



航海雷达

应士君 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

航海雷达

应士君 编著

上海交通大学出版社

内容提要

本书介绍了航海雷达的发展概况,雷达的基本构成、工作原理、性能技术指标及局限性、目标跟踪与显示、雷达应用、操作使用、安装调试等方面的内容。本书充分考虑了航海技术专业本科的学位教育以及 STCW 公约对船舶驾驶员培训评估方面的要求,原理和应用兼顾,重在应用,并反映了现代航海雷达发展中的新技术。

本书可作为高等航海院校航海技术专业教材,也可作为有关专业和船舶驾驶员的参考书或培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

航海雷达/应士君编著. —上海:上海交通大学出版社,2017

ISBN 978-7-313-16122-2

I. ①航… II. ①应… III. ①海用雷达 IV. U665.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 270520 号

航海雷达

编 著:应士君

出版发行:上海交通大学出版社

邮政编码:200030

出 版 人:郑益慧

印 制:上海颀辉印刷厂

开 本:787mm×1092mm 1/16

字 数:423 千字

版 次:2017 年 1 月第 1 版

书 号:ISBN 978-7-313-16122-2/U

定 价:48.00 元

地 址:上海市番禺路 951 号

电 话:021-64071208

经 销:全国新华书店

印 张:18.25

印 次:2017 年 1 月第 1 次印刷

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话:021-57602918

本书参考交通部高等学校航海类专业教学指导委员会审议通过的《航海雷达与 ARPA》教材大纲,结合 IMO 雷达性能标准和 STCW 公约马尼拉修正案,以及中华人民共和国海事局制定的海船船员适任考试和评估大纲的要求编写的,注重反映航海雷达的前沿技术发展和应用实践,可以作为高等航海院校航海技术本专科教育、各海事培训机构相关课程和海事局“雷达操作与应用”评估培训课程的教学、评估教材,也可以作为有关专业及船舶驾驶员的参考用书。

本书分 11 章,主要内容包括航海雷达的发展概况、基本构成、工作原理、性能指标及局限性、目标跟踪与显示、避碰和导航应用、操作使用和安装保养等。内容的选取和深广度充分考虑了学位教育和船员培训评估的有关要求。着重分析雷达的性能和功能,影响雷达性能的各种因素和雷达的局限性,雷达在瞭望、定位、导航和避碰中的应用,并介绍了现代航海雷达面临的挑战和新技术的发展。本书的参考教学时数为 45 学时,使用本书时可根据需要酌情取舍内容。

本书由上海海事大学应士君教授编写,书中的示意图由邹绪平老师负责绘制。由于编者水平有限,书中存在的不足与错误之处,敬请读者批评指正。

第一章 绪论	001
第一节 雷达概况	001
第二节 雷达基本组成及各部分作用	006
复习题	008
第二章 雷达中频电源	009
第一节 雷达电源	009
第二节 中频变流机组	010
第三节 中频逆变器	012
复习题	016
第三章 雷达发射机	017
第一节 雷达发射机的组成	017
第二节 磁控管振荡器	022
第三节 脉冲调制器	029
第四节 雷达发射机调整及简单故障判断	034
复习题	036
第四章 微波传输及雷达天线系统	037
第一节 波导与同轴电缆	037
第二节 雷达天线	040
第三节 天线系统的组成	045
复习题	048
第五章 雷达接收机	049
第一节 雷达接收机的组成	049
第二节 本机振荡器	054

第三节	混频器	056
第四节	接收机中放电路	059
第五节	接收机的日常维护	064
第六节	收发开关	065
	复习题	068
第六章	雷达显示器	069
第一节	径向圆扫描及 PPI 显示器	070
第二节	PPI 显示器组成	073
第三节	显示器主要信号处理电路	075
第四节	光栅扫描显示器	079
第五节	显示器调整 and 状态判断	085
第六节	雷达显示方式	087
第七节	双雷达系统及性能监视器	098
	复习题	103
第七章	雷达使用性能与影响因素	104
第一节	最大探测距离及其影响因素	104
第二节	最大作用距离及其影响因素	107
第三节	最小作用距离及其影响因素	115
第四节	距离分辨力及测距精度	116
第五节	方位分辨力及测方位精度	119
第六节	雷达主要技术指标及其对使用性能的影响	121
第七节	影响雷达回波正常观测的诸因素	126
	复习题	132
第八章	航海雷达目标跟踪和显示	134
第一节	雷达的人工标绘及局限性	136
第二节	雷达信号的预处理	140
第三节	目标的检测、录取和跟踪	146
第四节	目标参数计算和危险判断	156
第五节	目标的显示	163
第六节	试操船	170
第七节	雷达报警、接口和导航功能	173
第八节	AIS 目标显示	178
第九节	雷达跟踪的误差和局限性	186
	复习题	195

第九章	航海雷达的操作与安装	197
第一节	航海雷达的主要控钮及操作	197
第二节	雷达基本操作方法	208
第三节	雷达安装及验收	210
第四节	雷达维护保养	214
第五节	交接班检查及维修后的验收	217
复习题		219
第十章	航海雷达的应用	220
第一节	雷达定位	221
第二节	雷达的避碰应用	228
第三节	雷达导航	230
第四节	雷达航标	234
复习题		239
第十一章	航海雷达新技术	240
第一节	雷达天线新技术	240
第二节	雷达收发机新技术	242
第三节	雷达显示器新技术	243
第四节	航海雷达的发展趋势	248
复习题		252
附录一	雷达设备性能标准	253
附录二	航海雷达常用词汇英汉对照表	269
参考文献		281

第一章

绪 论

第一节 雷 达 概 况

一、雷达发展概况

雷达是一个外来词,是英文 Radar 的音译,是 Radio Detection and Ranging 的缩写,意思是无线电探测和测距,就是用无线电波发现目标并测定目标的位置。因此雷达也是一种无线电导航系统。随着雷达技术的发展,雷达不仅仅能测量目标的距离、方位和仰角,还能测量目标的速度。高分辨率雷达甚至能从目标回波中获得目标姿态等更多目标的信息。

雷达不是某一个人或某一个国家单独发明的。人们应该看到雷达的出现是许多基础理论和重要发明积累的结果。许多国家的科学家们在他们的实验室里夜以继日地工作,这些理论和发明对雷达的发展做出了重要的贡献。

1865 年,苏格兰物理学家 James Clerk Maxwell 提出了“电磁场理论”,首次解释了电磁波和电磁波的传播。电磁场以电磁波的形式在空中传播,且传播的速度是恒定的。

1886 年,德国物理学家 Heinrich Rudolf Hertz 首次发现了电磁波的存在,证明了 Maxwell 的理论。

1897 年,意大利发明家 Guglielmo Marconi 首次实现了无线电波的远距离传播,在实验中,他在帐篷支柱上绕上电线用做简易天线,英语天线 antenna 就是来源于意大利语帐篷支柱。Marconi 被公认为无线电通信的先驱者。

1904 年,德国工程师 Christian Hülsmeyer 在德国、法国和英国申请了一项名为“telemobiloscope”的专利,用于能见度不良时水上探测船舶以免碰撞。这是历史上首次真正的雷达实验。

1921 年,美国物理学家 Albert Wallace Hull 发明了磁控管。磁控管作为一种高效的发射管用在雷达上。

1922 年,美国海军实验室的工程师 Albert H. Taylor 和 Leo C. Young 首次用雷达探测到了木船。

1930年,同为美国海军实验室的Lawrence A. Hyland首次用雷达探测到了飞机。

1931年,采用抛物面天线和角状辐射器的雷达首次安装到了船舶上。

1936年,美国通用电气的电子学家George F. Metcalf和William C. Hahn发明了速调管,速调管是雷达上的一种重要器件,用做放大器和本振。

1939年,英国伯明翰大学的两位工程师John Turton Randall和Henry Albert Howard Boot设计了一种小型大功率的多孔径磁控管。B-17轰炸机上安装了采用这种磁控管的雷达,能够在夜晚和雾天探测并轰炸德国的潜艇。

1940年以后,美国、德国、俄罗斯、法国和日本相继研发出了不同的雷达设备。由于战争的驱动和空军发展的需要,雷达技术在二次世界大战中得到飞速的发展。在冷战时代雷达作为重要的军事设施备受各国的重视。

二战后,随着电子技术的发展,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,应用也越来越广泛。

二、雷达简介

雷达可以理解作为一种电磁传感器,用于发射和接收电磁波,对具有反射电磁波的物体进行检测和定位。雷达的工作过程可以归纳如下:

(1) 雷达发射机产生电磁波,并通过雷达天线辐射电磁能量,使电磁波在空中以直线的方式传播。

(2) 部分电磁波能量辐射到某个距离上的物体(也称为目标)上。

(3) 这个物体向多个方向反射电磁波能量。

(4) 一部分反射的电磁波(也称为回波)能量返回到雷达天线,并被雷达天线接收后送至雷达接收机。

(5) 回波被接收机放大和处理后获得雷达视频信号并送至雷达显示器。

(6) 雷达显示器以视觉方式直观显示目标的位置和其他信息。

雷达辐射的电磁波是一种类似矩形的窄脉冲。比如航海雷达在用来探测远量程目标的波形时可以描述为持续时间为1微秒($1\mu\text{s}$)的脉冲;发射脉冲的时间间隔可能为1ms,即脉冲重复频率为1kHz;雷达发射机峰值功率可能为30千瓦(30 kW);由这些数据得出发射机的平均功率为30瓦(30 W)。30W的平均功率可能比一台海图灯的功率要小。我们假设这部雷达工作在微波S频段,也就是 $2.9\sim 3.1\text{ GHz}$,这是航海雷达的典型频段。其波长约为10cm(因此也可以称为分米波雷达)。使用合适的天线,这部雷达可以探测到距离为20~30n mile左右的船舶。雷达从目标接收到的回波功率可以在很宽范围的值上变化,为了说明雷达接收的动态范围,假设船舶典型的回波信号具有 10^{-13} W 的功率。如果辐射的功率是 30 kW ,则目标回波信号功率与雷达发射机功率的比为 3×10^{-18} ,或者说接收回波比发射信号低180dB左右。这说明雷达的发射信号与可检测的回波信号的幅度差是巨大的。

不同雷达之间的差别很大,小桥车上的倒车雷达只能在几米的距离上检测目标,太空雷达则需要在大到至最近的行星的距离上工作。雷达可能小到能够握在手中,也可能大到足够占据许多个足球场的空间。

众所周知,飞机、舰船和导弹是雷达的探测目标,其实人、飞鸟、昆虫、降雨、气流、空气中的水蒸气、电离的媒质、一些地表特征如植被、山脉、道路、河流、机场、建筑、森林、高压传输线等、海洋、冰层、冰山、航标、地下特征、流星、极光、宇宙飞船以及行星都可以成为雷达的探测目标。不同目标对电磁波的反射能力不同,要根据雷达的用途来选择合适的波段探测特定的目标。

三、雷达类型

除军事应用外,还在如航海、航空、港口和狭水道导航和交通管理系统(VTS/VTIS)、空中交通管制、气象观测、射电天文、地形测绘、卫星跟踪等领域都使用了雷达技术。尽管可以有多种方式来表征雷达,在此以雷达的主要特征来表征不同类型的雷达。

1. 脉冲雷达

这种雷达发射重复的近似于矩形的脉冲串。航海雷达就是一种典型的单脉冲雷达。如没有特别说明时,一般认为就是脉冲雷达。

2. 高分辨率雷达

高分辨率可以是距离、角度或多普勒速度的测量分辨率,但一般都是指雷达具有高的距离分辨率,一些高分辨率雷达的距离分辨率为几分之一米,也可能小到几厘米。

3. 脉冲压缩雷达

这种雷达使用脉内调制(调频或调相)的长脉冲获得长脉冲的能量及短脉冲的分辨率。

4. 连续波 CW 雷达

这种雷达采用连续的正弦波。使用多普勒频移来检测移动目标或测量目标的相对速度。

5. 调频-连续波 FM-CW 雷达

这种连续波雷达通过使用波形的频率调制来实现距离测量。

6. 脉冲多普勒雷达

使用多普勒频移从杂波中提取动目标。

7. 成像雷达

这种雷达显示目标或场景的二维图像,比如地表特征等。

8. 俯视机载雷达(SLAR)

这种机载侧成像雷达具有很高的距离分辨率,并通过使用窄波束天线获得角度上的适当分辨率。

9. 合成孔径雷达(SAR)

SAR 是一种相参成像雷达,利用回波的相位信息获得在距离和横向距离上的高分辨率场景图像。常使用脉冲压缩获得距离高分辨率。

10. 逆合成孔径雷达(ISAR)

ISAR 也是一种相参成像雷达,利用高距离分辨率和目标的相对运动获得多普勒域的高分辨率,以在横向距离维上获得分辨率。

按用途来分,还有监视雷达、动目标显示(MTI)雷达、跟踪雷达、火力控制雷达、制导雷达、气象观测雷达、多普勒天气雷达、遥感雷达、预警雷达和多功能雷达等。

航海雷达(Marine Radar)是一种脉冲雷达,也称为民用航海雷达(CMR)或导航雷达(Navigation Radar)。就世界范围内使用的系统数量来说,航海雷达一直都是最大的雷达市场。非官方的数据估计,安装航海雷达的各种船舶数量超过了 300 万艘。航海雷达主要有两个应用领域:安装在舰船和小艇上用于导航和避碰的叫船用雷达;另一种则被港口和海岸事务机构用来从陆地上对船舶进行警戒的叫船舶交通管理(VTS)雷达,也叫港口雷达。也有用于游艇和渔船的雷达,它们都工作于 3 GHz 和 9 GHz 波段。很多国家的军舰也使用标准的或经过特殊改造的航海雷达进行导航。它不仅仅是一种非常实用的导航系统,而且它发射的信号与常规商船上用的雷达发射的信号是一样的,这样就既能保证军舰的安全导航又能不突出军舰的军事用途。

国际海事组织(IMO)对船用雷达要求的影响是最大的。IMO 关心的是国际海洋安全和对海洋环境的保护。IMO 以公约的形式颁布了在商船上安装和使用船用雷达设备的要求和指导方针,这些要求和方针在各个海洋国家以法律的形式强制执行。按照 IMO 在船用雷达的性能标准中的定义,船用雷达的作用是通过显示雷达应答器、其他船舶、障碍物和危险物、航标和海岸线等的位置,用于安全导航和船舶避碰。国际航标协会(IALA)对 VTS 雷达的使用和技术要求提出了建议。

船用雷达的应用在保证船舶航行安全,加快船舶营运周期和减轻航海人员的劳动强度等方面都起了很大作用。船用雷达已经成为各类船舶必不可少的主要助航设备,被誉为船舶驾驶员的“眼睛”。国际海事组织(IMO)在 SOLAS 公约第五章中对各类船舶安装雷达的数量和性能作了明确的规定。按照 SOLAS 公约的要求,所有 300 总吨及以上的船舶和不论尺度大小的客船必须安装一台 X 波段雷达,并具有电子标绘装置(EPA),假如是 600 总吨及以上的船,则必须具有自动跟踪装置(ATA);所有 3 000 总吨及以上的船舶,除满足以上要求外,还应配置一台 S 波段雷达或(如果主管机关认为合适)第二台 X 波段雷达,并具备目标自动跟踪装置;所有 10 000 总吨及以上的船舶,应配备两台(至少一台为 X 波段)雷达,其中至少一台应具备自动跟踪功能和试操船功能,或 ARPA(Automatic Radar Plotting Aid)功能,可自动标绘至少 20 个目标,用于船舶避碰行动。

由于部分船舶驾驶员没有全面了解雷达的使用性能,不能正确分析、判断和使用雷达信息而导致发生海事的事情也屡见不鲜。所以,船舶驾驶员必须掌握雷达的基本工作原理、各组成部分的作用、主要的技术指标和性能指标,了解雷达的使用性能和局限性;正确掌握雷达各种开关旋钮的调节方法和步骤;掌握分析、判断和运用雷达获得信息的能力;能进行日常的维护保养工作、更换主要的元器件、排除一般性的常见故障。这样才能保证雷达的正确运行,以确保航行安全。

IMO 在 STCW 马尼拉修正案中明确规定航海人员必须接受雷达和雷达模拟器的培训并通过主管海事部门的评估考核,而且对训练的内容也作了相应的规定。

四、雷达测距测方位基本原理

当雷达探测到目标后,就可以从目标回波中提取有用的信息,根据目标的距离和方位实施对目标的定位,通过检测多普勒频移还能够测量目标相对于雷达的相对速度。如果雷达

在一段时间内连续测量目标的位置,则可以得到目标的运动轨迹并建立跟踪,经过滤波处理后可以得到目标的绝对速度和运动方向,进而可以对目标未来的运动位置做出预测。高分辨率雷达不仅能定位目标,还可以判定目标的尺寸和形状,甚至可以识别不同类型的目标。

目标在空间、陆地或海面上的位置可以用多种坐标系来表示。最常见的是直角坐标系,即空间任意一点 P 的位置可以用直角坐标 (x, y, z) 来表示。但在雷达应用中,目标的观测坐标系采用与人眼观测相一致的极(球)坐标系统。如图 1-1 所示,海上任一目标船的位置 P 可以用下列两个坐标确定:

(1) 目标的距离 Range: 雷达天线到目标船的直接距离。

(2) 目标的方位 Bearing: 目标的方位线与船首线(相对方位)或真北(真方位)之间的夹角。

航海雷达是一种采用平面位置显示的单脉冲雷达。航海雷达发射并接收矩形脉冲式的电磁波,将目标回波按距离和方位以加强亮点的形式显示在雷达显示器上。

航海雷达的测距原理与日常生活中采用喊话回声法来估算人和山崖的距离相类似。区别是雷达采用超高频电磁脉冲而不是声波,计时工具不是秒表而是平面位置显示器。

由雷达发射机产生的电磁波,经过收发开关后传输给天线,再由天线定向辐射到大气中,电磁波在大气中传播时基本上是以光速(3×10^8 m/s)等速直线传播的。如果目标船正好位于定向天线的波束内,则目标将会截取一部分电磁能。目标将被截取的电磁能向各方向散射。其中一部分散射的能量朝向雷达天线并被接受。雷达接收机将这微弱的信号放大并经过信号处理后即可获得所需的信息,并将结果送到终端显示。

1. 测距原理

雷达工作时,发射机经天线向空中发射一串重复周期一定的超高频脉冲。如果在电磁波传播的路径上有目标船存在,那么雷达就可以接收到目标反射回来的回波信号。由于电磁波是以光速等速直线传播的,只要测得电磁波往返于雷达天线和目标之间的传播时间 Δt ,就可以求出目标距离雷达天线的距离。雷达的测距原理如图 1-2 所示。

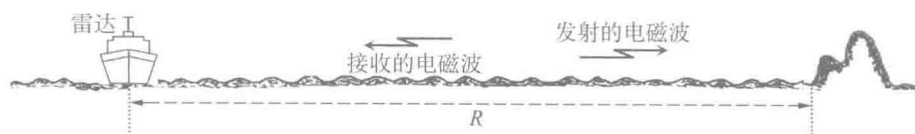


图 1-2 雷达测距原理

设目标距离雷达天线的距离为 R ,则

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

或

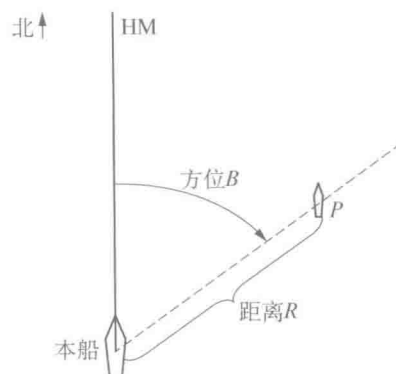


图 1-1 极坐标

$$R = \frac{\Delta t}{2} \cdot C \quad (1-2)$$

式中, R 为目标到雷达天线的单程距离, 单位为 m , Δt 为电磁波往返于目标与雷达天线之间的时间, 单位为 s , C 为光速, 单位为 m/s 。

航海雷达就是用发射机产生超高频脉冲, 用天线向外发射并接收自由反射回来的脉冲波, 由显示器计时、计算并显示目标距离的。由于电磁波传播的速度很快, 雷达技术常用的时间单位为 μs , 航海的距离单位一般为海里。1 海里对应电磁波的往返传播时间为 $12.3 \mu\text{s}$, $1 \mu\text{s}$ 时间对应目标的距离为 150 m 。

2. 测向原理

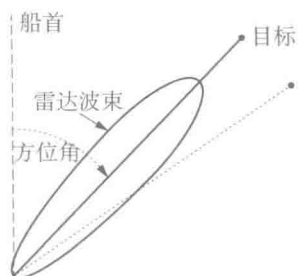


图 1-3 雷达测方位原理

因为超高频电磁波在空间的传播基本上是直线的, 只要把天线做成定向天线, 即只向一个方向发射, 也只接收一个方向的回波, 天线的方向就是目标的方向。雷达天线将电磁能量汇集在窄波束内, 当天线波束轴对准目标时, 回波信号最强, 如图 1-3 所示。当目标偏离天线波束轴时回波信号减弱, 如图上的虚线所示。根据接收回波最强时的天线波束指向, 就可确定目标的方向, 这就是角坐标测量的基本原理。天线波束指向实际上也是辐射波前进的方向。

为了提高方位测量的精度, 有一些改进测量精度的方法。天线尺寸增加和波束变窄, 测方位精度和方位分辨力会提高。

回波的波前方向即角位置还可以用测量两个分离接收天线收到信号的相位差来决定。

第二节 雷达基市组成及各部分作用

一、基本组成及各部分的作用

船用雷达的型号很多, 但基本构成框图是一样的, 如图 1-4 所示。

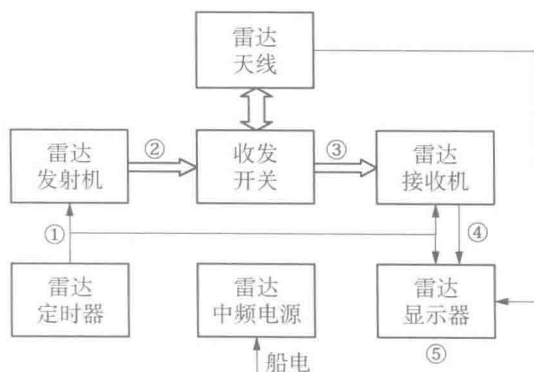


图 1-4 雷达组成框图

1. 触发电路

触发电路又叫定时电路,是雷达的总指挥,控制雷达发射机、接收机和显示器。它每隔一定时间 T 发射一个很短的脉冲,就是触发脉冲。触发脉冲分三路输出。一路输出至雷达发射机,控制雷达的发射;另一路输出至雷达接收机,控制接收机的海杂波抑制(STC)电路;第三路输出至雷达显示器控制距离扫描起始时间。所以触发脉冲又叫定时脉冲或同步脉冲。产生触发脉冲的电路也叫定时电路、同步电路或触发脉冲发生器。触发电路结构简单,一般都设在发射机里,也有少数雷达设置在显示器里。

2. 发射机

雷达发射机的任务是在触发脉冲的控制下,定时产生具有一定宽度($0.05 \sim 1.2 \mu\text{s}$)的超高频(如 X 波段 $9\,300 \sim 9\,500 \text{ MHz}$, S 波段 $2\,900 \sim 3\,100 \text{ MHz}$)的射频脉冲信号,也叫发射脉冲。船用雷达发射脉冲的瞬时功率(也叫峰值功率)可达 $3 \sim 75 \text{ kW}$ 。现代船用雷达一般不提倡通过提高发射功率的方法来提升雷达的探测性能。目前典型的 X 波段船用雷达的峰值功率不超过 30 kW , S 波段雷达不超过 35 kW 。射频脉冲经特殊的馈线送入天线并向外发射。

3. 收发开关

船用雷达发射和接收用同一副天线。天线与收发机间用一根微波传输线。收发开关的作用是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;在发射结束时,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。

4. 天线

雷达天线是一种方向性很强的天线。它把发射机送来的发射脉冲的电磁波能量聚成细束集中向一个方向辐射,同时也只接收从该方向反射的回波能量,并送入接收机进行放大和信号处理。

雷达天线由驱动马达带动按顺时针方向匀速旋转,船用雷达天线的转速一般为 $15 \sim 30 \text{ r/min}$ 。高速船上的雷达天线转速可达 46 r/min , VTS 雷达天线转速也有 80 r/min 的。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。

5. 接收机

电磁波在空中传播和经过目标反射后,回波强度大大减弱并滞后于发射脉冲,由于从天线送来的超高频回波信号十分微弱,一般仅有几个微伏。显示器需要几十伏的视频信号。因此必须将回波信号放大近百万倍才可以。

雷达接收机是超外差式接收机,它把回波信号先进行变频——变成中频回波信号,然后放大、检波、再放大,变成显示器可以显示的视频回波信号。

6. 显示器

船用雷达的显示器是一种平面位置显示器 PPI(Plane Position Indicator)。传统的显示器在触发脉冲的控制下产生一个锯齿电流,在屏上形成一条径向扫描线,用来计时、计算目标回波的距离,同时,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目标回波实时显示在目标所在的方位和距离上,是一种实时扫描显示器。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。雷达各部分的主要波形如图 1-5 所示。图中,①是触发脉冲;②是发射的射频脉冲;③是接收的回波脉冲;④是目标回波的视频信号;⑤是扫描线锯齿波。

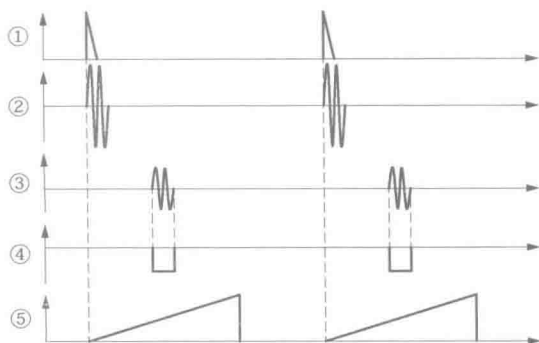


图 1-5 雷达各部分波形

现在新型雷达的显示器普遍采用平面液晶显示器,这是一种光栅扫描显示器。但人眼对周围物体的观察更适合使用极坐标体系,所以光栅扫描显示器仍然保留了 PPI 极坐标显示。所以这种显示器的目标回波必须经过坐标转换后再在显示屏上显示出来,是一种非实时扫描显示器。

7. 雷达电源设备

雷达电源设备的作用是把各种船电转换成雷达所需要的具有一定频率、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 $400 \sim 2\,000\text{ Hz}$ 之间。

二、船用雷达设备的单元构成

综上所述,航海雷达由以上 7 个基本部分组成。在实际设备中,一般以雷达有几个单元组合来分类。通常触发电路、发射机、接收机和收发开关装在一个机箱里,称为收发机 (Transceiver) 单元,天线和显示器自成一体,电源不再单独成一体而分散在其他单元里。这样的雷达叫三单元雷达。雷达新的性能指标对探测性能提出了更高的要求,为了减少雷达信号在微波传输线上的损耗,把收发单元直接装在天线底座中,这样就减少了波导的长度,有效减小了雷达信号的损耗,提高了雷达的探测性能。尽管这种配置对雷达收发机硬件电路提出了更高的要求,但仍然为大多数雷达厂家采用。这样的雷达配置叫二单元雷达。目前航海雷达除了少数功率较大的 S 波段雷达外,几乎都采用二单元配置。



复习题

- (1) 试述有哪些类型的雷达。
- (2) 试述雷达的测距、测方位的原理。
- (3) 试画出航海雷达的基本组成框图,并说明每个部分的主要作用。
- (4) 什么样的雷达叫三单元雷达或二单元雷达?

第二章

雷达中频电源

第一节 雷 达 电 源

一、雷达设置专用中频电源的原因

雷达中频电源是提供适应雷达设备所需电源的一种专用电源设备,也就是说雷达中频电源的作用是将各种船电变换成雷达设备所需的具有一定频率、一定电压和功率的专用电源。雷达要使用这种专用中频电源而不直接使用船电的原因是:

(1) 为避免低频电源对雷达发射机的干扰,缩小雷达电源中变压器、电感线圈等元件的体积、重量,要选用中频频率做电源。船用雷达中频电源的频率一般在 400~2 000 Hz 之间。

(2) 现代各类船舶配备的船电种类繁多,有直流船电和交流船电。直流船电有低压和中压;交流船电有单相和三相,电压有 110 V、220 V、380 V 和 440 V,频率也有 50 Hz 和 60 Hz 两种。所以要用专用的电源设备进行变换。

(3) 现代船舶上的用电设备多,负载变化大,电压不稳定,波动大。而雷达需要稳定、可靠的电源,所以要用专用的电源设备提供稳定的电压。

(4) 船上各种高频设备能通过船电公用电网产生相互干扰,雷达需要用专用电源设备把雷达电源与船用电源进行“隔离”。

二、雷达中频电源的主要技术要求

(1) 电压要稳定,要求船电变化在 $\pm 20\%$ 或负载变化在 $\pm 20\%$ 的情况下,保持输出的中频电压变化小于 $\pm 5\%$ 。

(2) 保持中频频率稳定。

(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) 能适应海上温差大、湿度高、盐雾重等工作环境。

- (6) 能适应全天候 24 小时连续工作。
- (7) 噪声和振动小。
- (8) 电能转换效率高。
- (9) 体积小、重量轻,成本低。

三、雷达中频电源的种类和特点

从雷达中频电源的发展历史来看,出现过两种中频电源,早期出现的是中频变流机组,现在则多采用中频逆变器。

中频变流机组的设计思想非常简单,它主要由一台电动机直接带动发电机发电,所以又叫马达-发电机组。这种中频电源的特点是容量大,可靠性高,使用方便,抗冲击。但它的缺点也很鲜明,电能转换效率低,噪声大,振动也大,体积大,重量也重,一般需要安置在专用的电源间。

中频逆变器,也称逆变器。是一种利用晶体管电子电路把船电直接转化成雷达中频电的电源设备。它把直流船电转换成中频交流电,或者先把交流船电变成直流再转换成中频交流电。中频逆变器的特点是电能转换效率高,噪声小,无振动,体积小,重量轻,使用方便且维护简单。由于优异的性能和低廉的成本,现代航海雷达大多采用中频逆变器做电源设备。近年来,开关电源大量应用在雷达电源设备中。

第二节 中频变流机组

一、中频变流机组的组成

图 2-1 是中频变流机组的基本组成框图。主要由电动机、发电机、启动和控制电路组成。

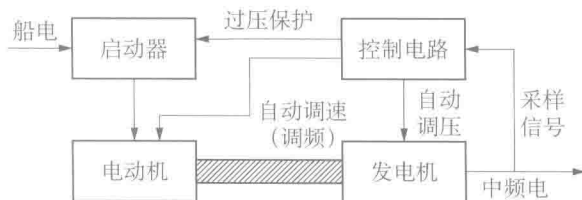


图 2-1 中频变流机组框图

电动机和发电机是同轴相连的,是中频变流机组的主要部件。船电通过启动器接入电动机后,电动机转动并直接带动发电机产生雷达所需的中频交流电。中频变流机组实际是一种电能到机械能,机械能再到电能的转换装置。显然电能的转化效率比较差。

电动机需要根据船电的不同来配置,有直流电动机和交流电动机两种。交流电动机又