

第 1 章 驾驶舱仪表与操纵系统

驾驶舱仪表与操纵系统是飞行员驾驶飞机的操纵界面，对其使用方法的掌握，包括熟悉仪表的类别、功能、认读和仪表布局，操纵系统的功能和操纵方法，以及各仪表与相应操纵设备、导航或动力系统的联系。各型飞机的驾驶舱仪表与布局，以及操纵系统具有相同或相似的特点（见图 1.1、图 1.2），对具体机型的操作，要按其飞行手册执行。



图 1.1 Beachcraft Boron 58 驾驶舱仪表

1.1 仪表系统

飞机的仪表系统就像人的感觉器官和神经系统，使飞行员能够掌握飞机的状态和位置。为便于学习，下面首先以小型活塞式发动机飞机的机电分离式仪表为例对各仪表的功能、认读，以及各仪表之间的关系进行讲解，再介绍电子仪表系统。

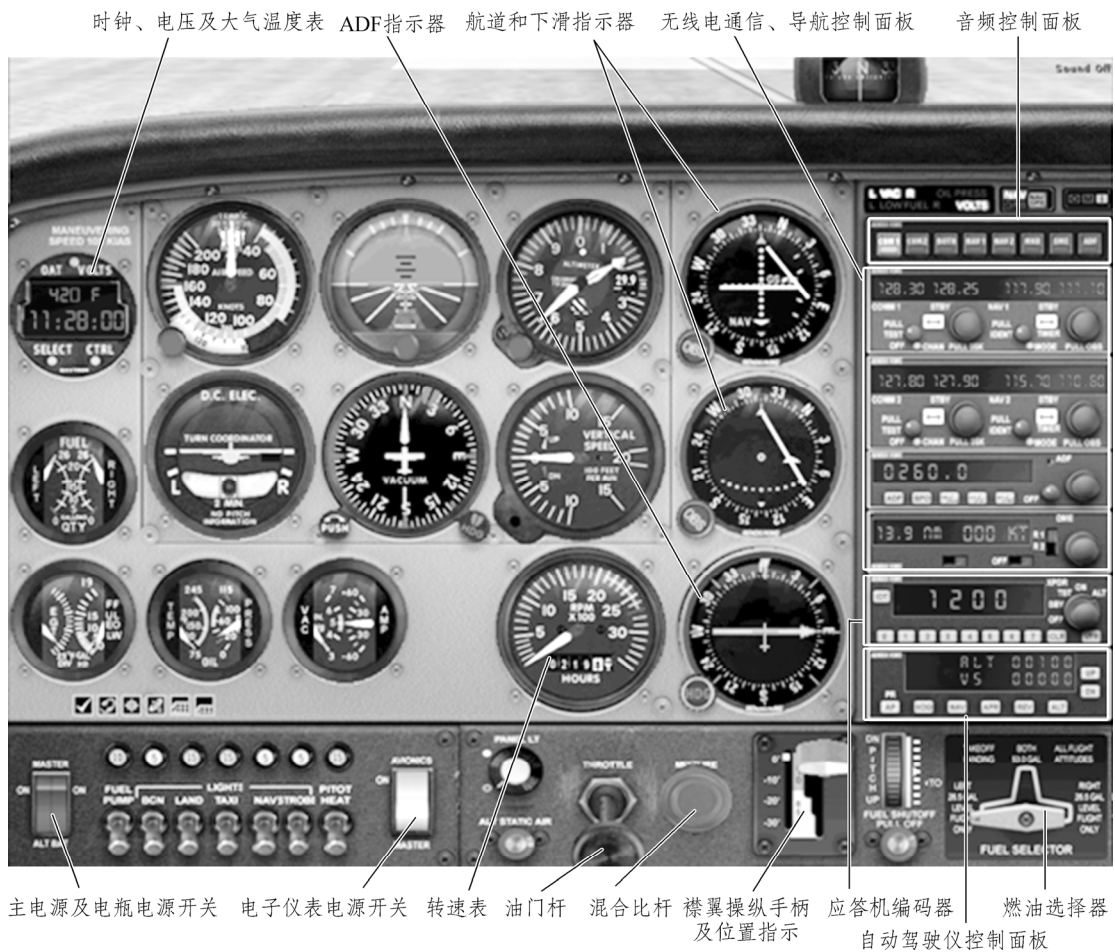


图 1.2 Cessna 172SP 驾驶舱仪表

1.1.1 分离式仪表系统

驾驶舱仪表系统可分为飞行仪表系统、无线电导航/通信仪表系统、自动飞行系统（很多小型飞机只有自动驾驶仪）、发动机及电气仪表系统、操纵面位置指示器和灯光、音响指示系统。

1. 飞行仪表系统

飞行仪表系统与飞机的姿态和速度操纵有关，以及监控飞机的高度、速度和航向。它包括姿态仪 AI（或姿态指引仪 ADI）、航向仪 HI（或水平状态指示器 HSI 航向仪部分）、速度表 ASI、高度表、转弯协调仪 TC 和垂直速度表 VSI。前四种仪表呈“T”字形分布，后两种分别位于“T”字形的左、右下方，如图 1.3 所示。这种布局方式具有普遍性。

1) AI/ADI

AI/ADI 指示飞机的俯仰和坡度。仪表上代表地平线的水平线把表盘分为两部分，上面为

蓝色，下面为黑褐色。也把垂直方向上的刻度分为两部分，分别表示 $0^{\circ} \sim 20^{\circ}$ 上仰和下俯角，即飞机纵轴与地平线的夹角。表盘上方的环形刻度表示飞机的坡度，即飞机横轴与水平面的夹角（或立轴与垂直面的夹角），中间的倒三角形“▼”表示 0° ，左、右刻度分别为 10° 、 20° 、 30° 和 60° ，飞机倾斜时指针随飞机转动，刻度环和中间部分保持水平状态（因此人工地平线的倾斜方向与飞机偏转方向相反），指针指示坡度。ADI 除指示飞机的姿态外，还可与飞行指引仪（FD）关联，打开 FD 后，出现指引针，引导飞行员上/下、左/右修正飞行航迹。另外，ADI 还可以显示来自仪表着陆系统的航向道和下滑道偏离信号、来自无线电高度表的决断高度警告信号、转弯侧滑指示，以及快、慢指示（实际空速与目标空速之差）。



图 1.3 飞行仪表系统

2) HI/HSI

航向仪指示飞机的磁航向，即磁经线北端顺时针量到飞机纵轴机头方向的夹角。水平状态指示器（HSI）除指示航向外，还可以显示甚高频航道偏离信号、仪表着陆系统的航道和下滑道偏离信号，以及 DME 距离与地速。航向仪表都有航向选择旋钮，用以调整表盘上的游标指示预选航向。

3) TC

转弯协调仪分为上、下两个部分，上部分指示飞机的倾斜程度和转弯率大小，下部分指示转弯侧滑情况。飞机带倾斜坡度时，表盘中央的小飞机也倾斜，且与飞机倾斜方向相同，翼尖指示刻度“L”或“R”时，对慢速飞机表示以标准转弯率 $3^{\circ}/s$ 左或右转，对快速飞机表示以转弯率 $1.5^{\circ}/s$ 左或右转。下部分的弯管中有一个侧滑小球，侧滑小球指示飞机的纵轴与迎面气流的关系：飞机纵轴与迎面气流平行，不带侧滑，小球居中，为直线飞行或协调转弯；迎面气流从飞机左或右前方吹来，小球向左或右偏离中间位置，指示左或右侧滑。

4) 气压式高度表

气压式高度表指示飞机的气压高度，单位通常是英尺(ft)，有两到三个指针分别指示万、千和百英尺，通过表下方的气压调节旋钮调节基准气压面，基准气压面气压值在表中的气压窗口显示。

5) VSI

升降速度表指示飞机的上升/下降率，单位通常是百英尺/分，“0”刻度线的上、下刻度分别指示上升、下降率。

6) ASI

ASI 显示仪表空速或真空速，单位通常是节(kn)，其刻度环标有不同颜色的弧线，分别代表飞机各种构型或状态下的速度范围：白色弧线表示放襟翼状态下的速度范围，最小值为着陆构型下的失速速度；绿色弧线为飞机净形状态下的速度范围；黄色弧线代表超出正常速度的警戒速度范围，飞机只能在稳定气流中飞行方可达到此速度范围；红色标线指示最大速度，在任何情形下都不允许超出。

以上仪表出现故障时，会出现相应的警告旗，如航向警告旗在航向系统失效时，或航向系统处于快速协调过程中时出现，此时航向信号不可用。

2. 发动机及电气仪表系统

该系统用于监视发动机及电气系统的工作状态，包括进气压力表、转速表、燃油油量/流量表、滑油温度/压力表、气缸头温度表、排气温度表、电流/电压表、真空度表。这类仪表的刻度环往往有一个绿色的圆弧区，指针指示该区时，表示相应系统正常，有些还有黄色和红色的圆弧或标线，分别表示警戒和警告范围。

除大气条件和飞行速度外，活塞式发动机的功率受转速、进气压力和温度、混合比以及滑油温度的影响。进气压力表指示发动机气缸进气歧管处的气体压力，转速表指示曲轴转速，进气压力和转速越大，发动机功率越大。气缸头和排气温度与混合比大小有关。对无人工螺旋桨变距装置的飞机，由于转速直接对应进气压力和混合比，所以没有进气压力表，如 Cessna 172SP；而安装人工变距装置的飞机，转速的变化还要受到螺旋桨桨距的影响，因此，安装有进气压力表。

真空度表与真空泵驱动的气动陀螺仪表有关，如地平仪和航向仪。

相关知识：

1) 机体坐标轴系与飞行姿态

机体坐标轴系包括横轴、纵轴和立轴，相互垂直并交汇于飞机的重心，如图 1.4 所示。横轴与机翼平行，绕横轴的运动叫作俯仰，也称俯仰姿态变化；纵轴与机身平行，飞机的对称面通过纵轴与横轴垂直，绕纵轴的运动叫作滚转，也称横侧姿态变化；立轴与机体平面垂直，绕立轴的运动叫偏航，也称航向变化。

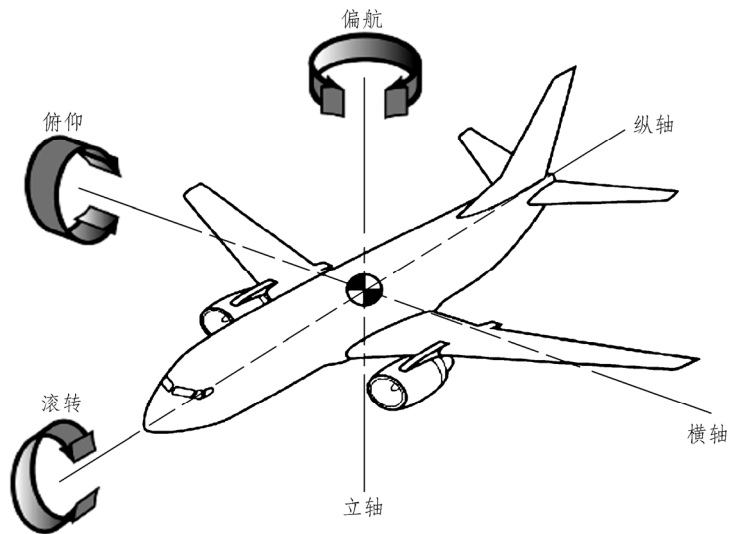


图 1.4 飞机机体坐标轴系

迎角是机翼翼弦与迎面气流的夹角，与升力系数的大小相关，如图 1.5 所示。俯仰姿态变化会直接引起迎角变化，其他姿态变化也会直接或间接影响迎角的大小，从而导致升力系数的改变。

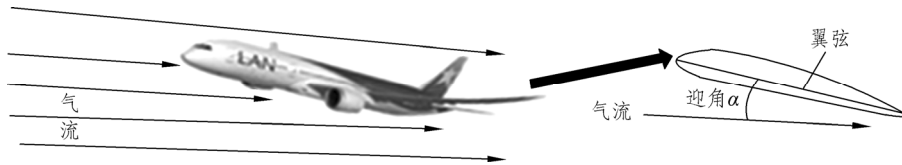


图 1.5 迎角的定义

2) 各仪表间的相互关系

对飞机的操纵控制可以分解为水平面内、垂直面内和纵向速度控制，上述飞行仪表以及进气压力和转速表也可以分为与飞机在水平面的运动有关、在垂直面内运动有关和与纵向速度有关的仪表，如图 1.6 所示。

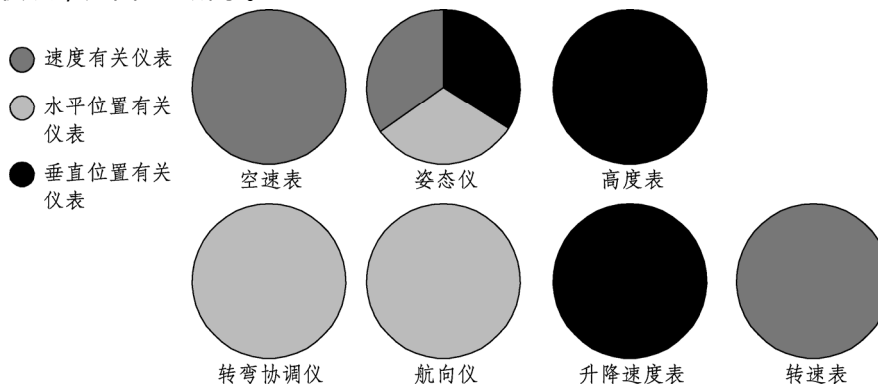


图 1.6 仪表的分布与分类

(1) 与垂直剖面内运动有关：姿态仪（俯仰）、高度表和垂直速度表。在垂直剖面内，飞机的上升、下降运动反映到高度表和垂直速度表上。在上升、平飞以及下

降之间转换时，需要改变升力，而改变升力，往往伴随俯仰角的调整。

(2) 与水平面内运动有关：姿态仪（坡度）、航向仪和转弯协调仪。

要改变飞机水平面内的运动轨迹，必然要做转弯操纵改变航向，而飞机的转弯，是通过使飞机倾斜一定的角度（坡度），以使升力倾斜而产生水平方向的分力，这个分力与飞机的运动方向垂直，成为转弯运动的向心力。转弯半径与向心力的大小和飞行速度有关，而向心力的大小与升力和坡度有关。为维持飞机的高度，升力在垂直方向上的分力始终与重力平衡，坡度越大，所需升力越大，在水平方向的分力也越大。向心力越大，转弯半径越小，转弯率越大。转弯率的大小可以参考转弯协调仪，一般不要超过 $3^\circ/s$ 。

飞机的转弯过程一般要求不带侧滑，即迎面气流与飞机的纵轴一致，在转弯操纵时应观察侧滑仪，掌握好盘舵的操纵量，使飞机的倾斜和机头偏转协调运动。

(3) 与纵向速度有关：姿态仪（俯仰和坡度）、速度表、进气压力表、燃油流量表和转速表。

如图 1.7 所示，飞机在空中飞行中受到四种力：重力、升力、阻力和拉（推）力，在匀速直线飞行中，即匀速直线平飞、上升和下降中，所受的重力、升力、阻力、拉（推）力处于平衡状态，合力为零。



图 1.7 飞行中的受力

不考虑外界大气条件，升力和阻力的大小决定于飞机的外形、迎角、速度和侧滑角。在飞行过程中，除起飞和着陆阶段，飞机通常保持净形状态，则升力和阻力就由迎角、速度和侧滑角决定。直线飞行中，侧滑角通常为 0° ，而迎角的变化与俯仰角的变化一致。

飞行速度的改变取决于拉（推）力和阻力的变化，拉（推）力的大小与发动机功率有关。匀速飞行时，拉力等于阻力，当飞机的构型或姿态（俯仰或倾斜角）发生变化，阻力也会随之改变；另外，阻力也与速度的平方成正比。因此，当飞机的构型或姿态发生变化时，要使飞机保持匀速飞行，就必须调整发动机功率，使拉（推）力与阻力相等；当需要调整飞机的速度时，改变发动机功率，使拉（推）力与阻力不平衡，从而改变飞行速度。随着飞行速度的改变，为了保持高度，需要调整飞机的俯仰角，以维持升力与重力的平衡。

飞机在水平面内、垂直剖面内运动和纵向速度的改变又是相互联系的。飞机上升、平飞和下降之间的转换，以及由直线飞行改为转弯或盘旋，都要改变飞机的姿态，阻力发生变化，如果保持飞机的速度，须调整拉（推）力使之与阻力平衡；当飞行速度发生变化时，如果不调整飞机的俯仰角，升力也会发生变化，导致飞机上升或下降。

3. 无线电通信/导航仪表系统

该系统包括控制盒、指示仪表与音频选择器。在控制盒面板上有频率选择、音量调节和系统测试功能，通常有两个频率显示窗，分别显示使用频率和备用频率，只能对备用频率进行调节，有一个频率转换按钮可使使用频率和备用频率相互转换。指示仪表指示飞机相对于电台的方位或距离，控制盒对应特定的指示仪表。测距仪控制盒面板上的显示窗显示距离和地速。音频控制面板（选择器）用于选择收听通信或导航电台的音频信号。

指示仪表有无线电磁指示器（RMI），指示电台方位角（QDM）或飞机方位角（QDR）；相对方位指示器（RBI），指示电台相对方位角（RB）；航道指示器（CDI），指示飞机实际所在航道与选择航道的关系；水平状态指示器（HSI）与下滑指示器，指示飞机实际位置与所选航道和下滑道的关系。

4. 自动飞行系统

自动飞行系统包括自动驾驶仪（AP）、飞行指引仪（FD）、自动油门系统（AT）、偏航阻尼系统（YD）、自动俯仰配平系统（APT）和飞行管理计算机系统（FMCS）。很多小型飞机上只有自动驾驶仪。在自动驾驶仪控制面板上可以选择自动驾驶的各种工作方式，如图 1.8 所示：航向方式（HDG）；导航方式（NAV）；进近方式（APR）；反航道进近方式（BC/REV）；高度方式（ALT）。

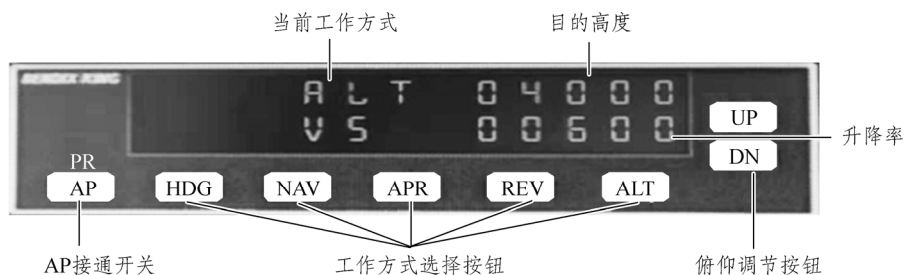


图 1.8 AP 控制板

5. 灯光指示系统

(1) 起落架位置指示灯：一组三个灯，放下锁好为绿色，收放过程中为红色，收上锁好灯熄灭。

(2) ILS 指点标信号灯：一组三个灯，为蓝色、琥珀色和白色，分别表示飞机在 ILS 进近过程中通过外、中、内指点标。

(3) 警戒和告警指示灯，如图 1.9 所示起落架、发电机和发动机启动告警指示。



图 1.9 告警指示灯

6. 操纵面或调整片位置指示器

- (1) 襟翼位置指示器：指示襟翼放下的角度。
- (2) 配平片位置指示器：指示升降舵、副翼或方向舵的配平片位置。

1.1.2 电子仪表系统

飞机电子仪表系统是将各种飞行姿态信息、状态信息、导航信息、气象信息以及飞机系统信息用六个显示组件进行控制和显示，其核心是计算机，将大气数据计算机系统、惯性导航系统、无线电导航系统、操纵系统以及飞机内部电气、环境控制等各系统的传感器送来的数据进行处理，生成图像送往显示器显示。六个显示器分别是两套电子飞行显示系统(FEIS)，包括主飞行显示器(PFD) 和导航显示器(ND)，正、副驾驶各一套；一套电子飞机集成监控系统(ECAM)，包括发动机警告显示器(E/WD) 和系统显示器(SD)。

1. EFIS 的控制和显示

1) EFIS 的显示

(1) PFD。

PFD 主要显示飞机的俯仰和倾斜姿态以及姿态指引，另外还显示一些附加信息，如图 1.10 所示。显示的附加信息：

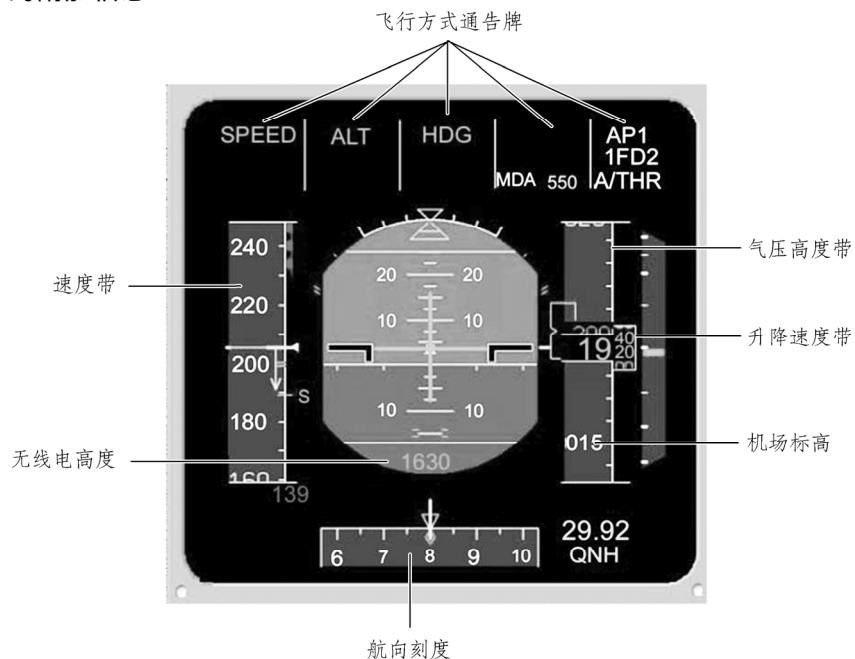


图 1.10 PFD 显示器

速度。随飞行速度的变化滚动，速度带指针指示的为飞机的仪表空速。还可以显示设

置的一些特定速度：指令速度，如 V_1 、 V_R ；限制速度，如最小机动速度、抖杆速度、最大速度、襟翼标牌限制速度、起落架放下最大限制空速；入口速度 V_{REF} ，等。

飞行方式通告牌，通告自动油门 AT 及自动飞行系统的飞行方式、决断高度或最低下降高度 (DA/MDA)。

气压高度带和垂直速度带，分别随飞行高度和升降速度滚动，指针指示气压高度和升降率，右下角显示基准面气压值。

机场标高，显示设置的机场标高。

航向刻度，指示飞机当前的磁航向。

航道 LOC 和下滑道 GS 偏离信息、盲降频率和 DME 信息，飞机进近时，显示 LOC 和 GS 偏离信息。如果是 ILS/DME 进近，还显示 DME 信息（左下角显示）。

(2) ND。

ND 上可显示的信息较多，由控制板上的方式选择旋钮选择显示格式，以使仪表简洁，只提供需要的信息。ND 有六种显示格式。

ROSE VOR 格式：显示传统 HSI 上的信息，并增加了地速、预选航道、风、气象雷达回波等附加信息，如图 1.11 所示。

ROSE ILS 格式：在基本的 ROSE VOR 格式上增加数据，如图 1.12 所示。

ROSE NAV 格式：在基本的 ROSE VOR 格式上增加飞行计划和相关航路点显示。

ARC 格式：显示 ROSE VOR 格式中飞机前方 90° 范围的一个扇形区内的信息，如图 1.13 所示。

PLAN 格式：仅显示以真北为基准的飞行计划，如图 1.14 所示。

ENG 格式：显示发动机的主要参数，作为 ECAM 显示管理计算机完全失效时的备用方式。



图 1.11 全罗盘 VOR 格式

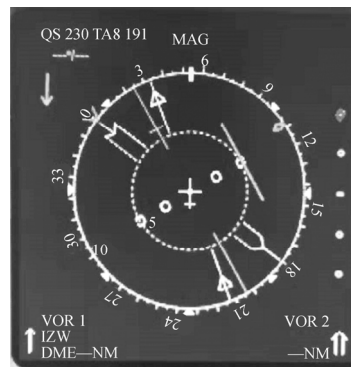


图 1.12 全罗盘 ILS 格式



图 1.13 ARC 格式

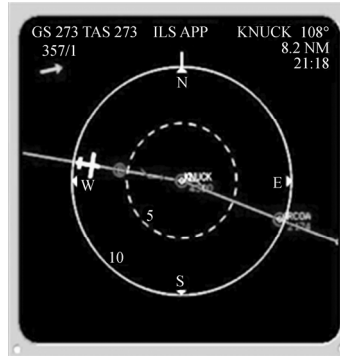


图 1.14 PLAN 格式

2) EFIS 的控制

EFIS 的控制系统包括控制板和转换板，正、副驾驶各一套，分别控制各自的显示器。控制板分为 PFD 部分和 ND 部分，如图 1.15 所示。

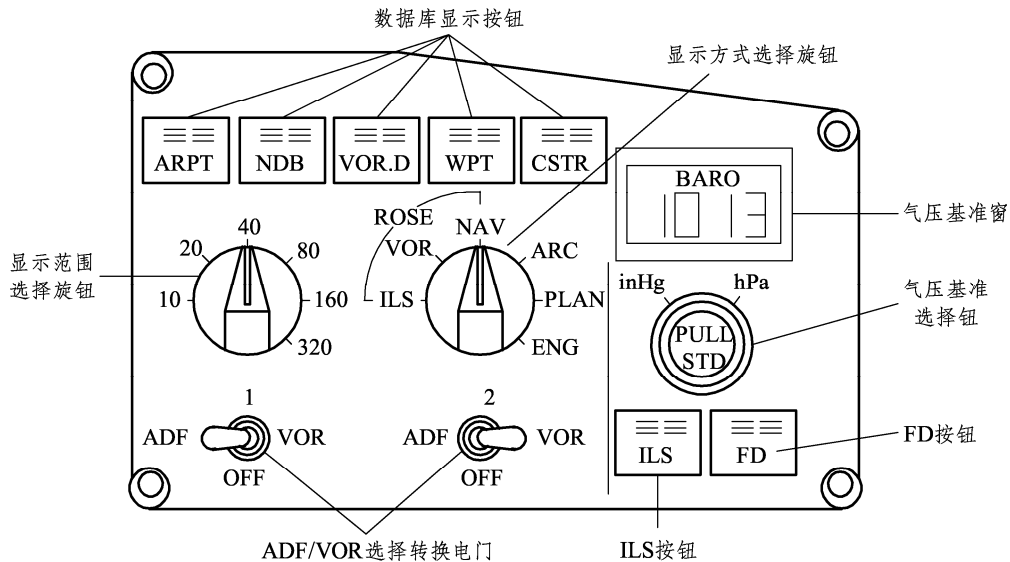


图 1.15 EFIS 控制板

(1) PFD 控制部分。

ILS 按钮：按下该按钮，在 PFD 上显示 LOC 和 GS 的刻度和偏离信息。

FD 按钮：按下该按钮，在 PFD 上显示飞行指引针。

气压基准选择旋钮和气压基准窗：用于选择高度表的基准面气压值，分内外两部分，外旋钮选择气压，测量单位：hPa 或 inHg；内旋钮拉出选择标准气压值，按下并旋转设置气压值。选择的基准气压值在气压基准窗中显示。

(2) ND 控制部分。

数据库显示按钮：共有五个带灯按钮，按下，灯亮。按压这些按钮可使以下附加信息显示在 ND 上，这些附加信息不在飞行计划之列，但在导航数据库和显示范围内，可单选、

多选或不选。按 ARPT 钮、NDB 钮、VOR/DME 钮、WPT 钮和 CSTR 钮，分别显示机场、NDB 台、VOR/DME 台、航路点和航路点的限制数据。

显示方式选择旋钮：选择 ND 的显示格式。

显示范围选择旋钮：选择 ND 的显示范围。

ADF/VOR 旋转转换电门：选择方位指针相应的导航信息源。

3) EFIS 转换板

如图 1.16 所示，用于选择来自大气数据计算机 (DMC) 的信号源、PDF/ND 显示互换、和显示器亮度调节，正、副驾驶各一套。

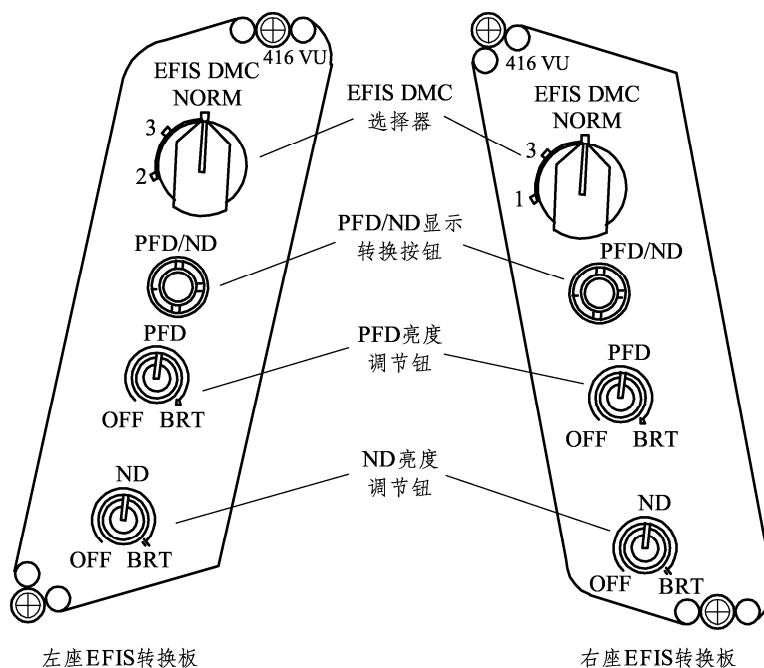


图 1.16 EFIS 转换板

2. ECAM 的控制和显示

1) ECAM 的显示

(1) 发动机及警告显示器 E/WD。

E/WD 分为两个区，上部区显示发动机的主要参数、燃油量、缝翼和襟翼位置；下部区用于显示警告、警戒和备忘录信息，如图 1.17 所示。



图 1.17 E/WD 的显示

备忘录区分左、右两个。起飞或着陆备忘录、正常备忘录、独立或主要的失效信息以及要采取的措施显示在左备忘录区，正常备忘录和次要的失效信息显示在右备忘录区。

(2) 系统显示器 SD。

系统 SD 也分为两个区，上部区显示系统页面或状态页面；下部区为永久性数据显示。系统或状态页面在相应的系统发生故障或失效后，会在 SD 上自动显示，如图 1.18 所示。

巡航页面显示飞行中要监控的主要系统参数，只能在飞行中自动显示。状态页面是飞机状态的总览。SD 的所有页面下部都是永久性数据，如总温 TAT、静温 SAT、全重 GW、重心 GWCG 等。

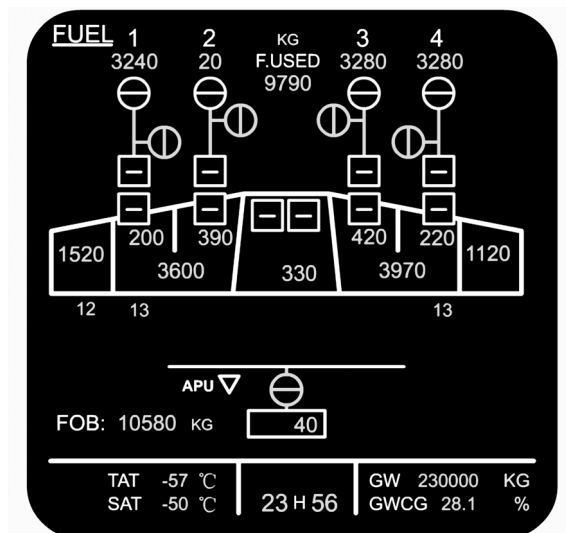


图 1.18 SD (燃油页面) 的显示

2) ECAM 的控制

ECAM 的控制包括控制板和转换板，如图 1.19 和图 1.20 所示。

(1) ECAM 控制板。

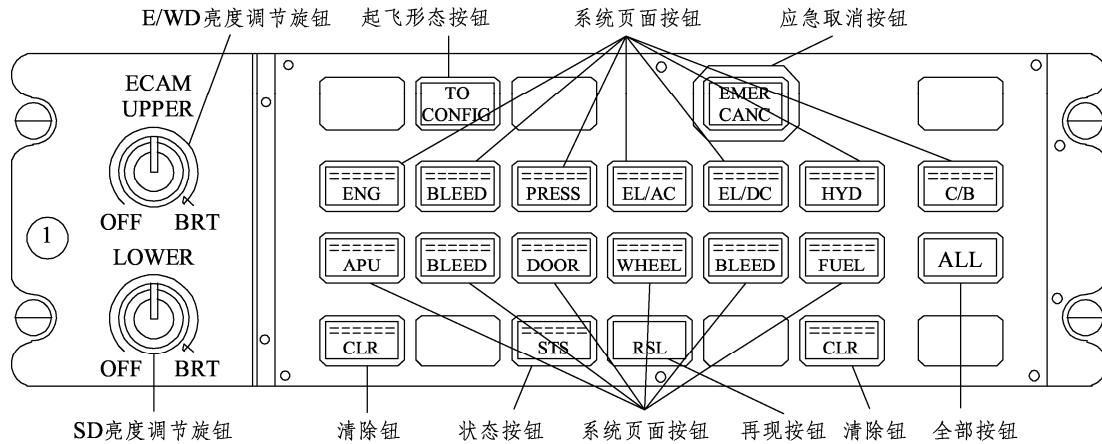


图 1.19 ECAM 控制板

系统页面按钮。有 13 个系统页面按钮，用于仍选择 SD 的显示页面，分别为 ENG(发动机次要参数)、BLEED(引气)、PRESS(座舱增压)、EL/AC(交流电源)、EL/DC(直流电源)、HYD(液压)、C/B(跳开关状态)、APU(辅助动力装置)、COND(空调)、DOOR(门与氧气)、WHEEL(起落架、机轮、刹车)、F/CTL(飞行操纵)和 FUEL(燃油)。

起飞形态 (TO XONFIG) 按钮：用于检查起飞形态。如果形态正确，E/WD 上显示“TO.CONFIG NORMAL”。

应急取消 (EMER CANCEL) 按钮：用于取消警告和警戒的音响信息。

清除 (CLR) 按钮：用来清除显示在 E/WD 下部的警告和警戒信息。当 SD 上出现非正常系统页面显示时，按压该钮，可使该页面消失，恢复到先前显示的页面。

状态 (STS) 按钮：用于调出 SD 上的状态页。若没有状态信息，“NORMAL”字符在 SD 上显示 5s。

再现 (RCL) 按钮：用来再现被 CLR 按钮或飞行阶段自动抑制的警告或警戒信息。若没有警告或警戒信息，“NORMAL”字符在 E/WD 上显示 5 s。

全部 (ALL) 按钮：按下并保持该按钮，13 个系统页面以 1 s 的间隔依次在 SD 上显示。此时，若需要显示某一页面，只需在显示该页面时，松开按钮即可。

(2) ECAM 转换板。

ECAM DMC 选择器：用于选择 ECAM DMC。在 AUTO 位，只有 ECAM DMC3 工作，ECAM DMC3 失效时，ECAM DMC1 自动接替。在 1、2、3 位，所选的 ECAM DMC 工作，但没有自动接替能力。

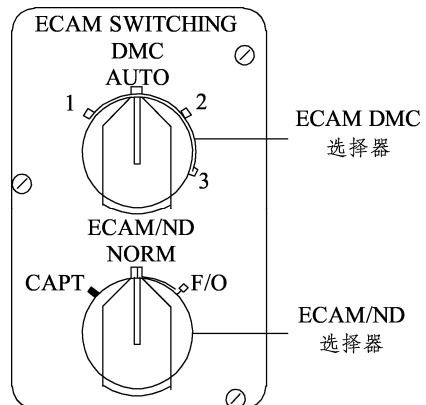


图 1.20 ECAM 转换板

ECAM/ND 选择器：用于使 ECAM 信息在左座或右座的 ND 上显示。

1.2 操纵系统

操纵系统包括飞机姿态和结构操纵系统、发动机操纵系统、电气电子设备开关等。

1.2.1 飞机姿态与结构操纵系统

(1) 驾驶杆/盘：操纵升降舵和副翼偏转，分别控制飞机的俯仰和倾斜角。驾驶杆左手柄上有升降舵配平片操纵拇指轮和自动驾驶仪脱开电门，控制升降舵配平片的偏转与断开自动驾驶仪，如图 7.4 所示。

(2) 方向舵脚蹬。空中蹬舵控制方向舵偏转，使机头转动。在地面滑行中，左右蹬舵使方向舵和前轮偏转，向下踩使主轮刹车，可以单边刹车。

(3) 襟翼位置、起落架收放和停留刹车控制手柄。

1.2.2 发动机操纵与电气电子设备开系统

小型活塞式发动机的操纵系统中三个主要操纵杆，它们通常安装在一起，从左到右依次是控制进气压力的油门杆，颜色为黑色；控制螺旋桨桨距的变距杆，为蓝色，无人工变距的螺旋桨飞机无此操纵杆；控制燃油与空气比例的混合比杆，为红色，如图 1.21 所示。

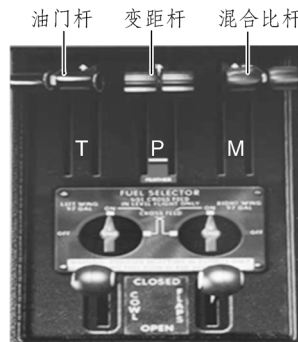


图 1.21 小型活塞式发动机主要操纵杆

有自动油门系统的油门杆上有自动油门脱开电门和复飞电门。脱开电门用来在空中或地面人工脱开自动油门。飞机在进近着陆过程中，如果自动油门方式预位，当需要复飞时，按压复飞电门，自动油门会转换到复飞方式。

另外在仪表板上用于发动机起动点火的磁电机开关（活塞式发动机）点火电门与起动手柄（燃气涡轮发动机）以及燃油泵开关。每台发动机一般配有两套点火装置，所以，每个磁电机开关有“L（左）”“R（右）”“BOTH（双）”和“OFF（关）”位。

开关系统有

(1) 发电机、电瓶和电子设备开关。

(2) 断路器和跳开关。断路器用于电路负载过高而过热时保护线路。如果电路出故障，断路器开关会跳出。跳出的断路器只能按压复位一次。

(3) 灯光和加热设备开关：包括飞机外部的航行灯、滑行灯、频闪灯、防撞灯和着陆灯开关，内部驾驶舱和仪表照明开关，用于防冰、除冰的加热设备开关。