

雷达技术及其应用

K.A.特拉斯金 著



国防工业出版社

雷 达 技 术 及 其 应 用

H. A. 特拉斯金 著

陈 國 立 译



國防工業出版社

內 容 提 要

本書簡要的敘述了雷達的物理基礎，並說明了雷達機各主要部件的工作原理以及雷達技術在國民經濟上、科學上和軍事上的應用。

本書適于通曉電工學及無線電工學基礎的讀者閱讀。

К. А. Траскин
РАДИОЛОКАЦИОННАЯ
ТЕХНИКА И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Военное издательство
министерства обороны союза ССР
Москва—1953

本書系根據蘇聯軍事出版社
一九五六年俄文版譯出

雷 達 技 術 及 其 應 用

〔蘇〕特拉斯金 著
陳 國 立 譯

*

國防·軍·事·出·版·社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第074號
機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

*

787×1092 1/32 • 45/16 印張 • 111,000字

一九五八年九月第一版

一九五八年九月北京第一次印刷

印數：1-2,700冊 • 定價：(10)0.70元

目 录

序言	5
雷达的实质是什么	11
无线电波的反射 (11) 雷达机测定角座标 (15) 距离测定 (22)	
雷达机的组成和它是怎样工作的	25
雷达机是怎样工作的 (27) 雷达机的天线 (36) 超短波电磁能的传输线 (45) 天线转换开关 (50) 触发脉冲发生器和调制器 (53) 发射机的脉冲法工作 (54) 高频振荡脉冲发生器 (58) 接收机 (61) 调速管 (66) 行波管 (71) 阴极射线管的构造及其工作 (73) 雷达机的显示器 (81)	
雷达机的作用距离	90
雷达机的鉴别力	94
多普勒-别洛波里斯基效应	99
多普勒-别洛波里斯基效应的实质 (99) 多普勒-别洛波里斯基效应在雷达上的应用 (101)	
雷达技术的应用	104
雷达技术在军事上的应用	105
搜索和引导飞机 (105) 飞机和军舰的识别 (107) 雷达探照灯站 (108) 雷达在海军里的应用 (109) 反潜水艇斗争 (110) 雷达在炮兵里的应用 (111) 炮弹的雷达引信 (112) 雷达在空军里的应用 (114) 脉冲式环视测距系统 (117) 飞机着陆的雷达系统 (119) 低空无线电测高计 (120) 反雷达 (125)	

雷达在国民經济上的应用	127
雷达为科学服务	133

“任何一个自觉的士兵都不应该不知道自己武器的构造原理及怎样使用它”。

Φ·恩格斯

序 言

雷达一語来自拉丁字根“Радио”和“локус”。前一字是射线，辐射的意思，后一字的意思是位置。因此雷达这名词就是指利用无线电来确定各种目标的位置。

雷达现今的理解是以无线电波反射现象为基础研究探测和确定各种目标位置的方法和制造其技术器材的一门无线电技术。

我们伟大的先辈亚历山大·史契潘诺维奇·波波夫是无线电发明家。1895年5月7日在彼得堡俄罗斯理化协会的会议上，他公开表演了他所发明的无线电通讯机器——世界上第一架无线电收讯机。从1945年起，值无线电发明五十周年之际，这有重大意义的日子，在苏联定为每年庆祝的无线电节，也就是我们祖国科学的节日。

伟大的列宁不止一次的强调指出了无线电在科学和技术的发展中，在千百万人们文化政治教育中所起的重大作用。还在苏维埃共和国建成的头几年里，他即幻想“全俄罗斯都能听到在莫斯科念的报纸”。

在共产党和苏联政府的领导下我国人民胜利地实现了В.И.列宁的这个理想。

我国的科学家們發揮了A. C. 波波夫天才的想法，開創了無線電波新的應用範圍，在現代無線電技術的各個部門中，如無線電通訊、電視、無線電導航、雷達、工業上應用高頻電流等作出了許多寶貴的貢獻。

無線電技術的成就廣泛地應用在物理學、天文學、化學、氣象學、地質學和醫學上。

無線電在軍事上也起着重大的作用。

利用特種無線電測向台可以測定裝有無線電發射台的，並且當它正在工作時的軍艦、飛機、坦克或其他目標的位置。這種測定目標位置的方法稱為無線電測向；它早為人們所共知並為一次和二次世界大戰所有參戰國陸軍和海軍所採用了。這個方法在目前還在應用。無線電測向台的實質如下：

如在不同的地點，安置兩部或更多的接收機（無線電測向儀）同時收聽軍艦上無線電發射台的工作。在每一接收地點上測定無線電波由無線電發射台通向接收機的方向（方位）。然後把同一時間內所測得的方位標在地图上。這些方位的交叉點即為軍艦所在的位置。

無線電測向台有着極其重大的缺點。如果飛機上和軍艦上的電台不進行發送工作，則無線電測向台的報務員就不能測定飛機或軍艦的位置。因此在執行戰役時飛機上或軍艦上的無線電發射台完全不工作或者在很短的時間內工作，以便使敵人的無線電測向台來不及收聽到它的工作和不能測定方向——正如大家所說的，不能測定電台的方位。

除無線電測向外，在防空上還採用聲波定位器來探測飛機，這聲波定位器能在晝夜間任何時候工作。但它也有許多缺點：

- 作用距离太近——不超过15~20公里；
- 不能测定所发现飞机的距离；
- 对不相干的杂音灵敏度很高，致使它工作困难；
- 不能发现滑翔机，气球及其他在飞行中不发声的目标；
- 最后，声波定位器最主要的缺点就是声音的迟延时间长。

在现今飞机具有快速度的条件下，声音还来不及传到仪器，而音源——飞机已经移动了很大的距离。假使目标距离为20公里，则声音传到声波定位器约在1分钟之后，而在这时间飞机可以飞行12~15公里或更多，即实际上声波定位器不能产生任何效果。

这就是为什么还在二次世界大战以前好久，在苏联及许多其他国家里就开始寻求在任何能见度条件下有足够效能的新式防空兵器。由于这些寻求的结果，在二次世界大战开始之前，在不同的国家里创造出了雷达机的第一批样机，它们能在任何能见度的条件下在远距离发现飞机和军舰。

由于无线电波有从各种物体反射回来的特性，雷达才具有这样良好的能力。

我国伟大的科学家A. C. 波波夫在世界上首先发现了电磁波从军舰上反射回来的现象。这个是在1897年夏天在波罗的海舰队试验无线电通讯时发现的。A. C. 波波夫在他自己关于这些试验的总结上写道：

……“同样也看到了中间船只的影响。例如，在试验时，在‘欧洲’号和‘非洲’号^①之间驶入了一艘‘中尉依林’号巡洋

① 水雷艇训练队军舰的名称。

艦，如果相隔距離很遠，則在巡洋艦駛離連接兩艦的直線之前，無線電通訊儀器的相互作用都一直是停止的”……

A. C. 波波夫所發現的現象証實了關於無線電波從位於它傳播途徑上目標的反射。A. C. 波波夫在自己關於這些試驗的總結中指出，無線電波從目標反射的特性給在實際上使用無線電波開創了新的可能，其中包括有可能進行測定目標的位置，無線電導航及無線電測向。A. C. 波波夫認為自己的發現有重大的意義，並且認為必須繼續試驗，“因為儀器的機件只有經常進行檢查試驗才能得到改進”。

無線電波的反射現象很長時間沒有能應用到實際上去。為了在實際上應用它，差不多用了近半世紀的時間。這首先是由於當時技術不完善。只是由於許多科學家和工程師們在無線電方面頑強的工作及工人們——生產革新者忘我的勞動的結果才創造出今天的雷達機。

雷達機這樣晚出現的另一個原因是由於無線電通訊最初是利用中波和長波，在這樣的波長上實際上不能發現反射，因為長波能繞過障礙物。在當時更短的無線電波（100公尺以下）只有無線電愛好者在使用。在1920~1923年無線電愛好者們証實了這些波長對遠距離通訊有用，並且在實踐中發現了短波無線電台較長波無線電台有很大的優越性。

短波愛好者的成就迫使專家們注意被忽視的無線電波段。短波無線電技術開始蓬勃的發展起來。在短波波段內僅給無線電愛好者留下了很小的幾段，當然他們在這些波段上是“很擠的”。這樣就分給他們新的沒有使用過的波段——這就是在超短波波段內（10公尺以下）。無線電愛好者又獲得了成績，用超短波進行了通訊。

同时用这些波长开始发展电视。这一門新的无线电技术要求工业生产更加完善的零件，电子管及其他设备，这设备与短波及长波的设备有很多的区别。

这样，超短波技术的发展促使了雷达技术的出现。

首批的苏联雷达机是在三十年代出现的。它的作用原理是以多普勒-别洛波里斯基效应为基础。以后又制出了更加完善的雷达机，在它的发射机里采用脉冲法发射。

在伟大的卫国战争开始之前苏军已有了现代的雷达机，它不仅能在远距离发现敌机，并且准确地确定其位置。这些雷达机在战时帮助保卫了我国首都——莫斯科和重要的军事及工业要地防备法西斯空军袭击。

在战时会创造出了各种不同功用的新型雷达机，其中也包括装在飞机上、军舰上及潜水艇上的雷达机。

所有雷达装置按其作用原理可分为脉冲式和连续波式两种。脉冲式装置的发射机不是连续工作，而是按照一定的规律：开始在短时间内发生辐射电磁能的脉冲，然后相当长的时间（指与发射时间相比较而言）发射机不工作，而接收机接收从目标反射回来的本发射机的脉冲，然后继续循环下去。

雷达技术的主要工作法是脉冲法；在雷达中连续发射的方法很少采用。

现代的雷达机按其功用有各种各样的。它们安装在飞机上、军舰上、潜水艇上、鱼雷艇上和汽车上。

雷达机无论在昼夜任何时间内和差不多不问气象条件，能在远距离发现空中、海上及地面目标，并能相当准确的决定其座标。此外，雷达机还具有以前采用的兵器所未有的特殊

的能力，这就是当在自己的飞机和軍艦上装有雷达識別装置时，能立即認出自己的飞机及查明所探測的敌人飞机、軍艦及其它目标；能同时不間断的觀察在雷达机作用半徑以內的大量目标。

在上次世界大战中，雷达技术装备不仅用作防禦的兵器，而且在进攻战役中也使用它。雷达机特別是給高射炮兵在抗击敌空軍襲击时及軍艦上炮兵在海战中以很大的帮助。

可以这样說，雷达技术的出現迫使交战国司令部修改战术；这特別对空軍和海軍的行动有影响。

雷达技术的运用提高了主要各类武器的效能，并使其中的某些武器在以前沒有可能使用的地方或效力很低的地方使用。

在战后和平建設的年代里，我們的科学家、工程师、技师和工人——生产革新者在雷达技术的发展上获得了新的成就。

所有这些科学上的发明，包括雷达在內，在共产党和苏联政府領導下的苏維埃人民的手里成为提高国民經济强有力的工具，并加速我們向共产主义道路迈进！

雷达的实质是什么

无线电波的反射

无线电波的反射现象——无线电回波是雷达的基础。

让我们来回忆一下大家都知道的回声现象。假使在峡谷的一面呼叫，则声波传到峡谷的另一面反射出来，并经过一定的间隔时间变成回音传回来。这间隔时间用秒表很易测定。已知声音在空气中每秒约走 300 公尺^①，这就可以测定峡谷的宽度。

假定，我们是经过 4 秒钟后听到回音，则声波来回所经过的路程约等于 1200 公尺，而峡谷的宽度是 600 公尺左右。

回音测深仪——测量海洋深度的仪器的工作就是利用回声现象为基础的。这仪器的装置如下：

固定在舰艇底部的强力声波辐射器垂直向下发射声音脉冲。声波从海底反射回来进到接收装置，在那里根据发射声音脉冲的瞬时与接收返回信号的瞬时之间的间隔时间不断地测定海洋的深度（必须考虑到，声音在水中传播的速度约为在空气中传播速度的五倍）。

利用雷达机来测量距离也相类似，区别在于这里用的不是声波，而是无线电波。

① 声音在空气介质中传播的速度：当温度是 -20°C 时是 318 公尺/秒 (1144.8 公尺/小时)，而温度在 $+20^{\circ}\text{C}$ 时是 342.6 公尺/秒 (1233 公尺/小时)。

无綫电波从各种物体反射时，所产生的物理过程是相当复杂的。

在較普通的場合里，当无綫电波在傳播的途徑上遇到了导体，导体內在波電場的作用下产生了与外来振蕩頻率相同的交流电。由于这个結果，导体成为特殊的“天綫”，无綫电波从这天綫向各方再輻射。

再輻射波的一小部分以无綫电回波的形式回到雷达机。通常再輻射称为无綫电波的反射，虽然这名詞并不是那样准确的說明上述現象的實質。然而我們以下仍称为无綫电波反射，意思是指再輻射。

无綫电波从半导体和介質（絕緣体）反射时所产生的物理現象就更加复杂了。但是这些物質也局部反射无綫电波。

土地、水、冰、金屬、树木、有机体、有生物及其他按其电特性与周围空气介質不同的物体，按其反射体的物質表面和大小以及外来电磁振蕩的波长，反射出各种强度的无綫电波。

金屬及其他良好导体反射无綫电波最好，其他的物体反射无綫电波較差。

反射体的大小对无綫电波的反射起着重大的影响。在下述的場合里，如果波长小于或者至少約相等于反射体的大小，則反射强度最大。大小相等于半波长或这个值倍数的物体反射非常良好。

当利用最短的无綫电波工作时，波长与反射体大小之間应有的比例最易保持，因为在这样的場合里（特别是在反射体形状复杂的情况下）經常是能找到物体的单独部分，它是适合上述的条件并且在所希望的方向产生再輻射。这就是雷达

机要用超短波（10公尺以下）工作的主要原因之一。

无线电波从各种物体的反射依反射面的状态及波长而定，可能是镜面反射或者是扩散反射（漫反射）。

无线电波的镜面反射与光从镜子上的反射相类似：入射到平滑面的无线电波束是按照著名的光学定理反射——波束的入射角等于反射角。同时两波束，入射和反射波束与法线都在一平面上（图1）。平静的水平面是无线电波理想“平滑的”镜面。

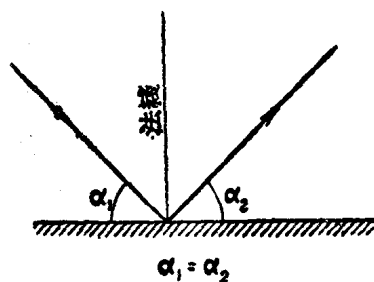


图 1 镜面反射

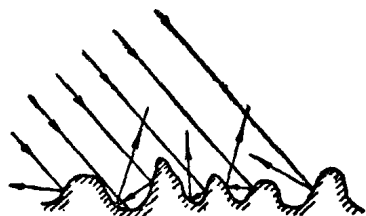


图 2 扩散反射

应该指示，对“平滑的”表面的理解是有条件的，并且取决于照射表面时所采用的波长。对不同的波长，同一表面可能是“平滑的”和“不平滑的”。波愈长则反射“平面”的不平度和粗糙度的大小可能就大一些。对光波来说其长度是几分之几微米，这粗糙度不应超过波长，即不超过几分之几微米。

如众所知，毛玻璃的表面已经不是“平滑的”镜面，光线从那里不会成镜面反射，而是向所有方向均匀的扩散。这是因为毛玻璃的每一个小凸出部是按光束对凸出部表面的倾角反射光束。很多小凸出部的表面斜度不同，则光束的入射

角不同，因此反射光束的方向也就不同（图2）。

光学定律——入射角等于反射角，在这样的场合里仍然生效，但这里它只适用反射面的每一单独部分。

上述从“不平的”面（指对波长而言）的反射情形称为扩散反射。

无线电波的扩散反射是从不平静的水平面产生的，这时无线电波波长与水平面波浪的大小是有一定的关系。假如在水平面上波浪的大小大于无线电波的波长，则产生扩散反射，反之则是镜面反射。

假使反射体的表面对该波长来讲不是“平滑的”（实际上绝大多数的物体都是这样的），则产生无线电波向各方散射，同样也向雷达机方向反射。其结果回到雷达接收机的仅是反射回来能量极小的一部分。但是大抵这点能量已足够使接收机发现反射体的存在。

当镜面反射时，假使无线电波以某角度入射到“平滑的”反射面，则以同样的角度从那里反射出来，它们进入了空间，不再回到雷达机来。

雷达机所观察的反射体可能是飞机、军舰、地平面和水平面、各种建筑物、坦克、汽车等等。除了“平滑的”水平面外，所有其他的物体和目标都产生对无线电波的扩散反射。

这样，首先，无线电波从位于它的传播途径上的障碍物的反射现象是雷达机的工作的基础，没有它雷达机就不能工作。但是为了要用雷达机来测定目标的位置，仅依靠这现象还是很不够的。

实际上为了要测定军舰在海上的位置（它的座标）必须

要确定从雷达机到軍艦的方向（方位）和距离。为了要确定飞机的位置，除此之外，还要找出飞机飞行的高度。

关于雷达机怎样解决这些問題，我們下面再談。

雷达机測定角座标

每一部雷达机发现目标后（例如：飞机、軍艦、坦克、汽車）应同时确定目标是誰的——是敌还是我，然后測定它的座标，即目标的方向（方位角）和它的距离。为了要測定空中目标的座标必須要再找出目标在垂直面上的方向——即高低角。

用雷达机来解决这些主要問題是根据不同的功用的雷达机而具有不同的准确度。

角座标包括目标的方位角及高低角。

水平面內北—南讀数的起綫与目标方向之間的夹角 β 称为方位角或方位。方位角按时針旋轉的方向計算，同时飞机（軍艦）中心綫的方向或雷达机向北的方向算是起始方向，零度方向。

在垂直面內目标方向与水平面的夹角 ε 称为目标的高低角。目标高低角从水平面开始計算向上直至天頂。对飞机上的雷达机来講高低角可以从上至下計算。

方位角及高低角是用角度的单位——度和分来測量^①。

图 3 上所示是地面雷达机在探测空中目标时測定的所有座标。

① 在高射炮兵的雷达机上，方位角和高低角通常是以密位 (M.Y.) 为单位来測量。1 密位 = 0.06° 。

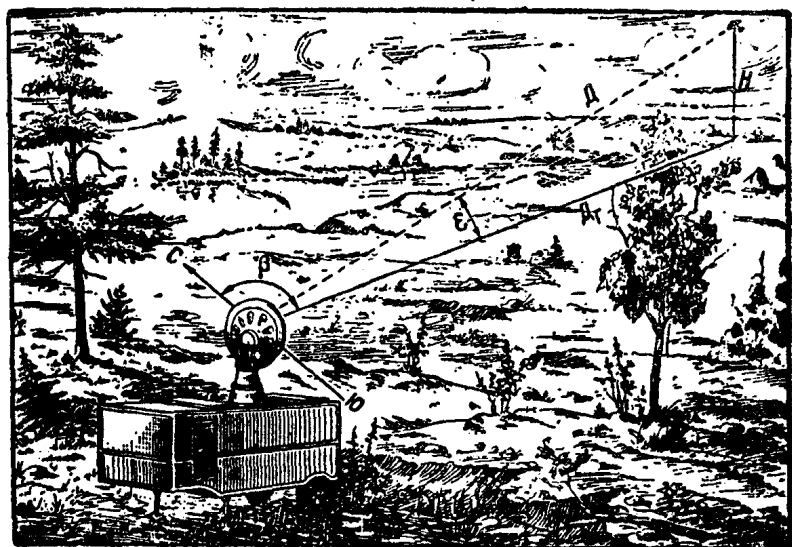


图 3 雷达机所测定的座标

这样，为了要确定目标的位置，就必须测定角座标：方位角——对任何目标（空中、海上和地面目标）及高低角——只对空中目标。此外还必须找出目标的距离。知道了这些座标后，这就可以说，目标当时是在那一点上。

如果目标是在空中，而雷达机架设在地面或在军舰上，则从雷达机到空中目标的距离称为斜距离。

对空中目标来说，知道其飞行高度是非常重要的。目标的高度在测出斜距离和高低角后按公式很易算出

$$H = D \sin \varepsilon + \frac{D^2}{2R},$$

式中 H ——目标飞行高度；

D ——目标斜距离；