数字化方法的试验对象，并利用DDMS方法完善“欧洲无人机”的设计、制造和运营方案，在“欧洲无人机”研制过程中稳步引入数字化技术。空客公司已创建DDMS方法的基础架构，但“欧洲无人机”项目的任务之一是使用更多的数字化技术。在“欧洲无人机”项目研制中，合作方对DDMS方法进行验证，将为该方法在未来项目中的应用铺平道路，如法国和西班牙联合开发的“未来空中作战系统”（FCAS）项目。同时，数字化方法运用也将考验合作方之间的

挑战与未来发展

“欧洲无人机”项目面临的技术挑战是无人机的外形尺寸，型号适航审定也是挑战之一。合作方希望“欧洲无人机”在非隔离空域运行，从第一天运营起就融入其他空中交通系统。

空客公司防务和航天部首席执行官迈克尔·肖尔霍恩（Michael Schoellhorn）表示，“欧洲无人机”项目将加强行业合作，增强欧洲国防能力。

“欧洲无人机”项目被视为“战略赋能器”，未来产品有望出口。肖尔霍恩表示，用户已开始规划装备力量建设，空客公司已整合先进技术，以提高“欧洲无人机”的性能。（李悦霖编译）■

国外无人直升机发展动向

Development Of Foreign Unmanned Helicopters

随着无人直升机技术日益成熟，无人直升机的应用越来越广泛。本文介绍美国MQ-8“火力侦察兵”系列无人直升机、法国VSR700无人直升机、瑞典“斯科达”V-200无人直升机以及意大利AW“英雄”无人直升机。

潘涛

中国直升机设计研究所

近十年来，无人直升机的应用越来越广泛，可执行侦察、监视、对地攻击、目标指示与定位、战场毁伤评估、雷场探测、核生化采样、通信中继等任务。

相较有人直升机，无人直升机拥有独特的飞行能力和无法比拟的优越性，例如，机动性高、生存力较强、无人员伤亡、造价低，可承担有人直升机无法完成的许多任务。因此，国外众多国家正在加快无人直升机的发展速度。

本文分别介绍美国诺斯罗普-格鲁门公司MQ-8“火力侦察兵”系列无人直升机、法国空客公司VSR700无人直升机、UMS斯科达公司“斯科达”V-200（SKELDAR V-200）无人直升机以及意大利莱昂纳多公司AW“英雄”（AWHERO）无人直升机。

美国“火力侦察兵”系列无人直升机

“火力侦察兵”系列无人直升机是美国诺斯罗普-格鲁门公司研制的先进无人直升机，共有RQ-8A、MQ-8B、MQ-8C三种型号。其中，RQ-8A、MQ-8B由“施瓦泽”S-330（Schweizer S-330）有人机改装而成，是目前世界上先进无人直升机之一。

研制历程

RQ-8A是“火力侦察兵”无人直升机的基本型。美军在RQ-8A基础上，开发了功能更为强大的RQ-8B无



图1 MQ-8A无人直升机。



图2 MQ-8B无人直升机。



图3 MQ-8C无人直升机。

人直升机。由于RQ-8B具备攻击能力，2005年中期前后，美军又将“火力侦察兵”的编号RQ-8B调整为MQ-8B，以表示该机具有多种用途。美国海军装备的增强型MQ-8B“火力侦察兵”装配有光电/红外传感器，X波段多模态雷达等任务载荷，可承担海上巡逻、反潜、反舰和反水雷等任务，是美国海军舰载武器中的利器。

然而，美国海军在实战中发现，MQ-8B的航程和任务载荷重量仍然不能满足新的近岸作战和紧急特种作战任务对中程舰载无人直升机的需求。2011年，美军非洲司令部和特种作战司令部提交紧急需求文件，指出MQ-8B尺寸较小，部队须要能携带更多任务载荷且执行更广泛任务的无人直升机。于是，2010年诺格公司决定对无人直升机进行投资，与贝尔公司合作研制“火力”-X验证机，该机军方编号MQ-8C。

MQ-8C无人直升机由贝尔公司407型七座有人直升机改装而成。诺斯罗普-格鲁门公司拆除了407型的座椅和其他航空电子设备，为MQ-8C加装了远程控制器和副油箱。除携带450kg内部任务载荷外，MQ-8C的外挂点还能挂装1180kg的外部任务载荷。该机可部署于两栖攻击舰、驱逐舰等大型舰船。

首先，近海战斗舰缺乏远程传感器，无法实现“分布式杀伤”作战概念。美国海军期望近海战斗舰在太平洋地区担负复杂远程作战任务，而不是在第五舰队承担反舰任务

其次，MQ-8C无人直升机的舰上测试表明，MQ-8B无人直升机可配备精确打击武器系统，但是机载武器数量有限，难以满足作战需求，而尺寸更大的MQ-8C可搭载更多武器，完成更多的任务。

因此，2018年美国海军改变了MQ-8C的作战任务，将MQ-8C为近海战斗舰免遭突袭提供保障，转变为给近海战斗舰发射的导弹提供目标引导，满足超视距特种作战需求。基于这种调整，预计近海战斗舰将安装更多型号的雷达和传感器系统，以及攻击型武器。

2019年7月9日，美国海军宣布，MQ-8C“火力侦察兵”无人直升机形成初始作战能力，可部署在近海战斗舰上执行超视距侦察任务，提升近海战斗舰态势感知和打击能力。按计划，MQ-8C无人机于2021年部署到美国海军近海战斗舰，以执行情报、监视、侦察以及精确定位等任务。

法国VSR700无人直升机

空客公司研制的VSR700无人直升机于2018年12月完成首飞。2019年11月，空客公司在法国南部测试了

VSR700无人直升机的完整飞行包线，计划在2020年交付法国海军，并部署于海军护卫舰，开展作战试飞。VSR700无人直升机挂装了光电/红外传感器、雷达等任务载荷，能在舰船甲板的狭小空间起降，可执行情报、监视、侦察、反潜作战、反水面作战、搜救等任务。

VSR700无人直升机由“迅羊”G2（Cabri G2）轻型有人直升机改装而成，采用一台功率为132kW的活塞式重油发动机提供动力，配备了全权限数字式高冗余度飞控系统，可实现自主起飞、悬停、稳定飞行，具有较高的机动性。VSR700的尺寸和重量与美国海军MQ-8B“火力侦察兵”相似。

瑞典“斯科达”V-200无人直升机

UMS斯科达公司是瑞典萨伯（Saab）公司与UMS航空集团公司

表2 VSR700无人直升机技术参数。

指标名称	参数
机长	6.2m
机高	2.28m
主旋翼直径	7.2m
最大起飞重量	700kg
任务载荷重量	250kg
最大飞行速度	185km/h
续航时间	8h
实用升限	6000m



图4 空客公司VSR700无人直升机。



图5 “斯科达”V-200无人直升机。

（UMS Aero）组建的合资公司，负责销售“斯科达”V-200无人直升机。该公司总部位于瑞士巴塞尔市，在瑞士和瑞典分别设有一个制造工厂，加强了萨伯公司在战术无人机市场上的产品供应。萨伯公司持有UMS斯科达公司47%的股份，同时销售UMS公司的F-330、F-720两型固定翼飞机和R-350旋翼机。

研制历程

“斯科达”V-200无人直升机的研发工作于2004年启动，“斯科达”5 POC原型机于2006年5月完成首次飞行，2008年该型无人直升机被命名为“斯科达”V-200。“斯科达”V-200舰载无人直升机由2~4人操控，采用德国赫兹（Hirth）发动机公司制造的先进发动机，利用L、C或S波段数据链路

传输数据信息。“斯科达”V-200可执行海上侦察、目标指示、通信中继、战场毁伤评估等任务，在恶劣天气条件下，可承担后勤物质补给、船到船或船到岸的货物运输任务。

主要用户

2016年4月，UMS斯科达公司开始为印度尼西亚陆军提供飞行服务。印尼国防部在2016年第四季度完成了“斯科达”V-200无人直升机的性能和验收测试，为该国采购“斯科达”V-200和开展飞行员培训铺平了道路。

2018年8月，UMS斯科达公司与德国海军签订采购合同。德国海军采购“斯科达”V-200无人直升机后，将其部署到K130护卫舰上。

2018年11月，无人机制造商UMS

表3 “斯科达”V-200无人直升机技术参数。

指标名称	参数
机长	4m
机宽	1.2m
机高	1.3m
主旋翼直径	4.7m
最大起飞重量	235kg
任务载荷重量	40kg
最大飞行速度	140km/h
作战半径	100km
续航时间	6h
实用升限	4500m
起飞准备时间	<15min

2020年8月，比利时和荷兰皇家海军在海军机器人防雷系统中使用了“斯科达”V-200无人直升机。

意大利AW“英雄”无人直升机

意大利莱昂纳多公司研制的AW“英雄”无人直升机是一种两用平台，AW“英雄”可在舰船上起降，能够在陆地和海洋上空执行民用和军事任务。

技术特点

AW“英雄”无人直升机采用了与直升机相同的安全设计理念（如系统冗

余), 具有高可靠性, 其优异功能可降低运营成本。该机由地面控制站(GCS)控制, 符合北约无人机系统互操作性标准(NATO STANAG-4586), 在整个飞行阶段可管理多种任务。地面控制站支持任务规划、任务管理和控制。AW“英雄”可将数据、图像和视频实时传输到地面控制站和用户终端, 以提供决策支持。

雷达、光电/红外吊舱、激光测距仪以及先进通信中继系统安装在两个模块化任务载荷舱内。任务载荷可以安装在机头、机腹或机身。机头任务载荷舱可装载光电/红外吊舱或雷达，而机腹和机身可安装重量更大的任务载荷。

AW“英雄”采用模块化架构，能与现有最终用户网络互联互通，提供实时视频、雷达影像，自动识别系统(AIS)信息、船舶跟踪信息。

应用场景

在军用领域，AW“英雄”可执行多种作战任务和海上任务，例如情报、监视、目标获取和侦察(ISTAR)、部队保护、作战支持、航道监视、物质补给、反海盗以及为其他无人系统提供超视距(BLOS)通信中继。

AW“英雄”无人直升机可在岸基或前沿作战基地配合有人机作战。例如，

表4 AW“英雄”无人直升机技术参数。

指标名称	参数
最大起飞重量	200kg
空机重量	120kg
最大任务载荷重量	85kg
机长	3.7m
机高	1.2m
机宽	1.2m
主旋翼直径	4m
动力能源	JP-5、JP-8、Jet A-1 重油
续航时间	6h(搭载35kg任务载荷)
实用升限	4200m
最大巡航速度	160km/h

与AW159或AW101直升机配合使用，在沿海和远海作战时，可显著增强海上作战效能并扩大战术范围。

在民用领域，该型无人直升机可为安防和公共事业应用提供一种低成本解决方案，在应急救援、环境监测、消防、管道巡检、电力线路巡检、交通执法、巡逻和敏感目标监视等领域拥有广阔市场前景。

航空工业发展正面临一个全新的转型期。未来，无人化、智能化装备将在各个领域广泛应用，挂装高精度侦察设备和精确打击武器的无人机系统正在改变现代战争的作战模式。



图6 AW“英雄”无人直升机。

广告

Weiking 伟康
ISO9001 认证 EM/A39100 认证

提供高可靠直流供电解决方案

应用领域

地面武器装备、雷达系统航空电子、
船舶电子、消费电子设备、通信设备等

气密型/灌封型高可靠DC-DC电源模块

输入电压：9~40V, 16~40V, 4~6V, 160~400V等
输出电压：3.3V, 5V, 12V, 15V, 28V, $\pm 5V$, $\pm 12V$, $\pm 15V$,
5V8 $\pm 12V$, 5V8 $\pm 15V$ 等
输出功率：1~300W, 浪涌电压：50V/50ms
禁止功能：短路保护, 软启动功能, 输入输出光电隔离/磁隔离
工作温度(范围)：-55~105℃或-55~125℃

DC-DC 配套产品

滤波器：输入电压 0~75V, 额定电压28V, 最大电流20A
预稳压模块：瞬态抑制80V/50ms, 跌落8V/50ms,
尖峰抑制 $\pm 600V/10\mu s$, 最大输出功率100W
保持模块：最高输入电压50V/50ms, 最大输出功率120W, 效率97%
滤波和抑制：输出功率最高可达400W, 瞬态抑制80V/50ms,
尖峰抑制 $\pm 600V/10\mu s$
电磁兼容符合GB151之CE102要求, 产品满足GB181-86相关要求

查询请来信 sales@weiking.com

产品信息请访问 www.weiking.com

Weiking CIS TOSHIBA MITSUBISHI ETHER ASK

伟康电子西安 伟康电子北京 伟康电子上海 伟康电子成都 伟康电子武汉 伟康电子南京 伟康电子深圳 伟康电子天津 伟康电子烟台 伟康电子杭州 伟康电子广州 伟康电子东莞 伟康电子佛山 伟康电子珠海 伟康电子厦门 伟康电子青岛 伟康电子济南 伟康电子烟台 伟康电子威海 伟康电子日照 伟康电子潍坊 伟康电子烟台 伟康电子威海 伟康电子日照 伟康电子潍坊

WELLKING ELECTRONICS 伟康电子

无人机自动机场发展现状与关键技术

Development And Key Technology Of Deploy Drones

本文介绍无人机自动机场的优势、典型应用场景及组成，总结无人机自动机场关键技术，分析无人机自动机场在应用中存在的问题，并对其未来发展进行展望。

管宇锋¹，李煦凯²，陈培全¹
1.中国电子科技集团公司第二十七研究所
2.河南师范大学

随着无人机技术的快速发展，小型无人机系统在侦察、监视、打击、边境巡逻、电力线路巡检、农业植保，城市安防等军事与民用领域得到广泛应用。但是，小型无人机系统也存在一些问题。

首先，小型无人机特别是电动多旋翼无人机，其续航时间短，须频繁更换电池。

第二，小型无人机须要专业无人机操控员操控和维护，长时间、高频次的作业所须人力成本居高不下。

无人机自动机场的优势

为解决上述问题，针对特定使用场景且可自动充电、换电的无人机自动机场应运而生，并拥有诸多优点。

一是为小型无人机提供自动充当换电方案，使无人机能迅速升空并执行任务，极大提高了作业效率。

二是提供一种全自主作业方式。自动机场中的无人机不再须要专业操控员控制和维护，其作业时间不受人员生理极限等因素的限制，可以开展全天时飞行作业，极大降低了无人机运营成本的人力成本。

三是在任务现场部署无人机自动机场，小型无人机能快速应对突发事件，极大提升了无人机的快速响应能力。



图1 “无人机亭” 无人机自动机场。

典型应用场景

第一，无人机自动机场可部署在偏远、不适合人类长期生活的地区，为无人机执行石油管道巡检、电力线路巡检、光伏电站巡检等任务创造条件。

第二，在无人机自动机场支持下，无人机能对城市交通巡逻等任务做出快速响应。

第三，无人机自动机场可提供7×24h作业服务，无人机进而能承担边境巡逻、海上巡逻、缉私巡逻等任务。

国外无人机自动机场产品

新加坡H³动力公司“无人机亭”自动机场

新加坡H³动力公司（H³Dynamics）公司“无人机亭”（Dronebox）无人机自动机场采用无线充电方式对无人机进行充电。整个系统使用内置储能电池，利用太阳能电池阵列收集能源，并将太阳能转化为电能，给无人机供电，并配置了备用氢燃料电池，当遇到阴雨天，太阳能电池无法提供电能时，无人机自动机场也能正常工作。

以色列空中机器人公司无人机自动机场

以色列空中机器人（Airobotics）公司开发的无人机自动机场具有自动更换电池、自动更换任务载荷的功能。其中，无人机平台的降落定位精度可达

5cm，搭载1kg任务载荷能飞行30min，并配备有应急降落伞，在紧急情况下，伞降机构被触动后可确保无人机安全降落。

无人机自动机场的组成

无人机自动机场主要由无人机系统、起降系统以及后台综合管理系统三部分组成，其具体组成详见图3。

无人机系统

无人机系统由无人机平台、任务载荷、机载通信系统、机载充电与换电装置组成。其中，机载充电装置用于充电型无人机，由起落架上安装的接触装置或者无线充电接收装置组成。换电装置用于换电型无人机，它位于机身内部，用来固定电池，换电装置既要保证无人机飞行过程中电池安装牢固，又要保证换电操作时机械臂可以顺利将电池取出。

起降系统

在非任务期间，起降系统为备用电池充电，并使系统内部保持恒定的温度和湿度；在任务期间，起降系统监控无人机起降与作业，并完成无人机充电或换电操作。综合管理控制系统实时对整个系统状态进行检测与管理，并接受后台综合管理系统的监管与调度。图4是几种典型起降系统。

下面介绍起降系统的组成及功能。

（1）舱门开关装置

舱门开关装置对起降系统进行密封保护，其常用开关方式有上部开放式、侧面开放式、三面开放式。

（2）无人机停机坪

停机坪一般设有引导标识，无人机采用视觉导航技术进行精准降落。

（3）停机坪升降装置

该装置对停机坪的升起以及收回进行控制。

（4）无人机归位装置

无人机降落在停机坪的位置会存在误差，而无人机充电和换电操作须要精确的相对位置。归位装置能将无人机移动到准确的位置，使无人机完成充电和换电操作。

（5）充电与换电装置

换电式自动机场一般采用高精度机械臂进行换电操作，充电式自动机场由接触式探针或者无线充电装置组成。

（6）温湿度控制系统

温湿度控制系统使起降系统内部环境保持恒定的温度和湿度，确保无人机以及电池等设备正常工作。

（7）内部视频监视系统

该系统可监视起降系统内部设备的运行状况，为操作人员进行远程故障诊断提供支持。

（8）平台供电系统

平台供电系统为整个无人机自动机场提供电力，一般采用市电接入方式供电。对于无市电接入的部署位置，使用



图2 空中机器人公司开发的无人机自动机场。

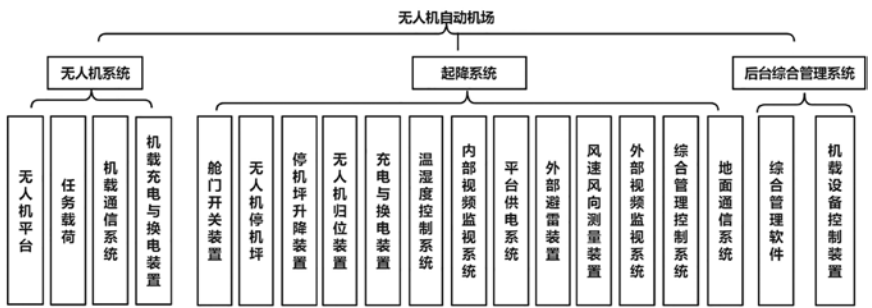


图3 无人机自动机场组成框架图。



图4 几种典型起降系统。

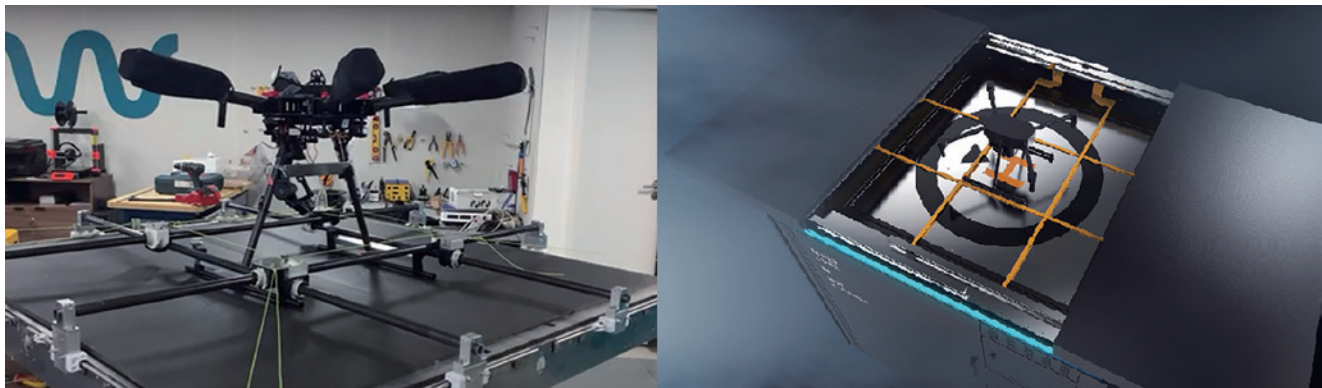


图5 无人机归位装置。

太阳能、风能提供电力能源。

(9) 外部避雷装置

该装置用于雷雨天气避雷，保障无人机自动机场安全运行。

(10) 风速风向测量装置

该装置用于风速、风向等气象信息测量，保证无人机安全起降与作业。

(11) 外部视频监视系统

外部视频监视系统对起降系统及其周围环境进行远程监视，起安全保护作用。

(12) 综合管理控制系统

该系统对整个自动机场进行管理，涉及无人机起降、充电、通信、任务规划等方面的管理。

(13) 地面通信系统

地面通信系统为起降系统、无人机与后台管理系统提供信息通信支持。

后台综合管理系统

后台综合管理系统对部署在远端的无人机自动机场进行飞行管理、任务调度、运行状态检测、远程故障诊断等一系列操作。

无人机自动机场的关键技术
精准定位技术

由于无人机降落位置受起降系统尺寸的限制，无人机降落定位精度须控制在30cm以内。小型无人机定位一般依赖于GPS，普通单点GPS水平定位圆概率误差(CEP)为1.5m。这种精度显然无法满足无人机在自动机场降落的定位要求，无人机须借助其他技术提高降落定位精度。目前，应用较多的无人

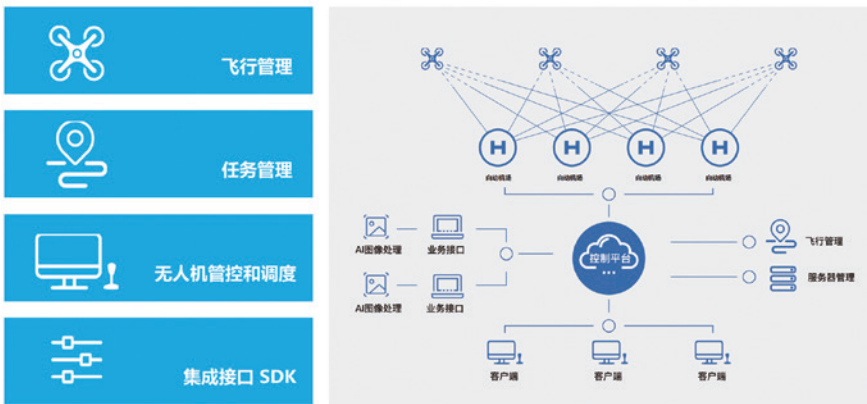


图6 无人机自动机场后台云监管系统。



图7 无人机机载无线充电装置。

机精准降落定位技术主要有实时差分定位技术和视觉导航技术。

基于RTK (Real Time Kinematic) 的实时动态测量技术引导无人机精准降落，无人机的相对定位精度可达厘米级。当无人机采用视觉导航技术进行降落时，无人机机载图像识别设备可识别和检测起降系统的特定标志物，并计算无人机的相对位姿，飞控计算机根据相对位姿信息控制无人机精准降落。

自动充电与换电技术

目前，无人机自动机场采用自动充电与换电技术方案。

(1) 充电式自动机场

充电式自动机场无须更换无人机的电池。在起降系统内部降落并被准确定位后，无人机利用机载接触装置给电池充电。另外，无人机机载无线充电接收装置也可给电池充电。

由于电池充电受快充技术、电池散

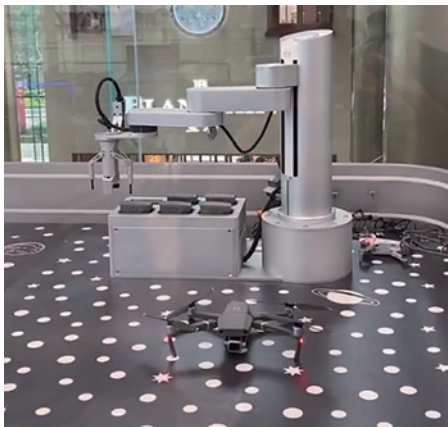


图8 一种换电装置的机械臂。

热等因素的制约，电池充电时间一般较长，而采用无线充电技术的电池，其充电时间更长。因此，充电式自动机场亟须解决电池充电时间长的问题。

(2) 换电式自动机场

无人机在换电式自动机场降落后，起降系统内部的高精度机械臂从无人机上取下电池，并置入电池存储舱中，然后从电池存储舱中取出满电的电池，安装在无人机上，换电时间较短，整个换电过程仅3min左右。无人机完成换电操作后可快速起飞执行任务。

换电方式对机械臂运动路径、重复运动精度有较高要求。无人机电池存储舱结构应采用合理的设计，机械臂应具有精准运动轨迹，这样才能保证机械臂以最轻量化方案和最佳运动路径、最短运行时间更换电池。如果机械臂重复运动的精度达不到要求，机械抓手则可能对无人机造成破坏。

桨叶停转位置锁定技术

电动多旋翼无人机一般采用无刷电机提供动力。无人机每次停机后，其桨叶的位置具有随机性。而起降系统的最小尺寸应满足无人机外包络尺寸的要求。多旋翼无人机降落后，使用螺旋桨定向装置可以精确控制桨叶停止旋转的位置，进而减小外包络尺寸。图9为某型无人机采用定向包络手段后，其外包络尺寸比正常外包络尺寸减小38.7%。外包络尺寸减小，可以减小起降系统的尺寸和重量，降低安装场地的条件限制，

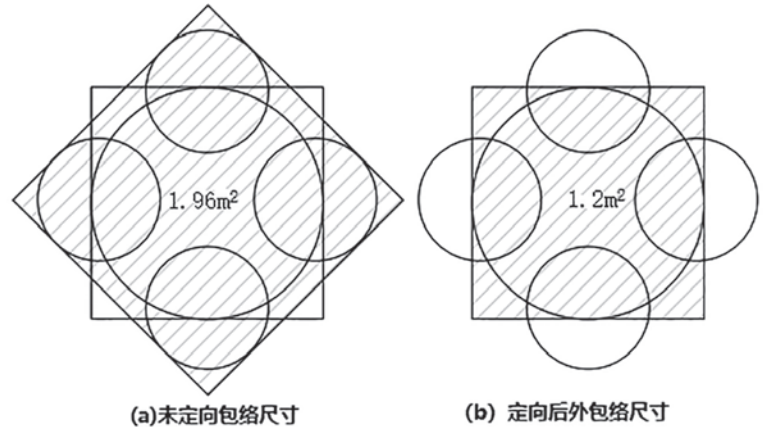


图9 某无人机桨叶未定向外包络尺寸与桨叶被定向后的外包络尺寸对比图。

降低自动机场的使用与维护成本。

通信技术

无人机自动机场采用4G、5G移动通信技术对无人机进行远程控制与管理，而现有移动通信网络主要为地面用户提供服务。如果无人机的飞行高度在300m以上，现有移动通信系统无法保证无人机中高空作业的通信需求。因此，宽带移动通信技术可为无人机中高空作业提供通信覆盖。

无人机自动机场存在的问题

无人机自动机场的性能不断提升，应用领域更加广泛。但是，在实际应用中，无人机自动机场仍存在问题。

(1) 无人机平台缺乏专业化设计

现有无人机自动机场中的无人机平台大多由第三方无人机简单改装而成。此类无人机在设计之初并没有考虑自动机场的实际使用需求。为了给无人机自动机场配置专用无人机平台，无人机机体、电池舱、起落架等部件均须要进行优化设计。

(2) 环境适应性较差

无人机自动机场须要长时间在恶劣环境下工作，经受着雨水、风沙、高低温等天气和环境的考验。现有起降系统的结构设计、材料选用存在不足，不能满足各种野外工作环境。

(3) 系统能耗大

无人机自动机场在野外无外部电源供给，仅依靠太阳能、风能等能源发电，无法保证充足的电能，自动机场运转受

到影响。

(4) 设备兼容性低

由于无人机自动机场缺乏统一标准，同一厂家起降系统只能兼容一种无人机机型。不同厂家的起降系统互不兼容，导致设备利用率低、研发成本高、用户使用成本高。

未来发展趋势

存在的问题也为无人机自动机场的未来发展指明了方向。无人机自动机场呈现的发展趋势包括如下几个方面。

(1) 标准化装置开发

起降系统、电池、充电与换电装置等设备开发采用统一标准，既有利于设备维护和维修，又能大幅降低设计和研发成本，加快无人机自动机场产业化和规模化运营步伐。

(2) 起降系统兼容性提升

无人机自动机场采用标准通信协议，只要各起降系统相互兼容，无人机在同一区域作业时，可以任意降落在第三方起降系统进行充电与换电。

(3) 多元化平台拓展

目前，无人机自动机场主要供小型电动多旋翼无人机使用，平台配置较为单一。未来，垂直起降复合式无人机、油动无人机都是自动机场的潜在用户。

(4) 抗干扰通信技术开发

无人机与起降系统之间、起降系统与后台综合管理系统之间须要通信链路，通信系统安全成为一个重要研究课题。■

基于PFT-COI方法的无人侦察机作战效能指标体系构建

Construction Of The Operational Effectiveness Index System Of Unmanned Reconnaissance Aircraft Based On PFT-COI

为解决无人侦察机作战效能评估指标设计中实战指向性不强的问题，本文提出基于PFT-COI方法的作战效能指标体系构建方法，首先介绍PFT方法和COI效能指标分解方法的基本原理，以及两者之间的差异性与关联性；其次基于PFT-COI方法，对无人侦察机作战流程进行分析，明确任务流程中的关键作战问题，解析关键作战问题所须的效能指标；最后构建无人侦察机作战效能指标体系，为相关单位后续开展作战效能评估奠定基础。

许钦羨^{1,2}，廖学军²，初欣阳³

- 1. 航天工程大学
- 2. 特种作战学院
- 3. 32116 部队

目前，研究人员尝试构建具有全过程、多层次、多属性等特征的指标体系，以求更加全面地描述无人侦察机的作战效能。针对不同的装备系统，研究人员须选择相应的分析方法构建作战效能指标体系。一些学者对具有明确任务过程的装备系统进行研究，提出了基于PFT（Process-Focused Thinking）的指标体系构建方法，通过研究和分析装备系统的作战流程剖面，构建作战效能指标体系，但是该方法侧重于任务剖面分析，缺少对效能指标分解的研究；另有学者从装备系统的关键作战问题（Critical Operational Issues, COI）入手，参考美军《指标开发标准实施程序》中的使命分解方法，构建装备系统作战试验指标体系，此方法对效能指标开发过程进行大量分析，对如何从装备系统作战任务得到关键作战问题的分析相对较少。针对上述问题，本文试从PFT方法和COI效能指标分解方法的差异性与关联性着手，将PFT方法和COI效能指标分解方法相结合，以弥补单一方法的不足，并

根据无人侦察机作战任务特点，构建基于PFT-COI方法的无人侦察机作战效能指标体系。

PFT方法的基本原理

PFT方法也称过程中心法，是以过程为中心，建立综合效能评估模型，其中，过程是指系统执行规定任务的完整流程。该方法对装备系统作战流程剖面进行分析，以不同分系统的单项功能在各个任务阶段的有序工作表示复杂任务的执行情况，即PFT方法将装备系统的作战效能评估转化为作战任务完成所须

分系统性能的综合度量。有学者根据装备系统的总体作战任务流程，提出了基于PFT的效能指标分析方法，PFT方法的主体思路包括分解—转换—约束—聚合四个阶段，如图1所示。

COI效能指标分解方法的基本原理

美军《指标开发标准实施程序》提出的COI效能指标分解方法是，在过程分解、相互映射中使用一系列矩阵模型，来实现从使命目标到关键作战问题，再到作战能效指标的分解，以及作战效能

指标体系构建，如图2所示。COI效能指标分解方法以映射矩阵系列模型构建多级映射关系，实现从作战需求到可测性能的层层分解，得到的性能指标可以逐级追溯到效能指标，再到关键作战问题，最后到使命目标。例如，矩阵模型A采用使命目标行和关键作战问题列构建使命目标—关键作战问题映射矩阵模型。如果使命目标行与关键作战问题列相关，在映射矩阵模型A中相对应的交叉格内填加字母C（C代表相关性，Correlation），表示使命目标与关键作战问题相互关联。按照图2中A、B、C映射矩阵模型的顺序，逐级逐项类推分析，形成“使命目标—关键作战问题—效能指标—性能指标”之间的关联过程。

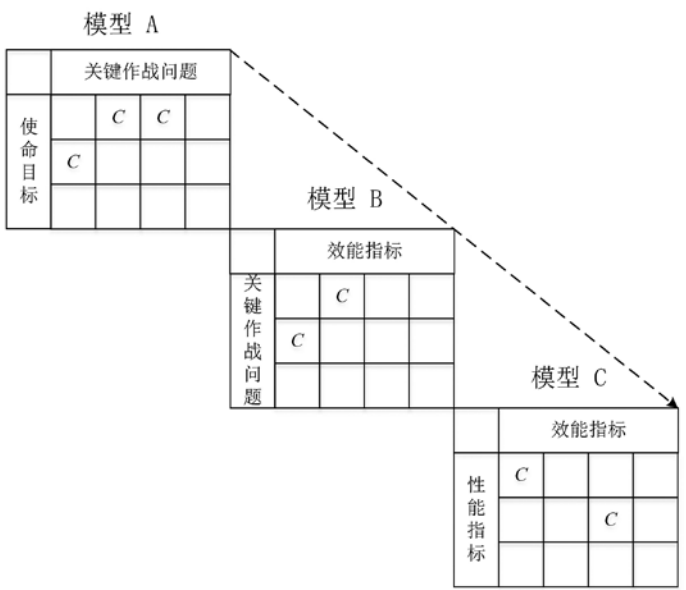


图2 基于COI效能指标分解方法的指标体系构建流程图。

基于PFT-COI方法的作战效能指标设计流程

美军在无人机系统作战试验需求开发中明确了关键作战问题，对无人机系统的作战模式和任务剖面（OMS/MP）进行定义，以确保无人机系统的作战需求和任务描述映射出系统效能指标的完整性、合适性和可测性。同时，PFT方法也是一种将作战任务需求转变为试验内容数据需求的常用方法，通常用于分析、规划关键作战问题。由此可见，PFT方法与COI效能指标分解方法在指标设计过程中有相关性。PFT-COI方法是在PFT方法的分解阶段，引入关键作战问题，在转换—约束过程中运用美军指标开发程序进行指标分析。依据PFT方法的四个阶段内容，将PFT-COI方法重新划分为提炼—转换—分解—聚合四个阶段，如图3。

无人侦察机作战任务剖面分析

基于任务流程剖面的分析，一方面可以明确无人侦察机系统在实战任务行动中所须要的分系统，而分系统在各任务阶段发挥不同的作战能力，反映了不同分系统对作战任务的支持作用，为作战效能指标选取提供客观依据；另一方面，有利于对作战效能的影响因素进行溯源分析，并有助于确定底层指标取值

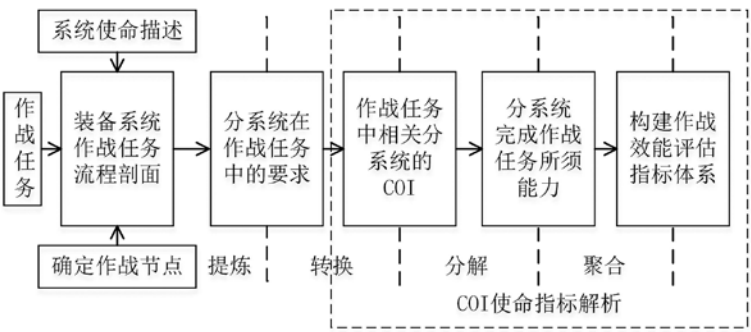


图3 基于PFT-COI方法的效能指标分解过程图。

的量化方式与试验方法。

无人侦察机典型作战任务剖面包括六个层次，如图4所示。

第一，上级作战指挥部门将情报需求转化为作战计划，无人侦察机操控人员将作战计划生成对应的指令，把相关数据参数加载到无人侦察机系统，并对整个系统进行测试。

第二，无人侦察机根据任务指令开始巡航，突破敌方防空预警、电磁干扰、火力打击等威胁，直至飞抵任务区域。

第三，任务载荷分系统开机侦察，对任务区域内的目标进行侦察、监视、定位、信息存储和预处理。

第四，无人侦察机根据所处位置及任务时效要求，将获取的数据信息通过视距通信链路直接传输给地面控制站，

或通过卫星通信链路间接传输给地面控制站。

第五，地面控制站对侦察数据进行处理，并传送给上级情报中心，情报中心再次对数据进行分析 and 整理，形成无人侦察机情报产品，以满足作战情报需求。

第六，无人侦察机根据任务指令继续执行侦察任务或返航。

无人侦察机关键作战问题提出

由无人侦察机典型作战任务剖面得到无人侦察机的六个任务流程，即准备与起飞—巡航—规避威胁—侦察监视—信息传输—返航与回收。针对每个阶段中作战部队最为关注的能力需求，本节提出相应的关键作战问题。

（1）准备与起飞、返航与回收阶段的关键作战问题

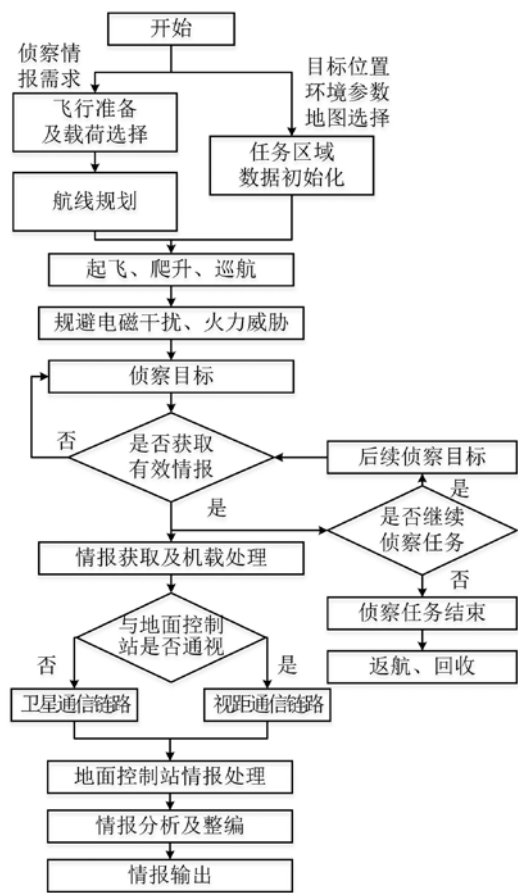


图4 无人侦察机典型作战任务剖面图。

在此阶段，作战部队关注分系统以及无人侦察机系统执行任务前后的可用性、可靠性等问题，并保证无人机顺利起降和回收。本节将这两个阶段的关键作战问题设置为“无人侦察机能否顺利发射与回收”。

（2）巡航阶段的关键作战问题

在巡航阶段，作战人员关注无人机的航程、实用升限、巡航速度、续航时间等指标，这些指标代表了无人侦察机执

行作战任务的基础能力。本节将巡航阶段的关键作战问题设为“无人侦察机有效战位时间是多长”。

（3）规避威胁阶段的关键作战问题

在该阶段，作战人员关注无人侦察机系统和任务载荷分系统。在飞往侦察目标区的过程中，无人侦察机会遇到敌方防空预警、电磁干扰和火力打击等威胁，考验着无人机的战场生存能力。本节提出关键作战问题为“无人侦察机能否适应战场环境”。

（4）侦察监视阶段的关键作战问题

在侦察监视阶段，作战人员关注任务载荷分系统。当无人侦察机到达目标区域时，机载任务载荷开机工作，对区域中的目标进行搜索、识别和定位。当确认目标后，无人侦察机开始执行侦察监视任务。本节提出关键作战问题为“无人侦察机能否顺利对侦察目标进行定位并搜集目标信息吗”。

（5）信息传输阶段的关键作战问题

在信息传输阶段，作战人员关注数据链路分系统。考虑到无人侦察机执行任务时，与地面控制站之间的距离非常远，以及上级作战部门对侦察目标情报的时效性要求，本节提出关键作战问题为“无人侦察机能否实时传回目标信息”。

（6）地面控制站及配套保障设备测试阶段的关键作战问题

除以上任务阶段，作战人员还须测试地面控制站及配套保障设备的相关能力，以及对无人侦察机全系统进行全面检查。为此，本节加入关键作战问题“作战人员有能力操控和保障无人侦察机系统成功完成任务吗”。

无人侦察机关键作战问题解析

（1）矩阵模型A：构建作战使命目标与关键作战问题的映射关系

对于映射矩阵模型A中的无人侦察机系统作战使命目标而言，关键作战问题是解释使命目标的关键信息。

本节根据如下情况分析矩阵模型A的映射过程。如果被解析的关键作战问题为使命目标完成提供了帮助，那么关键作战问题与使命目标具有一致性。若答案肯定，则使命目标与关键作战问题之间确实存在映射关系。

对装备系统的使命目标进行描述与说明是开发矩阵模型A的前提和基础，而开发矩阵模型A的难点是，如何获取正确的使命目标信息，这取决于可用信息的来源和质量。因此，有必要从权威典籍、相关准则等资料中获取被测试系统的使命目标描述信息。本文在相关文献已查到无人侦察机的使命目标描述信息，即无人侦察机主要对静止和移动目标进行全天时侦察和监视，为所属国家和军队提供目标获取、目标引导、毁伤效果评估等信息。

从权威文献资料中查到使命目标信息后，本节利用上节提出的6个关键作战问题，构建映射矩阵模型A。

矩阵模型A的构建准则是，关键作

战问题的数量大于或等于使命目标的数量，即每个使命目标至少被一个关键作战问题映射，每个关键作战问题至少对应一个使命目标。表1为映射矩阵模型A的典型样式，可使用不同的使命目标对映射矩阵模型A进行调整和完善。

（2）矩阵模型B：构建关键作战问题与作战效能指标的映射关系

映射矩阵模型B继续对关键作战问题进行分解，并构建关键作战问题与作战效能指标的映射关系。在上一节矩阵模型A的解析中，关键作战问题已得到明确，因此矩阵模型B的关键作战问题行创建工作已经完成，接下来的工作是对作战效能指标列进行确认。一些文献提出，以机动能力、自卫能力、通信能力等指标表征装备系统的作战效能。本文结合无人侦察机所担负任务的特点，选取最适合帮忙解决关键作战问题的作战效能指标，以在矩阵模型B中构建关键作战问题与作战效能指标的映射关系。例如，COI1为无人侦察机能否顺利发射与回收？在7个无人侦察机系统作战效能指标中，出动能力可以回答COI1，因此在矩阵模型B中COI1与出动能力相互交叉的空格内填写C，表示两者之间的相关性。同理，战场环境下的无人侦察机各项效能指标逐个对其他关键作战问题进行回答，以此构建模型B中COI与作战效能指标的映射关系。

矩阵模型B的构建准则是，作战效能指标的数量一般超过COI数量，每个COI至少拥有一个作战效能指标与之相映射。表2为映射矩阵模型B的典型样式，可使用不同的COI对映射矩阵模型

B进行调整和完善。

（3）矩阵模型C：构建作战效能指标与性能指标的映射关系

本节利用矩阵模型C，完成指标分解过程中的最后一个映射阶段。对矩阵模型B中的作战效能指标进行分析，可以开发一系列性能指标，这些性能指标可以通过矩阵模型A、B、C的映射记录，逆向追溯到关键作战问题，再到使命目标。

在矩阵模型B中，COI解析出的作战效能指标体现了装备系统的特性，因此性能指标构建的过程一般从装备系统特性分析开始。如果性能指标属于物理特性，例如机动性，那么须要对装备

系统的相关物理量（通常为定量指标）如巡航速度进行测试；如果性能指标属于某种行为特性，例如“士气”，那么须要对基于心理状态变化而产生的行为或者某些合成动作等定性指标进行测试，如战斗决心。在后续开展作战效能评估时，定性指标的测试结果不便于进行量化处理，可将其转换成范围或程度进行评估，例如，“操控人员与装备的结合程度是否对作战任务完成产生影响？”，测试结果无论是或者否，在后续作战效能评估中均不便进行量化处理，可将该问题转换成“在某种程度的人装结合下，装备适应战场环境并完成的比例”，那么测试结果便能得到量化处理。

表3 无人侦察机系统映射矩阵模型C。

性能指标	效能指标						
	出动能力	机动能力	自卫能力	侦察能力	通信能力	对抗能力	保障能力
可用度	C						
可靠性	C						
隐身性			C				
易损性			C				
抗干扰性			C				
巡航速度		C					
侦察高度		C					
最大航程		C					
续航时间		C					
目标搜索能力				C			
目标识别能力				C			
目标定位能力				C			
信息传输质量					C		
信息传输速率					C		
人装结合度						C	
编队飞行能力						C	
他装配合能力					C		
设备配套率							C
数量满足度							C

表2 无人侦察机系统映射矩阵模型B。

关键作战问题(COI)	作战效能指标						
	出动能力	机动能力	自卫能力	侦察能力	通信能力	对抗能力	保障能力
COI1无人侦察机能否顺利发射与回收?	C						
COI2无人侦察机有效战位时间是多长?		C					
COI3无人侦察机能否适应战场环境?			C				
COI4无人侦察机能顺利对侦察目标进行定位并搜集目标信息吗?				C			
COI5无人侦察机能否实时传回目标信息?					C		
COI6作战人员有能力操控和保障无人侦察机系统成功完成任务吗?						C	C

因此，在矩阵模型C中对抗能力与人装结合度相交叉的空格内填入C，表示两者之间的相关性，依此构建矩阵模型C中其他作战效能与性能指标的映射关系。

矩阵模型C的构建准则是：每项作战效能至少对应一个明确的性能指标，每个性能指标的内涵特点鲜明，其测试结果能够对装备系统的物理量或行为特性进行评估，但是要避免指标间出现界限模糊不清、冗余重复或交叉包含等问题。表3为映射矩阵模型C的典型样式，可根据不同情况调整和完善映射矩阵模型C。

作战效能指标体系构建

根据无人侦察机系统典型任务剖面，本文提出关键作战问题，通过映射矩阵模型A、B、C对关键作战问题进行分解，得到无人侦察机系统作战效能指标体系，详见表4。本文构建的效能指标体系层次结构划分清晰，得到的各级性能指标与关键作战问题具

表4 无人侦察机系统作战效能指标体系。

关键作战问题(COI)	作战效能	性能指标
COI1无人侦察机能否顺利发射与回收?	出动能力	可用率
		可靠性
COI2无人侦察机有效战位时间是多长?	机动能力	巡航速度
		侦察高度
		最大航程
		续航能力
COI3无人侦察机能否适应战场环境?	自卫能力	隐身性
		易损性
		抗干扰性
COI4无人侦察机能顺利对侦察目标进行定位并搜集目标信息吗?	侦察能力	目标搜索能力
		目标识别能力
		目标定位能力
COI5无人侦察机能否实时传回目标信息?	通信能力	信息传输质量
		信息传输速率
COI6作战人员有能力操控和保障无人侦察机系统成功完成任务吗?	对抗能力	人装结合度
		编队飞行能力
		他装配合能力
	保障能力	设备配套率
		数量满足度

有可追溯性。

总结

本文根据无人侦察机典型作战任务剖面，建立基于PFT-COI方法的作战效能指标体系。该体系包括关键作战问题、作战效能指标、性能指标三个层级，阐明了无人侦察机系统从作战需求到指标分解的全程。本文创建的作战效能指标体系既能追溯无人机的作战使命目标与需求，使作战效能指标更好地聚焦实战运用，又分解出具有独立性与可测性的底层性能指标，为相关研究人员后续开展作战效能评估奠定基础。



WORLD FLIGHT
环球飞行

《环球飞行》杂志

由中国航空工业集团有限公司主管，中航出版传媒有限责任公司主办

是一本国家级综合性商业月刊。

杂志立足中国，面向世界，定位“高端、飞行、商务、文化”，

以弘扬航空文化、推动产业发展为宗旨，

关注权威、专业的航空产业资讯和极具品味的人文生活方式，

致力于打造综合性新媒体平台，提供高端飞行、时尚体验与服务。

亦提供完整的论坛、赛事、会展、培训、创客等服务。

《环球飞行》杂志为16开全彩色月刊，每月25日出版发行，每期售价30元人民币。

国内刊号：CN11-4466/Z 国际刊号：ISSN 1009-4679

电话：86-10-85672671 地址：北京市朝阳区京顺路5号院曙光大厦C座四层

一种基于多传感器信息的无人直升机空地状态判定方法

A Judgment Method For The Air And Ground Condition Of Unmanned Helicopter Based On Multi-sensor Information

针对无人直升机自主起降过程的特点和需求，本文分析传统空地状态判定方法的缺点，结合无人直升机对空地状态准确性要求高的特点，提出一种基于多传感器信息的地空地状态判定方法，适用于各种无人直升机和有人直升机的空地状态判定，提升无人直升机的飞行安全性。

汪真才，严峰，张思
中国直升机设计研究所

随着电传飞控系统的发展及其在无人直升机中的广泛应用，飞行过程对检测系统的性能与可靠性的要求越来越高，而检测系统的性能会直接影响电传飞控系统的功能和性能，从而影响无人直升机的整体性能和飞行安全。

飞行器许多机载系统须采集空地状态信息，以实现对应机载系统的控制。例如，刹车控制系统采集轮载信号来判断空地状态，实现地面刹车控制；近地预警设备利用空地信号触发告警等信息。另外，飞行控制系统的一些重要控制逻辑判断也须要空地状态信息，因此空地状态信息已成为越来越重要的机载公共信息源，空地状态的检测及判定结果将直接关联地面和空中系统的工作状态。

基于单传感器信息的地空地状态判定方法的缺点

目前，无人直升机基本上仅根据轮载信号来判定空地状态，而空地状态判定结果的可靠性将直接影响无人直升机的飞行安全。军民用无人直升机的起落架控制系统可提供关/开形式的轮载信号，用于表征起落架的接地与空中状态。然而，基于轮载信号的空地状态判定结

果的可靠性不高，以及轮载传感器一旦发生故障，无人直升机的空地状态得不到正确的判断。无人直升机具有飞行速度快、机动性高等特点，在进行自主飞行时，尤其是自主起飞与降落过程对空地状态判定结果的准确性与可靠性要求极高。然而，在不同环境下，基于单传感器信息的地空地状态判定方法存在可靠性低的问题，无人直升机将面临一定的飞行安全风险，因此基于单传感器信息的地空地状态判定方法具有一定的改进空间。

飞行器空地状态判定方法有待改进

目前，有关飞行器空地状态检测及判定方法研究的文献较少。大部分飞行器空地状态判定均采用基于轮载信号的方法，目前许多学者及技术人员提出了相关优化方案。

为提升轮载信号故障定位方法的便捷性，有学者提出了一种轮载信号地面检测设备。在飞行器机载设备不替换的情况下，这种地面检测设备可快速定位轮载信号的故障通路。然而，该方案仅提高了轮载信号故障定位的速度，基于单传感器信号的地空地状态判定结果的可靠性并未得到提升。

针对带有起落架缓冲支柱的有人

机，另有学者提出了一种起落架轮载信号检测装置，该装置适用于安装有伸缩式缓冲支柱的飞行器。根据缓冲支柱行程伸缩的变化，飞行器起落架缓冲支柱处安装的轮载传感装置可实现空地状态检测及判断，并输出对应的状态信号，飞行控制系统收到状态信号后，实现与空地状态相对应的控制逻辑。在飞行器起降过程中，缓冲支柱伸缩具有变化的特征。设计人员将接近传感器和靶标设计在适当的安装位置，使接近传感器和靶标的感应距离能灵敏地随缓冲支柱的伸缩而变化，再判断两者感应距离是否在预设距离内，来实现空地状态判断。为了减少误判，缓冲支柱的伸缩须要一个合理的运动间距，而不同飞行器不一定都安装缓冲支柱，特别是无人机，其起落架的大小、功能、安装设计等都不相同。因此，这种起落架空地状态检测装置的通用性有待优化。

为改善起落架轮载信号检测装置的通用性，其他学者提出了一种起落架轮载信号装置和判定方法。该装置利用霍尔元件组获得信号盘的状态，并通过信号盘的展开状态及转速来判断飞行器的空地状态，具有较高灵敏度。由于该装置安装在现有飞行器的机轮上，而机轮

轮径种类比起落架种类更少，所以通用性有待改善。另外，在判定空地状态时，该装置要求机轮着地和离地时产生转动，才能保证信号的准确性。因此，对具有垂直起降功能的直升机而言，该起落架轮载信号检测装置及判断方法的可靠性不高。

上述基于起落架轮载信号的地空地状态判定装置及方法拥有一个共同特点，即空地状态判定基于单传感器信息，用于复杂环境下起降的有人直升机尤其是无人直升机的空地状态判定，存在较高风险。

为完善基于单传感器信息的地空地状态判定方法，一些学者提出了一种基于速度保护的轮载信号使用方法，基于飞行器离地速度和预定值的滞环环节构成了轮载信号的速度保护范围。该方法将速度保护范围转换成标准动压范围，将标准动压范围与轮载信号相结合，对飞行器空地状态进行判定。相比基于单一轮载信号的方法，基于速度保护的轮载信号使用方法增加了一种传感器信息，状态判定结果的可靠性有所提升。但是，该方法须要根据飞行器的不同起飞重量，计算不同外挂构型的飞行器离地速度，将校正空速转换成标准动压，以进行空地状态判定，且校正空速转换成标准动压的计算过程会影响判定结果的实时性。因此，对起飞速度不高的飞行器或者直升机来说，该判定方法不适用。

基于多传感器信息的无人直升机空地状态判定方法

为避免单类传感器故障影响无人直升机的飞行安全，本文提出一种基于多传感器信息的无人直升机空地状态判定方法。本文实施例采用的无人直升机空地状态判定方法，融合了无线电高度信号和超声波高度信号，可提供实时、精准、可靠的空地状态标志，适用于各类无人直升机和有人直升机空地状态判定，目前已应用于无人直升机的空地状态判定，提升了空地状态信号的可靠性。基于多传感器信息的无人直升机空地状

态判定方法涉及三个流程。

一是传感器信息类型选取以及各类传感器信息的测量值采集。

二是传感器信息处理。

三是传感器信息融合后空地状态判断。

对有人直升机而言，飞行员判断空地状态的重要依据之一是高度信息。直升机高度值直接反映了直升机的空地状态。因此，本文实施例对无人直升机加入多种高度状态信号，并结合机载轮载信号，来准确判定无人直升机的空地状态。

传感器信息类型选取及测量值采集

高度传感器信息包括对地测量类、空间定位类、气压类。在无人直升机起降时，空间定位类和气压类高度信息的精准性及实时性欠佳，因此本文实施例中的高度传感器信息采用对地测量类信息，即无线电高度信号和超声波高度信号。另外，前轮轮载开关、左右后轮轮载开关传感器分别提供三路轮载信号。

空地状态判定系统由飞行控制与管理计算机、超声波高度表、无线电高度表和轮载开关传感器等机载设备组成，系统模块组成如图1所示。飞行控制与管理计算机作为多传感器信息处理中心，实现空地状态判定逻辑程序运行。其他传感器装置作为信息采集设备，向飞行控制与管理计算机输入无人直升机三路开关量轮载信号、数字量无线电高

度信号以及模拟量超声波高度信号。

传感器数据信息处理

飞行控制与管理计算机收到数据信息后，结合历史数据，对三种传感器信息进行跳点剔除、均值滤波等数据处理，增加数据稳定性。飞行控制与管理计算机实现传感器数据信息的有效性判断及预处理。本文实施例采用如下数据处理方法。

(1) 空缺数据处理

设 $y(t)$ 表示实测数据， $\overline{y}(t)$ 表示补充值，则历史数据补充方法为：

$$\overline{y}(t) = [y(t-1) + y(t+1)]/2$$

实测数据补充方法为：

$$\overline{y}(t) = [y(t-n) + y(t-n-1) + \dots + y(t-1)]/2$$

其中 n 为取样点数。

(2) 异点剔除处理

采用移动平均方法进行异常数据处理。设 y_i 表示实测数据值， Y_{t+i} 表示预测值， N 为经过移动平均计算的历史数据数目， $j=1,2,3,\dots,N$ 。预测值表示为

$$Y_{t+1} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_{N-j+1}$$

传感器信息融合后空地状态判断

本实施例在飞行控制与管理计算机进行数据分析、判定算法计算，得出空地状态判定结果。空地状态判定方法工作流程详见图2。

首先，飞行控制与管理计算机对无人直升机三路轮载信号进行判断（三判

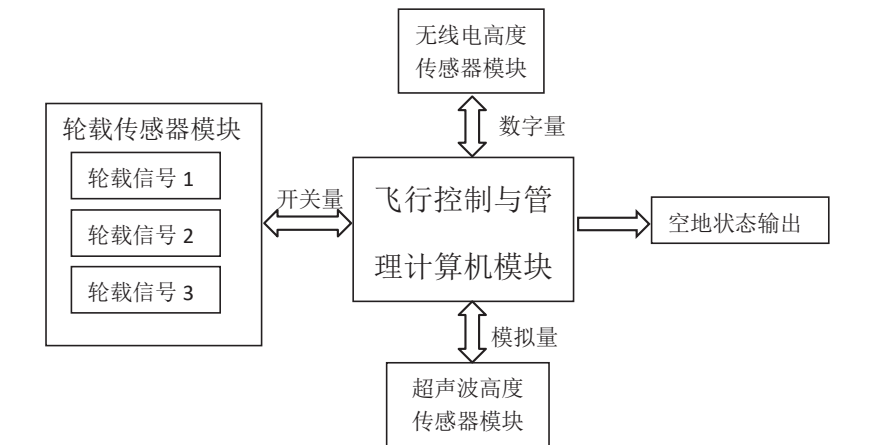


图1 空地状态判定系统模块组成框架图。

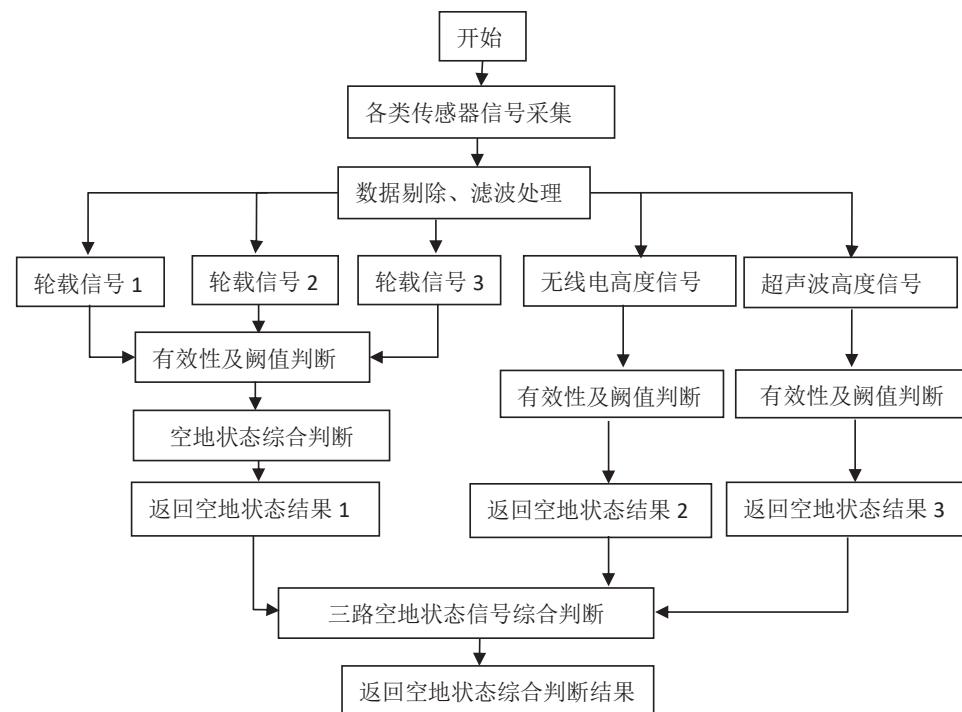


图2 空地状态判定方法工作流程图。

二冗余表决)，得到轮载综合信号，若有两个及以上轮载信号为空中信号，则置轮载综合信号为空中；若其中两个及以上轮载信号为地面信号，则置轮载综合信号为地面。

其次，综合信息判断机构再将无线电高度信号、超声波高度信号进行空地状态阈值条件判断，随后对轮载综合信号进行综合判断，得到最终空地状态标志。

(1) 传感器信息有效性分析及处理流程

在对空地状态进行判断前，飞控计算机先判断各传感器信息数据的有效性，若数据有效则进入空地状态综合判断，若无效则不参与综合判断。信息处理流程如下所述。

①三种传感器信息都有效时，飞控计算机对各传感器空地状态信号进行三判二冗余表决，逻辑图详见图3。

②仅两种传感器信息有效时，飞控计算机对两种传感器空地状态信号进行二判二冗余表决，流程图详见图4。

③仅一种传感器信息有效时，综合

信息判断机构直接输出该传感信号的空地状态。

④三种传感器信息都无效时，综合信息判断机构直接置空地状态为空中，实现安全保护。

另外，当无人直升机飞行高度到达一定高度 H 时，该高度为无人直升机在空中的安全飞行高度，则空地状态信号判定逻辑取消执行，以进一步提升飞行安全性。

(2) 各传感器信号的空地状态判定方法

无线电高度信号与超声波高度信号的空地状态综合判断条件如下所述。

①无线电高度小于 A_1 ，超声波高度小于 A_2 ，轮载信号经三判二后的综合信号为地面作为三个判断条件，若上述两个或三个条件成立，则空地状态

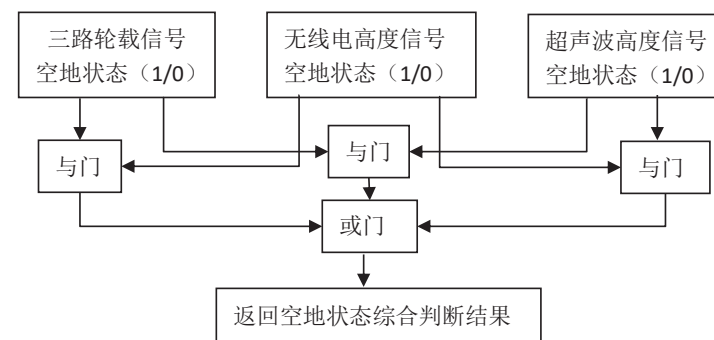


图3 三种传感器空地状态信号综合判断逻辑图。

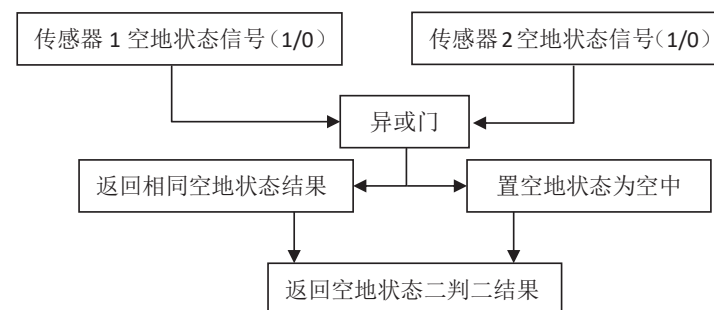


图4 两种传感器空地状态信号判定逻辑图。

置为地面。

②无线电高度大于 B_1 ，超声波高度大于 B_2 ，轮载信号经三判二后的综合信号为空中作为三个判断条件，若上述两个或三个条件成立，则空地状态置为空中。

③无线电高度大于 A_1 且小于 B_1 ，超声波高度大于 A_2 且小于 B_2 时，各传感器信号对应的空地状态保持上拍结果。

其中 $A_1 < B_1$ ， $A_2 < B_2$ ， B_1 、 $B_2 < H$ 且 A 、 B 取值由无人直升机高度传感器的安装位置确定。各传感器信号有效性及阈值判断逻辑详见图5。

结论

本文提出的方法增加了空地状态判定的标志依据，能够结合无人直升机多种状态特征来综合判定空地状态，可有效防止因单一状态信息无效导致的空地状态无法判定或误判，状态检测准确率有所提高，同时提高了飞行控制与管理系统的可靠性与无人直升机的飞行安全性。本文实施例中的高

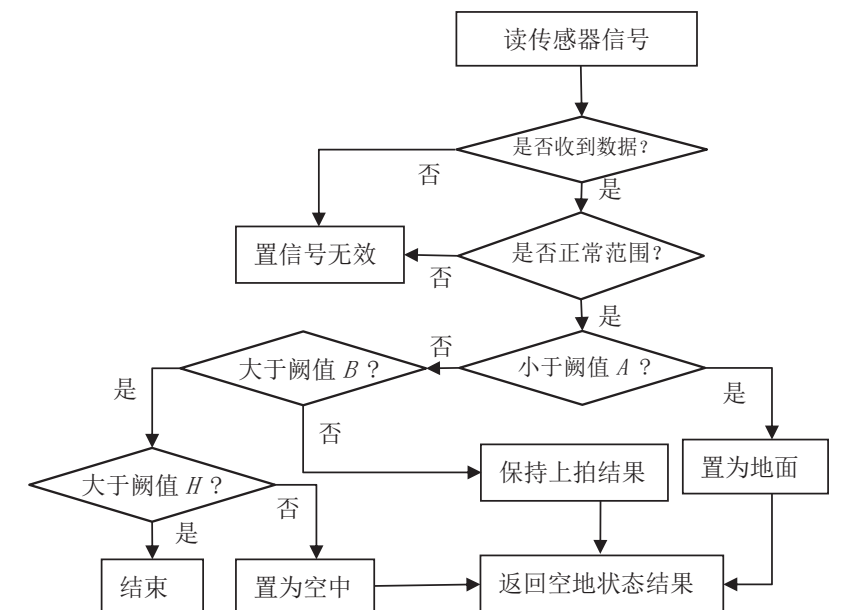


图5 各传感器信号有效性及阈值判断逻辑图。

度传感器信息源选取与数据处理方法空地状态判断，具有一定应用前景。不固定，可根据不同机型的特点灵活调整。该方法已应用于无人直升机的



某型无人机机载数据存储器无法存储侦察影像数据故障分析

Analysis Of The Fault Of A UAS Airborne Data Memorizer Unable To Store Reconnaissance Image

针对某型无人机机载数据存储器无法存储侦察影像数据的情况，本文对故障进行分析和定位，并从设计原理进行剖析，对故障进行复现，最终提出故障解决措施，并对解决措施进行验证。

孙辉^{1,2}，郭忠诚^{1,2}，宁娟^{1,2}，吉彩妮^{1,2}

1. 贵州贵飞飞机设计研究院有限公司

2. 中航贵州飞机有限责任公司

某型无人机机载数据存储器是某型无人侦察机系统配置的数据记录设备，在机载环境下实时记录某型无人侦察机系统在执行任务过程中产生的飞行参数数据、导航数据、光电吊舱侦察影像数据。当无人机完成飞行任务并返回地面后，操作人员使用地面转储设备，将存储器存储的数据信息转存至地面计算机。所存侦察影像数据可用于情报生成、分析、处理，毁伤效果评估和目标识别，对提高无人侦察机整体作战效能，保障侦察情报连续性和准确性具有重要意义。

故障概述

某型无人侦察机机载数据存储器随全机系统联试过程中，在执行侦察影像

数据存储命令时，出现回报记录速率为0Mb/s的现象，其存储任务持续一段时间后，结束存储工作状态。当操作人员将数据存储器的存储体安装到地面转储设备上查看任务目录时，发现存储器没有生成侦察影像数据的对应任务目录，据此判断某型无人机机载数据存储器工作出现异常。

故障分析与定位

光电吊舱与某型无人机机载数据存储器之间存在1个通信接口和1个数据接口（见图1），通信接口采用异步422串口，数据接口采用Camera Link接口。

（1）故障树分析

针对数据存储器无法存储侦察影像数据的异常情况，本文对故障进行分析与

定位，建立故障树（见图2），并制订排查方案。操作人员结合排查方案逐项开展排查试验。数据存储器内部存储模块、主控模块及接口模块出现异常，均会导致数据存储器无法存储侦察影像数据。

（2）故障排查方案

根据故障现象及故障树分析，本文在排查方案中设置4个数据监测节点，并结合设备功能，对不同数据监测节点收到的数据进行比对分析，来确定工作异常的模块。故障排查框图如图3所示。

（3）故障排查过程

①存储模块异常现象排查

若存储模块出现工作异常，记录速率会为0Mb/s。如图3所示，在主控模块的现场可编程逻辑门阵列（FPGA）

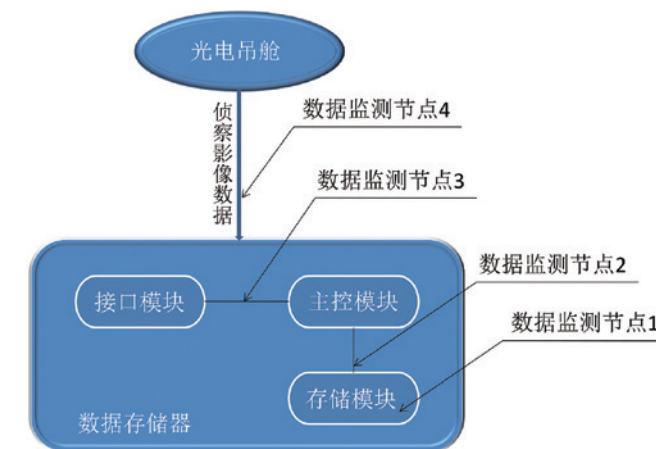


图3 故障排查框图。

上产生内部信号源，并通过总线向存储模块发送随机数据，在数据监测节点2探测该随机数据。排查过程中发现，数据监测节点2可以探测到数据，且将在节点2探测到的数据与数据监测节点1处由主控模块产生的随机数据进行比对后发现，节点2和节点1的数据完全一致，因此可以排除存储模块出现故障的可能性，据此可以判断存储模块功能正常。

②主控模块异常现象排查

若主控模块出现异常，会导致存储器无法记录数据。如图3所示，在接口模块FPGA上产生内部信号源，并通过总线向主控模块发送随机数据，在数据监测节点3、数据监测节点2和数据监测节点1处探测该随机数据。排查过程中发现，在数据监测节点3、数据监测节点2和数据监测节点1处均探测到数据。其中，数据监测节点3与接口模块产生的随机数据完全一致，而数据监测节点2和数据监测节点1的随机数据是经过打包处理后的帧格式数据，与技术方案预期设计的结果完全一致。因此可以排除主控模块出现故障的可能性，据此可以判断主控模块功能正常。

③接口模块异常现象排查

若接口模块出现异常，会导致存储器无法记录数据，记录速率为0Mb/s的现象。如图3所示，光电吊舱的侦察影像输出接口与数据存储器对应的Camera Link输入接口相联结。数据存储器启动

进入存储工作流程，并且用Signal Tap工具在数据监测节点3，数据监测节点4跟踪和探测光电吊舱输给数据存储器的侦察影像数据。排查过程中发现，数据监测节点4有数据，但数据监测节点3无数据，说明侦察影像数据经过接口模块后，数据并没有被成功采集，从而数据存储器回报记录速率为0Mb/s，且无法生成相应的任务目录。因此接口模块可能出现了故障，即接口模块在采集数据时存在异常现象。

④故障定位

以上故障逐步排查试验表明，故障可定位在接口模块工作异常。

故障机理分析

设计原理

光电吊舱输出的两种侦察影像数

据共同占用一个Camera Link输出接口。数据存储器在执行存储命令时，可根据Camera Link输入接口收到的帧数据（由1个帧信号、1个行信号、24bit数据位及1个时钟位构成），完成各类数据采集、打包及存储。数据存储器须根据影像数据的帧、行信号特征，判断出当前输入的影像类型格式后，开始采集打包存储。具体视频数据时序图详见图4。

（1）影像数据格式判别

对于光电吊舱输出的帧数据，当帧有效信号（FVAL）以及行有效信号（LVAL）均为高电平时，数据信号（DATA）是数据存储器所须要的有效视频像素数据。CLK为影像的像素时钟信号，该信号始终有效。

光电吊舱通过Camera Link输出接口传送帧数据，数据存储器接口模块会在帧、行信号有效时，对数据信号的分辨率进行判断。在帧有效信号以及行有效信号均为高电平时，对数据的同步时钟进行计数，以行有效信号的上升沿为起点，下降沿为终点，累计的数据时钟总数即为图像的横向分辨率，以帧有效信号的上升沿为起点，下降沿为终点，累计的行信号总数为图像的纵向分辨率。根据接口控制文件要求，影像数据1的分辨率为 $M \times N$ ，影像数据2的分辨率为 $X \times Y$ 。因此，当FPGA的横向分辨率计数值和纵向分辨率计数值分别为 M ， N 时，则判定当前输入的影像为影像数据1；当FPGA的横向分辨率计数

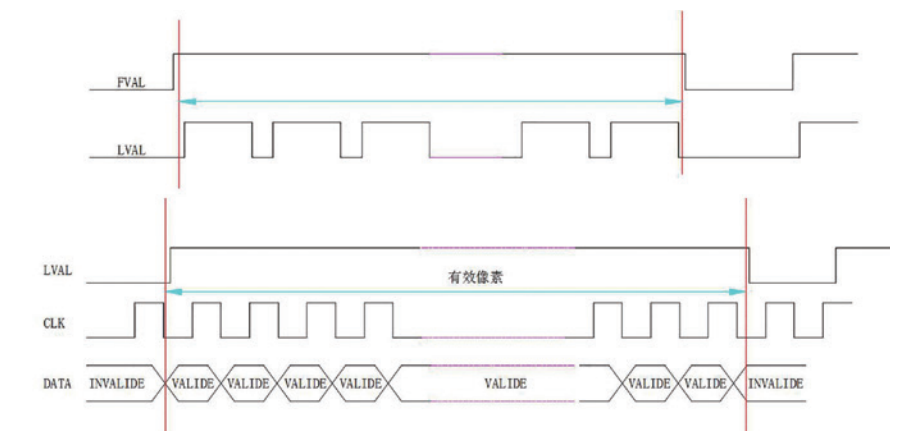


图4 视频数据时序图。

图1 光电吊舱与数据存储器交联关系图。

图2 侦察影像数据存储出现异常的故障树。

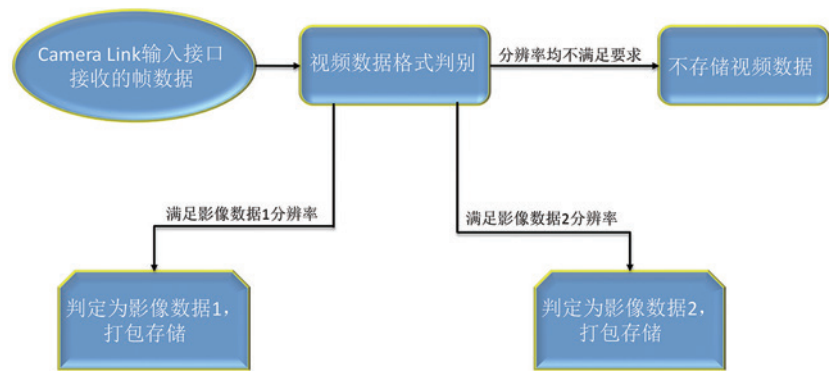


图5 接口数据分辨率判断流程。

值和纵向分辨率计数值分别为 X 、 Y 时，则判定当前输入的影像为影像数据2，其他输入则视为无效影像数据。

（2）数据打包存储

当数据存储器接口模块完成影像数据格式判别后，存储器开始对两种侦察影像数据进行存储。图6以影像数据1为例，对数据打包存储流程进行说明。

当光电吊舱Camera Link输出接口传送的帧数据被判定为影像数据1时，主控模块产生记录使能，对影像数据1进行存储。首先，在这个帧数据前添加特定字节的帧头，用于任务管理；而后在帧有效信号以及行有效信号均为高电平时，存储器存储固定比特数的有效像素数据，同时对数据的同步时钟进行计数，以进行帧格式的控制。计数以帧有效信号为高电平时，行有效信号的上升沿为起点。当计数值达到 M 时，表示这一行结束，将像素计数清零0，行计数加1；当某一行像素计数达到 M 且行计数达 N 时，表示这一帧影像数据已经完成存储，计数结束，开始新一帧的计数和数据存储。

故障原因分析

使用FPGA的Signal Tap工具跟踪、探测光电吊舱传输给数据存储器的侦察影像数据时发现，当光电吊舱

切换到影像数据1输出模式时，数据存储器端采集的横向分辨率数值为 $M+1$ ，纵向分辨为 N ，不符合接口控制文件规定的 $M\times N$ 分辨率的技术要求；当光电吊舱切换到影像数据2输出模式时，数据存储器端采集的横向分辨率数值为 $X-1$ ，纵向分辨为 Y ，不符合接口控制文件规定的 $X\times Y$ 分辨率的要求。由于数据存储器识别不到符合接口控制文件规定的侦察影像数据分辨率，影像采集存储不能正常启动，导致存储模块在执行存储命令时，出现了记录速率为0Mb/s的现象。当存储结束后，操作人员将存储体安装到转存设备上查看任务目录时发现，存储器没有形成相应侦察影像数据的记录任务目录。

根据故障排查结果，并结合机理分析与原因分析，数据存储器无法存储侦察影像数据有两方面原因，一是光电吊

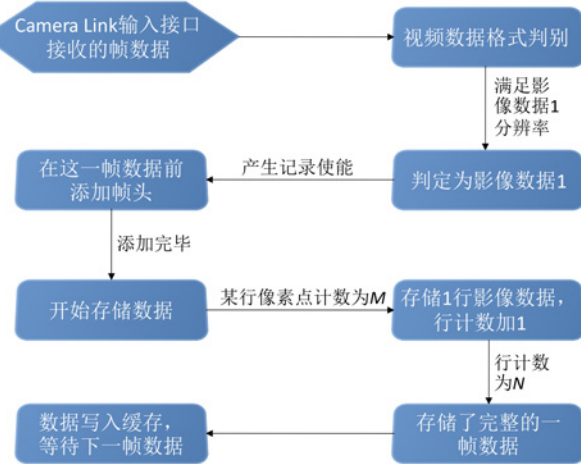


图6 侦察影像数据存储流程图。

舱输出的侦察影像帧数据格式不符合接口控制文件规定的分辨率要求；二是数据存储器接收侦察影像数据的容错能力不足。

解决措施及验证

故障原因被确定后，操作人员调整光电吊舱的输出时序，使用FPGA的Signal Tap工具跟踪、探测光电吊舱传输给数据存储器的侦察影像数据，在影像数据1和2两种输出模式之间切换，使光电吊舱的输出时序满足接口控制文件约定的影像分辨率要求后，数据存储器的故障消失，侦察影像数据可以被正常存储。同时，考虑到机载电磁环境有可能对光电吊舱的时序产生干扰，数据存储器应增加容错功能，当输入的侦察影像数据时序出现微量波动时，不影响存储器对影像类型的识别。在程序设计上，将横向分辨率及纵向分辨率容错指数设定为 ± 2 ，即当数据存储器识别出光电吊舱输入的影像分辨率为 $(M\pm 2)\times(N\pm 2)$ ，则认为当前输入的影像为影像数据1；当数据存储器识别出光电吊舱输入的影像分辨率为 $(X\pm 2)\times(Y\pm 2)$ ，则认为当前输入的影像为影像数据2。程序设计完成后，光电吊舱产生满足分辨率容错指数设定值范围内的数据信号，并传输给数据存储器，数据存储器如果能够完成相应数据存储，证明容错功能有效。

结论

本文提出的解决方法可排除某型无人机机载数据存储器无法存储侦察影像数据的故障，保证某型无人机系统的研制进度，提升数据存储器工作的可靠性。从故障原因分析和采取的技术解决措施看，在无人机研制过程中，特别是面对不确定、复杂的机载电磁环境，技术人员应严格执行系统接口控制文件并为数据存储器新增容错功能，这对后续具有类似功能的机载设备研制具有重要借鉴意义和参考价值。■



军工文化
2007—2022 年

弘扬军工文化
传播先进理念
关注行业发展
彰显企业风采

无人直升机传感器和执行器故障的类型与分析

Analysis And Type Of The Sensor And Actuator Fault Of Unmanned Helicopter

传感器和执行器的健康状况对无人直升机的飞行安全至关重要。本文对无人直升机传感器与执行器的故障进行分类与分析，并介绍执行器故障的定量描述方法。

陈传琪
中国直升机设计研究所

无人直升机具有垂直起降、空中悬停、协调转弯、前飞等多种飞行模式。它能完成多种复杂任务，对起飞场地、使用环境要求较低。无人直升机行业的不断发展以及任务场景的广泛拓展，对无人直升机可靠性提出了更高要求。

作为无人直升机实现基本功能所必备的部件，传感器和执行器拥有良好的健康状况非常重要。传感器和执行器的功能和用途均不相同，二者可能发生的故障有很大差别，相应的故障诊断方法截然不同。

传感器作为不可控部件，其故障行为一般不可复原，须要配备冗余信号源避免信号丧失。执行器作为可控部件，其非破坏性故障可以被认为是执行机构操作效率的损失，适当的重构控制方法可降低故障引起的负面影响。在实际应用中，有必要对执行器的故障进行深入分析，以确定具体的故障信息。故障诊断环节得到的故障信息可以作为容错控制的基本依据。

传感器的分类

传感器作为一种检测装置，能够得到定量的测量信息，并按照一定规律将感知信息转成电信号或者其他形式的信号输出，以满足信息传输、处理、显示、控制等要求。传感器作为无人直升机飞行状况的监测装置，将测量信息反馈给控制系统，以便控制系统实时调控飞行

状态，适应当前飞行需求。此外，传感器的输出信息也可为地面控制人员了解无人直升机的飞行状况提供重要参考。

根据工作原理，传感器分为物理传感器和化学传感器两大类。

在工程领域，物理传感器是一种应用较广泛的传感器，它感知弹性形变、压电效应、热电效应、光电效应等物理现象。比如，温度、压力等传感器大多基于物理效应设计而成。

化学传感器以化学吸附、电化学反应等现象为感知对象，能将具有微小变化量的测量信号转换成电信号。

传感器故障类型

作为一种功能性部件，传感器在工作过程中不可避免地发生老化、性能下降等问题，甚至受到外部环境的影响而发生突变性故障。

值得注意的是，传感器安装在无人直升机上，用于测量无人直升机的飞行参数。在飞行过程中，无人直升机机身的振动将对传感器测量值产生一定影响，这种影响具体表现为：测量值围绕真值上下波动。在实际工程应用中，这种波动被视为测量噪声。位置、高度等传感器因载体振动引起的测量误差非常小，可以忽略不计。加速度计、陀螺仪等惯性测量单元可采用滤波处理，尽量减小载体振动产生的影响。

根据故障存在的时间，传感器故障

可分为间歇性故障和永久性故障。GPS的搜星故障是一种典型间歇性故障。传感器的机械零件、电子元器件等部件出现故障，通常会引起永久性故障。

而根据故障对测量结果产生的影响，传感器故障主要包括失效故障、偏移故障和周期噪声故障三种。下文详细分析这三种常见传感器故障。

失效故障

传感器失效故障是指，传感器受到环境干扰或因传感器自身原因而不能正常工作。一般情况下，失效故障的表现是，测量数值卡死或者归零。以无人直升机俯仰角测量为例进行故障分析，传感器若在某时刻发生归零故障，俯仰角测量值会持续归零，无法继续提供有效参数用于控制与显示。传感器若在某时刻发生卡死故障，俯仰角测量值将固定不变，且不能随无人直升机的姿态变化而提供有效参数用于控制与显示。常规手段即可实现传感器失效故障诊断，通常传感器自身标志位变化监测等手段可对故障进行判别。

偏移故障

传感器发生偏移故障后，仍能输出具有一定准确性的测量参数。偏移故障分为恒偏移故障、漂移故障（测量精度会下降）、冲激故障和恒增益故障。

（1）恒偏移故障

恒偏移故障是指，在某一时刻，传感器的测量值在真值的基础上，叠加了

一个恒定偏移量。式（1）为恒偏移故障的数学解析式。

$$f(t)=y(t)+\Delta \tag{1}$$

其中， $f(t)$ 是发生恒偏移故障的传感器的测量值， $y(t)$ 是传感器真值， Δ 为一个恒定偏移量。

以无人直升机高度传感器为例进行故障分析，当传感器发生恒偏移故障时，其提供的高度参数出现一个恒定的偏移量 Δ ，飞行控制程序收到此错误偏移量后，调整无人直升机的飞行高度，这时无人直升机的飞行高度将与目标高度存在偏差，导致操作人员此做出错误判断。若偏移量超出本次飞行任务所要求的高度，可能导致飞行任务失败甚至发生危险。

（2）漂移故障

漂移故障是指，传感器在某一时刻发生故障后，测量值在真值的基础上，叠加一个与时间相关或者无关的漂移量。该漂移量一般随故障持续的时间增长而增加，故障表现为传感器精度逐渐下降，直至完全失真。式（2）为漂移故障的数学解析式。

$$f(t)=y(t)+h(t) \tag{2}$$
$$h(t)=\begin{cases} 0, 0 \leq t < t_0 \\ \rho(t), t > t_0 \end{cases}$$

其中， $f(t)$ 是发生漂移故障的传感器的测量值， $y(t)$ 是传感器真值， $h(t)$ 是传感器发生漂移故障后，其测量值所产生的偏移量， $\rho(t)$ 是一个与时间相关或无关的漂移量， t 表示时间， t_0 是漂移故障发生的时刻。在所有传感器故障中，漂移故障发生的频率最高，传感器受到外界环境影响时，经常会发生漂移故障。

以无人直升机绝对位置信号（经纬度）为例进行故障分析，卫星接收机提供位置信号，当卫星接收机出现故障或卫星信号受到干扰时，搜星数量大大减少，甚至不能收到卫星信号，无人直升机的绝对位置信号将发生漂移，该绝对位置漂移量将随故障持续的时间增长逐渐增大，传感器的精度逐渐下降直至完全失真，无人直升机将无法准确到达任务目标位置或安全着陆点。

（3）冲激故障

冲激故障是指，传感器正常工作时，在某时刻受到影响而发生突变故障。该故障表现为，测量值叠加了一个幅值有限的冲激信号。式（3）为冲激故障的数学解析式。

$$f(t)=y(t)+\delta(t_0) \tag{3}$$

其中， $f(t)$ 是发生冲激故障的传感器的测量值， $y(t)$ 是传感器真值， $\rho(t_0)$ 为理想冲激函数。理想冲激函数表示在 t_0 时刻存在一个宽度几乎为零且幅值无穷大的信号，在其他时刻，该函数值为零。

在实际工程中，冲激故障通常并不是一个理想冲激函数，而是一个持续时间较短、幅值有限的偏移故障。无人直升机一般来不及响应偶发的冲激故障，但过于频繁的冲激故障会对飞行控制产生不利影响，须要采用滤波算法等方法尽可能剔除冲激故障。传感器发生冲激故障后，能在一定程度上恢复正常的检测功能。但这种恢复不能保证传感器恢复到故障前的检测精度。相应的故障检测方法可检测传感器精度，并确定传感器能否满足实际应用所要求的功能。通常，专业人员对传感器进行校准，以检测传感器的具体状态。

（4）恒增益故障

当传感器发生恒增益故障时，传感器实际测量值发生一定比例的放大或缩小，传感器精度进而出现一定程度的下降。恒增益故障的数学解析式详见式（4）。

$$f(t)=k \cdot y(t) \tag{4}$$

其中， $f(t)$ 是发生恒偏移故障的传感器的测量值， k 为放大因子， $y(t)$ 是传感器真值。

恒增益故障通常由传感器敏感元件的老化、损坏等因素所致，尤其常见于弹簧管、膜盒等具有应力式原理的传感器。恒增益故障的表现与恒偏移故障类似，但二者的故障原理有着本质区别。恒增益故障一般由传感器的测量回路发生非破坏性故障所致，而恒偏移故障通常由传感器在某时刻发生类似零点漂移

的偏移量所致。

周期噪声故障

周期噪声故障是指，传感器发生不定时的噪声过敏。该故障原因比较复杂，很难用具体数学表达式描述，故障机理一般不可测。周期噪声故障一般为破坏性故障，即传感器发生周期噪声故障后基本不可再用。

周期噪声故障表现为，测量值对噪声过于敏感。周期噪声故障也可以看作是传感器在不同时刻发生了多个冲激故障。在实际应用中，周期噪声故障一般由电子元器件老化、敏感器件失常等因素所致，会逐渐导致传感器功能完全失效。

执行器故障类型与分析

执行器的分类与功能

中小型油动无人直升机一般至少有4个电动舵机执行器，即1个尾桨舵机和3个主桨舵机。无人直升机飞行控制一般将以上4个执行器和4个伪控制量（尾桨距控制量、倾斜盘总距控制量、倾斜盘纵向周期变距控制量、倾斜盘横向周期变距控制量）相关联，4个电动舵机对无人直升机的运动进行控制。尾桨舵机的作用是控制尾桨距，进而改变尾桨旋转所产生的推力，3个主桨舵机共同操纵无人直升机主旋翼的总距用于控制飞行高度，单个主桨舵机操纵周期变距主要控制飞行方向。

联结主旋翼与机身的部件即为自动倾斜器。由图1可见，自动倾斜器由两个倾斜盘以及控制倾斜盘高度及倾斜角的3个执行器构成。两个倾斜盘之间可以相对滑动，但牢固结合在一起。3个舵机对下倾斜盘的运动进行控制，使下倾斜盘朝向给定的方向。上倾斜盘与主旋翼联结，随着下倾斜盘的调整，主旋翼旋转面将朝向给定的方向，从而控制无人直升机的运动。

电动舵机的组成

电动舵机主要由外壳、电路板、驱动电机、减速器与位置检测元器件构成。一个完整的电动舵机可以看作是一个完

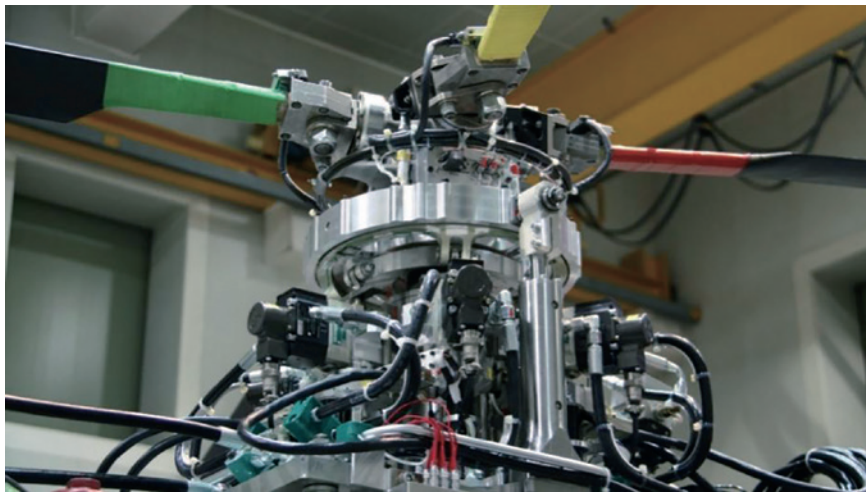


图1 自动倾斜器。

整的闭环控制回路。其工作原理是，计算模块向舵机发送信号，电路板上的集成电路驱动电机转动，减速齿轮再将动力传至摆臂，同时由位置检测器反馈摆臂位置至计算模块，计算模块判断摆臂是否已经到达目标位置。位置检测器实质上是一个滑动变阻器。随着舵机转动，变阻器电阻值也会相应变化，由此测得舵机转子转过的角度。

根据不同的工作方式，电动舵机分为直线舵机、旋转舵机等类型。直线舵机拥有更好的线性度，多用于须要直线驱动的场所，但直线舵机的安装条件相对严格。旋转舵机通过机械连杆实现直线驱动，且对安装空间的要求更低，其类型包括90°、150°和180°等不同行程的舵机。现阶段，无人直升机更多采用旋转舵机，无人直升机的执行器通常使用150°行程的舵机便能满足使用要求。

电动舵机采用电机提供动力，如果

预算足够，舵机可使用无刷电机。舵机直接控制无人直升机的运动，3个主旋翼总距控制舵机和尾桨距控制舵机应具备更强的扭力以满足实际需求。

执行器故障分析

(1) 舵机故障

舵机包括很多复杂的模块，这些模块都有发生故障的可能性。根据故障的表现形式，无人直升机机载执行器的故障可分为机械故障、电气故障两大类。机械故障主要指，无人直升机在调试以及运行期间，执行器的机械部件长期受力、热等因素作用而产生变形。电气故障则包含电源过载、蓄电池异常、电路断路和短路等现象。

功率放大模块是容易发生故障的模块之一。功率放大器的故障特征体现在电流和温度的变化。功率放大器产生的电流较大，晶体管的集电结消耗了相当大的功率输出，进而结温迅速上升，导

致故障。

舵机老化则会引起滞舵现象。滞舵现象是指舵机转动滞后于操纵动作的现象，该现象时有发生。

(2) 联动机构故障

除舵机之外，将舵机与主旋翼或尾桨联结在一起的机械构件也可能发生故障。常见的故障有联动机构卡滞、阻塞、松动以及存在间隙等问题，这些问题会导致执行器的操纵不能完全反映到飞行器的运动上，甚至失去操纵飞行器的能力。联动机构故障须要机务在日常检查与维护过程中预先发现并消除，同时在无人直升机每次起飞前都须要例行操纵检查以确定联动机构是否正常可靠。

执行器故障的定量描述方法

从故障对飞行状态的影响来看，无人直升机执行器的故障可分为软性故障和硬性故障。软性故障是指某部件发生故障后，仍能保留一部分功能，不会立即破坏无人直升机的动力学平衡。硬性故障是指执行器发生故障后，导致无人直升机不能工作。

式(5)是一种无人直升机故障的定量描述方法。

$$U_{out} = \Gamma_f \cdot U_{in} \quad (5)$$

其中，

$$\Gamma_f = \begin{pmatrix} \gamma_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \gamma_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \gamma_i \end{pmatrix}$$

U_{in} 是执行器的给定量， U_{out} 是执行器实际输出量， γ_i 是第*i*个执行器的效率损失因子， Γ_f 为所有执行器的效率损失因子。■

浅析S1000D规范在无人直升机交互式电子技术出版物编制中的应用

Analysis Of The Application Of S1000D Specification To Unmanned Helicopter IETM Compilation

目前，国内相关单位基本上采用ATA2200规范编制无人直升机技术出版物，缺乏对S1000D规范的研究和应用。本文对S1000D规范进行分析，探讨S1000D规范在无人直升机交互式电子技术出版物编制中的应用，最后对无人直升机交互式电子技术出版物的发展进行展望，为国内无人直升机交互式电子技术出版物编制工作提供参考。

张耀丹

中国直升机设计研究所

技术出版物作为无人直升机交付物的重要组成部分，可保证无人直升机在全生命周期内正常安全运行。它的质量与标准化规范能有效提高无人直升机的运行、维护、维修质量，提升无人直升机的使用效率，缩短排故周期，减少无人直升机的停放时间。

随着信息技术的发展，航空领域尤其是民用航空领域的技术出版物编制逐渐从Word文件排版转向SGML/XML格式数字文件编写，技术出版物的发布形式也从纸质手册和PDF电子手册升级为交互式电子技术出版物(IETM)。IETM有效克服了传统纸质资料体积庞大、造价昂贵、信息查找困难、换版困难等弊端。目前，越来越多的用户认识到IETM的重要性，无人直升机IETM的质量甚至成为用户评价无人直升机产品可靠性的标准之一。

无人直升机IETM编制所依据的规范将对IETM的编制方式、编制质量、编制成本、维护成本、使用便捷性产生非常大的影响。现阶段，国内外民用航空领域广泛使用的技术出版物规范为ATA2200和S1000D，我国民用航空产品的技术出版物编制大都采用

ATA2200规范，但我国C919大型飞机技术出版物已使用S1000D规范，其维修手册已引用2000多个数据模块。波音公司787飞机和空客公司A350XWB飞机的技术出版物已全面采用S1000D规范，惠普公司也决定，最新程序文件采用S1000D规范编制产品数据，并逐步替换原先使用的ATA2200规范。

ATA2200规范简介

2000年，美国航空运输协会(ATA)根据最新版ATA100《航空产品技术资料编写规范》和最新版ATA2100《飞机支援数字化资料规范》编制成ATA2200规范。ATA2200规范对技术出版物的编码规则管理、适用性、有效性管理、内容编排、版本管理、变更管理以及检索功能等内容提出规范性要求，该规范已广泛应用于我国民用航空产品技术出版物编制。AC-91-11R1咨询通告明确规定，每本手册都应便于使用者查阅、修订本手册的各个章节，以及了解修订历史，正文内容编写和格式也应符合ATA2200规范或等效标准的规定。但是，ATA2200规范并没有对IETM进行特别说明。

S1000D规范简介

S1000D规范由欧洲航空航天与防务工业协会(ASD)、美国航空航天工业协会(AIA)以及美国航空运输协会共同发布，是技术出版物的国际标准。作为新一代技术出版物的国际规范，S1000D规范适用于所有装备的纸质技术文件和交互式电子技术出版物，其内容涵盖了包括数字化技术信息生成与交换、公共源数据库(CSDB)管理，交互式电子技术出版物生成、更新和版本管理在内的IETM编制的全部过程。

S1000D规范的特点

(1) 数据模块与公共源数据库概念使用

S1000D规范有别于其他规范，它不采取手册形式，而是提出了数据模块(DM)概念。数据模块是一个独立的数据单元，用来描述装备的一部分完整信息。在S1000D规范中，数据模块描述信息的最小单元，可以包含描述性、程序性和故障诊断等不同信息类型。数据模块提供了数据重复使用的功能。

公共源数据库可以存储和管理所有创建好的数据模块。在公共源数据库中，不同数据模块可以各种方式进行组合，

进而构成各种技术出版物，并在不同项目和出版物中被重复使用和发布，极大缩短了技术手册编制的时间，降低了技术手册的编制、使用和维护成本。

（2）编制语言使用

根据S1000D规范的要求，技术出版物编制采用XML语言，在系统内组织、验证和动态发布技术出版物的内容，最终形成PDF格式手册或HTML格式的交互式电子技术出版物。

（3）编号系统使用

S1000D规范指定了唯一的数据模块代码。每个数据模块代码包含17~41个字符，分为标准编号系统（SNS）、拆分代码（DC）和信息代码（IC）三部分。标准编号系统相当于ATA2200规范中的三段编号系统。

（4）数据具有唯一性

技术出版物使用S1000D规范，可从单一数据源获得不同的输出，确保交给用户的数据具有唯一性。

（5）降低成本

该规范的使用可减少技术资料的维护费用和产品全生命周期费用，并能根据用户需求生成信息子集和定制化技术出版物。与每次重新创建的信息相比，重复使用的信息可以节省大量经费，便于信息配置、管理和控制。

（6）可提供标准化数据交换格式

技术出版物使用S1000D规范，可为同一项目的所有参与人员提供标准化数据交换，便于项目的后续开发。

（7）实现不同系统之间的信息传输和电子输出

S1000D规范在无人直升机IETM编制中的应用探讨

本节以AR-500无人直升机为例，阐述S1000D规范在无人直升机IETM编制过程中的具体应用。

IETM需求分析

为准确了解和描述目标用户对IETM的需求，在项目启动初期，项目研制方须要进行IETM需求分析，规划并制订数据模块需求列表(DMRL)，即将

技术信息划分为数据模块，这项工作对确保数据的完整性、规范性和重用率非常重要。同时，研制方应规划和制订与每个数据模块相对应的插图、视频、动画列表。准确有效的IETM需求分析能保证研制方有效开展IETM编制工作，使IETM满足目标用户的要求。

需求分析工作主要包括编制目标确定、功能、数据、界面与显示样式等内容的需求分析，平台选用与开发，产品交付方式和更新方式制订等。

（1）编制目标确定

这项工作将确定IETM的用户对象层级、使用时机、使用与维修范围。

（2）功能需求分析

研制方应根据用户对平台功能的满足程度开展功能分析工作。在此基础上，确定可能要定制开发的特定功能和具体功能。

（3）数据需求分析

数据资料准备即确定哪些数据资料应纳入IETM，并对资料进行收集。数据资料分析包括三方面内容，一是对数据资料内容进行分解，以确定拟采用的数据模块类型，如描述类、程序类、故障信息类等数据模块；二是确定可重复使用的信息；三是确定须要重新创建的技术信息，如动画、语音、视频等信息。

（4）界面与显示样式需求分析

IETM的显示界面和显示样式规划与设计工作包括：一是确定主窗体的菜单栏、工具栏、标题栏、导航区、数据模块内容显示区的位置及各栏在整个主窗体中所占的比例；二是确定IETM的文本、图形、表格、链接、多媒体、警告和注意等显示需求。

（5）平台选用与开发

平台选用与开发应遵守以下原则，一是平台制作必须满足S1000D规范的要求；二是采用企业级软件平台，满足大规模编辑的需求；第三要考虑图片、多媒体、影像制作所须的设备和条件，包括系统硬件、网络运行环境、操作系统、数据库等条件。

（6）产品交付、更新等方式分析与确定

技术资料内容分析

根据文档所描述的信息内容，S1000D规范将数据模块文档内容分为描述类、说明类、程序类、人员或操作员类、故障信息类、维修计划类、图例数据类、管线数据类、战场毁伤评估、维修信息类共9种类型。

AR-500无人直升机已有纸质技术资料。因此，AR-500无人直升机IETM编制工作只须对现有技术资料进行收集、整理与分析。现有技术资料主要包括技术使用手册、飞行操控手册、维修手册、主要维修建议、故障隔离手册、图解零件目录、布线图册、四随文件等资料。

现有技术资料内容分析应结合S1000D规范的特点，对技术资料的内容进行分类，确定拟采用的数据模块类型。下面介绍部分手册的主要内容。

（1）技术使用手册的内容

技术使用手册的主要内容包括AR-500无人直升机的整体介绍，例如系统组成、性能指标、工作原理、接口关系等介绍。该手册内容以描述性信息为主，因此IETM编制采用描述类数据模块。

（2）维修手册的内容

维修手册是维修人员与机务人员开展维修工作所须的重要资料，包括系统说明和日常检查、定期检查、测试校验、维修维护操作等详细要求。系统说明采用描述类数据模块，日常与定期检查信息采用维修计划类数据模块，维修维护操作信息采用程序类数据模块。

（3）故障隔离手册的内容

故障隔离手册包括排故准备工作、常见故障分析、故障隔离树等内容，可以通过人机问答、热点互动的方式，引导用户按步骤完成工作。因此，故障隔离手册采用故障信息类数据模块。

IETM系统构建

本文对技术出版物编写、管理、发布以及交付方面的具体业务需求进行深入分析，构建基于S1000D规范的IETM编制系统。该编制系统分为4个分系统。图1为IETM平台功能结构图。

（1）内容编辑与验证分系统

该系统中按照S1000D规范，采用XML结构化语言编辑数据模块内容，完成手册模块（PM）的手册源数据记录和跟踪后，绘制成技术出版物二维插图以及三维插图，编辑动画与视频，最后完成数据模块有效性验证。

（2）公共源数据库分系统

公共源数据库分系统是实现技术出版物单一数据源管理的关键系统，负责管理数据模块、可重用单元、插图、公共信息库等所有技术出版物的内容及相关属性信息，可完成各类信息的编码管理、版本管理、工作流程管理、有效性管理等任务。该系统与其他分系统均应实现有效集成，以实现数据共享和有效传递。

（3）内容发布分系统

内容发布分系统主要包括发布管理系统、PDF文件发布引擎，旨在组织和动态发布技术出版物的内容，最终按显示样式要求，将XML格式技术出版物数据发布成PDF格式手册，或HTML格式的交互式电子技术出版物。

（4）交付分系统

交付分系统主要包括交付管理模块和IETP浏览器。交付管理模块实现了发布物分类、存储以及状态、权限、访问控制等基础管理，同时对技术出版物的归档过程实施电子化流程控制和记录，实现数据集中备份，保证技术出版物的有效版本在产品全生命周期内获得管理和追溯。交付客户使用IETP浏览器可查阅和检索电子手册。

数据模块编码方法应用

S1000D规范明确规定，数据模块编码由字母或数字字符组成，字母或字符不得低于17位，最多不超过41位，字母或字符中间以“-”区分。在编写技术资料之前，研制方应按规定划分无人直升机的系统、分系统与次级分系统，确定系统差异码、拆分码/拆分码变量、信息码/信息码变量、零件位置码。数据模块编码组成详见图2。

现以AR-500无人直升机机头口盖拆卸与安装模块为例，说明基于

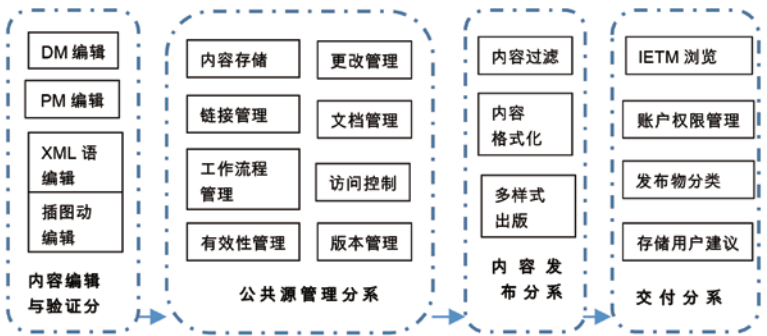


图1 IETM平台功能结构图。

型号识别码 2~14个字符	系统差异码 1~4个字符	标准编码系统 6~9个字符	拆分码/拆分码变量 (2+1)~3个字符	信息码/信息码变量 3+1个字符	零件位置码 1个字符
------------------	-----------------	------------------	-------------------------	---------------------	---------------

图2 数据模块编码组成。

S1000D规范的模块编码方法及其优势，详见图3。

图3显示，AR-500-A-53-70-01-00A-720A-A为AR-500无人直升机机头口盖的拆卸和安装模块编码。其中，AR-500是无人直升机型号。

A是系统差异码。系统会存在差异，例如同一系统安装了不同厂家的部件。

53-70-01为标准编码，与ATA2200编码一致。53表示机体结构，70表示整流罩，01是具体部件即机头口盖。

拆分码从00开始。如果53-70-01标准编码下一级的复杂组件执行进一步维修操作，则要分配拆分码/拆分差异码。

在信息码中，720表示拆卸与安装过程，信息码变量为A。如拆装过程仍须细分加以区别，可进一步分配信息码变量。

零件位置码为A，标注了拆卸操作开始前零件所处位置。

机头口盖的拆卸与安装模

53 - 70 - 01 - 401
章 节 部件 操作类型

AR-500 - A - 53 - 70 - 01 - 00A - 720A - A
型号 系统差异码 章节 部件 拆分码 信息码 零件位置码

图3 AR-500无人直升机机头口盖的拆卸与安装模块编码示例。

国内无人直升机IETM的发展展望

基于S1000D规范的IETM可以大幅提升装备的综合保障能力。我国军民领域的用户高度重视IETM的应用，并开始在新型号项目中推广IETM编制方法。我国无人直升机项目亟须建立有效、基于S1000D规范的IETM编制管理体系与开发平台，研制方应不断完善IETM内容的同时，兼顾形式构建，以达到高效管理技术信息和数据共享的目的，满足军用以民用无人直升机用户的需求。

未来，在完善无人直升机IETM编制管理体系及开发平台的基础上，研制方还可以强化IETM的培训功能，融合内容对象共享参考模型(Shareable Content Object Reference Model, SCORM)标准。SCORM标准为数字化教材制作、内容开发提供了一套通用规范，核心目标是实现教材重用与共享。研制方在IETM编制过程中引入SCORM标准，能让用户共享技术信息，并按照SCORM标准开发学习资源。同时，开发一种基于移动设备或者可穿戴设备的IETM，以替代目前使用的台式计算机，使信息获取更加方便、快捷和智能化。 ■

无人机油电混合动力系统(五)

Hybrid Propulsion System For UAV (Part5)

本文阐述电动垂直起降飞行器的概念，并对电动垂直起降飞行器的市场定位、优势、主要技术难点进行分析。

符长青

电动垂直起降飞行器(eVTOL)以电能作为推进系统的全部或部分能源，具有垂直起降和低噪声等优势，起降无须跑道。它的出现和应用，将开启航空领域的新一轮创新与变革热潮，推动航空技术和绿色航空创新发展，将对世界航空业产生革命性影响。其成熟技术和广泛应用将成为人类社会进入无人机新时代的主要标志。

电动垂直起降飞行器的基本概念

2016年10月，美国优步公司(Uber)发布《快速进入城市空中交通白皮书》，提出电动垂直起降飞行器和城市空中交通的概念。优步公司指出，正如摩天大楼能更有效地利用有限的

城市土地一样，城市空中交通将利用三维空间缓解地面交通的拥堵，同时，基于电动垂直起降飞行器构成的交通网络，未来有望在郊区和城市之间，并最终在市区内实现快速运营而可靠的交通网络。该白皮书详细介绍了城市空中交通的应用前景、应用模式和技术规划等内容。优步公司以互联网企业的思维和风格，凭借强大的号召力和雄厚的资本，迅速在全球范围内掀起了面向城市空中交通应用的电动垂直起降飞行器的投资和研发热潮。

2018年11月，美国航空航天局(NASA)发布《城市空中交通发展报告》。该报告由多家研究机构联合撰写，将城市空中交通概念定义为：基于载人飞行器和无人机系统的安全、高效城

市交通运营方式，提出了末端配送、空中巴士和空中出租车等典型且最具挑战性的城市空中运输模式和交通工具。

电动垂直起降飞行器发展概况

电动垂直起降飞行器技术和城市空中运输(UAM)市场的发展如火如荼，欧洲空客公司、美国波音公司和巴西航空工业公司等老牌飞机制造商正在加大电动垂直起降飞行器等非传统飞行器的研发投入。与此同时，丰田、戴姆勒、现代等汽车厂商也不甘落后，纷纷进军电动垂直起降飞行器市场，而许多新的初创公司推出了令人震惊的创新设计，旨在与大型飞机制造商在新的领域展开竞争。

众多科技公司都在紧锣密鼓地开

发电动垂直起降飞行器，寻找各种渠道募集资金，同时开展一系列载人试飞。例如，总部位于美国加州的乔比航空公司(Joby Aviation)与特殊目的收购公司(SPAC)合并上市后，其市值接近60亿美元。除此之外，美国阿奇尔(Archer)、英国垂直宇航(Vertical Aerospace)、德国百合花(Lilium)和日本“天空驱动”(Skydrive)等公司也专注电动垂直起降飞行器开发。

其实，最早研制载人电动飞机的国家是德国，1973年，全球首架载人电动固定翼飞机在德国成功试飞。最早开发电动垂直起降飞行器的国家也是德国，2011年10月21日，世界上第一架载人电动垂直起降多旋翼飞行器载人后首次离地，它是德国卡尔斯鲁厄大学研究团队研制的VC-1验证机(见图1)，该项目团队后来发展为沃洛考普特公司(Volocopter)，成为电动垂直起降飞行器行业的领军企业之一，该公司电动垂直起降飞行适航审定工作取得了较大进展。目前，有些电动垂直起降飞行器制造商的验证机已经试飞，但大部分公司仍处于探索阶段。

虽然电动垂直起降飞行器行业目前处于发展初期，但它的预期市场规模却非常可观。其中，最有发展潜力的市场是全世界商用油动直升机的替代品。这些油动直升机价格贵，噪声大，而电动垂直起降飞行器噪声非常低，且运营成本比直升机低30%。国际知名商业咨询机构研究与市场公司(Research and Markets)预测：到2025年，电动垂直起降飞行器的市场规模将达到1.62亿美元，到2030年达到4.11亿美元，预测期间的复合年增长率(CAGR)为20.42%。

风险投资公司关注电动垂直起降飞行器的发展

长期来看，成熟的技术会降低零部件成本，应用需求增长将推动电动垂直起降飞行器行业的发展。短期内，政策驱动以及产业链的不断完善，将



图1 2011年10月21日，世界上第一架电动垂直起降飞行器首次载人试飞。

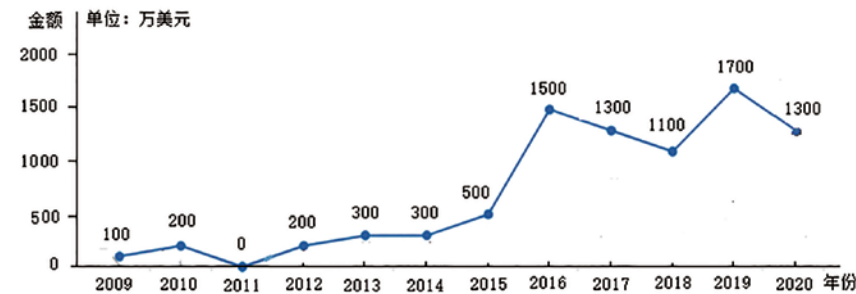


图2 2009—2020年电动垂直起降飞行器销售额。

为电动垂直起降飞行器发展提供巨大发展空间。

2018年12月，摩根斯坦利公司发布行业研究报告。该报告称，电动垂直起降飞行器市场可达万亿美元。2020年1月，美国乔比航空公司及另外两家公司在短短一个多月内连续融资，说明行业发展达到一个阶段性高峰。

从产业整体发展看，虽然电动垂直起降飞行器产业仍然处在培育期，设计方案非常多。但是综合考虑科技发展、环保追求、服务方式和经济效益等方面的要求，它已经受到世界各国科技公司和全球投资者的广泛关注。2009—2020年电动垂直起降飞行器销售额详见图2，全球风险投资公司近10年在电动垂直起降飞行器领域的投资

金额详见图3。例如，2020年，13笔风险投资投给了电动垂直起降飞行器制造商，总金额超过11亿美元。其中，乔比航空公司和百合花公司获得的资金占总投资额的85%。

电动垂直起降飞行器与飞行汽车的区别

19世纪80年代人类发明第一辆汽车。约20年后，美国莱特兄弟发明了第一架飞机。随后，人们产生了将汽车和飞机概念结合起来的想法。飞行汽车是一种既能在地面道路上行驶，又能在空中飞行的陆空两用交通工具。

1917年，飞机设计师和飞机制造企业家格林·寇蒂斯研制出世界第一个陆空两用飞行汽车，并申请了专利。

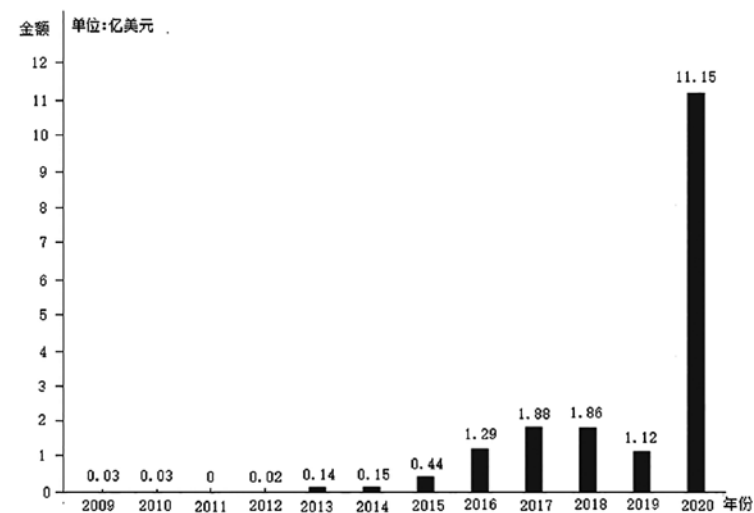


图3 在2009—2020年期间，全球风险投资公司在电动垂直起降飞行器领域的投资金额。

该飞行汽车采用分体式设计，机翼与车体可以分离。在空中飞行时，机翼和车体结合在一起，在地面道路行驶时，机翼和车体分开，只使用车体部分。

1986年，美国人莫尔·泰勒将现代汽车与航空技术珠联璧合，制造出一种既能在地面行驶，又能在空中飞行的飞行汽车，并获得有关政府部门签发的飞行许可证。泰勒因此被人们誉为现代飞行汽车的先驱。但是，因该型飞行汽车的平直固定翼比车身宽5倍多，在公共道路上行驶或起降时，不仅会影响正常的交通秩序，而且车翼即飞行汽车的机翼向两边伸展张开时，会受到路旁障碍物的限制，很难真正投入实际应用。因此，泰勒首创的飞行汽车只能成为试验车。

另外，世界各国的交通法规都不允许包括飞行汽车在内的载人飞行器直接在公共道路上起降。公路不是跑道，仅允许救护和警用直升机紧急迫降。因此，陆空两用飞行汽车即使具备垂直起降能力，也不能在堵车时直接在公路上起降，而必须从专用起降场或机场起飞，这一规定使飞行汽车的应用场景大打折扣。

一百多年来，人们已经设计出上千种陆空两用飞行汽车方案，绝大部分方案采用了固定翼布局设计，几十个

设计方案被造出原型机。但是，大多数设计方案都未获得人们的认可和推广应用，被束之高阁，只有个别设计方案获得美国联邦航空管理局（FAA）特种轻型飞机（LSA）的适航证书，可以投入实际使用。

2016年10月，美国优步公司推出的电动垂直起降飞行器概念与飞行汽车有很大不同，它属于一种飞行器，与汽车没有任何关系，在基础技术、应用场景、发展历程、市场预期、资本关注度等各个方面与陆空两用飞行汽车有着本质区别。美国联邦航空管理局、欧洲航空安全局（EASA）和中国民用航空局等部门颁发的规章从未使用飞行汽车来指代电动垂直起降飞行器。

在电动垂直起降飞行器发展初期，公众并不了解它的概念。可能是大众媒体和电动垂直起降飞行器行业为了吸引关注度，习惯使用飞行汽车来指代电动垂直起降飞行器，从而引起误导。

电动垂直起降飞行器利用垂直起降等优势，可从城市内设在大楼屋顶的起降场垂直起飞，在空中飞行，避开地面交通拥堵，直达目的地。因此，垂直起降和低噪声就是应用刚需，航程则不是最重要的设计指标要求，至于汽车的地面行驶功能，完全没有必

要考虑。与传统油动直升机等旋翼飞行器相比，电动垂直起降飞行器具有运营成本更低、噪声更小、安全冗余度高和节能环保等优点。

电动垂直起降飞行器有两项最基本要求，一是动力装置应全部或部分采用电动系统（电动或混合动力）；二是气动布局采用具有旋翼的飞行器构型，以实现垂直起降。

电动垂直起降飞行器的市场定位

面对当前电动垂直起降飞行器高潮迭起的发展形势，制造商既要做好市场预测，又要破解各种技术难点。企业准确地预测市场，可以少走“错路”，而全面的技术发展预测可以让企业少走“弯路”。

电动垂直起降飞行器的主要市场定位是，作为一种飞行出租车和家庭用飞行小汽车，以及传统商用直升机的替代产品，最终变成一种经济、高效、快捷的中短途交通工具。例如，对于20~250km的出行距离，电动垂直起降飞行器可替代小汽车，缓解大城市和核心区的地面交通拥挤。

电动垂直起降飞行器实质上是一架新型多用途无人机，可以根据应用需求，搭载不同的任务载荷完成不同的任务。除作为飞行出租车外，电动垂直起降飞行器还可用作家庭飞行小汽车，并广泛应用于货运、消防灭火、应急救援、农林植保等领域。

电动垂直起降飞行器的优势

（1）大幅缩短旅程时间

传统民航客机的起降须要专门大型机场，使用流程比较复杂。对于同一段旅程的时间，电动垂直起降飞行器所花费的时间仅为传统民航客机的十分之一。

（2）提高民众的出行效率

在美国，特定距离的出行占到出行量的80%，这意味客运占据了运输市场的大部分市场份额。电动垂直起



图4 电动垂直起降飞行器可缓解地面交通拥挤。

降飞行器使用灵活方便，有望成为广大民众的私人交通工具，从而大幅提升民众的出行效率。

（3）市场前景十分广阔

电动垂直起降飞行器能有效解决当前城市交通拥堵问题，打造全新的交通体系，其市场规模比私人飞机更大。

虽然电动垂直起降飞行器目前处在风口发展期。但是，从解决大城市拥堵、提供更加高效的出行模式看，它是一个比较好的选择。当然，在商业化发展进程中，电动垂直起降飞行器会面临航程较短、起降能耗较高、监管政策和空域管辖严格等多种问题。而这些问题无论在技术层面，还是政策层面，并非完全不可解决。例如，道路上行驶的电动汽车，与10年甚至5年前的项目相比，现在已经发生天差地别的变化。核心技术突破和工程手段都能尽力弥补技术缺陷。我们相信，在不远的将来，电动垂直起降飞行器有望实现规模化运营，虽然在规模化

运营之前，业界要付出较大的努力。

电动垂直起降飞行器的主要技术难点

电动垂直起降飞行器包括动力、飞行控制与导航、航电、通信等核心分系统。当前，每一个分系统都面临着巨大的技术挑战。本文仅介绍和讨论动力系统的问题。

电池技术是一项伟大的发明，拥有精彩而悠久的历史。1749年，电池由美国发明家本杰明·富兰克林首次使用。那时，他使用一组串联电容器进行电学实验，用稀硫酸作电解液，解决了电池极化问题，制造出第一个不极化，且能保持平衡电流的锌-铜电池，该电池又称“丹尼尔电池”。目前，随着电动汽车、电动列车、电动自行车等地面电动交通工具的发展和普及，人们把为电动交通工具提供动力能源的电池称为动力电池。动力电池包括铅酸电池、镍氢电池以及锂电池等类型。

在电动垂直起降飞行器发展过程中，动力电池技术是目前急须解决的重大技术难题。尽管电动汽车的动力电池技术已经取得很大突破，但是电动垂直起降飞行器对电池的要求却与电动汽车和小型无人机不同。电动垂直起降飞行器要求最大起飞重量不能太大，电池应有足够长的供电时间，满足起降阶段须要的高功率密度要求，以及保证较长的续航时间；另一方面，电动垂直起降飞行器在空中飞行时，无法像汽车一样随时制动，因此动力电池应具有高可靠性和冗余配置，即使电池模块发生失效或者故障，电池所提供的电力也能支撑飞行器安全降落。在安全性方面，电动垂直起降飞行器对电池系统有着近乎苛刻的要求。尽管目前地面行驶的电动汽车已经进入大规模生产和应用，但电动垂直起降飞行器的动力电池发展才刚刚起步。



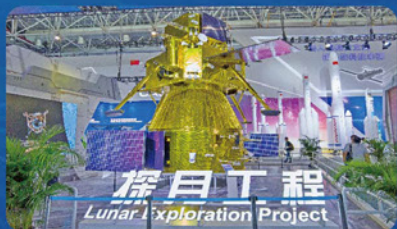
中國國際航空航天博覽會

CHINA INTERNATIONAL AVIATION & AEROSPACE EXHIBITION

14th中国航展

AIRSHOW CHINA

2022.11.8-13 · ZHUHAI-CHINA



逐梦，携手向未来

展览
联系人: 吴小姐
电话: 0756-3376868
邮箱: wuc@airshow.com.cn

专业观众
联系人: 杨先生
电话: 0756-3376111
邮箱: peter@airshow.com.cn

商务合作
联系人: 黄先生
电话: 0756-3375228
邮箱: jkhaa@airshow.com.cn

珠海航展有限公司
ZHUHAI AIRSHOW CO., LTD.

全权限数字电子控制系统在小型无人直升机活塞式发动机中的应用研究

Study On The Application Of Full Authority Digital Electronic Control System To Piston Engine Of Small Unmanned Helicopter

为拓展活塞式发动机全权限数字电子控制系统在小型无人直升机中的应用, 本文详细介绍活塞式发动机数字控制系统的原理和架构, 并选择某小型无人直升机为载机, 实现了活塞式发动机数字控制系统在无人直升机上的工程应用。地面装机试验结果表明, 数字控制系统具备良好的控制精度和加减速特性, 在无人直升机中的应用具有广阔前景。

段勇亮

中国直升机设计研究所

无人直升机具有独特的优点及强大的功能, 是目前技术领域的研究热点之一。发动机为无人直升机提供动力, 而发动机控制系统性能的优劣直接影响发动机及无人直升机的性能。随着无人直升机对发动机综合控制性能和动力系统多样化功能提出了更高要求, 典型无人直升机动力装置涡轴发动机的控制系统已从传统机械液压式控制系统发展到全权限数字电子控制(FADEC)系统。

考虑到特定的使用需求, 国内外绝大多数小型无人直升机通常采用活塞式发动机提供动力。无人直升机飞控系统对发动机风门开度进行控制, 来调节进入气缸的空气量, 同时根据空气量调节油门开度以达到适当的油气混合比, 实现发动机功率状态控制。与发动机全权限数字电子控制系统相比, 飞控系统功率控制模式存在功率控制精度差、安全裕度不足及状态监视功能缺乏等问题。发动机全权限数字电子控制系统在活塞式发动机上的应用已成为当前的研究热点。本文基于无人直升机和发动机控制理论, 详细介绍活塞式发动机全权限数字电子控制

在无人直升机上的工程应用。

发动机数字控制系统 无人直升机对发动机控制系统的 要求

发动机控制系统除按照发动机的要求进行控制调节外, 还必须充分考虑无人直升机的使用特点, 并满足如下无人直升机的特定控制要求。

(1) 恒转速控制

发动机输出轴与主旋翼传动系统由机械部件联结在一起, 使发动机转速与主旋翼转速存在确定的比例关系。无人直升机要求主旋翼保持恒定的转速, 因此要求发动机控制系统实现输出轴恒转速控制。

(2) 总距前馈控制

无人直升机的需求功率随主旋翼总距的变化而变化。在一定转速下, 总距越大, 需求功率也越大。在飞行过程中, 操控员在地面控制站快速提放总距时, 为避免无人直升机发动机负载突然变化而引起主旋翼转速发生较大的下垂或者超调, 发动机控制系统应采集无人直升机总距信号, 提前感知无人直升机功率

的变化, 进行预先加减油的前馈控制。

(3) 快速响应控制

当无人直升机贴地飞行时遇到复杂地形, 它必须快速改变姿态。为实现良好的机动飞行, 发动机必须具有快速响应控制能力。

某型重油活塞式发动机数字控制系统

某型重油活塞式发动机采用高压共轨燃油系统。该燃油系统由低压燃油系统和高压燃油系统组成。其中, 低压燃油系统由油箱、燃油滤清器组成; 高压燃油系统由高压油泵、高压油轨、喷油器、轨压传感器等部件组成。其中, 高压油泵自带机械油泵。油箱中的低压燃油经燃油滤清器过滤后, 被输入至高压油泵, 高压油泵将高压燃油输送到高压油轨, 再由喷油器喷入燃烧室燃烧。

数字控制系统由传感器、电子控制器、执行器三部分组成。传感器用于测量温度、压力等物理信号, 并将物理信号转化为相应的电信号。电子控制器接收传感器输出的电信号, 同时接收无人直升机传输的状态信息。根据策略算法, 数字控制系统对发动机需求功率进行计

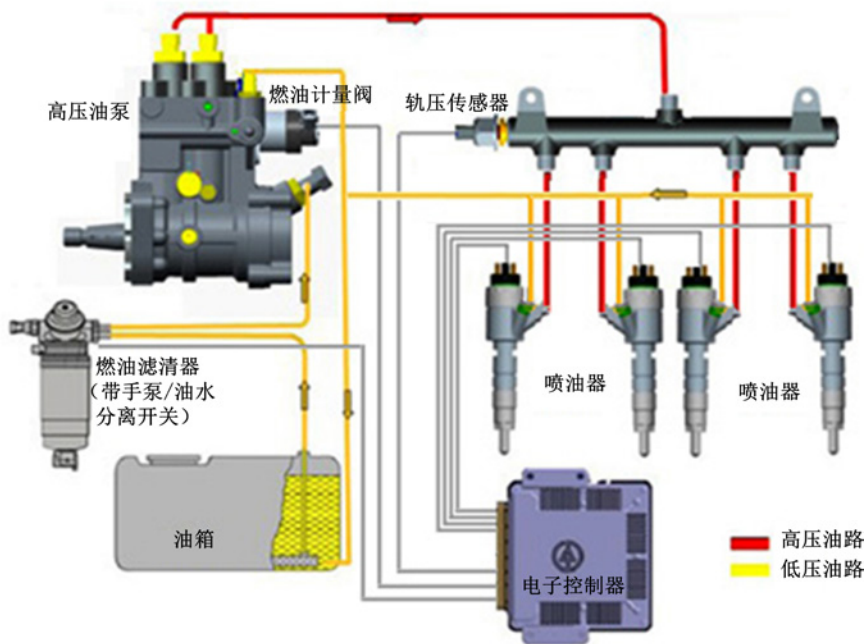


图1 某型重油活塞式发动机供油系统原理图。

算，得出相应的控制参数。该系统控制高压油泵上的燃油计量阀以调节进油阀开度，并控制压力控制阀以调节回油阀开度，最终实现对高压油轨油压的精确控制。此外，按照恒转速控制逻辑，数字控制系统驱动进气增压电磁阀、喷油器等执行器运行，并对发动机进气压力和喷油量进行控制，达到控制发动机功率的目的。

发动机数字控制系统在无人直升机中的应用

发动机数字控制系统利用两路全双工RS-422接口与无人直升机飞控系统进行数据通信。发动机数字控制系统和机载测控系统没有直接交联，测控系统将无人直升机的控制指令传输至飞控系统，飞控系统再将与发动机控制有关的指令发送至数字控制系统。无人直升机与发动机数字控制系统之间的所有控制指令均由飞控系统传输。发动机数字控制系统与机载系统的控制交联架构如图2所示。

无人直升机发动机数字控制系统可实现以下功能。

(1) 发动机功率状态控制

无人直升机地面控制站的操作台设置了停车、地慢、飞行三个按键。按键操作可实现发动机功率状态控制。无人直升机收到地面控制站发送的发动机控制指令后，数字控制系统自动启动起动机并对发动机功率状态进行控制。指令信号由“停车”转换为“地慢”或从“停车”转换为“飞行”，数字控制系统均能自动启动发动机；指令由“地慢”转换为“飞行”时，数字控制系统可将发动机加速到“飞行”状态；指令由“飞行”或“地慢”转换为“停车”时，数字控制系统均可执行发动机停车。

(2) 总距—负载前馈控制

飞控系统总距位置信号发送给数字控制系统。当总距位置变化时，数字控制系统根据无人直升机提供的主旋翼总距—负载曲线进行预先补偿，提前调节发动机功率，减少因功率突然变化引起的主旋翼转速超调或下垂。

(3) 恒转速控制

当发动机成功启动后，数字控制系统即可调节发动机功率状态，使得发动机输

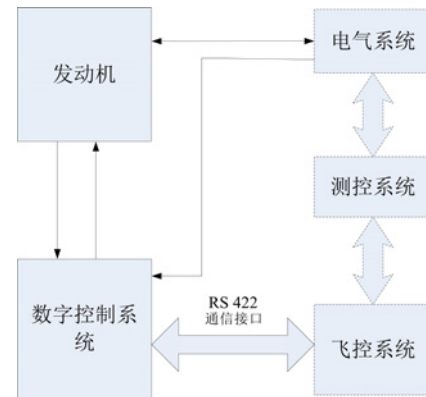


图2 发动机控制系统交联架构图。

出轴转速保持恒定。稳态控制误差范围控制在 $-0.5\% \sim +0.5\%$ 之间，瞬态控制误差范围控制在 $-4\% \sim +4\%$ 之间。无人直升机需求功率变化后，发动机从瞬态过渡到稳态所需时间一般不超过10s。

(4) 发动机状态监视、健康诊断

数字控制系统可将发动机的工作参数和预警指示信号发送给飞控系统用于发动机状态监视。此外，数字控制系统可自动诊断自身故障，并将该故障数字信号传输给飞控系统。

发动机电调应安装独立存储模块，在发动机故障、超限等任何异常情况发生前后30min的时间段，记录所有工作参数。

发动机数字控制系统的装机试验

为了验证发动机数字控制系统装机

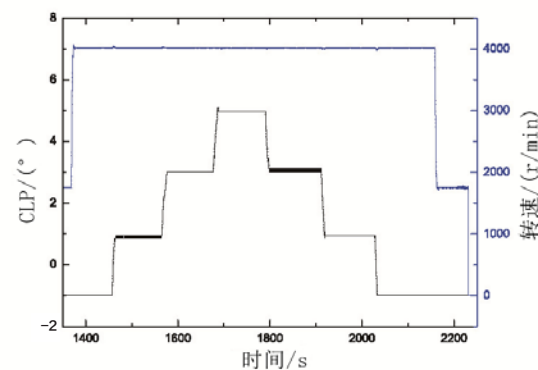


图3 发动机工作稳定性试验结果。

后的控制性能，某型无人直升机配装数字控制系统活塞式发动机，开展发动机工作稳定性和加减速检查等装机试验。

发动机工作稳定性检查

操作员调节发动机总距（CLP）来调节发动机功率状态，使总距从 -1° 依次阶梯升至 5° 。操作员控制发动机在每个总距下稳定工作3min，并对发动机工作稳定性进行检查。

在试验过程中，发动机工作稳定，且在总距扫描过程中，发动机转速动态超调范围为 $-1.5\% \sim +1.5\%$ ，满足 $-4\% \sim +4\%$ 的范围要求。发动机转速稳态超调范围为 $-0.27\% \sim +0.27\%$ ，满足 $-0.5\% \sim +0.5\%$ 的范围要求。

发动机加减速特性检查

操作员分别在3~5s、2~3s、0.5~1.5s的时间范围内将总距从 -1° 增加到 3° 和 5° ，再分别在3~5s、2~3s、0.5~1.5s的时间范围内将总距由 3° 和 5° 减小到 -1° ，总距操作过程如图4所示。

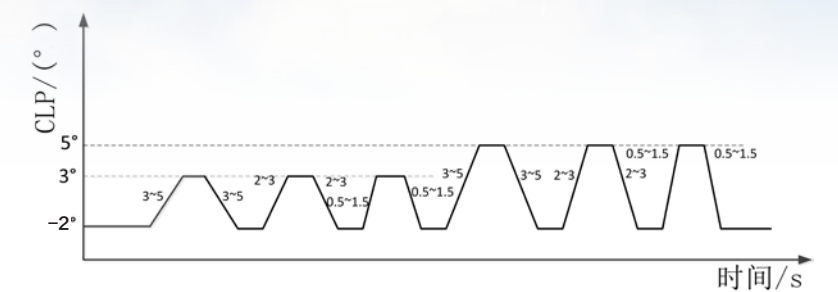


图4 总距操作过程图。

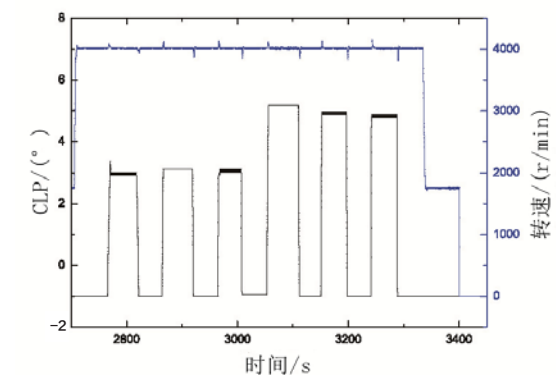


图5 加减速试验过程中发动机转速变化图。

在试验过程中，发动机正确响应无人直升机的功率需求，各工作参数正常，未发生异常情况。在发动机加减速试验过程中，操作员即使在0.5~1.5s的时间范围内，调整总距在 $-1^\circ \sim 5^\circ$ 范围内变换，发动机的转速超调量也在 $-3.34\% \sim +3.34\%$ 范围内，满足 $-4\% \sim +4\%$ 的范围要求，说明发动机数字控制系统具有良好的转速控制能力，试验结果如图5所示。

基于分布式卡尔曼滤波的无人直升机传感器容错控制

Fault Tolerance Control Of Unmanned Helicopter Based On Distributed Kalman Filter

本文旨在设计一种基于卡尔曼滤波的数据融合算法，利用无人直升机传感器冗余配置进行传感器数据融合设计，并以无人直升机姿态测量通道为例，对数据融合方案进行仿真实验。实验表明，数据融合结果能有效避免传感器普通硬件的冗余策略出现一些问题。

陈传琪
中国直升机设计研究所

随着无人直升机作战任务趋于多样化和复杂化，系统越来越复杂，这势必会增加无人直升机发生故障的概率。由于无人直升机飞行任务具有特殊性，客观上须要采用容错技术来提升飞行控制系统的稳定性和运行能力。在飞行过程中，无人直升机一旦发生故障或遭受战斗损伤而未能及时采取有效措施，很可能造成不可挽回的损失。现代容错控制方法在无人机飞行控制系统中的运用研究具有重要理论意义和实践意义。

动态系统的容错控制源于实际需求，诸如传感器、执行器系统的组成部件在实际应用过程中不可避免地发生故障，可能导致重大人员伤亡和财产损失。这些故障须要及时排除，否则将导致系统性能下降甚至失控。

不同传感器之间的测量对象可能相同，不同物理量的传感器余度不能简单通过硬件配置来确定，须要综合分析相关数据的冗余特性才能确定。为获得不同冗余度的数据，技术人员须要设计不同的容错控制策略。本文这里针对冗余配置定义两种概念，即直接冗余和间接冗余。

直接冗余是指，多个传感器能够直接测量飞行器的飞行参数，得到同一个

物理量。比如无线电高度表和气压高度表之间的关系就是直接冗余。

间接冗余也称解析冗余，是指除了能直接测量某物理量的传感器之外，其他传感器只能测量与某物理量之间有相互关联的物理量。这些相互关联的物理量经过计算后，得出感兴趣的物理量。比如角度传感器和角速度传感器之间的关系就是间接冗余。

据此可将传感器容错控制技术分为两类：基于硬件余度的容错控制技术和基于解析余度的容错控制技术。

基于硬件余度的容错控制是指，同一信号测量使用冗余传感器，当某一传感器出现故障时，信号源可切换到其他正常传感器提供的容错控制信号。例如，霍尼韦尔公司为波音公司研制的飞机设计了一种6个陀螺仪斜置冗余配置方案，来提高陀螺仪的容错性能。该种配置可以保证，只要3个或以上数量的陀螺仪正常工作，这套配置即可测得完整的信息。

基于解析余度的容错控制是指，互相关联物理量分析来重构传感器信号，替换故障传感器信号。卡尔曼滤波等算法可实现数据分析与重构。有学者提出，对于在动态位置的数字比例微积分调节

（PID）系统中发生缓慢变化的传感器漂移，基于数据驱动的残差发生器可实现传感器漂移的容错控制。另有学者提出了一种用于约束多传感器线性参数变化的鲁棒容错控制方案，近似融合的策略可实现传感器容错控制。

对于传感器直接冗余，合适的融合结构设计可提高测量精度并增强测量系统的容错性能。对无人直升机而言，多个传感器通常对同一个物理量进行测量，构成了传感器的硬件冗余。在朴素的硬件冗余基础上，数据融合结构采用合适的设计，可以达到两种效果，一是传感器被诊断出故障之后，降低传感器切换时引发的数据缺失或瞬态带来的影响；二是冗余传感器的测量结果经数据融合之后，测量结果将更加准确。

数据融合算法设计 卡尔曼滤波算法

卡尔曼滤波算法是目前学术、工程领域应用最为广泛的线性滤波方法。该算法不仅适用于平稳随机过程的滤波，而且特别适用于非平稳、平稳马尔科夫序列或者高斯—马尔科夫序列的滤波。由于卡尔曼滤波算法是一种时间域的滤波方法，因此适用于实时

在线的滤波计算。

线性随机差分方程可将离散系统描述为：

$$\begin{aligned}x(k) &= A \cdot x(k-1) + B \cdot u(k) + w(k) \\z(k) &= H \cdot x(k) + v(k)\end{aligned}\quad (1)$$

其中， $x(k)$ 是 k 时刻的系统状态， $x(k-1)$ 是 $k-1$ 时刻的系统状态， $u(k)$ 是 k 时刻系统控制量输入值。 A 和 B 是系统参数。 $z(k)$ 是 k 时刻的测量值， H 是测量矩阵。 $w(k)$ 和 $v(k)$ 分别是服从高斯分布的过程噪声和测量噪声。

首先，本节利用系统过程模型来预测系统的下一个状态。

$$x(k|k-1) = A \cdot x(k-1|k-1) + B \cdot u(k)\quad (2)$$

其中， $x(k|k-1)$ 是当前时刻状态估计值， $x(k-1|k-1)$ 是上一时刻的最优状态估计值， $u(k)$ 是当前时刻的控制量输入值。系统当前状态协方差矩阵的更新规律为：

$$P(k|k-1) = A \cdot P(k-1|k-1) \cdot A' + Q\quad (3)$$

其中， $P(k|k-1)$ 是当前状态协方差矩阵的估计向量， $P(k-1|k-1)$ 是上一时刻的最优状态估计值对应的协方差矩阵， Q 是协方差。

以上信息经计算后，得到卡尔曼增益为式（4）。

$$Kg(k) = P(k|k-1) \cdot H' / (H \cdot P(k|k-1) \cdot H' + R)\quad (4)$$

其中， $Kg(k)$ 为卡尔曼增益， R 是协方差。

由卡尔曼增益、系统状态预测结果和实时测量结果可知，当前时刻状态测量值的最优估计值 $x(k|k)$ 为：

$$x(k|k) = x(k|k-1) + Kg(k)(z(k) - H \cdot x(k|k-1))\quad (5)$$

其中， $z(k)$ 为当前时刻控制量积分值。

同时，当前状态测量结果对应的协方差矩阵更新为：

$$P(k|k) = (I - Kg(k) \cdot H) \cdot P(k|k-1)\quad (6)$$

其中， I 为控制量积分矩阵。

以上迭代回归过程完成后，卡尔曼滤波算法可实现系统实时滤波处理。

协方差交叉算法

协方差交叉算法由朱利尔（Julier）和乌尔曼（Uhlman）提出，是一种将相关性位置的数据加以融合的方法。如果两个随机变量不相关，我们可以采用卡尔曼增益进行融合，使融合后的估计误差小于或者等于先前估计误差中的任何一个值。

假设两个状态的估计均值和方差分别为 (μ_1, P_{aa}) 和 (μ_2, P_{bb}) ，通常测量对象的无偏估计是 a 和 b 的线性组合，即

$$x = k_1 a + k_2 b\quad (7)$$

其中， x 为无偏估计值， a 、 b 是两个具有相关性的状态值， k_1 、 k_2 为 a 和 b 的融合系数。

当协方差 P_{ab} 为零时，融合系数为： $k_1 = P_{bb}(P_{aa} + P_{bb})^{-1}$ ， $k_2 = P_{aa}(P_{aa} + P_{bb})^{-1}$ （8）

当协方差 P_{ab} 不为零时，则融合系数为：

$$k_1 = \omega P_{cc} P_{aa}^{-1}, k_2 = (1 - \omega) P_{cc} P_{bb}^{-1}\quad (9)$$

其中， $\omega \in [0, 1]$ ， P_{cc} 为无偏估计值的方差，调整 ω 的取值，可以实现最优融合。

位置数据融合

可实时获得无人直升机位置的传感器有光纤组合导航系统、MEMS惯性导航单元和双天线GPS接收机。为有效利用传感器采集的数据，提高无人直升机位置测量精确度，本文研究数据融合方

法，以作为无人直升机位置估算的算法。

图1是无人直升机位置数据融合过程。本节内容只介绍双天线GPS接收机故障对图中融合路径的影响，其他传感器的数据融合将在后面章节讨论。当双天线GPS接收机无故障时（同时假定其他传感器不发生故障，因为多传感器故障属小概率事件），双天线GPS接收机、光纤组合导航系统和MEMS惯导单元的测量值经过数据融合后，可得出无人直升机的位置。当双天线检测到GPS接收机发生故障时，则产生相应的警告，同时数据融合单元停止使用GPS数据。此时，光纤组合导航系统和MEMS惯导单元的测量值经过数据融合后，可得出无人直升机的位置。

地速数据融合

无人直升机可以通过多种方式获得其相对于地面的飞行速度即地速。双天线GPS接收机、光纤组合惯导系统和MEMS惯导单元是可直接获得地速的机载传感器，加速度计是一种可间接获得地速的传感器（如果已知初始位置）。地速数据融合过程如图2所示。

数据融合方法可实现传感器故障下的信号切换，不仅能提高无人直升机在无传感器故障下的定位精度，也能有效避免传感器故障下的信号缺失或定位数据的剧烈跳变。

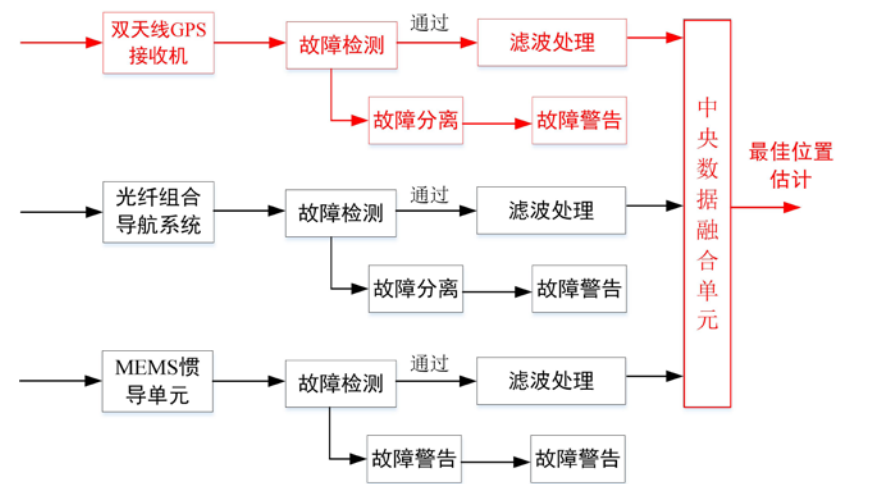


图1 位置数据融合过程图。

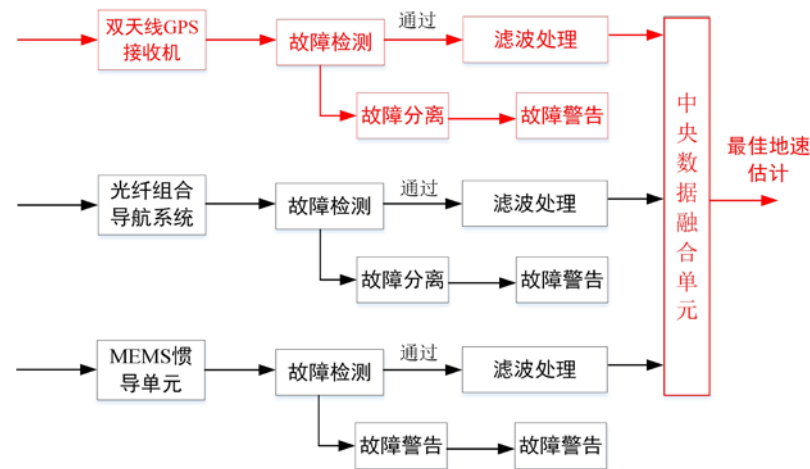


图2 地速数据融合过程图。

高度数据融合

无线电高度表、大气数据系统和卫星导航传感器（含双天线GPS接收机以及光纤组合导航系统）可实时提供无人直升机高度数据。

无线电高度表一种测量精度较高的高度传感器。无线电高度表测高是指，无线电高度表随无线电波行程的变化而获得无人直升机的飞行高度。

大气数据系统测量高度的原理与气压高度计的原理相同，都是利用压力传感器测量大气静压力，然后根据大气压强与高度之间的对应关系，计算得出当前飞行高度。

卫星导航传感器能够确定无人直升机的当前三维坐标（WGS-84坐标系下）。

无故障状态下高度数据融合

当无人直升机传感器系统处于正常工作情况下，高度数据融合采取基于卡尔曼滤波器的分布式数据融合方法。卡尔曼滤波器能够实现两个存在误差的估计值之间的最优插值估计。图3显示，当正常工作时，无线电高度表、大气数据系统（气压高度计）、双天线GPS接收机、光纤组合导航系统均能为无人直升机提供高度数据。此时，为利用传感器得到的高度测量数据并更准确地掌握飞行高度，系统采取4种传感器的高度测量值作为源数据。单传感器的数据经自身融合及滤波后，再经过一次数据处

理也就是数据融合，得出无人直升机最佳高度估计值。

传感器的测量漂移一般由测量噪声引起，且该噪声通常为高斯噪声。针对噪声的随机性，同一物理量的冗余传感器数据融合在一定程度上可以有效消除测量噪声产生的负面影响。此外，数据融合采取合适的融合算法可进一步提高测量精度。

故障状态下高度数据融合

（1）无线电高度表故障下高度数据

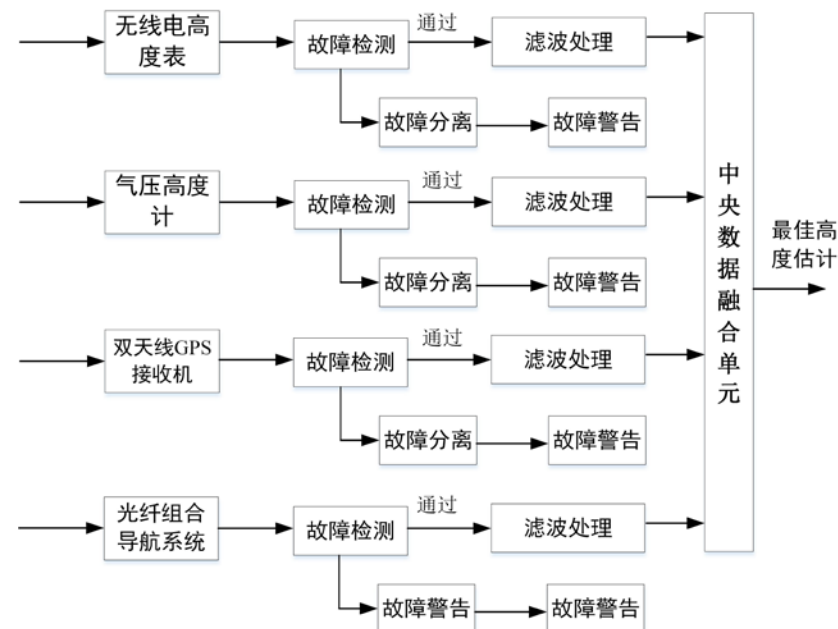


图3 无故障状态下无人直升机高度数据融合过程图。

融合

当无线电高度表失效时，双天线GPS接收机、大气数据系统和光纤组合导航系统为无人直升机提供高度数据。此时，无线电高度表的数据被传入故障诊断单元，故障诊断单元检测出故障并报出无线电高度表的故障。中控系统根据故障诊断单元报出的故障信息，切断无线电高度表测量数据使用。无线电高度表故障下的数据融合过程详见图4。

（2）双天线GPS接收机故障下高度数据融合

双天线GPS接收机发生暂时性失效故障是导航系统在复杂环境下经常发生的故障现象。卫星信号经常受到高大建筑物、树木等物体的阻隔而导致传感器无法正常工作。而在信号不再受阻隔时，双天线GPS接收机通常可以恢复正常工作。双天线GPS接收机经常发生定位精度下降的故障。有别于其他传感器元器件老化导致的精度下降，GPS出现精度下降通常是卫星信号被阻隔所致，在信号无阻隔条件下，GPS会恢复精度特性。

在双天线GPS接收机发生故障时，无线电高度表、气压高度计和光纤组合

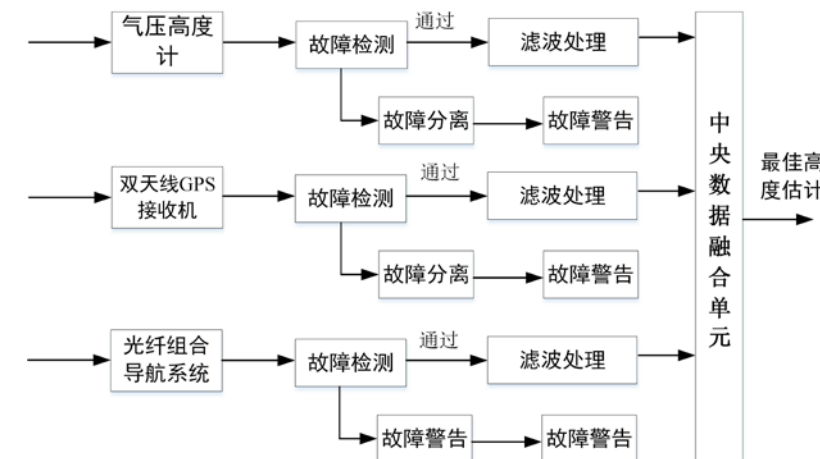


图4 无线电高度表失效时的高度数据融合过程图。

导航系统为无人直升机提供高度数据。双天线GPS接收机故障下的高度数据融合过程详见图5。

其他高度传感器故障下的数据融合通道设计与此类似，本文不多做赘述。

基于分布式卡尔曼滤波的数据融合仿真实验

本节以无人直升机的姿态测量通道为例，对前文提出的数据融合方案进行相应的仿真实验。无人直升机姿态传感器配置了双组合导航以及MEMS姿态三硬件冗余，本节对横滚角和俯仰角数据进行分析，得到如下结果。

在无人直升机机载传感器不发生故障条件下，三路姿态测量数据经过一次

滤波处理之后，进入中央数据融合单元经协方差交叉计算，进而得出无人直升机姿态的最佳估计值。

仿真实验从无人直升机的飞行测试数据中截取了一段真实的姿态数据作为参考，然后从姿态控制仿真的角度出发，模拟这一段无人直升机飞行过程，得到与真实数据大致相同的姿态仿真数据，并根据3个实际传感器（传感器1、传感器2和传感器3）的不同测量精度，为测量值添加不同程度的测量噪声干扰，从而得到大致符合相应传感器测量特性的测量值。

为实现控制功能，完全没有必要对传感器进行数学建模。在此假定无人直升机姿态测量的系统噪声服从高斯分

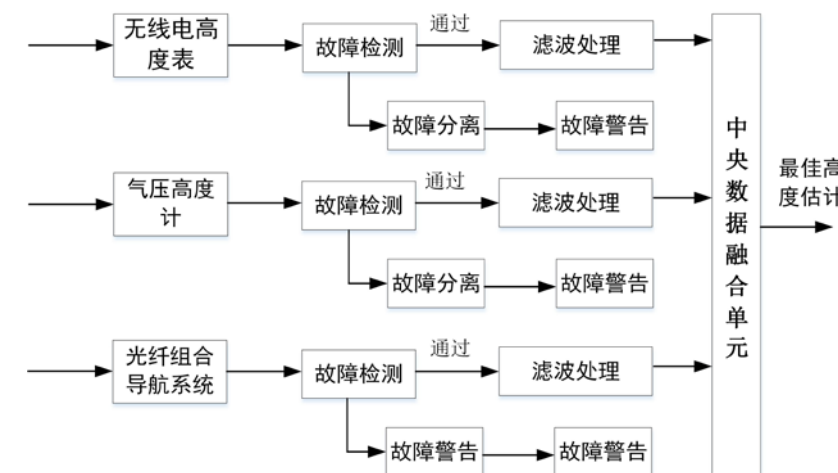


图5 双天线GPS接收机故障下高度数据融合过程图。

布，为式（10）中的 w 。

$$w \sim N(0, 0.01^2) \quad (10)$$

传感器对系统状态进行测量，因此假定组合导航系统1、组合导航系统2和MEMS惯导单元的测量噪声分别为式（11）中的 v_1 、 v_2 、 v_3 。

$$\begin{aligned} v_1 &= 0.1w + \eta_1, \eta_1 \sim N(0, 0.01) \\ v_2 &= 0.1w + \eta_2, \eta_2 \sim N(0, 0.4) \\ v_3 &= 0.1w + \eta_3, \eta_3 \sim N(0, 1) \end{aligned} \quad (11)$$

其中， η_1 、 η_2 、 η_3 为组合导航系统1、组合导航系统2和MEMS惯导单元的自噪声。

无人直升机的横滚角和俯仰角在控制过程中会被限幅，幅值因不同机型而异，一般不超过 30° 。当无人直升机执行一般任务时，横滚角和俯仰角的动作范围比安全限幅小得多。本文利用仿真实验，将3个传感器对无人直升机横滚角和俯仰角的测量结果进行对比。仿真实验截取的飞行过程如下所述：

0~5s时，无人直升机横滚角保持为 0° 。

5~5.1s时，飞行控制程序迅速对无人直升机姿态进行控制，使无人直升机横滚角达到 -0.8° 位置，并 -0.8° 该横滚角保持到15s的时刻。

15~15.1s时，飞行控制程序迅速改变横滚角，使无人直升机横滚角达到 1.8° 的位置，并让 1.8° 横滚角保持到20s的时刻。

实际上，该段飞行过程是无人直升机姿态微调的一个过程。测量通道本身存在一个峰值不大的噪声，但由于横滚角和俯仰角的动作范围较小，低噪声对测量结果造成比较大的负面影响。仅从传感器的测量结果看，横滚角呈现了先减小后增大的变化趋势，但是该测量结果只显示为一个定性的过程。在该段飞行过程中，传感器的实际测量值无法准确描述无人直升机的姿态。

按照该段飞行过程的控制要求，无人直升机的俯仰角保持为 1° ，不会变化。同时，从传感器的测量值可以大致测量到俯仰角没有发生很大变化，但传感器的测量值却表现出频繁的“跳动”。这

种“跳动”由两个原因引起，一是无人直升机在飞行过程中，其机身振动对姿态测量造成一定的影响，且该影响无法消除；二是俯仰角的动作范围较小，即使是较小的测量噪声也会对测量结果造成比较明显的影响。

显然，由于动作范围不同（横滚角和俯仰角的动作范围较小，本文假定动作范围为 $-10^{\circ} \sim 10^{\circ}$ ），峰值不大的测量噪声会对测量结果的相对精度造成很大影响。

无传感器故障下姿态数据融合

（1）测量数据滤波处理

为更准确地描述无人直升机的飞行姿态，本节首先对无人直升机姿态角的测量结果进行滤波处理。

无传感器故障下的传感器数据经滤波处理后，再进行基于协方差交叉算法的数据融合。传感器的理想测量值是无测量噪声下的测量数据，即状态变量的真实值。传感器测量的理想值与控制目标的理想值不同。

仿真实验采集了2000组无人直升机的姿态数据，然后对横滚角和俯仰角的测量结果进行滤波处理，滤波处理后的传感器测量结果对姿态角真实值的逼

近程度得到显著提高。

传感器2、传感器3在一定程度上可实现对无人直升机横滚角和俯仰角的跟踪。经滤波处理后的测量结果大致呈现为一条围绕姿态角真值上下波动的曲线。该曲线的波动状态取决于测量噪声的具体情况，数据不作呈列。由分析数据可知，卡尔曼滤波处理能有效减小测量通道噪声对测量结果产生的负面影响。

由俯仰角的滤波效果可见，经滤波处理后的测量结果并不总是围绕真值上下波动。比如，俯仰角的测量数据经卡尔曼滤波算法处理后，俯仰角的测量结果表现为整体上，并与真值之间有固定的正偏移或者负偏移。正如前文所述，这种偏移量完全由测量噪声的性质决定，在实际工程中不可避免且无法消除。

（2）无传感器故障下姿态数据融合

当3个传感器正常工作时，其测量结果经数据融合后，可得出无人直升机的最优姿态估计值。仿真实验结果表明，无故障状态下无人直升机姿态数据融合能在一定程度上提高横滚角的测量精度。

同样，当传感器1、传感器2和传感器3均正常工作时，这3个传感器可

提供俯仰角数据。总体而言，数据融合结果与系统的真实值更接近，这说明数据融合在一定程度上能提高俯仰角的测量精度。

（3）单传感器故障下姿态数据融合

本文对无人直升机姿态角的测量结果进行滤波处理，并对无人直升机单传感器故障状态下的传感器数据进行滤波处理，然后进行基于协方差交叉算法的数据融合。由姿态数据融合结果分析可知，这种数据融合方法也能有效降低传感器切换引发的数据缺失或瞬态带来的影响。

结论

本文对基于分布式卡尔曼滤波的无人直升机传感器数据融合算法进行研究，以无人直升机位置、地速与高度传感器信号为例，设计数据融合策略，并以姿态传感器信号为例，对姿态数据融合进行仿真实验。仿真实验结果表明，数据融合结果比单传感器的滤波处理更为精确，也能降低传感器切换引发的数据缺失或瞬态带来的影响。本文研究的无人直升机传感器容错控制技术具有重要的参考意义，待进一步实物验证试验后，或可引入无人直升机飞行管理算法，提升无人直升机的可靠性。 ■



中航出版传媒有限责任公司
CHINA AVIATION PUBLISHING & MEDIA CO., LTD.

中航出版传媒有限责任公司（简称中航传媒）成立于2011年，是航空工业集团航空文化板块下，以图书、期刊、电子音像和网络的编辑出版为依托，集出版服务、知识服务、教育服务、文化服务、会议与展览、信息在线、文创开发、设计制作印刷、公关与品牌推广等增值服务为一体，以传播航空文化，服务航空主业，开拓文化市场为使命愿景的专业化航空文化企业。

地址：北京市朝阳区京顺路5号曙光大厦C座4层
邮编：100028

电话：010-85672509
传真：010-85672500

www.aviationnow.com.cn 搜索

CA110

航空活塞发动机

- ✓ 供油方式：膜片式化油器
- ✓ 冷却方式：水冷
- ✓ 高可靠性：TBO时间300小时
- ✓ 高稳定性：采用水平对置双缸设计，振动小
- ✓ 高便捷性：无繁琐电路接线，拆卸发动机快捷
- ✓ 高功重比：轻量化设计，新材料、新工艺，
整机干重14.5kg，最大功率20kW@6800r/min，
功重比1.45kW/kg
- ✓ 适配机型：无人机、动力伞、多旋翼、油电混合、
消防水泵等



可根据客户需求进行定制开发

更多明星产品

C20F：最大功率20kW、风冷

C115HT：最大功率84.5kW、缸头水冷&缸体风冷

C145HT：最大功率105kW、全水冷、功重比1.31kW/kg

变距螺旋桨：电动变距、10000m使用升限



C20F



C115HT



C145HT



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。