

航空雷达原理

Aerial Radar Theory

■ 张欣 叶灵伟 李淑华 王勇 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

航空雷达原理

Aerial Radar Theory

张欣 叶灵伟 李淑华 王勇 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书采用大系统的概念,按照构建现代体制机载雷达的基本要求来构架内容体系,内容分为雷达基本组成和现代雷达技术两个层次。第一层次以实现航空雷达探测的基本功能为主线,阐述了雷达主要组成分机的工作原理和质量指标,主要包括航空雷达发射机、接收机、天线与伺服系统,以及终端显示器。第二层次以现代体制机载脉冲雷达的信号与信息处理为主线,讨论了脉冲压缩、脉冲多普勒处理、动目标检测、阵列信号处理、合成孔径雷达信号处理及雷达抗干扰信号处理等各种现代雷达技术和体制的原理及实现方法;以实现目标参数测量和跟踪功能为主线,阐述了雷达测距、测角、测速的基本原理和实现方法,以及单目标跟踪、多目标跟踪的原理与实现。

本书在注重基本理论的同时,充分关注了当前航空雷达技术的状态和发展趋势,突出军事应用特色和航空特色。

本书为航空雷达工程等专业的任职教育生长干部所编写,也可作为院校航空电子工程有关专业本科生和研究生的教材,以及雷达工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

航空雷达原理/张欣等编著. —北京:国防工业出版社,2012.7

ISBN 978-7-118-08051-3

I. ①航... II. ①张... III. ①空用雷达—理论
IV. ①TN959.73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 102015 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 27 字数 621 千字

2012 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—5000 册 定价 55.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

序

雷达是一种无线电探测设备,它诞生于第二次世界大战中的 1935 年,两年后机载雷达问世。军事需求促使了雷达的出现,也是军事需求促进了雷达的发展,在战争中雷达战功卓著。

机载雷达是雷达家族中的一员,顾名思义,它是以飞机为平台,即安装在飞机上的雷达。它与地面上的雷达有很大差别,除了容易理解的体积和重量限制及工作环境苛刻外,机载雷达与地面雷达的本质差别在于,雷达从上往下看会产生十分强的地杂波干扰,以及由于飞机运动使地杂波频谱展宽,如何在地杂波背景中能检测有用的目标信号,是机载雷达发展过程中所遇到的棘手的技术难题。

直到 20 世纪 60 年代末,脉冲多普勒机载雷达问世,才在原理上和雷达体制上解决了地杂波干扰问题,使机载雷达发展进入了一个新阶段。因此,在机载雷达发展历程上,机载脉冲多普勒雷达的出现具有里程碑意义。

相控阵体制雷达,尤其是有源相控阵雷达,具有传统的机械扫描雷达无可比拟的优点与独到之处,其一问世就在地基雷达和舰载雷达中得到广泛应用。这种先进的雷达体制能否用在机载雷达中,是雷达设计者所追求的目标,但受器件水平和微电子技术的限制,机载有源相控阵雷达的研制经历了一个漫长的过程,直到 20 世纪 90 年代中期才研制成功,它代表了机载雷达的当代水平和发展方向,使机载雷达进入了一个新的发展阶段。

机载雷达从当初简单的测距机,发展到今天的功能完善、信号形式多样的各种雷达,正如本专著所论述的内容一样,从脉冲信号处理、脉冲压缩信号处理、机载动目标显示信号处理、脉冲多普勒信号处理、阵列雷达信号处理及合成孔径雷达信号处理等,描述了机载雷达由简单到复杂的过程。

论述雷达的著作并不少见,但专门讲述机载雷达的著作很少,本书的出版在一定程度上将起到弥补这方面缺憾的作用。

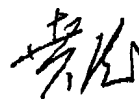
本书在内容结构上,突破了一般著作按雷达体制分章节的叙述方式,而是在详细阐述机载雷达各组成分机的工作原理、技术指标要求之后,在信号处理的章节中详尽阐释各种现代雷达体制的工作原理及实现方法。通篇看来,层次清晰,循序渐进,系统性明显,给人以耳目一新之感。

本书的主要作者都是长期在高校中从事教学与科研工作,具有较深厚的专业知识积

累和较高的学术水平,本书是他们长期孜孜不倦地做学问和在科研工作中不断探索的结晶。

本书作为机载雷达专著,内容丰富详实,是一本学术价值较高的著作,从材料组织到文字撰写上,都颇具匠心和学术功力,相信本书会对从事雷达,特别是机载雷达领域研究的专业人士、高校教师和学生了解专业进展、开阔研究视野有所裨益。

中国工程院院士



2011.12.26

前 言

机载雷达是人类在航空活动中视觉感官的延伸设备,是获取信息的传感器,它已经成为各种军用航空器必不可少的重要电子装备,其性能的优劣也成为航空器性能的重要标志。甚至在现代空战中,机载火控雷达的性能往往比飞机本身的飞行性能更能决定空战的胜负。

机载雷达自诞生以来,已有 70 多年的发展历史。由于雷达理论和技术的不断进步,以及电子技术的迅猛发展,使得当今机载雷达无论是性能还是相关技术都发生了巨大的进步。早期的机载雷达采用一般的脉冲体制,功能简单,仅能完成空对面和空对空的探测和测距。脉冲多普勒技术的出现,使机载雷达具备了优越的下视性能,开创了机载雷达的新时代,使机载火控雷达和预警雷达的性能有了质的提升。因此,脉冲多普勒雷达技术成为了最重要的机载雷达技术。当代最新的机载雷达采用有源相控阵体制,利用相控阵波束扫描灵活的优势,使机载雷达功能更加完善,对付多目标的能力更强,代表了机载雷达的新水平和发展方向。

本书以满足专业人员对航空雷达理论知识的需求为目标,以大系统的概念,按照构建现代体制机载脉冲雷达的基本要求来构架内容体系。不仅介绍雷达的基本原理和基础理论知识,而且将各种现代雷达技术及其在航空雷达中的应用也纳入到内容体系中,在注重基本理论的同时,充分关注了当前航空雷达技术的状态和发展趋势,突出了军事应用特色和航空特色。

本书共分七章。第一章航空雷达概论,介绍航空雷达的任务、组成、基本工作原理、生存环境及其应用与发展;第二章至第五章以组成航空雷达的主要分机为对象,分别讨论航空雷达发射机、接收机、天线与伺服系统,以及终端显示器的功能、组成、技术性能、工作原理及关键技术;第六章航空雷达信号处理,在介绍雷达信号处理基本理论的基础上,阐述脉冲压缩、脉冲多普勒处理、动目标检测、阵列信号处理、合成孔径雷达信号处理及雷达抗干扰信号处理等现代雷达技术和体制的原理、实现方法;第七章航空雷达数据处理,介绍雷达测距、测角、测速的原理和实现方法,以及单目标跟踪和边扫描边跟踪的原理与实现方法。

本书以航空雷达为研究对象,力求涵盖现代体制机载脉冲雷达系统的全方位信息,内容涉及较广,作为教材使用时,可根据需要选用不同章节的内容讲授。

本书由张欣编写第一章、第二章、第四章、第六章(部分)、第七章(部分),叶灵伟编写

第三章、第七章(部分),李淑华编写第五章,王勇编写第六章(部分),由张欣统编全稿。杨春英教授对全书进行了审阅,并提出了许多宝贵的意见和建议,夏乐毅、冯威、高伟亮绘制了部分插图,在此一并对他们表示诚挚的感谢。

由于编者水平所限,书中难免存在一些缺点和不足,殷切期望广大读者及时给与批评、指正。

编 者
2012 年 3 月

目 录

第一章 航空雷达概论	1
第一节 雷达的概念	1
一、雷达的基本原理	1
二、雷达回波中的信息	3
第二节 雷达的基本组成	6
一、发射机	6
二、天线	7
三、接收机	7
四、信号处理机	8
五、数据处理机	8
六、终端显示器	8
第三节 雷达的战术、技术参数	8
一、雷达的主要战术参数	9
二、雷达的主要技术参数	10
第四节 航空雷达的发展与应用	14
一、雷达的分类	14
二、机载雷达的发展	15
三、机载雷达的应用	17
第五节 航空雷达与电子战	18
一、电子战的基本概念	18
二、雷达电子战	20
三、航空雷达抗干扰技术	21
复习题与思考题	23
第二章 航空雷达发射机	24
第一节 雷达发射机概述	24
一、雷达发射机的任务和功能	24
二、雷达发射机的分类	24
三、雷达发射机的基本组成	25
四、现代雷达发射机的主要要求	26
五、雷达发射机的主要技术指标	28
六、机载雷达发射机	33
第二节 真空管航空雷达发射机	34

一、航空雷达发射机真空管的选择	34
二、常用的真空微波管	35
三、典型的真空管发射机	42
四、微波功率模块(MPM)及空间功率合成方法	44
第三节 固态雷达发射机	45
一、固态发射机的分类和特点	45
二、固态微波功率的产生	48
三、有源相控阵雷达全固态发射机	49
第四节 脉冲调制器	53
一、线型脉冲调制器	53
二、刚管脉冲调制器	54
三、浮动板调制器	55
复习题与思考题	59
第三章 航空雷达接收机	61
第一节 雷达接收机的基本原理	61
一、雷达接收机的作用	61
二、雷达接收机的基本工作原理	61
第二节 航空雷达接收机的组成	64
一、接收前端	64
二、中频接收机	69
三、频率源	70
第三节 接收机的主要技术参数	75
一、灵敏度和噪声系数	75
二、接收机的工作带宽和滤波特性	75
三、动态范围和增益	76
四、频率源的频率稳定性和频谱纯度	76
五、幅度和相位的稳定性	76
六、正交鉴相器的正交度	76
七、A/D 变换器的技术参数	77
八、抗干扰能力	77
九、频率源和发射激励性能	77
十、微电子化、模块化和系列化	78
第四节 接收机的噪声系数和灵敏度	78
一、接收机噪声	78
二、噪声系数	79
三、接收机的灵敏度	81
第五节 动态范围和增益控制	82

一、动态范围	82
二、接收机的增益控制	84
复习题与思考题	89
第四章 航空雷达天线与伺服系统	90
第一节 概述	90
一、雷达天线的作用	90
二、雷达天线的分类	91
三、雷达天线的基本参量	91
第二节 反射面天线	98
一、反射面天线的类型和特点	98
二、旋转抛物面天线	99
三、扇形波瓣	103
四、卡塞格伦天线	104
五、馈源	105
第三节 平板裂缝阵列天线	106
一、波导缝隙天线的激励与辐射	106
二、波导裂缝阵列天线	108
三、平板裂缝阵列天线	110
第四节 相控阵天线	112
一、相位扫描直线阵	113
二、相位扫描平面阵	119
三、辐射阵元	121
四、移相器	122
五、相控阵天线的馈电方式	125
六、有源相控阵天线	127
第五节 雷达的伺服系统	130
一、雷达伺服的元器件	130
二、直流电动机构成的天线伺服系统	131
三、液压马达构成的天线伺服系统	132
四、角位置传感器	133
第六节 雷达罩	135
一、机载雷达罩的功能	135
二、机载雷达罩的结构	135
三、机载雷达罩的工作性能	136
复习题与思考题	138
第五章 航空雷达终端显示器	139
第一节 概述	139

一、雷达显示器的功能	139
二、雷达显示器的分类	139
三、机载雷达显示器的类型	140
四、雷达显示器的质量指标	141
第二节 显示器件	141
一、阴极射线管	142
二、液晶显示器	154
三、等离子体显示器	159
第三节 光栅扫描显示器	159
一、光栅扫描显示器的组成与工作原理	160
二、雷达接口信息处理工作原理	164
三、雷达光栅扫描显示的若干问题	165
四、基于通用计算机和显示卡的光栅扫描显示器	167
复习题与思考题	168
第六章 航空雷达信号处理	169
第一节 雷达信号处理基本理论	170
一、雷达信号形式与频谱	170
二、相参信号处理原理	176
三、雷达信号的数字化	181
四、匹配滤波器	185
五、雷达信号的模糊函数	188
六、雷达信号的最佳检测理论	199
第二节 脉冲压缩处理	207
一、线性调频信号的脉冲压缩处理	209
二、相位编码信号的脉冲压缩处理	214
第三节 机载动目标显示	221
一、脉冲雷达的多普勒效应	222
二、雷达的杂波	225
三、动目标显示处理的基本原理	227
四、机载动目标显示 (AMTI)	232
第四节 脉冲多普勒信号处理	235
一、机载脉冲多普勒雷达基本概念	236
二、PD 雷达的地杂波频谱	236
三、PD 雷达的组成与工作原理	241
四、PD 雷达信号处理	245
五、PD 雷达低重频方式信号处理	249
六、PD 雷达中重频方式信号处理	252

七、PD 雷达高重频方式信号处理	255
八、PD 雷达不同重频方式的比较	258
第五节 雷达目标自动检测	259
一、雷达方程	259
二、雷达目标特性	263
三、最小可检测信噪比	268
四、脉冲积累	270
五、雷达杂波模型	272
六、噪声中的目标检测	274
七、恒虚警处理	276
第六节 雷达阵列信号处理	286
一、数字阵列雷达基本概念	286
二、数字波束形成原理	289
三、接收数字波束形成	292
四、发射数字波束形成	295
五、基本数字阵列雷达	297
第七节 合成孔径雷达信号处理	298
一、合成孔径雷达原理	299
二、合成孔径雷达信号处理	305
三、多普勒波束锐化	308
四、合成孔径、多普勒波束锐化和聚束式地图测绘之间的区别	313
第八节 雷达抗干扰信号处理	314
一、雷达干扰	315
二、雷达抗干扰基本思想	318
三、雷达抗干扰性能的度量	320
四、空域对抗	321
五、极化对抗	326
六、频域对抗	329
七、常用抗干扰电路	334
复习题与思考题	338
第七章 航空雷达数据处理	341
第一节 雷达目标参数测量与录取	342
一、目标距离的测量	342
二、目标速度的测量	351
三、目标角度的测量	354
四、目标数据的录取	360
第二节 单目标跟踪	363

一、距离跟踪	364
二、角度跟踪	369
三、速度(多普勒频移)跟踪	379
四、单目标四维跟踪	382
第三节 多目标跟踪	385
一、边扫描边跟踪(TWS)数据处理	385
二、目标状态滤波技术	393
三、数据关联技术	402
四、航迹质量管理技术	410
五、相控阵雷达有源跟踪技术	412
六、信息融合技术	416
复习题与思考题	418
参考文献	419

第一章 航空雷达概论

本章主要从雷达的基本原理、基本组成、性能要求、分类、发展与应用等方面,介绍航空雷达的基本概念,并讨论了现代电子战中航空雷达的生存与对抗。

雷达最早出现于 20 世纪 30 年代后期,“雷达”这个名称最早来源于第二次世界大战中美国海军使用的一个保密代号,是英文 Radar 的音译,源于 Radio Detection and Ranging 的缩写,原意是“无线电探测和测距”,即用无线电方法发现目标并测定它们在空间的位置,因此,雷达也称为“无线电定位”。通常,雷达的基本任务有两个:一是发现目标的存在;另一个是测量目标的参数。前者称为雷达目标检测,后者称为雷达目标参数测量或雷达目标参数估值,上述两项任务可以概括为实现目标的尺度测量(Metric Measurement)。

著名雷达专家 Merrill I. Skolnik 博士在其主编的《雷达手册》中第一句话就指出,“雷达的基本概念相对简单,但在许多应用场合它的实现并不容易”(英文原文为:The basic concept of radar is relative simple even though in many instances its practical implementation is not.)。这句话相当深刻。事实上,雷达是一种集中了现代电子科学技术各种成就的相当复杂的高科技系统。近年来,雷达采用了大量的新理论、新技术、新器件,雷达技术进入了一个新的发展阶段,计算机技术的应用也给现代雷达带来了根本性的变革。因此,现代雷达不仅能够实现基本的尺度测量,而且还可能具备特征测量(Signature Measurement)能力。

第一节 雷达的概念

按照 IEEE 的标准定义,雷达是通过发射电磁波信号,接收来自其威力范围内目标的回波,并从回波信号中提取位置和其他信息,以用于探测、定位,以及有时进行目标识别的电磁系统。该定义是原术语“无线电探测和测距”的扩展,进一步将雷达功能具体化。

一、雷达的基本原理

雷达是用于检测和定位反射物体,如飞机、舰船、航天飞机、车辆、行人和自然环境的一种有源电磁系统。它通过将能量辐射到空间并且探测由物体或目标反射的回波信号来工作。返回到雷达的反射能量不仅表明目标的存在,而且,通过比较接收到的回波信号与发射信号,就可确定其位置和获得其他与目标有关的信息。雷达可以在远距离或近距离,以及在光学和红外传感器不能穿透的条件下完成任务。它可以在黑暗、薄雾、浓雾及雨、雪天气下工作,其高精度测距和全天候工作能力是其最重要的属性之一。

以典型的单基地脉冲雷达为例来说明雷达的基本原理,如图 1-1-1 所示。发射机产生电磁信号,由天线定向辐射到空中。电磁能在大气中以光速(约 $3 \times 10^8 \text{ m/s}$)传播,

发射信号一部分被目标拦截并向许多方向再辐射。其中,向后散射回到雷达的信号被雷达天线采集,经传输线和收发开关馈送到接收机。在接收机中,该信号被处理以检测目标的存在并获取所需的信息,并将结果送至终端显示。当雷达波形为脉冲序列时,通常采用一部天线以时间分割的方式进行发射和接收。

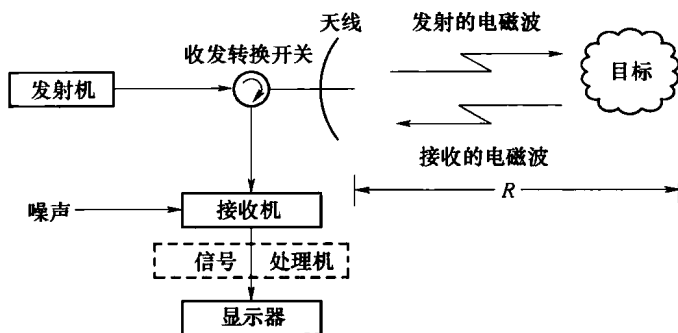


图 1-1-1 雷达的基本原理

可见,雷达利用电磁波工作获得了一些基本的工作条件:

- (1) 确知电磁波的传播速度约等于光速。
- (2) 电磁波的直线传播特性。
- (3) 目标对电磁波的二次散射特性。
- (4) 电磁波的定向传播特性。
- (5) 运动目标对电磁波会产生多普勒频移。

利用这些条件,通过测量雷达信号到目标并从目标返回雷达的时间,得到目标的距离。目标的角位置可以根据收到的回波信号幅度为最大值时,雷达方向性天线(窄波束)所指的方向来确定。如果目标是运动的,由于多普勒效应使回波信号的频率漂移,回波的频率漂移与目标相对于雷达的速度成正比。多普勒频移被广泛用于雷达中,作为将运动目标从背景环境中分离出来的基础。雷达也可提供被观察目标的特征信息。

雷达通过观测物体对电磁波信号的反射回波来发现目标。目标对雷达信号的反射强弱程度可以用目标的雷达截面积(Radar Cross Section, RCS)来描述,通常,目标的雷达截面积越大则反射的雷达信号功率越强。雷达截面积与目标自身的材料、形状、大小等因素有关,也与照射它的电磁波的特性有关。目标的雷达截面积的大小影响着雷达对目标的发现能力,通常,雷达截面积越大的目标可能在越远的距离被雷达发现。

除了目标的回波外,雷达接收机中总是存在着一些杂乱无章的信号,称其为噪声(Noise),它是由外部噪声源经天线进入接收机,以及接收机本身的内部电路共同产生的。采用先进的电子元器件和精心的电路设计可以减少这些噪声,但不可能完全消除它们。由于噪声时时刻刻伴随目标回波存在,所以,当目标距离很远、目标回波很弱的时候,回波就难以从噪声中被区分出来。只有当目标与雷达的距离近到目标回波比噪声足够强的时候,雷达才能从接收机的噪声背景中发现目标。雷达从噪声中发现回波信号的过程称为雷达目标检测或目标的发现。

雷达发射的电磁波信号照射目标的同时,也会照射到目标所在的背景物体上,这些背景物体的反射回波进入雷达接收机,称为无用回波或雷达杂波(Clutter)。例如,雨雪等自

然现象形成的反射回波称为气象杂波；向地面、海面观测目标时地物和海面反射形成的杂波分别称为地杂波和海杂波。此外，在实际战场环境中还存在大量的有意针对雷达发射的人为的电磁信号，这些信号进入雷达接收机后，可能起到阻止、破坏雷达对目标发现能力的作用，称它们为干扰(Jamming)。噪声、杂波、干扰都会在雷达显示器上出现，严重影响雷达对目标的观察。因此，现代雷达根据杂波、干扰与目标的不同特征，利用各种信号处理技术，消除杂波、干扰的影响，才能使雷达的应用扩展到复杂的战场环境下，保证雷达正常发现目标和测量目标参数。

二、雷达回波中的信息

当雷达探测到目标后，提取目标的有用信息是雷达工作的重要组成部分。探测与信息提取相互独立，但并不意味着二者之间没有联系。为实现最佳处理，信息的提取通常要求采用匹配滤波或其等效措施。目标信息事先了解越多，则检测效率就越高。例如，如果目标的位置已知，则天线可先指向合适的方向，而不必在空间搜索中浪费能量和时间；如果目标的相对速度已知，则接收机可先调谐到正确的接收频率，而不必在多普勒频移可能出现的整个频率范围内搜索。

当目标尺寸小于雷达分辨单元时，则可将目标视为“点”目标，这时可对目标的距离和空间角度定位，目标位置的变化率可由其距离和角度随时间变化的规律中得到，并由此建立对目标的跟踪；雷达的测量如果能在二维或多维上有足够的分辨力，这时的目标不是一个“点”，而可视为由多个散射点组成的复杂目标，从而可得到目标尺寸和形状的信息；采用不同的极化，可测量目标形状的对称性。从原理上讲，雷达还可测定目标的表面粗糙度及介电特性等。归纳起来，雷达发现目标之后，其基本测量功能可以分为尺度测量和特征测量两类。尺度测量包括对目标三维坐标(距离、角度)的测量，还包括速度或加速度的测量；特征测量包括对目标雷达截面积、散射矩阵、散射中心分布(一维像)等的测量。

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，即空间任一点目标 P 的位置可用 x, y, z 三个坐标值来决定。在雷达应用中，测定目标坐标常采用极(球)坐标系，如图 1-1-2 所示。图中，空间任一点目标 P 所在位置可用下列三个坐标值确定：

(1) 目标斜距 R 。雷达到目标的直线距离 OP 。

(2) 方位角 α 。目标斜距 R 在水平面上的投影 OB 与某一起始方向(正北、正南或其他参考方向)在水平面上的夹角。

(3) 俯仰角 β 。目标斜距 R 与它在水平面上的投影 OB 在铅垂面上的夹角，有时也称为倾角或高低角。

如果需要知道目标的高度和水平距离，那么利用圆柱坐标系比较方便。在这种系统中，目标的位置由以下三个坐标值来确定：水平距离 D ，方位角 α ，高度 H 。

这两种坐标系之间的关系如下：

$$D = R \cos \beta, H = R \sin \beta, \alpha = \alpha$$

上述这些关系仅在目标的距离不太远时是正确的。当距离较远时，由于地面的弯曲，

必须进行适当的修改。

(一) 目标斜距的测量

雷达通常是以脉冲方式工作的,以一定的重复周期发射高频脉冲。在天线扫描的过程中,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回波。由于回波信号往返于雷达与目标之间,它将滞后于发射脉冲一个时间 t_r ,如图 1-1-3 所示。我们知道电磁波的能量是以光速传播的,设目标的斜距离为 R ,那么在时间 t_r 内电磁波的传播距离为 $2R$,则它等于光速乘以时间间隔,即

$$2R = ct_r, \text{ 或 } R = \frac{ct_r}{2}$$

式中: R 为目标到雷达站的单程距离,单位为 m ; t_r 为电磁波往返于目标与雷达之间的时间间隔,单位为 s ; c 为光速, $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

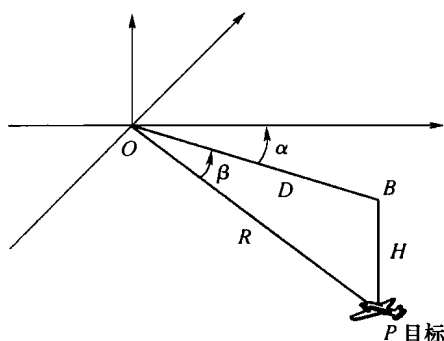


图 1-1-2 目标的位置坐标

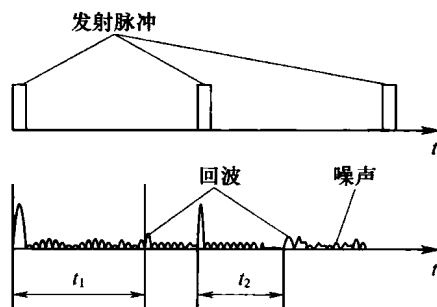


图 1-1-3 雷达测距

可见,测量雷达信号往返于目标的时间,就可以测出雷达距目标的斜距离。由于电磁波传播的速度很快,雷达技术常用的时间单位为微秒(μs), $1\mu s = 10^{-6} s$,对应的距离为 $150m$ 。

能在远距和近距离测量目标距离是雷达的一个突出优点,而且受气候条件的影响较小,这是优于其他传感器的。窄脉冲是测距的常用雷达波形。测距的精度和分辨力与发射信号带宽(或处理后的脉冲宽度)有关,脉冲越窄,性能越好。目前,远程空中监视雷达距离测量精度可达几十米量级,而精密系统的测距精度则可达亚米级。

窄脉冲具有宽的频谱,而宽脉冲也能达到窄脉冲的效果,只是需要用相位调制和频率调制使宽脉冲的频谱扩展。已调制宽脉冲通过匹配滤波器后,输出压缩后的脉冲,压缩脉冲的宽度等于已调宽脉冲频谱宽度的倒数。这就是脉冲压缩,它具有窄脉冲的分辨力和宽脉冲的能量。相位调制或频率调制的连续波也能进行目标距离的精确测量,通过比较两个或多个连续波频率的相位,可以测量单个目标的距离。连续波测距已广泛用于机载高度表和勘测仪器。

(二) 目标角位置的测量

目标角位置指方位角和俯仰角,在雷达技术中,测量这两个角位置基本上都是利用天线的方向性来实现的。雷达天线将电磁能量汇集在窄波束内,当天线波束在方位角或俯仰角平面扫描时,波束扫过目标所得到的雷达回波,在时间顺序上从无到有,由小变大,再