



高新科技译丛



Springer

Introduction to Avionics Systems
Third Edition

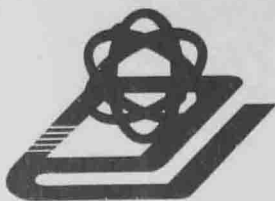
航空电子系统导论 (第3版)

【英】 R.P.G. Collinson 著 史彦斌 高宪军 王远达 译
邓长春 张安 主审



国防工业出版社

National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

航空电子系统导论

(第3版)

Introduction to Avionics Systems

Third Edition

[英] R. P. G. Collinson 著

史彦斌 高宪军 王远达 译

邓长春 张 安 主审

国防工业出版社

· 北京 ·

著作权合同登记 图字:军-2012-140号

图书在版编目(CIP)数据

航空电子系统导论:第3版/(英)柯林森
(Collinson, R. P. G.)著;史彦斌,高宪军,王远达译.

—北京:国防工业出版社,2013.10

(高新科技译丛)

书名原文:Introduction to avionics systems

ISBN 978-7-118-08788-8

I. ①航… II. ①柯…②史…③高…④王…

III. ①航空电气设备—电子系统 IV. ①V242

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第175358号

Translation from English language edition;

Introduction to Avionics Systems

by R. P. G. Collinson

Copyright © 2011 Springer Netherlands

Springer Netherlands is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

本书简体中文版由 Springer Science+Business Media 授权国防工业
出版社独家出版发行。

版权所有,侵权必究。

※

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)

腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 23 字数 525 千字

2013年10月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 89.00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

译者序

随着航空科学技术的进步,航空电子系统(简称航电系统)迅速朝着综合化、一体化的方向发展,已经成为现代航空器上的关键系统之一,对航空器的寿命周期费用、使用效能产生了深远影响,带动了航空器设计、制造、飞行、使用、维修保障、管理等所有领域的重大变革,带来了传统的机械、机电、电子等专业理论知识之间的高度交叉与融合,仅具备单一专业知识已不能胜任现代航空领域的工作。

基于这样的背景,Dick Collinson 教授结合自己多年在航空电子领域的工程实践经验和研究成果,编著了《Introduction to Avionics Systems》,成为国外诸多院校航空类专业的教学用书。该书紧跟学科发展前沿,注重相关学科专业之间的综合应用,不断将航空电子领域的新技术和综合应用知识补充进来,在对 2006 年第 2 版修订的基础上,于 2011 年出版了第 3 版,本书是第 3 版的中译本。

作为从事航空工程与飞行领域教学研究的一线教师,我们认为本书具有综合性、先进性的鲜明特色,不论是从事电子专业还是机械、机电等专业的人员,均能从中得到航空电子理论与知识的加强和补充,既可作为院校航空类专业教材,也可作为从事航空技术与工程技术人才的工具书,必将受到航空及相关领域人员的欢迎。

本书在翻译过程中,参考了原著第 2 版的中译本(吴文海等译,《飞机综合驾驶系统导论》,航空工业出版社,2009 年 9 月出版),并根据国内航空相关领域的名词术语提法,逐词审定了术语内涵,按国内习惯进行了统一。

本书的翻译出版得到了中国人民解放军总装备部装备科技译著出版基金和吉林省教育厅“十二五”科学技术研究项目“现代飞机综合航电系统构架及关键技术研究”的支持,在此表示谢意。同时对原著第 2 版的中文版译者表示衷心感谢。本书由空军航空大学史彦斌、高宪军、王远达主译。参加翻译的有史俊斌、李旭、丁季春,参加本书绘图和校对工作的还有石艳丽、劳永军、郝雪、宋扬等同志,对他们的辛苦工作也表示感谢,最后还要感谢西北工业大学段哲民教授和张安教授在本书翻译过程中的指导和帮助。

由于译者水平有限,错讹之处在所难免,敬请批评指正。

译者

2013 年 7 月于长春

序

本书的早期版本销量很好,已经成为很多大学和学院航空电子类专业的标准用书,同时供工程、研发机构和航电公司使用。虽然航电系统的基本原理没有发生本质上的变化,但是自 2003 年第 2 版发行以来,该技术在很多方面有了长足的进步,第 3 版对这些内容进行了修订和更新。

修订扩展的内容包括:显示方面,使用“商用货架”图形处理芯片和符号生成驱动处理器替代了平视显示器阴极射线管(HUD CRT),全息光学波导技术应用在头盔显示器和 HUD 上;控制方面,因加入了直升机飞行控制一节,使第 4 章电传飞行控制包含了当前空客电传、直升机电传、主动飞行员控制杆/内置发源器杆力反馈等内容;惯导内容也进行了更新,飞行管理一节扩展到覆盖最新的空客系统;第 9 章系统综合方面,包含了新一代民用飞机(如空客 A380)模块化航电系统结构概要;最后,考虑到无人机在军用和民用方面作用的逐渐增强,对无人机相关内容也进行了扩展。

虽然技术进步永不停止,但我相信这第 3 版依然能够供航空电子界人士和学生使用很长时间。同时,我也确信 Dick Collinson,这位终身热衷于航空电子工程和飞机系统的教授,携同本书为航电系统的发展做出了永久的贡献。

Derek Jackson BSc, C Eng
前 Smiths Aerospace 总经理

前 言

编写本书的目的是,阐述现代军用和民用飞机航电系统的基本理论和关键(核心)技术,及现代技术在其中的应用。自8年前第2版出版以来,航电技术在持续不断地进步,本书(第3版)进行了相关及特定领域和知识的扩展,并加入了直升机的飞行控制内容。

本书覆盖了航电系统的核心子系统,包括飞行员显示系统、人机交互、电传飞行控制系统、惯性传感器系统、导航系统、大气数据系统、自动驾驶仪、飞行管理系统以及航电系统综合等,并对无人机进行了简要论述。

为便于理解系统设计和响应、性能分析,本书从相关物理定律入手,加入了适当的数学分析,通过部分实例来说明理论在实际系统中如何得到应用。如果读者只需要结果而不是数学分析过程,本书的模块化结构可实现快速阅读。

航电系统包含了飞行安全的各个领域,这些系统应用了现代数字技术,来满足高安全性和综合性要求。

根据作者多年的工作经验,本书能满足那些进入航电业并受过高校多种学科教育(或者相等水平培训)人员的需要,如电子工程、计算机科学、数学、物理学、机械和航空工程等,同时本书也可满足航电工程师对相关学科知识的深入理解和学习需要。

另外要说明的是,航电系统涉及非常多的学科专业,决定了该系统是一个非常有趣和具有挑战性的领域,除了飞机平台的知识外,还涉及空气动力学、飞机操纵、卫星导航、光学陀螺仪、人机交互、语音识别、先进显示系统、全息光学、智能化知识库系统、闭环控制系统、高完整性的故障生存系统、高完整性软件、集成电路设计和数据总线系统等。

就个人而言,我认为航电系统是一个非常有趣和充满挑战性的领域,我希望本书能帮助读者分享这种乐趣。

Dick Collinson

2010年9月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 航电系统的重要地位和作用	1
1.1.1 人机交互系统	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	9
1.2.1 最小重量	9
1.2.2 环境要求	9
1.2.3 可靠性	10
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	15
2.2.3 全息平显	19
2.2.4 平显电子组件	23
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	30
2.3.1 引言	30
2.3.2 头盔设计要素	30
2.3.3 头盔瞄准具	31
2.3.4 头盔显示器	32
2.3.5 头位跟踪系统	36
2.3.6 头盔显示器和虚拟座舱	37
2.4 计算机辅助光学设计	39
2.5 平显与头盔显示器的比较	40
2.5.1 引言	40
2.5.2 军用飞机上的 HUD 和 HMD	40

2.6	下视显示器	42
2.6.1	引言	42
2.6.2	民用飞机下视显示器	43
2.6.3	军用飞机下视显示器	44
2.6.4	显示符号的生成	45
2.6.5	数字式移动彩色地图显示	46
2.6.6	固态备用显示仪表	48
2.7	数据融合	50
2.8	智能显示管理	52
2.9	显示技术	53
2.9.1	逐步被替代的 CRT 平显	53
2.9.2	HMD/HUD 光学系统技术	55
2.9.3	Q 瞄准具 HMD	58
2.9.4	Q 平显	60
2.10	控制和数据输入	61
2.10.1	引言	61
2.10.2	触摸式控制面板	62
2.10.3	直接语音输入	62
2.10.4	语音输出系统	64
2.10.5	集成音频/触摸输入功能的显示器	64
2.10.6	眼球跟踪器	64
	扩展阅读	65
第 3 章	空气动力学与飞机操纵	66
3.1	引言	66
3.2	空气动力学基础	66
3.2.1	升力和阻力	66
3.2.2	迎角/攻角	67
3.2.3	升力系数和阻力系数	67
3.2.4	基本空气动力学示例	68
3.2.5	俯仰力矩与气动中心	70
3.2.6	尾翼的作用	70
3.3	飞机的稳定性	71
3.3.1	纵向稳定性	72
3.3.2	气动不稳定飞机	74
3.3.3	机体升力	74
3.4	飞机动力学	75
3.4.1	飞机坐标系——速度与加速度分量	75
3.4.2	欧拉角——俯仰、滚转、偏航角的定义	77
3.4.3	小扰动运动方程	78

3.4.4	空气动力导数与力矩导数	79
3.4.5	纵向与侧向运动方程	85
3.5	纵向操纵与响应	87
3.5.1	纵向操纵	87
3.5.2	杆力/ g	88
3.5.3	平尾/升降舵偏转产生的俯仰角速度响应	89
3.5.4	定常前飞速度假设下的俯仰响应	90
3.5.5	q/η 传递函数与俯仰响应示例	94
3.6	侧向操纵	96
3.6.1	副翼操纵与倾斜转弯	96
3.6.2	方向舵操纵	98
3.6.3	短周期偏航运动	98
3.6.4	滚转—偏航—侧滑复合运动	99
3.7	有助力的飞行操纵	100
3.7.1	引言	100
3.7.2	PCU 传递函数	101
3.8	增稳系统	102
3.8.1	有限权限增稳系统	102
3.8.2	全权限增稳系统	105
3.9	直升机的飞行操纵	106
3.9.1	引言	106
3.9.2	直升机飞行操纵	109
3.9.3	增稳	111
	扩展阅读	115
第4章	电传飞行控制	117
4.1	概述	117
4.2	电传飞行控制的特点	117
4.2.1	电传飞行控制系统的基本概念与特征	117
4.2.2	电传飞行控制的优点	121
4.3	控制律	127
4.3.1	俯仰角速度指令控制	129
4.3.2	控制回路中的延迟	135
4.3.3	滚转角速度指令控制	138
4.3.4	操纵品质与飞行员诱发振荡	139
4.3.5	现代控制理论	140
4.4	冗余和故障生存	141
4.4.1	安全性与完整性	141
4.4.2	余度配置	141
4.4.3	表决与统一	143

4.4.4	四余度系统结构	145
4.4.5	共模故障	146
4.4.6	非相似余度	147
4.5	数字实现	151
4.5.1	数字实现的优点	151
4.5.2	数字数据问题	152
4.5.3	软件	153
4.5.4	故障模态与影响分析	159
4.6	直升机电传飞行控制系统	159
4.7	主动电传发源器	161
4.8	光传飞行控制	164
4.8.1	概述	164
4.8.2	光传飞行控制系统	165
4.8.3	光传感器	166
	扩展阅读	166
第5章	惯性传感器与姿态测量	168
5.1	概述	168
5.2	陀螺仪与加速度计	168
5.2.1	概述	168
5.2.2	微机电系统技术速率陀螺	169
5.2.3	光学陀螺	172
5.2.4	加速度计	183
5.2.5	斜置轴传感器构型	186
5.3	姿态测量	187
5.3.1	概述	187
5.3.2	捷联系统	187
5.3.3	圆锥运动	194
5.3.4	北—东—地当地坐标系下的飞机姿态	196
5.3.5	飞机速度修正	197
5.3.6	互补滤波简介	199
	扩展阅读	201
第6章	导航系统	202
6.1	基本原理	202
6.1.1	简介	202
6.1.2	导航基本概念	206
6.1.3	DR 导航的基本原理	206
6.2	惯性导航	208
6.2.1	简介	208
6.2.2	基本原理及舒拉摆	209

6.2.3	平台轴	216
6.2.4	初始对准和陀螺罗经对准	218
6.2.5	方位陀螺漂移的影响	220
6.2.6	垂直导航通道	221
6.2.7	导航坐标系的确定	223
6.2.8	捷联惯性导航系统	224
6.3	辅助惯导系统与卡尔曼滤波器	226
6.4	姿态航向基准系统	231
6.4.1	引言	231
6.4.2	采用磁航向基准的方位监控	235
6.5	全球定位系统	239
6.5.1	简介	239
6.5.2	GPS 概述	239
6.5.3	GPS 的基本原理	240
6.5.4	导航方程的求解	244
6.5.5	GPS 和 INS 的组合	245
6.5.6	差分 GPS	245
6.5.7	未来扩展的卫星导航系统	249
6.6	地形参考导航	250
6.6.1	简介	250
6.6.2	地形等高线导航	251
6.6.3	地形特征匹配	252
6.6.4	民用 TRN	252
	扩展阅读	252
第 7 章	大气数据和大气数据系统	254
7.1	引言	254
7.2	大气数据信息及用途	254
7.2.1	大气数据测量	254
7.2.2	大气数据信息及其重要性	255
7.3	大气数据定律与相互关系的推导	258
7.3.1	高度与静压之间的关系	258
7.3.2	地表压力的变化	261
7.3.3	大气密度与高度的关系	262
7.3.4	声速	262
7.3.5	压力与速度的关系	264
7.3.6	马赫数	265
7.3.7	修正空速	266
7.3.8	静态大气温度	267
7.3.9	真空速	268

7.3.10	压力误差	269
7.4	大气数据传感器及其计算	269
7.4.1	简介	269
7.4.2	大气数据系统压力传感器	270
7.4.3	大气数据计算	274
7.4.4	迎角传感器	276
	扩展阅读	277
第8章	自动驾驶仪与飞行管理系统	278
8.1	引言	278
8.2	自动驾驶仪	279
8.2.1	基本原理	279
8.2.2	高度控制	279
8.2.3	自动驾驶仪航向控制	280
8.2.4	自动驾驶仪与仪表着陆系统/微波着陆系统的复合控制	286
8.2.5	自动着陆	290
8.2.6	卫星着陆引导系统	294
8.2.7	速度控制和油门自动控制	295
8.3	飞行管理系统	296
8.3.1	引言	296
8.3.2	无线电导航调谐	299
8.3.3	导航	299
8.3.4	飞行计划	301
8.3.5	飞行轨迹优化和性能预测	304
8.3.6	垂直剖面的飞行轨迹控制	304
8.3.7	工作模式	306
8.3.8	四维飞行管理	307
	扩展阅读	309
第9章	航空电子系统的综合	310
9.1	引言与背景	310
9.2	数据总线系统	314
9.2.1	电子数据总线系统	315
9.2.2	光纤数据总线系统	319
9.2.3	并行数据总线	324
9.3	综合模块化航空电子系统	324
9.4	商用货架(COTS)	328
	扩展阅读	329
第10章	无人飞行器	330
10.1	无人飞行器的作用	330
10.2	无人飞行器机载系统	331

10.3 无人飞行器现状简介	332
10.3.1 “守望者”战场监视系统	332
10.3.2 “捕食者”无人机系统	333
10.3.3 “雷神”无人机样机	334
10.3.4 “雷鸟”X-6 便携式侦察直升无人机	335
扩展阅读	336
术语	337
符号索引	342
缩略词表	352

第 1 章 绪 论

1.1 航电系统的重要地位和作用

“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 年代初首次出现于美国,随后得到广泛的接受和使用,但在某些场合仍有必要解释其含义。

本书中,“航空电子系统(航电系统)”或“航空电子子系统(航电子系统)”是指飞机上所有依赖电子技术工作的系统,包括一些含有机电元件的系统。例如,电传(Fly-by-Wire, FBW)飞行控制系统的有效工作,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)角位置的飞行员操纵杆、方向舵传感器集成和电-液伺服作动器等。

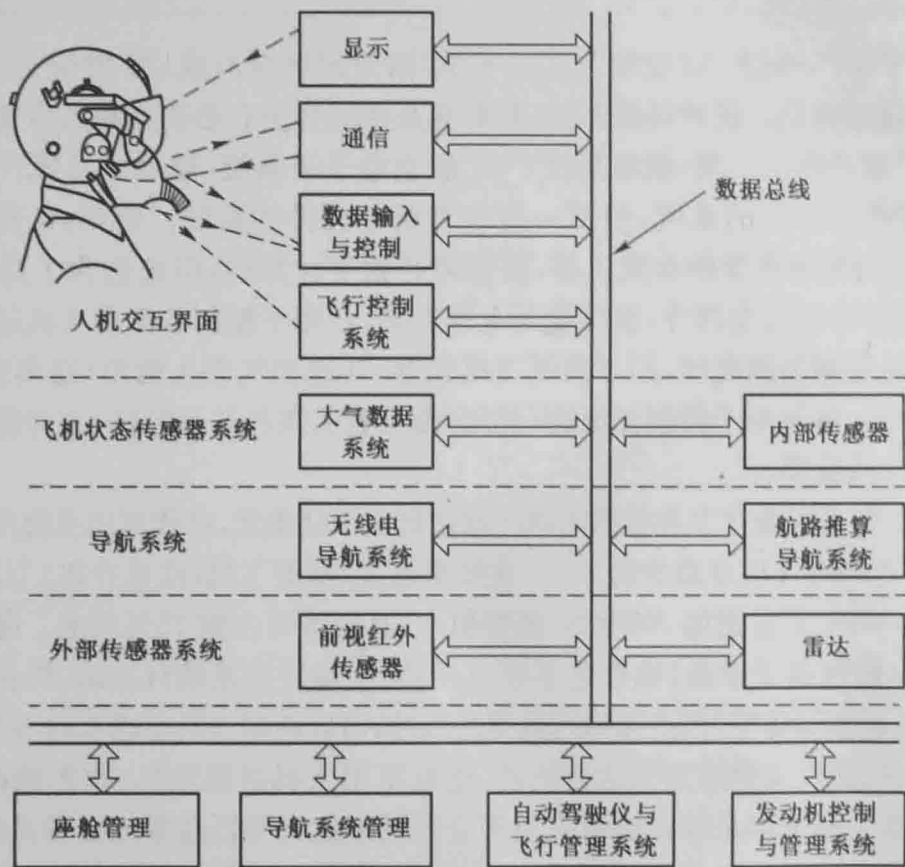
目前,航空电子工业在世界范围内的产值达到数十亿美元,现代军用或民用飞机上航空电子设备的成本约占飞机总造价的 30%,在海事巡逻/反潜飞机(或直升机)上,航空电子设备的成本约占 40%,而在诸如 AWACS 预警机上,其成本可占到 75%以上。即使在现代通用航空飞机上,航空电子设备(如彩色下视显示器、全球定位系统(Global Position System, GPS)和无线电通信设备等)仍占据相当重要的地位,可以达到飞机总成本的 10%。

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,航电系统都是保证机组人员安全有效地执行飞行任务的必备系统。

首先,引进和发展航电系统的驱动力,主要是航电系统可以用最少的空勤机组人员来满足完成飞行任务的需求。在民用领域,这意味着只需要正驾驶员(机长)和副驾驶员两名机组人员,就可以驾驶一架现代民用飞机;任务自动化程度的提高,降低了机组人员的工作负荷,就不再需要领航员和空中机械师。这种安全的机组双人制工作模式降低了航空公司在机组人员薪水、培训成本等方面的支出,能够在竞争激烈的市场中获得相当可观的经济效益。飞机减重带来的效果也比较显著,它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,我们将在后面予以解释。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)。其次,引进和发展航电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、降低油耗、提高飞机性能、控制与操纵性和降低维护成本等。另外,在军事领域,潜在的入侵敌机攻防能力的不断提高所带来的威胁持续增长,也促使航电系统不断发展。

现代飞机航电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电系统

功能层组成的如图 1-1 所示的层次结构图。该图表明了航电系统的基本或“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，一些航电系统并未在图中表示出来。例如，空中交通管制 (Air Traffic Control, ATC)、应答机系统、近地告警系统 (Ground Proximity Warning System, GPWS) 和威胁告警/防撞系统 (Threat Alert/Collision Avoidance System, TCAS) 等，这些都是民航飞机必不可少的设备。飞机在航路飞行时，如离地高度过小，GPWS 系统会以视觉和语音的形式提供告警 (如“拉起、拉起”)，此时飞行员必须采取措施改变飞机航路；在飞机的一定范围内有其他飞机接近时，TCAS 系统也会用视觉和语音警告飞行员，并指示飞行路径和高度，以防止碰撞。



任务自动化系统
图 1-1 核心航电系统

从图 1-1 可以看出，根据作用与功能，航电系统可分为 5 层子系统。前面只是对航电系统的作用与功能做了一个整体介绍，下面分别对其进行简要概括。

需要指出，无人机完全依赖于航电系统。关于无人机将在第 10 章进行简要讨论。

1.1.1 人机交互系统

包括显示、通信、数据输入与控制、飞行控制等系统。

1. 显示系统

提供了飞行员和飞机系统之间的可视接口，包括平视显示器 (Head Up Display, HUD, 简称平显)、头盔显示器 (Helmet Mounted Display, HMD) 和下视显示器 (Head Down Display, HDD)。目前，大多数作战飞机已装备平显，而且越来越多的民用飞机也装备了平显，头盔显示器也成为现代作战飞机和直升机的基本系统。平显和头盔显示器的主要优势是能够将显示信息醒目地映入飞行员的视野，便于飞行员保持抬头姿势，专

注于外部环境。

平显为飞行员提供基本的飞行信息,在军用飞机上还显示有关武器瞄准精度的信息。还可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——对应的 FLIR 景象信息,并将其自然地融入驾驶舱视景中,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角获取信息。

头位跟踪系统是头盔显示器的一个重要部件,用来测量飞行员视线方向与飞机纵轴之间的相对角度。可帮助飞行员确定导弹的攻击目标,同时也可通过辅助防护系统(Defensive Aids System)提示威胁的方向。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,构成间接的观察系统,来跟踪飞行员的视线。头盔显示器还可以结合图像增强设备,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 70 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,它的出现带来了座舱设计的一场革命。

多功能彩色显示器能够提供主飞行显示仪表所显示的高度、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,及水平位置指示器(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,如供电系统、液压系统、机舱压力系统和燃油管理系统等的工作情况。在某个特定显示出现故障时,可重构其显示画面。

2. 通信系统

通信系统发挥着重要的作用,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无线电发射和接收装置(马可尼(Marconi)公司),这是第一代机载航空电子装备。现代飞机上的无线电通信装置非常复杂,并且包含了多个工作频率波段。高频无线电(工作波段 2~30MHz)用于远距离通信;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,新型飞机上的甚高频设备通常采用三余度配置。许多现代飞机还配置了卫星通信系统,以提供可靠的全球通信。

3. 数据输入与控制系统

数据输入与控制系统是非常重要的交互环节,包括键盘、触摸屏、利用语音识别技术的直接语音控制及基于语音综合技术的告警系统。

4. 飞行控制系统

与电子技术有关的飞行控制系统包括自动稳定(或增稳)系统和电传飞行控制系统。在一定高度和速度下,大多数后掠翼的喷气式飞机沿飞机航向轴和滚动轴会产生小阻尼短周期振荡(称为荷兰滚),因此至少需要航向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需要三轴自动稳定系统,以获得可接受的操纵特性。

与传统飞机设计不同,采用电传飞控系统后,允许降低(甚至完全忽略)飞机气动稳定性要求,从而减轻了飞机重量,并提高了飞行性能。飞行控制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。电传飞行控制系统还可以为飞行员提供操纵引导指令,在整个飞行包线内实现最优飞行控制性能;也可根据飞机的飞行状态对人工操纵进行自动调整,实现“无忧自动飞行控制”。当然,这要求电传飞行控制系统必须具有很高的完整性(Integrity)和可靠的故障生存(Failure Survival)能力。

1.1.2 飞机状态传感器系统

包括大气数据系统和惯性传感器系统。

1. 大气数据系统

准确提供飞行控制和导航所必需的大气数据量,如高度、修正空速、升降速度、真空速、马赫数以及迎角。系统通过高精度传感器测量得到静压、总压和外部大气温度,并经大气数据处理系统计算得到大气数据参量,迎角/侧滑角由迎角/侧滑角传感器获得。

2. 惯性传感器系统

飞机的姿态和航向信息是飞行所必需的,特别是在云中、夜间等低能见度的条件下执行作战和飞行任务时尤为重要。许多航电子系统,如自动驾驶仪和导航系统以及军用飞机的武器瞄准系统,也需要精确的姿态和航向信息。

惯性传感器系统用一组陀螺和加速度计测量飞机机体轴向的角运动及线运动,来提供姿态和航向信息。与早期的万向节系统(gimballed systems)不同,现代大多数姿态航向基准系统(Attitude Heading Reference System, AHRS)的陀螺和加速度计采用捷联配置(或装在机身上)。

惯性导航系统(Inertial Navigation System, INS)使用高精度陀螺和加速度计,能够提供非常精确的姿态和航向信息、飞机速度和位置信息(地速、航迹角、经纬度坐标)。INS与大气数据系统组合能够得到飞机的速度矢量,也可无需外界信息完全自主工作。因此,INS是一个非常重要的飞行状态传感系统。

1.1.3 导航系统

无论军用还是民用飞机,若要完成飞行任务就需要一系列精确的导航信息,如飞机位置、地速和航迹角(相对于真北的飞机运动方向)。导航系统大致可分为航路推算导航系统和定位系统,二者均为飞机所必需的系统。

1. 航路推算导航系统

由一个已知的起始位置通过飞行器的速度和航向来估算飞行器的飞行距离。主要优点是无需外界提供任何信息而自主导航,主要有以下几种形式。

(1) 惯性导航系统,精度最高,应用也最为广泛。

(2) 多普勒/航向基准系统,广泛应用于直升机。

(3) 大气数据/航向基准系统,主要应用于精度比上述二者低的复归导航系统