

# 弹载星载应用雷达有效载荷

郝祖全 编著

航空工业出版社

# 弹载星载应用雷达有效载荷

郝祖全 编著

航空工业出版社

## 内 容 提 要

本书针对导弹、卫星应用中对雷达有效载荷提出的多种需求,有侧重地阐述了几种典型雷达有效载荷总体技术的基本理论、系统组成、工作原理、工程估算、发展概况及应用趋势,且不失一般性,书中介绍的所有内容可在类似系统的设计、研究中借鉴。本书紧密结合工程应用实际需求,注重系统性和实用性,可作为从事雷达有效载荷研制和应用的科技工作者及大专院校师生、研究生参考。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

弹载星载应用雷达有效载荷/郝祖全编著. —北京:  
航空工业出版社, 2005. 3  
ISBN 7 - 80183 - 533 - 6

I. 弹… II. 郝… III. 雷达—载荷分析  
IV. TN95

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 000660 号

责任编辑: 高凤勤

弹载星载应用雷达有效载荷  
Danzai Xingzai Yingyong Leida Youxiao Zaihe

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里 14 号 100029)

发行部电话: 010 - 84926529 010 - 64978486

北京航丰印刷厂印刷

全国各地新华书店经售

2005 年 3 月第 1 版

2005 年 3 月第 1 次印刷

开本: 889 × 1194 1/16

印张: 23.75

字数: 744 千字

印数: 1—2000

定价: 48.00 元

ISBN 7 - 80183 - 533 - 6

## 序

导弹与航天技术是现代科学技术迅速发展的必然产物，是现代科学技术与国家基础工业紧密结合的产物，是代表国家科学技术发展水平的综合标志，是一项复杂的系统工程。导弹武器的出现，使军事思想和作战方式发生了重大变化，作战双方由机械化、自动化对抗转变为信息对抗。人造卫星特别是小卫星的出现，使人类认识自然和利用空间的能力发生了质的飞跃。

20世纪30年代发展起来的用射频电磁波获取目标信息的雷达技术已广泛用于检测目标的存在、确定位置（距离、角度）、测量目标的速度、加速度、绘制目标的运动轨迹、探测目标的特征、实现一维和二维成像、进行目标识别等，雷达已成为对远距离目标进行探测、定位、制导和识别的有力工具。应用范围涉及宇航、飞机、导弹、人造卫星、飞船、车辆、炮弹、云雨等运动目标及桥梁、建筑物、道路、山川、森林、农田、植被、海岸等固定目标，在军用和民用领域得到广泛应用。

导弹和卫星应用有效载荷的工作频带覆盖了几乎所有电磁谱段，包括超高频、微波、毫米波、红外、可见光、激光等。雷达有效载荷是探测、制导、遥感应用中最重要敏感器之一，是衡量系统功能、性能指标及应用目的的关键设备。雷达技术的发展取决于相关基础科学技术、专业工程技术及应用新领域的发展。电子工程学、微电子学、系统工程学、现代控制论、信息论、微波与毫米波技术、计算机技术、信号处理与人工智能、超高速数字集成电路、微波与毫米波集成电路、数字波束形成、数字波形形成、射频数字化技术、数字滤波技术、电子扫描技术、真空器件、固态器件、新材料、新工艺等的发展将直接推动雷达技术的发展。

经过几十年来的发展，我国的雷达技术在导弹、卫星领域的应用取得了长足进步，积累了丰富的经验，培养了大批专家和工程技术人才。为了进一步促进航天事业的发展，培养新生力量，使他们能有高的起点，中国航天科工集团公司确定组织有关专家在原“导弹与航天丛书”的基础上，编著一批新的著作，仍以工程应用为主，体现系统性、完整性和实用性，以提供一个与同行交流的园地。本书是作者总结几十年从事工程研究的经验，侧重论述导弹和卫星应用的雷达有效载荷，相信对该领域的研究人员有参考价值。

陈定昌

2004年7月于北京

# 前 言

随着科学技术的进步，近七十年来，雷达技术已取得了巨大的发展，已广泛地应用于国民经济的各个领域。针对雷达探测目标的不同和应用需求的差异，雷达的工作体制和工程实现差别很大。20世纪60年代以来，在导弹和卫星上，雷达有效载荷得到空前广泛的应用，如导弹制导、引战配合、微波遥感、航天活动等。近二十年来，我国也出版了多部有关雷达导引头、遥控应答机、无线电引信、合成孔径雷达、雷达高度计等方面的专著，侧重于介绍基本理论及设计分析方法，对从事该领域研究的科技工作者及大专院校师生、研究生的技术活动起到了良好作用。

编著本书的目的是比较全面地介绍现代雷达技术在以导弹、卫星、飞船为运载平台的雷达有效载荷的各种应用、基本原理、发展趋势、解决关键技术的实现途径，不涉及众多的地面、舰载、机载雷达系统。鉴于雷达技术的论文、书籍已非常多，本书的论述更侧重于物理概念的描述、发展前景分析与应用，数学公式仅给出适于工程应用的表达式，而不进行严格的数学推导。注重有效载荷总体技术的系统性和实用性，把散见于多种文献、书籍中的弹载、星载雷达有效载荷并结合作者几十年从事工程研制的点滴体会，相对集中在本书中介绍，便于广大科研人员引用参考。书中重点论述的雷达有效载荷为：末制导雷达导引头、遥控应答机（无线电控制仪）、无线电引信、合成孔径雷达、雷达高度计、辐射计与散射计、交会对接测量雷达系统等。

全书共分9章，第1章简要论述雷达技术发展及应用概况，介绍基础技术、系统技术、雷达工作环境及在交通管制、气象、航天、微波遥感、导弹等应用领域的发展趋势。第2章论述导弹应用末制导雷达导引头，重点介绍在防空导弹、飞航导弹、地地导弹、反辐射导弹中应用的主动、半主动、被动、复合及匹配导引头的基本体制、总体指标需求、实现途径和发展前景。第3章论述弹载遥控应答机，重点介绍指令制导中弹载制导有效载荷的应答体制、指令传输体制及拓展应用前景。第4章论述弹载非触发无线电（雷达）引信，重点介绍近程雷达应用的特殊性及各种基本体制。第5章论述弹载星载合成孔径雷达，重点介绍合成孔径技术应用于导弹制导时的特点、工程设计思想。第6章论述弹载星载雷达高度计，介绍雷达分布目标应用特点。第7章论述遥感应用辐射计与散射计，介绍基本体制及应用领域。第8章论述卫星或航天飞船载交会对接测量雷达，作为设计实例介绍各种体制测量雷达的可实现性及工作特点。第9章论述雷达有效载荷技术的部分拓展应用。

本书的出版得到中国航天科工集团公司领导、科技委领导的大力支持和指导，得到航天二院25所领导的支持帮助及中国航天科工集团公司科技委专家们的指导，提出了许多宝贵的意见，使编著者受益颇深。科技委办公室的同事们做了大量的业务工作，在此表示衷心的感谢。

限于编著者的水平，书中不当之处和错误在所难免，恳请读者不吝指正。

编著者

2004年5月于北京

## 缩 略 语

ACM	反巡航导弹
A/D 变换	模拟/数字变换
AFC	自动频率控制
AGC	自动增益控制
AI	人工智能
AM	调幅
AMRA	多模雷达高度计
APC	自动相位控制
ARM	反辐射导弹
AS	反卫星
ASK	幅度键控
ATBM	反战术弹道导弹
ATMS	先进交通管理系统
ATR	自动目标识别
ATU	自动跟踪单元
AWACS	机载预警和控制系统
BIP	双相码
CCD	电荷耦合器件
CDMA	码分多址
CEP	圆误差概率
CFAR	恒虚警率
CIR	相干成像雷达
CM	巡航导弹
CPRA	脉冲压缩雷达高度计
CRT	阴极射线管
CW	连续波, 杂波宽度
D/A 变换	数字/模拟变换
DBF	数字波束形成
DBS	多普勒波束锐化
DCE	数字控制电子设备
DCG	数字线性调频产生器
DCS	数据管理与控制系统
DDS	直接数字形成
DE	数字地球
DFB	数字滤波器组
DR	动态范围
DRO	介质振荡器
DSP	数字信号处理

ECCM	电子对抗
EOS	地球观测系统
FET	场效应晶体管
FFT	快速傅里叶变换
FM	调频
FMCW	调频连续波
FSK	频移键控
Full - deramp	全去斜坡
GaAs	砷化镓
GMTI	地面活动目标指示
GNC	制导、导航和控制
GPS/GLONASS	导航星全球定位系统
HEMT	高电子迁移率晶体管
HF	高频
HH 极化	水平—水平极化
HRR	高距离分辨
HV 极化	水平—垂直极化
IAGC	瞬时自动增益控制
IC	集成电路
IDFT	逆离散傅里叶变换
IFMCW	间断调频连续波
IMU	惯性测量单元
IQ 检波	同相正交检波
IRR	红外辐射计
ISAR	逆合成孔径雷达
InSAR	干涉合成孔径雷达
ISLR	积累旁瓣比
IVHS	智能交通系统
KKV	动能拦截飞行器
LCCMD	低成本导弹防御
LFM	线性调频
LNA	低噪声放大
LO	本地振荡
LPI	低截获概率
LS	激光导引光
MD	导弹防卫
MEMS	微电子机械系统
MGC	手动增益控制
ML	主瓣宽度
MMIC	单片微波集成电路
MTD	动目标检测
MTI	动目标指示
MTBF	平均无故障工作时间

MTU	微波发射单元
MWS	微波风谱仪
NLFM	非线性调频
NMD	国家导弹防御
NRS	噪声雷达导引头
PAM	脉幅调制
PCM	脉码调制
PD	脉冲多普勒
PDM	脉宽调制
PFM	脉冲频率调制
PGM	精确制导导弹
PM	调相
PLL	锁相回路
PN	伪随机码
PPM	脉位调制
PRF, prf	脉冲重复频率
PRI	脉冲重复周期
PRS	被动雷达导引头
PSD	位置传感检测器
PSK	相移键控
PSLR	峰值旁瓣比
RA	雷达高度计
RAR	真实孔径雷达
RCS	雷达散射截面积
RFID	射频识别
ROCS	只距离相关系统
RS	遥感
RVD	交会对接
SAR	合成孔径雷达
SAW	声表面波
SCAN SAR	扫描式合成孔径雷达
SCAV	高超声速无人飞行平台
SCR	信杂比
SJR	信干比
SLAR	侧视雷达
SMMR	扫描多频微波辐射计
S/H	采样/保持
SNR	信噪比
SPOT SAR	聚束式合成孔径雷达
SR	扩展比
SSBM	单边带调制
STAP	空时自适应处理
STC	时间灵敏度控制



SWH	有效波浪高度
TBD	检测前跟踪
TBM	战术弹道导弹
TM	遥测
TMD	战区导弹防御
T/R 模块	发射/接收模块
TVM	通过导弹跟踪
TWTA	行波管放大
UCAV	高速无人飞行平台
UHF	超高频
USO	超稳定振荡
VCO	压控振荡器
VHF	甚高频
VHSIC	超高速集成电路
VH 极化	垂直—水平极化
VLBI	甚长基线干涉仪
VLSI	超大规模集成电路
VSWR	电压驻波比
VV 极化	垂直—垂直极化

# 目 录

缩略语 .....	( I )
第 1 章 雷达技术发展及应用概论 .....	( 1 )
1.1 引言 .....	( 1 )
1.2 雷达基础技术发展趋势 .....	( 2 )
1.2.1 电子工程基础技术 .....	( 2 )
1.2.2 雷达系统技术 .....	( 3 )
1.3 雷达应用领域发展趋势 .....	( 5 )
1.3.1 交通管制雷达 .....	( 5 )
1.3.2 气象观测雷达 .....	( 5 )
1.3.3 航天活动雷达 .....	( 5 )
1.3.4 微波遥感雷达 .....	( 6 )
1.3.5 地基武器雷达 .....	( 6 )
1.3.6 弹载武器雷达 .....	( 6 )
1.3.7 机载武器雷达 .....	( 6 )
1.4 雷达工作环境 .....	( 7 )
1.4.1 雷达作战目标 .....	( 7 )
1.4.2 电磁干扰环境 .....	( 7 )
1.4.3 杂波环境 .....	( 8 )
1.4.4 隐身技术 .....	( 9 )
1.4.5 辐射与反辐射 .....	( 10 )
1.5 雷达制导与微波遥感 .....	( 10 )
1.5.1 制导概述 .....	( 10 )
1.5.2 精确制导概述 .....	( 12 )
1.5.3 智能制导概述 .....	( 16 )
1.5.4 微波遥感概述 .....	( 17 )
1.6 几种典型弹载星载雷达有效载荷 .....	( 18 )
1.6.1 末制导雷达导引头 .....	( 18 )
1.6.2 遥控应答机 .....	( 18 )
1.6.3 无线电引信 .....	( 19 )
1.6.4 合成孔径雷达 .....	( 19 )
1.6.5 雷达高度计 .....	( 19 )
1.6.6 微波辐射计与散射计 .....	( 20 )
1.6.7 交会对接测量雷达 .....	( 20 )
第 2 章 末制导雷达导引头 .....	( 21 )
2.1 国外雷达导引头发展概况 .....	( 21 )
2.1.1 防空防天导弹导引头 .....	( 21 )
2.1.2 飞航 (反舰) 导弹导引头 .....	( 23 )
2.1.3 地地 (舰)、空地 (舰) 导弹导引头 .....	( 24 )

2.1.4	反辐射导弹导引头 .....	( 24 )
2.2	导引头性能需求 .....	( 26 )
2.2.1	基本功能 .....	( 26 )
2.2.2	主要技术要求 .....	( 27 )
2.3	导引头应用需求发展趋势及限制 .....	( 28 )
2.3.1	导引头需求发展 .....	( 28 )
2.3.2	导引头弹载应用局限性及限制 .....	( 29 )
2.4	雷达基本技术新发展在导引头中应用前景 .....	( 30 )
2.4.1	发射和接收 .....	( 31 )
2.4.2	天线阵列 .....	( 31 )
2.4.3	干涉合成孔径雷达 (InSAR) .....	( 32 )
2.4.4	空时自适应处理 (STAP) .....	( 32 )
2.4.5	自动分类 .....	( 32 )
2.4.6	时空最优化 .....	( 33 )
2.4.7	频率最优化 .....	( 34 )
2.4.8	甚宽带 .....	( 34 )
2.4.9	雷达反隐身、反反辐射 .....	( 34 )
2.5	导引头总体技术主要发展方向 .....	( 35 )
2.5.1	导引头体制 .....	( 35 )
2.5.2	高精度直接命中 .....	( 36 )
2.5.3	高分辨成像 .....	( 37 )
2.5.4	灵活可变的辐射波形 .....	( 37 )
2.5.5	复合导引头 .....	( 38 )
2.5.6	固态相控阵 .....	( 38 )
2.5.7	信息处理技术智能化 .....	( 39 )
2.5.8	导引头中应用合成孔径雷达技术 .....	( 40 )
2.5.9	多普勒、捷变频体制的折中 .....	( 40 )
2.6	导引头抗地(海)杂波性能和可采用的技术途径 .....	( 41 )
2.6.1	环境、杂波对导引头工作的影响 .....	( 41 )
2.6.2	抑制杂波的技术途径 .....	( 43 )
2.7	导引头的干扰源及抗干扰能力分析 .....	( 44 )
2.7.1	干扰源及抗干扰措施 .....	( 44 )
2.7.2	典型干扰信号机理 .....	( 47 )
2.7.3	典型导引头抗干扰能力 .....	( 49 )
2.7.4	导引头抗干扰性能评估 .....	( 51 )
2.8	导引头体制及组成 .....	( 52 )
2.8.1	主动导引头 .....	( 52 )
2.8.2	半主动导引头 .....	( 60 )
2.8.3	被动导引头 .....	( 66 )
2.8.4	匹配导引头 .....	( 70 )
2.8.5	复合导引头 .....	( 72 )
2.9	雷达导引头总体指标分析与估算 .....	( 80 )
2.9.1	信号检测 .....	( 80 )

2.9.2	作用距离估算 .....	( 86 )
2.9.3	测量精度估值 .....	( 91 )
2.9.4	分辨力分析 .....	(100)
<b>第3章</b>	<b>遥控应答机 .....</b>	<b>(103)</b>
3.1	概述 .....	(103)
3.1.1	指令制导系统基本组成与特点 .....	(103)
3.1.2	遥控应答机发展概述 .....	(105)
3.2	遥控应答机工作机理 .....	(107)
3.2.1	概述 .....	(107)
3.2.2	遥控应答机设计准则 .....	(108)
3.2.3	遥控应答机的控制功能 .....	(108)
3.2.4	遥控应答机的探测功能 .....	(109)
3.3	应答机的典型体制 .....	(112)
3.3.1	非相干应答机 .....	(112)
3.3.2	相干应答机 .....	(114)
3.3.3	组合式信标—应答机 .....	(117)
3.3.4	双输入应答机 .....	(118)
3.3.5	连续波应答机 .....	(118)
3.3.6	伪随机编码(PN)测距应答机 .....	(119)
3.3.7	合作目标定位雷达—应答机系统 .....	(120)
3.3.8	统一测控应答机 .....	(121)
3.4	指令传输典型体制 .....	(122)
3.4.1	频分体制 .....	(122)
3.4.2	时分体制 .....	(123)
3.4.3	时分—频分复合体制 .....	(125)
3.4.4	码分体制 .....	(126)
3.5	遥控应答机总体指标分析与估算 .....	(126)
3.5.1	询问及指令传输距离 .....	(126)
3.5.2	应答距离 .....	(128)
3.5.3	遥控应答机参数对系统精度的影响 .....	(130)
3.5.4	应答式合作目标定位性能分析 .....	(134)
3.6	抗干扰能力概述 .....	(135)
3.6.1	脉冲宽度选择 .....	(135)
3.6.2	脉冲重复频率选择 .....	(136)
3.6.3	抗过载措施 .....	(136)
3.6.4	频率和极化选择 .....	(137)
3.6.5	编码码组选择 .....	(137)
<b>第4章</b>	<b>无线电引信 .....</b>	<b>(138)</b>
4.1	概述 .....	(138)
4.2	雷达引信组成与特点 .....	(140)
4.2.1	引信的基本组成 .....	(140)

4.2.2	导弹引信特点 .....	(141)
4.2.3	国外几种典型导弹引信组成 .....	(142)
4.3	引信工作机理 .....	(145)
4.3.1	几种引信工作的物理机理 .....	(145)
4.3.2	弹目交会的几何关系 .....	(147)
4.3.3	非触发雷达引信战技指标要求 .....	(147)
4.4	几种典型雷达引信体制及工作原理 .....	(149)
4.4.1	单频等幅连续波多普勒引信 .....	(150)
4.4.2	调频连续波引信 .....	(150)
4.4.3	伪随机编码引信 .....	(152)
4.4.4	脉冲体制引信 .....	(154)
4.4.5	比相体制引信 .....	(156)
4.4.6	噪声体制引信 .....	(157)
4.5	雷达引信总体指标分析与估算 .....	(159)
4.5.1	天线参数 .....	(159)
4.5.2	引信最大作用距离指标的确定 .....	(160)
4.5.3	雷达引信作用距离估算 .....	(160)
4.5.4	积累延时和启动延时 .....	(161)
4.5.5	引爆概率 .....	(162)
4.5.6	雷达引信的信号处理 .....	(162)
4.6	引信的干扰与抗干扰 .....	(164)
4.6.1	引信的干扰 .....	(164)
4.6.2	引信抗干扰技术措施 .....	(166)
4.7	引信应用实例 .....	(168)
4.7.1	伪随机编码脉冲多普勒引信 .....	(168)
4.7.2	脉冲多普勒空爆引信 .....	(169)
4.8	引信智能化概述 .....	(170)
<b>第5章</b>	<b>合成孔径雷达 .....</b>	<b>(172)</b>
5.1	合成孔径雷达技术发展概况及应用 .....	(172)
5.1.1	发展概况 .....	(172)
5.1.2	典型应用领域 .....	(179)
5.1.3	SAR 应用实例及设计特点 .....	(182)
5.2	成像雷达基本工作原理及成像方式 .....	(185)
5.2.1	雷达成像的基本原理与特点 .....	(185)
5.2.2	成像方式及雷达几何学 .....	(188)
5.3	合成孔径成像雷达的指标体系及总体参数选择 .....	(192)
5.3.1	SAR 系统指标体系 .....	(192)
5.3.2	影响合成孔径雷达总体指标的其他参数 .....	(199)
5.4	合成孔径成像雷达系统组成及总体性能分析 .....	(202)
5.4.1	系统组成与综合 .....	(202)
5.4.2	合成孔径雷达作用距离方程 .....	(207)
5.4.3	SAR 接收机动态范围设计 .....	(208)

5.4.4	影响 SAR 图像质量诸因素分析	(210)
5.4.5	合成孔径雷达的主要分系统	(213)
5.4.6	合成孔径雷达主要关键技术	(217)
5.5	合成孔径雷达的模糊及多视	(218)
5.5.1	方位模糊	(218)
5.5.2	距离模糊	(220)
5.5.3	脉冲重复频率选择	(222)
5.5.4	多视处理	(224)
5.6	合成孔径雷达定标技术	(226)
5.6.1	概述	(226)
5.6.2	外定标	(226)
5.6.3	内定标	(229)
5.6.4	校准误差源	(231)
5.7	合成孔径雷达成像信号处理	(232)
5.7.1	处理概述	(232)
5.7.2	SAR 信号处理特点及处理准则	(234)
5.7.3	SAR 数字处理典型步骤	(236)
5.7.4	运动补偿	(237)
5.8	成像处理的实现	(240)
<b>第 6 章</b>	<b>雷达高度计</b>	<b>(243)</b>
6.1	概述	(243)
6.2	面目标测高原理	(245)
6.2.1	面目标回波的基本特性	(245)
6.2.2	高度回波信号模型分析	(246)
6.2.3	高度计雷达方程	(248)
6.3	雷达高度计体制及组成	(250)
6.3.1	窄脉冲体制	(250)
6.3.2	调频连续波 (FMCW) 体制	(251)
6.3.3	线性调频 (LFM) 连续波体制	(252)
6.3.4	脉冲压缩体制	(253)
6.4	测高误差分析	(254)
6.4.1	平均高度测量	(254)
6.4.2	起伏误差	(256)
6.4.3	噪声误差	(257)
6.4.4	平均测高误差	(258)
6.4.5	波束指向精度对测高误差的影响	(258)
6.5	典型雷达高度计	(259)
6.5.1	S-193 雷达高度计	(259)
6.5.2	Topex 雷达高度计	(261)
6.5.3	ERS-1 雷达高度计	(263)
6.5.4	先进多模雷达高度计	(264)
6.5.5	综合观测平台——Seasat-A	(265)

6.5.6	小型化弹载脉冲雷达高度计 .....	(266)
6.6	高精度、高分辨星载雷达高度计设计举例 .....	(268)
6.6.1	系统性能要求及卫星轨道参数 .....	(268)
6.6.2	雷达高度计技术参数 .....	(268)
6.6.3	系统体制及主要参数选择 .....	(269)
6.6.4	高精度、高分辨雷达高度计组成 .....	(269)
6.7	雷达高度计应用 .....	(270)
6.7.1	海洋应用 .....	(270)
6.7.2	冰川学应用 .....	(271)
6.7.3	资源探测应用 .....	(271)
6.7.4	军事应用 .....	(271)
<b>第7章</b>	<b>辐射计与散射计 .....</b>	<b>(272)</b>
7.1	辐射计 .....	(272)
7.1.1	概述 .....	(272)
7.1.2	辐射计工作机理 .....	(273)
7.1.3	辐射计体制与组成 .....	(275)
7.1.4	多波段扫描辐射计 .....	(281)
7.1.5	辐射计应用与校准 .....	(285)
7.2	散射计 .....	(286)
7.2.1	概述 .....	(286)
7.2.2	散射计工作机理 .....	(288)
7.2.3	散射计体制与组成 .....	(289)
7.2.4	典型散射计 .....	(292)
<b>第8章</b>	<b>交会对接测量雷达 .....</b>	<b>(295)</b>
8.1	航天雷达发展与应用 .....	(295)
8.1.1	航天雷达应用概述 .....	(295)
8.1.2	雷达交会对接发展概述 .....	(297)
8.2	交会对接对测量系统功能及性能要求 .....	(301)
8.2.1	交会对接运行过程 .....	(301)
8.2.2	测量雷达功能要求及对接条件 .....	(303)
8.2.3	主要性能指标要求 .....	(305)
8.3	交会对接雷达测量系统基本体制与组成 .....	(307)
8.3.1	方案选择设计思想 .....	(307)
8.3.2	测量系统体制 .....	(307)
8.3.3	雷达测量系统组成及简要工作原理 .....	(314)
8.4	测量系统总体指标分析与估算 .....	(320)
8.4.1	作用距离估算 .....	(321)
8.4.2	测距精度估算 .....	(326)
8.4.3	测速精度估算 .....	(327)
8.4.4	测角精度估算 .....	(329)
8.4.5	角速度测量精度估算 .....	(331)

8.5	可靠性与电磁兼容 .....	(331)
8.5.1	二次雷达系统可靠性框图 .....	(332)
8.5.2	可靠性预计与分配 .....	(333)
8.5.3	电磁兼容性 .....	(335)
8.5.4	热设计与抗振设计 .....	(336)
8.5.5	可靠性增长 .....	(336)
<b>第9章</b>	<b>雷达有效载荷技术拓展与应用 .....</b>	<b>(338)</b>
9.1	电子编号与识别系统 .....	(338)
9.1.1	概述 .....	(338)
9.1.2	系统体制及组成 .....	(339)
9.1.3	电子编号卡组成 .....	(341)
9.1.4	典型系统性能及特点 .....	(342)
9.1.5	关键技术 .....	(243)
9.1.6	应用领域 .....	(344)
9.2	毫米波汽车防撞雷达 .....	(345)
9.2.1	概述 .....	(345)
9.2.2	典型系统功能及技术指标要求 .....	(347)
9.2.3	雷达体制及组成 .....	(348)
9.3	脱靶量测量雷达 .....	(352)
9.3.1	概述 .....	(352)
9.3.2	性能要求及靶机条件 .....	(353)
9.3.3	脱靶量测量雷达体制 .....	(354)
9.3.4	FMCW 遥测脱靶量测量系统实例 .....	(357)
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>(358)</b>



# 第1章 雷达技术发展及应用概论

## 1.1 引言

20世纪30年代发展起来的用射频电磁波探测目标坐标、目标特征及运动信息的雷达技术已经过近70年的发展，在人类活动的各个领域取得了长足的进步。现代的雷达(Radar)概念已远远超出最初的对目标探测和测距的基本功能，IEEE对雷达的最新定义为“雷达是对目标进行检测和定位的电磁设备”，因此，现代雷达不仅检测目标的存在和确定位置(距离、角度)，还要测出目标的速度、加速度、目标的运动轨迹、目标的特征、目标的姿态等，雷达已成为对远距离目标进行探测、定位、测轨和识别的有力工具。应用范围涉及宇航、飞机、导弹、人造卫星、飞船、车辆、装甲车辆、炮弹、云雨等运动目标以及桥梁、建筑物、道路、山川、森林、农田、海岸等固定目标，已在军用和民用领域得到广泛应用。

雷达工作的基本原理是基于目标均反射或散射无线电波，它像光波一样也是一种电磁能量，电磁波也是一种物质，二者基本的区别是无线电波的工作频率比光波低得多，某些物理特性也不完全相同。雷达利用回波信号的时间特性探测目标的距离，利用回波信号的多普勒频率特性探测目标的速度，利用天线波束的方向性探测目标的角度，利用信号宽带特性或相位历史分别探测目标高分辨距离或角度信息。

由于微波雷达比光电系统的工作频率低(较长的波长)，其电磁能量在大气中传输时几乎是完全透明的，大气传输损失很小，云、雾、雷、雨的影响很小，日夜都能工作。大多数雷达(超视距雷达除外)其电波传播为直线传播，只能看到视线范围内的目标，不能探测被地球曲率限制或地形遮挡的遥远目标。且由于大多数雷达发射的电磁波为单色波，虽然目前发射大带宽信号已具备一维或二维成像能力，但还不具备探测识别目标的真实形状、目标细微结构和颜色的能力。

人类利用雷达技术的杰出性能使其观测范围迅速扩展到几百千米，乃至几千千米。在军事上雷达能提前检测出目标，获得了宝贵的预警时间，并引导导弹攻击目标，能控制武器系统更准确地摧毁目标，可起到其他敏感器不可替代的作用。但有矛必有盾，随着科学技术的进步，当前已出现各种对抗雷达的高新技术，反辐射导弹、目标隐身、低空超低空飞行与实施电磁干扰是对雷达构成的四大威胁。反辐射导弹利用对雷达辐射波束的被动跟踪可直接攻击雷达站，实现硬杀伤。为了减少雷达的作用距离，用吸收材料或采用特殊的结构外形，大大降低目标散射电磁波的等效雷达散射截面(RCS)，使之不能提前发现目标，实现目标隐身。由于目标低空飞行对雷达视线的遮挡及地杂波的干扰作用，可使雷达的作用距离锐减。敌方还可使用各种电子干扰技术，辐射有源和无源干扰，形成对电磁波的干扰环境，使雷达不能正常检测目标或无法工作。总之，雷达必须能在威胁和干扰环境下正常工作才能发挥作用。

雷达技术的发展取决于相关基础科学技术、专业工程技术及应用新领域的发展。电子工程学、微电子学、系统工程学、现代控制论、信息论、光学、红外技术、激光技术、微波与毫米波技术、计算机技术、电视技术、通信技术、超导技术、光纤技术、信号处理与人工智能、超高速数字集成电路、微波与毫米波集成电路、数字波束形成、数字波形形成、射频数字化技术、数字滤波技术、电子扫描技术、真空器件、固态器件、新材料、新工艺等的发展将直接推动雷达技术的发展。现代雷达系统的应用领域千差万别、技术指标有高有低，但其基本的功能则大同小异。可以认为，雷达的基本功能为：

- (1) 检测功能：取决于辐射能量、天线增益、接收机灵敏度和信号检测能力；
- (2) 测距功能：取决于信号带宽、时间分辨处理能力；
- (3) 测角功能：取决于信号相位波前检测能力；
- (4) 测速功能：取决于多普勒频率分辨能力；