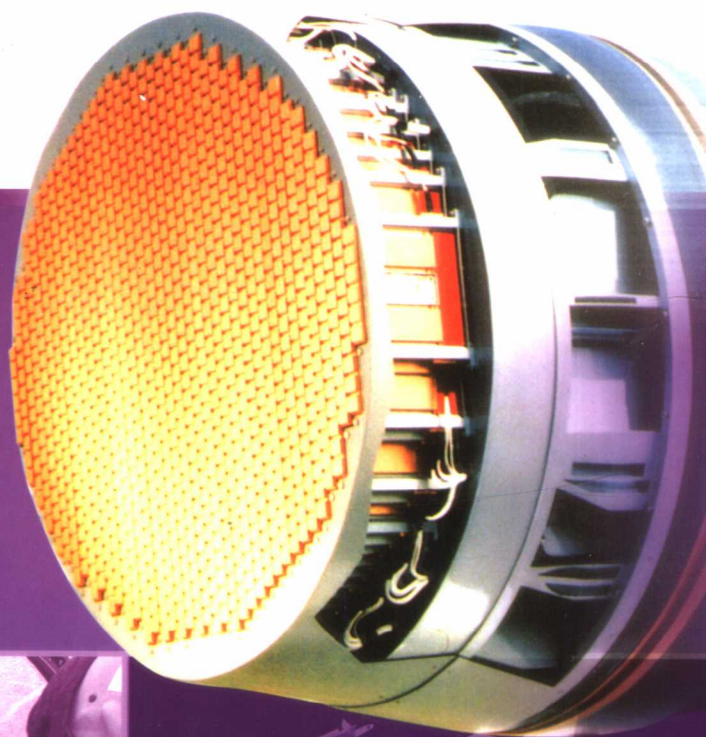


世纪航空科技丛书 总主编 张耀

飞速发展的 航空电子

AVIONICS
-ADVANCING
AT HIGH SPEED

主 编 霍 曼
副主编 张永红 李体然



航空工业出版社

内 容 提 要

本书科学地、系统地回顾了航空电子近百年发展历史,从通信、导航、探测、电子战、侦察、监视、火力控制、航空电子管理和航空电子综合系统等技术领域,详尽地描述了航空电子系统的概念、原理、组成、特点、性能与关键技术等;阐述了航空电子技术在未来航空武器装备及飞行器中的重要地位、作用以及发展趋势。

全书共分11章,第1章为绪论;第2章为机载通信系统;第3章为机载导航系统;第4章为机载探测系统;第5章为隐身目标探测技术;第6章为航空电子战系统;第7章为机载侦察系统;第8章为网络中心战和现代机载监视系统;第9章为航空火力控制;第10章为航空电子管理系统;第11章为综合航空电子系统。

本书可供航空科技工作者与管理者、航空院校有关专业的师生以及航空爱好者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

飞速发展的航空电子/霍曼主编. —北京:航空工业出版社, 2007.9

(世纪航空科技丛书)

ISBN 978-7-80183-985-5

I. 飞… II. 霍… III. 航空航天工业—电子技术 IV. V1

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第098898号

飞速发展的航空电子 Feisu Fazhan de Hangkong Dianzi

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号)

发行部电话:010-64815615 010-64978486

北京地质印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2007年9月第1版

2007年9月第1次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:20.25

字数:452千字

印数:1—3000

定价:50.00元

序

飞机发明 100 多年了，这是不平凡的一个世纪。

1903 年 12 月 17 日，美国莱特兄弟制作的世界第一架有动力、可操纵、重于空气的载人飞行器试飞成功，标志着人类飞行的梦想变成了现实。从此，飞机为人类的进步与发展插上了翅膀，将人们的活动范围从陆地、海洋扩展到天空，并且越飞越高、越飞越快、越飞越远，创造了人类历史上一个又一个辉煌，并对社会生活的各个方面产生了和正在产生着极其巨大的影响。

飞机的发明是 20 世纪最重大的科技成果之一，也催发了新的科技文明。飞机是现代科学技术成就集成的物化形态之一，是人类科技创新能力与工业化生产形式相结合的产物。飞机在技术上是一个集众多领域之大成的综合体。军事和社会对飞行的需求使飞机走过了一个迅速而不间断的发展过程，每一步跨越都应用和体现了当代科学技术的最新成果。而航空领域的持续探索 and 不断创新也为诸多学科的发展提供了新的、不绝的动力，带动一批相关技术取得突破与创新。所以，航空既是科学技术的结晶，又是科学技术发展的一种动力。当前，航空工业已经成为知识密集、技术密集、高附加值、低消耗的产业。飞机虽然是实现人类飞天梦想的主要工具，但其基本功能却首先表现在军事上。

早在第一次世界大战，飞机发展尚处于稚嫩期时，就被人们匆忙推上了战场，而反过来，战争实践与军事需求又大大加速了飞机及其技术的发展。1914 年，飞机还只是勉强可用于空中观察和枪械对射的工具，4 年后，当战争结束时，它已经成为能用于空中侦察、临空轰炸和追逐格斗的有效武器系统，飞机的产量也因此急剧增加，并从此诞生了一个新的工业部门——航空工业。1939 年爆发的第二次世界大战，更充分展示了飞机的作战能力。这次世界大战可以说是从飞机突袭开始，又以飞机轰炸收尾；飞机已成为军队的主要装备，而战争的需求推动各国不断研制新的军用飞机，飞机的性能几乎达到了使用活塞式发动机所能达到的极限。

20 世纪 40 ~ 50 年代喷气技术的推广应用，80 ~ 90 年代电子信息技术的迅猛发展，给飞机发展带来了划时代的变化，不仅飞行速度、高度与航程获得极大提高，而且飞机的机动性、目标特性与信息对抗能力也有了质的跃升。朝鲜战争、越南战争、印巴战争、中东

战争，以及 90 年代以后发生的几次局部战争，给飞机提供了广阔的表演舞台。飞机从战争的协同力量变成了战争的主力，甚至成为决定性力量。在 20 世纪的后 50 年里，喷气式战斗机已经发展了 4 代，此外还出现了许多先进的攻击机、预警机、轰炸机、军用运输机、教练机、无人侦察机和武装直升机等军用飞行器，构成了一个完整的空军装备体系。

飞机作为民用运载工具同样得到了迅速发展和广泛应用。民用飞机每天都在造福人类。它在运输领域充分施展才能，加快了社会运转的速度，改变了人们的时空观，“缩短”了不同国家和地区间的距离。通用航空在国民经济和社会生活其他方面，也都大显身手。可以说，拥有飞机和直升机数量的多少，在一定程度上已经成为衡量一个国家经济发展水平的标志。

飞机带来了新的军事文明、新的交通文明、新的时空文明。人类与时间、人类与空间、时间与空间的关系已经并且还在因飞行而改变。航空的每一次进步，都是一次对自然、技术和人类生理与心理极限的挑战。但是，人类并不满足这些成就，探索未知的秘密，追求更大自由的脚步始终没有停歇，更大、更快、更好的飞机将会在新的一百年中不断飞上蓝天，为人类造福。

为了回顾航空领域的发展历程，梳理总结航空科技的发展经验，展望航空事业的未来前景，总装备部组织上百位专家、教授共同编写了《世纪航空丛书》。这套丛书共有 8 册，400 余万字，由中国国防科技信息中心和中国航空工业发展研究中心联合承担编撰任务，并由航空工业出版社出版。参加书稿编写工作的众多科技人员中有两院院士，有航空科研院所的总设计师、总工程师和知名专家，有空军、海军和陆航长期从事装备研究的专家，有院校的教授，还有长期从事科技情报研究和系统工程分析的专家。他们在繁忙的工作之际，积极撰写文稿，反复修改、核实，认真、严谨的工作态度令人感动。这套丛书具有史料丰富、内容翔实、分析全面、图文并茂等特点，既有对过去 100 多年的总结和回顾，也有对新世纪的展望和分析，是一套技术含量较高、又深入浅出的航空科技出版物。希望本套丛书能为传播航空科技知识，吸引更多读者关心航空、支持航空，并为推进中国航空事业的进一步发展做出贡献。

丛书编辑部

2007 年 7 月 20 日

前言

莱特兄弟于1903年用他们制造的“飞鸟”号飞机证实了动力飞行是可行的。在最初的几年里，航空的先驱者们主要忙于解决飞行的基本问题——动力和气动力问题。1910年8月电子设备的应用被首次记入航空史册，可以认为由飞机的火花发射机和地面的电磁检测器实现了人类首次空地之间的无线电通信。

在第一次世界大战期间（1914~1918年），飞机作为一种出奇制胜的武器赢得了应有的地位，它被不同国家的军队用来执行侦察任务、发现敌军的集结地点和为炮兵报告弹着点。很显然，执行这样的任务需要空地无线电联络设备，当时，飞机已经装备了极为简易的中波电台。处在幼年时期的航空工业很快就认识到无线电台是保证飞机飞行安全和有效地执行任务的必要手段。在第二次世界大战期间，第一批甚高频（VHF）电台问世了，它们的工作频率在100MHz以上。在英、德之战中这些电台所提供的清晰的、高质量的通信，极大地增强了英国空军战斗机队的指挥和控制能力。

20世纪30年代，重型轰炸机的出现和发展促使人们考虑从远距离探测来袭机群，以便有足够时间向防空部队和护航战斗机发出警报，并使他们做好战斗准备；研究表明，飞机的金属结构在受到电磁波照射后产生回波。这个发现在第二次世界大战中得到了很好的运用，英军的雷达不仅能在目视距离以外发现沿法国海岸集结的德国轰炸机群，而且还能估算出它们的兵力，从而精细地计划出动多少架飞机去迎敌。

英国地面预警雷达网在挫败德军空袭时所起的作用是无法估量的。在机载雷达的发展过程中，关键问题是需要有限空间和能源供给的情况下增大发射机的功率，以增大探测距离。早期的脉冲雷达不能“下视”探测低空飞行的目标，因为这些目标较弱的回波信号被很强的地面杂波所淹没。解决这个问题的途径是应用多普勒原理，将回波的频率与飞机的速度相一致的回波抑制掉。当今英国的“狂风”、美国的F-14、F-15和F-16等第三代战斗机都装备了能够抑制地面杂波的脉冲多普勒相参体制的雷达。

第二次世界大战开始时出现了一项革命性的新技术——电子对抗技术。“欺骗”敌方雷

达的想法很快被广泛理解并接受,金属干扰带就是电子对抗技术在飞机上早期应用的一个范例。轰炸机编队在飞往目标的途中投放大量的金属箔条,其作用相当于半波偶极子,用它干扰敌方的雷达。这种干扰方式至今仍然是大量使用的、最廉价的干扰手段。20世纪60年代越战期间,在美军飞机没有装备电子对抗系统之前,越方平均用15枚地对空导弹即可击毁1架美军飞机;后来,美国参战飞机陆续加装了电子对抗系统及进攻性的反辐射导弹,越方平均用84枚地对空导弹才能击中1架美军飞机,使美军飞机损失率下降为原来的 $1/5$ 。

以卫星为基础的导航系统——美国的全球定位系统(GPS)正在成为新世纪执行导航任务的主要手段。由分布在高倾斜、非静止轨道上的24颗卫星构成的卫星网,每颗卫星都广播时间和位置信号,地面或机载接收机通过接收到的信号计算出自己的位置。目前俄罗斯正在建造自己的GLONASS卫星导航系统;欧洲建造的伽利略卫星导航系统的试验星已经发射;我国的北斗卫星导航系统正在建设中。

20世纪60年代初,平视显示器(HUD)诞生了。随着技术的不断发展,它已成为性能优异和功能齐全的一种机载显示终端设备,并能够显示飞行各阶段所需要的导航、地形回避或地形跟踪、空战或对地攻击时各种机载武器的投放和制导等所需要的信息。

在过去25年中,机载电子设备的飞速发展在很大程度上归功于两项重大技术的出现。一项是20世纪40年代后期发明的半导体技术,另一项是70年代以来出现的数字技术。

最初,机载电子设备都是根据不同的功用,各自独立研制,自成系统,纵向发展的。受当时航空电子技术发展水平的限制,这些机载电子设备绝大多数是模拟式的,互相之间信息交联极少。

由于数字技术、微电子技术和计算机技术的飞速发展和广泛应用,航空电子技术水平不断提高,航空电子设备的性能日趋完善,它对军用飞机的作战效能和寿命周期费用均产生很大的影响。由于航空电子技术持续高速发展以及某些领域的一些关键技术的突破,导致军事装备的重大变革和战争样式的深刻变化,因此,用户对飞机战术性能的要求不断提高,致使完成各种不同功能任务的航空电子设备的数量急剧增加。首先,数量过多的机载电子设备不仅加重了飞机在体积、重量和能源供应等方面的负担,还带来了严重的电磁兼容、可靠性和可维修性问题;而且同时加重了飞行员的工作负荷。人们开始寻求和开辟一条新路——系统综合化和智能化。目前这些研究成果都已经充分体现在21世纪开始服役和即将服役的F-22A和F-35以及欧洲的一些战斗机上。

百年航空史是光荣的历史，她留给后人的是一系列拥有高技术的现代飞机家族。百年航空电子不仅演绎了飞机发展史，而且记录了航空电子人的艰辛；是他们使神话变为现实，使不可能变为可能。

谨以此书献给为航空电子事业奋斗一生的前辈和正在从事此项伟大事业的同行们。

在书稿编写过程中，编撰人员遵循“科学性、权威性、知识性、可读性和系统性”的写作原则，从历史的角度出发，以技术推动和军事需求为依据，以航空电子系统重大发展事件或重要发展阶段为主线，力争全面系统地、客观科学地反映百年航空电子的发展历史。

全书编著人员有许伟武（第1、5、8章），霍曼（第1章），吴晓进（第2章），李文革（第3章），季节（第4章），郭剑（第6章），梁德文（第7章），陆汝玉（第7章），夏英明（第9章），谢文涛（第10章），涂泽中（第11章），申洋（第11章）；全书由许伟武研究员主审。

本书的编写得到了张耀、金德琨、雷迅、姚拱元和龚诚研究员的鼎力帮助，在此表示衷心感谢。限于编著人员水平，错误之处，请读者指正。

编著者

2006年10月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 航空电子的发展历程	2
1.2.1 通信技术是航空电子发展的开端	2
1.2.2 浩瀚的天空需要航空电子为飞机指引航向	3
1.2.3 自动驾驶仪减轻了飞行员的工作负荷	5
1.2.4 机载雷达为飞机增添了有力的探测手段	5
1.2.5 电子对抗技术随作战需求应运而生	7
1.2.6 日趋多样化的显示和控制装置	7
1.2.7 激光技术的应用促进航空电子的发展	8
1.3 综合航空电子的发展阶段	8
1.3.1 机载通信、无线电导航和识别设备综合的探索	9
1.3.2 联合战术信息分发系统初见信息传输网络端倪	9
1.3.3 现代作战飞机的“神经网络”	10
1.3.4 软硬杀伤兼备的航空电子系统平台	12
1.3.5 需求牵引, 显现综合航空电子系统雏形	13
1.3.6 “宝石柱”——先进的综合航空电子系统的基础	14
1.3.7 “宝石台”——未来综合航空电子系统的平台	15
1.4 航空电子的发展展望	17
1.4.1 综合化是未来航空通信发展的必然趋势	17
1.4.2 多传感器组合导航系统的应用日益广泛	18
1.4.3 综合化是未来航空电子战系统不变的主题	18

1.4.4	机载探测技术将取得重大进展	18
1.4.5	发展智能化的火力控制与战斗指挥系统	19
1.4.6	为发展“理想的”综合航空电子系统而奋斗	19

第2章 机载通信系统 21

2.1	概述	21
2.1.1	民用航空通信	21
2.1.2	军用航空通信	22
2.2	短波机载通信电台的出现及复兴	25
2.3	超短波通信设备的诞生及发展	27
2.4	数据链等数据通信系统的应用	29
2.4.1	机载数据链路分类	29
2.4.2	常用的数据链路	30
2.4.3	美军战术数据链的发展趋势	34
2.5	卫星通信设备应用于航空通信	36
2.5.1	卫星通信概念与组成	36
2.5.2	卫星通信的特点与弱点	38
2.5.3	飞机卫星通信的应用	39
2.5.4	卫星通信发展趋势	39

第3章 机载导航系统 41

3.1	概述	41
3.2	开创无线电导航历史的无线电罗盘	42
3.3	多种无线电导航设备出现	44
3.3.1	陆基导航系统	44
3.3.2	进场着陆系统	48

3.4 自备式导航设备相继问世	50
3.4.1 多普勒导航仪	51
3.4.2 惯性导航系统	52
3.4.3 地形辅助导航系统	53
3.5 组合导航系统迅速发展	53
3.5.1 惯性/多普勒导航组合系统	54
3.5.2 惯性/天文组合系统	54
3.6 卫星导航系统投入使用	55
3.6.1 GPS	55
3.6.2 GLONASS	57
3.6.3 GNSS	58
3.6.4 欧洲的伽利略全球卫星导航系统	58
3.7 以卫星为主的组合式导航的发展	61
3.7.1 GPS/惯导组合导航系统	61
3.7.2 GPS/多普勒组合导航系统	62
3.7.3 GPS/罗兰C组合系统	63
3.7.4 GPS/GLONASS组合导航系统	63
3.7.5 多传感器组合导航系统	64

第4章 机载探测系统 65

4.1 概述	65
4.1.1 电磁频谱的划分	65
4.1.2 电磁波的有源探测和无源探测	66
4.1.3 机载雷达的发展	66
4.1.4 电光探测的发展	67
4.1.5 航空反潜战中的特殊探测手段	68
4.2 新技术推动机载火控雷达不断更新换代	68
4.2.1 机载火控雷达的功能和组成	68
4.2.2 各种战斗航空器的火控雷达	69

4.2.3	推动火控雷达发展的新技术	70
4.3	背景杂波抑制能力不断增强的机载空中预警雷达	72
4.3.1	美国空中预警雷达按两个系列发展	72
4.3.2	英国、俄罗斯两国空中预警机的发展各具特色	74
4.3.3	以色列、瑞典空中预警雷达从有源相控阵起步	75
4.3.4	简繁不一的空中预警系统	76
4.4	机载战场监视和侦察雷达是现代战场重要的信息来源	76
4.4.1	有人驾驶飞机的监视和侦察雷达	77
4.4.2	直升机和无人机的监视和侦察雷达	79
4.4.3	机载战场监视和侦察雷达	80
4.5	机载气象和地形防撞雷达是航行安全的保护神	80
4.5.1	机载气象雷达经历3个阶段的发展	81
4.5.2	三代地形防撞雷达	82
4.6	从单点探测发展到焦平面探测的红外探测系统	83
4.6.1	最早获得应用的红外搜索和跟踪装置	84
4.6.2	光机扫描热成像是第一代前视红外设备	85
4.6.3	凝视热成像是第二代前视红外技术	85
4.7	激光照射器和激光探测器	86
4.7.1	机载激光照射器用于对兵器的制导	87
4.7.2	机载激光探测器的应用	88
4.8	传统而又现代的光学探测系统	89
4.8.1	照相机的使用已近百年	89
4.8.2	光学瞄准具、平视显示器和头盔瞄准具	90
4.9	新世纪发展展望	91
4.9.1	技术进步推动航空探测技术快速发展	91
4.9.2	航空探测面临新的挑战和需求	91
4.9.3	新世纪航空探测的发展展望	93

第5章 隐身目标探测技术 96

5.1 概述 96

5.2 隐身技术兵器的弱点和缺陷	97
5.2.1 隐身平台本身存在的问题	97
5.2.2 隐身兵器系统作战使用方面的局限性	97
5.3 发展反隐身技术, 应对挑战	98
5.4 雷达组网技术	99
5.4.1 机载雷达组网的主要形式	99
5.4.2 机载雷达组网的特点	100
5.4.3 机载雷达组网的关键技术	101
5.4.4 机载雷达组网的应用前景	103
5.5 双(多)基地雷达技术	104
5.5.1 双(多)基地雷达的定义和分类	104
5.5.2 双(多)基地雷达的结构和战术、技术特点	105
5.5.3 双(多)基地雷达在电子战中的优势	107
5.5.4 双(多)基地雷达的应用和发展前景	108
5.6 米波和毫米波雷达	110
5.7 无载频超宽波段雷达	111
5.8 激光雷达和红外探测系统	111

第6章 航空电子战系统

112

6.1 概述	112
6.2 早期的航空电子战设备	113
6.2.1 第二次世界大战期间的航空电子侦察和威胁告警设备	113
6.2.2 电子干扰设备初登战争舞台	114
6.2.3 无源干扰箔条问世	116
6.3 扩展频段, 增大功率, 走向自动化	117
6.3.1 电子战专用元器件取得重大进展	117
6.3.2 威胁技术的发展	118
6.3.3 自动化电子侦察设备面世	119
6.3.4 两种自动化干扰机的不同命运	120
6.3.5 红外电子战技术的初期研究	122

6.3.6	专用电子战飞机诞生	123
6.3.7	其他对抗手段的发展	124
6.4	向数字化和软件重编程转变	125
6.4.1	雷达告警接收机和信号情报系统	125
6.4.2	干扰设备实现双模干扰并初步具备功率管理能力	126
6.4.3	有源红外干扰机问世	127
6.4.4	电子战发展成软硬杀伤兼备的作战手段	128
6.4.5	专用电子战飞机作战能力不断提高	129
6.4.6	玻璃纤维箔条和爆炸式投放器	130
6.4.7	隐身飞机证实了其可行性	130
6.5	进入小型化、模块化和高度自动化时代	130
6.5.1	电子侦察系统实现多功能	131
6.5.2	有源电子干扰走向完全自动化与综合化	132
6.5.3	一次性使用干扰器材取得新的重大发展	133
6.5.4	专用电子战飞机实现软硬杀伤一体化	134
6.5.5	反辐射导弹已具备目标记忆能力	135
6.5.6	隐身飞机装备部队并投入作战行动	136
6.5.7	机载定向能武器取得突破性进展	137
6.6	航空电子战设备的发展趋势	137

第7章 机载侦察系统 141

7.1	概述	141
7.2	电光侦察设备的问世	141
7.2.1	可见光侦察设备	142
7.2.2	红外侦察设备	143
7.2.3	激光侦察设备	144
7.2.4	电光综合侦察系统	145
7.3	无线电信号侦察设备的诞生	146
7.3.1	早期的机载无线电信号侦察设备	147
7.3.2	RC-135侦察机的信号侦察设备	148

7.3.3 EP-3E侦察机的信号侦察设备	149
7.4 对地/对海监视与搜索雷达的成熟	149
7.4.1 机载侧视实孔径雷达	149
7.4.2 机载合成孔径雷达 (SAR)	150
7.4.3 机载动目标显示雷达 (MTI)	150
7.4.4 机载SAR/MTI复合体制的侦察雷达	151
7.4.5 机载对海侦察雷达	154
7.5 发展展望	155
7.5.1 新型机载侦察探测设备	155
7.5.2 高性能的机载多传感器侦察系统	158
7.5.3 机载多传感器侦察指挥一体化系统	161
7.5.4 多平台机载侦察系统	162

第8章 网络中心战和现代机载监视系统 164

8.1 概述	164
8.2 网络中心战的提出和基本内涵	164
8.2.1 网络中心战的局限和面临的技术挑战	167
8.2.2 网络中心战的思考	168
8.3 机载监视系统现状	168
8.3.1 对空中目标的机载监视系统	168
8.3.2 对陆地和海上目标的机载监视系统	173
8.4 发展中的机载监视技术和系统	175
8.4.1 MC ² C和MC ² A计划	176
8.4.2 MP-RTIP计划	179
8.4.3 多任务海上飞机 (MMA) 计划	182
8.4.4 近太空探测传感器飞艇的最新进展	186

第9章 航空火力控制

190

9.1 概述	190
9.2 初级航空瞄准具的出现	193
9.3 航空火控系统的形成	194
9.3.1 直接操纵武器线式的射击瞄准具	194
9.3.2 直接操纵瞄准线式的射击瞄准系统	196
9.3.3 轰炸瞄准系统	196
9.4 武器瞄准与控制的数字革命	198
9.4.1 目标传感器的数字革命	199
9.4.2 飞机传感器的革命和信息共享	202
9.4.3 平视显示/武器瞄准系统	202
9.4.4 平视显示/武器瞄准系统发展展望	203
9.5 网络化的综合火力控制系统	204
9.5.1 飞机局域网的构型	205
9.5.2 传感器综合与数据融合	207
9.5.3 系统功能与任务管理	207
9.5.4 悬挂物管理系统	208
9.6 智能化的火力控制战斗指挥系统	209

第10章 航空电子管理系统

211

10.1 概述	211
10.2 不断变革中的座舱显示与控制技术	212
10.2.1 从目视飞行到机电仪表飞行	212
10.2.2 从机电仪表向电光仪表发展	217
10.2.3 平视飞行的实现	222
10.2.4 人性化的人机接口	224
10.2.5 座舱显示与控制技术的发展	225

10.3 飞行管理系统 (FMS)	228
10.3.1 飞行管理系统发展的牵引力	228
10.3.2 飞行管理系统发展的推动力	229
10.3.3 飞行管理系统实现了全程3维制导	231
10.3.4 FMS的中枢——飞行管理计算机系统	235
10.3.5 飞行管理系统的发展趋势	237
10.4 飞行器管理系统	239
10.4.1 飞行器管理系统 (VMS) 的推出和管理对象	239
10.4.2 公共设备管理系统 (UMS)	240
10.4.3 完好性与使用监测系统 (HUMS)	242
10.5 任务管理系统	244
10.5.1 从单一任务管理到综合任务管理	244
10.5.2 任务管理系统的管理模式和互连形式	248
10.5.3 智能化任务管理	251

第11章 综合航空电子系统

262

11.1 概述	262
11.2 离散式航空电子系统	263
11.2.1 第二次世界大战前后战斗机的航空电子设备	263
11.2.2 航空电子开始跨入数字化门槛	264
11.3 联合式航空电子系统	265
11.3.1 离散式航空电子系统的弊端	265
11.3.2 数字式航空电子信息系统 (DAIS) 计划	265
11.3.3 实现航空电子综合的四大标准	267
11.3.4 典型第三代战斗机的航空电子系统	268
11.4 综合航空电子系统	270
11.4.1 “宝石柱”航空电子发展计划	270
11.4.2 第四代战斗机F-22的航空电子系统	273
11.4.3 F-22飞机航空电子系统的主要特征	273
11.5 先进综合航空电子系统	276

11.5.1	“宝石台”和JAST航空电子发展计划	276
11.5.2	F-35飞机的航空电子系统	278
11.5.3	战斗机航空电子系统发展展望	284

航空电子发展历程大事记

287

英文缩略语表

297

参考文献

305