

雷 达 技 术 小 丛 书

显示器的扫描

A. B. 符魯勃列夫斯基著



國防工業出版社

內 容 簡 介

本书系苏联軍事出版社出版的“雷达技术小丛书”之一。

书中通俗而詳細地闡述了示波式显示器的分类，并对扫掠的类型和扫掠的各种主要参数也作說明。

本书可做操作雷达的工作人員之参考书，也可供广大希望了解雷达部件的讀者参考。

苏联 A. B. Врублевский 著 ‘Развертки индикаторов’ (Военное издательство министерства обороны союза ССР 1957 年 第一版)

国防工业出版社

北京市書刊出版业营业許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

787×1092 $1/32$ 印張 $1\frac{9}{16}$ 32 千字

1960 年 1 月 第一版

1960 年 1 月 第一次印刷

印数：0,001—3,150 册 定价 (11) 0.22

NO 3094 統一書号 150.34·408

显示器的扫描

A. B. 符魯勃列夫斯基著

陈琳琳译



國防工業出版社

目 录

緒言.....	3
示波式显示器的分类.....	5
反射信号的显示方法.....	6
扫描参数.....	9
直綫扫描.....	13
环形扫描.....	24
螺旋形扫描.....	29
徑向-圓形扫描.....	30
方位角-距离扫描.....	41
方位角-仰角扫描.....	44
三座标扫描.....	46

緒 言

雷达显示器是将电信号变成可聞或可見信号以及測定目标座标讀数的装置。

自目标反射回来的脉冲經過雷达站接收机輸出端进入显示器。显示器就将电信号变成声音或光亮信号，也就是說，有探測出目标的可能了。此外，根据显示器可以連續測得固定或移动目标的座标（距离、方位角和仰角）。炮兵射击諸元的預报，对空中情况作出战术上的判断。以及引导我方歼击机攻击敌机等均需知道目标的座标。

显示器对雷达站的基本战术技术諸元（測定座标的准确度，鉴别力等）有着重大的影响。关于这一問題将在“雷达技术小丛书”的“雷达技术数据”一书中作詳細介紹。

实际上，显示器有下列几种型式：

- （1）声学显示器；
- （2）光学显示器；
- （3）指針式显示器；
- （4）示波式显示器。

声学显示器就其本身装置而言是很简单的。在这种显示器中，将电信号变为可聞信号的装置是受話器或揚声器。声学显示器的工作原理是：雷达站的接收机将收到的高頻信号变为音頻信号的电振荡。譬如說，这种振荡輸給揚声器，揚声器便将这种振荡变成一定音調的声音。根据声音的存在就能发现雷达站探測区内的目标，并根据声音的强弱粗測出这

目标的距离。

光学显示器的工作原理与声学显示器相似。其不同处仅在于收到的信号不变成声音信号，而变成光亮信号。为此目的，光学显示器采用着各种不同型式的信号灯。

指针式显示器应用在某些雷达站上。在此情况下，常采用磁电系统的高灵敏度仪表作为显示器。这种仪表接入电桥线路的对角线。如果发现由目标反射回来的信号，电桥便失去平衡，显示器的指针就产生偏转。

示波式显示器在雷达上获得了广泛的应用。这种显示器也如光学显示器一样，将收到的信号变成可见信号，但是用电子束管作为变换器。关于各种不同型号电子束管的详细介绍，读者可参阅“雷达技术小丛书”的“电子束管”一书。在此，只简要地指出其主要优点。

第一，在电子束管的萤光屏上，可以同时观察到由数个目标反射回来的脉冲，就是说，能连续地观察周围情况的变化。

第二，利用电子束管能简捷地比较反射脉冲的波形和强度，以便能够确定目标的特征（成群飞机的数量，飞机种类等）。

第三，实际上电子束管是无惯性的：在反射信号到达的同时目标标记也出现在电子束管的萤光屏上。这样，就有可能利用电子束管观察非常迅速的电过程。

上述各点均使电子束管，亦即各种型号的示波式显示器得以广泛地用来显示目标的反射信号。

应该指出：现在在许多雷达站中也采用自动显示器，它能将目标的座标读数直接提供给操纵机构，而不需再去计算

螢光屏上的目标座标。

示波式显示器的分类

示波式显示器●可按不同的特征加以分类。这些特征有：显示器的用途、目标座标讀数的准确度、反射信号显示的方法、采用的扫描类型等。根据最有代表性的特征来简单地叙述一下显示器的分类。

显示器按其用途可分为下列几种：

- (1) 距离测定显示器● (距离显示器)；
- (2) 方位角测定显示器 (方位角显示器)；
- (3) 仰角测定显示器 (仰角显示器)；
- (4) 距离和方位角或距离和仰角测定显示器；
- (5) 方位角和仰角测定显示器；
- (6) 高度测定显示器。

这种分类极为简单，只需知道利用該种显示器是测定目标的何种座标，即可将其归納在某一种类型內。

只能测定一种座标 (距离、方位角或仰角) 的显示器称作一度空間显示器，而测定二种座标 (距离和方位角、距离和仰角、方位角和仰角) 的——二度空間显示器。此外还有三度空間显示器，就是說，它能测定目标的三个座标。可是利用三度空間显示器测定三个座标时，一般說来，第三个座标的准确度是不高的。

● 后面常以术语“显示器”代替术语“示波式显示器”。

● 在炮瞄雷达站中通常采用二种距离显示器：粗測讀数的和精測讀数的。

显示器以目标座标的讀数准确度来分，可分成精測的和粗測的。粗測显示器用于搜索目标，并只能以不高的准确度測定目标的座标。精測显示器能以高准确度測定目标的座标。例如，利用精測显示器測定目标的距离时，其准确度可达数十米。

显示器以显示反射信号的方法划分，可分成两大类：

- (1) 反射信号幅度标志显示器；
- (2) 反射信号輝度标志显示器。

显示器以采用的扫掠类型划分，可分成：

- (1) 直綫扫掠显示器；
- (2) 环形扫掠显示器；
- (3) 螺旋形扫掠显示器；
- (4) 徑向-圓形扫掠显示器；
- (5) 方位角-距离扫掠显示器；
- (6) 方位角-仰角扫掠显示器；
- (7) 距离-高度扫掠显示器。

显示器尚可按其他的一些特征分类，例如，可按扫掠电压的变化規律、扫掠电压的頻率、扫掠与外电压关系曲綫的性质等进行划分。但是这种分类在实际上很少采用。

反射信号的显示方法

前面已讲过，雷达站所用的全部示波式显示器按照反射信号的显示方法，可分成两类：第一类是反射信号幅度标志显示器；第二类是反射信号輝度标志显示器。

→收到信号后，电子束足迹偏离电子束管螢光屏上的扫掠

线而产生“尖头信号”的显示器称作反射信号幅度标志显示器。下边就讲这种显示器的工作原理（图1）。

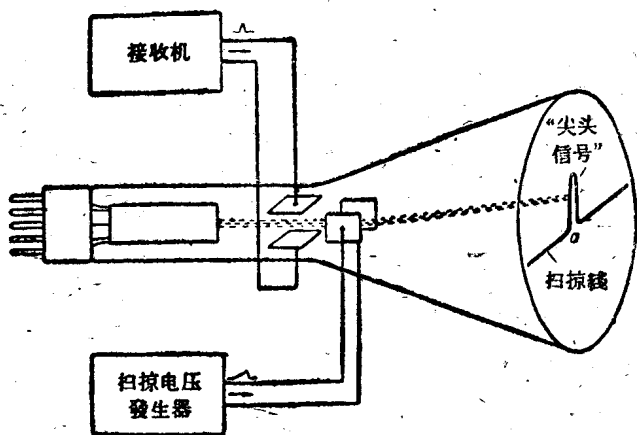


图1 反射信号幅度标志显示器的作用原理。

大家知道，加在电子束管水平致偏板上的锯齿形电压能使得电子束管萤光屏出现扫掠线。扫掠线就是电子束在扫掠电压的作用下，在萤光屏上运动的足迹。

假定每次都是当电子束刚一运动到萤光屏的 a 点时，电压脉冲就立即从接收机输出，到达电子束管的垂直致偏板。若是上述脉冲使得上垂直致偏板的电位增高，那么电子束就向上偏移。从接收机输出的电压脉冲的幅度越大，电子束偏离扫掠线的距离也越大，即是说“尖头信号”也就越大。

脉冲作用结束后，电子束就返回并继续沿扫掠线运动。

所以，采用幅度标志时，反射信号成电子束的“尖头信号”而出现在电子束管的萤光屏上。

信号使得扫掠线某一段的亮度增强的显示器称作反射信

号輝度标志显示器。此种显示器的工作原理如下。

加在电子束管控制极上的直流負电压应調整得使扫掠綫几乎看不見（电子束管几乎是截止的）。正电压脉冲由接收机輸出端进入电子束管的控制极，使电子束管通路，通路的时间应等于脉冲的持續時間。如在扫掠綫上出現发亮而短小的 ab 部分（图2），则发亮的部分就說明接收机的輸出端上有反射信号。

在許多雷达站中接收机輸出端的电压脉冲呈現負极性。在这种情况下，为了使电子束管螢光屏上出現信号的輝度标志，由接收机輸出端輸出的脉冲就不加在控制极上，而加在电子束管的阴极。当負电压脉冲加在阴极上时，阴极电位降低，并等值地增高控制极的电位。所以，将負电压脉冲加到阴极上也能得到反射信号的輝度标志。

幅度标志显示器能更准确地測定目标的座标，因为讀数往往是按显示清晰的反射信号前沿确定的。此外，利用幅度标志法显示反射信号时，根据脉冲的波形能簡

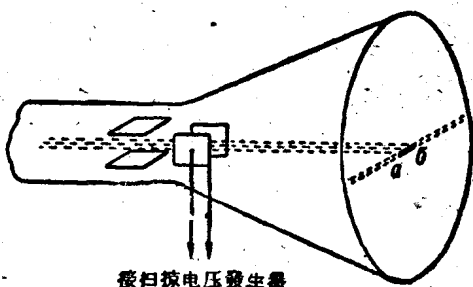


图2 反射信号輝度标志显示器的作用原理。

便地判断目标的性质（歼击机、轰炸机等）和一群目标的数量（根据脉冲頂部的跳动）。在許多雷达中，幅度标志显示器可作为各部分調諧时用的檢查示波器。

輝度标志显示器能使电子束管的螢光屏具有比較准确地

反映空中或地面的实际情况的图象。例如，3厘米波段的飞机雷达，其显示器萤光屏所提供的地形图象与航空摄影所得的同一地形的照片极为相像。其原因是各种地面目标(河、湖、铁路、公路、建筑物的屋顶等)产生各种不同强度的反射信号。

选用何种反射信号显示方法，可视对雷达显示器的战术技术要求而定。

扫掠参数

后面各节将讲到：任何一种类型的扫掠均具有一定的参数，现在我们就讲一下其中一些基本的参数。

扫掠的几何长度 电子束管萤光屏上的扫掠线长度谓之扫掠的几何长度(或简称扫掠长度)。扫掠的几何长度受到萤光屏直径的限制。

实际上，如以直线扫掠为例(图3)

$$l \approx 0.8D,$$

式中 l ——扫掠的几何长度；

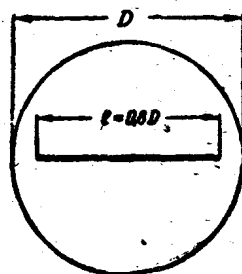
图3 扫掠的几何长度。

D ——电子束管萤光屏的直径。

扫掠持续时间 电子束掠过扫掠几何长度所需的时间称作扫掠持续时间。它直接与雷达能测定的目标最大距离有关。

举例来说，雷达的最大作用距离 $L_{\text{max}} = 150$ 公里。雷达天线发射的脉冲经过这样长的距离到达目标并返回共需时间

$$t = \frac{2L_{\text{max}}}{c} = \frac{2 \cdot 150}{300000} = \frac{1}{1000} = 10^{-3} \text{ 秒},$$



式中 $c = 300000$ 公里/秒, 是电磁能的传播速度。

因此, 上述雷达的扫描持续时间应不短于 0.001 秒。当扫描持续时间恰等于 0.001 秒时, 由离雷达 150 公里远的目标反射回来的脉冲正好出现在电子束管荧光屏的扫描终端(图 4)。

扫描速度 电子束足迹在电子束管荧光屏上运动的速度叫做扫描速度。若是已知扫描几何长度 l 和扫描持续时间 t , 扫描速度便可按下列公式求出:

$$v = \frac{l}{t}。$$

通常, 扫描几何长度以毫米(мм)作单位, 而扫描持续时间以微秒(мксек)作单位。所以, 扫描速度就以毫米/微秒作单位。

扫描比例尺 与扫描线几何长度的毫米数相对应的公里数叫做扫描的比例尺。扫描比例尺可用下列公式求出:

$$m = \frac{L_{\text{макс}}}{l},$$

式中 m ——扫描比例尺 (公里/毫米);

$L_{\text{макс}}$ ——雷达的最大作用距离 (公里);

l ——扫描几何长度 (毫米)。

举例来说, 扫描线的几何长度 $l = 15$ 厘米, 雷达的最大作用距离 $L_{\text{макс}} = 150$ 公里。于是, 扫描比例尺

$$m = \frac{L_{\text{макс}}}{l} = \frac{150}{15} = 1 \text{ 公里/毫米}。$$

不难看出, 扫描比例尺与扫描速度成反比, 即 $m \propto \frac{1}{v}$ 。

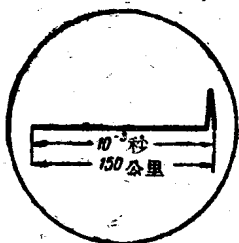


图 4 目标距离为 150 公里, 扫描持续时间为 10^{-3} 秒时, 电子束管荧光屏上的反射脉冲图象。

的确,

$$v = \frac{l}{t},$$

或

$$l = vt.$$

所以,

$$m = \frac{L_{\text{макс}}}{l} = \frac{L_{\text{макс}}}{vt}.$$

可是

$$L_{\text{макс}} = \frac{tc}{2},$$

那么

$$m = \frac{tc}{2vt} = \frac{c}{2} \cdot \frac{1}{v},$$

即

$$m = \frac{1}{v}.$$

这样, 扫描速度愈大, m 值愈小, 也就是说扫描比例尺愈大。

雷达显示器经常改换扫描比例尺。倘使需要对部分空间作更详细的观察和得到更准确的目标距离读数时, 就需采用大的扫描比例尺。当然, 在这种情况下, 雷达观测员不可能看到由雷达作用区域内所有目标反射回来的脉冲, 因为采用大扫描比例尺时, 相应于扫描持续时间的不是最大距离 $L_{\text{макс}}$, 而是短促的距离。如在相反的情况下, 不需要精确目标的距离, 但在荧光屏上需要同时看到雷达作用区域内所有的目标反射脉冲, 那么可采用小的扫描比例尺。在这种情况下, 相应于扫描持续时间的才是雷达的最大作用距离 ($L_{\text{макс}}$)。

图 5 a 所示是采用小的比例尺时的电子束管荧光屏。在此图右侧是扫描电压曲线图。从曲线图中看出: 扫描持续时

間 $t = 1000$ 微秒。因此电子束管螢光屏上的扫掠綫长度便与 $\Delta_{\text{max}} = 150$ 公里相适应。采用这种扫掠比例尺时，在螢光屏上可以看到雷达作用区域内全部目标的反射脉冲。但要注意：只能近似地测出目标 1 和 2 的距离。

图 5 6 所示为采用大的比例尺时 ($t = 200$ 微秒) 的同一电子束管螢光屏。在这种情况下，扫掠綫长度已与距离 $\Delta_{\text{max}} = 30$ 公里相适应，而不是与前面所讲的 150 公里相适应。目标 1 和 2 的距离現在可以精确地测得，但是电子束管螢光屏上却没有 30 公里以外的目标反射脉冲。

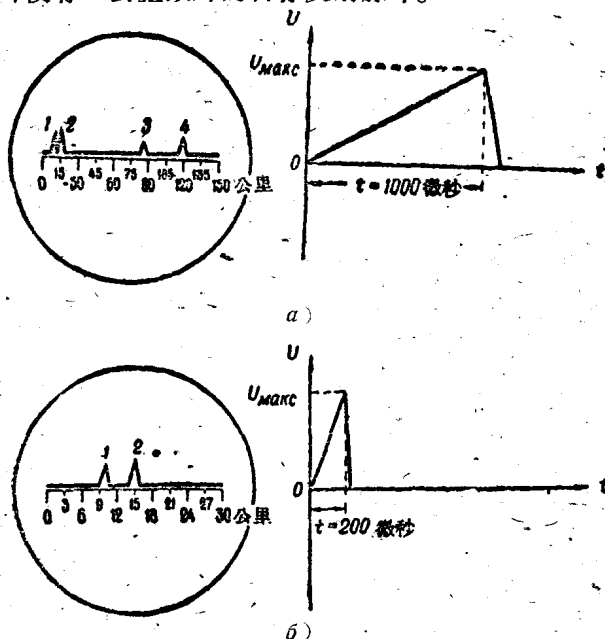


图 5 反射信号的图象和扫掠电压曲线图:

a—采用小的比例尺的情况下; b—采用大的比例尺的情况下。

扫掠的綫性程度 电子束足迹在扫掠綫終端时的运动速

度与在始端时的运动速度之比称作扫掠的綫性程度

$$p = \frac{v_K}{v_H},$$

式中 p —— 扫掠的綫性程度；

v_K —— 电子束足迹在扫掠綫終端的运动速度；

v_H —— 电子束足迹在扫掠綫始端的运动速度。

倘使 $v_K = v_H$ ，即是說，电子束足迹在扫掠綫終端和始端的运动速度相等，則扫掠的綫性程度便等于 $p = 1$ ，这种扫掠就称作綫性扫掠。

显示器中大半都是采用綫性扫掠 ($p \approx 1$)。它能使目标座标的測定得以大为簡化，并且測定得更为准确，因为度盘 (例如距离度盘) 的刻度是均匀的。

还有其他的扫掠参数，在这里不再叙述，因其较为次要。

下面开始叙述雷达显示器中所采用的各种扫掠类型。

直綫扫掠

电子束足迹在螢光屏上由一端至另一端作直綫移动而形成的扫掠称作直綫扫掠。直綫扫掠显示器有时也称作 A 型显示器。

例如，采用静电控制的电子束管就可得到直綫扫掠。为此，必須将鋸齿形电压加在电子束管的水平致偏板上 (图 6)。

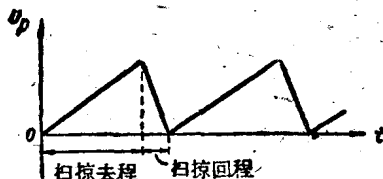


图 6 鋸齿形电压图。

图 7 所示为产生鋸齿形电压的最簡單的綫路图 (扫掠电

压发生器)。这线路的主要元件有：三极管 J 、阳极负载电阻 R_a 和电容器 C 。线路的工作原理如下：

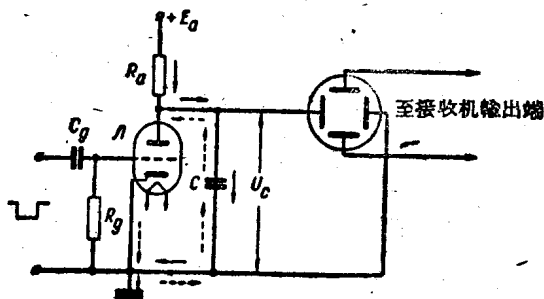


图7 扫描电压发生器的原理线路图。

在截止脉冲到达电子管 J 的控制栅极之前，电子管是通路的。在此情况下，电子管的阳极电流极大，并在电阻 R_a 上出现很大的电压降。实际上，只要适当地选择线路的工作状态，便能使电压降达到阳极电源电压 E_a 的80~90%。

因为电子管的通路电阻不大，因而电子管中的电压降也（亦就是说与电子管 J 压降相等的电容器 C 的电压）不大。所以当没有截止脉冲时，加在电子束管水平板致偏板上的电压是较小的，同时电子束位于起始位置。

触发雷达发射机的脉冲也同时到达●扫描电压线路的输入端，因为扫描的开始和电磁能脉冲向空间辐射的开始应作到严格地同步。

应当指出：触发脉冲在进入扫描电压发生器的输入端之前，便在特殊线路中（常常是在多谐振荡器中）得到扩展。

● 在某些雷达站中，截止脉冲是延时进入扫描电压线路的输出端。在计算目标的距离时，应考虑到这种延时。

恰像下面将讲到的那样，扩展脉冲的持续时间应等于扫描持续时间。可是扫描持续时间是根据雷达的最大作用距离选定的（雷达最大作用距离上的目标的反射脉冲应出现在扫描线的末端）。所以扩展脉冲的持续时间也由雷达的最大作用距离确定。

在上述的扫描电压发生器线路中，负的矩形扩展脉冲便加到电子管 J 的控制栅极上，在此脉冲的作用下，电子管便截止，其时间等于上述脉冲的持续时间。

截止的电子管具有无限大的电阻，像把它从管座内拔出来似的。不难看出：当电子管 J 截止时，即是说当负脉冲作用在电子管的控制栅极时，阳极电源、电阻 R_a 和电容器 C 成串联。这时，电容器 C 由阳极电源充电。充电电流的路线用实线箭头表示（见图 7）。充电电路的等效线路示于图 8。

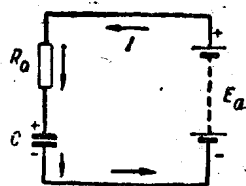


图 8 电容器 C 充电电路的等效线路。

根据电工学可知：电容器按上述线路进行充电时，电容器上的电压 (U_c) 便按指数规律变化

$$U_c = E_a \left(1 - e^{-\frac{t}{R_a C}} \right).$$

电压 U_c 的增长速度取决于充电电路的时间常数 τ_s

$$\tau_s = R_a C.$$

τ_s 越小，电容器上的电压 U_c 增长得越快（图 9）。

负脉冲对电子管 J 控制栅极的作用一停止（见图 7），电子管便通路。通路电子管的电阻不大，因而电容器 C 便能通过它而迅速放电。电容器 C 的放电电流路线用虚线箭头表示