

赠阅
请交换

雷达系统

(上册)



北京工业学院五系

1978.1

南京航空航天大学图书馆(密集书库)



A35-17

TN95
1002



目 录

第一章 雷达的特性

§ 1-1 雷达探测目标的物理基础	1
§ 1-2 雷达的基本组成部分及其作用	2
§ 1-3 雷达的工作波段	4
§ 1-4 雷达的分类	6
§ 1-5 雷达的战术参数和技术参数	7

第二章 雷达测距和测向

§ 2-1 测距的质量指标	8
(1) 测距范围	8
(2) 测距误差	8
(3) 距离分辨力	8
(4) 测距的多值性	9
§ 2-2 距离显示器	9
(1) A 型显示器	9
(2) J 型显示器	11
(3) A/R 型显示器	13
§ 2-3 数字式距离录取装置	16
§ 2-4 连续波调频雷达测距	18
(1) 连续波调频雷达的测距原理	18
(2) 无线电高度计	19
(3) 连续波调频雷达测距的阶梯式误差	20
§ 2-5 雷达测向的质量指标	21
(1) 测向误差	22
(2) 角度分辨力	22
(3) 测向的多值性	22
§ 2-6 相位测向法	23
(1) 测向原理	23
(2) 测向多值性	24
§ 2-7 振幅测向法	25
(1) 最大信号法	25
(2) 等信号法	26



(3) 比较信号法	28
§ 2-8 平面位置显示器 (PPI)	30
(1) 距离扫描部分	31
(2) 方位扫描部分	32
(3) 刻度波部分	35
(4) 信号放大部分	36
(5) B 型显示器	36
§ 2-9 滑动窗检测器	38
(1) 工作原理	38
(2) 滑动窗用作对目标的发现和测距	40
(3) 滑动窗用作对目标方位 (或仰角) 的测量	40
(4) 滑动窗检测器的实现举例	41
§ 2-10 数字式角度录取装置	43
(1) 数字电路方法	43
(2) 光码盘法	44

第 三 章 雷达的距离方程

§ 3-1 雷达距离方程的基本表示式	46
§ 3-2 雷达距离方程中各损耗因子的计算	50
(1) 大气吸收损耗 L_a	50
(2) 天线方向图损耗 L_p	51
(3) 扫描损耗 L_s	51
(4) 丢失损耗 L_c	51
(5) 失配损耗 L_m	52
(6) 波束交叉损耗 L_k	53
(7) 极化损耗 L_o	53
(8) 脉冲宽度损耗 L_w	53
(9) 斜侧损耗 L_u	54
(10) 非理想积累损耗 L_i	34
(11) 系统衰退损耗 L_e	54
(12) 发射传输损耗 L_t 和接收传输损耗 L_r	54
(13) 设备的非理想性所引起的损耗 L_n	54
§ 3-3 地面反射与大气折射对雷达作用距离的影响	54
(1) 地面反射对雷达作用距离的影响	54
(2) 地球曲率对雷达作用距离的影响	56
§ 3-4 雷达作用距离计算举例	58
§ 3-5 有源噪声干扰下雷达的作用距离	60

§ 3-6	杂波干扰下雷达的作用距离	62
(1)	体积分布式杂波干扰下的距离方程	62
(2)	面积分布式杂波干扰下的距离方程	64

第四章 雷达检测

§ 4-1	匹配滤波器	66
§ 4-2	匹配滤波器的性质	70
§ 4-3	矩形脉冲信号的匹配滤波	74
§ 4-4	线性调频脉冲信号的匹配滤波	80
§ 4-5	脉冲串信号的匹配滤波	87
§ 4-6	最佳检测系统	92
§ 4-7	确知脉冲信号的最佳检测	94
§ 4-8	随机初相脉冲信号的最佳检测	99
§ 4-9	随机幅相脉冲信号的最佳检测	108
§ 4-10	相参脉冲串信号的最佳检测	112
§ 4-11	不起伏非相参脉冲串的最佳检测	113
§ 4-12	相关起伏相参脉冲串的最佳检测	119
§ 4-13	独立起伏非相参脉冲串的最佳检测	121

第五章 跟踪雷达

§ 5-1	圆锥扫描雷达	125
(1)	圆锥扫描测角的原理	125
(2)	圆锥扫描雷达的组成	128
§ 5-2	单脉冲雷达	131
(1)	振幅和差式单脉冲雷达的工作原理	132
(2)	相位和差式单脉冲雷达的工作原理	135
(3)	在两个平面上测角的单脉冲雷达	137
(4)	单脉冲雷达的几个部件	140
(5)	单脉冲雷达的误差斜率及零值深度	144
§ 5-3	隐蔽锥扫雷达	145
§ 5-4	角跟踪的误差分析	147
(1)	多路径反射误差	148
(2)	目标回波振幅起伏角误差	149
(3)	目标的角起伏误差	152
(4)	接收机内部噪声引起的角误差	153
(5)	随动系统噪声角误差	158
(6)	动态滞后误差	158

(7)	角跟踪的误差和目标距离的关系	160
§ 5-5	单脉冲雷达的网络误差	161
(1)	和差变换器以前(包括和差变换器)的相移不平衡的影响	161
(2)	和差变换器以后(不包括和差变换器)的相移不平衡的影响	164
(3)	和差变换器以前两信道传输系数不一致的影响	165
(4)	和差变换器以后两信道的增益不平衡的影响	166
§ 5-6	雷达的距离跟踪原理	167
(1)	人工距离跟踪	168
(2)	半自动距离跟踪	170
(3)	距离自动跟踪	171
§ 5-7	距离自动跟踪的实现方法	171
(1)	误差灵敏电路	171
(2)	控制器	172
(3)	模拟式距离自动跟踪	174
(4)	数字式距离自动跟踪	176
(5)	距离跟踪系统的自动搜索	177

第六章 雷达测速和运动目标显示

§ 6-1	都卜勒效应	179
§ 6-2	连续波雷达的工作原理	180
§ 6-3	连续波雷达的几个技术问题	181
(1)	发射机与接收机的隔离	181
(2)	接收机带宽的选择	182
(3)	都卜勒频移符号的判定	184
§ 6-4	脉冲都卜勒雷达的工作原理	185
(1)	特点及其应用	185
(2)	模糊问题和重复频率的选择	185
(3)	机载脉冲都卜勒雷达的杂波及其抑制	187
(4)	用参差重复频率消除距离模糊	189
§ 6-5	脉冲都卜勒雷达的信号处理	190
(1)	中频都卜勒滤波	190
(2)	零中频信号处理	192
§ 6-6	快速付立叶变换(FFT)	194
(1)	离散付立叶变换(DFT)	194
(2)	DFT的两个有用的性质	196
(3)	离散付立叶变换的快速算法(FFT)	199
(4)	FFT在雷达信号处理中的应用举例	203

§ 6-7	动目标显示雷达的原理	206
(1)	相参式 MTI 雷达	206
(2)	非相参式 MTI 雷达	210
§ 6-8	盲速及参差重复频率	212
§ 6-9	盲相及中频对消	215
(1)	点盲相	215
(2)	连续盲相	216
(3)	用线性相位检波器消除盲相	217
(4)	中频对消器	218
§ 6-10	杂波的功率谱及对消器频率特性的改进	221
(1)	起伏杂波的功率谱	221
(2)	多次延时对消	223
(3)	加权对消	225
(4)	加反馈的对消	226
§ 6-11	MTI 雷达的质量指标及对雷达稳定性的要求	228
(1)	杂波衰减 (CA) 和对消比 (CR)	228
(2)	改善因子 (I)	229
(3)	杂波中的可见度 (SCV)	229
(4)	杂波特性和对消器特性对于对消比的限制	230
(5)	天线扫描对于对消比的限制	232
(6)	振荡器频率漂移或相位漂移对于对消比的限制	233
(7)	脉冲间的抖动对于对消比的限制	235
(8)	脉冲幅度的不稳定对于对消比的限制	235

第一章 雷达的特性

雷达是英文(Radio Detection and Ranging)的缩写和译音。原意为“无线电检测和测距”，亦即用无线电的方法发现并测定目标的空间位置。因此雷达也称为“无线电定位”。

雷达是利用目标对电磁波的二次发射现象来发现目标并测定其位置的。飞机、导弹、人造卫星、各种舰艇、车辆、兵器、炮弹以及建筑物、山川、云雨等等都可以作为雷达的探测目标，所以雷达具有很广泛的用途。

雷达在军事上作为敌袭兵器的予警和我方兵器的指挥控制的装备，起着十分重要的作用。在国民经济及科学研究中，雷达也占相当重要的地位，如在导航、气象、天文、空间技术、大地测量以及探矿等部门日益发挥重要的作用。

雷达所以受到重视，是由于它的优越性能，如：有较大的作用距离，在能见度很差的情况下也可以工作；有多种用途，能作为发现目标予警之用，也能自动搜索和精密跟踪，还可以显示目标的批次、航迹以及作为目标识别之用，附加一定的设备还可以识别敌我等等。

§ 1—1 雷达探测目标的物理基础

雷达向空间辐射某种形式的无线电波（即发射信号）。在无线电波的照射之下，目标的表面产生了散射，散射的无线电波中的一部分（即回波信号）被雷达所接收，从回波信号中可以获得有关目标的信息。具体地说：

回波信号的存在——目标的发现；

回波信号对发射信号的时延——目标的距离；

回波的波前的法线方向——目标的方向；

回波信号对发射信号的频移——目标的速度；

此外，回波的幅度、相位、极化方向和它们的变化规律可以识别目标的外形、大小和运动状态。

雷达测距就是测量回波信号对发射信号的时延。假设无线电波在空间的传播是等速的并为直线传播，电波往返于雷达和目标之间使回波对发射波的时延 t_d 为：

$$t_d = \frac{2R}{c}$$

或

$$R = \frac{1}{2} c \cdot t_d$$

(1-1)

其中, c 是电磁波传播速度。在真空中传播时, $c = 2.997925 \times 10^8$ 米/秒, 通常取近似为 3×10^8 米/秒。

目标反射回波波前的法线方向就是目标的方向。测量回波波前的法线方向是利用了有一定口径大小的接收天线, 回波沿天线口径的相位分布由目标的方向决定。阵列式天线乃是对相位分布作离散采样的测量, 反射面式天线是对连续的相位分布进行测量。从天线的方向图形来理解, 就是利用有了方向性的接收天线, 在天线指向目标时, 回波最强。

图(1-1)是当目标距离 R 很大时, 反射波在雷达天线处形成的波前的示意图。

雷达还可以用来测量目标的径向速度。回波频率与发射波频率间有频移 f_d

$$f_d = 2f_0 \cdot \frac{v_r}{c} \quad (1-2)$$

其中 f_0 为发射波频率, c 为光速, v_r 为目标对雷达的径向速度。因而, 测得 f_d 的大小, 就可以确定目标的径向运动速度, 根据 f_d 的正负, 还

可以确定运动的方向。测量了目标的现时座标及速度之后就可以对目标坐标进行预测, 实现对目标坐标的自动跟踪。此外, 利用速度信息还可以对不同的目标进行速度分辨, 以及实现动目标显示雷达。

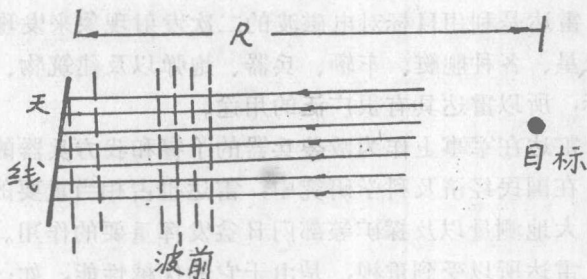


图 1-1 反射波在远区场的波段

§ 1—2 雷达的基本组成部分及其作用

现以普通脉冲雷达为例, 说明雷达的组成部分及其作用。

图(1-2)画出了脉冲雷达的简单框图。它的工作过程是: 发射机在定时器的触发下, 产生音频高功率的脉冲串, 经过高增益的天线向空间辐射。在天线控制器的作用下, 天线波束按照指定的方式在空间扫描, 扫描照射到目标时, 目标后向散射电磁波的一部分到达雷达天线, 被天线所接收。经接收机进行放大、混频等处理以后, 送到雷达终端设备, 完成对目标的观测。

发射机的作用是产生高频高功率的脉冲串。有两种工作方式, 一种是以功率振荡器作为发射机的末级(例如磁控管振荡器、大功率三、四极管振荡器等), 在定时器送来的触发脉冲作用下, 形成调制脉冲, 由调制脉冲作用在大功率振荡器上, 使之产生高频高功率的脉冲。这种方式称为功率振荡式发射机。另一种是以功率放大器作为发射机的末级(例如大功率速调管放大器等), 在定时器中已形成了高频脉冲串信号, 在发射机中将此脉冲串有步骤地进行功率放大, 直到最末一级的高功率放大器形成了发射信号。这种方式称为功率放大式发射机。

脉冲雷达一般是收发共用天线。雷达天线通常具有很强的方向性。天线的方向性越强,

雷达测向的精度和分辨力越高。

天线控制器控制天线进行空间扫描,并同步控制终端设备显示器和天线角度录取装置。天线控制器是一灵活的自控系统,一般是机电传动的,新型雷达多采用液压传动或数字化传动。天线控制系统的性能直接影响雷达的测向精度和灵活性。

脉冲雷达的收发天线是共用的,这就需要一种开关装置,当

发射时,使天线与发射机接通,与接收机断开,以免强大的发射功率进入接收机将接收机高放混频部分烧毁;当接收时,使天线与接收机接通,与发射机断开,以免微弱的接收功率因发射机旁路而减弱。这种装置称为天线收发开关。天线收发开关属于高频馈线中的一个部分,通常由高频传输线和放电管组成,或用环形器实现。

接收天线所收集的反射信号功率通过高频馈线送入接收机。接收机多为超外差式,包括高频放大(有些雷达接收机不用高频放大)、混频、中频放大、检波、视频放大等电路。

接收机的首要任务是将微弱的回波信号放大到足以进行信号处理的电平,在此同时,应保证有足够的动态工作范围。其次是,一般在接收机中也进行一部分信号处理,例如:对噪声干扰的滤波、对都卜勒速度和距离的跟踪等。

终端设备完成对信号的处理,并且将雷达的输出转换成观察者所要求的形式。近代雷达一般采用数字式信号处理方式,它的终端设备就是专用的电子计算机或专用的和通用的电子计算机,计算机的输出最后以数码或符号显示。终端设备在普通雷达中就是显示器,在显示器上,以各种形式图示出目标的空间位置。常用的有A型显示器(距离显示器),PPI型显示器(平面位置显示器)以及B型显示器(方位—距离显示器)和C型显示器(方位—仰角显示器)。图(1-3)画出了几种常用的显示器的屏面图。

A型显示器的横坐标表示距离,纵坐标表示电压幅度。它是一维位置坐标显示。在距离坐标的零点有触发脉冲作为距离起始标志。触发脉冲是从定时器送来的,或者是从发射机漏入的发射脉冲。距离坐标轴又称距离扫描线,目标回波的视频脉冲就出现在扫描线与目标距离相应的位置上。为了测距方便,在距离扫描线上有距离刻度(机械刻度或电刻度波)。除了触发脉冲和目标回波外,在显示器上还会出现各种地物和其它干扰物的回波,例如高大的建筑物、山、雨区等等,这些都会干扰我们观测目标,称之为干扰背景。此外,接收机内部的热噪声和外界的噪声干扰也会在显示器上造成起伏干扰。

J型显示器也是距离显示器,和A型显示器不同之处仅在于它的距离扫描线是圆周。这样,在同样大小的屏面上,J型显示器的扫描线就能比A型长三倍左右。

PPI显示器萤光屏的距离扫描线是从萤光屏中心处向外扫的半径,圆心就是距离零点。距离扫描线随天线的方位角同步旋转,当天线方位角旋转了 360° ,距离扫描线在萤光屏上

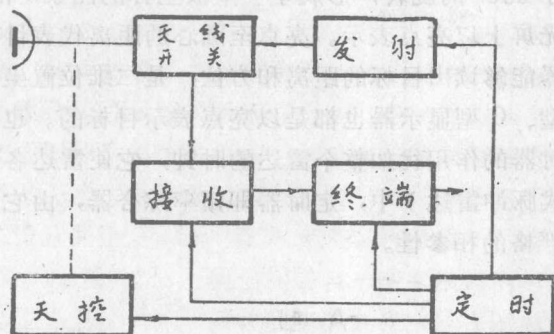


图 1-2 脉冲雷达的简单框图

也完成了 360° 的旋转, 形成了一个极坐标的图象, 沿圆周表示方位, 沿半径表示距离。目标在荧光屏上以亮点表示。亮点至圆心的距离代表目标距离; 亮点的方向代表目标方位。这种显示器能够读出目标的距离和方位, 是二维位置坐标显示器。

B 型、C 型显示器也都是以亮点表示目标的。也是二维位置坐标显示器。

定时器的作用犹如整个雷达的时钟, 它使雷达各部分同步工作。在功率放大式脉冲雷达 (相参式脉冲雷达) 中, 定时器即频率综合器, 由它产生所需的各种频率的振荡波, 它们之间保持严格的相参性。

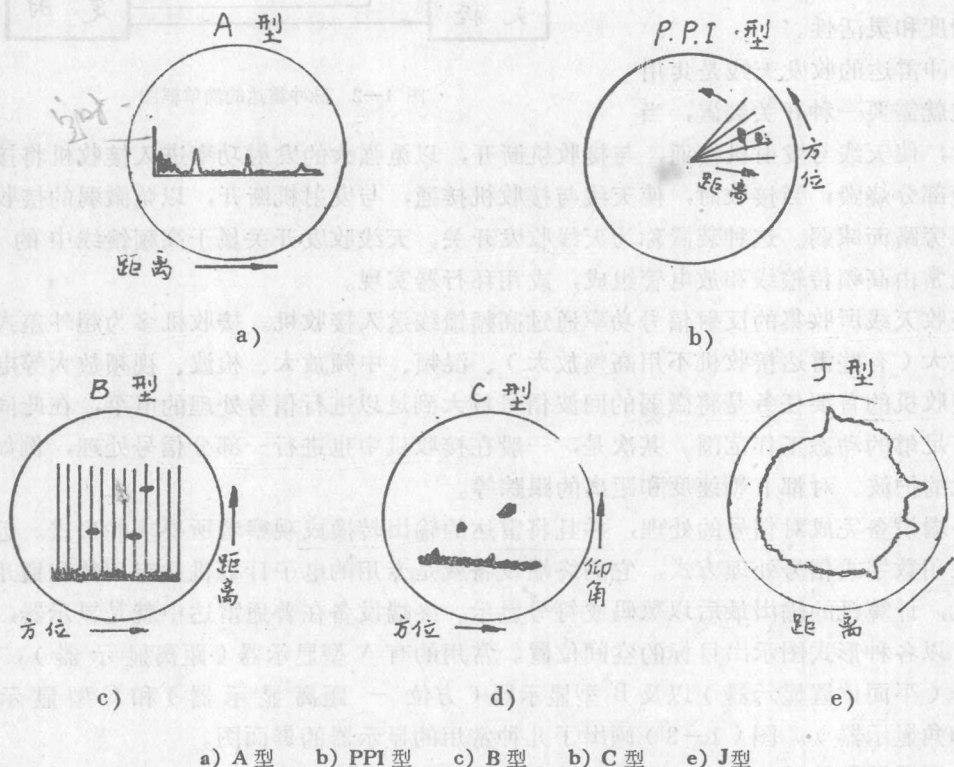


图 1—3 几种常用的显示器的画面

§ 1—3 雷达的工作波段

雷达的工作频率范围很宽, 波长从十几米到几毫米。早期的雷达工作在此范围的较低频率上, 主要是由于大功率器件的限制。由于工作频率低, 所以天线十分庞大, 而且测角精度和分辨力还很差。到四十年代以后, 由于有了磁控管和速调管的大功率器件, 雷达的工作频率进入微波波段, 使雷达的测角精度大为提高, 并且有了更广泛的用途。现在, 雷达占有的工作波段是很广的。一般来说, 在较长的波长, 雷达发射功率管可能得到的功率容量较大,

接收机的噪声系数较小, 大气的传播衰减较小; 在较短的波长, 能获得的天线增益较高, 天线方向性较好。当然, 根据具体使用条件不同, 各种波长各有其特点, 雷达应根据战术要求选用适宜的波段。

雷达波段的划分及表示方法有如下几种:

(a) 以波长来划分: 将雷达波段分为米波、分米波、厘米波等, 如图(1-4)。我国采用的是这种划分方法。

(b) 以代号表示不同波段: 以 P、L、S、X、K 等字母代号表示不同波段。这是第二次世界大战期间英美为了保密, 对采用雷达波段的表示方法, 常见于英美的旧有资料中。

(c) 沿袭(b)的表示法。由于新的微波器件的出现, 形成了一些新的波段, 如 C 波段、 K_u 和 K_a 波段等等。L 波段代表 22cm 为中心的 20~25 cm 段, S 波段代表 10cm, C 波段代表 5cm, X 波段代表 3cm, K_u 波段代表 2.2cm, K_a 波段代表 8mm。

(d) 是七十年代以来, 美国军用雷达波段的表示方法。将雷达波段按波长从长到短以字母顺序排列, 各个波段的范围也作了较合理的调整。

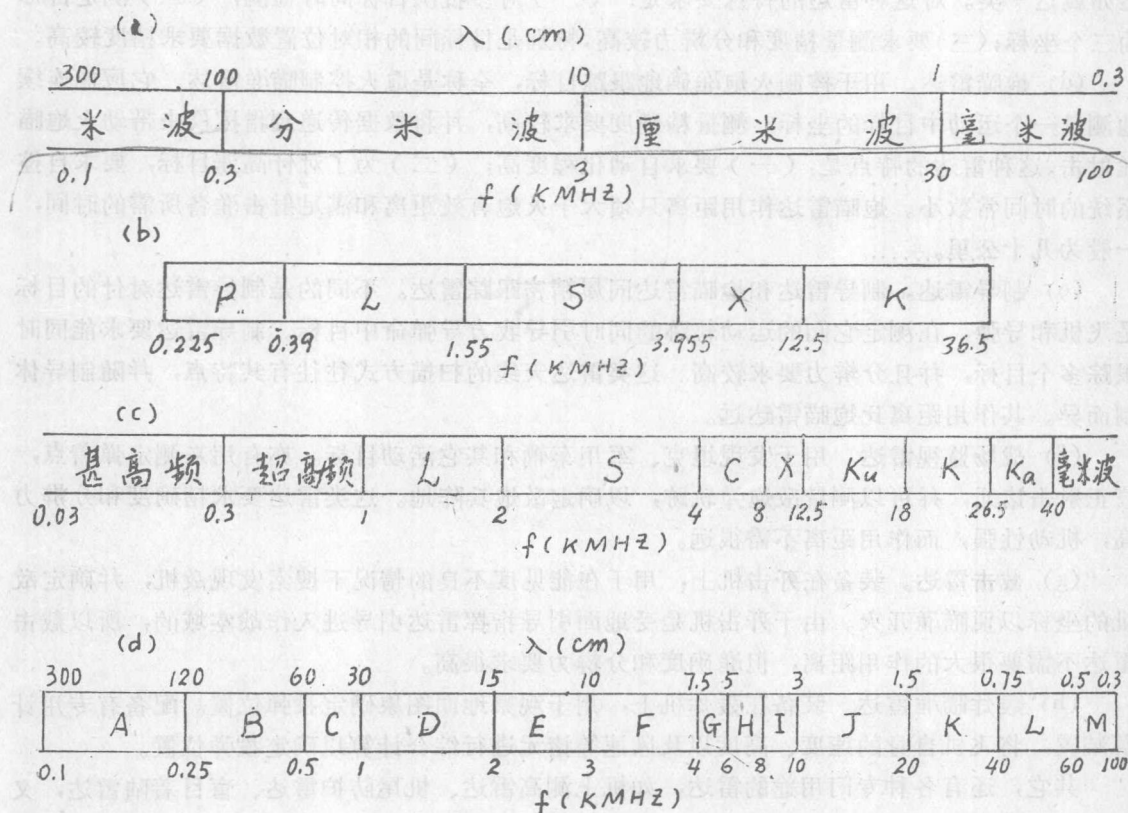


图 1-4 雷达常用波段的划分

§ 1—4 雷达的分类

现代使用的雷达有多种多样,为了便于掌握,需要把它们归结为几类。采用的分类方法有按照雷达的战术用途来分的,有按照雷达装置的环境来分的,有按照雷达采用的特殊技术来分的,以及按雷达的工作波段分类等等。

按照战术用途来分,雷达有下列几种主要类型:

(a) 预警雷达又称超远程警戒雷达。这种雷达的任务是发现洲际导弹,以便及早发出警报。此种雷达的特点是作用距离远达数千公里。至于测定坐标的精确度和分辨力是次要的要求,只需粗略测定目标的距离和方位。

(b) 搜索和警戒雷达。这种雷达的任务是发现飞机,一般作用距离在 100 公里以上。对于测定坐标的精确度、分辨力要求不高。保卫重点城市或建筑物的中程警戒雷达须有方位 360° 的警戒空域。

(c) 引导指挥雷达,又称监视雷达。用于歼击机的引导和指挥作战。民用的机场调度雷达亦属这一类。对这种雷达的特殊要求是:(一)对多批次目标同时检测;(二)测定目标的三个坐标;(三)要求测量精度和分辨力较高,特别是目标间的相对位置数据要求精度较高。

(d) 炮瞄雷达。用于控制火炮准确地跟踪目标,全称是炮火控制瞄准雷达。它能连续地测量一个运动中目标的坐标,测量精确度要求较高,并将数据传递到指挥仪来带动火炮瞄准射击。这种雷达的特点是:(一)要求自动化程度高;(二)为了对付高速目标,要求自控系统的时间常数小。炮瞄雷达作用距离只须大于火炮有效距离和满足射击准备所需的时间,一般为几十公里。

(e) 制导雷达。制导雷达和炮瞄雷达同属精密跟踪雷达。不同的是制导雷达对付的目标是飞机和导弹,在测定它们的运动轨迹的同时引导我方导弹命中目标。制导雷达要求能同时跟踪多个目标,并且分辨力要求较高。这类雷达天线的扫描方式往往有其特点,并随制导体制而异。其作用距离比炮瞄雷达远。

(f) 战场监视雷达。用于发现坦克、军用车辆和其它活动目标。亦有用来测定弹着点,修正射击诸元,并可以测量敌炮弹轨迹,以确定敌炮兵阵地。这类雷达要求精确度和分辨力高,机动性强,而作用距离不需很远。

(g) 截击雷达。装备在歼击机上,用于在能见度不良的情况下搜索发现敌机,并确定敌机的坐标以便瞄准开火。由于歼击机是受地面引导指挥雷达引导进入作战空域的,所以截击雷达不需要很大的作用距离,但准确度和分辨力要求很高。

(h) 轰炸瞄准雷达。装备在轰炸机上,用于观察地面图象确定投弹位置。配备有专用计算装置,将飞机自身的速度、高度以及风速等诸元进行综合计算以确定投弹位置。

其它,还有各种专门用途的雷达,如机上测高雷达、机尾防护雷达、盲目着陆雷达,又如重点防御雷达、中程警戒雷达、舰上对空搜索雷达等等,它们中有些可以归结在上述各类中,这里不再列举。

按照雷达采用的特殊技术来分类,有以下各种类型:

(a) 按信号形式分, 有连续波雷达, 脉冲雷达, 脉冲压缩雷达, 脉冲都卜勒雷达, 噪声雷达, 频率捷变雷达等。

(b) 按角跟踪方式分, 有单脉冲雷达, 圆锥扫描雷达, 隐蔽锥扫雷达等。

(c) 按天线扫描方法分, 有机械扫描雷达, 相控雷达, 频扫雷达, 固定波束雷达等。

(d) 按测量目标的参量分, 有测高雷达, 两坐标雷达, 三坐标雷达, 测速雷达, 目标识别雷达等。

(e) 按信号处理方式分, 有各种分集雷达(频率分集、极化分集等), 相参或非相参积累雷达, 运动目标显示雷达, 孔径综合雷达, 模拟的或数字的雷达等等。

此外, 以采用的特殊技术来分类的方式还有很多, 这里不再列举。

§ 1—5 雷达的战术参数和技术参数

雷达的主要战术参数包括:

(a) 雷达的用途;

(b) 雷达的威力范围; 威力范围由最大作用距离、最小作用距离、最大仰角、最小仰角及方位角范围决定。

(c) 测量目标的哪几个坐标及其精确度;

(d) 分辨力; 距离分辨力即两个目标能够被分辨的最小相隔距离, 角分辨力即两个目标能够被分辨的最小相隔角度。

(e) 数据率; 雷达对整个威力范围完成一次搜索作为送出数据一次(无论有无目标), 一秒钟内送出数据的次数叫数据率。数据率表征搜索雷达的工作速度。

(f) 跟踪速度; 自动跟踪雷达连续追踪测量运动目标坐标的最大可能速度。

(g) 抗干扰能力;

(h) 抗轰炸能力;

(i) 体积和重量;

(j) 使用条件: 运输条件、架设和撤收时间、连续工作时间、机动性等等。

脉冲雷达的主要技术参数包括:

(a) 工作频率以及频率调变范围、频率调变速度、频率调变方式。

(b) 脉冲宽度和带宽。

(c) 发射脉冲功率或平均功率;

(d) 脉冲重复频率;

(e) 天线的型式、增益、极化、波束宽度;

(f) 天线扫描方式、扫描速度;

(g) 接收机的型式、噪声系数、带宽;

(h) 显示器的型式及数量。

雷达的技术参数是根据战术参数制定的, 是为实现战术参数的技术措施。各项技术参数对战术参数的影响是多方面的, 在制定技术参数时, 要考虑到可能产生的对各种战术参数的影响。

第二章 雷达测距和测向

测量目标与雷达间的距离和方向是雷达的主要任务,知道了距离和方向,目标在空间的座标便确定了。本章介绍雷达测距与测向的基本原理和常用的几种典型的终端设备。

§ 2—1 测距的质量指标

雷达测距就是测量接收信号对于发射信号的时延。根据采用的信号形式的不同,雷达测距又分为脉冲测距、连续波调频测距、相位测距等等。其中以脉冲测距使用最广泛。有关测距的指标主要有:

(1) 测距范围

测距范围由最小距离和最大距离决定。对于不同用途的雷达,测距范围是不一样的。例如导弹预警雷达的最大距离为数千公里,最小距离为数百公里,而反坦克雷达的最大距离为数公里,最小距离不到百公尺。

雷达的最大距离受发射能量的限制,在同样的工作环境之下,发射能量越大,最大距离越大。雷达的最小距离在脉冲雷达中受天线转换开关恢复时间的限制,在连续波调频雷达中受测距误差的限制,在连续波相位测距雷达中原则上没有最小距离的限制。

(2) 测距误差

测距误差可以分为两大类:系统误差和随机误差。系统误差为固定值,它的产生是由于测距系统本身性能不理想,其中有一些可以通过校正而减小甚至消除它。随机误差是随机量,不能通过校正而减小,对于随机误差我们只能用它的统计值来表示它的大小,例如用均方根来表示。

属于系统误差的,例如:雷达馈线传输的时延及发射设备和显示器间同步不准而造成的误差。利用目标模拟器或已知距离的目标进行校正,调正主波脉冲与显示器扫描线起点的相对位置可以消除此误差。

属于随机误差的,例如:输入噪声干扰造成的测距误差,这一误差可以用它的均方根 σ 表示。理论上, σ 的最小值受信噪比和信号均方根带宽的限制。信噪比越大,信号均方根带宽越大, σ 越小。

(3) 距离分辨力

即存在多个目标时,雷达能够从距离上分辨它们的能力。距离分辨力通常以最小可分辨的距离来表示,例如距离分辨力为15米,就是说位于同一方向的两个目标若相距大于15米,雷达即可分辨。

距离分辨力的极限值受雷达信号有效带宽的限制。有效带宽越宽,距离分辨力越好。

(4) 测距的多值性

在采用周期性的发射信号时,测距有可能出现多值。例如脉冲雷达信号是周期为 T_r 的脉冲串,测得回波脉冲与发射脉冲间的时延对应着距离 R 的多个值(见图 2-1):

$$R = \frac{c}{2}(mT_r + t_d)$$

$$m=0, 1, 2, \dots,$$

为了避免 R 出现多个值,应使

$$T_r \geq \frac{2}{c} R_{\max} \quad (2-1)$$

$R_{\max}$ 为被测目标的最大距离。

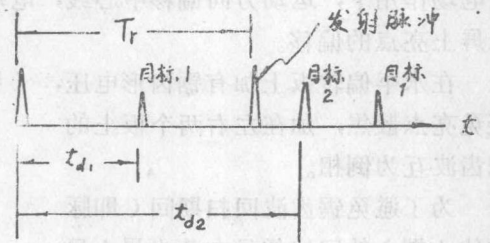


图 2-1 脉冲雷达测距的多值性

§ 2-2 距离显示器

简单的脉冲雷达是直接从距离显示器上测量目标距离的。近代的雷达通常也配备有距离显示器,作为粗略测距之用。

距离显示器主要有三种型式: A 型、J 型和 A/R 型。下面我们分别介绍三种型式距离显示器的工作原理。

(1) A 型显示器

A 型显示器是最直观的一种距离显示器。(图 2-2)画出了 A 型显示器的框图。

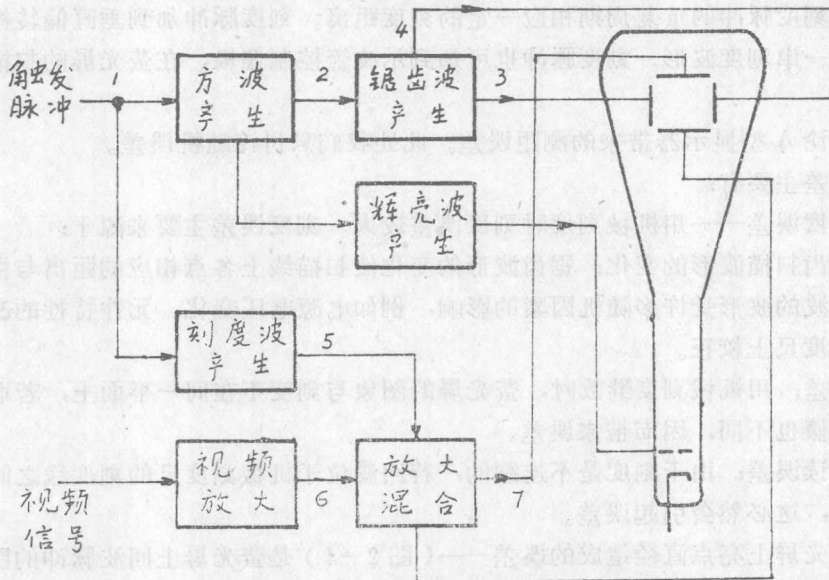


图 2-2 A 型显示器框图

A 型显示器一般都采用静电偏转示波管。阴极发射的电子束经过控制栅极,被第一阳极加速和聚焦成一束很细的电子流,再经第二阳极加速。示波管有两对偏转板,一对是水平偏转板,一对是垂直偏转板。当偏转板上加有电压时,在板间产生电场,高速运动的电子束在此电场作用下,运动方向偏移中心线,电场越强,电子束偏移也越大。电子束的偏移造成荧光屏上亮点的偏移。

在水平偏转板上加有锯齿形电压,(见图 2-3),形成荧光屏上的水平扫描线。为了避免亮点散焦,加在左右两个板上的锯齿波互为倒相。

为了避免锯齿波回扫期间(即脉冲休止期)的回波信号在荧光屏上显示,辉亮方波加在示波管的控制栅极,在锯齿回扫期间使示波管截止。

接收机送来的视频回波信号经过视频放大后与刻度波混合,一起加到示波管的垂直偏转板上。

显示器的距离刻度有机械刻度和电子刻度两种。机械刻度最简单:用固定的刻度尺测量荧光屏上目标回波距触发脉冲的长度,刻度尺用距离刻度。电子刻度由刻度波电路产生,刻度波电路受触发脉冲触发,输出一串刻度脉冲,刻度脉冲的重复周期相应一定的刻度距离。刻度脉冲加到垂直偏转板,则在荧光屏上显示成一串刻度波形。刻度脉冲也可加到示波管控制栅极,在荧光屏的扫描线上形成刻度亮点。

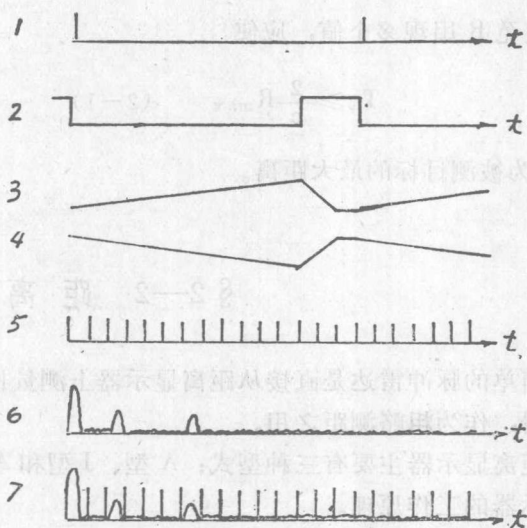


图 2-3 A 型显示器各级波形

下面讨论 A 型显示器带来的测距误差。此处我们只讨论随机误差。

随机误差主要有:

(a) 刻度误差——用机械刻度时刻度误差较大。刻度误差主要来源于:

① 锯齿扫描波形的变化: 锯齿波形的变化使扫描线上各点相应的距离与机械刻度尺不一致。锯齿波的波形受许多随机因素的影响,例如电源电压变化、元件特性的改变等等不能予先在刻度尺上校正。

② 视差: 用机械刻度读数时, 荧光屏的图象与刻度不在同一平面上, 若取不同角度观测, 测得数值也不同, 因而带来误差。

③ 估读误差: 由于刻度是不连续的, 若回波位于机械刻度尺的刻度线之间, 就须估读其距离数据, 这必然会引起误差。

(b) 荧光屏上亮点直径造成的误差——(图 2-4) 是荧光屏上回波脉冲的图形。由于荧光屏上的亮点占一定的面积, 所以回波脉冲前沿与扫描线相交不是一个几何点, 而是一块面积, 这时, 对于亮点中心的正确的读数 M 来说, 最大可能的误差为