

航海业务知识丛书

(航海仪器部分)

船用雷达的原理和使用

许鼎伍 编著



人民交通出版社

180403

航海业务知识丛书

(航海仪器部分)

船用雷达的原理和使用

Chuanyong Leida De Yuanli He Shiyong

许鼎伍 编著

人 民 交 通 出 版 社

1983年·北京

航海业务知识丛书

(航海仪器部分)

船用雷达的原理和使用

许鼎伍 编著

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 4.75 插页: 1 字数: 92 千

1984年1月 第1版

1984年1月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—3,400册 定价: 0.91元

内 容 提 要

本书是船用雷达的基本读物。内容包括船用雷达的工作原理、主要元件的构造及功用、不同类型船用雷达各电路的不同特点及其工作过程。

同时，书中还介绍船用雷达正确的操作及使用，列举国内外船舶广泛使用较有代表性雷达的面板图、开关旋钮的功用和开机、关机的步骤等。

本书可供船舶驾驶人员、有关专业的学员以及船用、舰用雷达维修人员参考。

前 言

随着交通运输事业的发展，迫切需要有一支与其相适应的、具有一定科学文化水平的职工队伍。搞好全员培训，加强职工技术教育，实为当务之急。当前矛盾是：学习不能都进学校，在职自学又缺少合适的书籍。因此中国航海学会为普及和提高广大海员的航海科学技术水平，以适应航海事业现代化的需要，特倡议组织编写航海知识丛书。中国航海学会编辑委员会与人民交通出版社于1980年在上海组成了航海知识丛书编审委员会，由陈有义、印文甫分别担任正副主任，王世忠、赵国维任秘书。编审委员会开展工作以来，已组织了企事业、学校等专业人员在业余时间分别进行编写，丛书将先后出版，陆续与读者见面。

航海知识丛书根据专业性性质分为《航海业务知识丛书》和《轮机业务知识丛书》两套丛书。为了方便海员学习，力求结合实际，通俗易懂，并以小册子形式分专题出版。希望这两套丛书能不断为海员们业务技术学习作出贡献，同时也希望广大海员和航运单位大家共同来支持它和扶植它，使这两套丛书在不断更新中成为广大海员所喜爱的读物。

《航海知识丛书》编审委员会

目 录

第一章	概述	1
§1-1	雷达是如何工作的	1
§1-2	如何测量物标的距离	1
§1-3	如何测量物标的方位	4
§1-4	船用雷达的荧光屏如何形成船舶四周物标的 图像	5
第二章	船用雷达的组成及其功用	6
§2-1	中频电源	6
§2-2	收发器	7
§2-3	显示器	10
§2-4	天线	12
第三章	雷达主要元件的构造、工作原理 及其功用	13
§3-1	阴极射线管	13
§3-2	磁控管	16
§3-3	速调管	19
§3-4	收发管与反收发管	22
§3-5	刚性调制开关管（调制管）与闸流管	28
§3-6	混频晶体二极管	32
第四章	船用雷达各电路的功用及其工作原理	35
§4-1	触发电路	35
§4-2	预调电路	41
§4-3	调制电路	47

§4-4	高压及高压延时电路	58
§4-5	收发开关的引燃电路	65
§4-6	混频及自动频率微调电路	65
§4-7	前置中放电路	69
§4-8	主中放电路	72
§4-9	检波及视放电路	74
§4-10	海浪干扰抑制电路	75
§4-11	扫描电路	77
§4-12	固定距标电路	81
§4-13	活动距标电路	84
§4-14	船首标志电路	88
§4-15	雨雪干扰抑制电路	91
§4-16	聚焦电路	93
§4-17	中心偏移电路	95
§4-18	同步电路	97
第五章	船用雷达的操作及使用	100
§5-1	船用雷达的开关、旋钮及其功用	100
§5-2	如何正确操作和使用雷达	101
§5-3	常见船用雷达的面板图及其操作使用	102
一、	国产751雷达	102
二、	国产752雷达	106
三、	国产753雷达	108
四、	英制台卡404雷达	110
五、	英制台卡 RM314~429系列雷达	112
六、	英制台卡 TM-629雷达	114
七、	英制台卡1229雷达	118
八、	日制 MR-101雷达	120
九、	日制 MR-100E雷达	121

十、日制 MR-1200 雷达	123
十一、SPERRY MR-160AX 雷达	126
十二、美制 RAYTHEON-50XR16 雷达	128
十三、英制马可尼 RADIOLOCATOR-16 雷达	132
附录 船用雷达的安装和调试	134
参考书目	142

第一章 概 述

§1-1 雷达是如何工作的

雷达是利用无线电波对物标进行探测的一种装置。

无线电波按其波长划分为超长波、长波、中波、短波、超短波及微波；按频率划分为超低频、低频、高频、特高频及超高频等几个范围。

雷达的工作频段属超高频，其波长属微波波段。

一般船用雷达的频率在 3~30 千兆赫 (kHz)，其波长在 10~1 厘米之间。

属于这一频段的无线电波在空间传播遇到障碍物时，不同于其它波长较长的电波，容易产生绕射（即绕过障碍物继续向前传播）的现象，而具有沿着与电波传播方向相反的途径反射的特性。

雷达就是利用微波波段的无线电波能够产生反射的特点，用来探测某个方向是否存在物标（障碍物），以及所测物标与雷达发射机之间的相对距离和方位。

§1-2 如何测量物标的距离

从雷达发射机发出的是一种以电场与磁场相互作用的形式在空间行进的无线电波称“电磁波”。它在空间传播的速度经实验证明每秒约 30 万公里。

由于传播的速度是固定的，因此，只要测得电磁波从发

射点出发并被物标反射返回到发射点所需的时间，就能计算出物标与发射点之间的距离。其公式为：

$$\text{物标距离} = \frac{\text{电磁波传播速度} \times \text{电磁波往返所需时间}}{2}$$

$$\text{即} \quad D = \frac{V \times T}{2}$$

在实际应用时，每秒30万公里这个单位太大了，故常以一秒的百万分之一即微秒（ μs ）来计算。电磁波1微秒的传播距离即为300米。

现假设雷达的电磁波从发射机发出经1微秒之后接收到物标反射的回波，代入公式：

$$D(\text{米}) = \frac{V(\text{米/微秒}) \times T(\text{微秒})}{2}$$

$$\text{求得两地之间的距离 } D \text{ 为: } \frac{300 \times 1}{2} = 150 \text{ 米}$$

在海上，海里的长度是以经度的 $\frac{1}{60}$ （即一分）来计算。

1海里约为1852米。因此电磁波在1海里的距离内一个往返需时12.3微秒左右。

但微秒这样的单位相对来说又太小了，任何种类的钟表都无法加以计算。用什么方法才能把电磁波往返传播的时间迅速而精确地加以测量？

在雷达的显示器中，有一个和电视机的屏幕一样用以显示图像的“显像管”。通过这个显像管就能迅速而精确地测量出物标的距离。

当电视台未播送节目时，打开电视机可以看到屏幕上由一根根细亮线组成一幅“光栅”。这些细亮线称为“扫描线”。

电视机扫描的程序是从屏幕的左上方开始向右扫描，当扫完第一行之后迅速返回到左方的位置再进行第二行的扫描……这样一行行从左到右从上到下形成的一根根扫描线就组成电视机的光栅。

船用雷达为了要显示船舶四周物标的图像，大多采用圆形的显像管，并把显像管屏幕的中心定为船舶所在位置，称“船位”。因此，雷达的扫描是从中心开始沿着半径的方向向外扫。当到达荧光屏的边沿后，迅速返回中心再进行第二次、第三次……的扫描。这样，显像管就可以看到一根径向的扫描线，如图1所示。

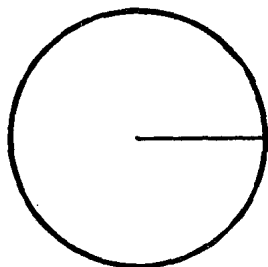


图1 雷达的径向扫描线

扫描线从中心偏转到边沿的速度是受到控制的，使偏转所需的时间对应于预定要探测的最大距离。

例如要观测12海里范围的海上物标，就必须使扫描偏转的时间为 $12 \times 12.3 = 147.6$ 微秒。要观测24海里范围的物标，必须使扫描偏转的时间为 $24 \times 12.3 = 295.2$ 微秒……余类推。因此，虽然荧光屏半径的长度并没有改变，但通过量程开关的转换改变了扫描偏转的速度，同样长度的一根径向扫描线所代表的最大观测距离也就不同了。

现假设某一物标的回波在12海里量程扫描全程的 $\frac{1}{6}$ 处（即 $24.6\mu s$ ）出现，可知该物标距本船为2海里。如回波在 $73.8\mu s$ 处出现，即物标距本船6海里，余类推。

为使测量物标的距离方便起见，通常是在扫描线上面间隔一定的距离产生一个测距的标志（小亮点），如图2所示。

设半径的长度代表 12 海里，若从中心开始每隔 24.6 微秒加入一个测距标志，第 6 个标志就正好出现在屏幕的边沿（因 $24.6 \times 6 = 147.6$ 微秒与 12 海里所需的偏转时间相等）。

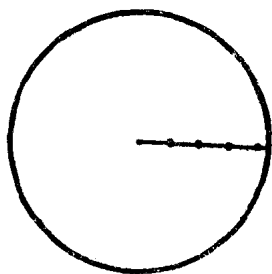


图 2 扫描线上的测距标志

如物标的回波在第一个测距标志处出现，其距离为 2 海里；如在第二个测距标志处出现，其距离即为 4 海里。……余类推。

每个观测范围产生一定数目的测距标志，而且标志的时间间隔是固定不变的，这种测距标志叫“固定距标”。

利用固定距标去测量物标的距离使用起来不够方便，因有时物标在两个距标之间出现不能与距标相重叠，物标的距离就只能作大约的估计。

采用一种产生单一标志称“活动距标”的电路，只要转动此电路的“测距”电位器手轮，一个可以连续调整距离的测距标志就能在扫描线的任何位置出现。观测时只要转动手轮使标志与物标重合，借助于手轮所带动的距离计数器或数字电路的数码管，便能迅速显示出物标距离的海里读数。

§1-3 如何测量物标的方位

上面在介绍物标距离的测量时，是以扫描线固定在显像管某个固定方向做例子的。但船用雷达需要观测船舶四周物标的图像，因此必须使扫描线以荧光屏中心为转轴作 360° 的旋转。为此，一般是把套在显像管管颈的“偏转线圈”制成可以转动的（有的雷达的偏转线圈是固定不动的，设法使

线圈产生旋转磁场)，并由一个“同步电机”带动，使它围绕管颈不断地旋转，扫描线就跟着转动起来了。

但扫描线的转速及其方向不能是随意的，它必须受雷达天线严格的控制，目的是使扫描线的方位与电磁波发射的方向（也就是物标的方位）随时保持一致。

电磁波是由天线定向发射的。因此，只要知道雷达天线的方向，就能测得物标的方位。

§1-4 船用雷达的荧光屏如何形成 船舶四周物标的图像

船用雷达均采用圆形的显像管。在一般情况下，扫描是从显像管的中心开始（真运动的显示方式除外），并把圆心作为本船的船位。

为了显示船舶四周物标的图像，除设法使电磁波发射的方向作 360° 的旋转外，还必须使扫描线以圆心为转轴，保持与电磁波发射的方向同步地转动。

雷达的天线部分有一个用以推动天线转动的电机（即天线马达），它除了转动天线以改变电磁波反射的方向外，还带动一个“同步发送机”一起旋转。同步发送机把天线转动的“方位信号”不断地发送到安装在显示器的“同步接收机”，同步接收机就带动偏转线圈一起转动，使扫描线的方位随时与天线的方位保持一致。

由于扫描线随天线均匀平

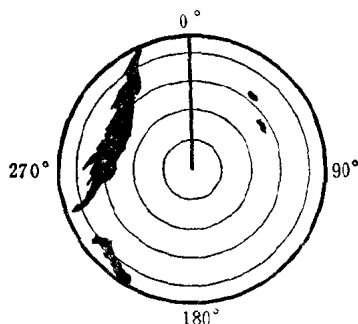


图8 荧光屏上的雷达图像

稳地转动，各个不同方位扫描线上面所显示物标的亮点，就拼接起来成为一幅以船位为中心的船舶四周物标的图像。而原来叠加在扫描线上的测距标志亮点，随着扫描线的旋转也连接成为一个个等距离的同心圆——固定距标圈。

最后，使天线每次转动到船首方向时接通一个“船首标志”开关（或触点），使荧光屏方位刻度盘的零度处产生一根代表船首方向的亮线，一幅完整的雷达图像就出现在雷达的荧光屏上，如图 3 所示。

第二章 船用雷达的组成及其功用

船用雷达通常由中频电源、收发器、显示器及天线等四大部分组成。

§2-1 中 频 电 源

大部分雷达都采用 1,000 赫的中频电压作为它的电源。这是因为采用中频电源对电路及雷达的结构具有许多有利的因素。例如，可利用极为简单的电路从 1,000 赫的交流电压直接产生 1,000 赫的同步脉冲。其次，电源的周率高了（相对于 50 赫的频率而言），机中变压器、同步机等体积可大大缩小，而滤波、倍压等电路相对说可以简化，元件的体积、容量均可大为减小。

有的雷达采用 50 赫、60 赫或直流船电作为它的输入电压，但往往不是将上述电压直接供雷达使用，而是先由一种叫做“逆变器”的电路将不同的输入电压变换成中频之后才输出供雷达使用。

获得中频电源有两种常用的方法，目前应用较多的是中频变流机组，另一种方法就是使用逆变器。

中频变流机组是由共用一根转轴的电动机及发电机两部分组成。由于不同船舶的电源各不相同（常见的有交流单相100、110、115、220伏，三相220、380、440伏，周率50或60赫。以及直流24、110、220伏等几种），因此电动机的额定电压必须与船电一致。

当船电输入后电动机立即转动，并以预定的转速带动转轴的中频发电机一起旋转，使发电机发出预定频率与幅度的中频电压。

逆变器是由硅可控整流器或大功率晶体管组成，由对应于所需中频频率的触发脉冲控制其导通及截止，使逆变器电路中电源变压器初级绕组电流的方向，对应于中频的频率交替地变换，变压器的次级绕组就可获得所需的中频电压。

逆变器必须工作在直流电压，若船电为交流，需经整流后方可输入。

有的雷达把逆变器构成一个独立的单元以代替中频机组，但有的雷达却把逆变器分散安装于收发器及显示器的电路之中。这种类型雷达外观上只有收发器、显示器及天线等三大部分，但实际上各种类型的雷达是少不了中频电源这一单元。

§2-2 收发器

雷达的收发器包括发射及接收两个部分。在发射部分，最主要的是一个能够产生大功率超高频振荡的磁控管（参阅§3-2）。磁控管的输出与波导（即导波管）相联接，当它受预调（预先调制）及调制电路（参阅§4-2、§4-3）的控制产

生超高频振荡时，电磁波就沿波导向天线传播，并由天线聚成“波束”向探测的方向发射出去。但电磁波的发射不应是连续不断的，不然从物标反射的回波就会先后相互混淆无法进行距离的测量。

因此，雷达发射机的发射必须是间断进行的，而两次发射的间隔必须足够长，应等到预定最大探测距离的回波到达后才允许作第二次发射。这种和人体脉搏一样断续的工作方式称为“脉冲调制”。其工作情况如图4所示。

图4为雷达发射机工作示意图。其发射时间一般仅持续零点零几微秒到几微秒，而休止时间为数百微秒到数千微秒，视不同雷达触发脉冲的频率而定。

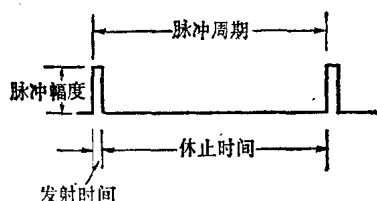


图4 雷达发射机工作示意图

脉冲幅度即磁控管的最大输出功率称“峰值功率”，一般船用雷达从几千瓦到几十千瓦之间。

如何控制磁控管按照预定的周期、宽度进行振荡以产生大功率的脉冲？这些过程是由收发器中的触发、预调及调制等三个电路共同完成的。

首先由触发电路产生预定频率的脉冲（船用雷达一般在427~3,400赫之间）。预调电路再把从触发电路来的脉冲（此脉冲的宽度较大，甚至达100~200微秒，且波形不佳）转换成磁控管发射时严格要求的窄脉冲称“预调脉冲”。最后由调制电路把预调脉冲的幅度提高到2~8千伏左右（视不同类型的雷达而定）使磁控管产生振荡。

从上述可以看出，触发电路决定脉冲的频率，预调电路决定脉冲的宽度，而调制电路决定脉冲的幅度。

有些雷达采用“软性调制”的工作方式（参阅§4-3），把预调及调制两电路的功用合并在一起。

此外，在雷达的发射部分，还必须有一个供给调制电路10~14千伏高压的整流电路。同时，高压电路需附加自动延时装置，一般在开机三分钟后才把高压接入调制电路，以免过早导致磁控管的损坏。

在收发器的接收部分，包括本振（本机振荡器）、混频、前中（前置中频放大器）、主中（主中频放大器）及预视放（视频预先放大器）等电路。

由于磁控管产生的是超高频振荡（三厘米雷达的中心频率为9375兆赫），从物标反射回来的回波其频率是不变的。对于这样高的频率的回波信号，接收机是没有放大的能力的，唯一的办法是设法使回波的频率变为中频（船用雷达常用的中频为30~60兆赫），它才有可能被接收机接收和放大。

本振电路采用速调管产生一个比磁控管高或低一个中频（即9,405或9,345兆赫）的超高频振荡。其频率的高低可由自动频率控制电路（参阅§4-6）跟随磁控管频率的变化自动升高或降低，或以手调电位器改变速调管反射极电压的方法改变其振荡频率（参阅§3-3）。

速调管振荡的频率与物标回波的频率在雷达的晶体进行“混频”，晶体就输出两个频率的差频（即中频）送到前中频进行放大。

前置中频放大器是为提高接收机的“信噪比”（信号与噪声的功率比）而设计的电路。提高信噪比是提高雷达作用距离的重要措施之一（参阅§4-7）。

经前中放大的回波信号输出到主中频放大电路。主中频回波信号放大的主要电路，对主中电路的要求除必要的增益