

第 1 章 大气数据计算机系统

1.1 概述

大气数据计算机系统 (ADCS) 又称为大气数据系统 (ADS), 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、全压、总温 (TAT) 等原始参数, 在迎角 (AOA) 等信号的修正作用下, 采用先进的技术, 解算出气压高度、指示空速或计算空速 (校正空速)、垂直速度、马赫数、真空速、全受阻温度和大气静温 (SAT) 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 2 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出现故障时, 便可以通过转换电门, 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。

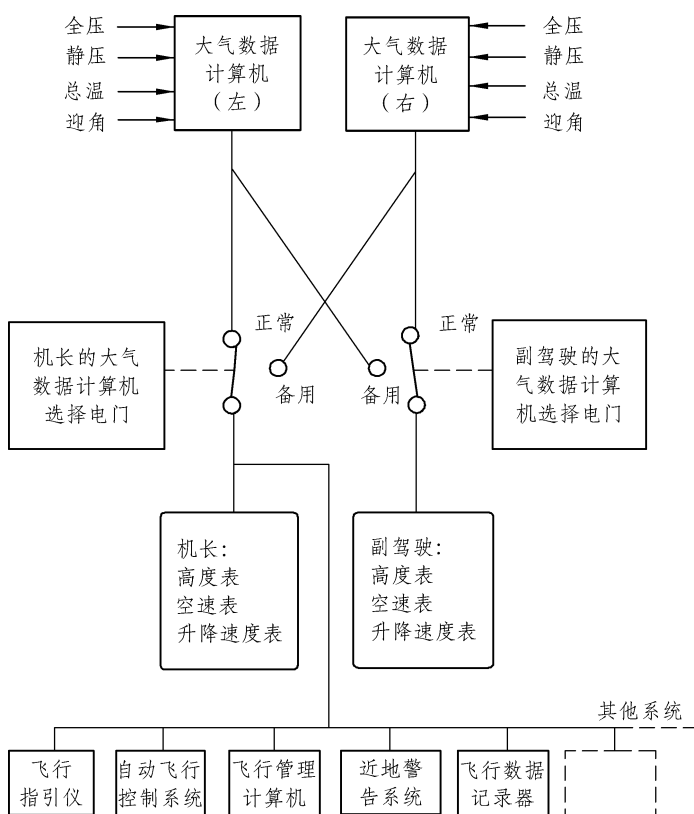


图 1.1 大气数据计算机系统的输入和输出

1.2 大气数据计算机系统的组成

大气数据计算机系统由传感器输入装置，计算机或解算装置和驾驶舱指示、显示装置及信号输出三部分组成，如图 1.2 所示。

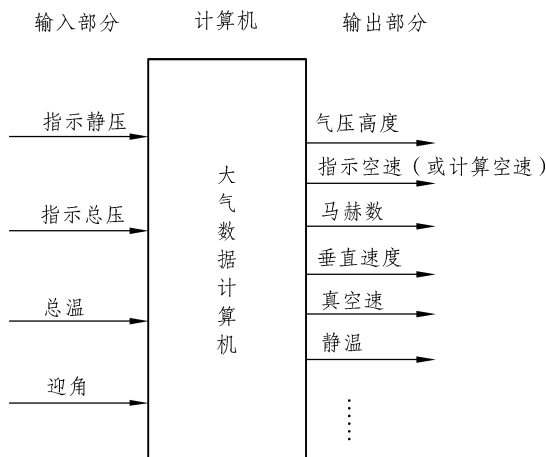


图 1.2 大气数据计算机的组成

传感器输入装置一般包括静压传感器、全压（或动压）传感器、总温传感器和迎角传感器等四种。传感器的作用是感受相应的大气数据信号，将其转化为电信号后输送到计算机或解算装置。静压传感器、全压（或动压）传感器、总温传感器的信号主要用于计算，而迎角传感器的信号主要用于误差修正。

计算机或解算装置的主要作用是对传感器输入的静压、全压（或动压）、总温等数据进行处理和计算（或解算），输出所需的大气数据参数，并对静压源误差进行矫正，使计算的大气数据更加准确。

驾驶舱指示、显示装置及输出装置的功用是向机组指示或显示有关的大气数据参数，或将这些参数输送到飞行指引仪、自动飞行控制系统等相关设备。

1.2.1 大气数据计算机

大气数据计算机（ADC）的主要功能是进行大气数据的计算（或解算）和误差修正，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发出警告旗，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模拟式、数字式和混合式 3 种。

模拟式大气数据计算机根据静压传感器、全压传感器和总温传感器输入的静压、全压和总温信号，利用高度、速度、马赫数等机电式伺服式解算装置（或函数凸轮或函数电位计），解算并输出高度、空速和马赫数的模拟量，这些模拟输出信号直接传到显示仪表上。模拟式大气数据计算机的结构和原理如图 1.3 所示。早期飞机（如波音 707 飞机和空客 300 飞机）都是用这种计算机。

数字式大气数据计算机采用微型计算机作为计算装置，由程序完成大气数据的计算和输

入/输出等处理工作。这类大气数据计算机能够处理模拟量、数字量和离散量，能够直接输出数字信号和离散信号。数字式大气数据计算机的结构和原理如图 1.4 所示。20 世纪 70 年代以后的飞机（如波音 777，波音 767，空客 A310）采用数字式大气数据计算机。

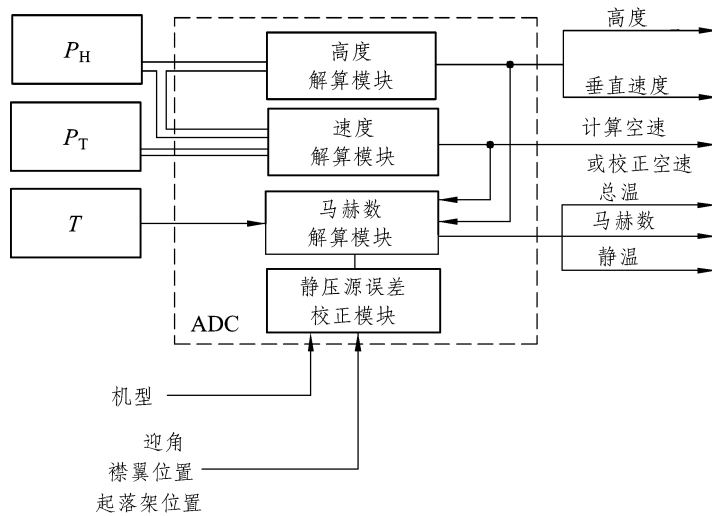


图 1.3 模拟式大气数据计算机的结构和原理

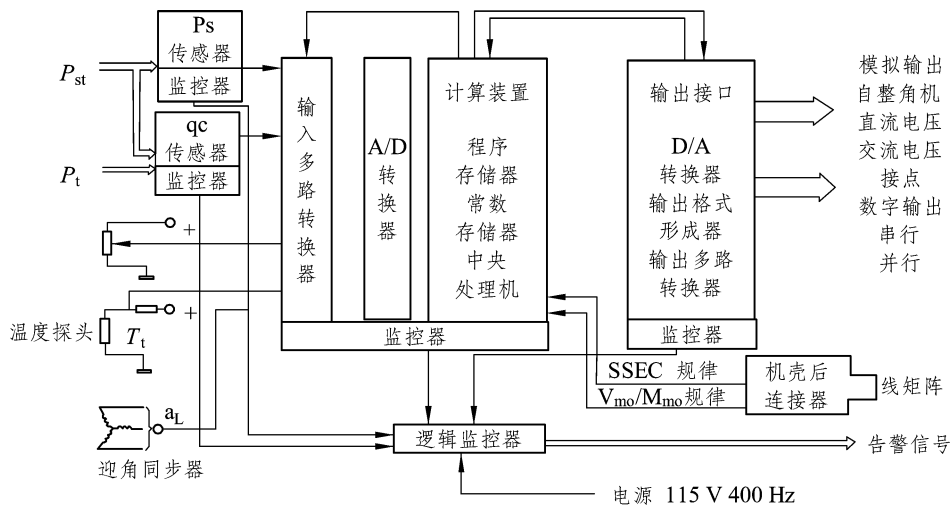


图 1.4 数字式大气数据计算机的结构和原理图

混合式 ADC 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。

1.2.2 传感器及输入装置

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（或动压传感器）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。

1.2.2.1 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。

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。

1. 模拟式大气数据计算机系统中的压力传感器

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。图中， P_r 为参考压力，当 P_r 为真空， P_x 为静压时，该传感器为静压传感器；当 P_r 为真空， P_x 为全压时，该传感器为总压传感器；当 P_r 为静压， P_x 为全压时，该传感器为动压传感器。当所测压力改变时，将改变电容 C_1 和 C_2 的值，利用电桥测量 C_1 和 C_2 的值就可以测出压力。

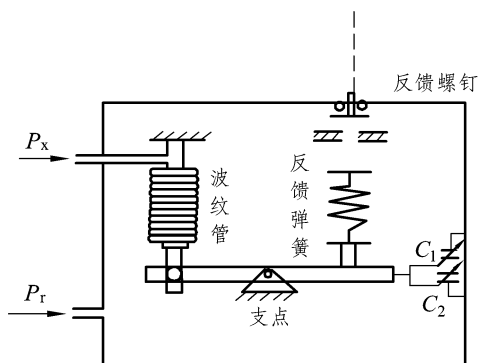


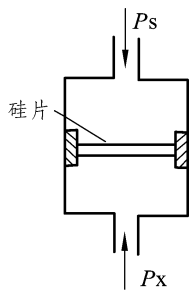
图 1.5 模拟式大气数据计算机中的压力传感器

2. 数字式大气数据计算机系统中的压力传感器

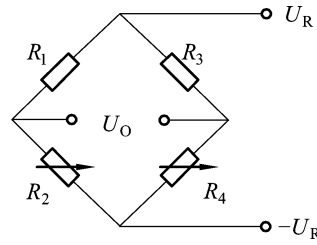
在数字式大气数据计算机系统中一般使用固态压力传感器及相关电路将压力转换为电信号。这些固态传感器利用自身的特性可以将压力转换为电阻、电容或频率。将压力转换为电阻的，称为压阻式压力传感器；将压力转换为电容的，称为压容式压力传感器；将压力转换为频率的，称为压频式压力传感器。

各种固态压力传感器的原理不同，特性也不同。本章只以压阻式压力传感器为例说明固态压力传感器的原理。

压阻式压力传感器利用石英晶体的压电效应制成整体膜片，再在膜片上扩散形成应变电阻条，从而构成硅压阻芯片，如图 1.6 (a)。有些传感器只形成一个压阻条，有些传感器形成两个压阻条。无论形成几个压阻条，压力传感器电路都连接成惠斯登电桥的形式，如图 1.6 (b) 中 R_2 和 R_4 就是压阻式电阻。根据 P_s 和 P_x 的具体情况，该传感器所测的压力类型也可以是全压、静压或动压。



(a) 压阻式压力传感器的敏感元件



(b) 压阻式压力传感器的转换电路

图 1.6 压阻式压力传感器

1.2.2.2 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，它与空气静温之和称为全受阻温度或总温。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。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。传感器的进气口通常安装在一个小的流线型支柱顶部。该流线型支柱加固安装在机头周围表面的预留位置上，因为那个位置的附面层空气几乎不发生绝热压缩。在附面层空气进入探头到达感温元件之前，该气流会由于探头结构而转弯 90°。然后气流会通过探头外壳上的排气孔排出，以保持新气流的不断进入。感温元件是一根封装在两个同心白金管中的纯白金电阻丝，探头上的加热条用于防止结冰。加热器对温度指示影响很小，在马赫数为 0.1 时，典型影响值为 0.9 °C，在马赫数为 1.0 时，典型影响值为 0.15 °C。

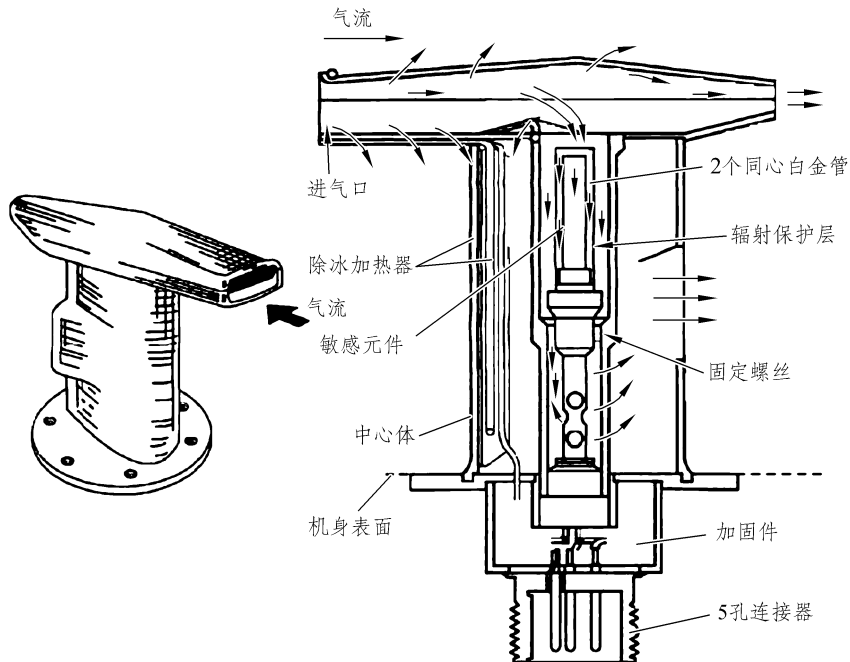


图 1.7 总温传感器

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。

总温传感器测量的是总温，需要计算机通过式 1-1 解算出静温。

$$T_H = \frac{T_T}{1+0.2Ma^2} \quad (1-1)$$

式中： T_H 为静温， T_T 为总温， Ma 为马赫数。

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。

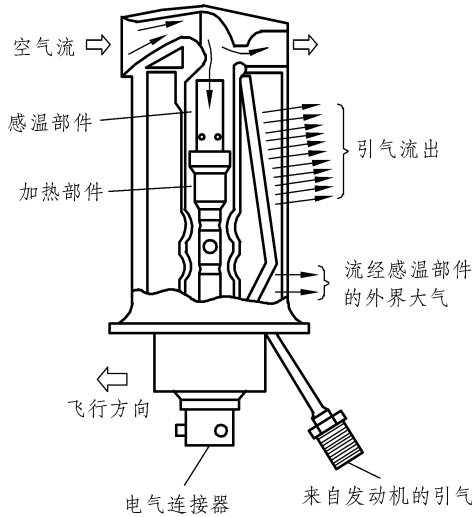


图 1.8 带发动机引气的总温传感器

1.2.2.3 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翼弦平行安装时，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小到最小。

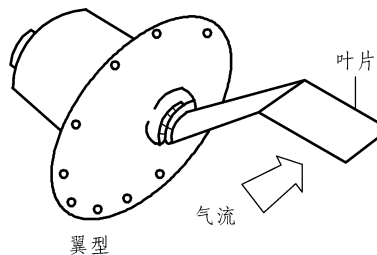


图 1.9 迎角传感器

1.2.3 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。

1.2.4 静压源误差修正

由于传感器的安装处不可避免地存在有空气扰动，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。该误差影响到飞行参数的计算，故需要引入静压源误差修正（SSEC）。该误差的大小主要取决于飞机的马赫数、静压孔的位置、机型、迎角、襟翼位置和起落架位置。

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，在该修正电路中主要使用了马赫数信号和迎角信号，如图 1.3 中所示的静压源误差校正模块。

数字式大气数据计算机中是将静压源误差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。

1.3 系统优越性

数字式大气数据计算机具有如下优越性：

（1）采用了中/大规模的集成电路以及与之相适应的固态压力传感器，删除了机电模拟系统中容易出故障的机械运动部件，减少了电器连线和焊接点，因此大大提高了工作的可靠性和使用寿命。

（2）计算误差小，其主要误差多半来源于原始参数传感器。数字计算机方便对传感器进行非线性校正，温度误差校正及静压源误差修正，这样就降低了对传感器特性的要求，简化了传感器的结构。

（3）提高信息的一致性。在大气数据计算机中，由原始信息算出各参数并统一提供给各系统。

（4）提高了可靠性。大气数据计算机中均设有自检和故障监测功能，并且一般飞机上配有两套系统，当一套系统出现故障时，不会影响飞机系统的工作。因此它是有冗余度的系统，可靠性很高。

（5）易于标准化、系列化。适用于不同硬件，功能易于扩展，大大提高了系统的适应性、经济性和易维护性。

（6）易于和其他机载数字系统连接，使机载仪表和控制系统等实现高度综合化，进而可以向大系统方向发展。

1.4 指示仪表

在早期飞机上，大气数据计算机输出的参数多以分立式仪表的形式指示出来，指示仪表多为电动仪表。在现代飞机上，大气数据计算机输出信号则以数字形式显示在电子仪表上和多功能控制显示组件（MCDU）上。

1.4.1 电动式大气数据仪表

1. 电动马赫/空速表

电动马赫/空速表主要显示计算空速（或校正空速）、马赫数以及最大空速，如图 1.10 所示。

计算空速（或校正空速）是指指示空速经过静压源误差修正后得到的参数。当以海里/小时为单位时，指示空速表示为 KIAS，计算空速（或校正空速）表示为 KCAS。

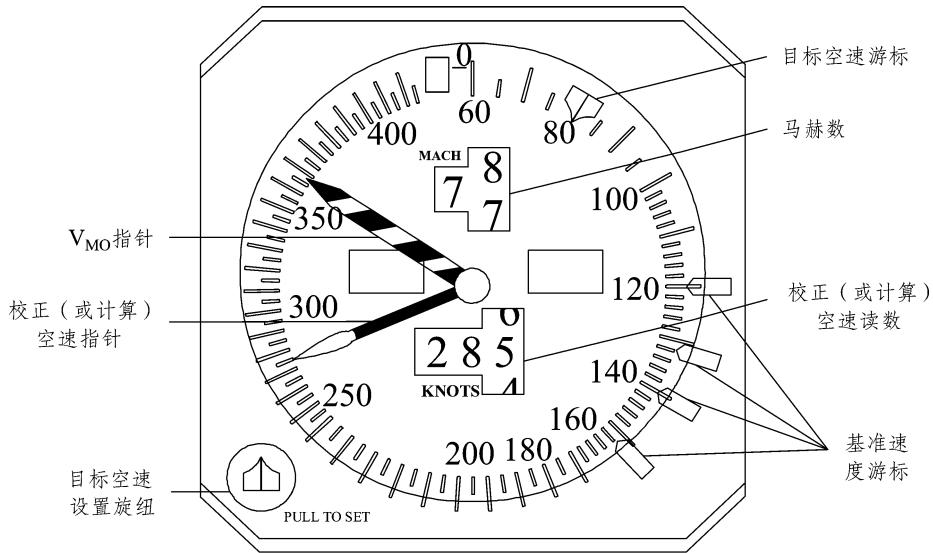


图 1.10 电动马赫/空速表正常指示

1) 空速的指示和显示

空速指针——直接指示出飞机目前的校正空速值（或计算空速值）；

空速窗口——以数字的形式显示出飞机目前的校正空速（或计算空速）值；

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，使自动驾驶仪改变飞机的俯仰姿态，或使自动油门改变发动机的推力，以便将飞机的空速控制在目标空速上。

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，具体方式由自动飞行系统所选择的方式决定，当垂直制导（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；当垂直制导（VNAV）方式接通时，由 FMCS 所计算的或在 FMCS 的 MCDU 上选择的目标空速自动设置目标空速。

关于自动驾驶仪、自动油门、垂直制导（VNAV）、MCP 板以及 FMCS 的内容参见本书后续章节。

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，将基准游标分别调至 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校正空速（或计算空速）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，且目标空速大于 V_{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。

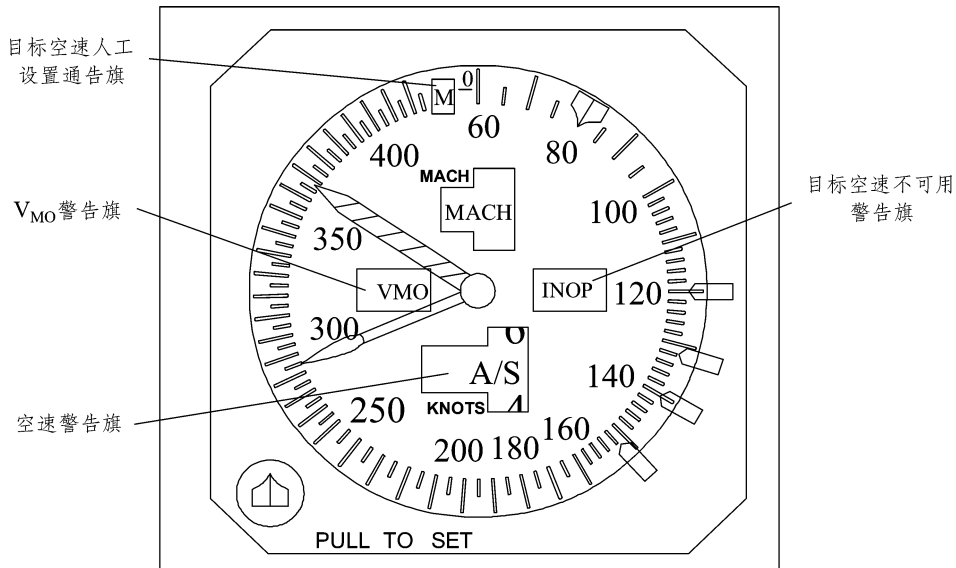


图 1.11 电动马赫/空速表警告旗显示

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。高度基准面气压值通过气压调整旋钮（BARO）设定，设定的气压基准值显示在气压窗口内，单位为毫巴（mbar）和英寸汞柱（inHg）。

高度由数字读数和模拟指针的形式同时进行显示和指示。从左到右，第 1 位数字显示的高度单位为万英尺，第 2 位数字显示的高度单位为千英尺，后 3 位显示的高度单位分别为百英尺和十英尺，指针指示的高度单位也为百英尺和十英尺。高度显示指针的最小刻度是 20 ft。

如图 1.12 (a) 所示, 显示 (指示) 的高度为 14 690 ft。当高度不足 10 000 ft 时, 第一位数字由黑白相间的条纹遮挡住, 如图 1.12 (b) 所示。当高度低于海平面时, 显示窗口的前 2 位数字被 NEG 字符代替, 如图 1.12 (c) 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 (d) 所示。

高度表的右下角有一个基准高度设置旋钮, 用于设置基准高度 (如最低下降高度), 设置的基准高度由基准高度游标在刻度盘上显示。

3. 电动升降速度表

电动升降速度表如图 1.13 所示。它接收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

在某些飞机上采用全温/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。

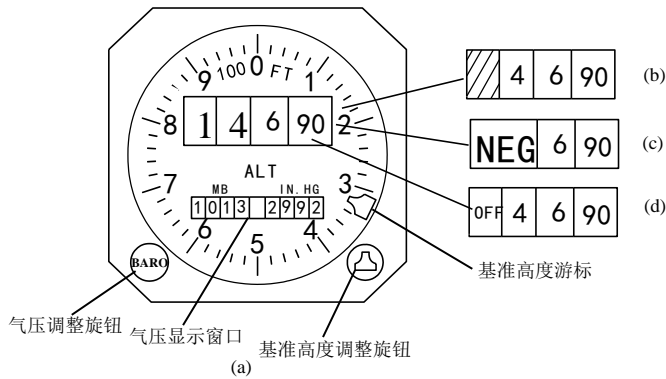


图 1.12 电动高度表

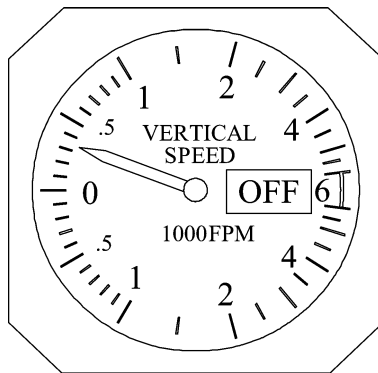
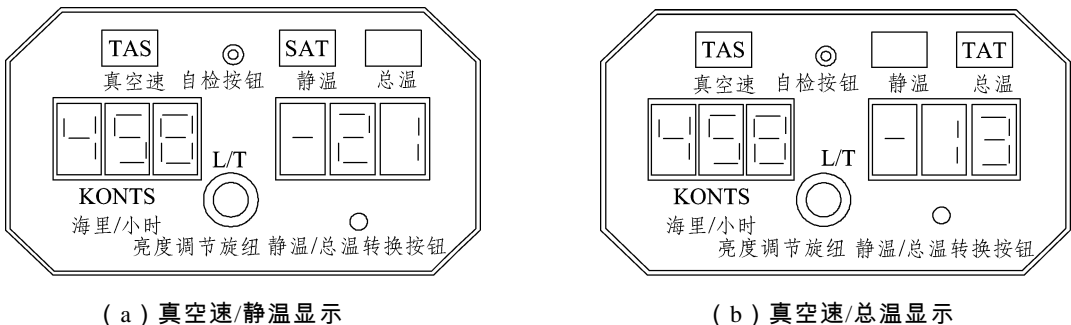


图 1.13 电动升降速度表

左窗口永远显示真空速，有 TAS 字符显示，单位为节 (kt)；右窗口可以显示静温或总温，单位为摄氏度 (°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 字符燃亮，如图 1.14 (a) 所示；当选择总温时，TAT 字符燃亮，如图 1.14 (b) 所示。



(a) 真空速/静温显示

(b) 真空速/总温显示

图 1.14 TAT/SAT/TAS 指示器

1.4.2 电子显示器上大气数据的显示

在以电子显示为平台的驾驶舱显示系统中，大气数据的有关参数都通过数字的形式在相

关的显示器上进行显示。

1. PFD 上显示的大气数据参数

PFD 上显示的大气数据参数有：左侧的速度显示，右侧的气压高度显示，以及最右侧的升降速度显示。如图 1.15 所示。

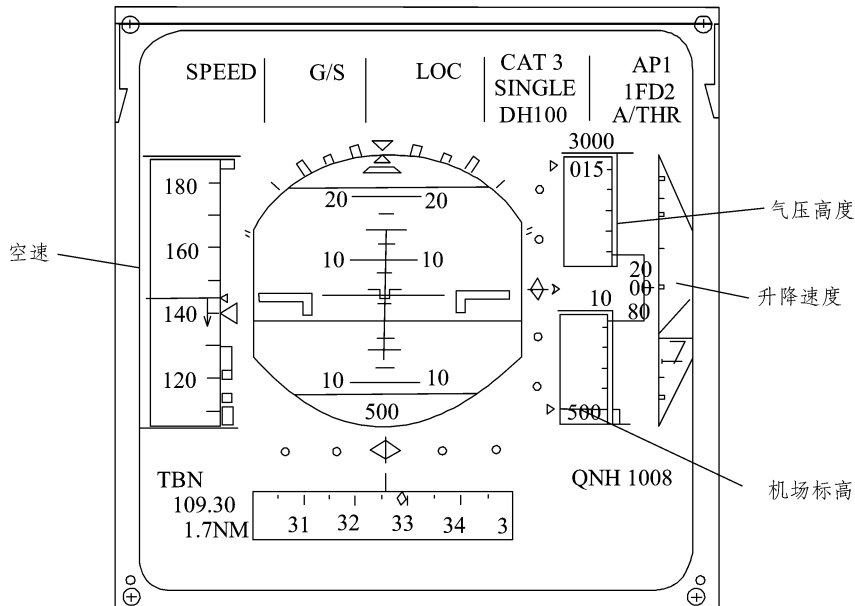


图 1.15 PFD 上显示的大气数据参数

速度信息显示在 PFD 的最左侧。在不同的飞行阶段，PFD 上显示的速度信息有所不同，但总的来说包括计算快速（或校正空速）、目标空速、速度变化趋势、最大操纵速度/最大操纵马赫数、失速速度等。当 $Ma \geq 0.4$ 时，还进行马赫数的显示。速度变化趋势是指若保持目前的加速度飞行，在一定时间（如 6 s）之内，飞机的速度将达到箭头所对应的速度值。

气压高度显示在姿态球的右边。气压高度的显示内容包括目前的气压高度值和目标高度值，以及高度基准面的气压值。目前的气压高度值和目标高度值可以只以英尺为单位进行显示，也可以同时以英尺和米为单位进行显示。

升降速度信息显示在 PFD 的最右边，升降速度的显示包括目前的升降速度指针和读数，以及目标升降速度。

2. ND 上显示的大气数据参数

大气数据计算机输出的真空速可以在 ND 的左上角显示，如图 1.16 所示。

3. EICAS 主显示器上显示的大气数据参数

在 EICAS 主显示器上显示的大气数据参数是总温（TAT），如图 1.17 所示。

4. EICAS 辅助显示器上显示的大气数据参数

在 EICAS 辅助显示器上的性能维护页面上，显示的大气数据参数有 SAT（静温）、CAS

(计算空速)、MACH (马赫数)、TAT (总温) 和 ALT (气压高度) 等, 如图 1.18 所示。

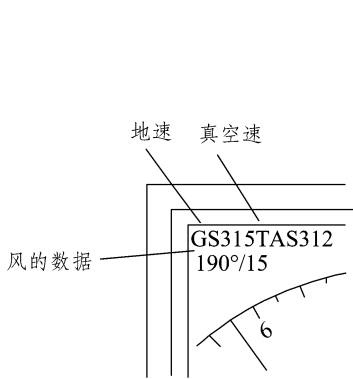


图 1.16 ND 上显示的真空速

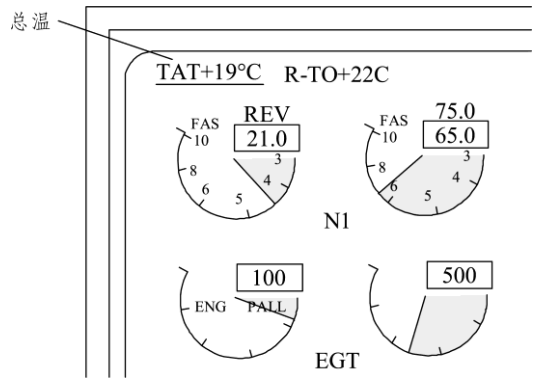


图 1.17 EICAS 主显示器上显示的总温

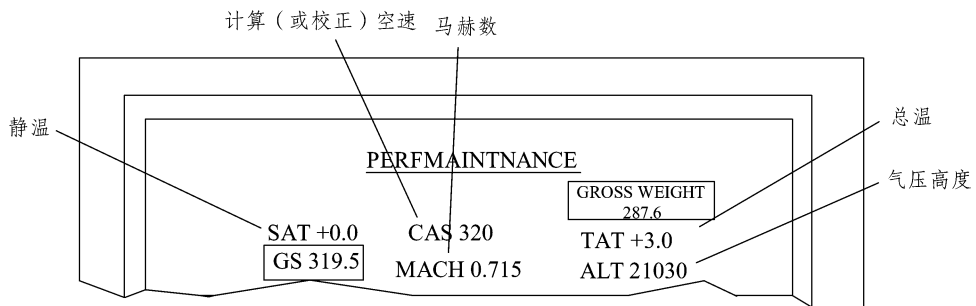


图 1.18 EICAS 辅助显示器上的性能维护页面上显示的大气数据参数

5. 在 S/SD 上显示的大气数据参数

在空客飞机的系统/状态显示器 (S/SD) 底部左下角可以显示静温和总温, 如图 1.19 所示。

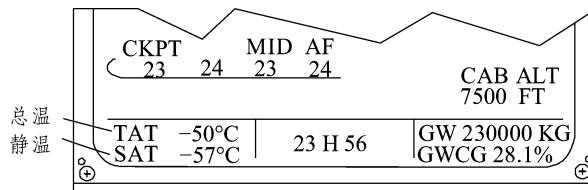


图 1.19 S/SD 上显示的静温和总温

1.4.3 在 MCDU 上显示的大气数据参数

大气数据的静温和真空速可以在 MCDU 的进程页面上显示, 如图 1.20 所示。

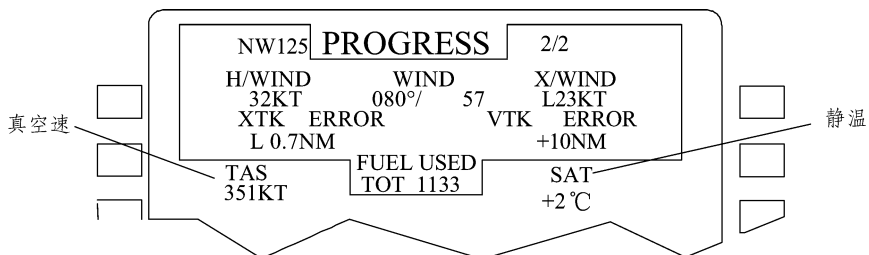


图 1.20 MCDU 的进程页面上显示的大气数据参数

1.5 使用特点

大气数据计算机系统的输出信号除用于仪表的显示（指示）外，还要向飞机的其他设备提供信号。所以在飞机起飞前，就应接通和大气数据计算机系统有关的电门，如大气数据计算机电门、总温传感器加温电门、迎角传感器加温电门等；还要对全静压系统加温、总温传感器加温和迎角传感器的加温装置等进行检查；在驾驶舱中，当电源设备接通，计算机工作正常后，相应的指示仪表上的故障警告旗应不可见，仪表应按飞行手册的说明，指示相应的数值。

为了检查指示仪表的正确性，在有的仪表上有测试电门，应用此电门对仪表进行测试。测试时，仪表的指示应符合飞机的飞行手册要求。

飞行中根据仪表的使用及飞行程序，调节仪表上的电门及旋钮，如高度表的气压调整旋钮，空速/马赫数表上的目标空速游标控制钮等。飞行中，大气数据计算机系统的电动指示仪表的故障旗不能出现。如一套 ADC 故障，就用另一套无故障的 ADC 及相应仪表。同时，注意 ADC 故障会影响相应的设备。假如飞机上仅有的两套大气数据计算机系统均出现故障，就只能用飞机上备用的气压式高度表和指示空速表判断飞机的气压高度和指示空速，且那些需要大气数据计算机的输出信号进行工作的系统将无法正常工作。

假如有的飞机上无静温表，静温就只有用全温表指示的温度值和飞行的马赫数，通过飞行手册查表得到。

复习思考题

1. 大气数据计算机系统的作用是什么？其输入/输出的主要参数有哪些？
2. 说明大气数据计算机的种类有哪些？
3. 比较模拟式大气数据计算机与数字式大气数据计算机的主要特征。
4. 说明电动马赫/空速表上目标空速的设置方法和作用。
5. 说明模拟式大气数据计算机系统和数字式大气数据计算机系统中使用的压力传感器的类型。
6. 说明模拟式大气数据计算机系统和数字式大气数据计算机系统中静压源误差修正的方法。
7. 空速表上的基准游标与空速游标有何不同？在飞行中如何使用？

8. 当高度表上出现 NEG 字符表示什么意思？
9. 电动马赫空速表上哪些参数是由大气数据计算机计算的？
10. PFD 上显示的大气数据有哪些？
11. ND 上显示的大气数据有哪些？
12. EICAS 主显示器上显示的大气数据有哪些？
13. EICAS 辅助显示器上显示的大气数据有哪些？
14. S/SD 上显示的大气数据有哪些？
15. CDU 上显示的大气数据有哪些？