



01265

雷 达 技 术 小 丛 書

距 离 指 示 器

Б. И. 戈 林 著



國防工業出版社

73.465

73.465

132

距 离 指 示 器

B. III. 戈 林 著
电信工业局編譯所譯



国防工业出版社

1098

1151265

0426/20 目 录

I 概 論	3
1 雷达测定的座标	3
2 测定目标座标的原理	4
3 距离指示器的用途	6
4 测距方法	7
5 脉冲制与連續輻射制的优缺点比較	11
6 雷达的测距鑒別能力	12
II 連續輻射测距法	15
1 未調波系統	15
2 調頻系統	17
III 脉冲輻射测距法	24
1 脉冲测距法的分类	24
2 直接讀数测距法	29
3 电子放大鏡	33
4 扫描起点的特殊延迟电路和电子延迟电路	35
5 电位器法	39
6 選擇脉冲 (閘門脉冲) 法	43
7 順序测距法	47
8 移相器	54
IV 电子距离标志	57
1 固定的和活动的电子距离标志	57
2 产生固定 (校准) 距离标志的振蕩器	60
3 产生活动距离标志的延迟振蕩器	62
V 目标距离跟踪	65
1 跟踪方法	65
2 半自动目标距离跟踪	68
3 自动目标距离跟踪	72
4 自动距离跟踪系統的各部分	75

距 离 指 示 器

Б. III. 戈 林 著
电信工业局編譯所譯



國防工業出版社

0626/20 目 录

I 概 論	3
1 雷达测定的座标	3
2 测定目标座标的原理	4
3 距离指示器的用途	6
4 测距方法	7
5 脉冲制与連續輻射制的优缺点比較	11
6 雷达的测距鑒別能力	12
II 連續輻射测距法	15
1 未調波系統	15
2 調頻系統	17
III 脉冲輻射测距法	24
1 脉冲测距法的分类	24
2 直接讀数测距法	29
3 电子放大鏡	33
4 扫描起点的特殊延迟电路和电子延迟电路	35
5 电位器法	39
6 選擇脉冲 (閘門脉冲) 法	43
7 順序测距法	47
8 移相器	54
IV 电子距离标志	57
1 固定的和活动的电子距离标志	57
2 产生固定 (校准) 距离标志的振蕩器	60
3 产生活动距离标志的延迟振蕩器	62
V 目标距离跟踪	65
1 跟踪方法	65
2 半自动目标距离跟踪	68
3 自动目标距离跟踪	72
4 自动距离跟踪系統的各部分	75

概 論

1 雷达测定的座标

現代雷达执行的任务是極其多种多样的。

各种不同结构的雷达用来搜索飞机、船艦和各种地面目标，以及测定其空間位置。

远程警戒雷达可以把进行空襲的敌机和无人駕駛飞机的接近情况預先通知給所有防空系統。

引导雷达的用途是搜索敌机，并引导我机追击敌机。

导航雷达能帮助駕駛員在空中正确定向。

炮瞄雷达能够連續而准确地测定空中目标的位置，以控制高射炮火射击。

根据雷达所指示的三个座标可以测定空中目标(如飞机)的位置。这三个座标是：斜距、方位角和仰角或高度(圖1)。

目标的斜距 R_n 就是从雷达設置点到目标的距离。

目标的方位角 β 是指在水平面內正北方向与斜距的水平投影綫之間的角度。投影用水平距离 R_r 表示。

目标的仰角 ϵ 是指垂

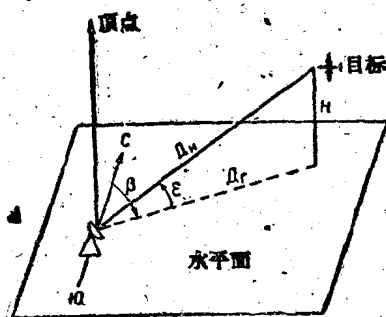


圖1 目标座标。

直面內斜距綫与其水平面投影之間的角度。

根据已知斜距和仰角值，利用直角三角形边与角的关系就可求出目标的高度 H ：

$$H = \Delta_n \sin \varepsilon。$$

在个别情况下，最重要的是要知道水平距离值：

$$\Delta_r = \Delta_n \cos \varepsilon。$$

当与目标的距离相当大时，不能把地面算作水平面。因此，上述未将地面曲率計算在內的公式只适于計算不大的距离 Δ_n 。当 Δ_n 約为50公里时，依此公式計算的高度誤差就为200公尺。

实际上，应当按照数据 Δ_n 和 ε 应用已将地面曲率計算在內的下列公式来計算高度：

$$\sin \varepsilon = \frac{H}{\Delta_n} - \frac{\Delta_n}{2R_{\text{зем}}}$$

式中 $R_{\text{зем}}$ ——地球半徑，等于6370公里。

測定地面目标或海上船艦的位置时，只要知道距离和方位角两个座标即可。

*有时，測定距离是某些雷达(导航系統、无綫电测距仪)的唯一任务。

无綫电测高仪是雷达测距仪的变形，它是一种測量飞机离地面高度的仪器。

2 測定目标座标的原理

无綫电測定目标座标的方法比用其他方法(音测法、光测法)測定的結果更为精确，而且，还可以通过自动装置对雷达所發現的目标連續跟踪。因此，无綫电測定目标座标的方法得到了广泛应用，尤其是在軍事上。

現代雷達根據下列三個基本原理進行工作：

1. 利用無線電波在傳播途中遇到障礙物而折回的回波效應（無線電回波）；
2. 利用電磁波在空間傳播速度的不變性；
3. 利用定向天線發射和接收信號的方向性。

根據定向天線的特性可以測定目標的角座標（方位角和仰角）。定向天線的特性是，它能把超高频電磁波往規定方向發射，並接收這個方向的目标反射回波。

現在存在好幾種測定角座標的方法，但其原理都是使天線（或天線軸）方向圖的最大值（最小值）與目標的方向在空間重合，並測定這個方向。

由於電磁波在空間的傳播速度不變，因此，利用雷達測定距離時，測量距離的任務可歸結為測量電波到達目標和返回所必需的時間間隔 t ：

$$2A = ct,$$

式中 c ——無線電波傳播的速度，等於 300000 公里/秒。

由此可得：

$$A = \frac{ct}{2}。$$

被測量的時間間隔非常微小。例如，如果飛機離雷達站 150 公里，那麼，無線電波來回就應當走 300 公里。但這只需要 1 毫秒的時間。以公式計算就是：

$$t = \frac{2A}{c} = \frac{300 \text{ 公里}}{300000 \text{ 公里/秒}} = \frac{1}{1000} \text{ 秒} = 1 \text{ 毫秒}。$$

為了進行比較，可以指出：時速為 720 公里的飛機在這樣短的時間內只能飛行 20 公分，也就是說僅是飛機與雷達站間距離的微不足道的一小部分。

3 距离指示器的用途

为了计算以毫秒和微秒为单位的短暂时间间隔，在距离指示器中通常都采用标有距离刻度时间扫描线的电子射线管。

在许多雷达上都采用指针指示器或振动式指示器来测定距离。在最简单的雷达上则一般都采用声音指示器（耳机）。

图2为最简单的测距方块图。

超短波发射机产生超高频振荡，通过天线发射到有飞机的方向。当信号能量从飞机表面反射时，发生散逸，因此，只有一小部分能量返回天线，并通过天线传到接收机上。在接收装置的输出端上接有能把接收的信号以声、光效应或机械作用的形式再生出来的指示器。

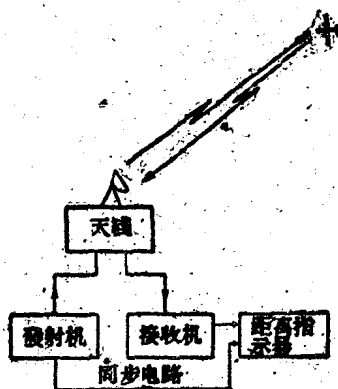


图2 最简单的测距方块图。

在发射机与指示器之间有一同步电路，因此，在指示装置中就可以对两个信号——直接发往空间的信号（更确切一点讲，就是在发射信号的同时通过同步电路发往指示器上的信号）和由目标返回的接收信号，进行时间（或相位）比较。这样，就能够测出这两个信号之间的时间间隔，也就是说测出与飞机的距离。

警戒雷达的特点是：观测员直接用指示装置和其他座标就可计算出距离。

在炮瞄雷达上，目标坐标的数据自动进入炮火控制仪的计算装置。此外，观测员也可以直接用雷达的指示装置将数据计算出来。

4 测距方法

测量距离采用能量的连续辐射法或脉冲辐射法。

如果发射机辐射的是连续的等幅波（圖3），而且反射目标是固定的（如山、建筑物等），那么，反射信号对发射信号的滞后时间不变。这是由于发射信号与反射信号之间的相位移不变的原因。

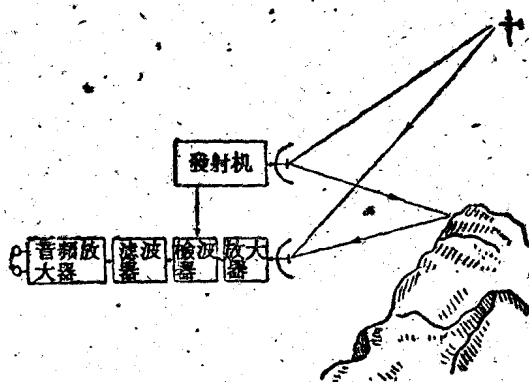


圖3 最簡單的連續發射系統方塊圖。

如果目标（如飞机）对着雷达移动，以等速接近或离开雷达，那么，相移也将以等速改变。波長愈短和飞机在雷达方向相对运动的分速度愈大，則相移的改变速度亦愈大。

由圖4 a 可以看出，两个波之間存在有交变相移，这就証明它們的頻率不相等。

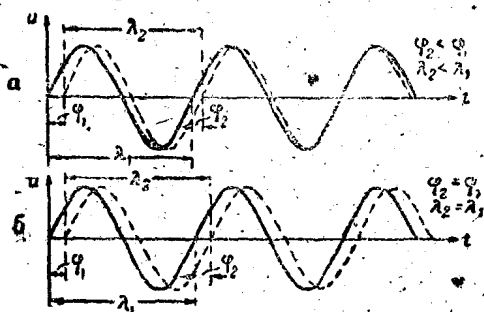


圖 4 發射波和反射波:

a—活動目標; б—固定目標。

如果在飞机移动时，相移以等速改变，那么，由于直达波和反射波混合的結果，在接收机上就产生了差拍（都卜勒——別洛波爾斯基《Доплера-Белопольский》效应）。

$$F_6 = f_{\text{отр}} - f_{\text{изл}}$$

鑒別出差頻（例如用耳机或頻率計）就可以判断有无活动目标，并测出它对雷达的速度。但这样亦并不是經常都能够测出目标的距离。至于固定目标，只要看到直达波与反射波之間的相移不变，就說明两个頻率相等，而这也就是说，在这些信号混合时不会产生差頻（ $F_6 = 0$ ）。因此，在耳机中沒有信号和發現不了目标。

若距离在一个波長範圍內变化，也就是說，相位的改变範圍在 360° 以內时，則用交变相位測量法可以測出距离（而且測出的距离精度很高）。当距离在較大範圍內改变时，相位發生重复，并且其讀数亦非單值。因此，利用相位測量來測定距离的方法只能在装有測量振蕩周期整数的輔助設備的情況下，也就是說在可用其他方法来測定概略距离时采用。

苏联学者Л. И. 曼捷尔塔姆 (Л. И. Мандельштам) 和 Н. Д. 巴巴列克西 (Н. Д. Чапалекси) 首先提出并在理論上闡述了利用相位差測量距离的方法。

此外，他們还提出利用无綫电波的干扰現象来測量較大的距离，正像用光波干扰法可以非常准确地測量不大的距离一样。因为无綫电波長比光波長大几万倍，所以，用无綫电干扰計測量的距离可达数千公里。

等幅波的干扰現象可利用来以位移法 (无綫电測程儀) 測定距离，此方法的實質为：由三个固定發射台同时对观测目标發射电波，再比較所收到的由目标反射回来的电波相位移。

除利用連續等幅波方法外，在使用連續調幅、調頻或調相波工作时，还有几种測定距离的方法。

在調頻时，發射波和反射波的頻率 (和相位) 值互不相等，不仅是由于發生都卜勒-別洛普尔斯基效应，而且还由于在反射波返回之前發射波的頻率便已發生重大改变的緣故。

脉冲輻射確立了單獨一类測量距离的方法。

1933年М. А. 彭奇-布魯也維奇 (М. А. Бонч-Бруевич) 在研究大气反射層高度的裝置上第一次应用了脉冲調制。

在使用电磁能脉冲輻射的雷达上，測定目标斜距的方法是，借助有电子注時間扫描的电子射綫管測量目标反射脉冲对發射机直达 (探测) 脉冲的滯后時間。

輻射脉冲經目标反射后返回雷达，并且在發射机短时接通的間隔時間內显現在指示器的螢光屏上 (圖 6)。

由于目标在脉冲間隔時間內的移动不可能很大，所以目

标的反射信号在萤光屏上显现出的图像稳定而明亮。但是为了显示这种图像，脉冲的重复频率每秒应不少于16~20次。

为了测量方便起见，射线管萤光屏所示出的不应是信号的滞后

时间，而应直接是目标距离，因为这两个数值之间有着直接的关系：

$$A = \frac{c}{2} t,$$

式中 c —— 常数。

每一微秒滞后时间相当于距离

$$A = \frac{300000 \times 10^3 \times 10^{-6}}{2} = 150 \text{ 公尺} \quad (1 \text{ 微秒} = 10^{-6} \text{ 秒})$$

利用上述关系，就可以求出每1公里相应的信号滞后时间：

$$t = \frac{1000}{150} = 6.67 \text{ 微秒}$$

由此可见，上述各种测距法的差别就是辐射的方法不同（连续辐射和脉冲辐射）。

在连续辐射时，多半都采用相位测距法，这种方法的变形便是调频法和位移法。此外，在观测固定目标区域内的活动目标和测定目标的移动速度时，也可以利用等幅波。

在脉冲辐射时，可采用好多种测距法，这些方法将在第三章内加以研究。

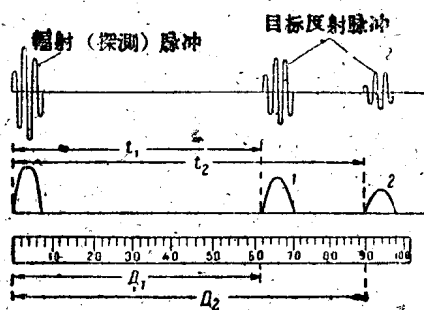


图5 用脉冲辐射法测量距离。

5 脉冲制与連續輻射制的优缺点比較

用脉冲制測定目标座标的方法得到了極广泛的实际应用，因为它比連續輻射制具有一系列的优点。

脉冲制的优点：

1. 能比較簡單地用足够快的速度依次扫描空間。
2. 能同时观测几个目标，并能足够准确地測定这些目标的座标。

3. 能用平均消耗功率不大的电源得到較大的脉冲功率。因此，雷达设备的尺寸和重量比較小。

4. 由于接收和發射時間分开，所以能利用共用天綫使發射机和接收机接近。

脉冲制的缺点：

1. 有《盲区》，即在雷达站附近有观测不到的空間存在。輻射脉冲的寬度愈大，《盲区》便愈大。

2. 有固定物体的反射。

3. 被搜索目标的数据仅沿一个无綫电波道依次到达。因此，空間扫描需要很長時間。使扫描緩慢的原因还在于：为了能够足够准确地測定角座标，需要有狹窄的垂直面和水平面方向圖。

当脉冲法由于本身的缺点而不能采用时，可采用一种連續輻射法。

連續輻射法的优点：

1. 无《盲区》，因此，能够測量很小的距离（2~3公尺）。

2. 接收机的通頻帶較窄，因而提高了接收机的灵敏度，

也就是增大了雷达的搜索距离。

3. 能鉴别出在固定目标区域内活动目标的反射波。

連續輻射法的缺点:

1. 不能分別观测几个同时移动的目标及测定其数量。

2. 測量較大的目标距离时, 需要很大的电源消耗功率。

3. 当發射机和接收机的位置靠近时, 会对弱反射信号
的接收發生干扰。

4. 当目标迅速移动时, 距离的測量精度会大大降低。

在比較各种測距法的优缺点时, 必須指出: 連續輻射法
仅适用于特殊目的, 例如: 飞机的盲目着陆, 因为它只需要
測量約几公尺的距离; 鉴别被观测目标在其他目标(固定物
体、无源干扰)反射区域内的反射波; 測量飞机离地面或海
面的飞行高度(无綫电測高仪); 遙控炮彈的爆炸(雷达信管)。

6 雷达的測距鉴别能力

脉冲雷达的优点之一就是它能分別观测位于同一方位角
的几个目标的反射信号。但是, 这种观测却受到雷达測距鉴别
能力的限制。

为了闡明測距鉴别能力的概念, 讓我們研究一下圖 6。

假設有兩架飞机位于雷达的同一方位角, 但与雷达的距
离不同(圖 6 a)。这时, 到第一架飞机的距离为

$$A_1 = \frac{ct}{2},$$

而到第二架飞机則为

$$A_2 = A_1 + \Delta A = \frac{c(t + \Delta t)}{2},$$

距离差为。

$$\Delta L = \frac{c\Delta t}{2}.$$

如果距离差大到由第一架飞机反射的信号在第二架飞机的反射信号返回之前就被雷达全部接收，那么，这两个信号就可以在指示器萤光屏上分别看到(圖66)。如果距离差 ΔL 縮小，則在縮小到某一最小距离差 ΔL_{min} 时，第一架飞机的信号接收还未結束，而第二架飞机的信号接收便已开始。这时，

在指示器萤光屏上的两个信号圖象就發生重合(圖66)。

据此，可以确定雷达的测距鑒別能力，即测定位于同一方位角的两个目标的最小傾斜距离差（但在此差数下仍能分別看出两个目标）。

距离鑒別能力主要取决于雷达發射机的脉冲寬度、接收机的通頻帶的寬度、脉冲形状、电子射綫管上的光点直徑和扫描速度。

發射机的脉冲愈短，距离鑒別能力便愈高。因而指示器萤光屏上反射信号重合的最小距离差 ΔL_{min} 亦减小。

例如，如果脉冲寬度 $\tau = 1$ 微秒，那么

$$\Delta L_{\text{min}} = \frac{c\tau}{2} = \frac{300 \times 1}{2} = 150 \text{ 公尺},$$

式中 $c = 300000 \text{ 公里/秒} = 300 \text{ 公尺/微秒}。$

实际上，在 $\tau = 1$ 微秒时，雷达的鑒別能力只等于200~250公尺。鑒別能力之所以降低这样多，是由于接收机的杂

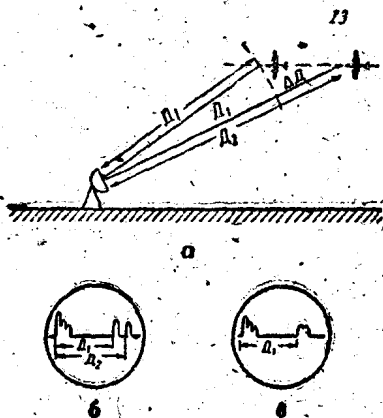


圖6 雷达测距鑒別能力圖解：

a—飞机的斜距；b—当 ΔL 大于雷达测距鑒別能力时的圖象；B—当 ΔL 小于雷达测距鑒別能力时的圖象。

音在电子射线管萤光屏上引起干扰所致。当干扰电平与反射信号电平相当时，鉴别能力的降低就特别明显。杂音干扰电平随着接收机通频带的扩展而增大。因此，要增强鉴别能力，就必须使接收机的通频带缩小。

但是，通频带的收缩会使窄信号脉冲的形状失真和使其振幅减小，这样也会降低雷达的测距鉴别能力。

因此，缩小脉冲宽度和收缩通频带以增高距离鉴别能力的要求是互相矛盾的，因为要通过短脉冲，就必须有宽的通频带。

在许多情况下，选择接收机的最佳通频带应从获得接收机的最高灵敏度出发，同时并保证必要的距离鉴别能力。

决定鉴别能力的光点直径取决于射线管的型号、使用的电压、聚焦线圈和偏转线圈的结构及电子注的电流。使用在平面位置指示器中的具有电磁聚焦和信号光度标记的射线管，其光点直径在不同的管子中亦各不相同：光点直径的增大差不多与射线管萤光屏半径的增大成正比。这时，光点在半径（扫描）长度上只能排150~200个（平均180个）。极限的（最大可能的）鉴别能力就是光点直径等于指示器萤光屏上脉冲宽度时的鉴别能力。

当脉冲宽度 $\tau = 1$ 微秒时，其宽度与指出的一样，相当于150公尺的距离。因此，180个这样的脉冲能扫描27公里。实际上，扫描长度通常为100~200公里或200公里以上。这种扫描线上所包括的脉冲数要比上述脉冲大好几倍；假若光点直径不超过脉冲宽度（极限鉴别能力）的话，脉冲则能在萤光屏上清晰地鉴别出来。但是，在整个扫描长度上所排列的光点不超过180~200个，也就是说光点直径大于脉冲宽度，