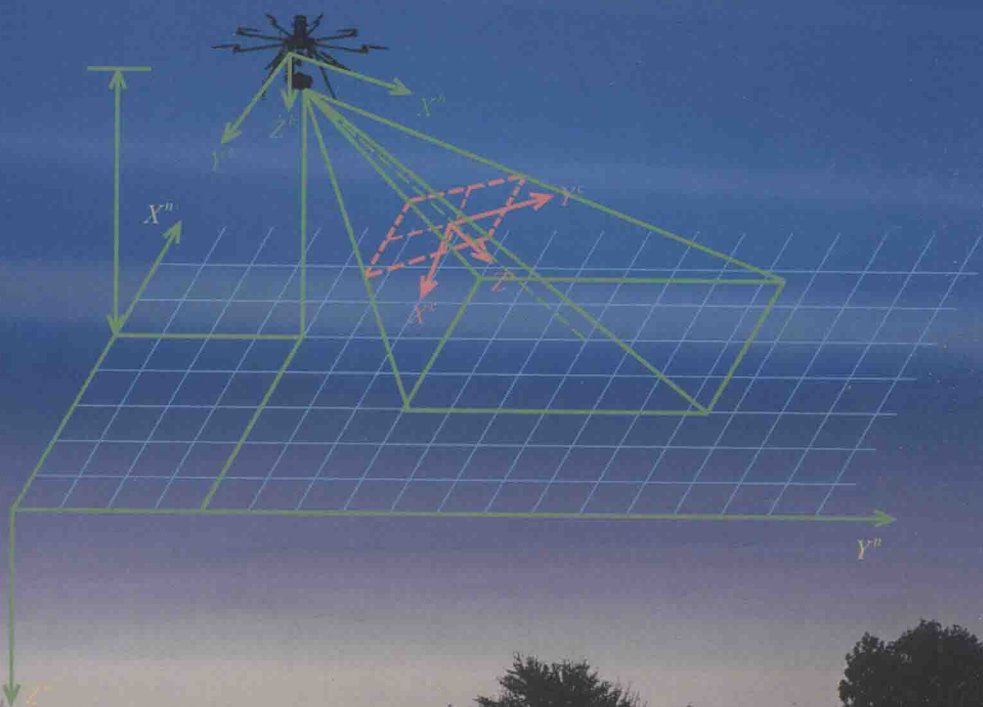


* 现代农业高新技术丛书 *

农用无人机技术 及其应用

Agricultural UAV Technology and Application

何 勇 岑海燕 何立文 刘 飞 聂鹏程 著



科学出版社

现代农业高新技术丛书

农用无人机技术及其应用

何 勇 岑海燕 何立文 刘 飞 聂鹏程 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书系统介绍了农用无人机的理论基础、关键技术与装备及实际应用和管理规范,主要包括农用无人机的发展历史和现状、系统组成、飞行控制与导航系统、航空植保、低空遥感、无线组网监测,以及与无人机作业相关的气象、法规和管理等。总体思路是在系统介绍无人机体系的基础上,密切结合农业应用的特点,详细介绍农用无人机在航空植保、低空遥感、无线组网监测等方面的典型应用场景和案例,最后介绍农用无人机的系统运维、管理和培训。本书立足于作者团队 10 多年的研究成果和实践经验,实现了理论方法、技术应用和管理培训的统一,使读者对农用无人机有全面、系统、深入的了解和认识。

本书可作为高等农业院校农用无人机、航空植保、智慧农业、智能农业装备、农业信息技术、农业工程、农业机械化工程、农业电气化与自动化等相关方向本科生和研究生的专业教材,可供从事农用无人机研发、生产、销售和应用方面的工程技术人员参考,也可作为农用航空和智能农业装备领域广大专业技术人员的培训教材及自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

农用无人机技术及其应用/何勇等著. —北京: 科学出版社, 2018.3
(现代农业高新技术丛书)
ISBN 978-7-03-056089-6

I. ①农… II. ①何… III. ①农业—无人驾驶飞机—基本知识
IV. ①V279

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 316194 号

责任编辑: 王海光 王 好 郝晨扬 / 责任校对: 郑金红
责任印制: 张 伟 / 封面设计: 北京图阅盛世文化传媒有限公司

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>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018 年 3 月第一次印刷 印张: 35

字数: 830 000

定价: 198.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

作者简介



何勇，浙江大学“求是”特聘教授、博士生导师，浙江大学学术委员会委员，浙江大学生物系统工程与食品科学学院院长，浙江大学农业信息技术研究所所长，浙江大学数字农业与农村信息化研究中心常务副主任，农业部光谱检测重点实验室主任，“十二五”国家 863 计划现代农业技术领域“数字农业技术与装备”主题专家，863 计划项目首席专家，国家教学名师，国家百千万人才工程国家级人才，国家农村信息化示范省国家级指导专家，第四届教育部“高校青年教师奖”获得者，浙江省首届十大师德标兵，第四届浙江省十大杰出青年，浙江省突出贡献中青年科技人员，享受国务院政府特殊津贴，全国优秀科技工作者。曾先后在日本东京大学、东京农工大学、美国伊利诺伊大学访问和担任 Visiting Professor。入选科睿唯安 2016 年、2017 年全球高被引科学家 (Highly Cited Researchers 2016, 2017)。据最新的 ESI 统计 (2006 年 11 月至 2017 年 11 月)，全球共有 5075 名科学家排名进入农业科学专业领域前 1% 的“最被引科学家” (Most Cited Scientists)，何勇教授名列第 53 位，H 指数 41。2017 年 2 月 26 日，何勇教授作为特邀嘉宾参加中央电视台《对话》栏目。

何勇教授主要从事数字农业、农用航空、农业物联网和智能农业装备等方面的科研和教学工作。主持国家 863 计划项目、国家自然科学基金项目、国家科技支撑计划项目及省部级重点科研项目 50 余项。发表论文 400 余篇，SCI 收录 300 余篇，其中 9 篇论文入选 ESI 近 10 年农业科学高被引论文。出版著作和教材 20 多部，获发明专利 100 多项，获软件著作权 30 多项。担任 Elsevier 出版公司 SCI 收录的农业工程权威杂志 *Computers and Electronics in Agriculture* 主编，*Food and Bioprocess Technology* 等 10

多种国际学术期刊编委，国内《农业机械学报》《浙江大学学报》等 10 多种学术期刊编委。担任国际农业工程学会（CIGR）第六分会委员、亚洲精细农业联合会常务理事、中国农业工程学会农用航空分会副主任委员。担任国际学术会议分会场主席、学术委员会委员 30 余次。负责的“精细农业”课程荣获国家精品课程和国家资源公开课程。指导的 2 位博士研究生分别获得 2012 年、2013 年全国百篇优秀博士学位论文提名奖。2016 年荣获中国农业航空发展贡献奖。获国家科学技术进步奖二等奖 1 项，浙江省科学技术奖一等奖 4 项、二等奖 9 项，教育部科学技术进步奖一等奖 1 项、二等奖 3 项，国家教学成果奖一等奖 1 项，浙江省教学成果奖一等奖 1 项、二等奖 2 项。

前 言

随着复合材料、传感仪器、控制导航及先进制造技术的不断发展，无人机逐渐从单一军事用途扩展到民用领域，包括航拍摄影、遥感测绘、航空植保、灾情监测、大气探测、农林飞播等。农用无人机具有快速高效、适应性广、环境友好等显著特征，已成为支撑现代农业的重要智能装备之一。美国、日本、德国、澳大利亚等发达国家在农用航空领域发展起步较早，在基础理论、关键技术、重要部件，以及装备、作业规范等方面做了大量研究。我国农用无人机领域的研发起步较晚，但近年来发展非常迅速。特别是2014年中央一号文件提出“加强农用航空建设”以来，国家相继出台了多项指导性文件，农用无人机已被列入多个省（自治区、直辖市）的农机购置补贴目录。农用无人机作为新兴的智能农业装备得到了迅猛发展。2016年，我国载荷5L以上的农用无人机保有量已达5000多架，超过日本位居世界第一；植保作业面积从2013年的不足10万亩^①增长至2015年的1000多万亩；农用无人机生产企业从2010年的不足10家增加至2016年的200多家；产品覆盖多旋翼无人机，油动、电动无人直升机，固定翼无人机等多个品种，并开展了广泛的应用示范。

目前国内外已出版了多部有关无人机方面的著作，这些著作大都偏重对通用无人机的介绍，与农业的复杂作业环境和特性结合较少。本书是国内第一本系统介绍农用无人机的专著，以农用无人机为核心内容，研究了适应农业作业需要的农用无人机的专用平台、飞行控制系统、机载装备，以及与农用无人机作业相关的气象、法规、运维、管理等。本书的撰著团队是国内最早开展农用航空技术与装备研发的主力团队之一。本书的主要内容是研究团队在多个国家高技术研究发展计划（863计划）项目、国家科技支撑计划项目、国家自然科学基金项目、“十三五”国家重点研发计划课题及省部级科研项目的资助下取得的成果，相关成果多次荣获国家和省部级科技成果奖励。本书著者、团队负责人何勇教授是“十二五”国家863计划现代农业技术领域“数字农业技术与装备”主题专家、863计划项目首席专家、国家农业航空产业技术创新战略联盟副理事长，长期致力于农用无人机、智能农业装备和农业物联网的研究、开发、应用和推广。

本书主要由浙江大学何勇、岑海燕、何立文、刘飞、聂鹏程共同撰著。团队成员张艳超、张初、冯旭萍、隋明浩、梁莉莉等参与了部分章节的撰著，团队研究生朱姜蓬、殷文鑫、周莉萍、陈欣欣、曾鸿、陈扬、庄载椿、肖宇钊、刘子毅等参与了本书的撰著、修改和统稿工作，在此对他们付出的辛勤劳动表示衷心的感谢。

鉴于农用无人机技术和应用发展迅速，其涉及的多学科交叉知识和应用领域日益广泛，以及著者水平有限，书中难免有不妥之处，敬请同行和读者批评指正，以便本书再版时修正，若对本书有任何意见和建议，请与本书著者联系。

著 者

2016年12月于浙江大学紫金港

^① 1亩≈666.7m²

目 录

前言	
第 1 章 无人机概述	1
1.1 无人机发展概述	1
1.1.1 无人机的发展历史	1
1.1.2 无人机的定义	6
1.1.3 无人机的组成	8
1.1.4 无人机的应用范围	9
1.1.5 无人机的分类	11
1.2 国外农用航空的发展现状	13
1.2.1 美国	14
1.2.2 俄罗斯	14
1.2.3 澳大利亚、加拿大和巴西	14
1.2.4 日本	16
1.2.5 韩国	16
1.2.6 国际无人机典型产品	16
1.2.7 外文文献分析	17
1.2.8 国外农用航空应用现状	23
1.3 我国农用航空的发展历史与现状	25
1.3.1 我国农用航空的发展历史	25
1.3.2 我国农用无人机应用现状	27
1.4 未来发展方向	33
参考文献	33
第 2 章 无人机系统飞行器	35
2.1 固定翼飞行器	35
2.1.1 固定翼飞行器的定义	35
2.1.2 固定翼飞行器的基本结构及设计原理	35
2.1.3 飞行器的主要部件	37
2.2 旋翼类飞行器	52
2.2.1 旋翼类飞行器的定义及分类	52
2.2.2 单旋翼带尾桨无人直升机的基本结构及设计原理	53
2.2.3 双旋翼共轴无人直升机的基本结构及设计原理	55

2.2.4	多旋翼无人飞行器	59
2.2.5	旋翼类飞行器的组成与主要部件	60
2.2.6	无人旋翼机的飞行原理与飞行操纵	69
2.3	特种飞行器	103
2.3.1	旋翼机	103
2.3.2	扑翼机和变模态旋翼机	104
2.4	动力装置	105
2.4.1	活塞式发动机	105
2.4.2	电动机	109
2.4.3	涡轮喷气发动机	112
2.4.4	螺旋桨	112
2.4.5	其他	115
2.5	植保无人机	115
2.5.1	植保无人机的发展方向	115
2.5.2	农田信息采集无人机	117
2.5.3	无人机的其他应用	117
	参考文献	117
第3章	无人机飞行控制与导航系统	119
3.1	无人机飞行控制系统	119
3.1.1	闭源飞行控制系统	119
3.1.2	开源飞行控制系统	121
3.2	导航控制	124
3.2.1	内回路控制	124
3.2.2	外回路控制	125
3.2.3	飞行控制功能的应用	125
3.3	整体捷联算法和多传感器冗余控制系统	126
3.3.1	常用传感器的介绍	126
3.3.2	飞行控制的软件算法	128
3.4	农用无人机数据链路	129
3.4.1	优秀无人机数据链的特征	129
3.4.2	RC 遥控	130
3.4.3	无线数传电台	132
	参考文献	133
第4章	无人机仿真系统	134
4.1	研制仿真平台的意义和目的	134
4.2	仿真平台的设计思路和要求	137
4.3	仿真平台的组成与工作原理	138

4.3.1	机械部件	138
4.3.2	主控单元	140
4.3.3	远端执行器	144
4.4	仿真平台的典型应用——作物养分获取与分析	154
4.4.1	油菜冠层多光谱图像数据与 SPAD 采集与处理	155
4.4.2	基于油菜冠层植被指数特征的 SPAD 值预测模型研究	158
4.4.3	基于油菜冠层纹理特征的 SPAD 值预测模型研究	162
4.4.4	基于油菜冠层植被指数的 SPAD 值可视化研究	167
4.5	仿真平台的典型应用——喷洒模拟	172
4.6	仿真平台的典型应用——多源数据融合	176
4.6.1	多光谱图像采集与预处理	177
4.6.2	多源图像采集与内参标定	177
4.6.3	图像融合	179
	参考文献	185
第 5 章	农用无人机植保应用	188
5.1	植保机械发展的历史和趋势	188
5.1.1	植保机械的发展历史	188
5.1.2	国内外农用航空植保的发展与案例分析	192
5.2	航空植保的优点	198
5.2.1	适应能力强	198
5.2.2	作业高效	199
5.2.3	节省劳动力	199
5.2.4	节约资源	199
5.2.5	保护人身健康和环境	200
5.3	航空植保发展的研究重点与关键技术	200
5.3.1	航空植保发展的研究重点	200
5.3.2	航空植保的关键技术	202
5.4	植保专用作业飞行管理系统	209
5.4.1	无人机位置信息实时获取与标注	209
5.4.2	作业任务规划和界面设计	211
5.5	植保机配套设施与检测手段	214
5.5.1	喷洒系统	214
5.5.2	航空植保专用药剂	215
5.5.3	喷洒效果的检测手段	216
5.6	农用植保无人机	221
5.6.1	国内外植保无人机的作业模式	221
5.6.2	农用植保无人机的正确选择与合理使用	222

5.7 植保作业相关规范与标准.....	222
参考文献	223
第 6 章 农用无人机低空遥感技术与装备.....	225
6.1 农用无人机低空遥感概述.....	225
6.1.1 遥感技术特点.....	225
6.1.2 无人机低空遥感的研究进展.....	228
6.2 无人机低空遥感任务设备传感仪器与稳定平台.....	233
6.2.1 遥感任务设备通用传感器.....	233
6.2.2 无人机云台.....	240
6.3 遥感图像处理.....	250
6.3.1 入射光衰减模型和大气光成像模型.....	251
6.3.2 结合导向滤波的暗原色去雾算法.....	252
6.3.3 除雾中的实际问题.....	254
6.4 遥感地物特征获取与三维建模.....	255
6.4.1 计算机视觉中的三维重建相关技术.....	256
6.4.2 基于相机辅助信息的三维重建.....	258
6.4.3 基于无人机图像真正射影像方法研究.....	262
6.4.4 三维重建系统软件平台.....	264
6.5 遥感图像地理配准技术与仪器.....	265
6.5.1 遥感图像地理配准概述.....	265
6.5.2 直接地理定位机载 POS 记录仪的开发.....	268
6.6 地-空-星三位一体多源信息获取与融合技术.....	292
参考文献	294
第 7 章 农用无人机农田信息监测.....	300
7.1 无人机光谱与成像检测技术.....	300
7.1.1 无人机光谱检测技术与装备.....	300
7.1.2 无人机光谱成像检测技术与装备.....	306
7.1.3 基于荧光遥感的无人机机载信息获取技术.....	312
7.2 农田土壤信息检测.....	314
7.2.1 农田土壤信息检测背景.....	314
7.2.2 无人机在农田土壤信息检测中的应用.....	316
7.2.3 研究展望.....	318
7.3 无人机作物养分信息检测.....	318
7.3.1 概述.....	318
7.3.2 无人机在作物养分信息检测中的应用.....	319
7.3.3 研究展望.....	324

7.4	植物病害信息监测.....	324
7.4.1	概述	324
7.4.2	地面病害信息的获取.....	325
7.4.3	无人机低空遥感信息的获取.....	328
7.5	植物虫害信息监测.....	331
7.5.1	概述	331
7.5.2	地面虫害信息的获取.....	331
7.5.3	无人机低空遥感信息的获取.....	334
	参考文献	336
第 8 章	农用无人机空中无线传感器网络系统.....	340
8.1	UAV 与无线传感器网络概述.....	340
8.1.1	UAV 与无线传感器网络.....	340
8.1.2	国内外的研究现状及分析.....	341
8.2	UAV-WSN 系统的结构及关键技术.....	342
8.2.1	UAV-WSN 系统的组成结构.....	342
8.2.2	UAV-WSN 系统的网络结构.....	343
8.2.3	UAV-WSN 系统的协议结构.....	344
8.2.4	UAV-WSN 系统的信息采集.....	344
8.2.5	UAV-WSN 系统的信息传输.....	345
8.2.6	UAV-WSN 系统的能量管理.....	346
8.2.7	UAV-WSN 系统的 MAC 协议.....	346
8.2.8	UAV-WSN 系统中的运动模式.....	347
8.3	UAV-WSN 自组网技术.....	348
8.3.1	UAV-WSN 自组网技术的理论基础与原理.....	348
8.3.2	无人机单机和组网的差异.....	352
8.3.3	无人机网络系统.....	353
8.3.4	无人机网络的信道.....	355
8.3.5	扩频通信技术.....	357
8.3.6	无人机的组网方式、网络结构及关键问题.....	361
8.4	基于 UAV-WSN 技术的应用.....	365
8.4.1	基于无线传感技术的无人机与灾害监测.....	366
8.4.2	基于无线传感技术的无人机与农情监测.....	368
8.4.3	基于无线传感技术的无人机与森林防火.....	373
	参考文献	375
第 9 章	农用无人机的其他应用.....	376
9.1	授粉作业	376
9.1.1	概述	376

9.1.2	美国杂交水稻全程机械化制种的授粉方法	377
9.1.3	我国杂交水稻农用无人机制种的授粉方法	378
9.1.4	研究展望	380
9.2	施肥	380
9.2.1	概述	380
9.2.2	关键技术与系统装备	380
9.2.3	无人机变量施肥实例	381
9.2.4	研究展望	383
9.3	棉花收割脱叶作业	383
9.3.1	概述	383
9.3.2	无人机在棉花收割脱叶中的具体应用	383
9.3.3	研究展望	384
9.4	农林火情监控	385
9.4.1	概述	385
9.4.2	关键技术与方法	385
9.4.3	无人机在农林火情监控中的具体应用	385
9.4.4	研究展望	386
9.5	播种	386
9.5.1	概述	386
9.5.2	关键问题	387
9.5.3	实现装置	387
9.5.4	研究展望	387
9.6	土地确权	387
9.6.1	概述	387
9.6.2	无人机土地确权的系统组成	388
9.6.3	无人机在土地确权中的具体应用	390
9.6.4	研究展望	391
9.7	农村电力巡检	392
9.7.1	概述	392
9.7.2	无人机电力巡检系统	393
9.7.3	无人机电力巡检关键技术	395
9.7.4	国内外无人机电力巡检系统	397
9.7.5	研究展望	397
9.8	农村规划	397
9.8.1	概述	397
9.8.2	无人机在农业规划中的具体应用	398
9.8.3	研究展望	399

9.9 农田水利	399
参考文献	401
第 10 章 航空气象	405
10.1 大气的成分及其运动	405
10.1.1 大气的成分及结构	405
10.1.2 基本气象要素	409
10.1.3 空气的水平运动	413
10.1.4 空气的垂直运动	417
10.2 云、降水及其视程障碍现象	419
10.2.1 云的形成与分类	419
10.2.2 降水	427
10.2.3 能见度与视程障碍	429
10.3 典型天气系统	430
10.3.1 气团和锋	430
10.3.2 气旋和反气旋	433
10.3.3 槽线和切变线	437
10.4 特殊天气条件	437
10.4.1 雷暴	437
10.4.2 低空风切变	439
10.4.3 飞机颠簸	442
10.4.4 飞机积冰	444
10.5 航空气象资料的分析 and 应用	446
10.5.1 地面天气图	446
10.5.2 卫星云图	447
参考文献	449
第 11 章 农用无人机适用运行法规	450
11.1 无人机运行法规及民用无人机驾驶员管理规定	450
11.1.1 轻小无人机运行有关规定	450
11.1.2 民用无人机驾驶员管理有关规定	450
11.2 民用无人机驾驶员的培训与考试管理	450
11.2.1 民用无人驾驶航空器系统驾驶员训练机构合格审定规则	451
11.2.2 浙江大学数字农业与农村信息化研究中心课程培训训练大纲	452
附录 11.1 轻小无人机运行规定 (试行)	453
附录 11.2 民用无人机驾驶员管理规定	470
附录 11.3 关于民用无人驾驶航空器系统驾驶员资质管理有关问题的通知 (民航发〔2015〕34 号)	482

附录 11.4	民用无人驾驶航空器系统驾驶员训练机构合格审定规则	484
附录 11.5	浙江大学数字农业与农村信息化研究中心课程培训训练大纲	508
第 12 章	农用无人机的应用与维护	520
12.1	农用无人机的基本信息	520
12.1.1	范围	520
12.1.2	规范性引用文件	520
12.1.3	产品分类与基本参数	520
12.1.4	要求	520
12.1.5	试验方法	523
12.1.6	检验规则	524
12.1.7	标志、包装、随机文件、运输、贮存	524
12.2	农用无人机的检查单制度	525
12.2.1	飞行检查单的出现	525
12.2.2	检查单的内容	525
12.2.3	飞行检查单的重要性	526
12.2.4	检查单的执行方法	527
12.2.5	操作与检验	527
12.2.6	飞行事故记录	528
12.3	应急预案	533
第 13 章	农用无人机作业规范与管理	534
13.1	作业区域管理	534
13.1.1	轻小型民用无人机运行管理	535
13.1.2	无人机系统驾驶员的管理	536
13.1.3	U-Cloud 系统	538
13.2	区域调度管理	539
13.2.1	ADS-B 系统	539
13.2.2	ADS-B 技术	540
13.3	农用作业要求与规范	543
13.3.1	范围	543
13.3.2	作业前准备及应具备的相关资格	543
13.3.3	防治作业要求	545
13.3.4	现场作业要求	545
13.3.5	飞行操作及安全注意事项	545
13.3.6	作业后检查与存放	546

第 1 章 无人机概述

1.1 无人机发展概述

1.1.1 无人机的发展历史

世界上第一架现代无人机是 Hewitt-Sperry 自动飞机 (Hewitt-Sperry automatic airplane), 1917 年第一次成功飞行, 如图 1.1 所示, 是 Hewitt 和 Sperry 两人共同设计开发出来的。这是一架由无线电操纵的小型单翼机, 采用早期由 Sperry 设计的机械陀螺仪控制飞行器的飞行和姿态, 这一设备在现在看来相当简陋, 却是无人驾驶飞行器的鼻祖。在此之后美国空军赞助了自由鹰 (Liberty Eagle) 设计并开发了空投鱼雷, 其造型与飞行器无异。由于存在许多技术问题及机械陀螺仪精度不够, 当时的无人机并没有获得太多来自政府和军方的支持, 但是让人们看到了无人机未来的潜力。

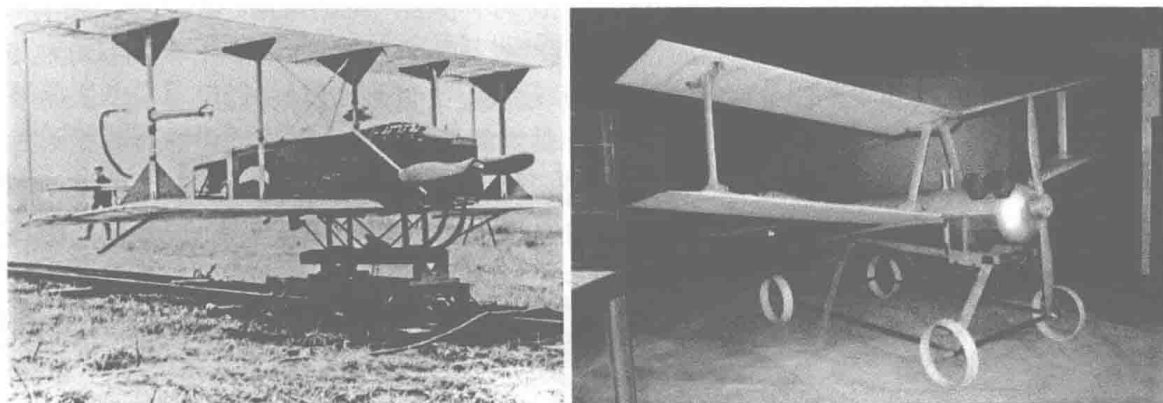


图 1.1 Hewitt-Sperry 自动飞机照片

第一次世界大战之后, 无人机技术向着导弹和靶机两个方向发展。英国皇家海军在 19 世纪 20 年代提出了 3 种无人机概念。第一种是采用陀螺仪实现稳定的空中鱼雷, 在 1924~1925 年, 该装置共进行了 12 次单独起飞; 第二种是由舰艇发射陀螺仪实现自稳的设计靶机; 第三种是由无线电控制的飞弹, 然而这种概念并未深入。英国皇家海军深入发展了第一种概念机, 使之成为一架无人驾驶的战斗机, 今天称为无人战斗机 (unmanned combat aerial vehicle, UCAV), 它通过无线电控制, 目的是在海面上的一个安全距离对岸上目标进行打击。其弹头炸药重量约为 90.72kg, 其第一版是 “RAE 1921 Target”。尽管当时的无线电技术有限, 但其打击目标效果明显。其后来的改良版, 代号为 Larynx, 于 1927 年生产, 此时 “斯特朗赫尔德” 号也已安装了一种改良版的线状无烟火药动力弹射器。Larynx 预期能携带约 113.40kg 的弹头在无线电控制下飞行约 48.28km 的距离, 1927 年的 5 次起飞分别取得了成功。该武器的主要问题是末端制导, 在进行了

第二批系列试验之后，人们停止了船上试验，但岸基试验仍在继续。最终，英国空军认为该武器是载人轰炸机的对手，试验因此被终止。

英国皇家航空研究院在 RAE 1921 Target 型的基础上于 1927 年研制了“喉咙”遥控靶机，如图 1.2 所示。

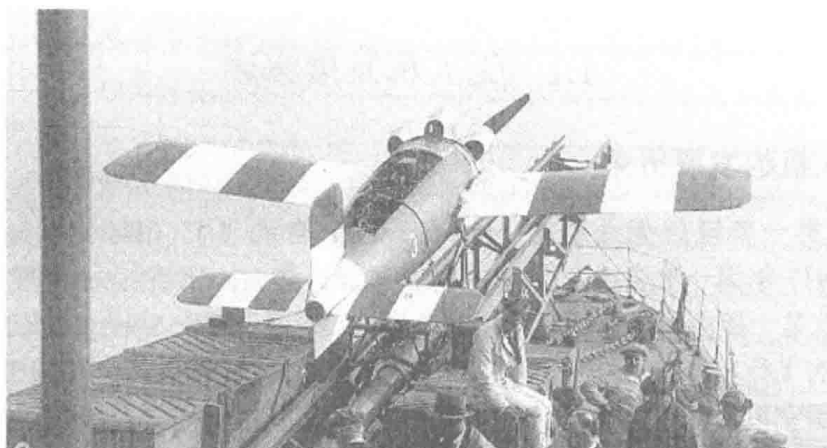


图 1.2 1927 年研制的改自 RAE 1921 Target 的“喉咙”遥控靶机

在第二次世界大战中，无人驾驶技术已经得到了相当广泛的应用。德国 V-1（图 1.3）作为最早的巡航导弹，拥有飞行器的特征，同时也具备了自动保持航线、飞向目标航点的能力，在陀螺仪和空速计组件的操纵下，从法国起飞轰炸英国伦敦。

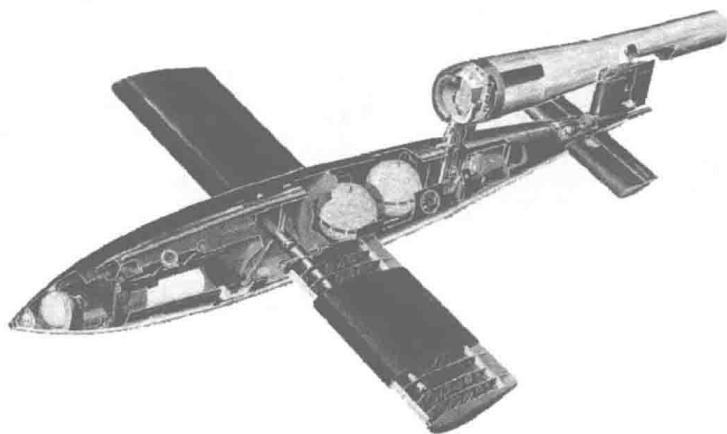
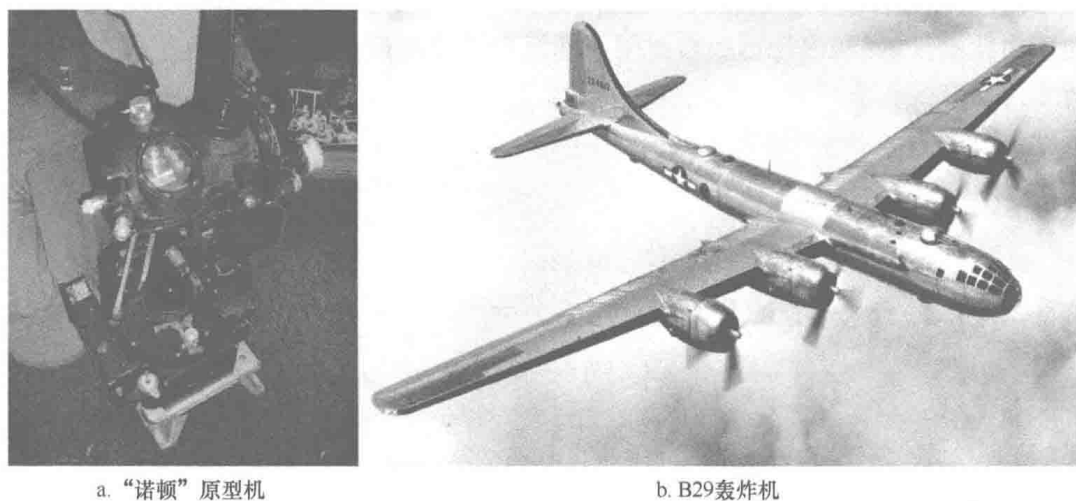


图 1.3 V-1 导弹

战争对无人驾驶技术的需求远不仅如此而已，在涡轮增压发动机的驱动下，美军飞行器得以不断爬升到更高的高度进行轰炸。在对目标进行轰炸的时候需要考虑炸弹来自于飞机相对于地面的速度（简称为地速），炸弹的下落过程也是一个加速到空气阻力和重力相同并最终保持匀速的过程。而风速也是不可忽略的干扰因素，要知道高空的风速往往非常大，所以风速和地速往往有非常大的差距。为了控制飞机在上万米的高度把炸弹扔到准确的位置，美国科学家提出并发明了“诺顿”设备，如图 1.4 所示。“诺顿”的原理是：操纵者首先会使用光学设备对地面参考物进行观测，得到飞机相对于地面的速度，

然后“诺顿”会接管对飞机的控制，使飞机保持水平飞行及高度和速度不变，并且根据地速计算炸弹投放所需要的时间，在恰当的时机将炸弹准确投下。



a. “诺顿”原型机

b. B29轰炸机

图 1.4 “诺顿”原型机及其应用

正是这一最早的导航设备，极大地提升了炸弹的命中率。“诺顿”在当时极为先进，往往是在完成飞行任务之后需要卸载进行单独保管。而“诺顿”因其采用的技术到现在也是无人驾驶飞行器的鼻祖。不过“诺顿”设备也有一定的缺陷。例如，“诺顿”设备显然无法像现在的小型无人机一样能够自动绕开障碍物，导致经常发生在“诺顿”的操控下轰炸机相撞的事故，也无法有效地躲避防空火力。

另一个在第二次世界大战中投入使用的是现在的遥控航空模型——纳粹的弗里茨 X 炸弹（图 1.5），这种滑翔炸弹可以用无线电进行控制，而其一出场就取得了炸毁维托里奥·维内托级战列舰的战果。但从原理上来讲，这其实就是一个装满了 TNT 的无动力滑翔机。可以说，最早的无人机是在战争双方共同需求下诞生出来的自动而高效的杀人机器。

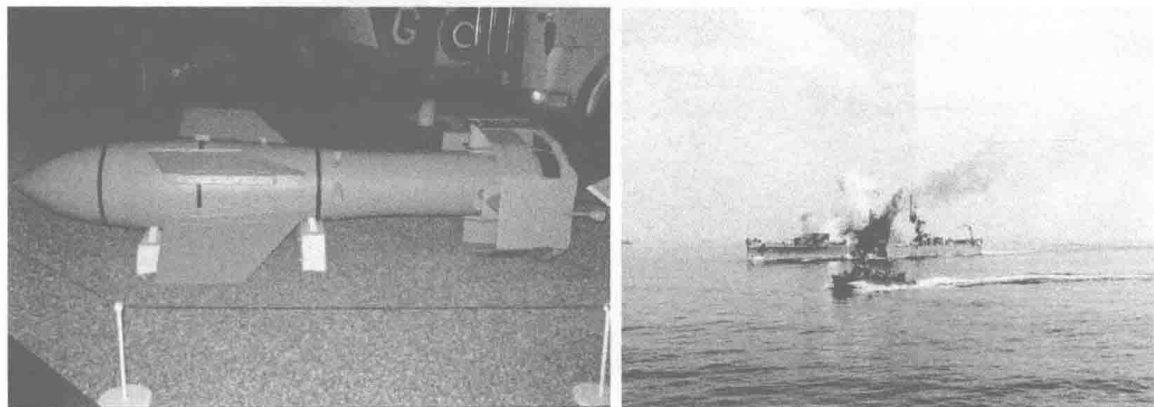


图 1.5 弗里茨 X 炸弹

德国有着悠久的航空发展史，在第二次世界大战中，阿果斯发动机工厂的弗里茨·古斯洛（Fritz Gossiau）研制了一种名为 FZG-43 的靶机（图 1.6）用于德国空军地

试读结束 需要全本请在线购买：www.ertongbook.com