



中航工业首席专家
技术丛书

“十二五”国家重点图书出版规划项目
中航工业科技与信息化部组织编写

蒲小勃 编著

现代航空 电子系统与综合

MODERN AVIONICS SYSTEM
AND INTEGRATION

航空工业出版社

中航工业首席专家技术丛书

“十二五”国家重点

现代航空电子系统与综合

蒲小勃 编著

航空工业出版社

北 京

内 容 提 要

本书详细介绍了先进航空电子系统架构、射频综合和数据总线等系统总体技术以及机载数据融合、态势评估及传感器管理等几种关键综合化技术；重点论述了航空电子机载计算机、显示控制、传感器（含雷达、电子战、通信导航识别、数据网络链路和光电传感器）技术及其发展应用情况；并从系统的角度阐述了现代航空电子系统的设计、综合、分析评估与验证的一些技术和方法。同时，还兼顾未来信息化网络作战需求发展，对机载协同技术应用进行了试探性的简述。

本书适用于从事航空电子系统设计的人员使用，也可供相关专业技术人员和高等院校师生参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

现代航空电子系统与综合/蒲小勃编著. -- 北京:
航空工业出版社, 2013. 12

(中航工业首席专家技术丛书)

ISBN 978 - 7 - 5165 - 0316 - 4

I. ①现… II. ①蒲… III. ①航空设备—电子系统
IV. ①V243

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 285345 号

现代航空电子系统与综合

Xiandai Hangkong Dianzi Xitong yu Zonghe

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区北苑路 2 号院 100012)

发行部电话: 010 - 84936555 010 - 64978486

北京世汉凌云印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经售

2013 年 12 月第 1 版

2013 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 33.5

字数: 859 千字

印数: 1—2000

定价: 199.00 元

总 序

航空工业被誉为“现代工业之花”，是国家战略性高技术产业，同时也是技术密集、知识密集、人才密集的行业。中国是世界航空产业格局中的后来者，而中航工业作为支撑中国航空工业发展的核心力量，履行国家使命，必须大力推进自主创新，必须在科技创新和知识创新上有所作为。

从2009年开始，中航工业按照航空技术体系，在科研一线技术人才中陆续遴选出近百位集团公司级“首席技术专家”。此举既是集团公司对这些技术人才技术水平和能力的肯定，也意味着集团公司赋予了他们更大的责任和使命。我们希望这些技术专家在今后的工作中，要继续发挥科研技术带头人的作用，更加注重学习和创新，不断攀登航空科技新的高峰；要坚持潜心科研，踏实工作，不断推动航空科技进步；要带队伍、育人才，打造高水平的科研队伍，努力培养更多的高层次专业技术人才，为中航工业的发展做出更大的贡献。

21世纪企业的成功，越来越依赖于企业所拥有知识的质量，利用企业所拥有的知识为企业创造竞争优势和持续竞争优势，这对企业来说始终是一个挑战。正因如此，“知识管理”在航空工业等高科技产业领域得以快速推广和应用。依照这个思路，将首席技术专家们所积淀和升华出来的显性或隐性知识纳入知识管理体系，是进一步发挥其人才效益的重要方式，也是快速提升中航工业自主创新能力的的重要途径。

知识管理理论的核心要义，就是把知识作为一种重要资产来进行管理，正如知识管理的创始人斯威比所说：“知识资本是企业的一种以相对无限的知识为基础的无形资产，是企业核心竞争能力的源泉。”如果专家们把其掌握的各类显性或隐性知识，用书面文字的形式呈现出来，就相当于构建了一个公共资料库，提供了一个交流平台，可以让更多的人从中受益——这就是出版这套“中航工业首席专家技术丛书”的初衷。

集团公司的这近百位“首席技术专家”，基本覆盖了航空工业的所有专业。每位专家撰写一部专著，集合起来，就相当于一个航空工业的“四库全书”，很有意义。在此，我要特别感谢这些专家们，他们在繁重的科研生产任务中，不辞辛劳地撰写出了自己的专著，无私地将自己的宝贵经验呈现给大家，担当起了传承技术、传承历史的责任。

相信这套丛书的出版，会使更多的航空科技工作者从中获益，也希望在一定程度上能助力中航工业的自主创新，对我国航空工业的科技进步产生积极影响。

A stylized black ink signature in Chinese characters, reading '林右鸣' (Lin Youming).

中国航空工业集团公司董事长

前 言

航空电子系统（Avionics System）是 20 世纪 30 代末期诞生的一个新型词汇，统指航空电子技术日益增多的各种功能集合体。目前它已成为飞行器的重要组成部分，是飞机任务、功能和性能实现的平台。现代航空电子系统已发展成一个由多系统、多环境、多任务和多资源构成的相互关联、相互支持、相互集成和相互制约的复杂系统，具有多目标、多信息、多专业、多任务、多功能、多资源，以及多过程组成的复杂系统构成与管理特征。

航空电子系统是集合任务处理、显示控制、探测传感器和武器等软硬件构成的综合控制信息密集系统，直接决定了作战飞机的杀伤能力，是评价现代飞机先进与否的关键指标之一，其采购成本已占到全机成本的 40% 以上。

战斗机执行任务过程中，航空电子系统将完成航路点、指示目标、飞机、武器等态势信息数据的采集、转换、计算、处理及管理，向飞行员和机载武器等提供飞行、决策、操纵、发射与制导等指令，通过显示控制输入支持飞行员与信息系统的紧密结合交互。

随着军事应用的不断变化、增多和航空电子技术本身的发展推动，机载航空电子系统走过了从分离到全面综合的发展历程，未来还将不断发展以适应新生作战任务和技术发展的需求。

现代飞机航空电子系统设备、功能不断增多，交联信息成几何级数增长，导致系统设计与综合的实现越来越复杂，软件呈规模化增长。随着作战任务需求和技术的发展，未来要求先进飞机作为空-天-地信息体系下的一个可动作交互节点存在，关键的航空电子系统更加强调开放架构、信息化和综合化技术，兼具经济成本、体积和重量^①效益。同时，研制周期较现在进一步缩短，要求更加敏捷和系统规范化的设计、开发及验证方法体系支撑。

近年来，国内外相关机构针对航空电子系统架构技术、信息融合/管理/决策综合化技术、系统综合设计方法，以及软件设计开发方法等内容展开了大量的研究，提出了诸如 IMA 综合模块化架构、ASAAC 开放系统架构等规范；建立了目标跟踪、融合识别、态势评估和决策管理控制一体的 OODA 信息论模型，以及 JDL 融合架构模型规范内容，不断完善基于模型驱动设计验证一体的系统设计方法论及支撑软件系统，不断完善需求分析-设计-开发-试验验证一体的完整验证评估体系和方法。不断涌现的技术理论、系统设计和软件开发方法成果为新一代的航空电子系统设计综合及开发奠定了良好的基础。

笔者从事航空电子系统研究与设计 30 多年，参与及组织完成了我国多个项目的航空电子系统预先研究及型号研制工作，经历了由分离式航空电子系统发展到综合化航空电子系统的整个历程，深刻体会到：①航空电子系统技术更新换代越来越快，先进技术的发展应用是必然；②多任务功能的航空电子系统设计、开发及综合实现是一个集技术和管理于

^① 本书重量指质量概念，单位为 kg。

一体的复杂系统工程；③规范的敏捷设计和开发方法将是复杂航空电子系统缩短研制周期及提高质量的保证。

本书是国内第一本详细描述现代航空电子系统与综合技术方面的图书，书中介绍了先进航空电子系统架构、射频综合和数据总线等系统总体技术；详细介绍了航空电子机载计算机、显示控制、传感器（含雷达、电子战、通信导航识别、数据网络链路等）技术及其发展应用情况；详述了机载数据融合、态势评估及传感器管理等几种关键综合化技术；从系统的角度阐述了现代航空电子系统的设计、综合、分析评估与验证的一些技术和方法。同时，兼顾未来信息化网络作战需求发展，文中对机载协同技术应用进行了试探性的简述。

本书可供航空航天领域从事航空电子系统或任务系统研发，以及从事预先研究的科技人员学习与参考。

全书共10章，第1~第7章主要介绍了航空电子系统技术内容，涉及架构、处理及网络、传感器综合、传感器技术、显示控制、网络化技术及综合化技术方面内容。第8~第10章主要针对航空电子系统综合及验证技术进行了介绍，包括航空电子系统设计方法、软件开发，以及系统评估分析验证方面内容。

第1章为新型航空电子系统架构。主要介绍了航空电子系统架构的发展，针对性地阐述了现今国际先进的IMA、ASSAC架构；详细阐述了开放航空电子系统架构的定义及属性内容，简述了未来航空电子系统的发展。

第2章为机载计算机与网络技术。介绍了机载计算机发展及相关处理、内部总线和芯片等技术，以及ARINC 429、1553B总线、CAN总线、1394总线、AFDX总线、FC总线等典型机载总线技术，并对新一代的SoC机载处理及全机网络TTE等技术进行了阐述。

第3章为射频综合技术。主要介绍了射频综合架构、射频传感器天线孔径及射频前端处理相关部分内容，涵盖了射频综合的关键环节。

第4章为机载射频传感器技术。主要介绍了机载相控阵雷达、电子战、通信导航识别和光电传感器方面的技术及设备发展应用情况。

第5章为座舱显示控制技术。主要介绍了座舱平板显示、头盔显示、语音控制和眼控等显示控制新技术以及座舱布局、符号画面和逻辑控制等设计方法与原则等；并对相关图形显示开发的方法及相关软件进行了简述。

第6章为信息化网络作战技术。文中从信息化网络作战需求发展出发，针对性地介绍了机载网络链路等相关技术发展，并对机载协同技术应用进行了试探性的简述。

第7章为航空电子系统综合化技术。针对航空电子系统数据融合、态势评估、传感器管理，以及综合导航关键综合化技术进行了详细阐述，包括了相关原理和典型算法等内容。

第8章为航空电子系统设计技术。主要介绍了航空电子系统综合设计方法、算法设计方法及相关软件平台，重点阐述了航空电子系统基于模型驱动的设计新方法，并给出了相关实例。

第9章为航空电子系统软件研发。针对航空电子软件设计开发特点，从发展、需求分析、软件开发、软件测试、软件评估、软件工程管理和软件开发工具方面进行了详细阐述。

第10章为航空电子系统分析评估与试验验证技术。文中从航空电子系统需求评估、精度分析评估、仿真模型验证和试验综合验证方面进行了阐述,相关内容涉及了航空电子全系统设计阶段的评估验证方法及流程等内容。

文中提及的三代机或四代机(按目前国内的习惯),即美国、俄罗斯等西方国家所谓的四代机或五代机,如美F-22战斗机,西方国家称之为第五代战斗机,国内称为第四代战斗机。

本书在编撰过程中得到了行内很多组织及朋友的帮助,在此表示衷心的感谢。

首先,感谢中航工业611所的王月星高工、周南明研究员和吴晓明研究员;中航工业615所的王国庆研究员、吴建民研究员和陆虎敏研究员;中航工业631所的张亚棣研究员;中航工业613所的张鹏研究员;中电集团10所的乔文昇研究员;中电集团14所的倪国新研究员;中电集团29所的高健研究员;浙江大学的杜昌平教授和成都电子科技大学的徐杨老师。感谢他们在书稿撰写前期给我提供了大量资料和素材。

特别感谢王月星高工提供的高质量帮助。她协助我完成了初稿统编及部分章节的编写和修改工作。

同时,诚挚感谢吕剑、杨晶晶、丁照蕾、罗辉、袁颖和李巍同志在稿件编辑、排版以及制图等大量且繁琐的工作中给予的支持。

本书着重介绍航空电子系统综合及关键技术方面的内容,但由于受篇幅限制,无法兼顾航空电子系统众多机载设备方面的技术细节,仅重点介绍了几个关键传感器和子系统的技术及发展。为更好地阅读本书,避免在阅读过程中造成困惑,建议读者可参考涉及机载航空电子系统设备技术细节方面的书籍。目前市面上出版和发表的航空电子系统相关书籍较多,各有侧重,笔者推荐读者参考阅读Ian Moir和Allan Seabridge编著的*Military Avionics Systems*一书(中译本名为《军用航空电子系统》,电子工业出版社出版)。该书系统地介绍了航空电子系统机载设备技术及发展方面的知识,阅读性强,可作为初涉足航空电子领域的学生及从业人员的基础知识学习教材。

为增强本书的参考性和阅读范围,全书内容集合了航空电子系统技术和设计分析评估的内容,综合性强,涉及的专业面广,结合笔者多年的工程实践经验,去芜存菁,力求给读者建立系统性的航空电子系统知识框架,给进一步的深入学习提供引导作用。但很多内容仍然无法一一详述,可能存在疏漏甚至谬误,不足之处敬请谅解。恳请广大读者给予批评指正。

蒲小勃
2013年3月

目 录

第 1 章 新型航空电子系统架构	(1)
1.1 航空电子系统架构发展	(1)
1.1.1 “宝石柱”计划	(2)
1.1.2 “宝石台”计划	(3)
1.1.3 JAST 计划	(4)
1.2 综合模块化航空电子系统架构	(5)
1.2.1 IMA 综述	(6)
1.2.2 应用程序接口	(8)
1.3 ASAAC 航空电子系统架构	(8)
1.3.1 ASAAC 结构的主要特征	(9)
1.3.2 ASAAC 5 个标准简介	(10)
1.3.3 ASAAC 7 个指南简介	(12)
1.4 开放航空电子系统架构定义	(14)
1.4.1 开放架构需求	(14)
1.4.2 开放系统和互操作定义	(16)
1.4.3 开放架构层次定义	(16)
1.4.4 开放系统方法论	(18)
1.4.5 开放系统接口	(18)
1.4.6 开放系统架构组成	(19)
1.4.7 标准要求	(22)
1.4.8 故障预测与健康管理	(24)
1.5 开放航空电子系统架构属性	(24)
1.5.1 分区和开放接口	(24)
1.5.2 系统元素间的约束耦合	(25)
1.5.3 可变规模性和可扩展性	(26)
1.5.4 互联互通互操作能力	(28)
1.5.5 技术独立与缓解部件老化	(29)
1.5.6 支持系统级的可靠性和维修性	(30)
1.5.7 保证时间和实时执行	(32)
1.5.8 信息保证和保护	(33)
1.5.9 基于性能的架构属性说明	(34)
1.5.10 给予承包商的架构说明	(35)
1.6 未来航空电子系统架构展望	(36)

第2章 机载计算机与网络技术	(39)
2.1 机载计算机技术	(39)
2.1.1 机载计算机的分类	(39)
2.1.2 机载计算机的特点	(40)
2.2 当前机载计算机的主要技术	(44)
2.2.1 操作系统	(44)
2.2.2 处理芯片	(44)
2.2.3 输入/输出	(45)
2.2.4 内总线	(46)
2.2.5 机载计算机处理器	(53)
2.3 机载系统总线技术	(55)
2.3.1 ARINC 429 总线	(56)
2.3.2 1553B 总线	(57)
2.3.3 CAN 总线	(58)
2.3.4 1394 总线	(60)
2.3.5 AFDX 网络	(62)
2.3.6 FC 总线	(64)
2.4 下一代机载计算机系统技术发展	(70)
2.4.1 智能化	(70)
2.4.2 多核处理	(71)
2.4.3 SoC 片上系统	(72)
2.4.4 全机统一网络	(74)
2.4.5 微内核操作系统	(79)
2.4.6 信息安全组件	(80)
2.4.7 人机接口	(85)
2.4.8 可重构计算	(86)
第3章 射频综合技术	(90)
3.1 概述	(90)
3.2 射频综合架构设计	(93)
3.2.1 概述	(93)
3.2.2 射频传感器综合的开放式架构	(94)
3.2.3 射频传感器综合的系统工程方法	(97)
3.2.4 射频传感器综合的技术发展趋势	(103)
3.3 射频传感器天线孔径	(107)
3.3.1 天线孔径的功能组成	(108)
3.3.2 天线孔径的布局	(108)
3.3.3 天线孔径的隔离度	(109)
3.3.4 机载天线的方向图	(111)
3.3.5 天线孔径的隐身设计	(112)

3.4 射频前端处理	(113)
3.4.1 射频前端的架构设计	(115)
3.4.2 射频前端的逻辑构件分析	(118)
3.4.3 射频发射前端综合设计技术	(118)
3.4.4 射频接收前端综合设计技术	(120)
3.4.5 射频前端的设计应用	(122)
第4章 机载射频传感器技术	(124)
4.1 机载有源相控阵雷达技术	(124)
4.1.1 有源相控阵雷达组成	(125)
4.1.2 有源相控阵雷达原理	(132)
4.2 机载电子战系统	(157)
4.2.1 机载告警技术	(159)
4.2.2 测向原理	(163)
4.2.3 机载自卫干扰	(164)
4.2.4 干扰技术	(168)
4.2.5 机载无源探测	(174)
4.2.6 机载电子战未来发展趋势	(178)
4.3 机载通信导航识别技术	(179)
4.3.1 通信	(180)
4.3.2 导航系统	(183)
4.3.3 敌我识别系统	(193)
4.3.4 综合化设备发展应用	(195)
第5章 座舱显示控制技术	(201)
5.1 座舱显示控制技术发展综述	(201)
5.1.1 国外座舱技术发展规划简介	(202)
5.1.2 座舱显示控制系统设计发展特点	(203)
5.2 先进座舱显示技术	(205)
5.2.1 全景平板显示器技术	(205)
5.2.2 头盔显示系统技术	(209)
5.3 先进座舱控制技术	(214)
5.3.1 触敏控制技术	(215)
5.3.2 语音控制技术	(215)
5.3.3 眼控技术	(221)
5.4 座舱人机交互界面设计	(224)
5.4.1 设计需求简介	(224)
5.4.2 符号画面设计	(226)
5.4.3 操作控制逻辑设计	(228)
5.4.4 可实现性检验	(229)
5.5 座舱布局功效设计	(231)

5.5.1	人机适应性考虑	(231)
5.5.2	可达性设计考虑	(232)
5.5.3	操纵装置布置原则	(233)
5.6	嵌入式图形设计开发	(233)
5.6.1	开发流程	(235)
5.6.2	开发系统需求管理	(240)
5.6.3	通用图形库开发技术	(241)
5.6.4	图形开发工具简介	(242)
5.6.5	OpenGL/OpenGL ES 的发展在基于模型的嵌入式图形软件中的应用	(245)
第6章	信息化网络作战技术	(248)
6.1	信息化网络数据链系统	(250)
6.1.1	数据链系统体系划分	(251)
6.1.2	典型数据链路	(253)
6.1.3	外军基于数据链的应用系统	(268)
6.1.4	外军基于数据链的网络系统	(272)
6.1.5	外军数据链体系发展趋势	(274)
6.2	空中多平台联合攻击作战方式	(275)
6.2.1	有人机与无人机间协同作战	(275)
6.2.2	有人机间协同作战	(277)
6.2.3	无人机间协同作战	(278)
6.2.4	多机种多平台联合攻击	(278)
6.3	飞机协同编队结构	(279)
6.3.1	飞机协同编队飞行的定义和优势	(280)
6.3.2	飞机协同编队飞行的队形设计	(280)
6.3.3	飞机协同编队飞行队形的动态调整	(282)
6.4	多机网络协同作战技术	(283)
6.4.1	时间协同规划	(283)
6.4.2	任务协同规划	(283)
第7章	航空电子系统综合化技术	(287)
7.1	跟踪融合技术	(289)
7.1.1	融合树	(289)
7.1.2	通用参照系	(290)
7.1.3	数据关联	(291)
7.1.4	状态估计	(293)
7.1.5	融合等级	(295)
7.1.6	跟踪融合算法设计	(296)
7.2	态势评估技术	(304)
7.2.1	态势评估函数建模方法	(304)
7.2.2	态势评估综合方法	(320)

7.2.3 威胁评估	(324)
7.3 传感器综合管理技术	(324)
7.3.1 机载传感器综合管理必要性	(325)
7.3.2 传感器管理分类及设计	(326)
7.3.3 多传感器管理模型和方法	(331)
7.4 综合导航技术	(337)
7.4.1 综合导航技术发展简介	(337)
7.4.2 综合导航算法原理	(338)
第8章 航空电子系统设计技术	(341)
8.1 系统需求分析	(342)
8.1.1 分析层次	(342)
8.1.2 分析过程	(343)
8.1.3 需求跟踪管理	(344)
8.2 航空电子系统设计方式	(348)
8.2.1 结构化分析与设计	(348)
8.2.2 面向对象分析与设计	(350)
8.2.3 模型驱动设计	(351)
8.2.4 Harmony SE/ESM 敏捷设计方法	(354)
8.3 模型驱动系统设计	(357)
8.3.1 系统体系结构概念	(357)
8.3.2 系统设计过程	(358)
8.3.3 系统建模	(358)
8.3.4 系统工程交付	(368)
8.3.5 设计实例	(368)
8.4 建模设计语言	(380)
8.4.1 架构分析与设计语言	(380)
8.4.2 统一建模语言	(382)
8.4.3 系统建模语言	(384)
第9章 航空电子系统软件研发	(386)
9.1 航空电子系统软件开发标准与环境	(386)
9.1.1 航空电子系统软件开发标准	(386)
9.1.2 机载软件开发环境	(389)
9.2 航空电子软件架构技术	(392)
9.2.1 通用开放式架构	(393)
9.2.2 ARINC 653 软件系统架构	(395)
9.2.3 ASAAC 软件系统架构	(395)
9.2.4 F-35 软件体系架构	(397)
9.2.5 国内先进航空电子软件体系架构	(398)
9.3 软件中间件技术	(401)

9.3.1	DDS	(401)
9.3.2	AOXE	(408)
9.4	操作系统及开发环境	(412)
9.4.1	VxWorks 5.5	(412)
9.4.2	VxWorks 6.x	(413)
9.4.3	ARINC 653	(414)
9.5	Wind River MILS	(416)
9.5.1	天脉 1	(416)
9.5.2	天脉 2	(420)
9.6	软件开发技术	(421)
9.6.1	结构化的软件开发	(421)
9.6.2	面向对象的软件开发	(425)
9.6.3	模型驱动的开发	(428)
9.7	机载算法开发	(431)
9.7.1	算法设计	(431)
9.7.2	基于 Matlab 建模	(431)
9.7.3	基于 Matlab/Simulink 的快速算法开发与验证手段	(434)
第 10 章	航空电子系统分析评估与试验验证技术	(446)
10.1	作战需求分析评估	(446)
10.1.1	装备作战使用需求分析阶段划分	(447)
10.1.2	战斗机作战评估关键性能参数需求分析	(449)
10.2	系统精度分析评估	(452)
10.2.1	航空电子系统精度分析关键模型	(452)
10.2.2	系统精度分析与评估方法	(459)
10.3	系统仿真模型验证评估	(479)
10.3.1	数据预处理模块	(480)
10.3.2	方法库	(481)
10.3.3	基于知识的系统综合验证方法	(483)
10.4	航空电子系统综合试验验证	(485)
10.4.1	试验分类及内容	(485)
10.4.2	综合试验测试方法	(488)
10.4.3	综合试验环境	(490)
10.4.4	综合试验管理	(495)
10.4.5	子系统综合试验	(497)
10.4.6	全系统综合试验	(502)
缩略语表		(505)
参考文献		(517)

第1章 新型航空电子系统架构

航空电子（简称航电）系统架构是一个系统组织概念，是飞机航空电子系统实现的关键，包括航空电子系统的特征定义、要求、连接、标准和规范等内容。先进系统架构必须具有自适应性、动态性和演进性才能支撑在较长时间内需求变化和电子技术迅速发展带来的航电设备升级换代能力需求，这也是评价航空电子系统先进与否的重要衡量指标之一。

本章将简要回顾航空电子系统架构发展概况，介绍美国“宝石柱”（Pave Pillar）、“宝石台”（Pave Dais）及联合先进攻击技术（Joint Advanced Strike Technology, JAST）发展规划下的航空电子系统技术及其实现情况，就综合模块化航空电子系统 IMA（Integrated Modular Avionics）、联合标准航空电子体系结构委员会 ASAAC（Allied Standard Avionics Architecture Council）推行的开放架构航空电子系统做重点阐述。

1.1 航空电子系统架构发展

回顾航空电子系统的发展，可分为4个阶段（见图1-1）：20世纪40—50年代的分立式航电系统、60—70年代的联合式航电系统、80—90年代的综合航电系统和90年代中期后的先进综合航电系统。

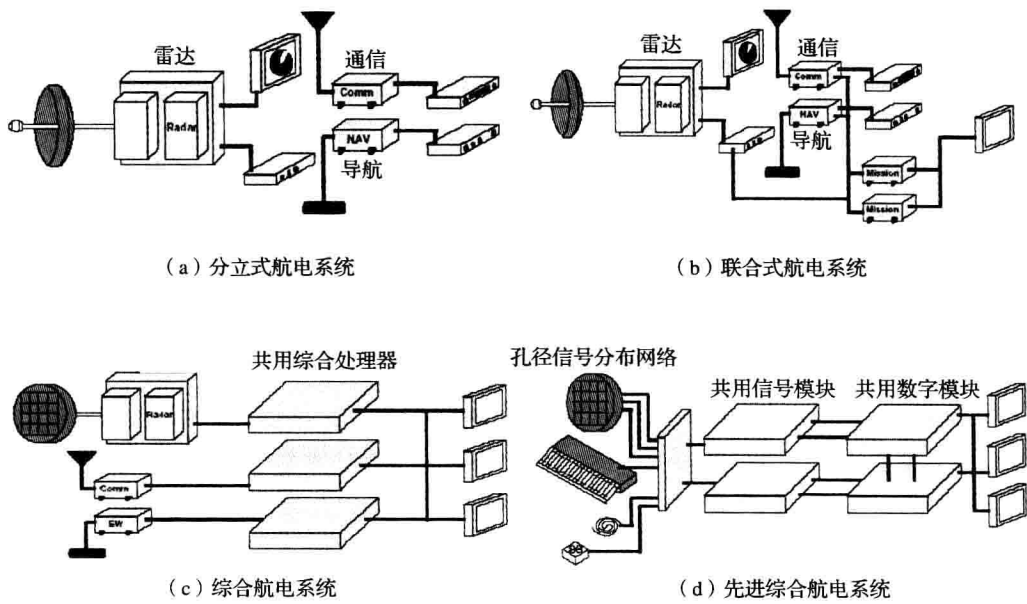


图1-1 航空电子系统结构的演变

(1) 分立式航电系统主要装备第二代战斗机（简称二代机），其基本特点是各子系统分散独立，相互间信息交联少，综合化程度低，体积庞大。

(2) 联合式航电系统主要装备第三代战斗机（简称三代机），以 20 世纪 70 年代初数字航空电子信息系统（Digital Avionics Information System, DAIS）计划为基础，开创了航电系统“系统综合”的新时代，采用处理器、多路数字传输总线、综合控制显示器，以及任务软件四大核心技术，将原独立的航电设备通过军标 1553B 数据总线进行交联，其特点是集中控制、分布处理。

(3) 综合式航电系统以“宝石柱”等航电发展计划和 F-22 飞机航电系统为代表。其主要特点是：提出了功能区概念，采用高速数据总线（High Speed Data Bus, HSDB）与标准电子模块，实现高度模块化和二级维修，实现系统容错和重构，所有任务软件都采用 Ada 语言编写。

(4) 先进综合航电系统以“宝石台”计划、联合先进攻击技术 JAST 计划和 F-35 飞机的航电系统为代表，强调低成本，实现了传感器的高度综合，采用统一航电网络。由于强调低成本，因此采用开放式系统结构和商用货架产品（Commercial Off-The-Shelf, COTS）等技术；统一航电互联网络选用标准为 IEEE SCL/RT；光电传感器的综合提供了远距离目标探测和精确的瞄准能力。

1.1.1 “宝石柱”计划

20 世纪 80 年代初，美国提出了“宝石柱”（Pave Pillar）航空电子发展计划，该计划旨在为先进战术和战略飞行器定义和建立综合航空电子系统结构，使飞机能以最低限度的支援能力从所部署位置出发进行作战。

“宝石柱”的系统结构如图 1-2 所示，它改变了用数据总线联网的综合方式，而是按功能划分提出了功能区的概念，将系统划分为传感器管理区、任务管理区和飞行器管理区 3 个功能区。传感器管理区的功能是完成对各类传感器的管理和对雷达，电子战，通信、导航、识别（CNI），图像等的数字信号处理。数字信号处理部分的主要组成部件包括一组公用信号处理机、一个传感器数据分配网络、一个传感器控制网络、一个数据交换网络和一个视频数据分配网络。任务管理区则负责完成各种任务功能和系统管理功能。飞行器管理区主要完成基本飞行和飞机公用系统的管理控制功能，包括飞行控制、进气道控制、推进装置控制、推力矢量控制、大气数据测量、飞机惯性测量、飞机电源控制、燃油测量和控制、液压系统控制、生命保障系统控制、起落架和其他辅助功能的控制等。飞行器管理区的主要组成包括飞行器管理系统数据处理机、显示控制接口、飞行传感器驱动接口、电源控制接口、发动机控制接口和通用系统接口等。

“宝石柱”结构采用了多种数字传输总线，任务航空电子设备多路传输总线连接所有任务数据处理机、数字信号处理机、飞行器管理系统数据处理机、传感器数据分配网络、数据交换网络、视频数据分配网络、任务接口终端和外挂物管理系统等。

“宝石柱”提出了外场可更换模块（Line Replaceable Module, LRM）的概念，并将最大限度地采用通用可快速更换模块作为一项基本的设计要求。

与三代机的航空电子系统相比，软件无论是在规模上还是在功能上都在“宝石柱”结构中占有极为重要的地位，系统的许多控制和操作功能都是由软件完成的。“宝石柱”

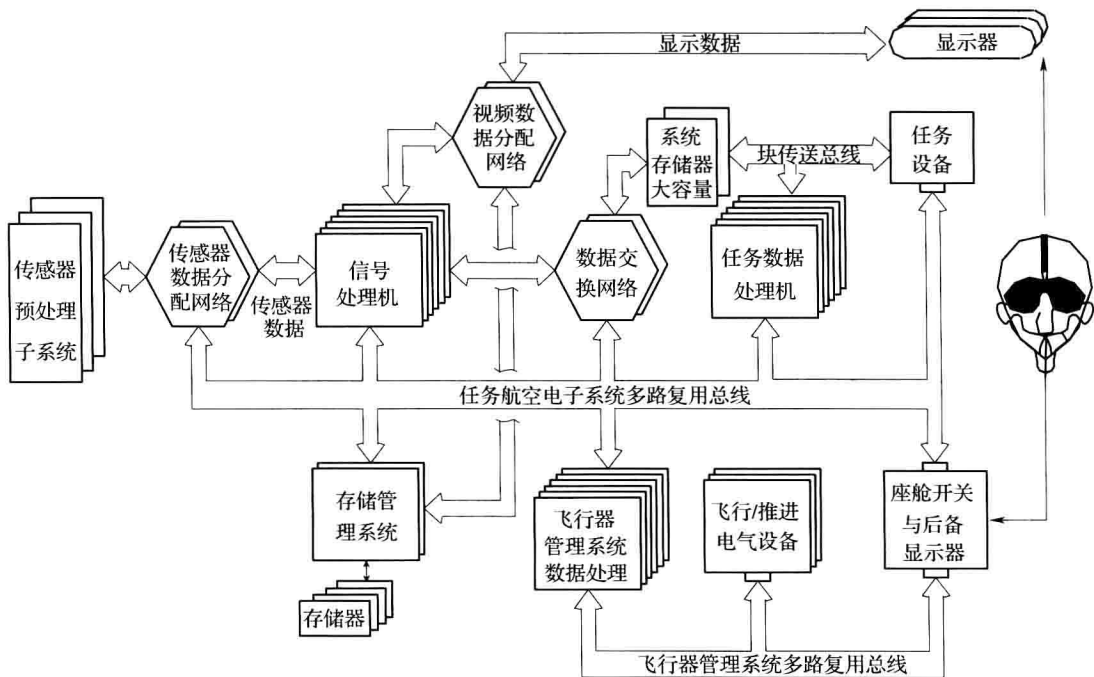


图 1-2 “宝石柱”计划的航空电子系统结构图

推出了规模庞大的操作系统软件，该操作系统在功能上由系统执行程序、核心执行程序和分布执行程序 3 个部分组成。系统执行程序保存系统所有的故障信息，并控制系统资源的重构；核心执行程序负责提供所有任务数据处理机通用的操作系统功能，如任务服务、任务的调用和中止、任务定序、处理机容错、外围设备控制等，还提供应用任务之间的控制和通信；分布执行程序负责提供系统状态信息，并执行系统应用任务的操作。

“宝石柱”计划采用了 20 世纪 80 年代的最新技术，以超高速集成电路（Very High Speed Integrated Circuit，VHSIC）和美国综合航空电子设备联合工作组确定的通用模块为基础，改进了系统结构，实现了航空电子系统的高度综合。“宝石柱”结构由一套通用模块组成，它支持核心数据和信号处理资源的共享，支持两级维修体制。该结构还具有容错和重构功能，在系统主要资源故障时，可以利用备用信号和数据处理资源，能根据任务把剩余资源分配给最高优先级的分系统，支持系统柔性降级，因此系统具有高可用性和可靠性。

1.1.2 “宝石台”计划

“宝石台”（Pave Dais）计划是对“宝石柱”计划的进一步发展，是面向 21 世纪航空电子系统的一项计划。该计划的一项重要内容就是研究当前传感器系统的综合化，以及由此引起的系统结构概念的变化，并评估未来的技术将怎样使综合化传感器系统得以实现。“宝石台”计划的实施带动了为实现传感器综合和系统结构变化的一些新技术的发展，这些技术包括宽频带单片射频元件、宽频带光纤连接器、高度可编程的高性能信号处理器、