



国防特色院士文库

新体制 雷达对抗导论

XINTIZHI LEIDA DUIKANG DAOLUN

张锡祥 肖开奇 顾杰 著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社



国防特色院士文库

新体制雷达对抗导论

张锡祥 肖开奇 顾杰 著

北京理工大学出版社

北京航空航天大学出版社 哈尔滨工程大学出版社
哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书用大量的文字、理论分析、试验数据、计算数据和图表,介绍了对新体制雷达的干扰原理、干扰方法、干扰机及被保护目标间的配置距离和干扰效果。重点阐述的内容包括:雷达和雷达对抗的发展;对合成孔径雷达的干扰技术;对脉冲压缩雷达的干扰技术;对脉冲多普勒雷达的干扰技术;一机对多制的干扰技术;对不同体制雷达安装在不同平台上的有效干扰压制区和干扰暴露区的分析计算;对相控阵雷达的干扰技术;对双(多)基地雷达干扰技术;雷达干扰机在解决所需要的等效干扰大功率、高接收灵敏度、宽频带和多频段多天线间的收发隔离宽带天线技术等技术。

本书还介绍了对干扰机主要参数的设计和计算方法及一些参数的实用取值,对干扰机天线的收发隔离和单一平台安装多频段多天线的综合收发隔离顶层设计,提出了具体的方法和数学模型。

本书内容丰富、新颖、实用,概念阐述清楚、理论推导严谨、分析举例切合实际、结论明确。本书可作为高等院校电子对抗及相关专业教材,也可作为相关技术人员的培训资料和各级军事指挥员的参考书。

未经作者许可不得以任何方式复制本书内容。

图书在版编目(CIP)数据

新体制雷达对抗导论/张锡祥,肖开奇,顾杰著. —北京:北京理工大学出版社,2010.1
(国防特色院士文库)

ISBN 978-7-5640-2942-5

I. 新… II. ①张…②肖…③顾… III. 雷达对抗 IV. TN974

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 218770 号

新体制雷达对抗导论

张锡祥 肖开奇 顾杰 著

责任编辑 周艳红

*

北京理工大学出版社出版发行

北京市海淀区中关村南大街5号(100081) 发行部电话:010-68944990 传真:010-68944450

<http://www.bitpress.com.cn>

北京地大彩印厂印刷 全国各地新华书店经销

*

开本:787毫米×1092毫米 1/16 印张:21.75 字数:446千字

2010年1月第1版 2010年1月第1次印刷 印数:1~3000册

ISBN 978-7-5640-2942-5 定价:58.00元

序

作者从事雷达对抗研究工作已有 50 年,本专著是作者出版的第三本书。第一本专著《现代雷达对抗技术》1998 年 2 月由国防工业出版社出版,主要介绍常规脉冲雷达及改进型或部分增加抗干扰的雷达的干扰技术。第二本专著《和平时期电子战技术与应用——雷达对抗篇》是 2005 年 1 月由电子工业出版社出版,主要介绍和平时期电子战的表现形式,用大量事实表明电子战不仅在战争时期大量使用,而且在和平时期也在大量地、隐蔽地使用,世界各国对此高度重视,电子战是“天天在战斗”。特别应注意的是一些霸权国家,他们提出“先发制人”的策略,在和平时期人们不注意的时候,他们利用电子设备和其他多种手段把攻击的目标侦察清楚后,进行突然袭击,给对方造成巨大损失或给对方造成无力反抗的势态。因此,不论在和平时期还是战争时期,都要随时提高警惕,以防不测。只要随时做好准备,一些“先发制人”的霸权者就不敢贸然行之,世界的持久和平才能维持,和谐世界才有可能建立。第三本专著《新体制雷达对抗导论》,主要是在总结 50 年雷达对抗工作的基础上,摸索出的一些雷达对抗规律。雷达从 20 世纪 30 年代用于军事装备以来,已经有 70 多年的实战应用历史。雷达在第二次世界大战中发挥了很大作用,在第二次世界大战后,虽然没有发生世界大战,但是在每次的局部战争中都发挥了重大作用。雷达是千里眼,发展到现在已不止是探测到千里之外的目标,而是可观察到的目标更远。随着电子技术的不断发展,雷达出现了许多种新的体制,例如,常规脉冲雷达中的多种体制、脉冲压缩雷达、脉冲多普勒雷达、合成孔径雷达、相控阵雷达、捷变频雷达、多发多收等多种新型雷达体制。雷达干扰是随着雷达的产生而产生的,随着雷达的发展而发展的。这就是说在雷达应用的那一天起就产生了雷达对抗,雷达发展了一种新的体制,也就会出现对抗该新体制雷达的干扰设备。

没有干扰不了的雷达,也没有抗不掉的干扰。从分析各种雷达体制的规律中可以看出,雷达和各种无线电设备有共同的弱点。

(1) 工作在雷达或无线电设备的接收通带内的各种信号,它不分真假、不分敌我,都能接收到。

(2) 不论雷达采用什么样的信号处理方式,只要干/信比达到一定的阈值,在干扰和信号的混合体中,都无法提取有用信息。

(3) 无论雷达采用什么样的天线,它在 360° 的范围内实际上都有副瓣存在。

由于雷达或无线电设备的固有特性,这 3 个弱点必然存在,所以,不论什么样体制的雷达都能对它进行有效的干扰。但是,如果要想实现有效的干扰,还必须满足下面 6 项必要条件。

- (1) 干扰频率要瞄准。
- (2) 干扰机发射天线主瓣要对准被干扰目标。
- (3) 干扰压制时间基本保持连续。
- (4) 干扰压制系数要满足要求,对不同体制的雷达有不同的干扰压制系数要求值。
- (5) 干扰信号频谱宽度应大于雷达接收机带宽。
- (6) 干扰信号极化与被干扰信号极化一致。

满足这些条件就可以实现一部干扰机对同频段内的多种体制的雷达实现有效的压制干扰,称为“一机对多制”的干扰机。如果不满足这6项必要条件,干扰效果就会变差或失去干扰的作用。

本书对多种体制的雷达,包括常规脉冲雷达、脉冲压缩雷达、脉冲多普勒雷达、合成孔径雷达、相控阵雷达和双基地雷达等,以及这些雷达装在不同平台上的干扰效果都做了定量的分析。干扰效果分析的基准是对不同体制的雷达装在不同的平台上,受干扰后产生干扰的有效区和干扰暴露区为基准来评价它的干扰效果,或以雷达受干扰后它的有效探测区降低百分比来评价它的干扰效果,或雷达受干扰后它的角跟踪误差和距离跟踪误差显著增大来评价它的干扰效果。

本书从对不同体制雷达的有效压制干扰中,推导出对多种体制雷达干扰统一方程,用此统一干扰方程可以计算不同体制雷达装在不同平台上,在一定干扰有效区的确定值时,可以计算所需的干扰等效功率,从而简化了设计干扰机程序。由于雷达干扰统一方程中,它与雷达的辐射等效功率、发射脉冲宽度、被保护目标的等效反射面积、干扰机与雷达之间距离、雷达与被保护目标之间距离、雷达天线的主/副增益比、发射机馈线损耗、信号和干扰信号在空间的传输损耗、干扰机的等效辐射功率、干扰发射机的馈线损耗、干扰机的极化损耗、干扰信号频谱宽度与雷达接收机的通带宽度比、干扰压制系数等有关。因此,在计算干扰压制区时,会产生一定的误差,所以,书中列举的干扰有效区计算值,只能供参考。要想得到较为准确的数据,还要与实际试验相结合。

本书讲述了雷达和雷达对抗的发展过程,对新体制雷达逐一地讲述了对抗的方法和干扰的效果,及其需要的干扰等效功率的计算,不同体制的雷达所需的干扰压制系数的计算和取值的适用公式等。

本书适合于从事雷达干扰机的设计人员、电子战领域的科研生产专业人员、电子战专业的教学人员、军事指挥员、专业操纵员和军政领导阅读参考,也可为广大读者扩大知识面、了解电子战、信息战和未来信息化作战带来帮助。

本书第1章至第7章、第9章、第10章由张锡祥院士编著,第8章由肖开奇博士编著,书中的图表、曲线及部分内容 by 肖开奇博士和顾杰博士进行编制和校正。

在本书的写作过程中得到了西南电子设备研究所所长毛嘉艺研究员、副所长

孟健研究员、副总工程师李尧研究员、刘刚博士等专家的关心和支持；同时还得到了刘永红研究员、王燕研究员、冯梅、张忠捷、王征炬等同志的具体帮助和支持。在此表示衷心的感谢。

张锡祥

目 录

第 1 章 雷达和雷达对抗的发展	1
1.1 雷达的发展概况	1
1.1.1 雷达的起源	1
1.1.2 雷达的基本原理	2
1.1.3 雷达的基本方程	2
1.1.4 雷达的基本组成	3
1.1.5 雷达的主要弱点	4
1.1.6 雷达的频率	5
1.1.7 各类目标的反射面积典型统计平均值	6
1.1.8 雷达天线	9
1.2 雷达对抗的发展	10
1.2.1 国外雷达对抗的发展概况	10
1.2.2 我国雷达对抗的发展概况	11
1.2.3 雷达对抗技术发展概况	12
1.2.4 常规脉冲雷达的干扰方程	13
1.2.5 对圆锥扫描雷达的干扰	15
1.2.6 对隐蔽圆锥扫描雷达的干扰	19
1.2.7 对单脉冲跟踪雷达的干扰	19
1.2.8 对捷变频雷达的干扰	23
1.2.9 对“百舌鸟”反辐射导弹的对抗	26
1.3 电子战向信息战方向发展	30
1.3.1 信息化作战的战场概况	31
1.3.2 信息战与信息化作战的概念	35
1.3.3 用信息战对付信息化作战	36
第 2 章 对合成孔径雷达的对抗技术	43
2.1 SAR 的工作原理	45
2.1.1 SAR 方程	45
2.1.2 SAR 的组成	47
2.1.3 SAR 的重频选择	48
2.2 SAR 的干扰原理	50
2.2.1 SAR 的干扰方程	50

2.2.2	对 SAR 所需的干扰等效功率	51
2.3	SAR 干扰压制系数的测量和分析	52
2.3.1	计算机仿真测量	52
2.3.2	在室内用小功率对正式 SAR 干扰仿真试验	53
2.3.3	机载 SAR 干扰压制系数飞行试验	54
2.3.4	对机载 SAR 干扰压制系数飞行测试的数据分析	55
2.4	对点目标反射等效面积取值的分析	56
2.4.1	雷达目标高频散射机理	56
2.4.2	复杂目标散射中心等效反射面积测试	57
2.4.3	规则物体的 RCS	58
2.5	对星载 SAR 的适时侦察	60
2.5.1	对星载 SAR 适时侦察的必要性	60
2.5.2	对星载 SAR 适时侦察的可行性	60
2.5.3	对星载 SAR 适时侦察站的指标要求	61
2.5.4	星载 SAR 适时侦察站的组成	66
2.6	对星载 SAR 的适时压制干扰	67
2.6.1	对星载 SAR 适时压制干扰的可行性	67
2.6.2	星载 SAR 单部压制干扰站的干扰保护区	68
2.6.3	星载 SAR 多部压制干扰站的干扰保护区	70
2.6.4	星载 SAR 的压制干扰站组成	70
2.7	对雷达识别系统的干扰	75
2.8	对变极化测目标高度 SAR 的干扰	76
2.8.1	干涉 SAR 三维成像的图像	77
2.8.2	随机极化干扰原理	77
第 3 章	对脉冲压缩雷达的干扰	79
3.1	预警飞机载脉冲压缩雷达	79
3.2	预警飞机脉冲压缩雷达工作原理	81
3.2.1	脉冲压缩雷达的工作原理	81
3.3	对脉冲压缩雷达的干扰原理	85
3.3.1	对预警飞机雷达的干扰方程	85
3.3.2	对脉冲压缩雷达干扰压制系数的取值	86
3.3.3	对预警飞机雷达的干扰暴露区分析	89
3.4	对脉冲压缩雷达干扰压制系数和干扰暴露区的测试	92
3.4.1	对被试雷达天线方向图和极化特性的测试	92
3.4.2	对脉冲压缩雷达干扰压制系数和干扰暴露区的测试	93
3.4.3	对脉冲压缩雷达干扰压制系数的实测与推算	95
3.5	机载干扰机对地面脉冲压缩雷达的干扰压制区	97

第 4 章 对脉冲多普勒雷达的干扰	101
4.1 对脉冲多普勒雷达的干扰原理	101
4.1.1 脉冲多普勒雷达的工作原理	101
4.2 脉冲多普勒雷达干扰压制系数分析	108
4.2.1 脉冲多普勒雷达干扰压制系数的确定	108
4.2.2 对脉冲多普勒雷达等效干扰功率的计算	110
4.2.3 脉冲多普勒雷达干扰压制系数实例	111
4.3 脉冲多普勒雷达的干扰暴露区	111
第 5 章 雷达干扰统一方程和“一机对多制”干扰机	113
5.1 雷达干扰机的干扰统一方程	113
5.1.1 脉冲压缩雷达的干扰压制系数计算	115
5.1.2 脉冲多普勒雷达干扰压制系数的计算	116
5.1.3 对 SAR 干扰等效功率的计算	117
5.2 “一机对多制”的雷达干扰机	119
5.2.1 “一机对多制”的必备要素	119
5.2.2 “一机对多制”干扰机的组成	120
5.3 “一机对多制”雷达干扰机对空对天一体化布局	131
第 6 章 雷达干扰机与被保护目标的配置分析	135
6.1 地面对空中作战飞机雷达的干扰,保护地面重要军事目标	135
6.2 地面干扰机对预警飞机雷达的干扰暴露区	140
6.2.1 对预警机雷达干扰暴露区的理论计算	141
6.2.2 预警机雷达的实测干扰暴露区	141
6.2.3 舰载干扰机掩护舰队形成的干扰暴露区	143
6.3 地对空干扰机对机载 SAR 干扰暴露区和干扰有效区分析	145
6.3.1 对机载 SAR 的干扰有效区的分析计算	145
6.3.2 机载 SAR 的干扰有效区实测步骤和方法	149
6.4 对星载 SAR 的干扰有效区分析计算	152
第 7 章 对双基地雷达的干扰	161
7.1 双基地雷达的基本工作原理	161
7.2 双基地雷达的干扰方程和干扰暴露区	162
7.2.1 对双基地雷达的自卫干扰	163
7.2.2 对双基地雷达的掩护式干扰时干扰暴露区	163
7.3 对双基地雷达干扰暴露区的特点分析	166
7.4 对双基地雷达干扰时,干扰天线波束宽度的选择	167
7.4.1 天线方位波束宽度选择	167

7.4.2	干扰发射天线的仰角波束宽度的选择	167
7.5	对多基地雷达的干扰	168
7.5.1	对多基地雷达的掩护干扰	168
7.5.2	对多基地雷达的自卫干扰	169
7.6	双基地雷达干扰机的组成原理框图	169
7.7	对双基地机载 SAR 的干扰	170
第 8 章	宽带天线技术	174
8.1	宽带天线主要指标描述	174
8.2	多模天线技术	181
8.2.1	小孔径宽带 Adcock 天线阵	181
8.2.2	四臂螺旋天线	186
8.2.3	多模对数周期天线阵	191
8.3	多波束天线技术	195
8.3.1	Bootlace 透镜多波束形成器	195
8.3.2	龙伯透镜波束形成	201
8.3.3	二维多波束面阵天线	203
8.3.4	带匹配层的介质透镜天线	208
8.4	宽带相控阵天线	212
8.4.1	宽带相控圆阵天线	213
8.4.2	宽带相控发射阵天线	217
8.4.3	宽带有源相控阵天线	222
8.4.4	宽带平面相控阵天线	224
8.5	宽带阵列及反射面复合天线	227
8.6	数字波束形成技术	232
8.7	宽带天线系统	234
8.7.1	宽带天线罩	234
8.7.2	宽带极化罩	240
8.7.3	天线收发隔离度技术	248
8.7.4	宽带天线系统构架	253
第 9 章	对相控阵雷达的干扰	256
9.1	相控阵雷达的概况	256
9.1.1	相位扫描	256
9.1.2	频率扫描	257
9.1.3	典型相控阵雷达	258
9.1.4	平面阵列波束	262
9.1.5	稀疏阵和小阵列的方向图	262
9.1.6	低副瓣相控阵	263

9.2 相控阵雷达的优势与干扰对策	267
9.2.1 相控阵雷达的优势	267
9.2.2 对相控阵雷达干扰的基本对策	268
9.2.3 对综合一体化相控阵雷达的干扰机设计举例	270
9.3 对相控阵雷达干扰有效区分析	277
9.3.1 相控阵雷达的干扰暴露区	277
9.3.2 雷达受干扰后其探测区降低的比例	279
9.4 对机载(或无人机载)相控阵 SAR 的干扰效果分析	280
9.4.1 对无人机载 SAR 干扰效果分析	280
9.4.2 对弹载 SAR 攻击地面点目标干扰有效区分析	285
9.5 对星载相控阵 SAR 的干扰效果分析	287
9.5.1 星载相控阵 SAR 的干扰方程	287
9.5.2 相控阵合成孔径雷达统一干扰方程推导	289
9.5.3 对星载相控阵合成孔径雷达干扰等效功率的计算	291
9.5.4 对星载相控阵 SAR 干扰有效区分析	291
第 10 章 电子战新概念新技术	298
10.1 电磁脉冲的作战效果与防护技术	298
10.1.1 高重频无载波低峰值功率的电磁脉冲	298
10.1.2 电磁脉冲对电子器件的效应	299
10.1.3 电磁脉冲的作战效果分析	301
10.1.4 对高功率电磁脉冲的防护技术	303
10.2 雷达对抗与高功率微波器件	304
10.2.1 高功率微波作用机理	304
10.2.2 各类干扰机和高功率微波武器所需的功率	306
10.2.3 固体微波功率器件与电真空微波器件的应用比较	306
10.3 侦察卫星受高功率微波武器攻击的可行性分析	309
10.3.1 对无源侦察卫星用高功率微波攻击的可行性	310
10.3.2 强微波对侦察卫星干扰的可行性	311
10.4 超宽带高重频干扰机的应用	314
10.4.1 作用对象	314
10.4.2 高重频超宽谱对雷达的干扰	317
10.4.3 脉冲宽度和频谱	317
10.4.4 对米波雷达的干扰效果	318
10.4.5 超宽带干扰机的应用	321
10.4.6 超宽带干扰机的试验	323
10.5 侦察、干扰、定位一体化电子战技术	324
10.5.1 利用大功率连续波噪声干扰机一体化技术	324
10.5.2 利用角度被动跟踪系统的干扰机带实现侦察、定位、干扰一体化	327

10.5.3	用角度被动跟踪系统单站无源定位系统的测距误差·····	331
10.5.4	基于被动角跟踪系统的单站无源定位·····	332
10.5.5	基于角度被动跟踪系统的单站无源定位典型应用·····	333
参考文献 ·····		336

第 1 章 雷达和雷达对抗的发展

1.1 雷达的发展概况

1.1.1 雷达的起源

雷达的基本概念是由德国物理学家 Heinrich Hertz 从 1885—1888 年所进行的经典试验首次得到验证。他验证了无线电波与光具有相同的特征,演示了无线电波可以从金属物体反射和由介质棱镜折射。

20 世纪 20 年代,当一艘船通过位于河两岸的接收机和发射机之间时,偶然地在接收机上观察到了一个起伏信号,当时称为连续波干涉系统。

20 世纪 30 年代,雷达被许多国家研究,如在美国、英国、苏联、法国、意大利、日本和荷兰等国被研制出来。采用的频率为 100~200 MHz,但英国的频率为 30 MHz,而德国的雷达频率为 600 MHz,为第二次世界大战前的最高频率。美国陆军于 1936 年春启动了脉冲雷达研制计划,在珍珠港事件的时候,它已研制出 200 MHz 的 SCR-268 防空探照灯控制雷达。

虽然英国研制脉冲雷达比美国晚,但到 1938 年研制出 30 MHz 的雷达,它在“不列颠之战”中立了大功。到 1939 年,研制出可以检测飞机目标的 200 MHz 机载雷达,随着 1940 年英国发明大功率微波磁控管,雷达技术得到了极其重大的发展,它打开了雷达工作在更高频率的大门。随后雷达在德国、苏联、意大利、法国和日本等国很快发展起来。

第二次世界大战以后,雷达技术发展迅速,一些重大技术的突破使雷达的性能更加完善。例如,动目标显示(MTI)技术,大功率放大器(如速调管、行波管和晶体管)的研制成功;单脉冲雷达的使用;脉冲压缩技术使人们从长脉冲波形中获得高能量;机载合成孔径雷达(SAR)提供类似地图的高分辨力地面场景成像;利用多普勒处理的方法,使机载雷达能够在严重的杂波背景中检测出目标;电扫相控阵雷达,提供快速扫描,不需天线做机械运动,而且还可进行多目标跟踪;高频超视距雷达,使雷达的探测距离扩大 10 多倍;雷达已经变成气象学家的一个重要工具;数字技术的快速发展,使得许多理论上的能用数字信号处理和数字数据处理成为实际可行;新工艺、新雷达技术和机电一体化技术的发展为新雷达的应用及雷达的持续应用提供了有力的保障。

雷达对抗是随着雷达的产生而产生,随着雷达的发展而发展的,早在第二次世界大战中电子战就得到了应用。1944 年,盟军从诺曼底半岛登陆战中可以显现出雷达对抗的威力,由于盟军采用了电子对抗手段,使这次登陆作战中,参加的舰船多达 6 000 多艘,人员百万余人。在仅损失 6 艘军舰的情况下,盟军顺利登陆,使之成为第二次世界大战中采用电子对抗减少作战伤亡的典型战例。

1.1.2 雷达的基本原理

雷达主要用于检测和定位具有电磁散射特性的物体,如飞机、舰船、航天飞机、车辆、行人等。它可以在黑夜、薄雾、浓雾、下雨和下雪时工作,其高精度的测向、测距和全天候的工作能力,是雷达的重要特性之一。

雷达测距的基本原理,如图 1.1 所示。

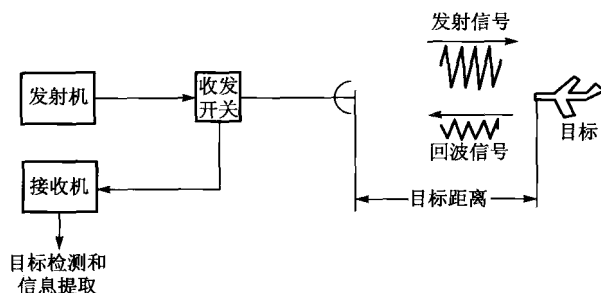


图 1.1 雷达基本原理

雷达发射的电磁波以光的速度在空中传播,它遇到反射物体后返回雷达天线,雷达天线辐射的电磁波在天线与反射目标之间传输的时间除 2 再乘以光速就是雷达与目标之间的距离,即

$$R = \frac{1}{2} c T \quad (1.1)$$

式中 R ——雷达与目标之间距离;

c ——光速;

T ——电磁波在雷达与目标之间来回传播的时间。

雷达的测向是依靠雷达天线的方向性,测定目标的方向,它可利用雷达天线的方向特性,测出目标的最大回波指向,测出目标的方位角和仰角,就可以测定目标的三维坐标,即可实现对目标定位。

1.1.3 雷达的基本方程

设雷达的发射功率为 P_t , 雷达的天线增益为 G_t ; 目标的等效反射面积(RCS)为 σ , 雷达的工作波长为 λ , 则目标收到的雷达信号功率为

$$P_A = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} A = \frac{P_t G_t \sigma \lambda^2}{4\pi R^2 4\pi} \quad (1.2)$$

雷达天线收到目标反射的信号功率为

$$P_r = \frac{P_A}{4\pi R^2} G_r \quad (1.3)$$

式中, G_r 为雷达接收天线增益, 同一雷达的接收天线与发射天线共用一个, 则 $G_t = G_r$, 将式 (1.2) 代入式 (1.3), 得

$$P_r = \frac{P_t G_t^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \quad (1.4)$$

$$R_{\max} = \left[\frac{P_t G_t^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 P_{r\min}} \right]^{1/4} \quad (1.5)$$

式中 $R_{\max}$ ——雷达的最大探测距离；

$P_{r\min}$ ——雷达接收机能收到检测出有用信息的最小信号功率。

1.1.4 雷达的基本组成

雷达的基本组成包括：发射机、接收机、天线、收发开关、终端显示、伺服控制、电源等部分，如图 1.2 所示。

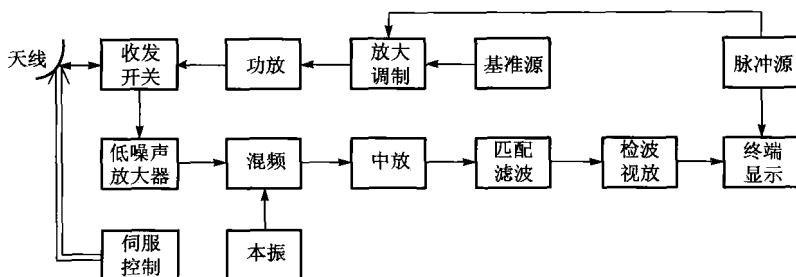


图 1.2 雷达基本组成框图

雷达的发射机基本有两种类型：一种是大功率主振源，它产生的微波脉冲功率为兆瓦量级，早期的雷达多数采用这种发射方式。另一种是单只或多只小功率连续波振荡源，现在雷达采用的发射机属于这一种。它的频率比较稳定，寿命长，然后再用脉冲调制，经脉冲功率放大器放大输出。脉冲源既是发射机的脉冲调制源又是显示器的同步脉冲源，是雷达测距的基准脉冲。收发开关是雷达能够收发共用一个天线的重要器件，有大功率脉冲信号输入时，它将发射机与天线接通，在有弱信号输入时，它将天线与接收机接通，使雷达很方便地共用一个天线。低噪声放大器主要是为了改善接收机的灵敏度，使雷达能够增大探测距离。一般的雷达接收机主要采用超外差接收体制，它用本振和混频把信号降低为中频，使信号容易放大，再用检波器提取视频脉冲，经过在显示器上显示，使操纵员很直观地读出目标的坐标位置。在第二次世界大战后，虽然没有进行第三次世界大战，但是世界上的局部战争接连不断。对世界影响比较大的几次局部战争，例如，朝鲜战争、越南战争、四次中东战争、马岛战争、海湾战争、伊拉克战争…这些战争在很大程度上促进了雷达和雷达对抗的发展。

目前，雷达已被广泛地用于检测地面、海上、空中、空间和地下目标。它已成为防空系统及进攻性的导弹和其他作战武器的重要组成部分。在防空方面，它具有监视和武器控制功能，可以对目标进行检测、目标识别、目标跟踪、目标分配到武器系统、目标跟踪武器控制、引导武器拦截、评估交战的有效性等。在导弹系统中可用雷达方法进行武器的制导和引爆。而合成孔径的高分辨力成像雷达，已用于检测战场上的固定目标和运动目标成像侦察。

雷达在民用方面也有广泛的应用，如遥感测试、气象观察、行星观察、近程地下探测、为航海运输指引航道和提供海上浮冰测绘。

空中交通管制已在全球用于机场附近的飞行管制，它涉及飞机安全和导航，从而可以回避雷达测出的降雨区和危险区；在空间飞行器已经用雷达进行交会和对接，以及用于月球登陆，

建立天文单位的精确测量;其他方面,雷达还可以用于石油和气体的探测、昆虫和鸟类的迁徙,雷达体积有的很小,小到可以放在一个人的手掌里;而有一些雷达很大,可占据几个足球场。它们的作用距离近到几乎可触摸到的目标,远到数千千米或到行星。

1.1.5 雷达的主要弱点

雷达从用于实战发展到现在已有 70 多年的历史,在这些年里可以说是飞速发展,已经成为信息作战主要支柱之一,是远距离精确打击武器的主要组成之一。

正因为雷达在信息化战争中非常重要,从事雷达对抗的设计师才要千方百计地寻找它的漏洞和薄弱点,并对此攻击使其失去应有的效能。归纳起来雷达有如下弱点。

(1) 不论是有用信号还是有害信号,只要频率在雷达接收机的通频带以内,它都可以进入接收机,使一些有害信号影响了雷达对有用信号的提取。干扰机就是利用它的这个原理性的弱点,把有害信号送入雷达接收机,使它难以正确地提取有用信息,降低或破坏雷达的正常工作。

(2) 不论什么物体,只要能反射无线电信号,雷达都可以接收。这些反射的物体,有的是雷达需要接收的目标回波,有些反射物体是雷达需要发现的目标,有些反射体产生的反射信号对发现有用信号具有有害的影响。由于雷达有这个特点,干扰研制者就利用一些其他的反射体反射大量的假信息,给雷达的检测带来困难,影响它发现有用目标信号。

(3) 地杂波、海杂波、气象、鸟群,这些非人为有意干扰,对雷达都会造成提取有用信号的困难。为此雷达设计师花了不少精力,采取了多种措施来消除这些杂波,相反这些杂波帮了雷达干扰者的大忙。

(4) 人为干扰,就是把干扰的频率准确地对准雷达的频率,再调制一些雷达很不愿看到的信号,使雷达的有用信号很难提取或丢失,或让雷达提取一些难以识别的假信息,这就是人为干扰。即便是雷达操纵员知道了这些干扰,也无法剔除。因此,可以说雷达会受干扰,这是必然的现象。

(5) 雷达天线是雷达系统组成的重要分系统之一。它可以发射有用信号,也可接收有用信号,但它不可避免地要接收干扰信号。特别是雷达天线由于加工的误差和馈源的遮挡及口径上电流分布形式,不可避免地要产生副瓣,这就为掩护式的副瓣干扰提供了有利的条件,使掩护式干扰和航迹欺骗干扰有机可乘。

(6) 不论何种体制的雷达,它能够正常地提取有用信息,就必然有一个信噪比的要求,这个信噪比可能是大于 1,或是小于 1 或是等于 1。当干扰信号使它的信噪比不满足这个要求时,它就不能提取有用信息,或者说雷达受干扰了。这个信噪比或是干信比,不同体制的雷达有不同的要求。这个干信比在雷达的干扰中称为干扰压制系数,是计算雷达干扰等效功率时的重要依据之一。

不论民用还是军用,雷达都有着广泛的应用,许多民用方面的雷达在战时也属于军用的范畴。可以说在信息化作战中,没有雷达的支撑就没有远距离精确打击。但雷达又有自身存在的薄弱环节,使干扰有机可乘。因此,在信息化作战中,雷达和雷达对抗双方都是发展的重中之重,它在信息化作战中必然有一场恶战,谁能在雷达的对抗中获取主动,也将在战争中取得主动权。

第二次世界大战后的许多战例,例如,在越南战争中,地对空导弹制导雷达没有受干扰时,其命中概率为14%;受干扰后其命中概率降为1.4%;在第一次中东战争中,出现一种新频段的制导雷达,没有遇到干扰,在几天的作战中使以色列的飞机损失74架;在海湾战争中,美国有预警飞机雷达、作战飞机、电子战干扰飞机…而伊拉克有歼击航空兵、地对空导弹部队和其他地面部队,就是没有干扰部队。这使美国的飞机像进入无人之境,伊拉克地面防空武器打不准,歼击航空兵不敢起飞,使美国的航空兵在海湾战争中以零损失获取海湾战争的胜利。这些战例有力地说明,有无雷达对抗对战争的胜负和战争中的损失有巨大的影响。

1.1.6 雷达的频率

在第二次世界大战中,雷达的频率多数为100~200 MHz,德国最高的频率为600 MHz。发展到现在雷达和其他无线民用设备频率已从极低频发展到亚毫米波波段,如表1.1所示。

表 1.1 无线电频率范围及典型应用

3 kHz		30 kHz		300 kHz		3 MHz		30 MHz		300 MHz		3 GHz		30 GHz		300 GHz		1 000 GHz		太赫兹
甚低频		低频		中频		高频		甚高频		特高频		超高频		极高频						
全球通信		远程通信、广播						接力通信		卫星通信、卫星导航										
对潜艇通信、地质探测								移动通信				卫星遥感								
								雷达频段												

特别是雷达频段,在30 MHz~300 GHz范围内,都有雷达。在1 000 GHz频率附近,称太赫,这个 10^{12} Hz的频率,有许多和无线电频率不同的特点,有很强的穿透力。目前,各国正在研究它的特性和应用。在这宽广的电磁谱中,有很多用户,包括通信、卫星导航、广播电视、移动通信和雷达,为了降低相互影响,国际无线电委员会对雷达划定了一个频率范围,这对研究雷达对抗很有价值。由于雷达广泛用于军用,国际强权者不遵守这个规定也是可能的。所以,这个分配的专用雷达频率可作为参考,或为雷达干扰的优选频率。雷达标准频率见表1.2。

表 1.2 雷达标准频率

波 段	标准频率	分配的专用雷达频率
HF	3~30 MHz	
VHF	30~300 MHz	138~144 MHz 216~225 MHz
UHF	300~1 000 MHz	420~450 MHz 850~942 MHz
L	1~2 GHz	1 215~1 400 MHz
S	2~4 GHz	2 300~2 500 MHz 2 700~3 700 MHz
C	4~8 GHz	5 250~5 924 MHz