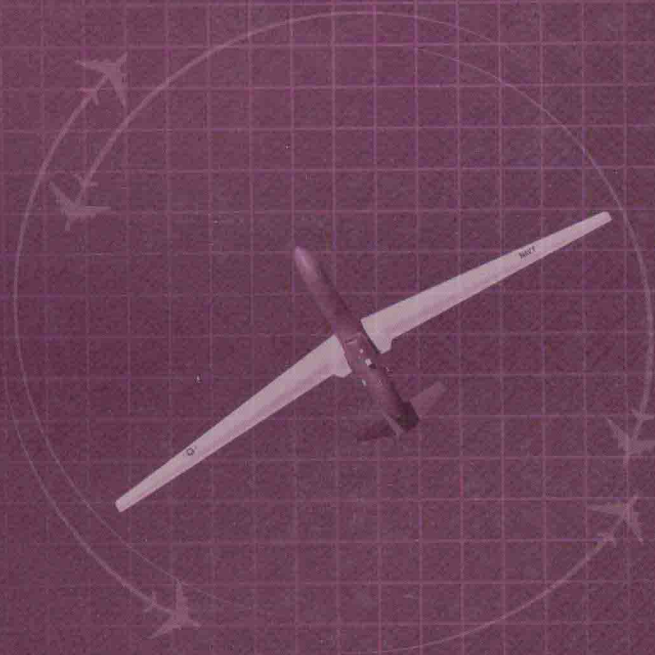


先进无人机系统 与作战运用

■ 魏瑞轩 李学仁 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

014061640

V279
25

先进无人机系统与作战运用

魏瑞轩 李学仁 著



国防工业出版社

V279
25

· 北京 ·



北航

C1748131

内 容 简 介

本书以快速发展的世界先进无人机技术对新军事变革的深刻影响为背景,秉承技术与应用相结合的思想,全面系统地阐述和讨论先进无人机系统的技术原理和作战使用问题。全书共分10章,首先总体讨论了无人机系统的概念、特点、分类、组成与发展历程,之后,分别详细阐述了无人机的飞行平台与动力系统、无人机系统的控制与制导导航技术、地面指控系统与任务规划的原理和使用、任务系统及其运用模式、信息传输系统的原理与应用、无人机的发射与回收方式、无人机系统作战使用的方式原理与训练保障、临近空间与空天无人机的发展和使用,以及无人机的协同作战与指挥控制等问题。

本书结构完整,深入浅出,图文并茂,突出应用,前瞻性较强,既可作为高等院校航空航天类、无人机工程类、兵器类等相关专业的本科或研究生教材,也可作为无人机相关领域从事装备管理、科研和使用的各类人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

先进无人机系统与作战运用/魏瑞轩,李学仁著. —北京:
国防工业出版社,2014.9

ISBN 978-7-118-09683-5

I. ①先... II. ①魏... ②李... III. ①无人驾驶飞机-研究 IV. ①V279

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第185787号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

三河市腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13% 字数 402 千字

2014年9月第1版第1次印刷 印数 1—3000册 定价 38.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

前 言

本书成稿之际,正值6月生机盎然之时。无人机作为新世纪以来发展最为蓬勃的飞行器,正在越来越广泛、越来越深入地影响和改变着世界新军事变革的模式与进程。继察打一体无人机、长航时高空侦察无人机、反辐射无人机之后,无人作战飞机、临近空间无人机、空天无人机等引领航空航天技术发展前沿的新型先进无人机扎堆登场,让人目不暇接!近年来,作为世界无人机技术与运用“头雁”的美国,先后发布了《美国空军2009—2047无人机系统飞行计划》、《美国陆军无人机系统2010—2035路线图》、《美国2013—2038财年无人系统一体化路线图》、《美国空军RPA指导:愿景与赋能概念2013—2038》和《下一代无人机系统研究、发展和验证路线图》等关于未来无人机发展的规划性文件。可以说,在一系列需求、政策和技术的交互作用下,当今世界正在步入信息化的空天时代,而各种先进的无人机将可能成为这个时代真正的“空天弄潮儿”。未来,无人机作为智能化的侦察监视和信火打击手段,将与有人机和其他作战单元共同组成空天作战体系,居高临下快速发现、跟踪和打击各类目标,成为空天作战的重要力量。

国防工业出版社曾于2009年出版笔者的《无人机系统及作战使用》一书。承蒙广大读者的支持和喜欢,该书很快售罄,并不断有新的订购需求。为此,出版社希望再版该书,我们考虑到近年来无人机技术发展非常快,作战应用领域越来越广泛,作战使用问题和经验也越来越深入,原书的内容已不能支撑近年来先进无人机系统的发展和运用态势。另外,由于之前对无人机系统运用问题理解尚浅,书中的一些观点和阐述不尽妥当,也欠完善。综合这些原因,我们决定放弃原来的架构,重打锣鼓另开张,以全新的视角和内容体系重新阐述先进无人机系统的技术原理、实现方法和作战使用模式、流程等问题。历时近3年,终于形成了这部拙作。本书的亮点在于三个方面:

一是深入阐述了无人机系统的作战使用问题。基于对无人机实践运用情况的理解和分析,从无人机的实战运用与问题分析、空天时代的无人机作战运用、大型无人机光电侦察、SAR侦察监视与察打一体的作战运用原理、无人机系统的人员配置与培训等方面深入和全面地阐述了无人机系统的作战使用问题。

二是更加深入和全面地阐释了无人机系统各组成部分的技术原理与作战使用特点。依据无人机系统的技术组成,分别针对平台动力、制导控制、自主导航、指挥控制、操控席位、任务规划、任务载荷、信息传输、发射回收等子系统,深入阐释了各个子系统的功能组成和技术原理,以及实现方式、发展需求、任务构型与使用特点等内容。

三是深刻分析了空天时代无人机的发展与运用模式。针对信息化空天时代无人机发展与运用的趋势和特点,系统阐述和分析了临近空间与太空的开发意义、空天型无人机的发展格局

与关键技术、典型空天型无人机和空天型无人机的作战运用等问题,以及无人机协同作战的模式方法、控制体系架构、协同搜索与双机跟踪等典型协同运用的技术原理。

世界大国的战略和军事需求牵引了先进无人机的方向,而无人机技术的创新发展又进一步促进了无人机的军事应用。基于这一认识,本书仍然秉承了技术与应用相结合的思想,在体系架构和内容组织上创新设计,分10章展开本书的内容。第1章总论无人机系统,全面概述无人机系统的概念、特点、分类、组成、发展历程与趋势等;第2章介绍无人机的飞行平台与动力系统,包括无人机的平台组成、飞行机理、翼型特点、发动机类型与原理、微型无人机等;第3章阐述无人机系统的控制与制导导航,提出无人机系统的空地信息闭环控制结构及挑战,并对无人机的飞行控制原理、系统实现、编队控制、制导技术、导航方法,以及面向智能化作战的自主控制问题等进行了深入分析与阐释;第4章阐述无人机的地面指控系统与任务规划问题,详细介绍了指挥控制的功用与方式、操控特点、典型系统,以及无人机任务规划的原理、实现方法和运用流程;第5章介绍无人机的任务系统与运用,在阐述无人机任务系统的组成功用和任务载荷类型的基础上,结合应用模式深入分析了任务系统的构型与使用原理;第6章概要介绍了无人机的信息传输系统,包括系统的功能要求、组成结构、信息关系、机载终端和地面终端的工作原理,以及对通信链路的作战使用要求等;第7章概略说明了无人机的发射与回收方式;第8章深入讨论分析了无人机系统的作战运用问题,包括对无人机的实战运用问题分析、空天时代的作战运用模式、侦察监视与察打一体的运用原理、人员配置要求与培训模式,以及无人机系统的模拟训练和综合保障等;第9章对临近空间与空天无人机进行了讨论,分析了临近空间与太空的开发意义和空天型无人机的发展格局与关键技术,在介绍太阳能无人机、临近空间无人机和空天无人机等三类典型空天型无人机的基础上,深入讨论了空天型无人机的应用需求和运用模式;第10章前瞻性地研究了无人机的协同作战问题,讨论了无人机的协同作战模式和协同控制体系架构,简要分析了多无人机协同搜索与双机协同跟踪等典型协同运用的技术原理。

在本书撰写过程中,郭庆、许卓凡、祁晓明、周凯、崔军辉等同志为本书提供了部分素材,帮助绘制了有关图表,在此深表感谢!在长期加班撰写本书的过程中,笔者的妻子默默承担了所有的家务,也感谢她深厚的付出和支持!

本书可作为高等院校的教学用书,也可供相关的管理和技术人员参考。限于作者水平,书中错误和不当之处,敬请专家和读者指正。

作者

二〇一四年六月于西安

目 录

第 1 章 总论无人机系统	1
1.1 初识无人机系统	1
1.1.1 无人机的新定义	1
1.1.2 无人机系统	2
1.1.3 无人机的运行空间	2
1.2 无人机系统的组成与展开规模	3
1.2.1 无人机系统的基本组成	3
1.2.2 无人机系统的展开规模	4
1.3 无人机系统的分类	5
1.3.1 无人机系统的传统分类方法	6
1.3.2 无人机系统的综合分类方法	8
1.4 无人机的优势和性能	9
1.4.1 无人机系统的使用优势	10
1.4.2 无人作战飞机特点与优势	11
1.4.3 空天型无人机的应用优势	14
1.4.4 无人机系统的性能指标	15
1.5 无人机的发展历程	16
1.5.1 靶机起步阶段(1917—1963)	16
1.5.2 初步参战阶段(1964—1990)	17
1.5.3 迅速崛起阶段(1991—2009)	18
1.5.4 进军空天阶段(2010 之后)	20
1.6 无人机系统的发展方向	21
第 2 章 飞行平台与动力装置	26
2.1 无人机飞行平台的组成	26
2.2 无人机翼型与升力机理	28
2.2.1 机翼的翼型与参数	28
2.2.2 空气动力学的部分概念	29
2.2.3 连续方程与伯努利方程	32
2.2.4 翼型获得升力的机理	33
2.2.5 无人机翼型的选择与设计	34

2.3	无人机的机翼与升阻特性	35
2.3.1	机翼的类型与参数	35
2.3.2	机翼的升、阻特性	37
2.3.3	几种典型机翼的特性	38
2.4	无人机的动力装置	39
2.4.1	无人机发动机的种类	39
2.4.2	活塞式发动机的特点和原理	40
2.4.3	燃气涡轮发动机的特点和原理	42
2.4.4	冲压与脉冲喷气发动机的特点	45
2.4.5	超燃冲压发动机的特点和原理	46
2.5	微型无人机	48
2.5.1	微型无人机的类型与特点	48
2.5.2	微型无人机关键技术与展望	49
第3章	无人机系统控制与制导导航	51
3.1	无人机系统的空地闭环控制	51
3.1.1	无人机系统的空地信息闭环	51
3.1.2	无人机系统的操控方式	52
3.1.3	空地闭环控制的功能分配与挑战	53
3.2	飞行控制的基本原理	53
3.2.1	无人机的运动与控制面	53
3.2.2	飞行控制的负反馈原理	54
3.2.3	典型的飞行控制回路	55
3.3	无人机飞行控制律的设计	56
3.3.1	无人机飞行运动建模	56
3.3.2	基本飞行控制律设计	61
3.3.3	飞行控制律综合仿真	64
3.4	无人机飞行控制系统实现	65
3.4.1	飞行控制计算机	66
3.4.2	敏感装置	67
3.4.3	执行机构	71
3.4.4	典型无人机自动驾驶仪简介	72
3.5	无人机的编队控制技术	78
3.5.1	无人机编队的相对运动模型	78
3.5.2	双机巡航编队控制器设计	82
3.6	无人机的自主导航技术	83
3.6.1	惯性导航技术	84
3.6.2	卫星导航技术	85

3.6.3	天文导航技术	88
3.6.4	组合导航技术	88
3.6.5	多普勒导航技术	89
3.7	无人机的制导技术	89
3.7.1	制导的作用与方式	89
3.7.2	自主制导技术	90
3.7.3	遥控制导技术	91
3.7.4	寻的制导技术	92
3.7.5	复合制导方式	95
3.8	无人机的自主控制与智能化作战	95
3.8.1	无人机自主控制的概念	95
3.8.2	无人机的自主控制等级	96
3.8.3	智能化作战对自主控制的要求	98
第4章	地面指控系统与任务规划	100
4.1	指挥控制站基本功用与组成	100
4.1.1	地面指控站的基本功能	101
4.1.2	地面指控站的形式与组成	102
4.1.3	地面指控站的席位设置	102
4.2	无人机任务规划与运用	103
4.2.1	无人机任务规划的类型	104
4.2.2	无人机任务规划系统组成	104
4.2.3	任务规划原理与运用流程	105
4.2.4	无人机航路规划原理	106
4.3	地面指控站实例与发展趋势	109
4.3.1	大型地面指挥控制站实例	109
4.3.2	小型无人机指挥控制站实例	112
4.3.3	无人机指控系统的发展趋势	114
第5章	无人机任务系统与运用	116
5.1	任务系统的功用与组成	116
5.1.1	任务系统的功用	116
5.1.2	任务系统的组成	117
5.2	无人机任务载荷的类型	117
5.2.1	侦察监视类载荷	118
5.2.2	通信类载荷	119
5.2.3	电子对抗类载荷	120
5.2.4	靶标设备类载荷	120

5.2.5	武器弹药类载荷	120
5.3	任务系统构型与作战运用	122
5.3.1	任务系统的典型构型	122
5.3.2	任务系统的作战运用原理	123
5.3.3	无人机任务载荷的发展趋势	124
第6章	无人机的信息传输系统	126
6.1	信息传输系统的功用与组成	126
6.1.1	信息传输系统的功用	126
6.1.2	信息传输系统的组成	127
6.2	无人机通信链路的基本原理	128
6.2.1	无人机通信链路的信息关系	128
6.2.2	数据链路地面终端的工作原理	129
6.2.3	数据链路机载终端的工作原理	131
6.3	通信链路的作战使用要求	132
6.3.1	通信链路面临的主要威胁	132
6.3.2	对通信链路的抗攻击使用要求	133
第7章	无人机的发射与回收	134
7.1	无人机的发射技术	134
7.2	无人机的回收技术	138
第8章	无人机系统的作战运用	142
8.1	无人机的实战运用与问题分析	142
8.1.1	无人机实战运用情况概览	142
8.1.2	无人机的应用优势与问题	144
8.2	空天时代的无人机作战运用	146
8.3	察打一体无人机作战运用原理	151
8.3.1	察打一体无人机的任务构型	151
8.3.2	无人机光电侦察监视的运用原理	152
8.3.3	无人机 SAR 侦察监视的运用原理	153
8.3.4	无人机察打一体的运用原理	156
8.3.5	“捕食者”无人机的作战运用	157
8.4	无人机系统的人员配置与培训	161
8.4.1	无人机系统的人员构成	161
8.4.2	“捕食者”无人机系统的人员配置	162
8.4.3	美军无人机的人员培训	163
8.5	无人机系统的模拟训练	165

8.5.1	无人机系统模拟训练概述	166
8.5.2	无人机模拟训练系统原理	167
8.5.3	无人机模拟训练的组织形式	169
8.5.4	模拟训练系统的关键技术与要求	171
8.6	无人机系统的综合保障	172
8.6.1	无人机系统综合保障概述	172
8.6.2	美军无人机的使用与维修保障	173
8.6.3	无人机系统综合保障的能力要求	175
第9章	临近空间与空天无人机	176
9.1	临近空间与太空的开发意义	176
9.1.1	地球垂直空间的划分	176
9.1.2	临近空间的环境特点	178
9.1.3	临近空间与太空的战略意义	179
9.2	空天型无人机的发展格局与关键技术	180
9.2.1	临近空间无人飞行器的分类	180
9.2.2	空天型无人机的发展格局与趋势	181
9.2.3	临近空间无人机的关键技术	182
9.2.4	空天无人机的机动变轨技术	183
9.3	典型空天型无人机概览	184
9.3.1	临近空间太阳能无人机	184
9.3.2	临近空间高超声速无人机	185
9.3.3	空天无人机	187
9.4	空天型无人机的作战运用分析	189
9.4.1	空间军事应用与空天一体	189
9.4.2	空天型无人机的运用方式	189
第10章	无人机的协同作战技术研究	192
10.1	无人机协同作战的基本问题	192
10.1.1	无人机协同作战概述	192
10.1.2	无人机与无人机协同的主要模式	193
10.1.3	无人机与有人机协同的主要模式	194
10.1.4	无人机协同作战的关键技术	196
10.2	无人机协同控制体系架构	196
10.2.1	集中式体系结构	197
10.2.2	分布式体系结构	197
10.2.3	分层式体系结构	198
10.3	多无人机的协同搜索原理	198

10.3.1	协同搜索的问题描述	198
10.3.2	协同搜索的实现原理	199
10.3.3	多无人机协同搜索仿真	200
10.4	双无人机的协同跟踪原理	202
10.4.1	协同跟踪的问题描述	202
10.4.2	协同跟踪的控制原理	203
10.4.3	双机协同跟踪仿真运用	204
10.5	有人机与无人机协同的指挥控制方式	205
10.5.1	有人机与无人机协同任务想定	205
10.5.2	有人机与无人机协同的任务流程	205
10.5.3	有人机与无人机协同的指挥控制架构	206
参考文献		208

第1章 总论无人机系统

1.1 初识无人机系统

无人机的英文为 Unmanned Aerial Vehicle, 缩写为 UAV, 就是无人驾驶飞行器。从字面意义上说, 这个定义可以用来描述从飞行靶标、无线电遥控航模到导弹的多种飞行器。靶标是指各种武器系统所要攻击的目标的一种动态实物模拟器, 防空兵器的靶标是靶机、靶弹、拖靶、伞靶和浮靶等的总称, 前两种靶标统称为靶机。在各种靶标中, 只有靶机被认为是一种类型的无人机。所以说, 并不是任何一种无人飞行器都可以称为无人机。事实上, 无人机并不是真正离开了人。无人机确是机上无人, 但却离不开人, 它是人在回路的一种系统。正是“机上无人、人在回路”的特点, 使无人机可以具有有人驾驶飞机无可比拟的出色性能, 同时又赋予了军用无人机卓越的作战能力。

1.1.1 无人机的新定义

在 2002 年 1 月美国联合出版社出版的《国防部词典》中, 对无人机的解释是这样的: “无人机是指不搭载操作人员的一种动力空中飞行器, 采用空气动力为飞行器提供所需的升力, 能够自动飞行或进行远程引导; 既能一次性使用也能进行回收; 能够携带致命性或非致命性有效载荷。弹道或半弹道飞行器、巡航导弹和炮弹不能看作是无人飞行器。”这里特别强调了导弹等不能归于无人机。导弹和无人机虽然都是无人驾驶航空器, 但它们是不同的, 二者关键的区别是: ①非自杀性无人机在飞行结束后可以回收或自动着陆, 而导弹则不能回收; ②无人机的杀伤能力是另外携带的武器而不是自己本身, 其携带的弹药也无须与机身合为一体, 而导弹的弹头则被整合在弹体内, 依靠其自身形成杀伤能力。③无人机的控制人员可在发射武器前的一瞬间处理意外情况, 例如停止发射或打击更有价值的目标。而导弹一旦发射出去则无法中止或更改其任务。

上述关于无人机的定义, 强调以空气动力为飞行器提供升力, 考虑的主要是航空空间的无人飞行器。本书作者在先前出版的《无人机系统及其作战使用》一书中将无人机限定为无人驾驶航空器, 也强调无人机是一种航空飞行器。但是, 随着无人机技术的快速发展, 无人机已经开始向航空空间之外发展, 临近空间无人机、空天无人机已经开始出现。以美国试飞的临近空间无人飞行器、空天无人机为代表, 无人机正在向更高、更远、更快的空天发展, 无人机技术的发展赋予了无人机新的外延和内涵。

基于以上认识, 本书对无人机给出新的定义: 一种需要依靠动力装置, 能够在空中进行持续、可控的任务飞行, 或是能在航空航天空间均可实现可控飞行, 能携带民用或军用性质的任务载荷执行任务, 可一次性使用或可重复使用的无人驾驶飞行器。特别地, 把能在临近空间持续巡航飞行的无人机称为临近空间无人机; 把兼具航空器和航天器飞行能力的无人机称为空天无人机。

1.1.2 无人机系统

事实上,无人机要完成任务,除需要飞机及其携带的任务设备外,还需要有地面控制设备、数据通信设备、维护设备,以及指挥控制和必要的操作、维护人员等,较大型的无人机还需要专门的发射/回收装置。所以说,完整意义上的无人机应称为无人机系统(Unmanned Aerial System, UAS)。图 1-1 说明了“捕食者”无人机系统的运行原理,即“捕食者”无人机的飞行和完成任务需要地面人员和通信链路的支持和参与,这就是系统。在美国国防部 2005 年 8 月发布的《2005—2030 无人机系统路线图》中,最直观的变化就是将以往文件中的“无人机”改为“无人机系统”。其概念不仅包括了从无人机平台、机载传感器系统、机载武器、通信系统、指挥控制、任务、综合保障、可靠性、生存性以及作战使用等与无人机系统能力有关的方方面面,而且还扩大了飞行器的类型(如飞艇)、飞行方式(如扑翼飞行)等。在该版无人机系统路线图中,“无人机”一词指的是无人机系统中的飞行组件。需要说明的是,从美国空军近 2 年的部分公开文件中可以看到,他们对中大型无人机系统又给予了一个新的称呼“远程遥控飞机”(Remotely Piloted Aircraft, RPA)。

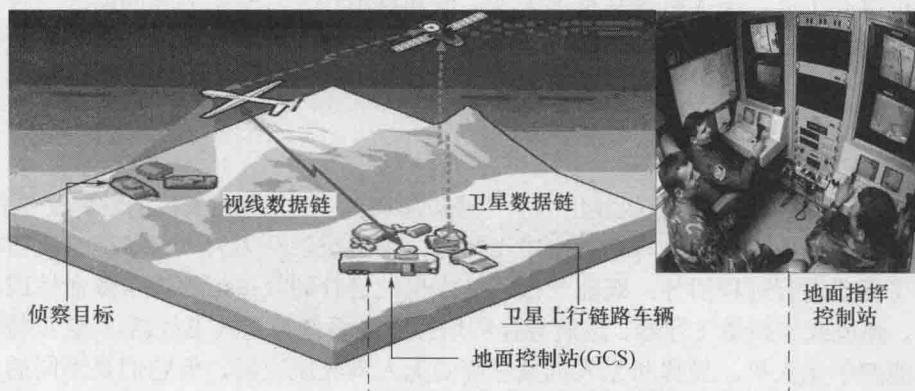


图 1-1 “捕食者”无人机系统的运行示意图

鉴于以上理由,学术界和工程界已经全面认可了从系统角度来研究、运用和管理无人机,所以,对无人机规范的称呼应该是“无人机系统”,本书也是以无人机系统为对象展开论述。考虑到人们已经熟知“无人机”这一提法,所以文中对术语“无人机”和“无人机系统”等价使用,不作明确区分。

1.1.3 无人机的运行空间

飞行器是能够在地球垂直空间中飞行的运动体,所以说,地球垂直空间是飞行器运行的空间基础,也是其存在的环境基础,空间的物理和环境特性对飞行器的飞行方式和性能有着重要的影响,甚至决定了飞行器的不同类型。航空器飞行需要依靠空气动力提供升力,因此需要有适合的大气环境。但是,随着地球表面垂直高度的增加,大气浓度逐渐降低,这就使得传统的航空器难以进入稀薄的大气空间。为此,需要开发不同飞行机理的飞行器。当前,人们将地球垂直空间通常划分为航空空间、临近空间和航天空间三大部分,这三类空间有着不同的物理和环境特性,使得运行于其中的飞行器也体现着不同的飞行特点。自人类开展飞行活动以来,已经发展了有人驾驶飞机、无人驾驶飞机、导弹和卫星等各种各样的飞行器,

但从目前的技术发展来看,能够同时在这三类空间自由翱翔的飞行器只能是无人机。因此,要全面了解无人机,还需要对无人机的运行空间有一个简单的了解。

传统上,人们通常把 20km 以下的地球垂直空间称为航空空间,它是传统航空器飞行所能达到的空域范围,包括地球大气层的对流层及部分平流层空间;把航天器运行所达到的空域范围称为航天空间,一般在距地面 100km 以上,主要包括大气层的大部分暖层及散逸层;在航空空间与航天空间之间,有一个非常重要的过渡空间,现在被称为“临近空间”,其高度约为 20~100km。对于这三个空间的开发,是随着人们认识的进步和技术的发展而逐步开始的。100 多年前,伴随对飞行的渴望和对飞行机理的掌握,人们发展出了航空器。20 世纪 50 年代开始,基于对万有引力定律的掌握和火箭技术的发展,人们实现了飞天的梦想。这之后,人类的飞行活动就主要在航空空间和航天空间展开,它们之间的“临近空间”几乎未被涉足,其中重要的原因就是临近空间特殊的环境使得临近空间飞行技术难以获得突破。

“临近空间”概念的提出和被关注,是从美国空军 2005 年进行的“施里弗-3”空间战计算机模拟演习中开始的。美国空军认为,“临近空间”这一新的空域既不属于航天范畴,也不属于航空范畴,对于情报收集和监视以及通信保障很有发展前景。而且更重要的是,目前世界上绝大多数航空飞行器都无法达到这一高度,更无法在这一空间内遂行作战任务。所以,如果能够研制出一种可在临近空间活动的飞行器,就可以几乎不受威胁地自由活动。从飞行器的任务安全性、任务能力、任务效费比等方面考察,临近空间飞行器,特别是临近空间无人机的作战效能将是其他任何飞行器都难以比拟的。在美军巨大的军事需求牵引下,也得益于现代航空航天技术的发展成就为突破临近空间飞行技术奠定了坚实的基础,近年来,多种类型的临近空间飞行器被美国等发达国家列入研发计划,尤其以高超声速临近空间无人飞行器发展最为迅速。关于临近空间飞行器和空天无人飞行器的情况,将在本书第 9 章进行详细介绍。

1.2 无人机系统的组成与展开规模

1.2.1 无人机系统的基本组成

无人机系统包括飞机系统、地面系统、任务载荷和综合保障系统。飞机系统包括飞行器平台、推进系统、飞行控制系统、导航系统、起飞/着陆系统机载部分、数据链路机载终端等;地面系统包括地面指挥控制分系统(任务控制站、起降控制站、起降引导站)、起飞/着陆系统地面部分、数据链路地面终端(链路站)、情报处理系统、地面辅助设备;任务载荷是无人机系统完成作战使命的设备,机载任务载荷主要有光电侦察、SAR 成像、气象探测、测绘、通信中继、技术侦察、电子对抗以及机载武器等设备。综合保障系统是无人机系统能够正常工作的支持保障,主要包括人力人员、使用训练、无人机系统技术维修等所用的保障资源以及气象探测、通信、机场设施等保障设备。图 1-2 给出了无人机系统的组成示意图。

飞机系统中,起飞/着陆系统的机载部分与地面部分配合,完成无人机的发射、回收。推进系统提供无人机的动力。机体系统指无人机的飞行器平台。导航系统可以通过卫星导航、预警机指引、地面导引,以及无人机自身的目标发现与跟踪能力为无人机系统完成战术任务提供导航和目标信息的保障。飞行控制系统是无人机机上部分的核心,它监视、控制和指挥

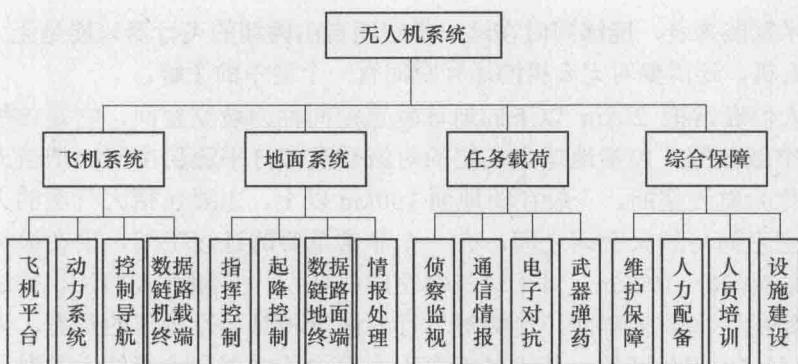


图 1-2 无人机系统的组成

其他机载子系统，接受地面任务控制站的指令，协调机载各子系统的工作，并把无人机的状态及其他需要的信息发送给地面指挥控制分系统。在地面指挥控制系统的监控和指挥下，由机载的制导、导航与控制系统控制无人机完成预定的飞行和任务。因此，制导导航与控制系统是协调、管理和控制无人机各子系统的中心控制器，也是实现无人机飞行管理与控制的核心。

在地面系统中，起飞/着陆系统的地面部分是完成无人机发射、回收的重要保证。数据链路地面终端与机载终端配合工作，提供地面站与无人机的通信，实现对无人机的监控、指挥，完成预定的作战任务。地面指挥控制分系统通过遥控遥测数据链路发送控制指令，并接收无人机下传的状态数据和任务信息，通过图形界面的形式提供操作员对无人机状态、战场态势的了解，监控、指挥无人机的作战，发生意外或无人机出现故障时提供操作员的干预能力。在地面系统中，指挥控制分系统处于核心地位，全面监视、控制和指挥其他子系统的工作，给操作员提供全面的战场信息和无人机状态信息，根据操作员的命令安排各个子系统完成预定的任务。对突发事件做出合理的处置，并及时地通报给操作员。

数据链路地面终端与机载终端构成了无人机系统的遥控遥测数据链路，负责无人机系统的指令、数据、情报信息等的上传下达。上行链路为遥控链路，用于传输无人机的控制和任务载荷的操控指令。下行链路为遥测链路，用于传输飞机的状态信息，另外，还有一个下行的遥感数据传输通道。

1.2.2 无人机系统的展开规模

对于一个具体的无人机系统来说，虽然都包括飞行器、地面控制站、数据链路和必要的地面保障设备等四大组成部分，但每个部分的具体组成形式、大小、规模等不尽相同，与无人机系统的整体规模和使用要求密切相关。这里举两个例子加以说明。

一个是组成规模很小的无人机系统，如图 1-3 所示的美国海军陆战队使用的“龙眼”(Dragon Eye)无人机系统。这类供小分队或单兵使用的小型电动无人机系统，飞行器很简单，仅有几斤重，甚至可以拆卸折叠装入背囊；任务载荷仅仅是个小型的 CCD 相机或摄像机；地面控制站就是一个小型的笔记本电脑，装载有地面站控制软件，包括对飞行器的状态监测功能、飞行控制功能、航路规划功能、侦察信息浏览功能等；测控链路的地面部分就是一个小型的收发电台，对于更小型的设计来说，也可以与手提便携式控制站设计为一体；而对整个无人机系统的操作使用只需 1~2 人即可完成，辅助设备主要就是备用电池和充电设备。



图 1-3 “龙眼” (Dragon Eye)无人机

第二个例子是规模较大的无人机系统，如美军的“全球鹰”无人机系统，如图 1-4 所示。全球鹰 RQ-4B 无人机的翼展为 39.9m，起飞重量高达 13t，起飞降落需要良好的机场条件；地面控制站分为任务控制站和起降控制站，每个控制站都是大型野战方舱的形式，内部需要多名操作人员的共同操作才能确保无人机安全飞行和完成任务；任务载荷包括集成光学、红外侦察设备的光电转塔、SAR 雷达等侦察设备。对于具有攻击能力的无人机来说，任务载荷还要包括机载的武器弹药；测控链路系统则更庞大，包括了卫星通信链路和视距通信链路，不仅飞机上需要安装视距通信天线和卫星通信天线，地面也要配备视距通信设备车、视距通信天线车、卫星通信设备车和卫星通信天线车等大型设备；而对无人机系统的操作使用，则需要操控分队、维修保障分队、情报处理分队等几十名人员的共同工作；另外，对于“全球鹰”这样规模的无人机系统，机场的飞行保障、维修保障、气象保障、情报保障等也需要庞大的设备和资源。



图 1-4 “全球鹰”无人机系统的飞机和地面站

1.3 无人机系统的分类

由于进入门槛低、大量现成技术可以应用、市场潜力巨大等原因，世界无人机市场近年来迅猛发展。特别是在以美国为首发动的几次高技术局部战争中，无人机的出色表现更是极大地提高了各国军方对它的重视程度。据保守估计，目前世界各国工业界和各种研究机构制

造、研发的无人机有上百种之多。随着无人机技术的发展,已形成了高、中、低空,远、中、近程,大、中、小型,战略、战术,侦察监视、电子对抗、攻击作战等多层面、多梯次搭配的无人机体系。其起飞质量从几千克到上千千克以上,航程从数千千米到上千千米,航时从几十分钟到几十小时,速度从几十千米/小时到超声速、高超声速。

正是由于世界无人机装备的发展很快,而且无人机的平台特性、飞行特性、任务特性、使用管理要求等方面的差别很大,使得无人机的分类研究已显得非常重要。研究无人机的分类主要有三个方面的作用:一是指导无人机系统的发展和管理;二是编写各类无人机系统的设计规范或标准,对于不同类型的无人机系统,其设计规范和要求的应是不同的;三是便于无人机装备全寿命周期的管理。由于无人机系统的多样性,使得关于无人机分类的研究目前仍未获得业内一致性认可的研究结论,这也使得关于无人机的分类成为一项基础性研究课题。

1.3.1 无人机系统的传统分类方法

无人机的飞速发展,形成了种类繁多、形态各异、丰富多彩的现代无人机家族,而且新概念还在不断涌现,创新的广度和深度也在不断加大,所以对于无人机的分类尚无统一、明确的标准。传统的分类方法中有按重量、大小分类的,也有按照航程、航时分类的,或是按照用途、飞行方式、飞行速度等分类的。本书将已有的各种分类方法整理、归纳如下,并尝试分析每种分类方法的局限。

1. 按照用途分类

按照无人机所能担负的任务或功用分类,是一种最容易理解的分类型。根据无人机所能承担的任务,可将无人机分为靶机、无人侦察机、通信中继无人机、诱饵(假目标)无人机、火炮校射无人机、反辐射无人机、电子干扰无人机、特种无人机、对地攻击无人机、无人作战飞机等。这种分类方法突出的是无人机的任务特性。对于很多实际的无人机装备来说,往往存在着利用相同的无人机平台搭载不同的任务载荷而成为另一种类无人机的问题。

2. 按照飞行平台的大小重量分类

按照飞行平台的大小重量可以将无人机分为大型、中型、小型和微型无人机。其中,起飞重量 500kg 以上的称为大型无人机,200~500kg 之间的称为中型无人机,小于 200kg 的称为小型无人机。这种分类的最大局限在于难以适应无人机装备的最新发展。随着现代无人机技术的快速发展,一些大型无人机的起飞重量已达数吨以上,而一些仍被视作中小型战术无人机的起飞重量也突破了 500kg 的限制。另外,对于微型无人机,美国国防高级研究计划局(DARPA)的定义是翼展在 15cm 以下的无人机。微型无人机的诞生引发了一系列关于微型无人机飞行机理、自主控制、制导导航、任务载荷、作战使用等方面的新问题。

3. 按飞行方式分类

按照无人机的飞行方式或飞行原理可将无人机分为固定翼无人机、旋翼无人机、扑翼无人机、动力飞艇、临近空间无人机、空天无人机等。其中的新概念是“扑翼无人机”,它是像昆虫和鸟一样通过拍打、扑动机翼来产生升力以进行飞行的一种飞行器,更适合于微型飞行器。这种分类的局限主要在于仅突出了平台的飞行原理,而不能反映使用方面的特性要求。另外,微型的固定翼无人机与稍大一些的无人机(如翼展 1m 以上)的飞行机理也有较大差别。临近空间无人机是指在临近空间飞行和完成任务的无人机,由于临近空间空气稀薄,无人机在其中巡航飞行必须采用新的飞行机理。空天无人机则是可在航空空间与航天空间跨越飞行的无人机,其飞行机理体现了航空航天技术的融合创新。