

高等学校试用教材

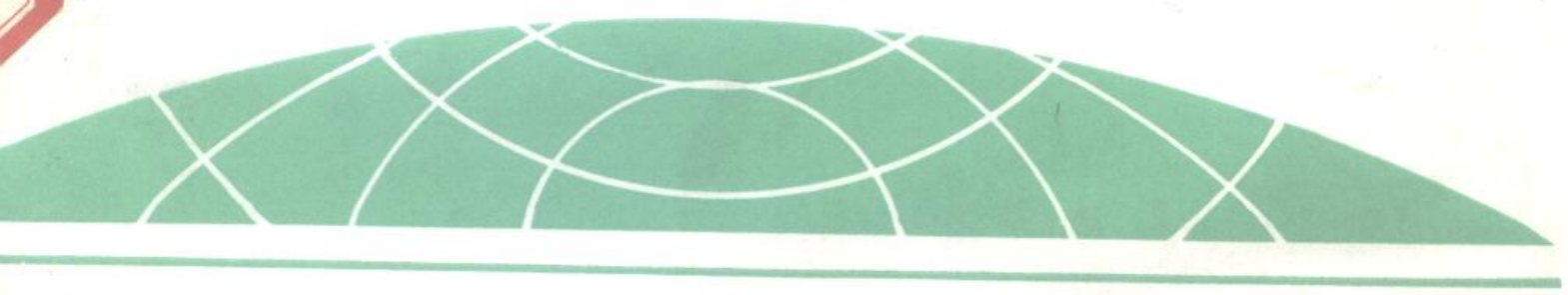
(电子工程专业)

第一册

张润泽 主编

人民交通出版社

船舶导航雷达



高等学校试用教材

船舶导航雷达

Chuanbo Daohang Leida

(电子工程专业)

第一册

张润泽 主编

人民交通出版社

内 容 简 介

本书是大连海运学院电子工程（导航）专业的雷达教材。全书共六篇、三十九章，分三册出版。第一册的主要内容是雷达基本原理、雷达发射系统、雷达接收系统。第二册的主要内容是雷达显示系统、船舶导航雷达的系统设计原理。第三册的主要内容是雷达信息处理和 ARPA 系统。本书重视了船舶导航雷达的发展趋势，数字化、计算机化、ARPA 的兴起和脉冲压缩体制的运用。

本书可作为工科院校和军事院校电子工程专业的教学参考书，可供有关专业的研究生、科技人员、海军人员参考。

高等学校试用教材 船 舶 导 航 雷 达 (电子工程专业)

第 一 册

张润泽 主编

责任编辑 钱悦良

封面设计：彭小秋

技术设计：周 圆

插图设计：秦淑珍

责任校对：张 莹

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：16 字数：369千

1987年6月 第1版

1987年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,000册 定价：2.65元

前 言

本教材系根据大连海运学院电子工程系电子工程专业的“雷达系统”（45~55学时）、“雷达设备”（70~80学时）、“雷达信息处理”（70~80学时）三门课程的教学大纲综合编写而成，由交通部教育局批准出版。

本教材的主要内容有：（1）雷达基本工作原理；（2）雷达各分机——发射、接收、显示的工作原理、局部电路设计和举例；（3）船舶导航雷达的系统设计原理；（4）雷达信息处理与 ARPA（雷达标绘仪）系统的工作原理及电路分析举例。

本书共分六篇、三十九章，分三册出版。第一册包括雷达基本原理（第一篇）、雷达发射系统（第二篇）、雷达接收系统（第三篇）。第二册包括雷达显示系统（第四篇）、船舶导航雷达系统设计原理（第五篇）。第三册包括雷达信息处理与 ARPA 系统（第六篇）。

全书内容兼顾基本原理分析与实际电路设计和举例，兼顾船用导航雷达和岸用导航雷达两个方面。全书除主要围绕常规的恒载频非相参脉冲制船舶导航雷达展开讨论外，鉴于目前已出现脉冲压缩体制的港口雷达，故在第三册将讨论雷达新体制在船舶导航中应用的可能性，尤其是脉冲压缩雷达的工作原理。又鉴于目前船舶导航雷达的新进展主要表现在数字化和计算机化，以及 ARPA 系统的兴起，所以在第三册还将以较大篇幅讨论这方面内容。

本教材由大连海运学院电子工程系教授张润泽主编；由交通部上海船舶运输科学研究所导航研究室顾问、高级工程师姜尔寿主审。其中第一至第四章、第二十六、二十七章、第二十九章前三节、第三十至三十九章由张润泽编写；第五至第九章由于庆光编写；第十至第十二章、第十四至第十八章由王世远编写；第十三、二十八章、第二十九章第四节由贺天锡编写；第十九至第二十五章由牟蜀安编写；全书插图由李志斌绘制；全书的校对工作由贺天锡完成。

由于编者水平有限，经验不足，书中会有许多缺点和不足之处，请读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 雷达基本原理

绪论	1
第一章 雷达探测目标及测量目标参数的物理基础和方法	2
第一节 雷达探测目标的物理基础和方法	2
第二节 雷达测定目标坐标及运动参数的物理基础和方法	4
第二章 雷达的基本组成部分及其工作原理	7
第一节 雷达的基本框图及其工作过程	7
第二节 雷达各分机的组成及其作用	7
第三章 雷达的用途、分类与工作波段	11
第一节 雷达的用途与分类	11
第二节 雷达的工作波段	12
第四章 雷达系统工程及其研究内容	13
第一节 系统工程及其特征	13
第二节 雷达系统工程的研究内容	14
参考文献	16

第二篇 雷达发射系统

第五章 发射系统的任务、技术指标与组成	17
第一节 发射系统的任务与组成	17
第二节 发射系统的主要技术指标	18
第六章 磁控管振荡器	19
第一节 磁控管的结构及工作原理	19
第二节 磁控管的使用和维护	27
第三节 磁控管的选择	28
第七章 脉冲调制器	29
第一节 概述	29
第二节 刚性脉冲调制器	31
第三节 软性脉冲调制器	44
第四节 磁调制器	60
第五节 固态器件——磁开关混合型调制器	70
第六节 三种脉冲调制器的比较	72
第八章 预调制器及触发电路	74

第一节	刚性脉冲调制器的预调制器	74
第二节	触发电路	77
第九章	船舶导航雷达发射系统的设计和电路举例	80
第一节	发射系统的设计	80
第二节	刚性脉冲调制发射系统电路举例	81
第三节	软性脉冲调制发射系统电路举例	84
第四节	磁调制发射系统电路举例	87
参考文献		91

第三篇 雷达接收系统

第十章	接收系统的任务、技术指标与组成	92
第一节	接收系统的任务与技术指标	92
第二节	接收系统的组成	95
第十一章	收发转换开关	97
第一节	概述	97
第二节	气体放电管型收发转换开关	98
第三节	铁氧体型收发转换开关	104
第四节	微波限幅二极管型收发转换开关	106
第十二章	混频器	109
第一节	概述	109
第二节	混频晶体二极管	118
第三节	单端混频器	122
第四节	平衡混频器	125
第十三章	本机振荡器	131
第一节	概述	131
第二节	反射速调管振荡器	131
第三节	固态振荡器	134
第十四章	中频放大器	139
第一节	中频放大器的任务及其技术指标	139
第二节	中频放大器的电路型式	143
第三节	低噪声前置中频放大器	145
第四节	通频带变换中频放大器	150
第五节	对数中频放大器	158
第六节	集成化中频放大器	176
第十五章	脉冲检波器与前置视频放大器	182
第一节	脉冲检波器	182
第二节	前置视频放大器	188
第十六章	增益控制电路	189
第一节	设置增益控制电路的必要性	189

第二节	增益控制的方法.....	189
第十七章	自动频率微调电路.....	196
第一节	自动频率微调电路的作用、原理和分类.....	196
第二节	误差信号产生器（鉴频器）.....	199
第三节	跟踪式 AFC 系统.....	201
第四节	搜索式 AFC 系统.....	205
第十八章	船舶导航雷达接收系统的设计与电路举例.....	211
第一节	接收系统的设计.....	211
第二节	船用导航雷达接收系统电路举例.....	218
第三节	岸用导航雷达接收系统电路举例.....	234
参考文献	247

第一篇 雷达基本原理

绪 论

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，获取其空间坐标、速度、特征等信息的一个无线电技术学科。实现这种技术的设备称为雷达站或雷达机，简称雷达。“雷达”一词来自英语 radio detection and ranging 的缩写 radar 的音译名，原意为“无线电探测和测距”，即用无线电的方法发现目标和测定其位置参数。因此，雷达原意又称“无线电定位”。

雷达所要探测的一切对象统称为雷达目标(简称目标)。雷达目标可以是空中的飞机、导弹、云雨、冰雹、人造卫星、宇宙天体，可以是海面的舰船、航标、岛屿、岸边，也可以是陆上的山川、森林、地形、建筑物、工事、车辆、兵器、炮弹、人员等等。雷达的具体任务不同，所探测的目标也各异。利用雷达探测目标的优越性在于不受环境能见度的限制，在黑夜、烟、云、雾、雨、雪等妨碍目力观察的条件下，仍能在很远的距离上发现目标，并能测定其参数。它与光、声探测设备相比较，具有作用距离远、精度高、方便灵敏等特点。

必须指出，雷达意即“无线电定位”这一概念是在雷达技术发展初期形成的。现代雷达获取目标信息已不单纯是判定目标的存在和测定目标的位置参数，而且包括目标的运动速度、加速度、轨迹、姿态以及目标某些特征信息。即雷达功能已从初期的目标定位进展到目标识别。此外，现代雷达已不仅是一种优越的使人的感官得到有力扩展的传感器，它与计算机、自动控制等技术相结合，又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，甚至在一定程度上代替人的思维和劳动，在军事、国民经济和科学研究中发挥越来越大的作用。

雷达产生的渊源可追溯到1886~1888年间德国物理学家 H.R.赫兹(Hertz)实现了电磁波的振荡、发射与接收。继而在1914年美国 R.A.弗森登发明回波测距，这是雷达的前身。1922年意大利 M.G.马可尼(Marconi)提出一种相当实用的雷达系统。1930年 W.布莱尔(Blair)获得脉冲回波测距和测向的基本雷达专利。1935年英国 R.W.瓦特(Watt)研制成功第一部探测飞机的实用雷达。1937年由美国无线电公司研制成功第一个机载雷达系统。1938年在美国战舰“纽约”号上第一个装设了对海对空的舰载雷达。第二次世界大战后，雷达作为一种重要的船舶导航设备，在各国商船中迅速普及。1949年在英国利物浦首先装设了正规的港口导航雷达系统。目前，导航雷达已成为船舶上不可缺少的导航设备之一。港口导航雷达系统也在世界各重要港口相当普遍地装设起来，用于港口导航和水上交通管理。

我国在解放初期，船舶导航雷达只靠国外引进。五十年代末自行研制和生产了电子管船用雷达，六十年代初研制了半导体船用雷达，七十年代中期开始研制港口导航雷达系统，并付诸使用。自解放以来，我国船舶导航雷达的研制与生产虽有很大发展，但与国外先进水平相比，仍有较大差距。这就要求我们在发展船舶导航雷达最新技术方面作出更大的努力。

第一章 雷达探测目标及测量目标

参数的物理基础和方法

第一节 雷达探测目标的物理基础和方法

雷达的基本任务之一是发现目标。完成这一任务的方法及其物理基础可分为下面三种基本方式。

一、利用目标的二次辐射现象

电磁波在介质中传播，遇到任何物体，若其电性能与传播介质的电性能存在差异，都会产生二次辐射现象。二次辐射是物质分子的等效电偶极子受电磁波强迫振动产生的。由目标各点产生的二次辐射电磁波与原来的电磁波相互干涉叠加，会产生“反射”、“散射”、“绕射”三种情况。如果目标接受原电磁波辐射的那部分的尺寸远大于原电磁波的波长，而且其表面非常平滑，各点的二次辐射电磁波的强度和分布都很均匀，叠加的结果，只改变原电磁波的传播方向，而且满足入射角等于反射角的波动反射定律，这种情况是“反射”。如果目标尺寸远大于原电磁波的波长，但其表面十分粗糙，各个单元的二次辐射指向不同，其强度与分布又极不均匀，具有随机性质，相互干涉叠加而形成“散射”。如果目标尺寸远小于原电磁波的波长，二次辐射电磁波与原电磁波相互干涉叠加，使电磁波传播方向连续改变，波阵面在传播中变化，结果使电磁波连续弯折绕过目标，朝其背后继续传播，这就是“绕射”。此外，还有一种特殊情况，当目标尺寸与原电磁波的波长可以相比拟时，特别是当目标是一个导体，其指向与电磁波的电场矢量相平行，这个目标就相当于一个电偶极子，在原电磁波的强迫振动下产生“谐振”式的二次辐射，这种目标实际上构成一个特殊的天线，其二次辐射的方向图形可按照计算天线时常用的方法来计算。

对一个复杂目标来说，上述的反射、散射、绕射、“谐振”二次辐射可能同时发生，但有主次之分。平滑表面较大时，以反射为主；粗糙表面较大时，以散射为主；与波长尺寸可比拟的独立单元较多时，以“谐振”二次辐射为主；由许多尺寸远小于波长，相互距离又较大的独立单元组成的目标（如冰雹、雨雪之类），则以绕射为主。

除了完全绕射情况之外，反射、散射、“谐振”二次辐射都可以用来发现目标。对大量目标来说，往往散射是主要的。为了发现目标，雷达可用某种形式向空间发射无线电波，电波传播路途中遇到目标后，产生二次辐射。其中一部分返回雷达处被接收，这样就获得了有关目标的信息，就可判知目标的存在。工作在这种方式的雷达称为主动雷达(active radar)，这是因为探知目标的电磁波辐射源完全在于雷达本身，如图1-1a)所示。

在主动雷达中，为了发现目标，必须解决一个重要问题，就是必须把发射波和反射波区别开来。否则就不能在漏入的发射波背景中识别出回波信号。为此，通常是把发射波在振幅、频率、相位这三个参量之一上进行调制。因为反射波相对于发射波有时延，在每一瞬间，二者在调制参量上有差异，从而不难区别出回波信号。其中采用最广泛的是脉冲调制法，在接收回波期间，发射完全停止，这样很容易判定目标的存在。在探测运动目标时，采

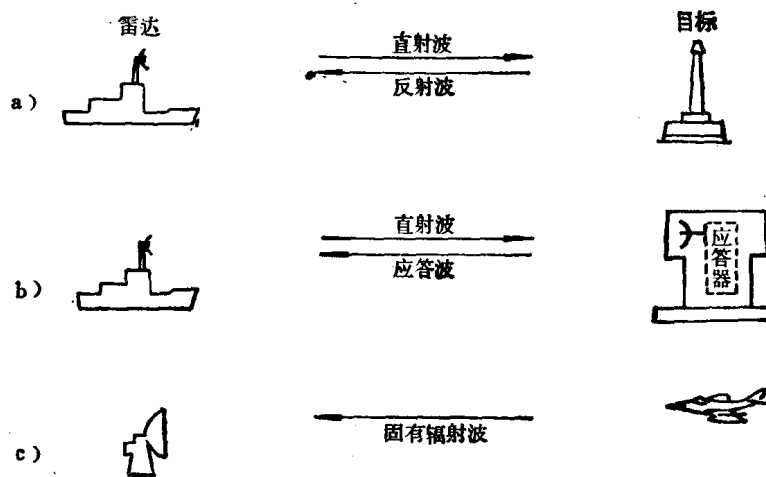


图1-1 三种不同工作方式的雷达
a)主动雷达; b)配应答器的雷达; c)被动雷达

用非调制的连续发射波，利用多普勒效应的频率偏移，也可以探知目标的存在，这实际是目标调制了回波频率。

二、利用目标应答器转发无线电波

某些特定目标因其二次辐射性能很弱，或因其距离很远，难以在各种干扰背景中识别其回波信号，可在该目标上装设雷达应答器（radar transponder）或雷达信标（acon-radar beacon）。在雷达发射的电磁波触发下，它自身形成振荡并转发无线电波。在雷达处接收到转发信号后，便能判明目标的存在。这种方法可以大大增加雷达的探测距离，提高获取目标信息的可靠性。又因为应答器或信标有自己的收发装置，可以用编码等方式转发补充信息，如目标属性的识别信息、目标的某些参量信息等等。这种工作方式如图1-1b)所示。

三、利用目标的固有辐射

采用这种方式，雷达不发射电磁波，只靠接收目标本身的固有辐射电磁波来发现目标。这种雷达称为被动雷达或无源雷达（passive radar），又称为拍达（padar—passive detection and ranging），如图1-1c)所示。

目标的固有辐射可分为三种类型：

1. 热辐射，原则上讲，任何物体的温度超过绝对温度零度时，它都产生热辐射。热辐射的强度既决定于温度又决定于目标的物理特性。因此，被动雷达不仅可以区别具有不同温度的目标，又可区别具有相同温度但具有不同物理特性的目标。接收热辐射的被动雷达多工作在厘米波、毫米波或红外线波段。

2. 喷气机或火箭的发动机、核爆炸、雷电火花等辐射长波的电磁波。

3. 装设在目标上的各种无线电装置，各自发射不同波段的无线电波。

针对不同类型的目标，被动雷达可在不同波段上工作。为了接收微弱的热辐射信号，或接收远处目标辐射的信号，被动雷达必须有很高的灵敏度，而且必须采取措施，消除雷达内部固有噪声的影响。

除了上述三种工作方式的雷达之外，还有一种半主动雷达。其特点是电磁波的发射与接

收装置分别设置在两个地点。如导弹控制雷达，发射装置设在地面上或舰艇上或飞机里，接收装置安设在导弹里。雷达发射的电磁波照射敌方目标后，目标反射的电磁波被导弹的接收装置接收后，根据反射波的方向，控制导弹击中目标。

第二节 雷达测定目标坐标及运动参数的物理基础和方法

雷达在完成发现目标这一基本任务之后，还要完成第二个更为重要的任务，即测定目标的坐标参数及运动参数。目标的位置坐标可由目标的距离、俯仰角、方位角这三个参量来表示。

雷达测距的物理基础是电磁波在均匀介质中具有等速直线传播的特性。

主动雷达的测距是靠测定反射波相对于发射波的时延 t_R 来实现的。电磁波由雷达发射后，传播到目标处，反射后又传播到雷达处，往返传播的时间即为时延 t_R 。因为电磁波等速直线传播，故目标的距离为：

$$R = \frac{ct_R}{2} \quad (1-1)$$

式中： c ——电磁波在自由空间中传播的速度，数值为 $3 \times 10^8 \text{m/s}$ ；

t_R ——电磁波往返传播引起的时延。

在主动雷达中，为了测定时延 t_R ，必须采用调制波。采用脉冲调制时，直接测定反射脉冲相对于发射脉冲的时延。采用频率调制或相位调制时，借助于测定同一瞬间的反射波与发射波的频移和相位差，也可测知时延 t_R 值。由测得的时延 t_R 值，便可直接标出目标距离 R 值。

在配用应答器的雷达中，测距方法与上述主动雷达测距方法相同。只不过附加了应答器的应答延迟时间。因而目标距离为：

$$R = \frac{c}{2}(t_D - t_T) \quad (1-2)$$

式中： t_D ——所收转发应答波相对于发射波的时延；

t_T ——应答器的应答时延。

被动雷达测定目标距离可采用两个观测点，分别测出目标的角坐标；或一个观测点测定角坐标，另一个观测点测出信号到达两点的时差，都可测出目标位置。前者为两直线的交点，后者为直线与双曲线的交点。目标位置已知，则其距离可得。只用一部被动雷达测定目标距离是困难的，但在特殊情况下，也是可能的。如被动雷达设于足够高处，而雷达附近有宽裕的平滑场地或水面，如图1-2所示。空中目标发射周期性无线电波。在雷达处接收的自地面或海面的镜面反射波与其直射波之间存在时延。如测知此时延，又知雷达天线高度与目标仰角，则可按下式确定目标距离：

$$R = \frac{4h_A^2 - (ct_d)^2}{2ct_d - 4h_A \sin\theta} \quad (1-3)$$

式中： h_A ——雷达天线高度；

θ ——目标仰角；

t_d ——目标辐射无线电波自地面或海面的镜面反射波与其直射波的时延。

这种被动雷达测距法可用于飞机护尾的拍达或海岸高崖上的对空警戒的无源雷达中。

雷达测角的物理基础是电磁波在均匀介质中具有等速直线传播的特性，而且在超短波、微波及光波波段能实现方向性图十分尖锐的定向辐射与接收。

雷达测角有下面几种方法：

1. 振幅测角法 其物理基础是基于天线的方向性特性。

又分为以下四种方法。

1) 最大直法 如图1-3a)所示。雷达的方向性图为尖锐的瓣形。由天线扫描机构将波束旋转至目标方向，使接收的目标回波达到最大值，则此刻天线波束的指向即为目标方向。目标的角坐标数据即可由天线旋转角确定。零度起点可规定为真北向或船首向等。此法优点是测角简单，回波信号强，易实现平面位置显示图形。缺点是测角点的幅度变化率低，因而测角准确度不高，而且不能瞬时判定目标的运动方向。

2) 最小直法 如图1-3b)所示。天线方向性图为相切的双瓣形。旋转波束使零发射线对准目标，即令目标回波信号达到最小值，此刻天线波束旋转的零发射线角度即为目标的角坐标数据。此法特点是测角点的幅度变化率大，因而测角准确度较高。但是因为信号较弱，甚至在测角时信号丢失，又使测角准确度受到影响，因而不能达到很高的准确度。另一方面，目标偏离零发射线的方向不易判定，因而也难瞬时判定目标运动方向。

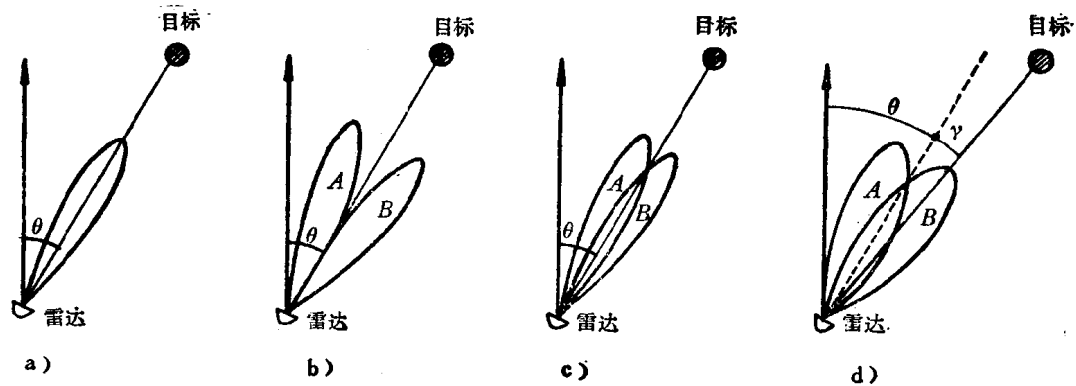


图1-3 振幅法测定目标角坐标
a)最大直法；b)最小直法；c)等信号法；d)比较信号法

3) 等信号法 如图1-3c)所示。由两套相同的天线组成部分交叠的双瓣形方向特性图。目标回波由两个天线轮流接收。旋转波束使两个信号相等时，即双波束交叠中心指向目标，由此指向确定目标的角坐标数据。此法优点是准确度较高，信号较强，且能瞬时判定目标运动方向。

4) 比较信号法 如图1-3d)所示。也是利用两套完全相同的天线，组成部分交叠的双瓣形方向特性图。但是在测定角坐标时不采用等信号法，而是旋转波束大体指向目标后，由两

路特性完全相同的接收通道分别将两天线接收的信号同时放大处理后，比较两路输出的信号电压 u_{o1} 和 u_{o2} 。由天线方向特性图所确定的偏离等信号线的偏离角 γ 与其相应的 u_{o1}/u_{o2} 比值的特定函数关系 $\gamma = f(u_{o1}/u_{o2})$ ，在测知 u_{o1}/u_{o2} 比值后，即可确定 γ 值。目标角坐标数据则由波束旋转角 θ 与偏离中心角 γ 的代数和来求定。此法优点是天线大体指向目标后，无须快速旋转和精密跟踪就能精确地测定目标角坐标数据。因而测角速度快，甚至利用单个脉冲就可测定角坐标，而且可瞬时测知目标的运动方向。缺点是设备比较复杂。

2. 相位测角法 其物理基础是基于电磁波在等速直线传播时，在空间不同点有一定的相位关系。如图1-4所示，用两个相距为 b ，特性完全相同的天线，接收来自远处目标的电波， A_1 、 A_2 两点所收电波的相位差为：

$$\Delta\varphi = 2\pi f_0 t_D = \frac{2\pi f_0}{c} b \sin\theta \quad (1-4)$$

式中： t_D —— A_1 相对于 A_2 的时延， $t_D = \frac{b}{c} \sin\theta$ ；

θ ——目标角坐标；

f_0 ——电波频率；

b ——两天线的距离；

c ——电波传播速度；

$\Delta\varphi$ —— A_1 、 A_2 两天线所收电波的相位差。

测出相位差 $\Delta\varphi$ ，从而可确定目标角坐标数据为：

$$\theta = \arcsin \frac{\Delta\varphi \cdot c}{2\pi f_0 b} \quad (1-5)$$

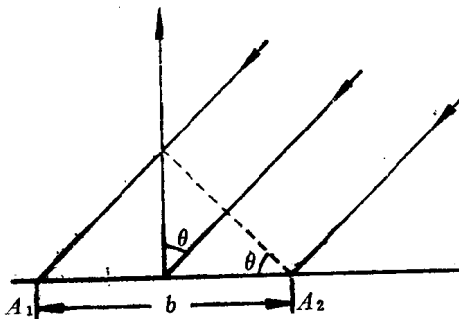


图1-4 相位法测定目标角坐标

相位法测定角坐标的优点在于天线方向图不必尖锐，天线波束也不必旋转；缺点是为了保证测定相位差的精度，电路和结构都要求较严，而且随着角数据 θ 的增大，准确度下降。

雷达测定目标相对速度的物理基础是多普勒效应。雷达发射非调制的连续波，遇到运动目标后，反射信号的频率发生了变化。如目标朝雷达方向运动，则回波信号的频率增加。如目标背离雷达运动，则回波信号频率减少。该频率变量，即多普勒频移，决定于下式：

$$F_D = f_T \frac{2V_r}{c} \quad (1-6)$$

式中： f_T ——发射信号频率；

V_r ——目标相对于雷达的运动速度；

c ——电波传播速度。

在雷达中测定 V_r 值的方法很容易实现。只要将发射信号和回波信号在接收机中进行混频，即得频率为 F_D 的差频信号。由频率计测定频率 F_D 之后，即可直接由下式确定 V_r 值：

$$V_r = \frac{c F_D}{2 f_T} \quad (1-7)$$

第二章 雷达的基本组成部分及其工作原理

第一节 雷达的基本框图及其工作过程

雷达体制繁多，组成方式各有不同。其中应用最为广泛的是脉冲法测距、最大值振幅法测角、显示平面位置的主动雷达。船舶导航雷达一直沿用这种体制，下面就这种体制说明雷达的基本组成部分及其工作过程。

图2-1是现代船用导航雷达的基本框图。整个系统由发射机 (transmitter)、接收机 (receiver)、天线 (antenna)、显示器 (display) 或综合显示器 (synthetic display)、数据处理机 (data processor) 所组成。其中发射与接收因结构上的需要，组成一个收发机 (transceiver) 整体。综合显示器与数据处理机也常组成一个整体。早期雷达仅作为单纯的传感器 (sensor)，没有数据处理与综合显示设备。操纵、观测与数据处理都由观测者完成。现代雷达为了增强自动化功能，代替观测员的一部分职能，已由传感器 (原有雷达)、处理机、综合显示器组合成一体。显示的图象已不仅是雷达的原始视频的图象，而又附加了处理视频，如代表目标的各种字符，运动矢量线、航道线、危险符号等等。现在船用导航雷达，有的沿用原来的形式，只有显示原始视频的显示器，有的只有综合显示器，有的兼用这两种显示器，如图2-1所示。

雷达全机的工作过程是：发射机在定时脉冲触发下，产生高功率射频脉冲，经过高增益天线向空间定向辐射，而且作空间方位扫描。波束扫描到目标时，后向散射的电磁波返回到雷达天线，被收集送入接收机。回波信号在接收机中经混频、放大、检波等处理，送至显示器和数据处理机。显示器在定时脉冲及方位信号共同作用下，实现平面极坐标扫描，从而将送来的回波信号显示成平面位置图形。数据处理机在定时脉冲作用下，将送入的回波信号、方位信号、航向、航速等信号进行加工量化，由微处理机进行多种形式的数据处理，然后将目标及本船的各种数据送入综合显示器。在综合显示器中除显示原始视频外，并以特定符号、运动矢量线、字符等形式显示出目标的处理视频图形及有关数字数据。

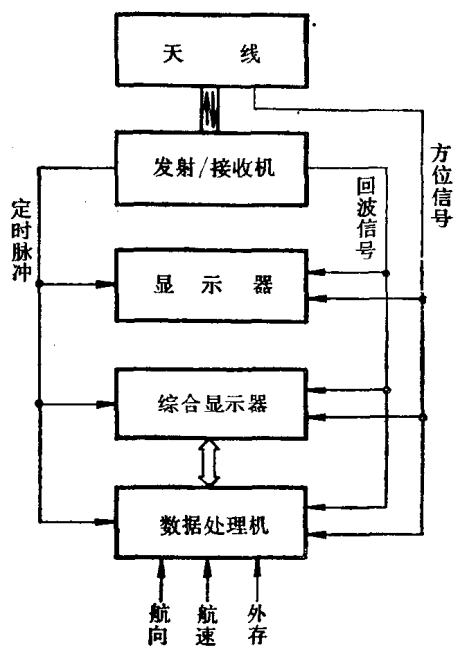


图2-1 现代船用导航雷达基本框图

第二节 雷达各分机的组成及其作用

现代船用导航雷达各分机的典型框图如图2-2所示。

定时器的作用是产生使全机协调动作的同步脉冲，或称定时脉冲。它通常装设在收发机内，也有的装设在显示器或数据处理机内。

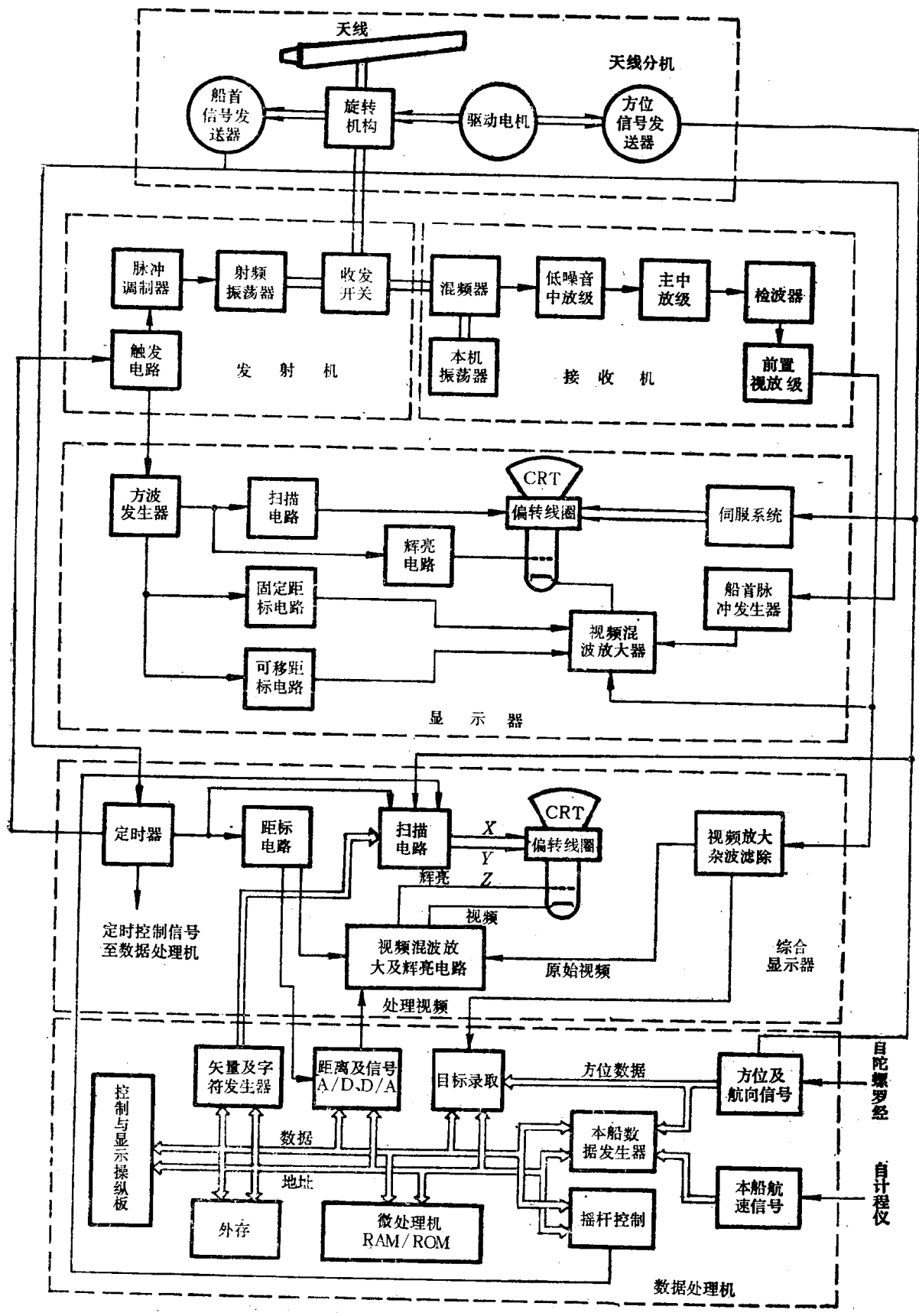


图2-2 现代船用导航雷达各分机典型框图

发射机主要由触发电路、脉冲调制器、射频振荡器（磁控管）组成。触发电路在定时器控制下产生触发脉冲。调制器在触发脉冲作用下产生具有一定宽度、一定重复频率的调制脉冲，推动射频振荡器产生大功率的射频脉冲。由于收发共用一套天线，必须采用收发转换开关，在发射状态将天线与发射机相接，防止发射功率进入接收机；在接收状态将天线与接收机相连，防止回波信号功率进入发射机。

天线分机的中心部件是用于辐射和收集射频信号并具有很强方向性的天线。此外，还有实现空间方位扫描的驱动旋转机构以及方位信号和船首信号的发送设备。这些信号是数据处理和图形显示必不可少的。

接收机的任务是将回波信号放大滤波并处理成便于观察的视频信号。接收机普遍采用超外差体制。为降低接收机内部噪声，目前新型船用雷达在混频前接入微波晶体管放大器，但多数是直接混频后送入低噪声的前置中放级，然后再送入线性或对数的主中放级，又经过检波与前置视频放大，送入显示器或数据处理机。接收机除了保证足够的信号增益、通频带、动态范围之外，也往往附加一些反干扰处理。

显示器包括扫描电路、辉亮电路、距标电路、视频混波放大器、方位伺服系统等。扫描电路的作用是在同步脉冲作用下，产生扫描锯齿波，送入阴极射线管的偏转系统，实现距离扫描。辉亮电路的作用是形成辉亮方波，送入阴极射线管实现亮度控制。距标电路的作用是在同步脉冲或同步方波作用下产生固定的和可移的距离标志脉冲。船首标志脉冲产生器，在天线送来的船首信号作用下，产生船首标志脉冲。视频混波放大器将来自接收机的回波视频信号与距离标志脉冲、船首标志脉冲进行混波放大，送至阴极射线管进行亮度调制。伺服系统将天线的方位信号传送到显示器并驱动阴极射线管的偏转系统，实现扫描线的方位扫描。再加上亮度调制的效果，在屏面上便形成平面位置显示。呈现出反映雷达周围地理外观实况的图象。图 2-3 是说明形成平面位置显示的信号波形时间关系图。

数据处理机的任务是在定时信号控制下，将各种输入信号进行量化后作各种数据处理，输出导航所需要的各种形式的数据，送往综合显示器或数字数据指示器。输入到数据处理机的信号有：来自接收机的原始视频信

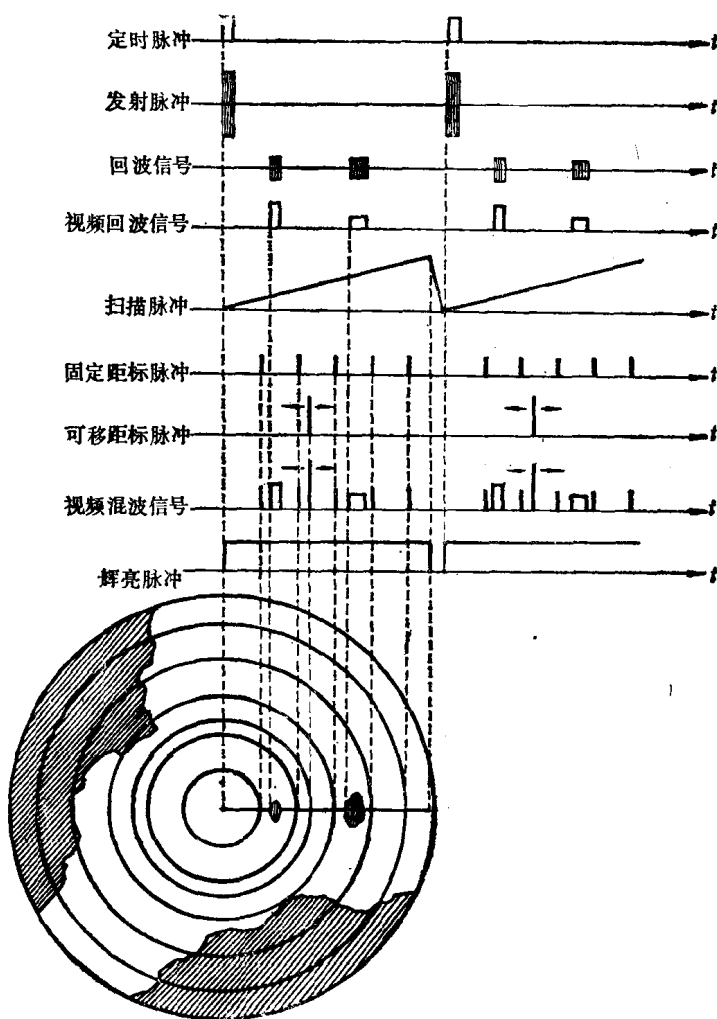


图2-3 形成平面位置显示的脉冲波形及时间关系

号；来自天线的方位信号和船首信号；来自陀螺罗经的本船航向信号；来自计程仪的本船航速信号；以及来自外存贮器的有关海图数据和航行计划数据等。此外，还有由观测者从控制面板输入的种种数据和信号。自数据处理机输出的信息有：为形成处理视频图形的 X 、 Y 轴扫描信息和 Z 轴辉亮信息，其中包括被录取和跟踪的目标坐标参量、运动矢量参量和目标特征参量等；运动目标的最接近点距离DCPA(distance to closest point of approach, 又简称CPA)、到达最接近点时间TCPA(time to CPA)等参量；以及执行航行计划的信息，航行危险判断信息，改变本船航向航速的试操船指令信息等等。

数据处理机的处理内容主要有：目标的自动检测，目标坐标参量的自动录取，目标的自动跟踪（其中包括航迹相关、平滑外推、相关波门的自适应调整等），以及目标航向、航速、DCPA、TCPA的计算，危险判断与报警，安全航向航速的计算等等。

数据处理机的中心设备是微处理机。其职能是对录取目标的运动参量、本船参量、外存参量以及人工设置参量进行运算、跟踪和判断，输出上述各数据。目标检测设备将模拟视频进行量化，并经积累检测确认为有用目标，再由自动录取设备录取目标出现时刻的距离、方位数据。然后将数据送入计算机进行自动跟踪的计算。矢量及字符发生器根据处理机提供的目标坐标数据、目标运动数据产生书写字符和画出矢量线段的 X 、 Y 轴偏转的数据代码，经D/A转换送往显示器的扫描系统。与此同时，在显示器视频系统中，自数据处理机的距离与雷达信号的A/D、D/A设备送入矢量及符号的 Z 轴辉亮信号，从而在荧光屏上显示出处理视频的信息。本船数据发生器来自陀螺罗经和计程仪的本船航向和航速信号经数模转换为数字信号，用于真运动和真矢量的计算和种种判断。摇杆和操纵板的控制键、按钮等用于往处理机输入人工设定的数据和确定数据处理机的工作状态。如本船航向和航速数据的人工设定，最接近点最小距离(MIN CPA)和到达最接近点的最少时间(MIN TCPA)数据的设定；真矢量/相对矢量的设定，人工录取/自动录取的设定，以及目标跟踪的撤销等等。

综合显示器除了显示原始视频图象，也可单独显示处理视频，或二者同时显示。图2-4分别表示雷达原始视频及其相应的处理视频图象。原始视频图象的形成是采用前述径向扫描的方法，处理视频图象的形成则采用随机扫描的方法，即在数据处理机控制下，将各种字符、矢量等随机地进行扫描并显示在屏幕上。当综合显示原始视频和处理视频时，则采用分

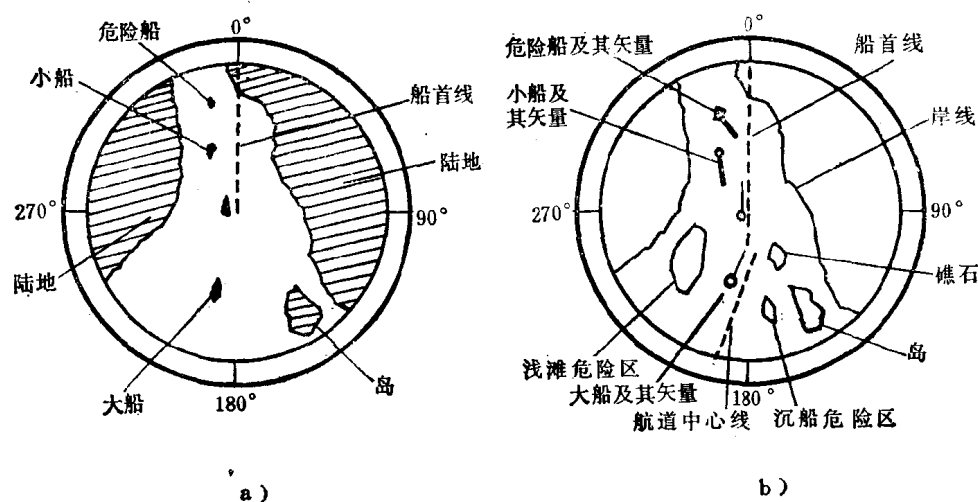


图2-4 雷达图象示意图
a)原始视频图象；b)处理视频图象