

无人飞行器作战系统与技术丛书

无人作战飞机 精确打击技术

Precision Strike Technology for UCAV

黄长强 曹林平 翁兴伟 丁达理 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

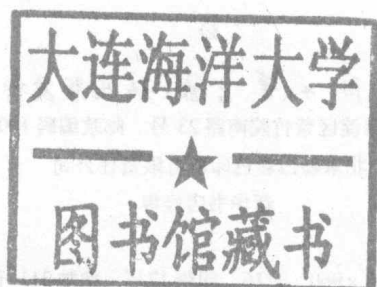
无人飞行器作战系统与技术丛书



206494168

无人作战飞机精确打击技术

黄长强 曹林平 翁兴伟 丁达理 编著



国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书系统地阐述了无人作战飞机机载制导武器系统、飞行控制系统、火力控制系统、目标识别与跟踪技术、攻击轨迹决策与实现技术、控制优化技术以及有人机同无人机组网协同作战等内容。

本书可供无人飞行器机载武器系统及相关专业本科高年级学生和研究生学习参考,同时也适合从事无人作战飞机武器系统、飞行控制系统及火力控制系统研制、开发、使用和教学等参考。

图书在版编目(CIP)数据

无人作战飞机精确打击技术 / 黄长强等编著. —北京: 国防工业出版社, 2011. 7

ISBN 978-7-118-07493-2

I. ①无… II. ①黄… III. ①歼击机 IV.

①V271.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 103710 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 710×960 1/16 印张 17½ 字数 311 千字

2011 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 69.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

本书编委会

主 编 黄长强

副 主 编 曹林平 翁兴伟 丁达理

编写组成员 赵 辉 杜海文 王 勇 程 华
傅裕松 张得舒 吴文超 宋 磊
唐上钦

前 言

无人机从 20 世纪初诞生到 21 世纪初,在世界上几场使用无人机作战的高科技局部战争中,均体现了非常鲜明的特点:一是无人机的作战作用越来越重要;二是无人机用于作战的使用比例不断提高。在未来的高科技战争中,无人机的拥有程度、无人机的性能和无人机的运用能力将成为衡量一个国家军事现代化、高科技密集程度的重要标志。

目前,从世界各国无人机的发展方向来看,无人机的发展正在经历着巨大的变革:一是无人机作战的任务进一步拓展,从战术级向战役级和战略级方向延伸,从支援保障性任务向执行攻击性作战任务方向延伸,使无人机成为名副其实的杀伤性平台;二是越来越小型化、智能化和隐身化;三是无人机的任务载荷向全天候、高分辨率、远距离、宽收容、实时化和小型化方向发展;四是无人机的测控系统和传输系统向远距离、高安全、通用化、数字化和网络化发展;五是向高生存率、低造价、低损耗方向发展。这些发展将大大促进精确打击、无人化作战,乃至陆海空天电“五维”的一体化作战。

无人作战飞机顺应这一历史潮流诞生和发展,而无人作战飞机的精确打击则是在该领域的佼佼者,无人作战飞机精确打击与常规无人机的区别在于无人作战飞机在飞行过程中飞行轨迹不仅要受到飞行控制系统的控制,还要受到火力控制系统的影响,从而才能精确地命中目标,实施打击。无人作战飞机的精确制导武器是从无人机上发射或无人作战飞机本身直接实施攻击的精确制导武器,其技术是现代武器中发展最快的高科技之一,是一项非常复杂的系统工程。本书纵向和横向涉及的军事高技术知识比较广。为了使涉及的各军事高技术领域的内容完整广博,本书分门别类、深入浅出地介绍了无人作战飞机精确打击技术涉及到的原理、方法和技术,同时还引入了实例进行具体剖析和仿真。

为掌握本书内容,除了要学习一般基础知识外,还要了解无人机飞行控制系统原理、自动控制原理、计算机技术、仿真技术、激光原理等多种技术知识。本书

以无人作战飞机飞行控制系统、火力控制系统、火力控制和飞行控制系统一体化技术以及无人作战飞机和有人机组网技术为主,侧重基本原理的论述,每章以目前的实际应用为具体实例,做到了理论与实际相结合。

全书分为9章,从无人作战飞机综述、无人作战飞机机载制导武器系统、无人作战飞机动力学模型、无人作战飞机飞行控制系统的设计技术、无人作战飞机火力控制系统、无人作战飞机目标识别与跟踪技术、无人作战飞机攻击轨迹决策与实现、无人作战飞机控制优化技术和有人机—无人机组网及协同作战等9个方面进行讲解。

本书由空军工程大学教授黄长强主编,曹林平、翁兴伟、丁达理任副主编,赵辉、杜海文、王勇、程华、傅裕松、张得舒、吴文超、宋磊、唐上钦等同志参加了全文的撰写和修改。在这里,对上述同志为本书付出的辛勤劳动致以衷心的感谢。向本书引用的参考文献的各位作者表示诚挚的谢意,感谢他们的劳动丰富了本书的内容。

尽管作者在本书的写作过程中投入了大量的时间和精力,但由于作者水平有限,错误和不妥之处在所难免,敬请同行专家和广大读者予以指正。

编著者

2011年1月

目 录

第 1 章 无人作战飞机综述	1
1.1 无人作战飞机概述	1
1.1.1 无人机概述	1
1.1.2 无人作战飞机的基本概念	2
1.2 无人作战飞机关键控制子系统研究现状	3
1.2.1 无人作战飞机飞行控制系统研究现状	3
1.2.2 综合火力与飞行控制技术研究现状	5
1.2.3 无人作战飞机综合火力与飞行控制系统的基本原理	8
1.2.4 机载精确制导武器的发展和现状	9
第 2 章 无人作战飞机机载制导武器系统	14
2.1 无人作战飞机机载制导武器系统基本概念	14
2.2 无人作战飞机武器系统	15
2.2.1 无人作战飞机的激光制导武器系统	15
2.2.2 无人作战飞机的电视制导武器系统	20
2.2.3 无人作战飞机的反辐射制导武器系统	22
2.2.4 无人作战飞机的红外制导武器系统	23
2.2.5 无人作战飞机的 GPS/INS 制导武器系统	28
2.2.6 无人作战飞机的机载武器多模复合寻的制导	34
2.3 无人作战飞机的激光制导武器系统分析	42
2.3.1 无人作战飞机携带的激光制导武器简介	43
2.3.2 无人作战飞机机载光电吊舱概述	45
2.3.3 无人作战飞机武器控制系统简介	46
2.4 无人作战飞机的激光制导武器系统作战使用	48
2.4.1 无人作战飞机机载激光制导武器系统作战使用过程	48
2.4.2 影响无人作战飞机机载激光制导武器系统作战使用效能的主	

要因素	50
第3章 无人作战飞机动力学模型	56
3.1 基本假设	56
3.2 坐标系的选取与转换	56
3.2.1 坐标系的选取	56
3.2.2 坐标系的转换	57
3.3 无人作战飞机的六自由度非线性数学模型	59
3.4 无人作战飞机时标分离的仿射非线性模型	60
3.5 无人作战飞机性能分析	62
3.5.1 无人作战飞机分叉突变理论的非线性动力学特性分析及仿真	63
3.5.2 无人作战飞机开环稳定性分析及仿真	65
3.5.3 无人作战飞机开环耦合性分析	66
第4章 无人作战飞机飞行控制系统设计技术	69
4.1 无人作战飞机动态逆控制律设计技术	69
4.2 无人作战飞机在线神经网络自适应逆飞行控制系统设计技术	72
4.2.1 三层感知神经网络理论简介	72
4.2.2 无人作战飞机在线神经网络自适应逆控制	72
4.3 无人作战飞机干扰观测器的鲁棒逆控制设计技术	75
4.4 无人作战飞机小波神经网络的自适应重构飞行控制设计技术	78
4.4.1 无人作战飞机小波神经网络的不确定非线性自适应 H^∞ 控制器设计	78
4.4.2 无人作战飞机小波神经网络的自适应重构飞行控制系统设计	81
4.5 无人作战飞机干扰观测器的鲁棒自适应 H^∞ 飞行控制设计技术	84
4.5.1 干扰观测器的一类不确定非线性系统的鲁棒自适应 H^∞ 控制	84
4.5.2 无人作战飞机干扰观测器的鲁棒自适应重构飞行控制系统设计	86
4.6 无人作战飞机姿态角解算的一种新型加速度计配置方案设计	87
第5章 无人作战飞机火力控制系统	94
5.1 地面机动目标运动模型	94

5.2	目标空间定位方法	98
5.2.1	图像转换解算	99
5.2.2	目标在摄像机坐标系中的坐标计算	101
5.2.3	目标在地球坐标系中的坐标计算	103
5.3	无人作战飞机火力控制分系统量测方程建立	104
5.3.1	无人作战飞机毫米波雷达火力控制分系统量测数据	104
5.3.2	无人作战飞机火力控制分系统量测方程	105
5.3.3	无人作战飞机电视传感器火力控制分系统角度量测及 量测方程	106
5.3.4	无人作战飞机火力控制分系统空间配准	107
5.4	无人作战飞机火力控制分系统 EKF 融合滤波器预测算法	112
5.4.1	EKF 滤波器跟踪与预测	112
5.4.2	无人作战飞机火力控制分系统预测算法	114
5.5	无人作战飞机火力控制分系统 MM-PF 融合跟踪算法	117
5.5.1	交互式多模型算法	118
5.5.2	交互式多模型粒子滤波算法	119
5.5.3	无人作战飞机火力控制分系统 IMM-PF 分布式融合 跟踪算法	121
5.6	无人作战飞机激光制导武器系统可发射区	123
5.7	无人作战飞机激光制导武器系统可攻击区	125
5.8	无人作战飞机火力与飞行控制交联系统	128
第 6 章	无人作战飞机目标识别与跟踪技术	131
6.1	无人作战飞机自动目标识别与跟踪的基本概念	131
6.2	快速小波变换的图像预处理	135
6.2.1	概述	135
6.2.2	快速小波变换	136
6.2.3	快速小波滤波实验	138
6.3	图像分割	139
6.3.1	概述	139
6.3.2	阈值分割	141
6.3.3	最优阈值法图像分割的实验结果	143
6.4	目标检测与定位	144
6.4.1	目标检测模型	144

6.4.2	多级滤波抑制背景和噪声	146
6.4.3	检测最优门限实时估计	147
6.4.4	目标检测与定位实验	148
6.5	仿射投影矩理论下的目标识别	149
6.5.1	概述	149
6.5.2	仿射变换	151
6.5.3	仿射投影矩的概念	152
6.5.4	仿射投影矩的不变性	154
6.5.5	目标识别	156
6.6	目标跟踪	158
6.6.1	相关跟踪算法	158
6.6.2	记忆外推跟踪算法	159
6.6.3	一种改进的适应于工程的相关跟踪算法	160
第7章	无人作战飞机攻击轨迹决策与实现	162
7.1	无人作战飞机激光制导武器系统典型攻击方式	162
7.2	无人作战飞机激光制导武器系统自动攻击轨迹决策	165
7.2.1	俯仰平面内修正比例导引律设计	166
7.2.2	偏航平面内修正比例导引律设计	167
7.2.3	修正比例导引律仿真	168
7.3	无人作战飞机的自动攻击轨迹实现	169
7.3.1	轨迹跟踪	170
7.3.2	耦合控制单元	173
7.4	无人作战飞机自动攻击轨迹仿真	178
7.5	考虑敌方地面威胁的自动攻击轨迹决策	185
7.5.1	威胁空间描述	185
7.5.2	基于数学形态学的地形威胁建模	187
7.5.3	火力威胁空间建模	192
7.5.4	考虑威胁空间的自动攻击轨迹决策与仿真分析	199
第8章	无人作战飞机控制优化技术	205
8.1	无人作战飞机系统结构	205
8.2	无人作战飞机多学科设计分系统模型研究	206
8.2.1	无人作战飞机推进模型	207

8.2.2	无人作战飞机结构模型	207
8.2.3	无人作战飞机环境模型	209
8.2.4	无人作战飞机多学科模型架构	210
8.3	无人作战飞机多学科耦合关系分析和不确定性分析	212
8.3.1	无人作战飞机多学科耦合关系分析	212
8.3.2	无人作战飞机多学科不确定性关系分析	213
8.4	无人作战飞机多学科优化设计总体架构	215
8.5	无人作战飞机多学科不确定性分析方法研究	216
8.6	无人作战飞机多学科全系统仿真分析	219
第9章	有人机—无人机群组网及协同作战	226
9.1	机群编队组网	226
9.1.1	机群编队组网的目的	226
9.1.2	机群编队组网的关键技术	227
9.1.3	无人机组网信息融合	229
9.2	有人机/无人机编队协同作战过程	229
9.2.1	有人机/无人机编队协同作战系统	229
9.2.2	有人机/无人机编队攻击方式	233
9.2.3	有人机/无人机编队攻击流程	234
9.3	有人机/无人机编队协同作战决策系统	235
9.3.1	有人机/无人机编队协同作战决策过程的层次性	235
9.3.2	有人机/无人机编队协同作战决策类型	236
9.3.3	有人机/无人机编队协同作战决策系统模型	236
9.4	基于 Agent 的有人机/无人机组网	238
9.4.1	Agent 理论	238
9.4.2	有人机—无人机群协同作战体系结构	243
9.4.3	改进的有人机—无人机群协同作战系结构	246
9.5	有人机—无人机群协同空战目标分配研究	248
9.5.1	有人机—无人机群协同空战目标分配模型	248
9.5.2	基于离散 PSO 算法的协同空战目标分配数值仿真	251
	参考文献	257

第1章 无人作战飞机综述

本章从无人机入手,引入无人作战飞机的基本概念,介绍了目前无人作战飞机的关键技术,主要内容包括无人作战飞机概述、无人作战飞机综合火力与飞行控制系统关键子系统研究现状。

1.1 无人作战飞机概述

1.1.1 无人机概述

无人机(Unmanned Aerial Vehicle, UAV)是一种有动力、可控制、能携带多种任务设备、执行多种任务并能重复使用的无人驾驶航空器^[1]。采用遥控、程序控制或者两者相结合的方式控制。无人机是无人飞行器的一种,早在20世纪初,无人飞行器就已问世。最初的无人飞行器称为遥控飞行器(Remotely Piloted Vehicle, RPV),分为无人机、导弹和靶标三大类。现在无人机的种类繁多,执行的任务也各不相同,在军事领域和民用领域发挥着越来越大的作用。在民用领域和科学研究领域,主要用于灾害监测、气象探测、农药喷洒、地质勘探、森林防火、缉毒/走私和边境巡逻等工作;在军用领域,无人机遂行的任务从单纯的空中侦察扩展到情报监视、导弹攻击、充当诱饵、电子战及战场损伤评估,在五维一体化的战场上显示出了重要的作用^[2]。军用无人机按照功能和执行任务的不同,可以分为靶机、侦察型无人机、攻击型无人机(如波音公司研制的X-45A攻击型无人机)、通信中继型无人机以及多用途无人机等,近年来还出现了集侦察和攻击于一体的无人机(如美国的“捕食者”(Predator)改进型);按照航程、续航时间、飞行高度和速度等的不同,无人机又可以分为低空低速的小型无人机,一般飞行速度在200km/h以内,高度不超过2km,续航时间只有几小时,高空高速长航时大型无人机(如美国的“全球鹰”(Global Hawk)),一般飞行高度在10km以上,续航时间可达15h~20h,甚至更长,以及介于两者之间的中型无人机(如以色列的“先锋”(Pioneer)等)。

进入21世纪后,无人机在现代战争中显示出越来越重要的作用,已经成为一种新型空中力量。在1991年的海湾战争中,美国只用了一种“先锋”无人机;

在 2001 年对阿富汗占领区实施联合空中打击期间,美国使用了“全球鹰”、“指针”、“捕食者”三种无人机,首次用“捕食者”无人机向塔利班停车场发射了两枚“海尔法”导弹,使基地组织的第二号人物在这次空袭中毙命,在实战中实现了对地攻击的“侦察—打击”一体化功能,开创了无人作战飞机执行对地攻击任务的先河,使无人机的作战使用有了质的扩展,对无人机机载武器系统的研究热情空前高涨。而在 2003 年对伊拉克的战争中,美英两国使用了十多种无人机,包括大型的高空远程、中空远程无人机,小型无人机和便携式无人机。2008 年 6 月据英国《每日邮报》7 日报道,英国皇家空军的两名飞行员在距阿富汗 7000 英里^①远的美国拉斯维加斯市郊外的一个空军基地中,通过人造卫星遥控阿富汗上空的 MQ-9“收割机”号无人机,无人机将拍下来的高清间谍照片、摄像数据和雷达数据通过卫星传送到地面指挥官和英军飞行员电脑中。当雷达和高清摄像机侦测到地面塔利班的目标后,英军飞行员会迅速选好无人机上的攻击武器,并对地面目标发起致命袭击。几分钟之内,一枚卫星导航的炸弹从无人机上发射而出,击中地面目标。2008 年 10 月 2 日俄罗斯国防部负责武器装备的副部长弗拉基米尔·波波夫金上将宣布,俄军成功试飞了一款新型的无人机,它已经正式进入军中服役,并准备下一步研制攻击型无人机。实践表明,随着无人机军事用途的不断扩大,无人机已经成为一种新型的空中力量,特别是无人作战飞机作为一种高效费比、攻防兼备的全新概念武器,已经出现在新世纪的武器装备行列,并引起各国军事界对未来战争的作战思想、作战模式和组织编制等一系列变革性的新探索。

1.1.2 无人作战飞机的基本概念

无人作战飞机系统是一个先进的复杂武器系统,它是集飞行器平台、任务设备和地面保障于一体的一项系统工程^[3,4]。随着无人机技术的不断发展,军事装备无人机趋势变得日益明显。机动能力强、性能优越,并能实现综合的智能化控制已成为当今军事装备向无人化发展的重要标志。同时无人机在战场上的使用不再局限于单纯地执行军事侦察、监视、搜索以及目标指向等非攻击性任务,而是向对地攻击和轰炸等真正的作战任务发展。作为无人机的一个重要发展方向,无人作战飞机(Unmanned Combat Aerial Vehicles,UCAV)已被认为是第五代作战飞机,是集探测、识别、决断和作战功能于一体的无人机系统。无人作战飞机的出现使无人机的发展发生了质的变化,即从辅助、支援性军用装备跃变为主战性装备,它的使用将使空中作战真正成为信息和武器融合的对抗,其必将成为

^① 1 英里 = 1.609km。

未来空军的主力战斗机,并将对未来的作战理念和作战模式产生重大影响^[5-9]。军事分析家认为,在未来的空战中,冲在第一线的不再是有人驾驶飞机,而是无人飞机机群,作战人员可以在数百公里甚至数千公里范围内的地面或空中指挥平台指挥作战任务。正在研制中的高性能无人作战飞机都具有高隐身性能和高机动性特点,在作战中能够迅速接近目标进行攻击。

无人作战飞机最大的特点就是可以进行目标打击,因此,在无人机上加载武器系统成为了研制无人作战飞机的关键。在不久的将来,无人作战飞机将逐步担当航空、航天控制和航空、航天对地攻击任务,成为实施空中精确打击的一种手段。无人机的用途由执行侦察任务扩展到执行多种打击任务后,必将演变成一种高效费比、攻防兼备的全新武器概念。当前无人作战飞机重点发展对地打击能力,而对地武器以激光制导、电视制导、反辐射制导为主,其中,考虑到无人作战飞机的任务载荷能力、机弹结构要求、控制系统要求,同时考虑到制导武器的制导精度、武器系统复杂性、武器重量、机弹相容性、作战效能、经济性等方面,激光制导武器最适合于无人作战飞机进行对地攻击,成为现役和预研的无人作战飞机装备最广泛的武器。

无人作战飞机在近几年现代战争中的成功应用,已经揭开了以攻击型智能化武器、信息武器为主导的“非接触性战争”的新篇章。在无人作战飞机上实现武器系统的智能化和自动攻击技术成为无人机的一个重要发展方向。美国目前的无人作战飞机综合化、自动化水平已经达到较高程度的自动攻击要求,正在实验中的无人作战飞机可以在与操纵员联系被切断的情况下完全自主地完成任务规划、自动飞行、目标搜索、目标识别和跟踪、攻击决策、机动攻击等工作,代表了目前综合化、自动化、智能化发展的水平,也显示了未来无人作战飞机武器系统的发展方向。

1.2 无人作战飞机关键控制子系统研究现状

1.2.1 无人作战飞机飞行控制系统研究现状

飞行控制的目的是完成飞行器各种模态的控制任务,它是通过控制飞行器的姿态和轨迹完成这些任务的。当然,这类控制应保证飞行安全,符合优化条件,并充分发挥飞行器各部件以及整机性能,适应各种飞行环境,从而很好地完成各种飞行模态的飞行控制任务。

飞行自动控制的思想是伴随着飞机本身问世而产生的。1912年美国的 Eimer Sperry 和他的儿子 Lawrence 所制成了第一台自动驾驶仪(电动陀螺稳定

装置),由两个双自由度陀螺、磁离合器以及用空气涡轮驱动的执行机构组成,用来保持飞机稳定平飞。早期的自动控制就是由这种简易自动驾驶仪来稳定飞机角运动的。

由于数字计算机技术的发展,使实现复杂而完善控制功能成为可能,20世纪60年代形成的随控布局飞行器设计思想已成为现实。近年来数字式自动驾驶仪和数字式飞行控制系统相继问世,可以预料,由于现代控制理论、新型数字计算机和新型的飞行器结构布局三方面相结合,不久的将来,必将不断研制出性能极佳、可靠性极高的飞行器。

此外,为全面提高飞机的性能,目前已有将飞机上所有设备耦合起来的趋势,例如把火控系统、导引系统等与飞行控制系统耦合成综合系统,使得今后飞行控制系统将向数字化、综合化方向发展。

与有人驾驶飞机相比,无人机有其独特的特点,也存在致命的弱点。由于无人驾驶,无人机可以放宽飞行品质的限制和要求,只根据飞行任务的要求,最大限度地追求气动效率和控制效率;但是因没有驾驶员,使得无人机通常缺乏机动灵活的驾驶和控制。伴随无人机飞行控制系统的技术发展,就是在工程实用条件下,通过综合无人机各控制子系统功能和性能,最大限度地克服无人机的弱点,充分发挥其优势,提高控制系统的精度、灵敏度和可靠性。

从技术和功能上,目前国际上无人机正处于第三代,在更高空、更长航程、更多功能无人机方面,国内的机种、数量、研究和使用经验相对较少。国外正在大力发展智能控制、鲁棒控制、基于视觉控制、任务规划、决策支持、通信、后勤与支援、软件开发等工作。今后无人机的发展方向将朝着更大的航程、更长的飞行时间、更高的可靠性、更多的功能、更大的升限和飞行速度的方向发展,因此,对无人机飞行控制系统提出了更高的要求。

从控制理论的角度来看,无人作战飞机是一个复杂的非线性动力学对象,通常控制系统的系统设计采用在工作点进行线性化的方法进行参数的初始设置。随着无人作战飞机设计与控制理论的发展,无人作战飞机结构和用途多样化以及机动性、操纵性、安全性要求的提高,产生了一系列新的设计技术,如随控布局、多气动面结构、重心位置以及翼型改变、电传操纵、光传操纵、主动控制、飞行与推进综合控制等,使得飞行控制系统的设计日趋复杂,要求越来越高。

1. 无人作战飞机飞行控制系统的基本原理

飞行控制系统工作需要敏感部件测量飞机的飞行状态,然后由综合计算装置根据预置指令进行比较计算,并输出相应控制信号,经放大、计算后,根据偏差自动调节规律,输出控制信号给执行机构来驱动舵面,产生空气动力和力矩来控制飞机的飞行状态,使得无人机修正偏差,向着期望飞行状态的方向运动。当无

人作战飞机回到期望飞行状态时,测量部件输出为零,执行机构控制舵面恢复至零位,其回路构成关系如图 1-1 所示。

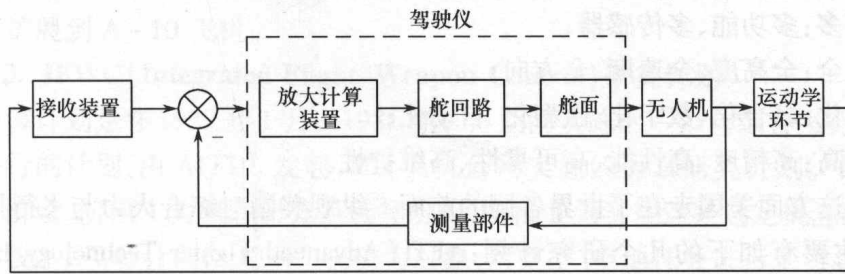


图 1-1 飞行控制系统的回路构成关系图

在图 1-1 中,驾驶仪是飞行控制系统的中枢,主要由测量部件、放大计算装置、执行机构(舵面)组成。

(1)测量部件(反馈部件)——测量无人作战飞机的运动参数。如垂直陀螺和航向陀螺测量俯仰角、滚转角及偏航角;速率陀螺测量角速度。

(2)放大计算装置——把各种敏感元件的输出信号处理为符合控制要求的信号。包括放大电路、微分器、限幅器及滤波器等。

(3)执行机构——根据放大元件的输出信号带动舵面偏转,亦称为舵机。

2. 无人作战飞机飞行控制系统功能

无人作战飞机飞行控制系统的主要功能除精确导航、飞行器姿态保持、航向保持及高度保持、飞行控制律解算及飞行控制、飞行模态管理、导航轨迹生成及优化、任务规划及能量管理、飞行状态数据采集、无线电遥控终端、任务设备管理、系统故障诊断以外,还需要完成以下基本任务:

(1)实现自主的姿态、速度、航迹等控制;

(2)根据航迹规划或是火力/飞行综合控制系统给出的任务指令实现相应的姿态和航迹控制;

(3)在扰动(如大气紊流)条件下,具有较好的响应特性和自适应能力;

(4)在发射激光制导导弹等大扰动条件下能稳定飞行状态,并具有较好的航迹和姿态自调整性能;

(5)能根据飞行状态、战场态势与目标变化,以及部件故障或部件受损时,快速做出判断、调整、重构、纠错、修复、改变航线或返航等决策。

1.2.2 综合火力与飞行控制技术现状

综合火力与飞行控制系统能自动完成对目标的测量,根据机载设备的状态,确定发射武器的状态,确定发射武器的条件及航空信息,保证精确击中目标。包

括目标探测、本机数据、计算发射条件及控制信息等。综合火力与飞行控制系统的先进性能可归纳如下：

两多：多功能、多传感器；

三全：全高度、全速度、全方向；

四化：综合化、数字化、微型化、自动化；

四高：高精度、高性能、高可靠性、高维护性。

在这方面美国走在了世界各国的前面。纵观美国对综合火力与飞行控制的研究，主要有如下的几个研究计划：AFTI (Advanced Fighter Technology Integration) 研究计划 (1974—1976)；FireFly 研究计划 (1975—1978)；AGFCS (Advanced Gun Fire Control System) 研究计划；TAWDS (Terminal Aerial Weapon Delivery Simulation) 研究计划 (1973—1975)；IFTC (Integrated Flight Trajectory Control) 研究计划 (1977—1979)；IFWC (Integrated Flight/Weapon Control) 研究计划 (1979—1981)；IFFCI/FIREFLY IIF - 15 研究计划 (1978—1983)；AFTI/F - 16 (Advanced Fighter Technology Integration) 研究计划 (1982—1987) 等。

美国在 20 世纪 70 年代初首先进行先进火控系统的研究，提出了一些先进的火控、攻击概念，并导向了火力控制与飞行控制的综合，提出综合飞行/火力控制概念，随后通过一系列计划开展了全面的飞/火综合研究^[30-32]，并由非制导武器扩展到制导武器，综合范围也不断扩大，由飞/火综合发展到飞/推 (Integrated Flight and Propulsion Control, IFPC)、飞/火/推综合 (Integrated Flight, Fire and Propulsion Control, IFFPC)，并向自动攻击系统方向发展。西方和苏联也投入了大量的人力、物力进行了这方面的相关技术研究。这些研究计划经历了问题描述、概念定义、原理验证、机理编排与试飞验证等几个阶段，最终使得以主动控制技术 (ACT) 为基础的系统综合性能大大提高。这里仅对美国开展的有关研究计划进行归纳和总结，以说明系统综合火力/飞行控制技术的发展过程。

1. AFTI 研究计划

先进战斗机综合计划 (1974—1976) 主要研究飞机的综合控制技术、运动模式和飞行管理，是 FireFly 计划的先导。该计划的完成促进了 IFFC 概念的全部形成和主动控制技术的应用。

2. FireFly 研究计划

该计划包括 FireFly I、FireFly II、FireFly III 三个阶段，是美国通用电气 (GE) 公司飞机设备部根据综合飞行/火力控制概念设计的火力控制系统。FireFly I 主要是原理性研究计划，使用手控指挥仪火力指挥系统和 F-106 飞机的数学模型进行数学仿真研究，由 GE 公司主持；FireFly II 是继 FireFly I 之后由 GE 公司在 1977 年—1978 年期间为美国空军航空电子实验室 (AFAL) 和美国空军飞行