



M1.5 航空仪表和机载设备

修订批准页:

1

版次	修订时间	编写/改版	修订说明	审核/日期	审批/日期
R0	2020.06.16	单展	新编课件	谈海军 /2020.08.01	张玉 /2020.08.06
R1	2021.01.29	单展	修订课件	谈海军 /2021.02.01	张玉 /2021.02.02
R2	2021.7.26	单展	修订课件	谈海军 /2021.07.26	张玉 /2021.07.27
R3	2021.9.13	张玉	修订课件	谈海军 /2021.09.28	张玉 /2021.11.12
R4	2022.5.18	张玉	修订课件	谈海军 /2022.05.19	张玉 /2022.05.19

目的与要求:

目的	通过本课程学习，可以了解民用航空器仪表的基本功能和设计理念，为下一步M3的学习打下良好的理论基础。
要求	<ol style="list-style-type: none">1. 了解航空器机电仪表的设计理念。2. 了解航空器机电仪表的基本功能。3. 了解航空仪表的发展历程。4. 了解其他航空器系统的仪表的基本功能。

课程安排:

序号	内容	课时	试题数量
1	驾驶舱仪表	2H	2
2	机载电子设备	2H	2
3	其它机载系统	2H	2

目 录

- 1.5.1 驾驶舱仪表
- 1.5.2 机载电子设备
- 1.5.3 其他机载系统



1.5.1 驾驶舱仪表 (2H)

目
录

1

仪表的分类

2

发展历程与布局

3

显示数据的基本 T 型格式

1、仪表的分类



1.5.1 驾驶舱仪表

1、仪表的分类

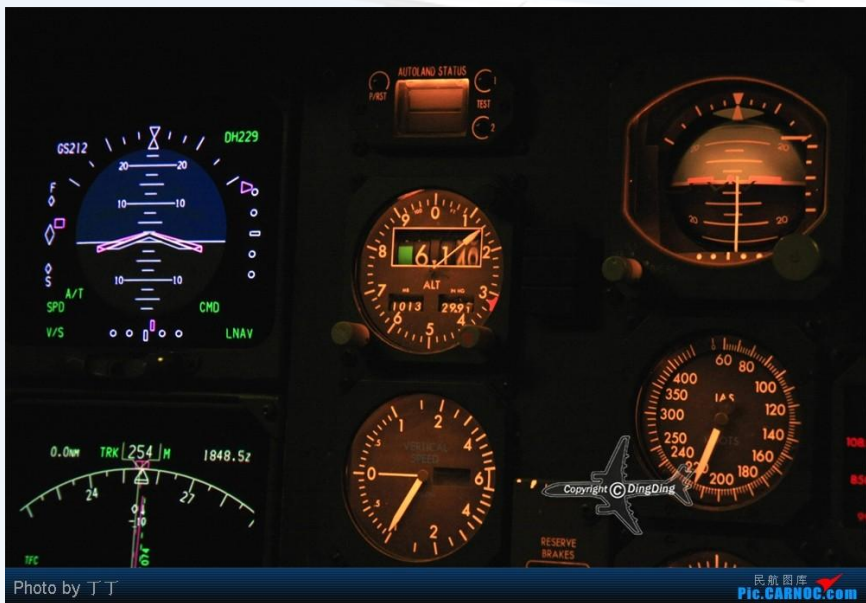
1) 飞行仪表



1.5.1 驾驶舱仪表

1、仪表的分类

1) 飞行仪表



传统独立飞行仪表



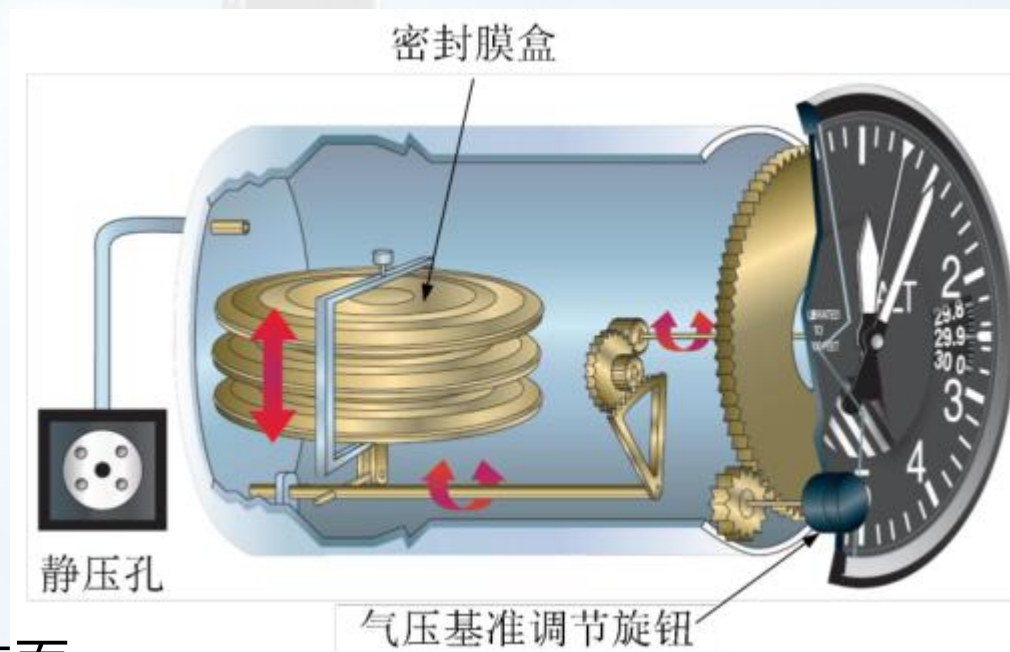
现代集成飞行仪表

1、仪表的分类

1) 飞行仪表

(1) 气压高度表

- 原理：大气压随着高度升高而下降
- 关键敏感元件：密封膜盒
- 膜盒的**内腔被抽至标准大气压**
- **膜盒外接静压**
- 膜盒变形量经机械装置传送、放大到指示器上
- 气压基准调节旋钮用于设定不同的气压高度基准面



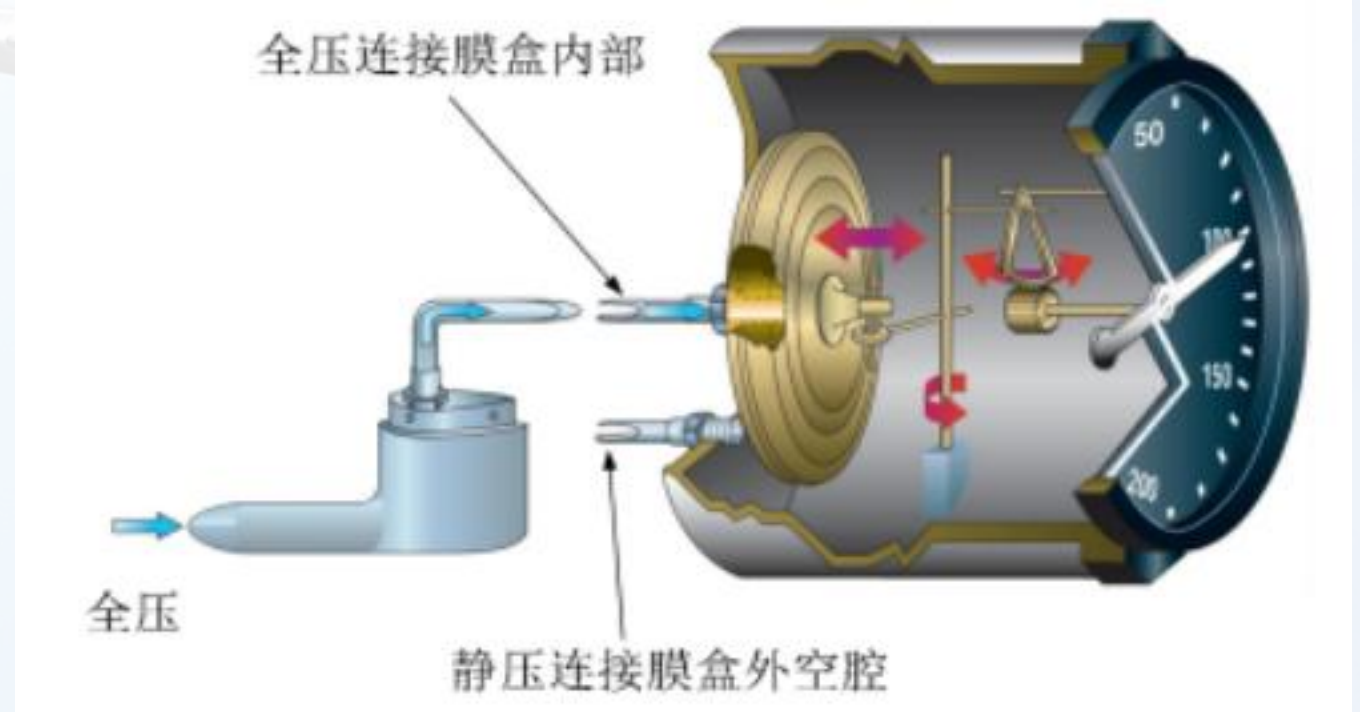
1.5.1 驾驶舱仪表

1、仪表的分类

1) 飞行仪表

(2) 空速表

- 构造和高度表相似
- 原理：测动压 ($\frac{1}{2}\rho V^2 = p_0 - p$)
- 关键敏感元件：密封膜盒
- 膜盒的**内腔和全压管相连**
- **膜盒外接静压**
- 膜盒变形量通过机械装置带动指针，就指示出空速



1、仪表的分类

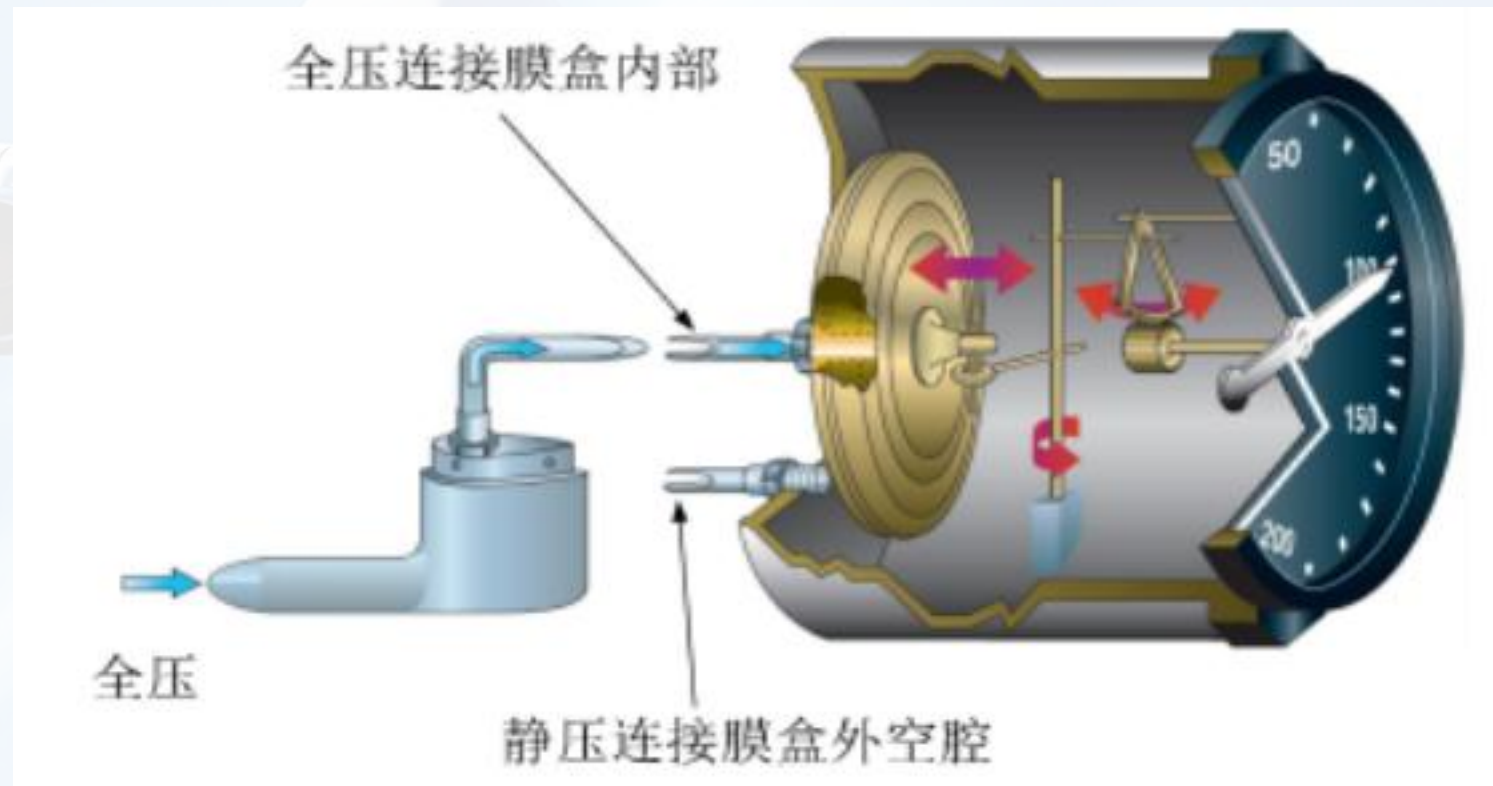
1) 飞行仪表

(2) 空速表

□ 指示空速 (IAS)

□ 校准空速 (CAS)

□ 真空速 (TAS)



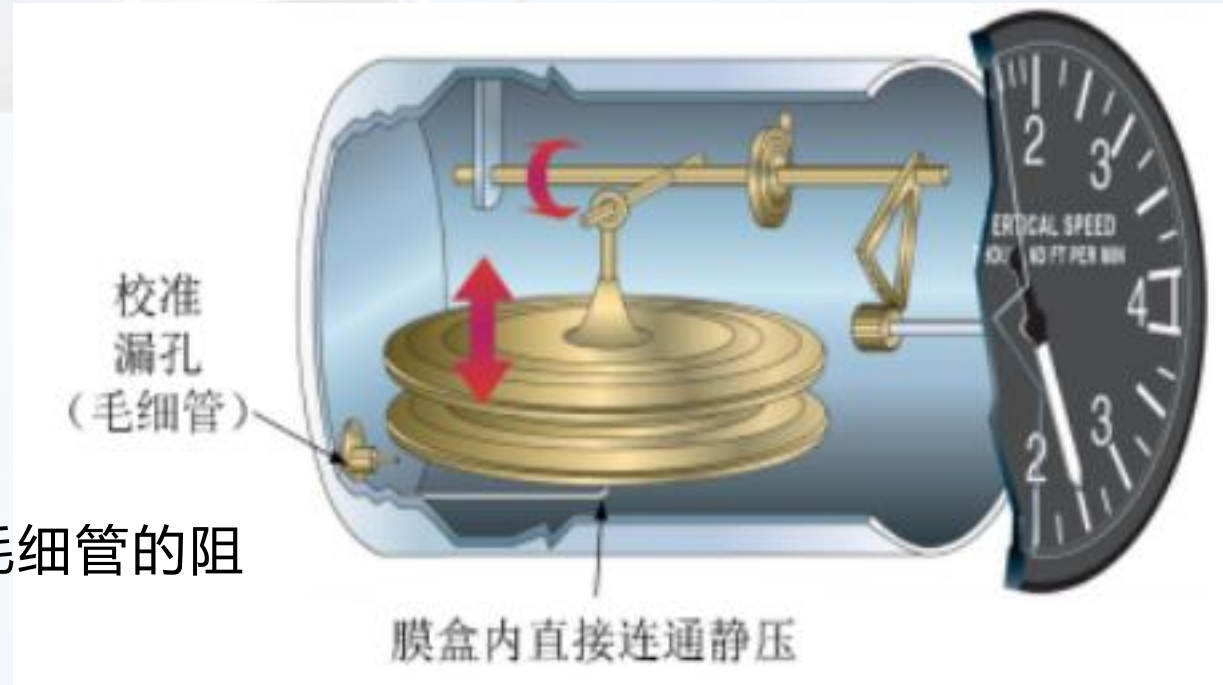
1.5.1 驾驶舱仪表

1、仪表的分类

1) 飞行仪表

(3) 升降速度表

- 原理：毛细管的迟滞效应
- 关键敏感元件：密封膜盒
- 膜盒的**内腔接静压**
- **膜盒外通过一根毛细管与静压管相连**
- 高度变化，膜盒外区域的气压则由于受到毛细管的阻滞作用会在短时间内保持不变
- 压差导致膜盒膨胀或压缩，驱动指针指示爬升或下降



1、仪表的分类

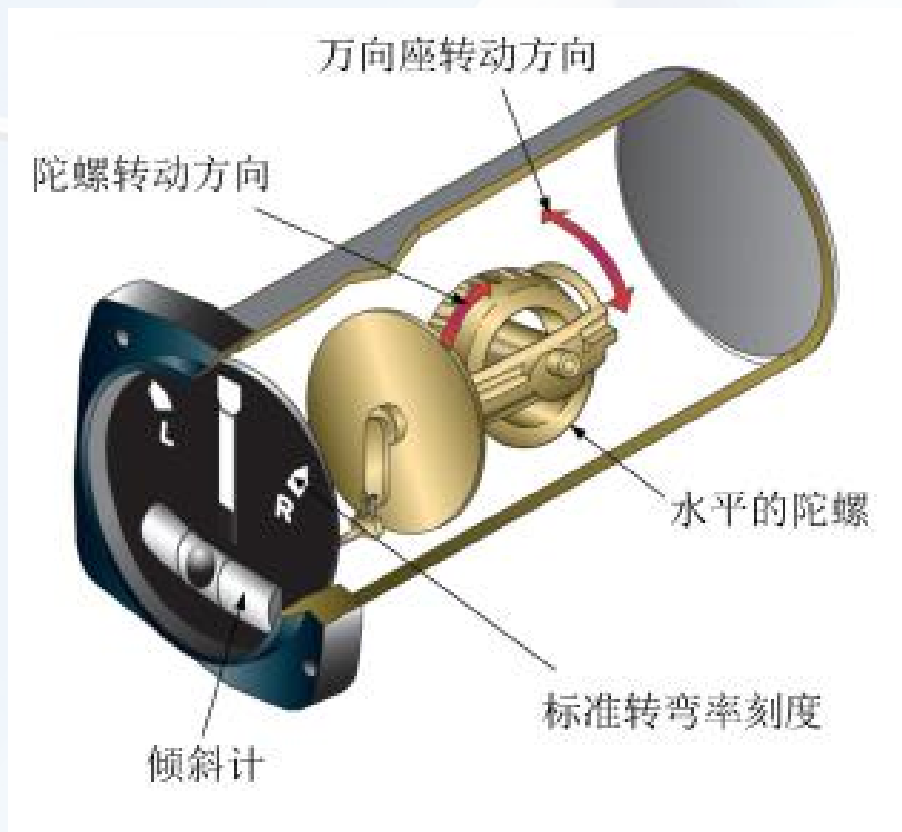
1) 飞行仪表

(4) 转弯仪

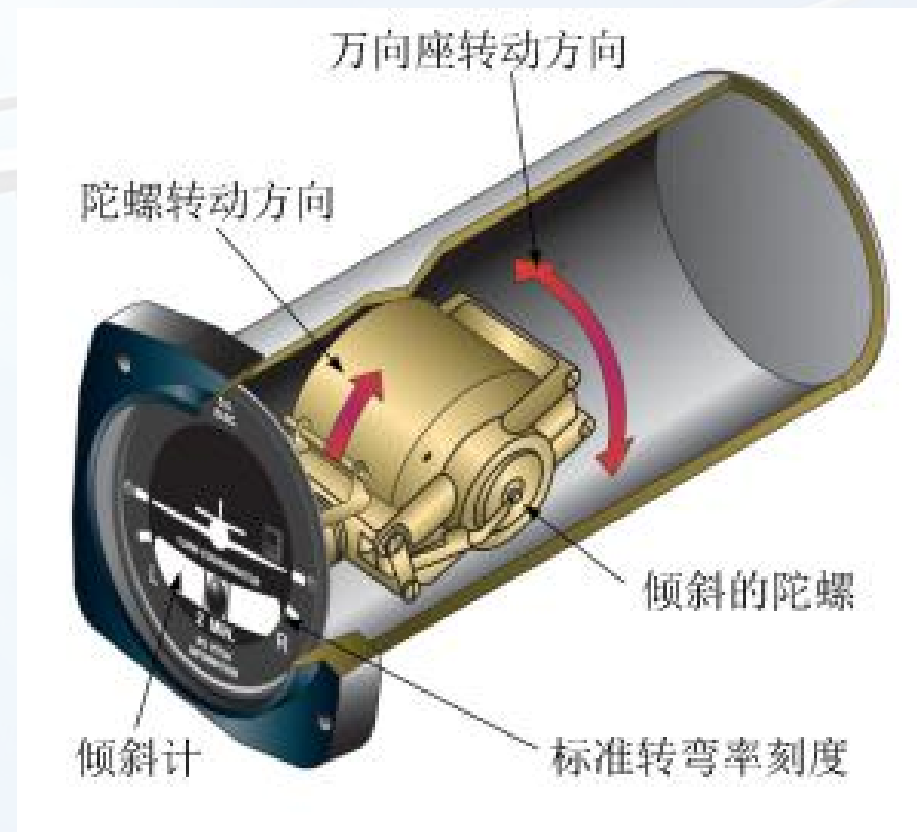
□ 两种转弯仪：

✓ 转弯侧滑仪

✓ 转弯协调仪



转弯侧滑仪



转弯协调器

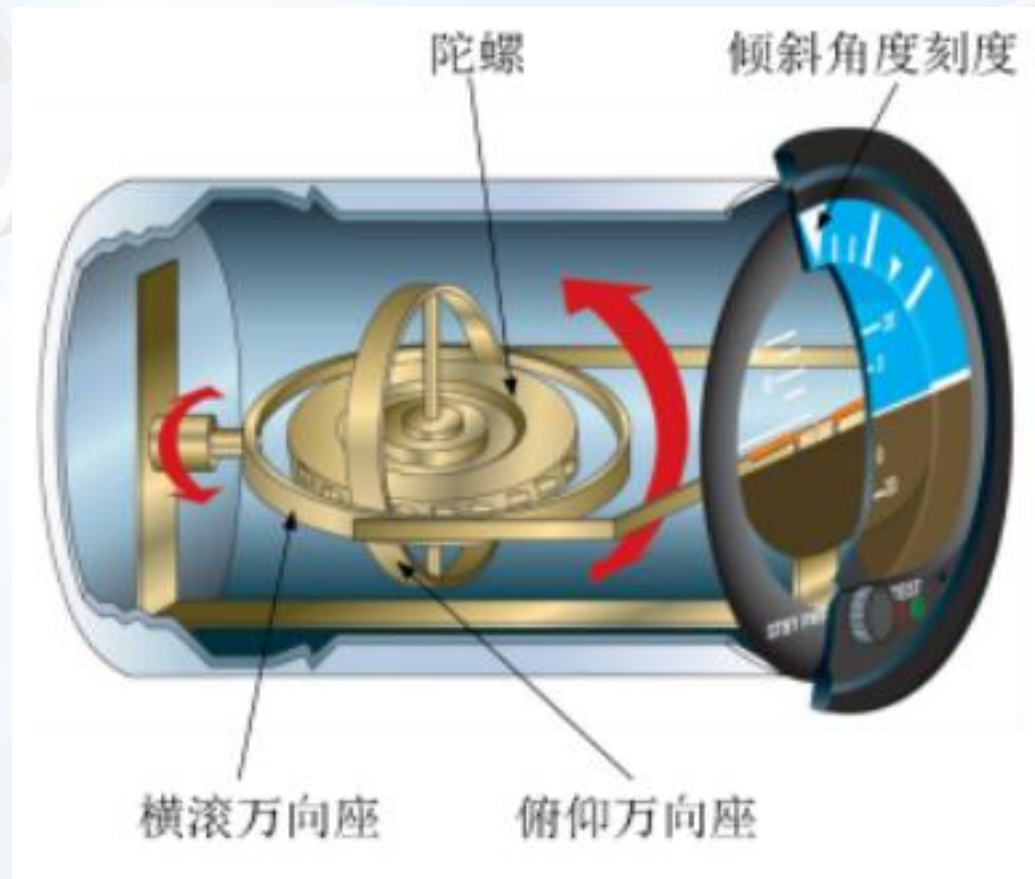
1.5.1 驾驶舱仪表

1、仪表的分类

1) 飞行仪表

(5) 姿态指示器

- 也称为地平仪
- 指示飞机的俯仰和倾斜角度
- 工作原理：基于陀螺的空间定轴性
- 陀螺被放置在一个水平面上
- 利用飞机标志和人工地平线显示飞机的姿态



1.5.1 驾驶舱仪表

1、仪表的分类

1) 飞行仪表

(5) 姿态指示器

□ 飞机的真实姿态与姿态指示器指示的对应关系

✓ 表的周围和中间都有刻度来表示飞机的俯仰和倾斜角度



左坡度爬升



直线爬升



右坡度爬升



左坡度平飞



右坡度平飞



左坡度下降



直线下降



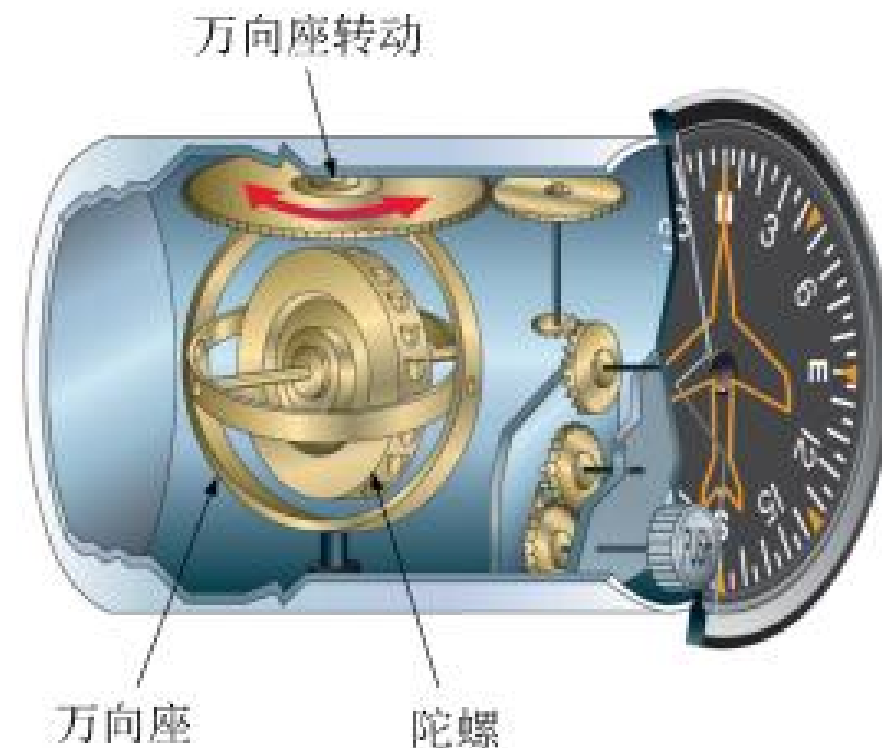
右坡度下降

1、仪表的分类

1) 飞行仪表

(6) 航向指示器

- 也称为航向陀螺仪
- 用来配合磁罗盘使用的机械仪表
- 结合陀螺的定轴性和磁罗盘的指向性
- 能够输出磁航向修正后的陀螺航向
- 工作原理基于陀螺的空间稳定性
- 飞机静止时或平飞时要调整得和磁针指向一致



1.5.1 驾驶舱仪表

1、仪表的分类

2) 发动机仪表

- 发动机工作系统中的各种参数测量仪表
- 包括各类测量压力、温度、转速、油量、流量和振动的仪表



传统独立发动机仪表



现代集成发动机仪表

1.5.1 驾驶舱仪表

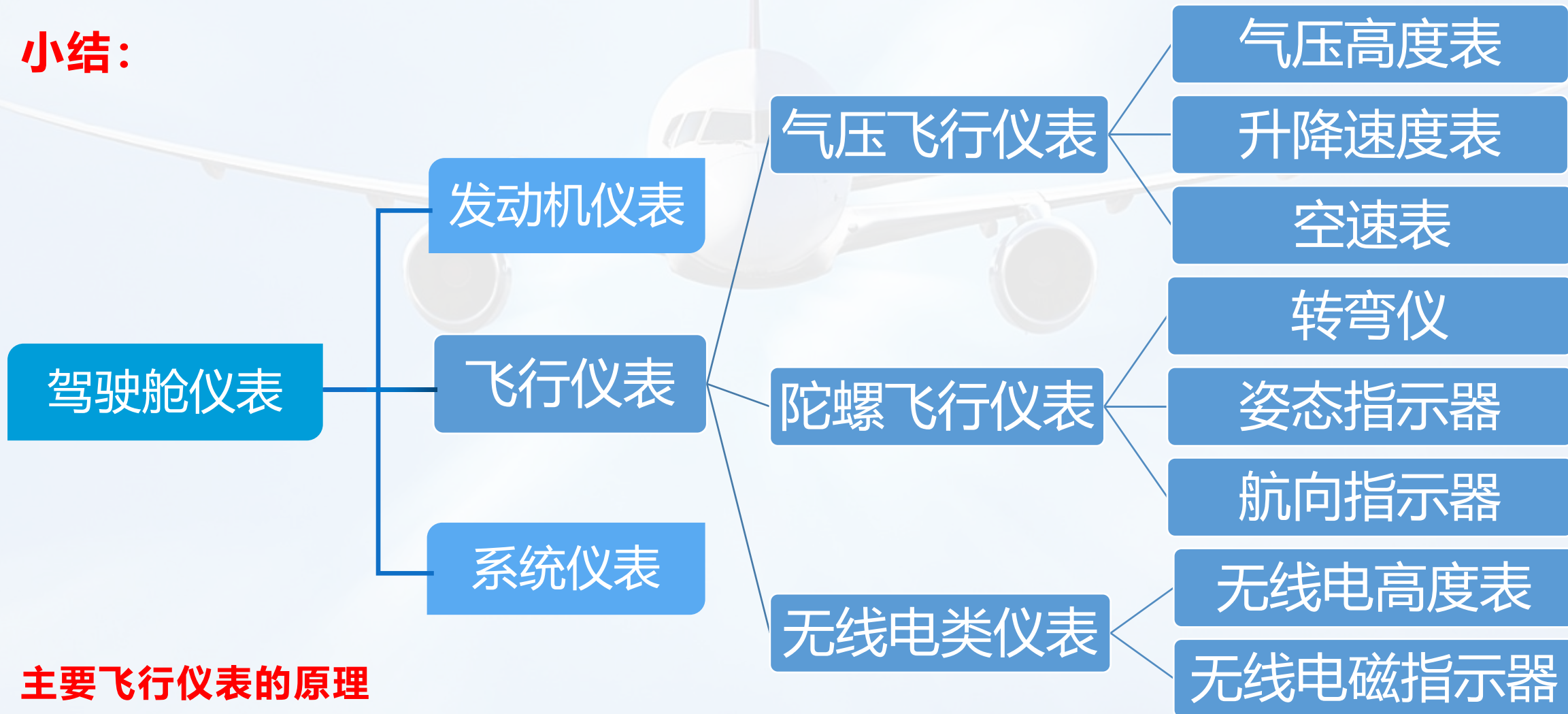
1、仪表的分类

3) 其它飞机系统仪表

- 在飞机的其它系统或设备中使用的测量仪表统称为其它飞机系统仪表
- 其它飞机系统仪表通常位于驾驶舱的顶板上



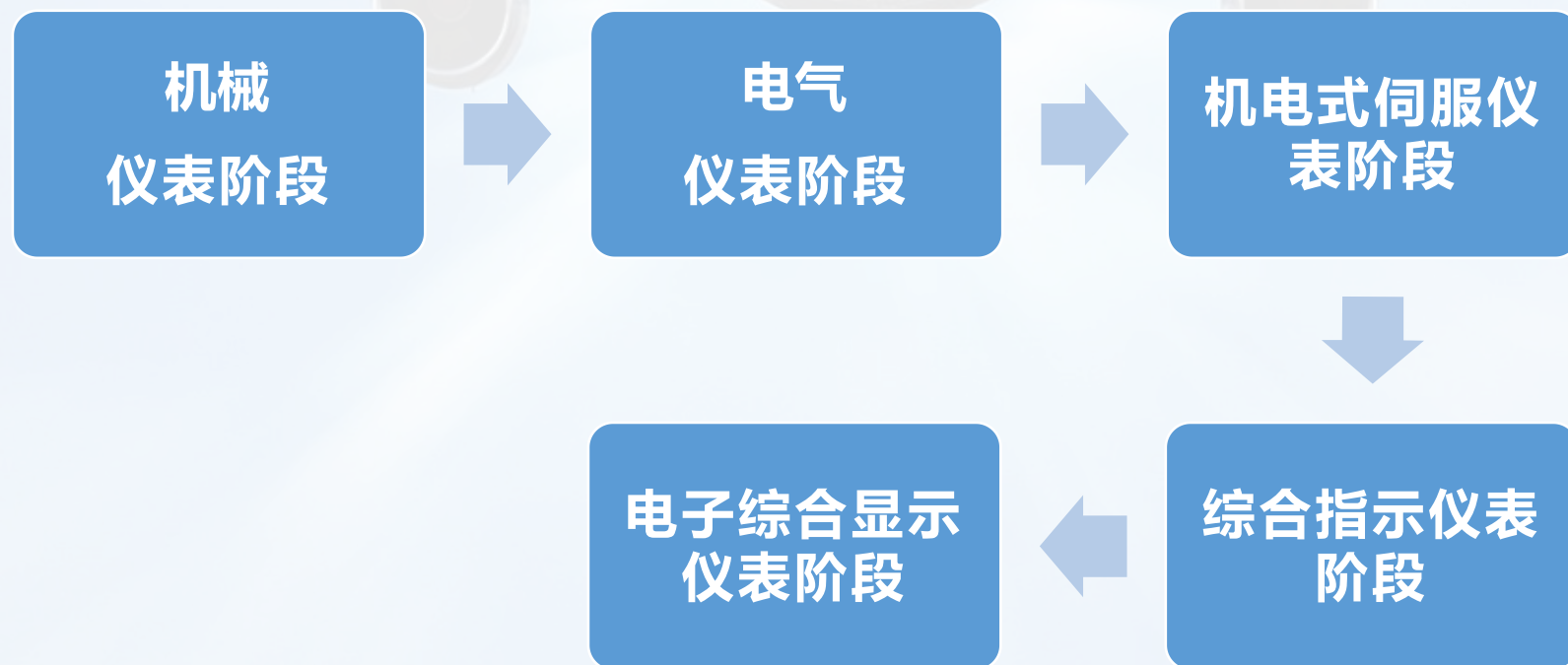
小结:



主要飞行仪表的原理

2、发展历程与布局

- 航空仪表的发展与科学技术和飞机的发展是分不开的
- 发展过程大体分为以下五个阶段



2、发展历程与布局

1) 机械仪表阶段

- 仪表的初创时期
- 单个整体直读式结构，也称为直读式仪表
- 表内敏感元件、信号传送和指示部分均为机械结构
- 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
- 不能满足航空发展的需要

2、发展历程与布局

2) 电气仪表阶段

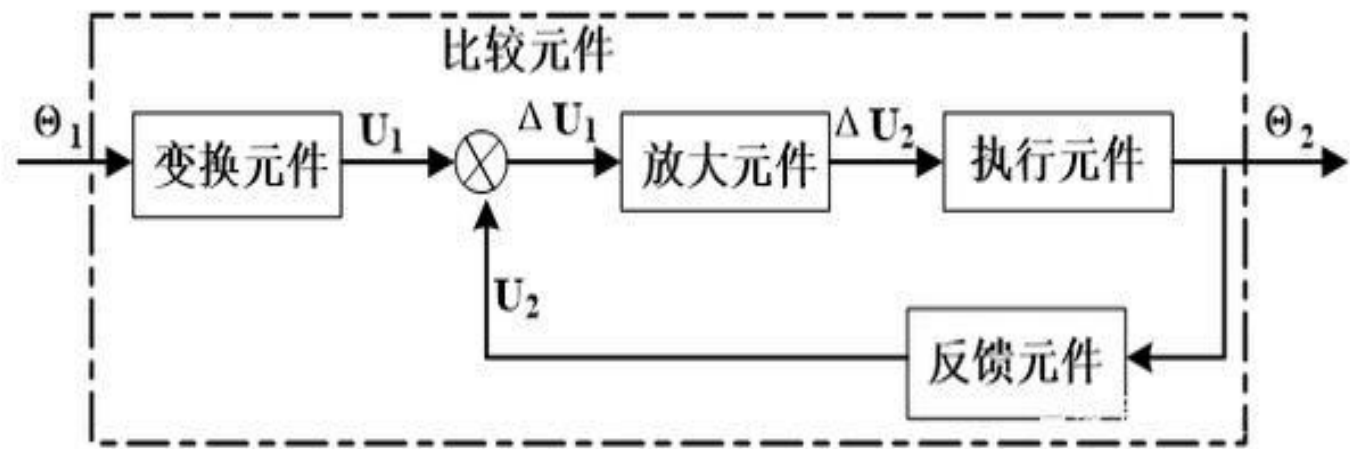
- 称为远读式仪表
- 仪表的传感器和指示器没有装在同一个表壳内
- 信号传送通过电信号的传递实现
- 优点：反应速度快、准确度高、传输距离长、体积小、精度高
- 缺点：整套仪表结构复杂、部件增多、重量增加

1.5.1 驾驶舱仪表

2、发展历程与布局

3) 机电式伺服仪表阶段

- 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
- 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



2、发展历程与布局

4) 综合指示仪表阶段

- ❑ 仪表大量增加，仪表板和座舱无法安排，驾驶员也目不暇接，眼花缭乱
- ❑ 飞行速度和机动性能的提高，又使驾驶员观察仪表的时间相对缩短，容易出错
- ❑ 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
- ❑ 采用一表多用的结构型式

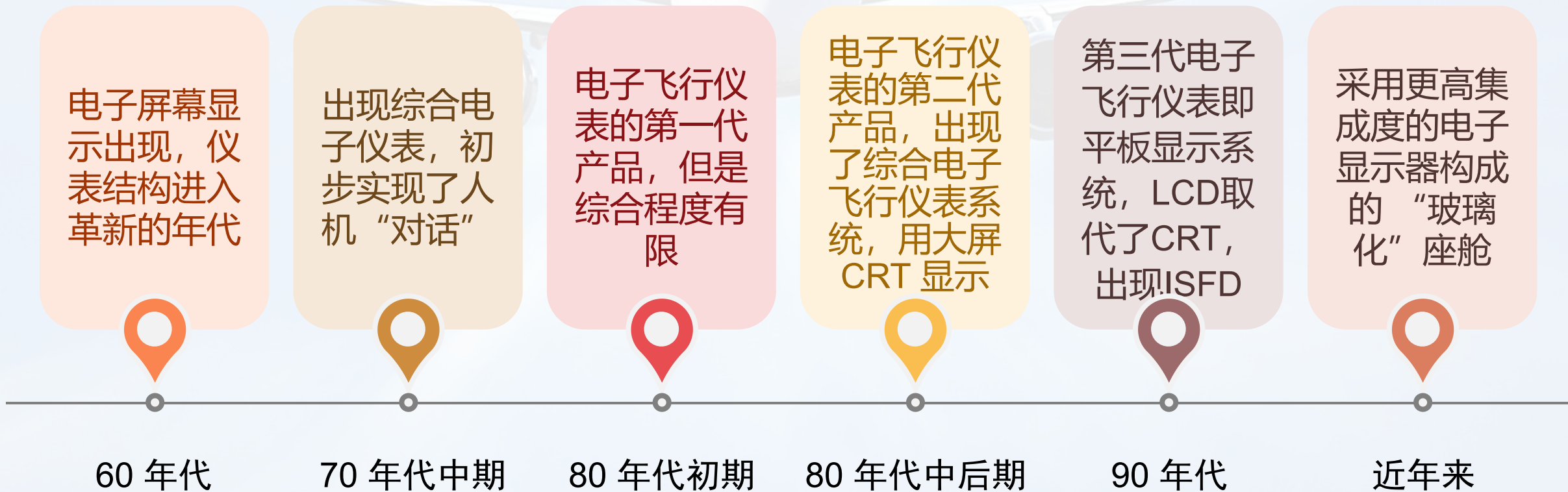


图 5-9 典型机电式综合仪表及其布局

1.5.1 驾驶舱仪表

2、发展历程与布局

5) 电子综合显示仪表阶段



2、发展历程与布局

5) 电子综合显示仪表阶段

□ 主飞行显示器 (PFD)

□ 导航显示器 (ND)

□ 上、下 EICAS 显示器



图 5-10 典型电子式综合仪表及其布局

1.5.1 驾驶舱仪表

2、发展历程与布局

5) 电子综合显示仪表阶段

□ 三块指针式备用仪表

□ 综合备用飞行显示器
(ISFD)



图 5-11 典型的备用仪表

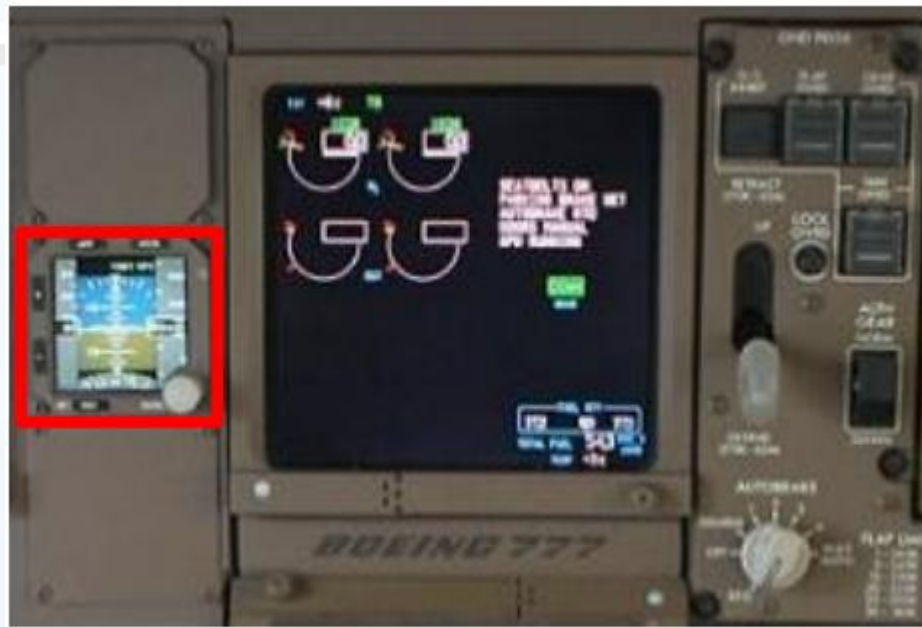


图 5-12 综合备用飞行显示器

2、发展历程与布局

5) 电子综合显示仪表阶段

(1) 玻璃化座舱



(c) 中国商飞 C919 电子综合化仪表

(b) 空客 A350 电子综合化仪表

2、发展历程与布局

5) 电子综合显示仪表阶段

(2) 玻璃化座舱的优点

- 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
- 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
- 电子式显示器的显示精度高
- 采用固态器件，寿命长，可靠性高
- 价格不断下降，性能价格比高
- 符合机载设备数字化的发展方向

1.5.1 驾驶舱仪表

2、发展历程与布局

5) 电子综合显示仪表阶段

现阶段，机电综合仪表和电子综合显示仪表被现代飞机广泛运用



典型综合指示仪表



典型的电子综合显示仪表



小型通用飞机的综合显示仪表

2、发展历程与布局

6) 驾驶舱显示新技术

- 平视显示器 (Head-Up Display, HUD)
- 合成视景系统 (Synthetic Vision System, SVS)
- 增强视景系统 (Enhanced Vision System, EVS)

2、发展历程与布局

6) 驾驶舱显示新技术

(1) 平视显示器 (HUD)

- 是运用在航空器上的飞行辅助仪器
- 将飞行参数等信息，以图像、字符的形式，通过光学部件投射到座舱正前方
- 减少了驾驶员在飞行中频繁俯视仪表的动作，可以始终保持平视飞行
- 能够提高飞行安全
- 日趋成为驾驶舱的重要组成部分



1.5.1 驾驶舱仪表

2、发展历程与布局

6) 驾驶舱显示新技术

(2) 合成视景系统 (SVS)

- 以三维色彩地形图像背景，叠加传统的 PFD 读数
- 这种合成的地形显示不受气象状况的影响且与外部真实地形是一致的
- 主要应用于飞机在下降时的进近和着陆阶段



1.5.1 驾驶舱仪表

2、发展历程与布局

6) 驾驶舱显示新技术

(3) 增强视景系统 (EVS)

- 利用前视红外成像传感器提供在低能见度条件下清晰的红外环境图像
- 能与SVS画面融合并在HUD上显示
- 增强飞行员的态势感知能力，使飞机具备全天候起降能力



图 5-16 平视显示器上的融合显示

2、发展历程与布局

7) 模拟式/数字式电子仪表的优缺点

- 模拟式测量仪表获得准确数值慢，获得数值变化趋势快
- 纯数字形式显示获得准确数值快，获得数值变化趋势慢
- 现代航空仪表均采用数字技术，而**数据以数字和模拟两种方式显示**
- 驾驶员既可以较快地得到准确的数据，又可以较快地获得该数据的变化趋势

2、发展历程与布局

8) 飞机仪表的发展过程特点

- 从机械指示发展到电子显示
- 信号处理单元从纯机械到数字、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
- 在某种意义上讲，驾驶舱显示仪表是飞机先进程度的重要标志之一

1.5.1 驾驶舱仪表

3、显示数据的基本T型格式

- 1) 无论分离式仪表显示数据的格式，还是屏幕仪表显示数据的格式都遵循基本“T”型格式
- 2) 分离式仪表显示数据的基本“T”型格式

- 左边为指示空速表
- 中间为姿态指示器
- 右边为气压高度表
- T型下边为航向指示器
- 构成了“T”型格式



图 5-17 分离式仪表显示数据的基本“T”型格式

3、显示数据的基本T型格式

3) 电子式仪表显示数据的基本“T”型格式

- ❑ 该显示器称为主飞行显示器 (PFD)
- ❑ 左边的空速带
- ❑ 中间的姿态指示球
- ❑ 右边的气压式高度带
- ❑ 下边的航向带
- ❑ 也构成“T”型格式



图 5-18 电子式仪表显示数据

小结:

- 所有仪表布局都是按“T”型布局为基础的
- 仪表的发展史由独立的机械仪表逐步发展到现代电子综合显示仪表



1.5.2 机载电子设备(2H)

目
录

1

机载通信、导航、监视系统

1、机载通信、导航、监视系统

1) 主要内容包括：

- 机载通信系统
- 机载导航系统
- 机载监视系统
- TCAS 和 GPWS 系统

- 自动飞行系统
- 飞行管理系统
- 记录系统

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

2) 机载通讯系统

(1) 功能与系统组成

功能



- 飞机与地面之间相互通信
- 飞机与飞机之间相互通信
- 机内通话
- 广播
- 驾驶舱语音记录

系统组成



- 高频 (HF) 通信系统
- 甚高频 (VHF) 通信系统
- 卫星通信系统 (SATCOM)
- 选择呼叫系统 (SELCAL)
- 数据链通信 (ACARS)

1、机载通信、导航、监视系统

2) 机载通讯系统

(2) 高频 (HF) 通信

- 是一种远距离通信系统
- 主要用于飞行中保持与基地和远方航站的联络
- 使用的频率范围为 2~30MHz
- 电波传播主要靠电离层反射
- 是高纬度地区的主要通信手段
- 高频数据链通信仍得到普遍应用



1、机载通信、导航、监视系统

2) 机载通讯系统

(2) 高频 (HF) 通信

- 大型飞机一般装有 1~2 套
- 使用单边带通信, 压缩占用频带, 节省发射功率
- 机载设备, 由收发机组、天线耦合器、控制盒和天线组成
- 它的输出功率较大, 需要有通风散热装置
- 由天线耦合器使天线和发射机之间的阻抗相匹配
- 天线埋入飞机蒙皮之内, 一般装在飞机尾部



1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

2) 机载通讯系统

(3) 甚高频 (VHF) 通信

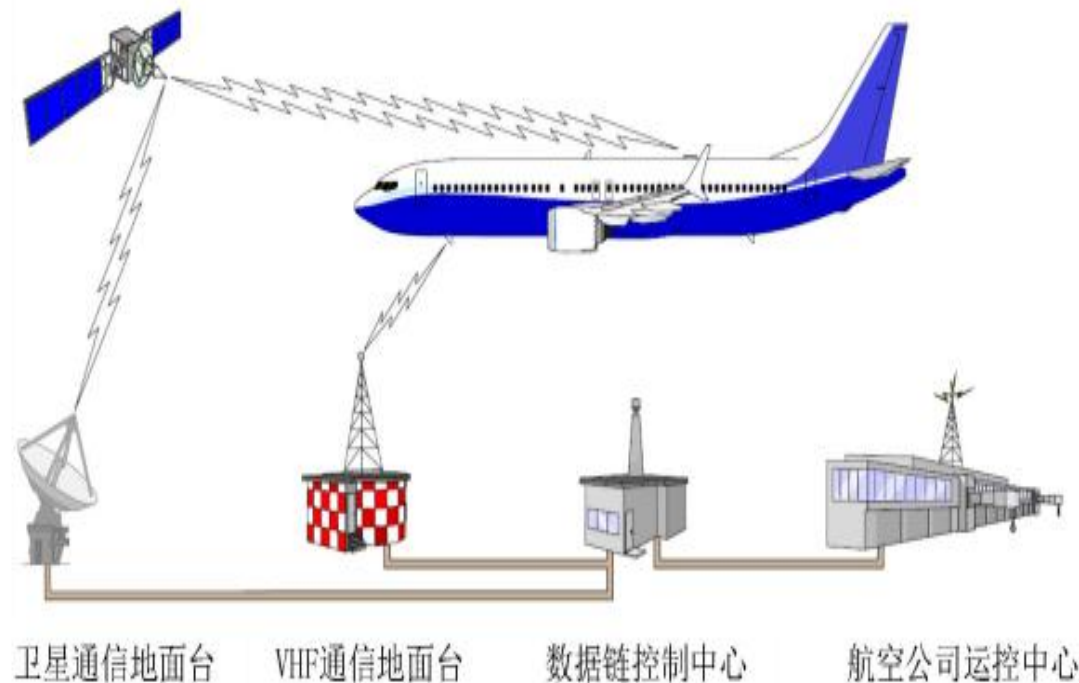
- 是应用最广泛的飞机无线电通信系统
- 主要用于起飞、降落或通过控制空域时与地面人员间的双向语音通信
- 是一种近程通信系统，以直达波的形式在视距内传播，最远可以达到 400 千米
- 频率范围：118.000~135.975MHz，121.500MHz 为呼救的全世界统一频道
- 调幅，同频，一方发放完毕，停止发射等待对方信号
- 由收发机组、控制盒和刀形天线组成
- 大型民航飞机通常装有 2~3 套

1、机载通信、导航、监视系统

2) 机载通讯系统

(4) 数据链通信ACARS

- ❑ 指飞机寻址通信与报告系统（ACARS）
- ❑ 数据通过地空双向的数据链进行交换
- ❑ 增加信息传输的效率
- ❑ 使飞机与地面各有关部门联系成为一个实时数据处理的整体
- ❑ 向地面部门自动报告飞机的各种参数，同时接受地面来的各种指示和信息，提高飞行安全性



1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

2) 机载通讯系统

(5) 卫星通信系统

- 包括话音和数据通信两种方式
- 它使飞机在任何地方都能与地面实时通信，且在空管的实时监视之中
- 与机载卫星导航接收机相结合，还可提供对飞机的自动相关监视
- 通信卫星承担着地面站和飞机之间的通信中继作用
- 要组成一个全球的网络，对于地球静止轨道卫星，至少需要 3 颗卫星

1、机载通信、导航、监视系统

3) 机载导航系统

(1) 什么是导航?

□ 导航要解决的问题是在哪里、去哪里、向哪走

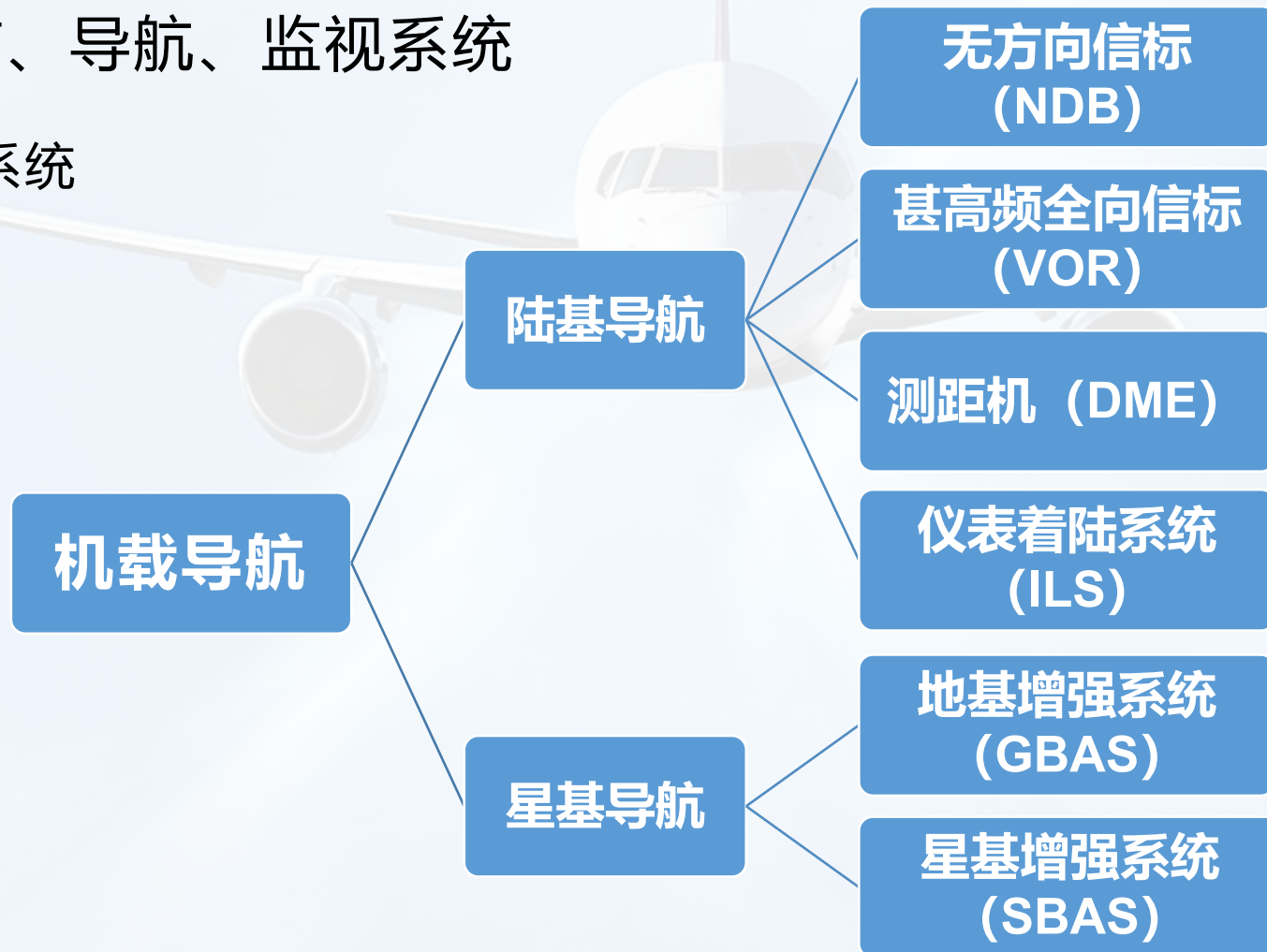
□ 即定位、定向和确定飞行时间

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

3) 机载导航系统

(2) 主要内容



1、机载通信、导航、监视系统

3) 机载导航系统

(3) 陆基导航

- 机载导航设备接收和处理来自**地面台**的无线电信号，获取导航参数
- 不受时间、天气限制，精度高，作用距离远，定位时间短
- 设备简单可靠
- 缺点是无线电波易受干扰，需要导航台支持

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

3) 机载导航系统

(3) 陆基导航

无方向信标 (Non- Directional Beacon, NDB)

- 是最早投入使用的无线电导航设备
- NDB 台不断地向空间发射无方向性的无线电信号
- 机载定向设备为自动定向机 (ADF)
- 接收天线为环形天线和垂直天线或组合式环形/垂直天线
- 设备简单, 使用方便、价格低廉
- 至今仍然广泛应用于飞机导航

1、机载通信、导航、监视系统

3) 机载导航系统

(3) 陆基导航

甚高频全向信标 (VHF Omnidirectional Range, VOR)

- 是一种近程无线电测角导航系统
- 地面发射台发射含有方位信息的无线电信号
- 机载 VOR 接收机由接收到的无线电信号解算出方位信息
- 通过指示器指示相应的方位信息, 引导飞机完成导航任务
- 机载 VOR 设备包括控制盒、天线、VOR 接收机和指示器



1.5.2 机载电子设备

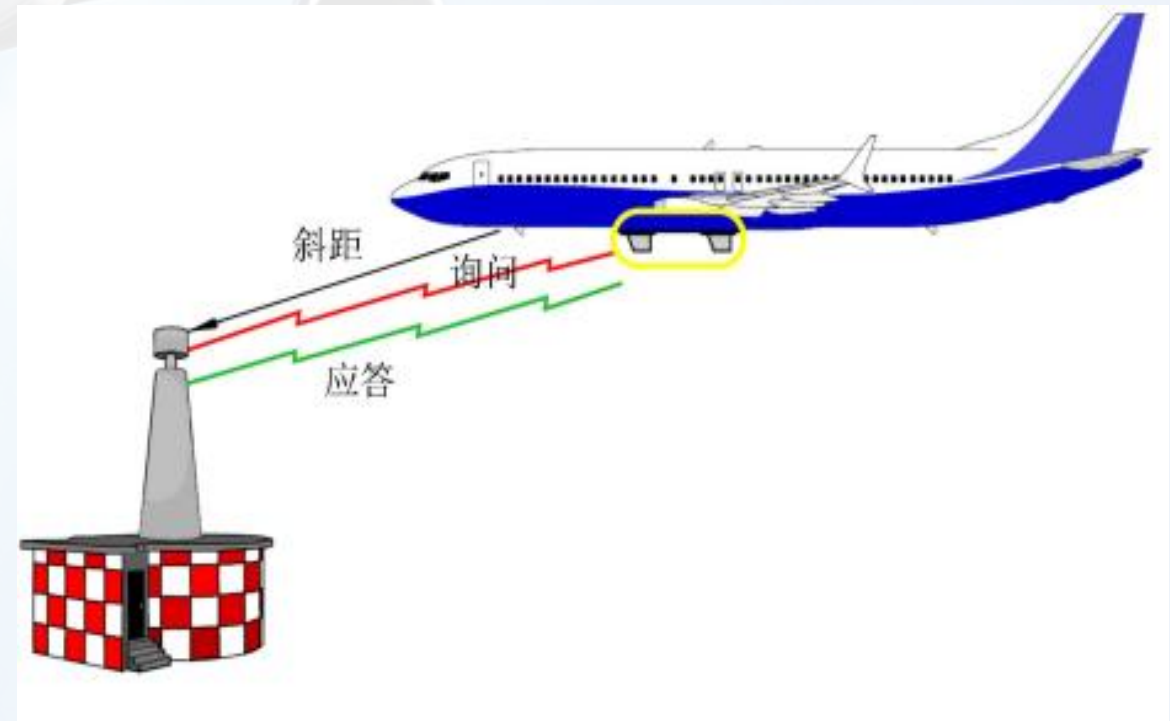
1、机载通信、导航、监视系统

3) 机载导航系统

(3) 陆基导航

测距机 (Distance Measuring Equipment, DME)

- ❑ DME系统向地面台发送询问信号并接收地面台发送的应答信号
- ❑ 按照发射和接收信号之间所经过的时间，可以计算出飞机到地面台的斜距
- ❑ DME地面台和VOR台或LOC台是匹配安装的



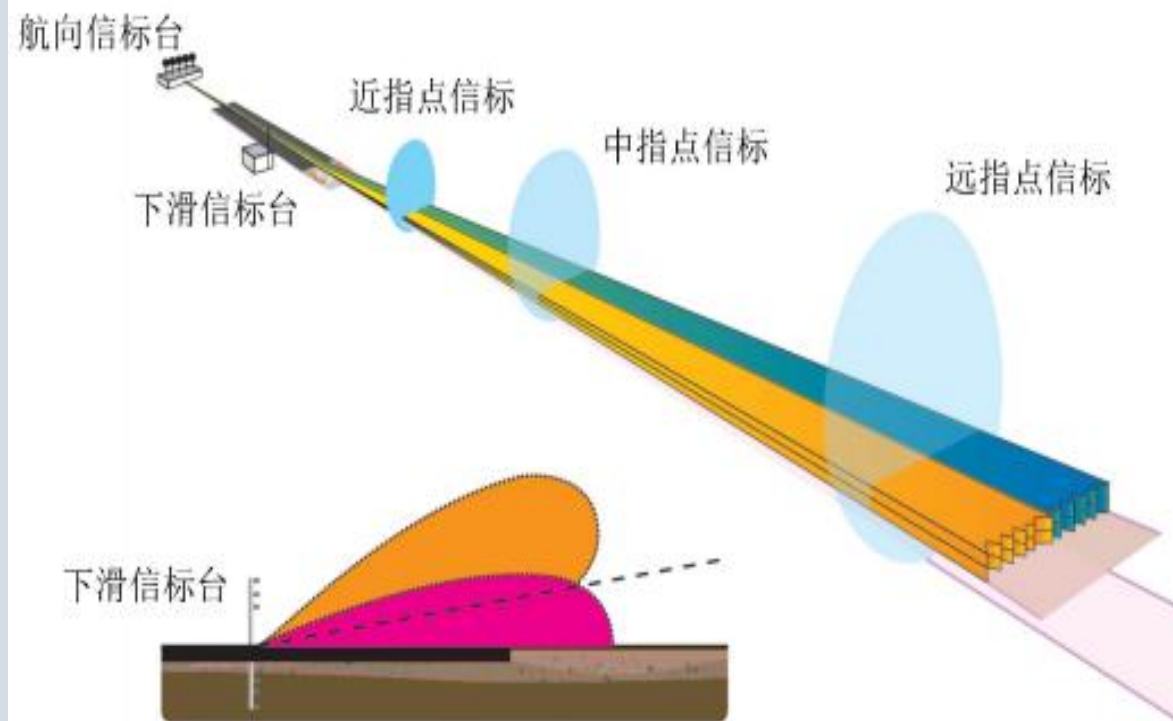
1、机载通信、导航、监视系统

3) 机载导航系统

(3) 陆基导航

仪表着陆系统 (Instrument Landing Systems, ILS)

- 目前应用最为广泛的飞机精密进近着陆引导系统
- 能够在复杂气象条件下提供航向引导和垂直引导
- 地面发射的两束无线电信号实现航向道和下滑道指引，建立一条由跑道指向空中的虚拟路径
- 包括航向道 (LOC) 和下滑道 (G/S)



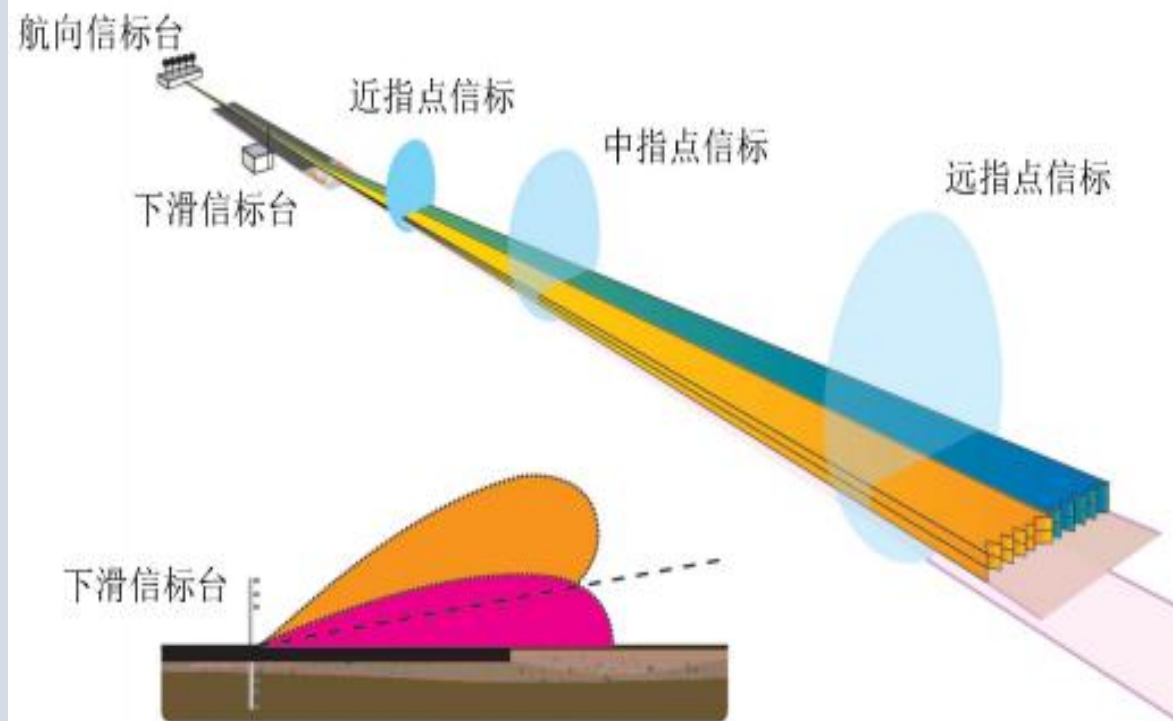
1、机载通信、导航、监视系统

3) 机载导航系统

(3) 陆基导航

仪表着陆系统 (Instrument Landing Systems, ILS)

- 航向台 (LOC) 位于跑道进近方向的远端, 引导飞机对正跑道
- 下滑台 (G/S) 位于跑道入口端一侧, 为飞机提供垂直引导
- 指点信标 (Marker Beacon) : 外指点信 (OM)、中指点信标 (MM) 和内指点信标 (IM)

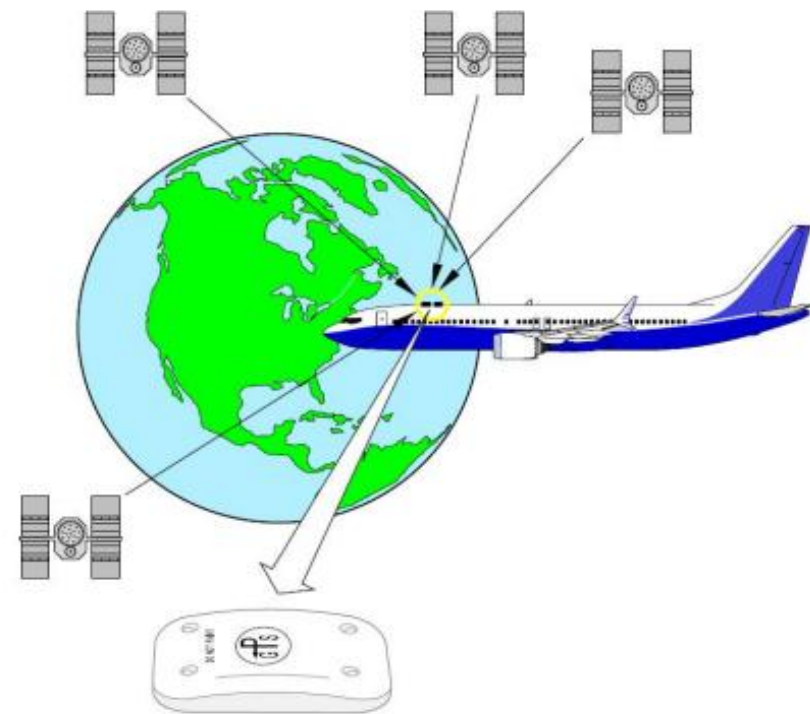


1、机载通信、导航、监视系统

3) 机载导航系统

(4) 星基导航

- 接收导航卫星发射的无线电信号，计算出飞机相对于卫星的位置
- 再根据已知的卫星相对地面的位置，计算并确定飞机在地球上的位置
- 精度高，设备简单，不受气候影响
- 和惯性导航相比没有积累误差
- 是比较理想的新型导航设备



1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

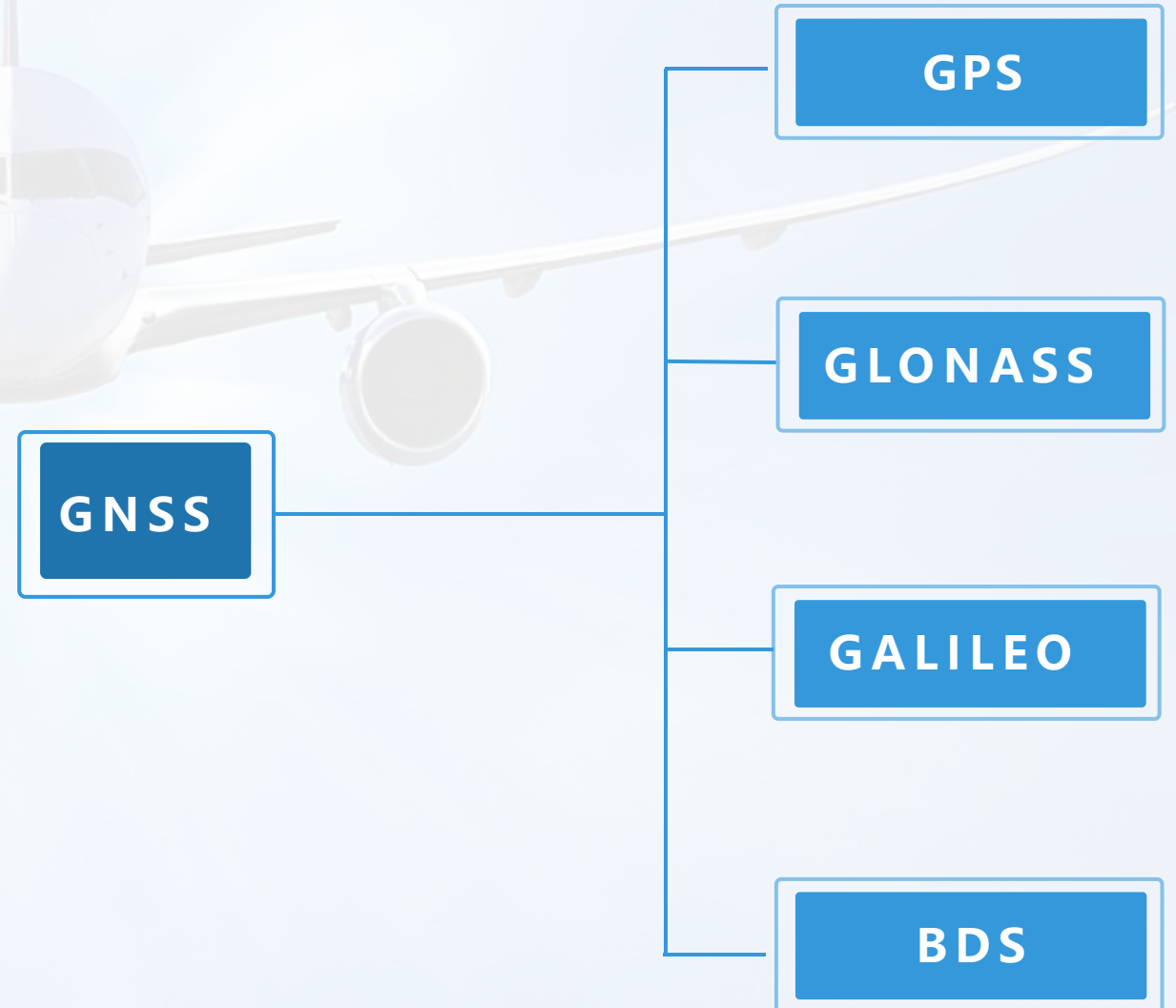
3) 机载导航系统

(4) 星基导航

全球导航卫星系统

(Global Navigation Satellite system, GNSS)

- 使用 GNSS, 飞机就可直线飞行, 既缩短飞机间隔, 又省时省油
- 并提高了安全性、准点率与空间利用率
- 而且还能以此为基础作自动相关监视



1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

3) 机载导航系统

(4) 星基导航

卫星导航的增强系统

- 为提高卫星导航的完好性、精确性、可用性和服务连续性
- 通过一些地面、空中或卫星设施
- 使用差分技术、伪卫星技术、监测手段等
- 使卫星导航系统总体性能得到提高
- 由此形成了卫星导航的增强系统
- 主要为地基增强系统（GBAS）和星基增强系统（SBAS）

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

3) 机载导航系统

(4) 星基导航

地基增强系统 (GBAS)

- GBAS 对GNSS进行差分校正和完好性监测
- 根据位置差分解算定位误差
- 然后把该定位误差通过数据链发送给机载设备
- 从而降低定位误差以满足民航运行需求
- GBAS 具有极高的精度、可用性和完好性
- 使用 GBAS的目的是将卫星着陆系统 (GLS) 替代仪表着陆系统 (ILS) , 以支持全范围的进近和着陆运行

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

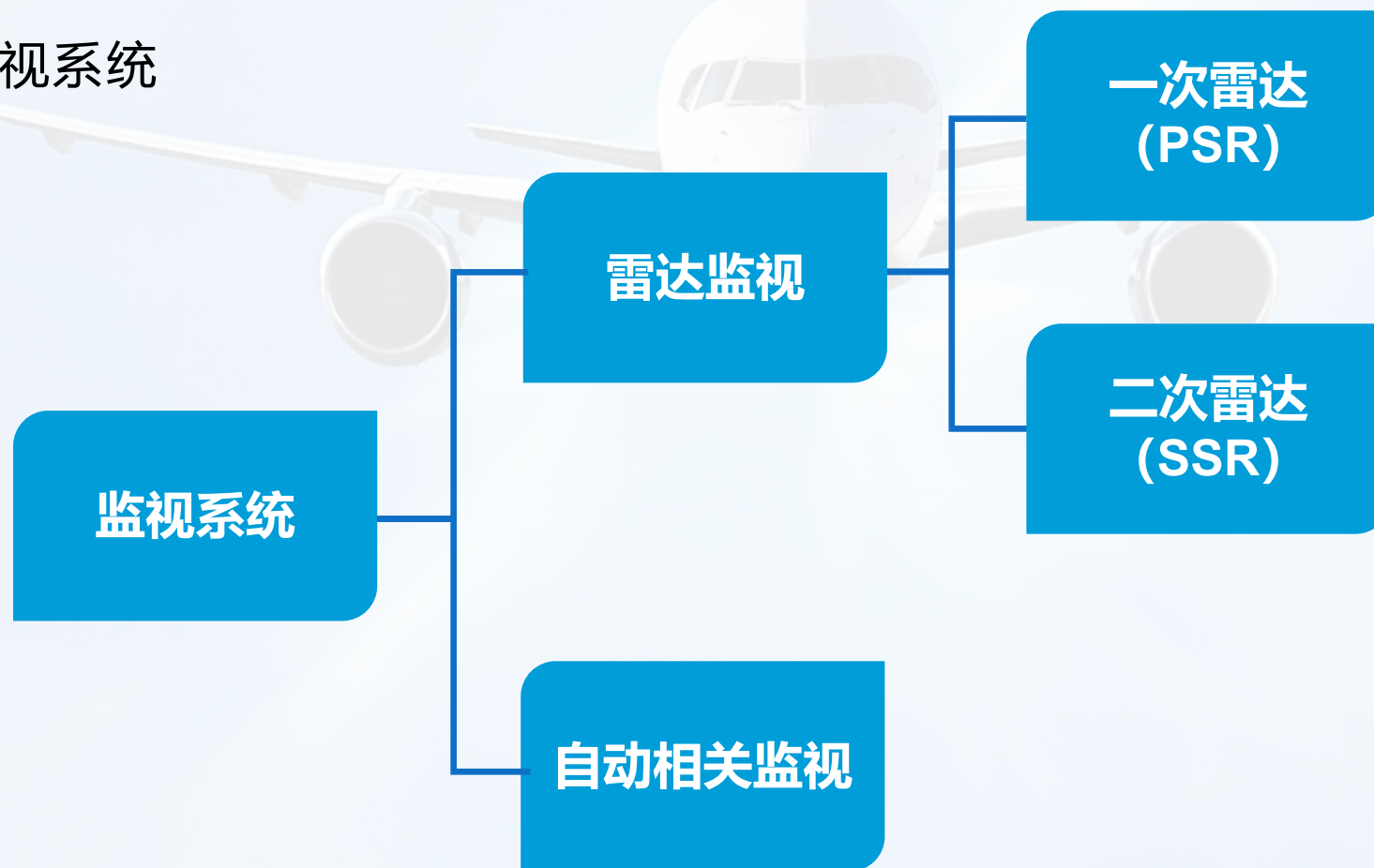
3) 机载导航系统

(4) 星基导航 星基增强系统 (SBAS)

- 在 SBAS 中，用户接收的增强信息来自星基发射机
- SBA 系统通过地球静止轨道卫星搭载卫星导航增强信号转发器
- 向用户播发星历误差、卫星钟差、电离层延迟等多种修正信息
- 实现对于原有卫星导航系统定位精度的改进
- SBAS 系统能为民用航空提供花费更低、可用性更高的导航功能
- 并将为航空领域带来巨大的经济效益和社会效益

1、机载通信、导航、监视系统

4) 机载监视系统



1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

4) 机载监视系统

(1) 雷达监视

一次雷达 (Primary Surveillance Radar, PSR)

- 通过自主发射电磁波并检测到目标对电磁波的反射而对目标定位
- 不需要被监视者配合、完全由监视者独立完成, 也称为独立监视
- 一次雷达只能探测出空中飞行物的方位和距离
- 无法知道该飞行物的飞行高度及其性质, 只用于监控
- 只有和二次雷达配套使用才能实现空中交通的雷达管制

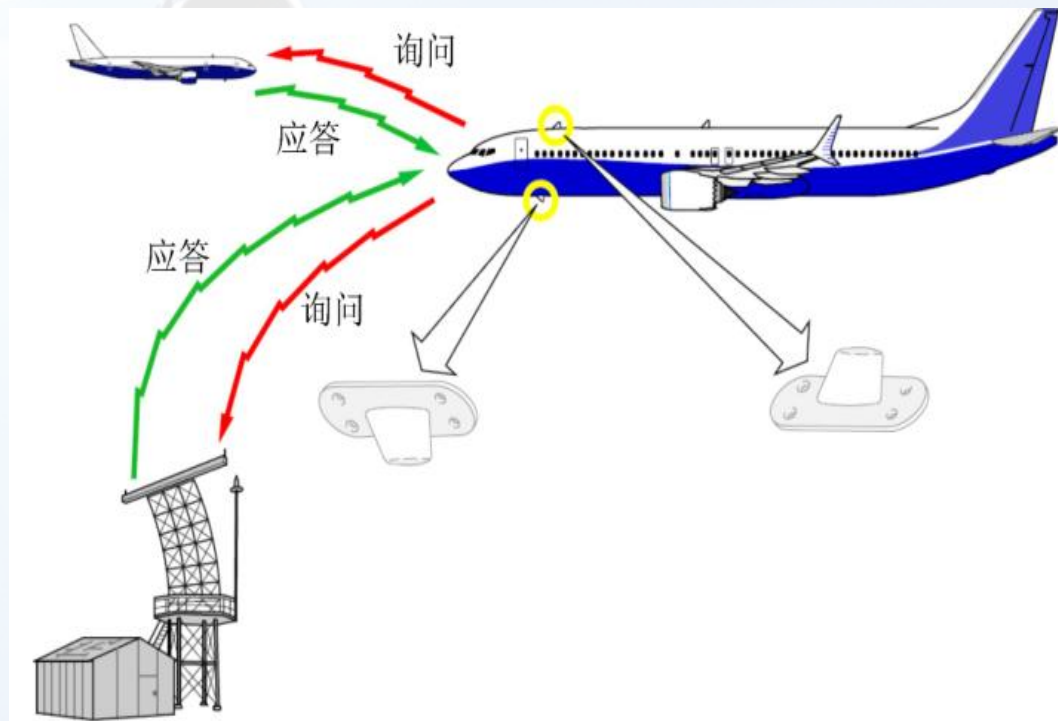
1、机载通信、导航、监视系统

4) 机载监视系统

(1) 雷达监视

二次雷达 (Secondary Surveillance Radar, SSR)

- ❑ 二次雷达发射约定模式的询问信号，机载应答机接收并响应询问后发送应答信号
- ❑ 二次雷达接收处理后，管制员容易获得飞机的编号、高度、方向等参数
- ❑ 使雷达由监视的工具变为空中管制的手段
- ❑ 需要被监视者协同工作



1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

4) 机载监视系统

(1) 雷达监视

二次雷达 (SSR)

- 传统二次雷达有 6 种询问模式
- 新型的二次雷达采用 S 模式询问
- 机载应答机将根据询问的内容自动应答
- 响应 A 模式时, 应识别码(共 4096 个)
- 响应 C 模式时, 应答飞机的高度码

- A 模式的识别编码是由驾驶员通过编码器输入
- C模式高度码由机上大气数据计算机自动输入
- 机上应答机还具有识别功能
- 在管制员要求时按下“识别”键
- 发出一个特别位置识别脉冲
- 这个脉冲使地面站屏幕上的亮点变宽

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

4) 机载监视系统

(2) 自动相关监视系统 (Automatic Dependent Surveillance, ADS)

- 自动是指无须驾驶员操作或输入就可以周期性地发送信息
- 相关是指位置与速度从卫星导航系统获取
- 监视是指在地面管制系统上可以以类似雷达画面向管制员提供空中交通态势
- 是依靠飞机报告位置的被动监视方式

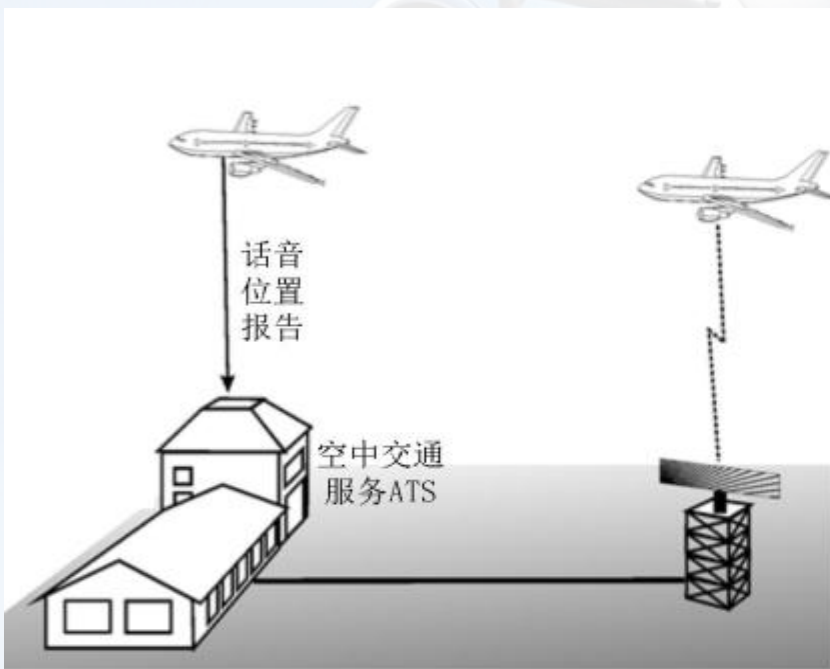
- 监视功能的实现和精度都依赖于外部导航源
- 由机载电子设备、地空数据链、先进的地面处理和显示系统组成
- 可以减少位置报告的误差
- **可对非雷达空域进行监视**
- 提高灵活性，大大节约成本

1.5.2 机载电子设备

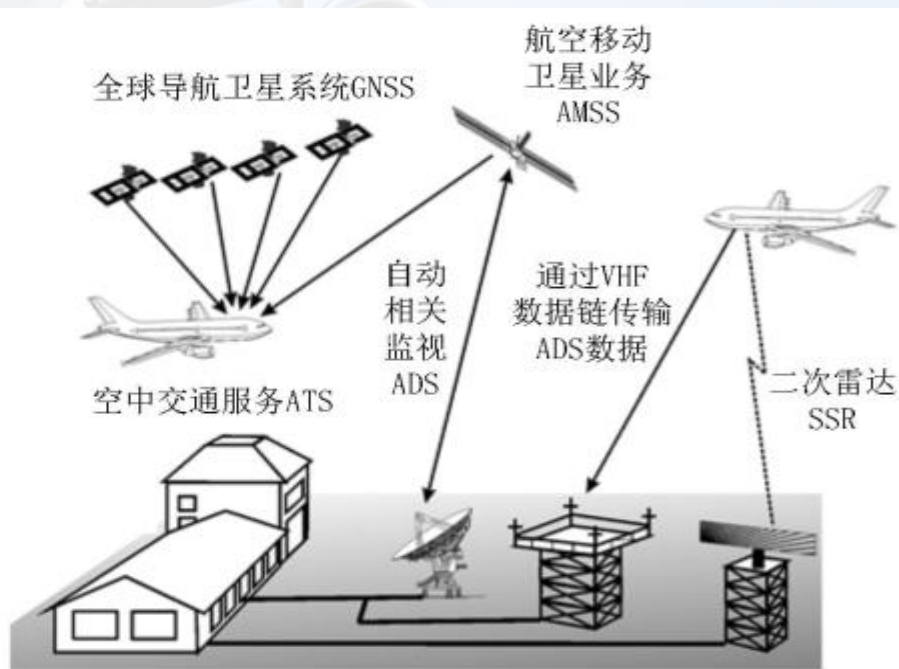
1、机载通信、导航、监视系统

4) 机载监视系统

(2) 自动相关监视系统 (ADS)



(a) 传统监视环境



(b) 自动相关监视系统

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

4) 机载监视系统

(2) 自动相关监视系统 (ADS)

广播式自动相关监视 (ADS-B) 模式:

- 国际民航组织主要推荐采用的模式
- 是一个集通信与监视于一体的**信息系统**
- 主要信息是飞机的四维位置信息, 飞机的识别信息和类别信息, 以及附加信息
- 信息传输以 ADS-B 报文形式, 通过空空或空地**数据链**广播式传播

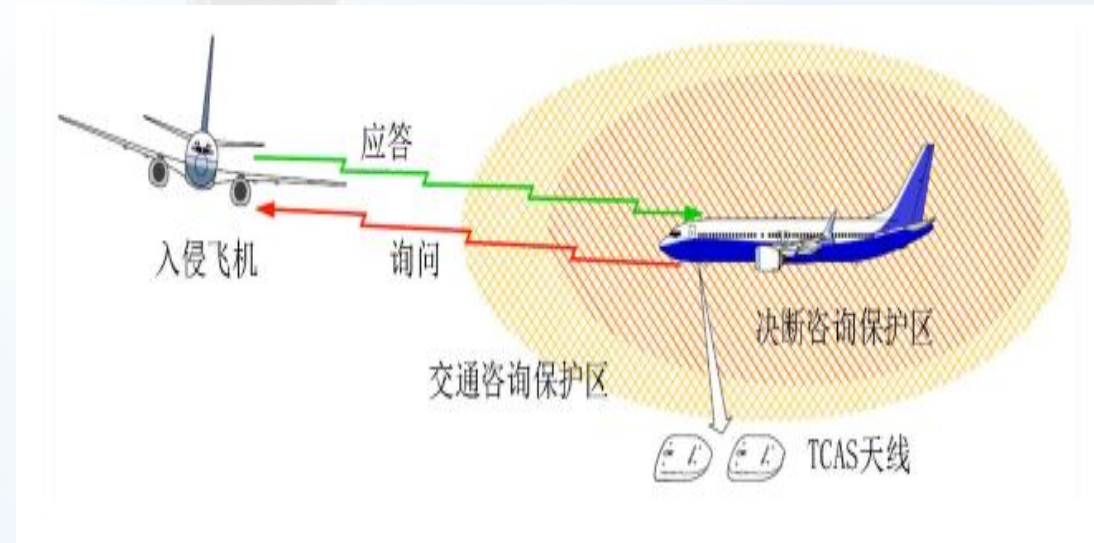
- ADS-B 分为发送 (OUT) 和接收 (IN) 两类
- 机载 ATC 应答机是 ADS-B 系统的核心
- 应用最广泛也是 ICAO 推荐的频段是基于 SSR 的 S 模式扩展电文功能的 1090MHz
- 为新航行系统增加和扩展了非常丰富的功能
- 同时也带来了潜在的经济效益和社会效益

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

5) 空中交通警戒与防撞系统 (Traffic Collision Avoidance System, TCAS)

- 由询问器、应答机、收发机和计算机组成
- 计算机根据发射信号和应答信号间的时间间隔来计算距离，同时根据方向天线确定方位
- 还可以提供语音警告和建议
- 监视的范围为前方 30 海里，上、下方 3000 米
- 可以算出监视区内30架以下飞机的动向和危险接近
- 驾驶员有 25 到 40 秒的时间采取避撞措施
- TCAS 是航线飞机的标准装置，极大地降低了空中相撞的危险



1、机载通信、导航、监视系统

6) 近地警告系统 (Ground Proximity Warning System, GPWS)

- 提供飞机在以不安全的方式或速度靠近地面的警告
- 系统的核心是近地警告计算机
- 计算机中存储了各种警告方式的极限数据
- 会输出相应的语音和灯光警告信号
- 脱离了不安全状态后, 灯光和语音警告信号才被终止
- 依靠无线电高度表工作
- 只能探测飞机下方的地形情况

1、机载通信、导航、监视系统

6) 近地警告系统 (Ground Proximity Warning System, GPWS)

增强型近地警告系统 (Enhanced Ground Proximity Warning System, EGPWS)

- 包含了全球机场位置数据库和地形数据库
- 并利用飞机位置、无线电高度和飞行轨迹信息来确定潜在的撞地危险
- 弥补了 GPWS 的不足



1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

7) 自动飞行系统

自动飞行系统接受驾驶员的输入指令和其他系统输入信号，计算相应控制指令，并输出到伺服系统或显示系统，实现对飞机操纵面、发动机推力的自动控制和相应指令及状态的显示

系统	核心	信息源	执行机构	目的	基本功能
自动飞行系统	计算机	机载导航系统	伺服系统	改善飞行品质	自动驾驶 (A/P)
		飞行员输入指令		保证飞行安全	飞行指引 (F/D)
		执行机构反馈		减轻飞行员工作负荷	自动油门 (A/T)
					安定面自动配平 (STAB/T)
					偏航阻尼 (Y/D)

1、机载通信、导航、监视系统

7) 自动飞行系统

(1) 自动驾驶 (A/P)

- 根据确定的工作方式和系统输入信号

- 自动控制飞机的姿态

- 计算操纵面的控制指令

- 从而实现对飞行轨迹和速度的控制

- 输出给自动驾驶伺服系统

- 可以用于除起飞阶段以外的各飞行阶段

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

7) 自动飞行系统

(2) 飞行指引 (F/D)

- 根据确定的工作方式和系统输入信号
- 在 PFD 或 EADI 上显示飞行操纵指引指令
- 计算飞行操纵指令
- 引导飞行员人工驾驶飞机跟随指令要求飞行
- 输出到机载显示系统
- 在自动驾驶衔接时，可用于人工监控自动驾驶的工作状态

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

7) 自动飞行系统

(3) 自动油门 (A/T)

- 根据确定的工作方式和系统输入信号
- 计算发动机的控制指令和推力限制指令
- 自动控制发动机的推力

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

7) 自动飞行系统

(4) 安定面自动配平 (STAB/T)

□ 在不同飞行阶段

□ 通过自动调整水平安定面

□ 提供纵向的操纵力矩

□ 提高飞机俯仰方向上的稳定性

□ 通常可分为

✓ 自动驾驶配平 (AP/T)

✓ 马赫配平 (M/T)

✓ 速度配平 (SPD/T)

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

7) 自动飞行系统

(5) 偏航阻尼 (Y/D)

- 根据飞行状态和系统输入
- 计算控制指令
- 通过控制方向舵
- 提供绕飞机立轴的操纵力矩
- 阻尼飞机“荷兰滚”运动
- 提高飞机绕立轴的稳定性
- 还提供协调转弯功能
- 安定面自动配平和偏航阻尼功能，也是**增稳功能**
- 改善了飞机的稳定性和操纵性，
- 提高了飞行安全和旅客乘机的舒适性

1、机载通信、导航、监视系统

8) 飞行管理系统 (Flight Management System, FMS)

系统	核心	目的	基本功能	具体功能
飞行管 理系统	飞行管 理计算 机系统	实现飞行过程的全面自动化	高级区域导航、制导	提供飞行的时间、距离、速度、经济剖面和高度的预测
		减小驾驶员的工作量，提高效率	性能管理	实现全自动导航
				以最佳的飞行路径、最佳的飞行剖面和最省油的飞行方式完成从起飞到进近着陆的整个飞行过程

1.5.2 机载电子设备

1、机载通信、导航、监视系统

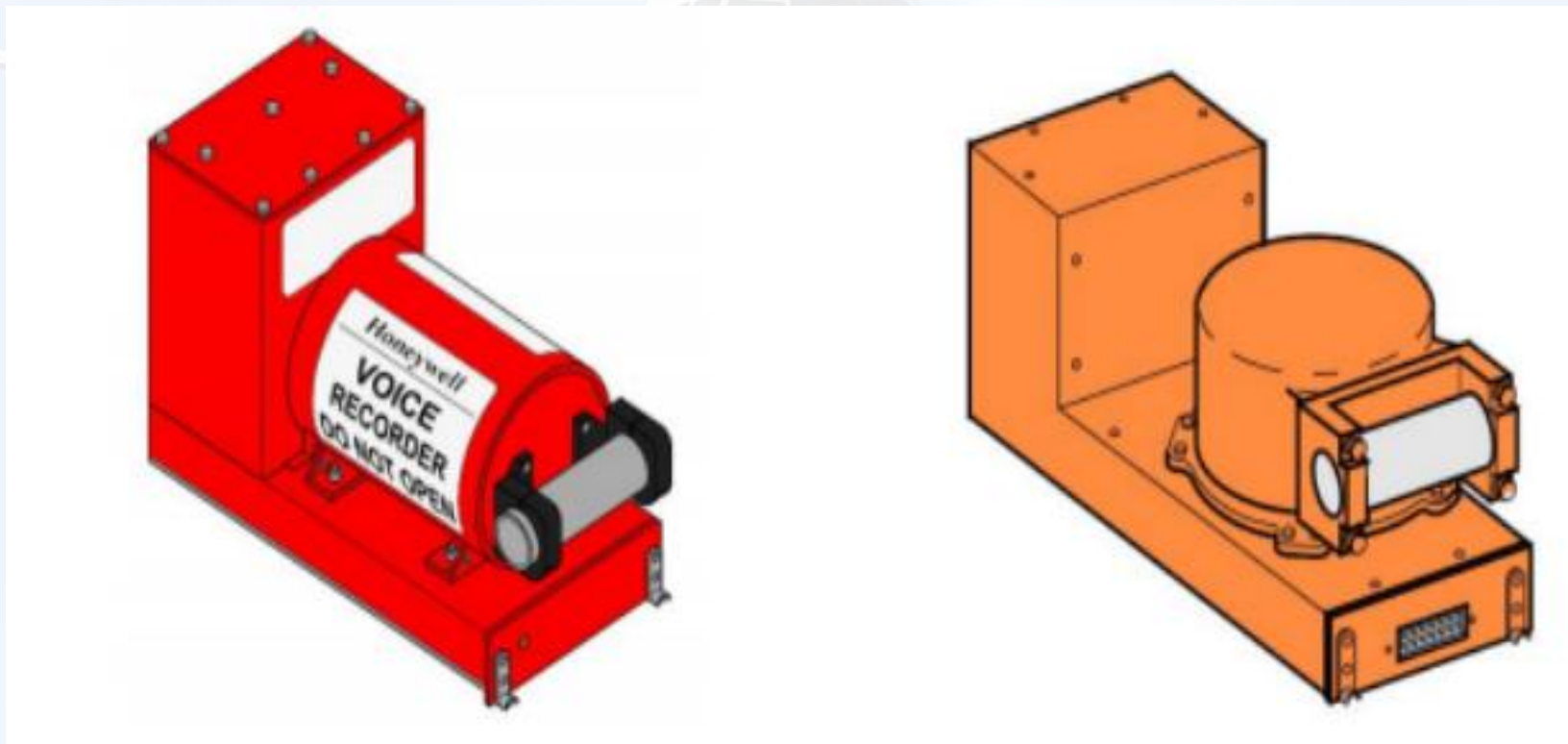
9) 记录系统

按照航空法的规定，在大型商业飞机上必须安装飞行记录器（俗称“黑匣子”），它记录重要的飞行数据用于飞机**飞行性能评估**和发生意外后进行**事故分析**

名称	记录内容	记录时长	记录方式	安装位置	颜色
驾驶舱话音记录器 (Cockpit Voice Recorder, CVR)	记录驾驶舱中机组人员所有的通信联络语音	2 小时	循环记录	飞机尾部	橘红色
飞行数据记录器 (Flight Data Recorder, FDR)	记录飞机的系统工作状况和发动机工作数等飞行参数	25 小时	循环记录	飞机尾部	橘红色

1、机载通信、导航、监视系统


9) 记录系统



典型飞行记录器

小结: (2H)

通信系统	导航系统	监视系统	自动飞行系统	记录系统	GNSS
高频 (HF)	陆基导航	雷达监视	自动驾驶 (A/P)	驾驶舱语音记录器 (CVR)	GPS
甚高频 (VHF)	<input type="checkbox"/> NDB <input type="checkbox"/> VOR <input type="checkbox"/> DME <input type="checkbox"/> ILS	<input type="checkbox"/> PSR <input type="checkbox"/> SSR	飞行指引 (F/D)	飞行数据记录器 (FDR)	GLONASS
卫星通信系统 (SATCOM)			自动油门 (A/T)		GALILEO
选择呼叫系统 (SELCAL)	星基导航	自动相关监视 (ADS)	安定面自动配平 (STAB/T)		BDS
数据链通信 (ACARS)	<input type="checkbox"/> GBAS <input type="checkbox"/> SBAS	<input type="checkbox"/> ADS-B	偏航阻尼 (Y/D)		



1.5.3 其他机载系统(2H)

目 录

1

座舱环境控制系统

2

电气系统

3

燃油系统

4

液压系统

5

防冰排雨系统

6

防火系统

7

客、货舱设备

1、座舱环境控制系统



1、座舱环境控制系统

飞行高度超过 **6000 米** 的飞机必须采用**座舱环境控制系统**来保障乘客和机组人员的生命安全

□ 座舱环境控制系统包括：

- ✓ 氧气系统
- ✓ 座舱增压系统
- ✓ 空调系统

1.5.3 其它机载系统

1、座舱环境控制系统

1) 氧气系统

系统	分系统	功能	使用条件	组成	差异
氧气系统	旅客使用	<ul style="list-style-type: none"> □ 紧急情况下救生使用 	<ul style="list-style-type: none"> □ 座舱释压 □ 有烟雾 □ 出现毒气 	<ul style="list-style-type: none"> □ 氧源 □ 管路 □ 面罩 	化学式氧气发生器作为氧气源
	飞行机组使用	<ul style="list-style-type: none"> □ 提供足够的呼吸用氧气 	舱内气压降低到低于 4500米高空空气压时，旅客氧气面罩会自动从上面落下		连续供氧
					面罩储存在天花板上
					高压气瓶储存的液态氧
					断续供氧
					可以调节氧气的供应量和浓度

1、座舱环境控制系统

1) 氧气系统



(a) 乘客用的氧气面罩



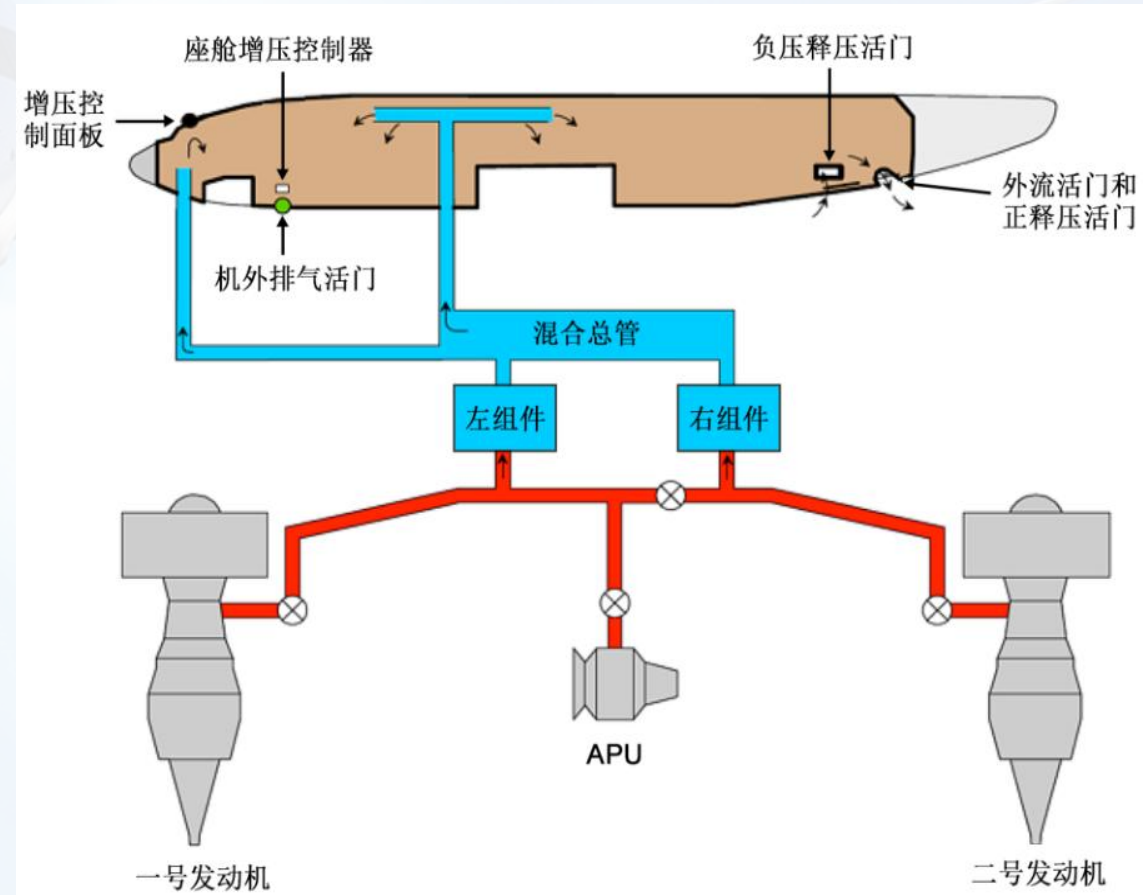
(b) 机组用氧气面罩

1.5.3 其它机载系统

1、座舱环境控制系统

2) 座舱增压系统

- 气源来自发动机
- 先送入空调系统，再由空调系统供应座舱
- 压力保持在 1800 米到 4000 米对应高度的气压上
- 应保证座舱内外的压力差在允许范围之内
- 增压的座舱要有一定的密封性能，以保证舱内压力
- 舱内设有减压阀，当舱内压力过大时，把气体排出
- 当加压装置供应的气体不足以保障 4000 米高度的压力时，飞机也就到了它飞行高度的极限



1.5.3 其它机载系统

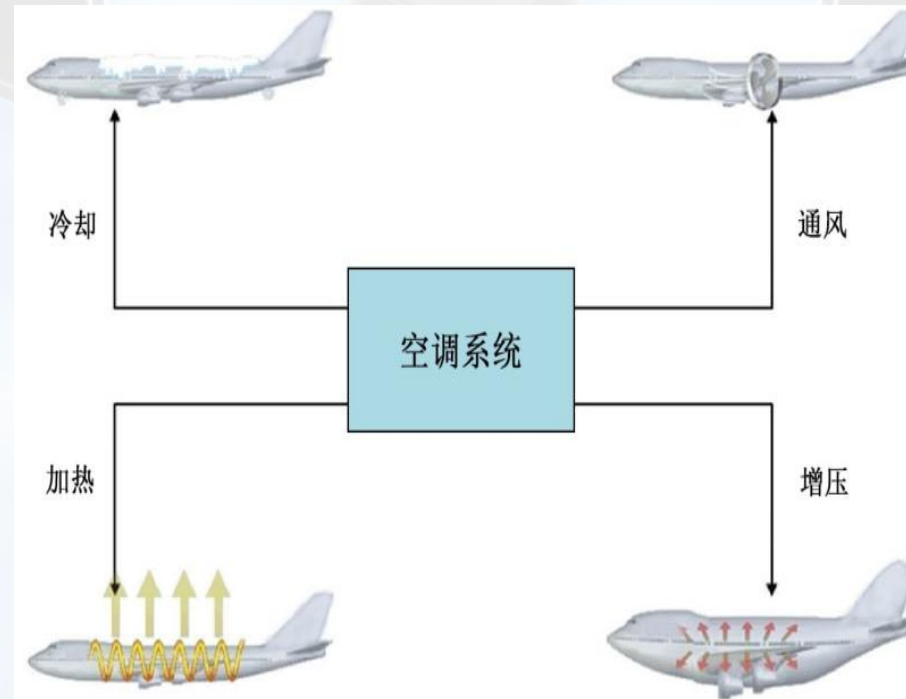
1、座舱环境控制系统

3) 空调系统

保证座舱内的温度和湿度，保障舒适、安全的飞行环境，由加热、通风、除湿等部分组成

□ 小型飞机上：

加热由电加热器或烧油的加热器完成，通风和除湿由引入外界的冲压空气而完成



□ 大型飞机上：

把控制座舱内部压力、温度、通风的设备组成一个完整的系统，通常由空调组件、分配管路和控制系统组成

2、 电气系统

□ 飞机的电气系统是指飞机的供电和用电设备系统

□ 包括:

✓ 电源

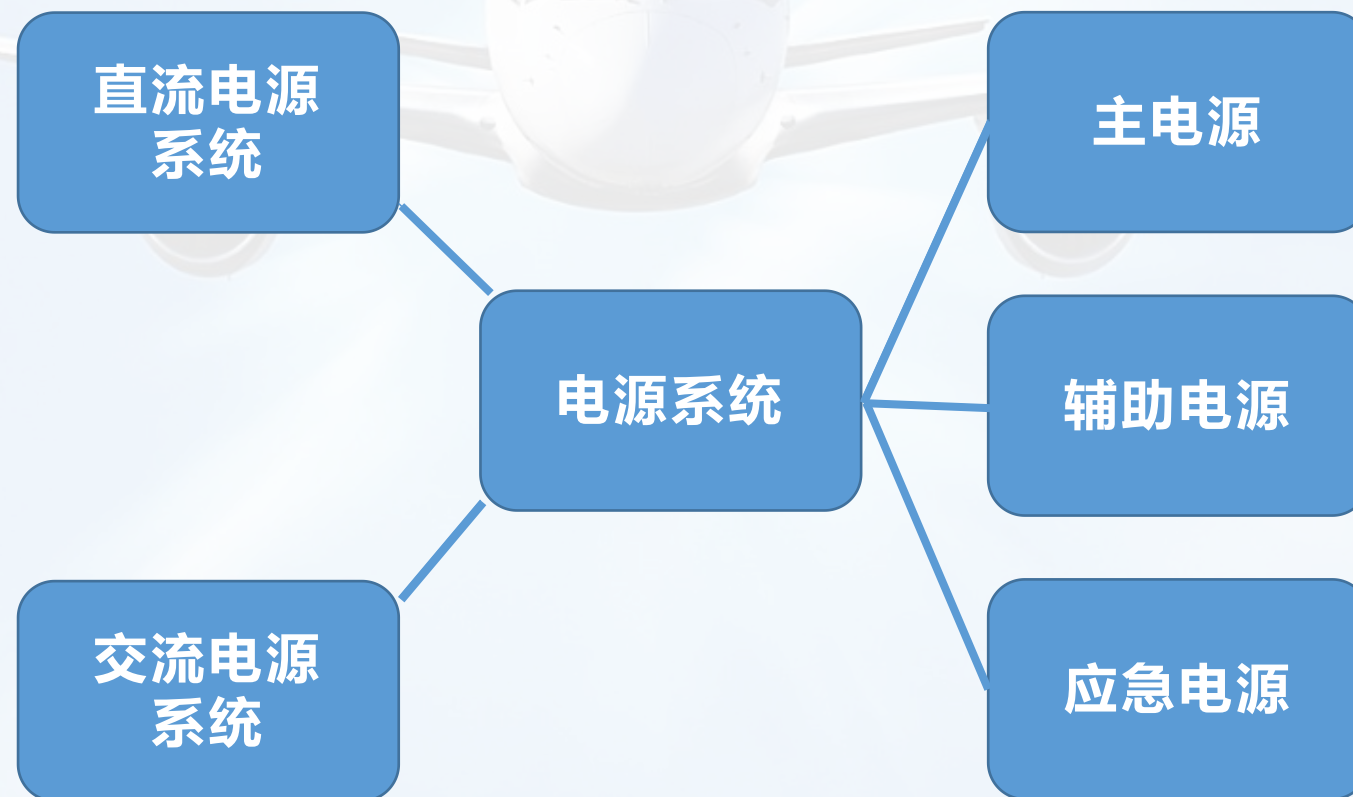
✓ 配电

✓ 用电

1.5.3 其它机载系统

2、 电气系统

1) 电源系统



2、电气系统

2) 配电线路系统

	组成	输电线路	回路	电力控制
配电线路系统	导线组成的电网	单线制	金属机体	触点电磁开关控制
	各种配电器具和接头	双线制	接地网	无触点的固体电路控制
	检查仪表			

1.5.3 其它机载系统

2、电气系统

3) 用电设备

用电设备	电动机	电子仪器设备	照明系统	电加热设备
说明	主要用于： <ul style="list-style-type: none"> □ 飞机的操纵，如舵面、起落架收放等 □ 以及驱动油泵、阀门等 	<ul style="list-style-type: none"> □ 现代的飞机仪表 对电源质量要求高， 一般采用恒频交流电	<ul style="list-style-type: none"> □ 安全和照明需要 □ 外部灯光有：航行灯、着陆灯、滑行灯、防撞灯和机翼照明灯 □ 内部照明包括：座舱照明、仪表照明、驾驶舱照明 	主要用于： <ul style="list-style-type: none"> □ 防冰 □ 加温

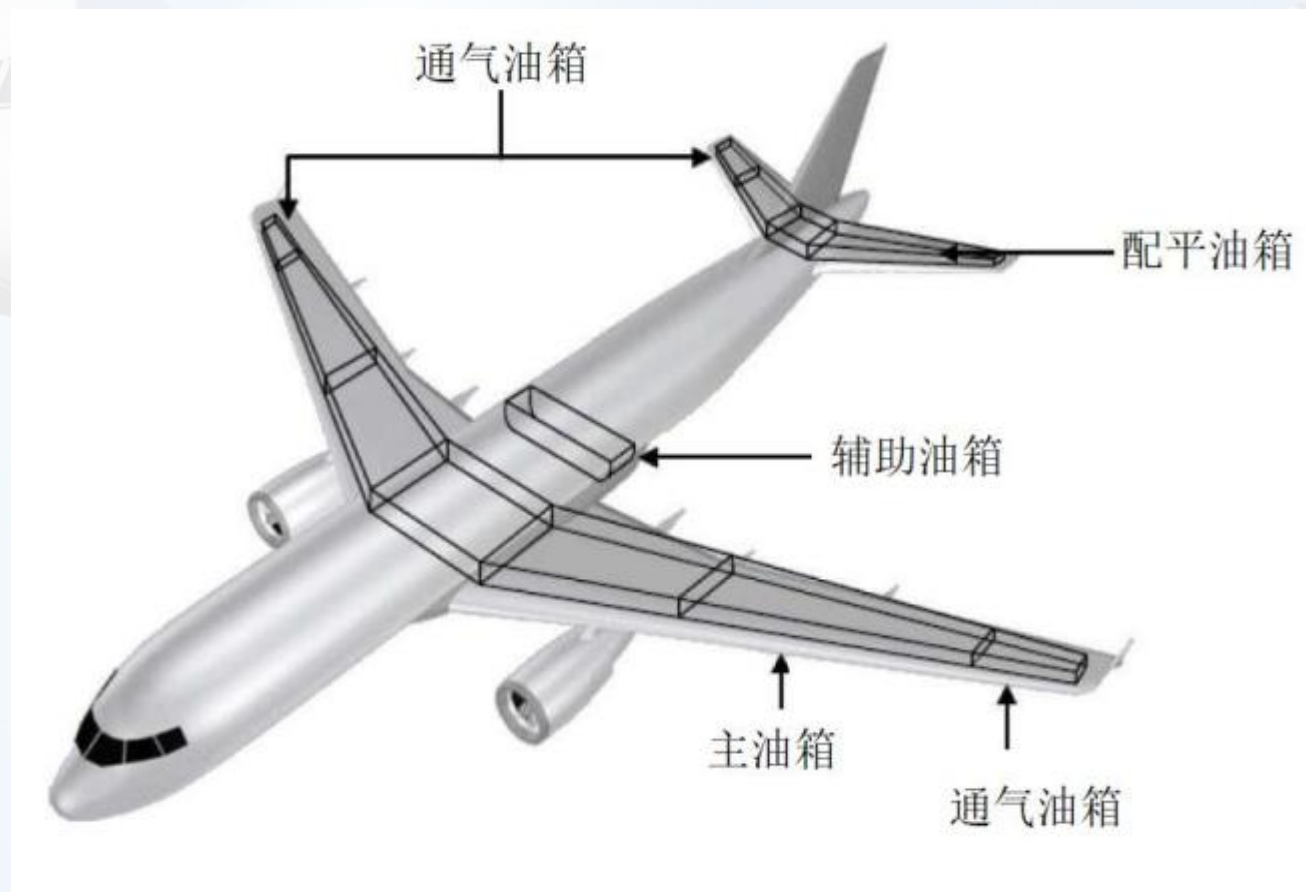
3、燃油系统

	功能	类型	组成	其它说明
燃油系统	主要用于： <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 储存燃油 <input type="checkbox"/> 向发动机和辅助动力装置 (APU) 连续供给燃油 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 重力供油 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 油箱必须高于发动机 ✓ 多用于活塞式的轻型飞机 <input type="checkbox"/> 油泵供油 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 现代喷气飞机都采用 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 燃油箱和管路 <input type="checkbox"/> 油箱通气增压系统 <input type="checkbox"/> 油量指示和输油控制系统 <input type="checkbox"/> 压力加油系统 <input type="checkbox"/> 紧急放油系统 	大都采用余度设计

3、燃油系统

1) 燃油箱和管路

- 轻型低速飞机多采用铝合金焊接油箱
- 喷气飞机多用尼龙薄膜油箱或整体油箱
- 整体油箱利用结构内部空间作为油箱，在每个油箱的最低点装有吸油泵
- 燃油温度增加所产生的沉积物靠油滤清除



3、燃油系统

2) 油箱通气增压系统

- 通气增压管道可使油箱内部始终保持比外界大气压**略高**的压力

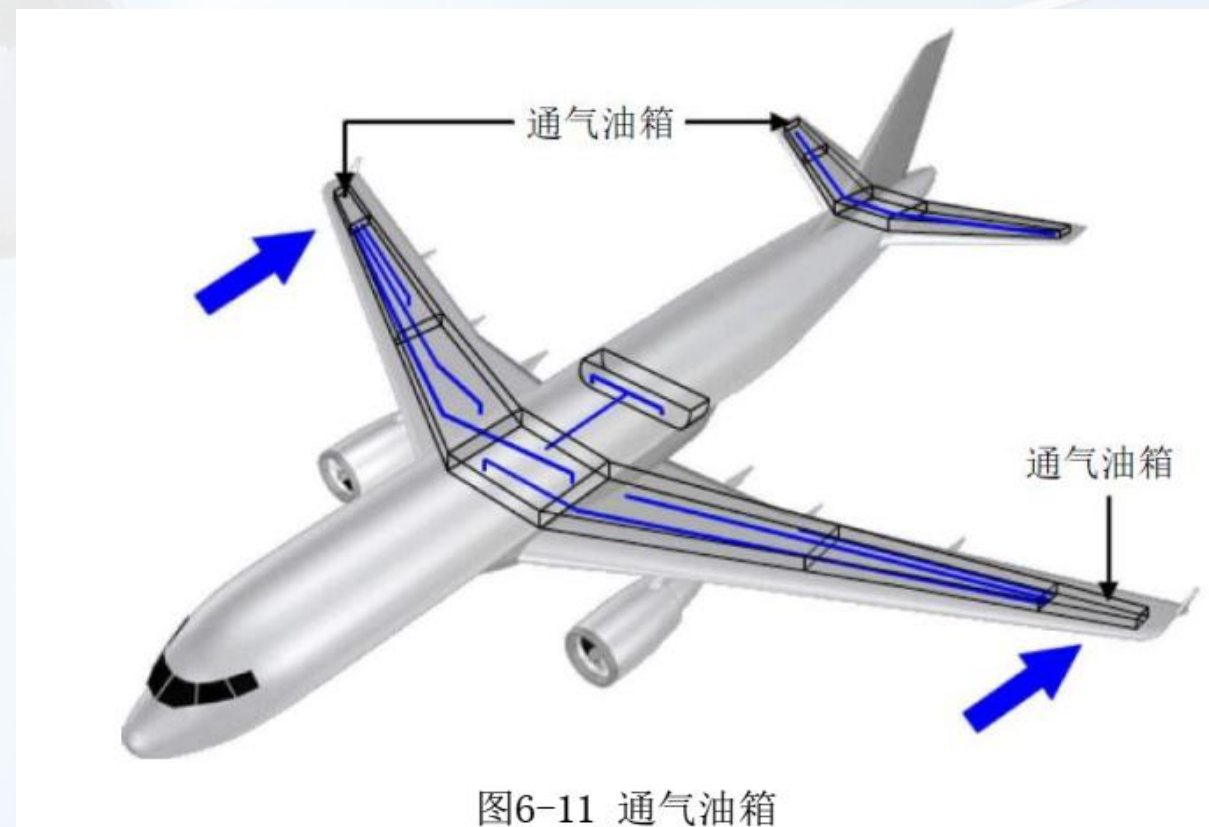


图6-11 通气油箱

3、燃油系统

3) 输油控制系统

- 飞机上众多的油箱分散布置在机身和机翼内
- 如果对各油箱的用油顺序不加控制，飞机的重心便会发生很大变化，影响飞机的平衡
- 控制系统根据各油箱内油量传感器提供的信息，按照规定（保证重心变化为最小）的要求自动安排用油顺序

3、燃油系统

4) 压力加油系统

- 喷气飞机载油多，油箱数量也多
- 为提高加油速度，在飞机上较低的部位设置一个压力加油口
- 用较粗的管子和各个油箱连通，由地面压力加油车迅速把全部油箱加满



图 5-31 飞机压力加油

3、燃油系统

5) 紧急放油系统

- 大型客机起飞时载油量很大
- 为了在紧急情况下（特别是在起飞后不久燃油尚未大量消耗时）安全着陆
- 油箱内的燃油应能尽快地排放掉
- 紧急放油管道要求足够粗大，排放口的位置适当，不能使放出的燃油喷洒在飞机机体上



小结:

了解座舱环境控制、电气、燃油三个系统在飞机上的基本作用和宏观的工作原理，

M3中会系统展开讲解。

4、液压系统

	工作原理	备份措施	组成	功能	优点	缺点
液压系统	液压传动原理 (帕斯卡原理)	<ul style="list-style-type: none"> □ 多套相互独立的液压系统 □ 还并联有电动马达驱动泵和应急冲压涡轮驱动泵 	<ul style="list-style-type: none"> □ 供压 □ 执行 □ 控制 □ 辅助 	驱动执行机构完成特定操纵动作	<ul style="list-style-type: none"> □ 功重比大 □ 传输效率高 □ 安装简便灵活 □ 惯性小 □ 动态响应快 □ 控制速度范围宽 □ 油液有润滑作用、机件不易磨损 	<ul style="list-style-type: none"> □ 油液容易渗漏 □ 不耐燃烧 □ 操纵信号不易综合

4、液压系统

供压部分包括:

- 主油泵
- 应急油泵
- 储压器

控制部分包括:

- 压力阀
- 流量阀
- 方向阀
- 伺服阀



执行部分包括:

- 作动筒 (Actuator)
- 液压马达 (Hydraulic motor)
- 助力器 (Booster)

辅助部分包括:

- 油箱、导管 (Fuel tank, duct)
- 油滤 (Oil filter)
- 压力表 (Pressure gauge)
- 散热器 (Radiator)

5、防冰排雨系统

表14-1 冰和雨的负面影响

结冰/雨水位置	负面影响
机翼结冰	破坏气动外形、增加飞机重量
发动机结冰	进气道流场改变，引起发动机喘振
螺旋桨结冰	结冰一般位于桨叶根部，导致螺旋桨效率降低 不规则结冰导致不规则振动，发动机固定架变形损坏
大气数据探头结冰	空速、高度数据错误，导致机组错误操作
风挡结冰或雨水堆积	影响机组视线，可能导致严重后果
水系统结冰	管路爆裂，无法继续使用

经调查表明，航空史上已有多起严重事故与飞机结冰有直接关系

5、防冰排雨系统

防止或消除结冰可以采用四种方式：

- 气热防冰
- 电热防冰
- 化学溶液防冰
- 机械除冰

5、防冰排雨系统

	气热防冰	电热防冰	化学溶液防冰	机械除冰
说明	<ul style="list-style-type: none"> □ 用于防冰面积较大的部位 □ 热气源引自发动机压气机 □ 如机翼、尾翼、发动机进气道前缘 	<ul style="list-style-type: none"> □ 利用电阻把电能转化为热能 □ 用于面积较小、又较为突前的部位 □ 如空速管和风挡玻璃 □ 活塞发动机则要用加热器加热空气 	<ul style="list-style-type: none"> □ 使用防冻液喷洒到防冰表面进行防冰或除冰 □ 主要用于螺旋桨防冰或小型飞机机翼部位的防冰 	<ul style="list-style-type: none"> □ 机翼前缘防冰管带平时紧贴在机翼上 □ 结冰后在管内充放压缩空气使管带反复膨胀、收缩 □ 使冰层破裂为碎块

5、防冰排雨系统



机翼前缘气热防冰

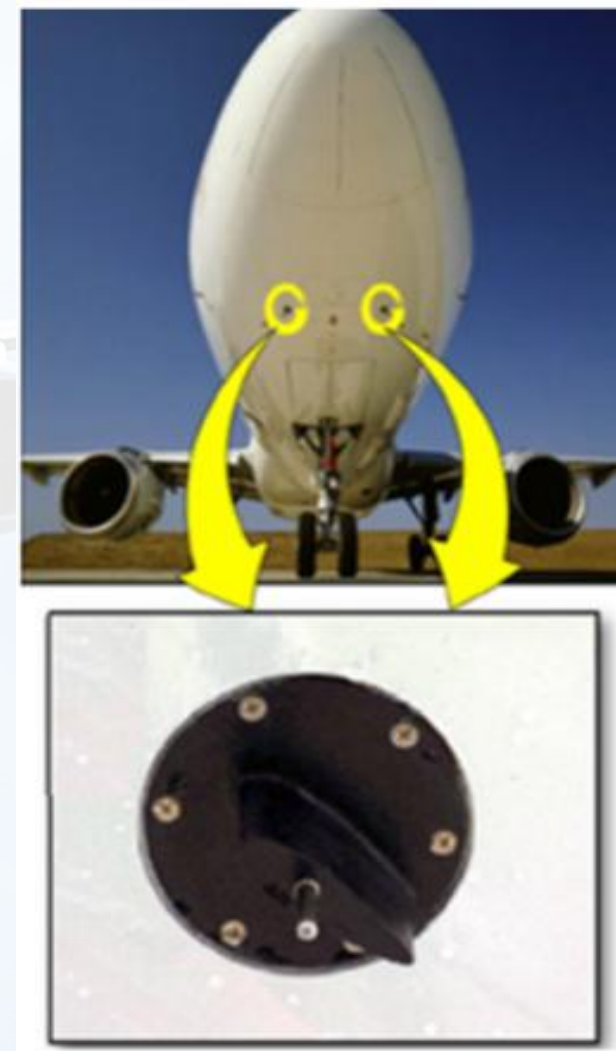


进气口电热防冰

5、防冰排雨系统

1) 结冰探测

- ❑ 大型飞机装有结冰探测器，遇到结冰就会启动机内的警告灯，并使防冰系统工作
- ❑ 在热气防冰的地方有温度传感器，防止该区域在把冰融化后产生过热
- ❑ 机身上还装有机翼照明灯，在夜晚飞行时照亮机翼以便驾驶员检查结冰情况
- ❑ 在小型飞机上主要靠驾驶员目视检查结冰状况，也有的在机头外侧装有探冰杆



电子式结冰探测器

5、防冰排雨系统

1) 飞机排雨

- ❑ 主要是防止雨水在风挡玻璃上聚集，避免影响驾驶员的视线
- ❑ 通常使用的方法有：
 - ✓ 风挡雨刷
 - ✓ 喷排雨剂
 - ✓ 采用厌水涂层
 - ✓ 热空气防雨
- ❑ 防雨液(排雨剂)的作用是使雨水聚集成球状，不在玻璃上依附



风挡雨刷

6、 防火系统

易起火的地方	发动机舱	客舱	货舱	电子设备舱	起落架舱
防护监控措施	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 防火墙 <input type="checkbox"/> 火警探测 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 采用阻燃且不生成有毒气体的材料 <input type="checkbox"/> 烟雾探测 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 烟雾探测 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 采用电路防护措施 <input type="checkbox"/> 烟雾探测 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> 火警探测

6、 防火系统

- ❑ 防火系统分为火警探测系统和灭火系统两大部分
- ❑ 防火系统轻易不会动用，但它是重要的安全保障系统
- ❑ 必须经常检查更换，保证处于随时可用的状态

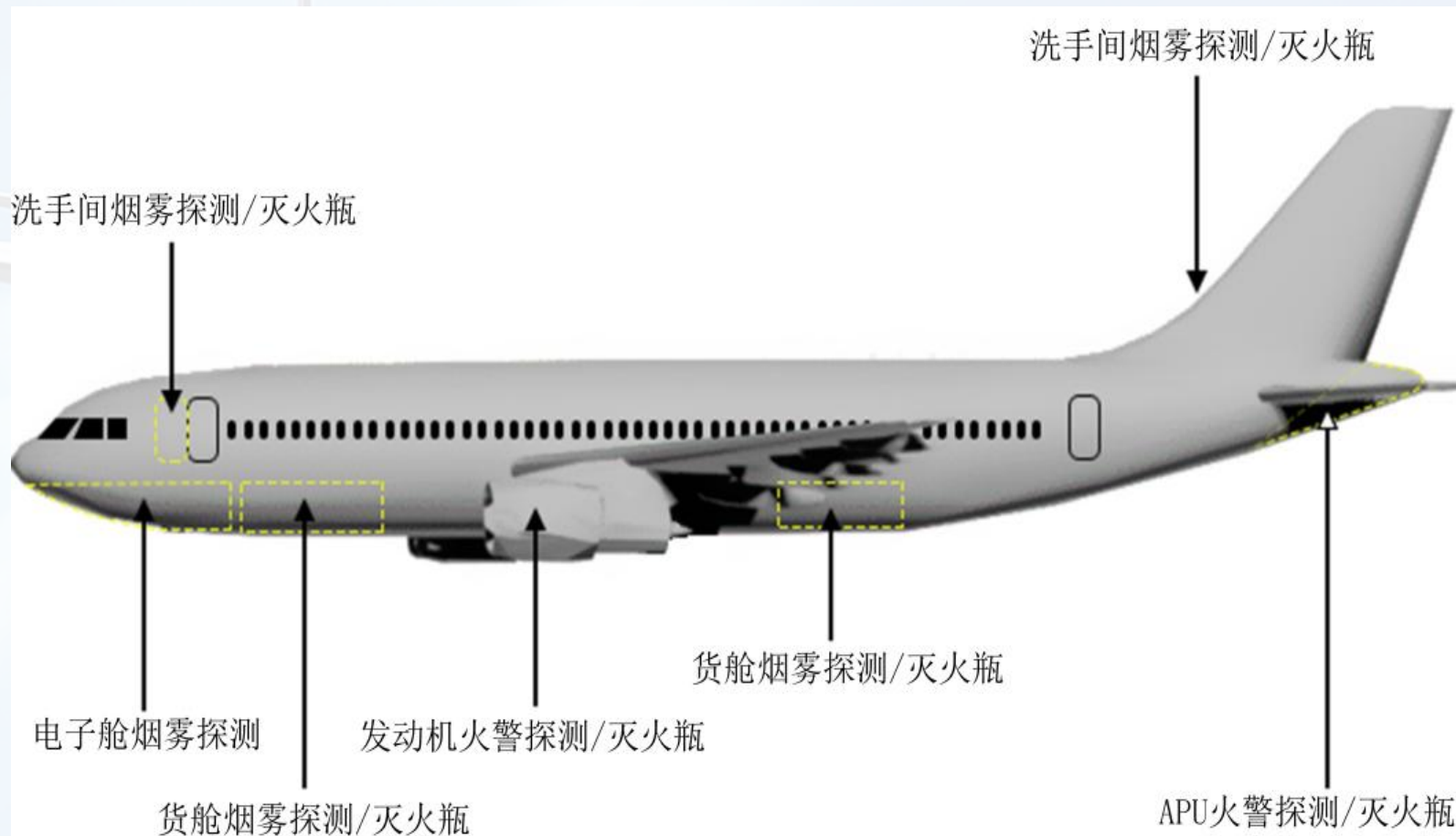


图13-1 飞机重点防火区域（也称之为“火区”）

7、客、货舱设备



7、客、货舱设备

1) 客舱

- 客舱是保证旅客安全、舒适旅行的空间
- 客舱的布局是指座椅、厨房、卫生间的安排
- 制造厂可按航空公司的意图来进行布局
- 对大型客机来说，客舱座椅可按头等舱、公务舱、经济舱三个等级来安排
- 机上的厨房和卫生间都是按照旅客人数配置的
- 通常为每 60 到 70 人一个厨房，40 到 50 人一个卫生间

7、客、货舱设备

2) 货舱

□ 民航的货运有 3 种形式的飞机：

✓ 一种是专门设计的货机，这种飞机的机身除驾驶舱外，全部都是货舱

✓ 第二种是客货混合型，这种飞机前舱载客后舱装货

✓ 大量的空运货物是由客机客舱下面的货舱来运输的

□ 现代飞机的货舱都是增压舱，以保证能运送各类鲜活物品，

□ 有的飞机货舱还装有平衡传感系统，能反映出飞机货物装载是否平衡，以便装货人员及时调整

7、客、货舱设备

3) 机舱内的救生设施

(1) 撤离通道和应急出口

- 按ICAO的要求，全部机上人员在紧急情况下必须能在 **90 秒**内撤离
- 根据旅客的数量设置了若干应急出口：
 - ✓ 在驾驶舱有机组的应急出口
 - ✓ 在客舱每个撤离分区都有相应的应急出口
- 在紧急状况下空乘人员应熟练打开机门和应急出口指导旅客撤离



7、客、货舱设备

3) 机舱内的救生设施

(2) 陆上应急撤离设备

- 在舱门和应急出口处都装有撤离滑梯，平时以不充气状态折叠存放在舱门下部和应急出口下
- 在应急情况下打开后**自动充气**，在**6秒钟**内充气完毕滑梯在出口外展开
- 撤离人员应带上机上备有的应急定位发射机，至安全区后，立即打开
- 机上还有扩音器、急救药箱、救生斧、护目镜、防护头盔、救生索、照明灯等救生设备



7、客、货舱设备

3) 机舱内的救生设施

(3) 水面应急撤离设备

□ 陆上撤离设备的大部分在水面撤离时都要使用

□ 水面撤离设备还有：

- ✓ 救生衣、水上撤离滑梯、救生筏
- ✓ 以及其它水上救生物品，如海水淡化药剂、海水染色剂、压缩食品、指南针等



全章总结:

序号	本节重点知识要点
1	仪表的分类、发展历程与布局、显示数据的基本 T 型格式
2	机载通信、导航、监视系统
3	座舱环境控制系统、电气系统、燃油系统、液压系统、防冰排雨系统、防火系统、客货舱设备

1

序号	思考题
1	为何航空器的仪表都用T型格式来排列，出于什么方面的考虑？
2	课后自己查找下，民用飞机与军用飞机仪表有何区别？
3	
4	
5	
6	



感谢聆听，欢迎指正