

贺天鹏 主编

Unmanned helicopter
system design

无人直升机系统设计

贺天鹏 张俊 曾国奇 等编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

无人直升机系统设计

贺天鹏 主编

贺天鹏 张俊 曾国奇 乌兰巴根 丁力军 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书涉及无人直升机系统在研究与开发过程中的设计与选型考虑,包括系统定义、总体设计、飞行平台设计、飞控导航与地面控制站系统设计、无线数据通信链路以及任务载荷设计,并介绍了无人直升机系统的发展趋势与市场前景。

本书面向直升机设计领域的工程师和无人直升机系统研发相关领域的研究与设计人员,需要的背景知识包括直升机空气动力学、结构力学、飞行控制理论、航空电子工程和机械工程等领域的一些专业基础知识,适合航空航天研究所或高校从事该领域工作的工程师或研究生使用,也可以作为相关课程的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

无人直升机系统设计/贺天鹏主编. —北京:国防工业出版社,

2016.12

ISBN 978-7-118-10902-3

I. ①无… II. ①贺… III. ①无人驾驶飞机—直升机—系统设计 IV. ①V275

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第211832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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 27½ 字数 554千字

2016年12月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 126.00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

无人直升机系统可以执行许多有人驾驶直升机无法完成的任务,既能够作为实时情报采集、监视、侦察、通信中继、目标截获及战场管理等军事应用的无人飞行平台,又可用于民用领域的电力巡线与架线、地图测绘、交通监控、森林防火、地震灾情探测、农林植保等诸多事务。此外,无人直升机起飞降落不需要跑道,机场适应性较强,在飞行中机动灵活,生存力较强。可见,无人直升机系统的某些任务能力是其他飞行器所不具备的,因此近年来国内外很多单位都加大了无人直升机系统的研发力度。

无人直升机初始核心功能系统主要包括无人直升机平台、飞控导航系统、地面控制站、数据链路与任务载荷。第一章介绍无人直升机系统的定义及研制必要性,对国内外无人直升机系统的发展概况进行阐述,并简要介绍无人直升机系统的架构与系统设计思想。第二章基于复杂工程系统研发的基本理论与系统工程方法,对无人直升机系统的总体设计进行介绍。第三章运用传统直升机设计的相关理论与技术方法,讨论满足于无人直升机系统任务技术指标的直升机平台的设计方法。第四章针对无人直升机的自主飞行、环境适应性以及执行多样化任务等方面的能力需要,从系统功能的角度讨论无人直升机飞控导航系统的设计及其具体工程实现。第五章基于开放性、互用性和公共性的发展特点,分析无人直升机地面指挥与控制系统的搭建。第六章从无人直升机的应用角度出发,对数据链路的相关技术进行介绍,对无人直升机系统设计开发、工程应用中涉及到的数据链路相关知识进行梳理与论述。第七章考虑任务载荷的结构与特性、飞行平台的性能与载荷空间、以及无人直升机系统的整体架构等系统集成的关键因素,讨论满足无人直升机相应任务需求的多种任务载荷。第八章概述了无人直升机系统的应用前景与发展趋势。本书的重点在于为无人直升机系统研制过程中所涉及到的整系统以及各子系统的设计与选型提供思路与方法。

本书第一章由贺天鹏编著,第二、三章由张俊编著,第四章由贺天鹏与乌兰巴根编著,第五、六章由曾国奇编著,第七、八章由贺天鹏与丁力军编著,贺天鹏对全书进行了统稿。在全书成稿过程中,感谢胡继忠、张鸣瑞教授和王吉东副教授对多个章节的细致校稿。另外,特别感谢北京航空航天大学航空科学与工程学院直升机所胡继忠、陈铭、邓彦敏、杜惠芳、王修桐、欧阳万、孙兰花、王吉东、陶然等所有老师,无人机所王壬林等老师,电子学院张鸣瑞、张晓林等老师以及李景泉、

孙恒文等技师，在研制“海鸥”、M16、M18 和 M28 等一系列共轴式无人直升机机型过程中所付出的辛勤劳动，以及积累的丰富经验和宝贵的精神财富，同时也感谢参与这些无人直升机系统研制项目的周国仪、乌兰巴根、郑剑、谌利等博/硕士所做的大量理论算法研究与设计分析工作。他们在这些型号的研制以及试验试飞过程中收获了丰硕的成果，也为本书的成稿提供了丰富的素材。此外，该书的出版还得到了国家 863 计划（2012AA112201）“先进直升机技术”项目的支持，特致感谢。

由于水平与精力所限，书中偏颇与错误之处在所难免，在此向各位同行、专家和读者诚心求教，敬请指正。

贺天鹏
2016 年 1 月

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 无人直升机系统概述	1
1.1.1 无人直升机系统定义	1
1.1.2 无人直升机系统研制必要性	1
1.2 无人直升机系统发展简史	4
1.2.1 国外无人直升机发展概况	4
1.2.2 国内无人直升机发展概况	17
1.3 无人直升机系统架构与设计	21
1.3.1 无人直升机系统架构	21
1.3.2 无人直升机系统设计	26
第二章 无人直升机系统总体设计	30
2.1 系统工程基本理论	30
2.1.1 概述	30
2.1.2 系统定义与特点	31
2.1.3 系统工程方法论	31
2.2 无人直升机系统研制框架	34
2.2.1 无人直升机系统设计过程	34
2.2.2 系统概念设计	35
2.2.3 系统初步设计	35
2.2.4 系统详细设计与制造	35
2.2.5 系统集成与试验验证	36
2.3 无人直升机系统需求论证与分析	36
2.3.1 需求论证特点	36
2.3.2 需求论证模式	37
2.3.3 需求论证方法	38

2.4	无人直升机系统技术风险管控	41
2.4.1	技术成熟困难度评价方法	42
2.4.2	基于集成与可达性的风险识别方法	43
2.4.3	技术成熟计划方法	45
第三章	无人直升机平台设计	47
3.1	无人直升机平台设计基本理论	47
3.1.1	无人直升机平台设计特点	47
3.1.2	无人直升机平台基本组成	48
3.1.3	无人直升机操纵与飞行	53
3.1.4	直升机空气动力学	64
3.1.5	无人直升机旋翼与机体动力学	78
3.2	无人直升机平台总体设计	89
3.2.1	无人直升机平台总体设计框架	90
3.2.2	无人直升机平台构型选择	92
3.2.3	总体参数选择	99
3.2.4	发动机选择与分析	108
3.2.5	直升机平台重量分析	113
3.2.6	直升机平台总体布局设计	115
3.3	直升机平台性能分析	124
3.3.1	性能分析基础数据	124
3.3.2	垂直飞行性能分析	129
3.3.3	直升机前飞性能计算	133
3.3.4	直升机特殊性能问题	142
3.4	直升机平台结构设计	146
3.4.1	机身结构设计	147
3.4.2	尾梁结构设计	157
3.4.3	尾翼结构设计	161
3.4.4	舱口设计	163
3.4.5	起落装置设计	164
3.4.6	旋翼系统设计	165
3.4.7	动力与传动系统结构设计	187
3.4.8	结构试验验证	194
第四章	无人直升机飞控导航系统设计	198
4.1	系统架构设计	200

4.1.1	硬件系统框架	201
4.1.2	软件系统框架	205
4.1.3	开源飞控系统简介	207
4.2	无人直升机飞行动力学建模	211
4.2.1	坐标系统及其变换	213
4.2.2	基本假设与模型合理简化	218
4.2.3	共轴双旋翼气动干扰与入流模型	219
4.2.4	下旋翼气动模型	221
4.2.5	上旋翼气动模型	229
4.2.6	机身气动模型	230
4.2.7	尾翼气动模型	231
4.2.8	飞行动力学模型及其线性化	233
4.3	无人直升机飞控导航系统原理设计	239
4.3.1	无人直升机飞行原理简介	239
4.3.2	发动机转速稳定系统设计	241
4.3.3	姿态稳定系统设计	243
4.3.4	航向通道与方向舵控制原理	244
4.3.5	总距控制与高度稳定系统设计	245
4.3.6	飞行控制系统数学模型仿真	248
4.3.7	自主导航飞行	250
4.3.8	自主着舰系统设计	265
4.3.9	无人直升机先进飞行控制技术概述	296
第五章	无人直升机地面控制站	300
5.1	概 述	300
5.2	地面控制站功能与组成	301
5.2.1	地面控制站功能	301
5.2.2	地面控制站组成	302
5.2.3	地面控制站的分类	308
5.3	地面控制站系统工作原理	309
5.3.1	任务规划与航线规划	309
5.3.2	遥控遥测技术	311
5.3.3	载荷控制技术	312
5.3.4	链路监控技术	312
5.3.5	无人直升机自主起降技术	313
5.4	地面控制站信息处理	315

5.4.1	制订任务规划	315
5.4.2	飞行准备	316
5.4.3	飞行过程	316
5.4.4	记录、转储和回放	316
5.5	指挥控制技术新进展	316
5.5.1	发展趋势	316
5.5.2	国外先进无人机地面控制站	320
第六章	无人直升机数据链路技术	326
6.1	概 述	326
6.2	数字通信系统	327
6.2.1	数字通信系统组成	327
6.2.2	编码	328
6.2.3	调制解调技术	329
6.2.4	同步	339
6.2.5	扩展频谱技术概述	343
6.2.6	数字通信主要技术指标	344
6.2.7	电磁场基本概念	345
6.2.8	天线基本概念	348
6.3	无人直升机数据链路功能、组成及基本原理	349
6.3.1	无人直升机数据链路功能	349
6.3.2	无人直升机数据链路组成	349
6.3.3	无人直升机数据链路基本原理	350
6.4	无人直升机数据链路工程应用	355
6.4.1	无人直升机数据链路体制选型	355
6.4.2	无人直升机数据链路天线	356
6.4.3	无人直升机数据链路通视距离计算	360
6.4.4	无人直升机数据链路裕量估计	361
6.4.5	无人直升机数据链路地面站选址	363
6.5	无人直升机数据链路发展趋势	364
6.5.1	小型化趋势	364
6.5.2	一站多机技术	364
6.5.3	网络化趋势	365
6.5.4	超宽带趋势	365
6.5.5	通用化	366
6.5.6	高抗干扰	366

6.6 典型无人机测控数据链路	367
第七章 无人直升机任务载荷	371
7.1 任务载荷定义与分类	371
7.2 非消耗性任务载荷	372
7.2.1 侦察/监视类任务载荷	373
7.2.2 其他非消耗性任务载荷	404
7.3 消耗性任务载荷	405
7.3.1 武器类任务载荷	405
7.3.2 其他消耗性任务载荷	406
第八章 无人直升机系统发展前景	407
8.1 无人直升机系统应用前景	407
8.1.1 无人直升机系统应用简介	407
8.1.2 无人直升机系统的军事应用	409
8.1.3 无人直升机系统的民用领域	415
8.2 无人直升机系统发展趋势	420
8.2.1 国际无人直升机系统发展趋势	420
8.2.2 国内发展无人直升机系统面临的挑战	422
中英文术语对照表	424
参考文献	427

1.1 无人直升机系统概述

1.1.1 无人直升机系统定义

无人直升机是指由无线电地面遥控飞行或/和自主控制飞行的可垂直起降(VTOL)不载人飞行器,在构造形式上属于旋翼飞行器,在功能上属于垂直起降飞行器^[1]。

无人直升机系统的定义更为广泛。在实际的工程实践与机型应用中,无人直升机平台只是全系统中最重要的一部分,无人直升机系统作为一个整体运行的系统,从一开始就应该作为一个完整的系统来考虑,按照无飞行员、无座舱的模式进行最优设计,这样才能获得更好的设计与研制效果^[2]。

无人直升机起飞着陆不需要跑道,机场适应性较强,在飞行中机动灵活,生存力较强^[3]。这些独有的飞行特点是其他飞行器所不具备的,所以它可以执行许多固定翼飞机或有人驾驶直升机无法完成的任务,既可作为实时情报采集、监视、侦察、通信中继、目标截获及战场管理等军事应用的平台,又可用于民用的电力巡线与架线、地图测绘、交通监控、森林防火、地震灾情探测等事务。因此,近年来国内外很多单位都加大了无人直升机系统的研发力度^[4]。

1.1.2 无人直升机系统研制必要性

无人直升机旋翼在静止空气和相对气流中旋转能产生向上的拉力,由自动倾斜器操纵则可产生向前、向后、向左或向右的水平分力,因而无人直升机能够做到:①垂直上升或下降、空中悬停、原地转弯,并能前飞、后飞和侧飞;②长时间悬停,能贴近地面机动飞行,或利用地形地物隐蔽飞行;③起飞和降落不需要专用的机场和跑道,也不必配备像固定翼飞机那样复杂的发射回收系统;④若发动机发生故障空中停车,无人直升机可以利用旋翼自转下滑安全降落^[5]。

由于无人直升机相对于固定翼飞机或有人驾驶直升机具有这些独特的优势与特点,所以应用十分广泛,具有巨大的实用价值。

通常,一个飞行器系统从最初设计时就应当考虑它需要承担什么特定的任务,设计师需要根据飞行器被赋予的任务来确定选择哪种飞行器类型最适合。对于无人直升机系统,则主要在下面一些类型的任务中存在应用的必要性^[2]。

1. 枯燥任务

在 1999 年科索沃战争爆发期间, B-2 飞机机组人员在 34 天里执行了从密苏里州到塞尔维亚的历时 34h 的往返飞行任务。机组人员从通常的 2 名扩充到 3 名,即便这样,繁重的管理仍旧是部队指挥官考虑最多的问题。他们估计 40h 将是机组人员执行任务的极限时间。兰德公司在科索沃战争结束后进行的评估中指出,每架飞机的机组人员应从 2 名增加到 4 名或实施国外部署。然而,该建议存在一个明显的制约因素,因为成倍增加机组人员要么将使利用美国空军有限的 B-2 飞机进行的训练架次和飞行时间增加一倍,要么降低每名 B-2 机组人员的训练架次和飞行时间,但这样会使得他们的作战熟练程度和技能下降到无法接受的程度。与之形成对照的是,在 2001 年阿富汗战争和 2003 年伊拉克战中,美国本土操作人员操纵 MQ-1 无人机在阿富汗和伊拉克进行了近乎连续几天的作战任务,操作人员每 4h 轮换一次,承受压力的时间较短。

陆军的情报侦察、战场监视以及海军的中短程海上监视等重复性军事侦察任务,以及一些民用的探测、测绘等任务,对飞行员来说是一项非常枯燥的工作,需要进行不间断地观察,长时间得不到休息,容易导致注意力不集中,进而影响任务的完成效果。无人直升机通过携带的高清晰光电/红外吊舱或扫描雷达等任务载荷,能够有效地完成这类任务,而且成本不高。通过无人直升机系统的任务规划与控制站则可以采用交替工作的模式来降低这种枯燥任务的工作强度。

2. 危险任务

侦察任务通常是一项危险的任务。在完成对重点防护区域侦察等军事任务中,有人机的机组人员会因受到攻击威胁而分散履行任务的精力,导致有人机损耗的概率要大于无人机。第二次世界大战期间,美军第三侦察大队 25% 的飞行员牺牲在北非战场,而飞入德国领空的轰炸机飞行员死亡率仅为 5%。当 1960 年 5 月 1 日苏联击落一架美国 U-2 侦察机并逮捕其飞行员后,美国对苏联进行的有人侦察飞行被迫终止。5 月 1 日可以承受的风险到了 5 月 2 日则会被认为在政治和军事上都不能够接受。尽管这架 U-2 及其飞行员(弗朗西斯·加里·鲍威尔)既不是第一个也不是最后一个在冷战时期被击落的侦察飞机和飞行员(冷战时期的侦察任务共损失了 23 架有人驾驶飞机和 179 名飞行员),但这些损失促进了美国空军为执行侦察任务开发无人机的工作,特别是 AQM-34 火蜂 II 和洛克希德 D-21 无人机。30 年后,美国海军一架 EP-3 飞机被损毁以及 24 名机组人员遭到扣留的事件表明,和平时期的侦察任务仍旧具有危险性和政治敏感性。无人机系统能够提供帮助的其他危险任务还包括对敌防空压制(SEAD)、

攻击和电子战。越南战争和巴以冲突中执行上述任务的飞机和机组人员的损失最大。部署无人机的一个主要目的是降低高危险环境内机组人员伤亡的风险。将这些任务部署给无人战斗机（UCAV），将直接解决攻击或削弱敌方一体化防空系统能力所存在的危险问题。

无人直升机系统任务规划与控制站中的操控人员由于远离战场，没有人身危险，可以更加集中精力、更加高效地完成任务。此外，由于无人直升机尺寸小，可以选择较为隐蔽的区域飞行，不易被敌方防空系统探测，被防空导弹或火炮击落的可能性大大降低，所以无人直升机具有更高的任务成功率，而且没有损失飞行员的危险。

对于输电线路巡检、大面积森林防火、核生化污染的环境监测等民用领域，任务的完成对有人机飞行员来说也比较危险，而携带相应任务载荷的无人直升机能有效地完成该类任务，所以根本没有必要将飞行员置于危险环境。面对此类恶劣飞行环境所带来的危险性，无人直升机呈现出良好的实用价值。

3. 隐蔽任务

在军事和民用监察行动中，很重要的一点是不能让“敌方（其他武装分子或罪犯）”察觉已经被监测。无人直升机能够借助地形地物，选择较为隐蔽的区域飞行，这些低探测特性使得无人直升机比较适合完成该类任务。

4. 科研任务

目前，无人直升机正被用于航空领域的型号研制。例如，对于直升机型号研制的飞行测试，将无人直升机作为研制军用或民用有人直升机的缩比试验样机，完成直升机在空中真实环境下的测试，这样既能降低研发测试的费用，又能降低测试的危险性。同时，由于节省了对飞行员座舱和工作环境的设计，相对于直接研制大型直升机来说，缩比样机验证后的修改完善具有低成本、快捷等特点。

5. 环境因素

适用无人直升机的环境因素主要体现在民用领域。完成相同的任务，无人直升机产生的环境影响和污染要小于有人直升机。通常无人直升机尺寸小、重量轻、能源消耗小，因而产生的噪声和排放也小。最典型的是在输电线路反复巡检的应用过程中，一般当地的居民都会反对由此产生的噪声，而且输电线路附近的动物也会因低空大型直升机的噪声而产生恐慌。

6. 经济性考虑

无人直升机通常会比有人直升机小，虽然针对某些任务需要配备诸如合成孔径雷达之类较为昂贵的设备，但是省去了昂贵的飞行员培训与生命保障等费用，所以综合计算的结果首次购置费还是比较低。另外，由于无人直升机维修费、燃油费、存放保管费等都比较低，且地面操作人员的工资、保险等费用总体来说要远远低于有人机的飞行员，所以使得无人直升机的使用成本相对低廉。

无人直升机一个广泛应用的案例为区域监视,这种任务通常可以由载有两名机组人员(一名为飞行员,另一名为监视者)的轻型无人直升机来完成。承载这两名机组人员的空间,如座位、控制手柄、仪器等,要求大约 1.2m^3 ,前部空间要求大约 1.5m^3 。而完成相同任务的无人直升机,只需要 0.015m^3 的空间存放传感器、自主飞行控制与导航系统、光电/红外吊舱和无线数据通信链路等机载设备,而设备舱前部空间大约也只需要 0.04m^3 。轻型有人直升机执行该类任务需要携带的载荷包括人员(飞行员和监视者)和辅助设备(座位、显示器、控制手柄、空调设备等),合计至少 230kg ,而无人直升机完成相应任务只需配备飞控导航系统和监视传感器等,总质量约 10kg ,所以相对于一个小型无人直升机来说,有人直升机大约需要额外携带 220kg 的质量,以满足 37 倍的前部空间需求,这个空间需求也会等比例地产生机体阻力^[2]。由此可见,无人直升机上没有机组人员,既能简化无人直升机的设计,又能降低无人直升机的造价。

总而言之,无人直升机具有高度的灵活性,能适应复杂多变的环境,能代替人去执行多种多样复杂的任务,而且具有无人员伤亡、隐蔽性好、体积小、战场生存力高等有人驾驶直升机无法比拟的优越性,在军用和民用上都有着广泛的应用前景。

1.2 无人直升机系统发展简史

1.2.1 国外无人直升机发展概况

无人直升机的研制最早可追溯到 20 世纪 50 年代,美国、英国、德国等国家率先开始了对无人直升机的设计与开发,美国卡曼公司曾推出一款反潜无人直升机 QH-50,并且有一些型号投入了实际应用阶段。1960 年,世界上第一架反潜无人直升机 QH-50A(见图 1-1)成功完成试飞,携带 2 枚 MK44 型鱼雷担任舰队反潜作战任务。美国海军一共购买了大约 800 架的 QH-50 系列无人反潜直升机,显然从无人直升机诞生伊始,该平台就体现了作为舰载机的特点。当然,美国陆军也不会放过无人直升机这一平台,QH-50D 就是一款参加了越南战争的无人直升机,可为己方部队提供战场监视、炮瞄、侦察等任务。QH-50 是世界上首次出现的一款具有实用价值的无人直升机,但由于当时技术水平的限制,该无人直升机的性能与功能都与军方的使用需求还有较大的差距,导致事故率偏高,20 世纪 70 年代初停止了使用。图 1-2 所示为携带两枚 MK44 型鱼雷进行反潜作战的 QH-50C 无人驾驶直升机。



图 1-1 QH-50A 反潜无人直升机



图 1-2 反潜作战中的 QH-50C

20 世纪八九十年代,无人直升机的发展百花齐放,出现了多种气动外形以及具备多任务能力的无人直升机,比较典型的有采用共轴旋翼涵道式设计的 Cypher 无人直升机、“鹰眼”(Eagle Eye)倾转旋翼无人直升机、共轴双旋翼无人直升机 Ka137、针对无人系统全新设计的 A160T “蜂鸟”无人直升机、CL-327 “哨兵”无人直升机等^[6]。90 年代以来,出于高技术战场侦察的需要,美国等发达国家开始重新考虑并加紧研制新一代无人直升机,随着长期的投入和大量的飞行测试,近年来已有一些机型日趋成熟,比较典型的有瑞典 APID 60 无人直升机、奥地利 S-100 无人直升机、美国诺思罗普·格鲁门公司的侦察打击一体化无人直升机“火力侦察兵”(Fire Scout)^[6]。

1. 美国西科斯基公司 Cypher 无人直升机

美国西科斯基公司从 1986 年开始进行 Cypher 的概念设计,第一架 Cypher 技术验证机于 1992 年进行了系留试飞,1993 年进行了自由飞行。1994 年以来, Cypher 无人直升机(见图 1-3)已经展示了各种不同的飞行能力,至 1998 年,已经试飞了 500 个起降。2003 年 6 月,西科斯基公司 Cypher II 无人直升机(见图 1-4)进行了第一次系留飞行试验。Cypher II 采用了在 Cypher 技术验证机上开发的封闭式旋翼。增大的机翼和一个推进式螺旋桨使该机具有高速飞行能力。该机翼展 3m,任务载荷质量约 113kg,前飞速度为 217km/h,可在直升机模式与固定翼飞机模式之间切换飞行。

Cypher 无人直升机使用了共轴旋翼的涵道式设计,两副四片桨叶和一个负责推进的涵道风扇提供全部的动力,一对短翼提供部分升力。Cypher 机体呈圆环型,其独特之处在于采用涵道式结构,两副四片桨叶的共轴旋翼全部置于涵道之中。Cypher 无人直升机的涵道具有多种功能,它既可支持、固定和保护旋翼,又可产生一部分升力,另外,它还作为机体来容纳发动机、航空电子设备、燃油、有效载荷以及其他与飞行相关的硬件。



图 1-3 Cypher 无人直升机及其地面控制站



图 1-4 Cypher II 无人直升机

Cypher 无人直升机主要指标如表 1-1 所列。

表 1-1 Cypher 无人直升机主要指标

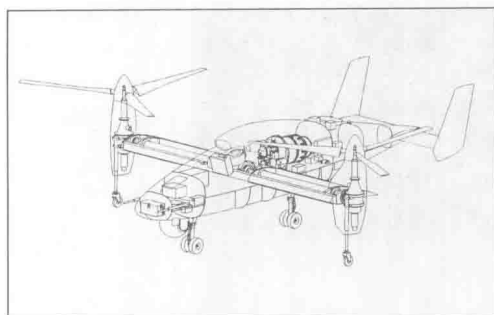
技术参数	技术指标	技术参数	技术指标
旋翼直径	1.2m	空重	75kg
机长（折叠）	0.6m	最大有效载荷	23kg
机高	2m	最大速度	121km/h
动力装置	1 台 UELAR801 型转子发动机	升限	2440m
发动机功率	37.8kW	活动半径	80km
最大起飞质量	113kg	续航时间	3h

Cypher 无人直升机是一种近程军民两用无人飞行器，最初是设计用于空中侦察的，主要用来提供战场目标定位和跟踪信息。随着 Cypher 无人直升机技术的成熟，它逐渐发展成为一个多用途任务平台，能够完成多种不同的任务，包括警戒、搜索、空中遥感、任务载荷运送和无线电中继等。

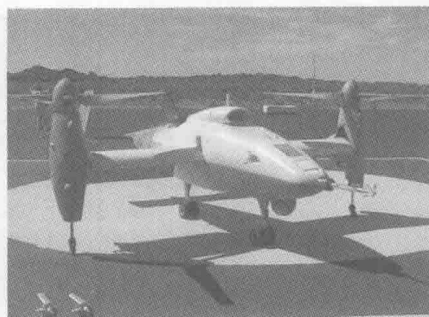
Cypher 无人直升机的自主飞行模式有自主起飞和着陆、定点悬停、高度保持、速度保持和自主返航等。Cypher 无人直升机由一个运动的地面站进行控制和管理，通过地面站操纵显示器，就可规划、监视和执行整个任务过程。根据任务、使用范围以及所要求图像质量的不同，Cypher 无人直升机的任务载荷可包括光电传感器、前视红外传感器、小型雷达、化学探测器、磁测仪、无线电中继设备等。

2. 美国贝尔公司“鹰眼”倾转旋翼无人直升机

美国贝尔直升机公司于 1991 年 12 月开始研制的“鹰眼”无人直升机是一种倾转旋翼无人直升机（见图 1-5），它是在 V-22 有人驾驶倾转旋翼飞机的基础上发展起来的，1992 年在美国得克萨斯州达拉斯市达信集团贝尔直升机公司(BHTI)举行了首次飞行试验。该无人直升机结合了直升机和固定翼飞行器的特点，飞行包线更宽，最大飞行速度可达 388km/h。该无人直升机主要指标如表 1-2 所列。



(a)



(b)



(c)

图 1-5 “鹰眼”倾转旋翼无人直升机

表 1-2 “鹰眼”倾转旋翼无人直升机主要指标

技术参数	技术指标	技术参数	技术指标
机长	5.18m	空重	340kg
翼展	4.6m	有效载荷	90~136kg
动力装置	Allison 250-C20 GT	最大飞行速度	388km/h
发动机功率	309kW	续航时间	6h
最大起飞重量	1020kg		

3. 俄罗斯 Ka-137 多用途无人直升机

Ka-137 无人驾驶直升机 (见图 1-6) 是俄罗斯卡莫夫飞机设计局在 Ka-37 的基础上于 1994 年开始研制的一型无人直升机。它与 Ka-37 一样也采用共轴双旋翼结构, 但它的外形尺寸比 Ka-37 小, 机体形状为球形, 并采用四腿起落架。该无人直升机主要指标如表 1-3 所列。该机 1995 年完成草图设计, 同年在莫斯科航展首次展出, 1996 年完成全尺寸模型制作, 1999 年定型投产并开始装备俄罗斯陆军和边防部队。