

海船船员适任评估培训教材

雷达操作与应用

LEIDA CAOZUO YU YINGYONG



主编 赵学军 刘永利

主审 孟祥武

大连海事大学出版社

海船船员适任评估培训教材

雷达操作与应用

主编 赵学军 刘永利

主审 孟祥武



大连海事大学出版社

© 赵学军,刘永利 2015

图书在版编目(CIP)数据

雷达操作与应用 / 赵学军,刘永利主编. — 大连:大连海事大学出版社,2015.4
(2016.12 重印)

海船船员适任评估培训教材

ISBN 978-7-5632-3151-5

I. ①雷… II. ①赵… ②刘… III. ①雷达—教材 IV. ①TN95

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 062533 号

大连海事大学出版社出版

地址:大连市凌海路1号 邮编:116026 电话:0411-84728394 传真:0411-84727996

<http://www.dmupress.com> E-mail:cbs@dmupress.com

大连住友彩色印刷有限公司印装

大连海事大学出版社发行

2015 年 4 月第 1 版

2016 年 12 月第 2 次印刷

幅面尺寸:185 mm × 260 mm

印张:13.25

字数:327 千

印数:1501 ~ 2500 册

出版人:徐华东

责任编辑:张 华

责任校对:宋彩霞 孙夏君

封面设计:王 艳

版式设计:解瑶瑶

ISBN 978-7-5632-3151-5

定价:33.00 元

前 言

本教材依据 2010 年 IMO 在菲律宾通过的 STCW 公约马尼拉修正案、《中华人民共和国海船船员适任评估大纲和评估规范》编写,可作为在校学生、航海人员参加“雷达操作与应用”适任评估项目的培训教材,亦可作为有关专业人员的参考用书。

本教材共分十章,包括绪论,雷达基本工作原理,船用雷达的使用性能及其影响因素,雷达的维护保养与安装、验收,雷达基本操作与设置,雷达观测,雷达避碰,雷达目标跟踪与试操船, AIS 目标信息,船用雷达新技术等。在教材编写过程中力求理论与实用相结合,在理论够用的基础上,重点培养实操技能,为本教材使用者在将来航海活动中正确使用雷达奠定坚实的基础。

本教材由青岛远洋船员职业学院赵学军、刘永利主编,尹相达参编。第一章至第五章由赵学军编写,第六章至第八章由刘永利编写,第九章和第十章由尹相达编写,全书由赵学军统稿。本教材由青岛远洋船员职业学院孟祥武教授担任主审,他认真仔细地审阅了全部书稿,并提出了许多宝贵意见和建议,在此对他表示感谢。

我们在编写本书的过程中得到了有关单位、人员的大力支持和协作,大连海事大学出版社对本教材的出版给予了大力支持,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,书中不足与错误之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2014 年 11 月

目 录

第一章 绪论	1
第二章 雷达基本工作原理	3
第一节 雷达测距、测方位原理	3
第二节 船用雷达的基本组成	4
第三节 船用雷达电源设备	7
第四节 船用雷达发射机	9
第五节 船用雷达天线	15
第六节 收发开关	22
第七节 船用雷达接收机	24
第八节 船用雷达显示设备	30
第九节 雷达附属装置	38
第三章 船用雷达的使用性能及其影响因素	44
第一节 雷达的测距性能及其影响因素	44
第二节 雷达的测方位性能及其影响因素	55
第三节 雷达主要技术指标及其对使用性能的影响	59
第四章 雷达的维护保养与安装、验收	63
第一节 雷达的维护保养	63
第二节 雷达的安装注意事项及验收	64
第三节 交接班检查及维修后的验收	66
第五章 雷达基本操作与设置	68
第一节 雷达主要控钮的功能及操作要领	68
第二节 一般操作步骤	74
第三节 雷达传感器设置与数据核实	75
第四节 保持清晰观测目标的雷达操作方法	76
第五节 准确测量目标位置的操作方法	76
第六章 雷达观测	78
第一节 雷达目标识别	78
第二节 影响雷达回波正常观测的诸因素	80
第三节 雷达定位	88
第四节 雷达导航	90

第五节 雷达航标	92
第六节 搜救雷达应答器	96
第七章 雷达避碰	99
第一节 概述	99
第二节 雷达标绘	101
第三节 相对运动作图	104
第四节 雷达避碰操纵示意图的应用	117
第八章 雷达目标跟踪与试操船	120
第一节 雷达目标跟踪基本原理	121
第二节 目标参数的自动计算及碰撞危险判断	127
第三节 雷达目标录取与跟踪	131
第四节 雷达附加功能的操作	137
第五节 试操船	139
第六节 雷达目标跟踪报警与系统测试	142
第七节 雷达目标跟踪的避碰应用	145
第九章 AIS 目标信息	148
第一节 概述	148
第二节 AIS 报告目标	151
第三节 雷达跟踪目标与 AIS 报告目标关联	152
第十章 船用雷达新技术	160
第一节 雷达天线新技术	160
第二节 雷达收发机新技术	161
第三节 雷达显示器新技术	162
第四节 船用雷达的发展趋势	165
附录一 雷达设备性能标准	166
附录二 “雷达操作与应用”适任评估大纲	185
附录三 “雷达操作与应用”适任评估规范	187
附录四 雷达常用词汇英汉对照表	192
参考文献	205

第一章 绪 论

一、概述

雷达是一种利用物标对电磁波的反射特性来探测与测量物标的距离的无线电设备,最早出现在 20 世纪 30 年代后期。早期雷达是一维雷达,能够发现目标,但是只能测量目标的距离,所以人们把它称为“Radio Detection and Ranging”(即无线电探测和测距),取其开头字母缩写组成“Radar”一词,中文取其音译为“雷达”。

雷达发展于第二次世界大战期间。第二次世界大战结束后,随着电子技术的迅速发展,雷达在理论和技术上得到了不断地提高和发展,性能日趋完善,应用也越来越广。目前雷达已广泛地应用于航空、航天、航海、气象、射电天文、地形测绘等多个领域。船用雷达装在船舰上用作无线电探测和测距仪,能用来观察船舶周围的来往船只、岛屿、礁石、岸形等各种水面以上的目标,并能测量其距离(Range)和方位(Bearing),尤其在夜航、雾航等能见度不良的情况下进行定位(Positioning)、避让(Collision Avoidance)和导航(Navigation),也可用于海难救助、协助锚泊、观测气象及预测风流压差。雷达是驾驶员赖以瞭望、观测、定位、导航和避碰的重要航海仪器,被称作“驾驶员的眼睛”,深受航海者的青睐,在保证船舶航行安全、缩短船舶运营周期和减轻航海人员的劳动强度等方面发挥了重要的作用。又因雷达是用无线电波来探测目标,受气象影响较小,显示直观,使用方便,作用距离远,已成为现代船舶不可缺少的主要助航设备。国际海事组织(IMO)及各个国家已用公约或规范的形式对船舶必须安装雷达的数量和性能做出了明确规定。

船用雷达属于测距离系统。它是一种自发、自收的自备系统。船用雷达采用自己发射无线电脉冲波自己接收无线电脉冲波的方式工作,因此又被称为脉冲式雷达。

二、雷达技术发展

在半个多世纪的发展过程中,雷达收发机仍然沿用着传统的简单脉冲发射与接收机制,而雷达技术的进步主要表现在视频信息综合处理方面。随着晶体管、集成电路、传感网技术以及卫星定位技术和信息技术的发展,雷达的发展历程大致经历了模拟信号处理、数字信号处理和计算机信息处理三个阶段。

1. 模拟信号处理

模拟信号处理时期为 20 世纪 90 年代之前,雷达设备完全或主要采用电子管或晶体管分立器件,发射功率较大,回波信号经过接收系统实时处理,直接显示在径向圆周扫描显示器(亦称平面位置显示器,Plane Position Indicator, PPI)上。这个阶段晚期,雷达技术已经十分成熟,具有非常好的探测和分辨目标的能力,接收信噪比高,抗干扰能力强,故障率低,目标图像稳定清晰,操作简单方便,成为航海人员安全航行的好帮手。

然而,这个时期雷达的缺点也显而易见。由于采用实时的模拟信号处理系统和径向圆周扫描显示器,荧光屏的显示亮度和对比度受到了限制,实现彩色显示更为困难,在有环境光的

时候,需要用遮光罩遮挡环境光,才能正常使用雷达。改变量程时,屏幕的亮度也必须随之改变,否则容易发生“烧屏”现象。尤其是实时系统不利于信息处理,无法方便地实现目标跟踪功能,难以处理文字和图标标识信息,不方便与其他现代航海仪器实现信息共享,雷达显示器只能作为雷达信息的专用显示器,显示信息单一。

2. 数字信号处理

1990年前后,在雷达收发体制基本不变的情况下,随着微波元器件的发展和应用,雷达接收系统回波处理能力有了很大的提高,雷达发射逐渐趋于小功率,接收趋于高灵敏度宽动态范围特性。随着大规模集成电路的广泛应用,雷达设备的体积实现了小型化,雷达视频信息的再处理也有了长足的进步。这个阶段普遍采用了数字处理技术,将原始雷达视频数字化,利用雷达显示休止期对信息进行处理,克服了前一阶段雷达的缺点,实现了均匀高亮度光栅扫描显示,获得了更高的信息检测能力,并且能够方便地实现目标自动标绘和跟踪(ARPA)功能,满足了航海需要。

从使用层面看,这个阶段的雷达仍然保持着独立专用显示器,但操作界面更为复杂,既保留了传统的旋钮按键式操作界面,又应用了屏幕触摸式操作界面,还出现了类似计算机鼠标式的轨迹球与屏幕菜单结合的操作界面;雷达的功能在瞭望和定位的基础上,显示了更为丰富的导航和避碰信息。

3. 计算机信息处理

进入21世纪,传感网技术、现代通信技术、信息处理技术和卫星定位技术对航海仪器的发展起到了不可估量的推动作用。计算机数字信息处理、卫星定位、AIS及电子航海图(ENC)的应用,带来了雷达更强大、更丰富的功能。

雷达是关键的助航设备,由于部分航海人员对雷达的性能没有全面了解,不会正确地分析、判断和运用雷达信息,或者不能正确熟练地操作使用雷达,从而导致海难事故的发生。为此,国际海事组织(IMO)对各种船舶必须安装的雷达数量及性能都做了具体的规定。为满足适任要求,使用人员必须掌握雷达的基本工作原理,雷达各部分的组成及它们的主要性能指标,要正确地掌握各种控钮的调节方法及正确开启雷达的步骤,安全、正确、熟练地分析、判断、运用雷达提供的各种信息,能进行日常保养工作及主要元器件的更换,以确保航行的安全。

第二章 雷达基本工作原理

第一节 雷达测距、测方位原理

一、雷达测距原理(Ranging Principle)

船用雷达采用的是脉冲测距法。雷达利用超高频无线电波在空间的传播是匀速、直线的,遇到目标能产生反射回波的特性来测距,如图 2-1-1 所示,只要雷达能测定雷达波往返于天线与物标之间的时间(Δt),即可根据测距式(2-1-1),求得物标距本船的距离(r)。

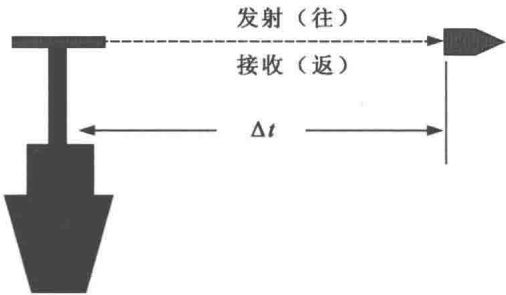


图 2-1-1 雷达测距原理

$$r = \frac{c \cdot \Delta t}{2} \tag{2-1-1}$$

式中: c ——雷达波在空中传播的速度,单位: 3×10^8 m/s;
 Δt ——雷达波往返于天线和物标之间的时间,单位:微秒(μs), $1 \mu s = 10^{-6}$ s;
 r ——物标距本船的距离。

假如雷达波往返于天线与物标之间的时间为 $1 \mu s$,则距离为 150 m;目标离本船距离为 1 n mile,则雷达波往返于天线与物标之间的时间为 $12.3 \mu s$ 。

雷达用发射机产生超高频无线电脉冲,用天线向外发射并用接收机接收由目标反射回来的脉冲波,由显示器计时、计算、显示物标的距离,使用定时器产生的触发脉冲使它们同步工作,如图 2-1-2 所示。

在雷达上电波往返的时间 Δt 是由显示器荧光屏上的时间扫描线来加以测量的,显示器直接把时间 Δt 转换成距离(海里表示)显示在屏幕上。扫描速度的快慢取决于量程的大小。近量程扫描速度快,远量程扫描速度慢。

二、雷达测方位原理(Bearing, Azimuth)

因为超高频电磁波在空间的传播基本上是直线的,所以雷达天线采用的是定向天线,即在

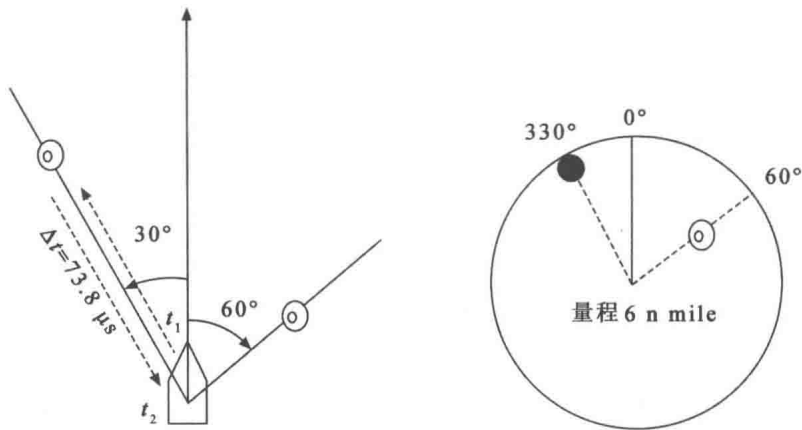


图 2-1-2 雷达测距原理的图像显示

某一时刻,天线只向一个方向发射,并只在该方向接收回波。若某方位有物标,天线旋转朝向该方位时才能收到物标的回波,则在某一时刻天线发射接收的方位也就是目标所在的方位。显示器的扫描线由同步系统随时与天线的朝向保持一致,使物标回波在与实际方位相对应的扫描线上得到显示,读扫描线所指的方向也就是物标的方位。天线依次向四周发射,可将周围所有方位的目标扫描并显示在显示器上。

在实际雷达中,用方位同步系统把天线的瞬时位置随时准确地传递到显示器,使雷达屏幕上的扫描线和天线同步旋转,使得目标可以按其实际方位显示在雷达屏幕上。

另外,当天线扫过船首方向时,在荧光屏上产生一根亮线,作为测量方位的基准,则船首标志线与物标所在的扫描线的夹角就是物标的舷角。

第二节 船用雷达的基本组成

传统的船舶导航雷达系统由天线、收发机和显示器组成,为了帮助驾驶员更好地获得海上移动目标的运动参数,现代雷达大多配备了自动雷达标绘仪(Automatic Radar Plotting Aids, ARPA)或具备自动目标跟踪功能,使雷达在避碰中的作用和效果得到了进一步提高。

随着现代科技的发展,基于信息化平台的新型航海仪器和设备不断出现,与传统的导航雷达实现了数据融合与信息共享。电子定位系统(EPFS)为船舶提供了高精度的时间和船位参考数据,ENC 或其他矢量海图系统为船舶航行水域提供了丰富的水文地理数据,AIS 为雷达提供了目标船有效的身份识别手段。

按照 SOLAS 公约要求,2008 年 7 月 1 日之后装船的雷达设备应满足 IMO MSC. 192(79) 船舶导航雷达性能标准规定。

一、船用雷达的总机框图及各部分作用

一般的船用雷达由中频电源、定时器、发射机、收发开关、天线、接收机、显示器七部分组成,其中定时器、发射机、接收机、收发开关装在一个箱内,称为收发机(Transceiver),所以其布

局由四部分组成。在一些新型雷达中,中频电源都分散在各个分机中,因此不再把电源部件算作基本单元,常见雷达由另外的天线部件、收发机、显示器三个机箱组成,这种雷达常称为三单元雷达。现在越来越多的雷达把收发机装在天线底座中,安在桅顶上,合称为天线收发机单元,雷达由天线收发机单元和显示器两部分组成,这种雷达称为二单元雷达。

船用雷达的基本组成框图及工作波形图如图 2-2-1,2-2-2 所示。

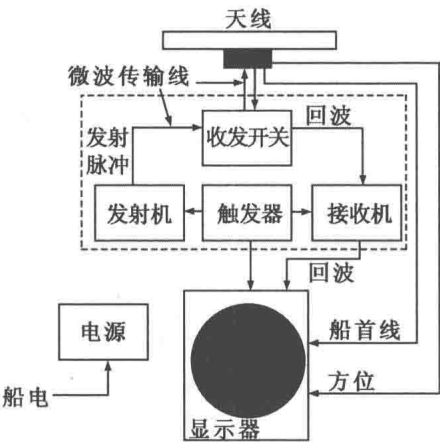


图 2-2-1 雷达基本组成框图

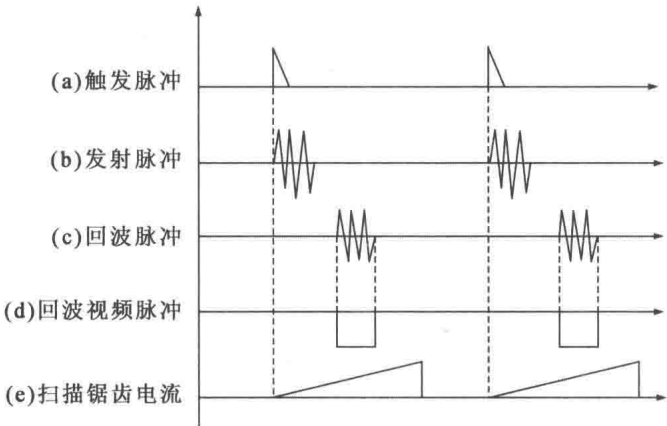


图 2-2-2 雷达基本波形图

船用雷达各组成部分的作用如下。

1. 触发脉冲产生器 (Trigger, Timer)

雷达触发脉冲产生器又叫定时器、触发电路、同步电路。它是雷达正常工作的总指挥。它每隔一定时间(T) (例如 $1\,000\,\mu\text{s}$) 产生一个尖脉冲,去控制发射机开始发射的时刻和显示器开始扫描(计时)的时刻同时进行,并保持严格同步,另外触发脉冲还送入接收机及新型雷达的信息处理与显示系统。

2. 雷达发射机 (Transmitter)

在触发脉冲的控制下,产生一个大功率(P_t)的、短促(τ)的超高频脉冲波,将其作为发射波用,称为发射脉冲(射频脉冲,雷达波),通过天线向外发射。

3. 天线(Scanner, Antenna)

船用雷达天线是一种方向性很强的定向天线。它可将发射机经过波导馈线送来的电磁波(射频能量)聚成很细的波束,定向向空中辐射,并同时接收由该方向目标反射回来的回波信号,通过波导送往接收机。

雷达天线由天线马达带动按顺时针方向(从天线上方往下看)匀速转动,转速一般为 $15 \sim 30 \text{ r/min}$,个别为 80 r/min 。由于电波的传播速度非常快,雷达的作用距离又较近,所以在天线旋转的每个瞬时位置,天线都能接收到从这个方向的物标所反射回来的回波。

天线系统通过方位同步系统把天线的位置随时准确地送给显示器,在每次扫过船首时将船首信号送到显示器。

4. 雷达接收机(Receiver)

由于电磁波在空中传播和经物标的反射,故回波强度减弱并滞后于发射脉冲,其滞后的时间等于雷达波在天线与物标之间的往返时间,从天线送到接收机的超高频回波信号十分微弱,一般仅有几个微伏,而显示器显示需要几十伏的幅度,这样要将回波信号放大近百万倍才行。而将一个超高频信号放大这么大的倍数,一般的接收机是不行的,雷达接收机一般采用超外差式接收机。它先将回波进行变频,变为中频再进行放大、检波,得到视频信号送显示器显示。

5. 收发开关(T-R switch, T-R cell)

船用雷达的发射与接收是共用一个天线进行的,天线与收发机间使用同一根微波传输线,这样发射机产生的大功率发射脉冲就有可能进入接收机而烧坏接收机的低压元件(混频晶体等),而发射机发射结束后,从天线回来的微弱的回波脉冲也有可能进入发射机而分掉一部分能量。为防止这种现象的产生,在发射机、接收机和天线之间设置了一个收发开关。当发射时,使发射机与天线相通,保证能量全部加到天线,同时切断接收机通路,防止大功率的发射脉冲进入接收机而损坏接收机。发射结束后使天线与接收机相接,切断发射机支路,使回波全部进入接收机,防止信号的损失。

由于收发开关起到了天线在接收和发射两个状态下自动转换的作用,所以发射和接收才可以共用一个雷达天线。

6. 显示器(Display, Indicator)

雷达显示器是一种平面位置显示器。传统雷达的显示器在触发脉冲的控制下开始扫描计时,距离扫描线在天线方位信号的控制下和天线同步旋转,根据接收机送来的回波信号和天线送来的方位信号,把物标按它们的距离和方位以极坐标方式用加强亮点的形式显示在屏幕上,并提供各种测量标。

现代雷达采用工业级计算机处理雷达信息,工作显示区域只是屏幕的一个平面位置图像窗口。在工作显示区域周围的四个角落,通常为雷达的工作状态指示、操作状态提示和测量数据读取区域。屏幕左右侧的矩形窗口多为传感器及雷达设备的设置及其状态显示、目标参数显示、操作菜单区域等。在雷达显示器上,通过控制面板的各种开关旋钮或操作屏幕菜单能够控制雷达的所有功能,如图 2-2-3 所示。

7. 电源(Power Supply)

雷达设计有独立的电源系统,将船电转变为雷达需要的电源,以确保向雷达系统稳定可靠地供电。雷达电源的频率一般高于船电频率,在 $400 \sim 2\,000 \text{ Hz}$ 之间,称为中频电源。采用中频电源,能够有效隔离船电网干扰,向雷达输出稳定可靠的电源,缩小雷达内部电源相关元

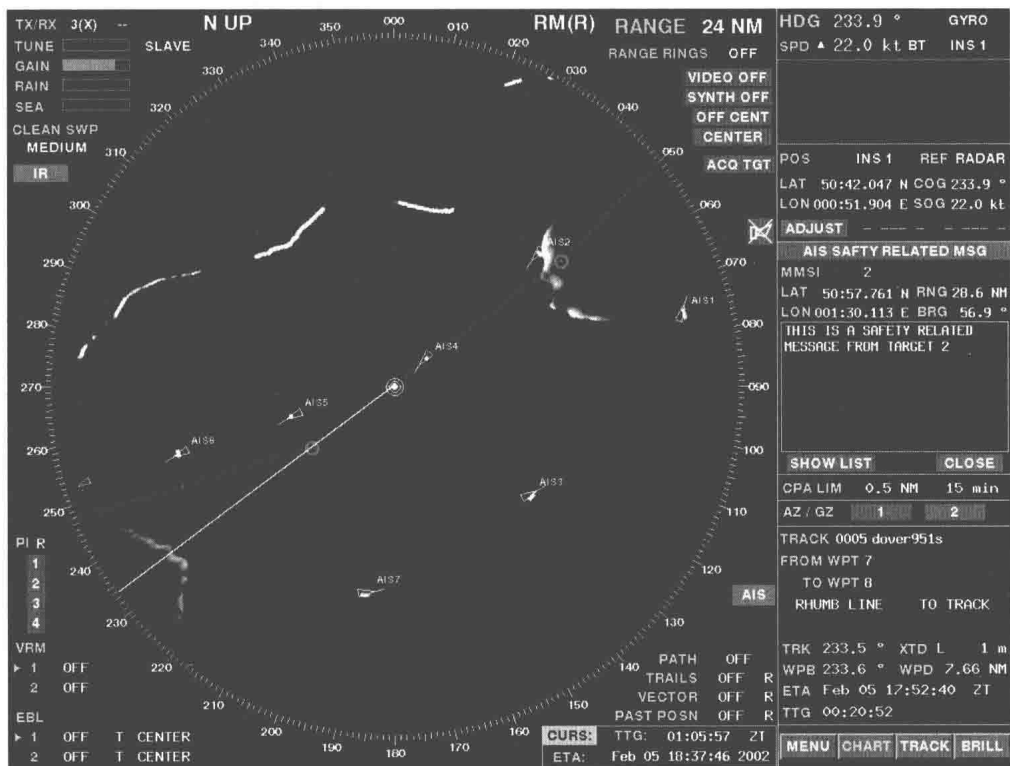


图 2-2-3 现代雷达显示系统

件尺寸,从而减小雷达设备的体积和重量。

第三节 船用雷达电源设备

雷达电源的作用是把船电变换成一定频率、一定电压及功率的中频电源,供各分机用电。

一、专设雷达电源的理由

(1) 为避免低频电源干扰、减小雷达中变压器、电感线圈等元件的体积重量,雷达要用中频频率做电源。船用雷达中频电源的频率范围为 $400 \sim 2\,000\text{ Hz}$ 。

(2) 为防止微波雷达与船上其他各种高频设备通过船电耦合而产生相互干扰,需要用专用电源进行隔离。

(3) 雷达要求稳定可靠的电源,而船电的负载多、变化大、电压不稳定,所以要用专用设备提供稳定可靠的电源。

(4) 现代船上船电种类繁多,电压、频率等都各不相同,需要使用专业设备进行变换,采用专用的中频电源可使雷达适应各种船电。

二、雷达电源具备的条件

(1) 当船电或负载变化 $\pm 20\%$ 的情况下,要求其输出电压的变化应优于 $\pm 5\%$;

(2) 通过雷达电源设置短路、过流、过压等各种保护电路和稳压电路;

- (3)能够输出稳定的中频交流电,中频频率为 400 ~ 2 000 Hz;
- (4)适应海上振动大、盐雾大、温差大、湿度高的工作环境;
- (5)能连续 24 h 长时间运转。

三、雷达电源的分类

目前船用雷达电源主要设备有两种:中频变流机组和中频逆变器。

1. 中频变流机组 (Motor-Generator)

(1)中频变流机组的组成:启动系统、电动机、中频发电机和控制系统,其组成框图如图 2-3-1所示。电动机和发电机同轴连接,船电通过启动器后进入电动机,电动机旋转并带动发电机转动产生所需的中频交流电。其能量转换过程:将电能通过电动机转换为机械能,再利用发电机将机械能转换为电能,其中有两次能量转换,效率较低。

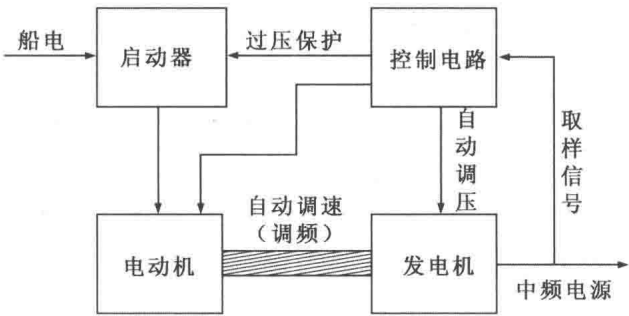


图 2-3-1 中频变流机组组成框图

(2)中频变流机组的特点:

- ①电转换效率低;
- ②重量大、体积大、噪声大、振动大;
- ③需经常维护保养;
- ④工作可靠性好;
- ⑤容积大,抗过载能力强。

(3)变流机使用注意事项:

- ①直流电动机应注意电压的正负极性,交流电机应注意电机的旋转方向是否正确;
- ②直流电机的调整部位较多,各控制电路之间相互会有影响,调整应特别注意;
- ③直流电机在运行时,不准取出碳刷。

(4)变流机维护保养:保持清洁、通风、干燥,定期加油。

2. 中频逆变器 (Inverter)

(1)组成:中频逆变器是一种利用晶体管或可控硅的电子器件直接把船电转换为雷达所需的中频电源的设备(见图 2-3-2)。其转换为直流—交流或者交流—直流—交流,主要由半导体元器件及可控硅来实现。其也设有启动系统和控制系统。

(2)中频逆变器的特点:

- ①电转换效率高;
- ②无旋转件;

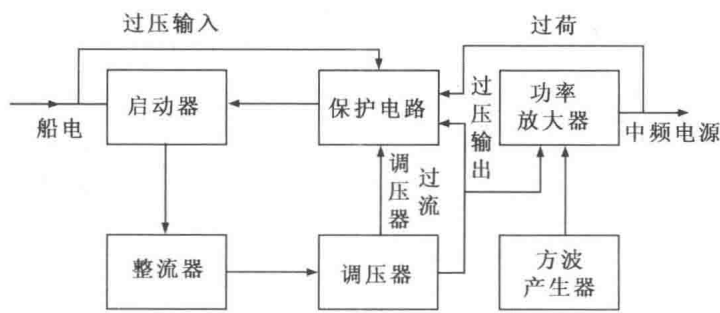


图 2-3-2 中频逆变器组成框图

- ③重量轻、体积小、噪声小、振动小；
- ④不需维护、保养,使用方便；
- ⑤工作可靠性较差、容积小,抗过载能力小。

(3) 工作状态判断。

中频逆变器正常工作时,一般能听到清晰、均匀的振荡声,输出正确的电压值和频率值,可据此判断其工作状态。

3. 两种电源的比较

两种电源的各种特点比较如表 2-3-1 所示。

表 2-3-1 两种雷达电源特点比较

序号	比较项目	中频逆变器	中频变流机组
1	电能转换效率	高	低
2	抗过载能力	低	高
3	可靠性	较高	高
4	噪声与振动	甚微	严重
5	体积、重量	小、轻	大、重
6	维护	方便	不方便,麻烦
7	检修	困难	方便
8	造价	低	高

从表中可以看出,逆变器的优点多于变流机组,目前趋势是使用中频逆变器。故现在新型船用雷达中均采用中频逆变器作为雷达的电源设备。

第四节 船用雷达发射机

一、发射机组成框图及波形图及各部分作用

船用雷达发射机的基本组成包括:触发脉冲产生器、预调制器、调制器、磁控管振荡器、发射机电源等,其框图如图 2-4-1 所示。各级波形的时间关系如图 2-4-2 所示。

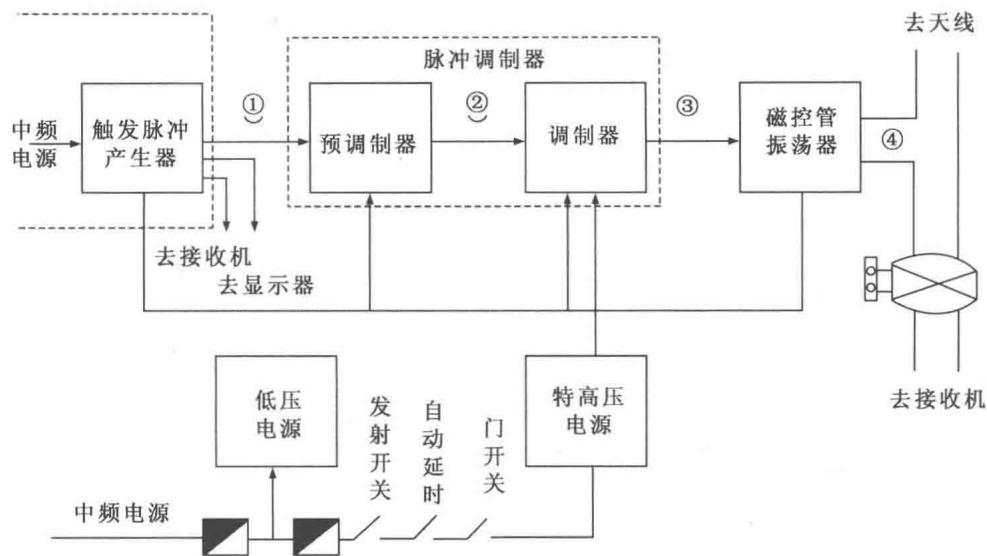


图 2-4-1 船用雷达发射机的基本组成框图

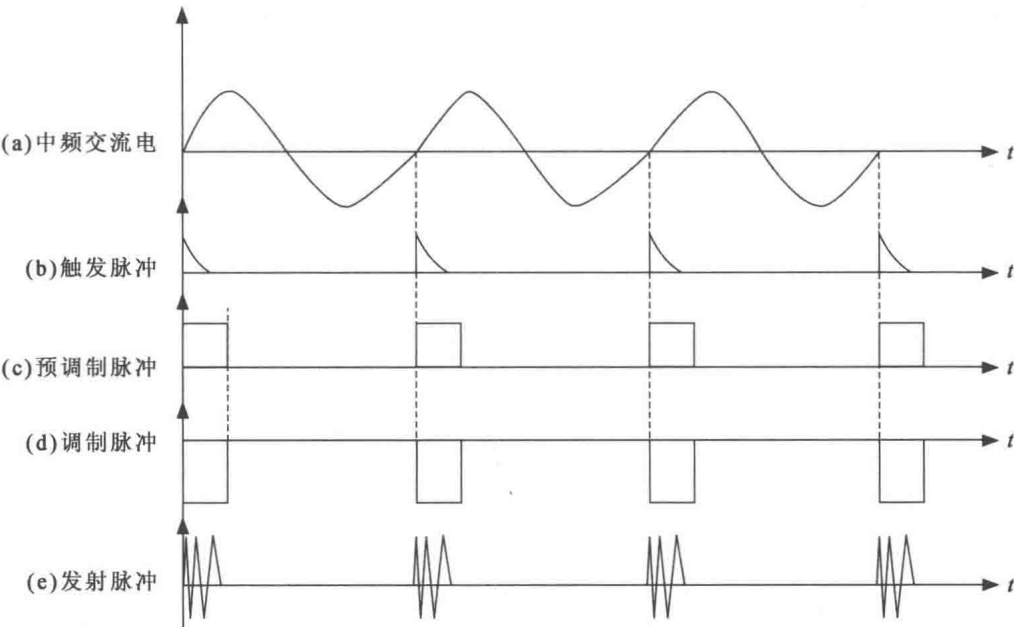


图 2-4-2 发射机各种波形图

二、发射机各组成部分及作用

(一) 触发脉冲产生器 (Trigger, Timer)

触发脉冲产生器又称定时器,其作用是每隔一定的时间间隔产生一个触发脉冲,分别送到发射机、接收机和显示器,使它们同步工作。定时器的电路形式常采用与中频电源同步的他激式间歇振荡器,产生周期性的触发脉冲,然后再通过分频或倍频的方法得到不同重复频率的触发脉冲。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,装在显示器中,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。

触发脉冲用来控制发射机发射与显示器扫描起始时刻,并使二者保持严格的时间同步。但是,由于发射机到天线辐射口往往要经过很长的波导,会造成传输的延时,使天线辐射的起始时刻落后于显示器扫描的起始时刻,从而造成固定的测距误差。另外,电路也会对触发脉冲造成一定的延时。为了消除这项由于发射和扫描不同步引起的测距误差,触发脉冲通常都经过延时线延时后再送往显示器和发射机。延时的长短可以通过调整电感与电容组成的延时线的抽头位置来实现。

此外,其他系统(如 ECDIS、VDR 等)与雷达连接时,触发脉冲也作为定时信号输出,协调设备工作。

很多情况下,触发脉冲产生器被看作雷达的一个单独的组成部分,与发射机分开介绍。

(二) 预调制器(Pre-Modulator)

在触发脉冲控制下,产生一定宽度(τ)、一定幅度(+600 V)的正极性的预调脉冲去控制调制器工作。预调制脉冲宽度决定着发射脉冲的宽度。脉冲宽度的转换在这一级进行。

(三) 调制器(Modulator)

(1)作用:在预调脉冲或触发脉冲作用下,产生一定宽度(τ)、一定电压(约 10 000 V)的前后沿陡峭的负极性高压矩形调制脉冲,去控制磁控管工作。

(2)要求:对调制脉冲的要求前后沿越陡越好,其中,前沿陡峭,测距精度高;后沿陡峭,距离分辨力好。

(3)组成:调制器也称脉冲调制器,一般由储能元件、限流元件、调制开关、储能通路元件等组成,如图 2-4-3 所示。

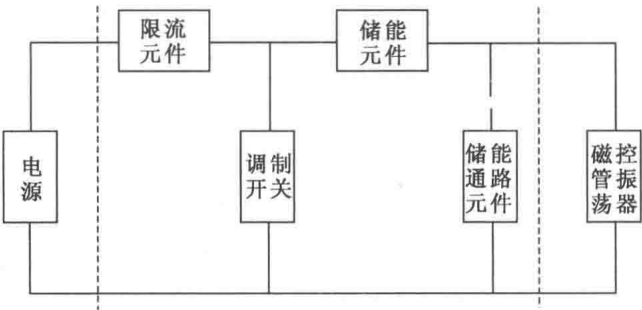


图 2-4-3 调制器组成

储能元件常用的有电容、电感、仿真线。所谓仿真线,是由集中电感、集中电容组成的脉冲形成网络。其特性等效于由分布电感、电容构成的真实传输线。限流元件常用的有限流电阻、扼流圈、阻隔二极管。储能通路元件常用的有电阻、二极管等。开关元件常用的有真空电子管、闸流管或触发管、磁开关、可控硅开关等。

(4)脉冲调制器的分类:调制器按调制开关类型不同可分为刚性脉冲调制器(硬调制)(Hard-Switch Modulator)、软性脉冲调制器(软调制)(Soft-Switch Modulator)、磁性脉冲调制器(Magnetic Modulator)、可控硅脉冲调制器(SCR Modulator)四类,后两者称为固态调制器(Solid State Modulator)。四种调制器在现代雷达中均有采用,但以软性调制器和可控硅调制器居多。表 2-4-1 为调制器的分类及特点比较。