

民航特色专业系列教材

# 民航飞机电子系统

宫淑丽 编著



科学出版社

民航特色专业系列教材

# 民航飞机电子系统

宫淑丽 编著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书针对仪表、通信、导航、监视、飞行控制、飞行管理和显示等系统,详细阐述了现代民航飞机在执行飞行任务中发挥重要作用的七大电子系统的概念、原理、组成及特点等。

全书共8章,内容包括:绪论,民航机载传感器及仪表系统,无线电通信系统,导航系统,监视系统,自动飞行控制系统,飞行管理系统,指示/显示系统。

本书可作为航空科技工作者和研究人员的参考书,也可作为航空院校相关专业研究生和本科生的教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

民航飞机电子系统/宫淑丽编著. —北京:科学出版社,2015.3

民航特色专业系列教材

ISBN 978-7-03-043775-4

I. ①民… II. ①宫… III. ①民用飞机-电子系统-高等学校-教材  
IV. ①V271

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第051413号

责任编辑:余江 张丽花/责任校对:郭瑞芝

责任印制:霍兵/封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2015年3月第一版 开本:787×1092 16

2015年3月第一次印刷 印张:19

字数:486 000

定价:46.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 丛 书 序

改革开放以来,我国民航事业获得了持续、快速、健康的发展。2010年,我国民用航空发展的主要预期指标是:航空运输总周转量493亿吨千米、旅客运输量2.6亿人次、货邮运输量498万吨。30年来上述指标年均增速均达到两位数字,大约是中国国民经济发展速度的两倍,是世界民航业发展速度的四倍。从2005年至今,中国民航没有发生运输飞行事故,创造了中国民航历史上安全运营时间最长的记录,安全生产、效益形势喜人。按照我国国民经济发展中长期规划和国际通用方法预测,中国民航的持续快速增长还会有较长一段时间。

近年来,中国民航总局党组提出了全面推进建设民航强国的战略构想,因此,对民航各层次管理和专业技术人才的培养提出了更高的要求。民用航空教育必须把培养知识面广、专业素质高、动手能力强、责任心强的专业人才作为自己的奋斗目标,以适应整个行业发展的需要。但是目前民航专业教材体系建设相对滞后,长期以来多数教材源于国外,不能完全符合中国实际;教材出版时间较早,知识相对陈旧,学生难以据此掌握当前民航的高新科学技术。教材问题已经客观地影响到教学效果和质量。

南京航空航天大学民航学院成立于1993年,由原中国民用航空总局和中国航空工业总公司正式联合创办,已形成具有培养本科、硕士、博士、博士后多层次人才的办学格局。目前设有交通管理与签派、民航运输管理、民航机务工程、民航电子电气工程、机场运行与管理、飞行技术6个专业。依托国家级、江苏省特色专业建设点,依靠国防科工委重点学科建设,以及承担国家级、省部级科研项目等多方雄厚的科研实力,形成了集市场营销、运营管理和维修保障为一体的全方位的人才培养体系,成为我国民用航空领域的重要教学和科研基地。

通过对近17年教学与科研成果的凝练与总结,为适应教学改革和民航发展的需要,及时反映现代民航科技领域的研究成果,保证教材建设与教学改革同步进行,我们出版了《民航特色专业系列教材》丛书。本套丛书在组织编写中,重点体现了以下几个方面的特色:

(1) 突出民航和航空制造专业特色。教材编写过程中充分考虑到专业的交叉性、综合性和国际性强的特点,在要求学生掌握知识的同时,以培养技术与管理结合、适应性强、综合素质高、能在航空制造企业和民航企事业单位服务的复合型人才为目标,丰富和完善教材内容。

(2) 面向民航应用,注重实践能力的培养。适当拓宽专业基础知识的范围,以增强学生的适应性;面向民航工程实际,注重实践环节,强化在民航系统就业所必需的职业技能培养内容,以促进对学生的实际动手能力和创新能力的培养。

(3) 强化专业素质教育。在专业所应具备的基本知识基础上,拓宽和延伸专业课内容,及时反映民航科技的最新成果,提升学生的专业素质和学习能力。

(4) 兼顾学历教育和执照教育。由于民航专业的特殊性,获取专业执照是从业的必要

条件,本套教材在编写过程中,注重学历教育和执照教育的有机结合,为学生顺利走上工作岗位创造条件。

(5) 满足多层面的需求。针对同一类课程,根据不同的教学层次和学时要求,编写适合不同层次需求的教材,涵盖不同范围的拓展知识单元,注重与先修课程、后续课程的有机衔接,每本教材在重视系统性和完整性的基础上,尽量减少内容重复。

本套教材注重知识的系统性与全面性,突出民航专业特色;兼顾学生专业能力和综合素养的全面培养,力图提高民航专业人才的培养质量和完善人才培养的模式;着力推广民航专业教学经验和教学成果,推进民航专业教学改革。本套教材的编写出版为提高民航专业教学的整体水平做了有益的探索。

温家宝总理指出:“教育寄托着亿万家庭对美好生活的期盼,关系着民族素质和国家未来。不普及和提高教育,国家不可能强盛”。为了不断促进民航院校学生素质的提高以适应我国民航事业的持续、快速、健康发展,我们在教材编辑与创新上做了一些尝试,迈出了可喜的一步。作为一名老航空工作者,我为此鼓与呼。在丛书编写过程中,南京航空航天大学民航学院还得到众多相关学校与学院各方教授、专家、学者的帮助与指正,在此一并感谢。

王 知

2010年7月

# 前 言

随着航空技术的发展,民航飞机的不断更新,电子仪表与系统也日趋现代化,在体制上也不断地创新、发展,新技术、新体制、新系统层出不穷。

民航飞行员在执行飞行训练、民航运输等飞行任务中,无论是在白天还是夜晚,无论是简单气象条件还是复杂气象条件下飞行,都离不开机载电子仪表与系统所提供的各种信息,包括飞行导航参数、发动机参数以及其他系统状态参数等。同时,这些参数也是民航机务维修的信息来源。

由于目前民航飞机上安装了各种先进的电子设备,所以能够保证飞机在各种气象条件下,准确、迅速地引导飞机沿预定的航线飞行和着陆,从而提高飞行安全和效率。

本书以中国民航《CCAR-66部》和《CCAR-147部》为依据,根据民航飞机现有电子系统而编写的,适合于电子、机电及飞行等专业学生在学习过学科基础课程和专业基础课程之后的一门专业课程,建议授课学时在56~64学时。

本书根据现代民航飞机电子系统在执行飞行任务中的作用,依据飞行管理系统的构成,介绍民航飞机电子系统中的七大子系统。飞行管理系统包括传感器系统、处理子系统、执行子系统和显示子系统。飞行管理计算机系统是飞行管理系统的处理子系统,也是其核心。传感器系统包括:由发动机仪表系统、大气数据系统、姿态仪表系统和航向仪表系统构成的仪表系统;由语音通信和数字通信构成的无线电通信系统;由惯性导航系统、陆基无线电导航系统和卫星导航系统构成的导航系统;由雷达系统、自动相关监视系统构成的监视系统。执行子系统主要是自动飞行控制系统。显示子系统包括电子飞行仪表系统、发动机指示与机组警告系统或飞机电子中央监控系统等。这些系统是保障飞行安全的基本或“核心”系统。全书共8章内容,分别对以上各系统的功能、工作原理、系统组成及应用等进行介绍。

本书在编写过程中得到了黄圣国教授和曹力教授的指点和帮助,也经过企业教师的修改和指正,提出不少宝贵意见,在此致谢。

限于编者的专业水平和研究经验,加之时间仓促,书中不妥和疏漏之处在所难免,敬请广大读者和专家批评指正。

编 者

2014年12月

# 目 录

丛书序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 民航飞机电子系统概述	1
1.1.1 传感器及仪表系统	1
1.1.2 无线电通信系统	2
1.1.3 导航系统	2
1.1.4 监视系统	4
1.1.5 自动飞行控制系统	5
1.1.6 飞行管理系统	5
1.1.7 显示系统	5
1.2 民航飞机电子系统的发展历程	6
1.2.1 仪表系统的发展历程	6
1.2.2 无线电通信系统的发展进程	8
1.2.3 导航系统的发展历程	8
1.2.4 监视系统的发展历程	9
1.2.5 飞行控制系统的发展历程	9
1.2.6 飞行管理系统的发展历程	10
1.2.7 显示系统的发展历程	10
1.3 民航飞机电子系统发展的驱动力	10
1.4 民航飞机电子系统的发展趋势	12
第 2 章 民航机载传感器及仪表系统	13
2.1 民航机载传感器	13
2.1.1 压力及压力传感器	13
2.1.2 温度及温度传感器	15
2.1.3 转速传感器	17
2.1.4 物位传感器	20
2.1.5 流量及流量传感器	21
2.1.6 速度传感器	23
2.1.7 加速度计	24
2.1.8 陀螺仪	27
2.2 发动机仪表系统	35
2.2.1 压力的测量	35
2.2.2 温度的测量	38

2.2.3	转速的测量	42
2.2.4	油量的测量	44
2.2.5	流量的测量	47
2.2.6	振动的测量	47
2.3	大气数据系统	50
2.3.1	大气数据系统基础	50
2.3.2	气压高度的测量	53
2.3.3	升降速度的测量	57
2.3.4	空速的测量	59
2.3.5	马赫数的测量	65
2.3.6	大气数据计算机系统	66
2.4	姿态仪表系统	68
2.4.1	航空地平仪	68
2.4.2	转弯侧滑仪	73
2.5	航向仪表系统	77
2.5.1	概述	78
2.5.2	磁罗盘	81
2.5.3	陀螺罗盘	83
2.5.4	陀螺磁罗盘	87
<b>第3章</b>	<b>无线电通信系统</b>	<b>94</b>
3.1	无线电基础知识	94
3.1.1	无线电波的传播	95
3.1.2	在不均匀媒质中的电波的传播	97
3.1.3	无线电波的传播方式	98
3.1.4	各波段电波的传播特点	99
3.2	无线电通信基础	101
3.2.1	通信的基本概念	101
3.2.2	调制	102
3.2.3	调幅发射与接收设备	106
3.3	高频通信系统	110
3.3.1	HF 通信系统的组成	110
3.3.2	HF COMM 工作说明	113
3.4	甚高频通信系统	113
3.4.1	概述	113
3.4.2	VHF COMM 的组成	114
3.4.3	甚高频系统的工作说明	115
3.5	选择呼叫系统	116
3.6	飞机通信与寻址报告系统 (ACARS)	117
3.6.1	数据链	117



3.6.2	ACARS .....	117
<b>第 4 章</b>	<b>导航系统</b> .....	<b>123</b>
4.1	概述 .....	123
4.1.1	导航的定义与作用 .....	123
4.1.2	导航的基本功能 .....	123
4.1.3	导航基础知识 .....	124
4.1.4	无线电导航系统的要求 .....	128
4.2	惯性导航系统 .....	129
4.2.1	概述 .....	129
4.2.2	惯性导航系统的基本原理 .....	131
4.2.3	平台式惯性导航系统 .....	134
4.2.4	捷联式惯性导航系统 .....	140
4.2.5	大气数据惯性基准系统 .....	141
4.3	陆基无线电导航系统 .....	143
4.3.1	位置线和导航定位方法 .....	144
4.3.2	自动定向机 .....	146
4.3.3	甚高频全向信标系统 (VOR) .....	150
4.3.4	仪表着陆系统 .....	157
4.3.5	低高度无线电高度表 (LRRA) .....	163
4.3.6	测距系统 (DME) .....	166
4.4	卫星导航系统 .....	170
4.4.1	全球卫星定位系统 .....	170
4.4.2	北斗导航定位系统 .....	175
<b>第 5 章</b>	<b>监视系统</b> .....	<b>178</b>
5.1	民航监视系统概述 .....	178
5.1.1	监视设施 .....	178
5.1.2	空管监视手段和实施方法 .....	179
5.2	雷达 .....	179
5.2.1	雷达概述 .....	179
5.2.2	雷达的工作原理 .....	180
5.2.3	民航一次雷达 .....	182
5.2.4	民航二次雷达 .....	186
5.2.5	S 模式二次雷达 .....	194
5.3	自动相关监视系统 .....	199
5.3.1	合约式自动相关监视 (ADS-C) .....	200
5.3.2	广播式自动相关监视 (ADS-B) .....	203
5.3.3	两种自动相关监视特性的比较 .....	205
<b>第 6 章</b>	<b>自动飞行控制系统</b> .....	<b>206</b>
6.1	飞行控制系统 .....	206

711	6.1.1 飞行控制系统的概述	206
721	6.1.2 飞行控制系统的分类	206
731	6.2 自动飞行控制系统	207
731	6.2.1 自动飞行控制系统的组成及作用	207
731	6.2.2 飞行控制计算机 (FCC)	210
741	6.2.3 方式控制面板	210
751	6.2.4 自动飞行控制系统的基本回路	212
761	6.3 自动驾驶仪 (A/P)	214
761	6.3.1 自动驾驶仪的功用	214
761	6.3.2 自动驾驶仪的组成	214
761	6.3.3 自动驾驶仪的控制原理	214
761	6.3.4 自动驾驶仪的常见工作方式	217
771	6.4 飞行指引仪 (F/D)	218
771	6.4.1 概述	218
771	6.4.2 F/D的工作原理	219
771	6.4.3 F/D的工作方式	220
781	6.5 偏航阻尼系统	221
781	6.5.1 偏航阻尼系统的功用	221
781	6.5.2 荷兰滚原理	221
781	6.5.3 偏航阻尼系统组成	222
791	6.6 俯仰配平系统	225
791	6.6.1 安定面配平的功用	225
791	6.6.2 俯仰配平系统的组成和工作原理	226
801	6.7 自动油门系统	228
801	6.7.1 自动油门系统的功用及工作方式	228
801	6.7.2 自动油门系统的组成	229
801	6.7.3 自动油门系统在整个飞行过程中的工作情况	232
811	<b>第7章 飞行管理系统</b>	234
811	7.1 飞行管理系统概述	234
821	7.2 飞行管理计算机系统 (FMCS)	237
821	7.2.1 飞行管理计算机	237
821	7.2.2 控制显示组件 CDU	241
831	7.3 FMCS 与其他系统的交连	244
831	7.3.1 输入部分	245
831	7.3.2 输出部分	247
841	7.4 FMS 的功能	248
841	7.4.1 导航功能	248
841	7.4.2 性能计算	249
841	7.4.3 制导功能	250

7.4.4 显示功能 .....	250
<b>第8章 指示/显示系统 .....</b>	<b>252</b>
8.1 机电仪表驾驶舱向玻璃座舱演化过程 .....	253
8.1.1 机电仪表驾驶舱 .....	253
8.1.2 玻璃座舱 .....	254
8.2 显示系统的组成 .....	258
8.3 发动机指示和机组警告系统 .....	259
8.3.1 EICAS 的组成 .....	259
8.3.2 EICAS 的显示 .....	263
8.3.3 EICAS 计算机的结构和功能 .....	270
8.4 飞机电子中央监控系统 .....	271
8.4.1 ECAM 系统的功用及组成 .....	271
8.4.2 ECAM 的控制 .....	272
8.4.3 ECAM 的显示 .....	273
8.4.4 ECAM 的警告等级及故障分类 .....	275
8.5 电子飞行仪表系统 (EFIS) .....	275
8.5.1 EFIS 的结构 .....	275
8.5.2 EFIS 的控制 .....	277
8.5.3 EFIS 的显示 .....	279
<b>附录 缩略词表 .....</b>	<b>288</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>292</b>

# 第1章 绪 论

## 1.1 民航飞机电子系统概述

本书中，“民航飞机电子系统”是指飞机上所有依赖电子技术工作的系统。这些系统是民用飞机的重要组成部分，是飞行员获取飞行、导航及控制信息，支持飞机安全飞行的关键系统，在保障飞机性能和实现飞行更安全、更舒适、更环保、更高效和更经济方面发挥着日益重要的决定性作用。

本书的目的是让读者对民用航空电子技术有一个清晰而全面的认识。航空电子在科学研究领域可以认为是一门学科，在应用技术领域可以认为是有特定用途的设备或系统。这些设备或系统涉及数据显示、飞机的导航、通信、飞行控制以及飞机飞行航迹的自动控制，它还控制飞机上的许多管理功能：燃油、液压、环境和其他对飞机安全飞行和机上乘客舒适性至关重要的系统。根据现代飞机电子系统在执行飞行任务中的作用，可以将民航飞机的电子系统表示成以飞行管理计算机系统为核心的七大子系统。图 1.1 所示交联它们之间的结构图以及交联关系。

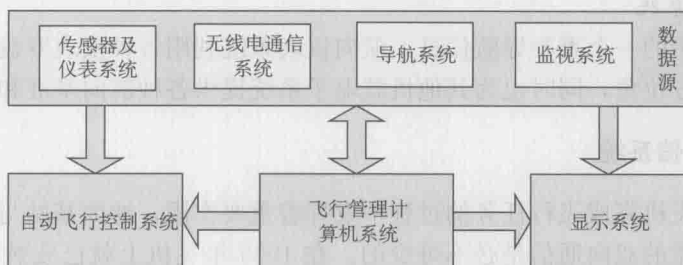


图 1.1 民航飞机七大电子系统

### 1.1.1 传感器及仪表系统

在飞机上，要实现对各类参数（如发动机状态参数、飞行参数及其他系统状态参数）的检测与控制，首先需要把这些参数转换成便于传送的信息，这就需要用到传感器。传感器是能感受规定的被测量并按一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感元件（或感受元件）和转换元件组成。其中，敏感元件是指传感器中能直接感受或响应被测量的部分；转换元件是指传感器中能将敏感元件感受或响应的被测量转换成适于传输或测量的信号（通常为电信号）。如将传感器与指示器或显示器组合在一起，直接将测量结果指示或显示出来，就构成仪表。若将传感器作为其他机载系统的一个子系统或输入环节，那么它与其他装置就组成一个检测系统或调节系统。

飞机上需要测得参数比较多，涉及的传感器及其构成的仪表也很多，主要有发动机仪

表系统、大气数据系统、姿态仪表系统和航向仪表系统。

### 1. 发动机仪表系统

发动机是飞机的动力装置,为了实现对发动机工作状态的全面了解和控制,需要使用各种传感器对发动机的状态参数进行测量,如压力传感器测量发动机燃油压力、滑油压力,温度传感器测量滑油温度、喷气温度等,转速传感器测量发动机的转速等。测得的发动机状态参数经过转换和处理装置送到相应的指示或显示装置,便于飞行员在飞行过程中对发动机状态进行监控。

### 2. 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参量,如高度、指示空速、真空速、升降速度、马赫数以及迎角等信息。系统通过高精度的传感器测量得到静压、全压、总温等,并经过相应的转换和处理系统得到大气数据参量。依据转换和处理方式的不同,可分为机械式大气数据系统和电动式大气数据系统。

### 3. 姿态仪表系统

飞机的姿态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飞行任务时尤为重要。许多机载电子系统,如自动驾驶仪和导航系统都需要精确的姿态信息。姿态仪表系统利用陀螺仪测量飞机的俯仰角和倾斜角,并向飞行人员指示驾驶所需要的倾斜角、俯仰角。尽管在20世纪70年代出现了惯性传感器系统,但现代飞机上仍有备用的地平仪。

### 4. 航向仪表系统

航向是飞行中的一个重要导航信息。航向仪表系统利用各种仪表罗盘和无线电罗盘测量飞机的航向或方位角,同时也为其他机载电子系统提供各种航向基准和航向误差信号。

## 1.1.2 无线电通信系统

通信系统在飞机完成飞行任务的过程中发挥着重要作用,地面基站与飞机之间以及飞机与飞机之间可靠的双向通信是必不可少的。在1909年飞机上就已安装了无线电发射和接收装置,这是第一代机载电子装备。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。如用于近程通信的飞机无线电甚高频通信系统(VHF,工作频段为118.000~135.975MHz),用于远程通信的飞机无线电高频通信系统(HF,工作频段为2~30MHz)。现代民航除了语音通信外,还有数据通信,航空公司越来越依赖于向飞行中的飞机提供信息和接收飞机信息。从1978年起航空公司开始应用VHF数据链(VDL),到现在地空数据链已成为航空公司运营的主要技术手段。VHF数据链、HF数据链(HFDL)、卫星数据链应运而生。ICAO已经为卫星通信、VDL和HFDL空地子网络制定了十分详细的ICAO SARP文件。

## 1.1.3 导航系统

导航是一种为运载体航行时提供连续、安全和可靠服务的技术。顾名思义,它的基本作用是引导飞机、车辆等运载体及个人,安全准确地沿着所选定的路线,准时地到达目的地。

导航由导航系统完成。任何导航系统中都包括有装在运载体上的设备,飞行员或自动

驾驶员根据导航设备的仪表指示或输出的信号,在任何环境中,操纵运载体正确地向目的地前进。这种指示或信号的内容称为导航信息。如果装在运载体上的设备可单独产生导航信息,便称它为自主式或自备式导航系统。如果除了装在运载体上的导航设备之外,还需要有设在其他地方的一套设备与之配合工作,才能产生导航信息,则称为非自主式或它备式导航系统,其中,装在运载体上的设备称为机载、车载导航设备,而设在其他地方的设备称为导航台,导航台与所有运载体上的导航设备用无线电波相联系。运载体进入导航台所发射电磁波的覆盖范围后,它的导航设备便能输出导航信息。导航台一般不输出导航信息,它一般设在陆地上,因此称为陆基无线电导航系统。20世纪90年代出现的是把导航台设在人造地球卫星上,称为卫星导航系统。陆基无线电导航系统和卫星导航系统又总称为无线电导航系统。

### 1. 自主式导航系统

自主式导航系统不需要依靠外界任何信息即可完成自动导航功能,惯性导航系统就属于这种系统。根据惯性导航的原理,它也属于航位推算(DR)导航系统,即由一个已知的起始位置通过测得的飞机速度以及航向等来估算飞机的飞行距离。惯性导航系统精度很高,自20世纪70年代以来,在民航飞机上获得了广泛的应用。由于航位推算导航系统存在时间累积误差,因此需要适时修正其定位误差,并通过定位系统提供的位置信息对系统进行更新修正。

### 2. 无线电导航系统

无线电导航是借助于运载体上的导航设备接收和处理无线电波来获得导航参量的一种导航。能够完成全部或部分无线电导航功能的装置称为无线电导航系统。19世纪末发明无线电之后,最初的应用大致有两种方式。一种是借助于各种信号调制,远距离地传送话音或电报信息,这种应用一直发展形成了今天的通信、广播、电视和遥控、遥测等技术。另一种应用方式则还要借助无线电波传播的定向性和恒速性,为运载体提供与位置和时间有关的信息,这就是无线电导航的肇始。

20世纪20年代末期出现,30~40年代在世界主要区域普及的陆基无线电导航主要是无线电信标、指点信标和四航道信标,前两者起源于欧洲,现在还在为航空和航海服务。四航道信标只在美国推广,40年代起已经逐渐停止使用。1941年出现了仪表着陆系统(ILS),1948年,ICAO决定采用伏尔(VOR)作为国际民用航空的标准航路导航系统。1956年研制成功的塔康(TACAN)用于为海军飞机提供相对于军舰的位置。民用航空为了给飞机提供二维定位信息,1959年决定直接采用TACAN的测距部分,形成测距器(DME)。DME地面台与VOR地面台装在一起,为民用飞机提供距离与方位信息。为了实现越洋飞行,20世纪40年代构思了双曲线导航方法,先后引入的双曲线系统分别是美国的罗兰-A,罗兰-C,奥米伽系统等。

20世纪90年代出现的卫星导航系统是以人造地球卫星作为导航台的星际导航系统,能为全球的陆、海、空、宇的各类运载体和其他用户,提供全天候、不间断、高精度、实时的三维位置、速度和时间信息。目前应用最广泛的是美国的全球卫星定位系统(GPS)。它的精度很高,自1989年全面投入使用后,为机载导航系统带来了革命性的进步。其他的卫星导航系统还有欧洲的伽利略系统、俄罗斯的GLONASS和中国的北斗导航系统。

### 1.1.4 监视系统

监视就是通过一些监视设备或系统来掌握飞机的飞行动态,这在民航空中交通管制中尤为重要。常用的监视设备或系统有由一次雷达和二次雷达构成的雷达系统和自动相关监视系统,此外还有用于周围环境监视的近地警告系统和交通警戒与防撞系统。

从监视的原理来说,就是要对飞机进行定位并跟踪,因此监视功能应包括导航定位功能与通信功能,即确定飞机的位置并能将相关信息传送到地面管制中心或通知机组。

#### 1. 雷达系统

雷达是应用的最早的监视设备,根据接收回波的方式可分为一次雷达(Primary Surveillance Radar, PSR)和二次雷达(Secondary Surveillance Radar, SSR)系统。PSR由发射系统发射一束射频能量,然后接收其中由目标反射回来的一小部分能量以确定目标的方位和距离等信息,是一种“独立监视”方式。一般可分为航路监视雷达、机场监视雷达、精密进近雷达和气象雷达等系统。SSR是利用地面二次雷达发射询问信号,机载应答机发射应答信号进行工作的,这是一种要依靠用户应答或第三方传媒者的“协同监视”方式。目前的SSR应答机多为A/C模式,分别应答飞机的四位代码和气压高度值。随着飞行流量的增加,传统的SSR不能满足高性能自动化空管系统的要求,20世纪70年代,美国提出了离散寻址信标系统(Discrete Address Beacon System, DABS),它与现系统的本质区别在于具有选址询问功能。1981年ICAO通信专业会议上,决定采用此信标系统,并命名为S模式二次监视雷达信标系统。新系统将逐步取代现有的系统,以适应现代空管系统的需要。

#### 2. 自动相关监视系统

自动相关监视(Automatic Dependent Surveillance, ADS)是由被监视目标测定自身位置后,主动报告给监视者,使监视者掌握其当前位置和运行意图的监视方式,可以实现数据链管制。ICAO监视方案中的关键是发展ADS,这是一种将监视服务扩展到海洋空域、边远陆地区域和雷达覆盖不到地区的监视手段。根据工作模式,ADS分为合约式(Automatic Dependent Surveillance-Contract, ADS-C)或寻址式(Automatic Dependent Surveillance-Address, ADS-A)和广播式(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast, ADS-B)两种。两种工作模式在可用数据链、数据更新周期、适用环境和功用等方面具有不同的特点,可根据需要进行选用。

#### 3. 周围环境监视系统

飞机在航路飞行时,如离地高度过小、下降速率过快、发生风切变警告,近地警告系统(GPWS)会以视觉和语音的形式提供告警(如“PULL UP, PULL UP”等),增强型近地警告系统(EGPWS)比GPWS功能更完备,它能提供“前视地形警告”功能和“前视地形显示”功能,在防止飞机可控飞行撞地方面发挥了很大的作用。

交通警戒和防撞系统(TCAS)或机载防撞系统(ACAS)可以提供空中冲突和规避导引。它探测并跟踪在本机一定范围内的其他飞机,根据本机获取的其他飞机的高度、速度、航向等信息,判断其是否会对本机构成威胁,并提供交通咨询和决断咨询信息,用视觉和语音警告飞行员,以防止碰撞。

这两大系统,都是机上飞行员通过机载电子系统自主监视本机与地面、本机与其他飞

机之间是否存在危险,并进而改出,防止碰撞。这极大地改善了机组人员的态势感知能力。

### 1.1.5 自动飞行控制系统

自动飞行控制系统可在无人参与的情况下自动控制飞机飞行的部分或全部运动参数。

在现代化大中型民航客机上,自动飞行控制系统通常包括:自动驾驶仪(A/P)、飞行指引仪(F/D)、偏航阻尼系统(Y/D)、俯仰配平系统及自动油门系统(A/T)等。

A/P通过自动地控制飞机飞行,减轻飞行员的工作负担,还可以在恶劣的气象条件下完成飞机的自动着陆;F/D主要在PFD或EADI上显示驾驶指令杆,以指导驾驶员人工驾驶飞机或监控飞机的姿态;偏航阻尼系统和俯仰配平系统结合在一起,称为增稳系统,改善飞机的稳定性,提高飞行安全和旅客乘机的舒适性,Y/D在飞机的整个飞行过程中,改善飞机的动态稳定性;俯仰配平系统在所有飞行阶段,通过自动调整水平安定面,以保持飞机的俯仰稳定性。自动油门系统在飞行整个过程控制发动机的推力。现代飞机由飞行管理系统的输出信号控制自动飞行控制系统的工作,并对其进行监视。

### 1.1.6 飞行管理系统

到20世纪80年代中期才获得广泛应用的飞行管理系统(FMS)现已成为一种主要的机载电子系统,可大大减轻飞行员的负担,能够以两名机组人员驾驶大型长途航班飞机。FMS对通信、导航、监视、显示、飞行控制等系统进行管理。

FMS由四部分组成:传感器子系统、处理子系统、执行子系统和显示子系统。其中,由飞行管理计算机系统构成的处理子系统是整个系统的核心。它接收数据源中各系统的输入以及控制显示组件的输入,经过飞行管理计算机的处理,实现相应的导航、性能计算、制导功能,并将数据显示到EFIS上。因此FMS的主要功能如下。

(1) 导航管理功能:从多种导航源中获得数据,经滤波处理获得最佳位置估计,并评估定位精度。

(2) 性能计算功能:实现垂直飞行剖面控制。

(3) 制导功能:帮助飞行员实施飞行计划、按最优计划航线飞行的飞机航迹控制。

(4) 显示功能:将导航信息、飞行计划等信息显示在EFIS的EADI和EHSI上,便于飞行员直观地了解飞机飞行的动态情况。

由此可见,FMS集导航、飞行控制、推力控制和显示于一体,形成一个基于数据总线的综合航空电子系统。

### 1.1.7 显示系统

显示系统提供飞行员与飞机系统之间的可视接口。20世纪70年代的飞机座舱中有很多指示仪表,每个仪表只能显示特定的信息,如发动机压力表、油量表、温度表等,由于要显示的参数较多,座舱仪表数量多且分布不规则,使座舱显得凌乱复杂。多功能彩色显示器的出现带来了座舱设计的一场革命。利用多功能彩色显示器,可实现两大类显示系统:一类是飞行数据显示系统,多功能彩色显示器能够提供姿态指引仪(ADI)所显示的高度、空速、马赫数、垂直速度、姿态球、俯仰角、倾斜角、航向角等飞行信息,也可提



供水平状态指示器 (HIS) 所显示的飞机相对于目的地或航路点的位置、航迹、导航信息、距离、待飞时间及气象雷达信息等, 构成了电子飞行仪表系统 (EFIS); 另一类是发动机数据显示系统: 它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方便地观察发动机是否正常工作, 并提供全机的警告信息显示, 即现代飞机上的发动机指示与机组警告系统 (EICAS) 或飞机电子中央监控系统 (ECAM)。

## 1.2 民航飞机电子系统的发展历程

自 20 世纪初飞机问世以来, 民航飞机电子设备或系统经历了迅速的发展过程, 从最初的分立式、模拟式仪表发展到联合式, 再到现代综合的、数字式仪表与系统, 取得了令人瞩目的成绩。

### 1.2.1 仪表系统的发展历程

民航飞机的仪表系统的发展主要经历了以下五个阶段。

#### 1. 机械仪表阶段

这个阶段是仪表的初创时期, 多数仪表为单个整体直读式结构, 也称为直读式仪表, 即传感器和指示器组装在一起的单一参数测量仪表。表内敏感元件、信号传送和指示部分均为机械结构, 如早期的空速表和高度表。这个时期的仪表的最大优点是结构简单、工作可靠、成本低廉。它的缺点是灵敏度较低, 指示误差较大。随着飞机性能和要求精度的不断提高, 机械仪表早已不能满足航空发展的需要。

#### 2. 电气仪表阶段

随着航空事业的发展, 机械仪表的准确性显得太差了, 并且信号还不容易远距离传送。从 20 世纪 30 年代起, 航空仪表已由机械化逐步走向电气化, 进入了电气仪表阶段, 此时的仪表称为远读式仪表, 如远读磁罗盘、远读地平仪等。所谓“远读”是指仪表的传感器和指示器没有装在同一个表壳内, 它们之间的控制关系是通过电信号的传递实现的, 因相距较远, 故称为远读式仪表。

用电气传输代替机械传动, 可以提高仪表的反应速度、准确度和传输距离。将仪表的指示部分与其他部分分开, 使仪表板上的仪表体积大为缩小, 改变了因仪表数量增多而出现的仪表板拥挤状况。另外, 仪表的敏感元件远离驾驶舱, 减少了干扰, 提高了敏感元件的测量精度。远读式仪表也存在一些缺点, 即整套仪表结构复杂、部件增多、重量增加。

#### 3. 机电式伺服仪表阶段

为了进一步提高仪表的灵敏度和精度, 20 世纪 40 年代后出现了能够自动调节的小功率伺服系统仪表, 即机电式伺服仪表。伺服系统又称为随动系统, 它是一种利用反馈原理来保证输出量与输入量相一致的信号传递装置。对仪表信号, 采用伺服系统方式来传送, 信号能量得到放大, 提高了仪表的指示精度和带负载能力, 可以实现一个传感器带动几个指示器, 有利于仪表的综合化和自动化。

#### 4. 综合指示仪表阶段

20 世纪 40 年代后, 由于飞机性能迅速提高, 各种系统设备日益增多, 所需指示和监控仪表大量增加, 有的飞机上已多达上百种, 仪表板和座舱无法安排, 驾驶员也目不暇