民机通信导航与雷达

主　编　马存宝
副主编　张天伟
编　者　马存宝　张天伟
　　李红娟　张　超

西北工业大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

【内容简介】 本书系统地介绍了现代大型飞机无线电系统的基础知识和机载设备的功能、组成与性能参数，深入浅出地说明了各种先进的机载无线电通信、导航、雷达设备的电路结构和典型功能电路的基本原理，较为全面地介绍了现代电子技术在航空无线电设备中的具体应用。本书可作为高等院校民航电子及相关专业的教材，也可供航空机务、飞行、通信、导航、空中交通管制、电子设备制造、维修等部门的人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

民机通信导航与雷达/马存宝主编．—**西安：西北工业大学出版社**，2004．12
ISBN 7-5612-1889-3

Ⅰ．**民**… Ⅱ．**马**… Ⅲ．①**民用飞机**—**航空通信**—**通信系统**②**民用飞机**—**航空导航**—**导航设备**③**民用飞机**—**机载雷达** Ⅳ．V24

中国版本图书馆 CIP **数据核字**(2004)**第** 014382 **号**

设计制作：**西北工业大学出版社**
通信地址：**西安市友谊西路** 127 **号** **邮编**：710072
电　　话：029－88493844　88491757
网　　址：www．nwpup．com
印 刷 者：　**印务有限公司**
开　　本：787 mm×1 096mm　1/16
印　　张：23．5
字　　数：600 **千字**
版　　次：2004 **年** 12 **月第** 1 **版**　2004 **年** 12 **月第** 1 **次印刷**
定　　价：35．00 **元**

前　言

航空航天科学技术是一门高度综合的尖端科学技术，近几十年来发展迅速，对人类社会的影响巨大。20 世纪下半叶以来，航空技术和信息技术相互结合，迅猛发展，广泛应用于国民经济建设和国防建设，涉及范畴有通信、导航、遥感、遥控、遥测等。本书重点介绍与现代大型民用飞机密切相关的通信、导航和雷达技术。

“民机通信导航与雷达”是民航电子专业的专业课，是 1994 年西北工业大学民航工程学院成立时，由董事会单位（北京飞机维修工程有限公司（AMECO）和原西北航空公司）根据民航飞机维护与故障诊断实际要求建议新开设的课程。课程内容几乎涉及所有的机载电子设备，主要给学生讲授机载设备的原理、电路、功能、面板键的操作、系统连接及其在飞机上的位置等。经过多年的教学积累，“民机通信导航与雷达”已经成为民航电子专业的专业主干课程。

本课程是我校为数不多的设备课之一，具有独到的特点。教学内容以飞机电子系统设备为主线，一直使用符合进口飞机电子设备要求和民航维修执照考试要求的教材。目前，相关课程在教学中，采用的教材偏重于对电子系统原理框图的介绍，缺乏机载电子设备实例和相关理论，作为本专业教学的教材显得不太适宜。为适应现代民机的发展的态势，为满足教学需要，我们编写此书。

本书在选材方面力求将通信、导航、雷达等无线电技术的基本原理与民用飞机（简称民机）机载电子设备的功能、组成和性能相结合，使学生能够全面掌握机载电子设备的基本知识、基本原理、系统组成及设备电路设计技术。全书分为两部分，共十二章。第一部分包括第一～第四章，从飞机无线电基础、发送与接收原理、调频收发基础与自动频率微调、电波传输与天线几方面介绍了现代大型飞机无线电系统的基础知识。第二部分包括第五～第十二章，讲述了机载通信系统、气象雷达、空中交通管制应答机、测距机、自动定向机、无线电高度表、甚高频全向信标和仪表着陆系统的工作原理、功能组成、电路分析与性能参数等内容。力求深入浅出、图文并茂。

本书由马存宝主编，张天伟、李红娟、张超编写，其中马存宝编写了第一、六、七、十一章，张天伟编写了第二、三、四、八章，李红娟编写了第五、十二章，张超编写了第九、十章。由于时间有限，加之进口飞机的中文材料缺乏，为满足教学急需，本书部分内容取材于蔡成仁主编的《航空无线电》一书，在此对作者表示衷心的感谢。在本书的编写过程中，还得到了西北工业大学电子信息学院史浩山教授和李勇教授的指导和帮助，在此一并表示真挚的感谢。

由于资料缺乏，加之编者水平有限，书中难免有错漏之处，恳请读者批评指正。

编　者

2004 年 12 月

第一章　飞机无线电系统基础

第一节　飞机无线电系统

一、航空电子设备发展简史

航空电子设备几十年来经历了从简单到复杂、从单台到系统的发展过程。国内外的发展简史可以划分为以下几个阶段：

(1)1935—1949 年：国外飞机上安装简单的机械电气仪表。

(2)1949—1955 年：国外飞机上安装机电伺服机构、模拟式计算机、圆锥扫描雷达；国内处于创建阶段，对已有飞机上的航空电子设备可进行中修和大修。

(3)1955—1965 年：国外飞机上安装综合指引仪表、单台数字式计算机、单脉冲雷达；国内进入仿制生产阶段，积极掌握航空电子设备生产技术，为开展改型和自行设计创造条件。

(4)1965—1975 年：国外飞机上已装备电子显示仪表、平显、下显、综合显示系统、脉冲多普勒雷达；国内处于改型和开始自行设计阶段。简化航空电子设备品种，实现系列化。采用新材料、新元件，延长使用寿命，提高产品性能。改进产品结构，改进工艺，提高生产效率，降低成本。

(5)1975—1985 年：国外飞机上已使用数据系统总线传输信息的数字化综合航空电子系统、座舱综合显示系统；国内开始自行设计和对航空电子设备新领域开展预研工作。

(6)1985—1995 年：国外已使用光电设备和综合电子对抗系统；国内已安装通信导航识别系统、座舱显示控制记录系统、探测系统、电子对抗系统和信息综合系统。

二、航空电子设备在飞机上的安装布局

飞机上的电子设备应尽可能地相对集中在专门设计的各种电子设备舱内，使设备可以工作在飞机环境控制系统之中。民用客机的电子设备舱一般位于旅客座舱下部。军用飞机的电子设备舱一般位于飞机头部、驾驶舱下部和后部。某些电子设备应根据其使用特性选择飞机上特定位置进行安装。如飞机的飞行数据记录器(俗称黑匣子)应选择放置在飞机坠毁后破坏程度可能最轻的部位，以便将飞行数据记录器回收后，还能正确分析出事故原因，例如安装在飞机尾翼前沿根部。气象雷达为了取得飞机前方气象资料，一般安装在飞机头部。

三、航空电子设备的重要性

航空电子设备从简单到复杂，从单台到系统，发展至今已成为飞机的重要组成部分，其性

能的优劣对飞机的经济性、安全性和舒适性起着极为重要的作用，在某些特定条件下甚至会起决定性作用。航空电子设备的重要性可从以下三个方面充分体现出来。

1. 使用性能

在 20 世纪 60 年代以前，评论一架飞机的性能往往只介绍飞机机体（包括机身、机翼、尾翼等）的气动特性和发动机特性，很少提及飞机上的电子设备性能，因为当时飞机上为数不多的几台通信设备和雷达决定不了飞机的性能。

几十年来，飞机机体和发动机的充分发展使它们的性能日臻完善，各国水平逐渐相近。相对来说，电子技术的发展却日新月异，在短短的几十年内，从电子管、半导体、中规模集成电路和大规模集成电路迅速发展到现代的超大规模集成电路，航空电子设备也随之更新换代。设备的功能增加和性能提高使飞机上的电子设备数量也不断增多，从过去的几台设备发展到现在的十几台或几十台设备。由这些设备组成的系统大大改善和提高了飞机运输的经济效益，使电子设备的性能在飞机性能中占有越来越重要的地位。今天，评论一架飞机时除了飞机机体和发动机性能外还必须介绍机上电子设备的型号和性能。换句话说，同样的飞机机体和发动机，安装不同的电子设备，其作战和运输性能可能完全不同。

2．设计性能

传统的飞机设计主要包括气动外形、结构强度和发动机三大要素，而现代飞机设计必须同时考虑按系统工程要求设计航空电子综合系统，进行大量的软、硬件开发工作。复杂的航空电子设备系统开发周期一般为 10 年左右，长于飞机研制的周期——8 年左右。为了配合电子技术的日益发展，世界各国都投入大量的人力、财力，进行长期的预研工作，研制、设计和生产出各种性能优异的机载航空电子设备来装备飞机。

3. 价格性能

近代飞机上由于装备了大量的先进电子设备，使得电子设备的价格在飞机总价格中所占的比例明显上升。电子设备本身的价格也在不断增长，其增长速度比飞机价格的增长速度高 5 倍左右。

四、飞机无线电系统的功能与分类

飞机无线电系统是现代飞机的重要组成部分。现代民用飞机装备有多种先进的无线电导航、通信和雷达系统。

飞机无线电系统从不同的角度出发，有不同的分类法。按系统的功能，飞机无线电系统分为通信系统与导航系统两大类；按机载设备能否独立实现系统功能，飞机无线电系统分为自备式系统与他备式系统；按系统内部处理信号的方式不同，飞机无线电系统可分为模拟式设备与数字式设备。

以上是原理课的划分方法，民航通用的划分方法是按 ATA100 规范所规定的 ATA 章节号分类。ATA（American Transportation Association）——美国航空运输协会。

1. ATA 编号说明

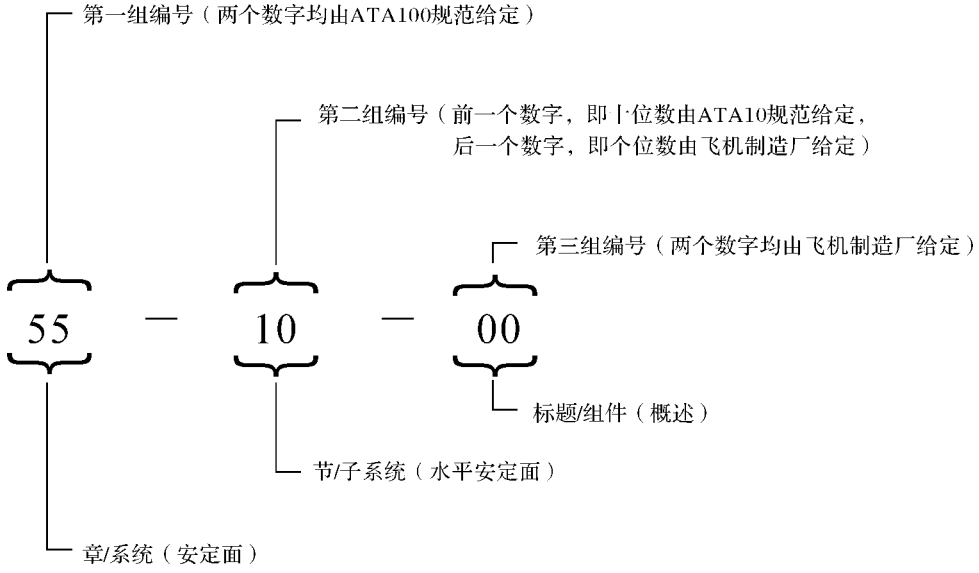
ATA100 规范已被世界上大多数国家所采用，现在已成为一种民航的各种产品在设计、制造、使用、维护等领域使用的各种资料、文件、函电、报告和目录索引的国际统一编号，它使各种技术记录和数据处理趋于统一，改进了各种资料和文件的归档和管理方式，促进了民航各种情况的交流和对比。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

波音系列飞机的各种手册，如飞机维护手册、线路手册、结构修理手册、图解零件目录、部件维护手册、图解工具和设备手册、无损探伤手册、发动机手册、故障报告和隔离手册等，均是按 ATA100 规范的修改版或更新的修改版的要求编写的。

(1)编号。按 ATA100 编号系统的规定，各类资料的编号是由章号—节号—标题号三组编号组成的。章号代表一个大系统，如 21 章为空调系统；节号代表章号下的一个子系统，如 21—50 为空调系统中的冷却系统；标题号代表一个组件，所谓组件就是指构成系统或子系统的各零部件。为了便于理解，现举例说明：

例：编号说明。



(2)ATA 编号系统举例。

章/系统	节/子系统	标题/组件
21	21	22
空调系统	冲压空气系统	循环风扇
23	31	21
通信系统	旅客广播	磁带放音机
24	40	11
电源系统	外部电源	插座

2. 通信系统和导航系统的基本功能

通信系统：主要用于实现飞机与地面之间，飞机与飞机之间的相互通信，也用于进行机内通话、广播、记录驾驶舱内的语音以及向旅客提供视听娱乐信号等。如高频、甚高频通信系统、选择呼叫系统、内话系统、音频综合系统等。

导航系统：基本功能是引导飞机按选定航路安全、经济地完成规定的飞行任务。按照各个系统的功能，又可以把飞机无线电导航系统进一步划分为定位、测高、着陆引导和环境监测四大类。测距机、定向机、全向信标系统、多普勒雷达、奥米伽导航系统等是用于确定飞机位置的无线电定位系统；低空无线电高度表是典型的测高设备；仪表着陆系统属于着陆引导设备；气

象雷达则是最常用的环境监测系统。

3. 自备式与他备式系统

自备式(或自主式)系统:不需依赖任何地面设施,便可实现系统的既定功能,如无线电高度表,气象雷达和多普勒导航系统。

他备式系统:需要和地面设施配合才能实现既定功能的系统,如 DME,ATC 应答机,ADF,VOR 等。

4. 模拟式设备与数字式设备

模拟式设备:其内部处理信号的形式是模拟量,大多采用分立的电路器件或小规模集成电路。

数字式设备:其内部处理信号的形式是数字量,大多采用大规模集成电路(或 VLSI,CPU)。

五、飞机无线电通信系统

飞机装备的通信系统主要有甚高频通信系统、高频通信系统、选择呼叫系统、内话系统四类。

1. 甚高频通信系统(VHF)

频段为 118～135.975 MHz,波道间隔为 25 kHz。频段内最多可提供 720 个通信波道。

特点:VHF 信号只能以直达波的形式在视距内传播,所以通信距离较短,并受飞行高度的限制。

用途:主要用于飞机在起飞着陆期间以及飞机通过管制空域时与地面交通管制人员间的双向话音通信。

2. 高频通信系统(HF)

频段为 2～30 MHz,典型设备的频率范围为 2.8～24 MHz,波道间隔为 1 kHz,频段内最多可提供 28 000 个通信波道。

特点:HF 信号可通过电离层与地表面之间的反射达到远程通信的目的,通信距离可达数千公里。

用途:用于在远程飞行时保持与基地间的通信联络。

3. 选择呼叫系统(SECAL)

SECAL 不是一种独立的通信系统,它是配合 VHF 和 HF 系统工作的。

用途:当地面呼叫指定飞机时,以灯光和钟声谐音的形式通知机组进行联络,从而免除机组对地面呼叫的长期守候,减轻机组的工作负担。

飞机上 SECAL 的代码由四位字母组成,每位可以是英文字母 A～S(I,N,O 除外)中的一个,这样总共可有 10 920 个 SECAL 代码。

4. 内话系统

主要用于进行机内通话、广播、维修人员通话,以及向旅客提供视听娱乐信号。

六、飞机无线电导航系统

1. 自动定向机(Automatic Direction Finder,简称 ADF)

ADF 又称无线电罗盘,是一种中低频近程测向设备。它的功用是测量地面导航台相对于

飞机纵轴的方位，以引导飞机向台飞行或背台飞行。

频段为 100～2 000 kHz 的中长波段，典型设备的工作频率为 190～1 750 kHz。

2. 甚高频全向信标系统(VOR)

VOR 系统是一种工作在甚高频频段的近程测向系统，可在航线飞行和进近着陆期间对飞机进行引导。它的基本功能是测量 VOR 方位，以进一步确定飞机相对于所选定的 VOR 航道的偏离情况。

频段为 108～118 MHz，波道间隔为 50 kHz，频段内共有 160 个通信波道。

在通过全方位选择器(OBS)选定飞行的 VOR 航道后，在测定 VOR 方位的基础上，系统即可显示飞机相对于所选定的 VOR 航道的偏离情况，由水平状态显示器(HSI)上的偏离杆(即航道指示杆)显示。若偏离杆在方位指针的右侧，则表示飞机在所选航道的左侧，飞机应向右机动，以进入所选定的航道。

3. 仪表着陆系统(ILS)

ILS 系统用于引导飞机沿正确的航向下滑线着陆，是保证飞机安全着陆的重要设备。由于它可在能见度很差的情况下引导飞机安全着陆，因此也称为盲降系统。

ILS 由航向信标系统、下滑信标系统和指点信标系统三部分组成。

(1)航向信标系统(Localizer)。

功能：利用 90 Hz 和 150 Hz 的 AM VHF 信号，产生一个垂直于跑道平面并通过跑道中心线的航向引导平面。

频段为 108.1～111.95 MHz。十分位小数为奇数的频率，波道间隔为 50 kHz，频段内共有 40 个通信波道。

系统：包括航向接收机、天线、控制盒和指示器，选择航向接收频率后即确定了下滑接收频率，两者有固定的配对准则。

(2)下滑信标系统(Glide Slope)。

功能：利用 90 Hz 和 150 Hz 的 AM VHF 信号，产生一个与跑道平面成 2°～4°夹角的下滑引导平面，与航向平面相交即可得到一条航向下滑线。

频段为 329.15～335.0 MHz，波道间隔为 150 kHz，频段内也有 40 个通信波道。

系统：包括下滑接收机、天线和指示器。

(3)指点信标系统(Marker Beacon)。由两个或三个准确安装在跑道中心线延长线上的地面指点信标台及相应的机载信标接收机组成，引导飞机对准跑道中心线，检查飞机通过信标台时的高度和速度是否适当，以及飞机距跑道的距离。当飞机准确通过指定信标台上空时，相应的信标灯接通，并可通过耳机听到信标台的音频识别信号。

频段：固定在 75 MHz 上。

系统：由信标台接收机、天线、信标灯组件和音响组件组成。

4. 无线电高度表(RA)

功用：主要用于在飞机进近着陆时测量飞机相对于地表面的实际高度。

频段：4 200～4 400 MHz。

系统：由收发组、发射天线和接收天线和高度指示器组成。它是通过测量地面反射回来的回波信号与发射信号之间的时间间隔来计算高度的。

5. 测距机(Distance Measurement Equipment，简称 DME)

功能：通过测量所接收的应答脉冲与询问脉冲之间的时间间隔，计算出飞机与测距台之间的斜距。测量范围可达 390 n mile，显示在 HIS 或 EHSI 上（近似代表水平距离）。

频段：L 波段，机载 DME 询问频率为 1 025～1 150 MHz，地面信标台的应答频率为 962～1 213 MHz。DME 的频道是与 VOR 及 ILS 的频道配套选择的。

系统：由测距机（询问器）、天线（短刀型）、显示器和控制盒（与 VHF 导航控制盒共用）等组成。

6. 应答机（ATC Transponder）

功用：ATC 应答机与地面二次雷达配合，用于向地面管制中心报告飞机的识别码和气压高度，并可用于确定飞机的平面位置。

频段：L 频段，和 DME 一样用脉冲问答方式工作，但 ATC 应答机是由地面二次雷达发出的询问信号触发应答的，地面询问频率（应答机接收频率）为 1 030 MHz，应答机应答发射频率为 1 090 MHz。

系统：由应答机、控制盒和天线组成。

7. 气象雷达系统（Weather Radar，简称 WXR）

功用：WXR 主要用于探测飞机前方扇形区内的危险气象目标及其他障碍物，以选择安全的绕避航线。

频段：9 330～9 400 MHz 的 X 波段。

系统：由显示器、收发机和天线组成。

第二节　导航参量与位置线

为便于理解导航系统的工作原理，有必要对常用导航参量和位置线的基本概念加以说明。

一、地理坐标参量

1. 大圆和大圆航线

通过地心的平面与地球表面相交的圆是地球表面最大的圆，称为大圆。

大圆弧连线是地球表面上任何两点之间距离最短的连线，尽可能沿大圆弧连线飞行的航线称为大圆航线。

2. 赤道和纬度（Latitude）

赤道是通过地心，且与地轴相垂直的平面与地球表面的交线。

其余与地轴相垂直的平面与地球表面的交线称为纬圈（纬线）。纬度是指纬圈和地心的连线与赤道平面之间的夹角，用其可表示地球上任一点的南、北位置，如图 1－1 所示。

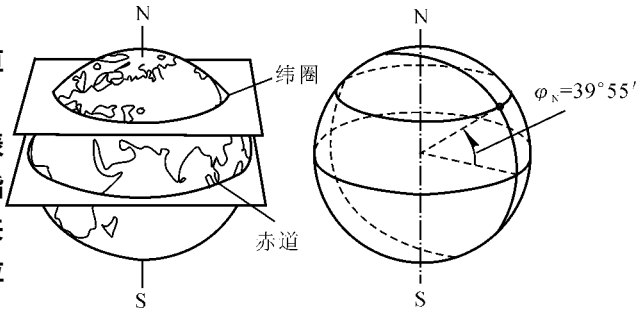


图 1－1　赤道、纬圈和纬度

3. 子午线和经度（Longitude）

通过地轴的平面与地球表面的交线称为经圈，经圈的一半叫做经线，又叫子午线。国际上规定通过英国格林尼治天文台的经线作

为起始经线，又叫本初子午线，如图 1－2 所示。地球上任一点的经度规定为通过该点的子午线平面与起始经线平面之间的夹角。

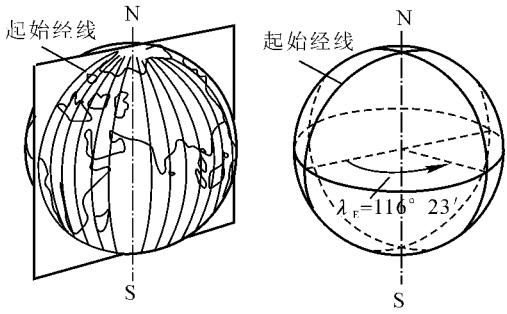


图 1－2　经线和经度

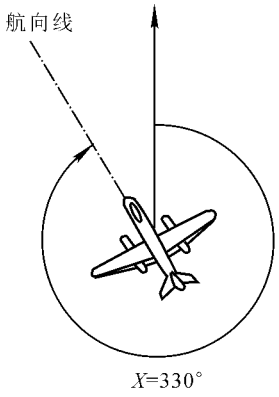


图 1－3　航向

二、导航参量

1. **航向**(HDG)

航向(角)是由飞机所在位置的经线北端顺时针测量到航向线(飞机纵轴前端的延长线在水平面上的投影)的角度，如图 1－3 所示。

磁航向：以磁经线为基准的航向。

真航向：以真经线为基准的航向。

2. **方位角**(Bearing)

方位角是以经线北端为基准，顺时针测量到水平面上某方向线的角度，如图 1－4 所示。

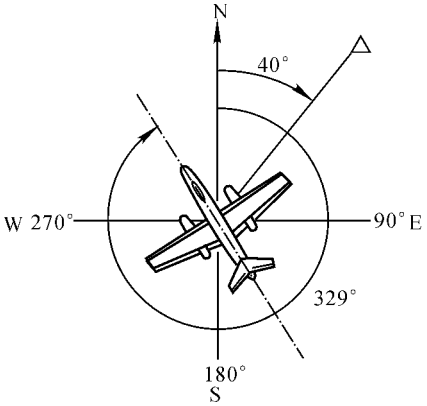


图 1－4　方位角

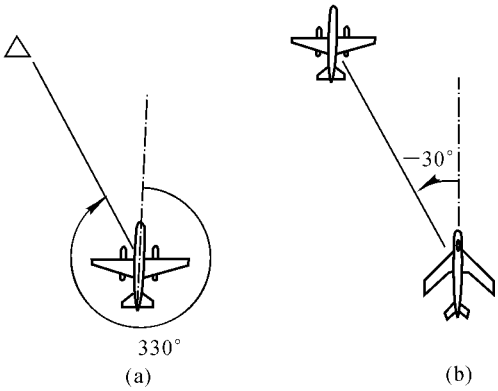


图 1－5　相对方位角

相对方位角：以飞机纵轴的前端与观测线在水平面上的夹角来表示目标的方向。ADF 测量的是电台的相对方位角，如图 1－5 所示。

与航向相同，方位角也有磁方位角和真方位角两种。

3. 航迹和航迹角

航迹(Tracking):飞机重心在地面的投影点的移动轨迹,如图 1-6 所示。航迹又称航迹线。

航迹角:飞机在某时刻的方位角。

4. 所需航迹角(Desired Tracking)

所需航迹(角)是驾驶员所希望的飞机的理想运动方向,如图 1-6(a)所示。有时也称待飞航迹角。

5. 航迹角误差(Tracking Angle Error,简称 TKE/TAE)

航迹角误差是所需航迹和实际航迹之间的夹角,如图 1-6(b)所示。

航迹角误差通常标明左(L)或右(R)。

6. 偏流(DA)

当存在侧风时,飞机的实际航迹就会与飞机的航向不一致。航向线与航迹线之间的夹角,称为偏流角。

偏流角的正负取值:当航迹线偏向航向的右边时规定偏流角为正值,反之为负值,如图 1-6 所示。

7. 航路点(WPT)

航路点:飞机的飞行目的地、航路上可用于飞机改变航向、高度、速度等或向 ATC 中心报告的明显位置/规定位置,称为航路点。

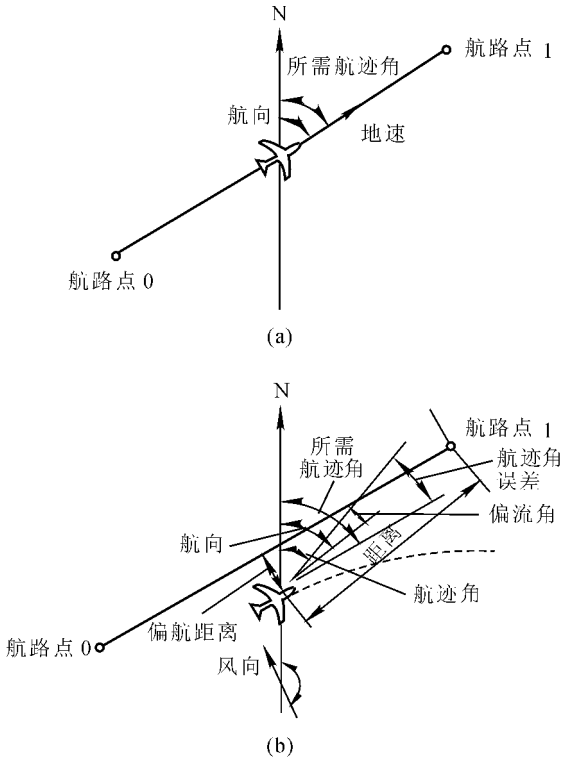


图 1-6 导航参量

(a) 飞机沿航迹飞行且无偏流角;

(b) 飞机偏航且偏流角不为零

8. 距离(DIS)

航路点距:连接两个航路点的大圆距离。

待飞距离:飞机当前位置至飞行的目的地或前方航路点之间的距离。

距离:一般是指飞机沿指定航路飞往目的地的沿航距离。

航路:由几个航路点连成的折线。

9. 偏航距离(XTK)

偏航距离:指从飞机实际位置到飞行航段两个航路点连线之间的垂直距离,见图 1-6(b)。

10. 地速(Ground Speed,称简 GS)

地速:飞机在地面的投影点的移动速度,也是飞机相对于地面的水平移动速度。

11. 空速(Air Speed,简称 AS)

空速:飞机相对于周围空气的运动速度。

12. 风速(WS)与风向(WD)

风速及风向是指飞机当前位置大气相对于地面的运动速度及方向。

空速 S_A,风速 S_W 与地速 S_G 的关系为

需要全本请访问 www.ertongbook.com

$$\boldsymbol{S}_G = \boldsymbol{S}_A + \boldsymbol{S}_W$$

上述关系可用图 1－7 表示。

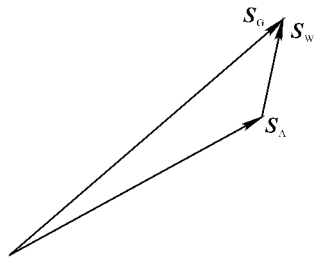


图 1－7　地速、空速和风速的向量关系

13. 估计到达时间(ETA)与待飞时间

估计到达时间：以格林尼治时间为基准，从飞机目前位置到飞行目的地(或前方航路点)之间的估计飞行时间。

待飞时间：自飞机当前位置起，按飞机当前的地速值等计算的沿航线到达目的地的空中飞行时间。

三、位置线与导航定位方法

1. 位置线

位置线：即当一个导航系统所测得的电信号的某一参量为定值时，该参量所对应的飞机可能位置的轨迹线。

2. 位置线的种类与导航系统

位置线的种类有直线、圆、双曲线等，如图 1－8 所示。

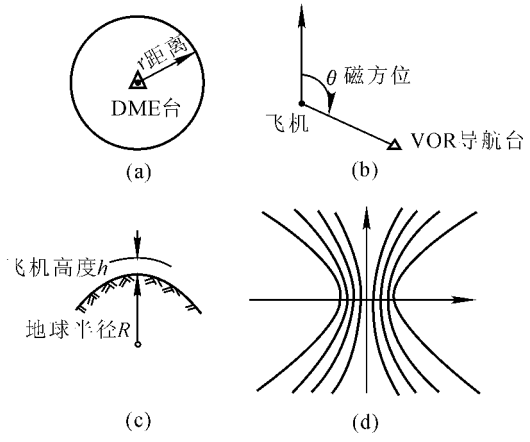


图 1－8　位置线

(a) 圆位置线；(b) 直线位置线；(c) 等高线；(d) 双曲线

测向系统：VOR，ADF 的位置线为直线。

测距系统：DME 的位置线是平面上的圆。

测距差系统：利用测距差原理工作的奥米伽导航系统，罗兰系统等，其位置线为双曲线，因此这类系统又称为双曲导航系统。

3. 导航定位方法

从前面内容可知，必须利用两条或两条以上的位置线相交，才能确定飞机的具体位置点。按照所利用的位置线的形状，可以把导航定位系统分为 $\rho-\theta$ 系统、$\theta-\theta$ 系统(见图 1－9)，$\rho-\rho$ 系统或 $\rho-\rho-\rho$ 系统(见图 1－10)，以及双曲线系统等。其中，ρ 表示距离，θ 表示角度或方位。

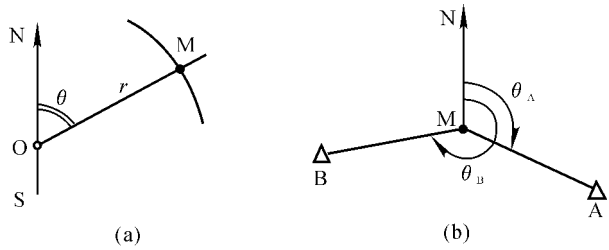


图 1－9 $\rho-\theta$ 定位与 $\theta-\theta$ 定位

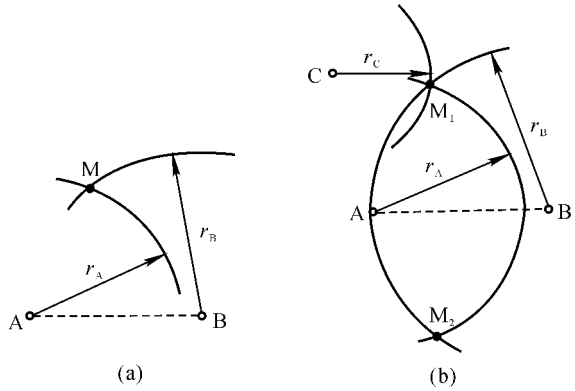


图 1－10 $\rho-\rho$ 定位与 $\rho-\rho-\rho$ 定位

习 题

1. 简述飞机无线电通信和导航系统的基本功能。
2. 名词解释：

①航向角；②方位角；③航迹；④偏流角；⑤地速；⑥空速；⑦一次雷达；⑧二次雷达。

第二章　发送与接收原理

发送与接收是无线电系统所包含的两个基本过程。本章介绍无线电发送设备和接收设备的基础知识，着重说明无线电接收设备和发送设备的整机结构、发射信号的产生过程和接收信号的处理过程，以及一些整机功能电路的基本原理。以此作为理解各种无线电设备工作原理的基础。

第一节　调幅发送设备基础

一、发射机的基本组成

无线电发射机的基本任务是向发射天线提供传送信息的射频信号，并且射频信号的频率、功率又须满足系统的整体要求。为此，就必须产生功率足够的射频载波，并按系统的要求实现对射频信号的调制。尽管无线电发射机的电路千差万别，但基本上是由射频振荡、功率放大、调制器、低频放大及电源几部分功能电路组成的，如图 2－1 所示。

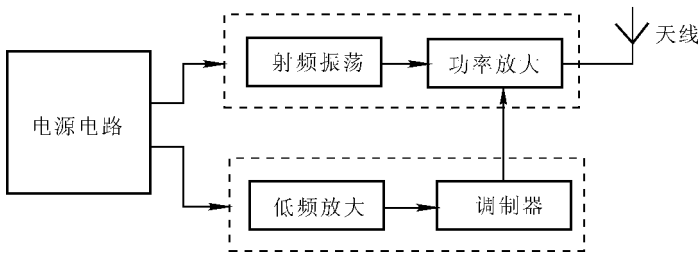


图 2－1　无线电发送设备的基本组成

1. 高电平调制发送设备

图 2－2(a)所示是高电平调制的调幅通信发射机的组成方框图。射频振荡电路产生频率稳定度符合要求的正弦载波，由射频放大器或缓冲放大器进行放大后，再由高频功率放大电路进行功率放大，以达到所需的发射功率。设置在射频振荡器和功率放大器之间的射频放大器除了具有放大信号的作用外，还可以消除或者减弱功率放大器对主振频率稳定度的影响，因此有时可称为缓冲放大器。

与此同时，音频信号经音频放大器放大后输至调制器。调制器对调制信号(这里是音频信号)进行功率放大，使调制信号具有足够的功率，以实现对高频载波信号的有效调制。

调制信号对载波振荡的调制是在末级功率放大器中实现的。实现调制的高频放大级称为

受调级。末级功率放大器通常工作在 C 类(丙类)状态,在对高频信号进行功率放大的同时,由输入的调制信号控制高频载波的振幅,实现振幅调制。由于是在射频载波电平较高的末级实现调制的,因此称为高电平调制。这类发射机的效率较高,所需的调制功率较大。通常小功率的发射机采用这种高电平调制方式。

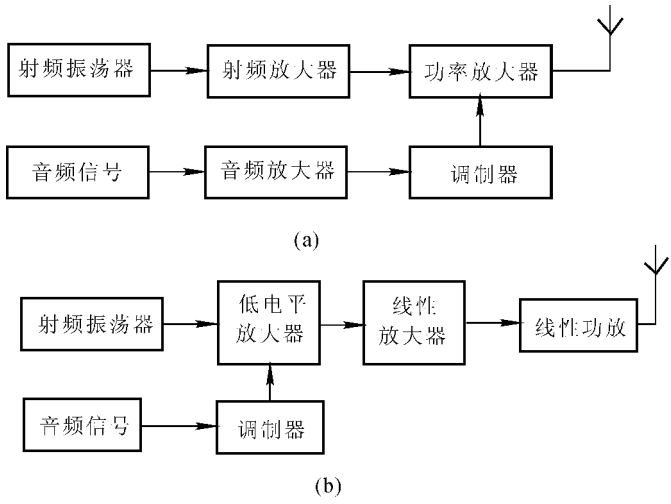


图 2-2 高电平与低电平调制

2. 低电平调制发送设备

在低电平调制发送设备中,调制信号对射频载波的调制是在载波电平较低的高频电路中进行的,其组成框图如图 2-2(b)所示。由于受调级的射频载波电平较低,相应地所需的调制信号功率就较小,因而在低频通道中就不需要像高电平调制那样设置多级低频放大器。另外,为了保证已调制的高频信号在放大过程中不失真,受调级以后的各功率放大级应为线性的功率放大器,因而效率较低。

二、发射机的电气性能指标

发射机的电气性能指标主要是对输出功率、效率和频率的要求。

1. 输出功率

发射机的输出功率是指发射机末级输往天线的射频信号功率 P,它是决定系统作用距离和可靠性的主要因素之一。

无线电发送设备的输出功率,视系统的作用距离和功能不同而差别悬殊;机载发送设备的功率,有的只有几百毫瓦,有的则达数百瓦。

在要求输出功率足够的同时,输出信号中的谐波分量应尽量小,以免对其他设备产生干扰。飞机上的无线电设备多而密集,这个要求是必须注意的。

2. 总效率

发射机的总效率 η_t 是发射机的输出功率 P 与发射机所消耗的全部电源功率 P_0 之比,即

$$\eta_t = \frac{P}{P_0}$$

提高效率对减小设备的体积和重量、降低散热的要求具有明显的意义。

3. 频率

(1) 频率稳定度。频率稳定度指发射机的工作频率保持稳定的程度，它通常用频率的漂移量 Δf 与工作频率 f_0 的比值 $\Delta f/f_0$ 来表示。频率漂移与工作时间、温度及飞行高度等因素有关，所以有时又分别提出短期频率稳定度和长期频率稳定度的要求。

频率稳定度是发射机的一项极为重要的指标，对于保证系统工作的可靠性，提高系统的抗干扰能力和压缩系统占用的频带等具有重要意义。

飞机无线电系统的功用不同，对频率稳定度的要求不同。一般说来，对频率稳定度的要求越高，发射机的结构就越复杂，成本也越高。

现代机载无线电系统通常都利用晶体振荡器和频率合成器来提高频率稳定度。通常机载无线电系统的频率稳定度可达到 10^{-5} 左右，有的导航系统则可达到 $10^{-7} \sim 10^{-9}$，甚至更高。

(2) 频率准确度。除了要求频率高度稳定外，还要求设备的实际工作频率与控制盒所选择的频率指示值之间准确符合，以保证系统工作可靠、快速。

使用机械式频率调谐，利用频率调节刻度盘指示频率的旧式设备的频率准确度较差；新式设备使用频率合成器，其频率显示为数码显示，因而频率指示非常准确。

(3) 频率范围与波道间隔。不少无线电系统的工作频率不是单一的固定频率，而是一定宽度的频带。系统应能满足频率范围、波道间隔以及波道数量的要求。

三、发射机的高频载波电路

发射设备的首要任务，是提供稳定的高频正弦载波，以产生所需要的无线电射频信号。

1. 对载波信号的基本要求

(1)输出频率符合系统的要求。

(2)频率变化范围应覆盖系统所规定的频段。在指定频段内的任意工作频率上，所提供的正弦载波的幅度、波形等均应符合要求。

(3)频率稳定度应该达到系统的规定。载波振荡的频率稳定度就是发射信号的频率稳定度。

(4)载波应具有良好的波形，其波形失真系数应在规定范围之内。

(5)应具有足够的输出功率。

上述五方面是对各种无线电发射设备载波振荡的共同要求。不同的系统由于其功能和性能的差别很大，因而对其中一点或几点的要求也会有很大的不同。

2. 高频电路的基本结构

各种发射机对功率、频率稳定度等性能指标的要求不同，其高频电路的组成结构也往往不同，常见的高频电路有以下几种结构形式。

(1) 单级发射机。在有的简单发射机中，高频振荡器所产生的高频振荡直接输至天线。旧式机载气象雷达发射机、应答机的发射机等就是这类简单的单级发射机。不少工作于微波段的发射机也采用这种结构形式。

单级发射机很难同时兼顾输出功率和频率稳定度的要求，因而其频率稳定度往往较差。

(2)主振放大式高频电路。这种高频电路由主振级和功率放大级组成。主振级用于产生所需频率的高频振荡；功率放大级满足设备对功率的要求。这种结构形式在一定程度上减轻了负载对振荡器频率稳定度的影响。

为了进一步解决输出功率和频率稳定度之间的矛盾，可以在输出级和主振级之间设置中间级。中间级用于实现对主振信号的放大，供给后级以足够的激励功率，并可隔离后级负载变动对主振的影响，因而有利于提高载波振荡的频率稳定度，也有利于输出功率的提高。紧接主振级的中间级常称为缓冲级或缓冲放大级。中间级还可用做基波放大和倍频。

(3) 主振倍频放大式高频电路。工作频率较高的发射设备，往往在主振级和输出功率放大级之间加入一级或多级倍频器，用以逐级提高载波的频率。对于波段发射机来说，倍频器的设置可以在保证设备所需的工作频率范围的同时，大大压缩主振的频率变化范围。

例如，设发射机的工作频率范围为 2.4～30 MHz。则当各倍频器的总倍频次数 N 为 12 时，主振级的振荡频率仅需在 0.2～2.5 MHz 之间变化就可以了。可见，采用多级倍频方案，不仅可以降低主振级的振荡频率，减小分布参数对振荡频率的影响，还可以减小所需的主振频率变化范围，从而有利于载波频率的稳定和频率控制。

每级倍频器的倍频次数通常为 2 和 3。倍频次数再高，会使倍频级的效率和功率降低过多。图 2－3 所示是采用三级倍频的多级发射机的方框图。

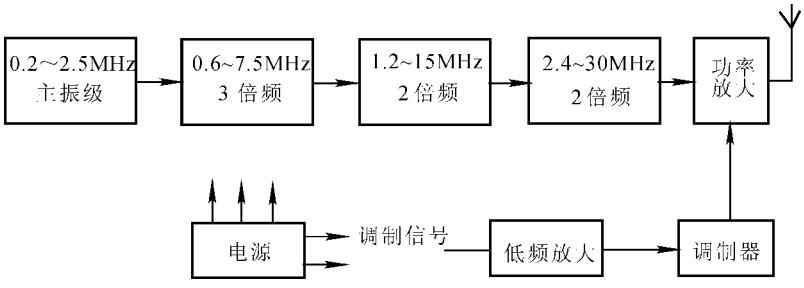


图 2－3 采用三级倍频的多级发射机

(4) 采用频率合成器的波段发射机。现代波段发射机普遍采用频率合成器，以满足系统对工作频率范围及频率稳定度等方面的要求。采用频率合成器作载波频率源，可以使波段内的所有工作频率都达到晶体振荡器的频率稳定度。

四、信号调幅与低频电路

1. 调幅方法

本节开始时已经说明，调幅发射机中调幅的实施，可以在高电平级进行，也可以在低电平级进行。

下面概略介绍实现高电平调幅和低电平调幅的主要方法。

(1) 高电平调幅。高电平调幅通常在工作于 C 类(丙类)的功率放大级中进行，所需要的调制功率较大。常用的电路有集电极调幅和基极调幅两种。

1)晶体管集电极调幅。集电极调幅的基本电路如图 2－4(a)所示。调制信号与集电极电源相串联，作用在晶体管的集电极与发射极之间。这样当集电极电压随调制电压变化时，集电极电流中的基波分量即按调制信号的规律变化。

调幅信号由调谐于工作频率的集电极谐振回路输出。

在利用电子管作功率放大器的发射设备中，调制电压作用在电子管的阳极和阴极之间。

需要全本请访问 www.ertongbook.com