



普通高等院校民航
特色专业统编教材

机务专业高职适用



民用飞机 电子设备概论

Introduction to Civil Aircraft Avionics Equipment

©陆 周 主编



中国民航出版社

 普通高等院校民航特色专

专业高职适用

民用飞机电子设备概论

陆 周 主编

中国民航出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

民用飞机电子设备概论/陆周主编. —北京: 中国民航出版社, 2016. 2
ISBN 978-7-5128-0331-2

I. ①民… II. ①陆… III. ①民用飞机-电子设备-概论 IV. ①V271

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 016402 号

民用飞机电子设备概论

陆 周 主编

责任编辑 杨玉芹
出 版 中国民航出版社 (010) 64279457
地 址 北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼 (100028)
排 版 中国民航出版社录排室
印 刷 北京华正印刷有限公司
发 行 中国民航出版社 (010) 64297307 64290477
开 本 787×1092 1/16
印 张 14.25
字 数 353 千字
版 印 次 2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5128-0331-2

定 价 38.00 元

官方微博: <http://weibo.com/phcaac>

淘宝网店: <https://shop106992650.taobao.com>

E-mail: phcaac@sina.com

出版前言

当前,我国民航事业呈现快速发展态势,人才需求巨大,人才缺口矛盾突出。为深入实施“科教兴业”和“人才强业”战略,进一步加快民航专业人才培养,提高人才培养质量,努力为推动民航强国建设提供更加强有力的人才保障,在院校教育方面必须十分注重教学基本建设,编写民航统编教材便是其中的一项重要工作。

民航局高度重视统编教材编写工作,自2012年首次推出“空管专业统编教材”以来,其他特色专业教材也得到了系统开发,此次机务专业统编教材的编写出版就是在民航局高度重视下取得的又一成果。

本套教材在编写过程中紧密结合民航机务专业本科和高职人才培养目标的不同要求,在教材编写上各有侧重:机务专业高职教材在编写原则上贯彻以学生为主体的教学思想,理论知识以“必需”和“够用”为度,重点突出实际操作技能;机务专业本科教材在编写原则上是从培养民航高级机务维修和管理人才的目标出发,注重学生理论素养的提升,尽可能吸收民航发展的最新技术和成果。同时,为保证教材的实用性、先进性,并能反映维修过程中的技术水平,本套教材的开发、编写由来自中国民航大学、中国民航飞行学院、中国民航管理干部学院、广州民航职业技术学院、上海民航职业技术学院的机务专业教师与来自中国国际航空股份有限公司、中国东方航空股份有限公司、中国南方航空股份有限公司等企业的专业人员共同完成,使教材内容更具有针对性,更加贴近社会需要和岗位需求标准。

本套教材秉承民航特色专业统编教材的编撰宗旨,在内容、体例、规范等方面更加严谨、务实,编者多是长期从事机务专业教学和研究工作的资深教师及富有飞机维修经验的一线专业人员,书稿中的重要内容均经过行业专家审核把关。该套丛书体现了权威、创新、普适的特点,丰富、更新并完善了近年来机务专业的教材体系,既适合民航大中专院校、社会上各类机务培训机构用作教材,也可作为民航一线维修人员拓展知识、提高实操能力的培训用书。

此次机务专业统编教材的组织编写专业细分性较强,涉及面广,不足之处在所难免,诚恳地欢迎大家在教材使用过程中提出改进意见,使统编教材日臻完善。

中国民航出版社
2015年6月

前 言

飞机电子设备就是保证飞机完成预定任务，达到规定的各项性能所需要的各种电子设备的总称。通常包括由相应飞机电子设备所组成的通信、导航、飞行管理、飞行控制、空中交通管制、电子飞行仪表综合显示和探测等分系统。这些分系统是飞机完成常规飞行任务所必需的，已成为飞机重要的组成部分。

民用飞机机载电子设备门类繁多，涉及较广的专业技术领域。新技术的迅速发展使飞机设备产品更新换代频繁。数字化、集成化、智能化已成为飞机电子设备与系统发展的方向。

本教材依据高职高专航空机电设备维修专业的培养目标，结合民用航空器维修人员执照基础部分考试大纲（AC-66R1-02）而编写，力求把养成学生的专业教学与行业岗位要求紧密联系起来。本教材在编写过程中汲取各任课教师多年的教学经验，紧密联系民用飞机仪表显示系统、通信系统、导航系统及自动飞行等的实际应用经验和发展趋势，通过对民航常见电子设备和系统的组成、功用、基本工作原理及机上安装位置较详细的阐述，使读者对民用飞机的电子设备有一个系统的了解。

全书分为四章，第1章飞机仪表系统，主要介绍飞机仪表的基础知识、大气数据仪表和系统、电子飞行仪表系统、发动机指示和机组警告系统与电子中央监控系统；第2章飞机通信系统，主要介绍高频通信、甚高频通信等常见机载通信设备原理、结构、使用方法等内容；第3章飞机导航系统，主要介绍四大导航设备、雷达系统及机载监视设备等；第4章自动飞行控制系统，主要介绍飞行控制系统的作用、组成及基本原理等。

本教材由陆周、傅同俊、徐东华等三位教师编写，其中第1章、第4章由陆周编写，第2章由傅同俊编写，第3章由徐东华编写，全书由陆周统稿。中国东方航空股份有限公司、上海航空股份有限公司的有关专家对本教材内容进行了初审，并提出了中肯的建议，在此表示感谢；对本教材在编写过程中参考的教材和著作的作者表示感谢。此外，在编写过程中参考了大量网站的信息，因其内容零散且较多，无法在参考文献中一一列出，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，加之资料收集困难，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2015年12月

目 录

出版前言

前言

第 1 章 飞机仪表系统.....	1
1.1 飞机仪表基础知识	1
1.2 大气数据系统仪表.....	23
1.3 飞机姿态及罗盘系统.....	53
1.4 电子飞行仪表系统.....	75
1.5 发动机指示和机组警告系统与电子中央飞机监控系统.....	80
1.6 飞行数据记录系统	104
第 2 章 飞机通信系统.....	111
2.1 飞机通信系统概况	111
2.2 高频通信系统	114
2.3 甚高频通信系统	116
2.4 选择呼叫系统	118
2.5 卫星通信系统	119
2.6 飞机通信寻址与报告系统	122
2.7 机内通信系统	123
2.8 驾驶舱话音记录器	126
2.9 紧急定位发射机	128
第 3 章 飞机导航系统.....	131
3.1 自动定向机	131
3.2 甚高频全向信标系统	140
3.3 仪表着陆系统	147
3.4 无线电高度表	158
3.5 测距系统	163
3.6 气象雷达系统	167
3.7 空中交通管制系统应答机	173
3.8 交通咨询与防撞系统	177

3.9 全球定位系统 180

3.10 近地警告系统 183

3.11 飞行管理系统 189

第4章 自动飞行控制系统 194

4.1 自动飞行控制系统的组成和基本功能 194

4.2 自动驾驶仪 198

4.3 飞行指引 203

4.4 偏航阻尼器系统 205

4.5 俯仰配平系统 210

4.6 自动油门系统 213

附录 216

参考文献 220

第1章 飞机仪表系统

飞机在空中飞行,飞行员时刻要知道当时的飞行高度、速度、所在位置、飞行姿态、燃油消耗情况等许许多多数据。只有准确地测量和显示飞机飞行时的各种参数,才能根据这些数据的变化,操纵调整飞行状态,以便与空中环境相适应。飞行员凭借仪表上显示的数据,就能准确地知道飞机所处的状态。飞机仪表就好比是飞行员的“耳目”,依靠它们,飞行员操纵飞机才不会在天空中“瞎”飞。

【学习内容】

1. 飞机仪表基础知识;
2. 大气数据仪表系统;
3. 姿态及罗盘系统;
4. 电子飞行仪表系统;
5. 发动机指示和机组警告系统与电子中央监控系统;
6. 飞行数据记录系统。

1.1 飞机仪表基础知识

1.1.1 概述

飞机仪表是飞机上所有仪表的总称,是用来为飞行员提供有关飞机及系统信息的设备,仪表与各种控制器一起组成人机接口,使飞行员能按飞行计划操纵飞机。仪表提供的信息既是飞行员操纵飞机的依据,同时也反映出飞机被操纵的结果,所以有人称之为飞行员的“眼睛”。其种类较多,分别用来测量(或计算)飞机在运动状态中的各种飞行参数,以及飞机发动机和其他一些设备的工作状态参数。目前既可以按仪表功用来分类,也可以按仪表的测量原理来分类。

1. 分类

• 仪表按功用可分为飞行仪表、导航仪表、发动机(或动力装置)仪表和系统状态仪表四大类。

1) 飞行仪表

指示飞机在飞行中的运动参数(包括线运动和角运动)的仪表,飞行员凭借这类仪表能够正确地驾驶飞机。这类仪表主要是利用大气特性的各种气压式仪表,利用陀螺特性的各种陀螺仪表和利用物体惯性的加速度(过载)仪表等。

2) 导航仪表

用于显示飞机相对于地球或其他天体的位置,为飞行员或飞行控制系统提供飞机按规定航线飞向预定目标所需要的信息。定位和定向是导航中的两大问题。导航仪表包括导航

时钟、各种航向仪表和各种导航系统。导航系统按工作原理分为航位推算导航系统、无线电导航系统、天文导航系统、卫星导航系统，以及它们有机结合、互相校正的组合导航系统。航位推算导航系统按原始信息的性质又分为利用真空速推算的自动领航仪，利用地速推算的多普勒导航系统和利用加速度推算的惯性导航系统。

3) 发动机（动力装置）仪表

用于检查和指示发动机工作状态的仪表。按被测参数区分，主要有转速表、压力表、温度表和流量表等。现代发动机仪表还包括振动监控系统，用于指示发动机的结构不平衡性和预告潜在的故障。燃油是直接供发动机使用的，故指示燃油油量、流量、温度的仪表通常也归属于发动机仪表。

4) 系统状态仪表

指示飞机操纵系统、座舱环境与生命保障系统及指示供电系统等状态的仪表。主要有液压压力表、刹车压力表、舵面位置指示器、襟翼位置指示器、起落架位置指示器、座舱高度表、电流表、电压表、频率表、功率表等。

• 仪表按原理可分为测量仪表、计算仪表和调节仪表。

1) 测量仪表

测量仪表是用来测量飞机的各种运动或状态参数。它们包括高度表、空速表、温度表、姿态指引仪、磁罗盘，发动机仪表系统中的压力表、转速表、温度表、推力表及燃油流量表、油量表，系统状态仪表中的液压压力表、刹车压力表、舵面位置指示器、襟翼位置指示器、起落架位置指示器、座舱高度表、电流表、电压表、频率表等仪表。

在上述仪表中有些并不独立存在，而与相应参数仪表组合在一起（如指引系统仪表），有的飞机将一些指示简单的仪表改用灯光（如起落架收放位置指示）。

2) 计算仪表

计算仪表是指飞机上的一些领航（或称导航）和系统性能方面的计算（或称计算器、计算机），如自动领航仪、航行计算器、飞行指引（或系统）、惯性导航系统、性能管理系统中的性能管理计算机和飞行管理系统中的飞行管理计算机等。

一些不能直接测量出指示参数的物理量，虽然也是通过计算求得的，但不叫计算仪表，而称为间接测量仪表，如大气数据仪表，是通过测量大气压力求得飞行参数的。

3) 调节仪表

这里所说的调节仪表是指机上属于仪表专业人员维护范围内的一些自动化控制系统设备。如自动驾驶仪、马赫配平系统、自动配平系统、偏航阻尼器和自动油门系统等。

2. 基本组成环节

飞机仪表的工作过程，概括起来包含感受、转换、传送、计算、放大、执行、指示等七种基本环节。但是，各种仪表所包含的环节及其性质并不完全相同，各环节所占的地位也并不相同，这样就构成了各种仪表在原理上的差别，从原理上飞机仪表就可分为测量仪表、计算仪表和调节仪表。下面我们简单介绍一下三类仪表的基本组成环节。

1) 测量仪表的基本环节

测量仪表的工作过程一般包含感受、转换、传送、指示等四种基本环节。

直接同被测物理量发生联系的环节，叫作感受环节。一般来说，感受环节是测量仪表工作过程的第一个环节。

将一种物理量（或信号）转换为另一种物理量（或信号）的环节，叫作转换环节。例如，有的转换环节将压力转换成位移，有的转换环节将温度转换成电阻等。

使物理量（或信号）在空间改变位置的环节，叫作传送环节。在复杂的传送环节中，需要经过多次转换，才能达到传送的目的，但是，无论经过多少次转换，传送环节的输出物理量和输入物理量的性质是一样的。

将其他物理量（或信号）转换成目视信号的环节叫作指示环节，指示环节往往是测量仪表工作的最后一个环节。

感受—转换—传送—指示是测量仪表工作过程的一般规律，但并不是一成不变的公式，具体情况往往是错综复杂且多种多样的。有些测量仪表中，有若干个相同的环节，也有些测量仪表中，则缺少某一个环节；有些测量仪表中，转换环节在前，传送环节在后，也有些测量仪表中，传送环节在前，转换环节在后。总之，了解仪表的工作过程需要对具体的仪表作具体分析。

2) 计算仪表的基本环节

飞机自动计算仪表，实质上是一种专用的自动计算器。它能在一定测量的基础上，按一定的数学关系，自动计算出飞机运动状态或发动机工作状态的某些参数或飞机的飞行位置。

计算仪表除了具有感受、转换、传送、指示等基本环节之外还有计算环节，能对物理量（或信号）进行自动计算的环节叫作计算环节。计算环节的种类很多，有的能进行加、减计算，有的能进行乘、除计算，有的能进行函数、反函数计算，还有的能进行微分、积分计算等。

计算仪表的计算方式有两种，一是采用模拟计算，二是采用数字计算。对于某一个仪表（或系统）来说，各个环节的计算可能是模拟计算，也可能是数字计算。如果采用混合计算方式，两者之间有模-数（或数-模）转换装置。

3) 调节仪表的基本环节

在测量和计算的基础上，能够自动调节飞机的运动状态或某些装置的工作状态的仪表，叫作飞机自动调节仪表（简称调节仪表）。调节仪表（即调节器）与调节对象合在一起，叫作调节系统。例如，自动驾驶仪就是一种调节仪表，它的调节对象是飞机。

调节仪表除了具有测量仪表、计算仪表的各种基本环节之外，还必须有执行环节。

综上所述，飞机仪表由感受、转换、传送、计算、放大、执行、指示等基本环节组成。仪表的工作过程就是输入量以不同形式在各种基本环节中不断变化、不断运动的过程。

1.1.2 飞机仪表的发展历程

飞机仪表的发展与科学技术和飞机的发展是分不开的。同时，飞机性能的提高与机载设备的不断完善也是分不开的，其中座舱显示仪表起着重要的作用。飞机技术的进步不断提出新的要求，这就直接促进了座舱显示仪表的发展。在飞行过程中，飞行员从仪表获得重要的飞行信息，经过分析和判断再去操纵飞机，因而，座舱仪表是非常重要的人/机接口。飞机座舱的设计是一个非常复杂的人—机—环境系统工程。座舱仪表和布局的质量将直接影响飞行任务的完成和飞行的安全。为此，各国飞机制造公司和有关航空电子设备（系统）制造厂商均投入大量的人力、物力进行研制以尽力提高人机工效，减轻飞行员的

负荷，确保飞行安全；由此也促进仪表系统形成了五个发展阶段。

1. 机械仪表阶段

这个阶段是仪表的初创时期，大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的仪表。表内敏感元件、信号传送和指示部分均为机械结构，例如早期的高度表和地平仪。见图 1.1.1、图 1.1.2。

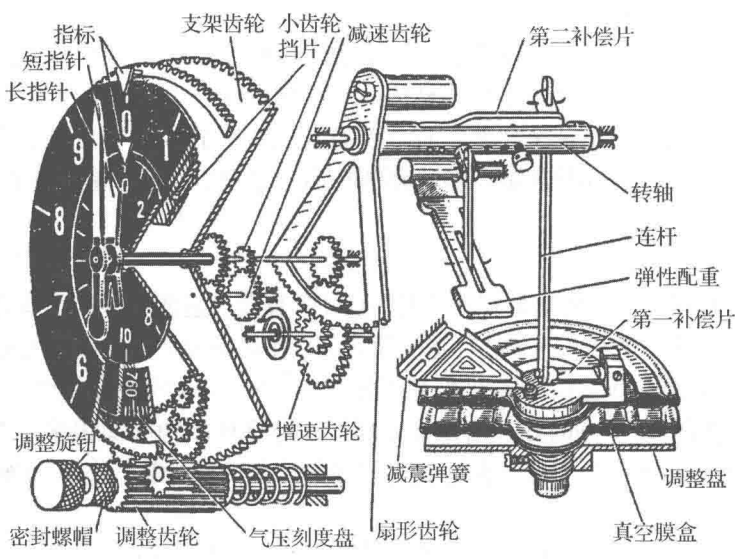


图 1.1.1 某型高度表的结构

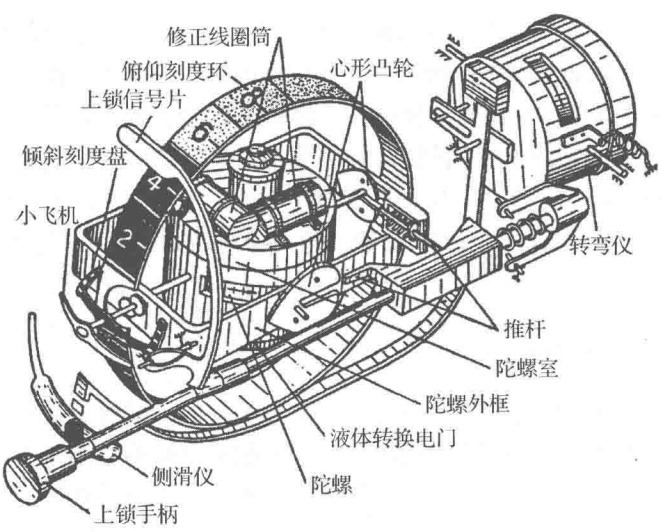


图 1.1.2 直读式地平仪的结构

这个时期的飞机仪表是飞机仪表发展史上的第一个阶段，其最大优点是结构简单、工作可靠、成本低廉；缺点是灵敏度较低，指示误差较大。随着飞机性能和要求的精度不断提高，机械仪表已不能满足航空发展的需要。

2. 电气仪表阶段

从 20 世纪 30 年代起，飞机仪表已由机械化逐步走向电气化，进入电气仪表阶段，此时的仪表称为远读式仪表。如远读式地平仪、远读式磁罗盘等。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。见图 1.1.3。

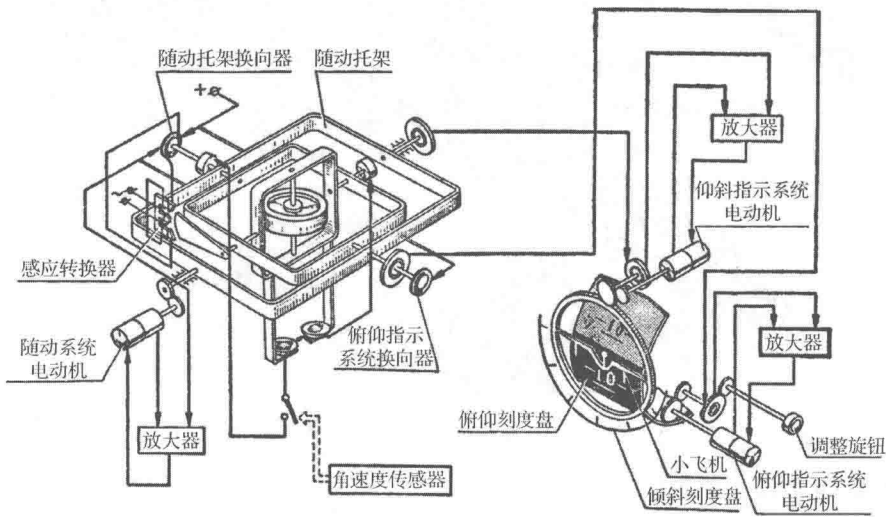


图 1.1.3 远读式地平仪的结构

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，使仪表的体积大为缩小，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 年代以后出现了能够自动调节的小功率伺服系统仪表，即进入机电式伺服仪表阶段。伺服系统又称随动系统，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。对于仪表信号，采用伺服系统方式来传送，能够使信号能量得到放大，并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。见图 1.1.4。

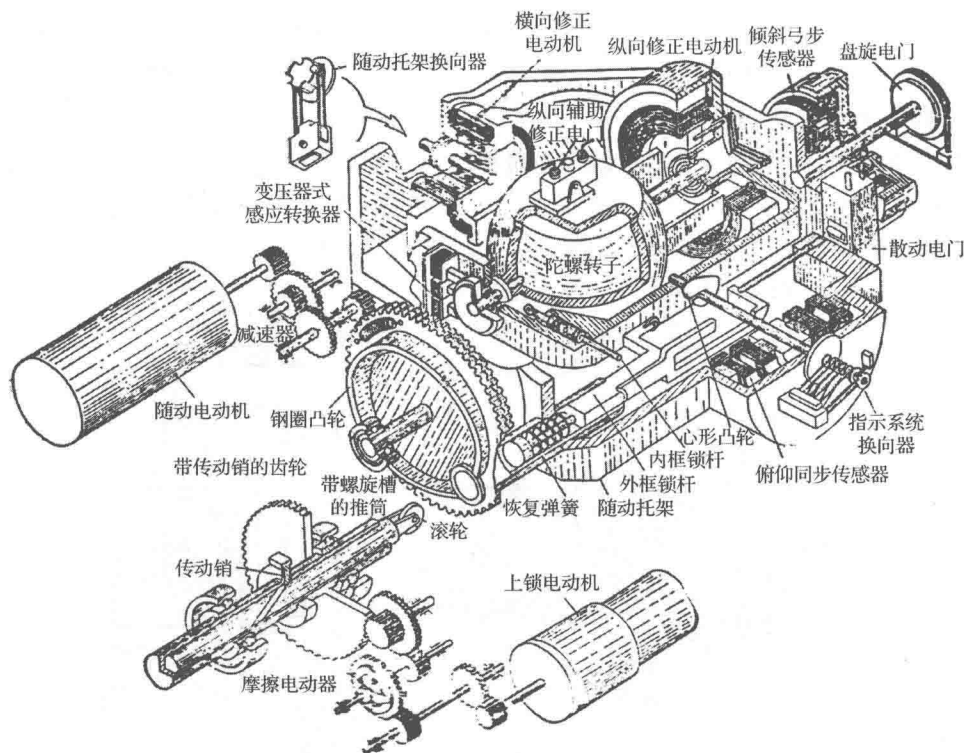


图 1.1.4 垂直陀螺组件 (传感器)

4. 综合指示仪表阶段

20 世纪 40 年代以后, 由于飞机性能的迅速提高, 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, 飞行员也目不暇接, 眼花缭乱。另外, 飞机的飞行速度和机动性能的提高, 又使飞行员观察仪表的时间相对缩短, 容易出错, 因此把功能相同或相关的仪表指示器有机地组合在一起, 形成统一指示的综合仪表, 已成为航空仪表发展的必然趋势。如, 综合罗盘指示器、组合地平仪和各种发动机仪表的相互组合等都是一表多用的结构形式。

机电式综合仪表一直使用到 20 世纪 60 年代末。姿态指引仪 (Attitude Director Indicator, ADI)、航道罗盘 (Horizontal Situation Indicator, HSI) 为这种仪表的典型代表, 见图 1.1.5、图 1.1.6。

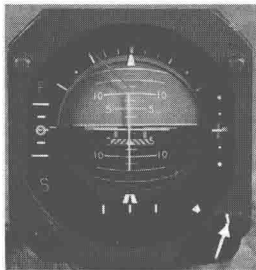


图 1.1.5 姿态指引仪



图 1.1.6 航道罗盘

5. 电子综合显示仪表阶段

随着电子技术的飞速发展,从20世纪60年代开始出现了电子屏幕显示仪表,并逐步取代指针式机电仪表,使仪表结构进入了一个革新的时代。到20世纪70年代中期,电子显示仪表又进一步向综合化、数字化、标准化和多功能方向发展,并出现了高度综合又相互补充、交换显示的综合电子仪表系列。飞行员可以通过控制板对飞机进行控制和安全监督,初步实现了人—机“对话”。驾驶舱仪表、惯性导航系统、大气数据仪表、自动飞行控制系统和飞行管理系统等已成为重要的航空电子设备。

20世纪80年代,在一些先进机型的驾驶舱中(以B757/767、A310为代表),主要仪表的显示部分已广泛采用衍射平视仪和彩色多功能显示器,出现了电子飞行仪表系统(Electronic Flight Instrument System, EFIS)与发动机指示和机组警告系统(Engine Indication and Crew Alerting System, EICAS),但是综合程度有限,仍配置有较多的机电仪表和备用仪表。这是电子飞行仪表的第一代产品。其典型的显示格式见图1.1.7、图1.1.8。

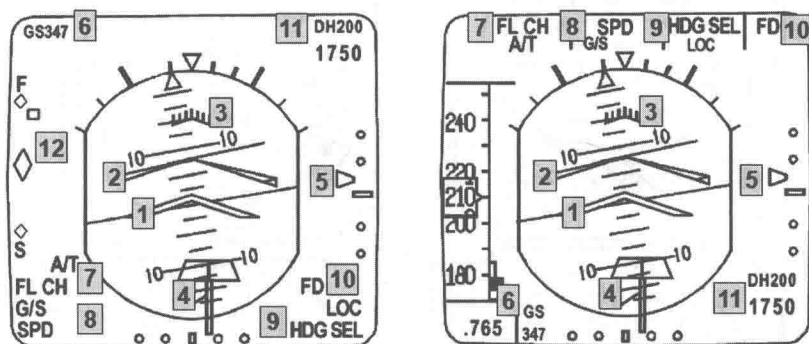


图 1.1.7 电子姿态指引仪 (EADI)

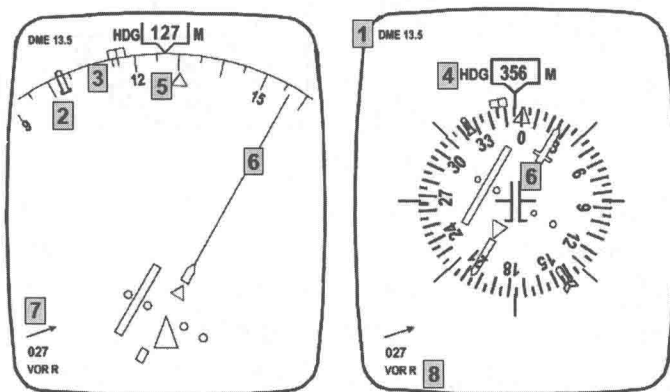


图 1.1.8 电子水平状况指引仪 (EHSI)

20世纪80年代中后期,以B747-400、A320为代表的电子飞行仪表为第二代产品。彩色电子显示系统有了进一步的发展,出现了高度综合的电子飞行仪表系统,其特点是驾驶舱用大屏幕CRT显示数据,仅配置很少的备用仪表。其典型的正常显示格式见图1.1.9、图1.1.10,典型备用仪表的显示情况见图1.1.11。

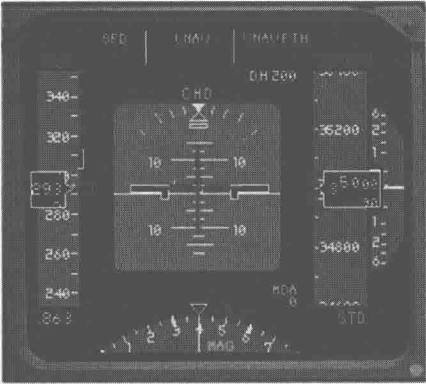


图 1.1.9 主飞行显示器 (PFD)

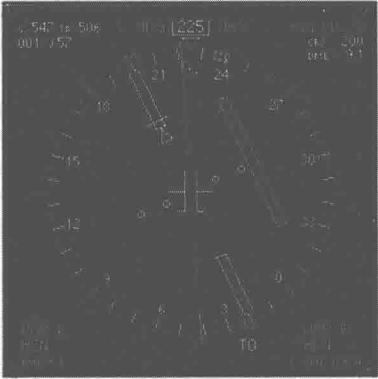


图 1.1.10 导航显示器 (ND)

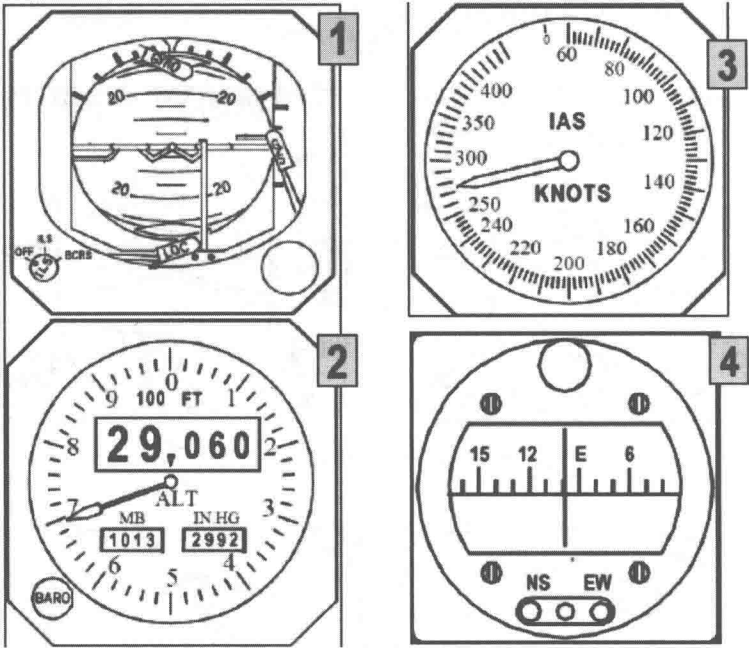


图 1.1.11 典型的备用仪表

20 世纪 90 年代的第三代电子飞行仪表为平板显示系统。仪表数据显示用液晶显示 (LCD) 取代了彩色阴极射线管 (CRT)，它的显示亮度大并且分辨率高，特别是具有体积小、重量轻、耗电量小等优点。目前的 B777、B737NG、A330 等客机的主要仪表显示采用的就是彩色液晶显示器。图 1.1.12 为 B737-700 型的显示情况。

在一些更先进的客机上，除具有电子飞行仪表外，已经将备用姿态、备用高度、备用空速、仪表着陆偏离指示和气压基准设置等指示器集成在一起，称之为综合备用飞行显示器 (Integrated Standby Flight Display, ISFD)，用液晶显示器 LCD 作为仪表屏幕。它看上去就像小型的主飞行显示器 (Primary Flight Display, PFD)，在其前面板上有气压基准选择电门、指示窗，高度带、空速带，姿态盘、航向刻度盘和仪表着陆的偏离指示。图 1.1.13 为综合备用飞行显示器。



图 1.1.12 B737-700 的驾驶舱显示情况

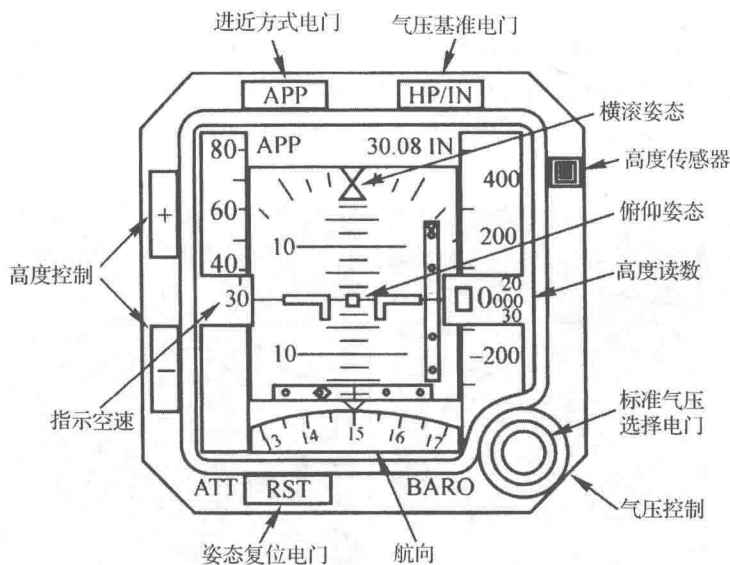


图 1.1.13 综合备用飞行显示器

电子显示器容易实现综合显示，故称为电子综合显示仪。它有如下优点：

- (1) 显示灵活多样，可以显示字符、图形、表格等，还可以采用不同的颜色显示；
- (2) 容易实现信号的综合显示，减少了仪表数量，使仪表板布局简洁，便于观察；
- (3) 电子显示器的显示精度高；
- (4) 采用固态器件，寿命长，可靠性高；
- (5) 价格不断下降，性价比高；
- (6) 符合机载设备数字化的发展方向。

总之，飞机仪表的发展过程是从机械指示发展到电子显示，信号处理单元从纯机械发展到数字、计算机系统，仪表的数量经历了从少到多又从多到少的发展过程。从某种意义

上讲, 驾驶舱显示仪表是飞机先进程度的重要标志之一。

1.1.3 飞机仪表的显示及布局

在飞行中, 飞机及机组人员组成了一个“人—机”系统, 该系统可能是很简单的, 也可能是很复杂的, 它主要取决于飞机型号及大小。在该系统中, 机组人员的作用是系统的控制者, 具体的控制范围是由作为一个整体的简单机器或复杂的机器来实现的。例如, 在一架用人工来操纵的飞机中, 飞行过程的实现是由人操纵飞机的主要系统, 此时, 控制者的作用被称为一个完全的主角。但是反过来, 如果飞机在飞行过程中其主系统的操纵是自动实施的, 这时控制者的作用就变成了监控者, 而万一飞机的系统出现故障时, 他就有可能恢复到原来的主角位置进行操纵。

当然, 在整个控制系统中, 飞机仪表担任了一个至关重要的角色, 这是因为它们担负着在飞机系统与控制者之间进行信息传递的工作。因此, 为了使控制者能获得最佳的控制效果, 同时也是为了把人脑分析信息的工作量降到最低, 有必要关注一下飞机仪表所显示的信息内容与形式。

1. 仪表的显示

飞机仪表中, 用来显示信息数据最常用的方法是: ①定量显示, 这种显示的主要功用是把实时测得的量用数字值或通过指针或定位器的相对位置来表示; ②定性显示, 这种显示的主要功用是把信息用符号或图像的形式表达出来。此外还有一种指引显示。

1) 定量显示

这种显示常用三种主要的方法来显示信息: ①环刻度盘或很像时钟面盘的刻度盘显示; ②直线刻度显示; ③数字式或荧光屏彩色显示。具体有环形刻度显示、大数值长刻度显示、直刻度显示、双指标器显示、彩色显示等。如图 1.1.14 所示。

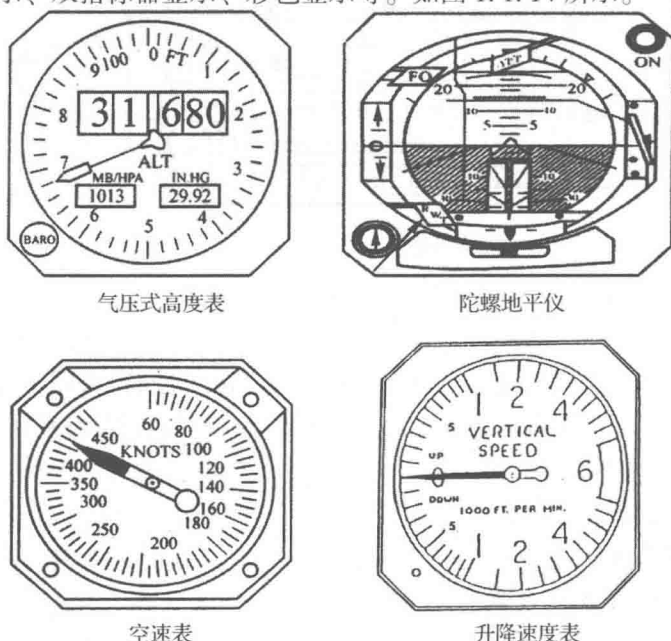


图 1.1.14 仪表的显示形式