



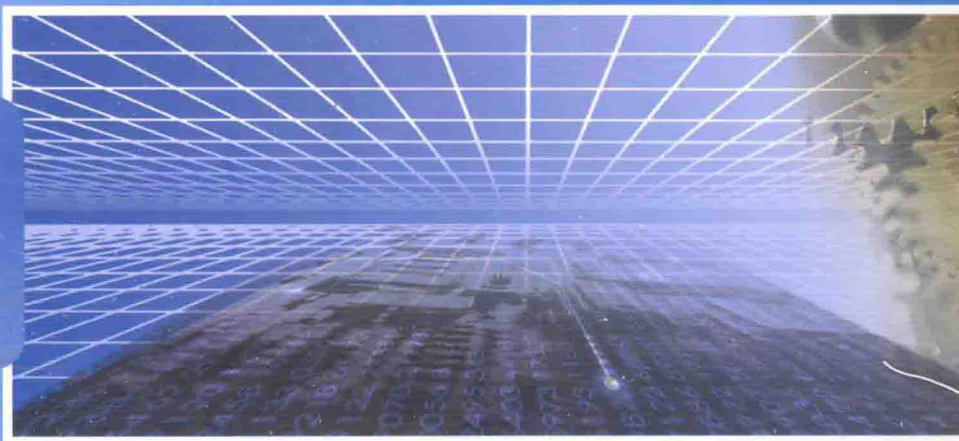
D-K-YT016-0D

空军航空机务系统教材

航空无线电导航原理

下 册

陈高平 邓 勇 主编



国防工业出版社

National Defense Industry Press

D-K-YT016-0D

空军航空机务系统教材

航空无线电导航原理

下 册

陈高平 邓 勇 主编



国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书介绍了航空无线电导航的基本原理及其特点,并从实际应用的角度重点讨论了几种目前应用广泛、技术比较先进的航空无线电导航系统。在内容的安排上,本书力图让航空电子学科学生和相关的工程技术人员更快、更好地了解 and 掌握航空无线电导航的基本原理。

本书可以作为航空电子类学科本科学生的教材或参考书。同时,对于目前从事航空机务的人员、研究生以及相关的科研人员,本书也是一本很好的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

航空无线电导航原理 / 陈高平, 邓勇主编. —北京:
国防工业出版社, 2008. 9
(空军航空机务系统教材)
ISBN 978 - 7 - 118 - 05703 - 4

I. 航... II. ①陈... ②邓... III. 航空导航: 无线电导航—教材 IV. V249.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 059725 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

四季青印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 17½ 字数 427 千字
2008 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 92.00 元(上、下册)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

目 录

(下 册)

第7章 近距导航系统	277
7.1 概述	277
7.2 伏尔系统和测距器	277
7.2.1 伏尔系统	277
7.2.2 测距器	280
7.3 塔康系统	292
7.3.1 概述	292
7.3.2 塔康系统工作原理	293
7.3.3 塔康系统性能选择	301
7.3.4 塔康信标台	308
7.3.5 塔康机载设备	315
7.3.6 塔康系统新技术及性能扩展	321
7.3.7 塔康系统性能	326
7.3.8 发展前景	328
思考题	330
第8章 远程导航系统	331
8.1 概述	331
8.1.1 远程导航	331
8.1.2 双曲线定位原理	332
8.1.3 罗兰系统	335
8.2 测距差系统的时间关系	336
8.2.1 独立基线测距差系统的时间关系	337
8.2.2 同步基线测距差系统的时间关系	338
8.3 长河二号系统的基本工作原理	339
8.3.1 发射台链的组成与配置形式	339
8.3.2 脉一相测距差系统的工作原理	340
8.3.3 长河二号系统的主要战术指标	347
8.4 长河二号系统的信号设计	348
8.4.1 单个脉冲的波形设计	348
8.4.2 脉冲群发射及群重复周期的确定	353

8.4.3	脉冲组的相位编码	357
8.4.4	故障告警方式及信号识别方式	372
8.5	长河二号系统的组成和应用	374
8.5.1	长河二号系统的组成	374
8.5.2	主、副台同步方式	376
8.5.3	长河二号系统的岸台配置及校试	378
8.6	罗兰 - C (“长河二号”)系统的特性及其应用	384
8.6.1	罗兰 - C 系统的特性	384
8.6.2	定位精度和覆盖区	385
8.6.3	系统应用的扩展	389
8.6.4	GPS/罗兰 - C 导航系统	392
附注一	“和函数”法噪声干扰的分析	393
附注二	罗兰 - C 系统的发展历史和应用现状	395
附注三	我国罗兰 - C 系统的建设和使用	396
思考题		398
第 9 章	着陆系统	399
9.1	概述	399
9.1.1	着陆及着陆标准	399
9.1.2	着陆过程	400
9.1.3	着陆系统的战术指标	401
9.1.4	着陆系统及其发展史	403
9.2	仪表着陆系统	411
9.2.1	工作原理	411
9.2.2	航向无线电指向信标台	414
9.2.3	下滑无线电指向台	423
9.2.4	无线电指点信标台	429
9.2.5	仪表着陆系统的性能要求	430
9.2.6	分米波仪表着陆系统	431
9.2.7	仪表着陆系统	434
9.3	雷达着陆系统	436
9.3.1	雷达测距、测角原理	436
9.3.2	着陆雷达工作原理	437
9.3.3	着陆雷达与其他导航设备配合工作	441
9.3.4	着陆雷达评价	442
9.4	微波着陆系统	443
9.4.1	测角和测距原理	444
9.4.2	微波着陆系统的组成及其在机场上的配置	445
9.4.3	微波着陆系统的信号格式	453
9.4.4	微波着陆系统的特点	455

9.5	差分 GPS 着陆系统	456
9.5.1	基本的差分 GPS 着陆系统	456
9.5.2	差分 GPS 着陆系统研究的最新进展	457
9.5.3	多模式接收机	460
9.6	探索中的新着陆系统	461
9.6.1	自动精密引进着陆系统	462
9.6.2	多传感器前视探测器原理	463
	思考题	464
第 10 章	卫星导航系统	465
10.1	概述	465
10.1.1	卫星导航系统介绍	465
10.1.2	卫星导航系统的作用和特点	465
10.1.3	卫星导航系统的发展史和现状	467
10.2	卫星导航系统的定位原理	469
10.2.1	卫星轨道要素及其运动	469
10.2.2	卫星定位常用坐标系	474
10.2.3	时间系统	479
10.3	GPS 导航系统	483
10.3.1	GPS 简介及其特点	483
10.3.2	GPS 的信号结构和导航电文	489
10.3.3	GPS 应用	496
10.4	GLONASS 卫星导航与定位系统	504
10.4.1	GLONASS 简介	504
10.4.2	GLONASS 的电文内容及格式	508
10.4.3	GLONASS 的空间信号和改频计划	510
10.4.4	GLONASS 的差分和增强应用	511
10.4.5	GPS 和 GLONASS 的比较	511
10.4.6	GLONASS/GPS 兼容接收技术	512
10.5	卫星定位方法	514
10.5.1	多普勒法定位原理	515
10.5.2	伪距法定位	517
10.5.3	载波相位法定位	526
10.5.4	干涉法定位	529
10.6	卫星导航系统误差分析	530
10.6.1	概述	530
10.6.2	卫星导航系统误差的消除和削弱	537
10.6.3	几何位置精度因子	542
10.6.4	接收机自主完善监测	545
10.6.5	卫星导航系统精度描述方法	547

思考题.....	549
参考文献.....	550

第 7 章 近距导航系统

7.1 概述

近距无线电导航系统一般是指作用距离在 500km 左右的系统,这个距离大体相当于超短波传播的直视距离。

近距导航系统用于等待着陆、起飞编队、航线飞行等各种状态飞机的飞行。由于近距导航区域内飞机密度大,所以系统应满足下列特殊要求:

(1) 在规定的的作用距离内,能迅速地确定飞机的准确位置。在工作区域内有较高的准确度(距离误差不超过 900m,方位误差 1°)。

(2) 能组成无线电导航网,保证覆盖全部规定的航线或整个规定的飞行区域。

(3) 能与远程导航系统及着陆系统联用,并能用于空中交通管制。

目前,国内外典型的近距无线电导航系统有:导航台—无线电罗盘系统、VOR、测距器(DME)、Shoran、Tacan、Vortac、Gee、Decca 等。导航台—无线电罗盘系统、VOR 是测向系统,DME、Shoran 是测距系统,Tacan 和 Vortac 是极坐标定位系统,而 Gee、Decca 则是双曲线定位系统。

目前,我国空军主要应用的近距导航系统是塔康无线电导航系统。本章主要介绍的就是塔康无线电导航系统。

7.2 伏尔系统和测距器

为了有助于深入掌握塔康系统,下面先来介绍伏尔系统及测距器。

伏尔系统是甚高频全向信标(VHF, Omni-Range)的简称,是第二次世界大战后期在美国首先发展起来的近程航空导航系统。1946 年成为美国标准的航空导航系统,1949 年被国际民航组织采纳为国际标准导航系统。到 1996 年底,仅美国联邦航空局就管理着 950 个伏尔系统和伏尔/测距器台站。伏尔系统通常与测距器配合使用,合装在一起叫做伏尔/测距器台,伏尔系统为飞机提供方位信息,测距器为飞机提供距离信息。伏尔系统用于航路导航,也常用于机场作为飞机进场的引导设备。

自 1949 年以来,伏尔系统和技术经不断完善和改进有了很大的发展。在系统方面,为了克服场地内地形地物带来的影响,在伏尔系统的基础上发展了多普勒伏尔(DVOR),提高了系统的精度。在设备方面,由最初的电子管设备发展为全固态设备,天线波束由机械转动发展为电子扫描。而且设备中引入了微处理技术和数字化技术,使设备做到远距离监视和控制,而台站为无人值守。

7.2.1 伏尔系统

1. 伏尔系统的工作原理

伏尔系统是利用其地面台辐射场调制包络的相位与飞机方位角 θ 之间的一一对应关系为

飞机提供角坐标位置的。伏尔系统工作于 108MHz ~ 118MHz 频段,为连续波工作体制。伏尔地面台站天线方向图为一个旋转着的心脏形方向性图。当飞机相对于地面台处于不同位置时,飞机上伏尔接收机所接收到的信号幅度调制包络具有不同的相位,从而为飞机指示出相对于地面台磁北的方位。伏尔地面台的心脏形方向性图是由一个无方向性天线与一个具有“8”字形方向性图的环形天线组合而形成的,如图 7-1 所示。图 7-1(a)表示飞机按预定航向飞向伏尔台。图 7-1(b)为心脏形方向图的合成。图中 A 为环形天线方向性图的左半边;B 为环形天线方向性图的右半边,B 与 A 相位差 180°;C 为无方向性天线方向性图,C 与 A 相位差 180°;D 为合成方向性图, $D = C + B - A$ 。

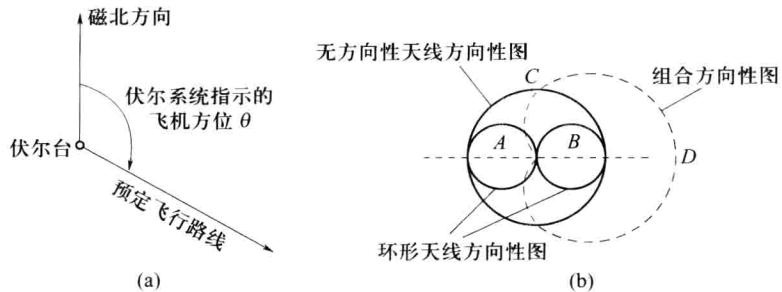


图 7-1 伏尔的工作原理图

心脏形方向性图为
$$F(\theta) = 1 + \cos\theta \tag{7-1}$$

当 $F(\theta) = 1 + \cos\theta$ 心脏形方向性图以角频率 Ω 旋转时,产生一个调幅辐射场,这个辐射场在不同方位上调制包络的相位是不同的,这个相位与方位角 θ 相对应。为了测定随方位不同而变化的调幅辐射场的相位,在飞机上还必须有一个基准相位电压。这个基准电压的相位不随方位变化,但是它的相位必须要与磁北方位的可变相位信号的相位同相,这个信号也必须由地面信标台辐射。

但是,单有这个与方位相对应的可变相位信号还不够,为了测定相对于地球磁北的方位,还必须有一个基准信号。伏尔台的基准信号由中央无方向性天线辐射,它是用频率为 30Hz 的余弦信号对 9960Hz 分载频调频,再用这个被调频的分载频对载频调幅,然后辐射出去。

在伏尔台的不同方向(东、南、西、北)基准信号的相位是相同的,它不随方向变化,它的相位调整在与磁北方位上的可变相位信号的相位同相。

例如,当飞机处于伏尔台的正北方时,方位角 θ 为 0°,机载接收机收到的两种信号的相位差也为 0°;当飞机处于伏尔台的正东方时,方位角为 90°,机载接收机收到的两信号的相位差为 90°;飞机处于伏尔台的正南方时,方位角 θ 为 180°,机载接收机收到的两种信号的相位差也为 180°;同样当飞机处于伏尔台的正西方时,方位角 θ 为 270°,机载接收机收到的两种信号的相位差也为 270°。由此可见,机载接收机接收的伏尔台发射的基准相位信号与可变相位信号之间的相位差,就是飞机相对于伏尔台的方位角,如图 7-2 所示。

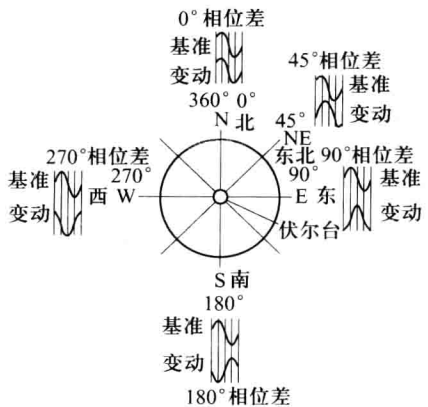


图 7-2 伏尔地面台所发射的两个 30Hz 信号之间在不同位置上的相位关系

为了使可变相位信号与基准相位信号在机载接收机中能区分开,伏尔的基准相位信号与可变相位信号采用两种不同的调制方式。30Hz 基准相位信号首先对分载频(9960Hz)调频,再用这个被调频的分载频对载频进行调幅;另一个就是 30Hz 可变相位信号直接对载频进行调幅。很显然幅度调制的可变相位信号与频率调制的基准相位信号,在机载接收机中很容易用滤波的方法分开。分开后分别进行振幅检波和频率检波,将两检波后的信号进行相位比较,两信号的相位差就是飞机相对于伏尔台磁北的方位角,这就是伏尔台的工作原理。

2. 系统的应用与技术指标

伏尔系统在航空导航中有着广泛的应用。

- (1) 利用机场上的伏尔台可实现飞机的归航和出航。
- (2) 利用两个已知位置的伏尔台可实现直线位置线定位。
- (3) 航路上的伏尔台可以作为航路检查点,实行交通管制。
- (4) 终端伏尔(TVOR)放置在跑道轴线延长线上,飞机利用与轴线一致的方位射线进行进场和着陆。

(5) 伏尔系统与测距设备或空中战术近程导航系统相结合,组成 VOR/DME 或 VOR/TACAN 极坐标系,直接为飞机定位。

伏尔系统从用途分有航路伏尔和终端伏尔。

伏尔系统工作于 108MHz ~ 118MHz 频段,每隔 50kHz 一个频道,这个频段是伏尔系统和机场仪表着陆系统航向信标导航台所共用。在 200 个频道中,其中 120 个分配给航路导航的伏尔(或多普勒伏尔)台,40 个分配给机场终端区域导航伏尔(或多普勒伏尔)台。航路导航台辐射功率为 100W ~ 200W,作用距离可达 370km,工作频率为 112MHz ~ 118MHz;而终端伏尔辐射功率为 50W,作用距离为 40km ~ 50km,工作频率在 108MHz ~ 112MHz 范围内。

伏尔系统保障飞机沿预定航线飞行,如飞机在预定的 45°航线飞行时,机载接收机指针指在中央,当飞机在预定航线右边飞行时,尽管机头指向 45°,但飞机偏离了航线,这时机载接收机指针偏向左边,告诉飞行员要向左拐,使飞机回到正确的航线上。只要保持接收机指针在中央位置,就能使飞机沿直线在预定航线上飞行。伏尔系统可为飞机提供许多航线,使飞机向着或背离伏尔台飞行。

伏尔工作在甚高频频段,它的作用距离受视距限制,在 1200m 高空,典型作用距离为 370km,能在 360°视线范围内向飞行员提供相对于地面台磁北方位的导航系统,因此它被广泛用来确定航路及走廊口的宽度。

我国规定的航路宽度为 $\pm 10\text{km}$,走廊航路宽度为 $\pm 5\text{km}$ 。伏尔系统布台是根据规定的航路宽度和伏尔系统的精度来规划。两台站间隔计算如图 7-3 所示。

两台站间隔为

$$2D = 2W / \tan \Delta\theta \quad (7-2)$$

式中 $2D$ ——两伏尔台间隔;

$2W$ ——航路宽度;

$\Delta\theta$ ——系统的测角误差。

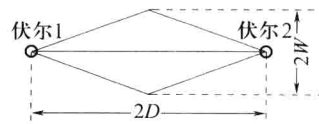


图 7-3 由伏尔系统决定的航路宽度

由伏尔系统的系统误差 4.5°和航路宽度 $\pm 10\text{km}$ 可求出 $2D = 254\text{km}$ 。在航线上航路宽度规定为 $\pm 10\text{km}$ 时,至少每隔 254km 应布置一个伏尔台。

国际民航组织对伏尔台的技术指标做了具体规定,各国厂家的伏尔设备都必须满足这一规范。

伏尔信标必须制造和调整得使飞机上的仪表指示表示从伏尔台测得的对磁北顺时针方向计算的方位角。

伏尔信标必须辐射带有两个分开的 30Hz 调制的射频载波,其中一个调制的相位必须与观察点的方位无关(基准相位),另一个调制的相位随观察点而变化(可变相位),两个信号相位差的角度等于观察点对伏尔信标台的磁北方位。

伏尔台必须在 111.975MHz ~ 117.975MHz 频段内工作,最高指配频率为 117.975MHz,波道间隔须是以 117.975MHz 为准的 50kHz。频率容差要优于 $\pm 0.002\%$ 。辐射应为水平极化,方位信息准确度必须优于 $\pm 2^\circ$ 。在伏尔台的主载频上,必须同时发送一个识别信号,采用国际莫尔斯电码,调制单音必须为 $1020\text{Hz} \pm 50\text{Hz}$ 。如果伏尔系统同时提供地空通信,则通信频道上主载频调制度不大于 30%。

3. 发展前景

伏尔系统产生于 20 世纪 40 年代,50 年代与测距器联合工作为飞机提供距地面台的方位和距离;现已是空中交通管制程序不可分割的一部分,是陆地上无线电近程导航和非精密进场的国际标准设备。

美国现大约有 950 个伏尔/测距器地面台,日本大约有 61 个伏尔/测距器地面台,我国也有 100 多个伏尔/测距器地面台。由于全球卫星定位系统提供高可靠性、高精度和高完善的全球覆盖,它可用于飞机的航线、终端和非精密进场阶段的飞行。这种星基导航系统使用单一的导航电子设备,在全球的任何地方的所有空域都能为飞机导航,由于它高精度和廉价性,使得现有的陆基导航系统伏尔/测距器设施将逐渐被取代,所以今后伏尔信标台不会显著增加。

7.2.2 测距器

主要介绍两种测距系统:测距器和精密测距器。测距器又称 DME 或 DME/N,精密测距器又称 DME/P。

两种测距系统在原理和组成上有极大的相似性,却是不同历史时期的产物。

测距器是在第二次世界大战中随着雷达的出现发展起来的。其中 10 频/10 码测距系统在 1952 年被国际民航采纳,但没有得到广泛应用。与此同时,美国开发了塔康系统。军用塔康系统与民用伏尔系统组合工作,构成伏塔克系统。在 1956 年,随着伏塔克系统被采纳,10 频/10 码测距器在与塔康竞争中失败。在 1959 年,国际民航组织接纳与塔康系统兼容的测距器作为测距器的新的国际标准。

精密测距器是国际上新开发的无线电导航系统。它是随着微波着陆系统被接纳为国际标准着陆设备而产生的。1978 年 4 月,国际民航组织选取时间基准波束扫描微波着陆系统作为取代仪表着陆系统的新一代国际标准着陆系统。1979 年,微波着陆系统的技术规范被载入《国际民航公约》附件 10。几乎与此同时,国际民航开始对精密距离测量设备的考虑。1982 年,国际民航选取双脉冲双模式测距方案作为国际标准精密测距器的技术方案,并制订出相应的技术规范。1985 年,精密测距器的技术规范正式载入《国际民航公约》附件 10。

两种测距系统有着不同的用途:测距器用作航路和终端区的导航,它可以与伏尔系统联合工作,组成伏尔/测距器近程导航系统,还可以与仪表着陆系统联合工作,协助它进行进场着陆引导;精密测距器专门用作与微波着陆系统联合工作,进行精密进场着陆引导。

两种测距系统,由于用途不同,信号覆盖范围(作用距离)也不相同。一般说,航路用测距器的覆盖范围大于等于 200n mile,终端用测距器的覆盖范围大于等于 60n mile,精密测距器的覆盖范围仅在 22n mile 以上。

两种测距系统都采用脉冲制测距。信号脉冲按规定的码间隔组成脉冲对,以使系统工作不易受随机干扰信号的影响。精密测距器除了像测距器一样应用双脉冲信号外,还用双模式工作。两种模式是初始进场模式(IA)和最后进场模式(FA)。飞机距地面台 7n mile 以内的范围属于 FA 模式工作范围。当飞机距地面台 8n mile 时,开始从 IA 模式向 FA 模式过渡。在过渡区(8n mile ~ 7n mile),两种模式询问被交替发射,当 FA 模式达到足够的回答效率时,机上询问器的工作自动地从 IA 模式过渡到 FA 模式。IA 模式保障两种测距系统的兼容性,FA 模式保障精密测距器所需要的高精度。

两种测距系统的主要差别在系统精度。测距器的系统误差按规定不超过 $\pm 370\text{m}$ (2σ)。精密测距器的系统精度比测距器的系统精度高得多。按照国际民航组织的规定,精密测距器有两种精度标准:标准 1 和标准 2。标准 1 适合常规起落飞机的引导要求,标准 2 适合垂直起落和短距离起落飞机的引导要求。衡量精密测距器的精度有两项指标:航道跟随误差和控制运动噪声。航道跟随误差是飞机可以跟随的误差分量;控制运动噪声是飞机来不及跟随的误差分量,但当与自动驾驶仪交连时会影响飞机的姿态和引起操纵杆抖动。按照国际民航组织的规定,在微波着陆系统基准数据点处:标准 1 应达到航道跟随误差小于等于 $\pm 30\text{m}$ (2σ),控制运动噪声小于等于 $\pm 18\text{m}$ (2σ);标准 2 应达到航道跟随误差小于等于 $\pm 12\text{m}$ (2σ),控制运动噪声小于等于 $\pm 12\text{m}$ (2σ)。

7.2.2.1 工作原理

1. 系统组成和测距原理

测距器是一种二次雷达型系统。国际民航组织规定,新开发的精密测距器必须与测距器兼容,因此,精密测距器与测距器一样也是二次雷达型系统。这样,两种测距器具有同样的基本组成,如图 7-4 所示。

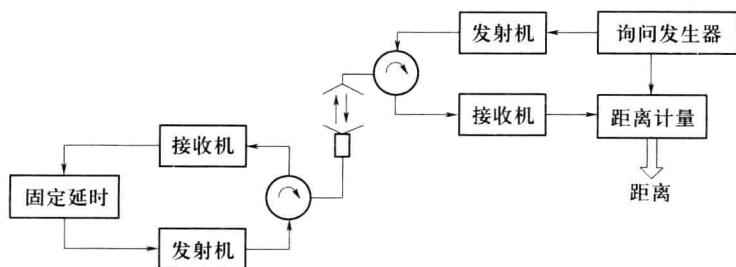


图 7-4 测距系统组成框图

地面设备的基本组成是:接收机、信号处理器、发射机和天线。机载设备的基本组成是:询问发生器、发射机、天线、接收机和距离计数器。

机上设备发射询问脉冲,被地面台应答器接收,经固定的时间延时,地面应答器向机上询问器发射回答信号。机上设备收到回答信号后,根据询问发射和回答接收之间的时间间隔,就可算出询问器和应答器之间的距离,即

$$\text{距离} = 1/2 [\text{光速} \times (\text{收发时间间隔} - \text{固定延时})]$$

该公式没有考虑发射询问信号时和接收回答信号时飞机位置的变化。这是因为,飞机运动速度相对于无线电波的传播速度而言是相当缓慢的,在信号传播的短时间内,飞机位置变化对计算精度的影响与所允许的测距精度相比较是可以忽略不计的。

该计算公式还假定电波传播速度是恒定不变的,这种假定只有在真空传播条件下才能成立。实际上,受大气传播条件及其变化的影响,电波传播速度也有微小的变化。它对测距误差的影响一般也忽略不计。

2. 通道划分

在测距过程中,地面台必须确认所收到的询问是对本台的询问才产生回答信号,机上询问器也必须确认所收到的回答信号是被询问地面台的回答信号方可进行距离测量。测距询问信号是载频调制的脉冲对信号。测距回答信号也是载频调制的脉冲对信号。我们应用通道这一术语来规定询问载频及其脉冲对编码与回答载频及其脉冲对编码之间的连接道路。

由于空中可同时存在大量需要获得对某一地面台站距离信息的飞机,地面也星罗棋布地布置着众多地面台站,因此,为了不造成飞机与地面台站之间的错误连接,必须划分很多通道。国际民航组织对两种测距器的通道规定可参考图 7-5。962MHz~1213MHz 的工作频段分成 4 段,每段占 63MHz。机上询问占中间两段,即 1025MHz~1150MHz。地面回答是全波段,即 962MHz~1213MHz。相邻波道的频率间隔是 1MHz。对于测距器,有 X、Y 两种编码方式。对于精密测距器,在 X、Y 编码基础上又增加了 W、Z 两种编码方式,这样,精密测距器有 X、Y、W、Z 4 种编码方式。

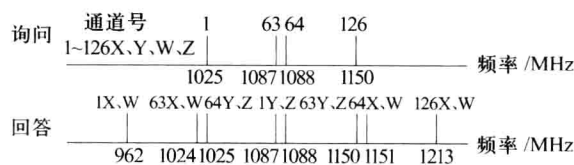


图 7-5 测距系统通道划分示意图

如果已知某一通道号,将如何求出它的询问频率和回答频率呢? 方法如下:

对于 X 和 W 编码方式,有

$$\text{询问频率} = 1025 + (\text{通道号} - 1)$$

当通道号为 1~63 时,有

$$\text{回答频率} = \text{询问频率} + 63\text{MHz}$$

当通道号为 64~126 时,有

$$\text{回答频率} = \text{询问频率} - 63\text{MHz}$$

对于 Y 和 Z 编码方式,有

$$\text{询问频率} = 1025 + (\text{通道号} - 1)$$

当通道号为 1~63 时,有

$$\text{回答频率} = \text{询问频率} + 63\text{MHz}$$

当通道号为 64~126 时,有

$$\text{回答频率} = \text{询问频率} - 63\text{MHz}$$

同一通道的询问频率与回答频率隔开 63MHz,以避免同频相加干扰,提高信号质量。

机上询问安排在 962MHz ~ 1213MHz 的中间部分,而地面回答安排在全波段。因为压缩机上发射机的频率范围可简化机上设备,降低机上设备的成本,把成本和复杂性负担加在地面设备上。一个地面台站可以为空域中多达 100 架飞机服务,从系统整体看,这样的安排是合理的。

按照上述通道安排方法,测距器有 252 个通道能力,精密测距器具有 504 个通道能力。但是,国际民航组织从测距器的 252 个通道能力中挑选了 160 个与伏尔系统,40 个与仪表着陆系统配对使用,从精密测距器 504 个通道能力中挑选了 200 个通道与微波着陆系统配对使用。挑选时考虑了 1030MHz ~ 1090MHz 属于空中交管雷达询问器/应答器的频率范围。

4 种编码的编码方法如表 7-1 所列。

表 7-1 编码方法,脉冲对间隔和固定延时

波道字标	工 作 模 式	脉冲对间隔/ μ s		延时/ μ s	
		询问	应答	第一脉冲定时	第二脉冲定时
X	DME/N	12	12	50	50
	DME/P 1A	12	12	50	—
	DME/P FA	18	12	56	—
Y	DNE/N	36	30	56	50
	DME/P 1A	36	30	56	—
	DME/P FA	42	30	62	—
W	DNE/N	—	—	—	—
	DME/P 1A	24	24	50	—
	DME/P FA	30	24	56	—
Z	DNE/N	—	—	—	—
	DME/P 1A	21	15	56	—
	DME/P FA	27	15	62	—

3. 搜索、跟踪和记忆时间

一个通道规定了一个地面台和欲对该地面台测距的一群飞机之间的联络通道。但是对于某一架飞机而言,它既收到该通道相应地面台对它的询问的回答信号,也收到该地面台对调谐到该通道的其他飞机的回答信号。这样,就存在着正在进行询问的飞机必须从众多回答信号中挑选出属于它自己的回答信号的问题,否则测距仍不能正确进行。

为了使每架飞机都能区分哪些回答是属于它本身的询问引起的,机上询问信号应在一定范围内随机抖动。由于每架飞机都有各自的、彼此不相关的询问随机抖动特性,相对于本飞机询问的回答脉冲总是与本飞机的询问同步的,而相对于其他飞机的询问的回答信号是与本飞机的询问不同步的,从而可挑选出属于它自己的回答脉冲。

在机上询问器企图建立询问和回答之间的同步关系期间,测距器或精密测距器处于搜索方式。在这个期间通常应增加询问率,以减少完成搜索的时间。对于测距器,模拟式搜索可以在 20s 内完成,而数字式搜索可以在 2s 内完成。因为前者不管有没有回答信号存在,搜索门都缓慢地匀速移动;后者在每次询问后,搜索门总是在上次搜索时最先出现回答信号的位置上出现,推进速度很快。最新的测距器,采用数字式相关器记录每次询问后应答脉冲的分布,数

次询问后,就可得出在哪个时间单元回答脉冲最集中,就可完成搜索任务,因而搜索可以在1s甚至几分之一秒时间内完成。精密测距器就采用这种搜索方法。

一旦询问器确认了属于它自己的同步回答,询问器保持锁定在它自己的同步回答上,距离门将跟随飞机运动而同步移动。此时,称作处于跟踪方式。于是询问器便移去警旗,输出和显示所测距离。为了减轻地面应答器的工作负荷,或者说为了提高地面应答器有可能服务的飞机架数,在跟踪时应尽量降低询问率。

对于测距器,如果电波被障碍物或其他飞机遮挡,或回答信号被识别码抢权而丢失,或飞机处于天线方向性图零点,或地面信标台短暂关闭引起回答信号在短时间内消失,机载设备将进入记忆状态。该状态的机载设备内插记忆装置将以飞机原有的运动速度进行记忆跟踪。记忆跟踪的时间可以设定。在记忆跟踪时间内,跟踪门内若没有回答脉冲出现,仍继续保持跟踪,而不必立即返回搜索状态。超过记忆跟踪时间约定,若仍没有收到回答信号,询问器才重新返回到搜索状态,在记忆跟踪时间内,一旦出现满足跟踪条件的状态,就立即转入正常跟踪状态。对于着陆阶段用精密测距器,当信号丢失后立即返回到IA模式搜索状态,同时保持1s具有告警显示的记忆输出。

4. 定时脉冲和定时点

测距系统的信号是脉冲对编码信号,脉冲形状又是高斯形(对于测距器)或者 $\cos - \cos^2$ 形(对于精密测距器)。高斯形也称作钟形, $\cos - \cos^2$ 形指脉冲前沿按三角函数 $\cos$ 曲线变化,后沿按 $\cos^2$ 曲线变化。测距系统的距离测定实际上是信号传播时间的测定,那么以脉冲对的哪一个脉冲作为定时脉冲呢?定时点又选在脉冲波形的什么位置上呢?

原来的测距应用第二脉冲定时,也就是说,测距是测量所发出的询问脉冲对的第二脉冲

和所收到的回答脉冲对的第二脉冲之间的时间间隔。第二脉冲定时的优点是译码的生效与时间测量的开始同时进行,如果译码失效,时间测量也同时立即取消。但是第二脉冲定时对多路径非常敏感,特别是第一脉冲的短距离回波叠加在第二脉冲上,使第二脉冲波形发生畸变,造成定时点移动,增大了测距误差。现代的测距系统应用第一脉冲定时,也就是说,测距是测量所发出的询问脉冲对的第一脉冲和所收到的回答脉冲对的第一脉冲之间的时间间隔。采用第一脉冲定时后,测距精度可得到提高。

测距系统除了规定脉冲对的哪一个脉冲作为定时脉冲外,还必须规定相对于该定时脉冲的具体定时点的位置。只有这样,才能精确进行时间测量。对于测距器和精密测距器的IA模式,采用所谓“半幅度定时”。第一脉冲上升沿50%幅度点的位置作为定时的基准点。虽然在第一脉冲上升沿的50%幅度点处已经受到一些短延时回波的影响,定时基准点可能会有一些移动,但这种影响是测距器或精密测距器的IA模式的总精度所许可的。对于精密测距器的FA模式,由于总精度很高,这种影响已不可容忍,因而采用所谓的“延时衰减比较法”产生定时基准点,这将在下面关于提高测距精度关键技术的章节中做稍详细的论述。

5. 固定延时、寂静时间和回波抑制时间

测距系统地面应答器在询问脉冲对的接收和相应回答脉冲对的发射之间引入一段固定延时,延时量是50 μ s、56 μ s或62 μ s,如表7-1所列。

设置固定延时的目的是使地面应答器有信号处理时间,使机上设备有可能进行零千米测距。寂静时间是在地面应答器里引入一段封闭时间,在这段时间里接收机被封闭,这样,可以在回答发射期间保护接收机,也可防止接收机在这段时间里对多路径回波的响应。在脉冲对

译码生效后,立即进入寂静状态,寂静时间一般不大于 $60\mu\text{s}$ 。在寂静状态应答器对所有的机上询问都不回答,因此,会降低系统效率。

在某些多路径回波比较严重的地区,在寂静时间后可设立回波抑制时间。在回波抑制时间内,只有超出某相对门限(相对于该直达信号)的信号才被视为有效询问信号,否则将被视为回波信号而被抑制。可见,回波抑制时间的设置可进一步消除同步多路径干扰,但有可能把某些幅度不够大的真正询问信号视为回波信号而被抑制,因而也会降低系统效率。

6. 随机填充脉冲

测距系统工作时,地面信标台还必须发射随机填充脉冲。第一,系统的机上询问器含 AGC, AGC 电路需要收到一定重复率的脉冲串后方可正确地建立。按国际民航组织规定,这个最低发射速率不得小于 700 脉冲对/s,并尽可能接近 700 脉冲对/s。试想,在空中仅有一架装有测距器的飞机的情况下,如果没有地面发射的随机填充脉冲对,那么它将只有 30 个脉冲对/s(测距器的跟踪状态的最大询问速率)或 40 个脉冲对/s(精密测距器跟踪状态的最大询问速率),这时机上自动增益控制就建立不起来。为此,必须有随机填充脉冲模拟其他飞机的应答脉冲的存在。第二,发射随机填充脉冲可使应答器发射机保持相对稳定的负荷,也就是保持比较稳定的内部温度起伏。对于老式电子管设计,温度起伏对设备工作影响较大;对于现代固态发射机,虽然内部温度起伏对设备工作影响不大,但仍然是不希望。

随着空中交通密度的增加,应答器的回答脉冲对数增加,随机填充脉冲数自动减少。当回答发射达到所规定的最低发射率时,停止发射随机填充脉冲。

7. 识别

当飞机驾驶员选定了通道,就确定了相应的测距地面台,他就从耳机里听到该地面台发射的识别音响信号,从而判定所选台址的正确性。

每个地面台都有一组规定的代码,因而也就有相应于该代码的莫尔斯码。用该莫尔斯码的点划信号控制 1350Hz 信号,使之在点划存在时有 1350Hz 脉冲输出;空时(即不存在点划信号时)无 1350Hz 脉冲输出。然后,该 1350Hz 脉冲就像应答器回答触发脉冲一样,触发应答器的调制器,把识别信号发射给空中的飞机。机上询问器里具有 1350Hz 滤波器,滤出莫尔斯信号送驾驶员耳机。

7.2.2.2 应用技术

这里,将讨论提高测距精度的新技术。

1. 测距脉冲信号的陡前沿技术

测距脉冲前沿越陡,定时点变动时相应的时间变化越小,测距精度越高。但是,陡前沿会造成信号的频谱变差,因此只能在满足频谱要求的范围内脉冲前沿适当变陡。《国际民航公约附件》10 规定,测距器信号脉冲上升时间不得超过 $3\mu\text{s}$,精密测距器信号脉冲上升时间不得超过 $1.6\mu\text{s}$ 。

测距器应用高斯形脉冲,脉冲前沿相对平坦些,可以满足测距器的测距精度要求。精密测距器 FA 模式应用 $\cos - \cos^2$ 形波形,脉冲前沿相对陡些。

2. 宽带中频放大器、低噪声前置放大器和鉴频器的应用

测距器的高斯形测距脉冲使中频放大器有 1MHz 带宽就足够了。对于精密测距器的陡前沿脉冲,为使信号通过接收机时保持陡前沿特性,机上和地面接收机都必须有大约 3.5MHz 的中频带宽。宽带会造成噪声增大,降低信噪比,而且由于间隔 1MHz,仍然在宽带接收机频带

范围内的邻波道信号没有得到抑制,会造成邻波道干扰。

为此,在采用 3.5MHz 宽带中频放大器的同时,应用低噪声前置放大器,以改善信噪比;还必须应用鉴频器,以抑制邻波道干扰。

3. 延时衰减和比较触发技术

测距器确定定时点的方法是半幅度检测法,也称作 HAF 触发技术。视频信号的半幅度与延时大约 $2.7\mu\text{s}$ 的该视频信号相比较,形成 HAF 定时点。由于定时点处在脉冲上升沿的半幅度处,该处已受到多路径信号的叠加影响,波形已有畸变;另外,用作比较的半幅值也因多路径对信号幅度的影响亦有抖动。因此,HAF 定时方法的定时精度较低。

精密测距器 FA 模式确定定时点的方法是延时衰减和比较法,也称作 DAC 触发技术。如图 7-6 所示,接收信号被分成两路,一路延时,延时量为 τ ,另一路衰减,衰减量为 a ,两路信号进行比较,当两路信号相等时产生定时触发信号。DAC 触发有两个好处,一是可以稳定定时点,定时点的确定与信号幅度起伏变化无关,即使信号幅度受多路径影响而有所起伏,但定时点的位置不受影响;二是可以达到低门限触发,当取延时量 $\tau = 100\text{ns}$,衰减量 $a = -6\text{dB}$ 时,定时触发点大约在脉冲前沿的 10% 处,在符合标准的机场里,脉冲前沿的 10% 处几乎还没有受到多路径干扰的影响,因而 DAC 技术也是抗多路径干扰的有效办法。但是,DAC 定时技术的定时点较低,故要求接收机信噪比相对高些。

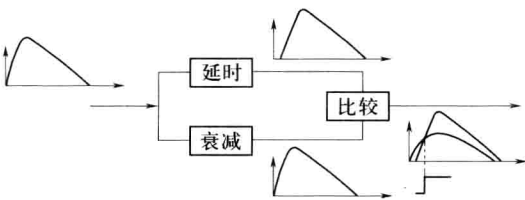


图 7-6 DAC 触发技术简化框图

4. 数字调制技术

精密测距器 FA 模式的询问和回答脉冲必须有陡峭的前沿,并且部分上升时间(脉冲前沿 5% ~ 30% 幅度处)呈直线变化。只有部分上升时间脉冲前沿呈直线变化,DAC 定时点不受脉冲幅度影响的好处才能成立。因此,必须严格控制发射脉冲的形状。采用数字调制技术是控制发射脉冲形状的办法之一。

数字调制技术是采用数字化的方法调制发射机的输出波形,使发射机的输出波形总与理想波形相同。如图 7-7 所示,预先把一个标准波形数字化地存储在一个只读存储器里,也就是只读存储器里放着标准波形的理想值。同时,使发射机输出端耦合出部分能量,这部分能量

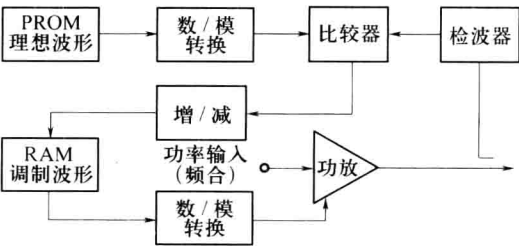


图 7-7 数字调制器简化框图