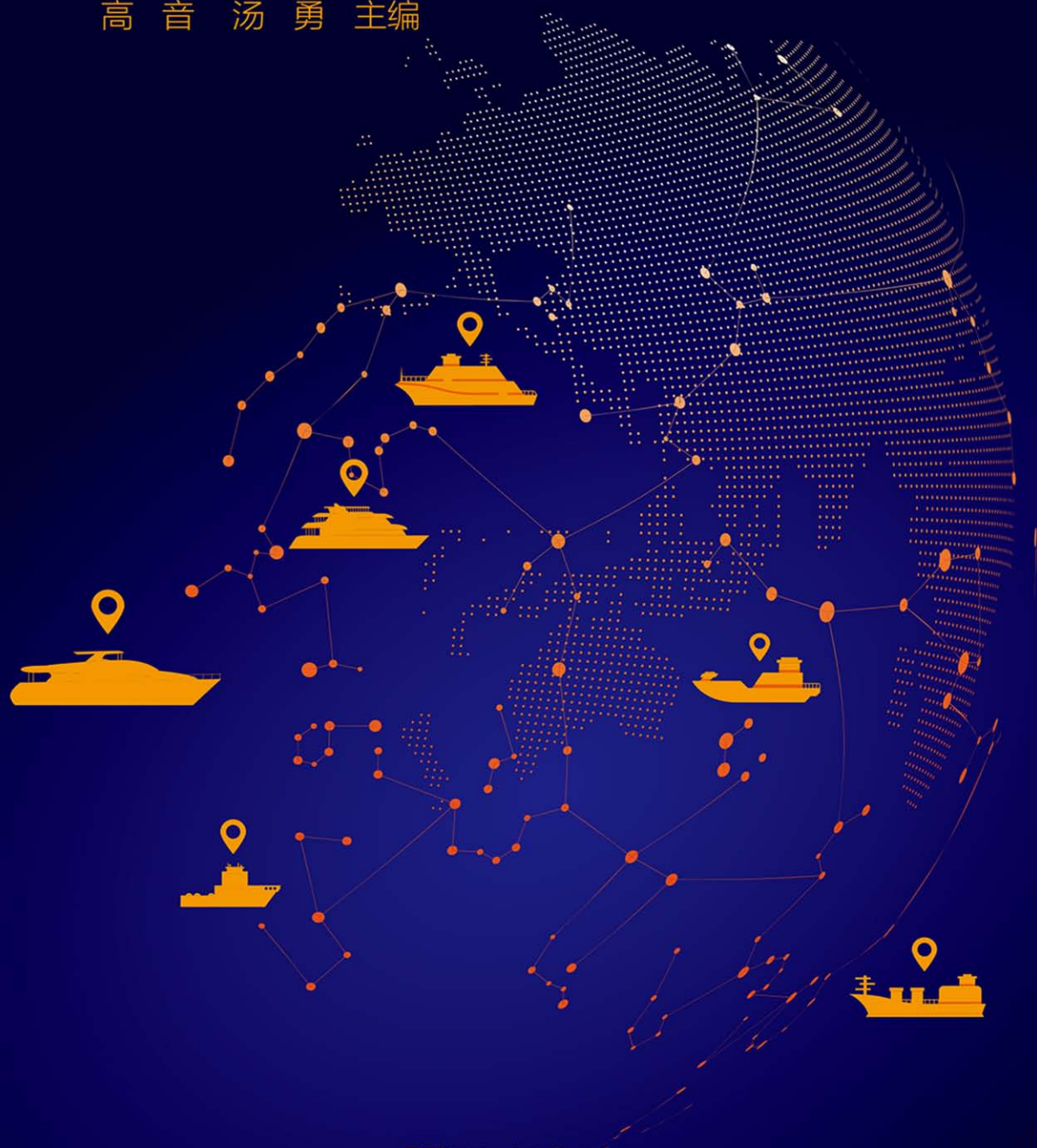


船用导航仪器

高音 汤勇 主编



辽宁科学技术出版社
LIAONING SCIENCE AND TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

船用导航仪器



高 音 汤 勇 主 编

辽宁科学技术出版社
· 沈阳 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

船用导航仪器/高音, 汤勇主编. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2018.8

ISBN 978-7-5591-0829-6

I. ①船… II. ①高… ②汤… III. ①航海导航—
导航设备 IV. ①U666.1

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第136026号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路25号 邮编: 110003)

印 刷 者: 辽宁鼎籍数码科技有限公司

经 销 者: 各地新华书店

幅面尺寸: 170 mm × 240 mm

印 张: 25.5

字 数: 510 千字

出版时间: 2018 年 8 月第 1 版

印刷时间: 2018 年 8 月第 1 次印刷

责任编辑: 卢山秀

封面设计: 魔杰设计

版式设计: 晓 娜

责任校对: 栗 勇

书 号: ISBN 978-7-5591-0829-6

定 价: 58.00 元

联系电话: 024-23284740

邮购热线: 024-23284502

内容简介

本书共分八章，内容包括雷达、全球卫星导航系统（GNSS）、船舶自动识别系统（AIS）和探鱼仪等设备及系统的基本工作原理、系统组成和使用保养等。编写中参照了 STCW 公约中的相关要求；书中所编辑的内容包括各系统的一些最新动态，并对所涉及的典型设备的使用做了一定深度的论述。

本书可作为高等院校海洋渔业本科“导航仪器”课程的教材，也可作为海洋、水产等航海有关专业的参考书。

FOREWORD

前言

鉴于现代导航科学技术的迅猛发展，特别是计算机网络技术、信息处理技术、通信导航技术和卫星定位技术等不断涌现，使船舶导航定位及水下监测正在向自动化、信息化和智能化方向发展。为适应船舶现代应用的需要，书中所编辑的内容包括各系统的一些最新动态信息；另外，编写中也参照了 STCW 公约中的相关要求，同时，为满足海洋、水产方面的需求，增加了探鱼仪等设备，增大了本书适用的范围。书中重点介绍了船用雷达、北斗和 GPS 卫星导航系统、船舶自动识别系统、探鱼仪和网位仪等设备的基本工作原理、系统组成、误差及其消除和使用保养等；在本书的最后，介绍了国内当前较普遍和有代表性的几种典型设备的操作使用，以帮助读者在今后操作其他型号的相关设备时，熟悉其基本的操作方法，能做到触类旁通。

全书由高音、汤勇主编，邢彬彬为副主编。第一、二、三、四章雷达部分，第五章卫星导航部分，第六章第一、二、三、四、五节 AIS 部分和附录由高音编写；第六章第六节和第八章第四节 AIS 部分由邢彬彬编写；第七章和第八章第五节探鱼仪部分由汤勇编写；第八章第一、二、三节雷达，GPS 和北斗操作部分由陆栋编写。本书初稿完成后，经讨论和修改，最后由高音、汤勇编审定稿。本书可作为海洋渔业专业本科学学生教材，也可供海洋、水产等航海相关专业的人员作为参考。

由于水平有限，编写时间仓促，书中难免有错误之处，恳切希望使用本书的教师与其他读者批评指正。

编者

2018 年 1 月

目 录

>>

CONTENTS

第一章 船用雷达

绪论	1
第一节 雷达的基本组成及工作原理	2
第二节 雷达发射系统	5
第三节 雷达接收系统	13
第四节 雷达双工器	20
第五节 雷达微波传输及天线系统	23
第六节 雷达显示系统与电源	31
第七节 雷达显示方式	37
第八节 双雷达系统及性能监视器	42
思考题	46

第二章 雷达观测

第一节 雷达观测性能及影响因素	48
第二节 雷达目标回波的特点	58
第三节 雷达干扰回波	65
思考题	71

第三章 雷达操作方法

第一节 主要按钮操作要领	72
第二节 雷达基本操作方法及维护保养	77
思考题	79

第四章 雷达定位与导航

第一节 雷达定位	80
第二节 雷达定位精度	83
第三节 雷达导航	89
思考题	97

第五章 全球卫星导航系统

第一节 卫星导航发展概况	98
第二节 卫星导航系统的特点及分类	103
第三节 GPS 卫星导航系统构成	109
第四节 GPS 定位原理	116
第五节 GPS 定位误差	118
第六节 DGPS 卫星导航系统	126
第七节 GPS 在船舶导航上的应用	133
第八节 GPS 在航海测量中的应用	141
第九节 北斗卫星导航系统	145
第十节 格洛纳斯和伽利略卫星导航系统	163
第十一节 GNSS 全球卫星导航系统的应用	175
思考题	182

第六章 自动识别系统 (AIS)

第一节 概述	183
第二节 AIS 构成及工作原理	187
第三节 船载 AIS 信息	201
第四节 AIS 航标	207
第五节 船载 AIS 设备基本操作	215
第六节 船载 AIS 设备应用的可靠性分析	222
思考题	228

第七章 探鱼仪

第一节 探鱼仪简介	230
第二节 渔业声学的基本原理	236
第三节 探鱼仪的换能器	249
第四节 垂直探鱼仪	256
第五节 水平声呐	271
第六节 声学网具监测装置	279
思考题	282

第八章 几种典型仪器的操作方法

第一节 雷达的操作方法	283
思考题	301
第二节 GPS 的操作方法	302
思考题	320
第三节 北斗终端的操作方法	320
思考题	334
第四节 船载 AIS 设备的操作方法	334
思考题	351
第五节 探鱼仪的操作方法	351
思考题	380

附录 中英文对照

雷达部分	381
GNSS 部分	384
AIS 部分	389
探鱼仪部分	391

参考文献	396
------	-----

第一章

船用雷达

绪论

雷达 (Radar: Radio detection and ranging) 是一种以无线电波探测和测距为目的的装置。雷达最早出现在 20 世纪 30 年代后期,它是利用本身所发射的脉冲电磁波,遇到目标后,产生反射回波的原理来测定目标的方位和距离的。

由于雷达应用电磁波探测目标,它不受黑夜的限制,受雨、雾等天气条件的限制也不大,而且作用距离较远,显示直观且使用方便,因此,自第一部雷达 1937 年问世,在第二次世界大战后民用雷达得到了广泛的应用。随着电子技术的迅速发展,雷达在理论和技术上得到不断的提高和发展,性能日趋完善,应用也越来越广,雷达也从传统的单脉冲发射与接收,发展到 2008 年出现全集成固态化复杂调制技术,除了在军事上得到了广泛应用外,在民用和科研方面,如航海、航空、港口和狭水道导航和交通管制、空中交通管制、气象观测、射电天文、地形测绘、卫星跟踪等也都广泛使用了雷达。

雷达种类很多,可按多种方法分类:

①按定位方法可分为:有源雷达、半有源雷达和无源雷达。

②按装设地点可分为:地面雷达、舰载雷达、航空雷达、卫星雷达等。

③按辐射种类可分为:脉冲雷达和连续波雷达。

④按工作波长波段可分为:米波雷达、分米波雷达、厘米波雷达和其他波段雷达。

⑤按用途可分为:军用雷达(侦察雷达、武器控制雷达、飞行保障雷达);民用雷达(目标探测雷达、导航雷达);科研用雷达(气象雷达)等。

这里介绍的是民用中的导航雷达。导航雷达的一般特点是具有较远的作用

距离，其测距、测向的精度也较高。若配有自动雷达标绘装置的雷达，不仅能显示周围的船舶、岛屿、礁石、岸形等目标，随时读出所需要的目标的距离和方位，而且能显示出哪些船舶何时、何处与本船发生碰撞的危险；在判断出有碰撞危险后，不仅能发出音响或闪光警告，还能给出最佳的避让方案，等等。

雷达与其他导航仪器所不同的是它不像罗兰系统、奥米伽系统和卫导导航系统等仪器需要利用岸上或空中专用发射系统发射电磁波，而是利用本身的发射机发射电磁波，利用接收机接收目标的反射回波的信号，定出船位，同时很直观地把海面上的情况通过荧光屏显示出来。不需要像发射台等一些辅助设施，这是雷达的最大特点。但它也像其他仪器一样，单独使用并不一定能保证航行的安全。如雷达的海浪抑制和雨雪开关，不仅能抑制海浪和雨雪的干扰回波，同时也减弱了目标的回波，使荧光屏上失去目标，或由于操作不当，使雷达荧光屏上出现与实际情况不符合的图像，使操作人员产生判断上的错误。为充分发挥雷达的助航作用，必须充分了解雷达的原理和特点与性能方面的知识，以便正确地使用雷达。

第一节 雷达的基本组成及工作原理

一、导航雷达的基本组成

导航雷达的型号很多，但基本组成大致相同，主要由电源设备、定时器、双工器、天线、发射系统、接收系统和显示系统 7 个部分组成。雷达的基本组成如图 1-1-1 所示。

（一）电源设备（Power Supply）

雷达需要稳定可靠的电源，所以雷达都有专用的电源设备，以便将船电变成雷达所需的电源，同时也防止了其他高频用电设备和低频电源对雷达的干扰。

（二）定时器（Trigger; Timer）

又称触发脉冲产生器或触发电路，一般装在收发机内，是协调雷达系统的基

准定时电路单元，该电路产生周期性定时（触发）脉冲，分别输出到发射系统、接收系统、信息处理与显示系统以及雷达系统的其他相关设备，用来同步和协调各单元和系统的工作，也就是雷达的指挥中心，收发机和显示器都受它指挥。

（三）收发机：由发射系统、接收系统和双工器组成

1. 发射系统 (Transmitter)

是在触发脉冲的控制下，由磁控管振荡器产生具有一定宽度、大功率的雷达脉冲。

2. 接收机 (Receiver)

将目标的反射回波信号进行变频、放大、检波变成视频脉冲信号，然后经过视频放大后送至显示器。

3. 双工器 (T-R switch; T-R cell)

用来自动转换收发通路，使发射系统和接收系统合用一个天线。

（四）天线 (Scanner; Antenna; Aerial)

是将发射机发射的脉冲信号以极高的定向性，辐射到空间，并接收该方向的反射信号，传至接收机。

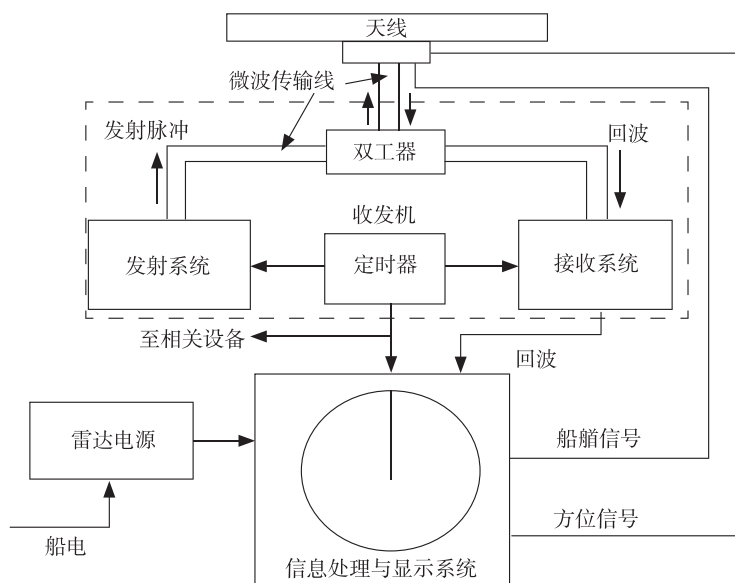


图 1-1-1 雷达的基本组成

（五）显示系统（Display System; Indicating System）

根据接收机送来的回波信号及天线送来的方位信号，将目标回波按它们的距离和方位显示在荧光屏上，可随时测量到目标的距离和方位。

二、雷达的测距原理

雷达发射的超高频无线电波在空间传播时基本上是等速直线传播，而且遇到目标后产生反射回波，若能测量出电波往返于天线与目标之间的时间 Δt ，就可根据下式求出目标离天线的距离 D 。

$$D = C \cdot \Delta t / 2 \quad (1-1-1)$$

式中：

C ：电磁波传播速度，约为 3×10^8 m/s；

Δt ：电磁波从天线出来到被目标反射回来的往返时间，一般是以 μs 计量的，显然用机械的方法是不可能的，如果电子从雷达荧光屏几何中心到目标反射回波在荧光屏上的显影前沿的时间正好对应于电磁波从天线出来到被目标反射回来的往返时间 Δt ，使之转化为距离，就可测量出目标到天线的距离。

实际上，在雷达发射脉冲的瞬间，显示器立即开始扫描，待脉冲电磁波由目标反射回到被天线接收时，该回波脉冲又立即显示在扫描线上，使荧光屏上出现目标的影像，而扫描线是荧光屏上的一个亮点按一定速度移动而形成的，其总长度代表一定的时间，只要量取扫描线起点到回波脉冲的长度，即代表雷达脉冲往返的时间 Δt ，可以换算目标到天线的距离 D ，并在显示器上直接读出。

三、雷达的测向原理

雷达采用的是定向圆周扫描天线，它集中地向某一方向发射，也只能接收该方向上目标的反射回波，同时，天线在水平方向上 360° 旋转，天线在转动的同时，同步系统使荧光屏上的扫描线跟随天线同步旋转，当目标产生回波后，经显示器显示在荧光屏的相应的位置上，只要根据扫描线的方向（即天线的方向），就可测量被测目标的方位。

雷达测距、测向和屏幕如图 1-1-2 所示。

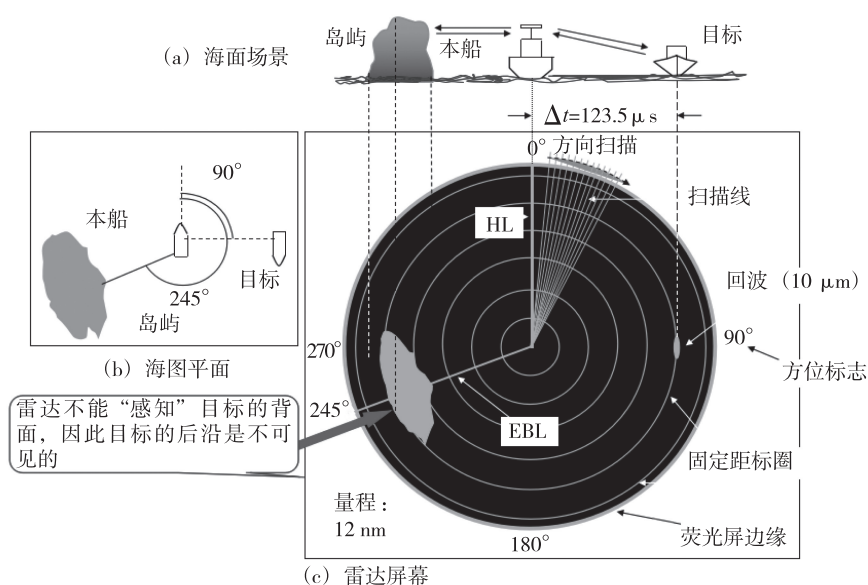


图 1-1-2 雷达图像距离与方位测量

第二节 雷达发射系统

一、发射系统主要技术指标

(一) 工作波长 λ (Wavelength)

发射机的工作波长就是磁控管振荡器产生的超高频脉冲波的波长。船用雷达的工作波长允许的范围是：

S 波段 7.5 ~ 15cm

X 波段 2.4 ~ 3.75cm

与它对应的工作频率范围为：

S 波段 2 000 ~ 4 000 MHz

X 波段 8 000 ~ 12 500 MHz

目前船用雷达使用的频率范围为：

S 波段 2 900 ~ 3 100 MHz

X 波段 9 300 ~ 9 500 MHz

(二) 脉冲宽度 (Pulse Length; Pulse Width)

脉冲宽度就是射频脉冲振荡持续的时间，一般用 τ 表示。在船用雷达中常用 μs (微秒) 为单位。船用雷达中，考虑了各种要求， τ 一般选在 $0.05 \sim 2\mu\text{s}$ 之内。

(三) 发射功率 (Transmitted Power)

发射功率可分为峰值功率 P_k (Peak Power) 和平均功率 P_m (Average Power)。峰值功率是指在脉冲期间的射频振荡的平均功率，一般较大，船用雷达的峰值功率在 $3 \sim 75\text{ kW}$ 之间。平均功率是指在脉冲重复周期内输出功率的平均值，因此，数值很小。它们之间的关系为：

$$p_m=p_k\frac{\tau}{T}$$
 (1-2-1)

式中：

τ 为脉冲宽度；

T 为脉冲重复周期。

可见，平均功率仅为峰值功率的几百分之一或几千分之一。

(四) 脉冲波形 (Pulse Wave Shape)

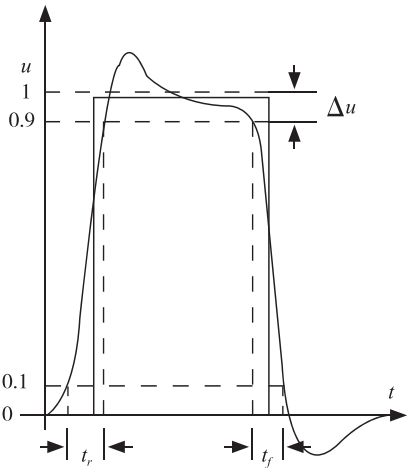


图 1-2-1 脉冲波形

这里指的是发射脉冲的波形，即发射脉冲的包络形状，如图 1-2-1 所示。一般说来，波形越接近矩形越好。在相同的脉冲宽度下，越接近矩形，能量越大，作用距离越远；前后沿越陡，测距精度和距离分辨力越高；矩形脉冲顶部越平坦，脉冲持续期中的发射功率和频率越稳定。通常脉冲前沿上升时间 t_r 为脉冲宽度的 $0.1 \sim 0.2$ ，后沿下降时间 t_f 为脉冲宽度的 $0.2 \sim 0.4$ ，顶部波动值为 $2\% \sim 5\%$ 。

二、组成及各部分作用

船用雷达发射系统的基本组成框图如图 1-2-2 所示。

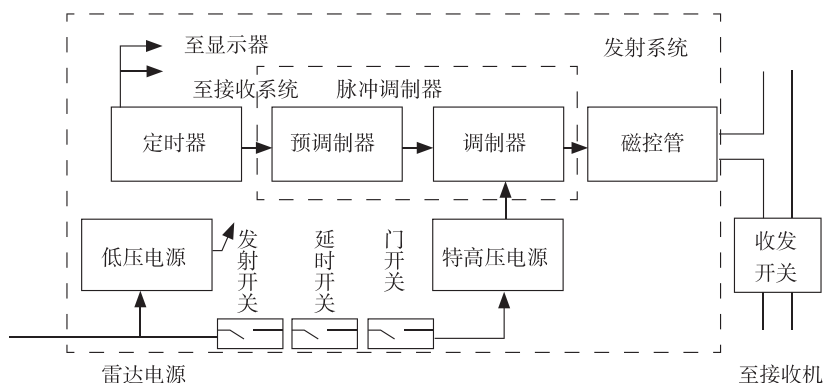


图 1-2-2 雷达发射系统

（一）定时器

定时器常被称为触发脉冲产生器，其作用是每隔一定时间产生一个触发脉冲，分别送到发射系统、接收系统和显示器，使它们同步工作。触发脉冲的形成电路通常是一个用中频电源同步的自激间歇振荡器，一般装在发射机里。现代船用雷达为提高测距精度，采用一种晶体高频振荡器作为整个雷达的时间基准器，装在显示器里。此时，触发脉冲便由此高频振荡器产生的高频振荡分频得到。触发脉冲及发射机各级波形的时间关系如图 1-2-3 所示。

每秒钟内脉冲重复出现的次数，称为脉冲重复频率（Pulse Repetition Frequency，简称为 PRF，或用 F 表示）。相邻两个脉冲间的时间间隔称为脉冲重复周期（Pulse Repetition Period，简称为 PRP，用 T 表示）。显然， T 和 F 的关系为：

$$F = \frac{1}{T} \quad (1-2-2)$$

触发脉冲的重复周期应与显示器的测距范围（量程）相对应。比如，量程为 120 n mile（1 mile=1 852 m）时，120 n mile 处的目标回波要在发射后 $1\,481.6\,\mu\text{s}$ （ $120 \times 1\,852 \times 2 / 300$ ）才能返回天线。若此时用 $1\,000\,\mu\text{s}$ 作重复周期，则雷达在此周期内就收不到该目标了。但重复周期也不宜过大，否则在天

线旋转一周的时间内目标回波的脉冲积累数太少，回波强度变弱，影响雷达对近距离小目标的探测能力。

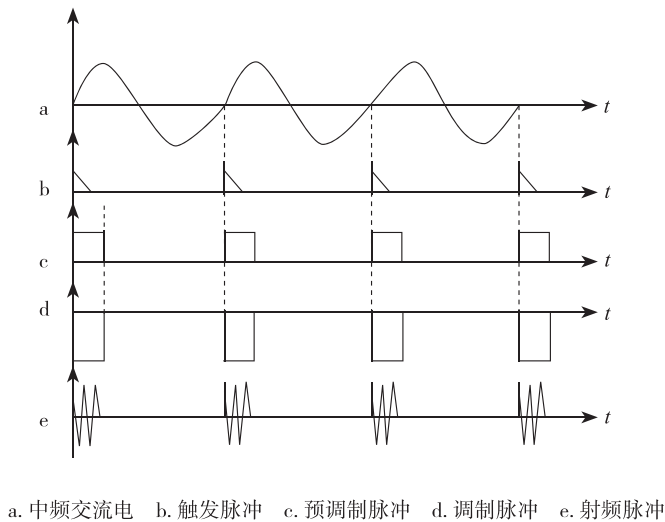


图 1-2-3 触发脉冲及发射机各级波形的时间关系

大部分雷达考虑了各种因素的影响，将脉冲重复频率随量程段改变，即在近、中、远量程段各选定一个脉冲重复频率，由量程开关控制变换。船用导航雷达的脉冲重复频率在 500 ~ 4 000 Hz 之间。表 1-2-1 列出了 Sperry 公司的 RASCAR 3400M 雷达不同量程段的脉冲重复频率。

	表 1-2-1 RASCAR 3400M 的脉冲重复频率			
	量程 (n mile)			
	0.25 ~ 1.5	3	6 ~ 12	24 ~ 96
脉冲重复频率 (Hz)	3 200	1 600	1 600	640
脉冲重复周期 (μs)	312.5	625	625	1 562.5

(二) 预调制器 (Pre-Modulator)

在触发脉冲控制下，预调制器产生一个具有一定宽度、一定幅度的正极性矩形脉冲（预调制脉冲）去控制调制器的工作。对预调制脉冲的波形和幅度的要求，视所用调制器的类型而定。在刚性调制器中，预调制脉冲的宽度和波形决定着发射脉冲的宽度和波形，因此，对预调制器有着较严格的要求，而

且，雷达脉冲宽度的转换在这一级进行。

（三）调制器（Modulator）

调制器的作用是在预调制脉冲或触发脉冲的作用下产生一个具有一定宽度、一定幅度（约 10 kV）的负极性高压矩形脉冲（调制脉冲）控制磁控管发射雷达脉冲，控制磁控管的发射，调制脉冲的起始时间由触发脉冲的前沿决定，脉冲的宽度受雷达面板上量程和 / 或脉冲宽度选择按钮控制，以满足驾驶员对目标探测距离、回波强度和距离分辨力等性能指标的要求，获得最佳观测效果。调制脉冲的幅值与雷达的发射功率有关，幅值越高，要求特高压越高，发射功率也越大，一般幅值在 10 kV 左右。

（四）磁控管振荡器（Magnetron Oscillator）

磁控管振荡器简称磁控管，是一种结构特殊的大功率超高频振荡器，它在调制脉冲的控制下产生宽度与调制脉冲相同的大功率超高频振荡脉冲（射频脉冲）经波导送天线向外辐射。

1. 结构

磁控管由灯丝、阴极、阳极、永久磁铁和输出耦合装置等组成。磁控管振荡器的外形和结构如图 1-2-4 所示。

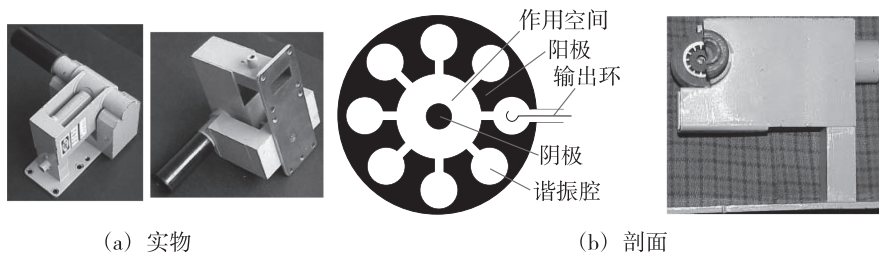


图 1-2-4 磁控管

磁控管阴极由圆柱形强氧化物材料构成，它位于磁控管中央。阴极表面具有很强的发射电子的能力。正常工作之前，阴极需要大约 3 min 的预热时间，使氧化物充分加热，提供电子发射能力，达到磁控管强电流的工作状态，延长使用寿命。阴极圆筒里面装有灯丝，以加热阴极。灯丝电压一般为 6.3 V，也有用 12 V 的。交直流均有使用。灯丝一端与阴极相连，两根引线穿过高压绝缘罩接入负向高压调制脉冲和灯丝电压。