



装备科技译著出版基金



俄罗斯最新装备理论与技术丛书

[俄] M.C.亚尔雷科夫

A.C.博加乔夫

B.И.梅尔库洛夫

B.B.德罗加林

著

滕克难 主编译

薛鲁强 贾慧 严志刚 熊道春 编译

李相民 主审



Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания
и управления вооружением летательных аппаратов

机载导航、瞄准和武器 控制系统设计原理与应用

(上册)



国防工业出版社

National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

俄罗斯最新装备理论与技术丛书

机载导航、瞄准和武器控制 系统设计原理与应用 (上册)

[俄] M.C.亚尔雷科夫 A.C.博加乔夫 著
B.И.梅尔库洛夫 B.B.德罗加林

滕克难 主编译

薛鲁强 贾慧 严志刚 熊道春 编译

李相民 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字：军-2015-030 号

图书在版编目 (CIP) 数据

机载导航、瞄准和武器控制系统设计原理与应用/ (俄罗斯) 亚尔雷科夫等著; 滕克难主编译. —北京: 国防工业出版社, 2016.1

(俄罗斯最新装备理论与技术丛书)

ISBN 978-7-118-10549-0

I. ①机… II. ①亚… ②滕… III. ①军用飞机—机载设备—系统设计
IV. ①V271.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 000896 号

Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и
управления вооружением летательных аппаратов

М.С.Ярлыков А.С.Богачев В. И. Меркулов В.В. Дрогагин

ISBN: 978-5-88070-028-8

ISBN: 978-5-88070-027-1

※

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 39 字数 728 千字

2016 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2000 册 定价 218.00 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

《俄罗斯最新装备理论与技术丛书》

编译委员会

主 编 译：滕克难

编 译：吕卫民 薛鲁强

翻译人员：严志刚 严 灵 邹海涛 徐文刚

贾 慧 韩桂升 熊道春

序

在莫斯科纪念卫国战争胜利 70 周年的阅兵式上，最引人瞩目的莫过于以精准队形低空飞过红场的空中机群。这些俄式战斗机之所以能呈现如此优秀的飞行操控品质和机动作战能力，不仅源于卓越的飞行器设计、强悍的发动机，还取决于性能优秀的机载综合电子系统。

多年来，通过中俄两国航空技术合作，我国科技人员对俄罗斯机载综合电子系统已有较多的了解，但是对其内在设计理念、理论和应用仍缺少系统完整的理解和掌握。该译著学术思想新颖，内容具体，面向第 4、5 代战斗机的应用，汇集了俄罗斯专家学者的最新研究成果，特别是针对先进机载综合电子系统的设计和应用问题，理论解析透彻、应用贴近实战，具有很高的学术价值。

滕克难教授及其编译团队，具有俄罗斯留学经历和对俄技术合作的工作经验，不仅具有很好的俄语素养，而且具有坚实的航空电子设备专业知识。通过他们两年多辛勤、细致的工作，将这部俄罗斯最新学术著作及其所承载的专业知识和学术思想，原汁原味地呈现在读者面前，相信对该领域的研发、使用、维护工作者及高校教师、研究生等颇有裨益。

滕克难

二〇一五年五月十五日

编译者前言

众所周知，综合电子系统被誉为战斗机的“灵魂”。21 世纪以来，随着信息技术、通信导航技术、控制技术和兵器技术的快速发展，机载综合电子系统取得了巨大的进步。以第 5 代战斗机研发为牵引，俄罗斯在机载综合电子系统工程研制和作战运用方面，取得了一系列的创新成果。与美国相比，技术独特，实现了航空电子技术的跨越发展。

本书俄文版由俄罗斯无线电技术出版社于 2012 年出版。在原版基础上，从理论、技术和作战应用实际出发，该书展现了俄罗斯最新的航空电子科技成果和发展前沿，主要包括：机载综合电子系统的原理、组成、结构和功能，及其信息综合处理的原理和方法；机载综合电子系统中最优控制的综合方法和实现算法，以及计算机在机载综合电子系统中的应用；机载综合电子系统的使用特点及其效率的评价方法。同时，从完成战斗和导航任务军事需求出发，研究了机载综合电子系统在导航控制、拦截空中目标、打击地面目标中的实战能力问题，并结合工程研制和军事应用实际，详细解释如何在战斗条件下实现这些能力。全书原理阐述配以图例说明，图文并茂，通过对机载综合电子系统信息综合处理、噪声抑制、信号处理方法和算法、机载计算机运用、信息防护与安全、系统效能评估等理论分析和工程应用，完整介绍了俄罗斯第 5 代战飞机载综合电子系统设计的先进思想和实现方法。

原著的主编是茹可夫空军工程学院的终身荣誉教授、空军少将亚尔雷科夫（М. С. Ярлыков）博士，他是俄空军第 4 和 5 代军用飞机论证和研制的主要专家之一，为俄罗斯航空装备技术的发展做出了重大贡献，在俄航空学术界享受极高的声誉。在其学术生涯中，创建和发展了随机过程评定的马尔可夫理论方法和无线电导航的统计学理论，在信号调制方法研究和航空无线电系统抗干扰能力研究上取得了一系列创新成果。近年来，他致力于机载综合电子系统对卫星导航系统的接收算法研制与集成，是俄罗斯航空无线电系统信息保障与技术状态评定系统，以及控制学科的创建者和学科组长，现任俄罗斯无线电技术杂志执行主编和俄罗斯最高学位委员会委员。

原著俄文书名为 *Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и управления вооружением летательных аппаратов*，直译为“飞行器导航、瞄准和武器控制无线电电子综合系统”，但这种表述无论从专业上，还是从语言结构上，

都与我国读者的阅读习惯不相符合。所以，我们根据本书的内容、结构，结合我国航空术语和专业表述习惯，将该书中文版书名确定为《机载导航、瞄准与武器控制系统设计原理及应用》。为方便读者阅读，在编译过程中我们还对部分美国和俄罗斯先进机型的应用实例，补充了部分说明性插图，在保持原著章节结构不变的基础上，对节内的部分内部编目进行了细化和明确。本书作为“俄罗斯最新装备理论与技术丛书”的一部分，以上、中、下三册的形式出版，并获得总装备部“装备科技译著出版基金”资助，它适用于航电系统、航空无线电系统及航空特设专业的科研设计人员，以及航空装备发展论证研究人员、航空装备使用维护工作者和工程师，高等院校教员、研究生和大学生参考使用。

全书整个翻译编辑出版工作从2013年初启动。滕克难教授担任主编译，对全书上、中两册进行了译校，并对全书进行统稿和审校；薛鲁强同志对该书下册进行了译校，并与贾慧同志一起承担了所有图表和公式的翻译、编辑工作；严志刚同志承担了全书上册和中册文字翻译工作；熊道春同志承担了下册文字翻译工作；李相民教授对全书进行了审校。历时2年多时间，这套译著终于与读者见面了。至此，特别感谢冯培德院士在百忙之中审阅书稿并为该译著撰写序言；特别感谢总装备部“装备科技译著出版基金”的大力资助；特别感谢国防工业出版社编辑对本译著出版工作给予的悉心指导。由于编译者水平有限，错误和疏漏之处在所难免，敬请同行专家和广大读者予以指正。

主编译：

滕克难

2015年5月

前 言

本书由三部分（上、中、下三册）组成，书中阐述了现代和未来飞行器导航、瞄准和武器控制综合电子系统的理论基础、结构和功能原理、信息处理算法及使用特点。

本书依据国内和国外出版物资料编写，能够充分反映在科学技术领域的最新成果，书中的一系列论点是原创的。

本书在每一章结尾都列举了使用的参考文献。书中的数字特征、参数值，以及技术方案实例都来自国内和国外公开发行人出版物的资料。

目 录

引言	1
1. 飞行器及其分类	1
2. 航空器	1
3. 定义和术语	2
4. 引言小结	3
参考文献	3
第1章 机载综合电子系统的结构原理	4
1.1 机载综合电子系统的用途、任务和分类	4
1.1.1 用途和任务	4
1.1.2 主要任务	5
1.1.3 机载计算机系统	9
1.1.4 机载综合电子系统	11
1.1.5 美 F-15E 型战斗轰炸机的机载综合电子系统	12
1.1.6 机载综合电子系统的分类	13
1.2 作为复杂技术系统的机载综合电子系统	15
1.2.1 系统与复杂技术系统	15
1.2.2 系统结构与系统方法	16
1.2.3 机载综合电子系统的特征	16
1.2.4 人机工程方法	18
1.2.5 简单系统和复杂系统	18
1.3 机载综合电子系统的体系结构	19
1.3.1 机载综合电子系统的体系结构	19
1.3.2 几种典型的体系结构	19
1.3.3 现代航空电子设备的体系结构	21
1.4 构建机载综合电子系统的一般方法	22
1.4.1 集成化方法	22
1.4.2 系统构建面临的问题	23

1.5	集成型机载综合电子系统	24
1.5.1	组成	26
1.5.2	机载计算机系统	26
1.5.3	几种典型机载电子系统	27
1.5.4	现代机载综合电子系统	28
1.5.5	自动化指挥控制系统	29
1.6	机载综合电子系统的发展方向	30
1.6.1	引言	30
1.6.2	集成型高频传感器概念	31
1.6.3	智能蒙皮概念	33
1.6.4	大规模开放式集成计算环境	33
1.6.5	捷联(无平台)惯性导航系统	34
1.6.6	机载信息显示系统	35
1.6.7	语音识别系统	36
1.6.8	欧美国家的新成果	37
1.6.9	开放式大规模扩展结构	38
1.6.10	F-22 飞机分析	43
1.6.11	F-35 飞机分析	49
	参考文献	56
第2章	机载综合电子系统及其组成部件分析	58
2.1	机载综合电子系统状态空间描述	58
2.1.1	引言	58
2.1.2	动态系统状态空间描述	58
2.1.3	应用实例	61
2.2	机载综合电子系统及其组成部件的可观测性	62
2.2.1	引言	62
2.2.2	机载综合电子系统的可观测性	62
2.2.3	应用实例1	64
2.2.4	应用实例2	65
2.3	机载综合电子系统及其组成部件的可控性	67
2.3.1	基本概念	67
2.3.2	应用实例1	67
2.3.3	应用实例2	69
2.4	机载综合电子系统及其组成部件的马尔可夫分析法	70
2.4.1	引言	70

2.4.2	马尔可夫分析方法	70
2.5	连续线性多维动态系统分析方法	73
2.5.1	引言	73
2.5.2	基于连续线性多维动态系统分析方法	74
2.5.3	应用实例1	77
2.5.4	应用实例2	77
2.6	离散线性多维动态系统分析方法及实例	81
2.6.1	离散线性多维动态系统分析方法	81
2.6.2	应用实例1	84
2.6.3	应用实例2	90
2.7	非线性多维动态系统分析方法	90
2.7.1	非线性多维动态系统分析方法	90
2.7.2	应用实例	91
	参考文献	93
第3章	机载综合电子系统的信息综合处理	95
3.1	机载综合电子系统的估计和控制	95
3.1.1	引言	95
3.1.2	机载综合电子系统估计	95
3.1.3	机载综合电子系统的控制	100
3.2	设备和系统综合化的原则和优势	103
3.2.1	引言	103
3.2.2	几种典型的冗余	103
3.2.3	综合化原则	104
3.2.4	综合化的优势	105
3.3	设备和系统的最优综合化和减少先验不确定性	107
3.3.1	基本概念	107
3.3.2	应用实例1	108
3.3.3	应用实例2	109
3.4	机载综合电子系统信息最优连续线性综合处理	110
3.4.1	引言	110
3.4.2	最优线性估计	111
3.4.3	几点说明	114
3.5	机载综合电子系统信息最优离散线性综合处理	115
3.5.1	引言	115
3.5.2	离散线性系统	116

3.5.3	最优离散线性滤波	117
3.5.4	几点说明	120
3.6	无线电设备和系统输出端上的信号数学模型	121
3.6.1	无线电测量仪波动误差的数学模型	122
3.6.2	测量仪输出信号信息参数的动态数学模型	126
3.7	最优线性信息综合处理算法的应用	128
3.7.1	确定航空器地速的最优线性信息综合处理模拟算法	129
3.7.2	测定航空器和地面指挥所之间距离和速度的算法	133
3.7.3	测定航空器地速的最优线性信息综合处理离散算法	137
3.8	白噪声背景下最优连续非线性综合处理	142
3.9	局部有色噪声背景下最优连续非线性综合处理	145
3.10	局部有色噪声背景下最优离散非线性综合处理	158
3.11	最优非线性信息综合处理算法的应用	161
3.11.1	组合多普勒速度、偏流角和大气数据综合处理算法	161
3.11.2	局部有色噪声背景下综合处理的模拟算法	166
3.11.3	局部有色观测噪声下最优信息综合处理的离散算法	170
	参考文献	173
	缩略语	175
	附录 I	184

引 言

1. 飞行器及其分类

飞行器（летательный аппарат）是在地球大气层或宇宙空间中飞行的器械。

按工作原理，可将飞行器划分为下列主要类别：

（1）空气静力（浮空航行）飞行器，包括高空气球、平流层气球、飞艇等。

（2）空气动力飞行器，按其升力形成时气流绕流部位不同，又可划分为三个子类别：

① 固定翼，这是第一子类，它包括飞机、巡航导弹、滑翔机、地效飞行器等；

② 旋翼，这是第二子类，它包括直升机、旋翼机等；

③ 升力体，这是第三子类，它包括带升力体的飞行器。

（3）航天飞行器（轨道、星际飞行器等）。

（4）火箭导弹，它包括运载火箭、导弹、气象观测火箭等。

（5）混合飞行器，它结合了不同类别飞行器的特性（例如，空天飞机）。

2. 航空器

航空器（воздушное судно）是飞行器多样性的重要组成部分。

航空器是依靠空气反作用力，而不是依靠空气对地面或水面的反作用力而在大气中获得支撑的飞行器^[1]。

换句话说，航空器是除地效飞行器外的所有空气静力和空气动力飞行器。问题在于，地效飞行器虽然属于空气动力飞行器类别，但它是动力气垫上的飞行器。地效飞行器仅可在空气动力地效的作用范围内（即在数米的高度上）在水面（覆盖雪、冰等的地面）上飞行。

地效飞行器的升力不仅依靠机翼上表面的负压（如普通飞机），还依靠空气动力地效作用区内机翼下表面的升压。空气动力地效是由于机翼的气流扰动（压力增大）到达水面（地面），经过反射后又反向传到机翼，由此在机翼下获得较大的压力增量。

本书主要研究航空器，其中又重点研究军用固定翼飞机和直升机。

航空器总体上是先进科学和技术理念的体现，是国家科技进步的助推器。至于军事航空，众所周知，俄罗斯制造的第4代飞机和直升机（米格-29、苏-27、

图-160等)及其后续改型(第4+代)在飞行技术性能和作战效能方面处于世界领先水平。目前,在俄罗斯军事航空领域,主要精力集中在T-50战机和其他第5代飞行器方面。此外,重点关注研制和运用各种类型的无人机——侦察型,以及攻击型^[2,3]。

当然,书中许多涉及的相应特点也适用于其他类型的飞行器。

3. 定义和术语

本书中使用了下列定义和术语。

(1) 航空综合设备系统(авиационный комплекс)是带有用于完成战斗和专项任务的航空武器系统、机载设备和地面保障设备的航空设备的总称。

航空综合设备系统(航空器)的战斗用途是:使用航空综合设备系统毁伤地面(水面)、空中(太空)目标或执行其他战斗和专项任务。

(2) 机载综合设备系统(бортовой комплекс)在任何机载设备系统中都发挥着重要作用^[2,4]。在每种类型的航空器上,根据其用途和装备集成度,通常具有相应的机载综合设备系统(雷达瞄准综合系统、光电瞄准导航综合系统、通信和导航综合系统等)^[2]。

机载综合设备系统在很多方面决定飞行器的战斗能力,它们用于保障完成下列战斗任务:拦截和击毁空中目标,攻击地面目标,施放无线电干扰,实施空中侦察等。

机载综合设备系统是指功能上相互联系的借助特定算法和机载计算机系统(бортовая вычислительная система)联合起来的机载综合设备系统(бортовая комплексная система)、机载系统和机载设备的总和,它们用于使用不同的方法来完成各类任务。

(3) 机载组合系统与机载综合设备系统相比,属于更低层级的航空复杂技术系统^[4]。

机载组合系统是功能上相互联系的通过特定算法联合起来的机载系统和机载设备的总和,它们用于借助几种(或一种)方法来完成一个任务。

实际上,在不同类型航空器的机载组合系统组成中包括不同类型的机载电子设备^[2,5]。

(4) 机载电子设备在很大程度上决定了许多机载综合设备系统的整体作战效能,保障航空器在白天或夜间、简单或复杂的气象条件下顺利操作。例如,在视距外、复杂气象态势或夜间条件下,搜索、探测、识别、自动跟踪,并确定空中和地面目标坐标和运动参数的任务通常仅在使用电子设备的情况下才能成功完成^[4,5]。

因此,在飞机和直升机的各型装备中包含一系列的机载组合系统。其中,电

子设备的作用非常大,按工作原理可将其归入特殊类型的机载综合设备系统——机载综合电子系统^[4]。

(5) 机载综合电子系统是指原则上必须具有无线电电子设备,并在执行一系列规定的战斗和导航任务时无线电电子设备发挥决定性作用的机载综合设备系统。

提高飞机和直升机的战斗能力,以及扩大其执行任务的范围都需要航空设备向集成型综合电子系统或一体化综合电子系统转变^[4]。

飞行器是否能成功完成战斗任务在许多方面取决于机载综合电子系统的效率、生命力和可靠性。现代和未来的机载综合电子系统是在很多方面以系统工程学作为理论基础的复杂技术系统,系统工程学可确定这些系统的基本规律^[4]。

4. 引言小结

飞行器的机载综合电子系统属于复杂系统类别,机载综合电子系统具有明显的全系统特性,即在任意分解综合系统的情况下,其任何一个组成部分(雷达、红外测向仪等)都不具有这种全系统特性,并且仅通过单个部件的特性也不能确定这种特性。

在编写本专著上、中、下册时,作者的分工如下:上册前言、引言,第2、3章,附录1,下册前言,第8章和第10.4节由М.С. 亚尔雷科夫撰写;第1章,第5~7章,附录2、3,第9.1~9.5节(第9.3节除外)、10.1~10.3节、10.10节、10.11节和下册结论由А.С. 博加乔夫撰写;第4.1~4.3节由В.И. 梅尔库洛夫和В.В. 德罗加林撰写;第4.4~4.8节,第9.3、9.6~9.12、10.9节由В.И. 梅尔库洛夫撰写;第10.5~10.8节由В.В. 德罗加林撰写。

本书的主编为М.С. 亚尔雷科夫。

参 考 文 献

1. Воздушный кодекс Российской Федерации // Собрание законодательства Российской Федерации. 1997. № 12.
2. Современная авиация России. Изд-е 3-е, доп. / Гл. редактор Т. Слюнина, отв. редактор А. Василенко. М.: ООО «Военный парад». 2007.
3. Авиация ВВС России и научно-технический прогресс. Боевые комплексы и системы вчера, сегодня, завтра / под ред. Е. А. Федосова. М.: Дрофа. 2005.
4. Ярлыков М. С., Богачев А. С. Авиационные радиоэлектронные комплексы М.: ВАТУ. 2000.
5. Ярлыков М. С. Статистическая теория радионавигации. М.: Радио и связь 1985.

第1章 机载综合电子系统的结构原理

1.1 机载综合电子系统的用途、任务和分类

1.1.1 用途和任务

在机载电子设备（航空电子设备）组成中，各种电子（无线电技术）设备和系统发挥着重要作用。机载电子设备在很大程度上可决定航空器能否完成飞行计划，保证其在白天或夜晚、简单或复杂的气象条件下的成功行动。例如，对于第4代和第4+代军用飞机，在视距外、复杂气象态势或夜间条件下，搜索、探测、识别、自动跟踪，并确定空中和地面目标坐标和运动参数的任务通常仅在使用无线电电子设备的情况下才能完成。

航空器应按计划飞行，空域使用者在具有空域使用许可的情况下，应将飞行计划提交给相关的空中交通统一管理部门。航空器无计划飞行的特殊情况有：在空袭反击，预防和制止侵犯俄罗斯联邦国界或武装入侵俄罗斯联邦领土的行为；在自然或人为性质的紧急情况下提供援助，搜救和撤离航天器及航天员，预防和（或）制止违反联邦空域使用法规的行为；以及航空器在俄罗斯联邦政府划定的专门空域内进行飞行^[1]。

应当着重指出，现代军用飞机的战斗能力在很大程度上不仅取决于其飞行技术性能和武器装备，还取决于用于武器控制、战斗行动信息保障和飞机防护的机载电子设备的功能^[2-7]。

在现代作战飞机或直升机的机载无线电电子设备的组成中，不仅包括单功能机载电子设备和系统（无线电高度表、仪表着陆系统）、机载设备系统（近距无线电导航系统），还包括多功能机载电子（无线电技术）系统和非无线电技术系统（数字计算机系统、雷达和光电系统、导航驾驶设备、信息显示系统、无线电对抗系统等）。单独的机载电子设备联合成一个统一整体，即多功能的机载综合设备系统。在战斗飞行的所有阶段上，它可实现飞机控制并保证使用所有类型的武器和对抗设备。这类机载综合设备系统按战机功用、系统完成的任务和组成，可分为^[2]：火控系统、瞄准导航综合系统、雷达瞄准综合系统、光电瞄准导航综合系统、机载武器控制综合系统等。其中，在关于国家航空领航勤务的俄罗斯联邦航空条例中给出了瞄准导航综合系统定义：瞄准导航综合系统是完成导航、飞

行和武器控制任务的自动化系统^[8]。

因为上述机载综合设备系统在完成规定的战斗和导航任务时,机载电子设备发挥决定性作用,因此,这类机载综合设备系统可定义为机载综合电子系统^[7,9,10]。此时,机载综合电子系统的概念中应具有上述综合电子系统和其他类型综合电子系统的所有特点。

机载综合电子系统是用于完成下列功能的机载综合系统:发送、接收、转换、处理无线电信号和其他波段电磁波信号;在战斗时处理、保存和显示各种信息数据;形成飞行器、机载杀伤武器、机载综合系统、机载设备系统、机载设备系统的控制信号;干扰敌方无线电电子设备;进行空中侦察和执行其他功能等。

1.1.2 主要任务

可将现代飞行器机载综合电子系统执行的任务划分为下列8个子任务^[9,10]:

- (1) 导航和飞行控制;
- (2) 保障飞行安全和飞行引航;
- (3) 通信、数据交换和战斗行动指挥;
- (4) 击毁太空、空中、地面、水面目标;
- (5) 空降人员、战斗装备和物资;
- (6) 电子战;
- (7) 空中侦察;
- (8) 检测和诊断机载设备、机载系统、机载设备系统、机载综合设备系统

以及整个综合电子系统的技术状态。

每个子任务同时又包含一系列具有一定特点的功能。

1. 导航和飞行控制子任务

导航和飞行控制子任务包含下列功能:

- (1) 确定飞行器的实时坐标和飞行导航参数(飞行速度、高度、航向等);
- (2) 修正实时坐标和航向;
- (3) 程序设计飞行航线,按预定程序起飞和爬高;
- (4) 在自动、指引或手动控制飞行器的方式下,根据程序设计的航线进行飞行;
- (5) 将飞行器引导至目标区域、空降场地,进行空中侦察等;
- (6) 快速改变飞行航线,再次飞近目标或程序设计的任意无线电导航点(航路拐点),雷达或光学定向标等;
- (7) 将飞行器引导至起飞机场或程序设计的任意备用机场,以及非程序设计的机场区域;