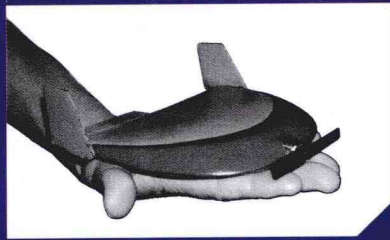
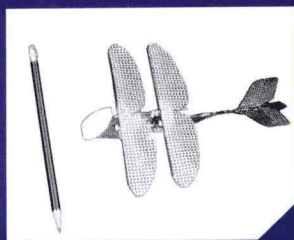
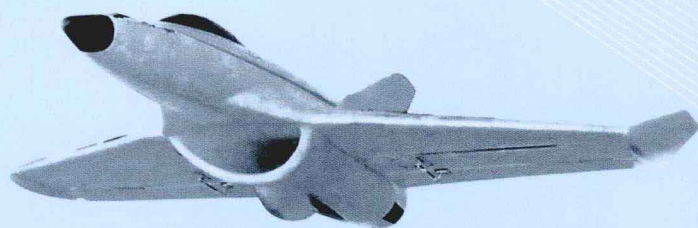




微型飞行器系统技术

昂海松 等 著



科学出版社

微型飞行器系统技术

昂海松 周建江 曹云峰 等著
李荣冰 郑祥明

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从系统的角度,介绍了新概念微型飞行器技术的发展和类型,重点阐述了微型飞行器系统的组成,不同类型的固定翼、扑翼和旋翼微型飞行器的布局与结构设计技术,微型飞行器的动力与能源技术,微型传感器技术,飞行控制与导航技术,信息传输技术,视觉系统与视觉导航技术,以及系统的地面装置和飞行试验技术。书中大部分内容是作者团队十几年来研究微型飞行器系统技术的总结、心得和经验。本书系统性强,具有较高的实用参考价值。

本书可作为从事飞行器研究与应用人员的参考书,也可作为航空与微系统专业的本科生、研究生和航空爱好者的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微型飞行器系统技术/昂海松等著. —北京:科学出版社,2013.12

ISBN 978-7-03-039143-8

I. ①微… II. ①昂… III. ①微型-飞行器-技术 IV. ①V47

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第272943号

责任编辑:贾瑞娜/责任校对:郑金红

责任印制:阎磊/封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

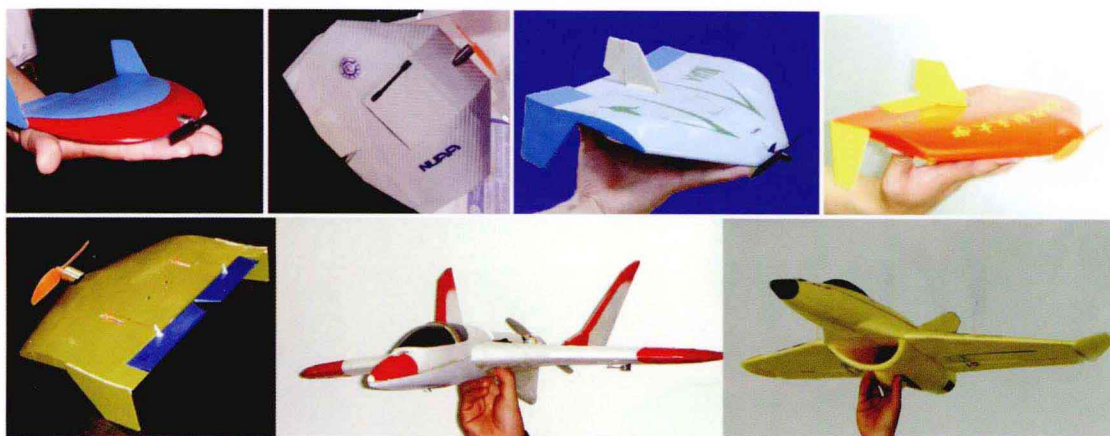
2014年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2014年1月第一次印刷 印张:21 1/4 彩插:1

字数:544 000

定价:75.00元

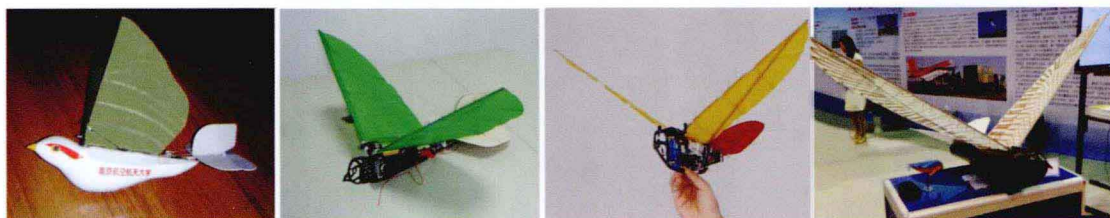
(如有印装质量问题,我社负责调换)



固定翼微型飞行器



仿昆虫扑翼微型飞行器



仿鸟扑翼微型飞行器

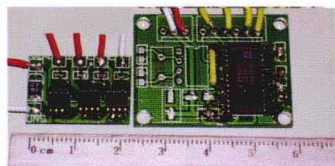


多旋翼微型飞行器

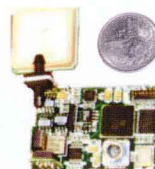
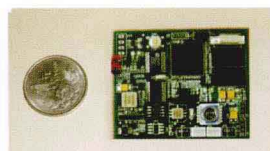
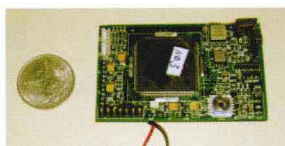
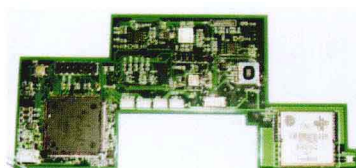
彩图 1 南京航空航天大学微型飞行器研究中心研制的部分微型飞行器



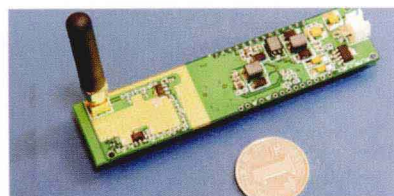
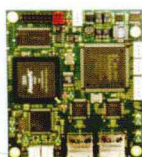
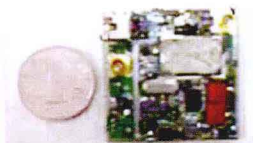
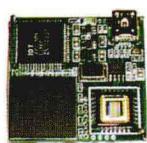
微型无刷电动机(内转子、外转子)



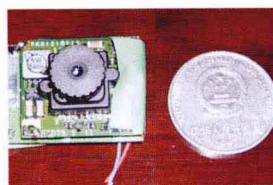
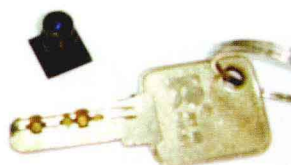
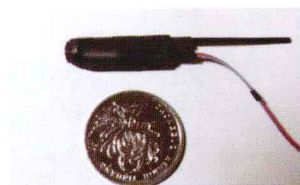
微型电子调速器



四种微型飞行控制与导航系统



微型数字机载信息传输系统



微型彩色摄像装置



便携式地面测控站



微型飞行器拍摄的视频截图

彩图 2 南京航空航天大学微型飞行器研究中心研制的微型系统部件和拍摄的图像

《微型飞行器系统技术》

编 委 会

(按姓名笔画排序)

李荣冰	肖天航	陈志辉	陈美丽
周建江	昂海松	郑祥明	段文博
高月山	郭 力	曹云峰	

序

微型飞行器 (Micro Air Vehicle, MAV) 从 20 世纪末开始越来越引人注目, 这类飞行器“麻雀虽小, 五脏俱全”, 为了实现微型化不仅对飞行器材料、元器件、系统部件提出一系列苛刻要求, 也对飞行器设计本身提出了许多新的挑战。微型飞行器的另一个重要特点是它必须具有较高的数字化和智能化水准, 因此在未来几十年它不仅会获得广泛的应用, 而且还将始终处于高科技产品之列。

十年前我曾到访过南京航空航天大学“微型飞行器研究中心”, 颇有兴趣地听取了中心主任昂海松教授对产品的介绍, 最近当我再次聆听昂海松教授介绍该团队研制出的 20 几种固定翼、扑翼和旋翼微型飞行器时, 顿感耳目一新。除了门类众多、功能各异的各种微型飞行器之外, 还见识了重量仅仅二十几克的集惯性、磁、气压、卫星接收机为一体的微型传感器和微型飞行控制导航系统, 本人对他们的拼搏和创新精神十分钦佩。

该书正是作者及其团队十多年研究的技术结晶, 具有以下几个特点:

(1) 新颖性: 介绍了作者设计的多种新型的微型飞行器布局与结构, 介绍了较多的系统设计新技术, 如螺旋桨与微型电机的匹配技术、新型电池技术、MEMS 产品应用技术、微型飞行控制系统的创新设计、智能控制技术、微信息传输系统设计技术、视觉导航和自主避障技术等。

(2) 系统性: 较全面地阐述了微型飞行器系统开发中所涉及的总体结构、微型动力装置、微型能源、微型传感器、飞行控制、信息传输系统、地面测控装置、任务设备等诸多领域。

(3) 实用性: 该书不仅介绍了固定翼、扑翼和旋翼微型飞行器的构造特点, 还阐述了飞行器设计、分析和飞行试验技术等相关内容, 这些都总结了作者在十多年研制微型飞行器过程中所积累的经验和体会, 与业界分享实属不易。

该书是本人所见到的第一本关于微型飞行器系统的综合性技术专著, 对于从事微型飞行器设计、制造与应用的研究生、教师和工程技术人员都有很好的学习和参考价值。

中航工业科技委副主任 冯培德
中国工程院院士

2013 年 6 月 21 日

前 言

自 20 世纪 90 年代正式提出微型飞行器 (MAV) 概念以来, 鉴于其体积小、重量轻、隐蔽性好、灵活性强等特点, 微型飞行器已经从大量以遥控飞行为主的新形式设计探索向实用性系统研制发展。

微型飞行器虽然小, 但“麻雀虽小, 五脏俱全”, 常规无人机所具备的分系统在微型飞行器系统中基本都具备。然而, 微型飞行器系统的各分系统和设备要比常规无人机小得多, 由于微小尺寸和重量的限制, 对飞行器结构、动力、能源、飞行控制、信息传输和任务设备的设计, 需要进行“革命性”的微型化, 如用硅片制成的 MEMS (Micro Electromechanical System) 传感器和集成电路。微小尺寸飞行器在空气动力方面还具有低雷诺和非定常等特性, 为此一个新的名称“MAV”就从常规的无人机 UAV 中脱颖而出。

微型飞行器因其制作方便, 还为新型飞行器探索提供了便利的试验途径, 如为仿生飞行器、变形飞行器的创新研究提供了广阔的园地。例如, 仿鸟扑翼飞行器就是首先从微型飞行器实现飞行成功。微型飞行器本身在运用前景方面也有许多特殊用途, 如超近距离的探索、单人携带、无噪声、群集使用、入室飞行、适于城市环境等, 因而微型飞行器在系统设计上有许多不同于一般飞行器之处。目前, 微型飞行器系统技术正越来越受到各国的重视。

自 1999 年“微型飞行器研究中心”成立以来, 我们在探索微型飞行器技术理论的同时, 更多的时间投入在实际微型飞行器的系统设计、系统研制和试验研究上。在研制的数十种微型飞行器的基础上, 我们想把多年积累的研究心得和经验作一个小结, 同时部分吸收国外研究成果, 编著成这本《微型飞行器系统技术》, 希望能促进微型飞行器系统技术的发展。

本书力求反映目前微型飞行器系统发展的技术水平、应用功能和发展方向。全书主要由以下几部分组成: 第 1、2 章是微型飞行器系统的用途与组成; 第 3 章微型飞行器系统的空中平台, 介绍了我们研制的多种特殊布局和结构的微型飞行器; 第 4 章微型飞行器系统的动力与能源技术, 重点介绍微型无刷电动机及其控制的设计、微型电机与螺旋桨的匹配, 以及特种微型电源; 第 5 章微型传感器技术, 重点介绍我们在 MEMS 误差分析、建模和标定技术方面的研究成果; 第 6 章微型飞行器飞行控制与导航技术, 重点介绍在非线性动力学、基于 MEMS 的微型控制系统设计、智能控制技术等方面的研究成果; 第 7 章微型飞行器信息传输系统, 重点介绍信息传输系统的硬软件设计; 第 8 章微型飞行器的视觉系统与自主避障导航技术, 重点介绍视觉导航技术和自主避障控制技术; 第 9 章介绍微型飞行器的飞行试验技术。

在本书的第 1 章和结束时, 作者表达了对微型飞行器技术发展的憧憬, 微型飞行器技术的发展一方面给飞行器种族开辟出一类新园地, 另一方面微型飞行器对其内部动力、控制和信息系统在尺寸与重量方面的苛刻要求, 也会促进其他微小系统及 MEMS 技术的发展。

本书各章由昂海松主笔和统稿, 参与第 3 章编写的有郑祥明、肖天航、段文博, 参与第 4 章编写的有陈志辉、刘颖, 参与第 5 章编写的有李荣冰、高月山、刘建业, 参与第 6 章编写的有曹云峰、周建江、高月山、李荣冰、蔡红明、陈美丽、郑祥明, 参与第 7 章编写的有周建江、高月山、左新法, 参与第 8 章编写的有郭力、郝群、季健, 参与第 9 章编写的有段

文博、高月山。还有杨思强、唐磊、沈元、杜厦、史志伟、胡铃心、周军、罗东明、余春锦、朱保利、周新春、杨磊等同志参加了相关研究工作。本书的出版得到了南京航空航天大学飞行器先进设计技术国防重点学科实验室、自动化学院和电子信息工程学院多位老师的帮助，对书中参考的相关文献的作者，在此一并表示衷心的感谢。在这里还要感谢中电集团 54 所的支持和合作，以及上级有关部门对微型飞行器系统技术研究的大力支持。

作 者

2013 年 6 月

目 录

第 1 章 微型飞行器系统的概念与用途	1
1.1 微型飞行器概念的提出	1
1.2 微型飞行器系统的概念	2
1.3 微型飞行器系统的用途	3
1.4 微型飞行器系统的发展	7
第 2 章 微型飞行器系统的组成与总体要求	11
2.1 微型飞行器系统的组成	11
2.1.1 微型飞行器系统的组成结构	11
2.1.2 微型飞行器平台内部系统组成	13
2.2 微型飞行器的分类	14
2.2.1 微型飞行器的分类定义与特点	14
2.2.2 现有微型飞行器的划分归类	15
2.3 微型飞行器系统的总体要求	16
2.3.1 微型飞行器的技术要求	16
2.3.2 微型飞行器系统的协调与优化	19
2.3.3 微型飞行器系统的研制过程	21
第 3 章 微型飞行器系统的空中平台	23
3.1 固定翼微型飞行器布局与结构	23
3.1.1 低雷诺数的机翼平面形状	23
3.1.2 固定翼微型飞行器布局设计	23
3.1.3 固定翼微型飞行器结构设计	26
3.2 扑翼微型飞行器布局与结构	29
3.2.1 扑翼微型飞行器的基本特点	29
3.2.2 单对扑翼微型飞行器布局与结构	31
3.2.3 双对扑翼微型飞行器布局与结构	32
3.2.4 变体扑翼微型飞行器布局与结构	36
3.3 旋翼微型飞行器布局与结构	40
3.3.1 旋翼微型飞行器的基本特点	40
3.3.2 单旋翼微型飞行器布局与结构	40
3.3.3 双旋翼微型飞行器布局与结构	42
3.3.4 多旋翼微型飞行器布局与结构	45
第 4 章 微型飞行器系统的动力与能源技术	48
4.1 微型飞行器对动力的要求	48
4.2 微型飞行器的动力装置	48
4.2.1 微型电动机	48

4.2.2 适于 MAV 的其他发动机	59
4.3 微型无刷电动机的控制	62
4.3.1 无刷电动机控制硬件设计	63
4.3.2 无刷电动机控制软件设计	67
4.4 微型飞行器的动力匹配	69
4.4.1 微型电动机与螺旋桨匹配的基本原则	69
4.4.2 微型电动机与螺旋桨匹配的试验技术	70
4.5 微型飞行器的能源装置	83
4.5.1 聚合物锂电池	84
4.5.2 微型低温电池	86
4.5.3 微型燃料电池	87
4.5.4 微型结构电池	89
第 5 章 微型传感器技术	96
5.1 微型传感器与 MEMS 技术	96
5.1.1 微型传感器类型	96
5.1.2 MEMS 技术的特点	97
5.1.3 MEMS 加工技术	97
5.2 适于微型飞行器的微机电传感器	100
5.2.1 MEMS 陀螺	100
5.2.2 MEMS 加速度计	108
5.2.3 微型磁强计	112
5.2.4 微型气压高度计	114
5.2.5 微型气压速度计	116
5.2.6 微型卫星导航接收机	117
5.3 微型传感器误差的分析与建模	120
5.3.1 微型传感器误差的一般分析方法	120
5.3.2 MEMS 陀螺非随机误差分析与建模	121
5.3.3 MEMS 惯性传感器测量单元的随机误差特性分析与试验	131
5.4 多传感器的信号处理	138
5.4.1 微型惯性传感器信号滤波处理	138
5.4.2 MEMS 惯性传感器组合测量单元的减震设计	139
5.4.3 微型飞行器传感器信号的系统级卡尔曼滤波	141
5.4.4 微型飞行器传感器系统仿真技术	144
第 6 章 微型飞行器飞行控制与导航技术	148
6.1 微型飞行器的飞行力学	148
6.1.1 微型飞行器的飞行力学特点	148
6.1.2 常用坐标系定义及转换	149
6.1.3 微型飞行器飞行动力学方程	151
6.1.4 微型飞行器飞行运动学方程	153
6.1.5 微型飞行器飞行力学的非线性问题	155

6.2 微型飞行器的飞行稳定性和导航控制	169
6.2.1 微型飞行器的增稳控制	169
6.2.2 微型飞行器的姿态控制	172
6.2.3 微型飞行器的轨迹控制	177
6.2.4 MEMS 微捷联惯性导航系统	190
6.2.5 微型飞行器组合导航系统研究	192
6.2.6 微型飞行器的航迹规划	195
6.3 微型飞行控制系统硬件设计	199
6.3.1 微型自主飞行控制硬件系统	199
6.3.2 微型自主飞行控制器的接口驱动	212
6.3.3 微型自主飞行控制器硬件系统的电磁兼容设计	215
6.4 微型飞行器智能控制技术	217
6.4.1 微型飞行器控制的特点	218
6.4.2 微型飞行器的模糊控制技术	218
6.4.3 微型飞行器的神经网络动态逆控制技术	230
6.4.4 微型飞行器阵风减缓控制技术	233
6.5 不同类型微型飞行器的控制技术	237
6.5.1 固定翼微型飞行器的控制技术	237
6.5.2 扑翼微型飞行器的控制技术	240
6.5.3 旋翼微型飞行器的控制技术	242
第7章 微型飞行器信息传输系统	246
7.1 信息传输系统的组成与功能	246
7.1.1 机载信息传输模块功能	246
7.1.2 地面测控装置功能	247
7.2 机载信息传输分系统设计	248
7.2.1 测控与信息传输系统	248
7.2.2 视频采集与图像压缩	249
7.2.3 压缩视频与遥测数据的复合	250
7.3 微型飞行器系统地面测控装置硬件设计	251
7.3.1 地面测控系统组成	251
7.3.2 地面测控装置硬件设计	252
7.4 微型飞行器系统地面测控装置软件设计	255
7.4.1 地面测控装置的设备驱动	255
7.4.2 地面测控装置软件流程	260
第8章 微型飞行器的视觉系统与自主避障导航技术	261
8.1 视觉图像采集与转台控制	261
8.1.1 微型摄像机技术	261
8.1.2 微型摄像机转台控制技术	262
8.2 微型飞行器系统的视频图像的传输与处理	265
8.2.1 微型飞行器系统的视频图像的数据压缩	265

8.2.2	微型飞行器系统的视频图像的传输	266
8.2.3	视频图像的稳像预处理技术	268
8.3	微型飞行器的目标特征跟踪	269
8.3.1	序列图像中特征的提取和追踪	269
8.3.2	序列图像中边缘的提取与追踪	272
8.3.2	微型飞行器的目标特征跟踪技术	277
8.4	微型飞行器系统的视觉导航技术	282
8.4.1	微型飞行器视觉导航概念	282
8.4.2	微型飞行器运动参数估算	282
8.4.3	基于 INS/Vision 技术的微型飞行器组合导航方法	292
8.5	全自主识别环境避障控制飞行技术	298
8.5.1	自主识别环境和避障飞行控制模式	298
8.5.2	自主识别环境和避障飞行控制方法	299
8.6	微型飞行器系统的其他任务装置	304
第 9 章	微型飞行器的飞行试验技术	306
9.1	微型飞行器飞行试验的要求与程序	306
9.1.1	微型飞行器飞行试验的要求	306
9.1.2	微型飞行器飞行试验的程序	307
9.2	微型飞行器飞行试验的仿真	308
9.2.1	微型飞行器飞行试验的仿真系统结构	309
9.2.2	微型飞行器飞行试验非线性模型的仿真	309
9.3	微型飞行器飞行试验的测试方法和测试内容	316
9.3.1	微型飞行器飞行试验的测试方法	316
9.3.2	微型飞行器飞行试验的测试内容	316
参考文献		322
结束语		327

第 1 章 微型飞行器系统的概念与用途

1.1 微型飞行器概念的提出

微型飞行器是对目前尺寸最小的一类飞行器的称呼，微型飞行器既与有人飞行器不同，也与常规的无人机不同。虽然微型飞行器是由无人飞行器（习惯上简称为“无人机”，Unmanned Aerial Vehicle, UAV）的小型化需求而逐渐演变产生的，但微型飞行器从概念上已不同于一般的无人机。微型飞行器首先是从单兵对无人机小型化的需求出发，于是研制出最大尺寸为 1~2m 的小型无人机（Miniature Unmanned Aerial Vehicle），通常由弹射（小的也有用手抛）起飞，用降落伞或拦网着陆，如美国 Vironment 公司生产的“指针”（pointer）无人机。由于小型无人机仍然体积大，再加上弹射装置和地面站，因此，也必须由一个多人组成的小分队或小组才能执行完成。如果有一种飞行器只要由“单兵就能携带”，甚至连地面测控装置也只需单兵携带和执行，这无疑会对单兵装备的多样化、数字化和智能化带来革命性的变化。无人机能否更小、更轻便，只需单兵就能执行？这是从士兵装备使用要求方面所提出的（图 1.1）。另一方面，由科技专家从飞行器本身微小型技术发展的研究所提出——飞行器到底能实现多小的尺寸？在能控制飞行和承担一定的任务载荷下，其气动特性、构形布局和内部系统方面与常规飞行器有什么不同？



图 1.1

1992 年美国国防高级研究计划局（Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA）在兰德公司（RAND）召开的一次未来军事技术讨论会上，由兰德公司的研究小组提交了一份关于军用微系统的调查研究报告——《未来军事行动中的技术驱动力的革命》^[1]，这份报告中首次提出了“微型飞行器（Micro Air Vehicle, MAV）”概念。随后美国麻省理工学院（MIT）林肯实验室等研究机构开展了有关 MAV 方面的早期调研工作，如 MIT 林肯实验室等机构提出一些掌上大小的微型无人飞行器设计模型，并提出了气动、系统和应用方面的特殊性，于是一个专门的、从类型上与无人机（UAV）区别开来的新概念名词——“微型飞行器（MAV）”被正式提出^[2,3]。目前对微型飞行器并没有一个准确的定义，根据 DARPA 最初提出的数据“定义”微型飞行器为：

- 特征尺寸不大于 15cm (6in)；
- 时速为 30~60km/h；
- 重量仅 50~100g；
- 可携带 20g 的有效载荷；

- 飞行 20~60min;
- 可实时传输图像;
- 能自主控制飞行。

在美国 DARPA 计划资助和军方支持下,不少微型飞行器试验机相继出现。典型的有美国佛罗里达大学研制的 15cm 固定翼微型飞行器、AeroVironment 公司先期研制的“黑寡妇”15cm 固定翼微型飞行器、IEWS 公司研制的“微星”23cm 固定翼微型飞行器和 AeroVironment 公司研制的“蜂鸟”16.51cm 扑翼微型飞行器^[4~6]。上述微型飞行器多数为遥控或自动稳定控制,尚不能自主导航。

近年来,美国从实用角度出发,为了增加任务载荷和续航时间,研制计划中投入装备的微型飞行器尺寸增大到 33~41cm,如美国的 WASP 系列微型飞行器。也有专家提出小于 1kg 的微型飞行器。不过 15cm (甚至更小) 的微型飞行器仍然是 MAV 技术研究的热点。

还有专家提出更小的飞行器,最大尺寸小于 3cm,并把这种飞行器称为“纳米飞行器”(Nano Air Vehicle, NAV),目前这类飞行器还是很初步的探索,离实用距离尚远。

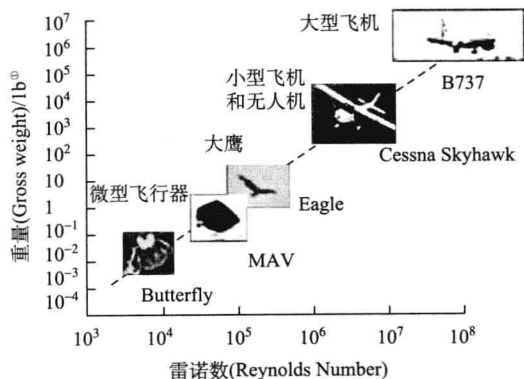


图 1.2 微型飞行器的低雷诺数特性

微型飞行器并不是常规飞行器的“缩小”，它的气动特性有着很大的不同。常规飞行器的气流雷诺数通常在 10^7 以上，而微型飞行器的雷诺数小到 $10^3 \sim 10^4$ ，低雷诺数飞行器表面极易发生气流分离，从而产生不稳定性。扑翼微型飞行器和多旋翼飞行器的动翼的大幅度非定常空气动力学与目前的常规飞行器空气动力原理也完全不同，即使是固定翼微型飞行器也易受阵风扰动而呈现非定常特点。因此，微型飞行器与常规无人机从原理概念上已有本质区别^[7]（图 1.2）。

微型飞行器的特点不仅在于“尺寸小”，更由于 MAV 在飞行原理、构造类型、布局和内部系统方面的多样性和控制的特殊性，使它从一开始发展就呈现出丰富多彩的形式。

1.2 微型飞行器系统的概念

前面所提的“微型飞行器”主要是指微型空中飞行平台,从实际使用技术方面考虑,更重要的是“微型飞行器系统”概念。所谓“系统”,是由若干个相互联系、相互作用、相互依存的组成部分(要素)结合而成的、具有特定功能的有机整体,具体从组成上来说,是指“相关部件(子系统)、软件与功能的有机集合”;从技术上来说,是指“具有相互依存功能的机械结构、电器、电子的一种集合”;从更广义上,还包括操作的人员技术。

2005 年美国在“无人机系统线路图”报告中,不再单纯提“无人飞行器(UAV)”,而将“无人机系统(Unmanned Aircraft System, UAS)”作为基本概念。即 UAS 不仅是无人飞行器本身,还包括无人机通信、地面站和其他任务功能设备。报告认为无人机系统正

① 1lb(磅)=453.592g。

通过执行许多复杂而危险的任务而不造成巨大经济损失和人员伤亡,改变着全球反恐和其他战争的军事作战方式。

微型飞行器概念最初的提出,就有“可实时传输图像,能自主控制飞行”的要求,已经考虑到系统性方面的技术了。作为一个“系统”,微型飞行器系统由于体积更小、集成度更高、整体便携性更优,因而其“系统”相关性更强。尽管微型飞行器装备很小,其空中飞行平台与大无人机一样具有机体、动力、能源、飞行控制、信息传输、任务装置等功能分系统,地面测控与装备也具有飞行信息测试、记录、遥控、任务信息及其显示等功能。因此,从整体使用方面,微型飞行器系统技术更重要。我们将微型飞行器“空”、“地”、“数据链”、“任务载荷”的综合系统称为“微型飞行器系统”,并以英文 MAVS (Micro Air Vehicle System) 命名。

1.3 微型飞行器系统的用途

微型飞行器系统还是新概念的技术,MAV 一问世就引起世界各国的广泛注意,一些工业先进国家已注入大量热情,投入人力和财力研究、试制各种微型飞行器。这是由于微型飞行器系统在军事与民用方面,有着潜在的广泛用途和特殊功能。

在 1996 年美国 DARPA 举办的用户和研究单位关于 MAV 的讨论会上,在尚没有真正的“微型飞行器系统”研制出来之前,经过一系列的讨论,专家们认为“微型飞行器系统”应该具有以下特点:

(1) 应是适合军用的系统。

(2) 能携带全天候的近距离成像系统,分辨率应足以使操作人员分辨出发送区内的重要细节。

(3) 应具有准确确定地理位置的能力。

(4) 重量轻、坚固耐用,以便能放在士兵的背包里携带。

(5) 价格低廉,甚至可一次性使用。

(6) 隐蔽性好,飞行器难发现,使用人员的位置不易暴露。

从上述专家的初步设想,微型飞行器系统与其他无人机不同的使用特性主要在于:

- 小而轻——单兵携带随时执行。
- 隐蔽性好——体积微小,无噪声,不易被敌人发现。
- 细节图像传输——近距离成像,分辨率高。
- 准确侦察——能准确地定位目标,有的具有悬停能力。
- 价格低廉——可大量使用,甚至可一次性使用。
- 适合通用装备——甚至可以装备到某些需要部队的每个成员。

当然,刚提出设想的阶段,还不可能预见到其更广泛的用途,如微型飞行器还有除固定翼外的多种形式及它们独特的灵活性,尚还没有考虑微型飞行器近距离、群集式等攻击性军事用途,也没有考虑在反恐、特殊环境探索等民用方面的用途。

2005 年美国在“无人机系统线路图”报告中,正式把“微型飞行器”作为无人机系统中不同尺寸、不同用途、不同层次中的一个重要组成部分。

1. MAV 的主要特殊用途^[8]

(1) 战场前沿地带的近距离侦察和监视,一方面可以在战斗开始之前预报敌情,另一方面可以在战斗开始时在线排查。

(2) 目标准确定位,对于卫星和侦察机难以发现的、或隐蔽在树林中的军事目标,可通过微型飞行器接近目标发回准确的目标特征和定位信息,并为我方地面装备和人员探测前进路径(图 1.3)。

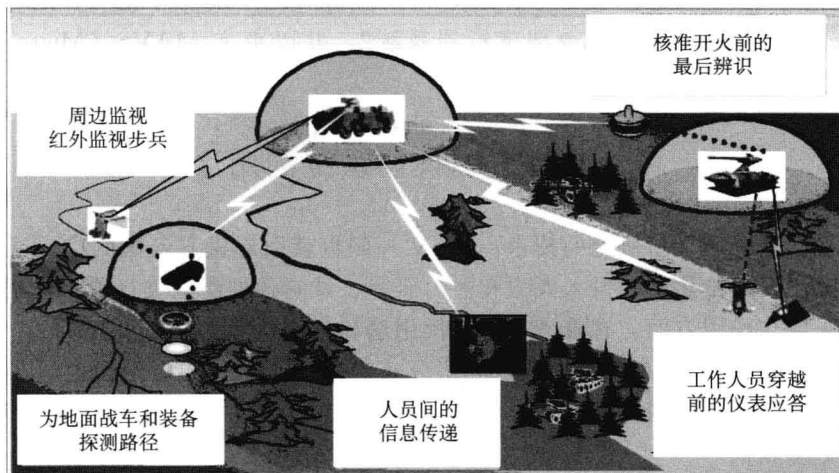


图 1.3 微型飞行器的战场侦察

(3) 便于单兵(或小分队)携带通信联络或执行特殊任务,单兵之间的信息传递(图 1.4)。

(4) 由于微型飞行器的隐蔽性好,可用于敌后侦察和贴近目标侦察(图 1.5)。

(5) 城市战是未来战争中的一个特殊类型区域,MAV 可用于城市复杂楼群环境侦察,可侦察到人眼、一般侦察机和地面侦察设备无法看到的角落(图 1.6)。

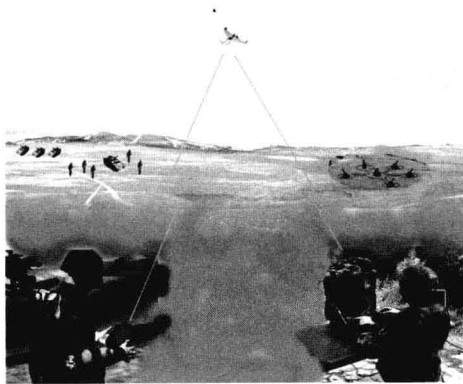


图 1.4 微型飞行器通信联络



图 1.5 微型飞行器监控