

船員业务学习小丛书

雷達

大连海运学院船員业务学习小丛书编写組 編

大连海运出版社

为了有助于我国广大船員业务学习起見，本社組織有关方面編寫了一套业务学习小丛书，希望通过它将船員各方面所必需具备的基本知識有系統地加以介紹，敘述力求通俗簡明，以便適合具有初中以上文化程度的船員閱讀。

本書为小丛书雷達部分，其內容包括雷達的基本原理、收發机部分、指示器、无綫裝置、无綫电波的傳播和反射、雷達的操縱以及雷達簡單故障的排除等七章。

0126/2

船員业务学习小丛书

雷 達

大連海运学院船員业务学习小丛书

編写組 編

*

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版业营业許可証出字第〇〇六号

新 華 書 店 发 行

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

*

1960年2月北京第一版 1960年2月北京第一次印刷

开本：787×1092 1/32 印張：2 1/2 張

全書：61,000字， 印數：1—2,000 册

統一書号：15044·5265

定价(1)：0.25元

目 录

序 言

第一章 雷达的基本原理	4
§1 什么是雷达, 雷达在航海上的作用.....	4
§2 雷达测量距离的原理.....	4
§3 物标方位的测量.....	7
§4 雷达的主要組成部分和它們的功用.....	8
第二章 收发机部分	12
§1 微波振盪的产生.....	12
§2 微波信号的接收.....	18
第三章 指示器	26
§1 主脉冲产生器.....	26
§2 锯齿形波的产生.....	32
§3 距离标志.....	36
§4 阴极射綫管.....	39
§5 其它.....	42
第四章 天綫裝置	43
§1 导波管和反射体.....	43
§2 收发开关.....	47
§3 同步机.....	49
第五章 无綫电波的传播和反射	53
§1 电磁波的传播.....	53
§2 雷达所用的电磁波—超短波、微波.....	57

§3 雷达波經不同物体反射的回波	59
第六章 雷达的操縱	60
§1 雷达的主要构成部分及其控制設備	60
§2 雷达的操縱程序	64
第七章 雷达简单故障的排除	66
§1 遇有电动发电机不能启动的时候	67
§2 遇有雷达不能发射电磁波的时候	67
§3 遇有雷达虽发射电磁波，但螢光 屏上沒有物标图象出現的时候	69
§4 遇有天綫不能旋轉或天綫虽旋轉， 但扫描綫不轉动的时候	72
§5 雷达員應該注意的几个問題	72
附 录	73
第一章 振盪迴路	73
§1 迴路中的固有振盪	73
§2 迴路中的强迫振盪	75
§3 几种耦合振盪电路	76
§4 关于R、C、L的单位与識別	79
第二章 电子管	80
§1 概念	80
§2 二极管	80
§3 三极管	82
§4 四极管	85
§5 五极管	86

目 录

序 言

第一章 雷达的基本原理	4
§1 什么是雷达, 雷达在航海上的作用.....	4
§2 雷达测量距离的原理.....	4
§3 物标方位的测量.....	7
§4 雷达的主要組成部分和它們的功用.....	8
第二章 收发机部分	12
§1 微波振盪的产生.....	12
§2 微波信号的接收.....	18
第三章 指示器	26
§1 主脉冲产生器.....	26
§2 锯齿形波的产生.....	32
§3 距离标志.....	36
§4 阴极射綫管.....	39
§5 其它.....	42
第四章 天綫装置	43
§1 导波管和反射体.....	43
§2 收发开关.....	47
§3 同步机.....	49
第五章 无綫电波的传播和反射	53
§1 电磁波的传播.....	53
§2 雷达所用的电磁波—超短波、微波.....	57

§3 雷达波經不同物体反射的回波·····	59
第六章 雷达的操縱 ·····	60
§1 雷达的主要构成部分及其控制設備·····	60
§2 雷达的操縱程序·····	64
第七章 雷达简单故障的排除 ·····	66
§1 遇有电动发电机不能启动的时候·····	67
§2 遇有雷达不能发射电磁波的时候·····	67
§3 遇有雷达虽发射电磁波，但螢光 屏上沒有物标图象出現的时候·····	69
§4 遇有天綫不能旋轉或天綫虽旋轉， 但扫描綫不轉动的时候·····	72
§5 雷达員應該注意的几个問題·····	72
附 录 ·····	73
第一章 振盪迴路 ·····	73
§1 迴路中的固有振盪·····	73
§2 迴路中的强迫振盪·····	75
§3 几种耦合振盪电路·····	76
§4 关于R、C、L的单位与識別·····	79
第二章 电子管 ·····	80
§1 概念·····	80
§2 二极管·····	80
§3 三极管·····	82
§4 四极管·····	85
§5 五极管·····	86

序 言

本書是为海河船舶駕駛員而写的，希望通过本書使讀者能够了解雷达的基本工作原理，学会雷达的操縱。本書也可供一般維修工作人員參攷。

本書共分七章，第一章講述雷达的基本原理，帮助讀者对雷达作概括性的了解。第二章至第四章講述雷达各部分的原理和工作情况，包括收发机部分、指示器部分和天綫部分；第五章講述无綫电波在空間的传播和反射問題；第六章講述对一架生疏的雷达，如何去操縱和使用它，以便使讀者学会操縱雷达的基本技术，第七章講述雷达簡單故障的排除。

本書系在大跃进中由大連海运学院有关师生共同执笔写成。第一章由王瑞中执笔，第二章由王文熙执笔，第三章由王成伯执笔，第四章由柴錫玲执笔，第五章由李錦芳执笔，第六章及第七章由李春宝执笔，最后全書由李春宝审閱。由于時間仓促和筆者学識有限，誤謬之处，在所难免，尚請讀者指正。对本書的意見請函寄大連海运学院即可。

作 者

第一章 雷达的基本原理

§1 什么是雷达，雷达在航海上的作用

“雷达”这一名称是由外文 (Radar) 音译而来的，实际是无綫电探测和定位的意思，它是利用无綫电波来发现并测定在某一距离范围内各种不同物标的位置。在航海上，这些物标可以是船、岛屿、码头、海岸和其它能反射电磁波的物标。

航海雷达所使用的电磁波能穿过雾、雨而很少受到影响。利用无綫电波的这一特点，雷达能够在白天、黑夜和恶劣的天气情况下，迅速而且不间断地同时测得物标的距离和方位，探明船舶周围的海岸、岛屿以及相遇船舶等物标的分布情况和航道水面的情况。只要駕駛人員能熟練地、准确地使用雷达，就可减少甚至避免碰撞、触礁事故的发生，从而提高了航行的安全。

在近代的航海中，雷达已成为一种很重要的无綫电导航仪器。

§2 雷达测量距离的原理

人們曾用回声来测量一个岩洞或深井的深度，方法是先計量出从发出声音到听到回声时所經過的时间 t ，然后根据公式

$$D = \frac{1}{2} C t$$
 可計算出岩洞或深井的深度 D ，式中 C 是声音传播的速度。

声音是一种波，而回声就是声波在洞底或井底反射回来的

回波。

雷达的作用原理也是利用波的反射现象，所不同的就是雷达利用的是无线电波，而不是声波。

那么，雷达是利用什么样的无线电波呢？

当收听无线电广播时，常可以听到播音员在介绍：“本台的周率是……千周，波长……米”。什么是周率呢？周率就是无线电波在每秒钟振动的次数，而波长是无线电波每振动一次所传播的距离。例如，中央人民广播电台的一个周率是720千周，波长是417米。这种无线电波的波长相当长，我们称它为长波。但在雷达中所利用的无线电波的波长，则只要几厘米左右，我们把波长小于1米的无线电波，称作微波，它的周率高达10,000兆周以上（相当于1,000万千周以上）。这种频率（即周率）要比一般短波无线电广播的高频部分还要高得多。

雷达所以要采用波长只有几厘米的微波，是因为微波有不同于普通广播用的无线电波的特性。雷达是利用发射出去的无线电波和接收这一无线电波遇到物标后而反射回来的回波来测定物标的距离和方位的。波长越短，反射性能就越好，微波碰到导体如金属之类，会发生强烈的反射。遇着非导体如木石之类，也会引起相当的反射。另外，由于微波反射性能的良好，可以采用象反光镜一样的抛物面型的天线反射器，使发射出去的无线电波，密集在一个方向，使波束狭窄，加强了天线的方向性。

雷达在工作时，并不是无休止地连续发射出无线电波，因为，使用一般的雷达，是要接收无线电波的回波来测定物标的，如果不断地发射，那么就不断收到物标的回波，这样，并不能确定物标的距离。所以，实际上雷达所发出的无线电波，都是采用不连续的、间断的、很短促的一小束无线电波，即所

謂脉冲波。每一次发射的时间，仅仅只有几分之一微秒左右。一个微秒是一秒的一百万分之一，可想它是如何的短促。而且，雷达在一秒钟内所发射的脉冲就有数百到数千次，不过，每两个脉冲发射的时间间隔必须在雷达已经接收到前一个脉冲信号遇到最远物标而反射回来的回波信号之后，才能发射。

例：“聂伯东”型雷达，当要测量的距离为30哩时，脉冲波持续的时间为1微秒，而每秒要发射675次，可以计算一下，

每两次发射的间隔时间为 $T_n = \frac{1}{675}$ 秒 = 1,481 微秒；而脉

冲波在30哩内作一个来回，所需时间 $t_1 = \frac{2 \times 30}{162,900}$ 秒 = 368.3

微秒（这里无线电波来回速度均按每秒162,900哩即300,000公里计算的）。无线电波在物标上的反射，只有能量的损失，没有时间上的停留，反射波能量大大地小于入射波的能量。如图

1-1所示，横坐标为时间， P_1 为第一个发射脉冲， P_1' 是被雷达接收到的 P_1 在物标上的回波， P_2 是第二个发射脉冲， t_1 是发射脉冲与接收到回波时的时间间隔， T_n 是每两次脉冲发射的间隔时间，也即所谓重发周期。

我们知道了雷达所利用的无线电波是脉冲式的微波，就不难理解它是如何测量距离的了。

雷达发射一个脉冲波，如有物标，雷达就可以接收到由物标反射回来的回波。根据由开始发射到回波到来所经过的时间 t ，可求得物标的距离。

$$D = \frac{1}{2} C t$$

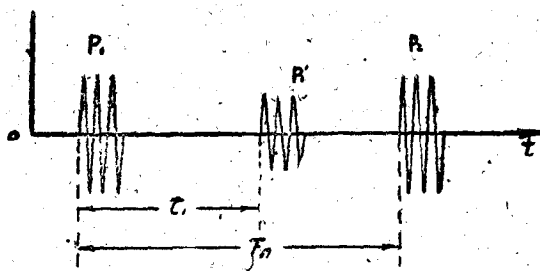


图 1-1

式中 c 为无线电波传播的速度即光速。如 $t = 0.00001$ 秒即10微秒，则距离为16.3哩。

当然，这样短促的时间不能用普通的钟表进行测量，而由雷达中的指示器自动显示出来。当指示器上出现了亮点即所测得的物标，离中心越远，那么距离也越大，可以根据指示器上的距离亮圈很容易地读出物标的距离来。

§3 物标方位的测量

从上节可知，雷达根据发射微波脉冲和接收回波来测定物标至雷达的距离，同时这也就确定了物标的方向，因为只有存在有物标的方向上才可能有回波，这里将简述一下雷达是怎么获得物标方位的。

首先，由于雷达要测各个方向的物标，所以雷达的天线不是静止不动的，而是以一定的角速度（大约每分钟15~20转）旋转着，当天线朝向某一方位时，在指示器的萤光屏上，就产生一条称作扫描线的亮线指向该方位。因之，随着天线的旋转，萤光屏上的扫描亮线与天线以同一角速度旋转着，这样当天线朝向船首方向时，扫描亮线就指在萤光屏边缘刻度盘上的 0° ，整个刻度盘以船首方向为基准，分成 360° 。这样，天线在某一个方向上接收到回波，萤光屏上也在这一个方向上出现

亮点，从刻度盘上，我們就可讀出物标与船首方向的相对方位一舷角，再加以航向的校准，就可得到物标的真方位了。

新型的雷达在雷达指示器上有与电罗經同步的设备，不管航向如何变动，指示器刻度盘的頂部永久是真北方向，这样就能方便地直接讀出物标的真方位，与海图相对照和比較也就相当方便了。

§4 雷达的主要組成部分和它們的功用

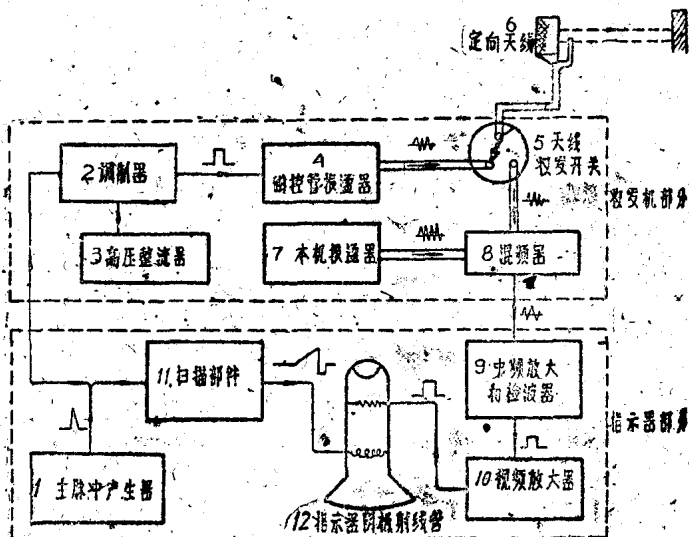


图1-2 雷达主要組成部分的示意方框图

上图所示为雷达的方框图，現在我們简单地叙述各部分的功用。

主脉冲产生器 1，是产生称为触发脉冲的装置，由它产生的尖锐的原始触发脉冲，同时送到发射系统和接收系统去，使雷达的各个部分在時間上能协调一致地工作。

現在，我們分開兩個系統——雷達的發射系統與接收系統對雷達其它的各個部分加以敘述。

觸發脈沖從主脈沖產生器送出，一部分送到調制器2去，調制器將所接到的觸發脈沖加以放大，並輸出具有一定時間寬度的脈沖，使平時高壓整流器3為磁控管4準備好的高壓，就在這一脈沖時間內加到磁控管的陰極上去，磁控管就產生了超高频的脈沖振盪，由導波管送到天綫向外發射，也就是說，調制器控制了雷達發射脈沖的持續時間。

既然磁控管振盪器產生超高频的脈沖，可以直接送到天綫向外發射，可是為什麼在方框圖上要經過一個天綫收發開關5呢？

原來，一般雷達發射脈沖波和接收回波是共用一個天綫的，因此，發射與接收都要經過到天綫去的導波管，如果沒有天綫收發開關，強大功率的發射脈沖將射到接收機的混頻器8去，就會燒壞担任混頻作用的晶体，所以讓導波管通過天綫收發開關，當發射時，它會自動地將導波管通到接收機的一路封死；而當接收時，它又能使回波不會進入發射機中去，全部進入接收機內，使得發射和接收互不妨礙。

我們已經知道了雷達發射脈沖波的过程，再來看看雷達接收的过程。

雷達發射脈沖微波，如遇到物標，將由天綫接收到反射回來的回波，經過天綫收發開關進到混頻器8中，同時混頻器還送入由本机振盪器7送來的微波電磁振盪，本机振盪器的作用原理和超外差式收音机的本机振盪器相仿，不過在雷達中，本机振盪器是由特殊的電子管——回復調速管來產生超高频的微波電磁振盪，送到混頻器去。混頻器本身，主要是一個晶体，將回波与本机振盪器送來的微波進行差頻，獲得中間頻率為30

兆周至60兆周的电磁振荡，送到**中频放大和检波器**9去。整个中频放大器都调谐在中間頻率附近，将差頻后的回波振荡进行一系列的放大，经过检波，取得类似收音机中音頻地位的視頻电波，送到**視頻放大器**10加以放大，然后送到**指示器阴极射线管**12的控制栅极中去，于是在螢光屏上已有的扫描綫上，就重送了一个更为明亮的亮点。

附帶提一下，在指示器中有一个充气电子管担任产生船舶航向标志的作用，这一个电子管是由天綫控制的，当定向天綫轉到船首方向时，有凸輪使一个触点閉合，这一电子管就导电，使指示器的螢光屏在船首方向上出現一条亮綫。

前面講到，雷达接收到了回波，将它送到指示器阴极射线管中去，只是使螢光屏上出現亮点而已。但究竟怎么知道物标的距离呢？这就必須提到雷达的另外一个重要組成部分，那就是担负計时任务的**扫描部件**9。

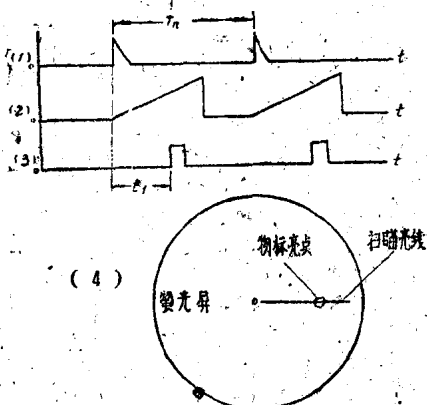


图 1-3

扫描部件是把从主脉冲产生器送来的触发脉冲，如图1-3(1)，变成锯齿形的脉冲波[图1-3(2)]，然后送到阴极射线管的偏轉綫圈上去，产生感应磁場，使原来阴极射线管向螢光屏中心发射的电子，受此磁場作用力，而由中心向外偏移，扫描这一条亮綫，这就是前面所提到过的扫描綫。因为锯齿形波开始出現，正好是触发脉冲送来的时刻，也就是雷达向外发射的时刻。当回波回来时，由于迟了一定時間，在螢光屏上显现

的回波亮点因锯齿形波的作用，就出现在离中心点一定距离的地方〔见图1-3(4)〕，这样从特殊的距离亮圈上可以读出物标的距离来。

图1-4表明雷达各部分产生脉冲波对应的时间关系，图中1

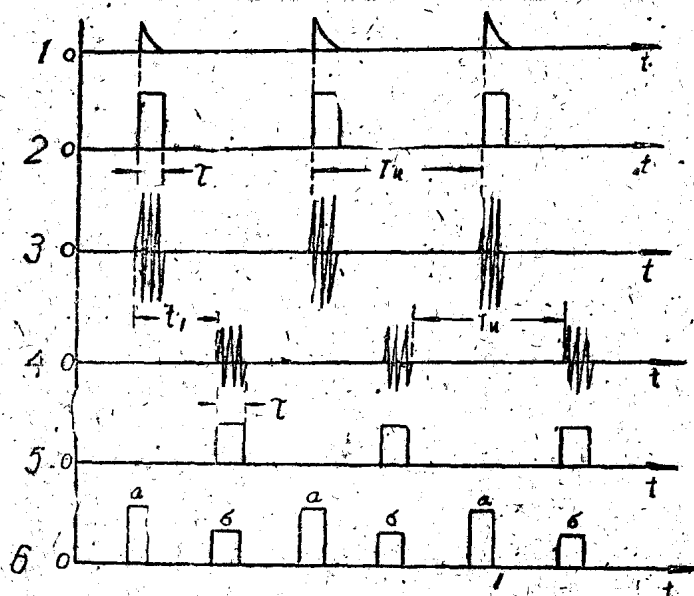


图1-4 雷达各部分工作图

是主脉冲产生器产生的触发脉冲，它限定了每两次脉冲发射的时间间隔 T_n ，图中2是调制器在接到了触发脉冲后，送出一具有一定时间宽度 τ 的脉冲，控制了图中3磁控管振荡器在这个时间宽度内产生的高频振荡，图中4是雷达天线接收到的回波，图中5是经过中频放大和检波器，以及视频放大器后，送到指示器阴极射线管的视频脉冲。发射脉冲和回波脉冲对应移动了一个时间间隔 t_i ，这就是发射脉冲波从发射直到由物标反射回来所需要的时间。

第二章 收发机部分

§1 微波振荡的产生

雷达接收机的主要部分之一是微波振荡器，由微波振荡器产生雷达发射所需要的、波长約在一米以下（即频率在 300 兆周以上）的电磁波。因为发射出去的电磁波只有极小部分遇到了障碍物，而且回波又只有极小部分回到接收机，所以发射出去的功率一定要十分强大，才能使接收机收到较强的回波。雷达所使用的电磁波频率这么高，以致使普通的电子管难以发挥它的作用，因为对一般电子管来说，在管子本身电极间呈现一定的极间电容，并且在引线上也会引起电容及电感，它们称为分布电容及分布电感，频率越高，它们影响电子管工作就越显著。此外，电子管的阴极和阳极有一定距离，电子离开阴极飞向板极需要一定的时间，当频率极高时，这个电子的渡越时间和极高频率的振荡周期相比较就不能忽视，电子管输出的功率受到很大的影响。所以在这样高的频率下，无论发射机也好、接收机的高频部分也好，都需要用某种特殊的电子管来完成。现在我们来谈谈雷达机中常用的高频电子管。

1. 橡实管 这种电子管的形象很象橡树的果实，外形很小，管中电极有三极、五极等。各极的基本原理和普通的电子管一样，但都很细小，各极的引线是以辐射的形状分布在玻璃壳的侧面，这样，各引线既短小，线与线之间的距离又远，所以，分布电感和分布电容都大大地减少了。此外，由于各极间距离很近，所以电子飞越时间也大大地减少了。这种电子管工

作频率虽可较普通电子管为高，但也不能过高，且功率小，所以一般只作超高频(几百兆周范围)雷达接收机的本机振荡器之用。现在一般微波雷达中的微波振荡器(如苏联聂伯东式雷达)都用调速管和磁控管。

2. 调速管 又称回复调速管，它是一种利用调变电子的速度而获得微波振荡的电子管，它不受电子飞越时间的限制。调速管有双腔式和反射式两种，目前常用反射式调速管来作雷达超外差式接收机中的本机振荡器，因此我们只谈谈反射式调速管一种。

反射式调速管的构造如图2-2所示，除了和普通电子管相似有阴极 K 、板极 A_2 和灯丝外，还有加速极 A_1 ，控制电极 g ，以

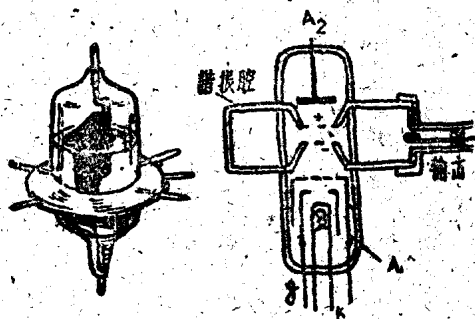


图 2-1

图 2-2

及多了一双由软金属制成的空腔，它叫谐振腔。而加给板极的是很高的负电压，板极 A_2 也叫排斥极或反射极，灯丝加热后，电子从阴极飞出，经过控制电极 g ，控制电极的作用是将射出的电子聚集成一束而发射出去。阴极和控制电极如一支枪一样，将阴极出来的电子集中打出去，所以又叫电子枪。从电子枪出来的电子在加速极 A_1 的作用下，以更高的速度跑向谐振