

飞行技术专业系列教材

FEIXING JISHU ZHUANYE XILIE JIAOCAI

HANGKONG DIANZI SHEBEI

航空电子设备

(第三版)

何晓薇 徐亚军 编



西南交通大学出版社

飞行技术专业系列教材

航空电子设备

(第三版)

何晓薇 徐亚军 编
王有隆 审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

航空电子设备 / 何晓薇, 徐亚军编. —3 版. —成都: 西南交通大学出版社, 2014.8
飞行技术专业系列教材
ISBN 978-7-5643-3321-8

I. ①航… II. ①何… ②徐… III. ①航空电气设备—教材 IV. ①V242

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 185761 号

飞行技术专业系列教材

航空电子设备

(第三版)

何晓薇 徐亚军 编

责任编辑	黄淑文
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川川印印刷有限公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	14
字 数	348 千字
版 次	2014 年 8 月第 3 版
印 次	2014 年 8 月第 10 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3321-8
定 价	29.50 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前言

航空电子是英文“AVIONICS”的中译名，该词是 aviation（航空）取其头和 electronics（电子学）取其尾组合而成的新词。它是研究电子技术 in 航空工程中的应用的学科，是在航空技术和电子技术发展过程中逐步形成的。

经过半个多世纪的发展历程，现代航空电子已成为一门独立的学科，其特定的研究对象、特殊的性能及设计方案、特定的使用环境，已使之区别于一般的电子设备。早期的飞机，其仪表、设备非常简单，后来装备了机载雷达、无线电导航设备、着陆引导设备、自主导航设备、模拟计算机、平视显示仪、下视显示仪等，逐步发展为现代的航空电子系统。

微电子技术、数字技术及微计算机技术的飞速发展，成为对航空电子技术发展的巨大推动力，使之进入了数字化、微计算机化的全新纪元。数字计算机代替了模拟计算机，使各系统的精度、可靠性获得前所未有的提高，从而使整个航空电子系统的性能及飞机的任务能力得到很大的改进。航空电子的地位越来越举足轻重，成为和飞机机体、发动机并列的重要组成部分之一。从发展角度看，航空电子甚至比其他部分更引人注目。该学科发展迅速，更新换代快，其发展给飞机的性能带来了巨大影响。

航空电子系统的功能几乎已渗透到飞机的每一种任务能力，已成为飞机的“耳目”和“大脑”，对于飞机的性能及使命完成能力具有决定性的作用。可以说，没有先进的航空电子，就没有先进的飞机，就无法实现安全、可靠、舒适、低成本和高密度的民航飞行。

由于航空电子设备越来越多，体积及总重量大为增加，设备之间的电磁干扰问题日趋严重，各独立的分系统的显示控制设备都要求在座舱中占有一席之地，使拥挤的座舱几乎无法安置，使驾驶员的负担超出了极限。电子技术的发展为解决这一问题提供了合理的途径。这就是航空电子系统的综合化，使航空电子系统成为一个综合化的整体，从而缓解了系统重量、体积膨胀的矛盾，使驾驶员的负担降低到合理的程度。综合化航空电子系统的出现是航空电子发展的一个重要里程碑。

下一代航空电子系统将继续朝着数字化、微型化、综合化和智能化方向发展。通过对各个分离的电子设备进行综合，能使整个系统性能达到更高的水平。最近 30 多年，综合航空电子技术已经有了很大进展，它能最有效、最充分地利用各种电子分系统和设备的信息，最佳地完成设计者所赋予航空电子系统的使命。一般地讲，综合的航空电子系统具有以下特征：

1. 通过数据多路传输总线连接各电子分系统：在各分系统间采用总线进行大量的信息交换，形成以系统管理计算机为中心的综合航空电子系统。各分系统都通过各自的接口与总线交联，实现资源共享，形成一个层次结构的计算机网络。系统管理计算机执行总线控制、任务调度、计算和监控的功能。各分系统通过自身的计算机执行分系统一级的管理和控制功能。

2. 通过平视显示器（HUD）和多功能下视显示器（MFD）进行综合显示：这些显示器是综合航空电子系统的共用终端，显示经处理的系统以及各分系统的有关信息。它不仅显示

雷达、导航等航空电子系统的参数，而且还显示大量仪表和其他飞行系统的有关信息，同时还随时显示各系统的“健康”信息，使飞行员准确、及时了解全飞机的工作状态以及他所处的地位。

3. 通过双杆（驾驶杆和油门杆）上的开关、综合控制面板、预编程、触敏光屏以及语音控制等多种手段，实现方便的人机对话。

4. 通过机内测试（BIT）能力提高系统的维护特性：完善的 BIT 功能是现代综合航空电子系统的重要特征。各分系统都应至少具有 5% 的硬件专门用于 BIT。一旦出现故障和某种功能丧失，立即发出告警信号。系统计算机还应能对全系统（包括各分系统）在执行一次任务过程中发生的全部故障进行存储，当飞机返航后，地勤人员可以调出所有的故障记录，采取相应的维护措施。

5. 通过系统重构和容错能力提高系统的可靠性：系统在飞行过程中发生故障后，系统计算机根据故障情况，把失效的分系统切除，并自动连通备用系统，使系统恢复全部或部分功能。人工智能技术将得到广泛的应用，利用计算机模拟人的思维过程，完成对系统状态的判断、选择、联想和决策。

《航空电子设备》根据中国民航飞行学院制定的《航空电子设备》教学大纲编写而成。该教材较为系统地讲述了现代民航运输机电子设备的基本理论和知识，主要供飞行技术专业学习《航空电子设备》课程使用；同时，也可供其他相关人员学习、参考使用。航空电子设备种类繁多，同一设备型号不同，其组成、控制面板及使用也存在一定的差别，在教材的编写中，不可能将每一系统、每一型号的设备都包括在内。根据教学大纲的要求，本教材仅对部分系统进行了介绍，选择了一些具有代表性的设备进行分析。对每种设备的使用，由于未具体到某一机型的特定型号，所以只概括地叙述其使用特点、使用注意事项以及基本使用方法，对于具体机型的设备使用应根据飞行手册进行。

本教材由何晓薇和徐亚军编写，其中，第 2、3、5、6、7、8、9、10、11 章由何晓薇编写、修订；第 1、4、12、13、14、15 章由徐亚军编写、修订。王有隆同志主审。

此教材为民用航空飞行技术专业理论培训教材，由于编者资料占有不全、水平有限，书中错误和不足在所难免，恳请读者提出宝贵意见。

本教材在编写和修订过程中，得到了学院教务处、飞行技术学院和航空工程学院的大力支持，并参考了许多作者的著作，在此深表谢意。

编 者

2014 年 6 月

目 录

第 1 章 大气数据计算机系统	1
1.1 大气数据计算机系统组成	2
1.2 大气数据计算机指示仪表	6
1.3 使用特点	10
第 2 章 电子仪表系统	11
2.1 电子飞行仪表系统 (EFIS)	11
2.2 发动机指示及机组警告系统 (EICAS)	17
2.3 电子集中飞机监控系统 (ECAM)	22
第 3 章 自动飞行控制系统	29
3.1 飞行指引仪 (FD)	30
3.2 自动驾驶仪 (AP)	35
3.3 自动驾驶飞行指引系统 (AFDS)	42
3.4 偏航阻尼器	48
3.5 自动俯仰配平系统	50
3.6 自动油门	53
3.7 自动着陆	57
3.8 B767 飞机自动飞行系统的操作	60
第 4 章 飞行数据记录系统	66
4.1 飞行数据记录器	66
4.2 飞行数据记录系统	68
4.3 飞行数据记录系统的功用	71
4.4 飞行数据记录系统的使用方法	72
第 5 章 机载气象雷达系统	73
5.1 机载气象雷达系统的组成	73
5.2 机载气象雷达系统的基本探测原理	74
5.3 机载气象雷达系统的工作模式	77
5.4 机载气象雷达的控制板	78
5.5 气象雷达的信息显示	80
5.6 飞行中的操作使用	81
5.7 地面通电使用注意事项	84

第 6 章 二次监视雷达和应答机85

6.1 空中交通管制雷达信标系统85

6.2 S 模式二次雷达系统95

第 7 章 空中交通警戒与防撞系统100

7.1 TCAS2 的系统组成100

7.2 TCAS2 的工作原理102

7.3 驾驶舱显示105

7.4 语音信息109

7.5 控制板111

7.6 机组响应112

7.7 运行限制113

7.8 操作程序（仅作为理论教学用）113

第 8 章 近地警告系统115

8.1 GPWS 的系统组成115

8.2 GPRS 的工作原理116

8.3 报警模式117

8.4 GPWS 的使用和测试125

第 9 章 增强型近地警告系统128

9.1 EGPWS 的基本原理128

9.2 前视地形警戒功能129

9.3 地形显示130

9.4 驾驶舱报警132

9.5 语音信息的优先级别134

9.6 控制面板134

9.7 飞行机组程序（仅作为理论教学用）135

第 10 章 风切变预警系统137

10.1 PWS 的基本原理137

10.2 限制138

10.3 报警138

10.4 操作141

10.5 飞行机组程序（A320 飞机）141

第 11 章 无线电高度表144

11.1 无线电高度表的组成144

11.2 无线电高度表的原理145

11.3 高度显示146

11.4 误差和精度148

11.5	通电使用	149
第 12 章	惯性导航系统	150
12.1	概 述	150
12.2	平台式惯性导航系统	152
12.3	捷联式惯性导航系统	156
12.4	激光陀螺惯性基准系统	158
12.5	大气数据惯性基准系统	158
12.6	惯性导航系统的使用	159
12.7	惯性导航系统的误差	169
第 13 章	卫星导航系统和 组合导航系统	170
13.1	概 述	170
13.2	GPS 卫星导航系统	172
13.3	组合导航系统	184
第 14 章	飞行管理计算机系统	187
14.1	FMCS 的功能	187
14.2	FMCS 的组成	188
14.3	飞行管理计算机 FMC	189
14.4	多功能控制显示组件 MCDU	189
14.5	飞行前页面	192
14.6	MCDU 的显示信息	195
14.7	FMCS 飞行计划航图显示	197
第 15 章	警告系统	200
15.1	主警告/主警戒系统	200
15.2	失速警告系统	203
15.3	起飞警告系统	206
15.4	起落架显示和警告系统	207
15.5	超速警告	209
15.6	火警警告系统	210
15.7	高度警戒系统	211
参考文献		214

第 1 章 大气数据计算机系统

大气数据计算机系统 ADCS (Air Data Computer System) 又称为大气数据系统 ADS (Air Data System), 是一种自动计算设备, 是现代运输机中必需的电子设备之一。其基本特点是根据静压传感器、全压传感器、迎角传感器和总温传感器的输入信号, 采用先进的技术, 解算出气压高度、指示空速或计算空速、垂直速度、马赫数、真空速、全受阻温度和大气静温等信息。这些信息一方面送到显示器上供飞行员判读, 另一方面送到飞行指引仪、自动飞行控制系统等用户, 作为这些用户的输入信号。

一般飞机上都安装有两套大气数据计算机系统。正常情况下, 机组的显示信息来自本侧的大气数据计算机系统。当本侧的大气数据计算机故障时, 也可以使用转换电门, 使用另一侧的大气数据计算机。但是, 只有显示器的显示信息可以转换, 而飞行指引仪、自动飞行控制系统等的大气数据信号则只能来自左大气数据计算机系统。如图 1.1 所示。

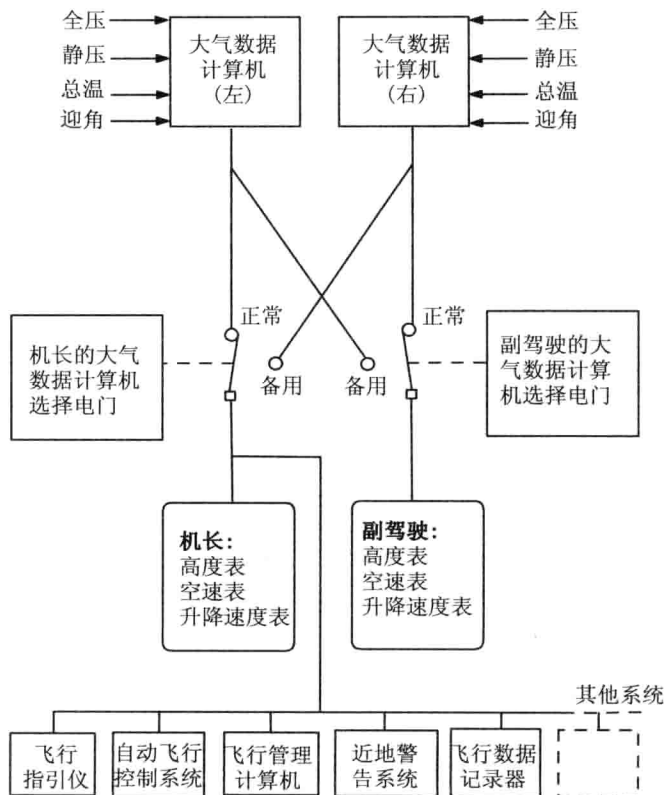


图 1.1 大气数据计算机系统的输入和输出

1.1 大气数据计算机系统组成

大气数据计算机系统由输入部分、计算机部分和输出部分三部分组成，如图 1.2 所示。

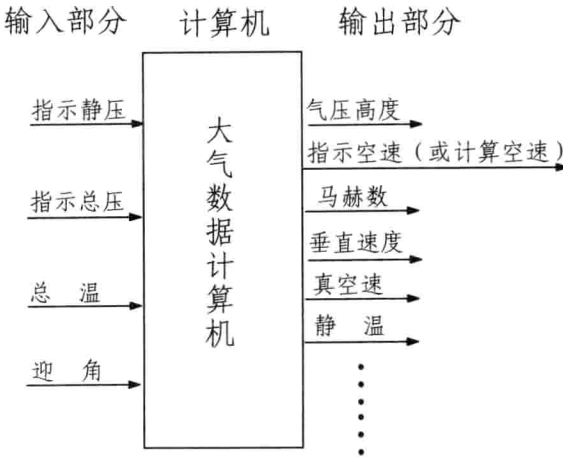


图 1.2 大气数据计算机系统组成图

1.1.1 大气数据计算机

大气数据计算机的主要功能是进行大气数据的解算，并对整个系统进行故障监控，当发现计算机本身或输入输出接口有故障时向机组提供警告旗，并将故障信息存储下来，供维修人员使用。大气数据计算机一般分为三种类型：模拟式、数字式和混合式三种。

模拟式大气数据计算机一般采用伺服式解算装置，解算装置的输出为模拟量，这些模拟输出信号直接传到显示仪表上。早期飞机（如波音 707 飞机和空客 300 飞机）都是用这种计算机。模拟式大气数据计算机的结构和原理如图 1.3 所示。

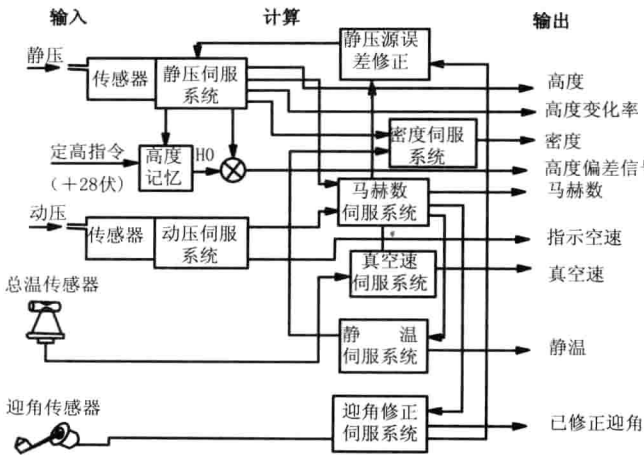


图 1.3 模拟式大气数据计算机原理图

数字式大气数据计算机采用微型计算机作为计算装置，采用新型的固态压力传感器。20 世纪 70 年代以后的飞机上（如波音 777，波音 767，空客 A310）采用数字式大气数据计算机。数字式大气数据计算机的结构和原理如图 1.4 所示。

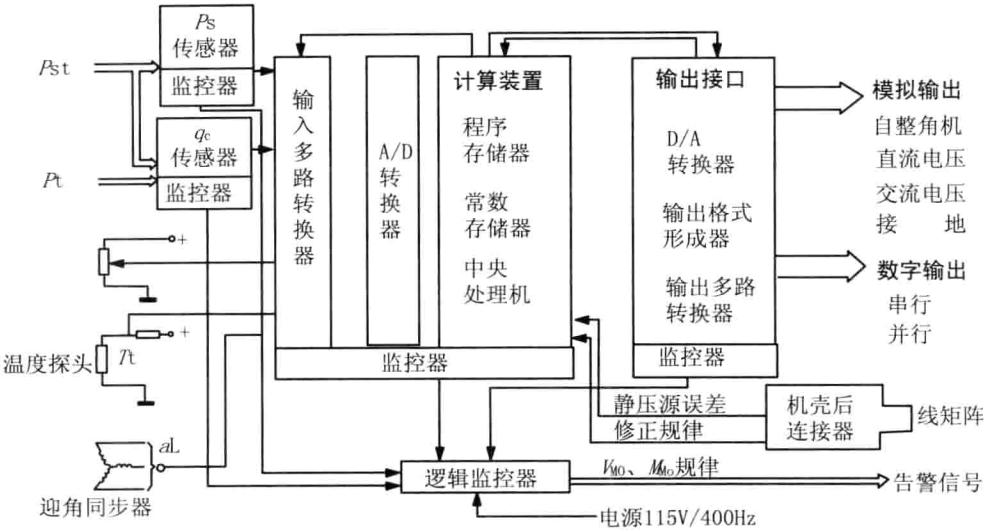


图 1.4 数字式大气数据计算机原理图

混合式大气数据计算机是上述两种类型结合的大气数据计算机，是模拟式到数字式过渡过程中的一种类型。波音 747 型飞机上使用的就是混合式大气数据计算机。

1.1.2 传感器

大气数据计算机系统是通过少量的传感器检测外部大气信息的，这些传感器包括：静压传感器、总压传感器和总温传感器，在某些大气数据计算机中还使用迎角传感器。

1. 压力传感器

在大气数据计算机系统中使用的压力传感器有总压传感器和静压传感器，在某些大气数据计算机系统中也直接使用动压传感器，如图 1.3 和图 1.4 中使用的都是动压传感器。

总压传感器用于将总压变换为电信号，并提供给计算机。静压传感器用于将静压变换为电信号，并提供给计算机。动压传感器则用于将动压（总压和静压之差）变换为电信号，并提供给计算机。

在模拟式大气数据计算机系统中，一般使用波纹管及相关的电路将压力转换为电信号，如图 1.5 所示；在数字式大气数据计算机系统中，一般使用固态传感器及相关电路将压力转换为电信号，如图 1.6 所示。在图 1.5 和图 1.6 中，当 P_x 为真空、 P_s 为静压时，该传感器为静压传感器；当 P_x 为真空、 P_s 为总压时，该传感器为总压传感器；当 P_s 为静压、 P_x 为总压时，该传感器为动压传感器。

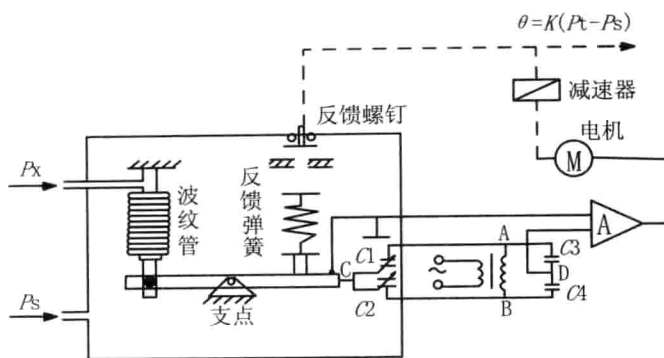
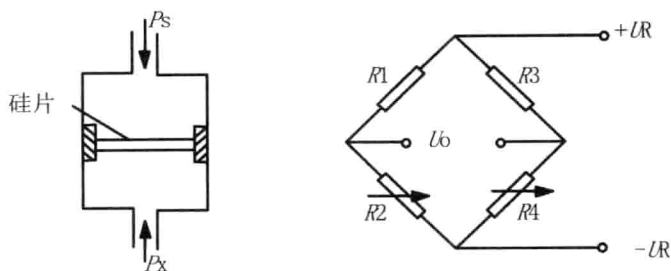


图 1.5 波纹管测量压力



(a) 传感器结构示意图

(b) 压敏电阻构成电桥

图 1.6 固态传感器测量压力

2. 总温传感器

飞行中，由于飞机相对于空气运动，会使气流受阻、温度升高，升高的温度叫动力温度，它与空气静温之和叫全受阻温度或总温。大气数据计算机中温度传感器的作用就是测量总温，所以又称为总温传感器。

模拟式大气数据计算机和数字式大气数据计算机中使用的温度传感器相同，都是总温传感器，用于测量外界大气总温。总温输入计算机后经静温解算装置，输出静温信号。

总温传感器如图 1.7 所示。外界大气从感温棒前端的开口流入，流经感温部件后从感温棒后端的开口流出。感温电阻的电阻值与总温相对应，该电阻值经电路转换，输出与总温相对应的电压值。

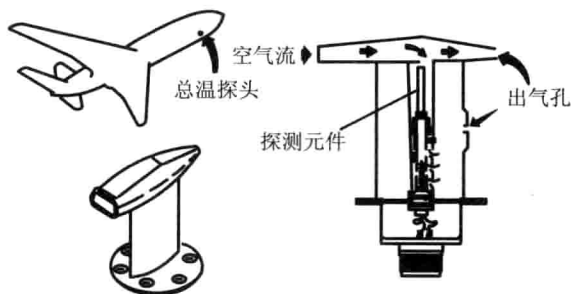


图 1.7 总温传感器

在某些飞机的总温传感器中引入发动机引气，如图 1.8 所示。发动机引气使总温传感器内部出现负的压力，负的压力使流经感温部件的外界大气加速，从而提高在地面或低速时总温的测量精度。

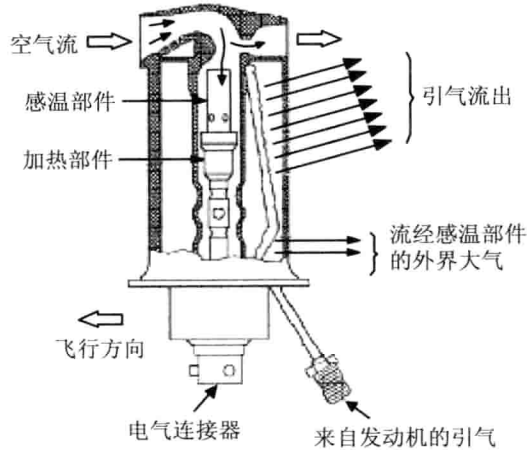


图 1.8 带发动机引气的总温传感器

3. 迎角传感器

数字式大气数据计算机与模拟式大气数据计算机中使用的迎角传感器相同，如图 1.9 所示。在飞行中，传感器叶片最终停留在使其本身的对称面与气流速度平行的方向上。所以，当传感器相对于飞机的纵轴平行安装时，叶片旋转的角度就是飞机的迎角值。这个角度经变换后可输出相应的电信号，并通过电气连接器送到大气数据计算机。一般情况下，飞机上安装有两个迎角传感器，对称地分布于机身的两侧，大气数据计算机使用两个传感器信号的平均值，可以把传感器受到的局部气流扰动减到最小。

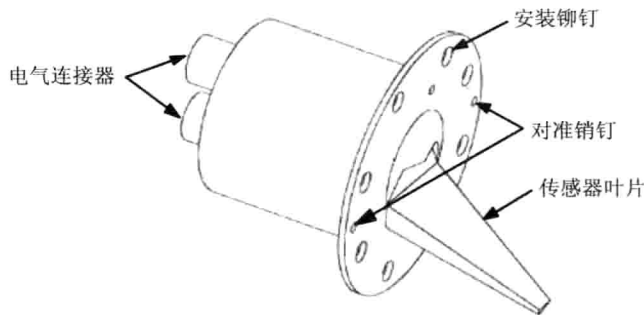


图 1.9 迎角传感器

1.1.3 输出信号

大气数据计算机的典型输出量包括：气压高度、指示空速或计算空速、垂直速度、马赫数、真空速、全受阻温度和大气静温等。这些信号一方面送到显示器上供飞行员判读，另一方面又送到飞行指引仪、自动飞行控制系统等需要大气数据参数的系统。

1.1.4 静压源误差修正

由于传感器的安装处不可避免地存在空气扰动，从而使静压传感器收集到的压力和飞机所在处的实际静压之间存在着误差，称为静压源误差。该误差的大小取决于飞机的马赫数、迎角以及传感器感受到的压力。该误差会影响飞行参数的计算，故需要引入静压源误差修正（Static Source Error Correction, SSEC）。

在模拟式大气数据计算机中有专门的电路对静压源误差进行修正，如图 1.3 所示。

数字式大气数据计算机中是将静压源修正规律编排成矩阵，如图 1.4 所示。在一台数字式大气数据计算机中可以编排多种型号飞机的静压源误差修正矩阵，只需改变数字式大气数据计算机后面的销钉的排列顺序，就可以改变静压源误差修正矩阵中的元素，以适应不同机型的需要。

1.2 大气数据计算机指示仪表

大气数据计算机的指示仪表可以是机械指针式的，也可以是以数字形式显示的，都统称为电动大气数据仪表。这些仪表包括电动马赫/空速表、电动高度表、电动升降速度表、真空速表和全温/静温表。

1.2.1 机械式飞机上的大气数据仪表

1. 电动马赫/空速表

电动马赫/空速表主要显示（指示）指示空速或计算空速、马赫数以及最大空速，如图 1.10 所示。

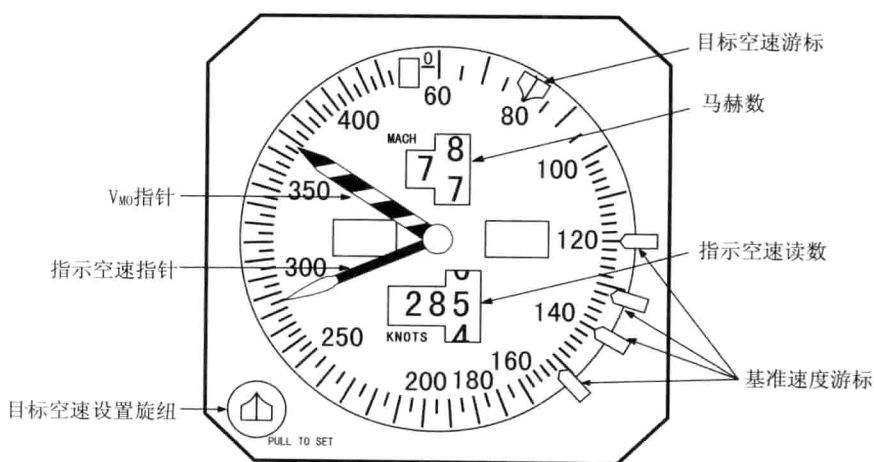


图 1.10 电动马赫/空速表正常指示

1) 空速的指示和显示

空速指针 —— 直接指示出飞机目前的指示空速值；

空速窗口 —— 以数字的形式显示出飞机目前的指示空速；

马赫数窗口 —— 以数字的形式显示马赫数值，范围为 0.40 ~ 0.99；当飞机的马赫数低于 0.40 时，被一块黑色挡板盖住窗口；

最大空速指针 —— 指示出最大空速限制值。

2) 目标空速的作用及设置方法

电动马赫/空速表上有一个目标空速的设置旋钮和游标。目标空速是计划下一步要达到的空速值，目标空速和实际空速之差将作用于自动驾驶仪或自动油门，使它们改变飞机的姿态或发动机的推力，以便将飞机的空速改变到目标空速上。

目标空速的设置方法有自动和人工两种。拉出目标空速设置旋钮并转动该旋钮，可人工调定目标空速；推入该旋钮，可自动调定目标空速。自动调定又有两种方式：当 VNAV 方式未接通时，由 MCP 板上目标空速选择旋钮设置目标空速；当 VNAV 方式接通时，由 FMCS 所计算的或在 FMCS 的 CDU 上选择的目标空速自动设置目标空速。

3) 基准速度的作用及设置方法

电动马赫/空速表上的基准速度游标用于设置起飞和着陆时的基准速度。如起飞时，将基准游标分别调至 v_1 、 v_R 、 v_2+5 和襟翼全收上的机动速度，着陆时将基准游标调指 v_{REF} 、 v_{TGT} 、 $v_{REF}+5$ 、 $v_{REF}+15$ 和复飞后襟翼全收上机动速度等。基准速度和目标空速的区别在于基准速度只供飞行员参考，而不会对自动油门或自动驾驶仪起作用。

4) 电动马赫空速表上的警告显示

电动马赫空速表上的警告显示如图 1.11 所示。当大气数据计算机计算的指示空速不可靠时，“A/S”警告旗出现；当马赫数不可靠时，“MACH”警告旗出现；当最大空速指针指示不可靠时，“VMO”警告旗出现；当目标空速处于自动设置方式且目标大于 V_{mo}/M_{mo} 时，“INOP”警告旗出现；当空速游标由人工设置时，在仪表上方的 M 旗出现。

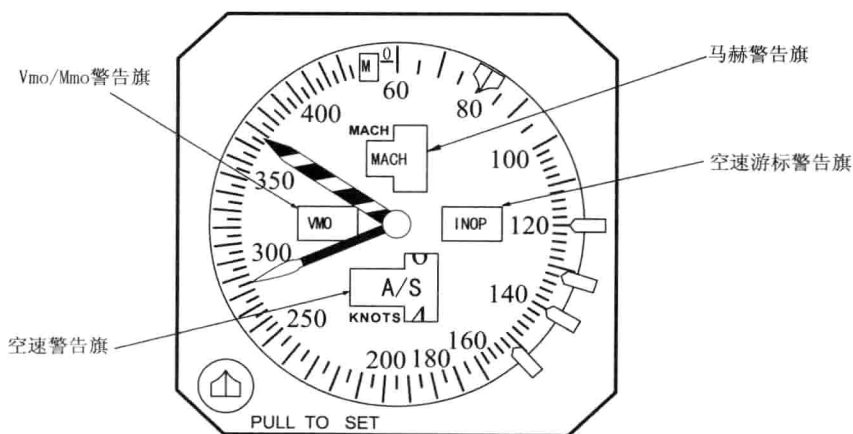


图 1.11 电动马赫/空速表警告旗显示

2. 电动高度表

电动高度表用于显示来自大气数据计算机的气压高度信号。大于 1000 ft 的粗高度信号经放大至随动机构，带动指针和数字显示。低于 1000 ft 的精高度信号经放大器至随动系统，带动指针指示和数字显示。其信号流程及正常指示如图 1.12 所示。当高度不足 10000 ft 时，有黑白相间的条纹出现，如图 1.12 (b) 所示。当高度低于海平面时，显示窗口的第一位上有“NEG”字符出现，如图 1.12 (a) 所示。当高度数据不可用或高度表没有电源时，“OFF”旗出现，如图 1.12 (c) 所示。

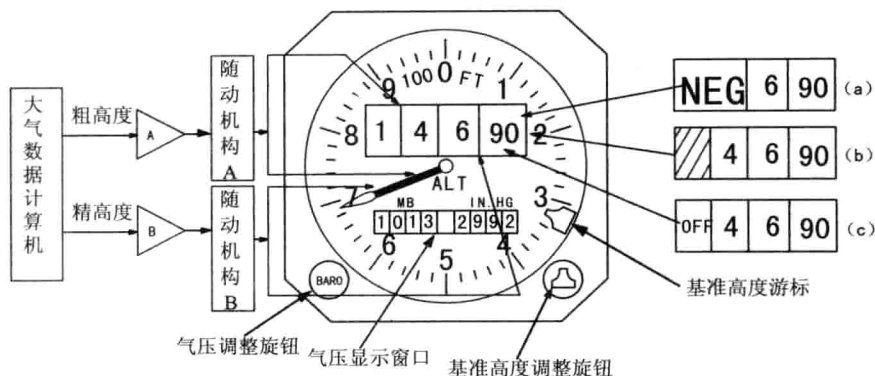


图 1.12 电动高度表

气压显示是经过一个非线性机构和自动机构加到高度指示器和气压窗口。气压数字范围是 22.01 ~ 31.00 inHg (744.92 ~ 1117.38 mbar)。仪表右下角的基准高度调节旋钮，用于人工调节表上的高度游标，调定最低下降高度 (MDA) 或决断高度 (DH)。

3. 电动升降速度表

电动升降速度表如图 1.13 所示。它接受来自大气数据计算机的高度变化率信号。当大气数据计算机传送的高度变化率无效或表没有电源时，“OFF”旗出现。

4. 全温/静温/真空速综合指示器

在多数飞机上都采用全温/静温/真空速综合指示器，如图 1.14 所示。全温/静温/真空速信息都来自大气数据计算机。

左窗口永远显示真空速，有 TAS 字符显示，单位为 kn (节)；右窗口可显示静温或总温，单位为 °C。显示的内容可以通过按压静温/总温转换按钮进行切换。当选择静温时，SAT 字符点亮，如图 1.14 (a) 所示；当选择总温时，TAT 字符点亮，如图 1.14 (b) 所示。

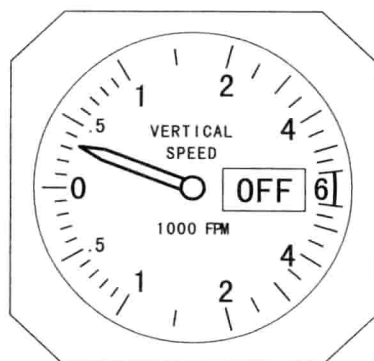
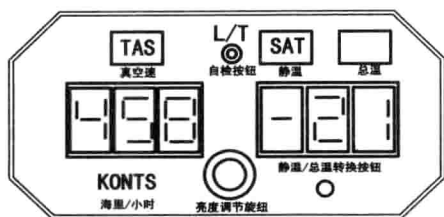
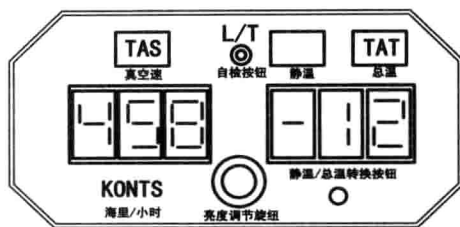


图 1.13 电动升降速度表



(a) 静温显示



(b) 总温显示

图 1.14 TAT/SAT/TAS 指示器

1.2.2 EFIS 飞机上的大气数据仪表

在 EFIS 飞机上, 大气数据参数都集中显示在主飞行显示器 PFD (Primary Flight Display) 上和系统显示器 SD (System Display) 上。图 1.15 是 PFD 上显示的速度、气压高度和垂直速度。图 1.16 是 SD 上显示的总温/静温。

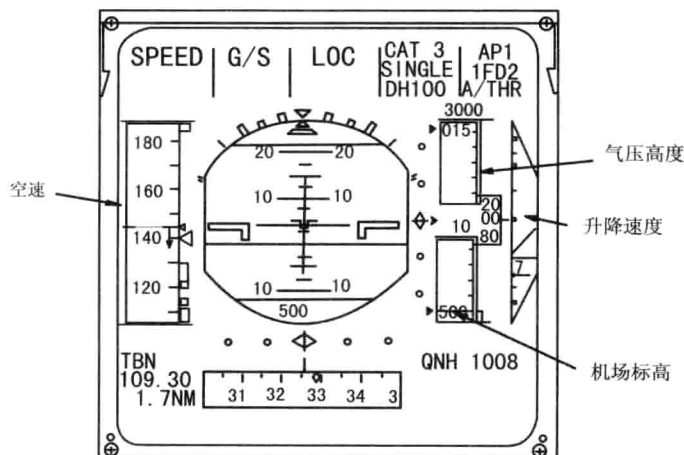


图 1.15 PFD 上显示的空速/高度和垂直速度显示

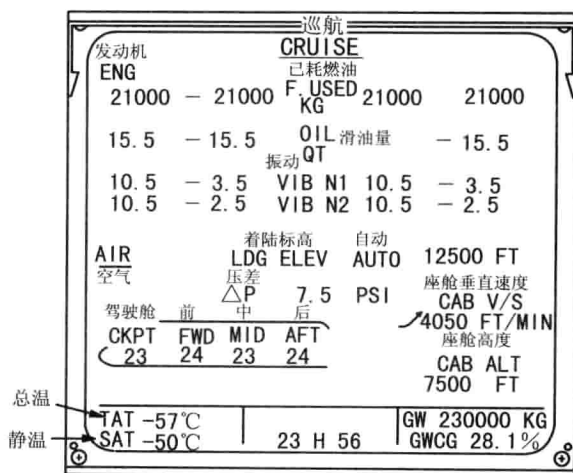


图 1.16 SD 上总温和静温显示