



## 內 容 簡 介

本书除闡明雷达的基本原理外，对雷达技术的应用也作了較多的叙述。

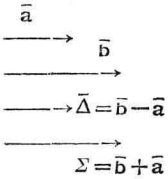
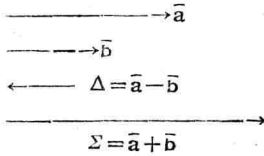
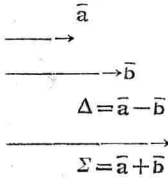
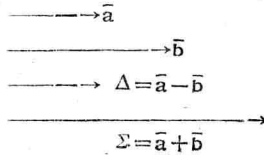
闡述了雷达探测目标的条件，测量目标的距离、方位角、仰角和高度以及对目标进行方向自动跟踪和距离自动跟踪的方法。

书中也陈述了选择运动目标的雷达定位法，识别系统的应用，雷达制导，对雷达的干扰和反干扰的方法。

最后，简单地介绍了雷达机基本参数选择的原则。

本书着重介绍物理概念，通俗易懂。适合于高等学校雷达专业的学生阅读，也可以作为广大的无线电技术人员参考书之用。

## 雷达原理勘誤表

頁數	行 數	原 來 的	改 正 后 的
3	30	基于电磁波直綫傳播性质, 和电磁波傳播速度为一常数, 則可由測量电磁波从发射, 至接收到回波……	基于电磁波直綫傳播的性质和电磁波傳播速度为一常数, 則可由測量电磁波从发射至接收到回波……
6	4	雷达已經发展到相当完善的地步。	雷达已經发展到相当完善的地步, 它的用途也越来越广泛。
16	11	扫描电压的幅度 $U_M$ 則取于发生器綫路的……	扫描电压的幅度 $U_M$ 則取决于发生器綫路的……
23	1	$\dots \int \frac{T_{\Pi}}{4} + \frac{r}{c} \cos 2\pi F_{\Pi} \left( t - \frac{r}{c} \right) dt$	$\dots \int \frac{T_{\Pi}}{4} + \frac{r}{c} \cos 2\pi F_{\Pi} \left( t - \frac{r}{c} \right) dt$
40	14	$u_{I, II} = u_{03} f(\alpha) \pm \dots$	$u_{I, II} = u_{03} f_3(\alpha) \pm \dots$
44	24	頻率通过……	頻頻通过……
46	10	……平均为 $\Delta n_0$	……平均为 $\Delta n_0$
48	10	(3-14)和(3-15)	(3-14)和(3-16)
59	8	$= h_A + r \sin \beta + \frac{r_2}{2(R_3 + h_A)}$	$= h_A + r \sin \beta + \frac{r^2}{2(R_3 + h_A)}$
68	31	……我們来着……	……我們来看……
69	6	……当波束轉到点 2 时……	……当波束轉到点 3 时……
69	13	……移动一个 $\alpha$ 角……	……移动一个 $\alpha$ 角……
70	26	……目标回波与其他	目标回波在距离上与其他……
71	1	……电子管的板路中	电子管 $J_2$ 的板路中……
71	图5-5	方位轉換回綫路	相位鉴别器綫路
71	4	目标从……	若目标从……
71	9	阻上产生……	阻 $R_2$ 上产生……
74	图5-13	輸出电压为……	輸出电压与……
75	2	……輸入端上……	輸入端上……
75	8	我們来着一下……	我們来看一下……
75	图5-18	 <p style="text-align: center;"> <math>\bar{a}</math>  <math>\bar{b}</math>  <math>\Delta = \bar{b} - \bar{a}</math>  <math>\Sigma = \bar{b} + \bar{a}</math> </p>	 <p style="text-align: center;"> <math>\bar{a}</math>  <math>\bar{b}</math>  <math>\Delta = \bar{a} - \bar{b}</math>  <math>\Sigma = \bar{a} + \bar{b}</math> </p>
		图5-18当信号 $\bar{a}$ 大于 $\bar{b}$ 时相加信号和相减信号的电压矢量图(注……)	图5-18当信号 $\bar{a}$ 大于 $\bar{b}$ 时, 相加信号和相减信号的电压矢量图
76	图5-19	 <p style="text-align: center;"> <math>\bar{a}</math>  <math>\bar{b}</math>  <math>\Delta = \bar{a} - \bar{b}</math>  <math>\Sigma = \bar{a} + \bar{b}</math> </p>	 <p style="text-align: center;"> <math>\bar{a}</math>  <math>\bar{b}</math>  <math>\Delta = \bar{a} - \bar{b}</math>  <math>\Sigma = \bar{a} + \bar{b}</math> </p>

頁數	行 數	原 來 的	改 正 后 的
76	9	19中所示……	21中所示……
76	13	……得到信号……	……得到距离信号……
80	图5-26	輸出方向自动距离誤差訊号檢波器的电压波形图	輸出方向自动跟踪系統誤差訊号檢波器的电压波形图
82	17	被投射到……	投射到……
83	最后一行	干扰背景与发现……	干扰背景中发现……
84	1	对(假設: $S_3 = \text{常数}$ , $P_{Bx} = P_{\text{пп}}$ )損失的关系。	对損失的关系(假設: $S_3 = \text{常数}$ , $P_{Bx} = P_{\text{пп}}$ )。
84	8	$\sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} G_{\text{пер}} S_3 S_{\text{пп}}}{\dots}}$	$\sqrt[4]{\frac{P_{\text{пер}} \cdot G_{\text{пер} \cdot 0} \cdot S_3 S_{\text{пп} \cdot 0}}{\dots}}$
89	7	$10^3$ 克/米	$10^3$ 克/米 <sup>3</sup>
89	图6-6	原图排倒了	原图方向应轉 $90^\circ$
89	最末一行	$\Pi_2 e^{-0.16\delta \gamma}$	$\Pi_2 e^{-0.46\delta \gamma}$
90	3	…… $e^{-0.40\delta \gamma}$	…… $e^{-0.46\delta \gamma}$
90	7	…… $\sqrt{\frac{P_{\text{пер}} S_{\text{пер} \cdot 0} S_{\text{пп}}}{\dots}}$ ……	…… $\sqrt{\frac{P_{\text{пер}} S_{\text{пер} \cdot 0} S_{\text{пп}}}{\dots}}$ ……
90	23	……角相移……	相位移……
91	6	$-\theta - \frac{2\lambda}{\lambda} \Delta r$	$-\theta - \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r$
91	12	$\frac{2\lambda}{\lambda} \Delta r$ ……	$\frac{2\pi}{\lambda} \Delta r$ ……
91	16	$= E_0 \cos(\omega s - \varphi)$	$= E_0 \cos(\omega t - \varphi)$
91	18	$\sqrt{\dots} \sqrt{\frac{G_2}{G_1} \cos(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r)}$	$\sqrt{\dots} \sqrt{\frac{G_2}{G_1} \cos(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r)}$
91	21	$E = E_1 \cos \theta + E_2 \cos \gamma = \dots$	$E = E_1 \cos \varepsilon + E_2 \cos \gamma = \dots$
91	23	$\sqrt{\cos^2 \theta + \rho^2 \cos^2 \gamma \left( \frac{r}{r + \Delta r} \right)^2 \frac{G_2}{G_1} + 2 \cos \theta \cos \gamma \rho \left( \frac{r}{r + \Delta r} \right) \sqrt{\frac{G_2}{G_1} \cos(\theta + \frac{2\pi}{\lambda} r)}}$ 应改正为	$\sqrt{\cos^2 \varepsilon + \rho^2 \cos^2 \gamma \left( \frac{r}{r + \Delta r} \right)^2 \frac{G_2}{G_1} + 2 \cos \varepsilon \cdot \cos \gamma \cdot \rho \left( \frac{r}{r + \Delta r} \right) \sqrt{\frac{G_2}{G_1} \cos(\varepsilon + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r)}}$
91	24	角 $\theta$ 和角 $\gamma$ 很小, $\cos \theta \approx 1$ ……	角 $\varepsilon$ 和角 $\gamma$ 很小, $\cos \varepsilon \approx 1$ ……
91	最后一行	$\Delta r = \frac{2h_1 h_2}{r_0}$	$\Delta r = \frac{2h_1 h_2}{r}$
92	2	$\sqrt{\dots} \left( \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r \right)$	$\sqrt{\dots} \left( \frac{2\pi}{\lambda} \Delta r + \theta \right)$
93	1	$\Pi'_1 = 4\pi$	$\Pi'_1 \approx 4\Pi_1$
93	2	$n_1 = 2h_1; 2\pi\lambda$	$n_1 = 2h_1/\lambda$
94	6	$= \Pi^2(4 \dots)$	$= \Pi_2(4 \dots)$
95	14	…… $e^{-0.58\delta r_{\text{макс}}}$	…… $e^{-0.058\delta r_{\text{макс}}}$
96	5	为了表示, 究竟……	为了表示究竟……
100	14	$S_3 = S_3 \cdot \zeta_{\text{ш}}$ ……	$S_3 = S_3, \text{ш}$ ……

頁數	行 數	原 來 的	改 正 后 的
100	倒数第 5 行	$S_0(\text{米})^3$	$S_0(\text{米})^2$
101	8	$10^{-4}-10^{-7}$	$10^{-4}-10^{-5}$
102	11	$S_1=\rho=\Omega^2r$	$S_1\approx S_2\approx\Omega^2r$
104	2	……AA 綫	……AB 綫……
106	13	……发波能量……	……发射能量……
107	13	$=\frac{10}{200}0.05\text{徑}$	$=\frac{10}{200}=0.05\text{徑}$
112	25	徑向速度 $\Lambda_r$	徑向速度 $V_r$
114	图8-7		
121	11	差頻脉冲公式	差頻脉冲幅度公式……
123	倒数第 9 行	……选择目标的……	选择运动目标的……
130	13	距离	偏离
131	19行末	接收机的……	接收机收到的……
131	20	能量	信息
132	最后一行	$\varphi_y$	$\varphi_z$
133	18	……連續波是……	連續波雷达应当是……
133	24	……第二章……	……第六章……
141	倒数第 6 行	……波被……	……波束被……
147	6	……只稍有……	……只要有……
150	9	由于每次的扫描信号值均是差不多的，	由于在相继的各次扫描过程中信号的幅度是差不多的，
151	倒数第 3 行	在接收时不致錯過反射回来的回波訊号。	在波束轉过方向性寬度这段時間內，能收到一定数量的回波脉冲，这样測量角坐标的精确度才不至受到損失或造成有漏失目标的情况。
152	24	运用辯証观点来考虑。	折衷地来选择。
152	倒数第 4 行	……发现跟踪，并引导……	……发现、跟踪并引导……
20	29	$f_{nbp}$	$f_{nep}$
20	5	$F_{\sigma}(ac)=f_{ncp}$ ……	$F_{\sigma}(ac)=f_{nep}$ ……
51	18	$\alpha_3^\circ$	$\alpha_9^\circ$
51	19	$\alpha_n^\circ$	$\alpha_n^\circ$

頁數	行 數	原 來 的	改 正 后 的
69	图5-2		
74	10	.....与方向性宽度.....	与波束宽度
86	图6-3中	R	$R_s$ .
87	图6-4中	$R_s$	$R_s$ .
91	14行	$E_\beta$	E

# 目 录

<b>第一章 雷达概述</b>	
§ 1-1 雷达工作的基本原理	3
§ 1-2 雷达与其他科学技术的关系	5
§ 1-3 雷达的用途	6
<b>第二章 目标距离的测定</b>	
§ 2-1 概 述	7
§ 2-2 脉冲测距法	7
§ 2-3 距离讀数	9
§ 2-4 脉冲法的基本指标	11
§ 2-5 脉冲法测距产生誤差的原因	13
§ 2-6 調頻测距法	20
§ 2-7 利用調頻法測量多个目标的距离	23
§ 2-8 相位测距法	25
§ 2-9 脉冲测距法、頻率测距法和相位测距法的比較	28
<b>第三章 測量雷达目标角座标的方法</b>	
§ 3-1 无綫电定向原理	32
§ 3-2 振幅定向法	33
§ 3-3 振幅定向法之准确度	36
§ 3-4 形成等訊号方向的方法	38
§ 3-5 厘米波中方位的测定	43
§ 3-6 全景雷达站测定方位的准确度	45
§ 3-7 全景雷达站的方位鉴别力	51
§ 3-8 利用地面反射作用时, 仰角和高度的测定	51
§ 3-9 使用扁平面波束测定仰角和高度	56
§ 3-10 目标高度的計算公式	58
<b>第四章 同时测定目标的距离、方位和仰角</b>	
§ 4-1 概 述	60
§ 4-2 針状波束对空間的扫描	60
§ 4-3 扫描周期	62
§ 4-4 使用針状波束的雷达中角座标的测定誤差	64
§ 4-5 使用V形波束的雷达系統	65
<b>第五章 对目标方向和距离的自动跟踪</b>	
§ 5-1 引 言	68
§ 5-2 对目标方向的自动跟踪——圓錐形扫描法	68

§ 5-3	用单脉冲法进行精密跟踪 .....	73
§ 5-4	对目标距离的自动跟踪 .....	78
<b>第六章</b>	<b>雷达站的作用距离</b>	
§ 6-1	概 述 .....	81
§ 6-2	在自由空间雷达作用距离的基本方程式 .....	81
§ 6-3	地球曲率和电波折射对雷达站作用距离的影响 .....	86
§ 6-4	无线电波在大气中的衰减对雷达作用距离的影响 .....	88
§ 6-5	无线电波由地面或水面反射的现象对雷达站的工作距离和定向特性的影响 .....	90
<b>第七章</b>	<b>雷达目标的反射特性</b>	
§ 7-1	目标的有效面积 .....	97
§ 7-2	确定目标有效面积的方法 .....	98
§ 7-3	全景雷达站方向性图的合理形状和作用距离 .....	103
<b>第八章</b>	<b>选择运动目标的雷达定位法</b>	
§ 8-1	概 述 .....	110
§ 8-2	利用都卜勒效应选择运动目标的方法 .....	111
§ 8-3	固定目标回波信号的消除 .....	114
§ 8-4	延时相减设备的特性和运动目标显示雷达站的可见度 .....	117
§ 8-5	选择运动目标系统的工作质量的分析 .....	118
§ 8-6	选择系统本身运动时对运动目标的选择 .....	123
<b>第九章</b>	<b>识别系统</b>	
§ 9-1	概 述 .....	126
§ 9-2	二次无线电定位的基本方程 .....	127
§ 9-3	回应器的基本线路 .....	128
<b>第十章</b>	<b>导弹的雷达制导</b>	
§ 10-1	引 言 .....	130
§ 10-2	导弹制导的类型 .....	130
§ 10-3	自动引导系统的目标座标器和作用距离 .....	132
§ 10-4	自动引导系统的几种典型组成 .....	135
§ 10-5	指挥制导系统的基本构成 .....	138
§ 10-6	指挥系统中跟踪雷达及信标的组成及其主要参数 .....	139
§ 10-7	驾束制导系统的基本组成 .....	141
<b>第十一章</b>	<b>对雷达干扰和反干扰的方法</b>	
§ 11-1	概 述 .....	143
§ 11-2	消极的反雷达法 .....	144
§ 11-3	积极干扰 .....	145
§ 11-4	与干扰发射机作斗争的方法 .....	148
<b>第十二章</b>	<b>雷达机诸参数的选择</b>	
	<b>結束語</b>	



# 第一章 雷 达 概 述

## § 1-1 雷达工作的基本原理

利用目标对电磁波的二次发射现象，发现目标和测定目标位置的无线电技术范畴，称为雷达。

### 一、发现目标

发现目标是基于，在电磁波激励下，目标产生二次发射。雷达是依靠测得目标二次发射所产生的回波，来发现目标的。工作原理如图 1-1 所示。

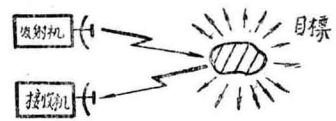


图 1-1

发现目标是进一步测定目标的首要步骤。由于目标距离雷达设备常是很远，回波是很微弱的，这时我们必须从不可忽略的各种干扰中检出回波信息。并且干扰中有的可能是敌人有意施放的，这样便增加了发现目标的困难。因此发现目标是近代雷达极其重要和艰难的工作。

### 二、测定目标的位置

#### 1. 目标位置的表示法

目标的位置常用如图 1-2 所示的球坐标或柱面坐标来表示。雷达设备置于坐标原点  $O$ 。

球坐标表示法：

- $r$  —— 斜距；
- $\alpha$  —— 方位角；
- $\beta$  —— 仰角。

柱面坐标表示法：

- $\alpha$  —— 方位角；
- $h$  —— 高度；
- $d$  —— 水平距离。

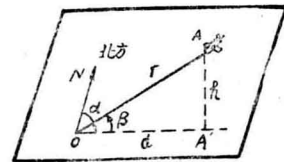


图 1-2

二种坐标转换公式

$$h = r \sin \beta$$

$$d = r \cos \beta$$

因此测定目标的位置，也就是测定目标的三个坐标。

#### 2. 目标距离坐标的测定

基于电磁波直线传播性质，和电磁波传播速度为一常数，则可由测量电磁波从发射，至接收到回波所需的时间间隔，来确定目标的距离坐标数据。如图 1-3 所示。

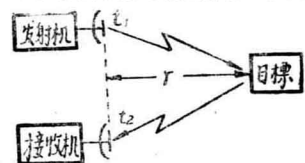


图 1-3

$t_1$  —— 发射电磁波的瞬间；

- $t_2$ ——接收到电磁波的瞬間；
- $r$ ——目标与雷达设备的距离；
- $c$ ——电磁波傳播速度。

所以雷达测量距离座标問題，实质上是測量時間的問題。

### 3. 目标角座标的測定

基于电磁波直綫傳播性质，因此只要測出回波的方向，則这个方向就是目标所在的方向。

雷达常是利用电磁波方向性发射和方向性接收的方法来确定目标的角座标数据。如图 1-4 所示。电磁波波束，在实綫位置时，方能接收到回波信号，从而确定回波的方向，即目标的角座标。

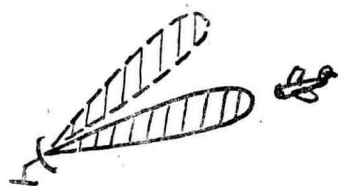


图 1-4

所以，雷达测量目标角座标的問題，实质上是測量回波方向的問題。

## 三、无綫电定位

測定目标位置方法是很多的，如声学方法，光学方法。而雷达是利用无綫电技术，其优点在于：

### 1. 作用距离远：

利用声学，光学方法时，由于目标作为声源或光源时不能做得足够强大，所以，作用距离不可能很远，約为几公里到十几公里。而无綫电定位时，由于能制造出功率足够强大的发射机和十分灵敏的接收机，如，远程警戒雷达作用距离可达几百公里。

### 2. 測定目标座标的准确度高：

在声学方法和光学方法中，距离座标都是通过間接方法測量的，如图 1-5 所示， $l$  为已知，測得

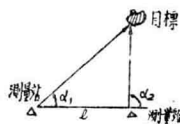


图 1-5

$\alpha_1$  和  $\alpha_2$  后，再根据三角形关系求出目标的距离座标，由于对  $l$ ， $\alpha_1$ ， $\alpha_2$  的測量稍不准确，則通过計算所造成的誤差就会很大。

用声学方法測定目标角座标时，由于空气密度和風速随着高度而变化使声波軌迹弯曲較大，因而測角誤差也大。

应当指出，用光学方法測角比用一般雷达測角更为准确。

### 3. 測量目标座标速度快：

由于声学、光学方法是用間接測量，所以，測量速度不高。对声学方法而言，由于声波傳播速度的限制，以致用声学方法来測定超声速飞机的位置成为不可能。

4. 光学方法受到黑夜和气象条件如云、雨、雾、雪等的严重限制。用声学方法測定目标位置时，受到强的干扰声响（如炮的轰隆声、炸彈和地雷的爆炸声等）的限制。

但雷达比起声学、光学方法也有其缺点：

1. 設備复杂；生产期长；使用維護較难；重量体积較大；用电量大。
2. 雷达易受到敌人施放的干扰。
3. 雷达所显示的目标信息，不及光学方法那样清晰。

## 四、雷达的輔助任务

从上述基本工作原理中看到，雷达設備的基本任务是发现和測定目标的位置。但在某些

情况下，它还要完成如下一系列的辅助任务：

1. 如要测定这样一些点的位置，从这些点反射的回波，其能量并不比这些点周围的物体的回波能量强多少倍。当我们测定地面，河岸或海岸上某些点的位置就是这种情况。这时，便要用雷达指向标。

2. 从固定目标的干扰背景中，选择出所需的运动目标。

3. 识别所发现的目标(飞机、舰艇)，是属于我方还是敌方的。这时便要使用敌我识别器。

4. 向远距离雷达站的指挥地点传送所得情报，这时便要使用雷达数据传输装置。

5. 干扰和反干扰。其目的在于使敌方雷达设备不能工作或工作困难。并使自己的雷达设备，即使在敌人的干扰下也能正常工作。

6. 作为导弹制导系统中获取导弹和目标信息的组成部分。

## § 1-2 雷达与其他科学技术的关系

早在 1897 年伟大的无线电发明家 A.B. 波波夫就发明了雷达原理，但雷达原理真正实际运用却是二十世纪三十年代的事。这是因为雷达技术的发展和运用，首先必需解决一系列的理论和科学技术问题。其中，决定性的环节就在于掌握超短波技术，脉冲和指示器技术。

### 一、超短波技术

雷达设备的工作波段是超短波(波长由 10 米——1 厘米)。之所以用超短波是因为：

1. 只有当目标尺寸等于或大于发射波长时二次发射才会很强。

2. 在超短波波段内可以使用尺寸较小的天线而得到强方向性，从而增大了雷达作用距离，提高了测定目标角坐标的鉴别力和准确度。

3. 超短波波段的运用使我们能获得持续期很短的高频脉冲，从而大大地提高了测定目标距离坐标的鉴别力和准确度。

4. 超短波不能由电离层反射，因此消除了如图 1-6 所示当工作在较长波时从电离层反射回来的假信号。

因此，雷达工作波段有这样的发展趋势：由米波到公分波、厘米波及近年来发展到毫米波波段。

要把超短波技术运用到雷达中来就必须首先解决超短波的发生，传输，发射，传播，接收等一系列问题。

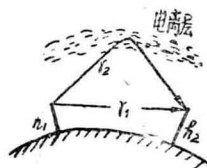


图 1-6

### 二、脉冲和指示器技术

早期的连续波工作雷达是无法测定多个目标的距离的。但脉冲技术在雷达中的运用，成功地解决了以高鉴别力测定多目标的问题。

大家已经知道雷达测距实质上即是测时的问题，而所要测的这段时间是极短的。当目标与雷达的距离为几百公里时，要测的时间也不过几千微秒！测定这样短的时间并将其显示，这个任务是由指示器来完成。同样，要把这技术在雷达中运用，就必须首先解决脉冲的产生，放大，调制，解调等一系列问题，并制造出特殊的器件——阴极射线管。

### 三、其他科学技术

由于近年来雷达目标的运动速度和机动性大为提高，活动或攻击的区域更为广大，实际作战中目标的数目大大加多。因此，对雷达便提出更高的要求，要求探测距离远，作用速度快，测量数据准，能对付多目标。所以，雷达越来越密切地和自动控制技术，数据传输，变

換裝置，計算機技術等聯繫起來。

### § 1-3 雷 達 的 用 途

雷達最先是用於軍事方面。在第二次世界大戰中，由於軍事上的迫切需要而發展得十分迅速，直到現在，雷達已經發展到相當完善的地步。

雷達——這種近代電子學兵器差不多裝備到各個兵種中。

陸地上用的有：警戒雷達、引導雷達、探照燈雷達、炮瞄雷達、導彈制導雷達，反迫擊炮雷達、前沿陣地搜索雷達，海岸雷達等。

船舶上用的有：搜索雷達、引導雷達、炮瞄雷達、操縱魚雷射擊雷達等。

飛機上用的有：高度表、雷達測距機、搜索雷達、轟炸瞄準雷達、截擊雷達等。

第二次世界大戰後的年代里，雷達在和平事業上也得到廣泛的運用。

在導航方面：指揮，監督飛機在空中飛行。引導飛機盲目著陸。指揮，監督船隻航行。引導船隻進港和指揮其在港內活動。

在氣象方面：用來探測雲層，風暴的位置並測定其移動路線。用來對測候氣球進行跟踪以獲得高空的氣象情報。

在天文方面：用來對宇宙空間各星體的輻射進行研究，以便了解有關星體的特性。對星體進行定位和跟踪，從而研究星體的位置和運動規律。

在人造衛星和宇宙航行方面：用來跟踪人造衛星，及測定它的運動規律，雷達也占有極其重要的地位。

其他在國民經濟和科學的許多部門如大地測量，探礦等等方面，雷達設備的應用也具有很大的實際意義。

## 第二章 目标距离的测定

### § 2-1 概 述

测定到目标的距离是雷达的基本任务之一。有时这甚至是唯一的任务，例如，对于各种无线电测距仪和高度计等便是如此。

雷达中进行测距的方法有以下三种：

1. 脉冲法；
2. 调频法；
3. 相位法。

以上三种方法都是以无线电波在空间的传播速度是一固定数值为基础的。

### § 2-2 脉冲测距法

脉冲法是雷达测量距离的基本方法。脉冲测距机的典型方块图如图 2-1 所示。图 2-2 上的电压波形，则说明此类雷达的工作情形。脉冲法的实质如下：雷达发射机周期性地，每隔一段较长的时间（间歇）发射一次短促的无线电脉冲（高频脉冲串），而雷达接收机则在发射脉冲的间歇时间内接收目标的回波。测出发射脉冲到开始接收目标回波之间的时间  $t_r$ ，就可以确定到目标的距离。由于电磁波两次通过雷达和目标间的距离  $r$ ，故时间  $t_r$  等于：

$$t_r = \frac{2r}{c},$$

式中  $c$ ——无线电波的传播速度。

移项，得：

$$r = \frac{c \cdot t_r}{2}. \quad (2-1)$$

时间的测定应当很精确。例如，若要求距离  $r$  的测定精确度为  $\pm 15$  米（在炮瞄雷达中就是这样），那么，时间测量精确度应为：

$$\Delta t_r = \frac{2 \Delta r}{c} = \frac{2 \times 15}{3 \times 10^8} = 10^{-7} \text{ 秒} = 0.1 \text{ 微秒}.$$

利用具有电子射线管的指示器，可以获得上述的时间测定的精确度。在指示器与发射机之间应当建立严格的联系，因为目标距离的测定是根据目标回波滞后于发射脉冲的时间来进行的。这种严格的联系在某些设备（例如，图 2-1 所示的测距机）内，是由一种触发脉冲发生器来保证的。触发脉冲发生器规定发射脉冲的重复频率，并使发射机与指示器的工作同步；在另一些设备内同步即由调制器的脉冲来实现，这种脉冲同时触发高频发生器和指示器线路，因之便无必要再设专门的触发脉冲发生器了。

指示器是脉冲雷达的最重要的部分，因为测定回波滞后于发射脉冲的时间数值正是利用它来进行的。指示器的主要组成部分是：方波发生器，扫描电压发生器和电子射线管。

方波发生器由触发脉冲（参看图 2-1 和 2-2）触发后，同时产生正负极性的脉冲，脉冲的宽度等于接收最大作用距离上的目标回波时所需的时间。普通的触发多谐振荡器即可用作方波发生器。

正极性的方波脉冲加至射綫管的控制极，使射綫管在扫描正行程的时间内进行工作。负极性的方波脉冲控制扫描发生器输出锯齿波电压。此电压加到电子射綫管偏轉板上，使亮点在指示器螢光屏上移动，亮点移动的速度决定于加到偏轉板上的电压的增长速度。如果扫描

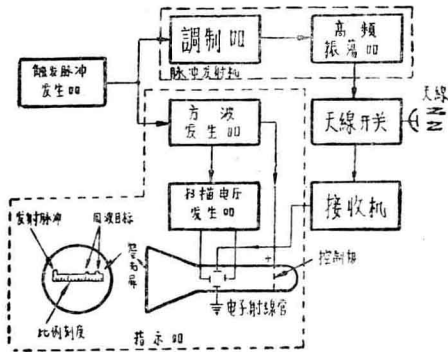


图 2-1 脉冲雷达方块图

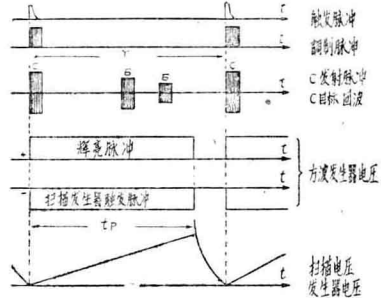


图 2-2 说明脉冲雷达工作的电压波形

发生器的电压在时间上按綫性规律变化，那么亮点将以固定的速度  $V_n$  在螢光屏上从左向右移动，因此亮点在螢光屏上位移的数值可以用来表示扫描的时间，扫描的原点与发射搜寻脉冲的起始瞬间相吻合。

视频信号从接收机的输出端加到射綫管的垂直偏轉板，使亮点在螢光屏上偏移，形成短促的尖头脉冲(图 2-3)。第一个尖头脉冲是由經天线开关渗入接收机的发射脉冲产生的，其余的尖头脉冲则由目标回波所形成。上述过程周期性地重复着，重复频率  $F_n$  的数值須相当大，

使能保证基于视觉暂留现象使在螢光屏上的图象看起来是連續的，而便于观测( $F_n = \frac{1}{T_n}$ ，式中  $T_n$ ——发射脉冲的重复周期)。

上述的时间扫描是就静电偏轉式(电偏式)电子射綫管的指示器而言的。在电磁偏轉式(磁偏式)电子射綫管的指示器中情形也大致相仿。此种指示器的偏轉系統由两对装在射綫管外部的綫圈：垂直偏轉綫圈和水平偏轉綫圈所組成。其中一对綫圈(例如，水平偏轉綫圈)，当接有锯齿波电流时，就使亮点在螢光屏上偏移(自左至右)；而另一对綫圈则当接有雷达视频信号产生的脉冲电流时，便在垂直于时间扫描綫的方向上产生短促的尖头脉冲。不过，电磁偏轉式电子射綫管通常都使用在比較复杂的、須同时测定距离和方位，距离和高低角或方位和仰角等的指示器内。而在只用于测距的指示器中通常都使用静电偏轉式电子射綫管。



图 2-3 电子射綫管螢光屏

因为亮点在螢光屏上的偏移数值可用于测量扫描的时间，所以发射脉冲的前沿与回波前沿间的距离  $l$  即表示到目标的距离。实际上：

$$l = V_n t_r = V_n \frac{2r}{c},$$

式中  $V_n$ ——亮点在荧光屏上的运动速度（扫描速度）；

$\frac{2r}{c}$ ——电磁波往返于雷达与目标间的时间。

显然，
$$V_n = \frac{l_p}{t_p}$$

式中  $l_p$ ——扫描线全长；

$t_p$ ——扫描正行程的时间。

通常  $t_p \leq T_p$ ，式中  $T_p$ ——扫描正行程之最长时间（参看图 2-2），因此计算  $l$  的公式又可表示如下：

$$l = \frac{2l_p}{c t_p} r = \frac{l_p}{r_p} r = m r, \quad (2-2)$$

式中  $r_p$ ——与扫描线全长相应的距离；

$m = \frac{l_p}{r_p}$ ——扫描线上距离的刻度单位。

从上式中可以看出，扫描线可用长度单位直接分度。

在大多数脉冲雷达中，为了减小雷达的重量和体积，发射和接收通常都只使用一部天线。但是，如果使天线直接与发射机及接收机相接通，那么在发射时接收机可能遭到损坏，或严重地为发射脉冲过载（特别是在大功率雷达中）；而在接收时，原已很弱的回波能量势必将有一部分为发射机输出电路所吸收。为了消除这种现象，雷达采用了天线转换开关，当天线发射时，转换开关将天线与发射机接通，并使之与接收机断路；而在雷达接收时，则又将天线转接到接收机上，而与发射机断开。

## § 2-3 距离读数

通常目标距离或直接从刻在荧光屏上的机械刻度上读出，或根据时间扫描线上的电刻度来读出。

根据信号对电子束调制的方式，可分为偏转调制和辉亮调制。偏转调制是信号加在偏转板上，使扫描线在垂直于扫描线的方向上引起位置的偏移。辉亮调制是信号加在控制栅极上，增加扫描线的亮度。因为偏转调制和辉亮调制在距离读数方面有着相似性，故下面我们只对偏转调制的距离读数方法进行阐述。

### 一、机械刻度读数法

电子射线管荧光屏上装有机械刻度尺（图 2-4）。

移动扫描线，使发射脉冲前沿对准刻度起点，这样，根据回波前沿就能读出距离的数值。

利用发射脉冲和回波脉冲的后沿或两者的峰点

（当脉冲为三角形时）来求距离读数是适当的，有时甚至不可能。因为脉冲通过接收机时会发生失真，其峰点可能被展平；此外，回波的宽度还会受到目标尺寸的影响。

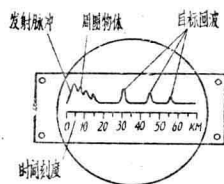


图 2-4 机械刻度的距离读数

机械刻度讀数法的最大优点是方法简单。缺点是讀数精确度低。最主要的誤差有：1)当回波脉冲的前沿介于两刻度分划之間，目标距离有賴目力測定时要产生插入誤差；这种誤差在运用不均匀的扫描时更为增大；2)当供电方式或扫描綫路元件的参数偶然改变时要产生誤差；这是由于扫描速度和扫描綫长度都要改变，以致扫描范围和刻度比例尺不能相符；3)視差誤差。

此外，由于螢光屏上装有刻度比例尺，也在一定程度上恶化了观测条件。

机械刻度讀数法用于远程警戒雷达和其他测量精确度不需很高的装置中。

## 二、电刻度的讀数法

在指示器螢光屏上可使用电的距离标志刻度来代替机械刻度(图 2-5)。为此，在指示装置中要有一稳定的刻度波发生器。发生器输出的正弦波变换成前沿很陡的尖头距离刻度(图 2-6)。两相邻刻度間的距离准确地决定于刻度发生器的振蕩周期。例如，10 公里刻度的发生器的振蕩周期为：

$$T_{FM} = \frac{2\Delta r'}{c} = \frac{2 \times 10}{3 \times 10^8} = \frac{2}{3} 10^{-4} \text{秒,}$$

或

$$F_{FM} = \frac{1}{T} = 15 \text{千周。}$$

在电子射綫管螢光屏上产生电的距离刻度的方法很多。最方便的是利用双射束的电子射綫管。在这种射綫管中，一根电子束是为雷达信号的扫描，而另一根则用来产生电刻度(图 2-5)。类似的情形在单射束的电子射綫管中也能得到，只須在偏轉板上輪流地接以雷达視頻信号和距离刻度电压。例如，可将距离刻度电压每隔一次扫描接到水平偏轉板上，并且同时使这两个扫描在垂直方向上作少許的分开。

电的刻度不仅可以有幅度标志的形式，且也可以采用輝亮标志的形式。方法是适当地調整电子束的輝度。輝度标志通常用在除了测量距离外还須测量一角坐标的指示器中。例如用



图 2-5 电刻度的距离讀数

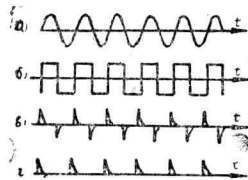


图 2-6 距离刻度的形成

- a-刻度波发生器的电压；
- b-放大和限幅后的电压波形；
- c-矩形波微分后的脉冲波形；
- d-削去脉冲負半周后的距离刻度。

在距离——方位，距离——高低角等指示器中。

采用电刻度要比机械刻度优越得多。首先供电方式或扫描綫路中元件参数的改变不致使距离讀数产生誤差，因为随着扫描长度的改变，螢光屏上距离刻度之間的距离也同时成比例地改变。其次，不存在視差誤差，因为刻度与扫描在同一平面上。最后，由于螢光屏上没有



机械刻度，因而改善了回波的观测条件。

电刻度的缺点也和机械刻度一样，是存在插入误差。此外由于运用了辅助线路——稳定的刻度波发生器，从而使机器的组成部分略为复杂化了。

应当指出，在许多实际应用中，指示器内既装有机机械刻度，又有刻度波发生器，这时，发生器的输出电压或是为了使距离测量得更精确而用以产生电刻度和校准机械刻度，或仅是用来校正机械刻度。为了减小插入误差，可以应用移动的（或固定的）测量标志对准回波前沿来读数的方法。

## § 2-4 脉冲法的基本指标

下面来研究一下脉冲测距法的几种基本指标：

- (一) 最大可测距离；
- (二) 距离鉴别力；
- (三) 最小可测距离。

### 一、最大可测距离

最大可测距离  $r_{\max c}$  取决于发射脉冲的重复周期  $T_n$ 。如果周期  $T_n$  太小，即如果发射脉冲重复频率太大的话，那么就会产生如下的现象：在雷达还未能接到远距离目标的回波时，次一发射脉冲便已发射出去，在指示器中则开始了新的扫描，因之上述目标回波便在刻度的起始处出现，而使观测员无所适从。为了消除这一现象，必须根据雷达所能测量的最大距离来选择脉冲的重复周期  $T_n$ 。由图 2-2 中可以看出，最大可测距离为：

$$r_{\max c} = \frac{c}{2} T_p,$$

式中  $T_p$ ——扫描正行程的最大持续时间。

考虑到指示器的扫描负行程约占周期  $T_n$  的 20%，得到：

$$r_{\max c} = \frac{c \times 0.8 T_n}{2} = \frac{0.4c}{F_n} \quad (2-3)$$

式中  $F_n$ ——发射脉冲的重复频率。

很明显，在设计雷达时必须遵守如下的条件：

$$F_n \leq \frac{0.4c}{r_{\max c}} \quad (2-4)$$

### 二、距离鉴别力

距离鉴别力定义为位置在同一方向上犹能分别出的诸“点目标”的最小距离。

首先我们来研究不计及雷达参数的影响，且脉冲具有严格的矩形时的距离鉴别力。假定在发射脉冲传播的方向上有两个“点目标”存在：距雷达较近的目标  $A$ ，和较远的目标  $B$ （图 2-7）。现在我们来求此两目标能被分别发现时应有的最小距离  $x_{\min}$ 。设在某一瞬间发射脉冲的前沿到达目标  $A$ 。目标  $A$  受照射后，便开始于时间  $\tau$  内反射电磁能（ $\tau$ ——发射脉冲的宽度）。电波由  $A$  反射后，经数值为  $\frac{x}{c}$  的时间后，目标  $B$  亦开始反射。十分明显，只有当目标  $A$  所进行的反射在目标  $B$  反射的回波到达  $A$  之前结束，在荧光屏上才能分辨出两个目标。