

国家级精品课程建设

配套教材

国外优秀教材



飞行综合驾驶系统导论

Introduction to Avionics Systems

(英)柯林森 (R.P.G. Collinson) 著

吴文海 程传金 译

钟 勇 审



航空工业出版社

国外优秀教材
国家级精品课程建设配套教材



飞行综合驾驶系统导论

(英) 柯林森 (R. P. G. Collinson) 著

吴文海 程传金 译

钟 勇 审

航空工业出版社

北 京

Translation from the English language edition:

“Introduction to Avionics Systems”2nd edition

by R. P. G. Collinson.

ISBN 978 - 1 - 4020 - 7278 - 9

Copyright© 2006, Springer

as a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

北京版权局著作权合同登记

图字: 01 - 2008 - 5137 号

内 容 提 要

本书阐述了飞机飞行综合驾驶系统所涉及的诸多专业知识,使航空机载系统的重要组成部分——综合驾驶(控制)系统成为一门引人入胜、充满挑战的学科领域。除飞机飞行控制的原理(包括电传控制、波音 777 主飞行控制系统更新发展的经验总结的内容)以外,还涉及到诸多专业学科的技术,如卫星导航、惯性传感器和航向/姿态测量(包括光学陀螺和捷联系统)、人机交互、语音识别、先进的显示系统、全息光学、智能信息系统、闭环控制系统、高度集成的故障生存系统、高可靠性软件、超大规模集成电路设计和数据总线系统以及无人机方面的内容。

本书既可作为各航空院校相关专业的教材,又可供相关工程技术与研究人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

飞行综合驾驶系统导论/(英)柯林森(Collinson, R. P. G.)著;吴文海等译. —北京:航空工业出版社, 2009.9

书名原文: Introduction to Avionics Systems

ISBN 978 - 7 - 80243 - 369 - 4

I. 飞… II. ①柯…②吴… III. 飞行-驾驶系统 IV. V227

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 150631 号

飞行综合驾驶系统导论 Feixing Zonghe Jiashi Xitong Daolun

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

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

2009 年 9 月第 1 版

2009 年 9 月第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16

印张: 21.75

字数: 543 千字

印数: 1—2500

定价: 50.00 元

《飞行综合驾驶系统导论》编译委员会

主任委员 钟 勇

副主任委员 张建忠 陈 震 周胜明

委 员 程传金 盛 飞 朱兴动 韩 强 曲建岭

主 审 钟 勇

副 主 审 周胜明 郑 涛

校 审 徐景硕 耿昌茂

主 译 吴文海

副 主 译 程传金

翻 译 李亚飞 袁春光 朱家强 吴在桂 周思羽 王俊彦

程文俊 潘云芝 刘锦涛 张晓杰 黎志强

校对与绘图 杜彬彬 高 丽 于 洁 邢 敏 贾临生 沈 鹏

孙文胜 周 凯

中文版序

Introduction to Avionics Systems 一书重点介绍了航空机载电子系统的基本原理和最新技术。内容主要包括人机交互、飞机空气动力学基础与飞行控制、电传飞行控制系统、惯性传感器与惯导系统、大气数据系统、自动驾驶仪与飞行管理系统、航电系统集成,以及无人机的发展概况。它是作者长期从事工程技术与教学的智慧结晶,具有很高的学术、技术水平,可供航空机载电子系统(如飞控/导航、仪表与传感器、平显火控和航空电子系统等)相关专业的工程技术与研究人员使用,也可作为高等航空院校相关专业的教学用书。

现代飞机的机载电子系统越来越多地向着综合化、一体化方向发展。这要求飞机设计师和机务维护工程师们必须具有较宽的专业知识面和较强的系统分析能力,也要求在对各类航空技术人才的培养中,要改进教学内容,拓宽专业教学内容,努力培养适应新技术发展与多学科融合的复合型专业人才。

R. P. G. Collinson 先生正是为了满足这样的需求,在 2003 年又修订再版了他的著作 Introduction to Avionics Systems 教程。现在,这本书已经受到了广泛的欢迎,美国麻省理工学院航空太空工程专业、我国台湾成功大学航空太空工程学等专业把它用作教学用书。

事实上,正如英国 BAE 系统公司航空电子工程部技术主管、荣获英帝国勋章的军官 John Roulston 教授在为这本书英文版作的序中所述,R. P. G. Collinson 先生编写的原著“在很大程度上反映了一代从事航空工业创新工程的人们的宝贵的知识经验积累,有助于读者理解现有航空电子系统的体系结构和系统性能。这是一本工程实用性很强的书,理论与实际应用相结合,并辅助以严谨的解释,便于工程技术人员理解和创新”。“对于航空电子领域的入门者而言,拥有一本有助于他们理解现有的和还在不断发展之中的航空电子系统的工具书是十分重要的。同样地,对于这个领域的从业者而言,在进行设计时拥有一本阐述成熟方法的概论性手册也是十分必要的。”

国内从事航空机载电子系统设计与工程开发的技术人员,知识面普遍较专,难以很好地适应飞机机载电子系统向着综合化方向发展对设计与工程技术人员的要求。作为从事航空教学的一线教师,吴文海老师长期从事导航、制导与控制专业的教学与科研工作,参加了大量进口航空电子设备引进后的加改装工程,在工程实践与理论研究两个方面都具有很深的造诣。他在科研工程实践中深刻体会到,应当出版一本有一定理论深度、涉及知识面较宽、系统介绍航空电子系统的专著,供工程技术人员使用或用作航空高等院校相关专业的教程。正是基于这样的考虑,他将这本英文教程翻译给国内广大读者。

国内航空院校专业划分过细,教学用书过于专一,或者是内容泛泛而谈的航空概论,尚未发现比较全面涵盖飞机综合驾驶系统基本原理与最新技术的同类书籍。

因此,我深信这本书既可作为航空院校的教材,也可作为从事航空技术与工程技术人员工具书,翻译出版后一定会受到国内同行(包括从事航空技术管理人员)的欢迎!

中国航空工业集团公司
沈阳飞机设计研究所所长
重点型号总设计师



2008 年 10 月

译者的话

在长期的教学科研实践中，我深深地感到应当编写一本有一定理论深度、涉及知识面较宽、系统介绍飞机综合驾驶系统的专著，供工程技术人员使用或用作航空高等院校相关专业的教程。

几年前，我在南京航空航天大学图书馆看到了由 Dick Collinson 编写的《Introduction to Avionics Systems》教程，随即决定将它翻译给国内广大读者，以弥补因国内航空院校专业划分过细而缺少比较全面涵盖飞机综合驾驶系统基本原理与最新技术的同类书籍。

Dick Collinson 长期致力于航空电子学领域的研究与工程实践并取得了丰硕成果，他著述的这本紧跟技术前沿的权威性著作，在航空机载设备与系统结构设计和集成等方面有着重要的指导意义，已经产生了积极影响。海外一些高校的航空航天专业，如美国麻省理工学院航空太空工程、我国台湾成功大学航空太空工程学等专业都把这本原著选为教学用书，可见其已经受到了广泛的欢迎。

作为从事航空院校教学的一线教师，我深信这本书有其鲜明的特色，既可作为航空院校的教材，也可作为从事航空技术研究与工程技术人才的工具书，出版后一定会受到国内同行（包括从事航空技术管理人员）的欢迎！

但是，译者水平有限，错误与不当之处在所难免，欢迎广大读者通过我们的电子信箱（austin@qingdaonews.com）告知你们的宝贵意见！

翻译这本书得到了海军装备部航空技术保障部机载设备处的大力支持，也得到了主管首长钟勇先生与有关领导的具体指导，以及中航工业沈阳飞机设计研究所和第一飞机设计研究院等单位的热情帮助，在此表示衷心感谢！

吴文海
2008 年冬于青岛

序

近 30 年来,元件级电子技术的发展非常迅速,其增长已达到五个数量级。然而应当清醒地看到,相应的系统级电子技术的发展却只呈线性增长,与呈指数级增长的元件级电子技术的发展很不相称。Dick Collinson 的书及其修订的第 2 版都对此做了讲述,并为推动系统级电子技术的创新发展提供了理论基础。

对于航空电子领域的入门者而言,拥有一本有助于他们理解现有的和还在不断发展之中的航空电子系统的工具书是十分重要的。同样地,对于这个领域的从业者而言,在进行设计时拥有一本阐述该领域成熟方法的概论性手册也是十分必要的。这本书在很大程度上反映了致力于航空工业创新事业的一代人宝贵的知识经验积累,有助于读者理解现有航空电子系统的体系结构和系统性能。这是一本工程实用性很强的书,理论与实际应用相结合,并辅助以严谨的解释,便于工程技术人员理解和创新应用。

作者对第 2 版的内容进行了详细的修订,介绍了自第 1 版出版以来最新的研究动态和技术革新。特别是,为了提高读者兴趣,把显示和人机交互的内容提到了第 2 章,并且增添了有关头盔显示器、固态座舱仪表和语音直接输入的最新发展的内容,并附有现有装备的插图,使第 2 章更易于理解。第 3 章新增了主动控制方面的内容。第 4 章介绍电传控制,新增了有关波音 777 主飞行控制系统更新发展的经验总结的内容。第 5 章惯性传感器和姿态测量,新增了现代微型机械陀螺的内容和光纤陀螺的最新发展,并且重点介绍了捷联系统、斜轴测量。第 6 章导航系统,更加深入地讲述了 GPS,并增加了差分 GPS 和卫星增量导航系统。最后,第 9 章和第 10 章分别增加了 COTS 和无人机的内容。

相信读者会喜欢这本书,因为它是作者充满热情和灵感的劳动结晶,来自于作者在创造性工作中不断积累的经验和成就。Dick Collinson 致力于航空电子学领域并取得了丰硕成果,他个人努力完成了这本紧跟技术前沿的权威性著作。本书在航空机载设备与系统结构设计和集成等方面有着重要的指导意义,并将产生其积极影响。

很荣幸有机会在本书第 2 版的前言中向读者推荐介绍这么多,我也相信,在这个发展迅速的行业中,随着航空新技术的不断发展,Dick 将不断修订此书,并出现更多的新版本。

John Roulston 教授

荣获英帝国勋章的军官, FIEE, FRSA

英国 BAE 系统公司 航空电子工程部技术主管

2002 年 5 月于爱丁堡

前 言

此书可作为具有大学学历（或同等学力）的读者的教材用书。这本书从系统工程的角度阐述了在现代民用或军用飞机上航空电子关键系统的基本原理和现代技术方法的运用。

本书积我多年的经验编写而成，其主要目的是，满足那些毕业于不同专业（如电子工程、计算科学、数学、物理学、机械与航空工程等）又将从事航空电子学领域工作的大学毕业生的需要。本书也适用于在航空电子领域工作的各个层次的工程技术人员使用，以便他们更好地了解其他领域、学科的理论 with 最新技术。

本书从系统基本原理着手，通过简要的数学推导，尽量以读者能够迅速接受的方式，阐述了航空电子系统的工作原理。

编写本书的目的还在于系统阐述航空电子系统所涉及的诸多专业知识，使航空电子学成为一门引人入胜、充满挑战的学科领域。除了本身的原理以外，飞行器还涉及到诸多专业学科的技术，如卫星导航、光学陀螺、人机交互、语音识别、先进的显示系统、全息光学、智能信息系统、闭环控制系统、高度集成的故障生存系统、高可靠性软件、超大规模集成电路设计和数据总线系统等。

航空电子系统的实现技术必然随着系统性能提高和成本降低而不断发展和提高，不用很长时间，就会出现使航空电子系统获得很大发展的新技术和新系统。

因此，本书的风格仍然是着力介绍航空电子系统的基本原理和基础理论，这些是不会改变的知识。此外，本书还介绍了航空电子系统的最新实现方法。

第1版出版后的近十年来，航空电子系统的技术水平取得了重大的进步，这都在第2版中进行了补充。同时，也增加了理论讲解篇幅，修改了一些内容的表述。

就个人而言，航空电子学深深地吸引了我，希望读者能和我分享其中的快乐。

Dick Collinson

2002 年 8 月

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 航空电子学的重要性与任务	(1)
1.1.1 人机界面系统	(2)
1.1.2 飞机状态传感器系统	(4)
1.1.3 导航系统	(4)
1.1.4 外部传感器系统	(5)
1.1.5 任务自动化系统	(5)
1.2 航空电子环境	(8)
1.2.1 最小重量	(9)
1.2.2 环境要求	(9)
1.2.3 可靠性	(9)
1.3 单位的选择	(10)
第2章 座舱显示和人机交互	(12)
2.1 引言	(12)
2.2 平视显示器	(13)
2.2.1 引言	(13)
2.2.2 基本原理	(14)
2.2.3 全息平显	(19)
2.2.4 平显电子组件	(24)
2.2.5 平显设计和显示生成的例子	(25)
2.2.6 民用飞机上的平显	(27)
2.3 头盔显示器	(31)
2.3.1 引言	(31)
2.3.2 头盔设计要素	(31)
2.3.3 头盔瞄准器	(32)
2.3.4 头盔显示器	(33)
2.3.5 头盔跟踪系统	(37)
2.3.6 头盔显示器和虚拟座舱	(38)
2.4 计算机辅助光学设计	(40)
2.5 平显与头盔显示器	(41)

2.5.1	引言	(41)
2.5.2	军用飞机上的平显和头盔显示器	(41)
2.6	下视显示器	(43)
2.6.1	引言	(43)
2.6.2	民用飞机下视显示器	(44)
2.6.3	军用飞机下视显示器	(45)
2.6.4	光栅叠加显示信息的生成	(46)
2.6.5	数字式移动彩色地图显示	(47)
2.6.6	固态备用显示仪表	(49)
2.7	数据融合	(51)
2.8	智能显示管理	(52)
2.9	显示技术	(53)
2.9.1	平显	(53)
2.9.2	头盔显示器	(53)
2.9.3	下视显示器	(54)
2.10	控制和数据输入	(58)
2.10.1	引言	(58)
2.10.2	触摸式控制面板	(59)
2.10.3	直接语音输入	(59)
2.10.4	语音输出系统	(61)
2.10.5	集成声频/触摸输入功能的显示器	(61)
2.10.6	眼球跟踪器	(62)
第3章	空气动力学和飞机控制	(64)
3.1	引言	(64)
3.2	空气动力学基础	(64)
3.2.1	升力和阻力	(64)
3.2.2	迎角	(65)
3.2.3	升力系数与阻力系数	(65)
3.2.4	基本空气动力学示例	(66)
3.2.5	俯仰力矩与空气动力中心	(67)
3.2.6	尾翼的作用	(68)
3.3	飞机稳定性	(69)
3.3.1	纵向稳定性	(70)
3.3.2	气动不稳定飞机	(71)
3.3.3	机体升力	(72)
3.4	飞机动力学	(73)
3.4.1	机体坐标系——速度与加速度分量的定义	(73)
3.4.2	欧拉角——俯仰、滚转、偏航角的定义	(74)

3.4.3	小扰动运动方程	(76)
3.4.4	空气动力导数与力矩导数	(77)
3.4.5	纵向与侧向运动方程	(82)
3.5	纵向操纵与响应	(85)
3.5.1	纵向操纵	(85)
3.5.2	杆力/ g	(86)
3.5.3	平尾/升降舵偏转产生的俯仰角速度响应	(86)
3.5.4	定常前飞速度假设下的俯仰响应	(87)
3.5.5	q/η 传递函数与俯仰响应示例	(92)
3.6	侧向操纵	(94)
3.6.1	副翼操纵与倾斜转弯	(94)
3.6.2	方向舵操纵	(96)
3.6.3	短周期偏航运动	(97)
3.6.4	滚转 - 偏航 - 侧滑复合运动	(97)
3.7	伺服飞行控制	(98)
3.7.1	引言	(98)
3.7.2	PCU 传递函数	(99)
3.8	自动增稳系统	(101)
3.8.1	有限权限自动增稳系统	(101)
3.8.2	全权限自动稳定系统	(104)
第4章	电传飞行控制	(105)
4.1	概述	(105)
4.2	电传飞行控制的特点	(105)
4.2.1	电传系统的基本概念与特征	(105)
4.2.2	电传飞行控制的优点	(109)
4.3	控制律	(114)
4.3.1	俯仰角速度指令控制	(118)
4.3.2	控制回路中的延迟	(124)
4.3.3	滚转角速度指令控制	(128)
4.3.4	操纵品质与飞行员诱发振荡	(129)
4.3.5	现代控制理论	(130)
4.4	冗余和故障生存	(131)
4.4.1	安全性与完整性	(131)
4.4.2	余度配置	(131)
4.4.3	表决与统一	(132)
4.4.4	四余度系统结构	(135)
4.4.5	共模故障	(136)
4.4.6	非相似余度	(137)

4.5	数字实现	(139)
4.5.1	数字实现的优点	(139)
4.5.2	数字数据问题	(140)
4.5.3	软件	(141)
4.5.4	故障模态与影响分析	(146)
4.6	光传飞行控制	(147)
4.6.1	概述	(147)
4.6.2	光传飞行控制系统	(148)
4.6.3	光传感器	(149)
第5章	惯性传感器与姿态测量	(152)
5.1	概述	(152)
5.2	陀螺仪与加速度计	(152)
5.2.1	概述	(152)
5.2.2	角动量陀螺	(153)
5.2.3	微型振动质块速率陀螺	(157)
5.2.4	光学陀螺	(160)
5.2.5	加速度计	(170)
5.2.6	斜置轴传感器构型	(174)
5.3	姿态测量	(175)
5.3.1	概述	(175)
5.3.2	平台稳定系统	(175)
5.3.3	捷联系统	(177)
5.3.4	圆锥运动	(184)
5.3.5	北—东—地当地坐标系下的飞机姿态	(185)
5.3.6	互补滤波简介	(188)
第6章	导航系统	(191)
6.1	简介及基本原理	(191)
6.1.1	简介	(191)
6.1.2	导航基本概念	(195)
6.1.3	DR 导航的基本原理	(195)
6.2	惯性导航	(197)
6.2.1	简介	(197)
6.2.2	基本原理及舒拉摆	(198)
6.2.3	平台轴	(205)
6.2.4	初始对准和陀螺罗经对准	(208)
6.2.5	方位陀螺漂移的影响	(210)
6.2.6	垂直导航通道	(210)

6.2.7 导航坐标系的确定	(212)
6.2.8 捷联惯性导航系统	(213)
6.3 辅助惯导系统与卡尔曼滤波器	(214)
6.4 姿态航向基准系统	(219)
6.4.1 引言	(219)
6.4.2 采用磁航向基准的方位监控	(223)
6.5 GPS——全球定位系统	(226)
6.5.1 简介	(226)
6.5.2 GPS 概述	(227)
6.5.3 GPS 的基本原理	(228)
6.5.4 导航方程的求解	(231)
6.5.5 GPS 和 INS 的组合	(232)
6.5.6 差分 GPS	(233)
6.5.7 未来扩展的卫星导航系统	(235)
6.6 地形参考导航	(238)
6.6.1 简介	(238)
6.6.2 地形等高线导航	(238)
6.6.3 地形特征匹配	(239)
6.6.4 民用 TRN	(239)
第7章 大气数据和大气数据系统	(241)
7.1 引言	(241)
7.2 大气数据信息及其使用	(241)
7.2.1 大气数据测量	(241)
7.2.2 大气数据信息及其重要性	(242)
7.3 大气数据定律与相互关系的推导	(245)
7.3.1 高度与静压之间的关系	(245)
7.3.2 地表压力的变化	(248)
7.3.3 大气密度与高度的关系	(249)
7.3.4 声速	(250)
7.3.5 压力与速度的关系	(251)
7.3.6 马赫数	(253)
7.3.7 校正空速	(253)
7.3.8 静态大气温度	(254)
7.3.9 真空速	(255)
7.3.10 压力误差	(256)
7.4 大气数据传感器及其计算	(257)
7.4.1 简介	(257)
7.4.2 大气数据系统压力传感器	(257)

7.4.3	大气数据计算	(261)
7.4.4	迎角传感器	(263)
第8章	自动驾驶仪与飞行管理系统	(265)
8.1	引言	(265)
8.2	自动驾驶仪	(266)
8.2.1	基本原理	(266)
8.2.2	高度控制	(266)
8.2.3	自动驾驶仪航向控制	(267)
8.2.4	自动驾驶仪与仪表指示/微波引导着陆系统的复合控制	(274)
8.2.5	自动着陆	(278)
8.2.6	卫星着陆导航系统	(282)
8.2.7	速度控制和油门自动控制	(283)
8.3	飞行管理系统	(284)
8.3.1	引言	(284)
8.3.2	飞行计划	(286)
8.3.3	导航和制导	(288)
8.3.4	飞行轨迹优化和性能预测	(289)
8.3.5	垂直剖面的飞行轨迹控制	(290)
8.3.6	工作模式	(291)
8.3.7	4D 飞行管理	(292)
第9章	航空电子系统的集成	(294)
9.1	引言与背景	(294)
9.2	数据总线系统	(298)
9.2.1	电子数据总线系统	(299)
9.2.2	光纤数据总线系统	(303)
9.2.3	下一代数据总线	(307)
9.2.4	并行数据总线	(308)
9.3	综合模块化航空电子系统	(308)
9.4	商用现货 (COTS)	(311)
第10章	无人飞行器	(313)
10.1	无人飞行器的作用	(313)
10.2	无人飞行器机载系统	(315)
	术语	(317)
	符号目录	(322)
	缩略语表	(332)

第1章 绪 论

1.1 航空电子学的重要性与任务

“航空电子学”一词由“航空学”与“电子学”两个词组合而成，20世纪50年代初在美国首次出现，后获得广泛接受和使用。但在某些场合仍有必要解释其含义。

本书中，“航空电子系统”或“航空电子子系统”是指飞机上所有依靠电子技术工作的系统，包括可能含有机电元件的系统。例如，电传操纵（Flight by Wire, FBW）飞行控制系统要有效工作需要依靠数字计算机，但也包含了其他必需的元器件。即使是基本的机电部件也可能与电子有关，如用于控制和测量飞机运动的驾驶杆传感器、速率陀螺和加速度计，用于测量飞机高度、空速和气流入射角（迎角和侧滑角）的大气数据传感器，以及用于控制操纵面（舵面）角位置的电-液伺服驱动器。

目前，航空电子工业在世界范围内产值达到数十亿美元，现代军用飞机或民用飞机上的航空电子设备的成本大约占飞机总造价的30%，在海事巡逻/反潜飞机（或直升机）上，航空电子设备的成本大约占40%，而在诸如AWACS预警机上，其成本可占到75%以上。

即使在现代通用航空飞机上，航空电子设备（如彩色下视显示器）仍占据相当重要的地位，可以达到飞机总成本的10%。

不管是民航班机运输旅客到达目的地，还是军用飞机拦截敌机、攻击地面目标、侦察或海上巡逻，航空电子系统都是使机组人员安全有效执行飞行任务的必备系统。

引进和发展航空电子系统的主要原因在于航空电子系统可以满足用最少的空勤机组人员满足完成飞行任务的需求。通过提高任务自动化程度，降低机组人员的工作负担，只需要正驾驶员（机长）和副驾驶员两名机组人员驾驶一架现代民航飞机，而不再需要领航员和空中机械师。这种安全的双机组人员工作模式可以降低机组人员薪水、费用的支出和培训成本，所以航空公司能够在竞争激烈的市场中获得相当可观的经济效益。重量^①的减轻意味着可以以更低的油耗承载更多的旅客或者飞行更长的航程，我们将在后文予以解释。在军用领域，单座战斗机或攻击机比相应的双座机重量轻、费用低。在降低训练成本方面，取消第二机组人员（导航员/观测员/雷达操作员）同样具有重要的经济效益（因为选拔和培训高速喷气式飞机机组人员的费用相当昂贵）。

引进和发展航空电子系统的其他原因还包括提高安全性，空中交通管制需求，全天候飞行，油耗降低，飞机性能、控制与操纵性提高和维护成本降低等。

在军事领域，潜在入侵者敌机攻防能力不断提高所带来的威胁持续增长，也促使航空电子系统不断发展。

现代飞机上航空电子系统在执行飞行任务中的作用，可以表示为由特定任务层和航空电

^① 本书“重量”（weight）均指“质量”（mass）概念，单位为千克（kg）。——译者注

子系统功能层组成的层次结构图，如图 1-1 所示。该图表明了航空电子系统的基本或“核心”功能，对军用和民用飞机而言，这些功能基本相同。为简洁起见，一些航空电子系统并未在图中表示出来。例如，空中交通管制（Air Traffic Control, ATC）无线电收发系统、近近告警系统（Ground Proximity Warning System, GPWS）和威胁告警/防撞系统（Threat Alert/Collision Avoidance System, TCAS）等，这些对民航飞机而言都是必不可少的设备。

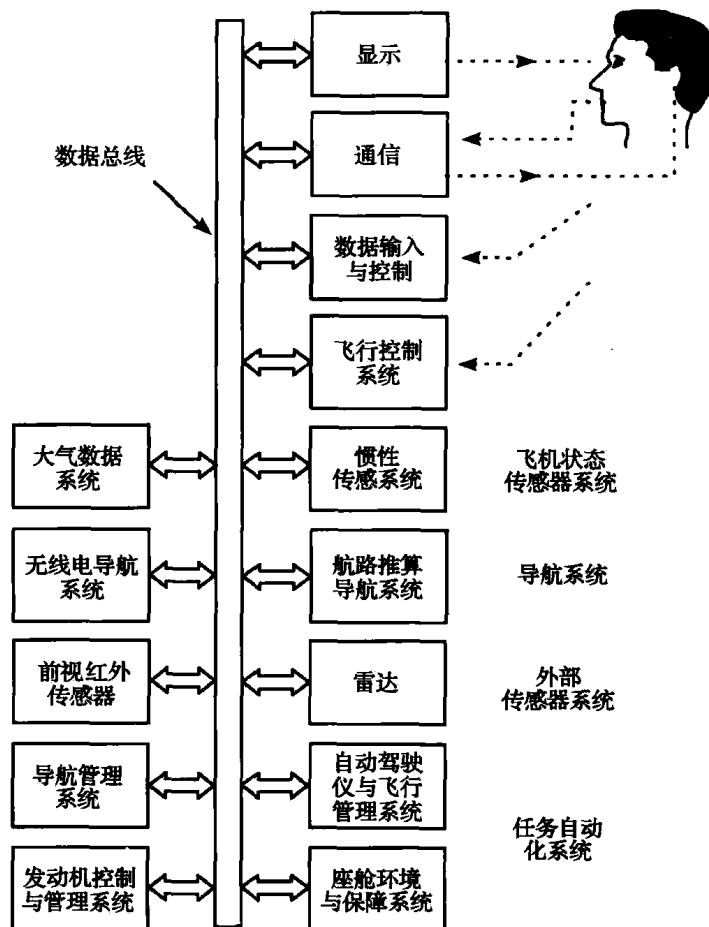


图 1-1 航空电子系统

由图 1-1 可以看出航空电子系统根据作用与功能可分为 5 层子系统。为了对机载航空电子系统作用与功能提供一个整体介绍，下面分别对其进行简要概括。

需要指明的是，无人机完全依赖航空电子系统。关于无人机将在第 10 章进行简要讨论。

1.1.1 人机界面系统

人机界面系统包括显示、通信、数据输入与控制及飞行控制等系统。

显示：显示系统提供了驾驶员和飞机系统之间的可视接口，包括平视显示器（平显，Head Up Display, HUD）、头盔显示器（Helmet Mounted Display, HMD）和下视显示器（Head Down Display, HDD）。它为飞行员提供与飞机其他系统的可视化交互。目前，大多数作战飞机已装备平视显示器（平显），而且越来越多的民用飞机也装备平显。目前头盔显示器已成为当代作战飞行和直升机的基本系统。平显和头盔显示器的主要优势是它们能够显示信息醒目地映入飞行员的视野，这样飞行员就可以保持抬头姿势，专注于外部环境。平

显为飞行员提供基本飞行信息，在军用飞机上它还显示有关武器瞄准精度的信息。平显还可以通过安装在机体上的前视红外（Forward Looking Infrared, FLIR）传感器产生与外部景象一一对应的 FLIR 景象信息，并将它自然地融合于驾驶舱视景之中，使飞行员能够在雾、云或夜间等低能见度的复杂气象条件下执行飞行任务。

头盔显示器实际上就是安装在头盔上的平显。它的优点是飞行员可以从任何方向获取飞行信息，而不像平显那样只能从相对有限的前视视角获取信息。头盔显示器通过驱动一个带有方向支架的红外成像传感器，构成一个非直接的观察系统来跟踪飞行员的视线（通过头部位置感应器获取飞行员的视线）。头盔显示器还结合了夜视镜（Night Viewing Goggles, NVGS）以提高夜视能力，使飞机（或直升机）能够在夜间或低能见度条件下飞行。

20 世纪 60 年代的飞机座舱里有很多指示仪表，每个仪表只能显示特定的信息，座舱显得凌乱复杂。下视彩色显示器以多功能显示器替代了诸多繁杂的指示仪表，它的出现为座舱设计带来了一场革命。

多功能彩显能够提供主飞行显示仪所显示的高度、空速、马赫数、垂直速度、人工地平线、俯仰角、航向角、倾斜角和速度矢量等飞行信息；也可提供导航显示仪（或水平位置指示器）所显示的飞机相对于目的地或中途机场的位置和航迹、导航信息、距离、待飞时间；水平位置指示器（Horizontal Situation Indicator, HSI）所显示的气象雷达信息。在多功能彩显上，可以通过不同于常态的亮度显示发动机的工作状态，以便飞行员在多功能显示器上方便地观察发动机是否正常工作。用便于理解的图表形式显示机载系统，诸如供电系统、供压系统、座舱压力系统和燃油管理系统等的工作情况。在某个特定的显示出现故障时可重构它的显示画面。

通信：无线电通信系统所发挥的重要性，地面基站与飞机之间或飞机与飞机之间可靠的双向通信的必要性不证自明，尤其在航空管制方面。事实上，早在 1909 年飞机上就已安装了由马可尼（Marconi）公司生产的无线电发射和接收装置，这是飞机上的第一代航空电子装备。现代飞机上的无线电通信装置非常复杂并且包含了好几个工作频率波段。高频无线电（工作波段 2 ~ 30MHz）用于长距离通信；中程距离通信，民用飞机无线电用甚高频（Very High Frequency, VHF，工作波段 30 ~ 100MHz），军用飞机无线电用超高频（Ultra High Frequency, UHF，工作频段 250 ~ 400MHz）（VHF 和 UHF 都是视距传播）。无线电通信设备通常采用双余度配置，在新型飞机上甚高频设备通常采用三余度配置。许多现代飞机安装了卫星通信系统，以提供可靠的全球通信。

数据输入与控制：数据输入与控制系统是非常重要的人机交互环节，包括键盘、触摸屏及利用语音识别技术的直接语音控制。

飞行控制：与电子技术有关的飞行控制系统包括自动稳定（或增稳）系统和电传飞控系统。大多数有后掠翼的喷气式飞机在一定高度和速度下沿飞机的竖轴和纵轴会产生小阻尼短周期振荡，因此至少需要航向（有时还需要倾斜）自动稳定器来衰减抑制这种振荡。如果这种横侧向振荡只能被部分抑制，就还要设置俯仰自动增稳系统。为了获得在飞行包线内令人满意的控制性能和操纵性能，大多数作战飞机以及许多民用飞机在 3 个轴上都安装了自动稳定系统。

与传统的飞机设计不同，采用电传飞控系统后，允许降低（甚至完全不需要）飞机气动外形设计的自动静稳定性的要求，从而减轻了飞机重量并提高了飞行性能。飞控计算机能根据相应的运动传感器信息来控制舵面，以提供连续的自动增稳控制。电传控制系统还可以