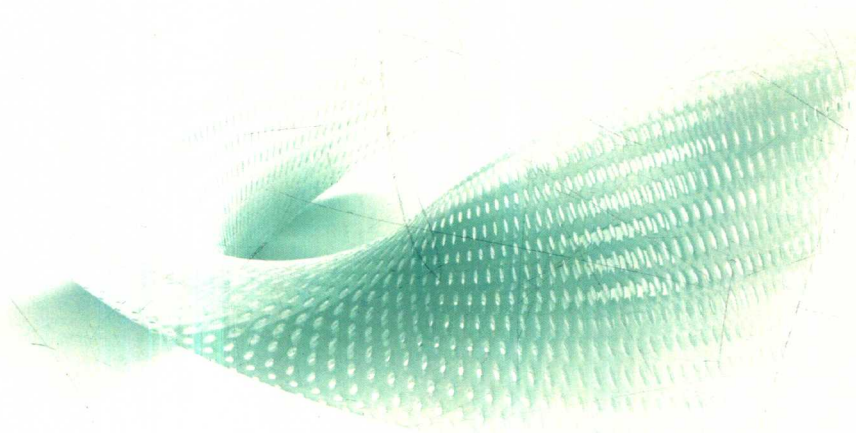




普通高等教育创新型人才培养规划教材



无线电近程探测原理 与系统设计

WUXIANDIAN JINCHENG TANCE
YUANLI YU XITONG SHEJI

肖泽龙 许建中 吴 礼 编著



北京航空航天大学出版社
BEIHANG UNIVERSITY PRESS



普通高等教育创新型人才培养规划教材

无线电近程探测原理与系统设计

肖泽龙 许建中 吴 礼 编著



北京航空航天大学出版社

内 容 简 介

无线电近程探测技术是利用目标的散射或辐射特性在近距离(几米到几千米)实现目标的有无以及距离、速度、方位等目标参数获取的探测技术。本书在十几年课程教学讲义基础上结合二十余年的科研积累,在讲述无线电探测基本原理的基础上,对无线电近程探测常用的连续波多普勒体制、线性调频体制、脉冲体制以及被动探测体制四种典型探测体制进行深入详尽的讨论,突出系统参数设计和关键技术的工程实现。

本书为“探测制导与控制技术”专业课程教材,适用于信息对抗技术、电子信息工程技术等无线电类相关专业,同时可作为从事探测制导、无线电引信以及无线电近距离探测工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无线电近程探测原理与系统设计 / 肖泽龙, 许建中,
吴礼编著. -- 北京: 北京航空航天大学出版社, 2018.4

ISBN 978-7-5124-2690-0

I. ①无… II. ①肖… ②许… ③吴… III. ①无线电
探测 IV. ①TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 053719 号

版权所有,侵权必究。

无线电近程探测原理与系统设计

肖泽龙 许建中 吴 礼 编著

责任编辑 刘晓明

*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路 37 号(邮编 100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: goodtextbook@126.com 邮购电话:(010)82316936

北京建宏印刷有限公司印装 各地书店经销

*

开本:710×1 000 1/16 印张:14.5 字数:309 千字

2018 年 5 月第 1 版 2018 年 5 月第 1 次印刷 印数:1000 册

ISBN 978-7-5124-2690-0 定价:39.00 元

前 言

自 20 世纪第二次世界大战期间发明雷达和无线电引信以来,无线电探测技术得到了长足发展,成为一门成熟而富有活力的工程技术,并渗透到多个学科领域,广泛应用于导弹制导、无线电引信、交通监测、自动防撞、工业控制、要地警戒、电控模型、大楼安保等领域。

无线电近程探测技术是利用目标的散射或辐射特性,在近距离(几厘米到几千米)实现目标检测以及距离、速度、方位等目标参数获取的探测技术。相对于常规雷达探测,无线电近程探测多用于近距离探测的无线电引信、汽车防撞、交通检测、要地警戒等应用领域中。在这些应用中因体积、成本受限等特殊要求,特别在无线电引信等军事应用中,对信号处理时间、系统可靠性和抗过载等要求非常高,对供电要求异常苛刻,因此要求无线电近程探测系统设计在满足探测指标要求的前提下尽可能简单可靠。这些因素使得常规雷达应用的一些系统设计思路和复杂信号处理方法很难在无线电近程探测系统设计中完全采用。

本书是为原“引信技术”(在教育部统一专业设置后为“探测制导与控制技术”)专业学生编写的专业课程教材,在十几年课程教学讲义基础上结合科研项目研究成果,不断修订完善。同时,本书在原教学讲义内容的基础上,根据技术的发展和课程教学需求适当增加了部分内容,但绝大部分内容还是针对本科生学习基础所设置的,一些复杂探测体制系统设计和相应的信号处理方法等内容会在后续研究生教学中涉及,并未在本书中体现。本书在讲述无线电探测基本原理的基础上,对无线电近程探测常用的连续波多普勒体制、线性调频体制、脉冲体制以及被动探测体制四种典型探测体制展开深入详尽的讨论,突出系统参数设计和关键技术的工程实现,旨在让读者掌握典型无线电近程探测系统的设计思路和方法。

全书按照典型探测体制的探测原理、系统组成及工作原理、系统关键参数设计以及测距、测速、测角原理和系统实现等思路展开论述;为了便于对系统的理解,对系统各模块输入/输出的信号进行了仿真。

本书可作为大专院校“探测制导与控制技术”等相关专业的专业课程教材,亦可作为从事雷达导引头、无线电引信、汽车防撞雷达等近程探测

研究的科技人员的参考书。

本书在编写过程中,博士研究生胡泰洋、逯暄、陈曦、王元恺,硕士研究生张恒、许剑南、周鹏、董浩、高雯、肖若灵、张明、滑亚腾、张岩、韩露霞等对部分内容的仿真、图表等做了大量细致的工作,在此对他们的辛勤劳动和付出表示诚挚的谢意!

南京理工大学的彭树生教授、赵惠昌教授、李跃华教授、庄志洪教授等根据多年的课程教学对本书提出了许多宝贵意见,赵惠昌教授对全书进行了认真仔细的审阅并提出了修改意见,王静工程师根据本课程教学内容设计了相关的专业实验课程,在此对他们的帮助深表敬意并致以诚挚的谢意!

由于作者理论和技术水平有限,加上无线电探测技术和信号处理技术发展迅速,书中难免有不妥和错误之处,恳请各位专家、同行和广大读者批评指正。

肖泽龙 许建中 吴 礼

2017年12月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 无线电近程探测系统的概念、特点及分类	1
1.1.1 无线电近程探测系统的特点	1
1.1.2 无线电近程探测系统的分类	3
1.2 无线电近程探测系统的基本组成及信号特点	4
1.2.1 无线电近程探测的基本原理及系统的基本组成	4
1.2.2 电磁频谱	5
1.2.3 无线电近程探测信号的特点	8
1.2.4 无线电近程探测的几种主要体制	9
1.3 无线电探测发展简史	10
习题 1	13
第 2 章 无线电近程探测基础	15
2.1 目标雷达截面积	15
2.2 作用距离估算(雷达方程)	27
2.3 最小可检测信号	31
习题 2	41
第 3 章 连续波多普勒无线电近程探测系统	44
3.1 多普勒效应与多普勒频率	44
3.1.1 多普勒效应	44
3.1.2 多普勒频率	45
3.1.3 多普勒信号的频率特性	46
3.2 连续波多普勒无线电近程探测系统的组成及参数分析	54
3.2.1 多普勒信号的提取方法	54
3.2.2 收发装置及组成	55
3.2.3 自差式近程探测系统的作用距离及灵敏度	57
3.2.4 灵敏度测试及系统标定	62
3.3 连续波多普勒无线电近程探测系统的测量原理及组成	64
3.3.1 测速原理及系统组成	64
3.3.2 定距原理及方法	72
3.3.3 测角原理及方法	75

3.4 连续波多普勒探测系统应用举例	79
3.4.1 单通道接收机原理	80
3.4.2 I/Q通道接收机原理	81
3.4.3 生命信号建模仿真	82
3.5 基于连续波多普勒雷达的微多普勒特征分析	84
3.5.1 微多普勒的概念	84
3.5.2 旋转叶片模型的建立	85
3.5.3 微多普勒信号仿真	88
习题3	89
第4章 调频无线电近程探测系统	93
4.1 调频测距近程探测系统的基本原理	93
4.1.1 引言	93
4.1.2 基本原理框图	93
4.2 差频信号的特征	94
4.2.1 调频信号的时域分析	94
4.2.2 调频信号的频域分析	98
4.2.3 调频信号的数字仿真	110
4.3 调频测距近程探测系统的参数选择	114
4.3.1 发射频率的选择	114
4.3.2 频偏的选择	114
4.3.3 调制频率的选择	116
4.3.4 测距误差估算	117
4.4 调频近程探测系统的设计与测量原理	118
4.4.1 调频发射机	118
4.4.2 调频接收机	124
4.4.3 调频测距信号处理电路的基本方法	124
4.4.4 测速原理——调频多普勒体制	127
4.4.5 测角原理	129
4.4.6 恒定差频测距近程探测系统	132
4.4.7 随机周期线性调频近程探测系统	134
4.4.8 超外差式接收机的调频连续波近程探测系统	135
4.5 调频连续波雷达多目标信号处理方法	136
4.5.1 传统三角波调频周期的距离速度提取方法	136
4.5.2 变斜率三角波调频周期的距离速度提取方法	143
4.5.3 动目标检测(MTD)距离速度提取方法	147
习题4	152

第 5 章 脉冲无线电近程探测系统	155
5.1 脉冲测距的基本原理	155
5.2 脉冲信号的特征	157
5.3 脉冲测距探测系统的参数选择	158
5.3.1 发射脉冲宽度	158
5.3.2 发射脉冲重复频率	159
5.3.3 发射频率与发射功率	160
5.3.4 测距误差	160
5.4 脉冲探测系统的设计与测量原理	163
5.4.1 脉冲发射机	163
5.4.2 脉冲接收机	166
5.4.3 脉冲测距信号处理电路的基本方法	175
5.4.4 脉冲多普勒探测系统	186
习题 5	193
第 6 章 被动式无线电探测系统	195
6.1 物体的辐射特性及辐射模型	195
6.1.1 黑体辐射	195
6.1.2 辐射温度	196
6.1.3 辐射模型	196
6.1.4 利用辐射特性识别目标	197
6.2 被动式探测原理——辐射计	199
6.2.1 天线温度	199
6.2.2 辐射计的原理与分类	202
6.2.3 辐射计的距离方程	212
6.3 辐射计的设计与测量	213
6.3.1 辐射计的体制选择	213
6.3.2 主要部件设计	214
6.3.3 主要指标测定	218
习题 6	219
参考文献	222

第1章 绪论

1.1 无线电近程探测系统的概念、特点及分类

随着信息技术的迅猛发展,借助各类传感器在多种距离下实现对周围环境以及特定目标的探测(判断有无、识别目标并能根据探测识别结果对自身实现相应控制等)的需求越来越迫切并逐渐成为现实。

近程探测技术是指利用被测目标的某种物理场特性(如散射特性、辐射特性、分布特性等),在近距离(相对于远程探测,一般指几厘米到几十米范围内)对被测目标实现探测、识别以及完成自身相应控制等功能的技术。

近程探测系统是指实现近程探测技术的设备或装置。

无线电近程探测系统是指工作在无线电频率下实现对被测物探测和识别的设备或装置。

近程探测技术越来越多地深入到各个领域,同时它采用了多学科领域的新技术,它是建立在微波技术、雷达技术、红外技术、光学技术、传感器技术、计算机技术、电子学技术等技术学科理论基础上的—门综合性、应用型的科学技术。

近程探测技术主要用于对目标进行检测(判断有无、测距、测速、定位、识别以及根据探测信息实现对自身状态或参数进行控制等功能),该技术在军民等领域应用广泛,如各类引信、地雷探测、飞机盲降、船舶靠岸、汽车防碰撞、安防探测、非接触安检、自动门等均采用近程探测技术。随着集成电路、传感器以及计算机等技术的发展,近程探测技术正在朝着模块化、集成化、智能化、小型化方向发展。

1.1.1 无线电近程探测系统的特点

近程探测系统是相对于遥感系统而言的。遥感系统作用距离远,如远程雷达、射电望远镜、卫星遥感载荷等探测距离在几百千米到上千千米甚至更远,因此遥感设备大功率(如远程雷达等)和超高灵敏度(如射电望远镜等)是遥感系统在设计时需要根据探测目的进行精心设计的。近程探测系统的作用距离相对较近,探测目标相对复杂,环境杂波相对影响较大,加上近程探测系统应用需求一般要求体积小、成本低,使得在设计近程探测系统时需要根据实际应用需求进行设计。近程探测系统的主要特点如下:

1. 被测目标特性复杂

近程探测系统的作用距离一般为几厘米至几百米,这同遥感系统的作用距离相比可差几个数量级。由于近程探测系统的作用距离近,特别当作用距离与目标尺寸相比拟时,一般目标不能作为点目标来处理,而应按体目标进行分析。

例如采用微波探测,在近距离应把目标作为体目标,需要用球面波理论来研究,而目标的近区反射特性是极为复杂的。目标的散射特性通常是指目标对投射在其上的电磁波的二次反射特性,常用目标雷达截面积来表示。一般情况下,目标雷达截面积是在作用距离满足远场条件且入射波可看作平面波的条件下得到的。而近程探测系统在很多应用场合由于作用距离近,入射波不能再看作平面波,不能把被测目标看作点目标,而应视目标为无数具有随机特性的点散射器的集合,即具有体目标效应。因此这时必须考虑球面波的影响,此时雷达截面积一般是距离的函数。

当采用目标的分布场(如磁场或静电场)时,在极近距离时,其目标的分布特性也是很复杂的。

2. 体积小、重量轻、功耗低、成本低

近程探测系统的许多应用场合,如汽车或飞行器上的测距、测速、防碰撞系统,炮弹、导弹上的引信系统等,都要求探测装置体积小、重量轻、功耗低、成本低。实际设计过程中,往往一个性能良好的探测系统,由于不能满足应用场合对其在以上几个方面的要求而不能进入实际应用。因此,近程探测系统设计过程中不仅要考虑性价比,而且还要充分考虑性能体积比、性能重量比、性能功耗比等。

3. 工作环境差

近程探测系统应在不同地区、不同地形、不同季节、不同气候、不同使用环境中均能正常工作,例如,在高温条件下测量炼钢炉中的炉料高度,在低温条件下测量冰山的移动速度,高速碰撞中能实时探测并控制汽车防碰撞安全气囊正常打开等。在军事领域的应用中,环境更加恶劣,如近炸引信装在弹丸上,在发射过程中,要经受上万 g 的高过载的冲击和每分钟几万转的离心冲击;此外,在勤务处理过程中,还要经受一系列的振动、摆动、跌落及碰撞等冲击。

恶劣的环境将容易使探测系统中的元器件受损或引起各种干扰噪声,因此在设计的过程中必须充分考虑实际应用中的工作环境,并采用相应的技术手段保证探测系统的正常工作。

4. 接收机灵敏度低

由于受到体积、重量和成本等因素的制约,近程探测系统(尤其是无线电探测系统)的发射功率比一般雷达小得多,并且难以施展有效的措施来提高其性能,受电路规模的限制难以采取更复杂、更先进的信号处理方法,因此其接收机的灵敏度一般比较低。但是,由于作用距离近,相对而言近程探测系统接收到的回波信号较大,在一定程度上弥补了接收机灵敏度低的不足。

5. 信号处理时间短

大多数近程探测系统与目标的相互作用时间很短,如弹载引信系统在探测运动目标时,弹目交会时间通常在几毫秒。对于此类高速交会的应用场合,要求近程探测系统能迅速地探测到目标并同时做出相应的识别和控制,这对信号处理的实时性提出了非常高的要求。

1.1.2 无线电近程探测系统的分类

近程探测系统有多种分类方法,如可按作用方式、作用原理、应用场合、工作体制、用途等来分类,这里只介绍几种最常用的分类方法。

1. 按物理场来源分类

按近程探测系统赖以传递目标信息而工作的物理场来源可分为:主动式近程探测系统、被动式近程探测系统、半主动式近程探测系统和主被动复合近程探测系统。

(1) 主动式近程探测系统

由近程探测系统本身发射物理场信号,通过目标的反射,利用目标的反射特性来获取目标信息。无线电探测系统发射电磁波,目标进入其辐射场时,近程探测系统就可以接收到反射回来的电磁波,从而获得目标的存在与否或其他参数信息。

(2) 被动式近程探测系统

近程探测系统本身不发射物理场信号,而是由近程探测系统接收目标本身的辐射信号,利用目标产生的固有物理场获取目标信息。大多数目标都具有某种物理场,如车辆发动机可产生红外辐射场、磁场和声波等;在微波、毫米波或红外等波段,不同的物质具有不同的辐射系数,因此具有不同的辐射温度特性,可利用不同的目标辐射特性获取目标信息。对于能发射电磁波的目标,也可采用被动体制进行探测。被动式近程探测系统,由于只接收,不发射,因而功耗低,且隐蔽性好。如将其用在防盗报警中,窃贼会因不知此处有无报警器而不知所措。

(3) 半主动式近程探测系统

采用其他物理场发射装置对目标进行照射,通过目标的反射,由近程探测系统接收来自目标的反射信号,利用目标的反射特性来获取目标信息。这种模式的工作体制,其工作的物理场不是由近程探测系统产生的,也不是由目标产生的,而是由另外的装置产生的。如铜斑蛇导弹就是典型的例子。

(4) 主被动复合近程探测系统

该系统同时利用目标的辐射特性和反射特性来获取目标信息,具有丰富的目标信息和较强的抗干扰能力。为了进一步精确探测和识别目标以及抗干扰,可采用主被动复合的近程探测体制。

2. 按物理场性质分类

按近程探测系统赖以传递目标信息而工作的物理场的性质可分为:无线电近程探测系统、非无线电近程探测系统和复合体制近程探测系统。

无线电近程探测系统是利用无线电波来获取目标信息的,其工作原理与雷达的工作原理相同,是近程探测系统中应用最广泛的一种。按照其工作波段,该系统可分为短波式、米波式、分米波式、厘米波式、毫米波式等;按照其作用原理,该系统可分为各种体制,如连续波多普勒体制、调频连续波体制、脉冲体制、脉冲多普勒体制、噪声调制体制、编码体制等。

非无线电近程探测系统是利用红外、激光、声、磁、电容、电感、压力、静电和辐射等来获取信息的。复合体制近程探测系统则包括无线电体制和非无线电体制之间的复合、多种无线电体制之间的复合、非无线电体制之间的复合等。

本书着重讨论无线电近程探测系统,重点介绍基本概念、基本原理以及设计方法。

1.2 无线电近程探测系统的基本组成及信号特点

1.2.1 无线电近程探测的基本原理及系统的基本组成

无线电探测系统通过发射电磁波能量照射到目标,获取目标反射回来的回波信息或者直接接收目标反射其他能量或自身辐射出来的能量,经信号处理后实现对目标的探测、定位以及获取其他信息并实现相应的控制功能(如显示、给出识别信号等)。

近程探测系统通常由敏感装置、信号处理器、控制或显示装置以及电源等部分组成,如图 1.1 所示。



图 1.1 近程探测系统的基本组成原理框图

敏感装置指装有敏感元器件的装置,用来获取目标信息或预定信号(预定信号:如延时、指令、程序等),并转换为便于后续传递的信号形式。对于主动式无线电探测系统,主要是产生、发射和接收无线电电磁波,并将其转化为电信号。不同的物理场、不同的工作原理、不同的工作体制,可组成不同的近程探测系统的敏感装置。对于被动式接收系统,敏感装置只有接收功能。

信号处理器用来对微弱信号进行检测,提取有用信号,它对敏感装置输出的信号(一般为电信号)进行加工(如放大、滤波、平滑、解调、检波、快速傅里叶变换(FFT))

等),并实现抗干扰等功能,以适当的信号形式作为控制与显示装置的输入信号。

控制与显示装置对经信号处理器处理后的信号进行功率放大或变换成便于存储、显示的形式,并根据近程探测系统的要求和用途等,完成其特定的动作或实现其特定功能,以及显示、指示功能。

电源是近程探测系统正常工作所必需的能源装置,有时电源中还带有滤波电路和定时接电或断电电路。在民用场合中,电源一般可用交流市电或蓄电池;在军用场合的引信中,常使用一次性电源,如化学电源中的液体贮液式电池和热电池等,它们平时不工作,只有在某种环境力(如弹丸发射时的后坐力)的作用下才能工作;另外,还有涡轮发电机电源,它利用弹丸飞行时产生的气流驱动涡轮发电机的叶片旋转发电。

无线电近程探测系统是近程探测系统中的一类,它是利用无线电波来获取目标信息的。其工作原理与雷达的工作原理基本相同,是近程探测系统中应用最广泛的一种。

无线电探测系统中的敏感装置就是无线电收发装置。因此,无线电探测系统由无线电收发装置、信号处理器、控制或显示装置及电源等部分组成。

无线电收发装置通常亦称为高频组件(含天馈系统),它主要产生高频振荡无线电波(信号)、发射和接收无线电波,其具体电路的组成随无线电探测系统的工作原理和体制的不同而不同。在主动体制中,无线电收发装置包括发射系统和接收系统;在被动体制或半主动体制中,无线电收发装置只接收电磁波,此时近程探测系统实际上就是一个接收系统。

无线电收发装置所产生的信号可以是调制波,也可以是非调制波。其调制方式可以为调频、调幅或调相等。调制信号可以是确定性信号,如正弦信号、锯齿波信号或具有一定重复频率的脉冲信号;也可以是随机信号或伪随机信号,如噪声和 m 序列编码信号等。

1.2.2 电磁频谱

在探测过程中,目标信息的传递和获取必须通过一定的载体,这种载体可以是声、光、电、磁或其他介质。根据麦克斯韦电磁理论,光也是一种电磁波,把按照电磁波频率(波长)排列起来形成的谱系称为电磁频谱。图 1.2 为电磁波频率、频段、波段以及波长的对应关系图。

图 1.2 把声波、超声波、无线电波、红外线、可见光、紫外线等常用探测波段与频率和波长的对应关系很清晰地呈现出来。从雷达的定义可知,雷达是一种无线电探测和定位的装置,其工作原理与无线电探测系统的工作原理是一致的,因此在本书讨论的问题多数和雷达相关。在雷达技术领域,常用 L、S、C、X、Ku、Ka、W 等字母来称呼一些常用频段,这是在第二次世界大战期间一些国家为了保密而采用的命名方法。最早的雷达工作频率使用的是米波,这一波段被称为 P 波段(P 为 Previous 的首字

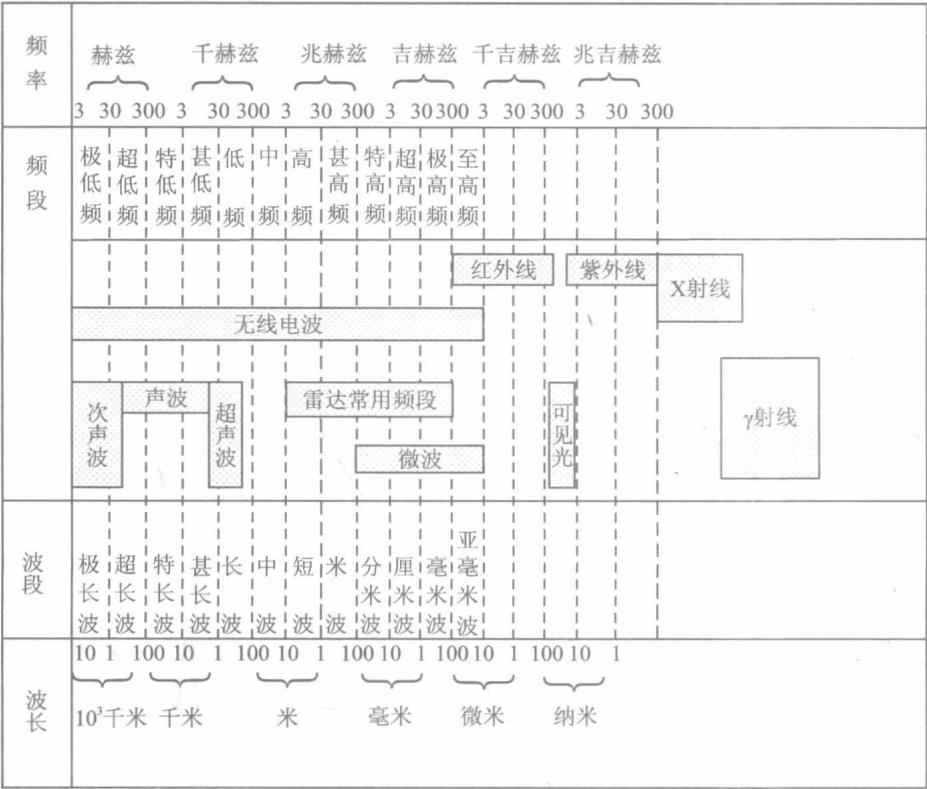


图 1.2 电磁频谱图

母，即英语“以往”的字头)。最早的搜索雷达工作波长为 23 cm，被定义为 L 波段(L 为 Long 的首字母)，后来发展为以 22 cm 为中心的 20~25 cm 波长均称为 L 波段。当波长为 10 cm 的电磁波被使用后，其波段被定义为 S 波段(S 为 Short 的首字母，意为比原有波长短的电磁波)。当工作在 3 cm 波长的火控雷达出现后，3 cm 波长的电磁波被称为 X 波段，因为 X 代表坐标上的某点。为了结合 X 波段和 S 波段的优点，逐渐出现了使用中心波长为 5 cm 的雷达，该波段被称为 C 波段(C 为 Compromise 的首字母)。在英国人之后，德国人也开始独立开发自己的雷达，他们选择 1.5 cm 作为自己雷达的中心波长。这一波长的电磁波就被称为 K 波段(K 为 Kurz 的首字母，德语中“短”的字头)，然而该波长可被水蒸气强烈吸收，结果这一波段的雷达不能在雨中和有雾的天气下使用。战后设计的雷达为了避免这一吸收峰，通常使用频率略高于 K 波段的 Ka 波段(Ka，即英语 K-above 的缩写，意为在 K 波段之上)和略低于 K 波段的 Ku 波段(Ku，即英语 K-under 的缩写，意为在 K 波段之下)的波段。当然，随着技术的发展，目前雷达工作频率不断提高。表 1.1 列出了无线电探测常用频率命名及其应用。

表 1.1 无线电探测常用频率命名及其应用

波段名称	频率范围	波长范围	国际电信联盟 规定的Ⅱ区的雷达频率	主要应用
次声波	<50 Hz			气象监测、地震监测、核爆监测
声波	50 Hz~20 kHz			声音通信、测距、水声定位、地震勘探
超声波	20~200 kHz			测距、成像
	200~500 kHz			近程水下声呐成像
MF 中频	0.3~3 MHz	100~1 000 m		船用通信
HF 高频	3~30 MHz	10~100 m		远距离短波通信、国际定点通信
VHF 甚高频	30~300 MHz	1~10 m	14~138 MHz 216~225 MHz	地波超视距雷达 (Over the Horizon Radar)、通信
UHF	300~1 000 MHz	0.1~1 m	420~450 MHz 890~942 MHz	地下探测、通信
L	1~2 GHz	15~30 cm	1 215~1 400 MHz	地面监视雷达、天文观测
S	2~4 GHz	7.5~15 cm	2 300~2 500 MHz 2 700~3 700 MHz	地面雷达
C	4~8 GHz	3.75~7.5 cm	5 250~5 925 MHz	星载 SAR、导引头
X	8~12.5 GHz	2.4~3.75 cm	8 500~10 680 MHz	机载星载 SAR、火控
Ku	12.5~18 GHz	16.7~24 mm	13.4~14.0 GHz 15.7~17.7 GHz	防碰撞、测速
K	18~26.5 GHz	11.3~16.7 mm	24.05~24.25 GHz	火控、防碰撞
Ka	26.5~40 GHz	7.5~11.3 mm	33.4~36.0 GHz	火控、监测、导引头
V	40~75 GHz	4~7.5 mm	59~64 GHz	通信
W	75~110 GHz	2.7~4 mm	76~81 GHz 92~100 GHz	天文测量、防碰撞、导引头、安检、成像
Millimeter	110~300 GHz	1~2.7 mm	126~142 GHz 144~149 GHz 231~235 GHz 238~248 GHz	天文测量、防碰撞、导引头

续表 1.1

波段名称	频率范围	波长范围	国际电信联盟规定的Ⅱ区的雷达频率	主要应用
Sub-millimeter 亚毫米波		50 μm~1 mm		天文测量、爆炸检测
Far IR 远红外线		14~50 μm		分子特性检测
Long-wave IR 长波红外线		8~14 μm		LIDAR(激光雷达)、弹 载探测
Near IR 近红外线		1~3 μm		人员检测、成像
Very-near IR 甚近红外线		0.76~1 μm		成像、激光测距
Visible 可见光		380~760 nm		成像、天文观测
UV 紫外线		100~380 nm		导弹探测(告警)、气体 火焰探测

1.2.3 无线电近程探测信号的特点

主动式无线电探测系统是利用目标对电磁波的反射(或称为二次散射)现象来发现目标并测定位置的;而被动式无线电探测系统是利用目标的自然辐射现象来探测和识别目标的。根据不同的用途,有不同的目标对象,如各种车辆、船舶、兵器、人、建筑物等,因此就有不同的目标特性。对于无线电探测系统来讲,就接收了不同的目标信号。从信号处理范畴来讲,信号的分类方法很多,从不同的角度可以有不同的分类方法。比如,按处理方法分,可分为数字信号处理和模拟信号处理两大类;按信号的性质分,可分为确定信号和随机信号两大类,确定信号又可分为周期信号和非周期信号,随机信号又可分为平稳随机信号和非平稳随机信号等。在这里我们重点介绍按信号携带信息的方式分类的方法。按信号携带信息的方式分类,信号可分为三大类:探测信号、采集信号和传送信号。

1. 探测信号

先发射一种不含信息的信号,当遇到被探测的目标时,被测目标的状态将对探测信号的参数进行调制,然后由目标反射、折射或散射,其中反射部分回到接收机,这样的信号就是探测信号。接收机将此已调信号进行相应的处理,从而获得有关目标状态的信息。这种信号的特点是:目标状态对发射信号的调制不能人为控制;也就是说,发射一种不含目标信息的载波信号(可以是调幅波、调频波、脉冲波等),通过目标调制后获取目标的信息。

主动式无线电探测系统的目标信号属于这一类,其他诸如雷达系统、主动式地震

勘探系统及某些生物医学信号系统等也属于这一类。

2. 采集信号

目标本身发射或自然辐射时发出的信号就是采集信号,又叫拾取信号。其主要特点是:信号波形及其包含信息的方法均不能人为地控制。

被动式无线电探测系统的目标信号就属于这一类,其他诸如射电望远镜、遥感辐射计等也属于这一类。

3. 传送信号

利用一定的设备,将信息或表示信息的基带信号调制到载波上进行传输的信号就是传送信号。接收端收到传送信号后,对其进行处理,以获得所需信息。这种信号的主要特点是代表信息的是什么参数在事前已知,往往信号波形也是已知的,仅仅是出现的时间或其参数的值未知。

通信系统中传输的就是传送信号,遥控装置中传输的也是这类信号。传送信号可分连续调制和离散调制两类。连续调制传送信号可分为 AM 调制、DSB-SG 双边带抑制载波、SSB 单边带、角调制(调频、调相)、脉冲等体制。离散调制传递信号可分为脉宽调制(如 Morse 码,点用 20 ms 的窄脉冲表示,画用 60 ms 的窄脉冲表示)、频率编码(持续时间相同,载波不同)、相位编码(信息调制在载波的相位中)等不同的体制。

1.2.4 无线电近程探测的几种主要体制

为了满足多种用途及不同的要求,无线电近程探测系统应采用不同的工作体制。这里主要讨论主动式无线电近程探测系统。根据上述分析,其信号特点是属于探测信号,即其发射信号为一种不含目标信息的载波信号(可以是调幅波、调频波、脉冲波等),通过目标调制后获取目标信息。因此根据发射信号载波的形式,常用的有以下几种体制。

1. 连续波多普勒近程探测体制

当近程探测系统与目标之间有相对运动时,会产生多普勒效应。连续波多普勒近程探测系统是利用检测多普勒信号而工作的近程探测系统。这种近程探测系统发射连续单一的射频信号,其回波经运动目标的调制,与发射频率混频后检出多普勒信号。其多普勒信号的频率含有速度信息,多普勒信号的幅度反映了一定的距离信息,如果采用窄波束天线,则利用天线方向图还具有初步的测角功能。这种体制结构简单,成本低廉,但测量精度不高,是目前应用最为广泛的一种近程探测系统。

2. 连续波调频近程探测体制

连续波调频近程探测系统发射调频等幅的连续波信号,其发射信号的频率按调制信号规律而变化。利用回波信号与发射信号的频率之差来确定近程探测系统与目标之间的距离,具有较高的测量精度,并可以测速,在一定条件下还可以测角。