

# 船用导航 设备使用指南

江德藩 主编

人民交通出版社

U666.1

J 43

370290

# 船用导航设备使用指南

Chuanyong Daohang Shebei  
Shiyong Zhinan

江德藩 主编



人民交通出版社

(京)新登字091号

### 内 容 简 介

本书共分六篇。第一篇导航雷达及ARPA；第二篇无线电定位系统；第三篇船用陀螺罗经；第四篇航海水声导航仪器；第五篇自动操舵仪；第六篇船舶无线电安全通信设备。全书着重基本概念、使用、保养及维修知识。各篇均对典型产品作了较详细的介绍，供船舶驾驶人员、通信人员及有关管理人员使用参考；亦可供维修人员及院校师生参考。



DLU27/04

### 船用导航设备使用指南

江德藩 主编

责任编辑 唐本立

插图设计：秦淑珍 正文设计：乔文平 责任校对：梁秀清 代瑞平

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

北京四季青印刷厂印刷

开本：787×1092 1/16 印张：52.5 插页：2 字数：1344千

1993年11月 第1版

1993年11月 第1版 第1次印刷

印数：0001—3500册 定价：60.00元

ISBN 7-114-01367-1

U·00901

## 本书各篇作者分工

第一篇导航雷达及ARPA由王世远、许鼎伍编写。

第二篇无线电定位系统由陈德斌、谢鲁城（女）、何基清编写。

第三篇船用陀螺罗经由施超、江德藩编写。

第四篇航海水声导航仪器由谢伟铠、蔡美昂编写。

第五篇自动操舵仪由张永根编写。

第六篇船舶无线电安全通信设备由雷海、王立恕、曲鸿池、杨云凤（女）、倪雨生编写。

## 编者的话

人民交通出版社为适应我国航运事业现代化发展的需要，在上海地区聘请了上海海运学院、上海船舶运输科学研究所、上海远洋运输公司、上海海运局及中国远洋运输总公司等单位有关船用导航设备专家和工程技术人员组成《船用导航设备使用指南》编辑委员会，再约请有关专家，在总结我国船用导航设备教学、科研与实船使用经验的基础上，首次编写了我国第一部《船用导航设备使用指南》，供船舶驾驶人员、通信人员及有关管理人员使用的一部工具书。

本书内容选材要求：立足全局、勾画概貌、反映共性、突出重点、实用为主，既符合目前的实际水平，又反映了新技术成果。

全书初稿完成后，由全体编写成员集体讨论和修改，最后由编委会成员和蔡美昂、王世远及编辑等参加的编审会编审定稿。

本书编写过程得到中国航海学会、中国远洋运输总公司通信导航处、厦门航运电子仪器有限公司上海分公司、上海航海学会通信导航专业委员会、上海海运局通信导航处及上海远洋运输公司通信导航处等单位的资助与支持，在此特向上述有关单位表示诚挚的谢意。

本书编写时间仓促，书中难免有不妥和错误之处，恳请使用本书的广大船员和师生提出批评指正。

## 顾问委员会

主任委员：陈嘉震

委员：陈祖慰 陆 恺 董玖丰 雷 海 周祺芳  
孙治堂 贾洪祥 成家复 姜尔寿 张敬荣

## 编辑委员会

主任委员：江德藩

副主任委员：谢伟锐 高镇都

委员：施 超 陈德斌 王立恕 唐本立 倪雨生

# 目 录

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 第一篇 导航雷达及ARPA                | 1   |
| 第一章 雷达基本原理                   | 1   |
| 第一节 概述                       | 1   |
| 第二节 船用雷达的基本组成及其工作原理          | 1   |
| 第三节 船用雷达测距、测方位的基本原理          | 4   |
| 第二章 船用雷达设备                   | 5   |
| 第一节 雷达发射机                    | 5   |
| 第二节 波导及天线系统                  | 9   |
| 第三节 雷达接收机                    | 13  |
| 第四节 雷达显示器                    | 21  |
| 第五节 雷达电源                     | 26  |
| 第六节 船用雷达附属装置                 | 27  |
| 第三章 船用雷达使用性能与技术指标            | 28  |
| 第一节 船用雷达使用性能                 | 28  |
| 第二节 船用雷达技术指标                 | 34  |
| 第三节 船用雷达的应用                  | 37  |
| 第四章 常用导航雷达介绍                 | 45  |
| 第一节 753型船用导航雷达               | 45  |
| 第二节 756型船用导航雷达               | 49  |
| 第三节 MR-1200E (MK-127)型船用导航雷达 | 53  |
| 第四节 MR-160AX型船用导航雷达          | 56  |
| 第五节 BR-300E-27型船用导航雷达        | 59  |
| 第六节 RM-1290A型船用导航雷达          | 63  |
| 第五章 ARPA基本原理及应用              | 67  |
| 第一节 概述                       | 67  |
| 第二节 基本ARPA 系统                | 71  |
| 第三节 ARPA自动标绘避碰 流程图           | 73  |
| 第四节 ARPA输入信号预处理              | 74  |
| 第五节 ARPA的主要 功能及原理            | 77  |
| 第六节 ARPA的外围设备                | 95  |
| 第七节 ARPA的优点及 局限性             | 97  |
| 第八节 ARPA的性能标准                | 103 |
| 第九节 ARPA的操作要领及应用             | 108 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>第六章 常用ARPA介绍</b>               | 111 |
| 第一节 RACAL-DECCA 65340型 ARPA       | 112 |
| 第二节 RACAL-DECCA 65411 (1690)型ARPA | 121 |
| 第三节 SPERRY CAS-II型ARPA            | 132 |
| 第四节 SPERRY CAS-340型 ARPA          | 141 |
| 第五节 JAS-800型 ARPA                 | 152 |
| 第六节 RAYPATH型 ARPA                 | 158 |
| 第七节 KH-832型ARPA                   | 163 |
| 第八节 ATLAS-7600型ARPA               | 170 |
| <b>第二篇 无线电定位系统</b>                | 179 |
| <b>第一章 概述</b>                     | 179 |
| 第一节 无线电定位系统定义、地位与基本要求             | 179 |
| 第二节 无线电定位系统的发展简史                  | 179 |
| 第三节 无线电定位的基本原理                    | 180 |
| 第四节 无线电定位系统的分类                    | 180 |
| 第五节 无线电电磁波的传播                     | 180 |
| 第六节 无线电导航定位误差                     | 182 |
| <b>第二章 无线电测向仪</b>                 | 184 |
| 第一节 概述                            | 184 |
| 第二节 无线电测向仪的基本原理                   | 184 |
| 第三节 无线电测向仪的误差                     | 190 |
| 第四节 测向仪的安装要求及使用注意事项               | 193 |
| 第五节 ADF-2200型自动测向仪                | 194 |
| 第六节 TD-A202型自动测向仪                 | 201 |
| 第七节 ADF-4800型自动测向仪                | 206 |
| 第八节 KS-540型自动测向仪                  | 212 |
| <b>第三章 罗兰系统</b>                   | 218 |
| 第一节 罗兰A定位原理                       | 218 |
| 第二节 罗兰A 操作使用注意事项                  | 221 |
| 第三节 罗兰A的天波修正                      | 222 |
| 第四节 罗兰C定位原理                       | 223 |
| 第五节 罗兰C操作使用注意事项                   | 227 |
| 第六节 DW-3型罗兰A定位仪                   | 230 |
| 第七节 TL-862A型罗兰A/C接收机              | 232 |
| 第八节 L999型罗兰C导航仪                   | 236 |
| 第九节 JNA-761型罗兰C导航仪                | 243 |
| 第十节 北极星800型罗兰C导航仪                 | 250 |
| 第十一节 TL-856型罗兰C导航仪                | 257 |
| <b>第四章 台卡导航系统</b>                 | 262 |

|      |                         |     |
|------|-------------------------|-----|
| 第一节  | 台卡导航系统的工作原理 .....       | 262 |
| 第二节  | 台卡导航系统的误差 .....         | 265 |
| 第三节  | 台卡接收机操作使用注意事项 .....     | 266 |
| 第四节  | MK-21型台卡接收机 .....       | 267 |
| 第五章  | 奥米加导航系统 .....           | 270 |
| 第一节  | 奥米加导航系统的工作原理 .....      | 270 |
| 第二节  | 奥米加导航系统的误差 .....        | 274 |
| 第三节  | 奥米加接收机操作使用注意事项 .....    | 275 |
| 第四节  | OR-160型奥米加接收机 .....     | 275 |
| 第五节  | JLA-101型奥米加接收机 .....    | 279 |
| 第六章  | 卫星导航系统 .....            | 281 |
| 第一节  | 子午仪导航卫星定位原理 .....       | 281 |
| 第二节  | 卫星导航仪操作使用注意事项 .....     | 284 |
| 第三节  | GPS 卫星导航定位原理 .....      | 286 |
| 第四节  | MX-1112型卫星导航仪 .....     | 293 |
| 第五节  | MX-1105型卫星-奥米加导航仪 ..... | 302 |
| 第六节  | FSN-70型卫星导航仪 .....      | 315 |
| 第七节  | S-66型卫星导航仪 .....        | 325 |
| 第八节  | MNS-2000型组合卫星导航仪 .....  | 333 |
| 第九节  | NAV-1000型GPS卫星导航仪 ..... | 341 |
| 第十节  | MX-1400型GPS卫星导航仪 .....  | 352 |
| 第十一节 | KGP-300型卫星导航仪 .....     | 362 |
| 第十二节 | GP-500型卫星导航仪 .....      | 373 |
| 第三篇  | 陀螺罗经 .....              | 386 |
| 第一章  | 陀螺罗经指北原理 .....          | 386 |
| 第一节  | 简介 .....                | 386 |
| 第二节  | 陀螺仪及其基本特性 .....         | 388 |
| 第三节  | 陀螺仪与地球自转的关系 .....       | 390 |
| 第四节  | 指北原理 .....              | 392 |
| 第二章  | 陀螺罗经误差及其消除 .....        | 400 |
| 第一节  | 速度误差 .....              | 400 |
| 第二节  | 冲击误差 .....              | 403 |
| 第三节  | 摇动误差 .....              | 404 |
| 第四节  | 纬度误差与基线误差 .....         | 405 |
| 第三章  | 安许茨系列陀螺罗经 .....         | 405 |
| 第一节  | 安许茨IV型陀螺罗经 .....        | 406 |
| 第二节  | 安许茨4型陀螺罗经 .....         | 427 |
| 第三节  | 安许茨6型陀螺罗经 .....         | 431 |
| 第四节  | 安许茨12型陀螺罗经 .....        | 436 |

|     |                           |     |
|-----|---------------------------|-----|
| 第五节 | 安许茨14型陀螺罗经 .....          | 442 |
| 第六节 | 普拉特NAVIGAT型陀螺罗经 .....     | 447 |
| 第七节 | 北辰D-1型陀螺罗经 .....          | 453 |
| 第八节 | 北辰CMZ型陀螺罗经 .....          | 456 |
| 第九节 | 航海I型陀螺罗经 .....            | 460 |
| 第十节 | 天狼星型陀螺罗经 .....            | 464 |
| 第四章 | 斯伯利系列陀螺罗经 .....           | 469 |
| 第一节 | 斯伯利20型陀螺罗经 .....          | 469 |
| 第二节 | 斯伯利37型陀螺罗经 .....          | 474 |
| 第三节 | TG-100型陀螺罗经 .....         | 480 |
| 第四节 | ES-11型陀螺罗经 .....          | 485 |
| 第五节 | TG-5000型陀螺罗经 .....        | 488 |
| 第五章 | 勃朗系列陀螺罗经 .....            | 494 |
| 第一节 | 阿玛勃朗10型陀螺罗经 .....         | 495 |
| 第二节 | CLP-2型陀螺罗经 .....          | 501 |
| 第三节 | DH-II型陀螺罗经 .....          | 505 |
| 第四节 | LH-3型陀螺罗经 .....           | 509 |
| 第五节 | JYJD-1型陀螺罗经 .....         | 511 |
| 第四篇 | 航海水声导航仪器 .....            | 516 |
| 第一章 | 回声测深仪原理 .....             | 516 |
| 第一节 | 概述 .....                  | 516 |
| 第二节 | 回声测深仪组成 .....             | 519 |
| 第三节 | 回声测深仪误差 .....             | 532 |
| 第四节 | 水声学知识 .....               | 533 |
| 第二章 | 回声测深仪设备 .....             | 537 |
| 第一节 | SDH-4B型回声测深仪 .....        | 537 |
| 第二节 | 扬子江型回声测深仪 .....           | 541 |
| 第三节 | SZS型数字式回声测深仪 .....        | 546 |
| 第四节 | ATLAS-470型回声测深仪 .....     | 549 |
| 第五节 | ELAC LAZ51型回声测深仪 .....    | 556 |
| 第六节 | SIMRAD ED-162型回声测深仪 ..... | 560 |
| 第七节 | MG-60系列回声测深仪 .....        | 565 |
| 第八节 | JFE-570S型回声测深仪 .....      | 569 |
| 第九节 | F-850系列回声测深仪 .....        | 579 |
| 第十节 | MS45型回声测深仪 .....          | 582 |
| 第三章 | 电磁计程仪 .....               | 589 |
| 第一节 | 计程仪发展简介 .....             | 589 |
| 第二节 | 电磁计程仪原理 .....             | 590 |
| 第三节 | CDJ-5型电磁计程仪 .....         | 592 |

|     |                           |     |
|-----|---------------------------|-----|
| 第四节 | JD-2型电磁计程仪 .....          | 598 |
| 第五节 | EML型电磁计程仪 .....           | 601 |
| 第六节 | NAVIKNOT 型电磁计程仪 .....     | 606 |
| 第四章 | 多普勒计程仪 .....              | 607 |
| 第一节 | 多普勒测速原理 .....             | 607 |
| 第二节 | MF-220型多普勒计程仪 .....       | 610 |
| 第三节 | 多普勒声纳——海流指示器 .....        | 619 |
| 第四节 | SRD-331型多普勒计程仪 .....      | 626 |
| 第五节 | TD-501型多普勒计程仪 .....       | 631 |
| 第六节 | 阿特拉斯DOLOG20系列多普勒计程仪 ..... | 633 |
| 第七节 | DL-2 型多普勒计程仪 .....        | 637 |
| 第五章 | 声相关计程仪 .....              | 638 |
| 第一节 | 声相关计程仪的原理 .....           | 639 |
| 第二节 | SAL-IMCOR2型声相关计程仪 .....   | 640 |
| 第三节 | SAL-84型声相关计程仪 .....       | 643 |
| 第四节 | SAL-865型双轴声相关计程仪 .....    | 645 |
| 第五篇 | 自动操舵仪 .....               | 648 |
| 第一章 | 自动操舵的概述 .....             | 648 |
| 第一节 | 概述及构成框图 .....             | 648 |
| 第二节 | 自动舵的发展 .....              | 649 |
| 第二章 | 自动控制、自动舵与自适应舵概理 .....     | 651 |
| 第一节 | 舵的动作要求与操舵 .....           | 651 |
| 第二节 | 自动控制原理 .....              | 654 |
| 第三节 | 自动舵原理 .....               | 656 |
| 第四节 | 自适应原理 .....               | 659 |
| 第五节 | 自动舵的基本性能要求 .....          | 660 |
| 第六节 | 自动舵分类 .....               | 661 |
| 第三章 | 自动舵的基本结构 .....            | 665 |
| 第一节 | 操舵台 .....                 | 666 |
| 第二节 | 执行装置 .....                | 670 |
| 第三节 | 电源控制箱 .....               | 673 |
| 第四节 | 舵角反馈器、发送器、限位器箱 .....      | 673 |
| 第五节 | 遥控操舵器 .....               | 674 |
| 第四章 | 常用自动舵与自适应舵的介绍 .....       | 674 |
| 第一节 | 自动舵的正确使用 .....            | 674 |
| 第二节 | 常用自动舵与自适应舵 .....          | 676 |
| 第五章 | 自动舵调节性能分析 .....           | 720 |
| 第一节 | 影响自动舵效果的间隙 .....          | 720 |
| 第二节 | 天气调节器的间隙 .....            | 721 |

|     |                            |     |
|-----|----------------------------|-----|
| 第三节 | 系统中的间隙与 $P$ 、 $I$ 、 $D$ 调节 | 722 |
| 第四节 | 自动舵评价方法                    | 723 |
| 第六章 | 安装、检查、维护                   | 724 |
| 第一节 | 安装要求                       | 724 |
| 第二节 | 故障分析检查方法                   | 725 |
| 第三节 | 维护保养                       | 728 |
| 第六篇 | 船舶无线电安全通信设备                | 730 |
| 第一章 | 甚高频无线电(VHF)                | 730 |
| 第一节 | 概述                         | 730 |
| 第二节 | VHF的频道划分和几种工作模式            | 733 |
| 第三节 | 船用VHF设备介绍                  | 735 |
| 第四节 | 船用VHF设备的常见故障及应急检修方法        | 755 |
| 第二章 | 气象传真机(FAX)                 | 758 |
| 第一节 | 传真通信的基本原理                  | 758 |
| 第二节 | 传真机的主要技术参数                 | 762 |
| 第三节 | 几种常用的船用气象传真机               | 764 |
| 第三章 | 气象航行警告接收机(NAVTEX)          | 779 |
| 第一节 | 概述                         | 779 |
| 第二节 | NAVTEX系统概述                 | 781 |
| 第三节 | NAVTEX接收机介绍                | 785 |
| 第四章 | 卫星紧急无线电示位标                 | 803 |
| 第一节 | 1.6GHz卫星紧急无线电示位标           | 803 |
| 第二节 | 406MHz卫星紧急无线电示位标           | 805 |
| 第三节 | 卫星紧急无线电示位标的组成              | 809 |
| 第四节 | 典型产品介绍                     | 810 |
| 第五章 | 船舶通信与航行安全                  | 825 |

# 第一篇 导航雷达及ARPA

## 第一章 雷达基本原理

### 第一节 概 述

“雷达”是英语Radio Detection And Ranging几个字头缩写RADAR的译音，其原意是：无线电探测和测距。

雷达技术是利用电磁波的二次辐射、转发或固有辐射来探测目标，获取目标空间坐标、速度、特征等信息的一门无线电技术学科。

雷达最早出现在30年代后期的第二次世界大战中。由于雷达是利用电磁波探测目标，它具有不受环境能见度的限制，在雾、云、雨、雪等条件下仍能发现目标，作用距离远、显示直观和使用方便等特点；使它在第二次大战中得到迅速的发展。第二次大战后，雷达在理论和工程技术上均得到不断的提高，特别是电子计算机技术的引入，使现代雷达具有更多的功能，更广泛的用途。现代雷达已不单纯是判定目标存在和测定目标位置参数的传感器，而且具有自动处理信息的功能，它可以自动、迅速、准确地完成测量、显示、控制和管理，甚至在一定程度上还能代替人的思维和劳动，在军事、民用和科学研究中发挥越来越大的作用。

装在船上，用来观测船舶周围各种水面物标（如来往船舶、岛屿、冰山、礁石、浮筒、岸边等），并测量其距离和方位，从而进行船舶定位和避让的雷达，称为船用雷达。船用雷达出现于40年代中期，现在已成为船舶必不可少的主要助航设备，它对保证船舶航行安全、缩短船舶营运周期和减轻船舶驾驶员的劳动强度等方面均起了很大的作用。因此，国际海事组织（IMO）对各类船舶必须装备雷达的数量和性能标准均作了具体的规定。

装在港口，用于港口导航和水上交通管理的雷达，称为港口雷达。从1949年在英国利物浦首先装设了正规的港口导航雷达系统以来，目前，在世界各重要港口也相当普遍地装设港口导航雷达系统。

通常，船用雷达和港口雷达统称为航海雷达。

### 第二节 船用雷达的基本组成及其工作原理

#### 一、基本组成框图及各部分作用

各种型号的船用雷达，其基本组成框图均如图1-1-1所示。

由图1-1-1可见，一台船用雷达由收发机（其中包括发射机、接收机、收发开关及定时器

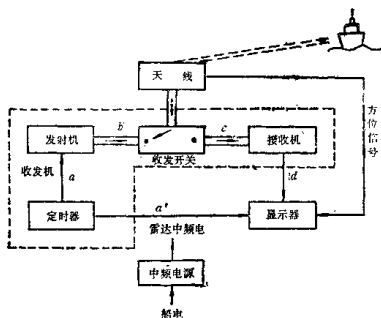


图1-1-1 船用雷达基本组成框图

a、a'-触发脉冲；b-发射脉冲；c-回波脉冲；d-视频脉冲

定时器是协调雷达全机脉冲工作的“指挥中心”，是雷达的“心脏”。

## 2. 发射机 (Transmitter)

发射机的任务是在触发脉冲控制下产生周期性、大功率的微波脉冲（图1-1-1中发射机输出b），后者又称发射脉冲、射频脉冲或搜索脉冲，其波形如图1-1-2中b所示。

波长从1mm至30cm的无线电波段称为微波波段。每一个雷达发射脉冲中射频振荡一周，即两个相邻波峰或波谷之间对应的距离称为雷达工作波长 $\lambda$ 。每秒钟射频振荡的次数称为雷达工作频率 $f_s$ 。 $\lambda$ 和 $f_s$ 的关系如式(1-1-1)所示：

$$\lambda = \frac{c}{f_s} \quad (1-1-1)$$

式中： $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，为无线电波在空间的传播速度，等于光速。

通常，船用雷达有X、S两个工作波段，其相应的工作频率范围和工作波长分别为：

X波段  $f_s = 9375 \pm 50 \text{ MHz}$   $\lambda = 3.2 \text{ cm}$  常称“3公分”雷达

S波段  $f_s = 3010 \pm 50 \text{ MHz}$   $\lambda = 10 \text{ cm}$  常称“10公分”雷达

其中， $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$ 。

每个发射脉冲的射频振荡持续时间称为脉冲宽度 $\tau$ 。现代船用雷达的发射脉冲宽度在 $0.05 \sim 1.2 \mu\text{s}$ 之间。这里， $1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$ ，是雷达的基本计时单位。

每相邻两次发射的间隔时间称为脉冲重复周期 $T$ ，单位为 $\mu\text{s}$ 。每秒钟发射的次数称为脉冲重复频率 $F$ ，单位为Hz，常用符号P. R. F. (Pulse Repeat Frequency) 表示，

等，定时器也可装在显示器内），天线、显示器和雷达中频电源等4个分机组成。各部分的作用原理如下：

## 1. 定时器 (Timer, Trigger)

定时器又称触发电路或触发脉冲产生器。

定时器用来产生周期性触发脉冲，如图1-1-2中a所示。

由图1-1-1可见，触发脉冲的一路送给发射机a，另一路送给显示器a'，其功用是：控制发射机起始发射时刻和显示器开始计时（扫描）时刻，并使天线口发射和显示器扫描保持严格同步，因此又称同步脉冲，定时脉冲。

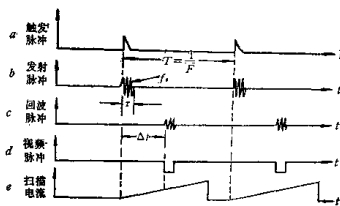


图1-1-2 基本波形与时间关系图

$T$ 和 $F$ 的关系如式(1-1-2)所示:

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

现代船用雷达的脉冲重复频率在400~4000Hz之间。

雷达在每一次发射瞬间所能达到的最大功率称为雷达发射峰值功率 $P_i$ , 亦称脉冲功率。船用雷达的发射峰值功率很大, 通常为3~75kW, 而发射的平均功率 $P_e$ , 却很小, 只有峰值功率 $P_i$ 的几百至几千分之一。 $P_e$ 和 $P_i$ 的关系如式(1-1-3)所示:

$$P_e = P_i \cdot \frac{\tau}{T} = P_i \cdot \tau \cdot F \quad (1-1-3)$$

式中:  $\tau/T$ 为脉冲工作比, 其值很小。例如: 当 $\tau = 1\mu s$ ,  $T = 1000\mu s$ 时,  $\tau/T = 1/1000$ , 意即:  $P_e$ 只有 $P_i$ 的一千分之一。

### 3. 收发开关 (T-R Switch)

收发开关又称天线转换开关, 其作用是: 发射时, 它使发射机与天线相接, 保证了发射能量送到天线, 同时切断接收机通路, 以防止发射强脉冲能量损坏接收机中混频晶体等器件; 接收时, 它使天线与接收机相接, 使微弱的物标回波信号送入接收机, 同时切断发射机支路, 以免回波信号能量无为地损失。

由于收发开关能够起到天线在发射、接收两个状态下的上述自动转换作用, 因而使船用雷达的发射和接收可以共用同一个雷达天线。

### 4. 天线 (Scanner, Antenna, Aerial)

船用雷达天线是一种收发共用的定向性很强的定向天线 (Directional Antenna), 其作用是: 将来自发射机的发射脉冲能量聚成细束朝一个方向辐射出去, 同时也只接收来自该方向的物标反射回波, 并将它送入接收机。

雷达天线由驱动电机带动按顺时针方向匀速旋转, 转速通常为18~25r/min (个别为80r/min)。天线分机还向显示器送出方位信息, 包括天线波束指向的方位角信号及船首信号。

### 5. 接收机 (Receiver)

船用雷达接收机均采用超外差式, 其作用是: 放大来自天线的物标回波信号(图1-1-1中c), 并使它变成成为显示器显象所要求的回波视频信号。

由图1-1-2可见, 物标回波信号c与发射脉冲b相比, 有两点重要的区别: 一是回波脉冲延迟于发射脉冲, 延迟时间等于雷达波在天线和物标之间的往返传播时间 $\Delta t$ ; 二是回波脉冲比发射脉冲弱得多, 这是因为从物标反射回到天线的仅仅是发射能量的极少部分。

接收机输出的回波视频脉冲信号(图1-1-1中d)送到显示器放大并显示在荧光屏上。

### 6. 显示器 (Display)

雷达显示器在触发脉冲的作用下产生用来计时的距离扫描线, 后者又在天线方位信号的控制下和天线同步旋转, 从而将物标回波信号显示成荧光屏上的平面位置图象。因此, 船用雷达显示器又称为平面位置显示器, 即PPI(Plane Position Indicator)。在触发脉冲的作用下, 显示器还产生距离和方位测量标志, 用来测量物标的距离和方位。

### 7. 中频电源 (Power supply)

中频电源是雷达的专用电源, 它将各种船电变换成雷达工作所需要的一定电压、一定功率的中频电源。

一般, 船用雷达采用的中频电源的频率为400~2000Hz, 我国常用100Hz。

常见的雷达中频电源有中频变流机组与中频逆变器两种。

## 二、船用雷达整机工作情况

当雷达通电后,中频电源分机产生的中频电加到各分机。定时器产生的触发脉冲一路送到显示器,控制扫描系统工作,并在荧光屏上形成距离扫描线;另一路送到发射机,控制发射机产生发射脉冲,后者经收发开关、波导管送到天线并辐射出去,当雷达天线辐射的电磁波遇到物标,便被物标反射,其中有一小部分反射信号返回天线,进入接收机,构成物标回波脉冲。回波脉冲经接收机放大并转换成视频脉冲,加到阴极射线管,于是在扫描线相应的长度上形成回波亮点。天线旋转的方位角信号经方位同步系统送入显示器,使距离扫描线与天线同步旋转。因此,天线旋转时从四周搜索回来的物标回波脉冲,能在相应方位的距离扫描线上形成相应物标距离的回波亮点。可见,在触发脉冲同步下产生距离扫描线,在扫描线上形成物标回波亮点以及扫描线与天线同步旋转,这三个方面综合形成了荧光屏上一幅雷达平面位置图象。利用测量标志可测量物标的距离和方位。

## 第三节 船用雷达测距、测方位的基本原理

### 一、测距原理

船用雷达测距是基于电磁波在均匀介质中具有等速直线传播的特性,依靠测定物标反射波相对于雷达发射波的相对延时 $\Delta t$ 来实现的。

设雷达波离开天线的时间为 $t_0$ ,而由物标反射至天线的时间为 $t_1$ ,则天线与物标之间的距离 $r$ 可由下式决定:

$$r = \frac{c}{2} (t_1 - t_0) = \frac{c}{2} \Delta t \quad (1-1-4)$$

式中:  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  为电磁波传播速度;

$\Delta t = t_1 - t_0$  为电磁波在天线与物标之间的往返传播时间。

由式(1-1-4)可见,只要测得 $\Delta t$ ,便可知相应距离 $r$ 。例如,  $\Delta t = 1 \mu\text{s}$ , 对应距离为150m;  $\Delta t = 12.3 \mu\text{s}$ , 对应距离为1n mile等等。

在实际的船用雷达中,利用显示器荧光屏上的距离扫描线作为距离的“量尺”。因为距离和时间是一一对应的,因此,这只“量尺”可以直接按距离来画刻度。距离扫描线的全长代表的时间或距离随选用的雷达距离量程的不同而不同。例如:3n mile量程,对应的时间为 $3 \times 12.3 = 36.9 \mu\text{s}$ ; 48n mile量程,对应的时间为 $48 \times 12.3 = 590.4 \mu\text{s}$ 。

### 二、测方位原理

船用雷达测方位是基于电磁波在均匀介质中具有直线传播及微波天线具有定向发射和接收的特性。

在某一瞬间,雷达天线只朝一个方向发射,也只接收来自该方向上物标的回波。因此,雷达天线主波束指向的方位等于物标的方位;同时,利用方位同步系统可使扫描线与天线同步旋转,扫描线方位等于天线主波束的方位。显然,扫描线方位便是物标的方位。扫描线的方位零度起点可规定为船首或真北,于是,当方位零度为船首时,测得的是物标舷角;当方

位零度为真北时，测得的便是物标真方位。这样，当天线旋转并向四周发射雷达波时，周围物标的方位便可利用方位刻度装置进行测量。

## 第二章 船用雷达设备

### 第一节 雷达发射机

#### 一、发射机主要技术指标

##### 1. 工作波长 $\lambda$

通常，船用雷达发射机都工作在 $\lambda = 3\text{cm}$ （X波段）或 $\lambda = 10\text{cm}$ （S波段）。

##### 2. 发射脉冲宽度 $\tau$

由于对船用雷达在近量程、中量程和远量程工作时的不同使用要求，发射脉冲宽度 $\tau$ 应随距离量程的转换而改变：对近量程，主要要求是图象分辨率和测量精度要高。因此采用窄脉冲，一般为 $0.05 \sim 0.1\mu\text{s}$ ；对远量程，主要要求是作用距离要远，因而采用宽脉冲，以使脉冲能量 $(P_t \cdot \tau)$ 大，一般 $\tau = 0.6 \sim 1.2\mu\text{s}$ ；对中量程，要兼顾作用距离和分辨率两方面要求，因而采用中脉冲，一般 $\tau = 0.2 \sim 0.5\mu\text{s}$ 。

##### 3. 脉冲重复频率 $F$

为保证雷达探测最大距离时正常的脉冲工作秩序，必须使两个发射脉冲之间的时间间隔大于电磁波在最大探测距离内往返传播时间。

为适应远、近量程时对脉冲重复频率 $F$ 的不同要求，在实际雷达中，脉冲重复频率也随距离量程的转换而相应改变：对近量程，为增加回波脉冲积累数，以利发现近距离小物标，采用高重复频率，一般为 $2000 \sim 4000\text{Hz}$ ；对远量程，为保证上述正常的脉冲工作秩序，并防止远量程采用宽脉冲发射时的磁控管平均功率 $(P_a = P_t \cdot \tau \cdot F)$ 超过允许值，而采用低重复频率，一般为 $400 \sim 800\text{Hz}$ ；对中量程，为兼顾上述两方面的要求，采用中重复频率，一般为 $1000 \sim 2000\text{Hz}$ 。

##### 4. 发射峰值功率 $P_t$

发射输出功率直接影响到雷达作用距离，功率越大，作用距离越远，但功率太大时，对高压元件要求太高，电路复杂，工作可靠性降低。对船用雷达而言，如果发射峰值功率已经足够发现接近雷达地平的中型船舶，则就没必要再增大功率。一般船用雷达发射峰值功率为几千瓦到几十千瓦范围。

##### 5. 发射脉冲波形

为了提高雷达测距精度和距离分辨率，发射脉冲包络应力求接近矩形。

#### 二、发射机组成框图

雷达发射机由磁控管振荡器、调制器、定时器和发射机电源等四部分组成，有时在调制器前面还有预调制器，如图1-2-1所示，其中主要脉冲波形与时间关系如图1-2-2所示。

由图1-2-1、1-2-2可见，在中频电源的同步下，定时器产生周期性触发脉冲，在触发脉冲作用下预调制器产生正极性预调脉冲，在预调脉冲作用下，调制器产生负极性高压调制脉