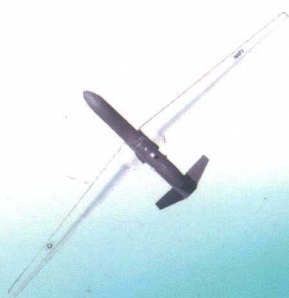


舰载无人机作战 运筹分析

■ 谭安胜 著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

舰载无人机作战运筹分析

谭安胜 著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书是国内第一部关于舰载无人机作战运筹分析的专著。全书以舰载无人机在水面舰艇编队作战行动中如何使用并与舰艇编队形成一体化作战能力为主线，将水面舰艇编队及其搭载的舰载无人机视为一个整体，从系统视角应用运筹分析的方法，将战术、技术分析 with 运筹方法应用有机结合，使运筹与战术协调统一、理论与实践紧密结合。本书第1章为绪论，介绍舰载无人机的发展和系统基本组成；第2章从作战使用的角度对舰载无人机任务规划的内涵进行了诠释；第3章至第9章围绕光电、电子侦察、电子干扰以及雷达探测等载荷，在水面舰艇编队作战行动中的使用问题开展运筹分析。

本书可作为军事运筹学、作战指挥学、兵种战术学、军事决策、军事系统工程等学科领域的硕士和博士研究生的教材或参考书，也可作为院校教师、部队指挥员或科研工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

舰载无人机作战运筹分析 / 谭安胜著. —北京: 国防工业出版社, 2017.6
ISBN 978-7-118-11375-4

I. ①舰… II. ①谭… III. ①舰载飞机—无人驾驶飞机—作战—运筹问题 IV. ①E926.392

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第194009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)

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13¼ 字数 296 千字
2017年6月第1版第1次印刷 印数 1—1500册 定价 88.00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

序 言

未来战争将转向一种全新的模式，无人和自主系统将扮演重要角色。随着大量新技术在无人机上的应用，无人机将能够独立或与有人系统协同执行任务，成为改变战争形态和交战规则的重要装备。未来的作战编组将是基于混合各类有人和无人平台的作战编组。

谭安胜教授多年从事军事运筹、作战指挥和兵种战术的教学、研究工作，在用交叉学科解决作战与训练中的实际问题方面造诣很深。本书是针对水面舰艇部队作战、训练与建设对舰载无人机作战运筹分析的需求，广泛汲取国内外舰载无人机作战运筹分析研究与应用的新近成果撰写而成。全书覆盖了舰载无人机作战使用的主要运筹分析问题，取材新颖，内容丰富，实用性强。

作者着眼现代海战对舰载无人机作战运筹分析的挑战和军事运筹学学科发展建设的要求，在本书的系统性、先进性和实用性方面做了艰苦而有创新的努力，取得了显著的效果。主要表现在：一是形成了水面舰艇编队作战过程中使用舰载无人机作战决策问题为主线的层次分明的作战运筹分析研究内容体系。第1章介绍了舰载无人机发展概况、舰载无人机系统的基本组成以及舰载无人机作战使用约束，为后续研究奠定了基础；第2章至第9章基于不同任务载荷的特点，围绕水面舰艇编队作战行动，讨论舰载无人机挂载不同载荷与水面舰艇编队协同一体作战时的各类运筹分析问题。另外，每一章首先对作战问题本质进行分析，然后构建数学模型，最后进行仿真并得出结论。这种内容体系的安排，使得军事决策问题明确、突出，便于军事背景读者和运筹背景读者研究讨论。二是从系统视角应用运筹分析方法，把“舰载无人机既是载舰上的装备又是编队中的兵力，其载舰是编队中的载舰，编队是作战体系中的编队”的思想贯穿运筹分析全过程中，提高了运筹分析结果的有效性。三是将战术、技术分析 with 运筹分析方法应用有机结合，增强了分析方法的实用性和科学性。

当前，全军都在按“战斗力标准”加强信息化建设，按“能打仗，打胜仗”的标准开展实战化训练。水面舰艇部队作为战区海军的一支主要力量，舰载无人机作为水面舰艇编队的重要兵力，在作战训练和建设中发挥重要作用，十分需要军事运筹分析的理论与方法，实现作战、指挥和管理等各类军事活动的科学决策，进一步提升水面舰艇编队一体化作战能力。本书的出版，无疑会在这方面发挥重要作用。

作战运筹分析是作战筹划与系统思维、数学分析的联姻，它注重研究作战问题的系统性特征和可量化规律，把定性 with 定量结合的优化论证方法成功地运用于辅助作战决策之中。因此，相信本书的出版，将对军事运筹学科的理论建设与发展发挥重要推动作用。

卜兰峰

前 言

无人机是一种由无线电遥控设备或自身程序控制系统操纵的无人驾驶飞行器，在现代战争中得到越来越广泛的应用，是世界各国争相发展的高新技术装备。随着大量新技术在无人机上的应用，无人机将实现从地面、水面、舰船、潜艇、飞机、车辆、航天器等平台上起飞和回收，集侦察监视、情报传输、电子对抗和火力打击于一体，能够独立或与有人系统协同执行任务，成为主导现代战争进程、改变战争形态的重要装备。可以预计在不远的将来，无人机将发展成为一个崭新的家族，既有执行抵近侦察和特种渗透任务的纳米微型无人机，也有执行歼击、对敌攻击、电子干扰等任务的中型无人机，还有执行战略轰炸、快速全球打击任务的大型无人机。这些无人机的智能化程度和作战能力都将大幅度提高，在地面/舰面人员的预先部署和远程指挥下，无人机将成为维护国家安全、改变交战规则的主要装备。随着无人机的发展，未来战争将转向一种全新的模式，无人和自主系统将扮演核心角色。未来的作战编组将是基于混合各类有人和无人平台的作战编组。

舰载无人机经过多年的发展，已由最初的单一型号发展到多种型号，由单一的靶机发展到侦察机，由挂载单一侦察设备完成有限的侦察任务，发展到可更换不同的载荷，再到一个载荷集成多种功能；由侦察型发展到察打一体型；由单机完成作战任务到多机编队完成任务，再到由有人机与无人机编队飞行完成作战任务的跨越。舰载无人机已成为海军作战体系中的“黏合剂”和“倍增器”，已由水面舰艇的保障装备发展成为水面舰艇编队的常规装备，正在逐步改变着海战形态。

本书从作战使用的角度，针对舰载无人机在水面舰艇编队作战行动中如何使用的实际问题进行运筹分析。

全书共分9章。第1章绪论介绍了舰载无人机的发展、基本组成和作战使用约束；第2章编队作战中舰载无人机的任务规划，从作战使用的角度，将舰载无人机的任务规划分解为战术规划和航迹规划，并对舰载无人机任务规划的内涵、原则和方法进行了探讨；第3章开始到第6章，围绕舰载无人机挂载光电载荷的作战运筹问题开展讨论，其中第3章是关于舰载无人机光电载荷对海搜索问题的运筹分析；第4章和第5章分别是舰载无人机光电载荷对岸射击观测与射击校正问题的运筹分析；第6章是关于舰载无人机光电载荷红外热成像系统的作战运筹问题，第7章是关于舰载无人机电子侦察载荷无源定位问题的运筹分析，第8章是关于舰载无人机通信干扰载荷和雷达干扰载荷的作战运筹问题，第9章是关于舰载无人机雷达探测载荷的作战运筹问题。

本书是在作者近几年科研和学术研究成果的基础上，经脱密处理并进行充实完善后形成的。原海司作战部禹大勇、王一博、朱永松，某驱逐舰支队王献忠、包道华，某航空兵团顾廷勇等同志对作者的研究成果提出了许多宝贵意见，本书中有许多观点源于他

们实践经验的启发。国防大学刘胜如、司光亚教授，军事科学院姚江宁、赵存如、李宁研究员，空军指挥学院刘小荷教授，海军装备研究院宋海凌、王鹰等研究员多年来为作者的科研、学术成果的鉴定付出了辛勤的劳动。我的研究生团队中的尹成义、王新为博士，胡峥涛、贺凯、朱青松、郭江龙硕士做了大量实质性的工作。在此表示深切感谢。

本书撰写中参阅了大量文献，是这些文献的作者给了我灵感和启发，书中融入了他们的思想，在此深表谢意，如果注释中有疏漏敬请原谅。

尽管本书是作者近几年科研与学术成果的总结，但随着人们认识水平的不断提高、装备的不断发展、作战理论与思想的不断创新和研究问题的逐步深入，书中提到的有关观点、原则、方法等随着时间的推移可能过时，但可以为读者提供一种研究问题的思路，也可以为同行们提供一个“靶子”，以此作为创新研究的起点。

本书读者对象为从事军事运筹学、作战指挥学、兵种战术学等学科和领域的教师、硕士和博士研究生以及海军部队的指挥员或科研工作者。

由于时间和水平的限制，本书难免会存在不足，衷心期望广大读者提出宝贵的意见与建议，从而能不断改进我的工作。我衷心希望本书的出版能起“抛砖引玉”的作用，引起广大读者关注、讨论，从而有助于更好地研究与应用军事运筹学，更好地将作战与运筹紧密结合，为院校教学服务，为部队作战与训练服务。

本书的写作一直得到海军大连舰艇学院各级领导的支持，是他们为我排忧解难，创造了很好的工作环境。衷心地感谢所有关心、帮助和支持过我的人们。

谭安胜

2016年10月于大连

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 舰载无人机发展概况	1
1.1.1 舰载固定翼无人机	1
1.1.2 舰载倾转旋翼无人机	3
1.1.3 舰载无人直升机	3
1.2 舰载无人机系统基本组成	5
1.2.1 舰面系统	6
1.2.2 任务载荷系统	6
1.2.3 飞行器系统	6
1.3 舰载无人机作战使用约束	7
1.3.1 飞行性能约束	7
1.3.2 信息传输能力约束	9
1.3.3 飞行环境约束	9
1.4 本书的主要内容	10
第 2 章 编队作战中舰载无人机的任务规划	14
2.1 舰载无人机任务规划的概念与方法	14
2.1.1 舰载无人机任务规划的内涵	14
2.1.2 舰载无人机任务规划的原则	15
2.1.3 舰载无人机任务规划的方法	15
2.2 编队对海作战中舰载无人机的战术规划	18
2.2.1 舰载无人机对海战术任务的确定	18
2.2.2 舰载无人机对海任务区域的确定	20
2.2.3 舰载无人机对海放飞时机的确定	24
2.3 编队对岸作战中舰载无人机的战术规划	25
2.3.1 舰载无人机对岸战术任务的确定	25
2.3.2 舰载无人机对岸侦察任务区的确定	26
2.4 舰载无人机的航迹规划	27
2.4.1 舰载无人机航迹规划的基本要求	28
2.4.2 舰载无人机飞行航迹的表示方法	28

2.4.3	舰载无人机航迹规划基本约束	29
2.4.4	舰载无人机航迹规划一般流程	30
2.5	本章小结	30
第3章	舰载无人机光电载荷对海搜索运筹分析	32
3.1	光电载荷对海收容能力与决策	32
3.1.1	光电载荷对海收容面积	32
3.1.2	光电载荷对海收容畸变与搜参限制	34
3.2	光电载荷对海分辨能力与决策	39
3.2.1	电视系统的分辨力	39
3.2.2	光电载荷海面分辨力	40
3.2.3	海面单个目标的等效	41
3.3	光电载荷对海上群目标收容与识别	41
3.3.1	对海上群目标收容能力	42
3.3.2	收容群目标的控制方法	43
3.3.3	对海上群目标识别方法	43
3.4	光电载荷对海搜索效率与决策	44
3.4.1	光电载荷瞬时发现概率	44
3.4.2	人眼在荧光屏上的搜索	46
3.5	舰载无人机系统对海搜索效率与决策	49
3.5.1	基本假设	49
3.5.2	模型建立	50
3.6	舰载无人机对海上目标搜索方法	53
3.6.1	对海搜索方式及选择	53
3.6.2	对海搜索力配置	54
3.6.3	单机对海搜索方法	57
3.6.4	多机编队对海搜索方法	58
3.7	本章小结	61
第4章	舰载无人机光电载荷对岸射击观测运筹分析	62
4.1	光电载荷对岸收容能力与决策	62
4.1.1	光电载荷对岸收容面积	62
4.1.2	光电载荷对岸收容畸变	67
4.1.3	舰炮对岸齐射炸点分布	74
4.1.4	光电载荷对岸最佳收容面积	78
4.2	光电载荷对岸分辨能力与决策	81
4.2.1	光电载荷地面分辨力	81
4.2.2	光电载荷对齐射炸点的分辨	83
4.3	舰载无人机对岸可观测飞行空间	86

4.3.1	地理通视性分析模型	86
4.3.2	地理可飞性分析模型	88
4.3.3	飞行可控性分析模型	88
4.3.4	弹道安全性分析模型	89
4.3.5	观参上限分析模型	89
4.3.6	可观测飞行空间的确定	90
4.4	本章小结	91
第5章 舰载无人机光电载荷对岸射击校正运筹分析		93
5.1	舰载无人机定位校射系统组成与工作过程	93
5.1.1	舰载无人机定位校射系统组成	93
5.1.2	舰载无人机定位校射系统工作过程	94
5.2	基于共线构象原理的炸点偏差测量	94
5.2.1	炸点偏差测量常用坐标系	94
5.2.2	目标相对坐标计算模型	95
5.2.3	射击校正量计算模型	98
5.3	舰载无人机对岸射击校正实施方法	99
5.3.1	定位炸点—大地坐标校正法	100
5.3.2	定位目标—大地坐标校正法	100
5.3.3	定位目标—屏幕坐标校正法	100
5.3.4	定位目标—混合坐标校正法	100
5.4	本章小结	100
第6章 舰载无人机光电载荷红外热成像系统运筹分析		101
6.1	光电载荷红外热成像系统组成	101
6.1.1	探测器	102
6.1.2	制冷器	103
6.2	光电载荷红外热成像系统能力特点	105
6.3	典型军事目标辐射	106
6.3.1	飞机红外辐射特征	106
6.3.2	舰船红外辐射特征	107
6.3.3	地面车辆红外辐射特征	107
6.3.4	炮口闪光红外特征	107
6.3.5	人体红外辐射特征	108
6.4	光电载荷红外热成像系统作用距离	108
6.4.1	扩展源目标和点源目标	109
6.4.2	对扩展源目标探测视距	109
6.4.3	对点源目标探测视距	112
6.5	本章小结	114

第7章 舰载无人机电子侦察载荷无源定位运筹分析	115
7.1 相位干涉仪测向原理与精度分析	115
7.1.1 相位干涉仪测向原理	115
7.1.2 相位干涉仪测向精度分析	120
7.1.3 影响无人机测向精度的因素	123
7.2 舰载无人机双机无源定位机理与精度分析	124
7.2.1 双机无源定位机理	125
7.2.2 双机无源定位精度分析	126
7.3 舰载无人机双机无源定位有效区	141
7.3.1 基本假设	141
7.3.2 双机无源定位有效区模型建立	141
7.3.3 双机有效精定位区与等圆概率误差曲线的关系	145
7.3.4 基本结论	147
7.4 满足给定精度的双机无源探向区确定方法	147
7.4.1 满足给定精度的双机无源探向区构造的基本思想	147
7.4.2 射线长度 R_i 的确定方法	148
7.4.3 满足给定精度的双机无源探向区绘制方法	148
7.5 舰载无人机双机无源侦察定位策略	149
7.5.1 双机定基线无源侦察定位策略	149
7.5.2 双机变基线无源侦察定位策略	150
7.6 舰载无人机单机无源侦察定位策略	151
7.6.1 单机无源定位基本原理	151
7.6.2 单机无源定位机动决策	153
7.7 本章小结	156
第8章 舰载无人机电子干扰载荷运筹分析	157
8.1 舰载无人机通信干扰载荷运筹分析	157
8.1.1 海面接收点干扰场强计算模型	157
8.1.2 舰载无人机部署空间参数的确定	159
8.1.3 舰载无人机通信有效干扰区	162
8.1.4 舰载无人机通信干扰效能分析	165
8.2 舰载无人机雷达干扰载荷运筹分析	169
8.2.1 舰载无人机雷达干扰态势分析	170
8.2.2 舰载无人机雷达有效干扰配置区	172
8.2.3 舰载无人机雷达有效干扰区	178
8.3 本章小结	182

第9章 舰载无人机雷达探测载荷运筹分析 184

9.1 合成孔径雷达的类型与工作原理 184

9.1.1 合成孔径雷达的类型及特点 185

9.1.2 合成孔径雷达工作原理 187

9.1.3 影响空间分辨力的因素 192

9.2 雷达载荷搜索效率与决策分析 193

9.2.1 雷达载荷测绘带宽度模型 193

9.2.2 雷达载荷测绘带宽度的限制 194

9.2.3 舰载无人机飞行参数的确定 198

9.3 本章小结 198

参考文献 199

第1章 绪 论

无人机是无人驾驶飞机的简称,是利用无线电遥控设备和自备程序控制系统操纵的不载人飞机^[1]。它具有环境适应能力强、机动性能好、效费比高、用途广泛、无人员伤亡风险等多种优势,在现代战争中得到越来越广泛的应用,是世界各国争相发展的高新技术装备。随着大量新技术在无人机上的应用和智能化程度的提高,无人机将实现从地面、水面、车辆、舰船、潜艇、飞机、航天器等平台上起飞和回收,集侦察监视、情报传输、电子对抗和火力打击于一体,能够独立或与有人系统协同执行任务,成为主导现代战争进程、改变战争形态的重要装备。无人机在海战场中很早就得到了应用,主要用于执行战场侦察监视、目标指示、毁伤评估、电子战等任务,已成为海战场信息化作战体系中的重要装备,是海军作战体系中的“黏合剂”和“倍增器”。无人机从构造形式上可分为固定翼无人机、旋翼无人机、扑翼无人机等。固定翼型无人机具有飞行速度快、有效载荷与作战半径大等优点,适合于在航母和大型两栖舰船上采用短距起飞或轨道发射起飞,伞降回收、撞网回收、翼伞回收等方式进行起降。旋翼型无人机可分为倾转旋翼型、直升机型和特殊改造的固定翼型无人机三种,对载舰平台的要求低而适合各型军舰使用。无人直升机具有垂直起降功能,但巡航速度和有效载荷小,机动性能和作战半径有限。采用推力换向技术的倾转旋翼无人机,由于兼有直升机的垂直起降能力和固定翼飞机的快速机动能力、长时间航行能力而有更广阔的工作范围。无论是固定翼无人机、倾转旋翼无人机还是无人直升机都有其各自的特点,处于共存发展状态。本书在对具体问题进行分析时,将以舰载无人直升机为典型。

1.1 舰载无人机发展概况

由于水面舰艇特别是驱护舰上甲板空间有限,使得无人机的起飞与降落面临着众多难题。成功地解决无人机在有限空间的起飞与降落问题,是实现无人机上舰的首要基础条件。舰载无人机的发展从固定翼起步,到各种翼型共存。从遂行单一的侦察任务,到察打一体、无人作战飞机,再到有人机与无人机协同作战。舰载无人机正在逐步改变着海战形态。

1.1.1 舰载固定翼无人机

现代无人机首次搭载上舰的是固定翼无人机。1984年美国海军在“关岛”号两栖攻击舰上配备了由以色列飞机有限公司制造的“猛犬”轻型无人侦察机^[2]。从1987年起在“威斯康星”号、“密苏里”号等战列舰上配备了“先锋”无人侦察机,该型机在1991年的海湾战争中执行了大量的空中侦察、目标指示、战损评估等任务。科索沃战争中,共

使用了 40 多架“先锋”无人机，执行过 533 次任务，取得了丰硕的战果。阿富汗战争中更是各型高性能无人机的大荟萃。从此，舰载无人机正式登上了战争前台。

2007 年 11 月 14 日，美国海军正式在隶属于“杜鲁门”号航母攻击群的“阿利·伯克”级“奥斯卡”号 (DDG79) 导弹驱逐舰上部署了“扫描鹰”无人机系统，用来执行情报、监视和侦察任务。该型无人机最突出的特点是：可长时间在没有舰面引导的情况下自主导航，可全天候独立完成飞行侦察任务并自动安全降落，具有同类机中独一无二的“全地形”安全降落能力。在其两翼上装有类似于舰载机所使用的降落拦阻钩，可以抓住空中特定长度的降落拦阻索，并安全地挂在拦阻索上。由于在整个降落过程中，无人机无需接触地面（舰面），故称为“全地形”降落。“扫描鹰”无人机也成为世界上首次在导弹驱逐舰上部署的舰载固定翼无人机系统。

这些年，国外舰载固定翼无人机发展非常迅速。其中以美国、以色列等国海军的舰载固定翼无人机发展与应用最为典型。以色列的“侦察兵”无人机主要用于实施侦察与监视，也可以用于执行战场控制、目标识别和损伤评估。其主要机载设备有电视摄像机、全景照相机和前视红外仪。该无人机的最大起飞重量 159kg，最大飞行速度 176km/h，升限 4574km，最大续航时间 7h。“先锋”无人机 RQ-2 是一种短中程监视和情报收集无人机，是基于以色列“侦察兵”和“猛犬”两种无人机积累的战术和技术经验发展而成的。该无人机有两个变型：一是 RQ-2A 型，它的最大起飞重量 189.1kg，最大载荷 34kg，工作高度 305m~3660m；二是 RQ-2B 型，其最大起飞重量 204.6kg，最大载荷 34kg，工作高度 305m~4575m；最大平飞速度 204km/h，最大续航时间 5h。机上装有超高频遥测系统和光电、红外或电视传感器。该型无人机陆基采用轮式起飞或助推火箭发射，轮式着陆；舰基则采用助推火箭发射，拦阻索或网式回收。

“猎人”无人机 RQ-5A 是美国同以色列合作研制的短程侦察、监视和目标捕获无人机。其基本型最大起飞重量 726kg，最大载荷 113kg，最大平飞速度 204km/h，升限 4575m，续航时间 11.6h。可在登陆舰甲板上起飞。该无人机最突出的特点是具有为“战斧”巡航导弹提供攻击目标引导和攻击毁伤评估的能力。

“捕食者”无人机 RQ-1A 是一款中空战术无人机。1994 年开始研制先进概念技术机，1998 年升级为由一个地面控制站控制两架同时执行不同任务。该型机的变型“海上捕食者”为舰载型，翼展由 14.85m 调整为 10.67m，可在航母、两栖攻击舰上起飞，能在复杂地形和气象条件下，对地面目标进行全天候实时侦察。

美国的“先驱者”无人机主要用于战术监视和目标捕获，可实时传回目标信息、战斗毁伤评估和其它信息。1997 年 11 月首飞成功，1998 年交付美国陆军，之后扩展到海军和海军陆战队。该型机空重 186kg，巡航速度 167km/h，典型工作高度 1220m~1525m，使用升限 4575m，起飞着陆滑跑距离 75m，可在航母和大甲板两栖舰上轮式起飞和着舰，并可用降落伞应急回收。

美国于 2005 年成功完成 X-47B 舰载无人战斗机的模拟演练。演练证明了利用现有的飞行和控制程序将多架 X-47B 综合到航空母舰空域内的可行性。该型无人机是美国海军和空军共同参与研发的，并于 2015 年 5 月首次从航空母舰上弹射起飞，它成为世界上第一款同时获得远程攻击能力和侦察能力的陆基和航空母舰都能使用的喷气式无人作战飞机。

2005年美国开始研制“翠鸟”新概念海上无人机,为海上部队执行情报收集、通信中继、反潜、灭雷和攻击小型快/潜艇任务。该型机整机重量4310kg,最大飞行速度639km/h,最大飞行高度13700m,装备光电和红外监视系统、主动声呐以及搜索雷达机载传感器,1挺7.6mm机枪以及4枚“地狱火”导弹或2枚MK-54鱼雷。该型机于2006年初投入海上试验,采用模块化设计,利用战斗舰艇导轨系统实现自主起飞和降落,也能搭载在大型两栖战舰上。

早期的舰载固定翼无人机主要搭载在两栖攻击舰、战列舰等大型水面舰艇上,遂行战场侦察、监视和毁伤评估等任务。随着技术的进步,舰载固定翼无人机逐步走向察打一体化,将具有更好的舰载适配性。

1.1.2 舰载倾转旋翼无人机

在海上驱护舰编队、特种作战等军事应用领域迫切需要一种既能垂直起降,又能高速飞行的无人飞行器。美国在此领域展开了大量的技术研究,并取得了一定技术成果。

采用垂直起降飞行器技术,从总体设计上讲,能够拓展无人固定翼机的舰载应用,使其能够以零速度起飞/着舰,并具备悬停能力。垂直起降无人舰载机兼具无人固定翼飞机和无人直升机的优点,既可以在有限的场地垂直起降,又可以快速飞抵任务空域,进行定点悬停作业。同时,还具备航程远、续航时间长的优点。其典型代表有美国“龙勇士”、X-50“蜻蜓”、V-22“鱼鹰”、“鹰眼”等。

“龙勇士”无人机在垂直飞行时,升力由旋翼提供,水平飞行时,升力由机翼提供,即由一副推进式螺旋桨产生推力。X-50“蜻蜓”无人机为鸭式布局,旋翼/机翼采用短翼展、宽翼弦的对称翼型,并固定在机背顶端,由翼稍喷气驱动,一台涡扇发动机为旋翼和前飞提供动力。该型机的验证机于2003年首飞。美国V-22“鱼鹰”无人机,通过翼尖可偏转旋翼短舱的倾转来实现推力换向。“鹰眼”倾转旋翼无人机于1993年首飞,1998年参加了美国海军组织的垂直起落无人机演示验证,2003年美国海岸警卫队选中“鹰眼”作为其快艇载无人机。

1.1.3 舰载无人直升机

无人直升机是依靠发动机驱动旋翼产生飞行所需的力及操纵力矩,能垂直起降,具有自主飞行能力的无人机。其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。通常可按起飞重量、结构形式、使命任务性质、任务功能、作战半径、续航时间等进行分类。按起飞重量可分为超轻型($<400\text{kg}$)、轻型($400\text{kg}\sim 800\text{kg}$)、中型($800\text{kg}\sim 2000\text{kg}$)、重型($>2000\text{kg}$)等;按结构形式不同可分为单旋翼带尾桨式、共轴双旋翼式、倾转旋翼式、涵道风扇和旋转机翼式等;按使命任务性质可分为战术型、战区型等;按任务功能可分为侦察型、电子战型、通信中继型、测绘型、气象探测型以及攻击型等;按作战半径可分为超近程($\leq 50\text{km}$)、近程($50\text{km}\sim 300\text{km}$)及中程($>300\text{km}$)等;按续航时间可分为一般航时、长航时($\geq 12\text{h}$)等。在实际使用中任何单一分类方法都难以满足要求,往往需要综合运用几种分类方法定义无人直升机。无人直升机能够垂直起降、空中悬停、全向飞行,具有良好的低空低速飞行性能,可利用地形地貌隐蔽飞行,能够对目标“凝视”,可接近或停留在其它常规平台难以接近和进入的区域。可在狭窄的着陆

场垂直起降,不需要复杂的起飞与降落辅助设备,使用风险小、成本低,任务能力广泛,特别适合驱护舰等水面舰艇搭载使用。

舰载无人直升机的发展可追溯到 20 世纪五六十年代,美国海军是舰载无人直升机的发展先锋。20 世纪 50 年代末,美国海军启动了遥控反潜直升机(DASH)计划,研制、生产了大量的 QH-50 无人直升机,在“诺克斯”级护卫舰和一些驱逐舰上使用,在舰艇声呐发现潜艇后由 QH-50 携带鱼雷进行攻击。当时由于飞行遥控系统不成熟以及电磁干扰的原因,QH-50 舰载无人直升机失事率极高,20 世纪 70 年代初停止了使用。英国韦斯特兰公司在 20 世纪 70 年代先后发展共轴反转双旋翼无人直升机“尘埃”“小家伙”,但由于重量轻,无法提供足够、实用的能力而未投入使用。

1990 年以前,虽然美、英等国一直在开展无人直升机的研发,但由于技术水平的限制,无人直升机性能和功能与军方要求有很大的差距,只有个别型号的无人直升机装备部队使用,但使用效果不佳。20 世纪 90 年代后,随着飞行控制、动力系统、传感器及复合材料等技术的发展,掀起了无人直升机的研制热潮,投入无人直升机研制的国家和开发出的产品也大幅增加。

1992 年美国海军提出了发展垂直起降无人机的设想,美国国防部于 1995 年开展“前驱者”计划,计划用同一个无人机平台满足陆军和海军的不同需要。但直到 1998 年,也未能满足海军起降能力、续航时间、电磁兼容的要求,该计划被中止。“前驱者”计划失败后,美国国防部也认识到了发展垂直起降无人机的需求,指示海军首先进行垂直起降无人机技术演示。1998 年—2000 年期间,美国海军组织开展了垂直起降无人机地面和舰载适配性竞争性演示试验,参加竞争的有西科斯基公司的 Cypher 无人直升机、诺斯罗普·格鲁曼公司的“火力侦察兵”无人直升机和贝尔公司的“鹰眼”倾转旋翼无人机。最后“火力侦察兵”中标,成为海军的垂直起降战术无人机(VTUAV),命名为 RQ-8A。“鹰眼”倾转旋翼无人机虽然未中标,但于 2003 年被美国海岸警卫队选中,作为“深水计划”的垂直起降无人机系统。

阿富汗战争后,美国海军重新评估了对无人机的要求,认为“火力侦察兵”无人直升机的航时、航程、载荷等性能无法满足海军的需求而停止了该项目的资金支持。诺斯罗普·格鲁曼公司对 RQ-8A 进行了重新设计,新机型命名为 RQ-8B。2003 年,由于伊拉克战场上有人直升机损失惨重,使得“火力侦察兵”项目重获新生。且根据作战需求赋予了 RQ-8B 侦察、攻击和补给等多种能力。为了强调新机的多功能性,RQ-8B 改名为 MQ-8B,以海军型和陆军型两种型号同时发展。2009 年 10 月起,MQ-8B 在完成全自主飞行作战试验评估后,开始部署在东太平洋的“麦金纳尼”号护卫舰上。

奥地利 SCHIEBEL 公司 20 世纪 90 年代开始研究无人直升机探雷技术,20 世纪 90 年代中期推出了 CAMCOPTER 5.0、5.1 无人直升机,从探雷逐渐拓展到空中光电探测等军事用途。2003 年以后,在 CAMCOPTER 基础上研制成功了有效载荷更大的 S-100 无人直升机。

德国 20 世纪 90 年代开始研制 Seamos(海上侦察与目标获取系统)无人直升机,计划用于德国 K130 级护卫舰上。但由于 Seamos 在较小型海军舰船上使用太大,德国国防部评估认为其太复杂且不经济,目前该项目已停止。

法国海军为支援海上作战,也提出垂直起降无人机上舰计划,开展为期两年的垂直

起降无人机演示验证项目。欧洲航空航天公司基于欧直公司的 Cabri G2 平台, 研制用于海军小型舰船的 ORKA-1200 无人直升机, 可配置在护卫舰和轻巡洋舰上, 搭载光电和雷达任务载荷, 能够提供海上监视、超视距目标指示及战场毁伤评估等能力, 取代 Seamos 设计, 以满足法、德海军对舰载无人机的需求。

为满足对垂直起降长航时无人机的需求, 美国国防高级研究计划局开展 A-160 “蜂鸟” 研究计划, 目前已取得重要进展。A-160 采用可变转速旋翼, 目标有效载荷为 136kg、持续飞行时间为 40h 以上, 最大飞行高度 9144m, 最大飞行速度为 260km/h, 航程为 4630km, 大大超过了现有直升机的水平。A-160T 无人机于 2007 年 6 月进行了首飞, 2007 年 10 月一架 A-160T 携带 225kg 任务载荷在 1500m 高度飞行了 12.1h, 模拟了一次带多个传感器的作战任务。2008 年 5 月 14 日和 15 日的飞行试验中, A-160T 取得连续飞行 18.7h 的新纪录, 这个纪录更新了 500kg~2500kg 级的中型无人机连续飞行的世界纪录。A-160T 具备更加广泛的能力, 从而使它能够胜任侦察、监视、通信中继及投送补给等诸多任务。有两架 A-160T 无人机接受了初始试验, 其中一架模型机上装有短翼, 能够携带多达 8 枚 AGM-114 “地狱火” 空对地导弹, 另外一架模型机则进行了携带吊舱条件下的飞行试验。试验中使用的吊舱具有足够大的空间, 能够用来撤离伤员或者是运输小型机器人。

综上所述, 舰载战术无人机, 是世界各国目前正在研制发展的重点。舰载战术无人机由于使用灵活、能够抵近目标, 对提高海军机动作战编队的综合作战能力具有重要作用, 受到世界各国海军的重视。当前中小型舰艇为提高攻击的隐蔽性、精确性和突防能力以及自身的安全性, 对装备舰载无人机需求强烈。由于中小型舰艇空间有限, 为使舰载无人机能执行多种任务, 一方面对舰载无人机任务设备进行模块化设计, 根据不同的任务挂载不同的载荷, 实现一机多用; 另一方面对任务设备进行功能集成, 采用综合传感器, 如将激光测距仪、合成孔径雷达、前视红外仪等功能集成于同一载荷。为了满足中小型载舰的适配性要求, 近年来各国重点发展舰载无人直升机以更好解决舰上起降问题。综合了固定翼无人机的高速巡航能力和旋翼无人机的垂直起降能力的飞行器将是战术无人机发展的下一波热点, 会对舰艇编队作战使用方式带来显著影响。

舰载无人作战飞机的发展已经取得突破性进展, 将对海战场带来巨大影响。舰载无人作战飞机将用于执行包括压制敌方防空系统、电子攻击、情报/监视/侦察以及精确打击在内的多种任务, 并具备长航时、高隐身性能特征。不久的将来舰载无人作战飞机将是航空母舰上的必备装备, 其与有人驾驶飞机编队飞行、协同作战将成为常态。

在可以预见的将来, 舰载固定翼无人机、舰载倾转旋翼无人机、舰载无人直升机将会基于各自的能力特点, 在各自的领域, 担负着各自的使命任务。

1.2 舰载无人机系统基本组成

舰载无人机系统主要由舰面系统、任务载荷系统、飞行器系统组成。舰面系统包括舰面辅助设备、舰面监控分系统(舰面控制站)、遥控遥测系统舰面部分等; 飞行器系统包括无人机平台、动力系统、飞行控制系统、导航系统、遥控遥测系统机载部分等; 任

务载荷即是舰载无人机携带的任务设备。应当注意的是，这里讨论的所有子系统都不是孤立的，而是构成全系统的一部分。

1.2.1 舰面系统

在舰面系统中，舰面监控分系统（舰面控制站）是飞行操控中心，实现人机交互，通常也是（但也不完全是）无人机任务规划中心。如果是，该站称为任务规划与控制站。有时也有这种情况，任务规划在载舰指挥控制中心完成，然后将数据传输给控制站执行。

通过控制站，操控人员利用上行通信链路给飞行器发送指令，控制飞行器飞行、操控携带的各种任务载荷。通过下行链路，飞机回传信息和图像到达舰面控制站，将信息和图像呈现在操控人员面前。信息包括载荷数据、机上各分系统的状态信息（监测数据）、位置信息等。无人机的起飞和着舰可通过主控制站或（和）副控制站完成，或基于卫星的控制站完成。控制站经常集成有与外界联系的通信系统，主要完成获取天气信息、各系统间的网络信息传输，接收上级下达的任务，给上级或其它部门回报信息等。

遥控遥测的舰面部分与机载部分协同工作，提供舰面控制站与无人机之间的通信，实现对无人机的监控、指挥，完成预定的作战任务。遥控遥测系统在无人机系统中的作用相当于人的神经中枢。舰面控制站工作于遥控遥测系统之上，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。在舰面系统中，舰面控制站在整个无人机系统中处于核心地位，全面监视、控制和指挥其它子系统的工作，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任务。对突发的事件做出合理的反应，并及时通报给操作员。

1.2.2 任务载荷系统

舰载无人机任务载荷的类型和性能是由无人机的尺寸、载重量以及任务需求决定的。现代海战需要舰载无人机具备多任务能力，受无人机起飞重量和舰艇携带无人机数量的限制，舰载无人机一般配备标准化、模块化的任务载荷，以及通用的信息处理设备，使一架无人机能满足一个或一系列任务的需要，以适应多变的海战场环境。根据水面舰艇编队海上作战需求，侦察型舰载无人机通常可配备如下任务载荷：光电探测、雷达探测、雷达侦察监视、雷达侦察识别、通信侦察识别、通信干扰、雷达干扰、通信中继等任务载荷。由于起飞重量的限制，一架舰载无人机通常一次只能挂载一种任务载荷。

1.2.3 飞行器系统

飞行器系统包括无人机平台、动力系统、飞行控制系统、导航系统、遥控遥测系统机载部分等。无人机的主要功能是承载任务载荷到达任务区域，同时搭载无人机飞行所需的子系统^[6]。这些子系统包括动力系统、飞行控制系统、导航系统、遥控遥测系统机载部分等。

飞行控制系统是无人机机上部分的核心，它监视、控制和指挥其它机载子系统，接受舰面控制站的指令，协调机载各子系统的工作，并把无人机的状态及其它需要的信息发送给舰面控制站。在舰面控制站的监控和指挥下，机载飞行控制系统指挥无人机完成