



雷达及其在國民經濟中的应用

苏联 K. H. 特罗菲莫夫著

熊希荣译

人民邮电出版社

58
苏联
业余无线电
藏書

國民經濟建設叢書

財政、金融、稅收、保險

財政學

財政學

雷達及其在國民 經濟中的應用

苏联 K. H. 特罗菲莫夫著

熊希榮譯

人民邮电出版社

Радиолокация и Ее Применение

в Народном Хозяйстве

К. Н. Трофимов

Издательство «Знание»

Москва 1954

內 容 提 要

本書的敘述着重於雷達的各種用途，並簡單扼要地講到雷達的工作原理。本書分成兩個部分：第一部分闡明了雷達的基本工作原理，雷達測量距離的方法以及它的主要部件，像雷達的天綫、顯示器等。第二部份講到雷達在國民經濟各部門中的應用，例如在導航中、在氣象學中、在測地學中、在天文學中的應用。

雷達及其在國民經濟中的應用

原著者：蘇聯 К. Н. 特羅菲莫夫

譯者：熊希榮

出版者：人民郵電出版社
北京東四區6條胡同13號

印刷者：郵電部供應局南京印刷廠
南京太平路戶部街15號

發行者：新華書店

書號：無59 1956年4月南京第一版第二次印刷5,001—7,000冊

787×1092 1/36 18頁 印張1字數20,000字 定價(8)0.18元

★北京市書刊出版業營業許可證出字第〇四八號★

目 錄

概 說	(1)
測量目标的距离的方法	(5)
用連續發射無線電波的方法來測定距目标的距离 ...	(5)
用脈衝發射無線電波的方法來測定距目标的距离 ...	(6)
反射目标的位置的確定	(11)
雷達站的部件圖	(15)
雷達儀器在航空方面的应用.....	(18)
用隨航用的平面位置雷達來測定飛機的位置	(18)
用隨航雷達測高計來測定飛機的飛行高度	(20)
用机場雷達來控制飛機在机場空域內的飛行	(21)
雷達灯塔回答器的应用	(22)
保証飛機的“盲目”着陸	(22)
远距离導航	(23)
雷達在海洋航行和內河航行中的应用.....	(24)
雷達在气象学上的应用.....	(27)
雷達在測地中的应用.....	(29)
雷達在天文学中的应用.....	(31)

概 說

1895年5月在彼得堡俄罗斯物理化学协会上，俄罗斯科学家亞歷山大·斯節潘諾維契、波波夫表演了世界上第一部無線电接收設備。波波夫表演自己所發明的無線电接收机的那天，成为技術上新的一個部門的誕生日。

由於波波夫不断地为改進自己的發明而努力，因此在1896年3月实现了从一座大厦傳到另一座大厦的無線电傳輸，而在1900年初，無線电報已獲得了实际的应用。

先進的俄罗斯人——波波夫的同代人 Д. И. 明德萊也夫和海軍上將 С. С. 馬卡洛夫对天才的發明作了極高的評價，同時預見到它的廣泛的实际应用，但是甚至絕頂聰明的人也想不到無線电会蓬勃地發展到今天的地步。

共產党和苏維埃政府非常重視本國無線电事業的發展。还在苏維埃政权成立的初期，В. И. 列寧就發佈了關於組織無線电技術方面的科学研究工作的法令。在以後所有的歲月裏，这方面的工作始終不断地得到党和政府的支持。

苏联共產党第十九次代表大会的決議中也有關於無線电技術今後發展的指示。

短距离和長距离的無線电通信、無線电導航、电

視、工業电子学、高頻淬火、金屬熔煉、無綫电物理学、雷達、無綫电天文学和無綫电气象学等部門还远非应用無綫电成为普遍現象的全部科学部門。

雷達（应用無綫电技術的方法來搜索和確定各种目标的位置）是現代無綫电技術部門中的一个部門。

这个技術部門的主要使命就是它的名称的意义。雷達这字是由二个拉丁字構成的，radius——譯文的意思是發射，射束；locus——譯文的意思是位置。

雷達儀器的工作原理主要是：發射机發射無綫电能，处在电波傳播的道路上的目标則將电能反射（漫射）回來，最後雷達站的接收設備把一部份反射回來的电能記錄下來。

金屬物体（船隻）漫射無綫电波的現象，还在1897年，波波夫在波罗的海進行實驗時就發現了。当軍艦橫斷無綫电通信綫時，就發現通信被破坏了，同時还証实了这种現象並不是偶然的，而是有規律的。波波夫曾經指示：無綫电工具不僅可以用來通信，而且还可以用來確定目标的位置。

虽然还在上世紀末葉波波夫就發現了金屬体对無綫电波傳播的影响，但是雷達技術只是在最近二十年才開始有实际的应用。这在一定的程度上是由於：在無綫电技術發展的初期先是掌握了長波，然後逐步掌握較短的波段。从物体漫射無綫电波的条件（物体的尺寸應該小於波長或至少和波長不相上下）以及从發射的能量必須集中在一定的方向來看，雷達祇有採用超短波和公分波

才能實現。此外，在雷達中所用的強力脈衝發射機、靈敏度高的接收機和光學顯示器，又要求無線電和電視有顯著的發展，因此雷達祇有在最近幾年才有可能實現。靠了雷達儀器，就能確定目標的位置，也就是確定距目標的距離和方向。測定時間（測定無線電波從發射機到目標並返回接收機所需的時間）是測定距離的基礎。知道了無線電波傳播的速度（算它等於光的速度 300,000 公里/秒，其準確度已相當高了），距反射目標的距離就很容易算出。

圖一圖示了無線電波在飛機上反射的情況。在圖上所示的瞬時，輻射波的波前先在距雷達九十公里處遇到離雷達較近的飛機，然後遇到第二架飛機。這時，第一架飛機的反射波朝四面八方傳出了三十公里。再過一段時間（傳播餘下的六十公里所需的時間），反射波就能到達雷達接收機（在我們的情況下，它是與發射機並列的），接收機就把它接收下來。第二架飛機的反射波到得晚一些，晚到的時間和兩架飛機對雷達站而言所相差的距離成正比。

因此，當接收機和發射機相互離得不遠時，反射目標的距離可按下列公式算出：
$$D = \frac{ct}{2}$$
。式中 D = 到目標的距離（公里）， C = 無線電波傳播的速度（300,000 公里/秒）， t = 波傳到反射物再反射回來所需的時間（秒）。分母 2 是說明無線電波的双程傳播——從雷達到目標並返回。

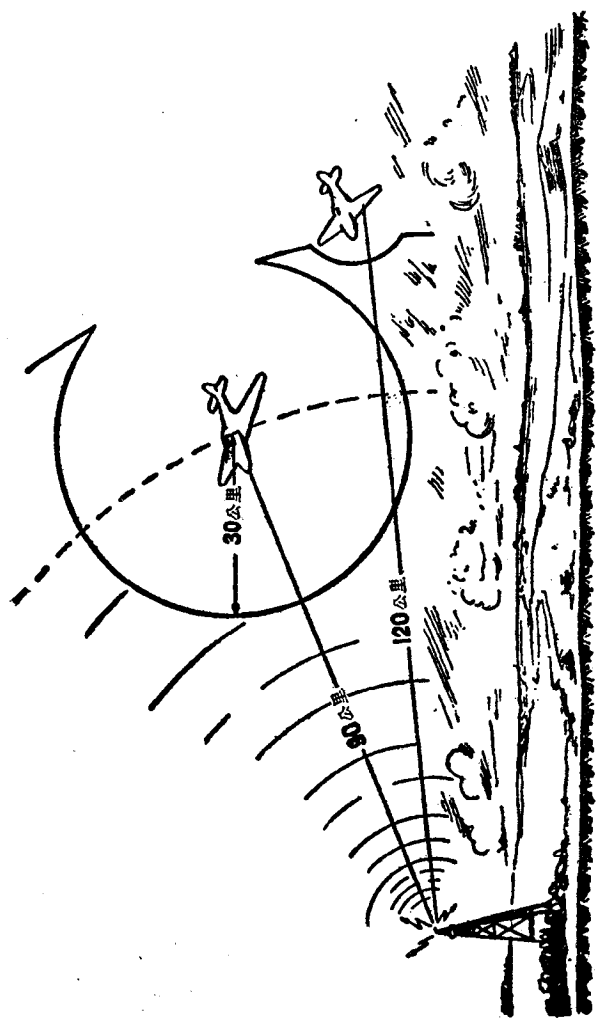


圖 1 無線電波在飛機上的反射

对第一圖所示的情况來說，在最近的飛機上反射的信号过了 $6 \cdot 10^{-4}$ 秒，即过了 600 微秒才能收到，而从第二架飛機來的信号經過 800 微秒才能收到。这种短暫的時段的測量，在雷達裏是用幾乎沒有惰性的儀器——陰極射線管或指針式顯示器（它与某种型式的雷達站的特殊綫路的輸出端相連），是自動測量。

測量目標的距離的方法

雷達測定時間的方法隨雷達型式和它所採用的發射电磁能的方法的不同而不同。讓我們來研究一下二种型式的雷達站測定目标的距离的方法。連續發射的雷達站和脈衝發射的雷達站測定距离的方法。

用連續發射無線電波的方法來測定距目標的距离

連續發射的雷達站採用改变輻射信号的頻率的方法來測量時間，从而也測定了距离。

倘發射机頻率以一定的速度作綫性变化，則接收机就能收到兩個信号：由障碍物反射回來的信号和發射机發射的信号。兩個信号的頻率各不相同，它們的差頻將和从雷達到障碍物的距离成正比。量得了差頻就能確定到反射物的距离。例如，若干型式的飛機上的無線电測高計就屬於連續發射和綫性調頻的雷達站。無線电測高計的發射机和接收机的天綫裝在机翼的下翼板上。所輻射的無線电波到達接收天綫的路徑有兩条；从發射机天

綫直接到達接收機天綫和沿折綫的路徑到達接收天綫，即到地面後再返回。飛機飛行的高度愈高，則反射波所經過的路徑愈長，而直接收得的發射機信號頻率與收得的反射信號頻率間的差頻就愈大。由於發射機的頻率作週期性的變化，同時又把兩信號的差頻變成電壓（它的數值視差頻的大小而定），因此就可以直接在刻度均勻的伏特計上讀出飛行高度。

用脈衝發射無線電波的方法來測定距目標的距离

在國民經濟的各個部門中已廣泛地使用了脈衝雷達站，它並不是不間斷地發射無線電波，而是正像它的名稱所指出的，以短促的脈衝方式發射。在各脈衝之間應有顯著的間歇[沉默]，在間歇時，雷達僅接收信號。在這些雷達裏，反射物的距离的測定是基於測定時間的原理，測定從發射機發出脈衝的瞬時起到收得反射信號的瞬時為止的時間，即基於與回声相類似的無線電回声的原理。由於無線電波傳播的速度很快，由於要以極高的準確度來測量極其短暫的時段，所以在這種雷達裏的記錄儀器是採用陰極射綫管，它的構造類似電視接收機的陰極射綫管（圖2）。

陰極射綫管的工作原理如下：陰極1所發射的电子，在陽極2高壓的作用下，就向熒光屏7飛去。电子經過特殊的聚焦設備3後，便形成狹細的射束，射在射綫管的熒光屏上。射綫管的熒光屏塗有特殊的材料，它在电子的衝擊下便發出光來。這樣落有电子的地方便產

生了光點。若射束在空間中移動，那麼這個運動就反映為光點在射線管熒光屏上的移動。

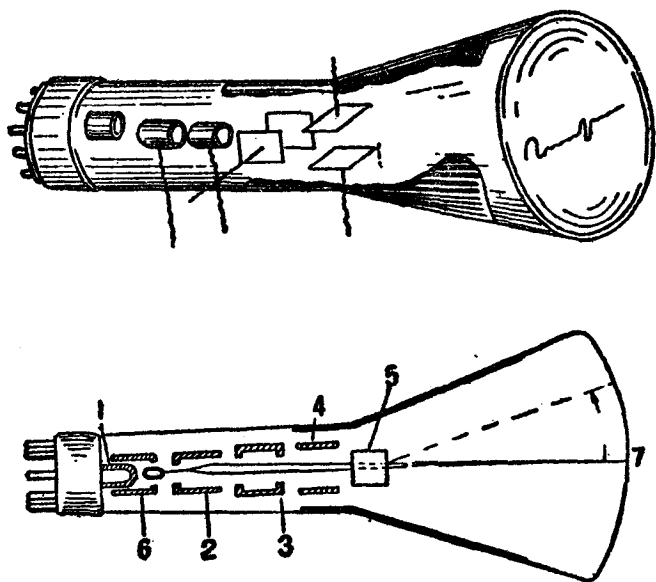


圖 2 陰極射線管

為了控制射束的移動，在陰極射線管的管內有兩對致偏板。致偏板 4 能使射束作水平方向的移動，而另一對致偏板 5 則能使射束作垂直方向的移動。若在水平的那對板上加上致偏電壓（例如先在左板上加負壓，右板上加正壓，然後倒過來）。那麼熒光屏上的光點就會從左向右移動，並返回。

由於射束幾乎沒有慣性，因此光點在熒光屏上移動

的速度能達到在幾十或幾百微秒內扫过整个熒光屏。光點在熒光屏上所画的線称为扫描線。

假使扫描与雷達站的脈衝發射同時開始，那麼根据扫描線在收到从物体反射回來的脈衝時的位置，就可以判断距目标的距离。为了記錄反射信号到達的時間，往往採用与接收机輸出相連的射線管垂直致偏板。

若在这兩塊板上加上电压，則射束就在垂直平面內偏轉，因此在加有电压時，扫描線就適当地偏离原先的水平方向。这种產生垂直方向的致偏电压，是从目标反射回來的信号經接收机放大和变换後的电压。

“正”描（自左而右）的速度应選擇得使光點移过熒光屏的直徑所需的時間，等於反射信号从处在雷達站最大作用距离上的目标回來所需的時間。

“回”描（自右而左）的速度应大於正描的速度，因为回描並不作工作，只是为了使光點回至相当於熒光屏扫描線開始點，才需要回描。为了避免在熒光屏上有兩条扫描線，因此在射束回描時，射線管的柵極 6 上就加上額外的負电压，不使射束到達熒光屏。

雷達站發射的脈衝重複頻率（射線管熒光屏上扫描重複頻率）应根据雷達站的用途來選擇。它的振盪次數約为每分鐘幾百次至幾千次。

在上述來回扫描射線管熒光屏上的線條的速度下，眼睛看不清楚扫描線的形成过程，並把它看成是不移動的。

圖 3 圖示着射線管的熒光屏，上面有着 扫描線 和

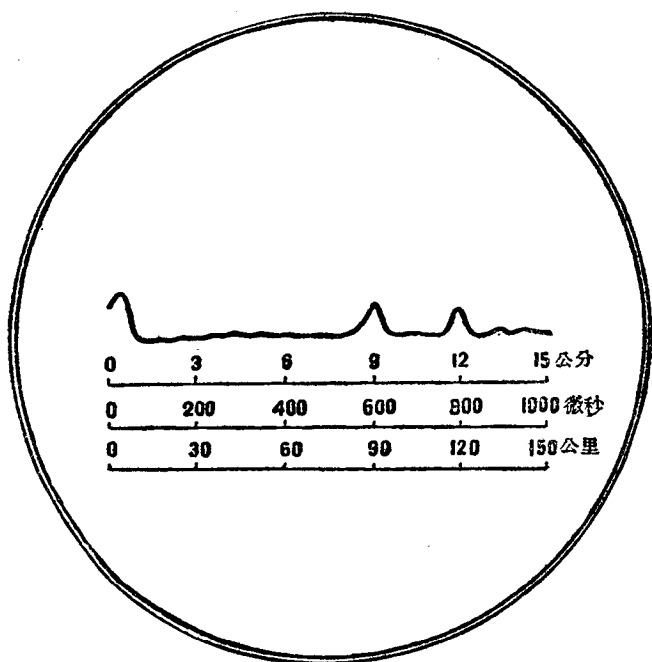


圖 3 荧光屏上的扫描線

時間、距离刻度。瞬間。相當於掃描開始的時間和發射脈衝的時間；雖然在此瞬間接收機的輸入作電的閉鎖，但是發射機的功率很大，因此接收機就能接收發射機的固有脈衝（指發射機直接發出的脈衝，而不是從目標上反射回來的脈衝——校者註），而引起向上偏轉的掃描。當發射機的工作一停止時，接收機的輸出電壓就消失了，而掃描就繼續自己的水平直線運動。在我們的例子

中，在所選定的掃描速度下，光點在 600 微秒內能移動 9 公分；在這一瞬間，對圖 1 所示的情況來說，雷達站將能收到在 90 公里外的飛機反射回來的信號。這樣就使掃描線向上偏轉，也就是說出現了飛機反射的脈衝。根據直接刻成距離的刻度盤（刻成公里），就可以判定到飛機的距離。距離遠的目標在掃描線上所引起的脈衝，出現在離掃描線開始點較遠的地方。

這樣用脈衝工作的方法，就可以同時分別觀察幾個目標，並可以量出到它們的距離。從這點上來看，脈衝雷達比連續發射雷達優越。

兩相鄰物體間的最短距離（能使在它們上面反射的脈衝分別看到的最短距離），決定於反射信號的持續時間，而持續時間又和發射機發射脈衝的時間長度有關。因此，為了增加熒光屏上顯示的清晰度（增強所謂鑑別能力），就必須縮短發射機脈衝的持續時間，適當地選擇雷達的其它參數。

在上述顯示器內，不僅可以採用掃描線振幅偏轉法，也可採用亮度調制法。為了實現亮度調制法，在沒有信號時，掃描的亮度往往選用最小值，而接收機輸出的信號並不是加在垂直致偏板上，而是加在能靠它來改變顯示亮度的電極上。當信號來到時，掃描亮度就會增加，而在射線管熒光屏上和到反射目標距離相應的地方，便出現了明亮的線條。

反射目標的位置的確定

要確定我們感興趣的目標的位置，除了距離外，也要知道它的方位角，對飛機來說，則尚需測量它的飛行高度。脈衝雷達最常採用的方法之一是電磁能的定向發射和接收。為了達到上述的目的，雷達站應採用定向作用的天線，它能朝某一一定的方向射出比另一方向更多的電磁能（和探照燈定向發射光束相類似）。定向接收天線對從不同方向來的電磁能的接收靈敏度都不相同。

為了減少脈衝雷達站的體積，通常利用脈衝式工作的特點，在發射機工作的間隙時期接收反射信號，使發射和接收合用一根天線。由於發射機脈衝功率有時達到數百千瓦，因此把接收機和發射機接在同一根天線上就會燒燬接收機的輸入電路。為了避免這種情況，在接收機和天線之間安上一個繼電器。當發射機工作時，繼電器就能使接收設備成為開路。繼電器動作的速度，應以幾分之幾微秒來計算，所以雷達站都用電子繼電器——充氣放電器。在發射機強力脈衝的作用下，它能自動短路接收機的輸入端，當發射機工作一完畢，它立即回復原來的狀態。

在公分波波段內，為了產生定向發射和接收，常常採用拋物面天線，發射器（有源振子）則裝在聚焦面上。

为了建立特殊形状的方向图，例如在水平平面内狭，而在垂直平面内相当宽的方向图，在公分波段内的雷达往往采用圆柱形抛物面的镜成天线，而在聚焦面上则装了许多发射器。这样的天线往往装在探测飞机位置和飞行高度的导航站中。装在同一个旋转装置上的两个天线，如图4所示。

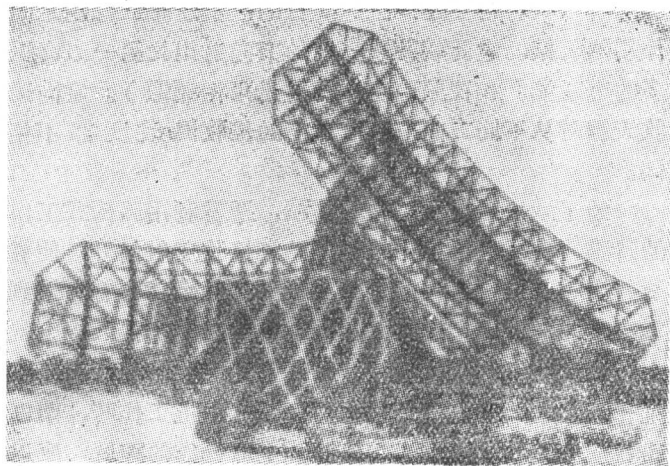


圖 4 环视雷达的天线

圖5是水平放置的镜式天线的其中一个方向图。这个方向图是根据发射机的功率和接收机的灵敏度而画出来的。这个方向图能表徵雷达站对于某种型式的飞机的「视力」。根据这个图就能立刻确定飞机在什麼高度飞行，有多远。这个方向图通常称为搜索图或雷达站的可见范围。