

中国民航学院教材



宋福臣 郑树人 编

空中交通管制系统与计算机网络



中国民航出版社

空中交通管制系统 与计算机网络

宋福臣 郑树人 编

中国民航出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

空中交通管制系统与计算机网络/宋福臣, 郑树人编.
—北京: 中国民航出版社, 1996
ISBN 7-80110-109-X

I. 空… II. ①宋… ②郑… III. ①空中交通管制-计算机管理系统②空中交通管制-计算机网络 IV. V355.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 14308 号

空中交通管制系统与计算机网络

宋福臣 郑树人 编

*

中国民航出版社出版发行

(北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼 5 层)

邮政编码 100028 电话 64290477

北京市曙光印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 20 字数: 448 千字

1997 年 4 月第 1 版 1997 年 4 月第 1 次印刷 印数: 1—5 000 册

ISBN 7-80110-109-X/V·053 定价: 37.50 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

前 言

空中交通管制系统（Air Traffic Control System）简称 ATC 系统，是把计算机、雷达、显示和通信等先进技术综合利用到空中交通管制方面的一项复杂的电子工程。随着微电子技术、计算机技术、卫星通信技术、光纤通信技术以及显示技术的飞速发展，在航空事业高度发达的今天，自动化空中交通管制系统已进入了一个新的领域，如今先进的 ATC 系统已为世界上空中交通比较发达的国家所采用。

目前我国航管系统的设备与技术仍很落后，并且缺乏这方面的系统理论及工程技术知识。为了加速我国空中交通管制自动化系统的研制和建立，培养航管工程技术人才而编写了《空中交通管制系统与计算机网络》一书。

本书全面介绍了自动化空中交通管制系统的设计、体系结构、设备配置及计算机网络有关理论知识和航管工程技术。是在全面地学习研究了国外先进的航管系统后，并结合引进航管系统设备的安装、调试、运行的实际经验，经分析、论证，对自动化航管系统的总体功能、系统结构、设备选型与配置，以及航管系统总体设计进行了探讨。

本书由从事了多年航管系统研制、试验工作的宋福臣和至今仍在从事航管系统设计、试验工作的郑树人编著。全书由黄坤大、徐惠国、郑定积负责审校。

由于编者水平有限，加之自动化空中交通管制技术发展迅速，本书虽经三年多的教学实践，仍有部分章节有待进一步充实、完善。书中难免有错误和不当之处，恳请读者予以批评指正。

编者

1996 年 10 月

目 录

第一章 空中交通管制系统雷达、录取技术

1.1 雷达、录取的基本概念	1
1.1.1 雷达产生与应用	1
1.1.2 雷达原理	1
1.1.3 雷达组成	6
1.1.4 雷达性能	7
1.1.5 雷达工作方式	11
1.1.6 脉冲制雷达的测距与测角	13
1.1.7 二次雷达的工作原理	18
1.1.8 旁瓣抑制——控制脉冲 P_2 的作用	20
1.1.9 应答信号的组成	21
1.1.10 空管二次雷达基本组成	24
1.1.11 二次雷达的技术指标	26
1.2 雷达录取设备	28
1.2.1 数字录取设备工作原理	28
1.2.2 量化器	30
1.2.3 检测器	35
1.2.4 录取器	46
习题与思考题	47

第二章 计算机数据通信技术

2.1 计算机数据通信基本概念	49
2.2 数据通信的理论基础	52
2.2.1 傅里叶分析	52
2.2.2 数字信号的频谱	53
2.2.3 信道带宽对信号传输的影响	56
2.2.4 最大数据传输率	58
2.3 数据编码技术	59
2.3.1 数字信号编码为模拟信号	59
2.3.2 二进制数据编码	64
2.3.3 模拟数据编码为数字信号	65
2.4 数据通信系统结构及通信方式	67
2.4.1 数据传输系统	67
2.4.2 数据通信系统模型及组成	68
2.4.3 数据通信方式	69

2.5 FDM/TDM 多路复用技术	71
2.5.1 频分多路复用 (FDM)	72
2.5.2 时分多路复用 (TDM)	72
2.6 交换方式	75
2.7 差错控制	77
2.7.1 差错的特点	77
2.7.2 纠错码	78
2.7.3 检错码	80
习题与思考题	86

第三章 计算机网络概论

3.1 计算机网络的发展与分类	88
3.1.1 计算机网络发展简介	88
3.1.2 计算机网络的分类	89
3.2 计算机网络的定义、组成和功能	90
3.2.1 计算机网络应用举例	90
3.2.2 计算机网络的定义	94
3.2.3 计算机网络的组成	94
3.2.4 计算机网络的功能	96
3.3 通信子网线路与结构	96
3.3.1 通信子网的线路及发展	96
3.3.2 通信子网的主要功能	97
3.3.3 通信子网的结构	98
3.4 计算机网络体系结构	100
3.4.1 体系结构的概念	100
3.4.2 网络协议的基本概念	101
3.4.3 网络功能和协议层次化	102
3.4.4 各层协议设计中共同要解决的几个问题	104
3.5 开放系统互联 (OSI) 参考模型	104
3.5.1 一般概念和术语	105
3.5.2 OSI 参考模型及各层功能	108
习题与思考题	110

第四章 计算机组网技术

4.1 NetWare 基本体系结构	112
4.1.1 NetWare 逻辑结构	113

4.1.2	NetWare 目录结构	114
4.1.3	NetWare 分层结构与协议	115
4.2	NetWare 接口与互联技术	121
4.2.1	NetWare 接口技术	121
4.2.2	NetWare 网间联接技术	123
4.2.3	NetWare 通道技术	130
4.2.4	NetWare 系统容错技术 (SFT)	132
4.3	网卡技术及其组网配置	132
4.3.1	网卡与网络结构间的关系	132
4.3.2	Novell 支持的网卡类型	137
4.3.3	网卡使用的传输媒体	138
4.3.4	组网拓扑结构	141
4.4	Ethernet 技术	142
4.4.1	遵循的标准与协议	142
4.4.2	网卡与 IEEE802.3 体系结构的关系	146
4.4.3	网卡、组网配置	147
4.5	IBM Token Ring 技术	151
4.5.1	Token Ring 概述	151
4.5.2	IBM Token Ring 总体结构与组网配置	151
4.5.3	单 Token 媒体访问及优先级访问	156
4.5.4	帧格式	158
4.6	ARCnet 技术	161
4.6.1	网卡、组网结构与配置	161
4.6.2	ARCnet 媒体访问协议	164
4.7	FDDI 组网技术	167
4.7.1	FDDI 概述	167
4.7.2	组网结构与应用环境	167
4.7.3	基本 FDDI 协议模块	170
4.7.4	多 Token 媒体访问协议	170
4.7.5	物理层结构及其功能	173
4.7.6	环路重构性能	176
4.7.7	典型组网配置	177
4.8	ATM 网络技术	179
4.8.1	异步传输模式	179
4.8.2	ATM LAN 仿真	180
4.8.3	ATM 与其他高速网络技术的比较	181
	习题与思考题	182

第五章 网络规划与设计

5.1	网卡选择原则	184
5.2	网络规划与设计	185
5.2.1	如何规划细缆 Ethernet 网络	185
5.2.2	如何规划 10Base-T 网络	188
5.2.3	如何规划光纤 Ethernet 网络	191
5.2.4	新型网络的规划与应用	193
	习题与思考题	199

第六章 空中交通管制系统显示技术

6.1	概述	200
6.2	CRT 显示技术	202
6.2.1	CRT 显示技术的发展特点	202
6.2.2	CRT 显示器的工作原理	203
6.2.3	显示器控制系统	215
6.3	大屏幕显示技术	218
6.3.1	特点分类和指标	218
6.3.2	平板式大屏幕显示原理	222
6.3.3	大屏幕显示方案举例	224
	习题与思考题	231

第七章 自动化空中交通管制系统综述

7.1	发展概况	233
7.2	自动化空中交通管制系统总体概述	234
7.2.1	系统主要设备配置情况	234
7.2.2	系统功能综述	237
7.2.3	系统结构	239
7.3	未来的空中交通管制系统	240
7.3.1	当前陆基 CNS 系统的局限性	240
7.3.2	未来 CNS 系统的目标和实质	241
7.4	自动化空中交通管制体制	241
7.4.1	空中交通管制的主要任务	241
7.4.2	自动化空中交通管制机场的设置	242
7.4.3	关于我国自动化空中交通管制机构设置与设备配置	243
	习题与思考题	245

第八章 空中交通管制系统自动化信息处理技术

8.1 雷达信息的自动化处理	246
8.1.1 位置信息的处理	246
8.1.2 求目标的速度	252
8.1.3 高度信息及二次代码信息的处理	253
8.1.4 相关处理	259
8.1.5 多雷达跟踪处理	273
8.1.6 航迹显示	275
8.1.7 其他雷达信息	277
8.2 飞行计划信息处理	278
8.2.1 飞行计划信息及其输入方法	278
8.2.2 机器飞行计划的基本内容	279
8.2.3 飞行计划的实施过程	280
8.2.4 飞行进程单	284
8.2.5 飞行动态表的打印	284
8.3 气象信息处理	285
8.4 人一机对话信息的处理	286
8.5 冲突探测	287
8.5.1 飞行的分类	287
8.5.2 可能的交通量	287

8.5.3 冲突探测原理	288
8.5.4 冲突探测方法	289
8.6 飞行情报信息处理	293
习题与思考题	294

第九章 民航机场空中交通管制系统总体设计

9.1 机场航行管制的特点与基本使用要求	295
9.2 系统功能和主要技术指标分析	295
9.2.1 系统功能分析	295
9.2.2 系统主要技术指标分析	298
9.3 系统结构分析和比较	300
9.3.1 不配置中心计算机的系统结构	300
9.3.2 配置中心计算机的系统结构	301
9.3.3 功能分布式系统结构	302
9.4 系统主要设备选型分析	304
9.4.1 雷达和录取设备选型分析	304
9.4.2 计算机选型分析	306
9.4.3 显示器选型分析	307

参考文献	311
------	-----

第一章 空中交通管制系统

雷达、录取技术

1.1 雷达、录取的基本概念

1.1.1 雷达产生与应用

1. 电磁波的人工获得

英国物理学家麦克斯韦 (J. C. Maxwell) 于 1864 年提出了光和无线电波的传播速度与光速相同, 而且它们均能反射和聚焦。德国物理学家赫兹 (H. R. Hertz) 于 1888 年用火花振荡放电, 首次实现了人工产生电磁波, 并证明电磁波的某些性质。

到 19 世纪末, 不仅实现了无线电通信, 而且也证实了大型舰船对无线电波有反射现象, 并预见到可利用这种现象来发现肉眼所看不见的目标。由此人们发现了无源探测的方法, 即无线电测向技术。

2. 雷达的产生与应用

飞机出现以后, 产生了防空问题, 最初是用望远镜、听声器等来探测飞机。但听声器之类的作用距离太近 (一般不超过 15~20km), 也不能测定距离, 而且衰减大并伴有杂音。当时飞机的速度已达 100 m/s 左右, 用二三倍于其速度的声音来探测, 即使有测距离的方法, 误差也很大。利用传播速度 3×10^8 km/s 的无线电波来探测就克服了上述缺点。第一次世界大战后, 由于超短波波段电子器件和技术的发展, 促进了雷达技术的出现, 为了适应航空技术的需要, 新型的探测工具——首批实用的雷达就于第二次世界大战前产生了。

雷达 (Radar) 是英文“无线电探测和测距” (Radio Detecting and Ranging) 缩写的音译, 由美国海军部于 1940 年正式命名, 意为“无线电测向和测距”或“无线电定位”。

雷达所以受到重视, 是由于它具有许多优越的性能, 如有较大的作用距离, 几乎能在任何气象条件下, 任何地域内, 昼夜不停地工作。它测定目标有较高的准确度, 并能自动搜索和跟踪目标, 还可以识别敌我, 以及显示目标的批次和航迹等。

雷达在军事上起着很重要的作用, 现代化武器 (如飞机、大炮、导弹、舰艇) 都离不开雷达。雷达在国民经济和科学研究中也占有十分重要的地位, 并取得了日益广泛的应用。

1.1.2 雷达原理

1. 雷达定位的原理和方法

1) 目标的散射原理

雷达发现目标是基于目标在雷达所发射的高频无线电波的照射下, 会产生二次发射, 它产生回波并被雷达所接收。雷达探测目标的原理如图 1.1 所示。

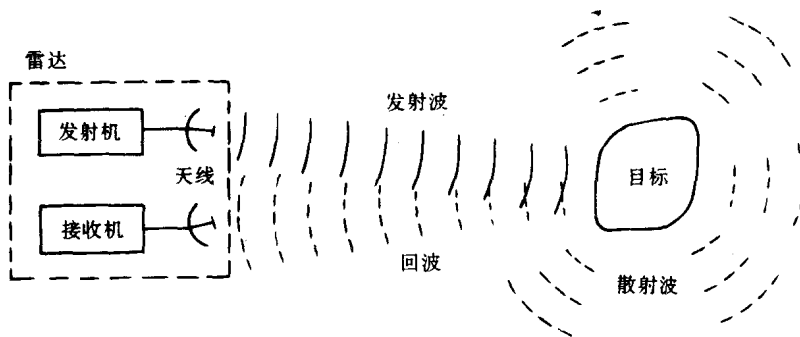


图 1.1 雷达发现目标的原理

电磁波的散射与散射体的性质、形状、尺寸及表面粗糙度等情况有关。其原理为：高频电磁波传播途中若遇上导体，在其上会感应出相应的电流和产生相应的电磁波，该波再向空中辐射，这种辐射的电磁波的方向和强弱随导体的不同而不同。有的电波又传到原来的位置（称为后向散射，或称为回波或反射），有的电波则向其他方向散射开去。

当物体（如地面、海面）的尺寸远大于无线电波的波长时，就会出现如一般物体对光波（可见光波长约为零点几微米）那样的散射现象，当这种表面相当光滑平直时，则会出现镜面反射现象。由此可见，后向散射是一般雷达探测目标的物理基础，如果目标是相当大的镜面，则只有当雷达与目标连线垂直于目标镜面时，才能探测到目标，这样雷达就无多大价值了。但自然界和人造的物体，几乎都不会形成对雷达波束的镜面反射，这才使雷达大有可为。

目标回波的强弱在一定的发射功率下与下面的因素有关：金属及良好的导体，回波强；若是长条的线目标，则其长度等于半个波长或半个波长的整数倍时，回波强；对于面目标，一般地说，正对雷达的面积越大，回波越强。

在雷达技术中，目标的反射特性常用雷达截面积来表示，它把实际目标等效为一个垂直于电波入射方向的截面积，当它把所截获的入射功率全向均匀散射，在雷达处产生的功率密度和实际目标产生的相同，这一等效截面积称为雷达截面积。早期所谈的雷达截面积，通常指目标所有姿态中雷达截面积较小的一个。实际上，雷达截面积的选择是一个与波长、目标特性、目标姿态等因素有关的量，这往往是经过多次试验、统计平均折衷选择的结果。目标的雷达截面积总小于目标在电波运动垂直方向等效的几何截面积，这是因为目标的几何形状及材料性质（如有的目标敷有反雷达覆盖层）使反射特性变劣的缘故，如现代的近航导弹及轻型飞机，其雷达截面积只有 1m^2 或 0.01m^2 的量级。

2) 运动目标的空间位置表示法

目标的空间位置用球坐标表示法，如图 1.2 所示，以雷达所在地为坐标原点 O ，则目标 A 的空间位置可表示为斜距离 R ，方位角 α 和仰角 β 三个量；或方位角 α 、水平距离 D 和高度 H 三个量。在近距离时可近似为

$$H = R\sin\beta \quad (1-1)$$

$$D = R\cos\beta \quad (1-2)$$

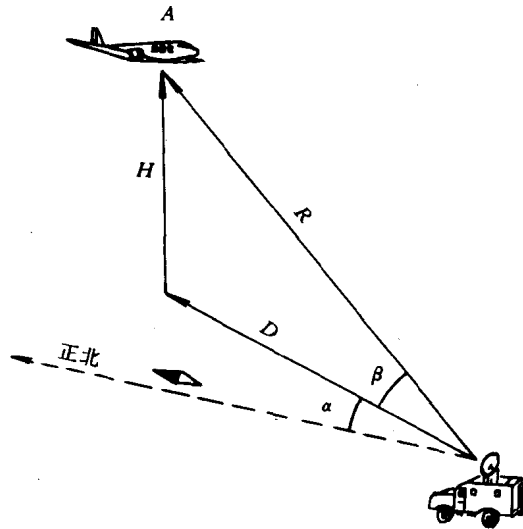


图 1.2 目标位置的球坐标表示

所以测定目标的空间位置，实质上就是测距和测角，即测定目标的斜距和方位角、仰角三个坐标参数。

考虑到目标是运动的，我们把这三个数据用时间函数表示。下面对这三个参数的测量分别予以说明。

3) 雷达测距

由于无线电波的传播速度 c 已知，故测出雷达从发射无线电波到收到目标回波所需的时间，便可以确定从目标到雷达的距离。设电波往返于雷达与目标之间走过两倍斜距 R 的时间为 t ，有测距公式

$$R = \frac{1}{2}ct \quad (1-3)$$

式中 R ——斜距 (m)；

t ——时间间隔 (μs)；

c ——无线电波传播速度， 3×10^8 m/s。

设一架飞机在雷达发出脉冲后，经过 $500\mu\text{s}$ 后，收到回波信号，由式 1-3 可得飞机离雷达的距离为： $R=150 \times 500=75000$ (m)。这里的距离为斜距，显然，当目标距地面的高度 H 远小于斜距时，水平距离 D 近似等于斜距 R 。

若雷达的测距准确度要求为 15m 时（炮瞄雷达所要求的准确度），测时准确度要求为 $0.1\mu\text{s}$ 。因此，雷达测距时要求用高速电子计数装置，并在显示器上显示出来。雷达测距如图 1.3 所示。

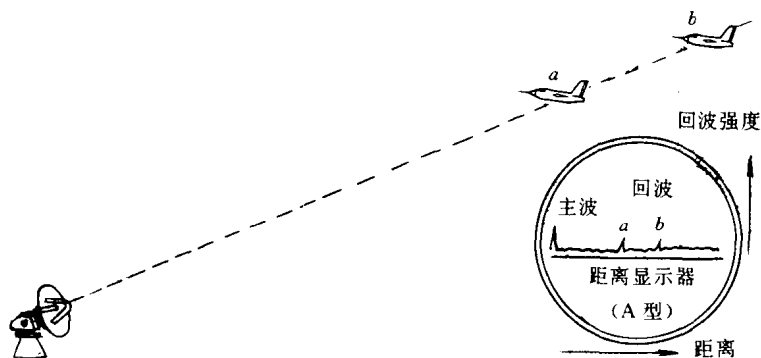


图 1.3 雷达测距

4) 雷达测向

无线电波在空间的直线传播是雷达测向的物理基础。测向即测方位角和仰角。测出目标斜距和仰角后，即可由式 1—1 求得目标高度，由式 1—2 求得目标的水平距离。再测方位角，目标的位置便被确定下来了，测量目标方向的方法有最大信号法、最小信号法和比较法三种。

最大信号法是用方向性天线将发射功率集中成很窄的波束（又称波瓣）照射目标时，当波束中心对准目标，回波才最强，显示器上的回波信号最大，此时无线电轴所指方向即为目标方向，如图 1.4 所示。这种方法的优点是简便、信噪比好，而作用距离又远。缺点是

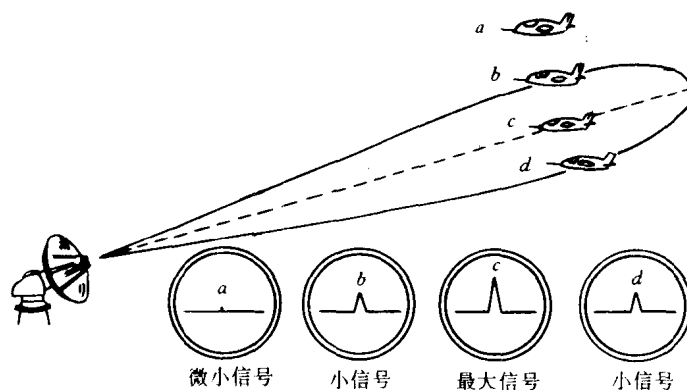


图 1.4 最大信号法测向

精度不高，约为波束半功率点张角的 $0.1 \sim 0.25$ 。

最小信号法是利用双波束的天线系统，如图 1.5 所示，当天线使零发射线 OA 与目标方向 OB 重合时，即得出目标方向。从理论上说，最小信号法比最大信号法测量精度高得多，因为目标稍偏离发射线就会引起回波能量的剧变，易于在显示器上识别。但由于存在噪声干扰，实际测量精度比理想的要低一些。另外，用最小信号法测向时即等于丢失目标，这在许多雷达（如炮瞄雷达中）是不允许的，因而这种办法在一般雷达中用得较少，但无线

电导航上运用较多。

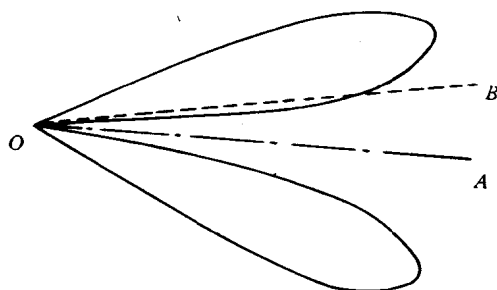


图 1.5 最小信号法测向

比较法利用双波束或多波束在空间部分重叠，对回波信号进行幅度或相位比较。实现方法有顺序波束制和同时波束制，圆锥扫描和单脉冲体制，这里以简单的顺序波束制来说明（见图 1.6）。比较法由于利用的是波束幅度变化率最大部分，因此微小角度变化也会使信号明显变化。故测量精度高，而且判读方便，并易辨别目标的偏离幅度和运动方向。不丢失目标，可以很方便地实现跟踪。比较法的测向精度比最大信号法高几倍以上，但它作用的距离比最大信号法近，无线和高频电路都比较复杂。

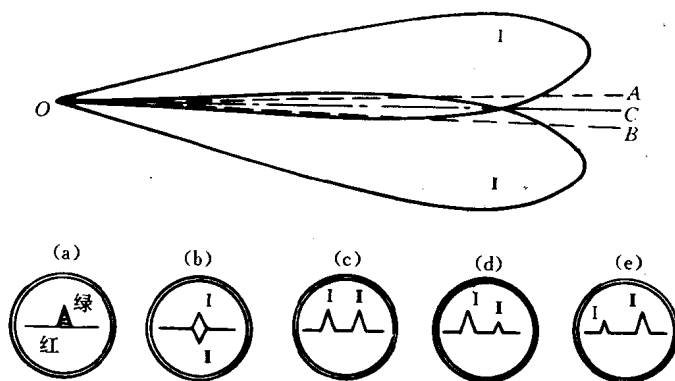


图 1.6 比较法测向

- (a) 红绿两色回波比较；
- (b) 反向脉冲比较；
- (c) 分离脉冲比较；
- (d) OA 方向时波束 I 的信号强；
- (e) OB 方向时波束 II 的信号强。

5) 雷达测速

雷达测速的原理是基于多普勒效应，多普勒效应在日常生活中是常见的。当你在铁道和公路交叉口外止步，等候火车通过时，会遇到如下情况：若高速火车鸣笛时驰来，会听到其笛声的声调变高；火车远离而去时，笛声的声调却逐渐低沉。而静止的火车鸣笛时，你若站着不动，声调是不变的。上述现象说明了声波的频率会因波源和观测者之间的相对运动而改变，此即多普勒效应。其频差称多普勒频移，以 f_d 表示之。对于光波和无线电波，其数学表达式为

$$f_d = \frac{2f_0 v_r}{c} \quad \text{整理为: } v_r = \frac{f_d c}{2f_0}$$

式中 f_0 —— 发射波的频率；

c —— 光速， 3×10^8 m/s；

v_r —— 目标相对于雷达的径向速度。

因而测得多普勒频移 f_d 的大小与正负值，便可知目标相对于雷达的径向速度 v_r 的大小和方向。这种测速方法广泛用于测量导弹、卫星和宇宙飞船等飞行器的速度。

2. 雷达工作波段

对于一般雷达来说，工作在超短波和微波波段，这是雷达最活跃的频段。

雷达的工作波长对雷达的性能有根本性的影响。例如，要增大作用距离，则雷达的工作波长不宜过短，这是因为过短的电磁波在空气中传播时，受空气中水蒸气、氧气以及雨雪等的吸收而衰减。当波长大于 30cm 时，大气衰减甚微，而波长短于 10cm 时，衰减就比较严重，而且器件难制。

如果要提高测量精度和分辨能力，以及减小雷达的体积、重量，则工作波长不宜过长。至于要求高鉴别率、高精度的小巧雷达，采用毫米波段。此波段虽然电波传播衰减大，但这些雷达一般要求作用距离不大，雷达常用波段的划分及工作波段在整个无线电频谱中的位置如图 1.7 和图 1.8 所示。

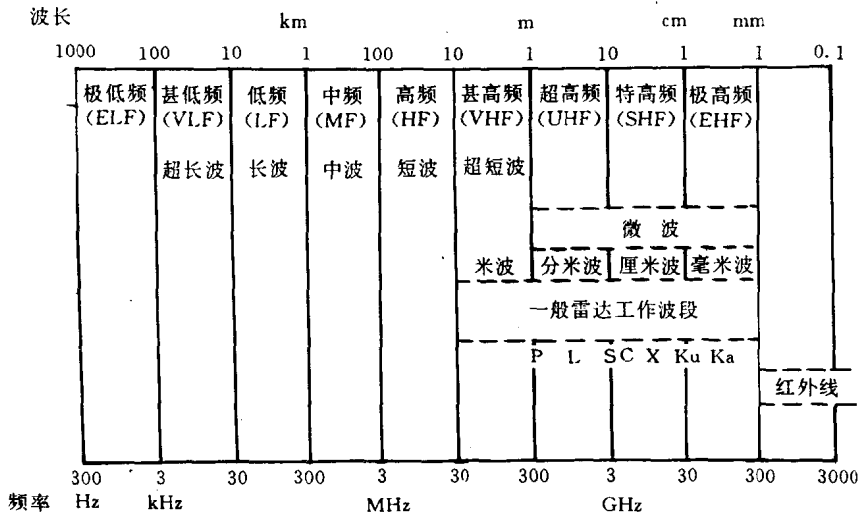


图 1.7 雷达工作波段与无线电波频谱

1.1.3 雷达组成

各类雷达由于功能不同，在结构上不尽一致。但它们均按前述的基本原理工作，故其组成大体相同。下面以常见的机械扫描式脉冲雷达的组成为例。通常雷达由天线、发射机、

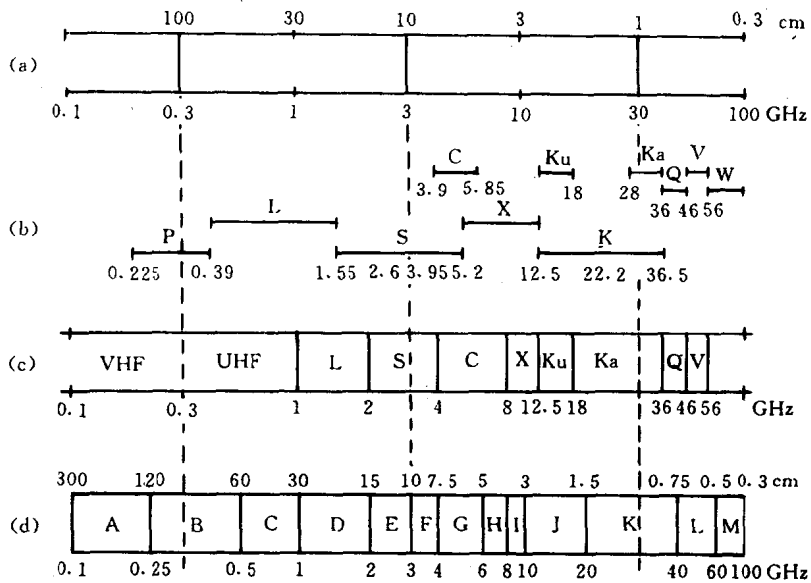
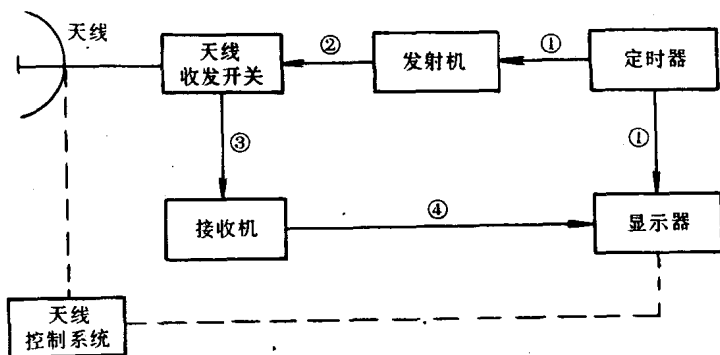


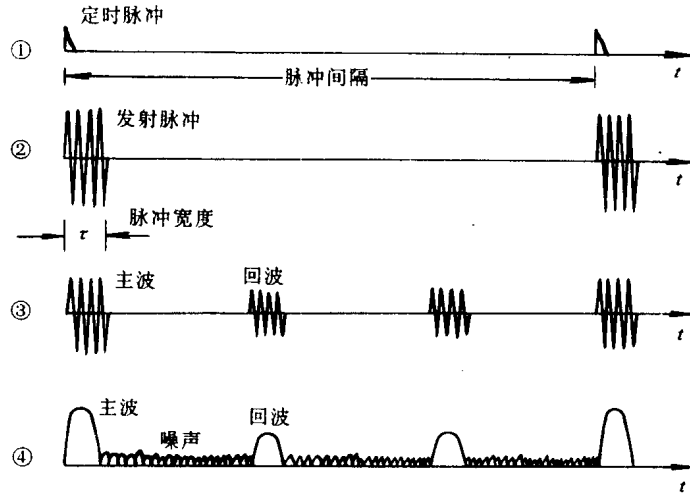
图 1.8 雷达常用波段的划分

接收机、定时器、显示器及天线控制系统等主要部分组成，如图 1.9 所示。

脉冲雷达发射机在定时器的控制下，周期性地产生短促高频高功率脉冲（两个发射脉冲之间的时延叫脉冲间隔，每个脉冲持续的时间叫脉冲宽度，每秒所发射的脉冲个数叫脉冲重复频率），经收发开关到天线并通过天线向空间集束辐射；天线由天线控制系统操纵，使波束在空间进行扫描，以便探测目标；当目标受波束照射后，产生后向散射回波，回波被天线收集，经收发开关送到接收机，接收机将收到的信号（包括由收发开关所“漏”过来的发射脉冲形成的主波与目标回波）进行高频放大、变频、中频放大、检波、视频放大后，以视频脉冲加至显示器，完成对目标的探测。



(a) 方框图



(b) 波形图
图 1.9 雷达组成

1.1.4 雷达性能

雷达性能是对雷达进行研制、选购、评价、验收、使用、维修的依据，是研制和使用部门所持的共同标准。雷达性能有战术性能和技术性能两大类，分述如下：

1. 战术性能

雷达的战术性能是表征雷达的用途和能力的指标，一般有下列各项。

1) 雷达威力范围

雷达威力范围由作用距离范围、仰角范围和方位角范围所组成。

① 作用距离

作用距离包括最大作用距离（一般简称作用距离）和最小作用距离这两项指标。

最大作用距离的要求随雷达用途不同而异，警戒雷达要求作用距离远；火控和制导雷达只要求大于武器射程即可。由典型的雷达方程可知作用距离为

$$R_{\max} = \left[\frac{P_t G_t G_r \sigma \lambda^2 F_t^2 F_r^2}{(4\pi)^3 (S/N)_{\min} K T_s B_r L} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (1-4)$$

式中 P_t —— 发射机输出功率；
 G_t —— 发射天线功率增益；
 G_r —— 接收天线功率增益；
 σ —— 雷达目标截面积；
 λ —— 工作波长；
 F_t —— 发射方向图传播因子；
 F_r —— 接收方向图传播因子；
 $(S/N)_{\min}$ —— 最小检测信噪比；

K —— 波兹曼常数 ($1.38 \times 10^{-23} \text{W} \cdot \text{s/K}$);

T_s —— 系统噪声温度;

B_n —— 接收机带宽;

L —— 系统总损耗。

最小作用距离即雷达能发现目标的最近距离。一般雷达对此无特殊要求,但对于航行、防撞及交会雷达,这是一项很重要的指标。就脉冲雷达而论,最小作用距离主要受脉冲宽度和天线接收开关管恢复时间的限制。

②仰角和方位角范围

它的要求随雷达用途不同而异,远程警戒雷达就不要高仰角,30°左右即可。环视雷达要有360°方位角和30°以上的仰角。而远程警戒雷达方位上不一定非采用圆周扫描不可,但碍于惯性不便于扇扫,只得如此。

2) 分辨率与准确度

分辨率表示对相邻目标或目标细节的分辨能力,分为距离分辨率和角分辨率两类。精密测量雷达、制导雷达、测视雷达、天文雷达等对此有特殊要求。

准确度为雷达所测得的目标坐标及其变化率(即速度和速度变化率加速度)与真实情况之间的差别,常用“测量精度和测量误差”来表示。对准确度的要求随雷达用途不同而异。

3) 抗干扰能力

干扰源有宇宙背景和噪声、闪电、工业干扰、地物杂波以及人为干扰,对于一般雷达都需要有抗非人为干扰的能力。

对于军用雷达,抗干扰、特别是抗人为干扰的能力极为重要,一般要求有综合的抗干扰能力(即抗各种干扰)。

4) 目标数据率

目标数据率是雷达单位时间内获取目标参数的次数,它与搜索周期互为倒数。目标的速度越高,则要求雷达的数据率亦高,才能探测到目标的航迹。但这与回波脉冲数有矛盾,要权衡折衷。

5) 目标容量

雷达系统在一定条件下,能够同时处理的目标数叫做目标容量,其工作状态可以是搜索、跟踪或边搜索边跟踪,这个“同时”在微观上实际是时间分割不同时的,这就要求快速处理,只能由计算机完成。

6) 可靠性

可靠性是雷达在规定条件下,完成其功能出现故障的概率。无故障概率和它的关系是其和为1。前者以趋近于1为好;后者以趋近于零为好。为方便计,常用无故障工作时间间隔来表示。

7) 雷达的机动性和生存能力

雷达机动性是由体积、重量、装拆时间、运输单元、阵地要求等指标来衡量。

生存能力是指抗核攻击和常规火力攻击的能力。

8) 性能价格比与效果价格比

性能价格比,对普通雷达是一项重要的指标,决定着其竞争能力,对于军用和科研雷

达也是一项重要指标，但用效果价格比指标来衡量更为全面。

2. 技术性能

雷达技术性能是指为实现其战术性能的要求，在雷达设计时，对整个系统和各主要组成部分所提出的技术指标及采取什么样的技术措施。

1) 工作频段与工作带宽

从原则上讲，雷达可工作于整个射频段。但具体选择应考虑到目标散射特性、电波传播条件、准确度和分辨率、天线口径的技术限制（如能否制成）和使用限制（如飞行器天线）等因素。工作频段的选用，在技术上主要受高频功率源的限制。有时抗干扰的体制对频率选择也起重要作用。

超视距雷达因要利用电离层进行散射传播，工作于短波波段。警戒雷达要求作用距离远，天线又不太大，多工作于分米波段；精密跟踪、测量雷达，因要求高分辨率和准确度，常工作于厘米波段或毫米波段。

工作频带是雷达瞬时频率的可调范围，工作频带宽，频率自适应捷变性能好，则雷达抗人为积极干扰能力强，此外，它还增加了高发现概率时的作用距离。

2) 脉冲重复频率

雷达脉冲重复频率的选择，早期主要受最大作用距离和脉冲数目的限制，对于一般雷达脉冲间隔（重复频率的倒数）至少应略大于回波时延，才不会出现距离模糊。但在不出现距离模糊的情况下，以脉冲数多些为好（即脉冲重复频率高些）。这是因脉冲数多后，即可用信号积累技术，使信号线性叠加，而噪声由于随机起伏不能直接累加，这样改善了信噪比。

现代远程雷达的重复频率，并不一定受距离模糊的约束。

3) 脉冲宽度

要提高雷达作用距离，希望脉冲宽度大些好，要提高雷达的距离分辨率（此外，还有前述的最小作用距离），则又希望脉冲的宽度窄些，现代雷达技术则又可巧妙解决上述约束。

4) 发射功率

雷达发射功率的提高，同作用距离抗干扰能力的提高有直接关系。发射功率有两种表示方法：平均功率和脉冲功率。

平均功率是指重复周期之内的平均功率，它影响作用距离等；脉冲功率是指脉冲持续期间的平均功率，二者的关系式为

$$\text{平均功率} = \text{脉冲功率} \times \text{脉冲宽度} \times \text{脉冲重复频率}$$

对于雷达来说，起关键作用的是平均功率，主要受功率源的限制。平均功率若增加，则体积、重量和成本也显然增加。

5) 天线波束形状

天线波束形状随雷达的用途及其扫描形式而定，常用天线增益和波束宽度来表示作测量跟踪用的雷达，波束呈笔形；作警戒搜索用的，波束呈各类薄片形。

6) 灵敏度

在一定限度内，提高接收机灵敏度比用其他方法（如增大天线的功率增益，提高发射