

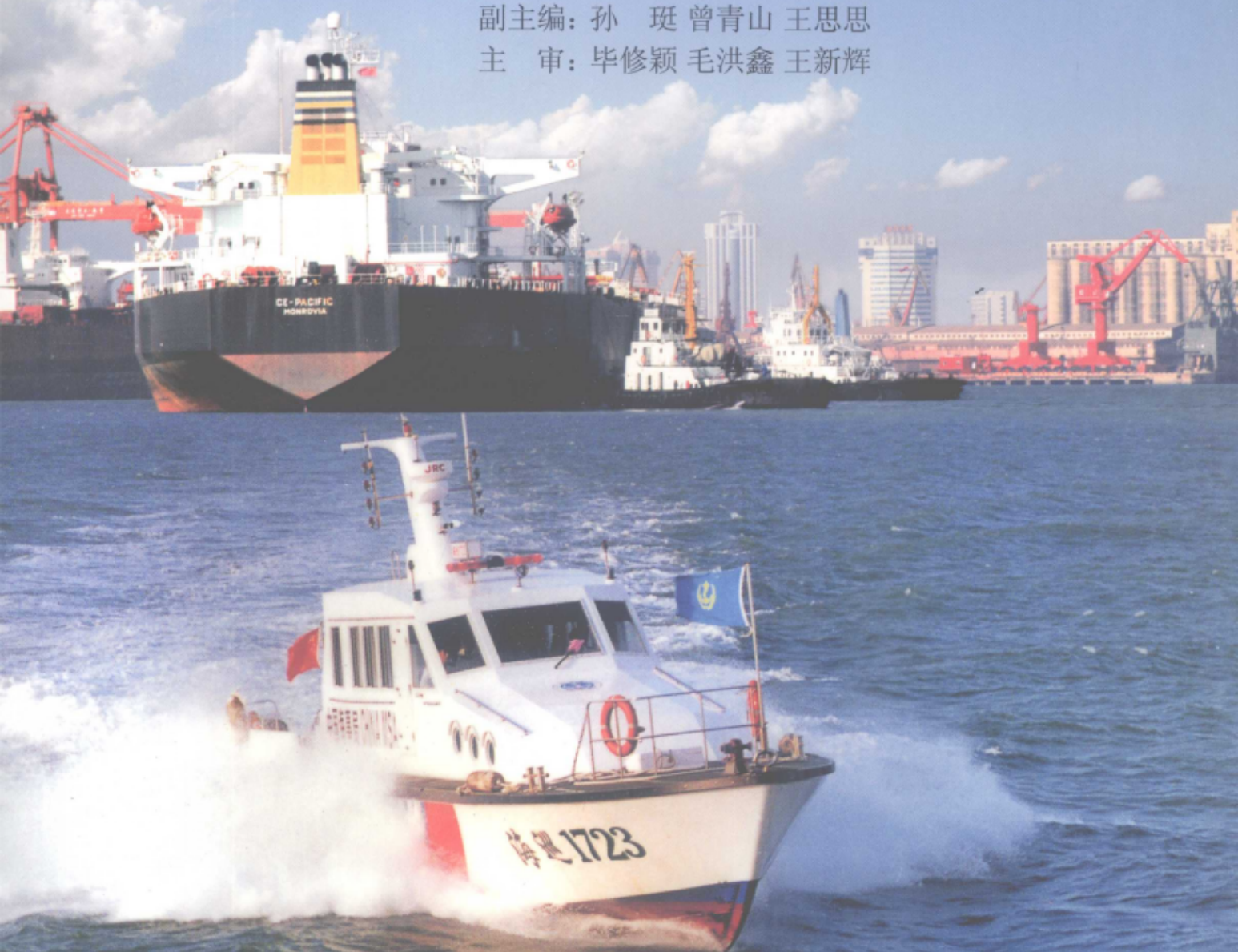
海船船员专业、特殊培训系列教材

雷达操作与模拟器和ARPA

主 编：范少勇

副主编：孙 珽 曾青山 王思思

主 审：毕修颖 毛洪鑫 王新辉



广东人民出版社

责任编辑：杨冬梅

海船船员专业、特殊培训系列教材

- 熟悉和基本安全
- 救生艇筏和救助艇操作及管理
- 高级消防
- 精通急救
- 船上医护
- 雷达操作与模拟器和ARPA
- 专业证书知识更新
- 液货船船员知识更新培训教程

ISBN 978-7-218-06373-7

定价：45.00元

ISBN 978-7-218-06373-7



9 787218 063737 >

海船船员专业、特殊培训系列教材

雷达操作与模拟器和 ARPA

主 编 范少勇

副主编 孙 珽 曾青山 王思思

主 审 毕修颖 毛洪鑫 王新辉

图书在版编目 (CIP) 数据

雷达操作与模拟器和 ARPA/范少勇 编著.—广州: 广东人民出版社, 2009. 8
(海船船员专业特殊培训系列教材)

ISBN 978-7-218-06373-7

I. 雷… II. 范… III. 雷达—操纵模拟器 IV. TN955

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 144747 号

出版发行 广东人民出版社

经 销 广东新华发行集团有限公司

印 刷 广东天鑫源印刷有限责任公司 (广州市海珠区上涌南约 9 号)

开 本 889×1194 毫米 1/16

印 张 16

字 数 320 000 字

版 次 2009 年 8 月第 1 版

印 次 2009 年 8 月第 1 次

书 号 ISBN 978-7-218-06373-7

定 价 45.00 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与承印厂联系调换

版权所有 翻版必究

内容提要

本书根据中华人民共和国海事局颁布的《船员雷达观测与标绘和雷达模拟器专业培训纲要》、《船员自动雷达标绘仪（ARPA）专业培训纲要》，在总结了以往培训教材的优缺点的基础上编写而成，全书共十六章，分别介绍了雷达和 ARPA 的基本工作原理、主要技术性能的影响因素、操作使用及其在定位、导航和避碰中的应用、雷达标绘以及雷达和 ARPA 模拟器实操训练等。每章都附有复习题，便于学员学习和了解自己对知识技能的掌握程度。本书可作为船员参加“雷达观测与标绘和雷达模拟器”和“自动雷达标绘仪（ARPA）”专业培训的专用教材，也可供相关教学人员作为教学和参考用书。

海船船员专业、特殊培训教材编审委员会名单

主任委员：钟国青、莫奇、谭永烈

副主任委员：梁军、廖建峰、刘克坚、张波、黄木檀、林敏、王顺达、黄勇亮、
刘丽娅、张景华、涂慕欧、闵金卫、毕修颖、申济勋

委员：吴盛泰、方庆安、李金锡、冯小萍、毛洪鑫、林立新、李蕙兰、韩会民、
白桂芳、陈伟华、付子文、黎法明、郑立高、关腾飞、郑又新、汤滚荣、
阎勤劳、王艳、杨少雄、赵典安、张文忠、周金章、杨海龙、梁彝顺、
王穗青、张静、陈悦华、潘丽宁、曲慧延、巢建新、李继清、范少勇、
孙珽、曾青山、王思思、王新辉、李迪敏、申如栋、潘文波、钱镇棠、
欧阳江萍、王广灵、王长海、陈陆迅、林曙光、庄庆生、陈海欧、章耀亮

序

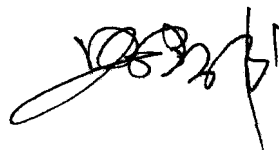
广东省是我国的经济强省，外贸大省，海洋大省。广东省面向国际航运要冲——南海，海岸线达 4176 公里，海上交通十分便利。广东航运保证了粤、港、澳三地的煤炭、石油、金属矿石等重点物资的调运，保障了粤、港、澳三地的国计民生及经济繁荣稳定，支撑了该区域的国民经济的快速发展，广东航运对广东省乃至国家改革开放和经济建设具有举足轻重的作用。

海员是实现海上运输顺利完成的主要承担者，而海员专业培训是成为一名真正海员的前提，海员特殊培训又是海员到特种船舶上任职的必要条件。因此，组织编写出版海船船员专业、特殊培训系列教材是十分必要的。

广东海事局为了进一步提高海员的综合素质和专业技能，组织了高等院校、航运企业、船员培训机构等单位有丰富教学和实践经验的学者、专家，根据 STCW78/95 公约相关要求和国家海事局履约培训纲要的规定，结合当前船舶生产实际，编写海船船员专业、特殊培训系列教材。相信这套系列教材的正式出版，将对提高教学、培训质量和海员整体素质有积极作用，同时也对船舶的安全管理、操作和维护提供了很好的指导。

在本套教材出版之际，我衷心希望广大海员刻苦学习，认真实践，立足船舶岗位，不断提高自己的文化和业务素质，为海上交通运输安全和防止海域污染作出更大贡献。

在此，谨向参加教材编写工作的同志及为此付出过辛勤劳动的同志们表示衷心的感谢！同时希望大家继续为实现“航运更安全，海洋更清洁，社会更和谐”的目标而努力！



二〇〇九年八月

前 言

近几年,随着科技进步,航运业的快速发展,相应的海事法律、法规也发生了很大变化,航运业对船员的素质要求更高,为了适应新形势的要求,提高船员培训质量,规范船员培训、考试、评估和发证工作,广东海事局组织了高等院校、船员培训中心、航运企业的学者、专家重新编审了船员专业、特殊培训系列教材。

《雷达操作与模拟器和 ARPA》是根据中华人民共和国海事局颁布的《船员雷达观测与标绘和雷达模拟器专业培训纲要》、《船员自动雷达标绘仪 (ARPA) 专业培训纲要》,在总结了以往培训教材的优缺点的基础上编写而成。本教材更注重理论与实践的结合,强化技能训练内容,具有实用性、针对性、先进性、图文并茂、通俗易懂的特点。

本教材由范少勇担任主编,孙珽、曾青山、王思思担任副主编,毕修颖、毛洪鑫、王新辉担任主审。全书共分十六章,第一、二、三章由王思思编写,第四章由范少勇编写,第五至第八章及第十六章第一、第二节由孙珽编写,第九章至第十五章及第十六章第三节由曾青山编写,申如栋、王长海参加了部分内容的编写,全书由范少勇统稿。

本教材编写过程中,得到了广东海事局、广州海事局、广东海洋大学、广东交通职业技术学院、广州航海高等专科学校、中海国际广州教育培训中心、广远职业技术学校及相关单位领导的大力支持和帮助,在此表示衷心感谢!

限于编者的水平,错误和不妥之处在所难免,恳切希望各位读者批评指正。

编 者

二〇〇九年八月

目 录

第一章 雷达基本工作原理.....	1
第一节 雷达测距、测方位原理	1
第二节 雷达基本组成及相互关系	2
第一章 练习题	3
第二章 船用雷达设备.....	6
第一节 中频电源设备	6
第二节 触发脉冲产生器	8
第三节 雷达发射机	9
第四节 微波传输及雷达天线系统	13
第五节 雷达接收机	20
第六节 收发开关	24
第七节 雷达显示器	26
第八节 雷达显示方式	32
第九节 双雷达系统及性能监视器	37
第二章 练习题	41
第三章 船用雷达的使用性能及其影响因素.....	48
第一节 最大探测距离及其影响因素	48
第二节 最大作用距离及其影响因素	50
第三节 最小作用距离及其影响因素	54
第四节 距离分辨力及其影响因素	55
第五节 方位分辨力及其影响因素	56
第六节 测距精度及其影响因素	57
第七节 测方位精度及其影响因素	58
第八节 雷达主要技术指标及其对使用性能的影响	60
第九节 影响雷达回波正常观测的诸因素	64
第三章 练习题	69
第四章 雷达操作使用及维护.....	76
第一节 主要按钮	76
第二节 雷达的一般操作步骤	81
第三节 雷达使用和维护注意事项	82
第四章 练习题	84
第五章 雷达定位与导航.....	86
第一节 雷达定位	86

第二节 雷达导航	89
第三节 雷达航标	90
第五章 练习题	95
第六章 雷达避碰	98
第一节 雷达避碰	98
第二节 雷达避碰操纵示意图的应用	101
第六章 练习题	102
第七章 雷达标绘基础	105
第一节 基本概念	105
第二节 雷达标绘工具	106
第三节 雷达显示模式	108
第七章 练习题	110
第八章 雷达标绘	111
第一节 标绘作图原理	111
第二节 相对运动作图具体方法	112
第四节 真运动作图法	118
第五节 转向不变线	120
第八章 练习题	121
第九章 ARPA 概述	124
第一节 绪论	124
第二节 普通船用雷达人工标绘避碰法	124
第三节 ARPA 系统的组成及工作概况	129
第九章 练习题	133
第十章 ARPA 基本工作原理	135
第一节 ARPA 输入信号的预处理和目标的自动检测	135
第二节 ARPA 录取(捕捉)目标	139
第三节 ARPA 自动跟踪目标	143
第四节 自动计算已跟踪目标的参数	150
第五节 ARPA 试操船	154
第六节 ARPA 自动报警和自测试	157
第十章 练习题	160
第十一章 ARPA 显示器	175
第一节 数据显示器	175
第二节 PPI 综合态势图	176
第三节 ARPA 的显示方式	177
第十一章 练习题	179

第十二章 影响 ARPA 性能和精度的因素	184
第一节 传感器误差的影响	184
第二节 ARPA 本身误差的影响	188
第三节 操作者人为因素的影响	191
第四节 目标和本船机动的影响	192
第五节 航行态势对跟踪精度的影响	193
第十二章 练习题	195
第十三章 ARPA 局限性	199
第一节 雷达信号预处理和检测目标的局限性	199
第二节 录取目标的局限性	200
第三节 跟踪目标的局限性	201
第四节 数据处理的局限性	201
第五节 报警与试操船功能的局限性	202
第十三章 练习题	203
第十四章 ARPA 在导航和避碰中的应用	207
第一节 ARPA 在导航中的应用	207
第二节 ARPA 在避碰中的应用	209
第十四章 练习题	214
第十五章 ARPA 操作使用	216
第一节 ARPA 主要控键按钮	216
第二节 ARPA 操作使用	217
第十五章 练习题	219
第十六章 雷达和 ARPA 模拟器实操训练	220
第一节 ARPA 雷达模拟器概述	220
第二节 雷达模拟器训练	221
第三节 ARPA 模拟器训练	235
参考文献	246

第一章 雷达基本工作原理

第一节 雷达测距、测方位原理

一、测距原理

雷达根据无线电波在空间等速、直线传播,而且物标对微波脉冲具反射性这三个物理基础,采用的是脉冲测距法。如下图 1-1-1 所示,雷达向外发射微波脉冲,脉冲碰到物标产生回波,设雷达天线发射的电磁波在天线和物标之间往返得时间间隔为 Δt ,则可根据电波传播速度 C 计算得到天线与物标之间的距离 s 。

因为: $2s = C \Delta t$

$$\text{得: } s = \frac{C}{2} \Delta t$$

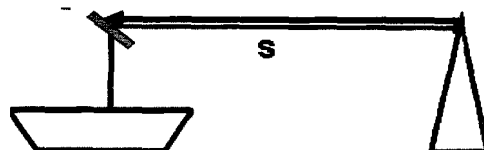


图 1-1-1 雷达测距原理

式子中 $C=3 \times 10^8 \text{m/s}$ 为电磁波在空间得传播速度, Δt 常用微秒作单位。微秒是雷达的基本计时单位, $1 \text{ 微秒} = 10^{-6} \text{ 秒}$ 。

在实际雷达中,电波的往返时间 Δt 是由显示器荧光屏上的时间扫描线来加以测量的。如图 1-1-2 所示显示器荧光屏上的径向亮线(扫描线)是从天线向外发射脉冲的时刻开始,由荧光屏中心出发匀速扫描到边。扫描速度的快慢(也即扫描线代表的时间长短)取决于量程的大小。例如,若扫描线从中心扫到边的时间为 $12.3 \mu\text{s}$,则代表量程为 1 海里,若需量程为 48 海里,则扫描线全长代表的时间就等于 $48 \times 12.3 \mu\text{s} = 590.4 \mu\text{s}$ 。由于时间和距离是相对应的,所以,扫描线就可直接从中心起向边缘按距离来“划”刻度。回波亮点出现在扫描线上不同位置直接代表物标距离的远近。由此可知,在不同的量程档,扫描线代表的时间长短不同,也即扫描的速率快慢不同。

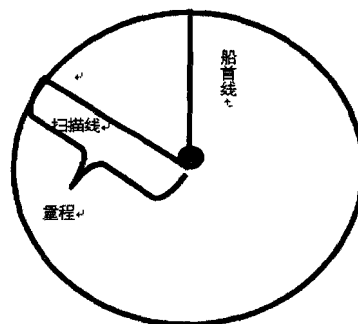


图 1-1-2 显示器荧光屏上的扫描线

二、测方位原理

基于电波在空间直线传播的物理特性,为了测定目标的方位,雷达采用一种定向收发的天线来发射脉冲并接收回波。定向收发天线是指在某一瞬间,天线只朝一个方向发射,也只接收来自该方向上目标的回波。则雷达天线辐射和接收的方位就等于目标的方位,同时雷达利用方位同步系统使显示器上的扫描线出现的方位与天线发射和接收的方位保持同步,所以目标回波亮点所在的那根扫描线方位即代表目标的实际方位。为了测定目标的舷角,当天线扫过船首方向时,在荧光屏上会出现一根代表船首方向的径向的船首标志线。船首标志线与物标所在扫描线的夹角就是物标的舷角。因此,当天线旋转并向四周发射雷达波时,周围目标的回波就按其方位和距离显示在荧光屏上,利用屏周围的方位刻度即可测出物标方位。

例 1: 若雷达测得回波数据位于左舷 30° ,距本船距离 6nm ,且此时雷达量程为 6nm ,则此时 Δt 为多少

解：若量程为 6nm，则 $\Delta t = 6 \times 12.3 \mu s = 73.8 \mu s$

第二节 雷达基本组成及相互关系

一、基本组成及各部分的作用

船舶导航雷达一直沿用脉冲法测距、最大值振幅法测角、显示平面位置的主动雷达体制，下面就这种体制说明雷达的基本组成部分及其工作过程。整个系统由发射机(transmitter)、接收机(receiver)、天线(antenna)、显示器(display)、收发开关(T-R cell)、触发电路(timer)、雷达电源设备(power supply)所组成，图 1-2-1 是船用导航雷达的基本框图。

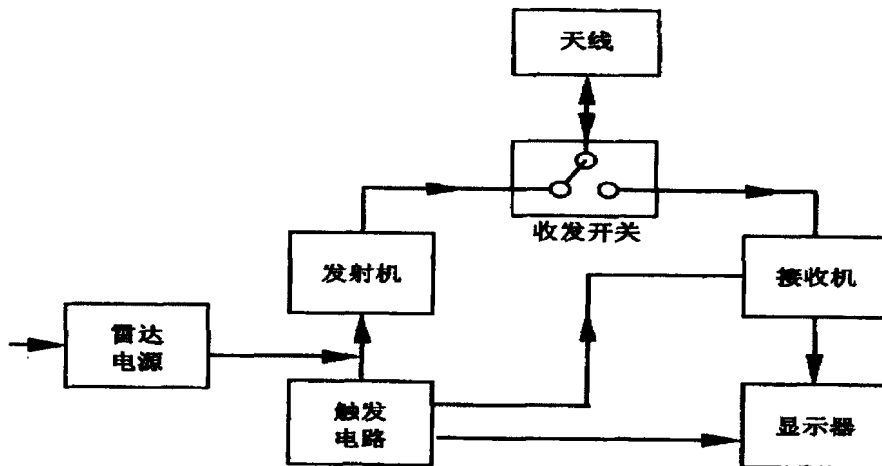


图 1-2-1 船用雷达基本组成框图

1. 定时器 (timer)

定时器又称为触发电路、触发脉冲产生器。其每隔一定时间(例如 $1000 \mu s$)产生一个作用时间很短的尖脉冲(触发脉冲如图 1-2-2a)所示) 分别送到发射机、接收机和显示器，使它们保持严格同步。

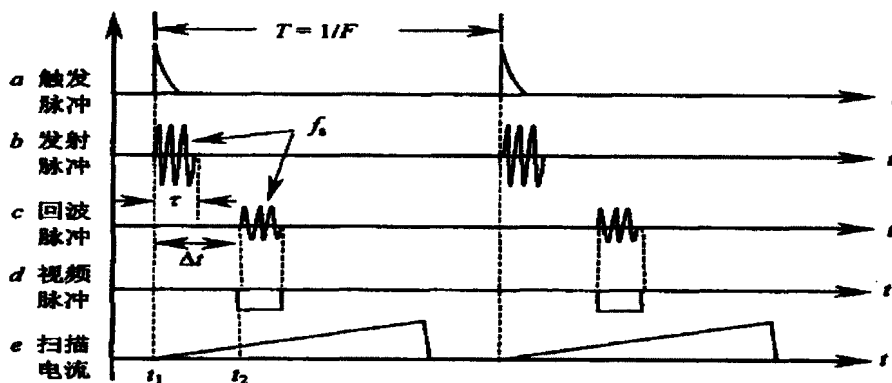


图 1-2-2 雷达基本波形时间关系

2. 发射机 (transmitter)

发射机在触发脉冲的控制下产生一个具有一定宽度($0.05 \mu s \sim 2 \mu s$)的大功率($3 \text{ kW} \sim 75 \text{ kW}$)周期性超高频(如 X 波段 $9300 \text{ MHz} \sim 9500 \text{ MHz}$, S 波段 $2900 \text{ MHz} \sim 3100 \text{ MHz}$)的脉冲信号，即发射脉冲(或称射频脉冲如图 1-2-2b)所示)，所谓射频就是“高频”的广义语，是指适合无线电发射和传播的频率。射频脉冲经波导馈线送入天线向外发射。

3. 雷达天线 (scanner)

雷达天线是一种方向性很强的定向天线,天线在匀速旋转过程中,把来自发射机的发射脉冲能量聚成细束朝一个方向发射出去,同时在该时刻,天线也只接收该方向的物标反射的回波并把它送入接收机。

雷达天线由驱动马达带动按顺时针方向(从天线上方向下看)匀速旋转,转速一般为 $15 \text{ r/min} \sim 30 \text{ r/min}$ 。天线系统还向显示器发出船首位置信号和天线偏离船首方向的角位置信号。

4. 接收机 (receiver)

雷达均采用超外差式接收机,其作用是把天线接收到的微弱的超高频回波信号(一般仅有几个微伏)先进行变频——变成中频回波信号,然后再放大、检波、再放大,变成显示器可显示的视距回波信号(大约几十伏,如图 1-2-2d)所示)。目标回波脉冲延迟于发射脉冲,延迟时间等于雷达波在天线与目标之间往返时间,而且回波脉冲比发射脉冲弱很多,因为目标回波发射至天线的仅仅是发射能力能力的极少部分。

5. 收发开关(T/R cell)

在船用雷达中,发射与接收是用同一副天线进行的。天线与收发机间用一根微波传输线。因此要使用收发开关转换天线的接收和发射两个状态。收发开关在发射时自动关闭接收机入口,让大功率发射脉冲只送到天线向外辐射而不进入接收机,以防止它损坏接收机;而在发射结束时,又能自动接通接收机通路让微弱的回波信号顺利进入接收机,同时关断发射机通路,以防止回波信号能量的流失。

6. 显示器 (display)

船用雷达的显示器是一种平面位置显示器,即 PPI。显示器在触发脉冲的控制下产生一个锯齿电流(如图 1-2-2e),在屏上形成一条径向亮线(即距离扫描线),用来计时、计算物标回波的距离,同时,这条扫描线由方位扫描系统带动随天线同步旋转。这样,显示器根据接收机送来的回波信号、天线送来的方位信号将物标回波显示在物标所在的方位和距离上。此外,显示器还配有测量物标方位、距离的装置,以测量物标的方位和距离。

7. 雷达电源设备 (power supply)

电源设备的作用是把各种船电变换成雷达所需的具有一定频率、功率和电压的专用电源。雷达考虑了各种因素均采用中频电源供电,频率一般在 $400 \text{ Hz} \sim 2\,000 \text{ Hz}$ 之间。

二、船用雷达设备的单元构成

船用雷达由以上七个基本部分组成。在实际设备中,有各种组合方式。一般说来,触发电路、发射机、接收机和收发开关装在一个机箱里,称为收发机(Transceiver)。其余三部分各自一个独立机箱,所以常见的雷达设备有天线部件、收发机、显示器和中频电源四个机箱,这种雷达常称为三单元雷达(因在新型导航雷达中,中频电源都分散在各分机中,故电源部件不算基本单元)。也有些雷达,把收发机装在天线底座中,装在桅顶上,合称为天线收发机单元,则雷达设备由天线收发机单元及显示器两部分组成,这种雷达称为二单元雷达。

第一章 练习题

一、选择题

001. 船用雷达属于____类型的雷达。
A. 脉冲 B. 多普勒 C. 连续波 D. 调频
002. 船用雷达测距原理是测量电磁波在天线与目标之间的____。
A. 传播速度 B. 往返传播时间 C. 传播次数 D. 往返传播时的频率变化
003. 某径向扫描雷达的量程为 24nmile, 那么其扫描线全长代表的时间为____。
A. 590.4us B. 295.2us C. 300.0us D. 600.0us
004. 雷达测得电波在天线与物标之间的往返时间为 36.9us, 则该物标到本船的距离为____。
A. 6nmile B. 3nmile C. 4nmile D. 5nmile
005. 雷达的测距原理是利用电波的以下特性____。
A. 在空间匀速传播 B. 在空间直线传播
C. 碰到物标具有良好反射性 D. 以上都是
006. 雷达测方位原理是利用____特性。
A. 雷达天线定向发射和接收 B. 雷达天线 360° 旋转
C. 雷达天线与扫描线同步 D. 以上都是
007. 雷达接收机一般都采用____式接收机。
A. 再生 B. 直放 C. 超外差 D. 阻容耦合
008. 定时器产生的脉冲要同时送到____。
A. 发射机 B. 接收机 C. 显示器 D. 以上都是
009. 雷达发射机产生射频脉冲, 其特点是____。
A. 周期性, 大功率 B. 周期性, 小功率
C. 连续等幅, 小功率 D. 连续等幅, 大功率
010. 雷达之所以能够发射和接收共用一个雷达天线, 是因为____。
A. 雷达天线是定向天线 B. 雷达天线是波导天线
C. 收发开关的转换作用 D. 雷达天线用波导传输能量
011. 雷达天线其转速通常为____。
A. 80 转/分 B. 15-30 转/分 C. 120 转/分 D. 90 转/分
012. 雷达显示器为了得到完整的图像, 其荧光屏采用____。
A. 短余辉 B. 中余辉 C. 长余辉 D. 超长余辉
013. 雷达显示器是 PPI 显示器, 可以测得物标的二维数据, 即____。
A. 距离和高度 B. 距离和方位 C. 大小和高度 D. 方位高度
014. 雷达射频脉冲与物标回波相比____。
A. 二者功率相同, 频率相同 B. 二者功率不同, 频率不同
C. 二者功率相同, 频率不同 D. 二者功率不同, 频率相同
015. 雷达电源____。
A. 就是船电 B. 由船电转换而成
C. 是中频电源, 由高频用电设备转换而成 D. A 或 B
016. 船用雷达发射机的任务就是产生一个功率较大的____脉冲。
A. 连续波 B. 调频 C. 射频 D. 调幅
017. 船用导航雷达使用的频率属于____波段。
A. L B. X C. S D. X 和 S

二、判断题

001. 船用雷达都是多普勒雷达。
002. 船用雷达绝大多数是脉冲雷达。
003. 船用雷达利用测量电磁波在天线与目标之间的往返时间来测距的。
004. 船用雷达测距原理是测量电磁波在天线与目标之间的频率变化。
005. 雷达发射机产生的射频脉冲功率大，频率非常高。

第一章 选择题参考答案

001. ~010.	ABBB DCDAC	011. ~017.	BCBDB CD
------------	------------	------------	----------

第一章 判断题参考答案

001. ~005.	NYYNY
------------	-------

第二章 船用雷达设备

第一节 中频电源设备

由于船电的种类繁多,电压频率多,负载多,变化大,电压不稳定,而且为了防止微波雷达与船上其他各种高频用电设备通过船电产生相互干扰,要使用雷达专用电源进行变换,也有利于其与其它电源设备相隔离。雷达电源将船电转变成满足雷达工作需要的频率在400~2000Hz之间的中频电。

一、对雷达电源的主要技术要求

1. 电压要稳定,即要求在船电变化 $\pm 20\%$ 或负载变化 $\pm 20\%$ 的情况下,保持输出的中频电压变化小于 $\pm 5\%$ 。
2. 要保持中频频率稳定。中频频率一般在400~2000Hz之间。
3. 要有短路、过流、过压等各种保护措施。
4. 操作、维护简便,使用可靠,寿命长。
5. 能适应24h长时间连续工作。
6. 能适应海上温差大、湿度高、盐雾重等工作环境。
7. 噪声和振动要小,换能效率要高。
8. 体积小,重量轻,价格便宜。

二、雷达电源的种类及其特点

目前,船用雷达电源设备有两类:中频逆变器和中频变流机。

1. 中频逆变器(Inverter)

(1) 组成及各部分的功能

逆变器组成形式很多,但其基本组成大体相同,如图2-1-1所示

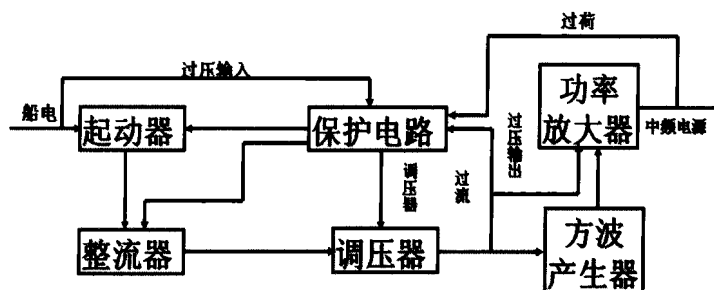


图 2-1-1 中频逆变器组成框图

起动器: 由起动继电器及驱动电路组成,它受雷达显示器面板上的雷达电源开关控制,将船电接入整流器。另外,也受保护电路的控制,当发生过压、过流等情况时,保护电路自动切断电源,停止逆变器的工作,保护逆变器及雷达本机。

整流器: 把交流船电整流成直流电后送给调压器。如果船电原来就是直流电,则可直接送入调压器。

调压器: 调压器实际上是直流调压器,或叫直流变换器。有两个作用:一是直流降压;