

观察与通信

主 编 王武树
副主编 黄胜波

大连海事大学出版社

观察与通信

主 编 王武树

副主编 黄胜波

大连海事大学出版社

© 王武树 2002

图书在版编目(CIP)数据

观察与通信 / 王武树主编. — 大连: 大连海事大学出版社, 2003.1
ISBN 7-5632-1631-6

I. 观… II. 王… III. 航海通信 IV. U675.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 000001 号

大连海事大学出版社出版

地址: 大连市凌水桥 邮编: 116026 电话: 4728394 传真: 4727996

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

大连铁道学院印刷厂印装 大连海事大学出版社发行

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 18

字数: 449 千字 印数: 1~1000 册

2003 年 3 月第 1 版 2003 年 3 月第 1 次印刷

责任编辑: 王在凤 史洪源 版式设计: 洪 源

封面设计: 王 艳 魏金钢 责任校对: 在 凤

定价: 28.00 元

内容提要

本书共分四章,主要包括:船用导航雷达原理;雷达勤务;无线电通信;全球海上遇险和安全系统(GMDSS)。

本书可作为海警高等专科学校船艇指挥专业“观察与通信”课程教材,亦可作为雷达通信相关专业工作人员的参考书。

前 言

本书适用于船艇指挥专业“观察与通信”教学,亦可作为雷达通信及相关专业工作人员的参考书或培训教材。参考教学时数为 80 学时。

本书在内容上力求理论联系实际,具有较强的针对性,同时又反映了最新科技知识、最新装备情况,内容较为新颖。在阐述方法上,由浅入深、深入浅出,力求符合认识规律。在编排上具有一定的系统性,同时各章内容之间又有相对的独立性,便于使用者根据需要取舍。此外,配有大量的图表,形象、直观。

本书第一章、第二章由王武树同志编写;第三章、第四章由黄胜波同志编写,其中第四章第三节由王武树同志编写。全书由王武树同志统稿,由葛宏华副教授、李宏良讲师审稿。在本书编写过程中,许多同志给予了热情支持和帮助,特别是徐双珊、林乾国等同志做了大量工作,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥与错误,敬请读者批评指正。

编 者

2002 年 12 月 8 日

目 录

第一章 船用导航雷达原理	(1)
第一节 雷达的作用与分类	(3)
第二节 雷达的定位原理	(8)
第三节 雷达的基本组成及其工作情况	(13)
第四节 雷达的战术技术参数	(19)
第五节 APPA 系统简要介绍	(39)
思考题与练习题	(53)
第二章 雷达勤务	(55)
第一节 雷达值更	(55)
第二节 雷达的显示方式	(58)
第三节 雷达搜索目标	(70)
第四节 雷达判别目标	(87)
第五节 雷达跟踪目标	(129)
第六节 雷卡 CB—180 II 雷达的操作使用	(131)
第七节 雷达的维护保养	(164)
思考题与练习题	(171)
第三章 无线电通信	(173)
第一节 概述	(173)
第二节 无线电台通信的基本原理	(180)
第三节 通信组织	(197)
第四节 通信规定	(201)
第五节 GPS 警用指挥系统	(206)
思考题与练习题	(217)
第四章 全球海上遇险和安全系统(GMDSS)	(219)
第一节 GMDSS 系统概述	(219)
第二节 406 MHz 卫星应急示位标遇险报警及防止误报警	(232)
第三节 搜救雷达应答器	(243)
思考题与练习题	(248)
附录	(249)
附录一 船用雷达设备推荐性能指标	(249)
附录二 IMO 关于 ARPA 性能标准的规定	(252)
附录三 船用雷达与 ARPA 常用词汇英汉对照表	(256)
附录四 1969 年国际信号规则	(268)

第一章 船用导航雷达原理

雷达是英文“Radar”的音译,是英语“Radio Detection and Ranging”(原意为“无线电探测与测距”)中开头字母的缩写。它是一种用无线电磁波发现目标并测定其空间坐标(距离、方位、高度)位置的电子设备。因此,雷达也称为“无线电定位仪”。必须指出,雷达的这一概念是在雷达技术发展初期所形成的,现代雷达获取目标信息已不再是单纯地为了判断目标是否存在和测定目标的坐标参数,而且还包括了测量目标的运动速度,以及目标的轨迹、姿态和某些特征信息等。

从20世纪初开始,世界上就有科学家对与雷达相关的问题进行研究、试验。在1903年德国人威尔斯姆耶在试验中探测到了从船上反射回来的无线电磁波。到1922年,马可尼主张用短波无线电来探测物体,他说:“电磁波是能够为导体所反射的,可以在船舶上设置一种装置,向任何所需要的方向发射电磁波,若碰到导电物体,它就会反射到发射电磁波的船上,由一个与发射机相隔离的接收机接收,以此表明另一船舶是存在的,并进而可以确定其具体位置。”这是最早比较完整地描述雷达概念的语句。同年,美国海军研究实验室(NRL)的A. H. 泰勒和L. C. 杨用一部波长为5 m的连续波试验装置探测到了一只木船,由于当时无有效的隔离方法,只能把收发机分置,这实际上是一种双基地雷达。

到了20世纪30年代,很多国家开始进行探测飞机和舰船的脉冲雷达的研究工作。

1930年美国海军研究实验室的汉兰德采用连续波雷达探测到了飞机。1934年美国海军研究实验室的R. M. 佩奇第一次拍下了从1.6 km外一架单座飞机反射回来的电磁波脉冲的照片。1935年2月英国人用一部12 MHz的雷达探测到了60 km外的轰炸机。1937年初,英国正式部署了作战雷达网“链条”。1938年美国信号公司制造了第一部SCR-268防空火力控制雷达,工作频率为205 MHz,探测距离达180 km,前后共生产了约3 000部。1938年美国无线电公司(RCA)研制出了第一部实用的XAF舰载雷达,装在美国“纽约”号战舰上,它对海面舰船的探测距离是20 km,对飞机的探测距离为160 km。1939年,英国在一架飞机上装了一部200 MHz的雷达,用来监视入侵的飞机,这可称得上是世界上第一部机载预警雷达。当时的英国在研制厘米波功率发生器件方面居于领先地位,他们首先制造出了能产生3 000 MHz、1 kW功率的磁控管。高功率厘米波器件的出现,大大促进了雷达技术的发展。

以上介绍早期雷达发展情况只提到美、英两国,实际上由于那时无线电技术已传播到许多国家,其中一些国家这方面技术也比较领先。他们也认识到当时的飞机对军事上的威胁,为了防空也较早地开始了对雷达的研制,如法国、苏联、意大利等国。法国在雷达方面的尝试开始得很早,但是没有像英国和美国那样得到强有力的支持,并且由于在1940年被德国占领,而遭到严重破坏。苏联对早期雷达的发展也很重视并取得显著成果,在1941年夏,他们部署了一定数量的80 MHz的对空搜索雷达,用以反对德国侵略,后由于战争的缘故一度中断了。意大利的雷达研制开始得也很早,但是进展缓慢,在1940年9月意大利退出战争时,他们只部署了少量本国制造的雷达。可见,在早期雷达的研制发展中,这几个国家基本上是同时、独立地发展起来的,很难指出任何个人是雷达的发明家,哪个国家是雷达的创始国。

第二次世界大战初期的早期雷达,其工作频率主要在短波和超短波波段,雷达的结构比较简单,误差也比较大,主要用于警戒。

第二次世界大战末期至 50 年代,由于军事上的迫切需要等原因,雷达获得广泛的应用与发展。在此期间,微波磁控管已研究成功,工作频率进入微波波段,使雷达性能得到了迅速提高。发射功率可达数千瓦,作用距离增加;开始应用抛物面反射体天线,方向性得到了提高。工作频率进入微波波段后,不仅提高了雷达的精度,而且雷达的体积、重量也减少了,这又使雷达的机动性得到了提高。因此,它不仅可以装备在地面上,而且也可以装备在船艇、飞机和汽车上。世界上的事物总是互相制约的,有矛就有盾,由于雷达性能的提高及较广泛的应用,这就出现了对雷达的电子对抗、电子侦察,企图削弱雷达的功能、破坏雷达的工作。

20 世纪 50 年代末以来,由于航空与航天技术的飞速发展,飞机、导弹、人造卫星和宇宙飞船等都要求用雷达作为探测和控制的手段,尤其是在 60 年代中研制的反洲际弹道导弹系统,对雷达提出了高精度、远距离、高分辨力及多目标测量等要求。由于解决了一系列的关键性问题,许多新技术被应用到雷达上,使雷达进入了蓬勃发展的新阶段。如脉冲压缩技术的采用;单脉冲雷达和相控阵雷达的研制成功;在微波高功率放大管试制成功后,研制成了主控振荡器——功率放大器型的高功率、高稳定度的雷达发射机,并用于可控脉冲形状及相参雷达体系;脉冲多普勒雷达体制的研制成功,使雷达能测量目标的相对运动速度,并具有良好的抑制地物干扰等能力。另外,微波接收机高频系统中许多低噪声器件,如低噪声行波管、量子放大器、参量放大器、隧道二极管放大器等的应用,使雷达接收机灵敏度大为提高,增大了雷达作用距离;在雷达中数字电路的广泛应用和计算机与雷达的配合使用甚至逐步合成一体,使雷达的结构组成和设计发生根本性的变化。雷达采用这些重大技术后,工作性能的提高,测角精度可以从 1 密位($1 \text{ 密位} = 0.06^\circ$)值减小到 0.05 密位值以下,提高了一个数量级以上。雷达的作用距离提高到数千公里,测距误差在 5 m 左右,单脉冲雷达跟踪带有信标机的飞行器,作用距离可达数十万公里以上。雷达的工作波长,从短波扩展至毫米波、红外线和紫外线领域。在这个时期中,微波全息雷达、毫米波雷达、激光雷达和超视距雷达相继出现。随着雷达性能大为提高,对雷达的电子对抗也有了迅速的发展。这一切又对雷达的性能提出了更高的要求,使雷达性能向更加高级、更加完善的方向发展。20 年来,雷达的性能日益提高而应用范围也持续拓宽。

经过半个多世纪的发展,雷达结构不断地变化,其性能越来越完善;因为雷达有作用距离远、可提供的数据多、精度高、显示直观、使用方便,而且利用雷达探测目标不受环境能见度的限制,也不受夜色、云、雨、雪、雾等复杂气象条件的限制等优点,所以雷达功能可以满足重要的军事与社会需要,而且其地位在诸多领域是必不可少、无可替代的。它既是现代国防不可缺少的重要军事装备,也是民航和船舶安全航行必不可少的主要助航设备。因此,雷达的发展是具有生命力的,是会持续向前的!

雷达在 20 世纪 40 年代末期开始应用于航海,为船艇在海上安全航行提供了可靠的保证。

我国在解放初期,船用导航雷达只靠国外引进。50 年代末自行研制和生产了电子管船用导航雷达,60 年代初研制了半导体船用导航雷达,70 年代中期开始研制港口导航雷达系统,并付诸使用。解放以来,我国船用导航雷达的研制与生产有很大的发展,它在新中国航运事业上作出了积极的贡献!其地位是不可替代的。但是,船用导航雷达与国外先进技术相比,仍有一定的差距,在性能上还有很多局限性。比如:它仅能显示本船周围目标的相对平面位置,不能显示水下的深度和水面上的高度,也不能显示目标背后的情况;显示的图像不同于海图上的形

状,也不同于人眼看到的形状,更不是目标的实际形状;显示屏上不仅有真实目标的回波,还有假回波和干扰回波,雷达对此并无识别能力;雷达给出的数据尚有一定误差等。为此,作为一名雷达使用人员,必须掌握船用导航(或避碰)雷达的组成、结构、基本原理和性能,而且要能正确地操作和合理运用,以充分发挥它的作用。同时,还应清楚地掌握它的误差和了解它的局限性,避免盲目依赖,以防止航行事故的发生。

现在,船艇上装备有大量的各种型号导航雷达。目前比较先进的主要有 JMA-3253、安立 725、雷卡 CB-180 等型号雷达,为方便起见,通常对这几种雷达分别可以 3253,725,180 简称之。目前这些型号的雷达中,雷卡 CB-180 雷达性能较优、数量最多,故本书在阐述雷达原理及其基本工作情况等问题时以雷卡 CB-180 雷达为主。

第一节 雷达的作用与分类

一、雷达的作用

雷达是一种近代电子技术设备,它利用目标对电磁波的反射(或称二次发射)现象来发现目标并测定目标的坐标位置。可见,雷达的作用有两个,一是发现目标的存在;二是测量目标的参数,以及从目标回波中获取更多有关目标的信息。

什么叫雷达目标?雷达所要探测的一切对象通称为雷达目标(简称为目标)。雷达目标可以是空中的飞机、导弹、云雨雾、冰雹、人造卫星、宇宙飞船,海面上的船艇、浮标、航标、岛屿、礁石、海浪、海岸线,也可以是陆地上的山川、森林、地形、高大建筑物、工事、车辆、兵器、炮弹等。它们会不同程度地反射电磁波,从而可作为雷达的探测目标。根据雷达的不同任务,其探测的目标通常也各不相同。

随着电子技术的发展和人类所了解和掌握的信息不断增加,雷达的用途也越来越广泛。目前,雷达已应用于地面、空中、海上和太空等领域。地面雷达主要用来对空中目标(云、雨、飞机、导弹等)和太空目标(宇宙飞船、卫星等)进行探测、定位和跟踪,还可用作导航工具;船艇雷达除探测空中和海面目标外,也可用作导航工具;机载雷达除要探测空中、地面或海面目标外,还可用作大地测绘、地形回避及导航之用;在宇宙飞行中,雷达可用来控制宇宙飞船的飞行和降落等。

船用导航雷达的主要作用是:发现目标、同时跟踪多批目标,并测定目标的坐标及航向、航速等,以完成搜索、警戒、导航、定位、避碰等任务,尤其是在窄水道、进出港、夜间及能见度不良(如雾天)等恶劣气象条件下,能有效地保障船艇航行安全。

二、雷达的分类

随着雷达技术的发展,雷达型号种类日益增多,为了研究问题与工作上的方便,需对雷达进行分类。在不同的应用场合,当强调某种功能时,可按所强调的功能进行分类。

我们仅从工作波段、工作方式和用途三个方面来进行简要的分类介绍。

(一)按工作波段分类

不同用途的雷达工作在不同的工作频率上。常用的雷达工作频率(又称发射频率)范围为 220~35 000 MHz,现在雷达的工作频率在两头都超出了上述范围。雷达工作频率和整个电磁波频谱如图 1—1 所示。实际上绝大部分雷达的工作频率在 200~10 000 MHz 范围。雷达的工作频率范围比较宽,按照其工作频率对应的波长可划分为如下工作波段。

1. 米波雷达

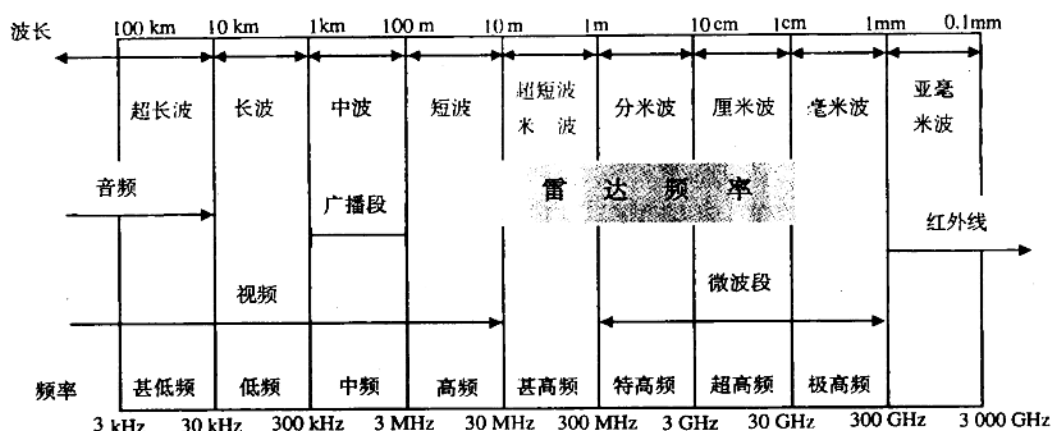


图 1-1 雷达频率和电磁波频谱

波长为 10~1 m, 对应频率为 30~300 MHz。

2. 分米波雷达

波长为 10~1 dm, 对应频率为 300~3 000 MHz(3 GHz)。

3. 厘米波雷达

波长为 10~1 cm, 对应频率为 3 000~30 000 MHz(30 GHz)。

4. 毫米波雷达

波长为 10~1 mm, 对应频率为 30 000~300 000 MHz(300 GHz)。

有时, 又将波长在 10 m 以下的雷达统称为超短波雷达, 而将其中波长在 1 m 以下的雷达称为微波雷达。

目前在雷达技术领域里常用频段这个名称, 用 L, S, C, X 等英文字母来命名。这是在第二次世界大战中一些国家为了保密而采用的, 以后就一直沿用下来。我国也经常采用。表 1-1 列出了雷达频段和频率的对应关系。表 1-1 的频段有时以波长来表示, 如 L 波段代表以 22 cm 为中心的 20~25 cm, 而 S, C, X, Ku, Ka 等代表的中心波长分别为 10 cm, 5 cm, 3 cm, 2.2 cm, 8 mm。表中还列出了国际电信联盟分配给雷达的具体波段。例如, X 波段包括的频率范围应是 8 000~12 000 MHz, 而该波段雷达的工作频率却被约束在 8 500~10 680 MHz 的范围。通常, 它也是船用导航雷达所采用的波段。

表 1-1 雷达频段和对应的频率

频段名称	频率范围	中心波长	用于雷达的频率	雷达种类
HF(高频)	3~30 MHz			超视距警戒
VHF(甚高频)	30~300 MHz			超远程警戒
UHF(超高频)	300~1 000 MHz			超远程警戒
L	1~2 GHz	22 cm	1. 215~1.4 GHz	远程警戒、空中交通管制
S	2~4 GHz	10 cm	2.3~3.7 GHz	中程警戒、远程气象
C	4~8 GHz	5 cm	5.250~5.925 GHz	远程跟踪、机载气象观测

表 1—1(完)

X	8~12 GHz	3 cm	8.5~10.68 GHz	制导、测绘、船用导航与避碰
Ku	12~18 GHz	2.2 cm	13.4~17.7 GHz	高分辨力地形测绘、卫星测高计
K	18~27 GHz		24~24.25 GHz	很少使用(水蒸气吸收)
Ka	27~40 GHz	8 mm	33.4~36 GHz	极高分辨力地形测绘、机场监视
毫米波(mm)	40~300 GHz			气象、低角跟踪成像、制导等

(二)按雷达信号的形式(或称工作方式)分类

按雷达信号的形式可分为脉冲雷达、连续波雷达和脉冲压缩雷达等。这几类雷达发现目标和测定目标的方位角、俯仰角的原理是相同的,只是测定目标距离的原理略有差别。

1. 脉冲雷达

脉冲雷达发射脉冲信号是断续的,在发射脉冲信号之间的间歇时间接收目标反射回来的超高频脉冲回波信号,根据发射脉冲信号与超高频脉冲回波信号之间的间隔时间,确定目标的距离。此类雷达按一定的重复周期工作,收、发共用一副天线,是目前使用最广泛的一种雷达。

2. 连续波雷达

连续波雷达通常指的是调频雷达。它不间断地向空间发射无线电电磁波信号,但所发射的连续电磁波信号频率不是恒定的,而是按照某一规律周期性地改变。在每一瞬间,雷达接收到的超高频脉冲回波信号频率总是不同于当时发射信号的频率,目标距离近,接收到的超高频脉冲回波信号与发射机当时发射该信号之间的差频小;反之差频大。因此,只要将超高频脉冲回波信号和发射机发射信号的频率进行比较,求出其差频,就可以知道目标的距离。此类雷达收、发各用一副天线。

调频雷达可以测定很近的距离,不像脉冲雷达那样受脉冲宽度的限制。但是,当目标与雷达之间的相对运动较大时,因为多普勒效应影响差频的数值,会产生较大的测距误差,所以调频雷达目前应用较少。

3. 脉冲压缩雷达

脉冲压缩雷达发射的脉冲信号宽度较宽,在接收机中对收到的回波信号加以压缩处理,以便得到窄脉冲。目前实现脉冲压缩技术主要有两种:线性调频脉冲压缩处理和相位编码脉冲压缩处理。采用脉冲压缩技术解决了距离分辨力和作用距离之间的矛盾。在 20 世纪 70 年代研制的新型雷达许多采用脉冲压缩体制。

(三)按用途分类

根据侧重面不同,按用途可以分很多类,如分为军用雷达、民用雷达等。我们只介绍军用雷达、民用雷达。

按战术用途来分军用雷达主要类型有:

1. 预警雷达

预警雷达也称超远程雷达。它的主要任务是发现洲际导弹及洲际战略轰炸机,以便及早发出预警警报,为应付情况争取到更多的时间。它的特点是作用距离远,达数千公里。至于定位精度、分辨力则是次要的。

2. 搜索和警戒雷达

搜索、警戒雷达的任务是发现飞机,一般作用距离在 400 km 以上,有的可达 600 km。对

于定位精度和分辨力要求不高。对于保卫重点城市或建筑物的中程警戒雷达要求在方位上能有 360° 的搜索范围。

3. 导航雷达

导航雷达装在飞机或船艇上用以显示地面或海面、港湾图像,以便在黑夜、大雨和浓雾的情况下,飞机和船艇能正确飞行和航行。此类雷达作用距离不太远,但对分辨力要求较高。主要应用于对飞机、船艇进行导航。

4. 引导指挥雷达(又称监视雷达)

这种雷达用于对歼击机的引导和指挥作战。民用机场的调度雷达亦属这一类。其特殊要求是:对多层次、多批次目标能同时检测;能测定目标的 3 个坐标,要求测量目标的精度和分辨力较高,特别是对目标间的相对位置数据的精度要求较高。

近年来由于低空和超低空袭击的威胁日益严重,为了及早发现这类目标可采取相应的对策。例如,可由一部机载预警雷达来完成对地面搜索和引导指挥的功能。由于地面雷达低空盲区以及视距的限制,它对低空飞行目标的探测距离很近,而装在预警飞机上的预警雷达可以做到登高远望。20 世纪 70 年代中期,把具有脉冲多普勒体制的预警雷达装在预警机上,确保了在很强的地物杂波背景下仍能把运动目标信号检测出来。几十年来由于雷达技术的发展,安装在预警飞机上的预警雷达同时兼有引导和指挥雷达的功能,此时,预警飞机的作用等于把地面防空指挥所搬到了飞机上,使它成为一个完整的空中预警和控制指挥系统。目前一些国家已正式使用,这是当前一种重要的雷达类型。

5. 火控雷达

火控雷达任务是控制火炮(或地空导弹)对空中目标,或控制舰炮、岸炮对海上目标进行瞄准攻击。因此,要求它能连续、准确地测定目标坐标,并迅速地将射击诸数据传递给火炮(或地空导弹)。这类雷达的作用距离较小,一般只有几十公里,但测量的精度很高。

6. 制导雷达

制导雷达和火控雷达同属精密跟踪雷达,不同的是制导雷达是装载在导弹上的,并用来对付飞机和导弹。它在测定目标运动轨迹的同时,控制导弹去攻击目标。制导雷达要求能同时跟踪多个目标,并对分辨力要求较高。

7. 战场监视雷达

战场监视雷达用于发现坦克、军用车辆、人员和其他在战场上的运动目标。

8. 机载雷达

除机载预警雷达外主要有下列数种类型:

(1) 机载截击雷达

当歼击机按照地面指挥所命令,接近敌机并进入有利空域时,就利用装在机上的截击雷达,准确地测量敌机的位置,以便进行攻击。它要求测量目标的精度和分辨力较高。

(2) 机载护尾雷达

机载护尾雷达用来发现和指示机尾后面一定距离内有无敌机。这种雷达结构比较简单,不要求测定目标的准确位置,作用距离也不远。

(3) 机载火控雷达

20 世纪 70 年代后的战斗机上火控系统的雷达往往是多功能的。它能完成空对空搜索和截获目标、空对空导弹的制导、空对空精密测距和控制机炮射击、空对地观察地形和引导轰炸、

敌我识别和导航信标的识别等任务,有的还兼有地形跟随和回避等作用。一部雷达往往具有七八部雷达的功能。

对于机载雷达共同的要求是体积小、重量轻、工作可靠性高。

9. 无线电测高仪

无线电测高仪装置在飞机上。这是一种调频的连续波雷达,用来测量飞机离开地面或海面的高度。

10. 雷达引信

雷达引信是装置在炮弹或导弹头上的一种小型雷达,用来测量弹头附近有无目标,当距离缩小到弹片足以击伤目标的瞬间,使炮弹(或导弹头)爆炸,提高了对目标的命中率。

上述军用雷达中,机载导航雷达、无线电测高仪等也可作为民用。

民用雷达,主要有以下一些类型:

1. 气象雷达

气象雷达用来测量暴风雨和云层的位置及其移动路线,为天气预报提供各种所需的信息。

2. 航行(空中交通)管制雷达

在现代航空飞行运输体系中,对于机场周围及航路上的飞机,都要实施严格的管制。航行管制雷达兼有警戒雷达和引导雷达的作用,故有时也称为机场监视雷达。它和二次雷达配合起来应用。二次雷达是地面的航行管制雷达。它发射询问信号,机上雷达接收到信号后,用编码的形式,发出一个回答信号,地面航行管制雷达收到此信号后显示在荧光屏屏面上,用以鉴定空中目标的高度、速度和属性,以识别目标类别。

3. 宇宙航行雷达

这种雷达用来控制飞船的交会和对接,以及在其他星球上的着陆。某些地面上的雷达用来探测和跟踪人造卫星。

4. 遥感

遥感是安放在卫星或飞机上的某种雷达,可以作为遥感设备。它主要感受地球物理方面的信息,由于具有二维高分辨力,可以对地形地貌成像。雷达遥感也参与地球资源的勘探,其中包括对海洋情况、水资源、冰覆盖层、农业森林、地质结构及环境污染等进行测量,以及地图描绘。也曾利用雷达来探测月亮和行星。

此外,在航道探测、公路车速测量等方面,雷达也在发挥其作用。

(四)其他分类

1. 按天线扫探方式分

按天线扫探方式可分为机械扫描雷达、相控阵雷达、圆周扫探与扇面扫探雷达、频扫雷达等。

2. 按测量目标的参量分

按测量目标的参量可分为测高雷达、测速雷达、两坐标雷达、三坐标雷达等。

3. 按角跟踪方式分

按角跟踪方式可分为单脉冲雷达、圆锥扫描雷达、隐蔽锥扫雷达等。

4. 按信号处理方式分

按信号处理方式可分为分集雷达、相参或非相参积累雷达、动目标显示雷达、合成孔径雷达等。

此外,还有脉冲多普勒雷达、噪声雷达、频率捷变雷达等新型号新体制雷达。

实用中,目前船艇导航雷达多属于 X 波段 3 cm、脉冲制、导航(避碰)、机械扫描、两坐标雷达。

第二节 雷达的定位原理

雷达最基本的功能就是发现目标,测定目标的空间坐标。所谓空间坐标一般指目标的斜距 R 、方位角 β 和仰角 ϵ 三个参数。这三个参数都是以雷达所在位置为原点的。目标的斜距就是目标到雷达间的直线距离;目标的方位角就是目标和雷达之间的连线在水平面上的投影与基准方位线(如真北或船首尾线或其他参考方向)之间的夹角;目标的仰角(或称高低角)是目标同雷达之间的连线与该连线在水平面上的投影之间的夹角。空间任意一点目标 P 的位置可用球坐标系统来表示,如图 1-2 所示。

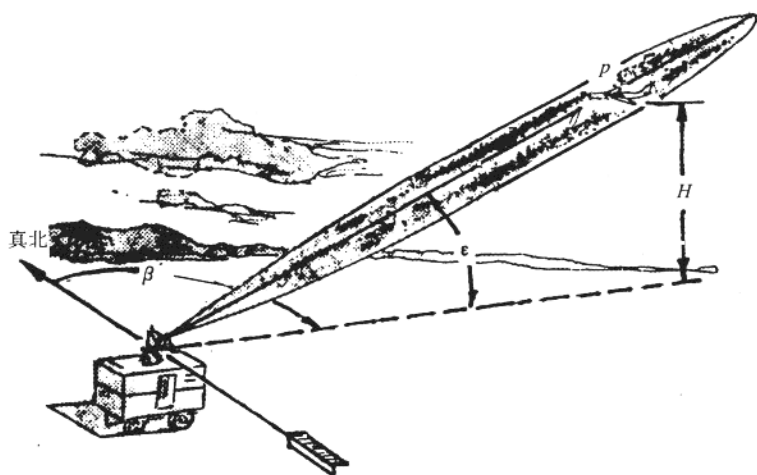


图 1-2 用球坐标系统表示目标位置

对于陆地或海上目标,如船用导航雷达所测的目标(船艇、港口设施、岛屿、浮标、礁石、渔网、海岸等),与雷达所在的本船艇在同一水平面上,用两个参数就可确定目标的坐标位置,这样只需测量目标的距离与方位角,一般采用的是极坐标系,如图 1-3 所示。图中 R 为目标的距离, β 为目标的方位角。其含义是:目标距离 R 是雷达到目标的直线距离;目标方位角 β 是基准方位线与距离线间的夹角。

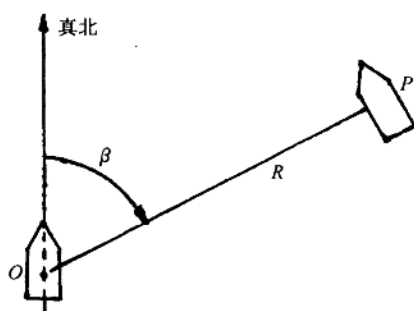


图 1-3 用极坐标系表示目标位置

雷达为什么能发现目标并测定其坐标呢?

为了帮助大家理解,先举一个日常生活中大家都熟悉的现象。当你对着高山或高大建筑物大喊一声后,稍过片刻就能听到回声,这是因为你发出的声波碰到障碍物被反射回来所致。如果你用计时器记下声波往返时间,将此时间乘以声波的速度,就可以算出声波往返行程,这行程的一半即为障碍物所处的距离。雷达探测目标也是用“回声”,但不是声波的回声,而是雷达电磁

波的“回声”。雷达所用的电磁波波长都比较短,这种波长较短的电磁波,反射能力较强,在同一均匀介质中直线传播,因而能够发现比较远,且较小的目标,并能测定其距离、方位。

一、雷达测距

(一) 雷达测距的依据

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发射脉冲信号。如果在电磁波传播的途径上有目标存在,那么雷达就可以接收到由目标反射回来的超高频发射脉冲回波信号。电磁波测定目标的距离,是依据电磁波在传播中所遵循的规律达到的,即:电磁波在均匀介质中是直线传播的;电磁波在传播中遇到目标(障碍物)会产生反射;电磁波在均匀介质中是匀速传播的,在自由空间中传播的速度为 $300\,000\text{ km/s}$ ($3 \times 10^8\text{ m/s}$)。

(二) 测距基本公式

利用雷达电磁波测定目标距离,只要测出电磁波从天线发出到由目标反射返回被天线接收所经历的时间 t ,再乘以电磁波在空间传播的速度 c ,就可得到电磁波往返的行程。这行程的一半,就是目标的距离 R 。写成公式则为:

$$R = 0.5ct \quad (1-1)$$

在式(1-1)中,如往返时间 t 以秒(符号为 s)为单位,当往返时间 $t = 0.5\text{ s}$ 时,则对应 $R = 75\,000\text{ km}$ 。实际上船用导航雷达作用距离根本达不到这么远,因此以秒为单位太大,通常 t 以微秒(符号为 μs , $1\mu\text{s} = 10^{-6}\text{ s}$)为单位,将 $1\mu\text{s}$ 电磁波在空间传播的速度($300\text{ m}/\mu\text{s}$)代入式中,则得:

$$R = 150t(\text{m}) \quad (1-2)$$

该式即为雷达测距基本公式。由此可见,只要能测出以微秒为单位的往返时间 t 的数值,将数值代入测距基本公式,就可以算出目标的距离。

$1\text{ n mile} = 1\,852\text{ m}$,根据测距的基本公式算出, 1 n mile 距离电磁波的往返时间应为 $12.346\mu\text{s}$ (通常取 $12.3\mu\text{s}$)。如距离以海里为单位则雷达测距基本公式为:

$$R = 150t \div 1\,852 = 0.081t(\text{n mile}) \quad (1-3)$$

(三) 计时测距过程

从测距基本公式可以看出:目标距离 R 与往返时间 t 成正比例函数关系,往返时间越长,则目标距离越远。只要能测出往返时间 t ,就可以算出目标的距离 R 。

由于电磁波传播速度很快,往返时间 t 是无法用钟表进行计量的。在雷达中是采用“电子式的钟表”——显示器来解决这一特殊问题的,显示器用示波管将计量的时间显示出来。示波管内的电子束打在荧光屏屏面上产生光点,光点随时间的推移,匀速地由屏面中心按径向方向向边沿移动(称为扫描),形成计量短暂时间的时基线,如图 1-4 所示。光点在荧光屏上从中心以径向方向匀速向边沿移动扫描,就好像钟上的指针以均匀的速度转动一样。例如,光点均匀地由中心按径向方向向边沿扫描一次需 $73.8\mu\text{s}$,则时基线的每 $1/6$ 代表 $12.3\mu\text{s}$,如在扫描线上刻上时间刻度,注明微秒数,则示波管就成为一个计量短暂时间的“微秒表”了。

现以图 1-5 为例,说明用显示器示波管计量时间与测定距离的情况。

显示器示波管应在雷达天线辐射电磁波的同时开始计时。为此,当发射机产生发射脉冲信号并由天线向外辐射的同时,应使显示器示波管扫描光点从屏面中心开始按径向方向向边沿扫描。此时发射机产生的发射脉冲信号有极小部分能量未去天线而漏到接收机,经变换放大后进入显示器示波管,使光点增大,于是扫描线的起始部分(扫描起点)出现大亮点,此大亮点称

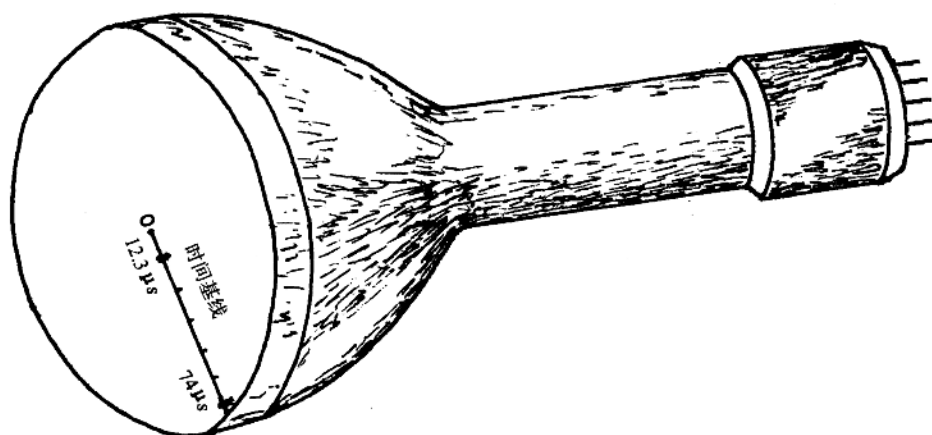


图 1—4 示波管荧光屏屏面上计量时间的基线

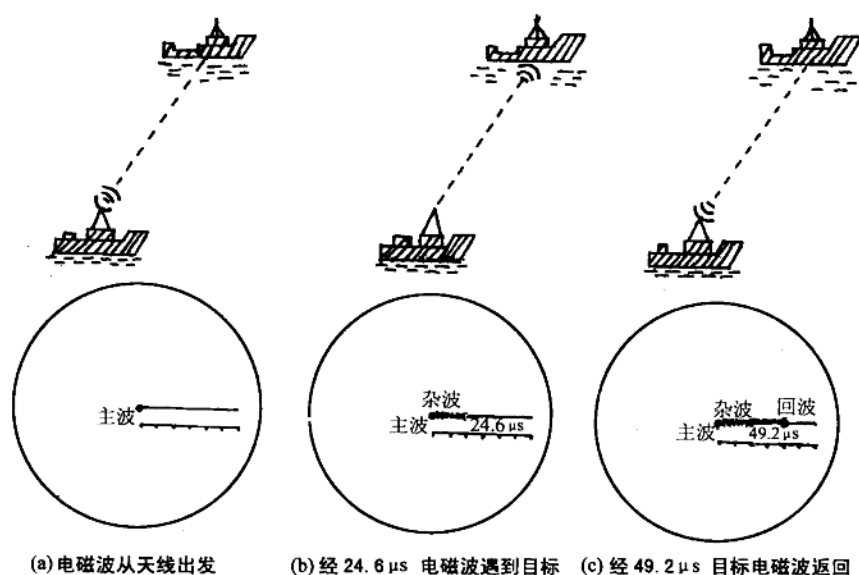


图 1—5 显示器示波管计时测距过程

为主波,如图 1—5(a) 所示。

发射脉冲信号从天线发出后,按天线所指的方向向前传播,与此同时,荧光屏的扫描光点从屏面中心向边沿方向移动,进行计量时间。设发射脉冲信号经过 $24.6 \mu s$ 时遇到目标,这时光点也移动到 $24.6 \mu s$ 刻度的地方,如图 1—5(b) 所示。图中扫描线上有许多杂乱跳动着的亮点,这是由接收机内部产生或加到接收机输入端后而出现的一种微小的杂乱起伏的电压(或电流)所引起的,通常称其为杂波。

由目标反射而产生的回波信号,必须再经过 $24.6 \mu s$ 才能被接收到,被接收后经变换、放大后进入显示器,使示波管屏面上扫描光点增大,而此时扫描光点移动到 $49.2 \mu s$ 处,大亮点出现在 $49.2 \mu s$ 处,这个大亮点就是目标回波,如 1—5(c) 所示。可见,回波与主波(扫描起点)之间

的间隔,正确地反映了电磁波往返时间。

知道了电磁波往返时间,根据测距基本公式就可算出目标的距离:

$$R = 150t(\text{m}) = 150 \times 49.2(\text{m}) = 4 \text{ n mile}$$

实际上并不需要用上式去计算,因为目标距离远近同电磁波往返时间的长短是成正比的,所以只要将荧光屏上时间刻度用相应距离刻度来代替,就可根据回波所在的位置,直接读出目标的距离。

从雷达测距的分析中,我们可以看出:测目标距离就是测电磁波在雷达与目标间的往返时间。这由显示器来完成,显示器示波管相当于为雷达计时测距的微秒表。电磁波在雷达与目标间的具体往返时间由扫描线来反映,扫描线上各点与扫描线起点(扫描中心)间的间隔代表不同的往返时间,也就是说代表不同的距离;12.3 μs 是电磁波 1 n mile 的往返时间,这样可以在扫描线上打出一些等间隔的时间刻度亮点,利用这些时间刻度亮点就可以读出目标距离,这些时间刻度亮点我们称它为“固定距标”。为了正确地计时测距,发射脉冲与扫描计时应严格地同步一致;扫描中心、发射脉冲、主波是严格同步一致的。

距离单位在国内常用公里(km)、米(m)、海里(n mile)、链(cab) 等来表示。国外还采用英里、英尺、码等单位。它们之间运算关系如下:

$$1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$$

$$1 \text{ n mile} = 1.852 \text{ km} = 1852 \text{ m}$$

$$1 \text{ n mile} = 10 \text{ 链(cab)}$$

$$1000 \text{ 码(yd)} = 3000 \text{ ft} = 0.914 \text{ km} = 0.6 \text{ 英里(mile)}$$

二、测方位原理

(一) 雷达测方位的依据

雷达发射的电磁波在空间(近似于均匀介质)是直线传播的;电磁波在传播过程中遇到目标会产生反射;雷达天线具有良好的方向性,能定向发射和接收电磁波信号。

(二) 天线定向辐射情况

雷达天线不是把电磁波向所有方向均匀地辐射出去。与天线平面垂直且穿过天线平面中心的垂线称天线轴线。对于船用导航雷达来讲,在天线平面正前方的天线轴线上辐射最强;天线平面及其背面各方向辐射基本为零;其他方向辐射的能量是在零与最强之间。

天线周围各方向辐射能量的分布情况可以用图表示出来,它能正确地反映出天线辐射能量是带方向性的,这就是天线方向性图。它是用来表示离天线等距离而不同方向的空间上各点辐射场强的图,称天线方向性图,亦称波束图或波瓣图,如图 1—6 所示。它是立体的,在波束的轴线(简称波束轴)方向能量最大。对于船艇导航、避碰雷达,天线轴线与波束轴指向是完全一致的,即天线指向就是波束方向。

天线方向性图可以分为水平方向性图和垂直方向性图。所谓水平方向性图指的是天线所发射的电磁波能量,在与水平面平行且是被波束轴所穿过的平面上的能量分布图。垂直方向性图指的是天线发射的电磁波能量在与水平面垂直且是被波束轴所穿过的平面上的能量分布图。

(三) 测方位的方法、原理

目前测定目标方位的方法有: