

Papers from
**China Unmanned Aircraft Systems
Summit 2015**

2015中国无人机系统峰会 论文集

张传超 主编

航空工业出版社

2015 中国无人机系统 峰会论文集

Papers from China Unmanned Aircraft Systems Summit 2015

张传超 主编

航空工业出版社
北京

内 容 提 要

本书收录了2015中国无人机系统峰会征集的76篇论文,其主要内容涉及无人机设计与技术、制导与控制、推进技术、通信与数据链、任务载荷、系统与设备、发射与回收等。同时,也围绕无人机的发展、作战使用、新型号进展、民用无人机的标准及法规、空域管理等内容进行了探讨。

本论文集理论研究与技术兼备,内容丰富,技术范围广,可供无人机研究使用相关人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

2015中国无人机系统峰会论文集/张传超主编. --

北京:航空工业出版社,2015.9

ISBN 978-7-5165-0877-0

I. ①2… II. ①张… III. ①无人驾驶飞机—文集

IV. ①V279-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第218465号

2015中国无人机系统峰会论文集

2015 Zhongguo Wurenji Xitong Fenghui Lunwenji

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑2号院 100012)

发行部电话:010-84936597 010-84936343

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2015年9月第1版

2015年9月第1次印刷

开本:889×1194 1/16

印张:31.25

字数:1064千字

印数:1—500

定价:398.00元

2015中国无人机系统峰会
China Unmanned Aircraft Systems Summit 2015



特别鸣谢

飞行自动控制研究所
上海优伟斯智能系统有限公司
中国人民解放军防空兵学院无人机研究中心
中国人民解放军国防科学技术大学机电工程与自动化学院
中国人民解放军总参谋部第六十研究所
中国电子科技集团公司无人机系统研发中心（中国电子科技集团公司第二十七研究所）
中国电子科技集团公司第十研究所
中国电子科技集团公司第二十九研究所
中国电子科技集团公司第五十四研究所
中国直升机设计研究所
中国空间技术研究院西安分院
中国空间技术研究院航天恒星科技有限公司（503所）
中国科学院长春光学精密机械与物理研究所
中国科学院沈阳自动化研究所
中国航天电子技术研究院
中国航天空气动力技术研究院
中国航天科工集团公司第三研究院
中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所
中国船舶工业系统工程研究院
中航工业导弹院凯迈（洛阳）测控有限公司
天津全华时代航天科技发展有限公司
北京必威易低空空间技术有限公司
北京空间机电研究所
北京航空航天大学无人驾驶飞行器设计研究所
北京理工大学无人飞行器自主控制研究所
西北工业大学第三六五研究所（西安爱生技术集团公司）
西安应用光学研究所
西安现代控制技术研究所
西南技术物理研究所
成都飞机工业集团有限责任公司
成都飞机设计研究所
沈阳飞机设计研究所
青岛宏百川金属精密制品有限公司
贵航飞机设计研究所
南京航空航天大学无人机研究院
洪都航空工业集团有限责任公司
珠海星宇航空技术有限公司

首届民用无人机系统管理研究论坛暨 2015 中国无人机系统峰会

主题：低空空域开放与无人机的发展

组 织 机 构

主 办 单 位：中国航空工业发展研究中心

中航出版传媒有限责任公司

联合主办单位：无人机系统国家工程研究中心（西北工业大学第三六五研究所）

无人机特种技术国防科技重点实验室

中国航空学会无人机与微型飞行器专业委员会

支 持 单 位：浙江省安吉县人民政府

组 委 会

主	任	殷云浩	刘 柱				
委	员	丁亚林	万里青	王小鹏	王田苗	王诗奎	王凭慧
		王 政	王俊彪	史平彦	史克录	权 军	朱华勇
		朱鸿翔	刘志敏	齐俊桐	向锦武	张 弘	张永科
		张红文	张宏军	张涪生	陈 严	吴忠泽	宋科璞
		李 锋	李 强	李新军	何清华	肖超福	杨 军
		郑 辛	周坚鑫	岳 涛	昂海松	柯玉宝	赵国成
		胡延霖	洪 蛟	姜道安	徐 丰	徐文坚	高文坤
		聂海涛	浦黄忠	都基焱	秦 渝	晏 磊	龚文基
		韩玉辉	蒋武根	程福波	樊邦奎		

技 术 顾 问 吴 强

目 录

1 发展纵横

1. 第六代无人作战飞机系统探索	李 诗	王大勇 (3)
2. 欧以大型攻击无人机介绍	徐茜萍 薛槐敏	陈小红 (11)
3. 美国大型攻击无人机及其发展趋势	薛槐敏 陈小红	徐茜萍 (20)
4. 美军无人系统一体化路线图	严蒂宝 沈玉芳 徐茜萍	魏 嘉 (27)
5. 从最快的超声速侦察机 SR - 71 到高超声速无人机 SR - 72	郭宇辰	昂海松 (42)
6. 阿联酋“联合 40”无人机解析	秦 荀	李勇军 (48)
7. 美军 X - 47B 无人战机的发展与技术动态		王壬林 (53)
8. 涵道式无人飞行器的发展、应用及若干关键技术概述	马存旺	吴伟伟 (66)
9. 技术创新在 X - 47B 无人作战飞机研制中的应用研究	李 志	张子军 (78)
10. 军用无人机的发展	熊洪睿 余长贵 谢紫龙	熊 睿 (84)
11. 研发预警无人航空器势在必行		林一平 (89)
12. 美军无人机实战化训练的主要做法	杨森斌 葛 琳	许钦美 (101)
13. 无人机操控员培训问题研究与实践	孙宏岩 张浩然	郁大照 (104)
14. 美国海军无人机发展现状及趋势分析		陈柱文 (107)
15. RQ - 180 高端无人机跟踪研究		钟 滔 (112)
16. 无人机集群技术及研究进展	黄贞静 马洁萍	陈传琪 (117)
17. 利用无人驾驶技术提高民机安全性研究	陈 黎	薛建华 (125)
18. 英国“恶魔”无人验证机及射流飞控技术发展分析		陈 黎 (131)

2 作战使用

19. 无人机飞行员探讨	杨世军	王大勇 (137)
20. 国外无人机保障情况及思考	郑勇峰 王大勇	宋艳平 (144)
21. 直升机载空空导弹实弹射击训练的拖靶系统设计	周永升 叶永林 陶文强	王小强 (152)
22. 电子战无人机作战样式及其关键技术	高书亮 黄 斌	张 钧 (155)
23. 反无人机技术研究现状和发展趋势	王潇一	薛建华 (160)
24. 无人系统协同决策技术研究的复杂性	乔体洲 李亚威 李 振 李 峤	李 寅 (170)

3 设计与技术

25. 基于风洞试验的自由翼无人机设计与优化	陆天成 郑祥明	李琳恺 (177)
26. 基于桨发匹配理论的涡桨飞机巡航性能优化方法		金 曦 (185)
27. 智能无人机关键技术	李富强 薛槐敏 冉思诗	秦 荀 (193)
28. 多余度可配置虚拟计算机系统研究与实现	伍良才 王 喆 姜 强	杨晓梅 (197)
29. 一种无人机尾舵结构的分析与试验	焦志文 姜年朝 王克选 范汪明 张 逊	张大庆 (202)

30. 某小型无人直升机 Hiller 伺服小翼配重杆断裂故障分析
..... 徐艳楠 姜年朝 张 逊 张大庆 王德鑫 周福亮 胡晓晨 (208)
31. 一种无人机前舱用玻璃的力学性能试验
..... 王婷婷 姜年朝 张 逊 张大庆 李成友 路林华 胡晓晨 (216)
32. 一种无人直升机复合材料旋翼桨叶载荷实测技术
..... 宋 军 姜年朝 张 逊 戴 勇 张志清 张大庆 (221)
33. 基于主要战技指标的无人机系统采购成本快速估算方法研究 彭宁生 (225)
34. 某无人机机身局部流动分离对其航向静稳定性的影响研究
..... 万 欢 方安石 陈召涛 洪剑锋 (232)
35. 变体太阳能无人机特点与设计 陈 健 武明建 昂海松 (237)
36. 促成无人机常态空域飞行的两类技术 高 萍 王古常 吴一波 宫海龙 梁少军 (242)
37. 海用无人机机体结构设计技术研究 吴佳凯 丁继强 严 岩 陈 刚 (247)
38. 升浮一体飞行器气动布局设计与分析 苏杰超 王 华 (250)
39. 扑翼飞行器扑动滑翔翼型的选择 薛 栋 宋笔锋 杨文青 (257)
40. 人系综合 (HSI) 技术在无人机系统中的应用前景分析 史校川 王春生 苏 多 (261)
41. 基于有限元及试验技术的某型无人机模态分析 吴继斌 宋 军 姜年朝 (268)
42. 一种微型扑翼飞行器的扑动/滑翔复合飞行策略 钟京洋 宋笔锋 杨文青 (272)
43. 无人机螺旋桨设计技术研究 刘亚枫 王 超 曾 鹏 陆方舟 司 亮 马祥森 (277)
44. 一种快速的 RGB-D 物体识别与位置估计方法 江济良 胡 琦 杨东伟 葛贤志 (283)
45. 多旋翼飞行器螺旋桨快速拆装机构设计技术研究 王宣博 王 威 张 钦 (290)
46. 管窥无人机复合材料结构低成本制造技术 刘亚威 (295)
47. 一种进口复合材料主起落架支柱的国产化研究 王维陶 吴琴峰 (300)
48. 某型无人机泡沫夹层复合材料机翼的设计改进 吉海明 张 微 路 梅 (309)
49. 靶弹无人机飞控系统设计与半实物仿真 陈 建 白 辰 易 科 任 章 (314)

4 制导与控制

50. 基于虚拟技术的飞控系统试验平台 王文杰 杨 坤 姜 强 伍良才 王 喆 陆 鹏 (323)
51. 基于小波的无人机磁航向系统数据处理方法 刘育浩 张兴宇 张 苇 周 波 (332)
52. 四旋翼飞行器姿态控制半实物仿真 金绍港 潘崇煜 张代兵 沈林成 (337)
53. 无人机无源定位技术应用与研究 苏连栋 (343)
54. 飞翼布局无人机姿态回路自抗扰控制技术研究 孟祥瑞 马洪忠 (348)
55. 国外无人机“感知与规避”系统应用与关键技术 段 云 (356)
56. 某后推式全动平尾电动手抛无人机的定高控制设计 马云飞 (361)
57. 无人机半捷联红外侦察平台制导信息估计研究 易 科 陈 建 任 章 (366)

5 推进技术

58. 某无人机用涡喷发动机 ECU 热仿真分析及试验验证
..... 刘 达 姜年朝 张 逊 唐军军 徐艳楠 宋 军 (379)

6 系统和设备

59. 军用无人机控制站操作系统 秦成军 (387)

60. “全球鹰”无人机的敏捷保障系统	徐 舸	徐勤建 (394)
61. 无人机系统的故障预测与健康管理	徐 舸	徐勤建 (397)

7 民用无人机

62. 新型多旋翼无人机完成地球物理磁法探测	周 帅	于显利	焦 健	董志岩 (403)
63. 面向民用无人机的低空空域监视系统研究	樊国玮	肖后飞	王 云 (407)	
64. 民用无人机系统产业技术标准联盟的组织结构及运作机制研究				何志凯 (412)
65. 民用无人机系统分类和分级标准研究	曾 佳	舒振杰 (417)		
66. 民用无人机系统管理标准需求	林志昆	舒振杰	曾 佳 (421)	
67. 欧洲民用无人机系统适航管理问题研究	张泽京	张曙光 (424)		
68. 民用无人机空中避撞位置报告技术研究	朱铁林	张志芳	杨 晨 (432)	
69. 美国为无人机融入国家空域积极做准备	张宝珍	谷全祥 (438)		
70. 新型民用无人机的发展及技术分析	马洁萍	秦惟翀	陈传琪 (442)	
71. 无人机测绘的应用及前景分析	张 帅	王 勇	张 鹏 (447)	

8 任务载荷

72. 基于统计特性的无人机传感器信号冗余度管理算法	蔡亚男	吴永亮	刘盛川	陈小平 (457)
73. 无人机载合成孔径雷达发展研究	李 聪	毛登森 (464)		
74. 无人机载武器系统发展现状及趋势			王玉婷 (469)	

9 发射和回收

75. 中空长航时无人机海上发射与回收方式初探	袁 成	谷全祥 (477)
-------------------------------	-----	-----------

10 通信及数据链

76. 美国军用无人系统通信技术发展趋势	秦惟翀	马洁萍	陈传琪 (487)
----------------------------	-----	-----	-----------

1 发展纵横

第六代无人作战飞机系统探索

李 诗 王大勇

(中航工业成都飞机设计研究所)

摘 要：无人作战飞机系统的发展已进入第六代，本文分析了未来的战争对第六代无人作战飞机的需求和新技术发展趋势对第六代无人作战飞机的驱动因素，提出了第六代无人作战飞机系统的技术特征和可能的发展方向。

关键词：无人作战飞机系统；第六代；新技术；发展

引言

1903 年，莱特兄弟驾着他们原始的“飞行者”号双翼机飞过北卡罗来纳州基蒂霍克的沙丘，标志着动力飞机的诞生。1917 年，皮特·库珀和埃尔默·A. 斯佩里发明了第一台自动陀螺稳定仪，美国海军采用了这一新技术，将他们的一架柯蒂斯 N-9 式教练机改装成了世界上第一架无人飞行载具（UAV）——“空中鱼雷”飞机，这是世界上诞生的第一架动力飞行的无人作战飞机。

无人作战飞机从诞生到现在，经历了靶机、诱饵机、侦察机、攻击机等发展阶段，随着现代战争越来越大的需求牵引，无人作战飞机系统正在向下一代发展。

1 无人作战飞机系统的划代

有人作战飞机的划代标准，从美国的“四代论”和俄罗斯的“五代论”，发展到目前逐渐趋同的“五代论”，基本走向统一，即每一代之间以明显优于上一代的技术特征或能力要素为标准。当今无人作战飞机发展空前繁荣，无人作战飞机系统目前尚未形成统一的划代标准，参照有人作战飞机的模式，如果以技术特征或能力要素来看，大致也可以划分为五代，见表 1。

表 1 无人作战飞机系统划代表

划代	时期	关键词	技术特征/能力要素	代表机型
第一代	20 世纪 50 年代以前	改装靶机	大多使用退役的战斗机改装为靶机使用	“蜂后”
第二代	50—70 年代	专门设计；喷气动力	专门设计的侦察类无人机，开始使用喷气式动力	“火蜂”
第三代	80 年代	实时传输	实现侦察和诱饵功能，并实现实时数据传输	“侦察兵”“猛犬”
第四代	90 年代	无人作战；飞机系统	大量采用先进的材料、电子、通信和发动机等技术，实现全天候长航时侦察和打击功能，系统复杂，可与有人机媲美	“捕食者” “全球鹰”
第五代	2010 年至今	高智能； 协同	智能化程度进一步提高，高隐身、高机动，融入整个信息系统，与有人机协同作战，压制/摧毁敌防空和纵深打击，是作战系统中的重要节点	X-47B

2 第六代无人作战飞机系统的探索

随着美国、俄罗斯和中国第五代战斗机的相继出现，关于第六代战斗机的猜想就一直持续着，而这其中关于第六代战斗机是有人机还是无人机也一直是热点话题，俄罗斯苏霍伊公司总经理米哈伊尔·波戈相就曾在 2008 年 7 月的英国范堡罗航展上宣称，俄罗斯第六代战斗机将是无人驾驶的。抛开争议，随着

战争需求的提升和新技术的发展,第五代无人作战飞机系统显然无法满足各国对于未来无人作战飞机系统的设想,因此,第六代无人作战飞机系统一定会出现。那么,人们对于第六代无人作战飞机都有哪些主要设想?第六代无人作战飞机会出现在什么时候?又会具有哪些明显区别于第五代无人作战飞机系统的技术特征或能力要素呢?针对这些问题,本文归纳了未来战争对于第六代无人作战飞机系统性能的主要需求,以及当今相关新技术的发展情况,并对未来第六代无人作战飞机系统所要具备的技术特征和能力要素,以及其发展趋势进行初略的探讨。

2.1 战争需求

战争实际就是攻和守的艺术。现代战争与传统战争相比,在攻守两端都发生了巨大的变化。从“攻”方来看,核战争或者世界战争的可能性越来越小,常规武器局部战争摩擦越来越多。其中,空中力量的发展尤其迅速,已经从支援陆军作战到进行战略性常规作战行动阶段。纵观海湾战争、沙漠之狐、科索沃战争和利比亚战争等近代几大局部战争,其形式都是以巡航导弹为开路先锋,以空中力量为主力,形成陆、海、空、天、电磁五维一体化体系作战。而这个体系中,空中侦察、目标选定及分配、战场监视与控制以及精确打击4个环节至关重要,这正是无人作战飞机最擅长的领域。从“守”方来看,获取战争胜利的关键在战前,平时对周边区域的监视侦察、情报搜集是战时夺取制空权、抢占有利位置的保障。尤其是我国所处的环境,与周边某些在美国等支持下的国家存在领土和海洋权益争议,在不能直接冲突的情况下,如果我们能不间断地对美方的军事动向进行监视,将对战争起到重大的作用,而担负这样的任务也是无人作战飞机最擅长的领域。

纵观无人作战飞机系统发展的历史,可以说现代战争是推动无人作战飞机系统发展的动力,而无人作战飞机系统对现代战争的影响也越来越大。1982年,贝卡谷地之战,以色列利用“猛犬”无人作战飞机安装角雷达反射器假冒战斗机,毫不费力地找到了叙军雷达位置和发射频谱,摧毁了叙利亚79架飞机和19个地空导弹阵地;20世纪90年代,海湾战争以及科索沃战争,美、英、法、德、加拿大和以色列等多国无人机参战,成功地完成了目标搜索定位、战场警戒、打击效果评估、电子干扰、气象资料搜集、散发传单以及营救飞行员等任务;阿富汗战争,美国空军组建了包括258架“捕食者”和“死神”无人机在内的空中战斗巡逻队,开启了无人机的攻击作战模式,其中,“捕食者”无人机成功地对塔利班头目乘坐的越野车进行了袭击;伊拉克战争,大批无人作战飞机被派到战场前线,首次实现了“全球鹰”与F/A-18有人机的联合作战;2011年,利比亚战争,美军战机实施的397次打击,其中145次由“捕食者”无人机完成,等等。

然而,随着现今新型材料、新型能源的诞生以及信息化、智能化的高速发展,未来战争与传统战争将会有很大的差别。美国相关学者认为,未来战争的特点包括:快速高效,首战就必须具有绝对优势兵力,一战即胜;空中力量成为战争主角,空天地一体化成为战争的主要模式;远距离非接触式精确打击成为趋势等,美国甚至推出了全球快速打击计划,致力于具备实现1~2h内对全球任何地点实施定点打击的能力。俄罗斯相关学者认为未来战争的特点包括:高精度远程打击式的非接触作战形态;以破坏敌方信息链为目标的电子战贯穿战争始末;战场将从传统领域发展到太空;核武器受到抑制等。可以看出,我们面对的未来战争局势异常复杂:高度智能化、高度自动化、信息全面化、武器精确化、攻击远程化、手段多样化、空天地一体化等。面对这些变化,现今的武器装备将会毫无抵御能力。例如针对空天战,研发的临近空间作战飞机马赫数将达到6且飞行高度高,传统的预警手段已经很难对其进行及时预警。面对未来战争,我们需要更强生存力、更强攻击性、更高机动性、更高智能化的武器装备,毫无疑问,先进的新一代无人作战飞机将占据一个非常重要的席位。而作为未来武器发展的重点之一,本文认为未来战争对无人作战飞机的需求至少包含以下几个方面。

2.1.1 体系作战能力需求

未来的战争必定是一场陆、海、空、天多维空间整体体系对抗战争,这就迫切需要第六代无人作战飞机系统具备体系作战的能力,即通过自身强机动性、低成本、高隐身性、无人员风险等优势,与航母等海上力量、有人作战飞机等空天力量、地面武器装备系统等地面力量高度协同,结合人的智慧和综合判断,形成有机高效的作战整体,完成复杂的作战任务。

体系作战的概念在第五代有人/无人作战飞机上就已经提出,在体系作战中,对无人作战飞机单机多功能一体化的需求将减弱,更多地需要其在某一个方面具有特别突出的功能。例如,目前发展的察打一体无人机是将探测、跟踪、识别、打击进行了一体化设计,这种无人作战飞机仅仅适用于目前非传统领域的作战,而在未来的战争中,这种一体化发展趋势将转变为专业化发展,实现多机联合作战、协同作战。

体系作战模式对无人作战飞机系统提出了新的需求,包括:在有人机、地面控制站以及其他控制节点间的控制权切换;对于意外情况的快速响应;对于敌我目标的准确识别;保持各协同作战装备的时空一致性;确保高效安全的通信链路,保证各装备信息共享和指令传输;高效灵活的人机接口,确保人员做出及时干涉调整;一定程度的自主响应能力等。

2.1.2 信息化能力需求

战争决策的前提是大量信息的获取与识别,因此未来战争一定是信息化的战争。美国空军作为信息化作战的主导者,一直以来注重发展信息制衡优势,并把它作为打赢非对称作战的重要手段。美国《国防》杂志 2011 年在提到美军在未来战争中需要的 10 种技术时,将随时随地保持通信顺畅和广阔地域的不间断监视能力作为其中两项重要需求,这实际上就是信息化能力的需求。未来战争的一大特点就是强调点穴式和外科手术式的远程精确打击,而这个特点的实现也主要依赖于信息。全面掌握战争中各种信息的优势在于:可以实现先发制敌,占据战争优势;可以形成信息—指挥—攻击系统,大大缩短从目标发现、指令发出到目标摧毁的时间;还能给未来高精度远程打击提供高效的信息支撑等。

对于新一代无人作战飞机系统信息化能力的需求包括信息的获取、传输、识别、互通和安全等,综合起来包括以下几个方面:具备搭载适应强电子干扰环境的情报、监视和侦察设备的能力;具备在广阔地域的超高空、长续航、全天候的连续侦察和监视能力;面对未来大量的信息,具备自动完成信息识别、处理和归纳的能力;具备高效精确的快速通信能力;具备高隐身和高生存能力;具备低探测性、低拦截性、抗干扰、灵活的无线电频率、激光链路和猝发通信等技术,等等。

2.1.3 非接触、高精度和空天一体化作战能力需求

《战争论》的作者克劳塞维茨曾经说过:“每个时代都有它自己的特殊的战争样式。”未来战争与传统战争不同,主要区别有以下三个方面:一是空天战将是战争的主要样式,太空将成为新的主战场,战争中将使用空军、海军、空天力量以及信息作战部队实施空中—太空作战行动;二是精确制导武器或基于新概念的武器将成为战争主角,它射程远、精度高,能够首发命中洲际距离内的各种小型点状目标,且毁伤率接近 100%,并且这种高精度武器将不会造成生态灾难,没有合法与不合法的问题,这将完全改变第六代战争的性质;三是未来战争将是非接触战争,将不再是运用大量坦克、战斗机、战舰,甚至核武器造成大规模毁伤的正面交战,取而代之的是以信息化能力为基础,在精确的情报指导下,在防区外利用新概念武器,对全球定点目标实施远程突击式精确打击。这种打击模式必须将各侦察、控制、保障、制导等武器系统密切协调,置于全球坐标体系中,进行攻击力量和防御力量的统一指挥部署。由于战争对推动无人作战飞机发展起着关键性的作用,而未来战争的作战模式与传统战争有着很大的区别,现有的无人机作战系统已经难以满足未来战争的需求,因此,对未来第六代无人作战飞机系统提出了新的需求:在效益、效率、经济性、通用性、互操作性、集成等方面满足空天作战需求;在不影响通信链路和侦察能力的基础上,具备携带和发射新概念武器的能力;具备发射新概念武器的动力来源;具备抵御自身新概念武器干扰的能力;具备完善的战场感知能力;具备与其他武器系统协同作战的能力;具备掌握信息优势的能力等。

2.1.4 预防战争的需求

和平永远是弥足珍贵的,战争的需求还包括预防战争发生的需求。随着美国把未来战争的头号目标从中东转向以中国为重点目标的亚太地区,中国所面临的局势日益紧迫。我们没有能力像美国那样按照自己的需要去发展战略武器、塑造战略环境,更不可能是美国的盟国,因此,就得先考虑如何应对美国威胁。无人作战飞机系统作为未来战争体系中的重要节点,在预防战争发生方面可以起到举足轻重的作用。利用无人作战飞机高度发达灵活的信息获取、控制、使用技术,使其能随时准确播报对方作战单元的动向,提前达到信息不对称,就可以对敌方构成威胁恐吓的作用,从而对预防战争发生发挥作用。

2.2 新技术发展的趋势

科学技术是推动力,在 20 世纪 80 年代后,微电子、光电子、微米/纳米与微机电系统、计算机与信

息处理、隐身、新材料等高技术的迅猛发展,为无人作战飞机性能的大幅度提高奠定了坚实的基础,为无人作战飞机的发展创造了必要的条件。但第五代无人机的技术和理念很大部分仍是从有人机的角度去实现的,很多东西都是在借鉴有人机的经验。可以说从第六代无人作战飞机开始,我们才真正进入了无人作战飞机的设计领域,这必将带来诸多新技术的发展。

2.2.1 影响飞行器发展的几项通用技术

动力、能源、材料、隐身等通用技术的发展是飞行器发展永恒的驱动力。

动力的发展主要有两个方向:其一,是在传统的涡轮动力基础上,进一步提高其可用性,如进一步突破变循环发动机技术,实现真正的自适应,实现发动机热力循环参数的实时调节,又如美军正在研制的高效嵌入式涡轮发动机,其具有比当前最先进技术还高两倍的增压比,可提高辅助动力系统在高海拔、长航时飞行中的耐受性;其二,是非传统动力的进一步研究和应用,开发新形式的动力系统,如太阳能和混合动力系统、超燃冲压式动力系统、电动机动力系统等。

能源方面,在传统能源领域,将逐步摆脱对石油的依赖,采用生物燃料技术等,实现清洁能源和多元化渠道生产能力;在新能源领域,太阳能电池技术、光电转换技术、电能存储技术,以及对电子束能、燃料电池、同位素核电池等的研究,都在提高能源清洁度的同时,给未来无人作战飞机的能源供给提供了多样化的选择。

材料是未来新一代无人作战飞行系统发展的基础性关键支撑,任何一项材料技术的突破都可能带来革命性的变化。美国空军研究实验室正在试验一种密度比钢轻 75%、比铝轻 33%,但强度与钢相当的高强度、耐高温新型航空材料,这种材料可能使得下一代无人作战飞机能够有效突破热障;有一种转基因生物聚合物材料,该材料的张力是钢的两倍,密度比碳混合物轻 25%,这种材料能使飞机蒙皮的反射最小,降低被发现的概率,提高隐身性能;还有一种负折射率材料,又称“左手材料”(LHM),它是一种新型人工材料,可以有效实现无人作战飞机的隐身;还有自我修复式材料——嵌入式“胶水”微型胶囊制造合金以及综合性能更优的第三代铝锂合金材料等。

隐身技术的发展目前主要分为两个方向:其一,是传统隐身方式的不断精进,如采用更具隐身特点的飞机平台设计,在飞机的声、热、光和通信信号方面,降低其可探测性;其二,是新体制隐身技术的不断开发,如更换机体材料,采用“左手材料”等具有隐身性能的特殊材料,又如在机体内放置等离子发生器或在机体表面覆盖某种放射性物质,使得飞机表面附近的局部空间电离,形成能吸收雷达波的等离子体,再如研究者们正在研究的采用基于仿生技术的新的隐身机制等。随着隐身技术的发展,下一代无人作战飞机的隐身性能将向全向、宽/全频谱方向拓展,形成跨代优势。

在第六代无人作战飞机中,如果这几项通用技术没有长足发展,就只能称作五代机改,而不能称之为六代机,这几项通用技术的发展为新一代无人作战飞机的诞生奠定了技术基础。

2.2.2 自主能力的发展——最高效率的任务规划和决策

自主能力是无人作战飞机系统的核心能力。自主能力的发展取决于两项关键因素:计算机的发展使得复杂活动的实现成为可能;人类对复杂事情的认识达到可提取的结构化、模型化的程度。严格意义上说,目前存在的无人作战飞机系统基本都只能称作自动控制,而要真正实现自主必须教会无人作战飞机实现自我管理。未来不管是传感器的发展、计算机的发展,还是控制算法的发展等都会有长足进步,自动控制的程度将越来越高,从而趋向自主的需求,且目标自动识别、自动驾驶等机载人工智能技术,飞行员辅助决策系统等的实现,使得无人作战飞机可自主规划实施任务,且能与其他系统自主协同作战,从而减少对于指挥操作员的依赖,使人员从繁琐而非关键性的工作中解放出来,实现对整体作战局势的把握和决策,实现最高效能作战。此时自主能力的水平高低决定于是否制定了最高效率的任务规划和应急情况下的自动决策能力。

2.2.3 系统由综合设计走向融合设计

第五代飞机中系统已经进行了高度的综合设计,但由于生产关系和大系统复杂设计能力不足等原因,各系统之间仍然设置了诸多壁垒,只实现了相似系统间的综合设计。随着技术的发展,打破障碍从综合设计走向系统间融合设计成为必然,尤其是无人作战飞机系统中飞控系统和航电系统的融合是必由之路。另

外,传统的机电综合控制,甚至动力系统控制都将被统一融合,这将使得无人作战飞机不再由多头控制,实现真正意义的飞机管理系统。

2.2.4 可配置模块化布局 and 系统设计

自适应飞行控制系统的发展使得未来的无人作战飞机设计可实现可配置的模块化布局设计。一套机载系统可通过更换机翼和任务载荷等模块实现一机多用,从而使得未来的无人作战飞机可以从对地、对空目标攻击变为空中格斗,由非隐身变为隐身,由低空突防变为高空长航时,由实时战术侦察变为空中预警侦察等。

另外,智能蒙皮技术的发展,也使得飞机实现智能化的可配置模块化布局设计。它可以利用智能材料检测飞行速度、温度、湿度等外界环境变化,从而驱动机翼弯曲、扭转,改变翼型和迎角,以获得最佳气动特性。

由于技术更新越来越快,在系统设计上也将出现模块化的发展趋势,传统设计中强调的系统长寿命使用需求将被可快速更新的模块化设计理念所代替。

2.2.5 空域管理技术

空域的管理具体包括导航、完整性管理、对空管命令的响应、传感器和防撞等方面。随着未来无人作战飞机系统越来越多,如何对飞行空域进行有效的管理,是未来第六代无人作战飞机发展将要面临的问题。

对于空域管理技术,目前人们进行了大量的研究探讨。例如,对于防撞技术,由于防撞的核心是“感知和被感知”以及“感知和避让”,因此如何对周围的有人机或者无人作战飞机进行准确的感知检测,是防撞技术的关键。现在一些研究是将光电图像和红外图像融合在一起;还有一些研究青睐于检测距离更远的雷达技术,其可以加装雷达信号增强设备,该设备无论是发射器还是反射器,都能根据需要进行开和关的切换;另一些研究则建议将可见光、红外、雷达传感器进行结合。又如,在制定空域管理规则上,有人提出要对无人驾驶飞机防撞、自我间隔以及间隔保障功能等进行系统性综合,从而制定出一套严格的分析方法来证实空域中无人作战飞机系统使用的安全性等。

2.2.6 无人作战飞机指挥控制系统的发展

随着未来无人作战飞机系统数量的增加和功能的增强,所需处理的信息量将会更加庞大,这对未来无人作战飞机指挥控制系统的发展带来了挑战。在软件方面,有关专家提出了将云计算引入未来无人作战飞机系统。云计算具有几乎无限的廉价存储和计算功能,能够减少终端负担,为未来无人作战飞机指挥控制系统综合智能型管理带来新的理念,使得无人作战飞机侦察监视、精确打击和综合保障等方面的能力得到全面提升。在硬件方面,当今正在研制的下一代高运算速度超级计算机,由于其依赖于先进的光学、生物化学、量子干扰交换以及分子技术等,因此将会具有更快的处理速度和更大的存储量,这给未来无人作战飞机指挥控制系统的进一步发展提供了硬件保证。

指挥控制系统发展的另一关键领域是发展标准化的互通能力。这将可以使用户在不考虑制造商、机型或者地面站的情况下,通过无人作战飞机为指挥员提供 C⁴ISR 保障。

现今操作员对于无人机系统的操纵,主要是依靠操作杆和触摸屏等物理接口,未来在控制无人作战飞机方面,通过先进的传感装置,操作员还将可以通过手势语言,甚至是自己的神经肌肉系统实施遥控,也就是说,未来的无人作战飞机控制人员将从监视飞机飞行变为对飞机本身进行飞行控制。

2.2.7 通信技术

在通信技术方面,未来对于通信技术的要求必定会越来越高,无人机系统将会搭载大量的传感系统和通信系统,通信技术的提高将是天线、收发系统、频谱、信号处理、网络系统以及激光通信等方面的全面提升。

相比于今后最好的无线电数据链,光学数据链或激光通信的数据处理速率更快,且其能耗小,孔径小,能够减轻重量的同时,还能够减少无人作战飞机的识别标志,提高安全性和抗干扰能力,因此目前得到很多研究。

另外,目前传统的电子设备未来可能将会被光纤设备取代。这是因为采用多通道光纤总线,机上的连

接线会更少,负载更轻;光纤可以使用不同的波长完成不同的工作,能够更快地传输大量数据;光纤抗干扰能力强,不易受到网络攻击,更具有安全性等。

2.2.8 新的载荷与传感器融合技术

由于无人作战飞机的武器舱和武器很小,为了保证有效完成任务,无人作战飞机挂载的武器就必须具有很高的致命性。近年来,对于小型化机载定向高能武器有很多研究,它可以在瞬间产生巨大的能量,发射高能激光束、粒子束和微波束等,对目标实施精确打击。例如,机载激光武器,它体积小、能量高,只需利用电能通过各种固态介质就可产生激光,形成源源不断的火力,保持持续的空中作战能力。但是,携带发射这种高能武器需要提供兆瓦一级的能量来源,对无人作战飞机动力系统提出了更高要求,这是未来发展第六代无人作战飞机需要解决的问题。

传感器融合技术就是将雷达与红外传感器、光电系统、激光系统以及其他非射频传感器融合在一起,以最佳方式将来自各传感器的数据综合到一个协同信息库中,形成一个多功能、多频谱的综合探测系统,这样可以扩大传感器的时空覆盖范围,增加传感器综合系统的置信度等,传感器融合技术可以使得无人作战飞机系统对战场态势的全面感知能力得到极大的提高。传感器的融合将使得我们得到的不再是简单的仪表或者数字参数,它能直接提供我们所需的信息,而不需要人员再进行一次参数辨识。

2.3 第六代无人作战飞机系统的探索与展望

2.3.1 出现时间

目前,世界仍不太平,战争的威胁随时存在。无论是战争的需求还是新技术的发展,都表明第六代无人作战飞机的研制很快就会提上日程。从美军发布的各版无人作战飞机系统发展路线图来看,影响第六代无人作战飞机的技术障碍将在 2030 年前攻克,因此,第六代无人作战飞机系统的出现极有可能在 2025 年前后。

2.3.2 技术特征和能力要素

纵观战争历史,无人作战飞机在战场的优势日益凸显,未来战争对于新一代无人作战飞机的需求也越来越突出,无人作战飞机的技术优势,也逐渐成为应对战争威胁的有力武器。随着未来战争向着空天一体化、精确化以及实施远程非接触打击方式发展,未来战争对信息的需求以及对最大程度减少伤亡的需求日益迫切。当今各种技术发展,为新一代无人作战飞机的研制提供了必要的技术条件和推动力。

总结起来,第六代无人作战飞机系统具备的技术特征和能力要素主要为:

- (1) 满足信息化作战要求的体系作战能力要素;
- (2) 具备非接触、高精度作战和空天一体化作战能力要素;
- (3) 高自主能力,能够在预先设定的范围内实现自行思考、判断并做出反应和自我保护能力要素;
- (4) 多机协同作战能力要素;
- (5) 新动力、新能源和新材料技术特征;
- (6) 高可靠性、高抗干扰、超高带宽通信技术特征;
- (7) 系统融合设计、传感器融合设计等技术特征;
- (8) 灵活多变、一机多用的模块化设计技术特征;
- (9) 具备新型精确打击武器,能够实现战场远程非接触精确打击技术特征;
- (10) 具备全向、宽/全频谱隐身能力技术特征等。

当然,新一代无人作战飞机系统的诞生不会是以上各种单一技术特征发展的结果,而是多项技术特征综合集成、无人作战飞机系统整体技术水平提升的结果。

2.3.3 探索与展望

在未来,可能出现的无人作战飞机机型包括空战型无人机、有人/无人可选配置飞机、变体无人机以及无人预警机、空天飞行器等。

(1) 空战型无人机

目前,无人作战飞机主要应用于侦察、搜集情报等任务,但随着未来攻击型的发展,无人作战飞机也必将成为重要的空战作战节点,未来战场上,尤其在高风险的纵深攻击和进攻性电子对抗中,空战型无人

机相对有人机具有很大的优势,并且随着新型作战武器的研发,无人作战飞机可携带的武器也会更加多元化。

(2) 有人/无人可选配置飞机

此类飞机可根据任务情况,选择在有或者无飞行员下进行飞行。这类飞机的优势在于可以同时综合无人作战飞机的多功能性以及有人机的可操控性,日益受到欢迎。这类飞机必须要足够大,以满足有人驾驶时搭载飞行员以及挂载载荷,并且同时具有足够的续航能力。目前在研的此类飞机多采用螺旋桨形式,如极光飞行科学公司的“半人马”,以及格鲁门公司的“火鸟”。随着现役无人作战飞机的老化,相信未来此类飞机将得到更广泛的研究和应用。

(3) 变体无人机

随着模块化布局以及智能蒙皮等的应用,变体无人机将成为可能,其机翼可以弯曲扭转,或者机翼机身可以组合,实现一机多用,以满足不同作战的需求。

(4) 无人预警机

在未来作战体系中,无人作战飞机系统除了传统的大范围长航时侦察监视和信息搜集外,还将在预警、高突防和协同作战领域发挥重要作用。战争对预警能力的需求是毋庸置疑的,高空长航时无人机将成为未来中型预警机的首选平台,这不仅是因为它具有超长的航时,可以不间断预警,更因为近年来临近空间高速/高超声速巡航飞行器、通用航空飞行器、空天飞机、位于弹道中段的洲际弹道导弹以及战区弹道导弹等新型武器和非常规武器的出现,对传统的预警系统提出了强有力的挑战,仅靠传统的雷达,很难实现这些目标的准确预警。高空长航时无人机飞行高度高,在高空红外、激光的传输受大气衰减很小,有可能实现对20km以上直到轨道的目标进行远距离搜索和跟踪。因此,可以利用目标在红外波段的辐射物理特性,采用被动探测的方式对目标进行远距预警探测定位。同时,红外波段的光电预警系统对功率要求相对较低,利用高空长航时无人机装备红外光电预警系统可以实现对严重威胁我空天安全的目标进行有效的远程预警与跟踪,其探测距离可达800~1000km。

(5) 空天飞行器

由于太空将成为未来战争的主战场,空天战将成为未来战争的主要模式,并且考虑到为未来战争做准备,实现对敌方本土的远程打击,未来空天飞行器必将得到大力发展。空天飞行器可以在距离地面几百千米的轨道绕地球飞行,速度大、高度高、生存力强,可以实现对近地、远地,甚至机动飞行的航天器进行直接打击,占据制高点,掌握绝对的制空权,实现快速威慑。由于空天飞行器为高超声速飞行,在减少隐身设计上具有很大的优势,可以降低设计难度,将更多的设计额度分配给其他方面,用以提高其他的性能。因此,发展无人空天飞行器将会是未来武器发展的重要方向。未来随着空天飞行器的发展,也势必带动新技术的产生,如先进的热防护技术、自主导航与控制、在轨自主操作、飞发一体等。

结束语

随着技术发展和作战需求的日益迫切,第六代无人作战飞机近期一定会出现,并且随着新一代无人作战飞机的诞生,其必将适应或者牵引下一代作战模式的发展。在未来,无人作战飞机将向着更加智能化、专业化的方向发展,从而适应未来战争对于无人作战飞机的迫切需求,形成能执行压制敌军防空系统、对地攻击,甚至对空作战任务的主战装备之一。

本文所探讨的内容仅代表个人观点,未来技术发展将会有更多的发展方向,有待下一步积极探索。

参考文献

- [1] 李炳荣,曲长文,平殿发. 无人机在战争中的应用及发展趋势 [C] //第二届无人机发展论坛论文集:发展趋势与关键技术 [C]. 北京:国际航空杂志社,2006,134-137.
- [2] 克劳塞维茨. 战争论 [M]. 中国人民解放军军事科学院,译. 北京:解放军出版社,2005.
- [3] 王志猛,梁平,洪峰. 美国未来无人机发展面临的诸多技术难题 [C] //第二届无人机发展论坛论文集:发展趋势与关键技术 [C]. 北京:国际航空杂志社,2006.
- [4] 沈阳. 美军无人作战平台关键技术战略前沿技术 [J]. 现代军事,2015 (3).