



高等学校
电子信息类 规划教材

国家级重点教材

雷达对抗原理

赵国庆 主编

西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

00009153

TN914

06



高等学校
电子信息类 规划教材

雷达对抗原理

赵国庆 主编

HK71/02



C0483941

西安电子科技大学出版社

1999

内 容 简 介

该书系统介绍了雷达对抗的基本原理,系统的组成,应用的主要技术等。全书共分9章。第1章介绍雷达对抗的基本定义和分类、雷达对抗的信号环境,雷达侦察、干扰设备的基本功能和组成;第2章、3章分别介绍对雷达信号频率、方向的测量,对雷达辐射源无源定位的方法;第4章讨论对雷达侦察信号处理的方法;第5章讨论雷达侦察的作用距离和截获概率;第6、7章分别讨论对雷达的遮盖性干扰和欺骗性干扰;第8章讨论干扰机的空间能量计算和重要的干扰技术;第9章介绍无源干扰技术。

此书可作为信息电子工程专业本科专业课教材,也适用于该专业方向的研究生、科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

雷达对抗原理/赵国庆主编. —西安:西安电子科技大学出版社,1999.10

高等学校电子信息类规划教材

ISBN 7-5606-0783-7

I. 雷… II. 赵… III. 雷达对抗-高等学校-教材 IV. TN974

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 43517 号

责任编辑 夏大平

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)8227828

邮编 710071

<http://www.xduph.com>

E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印 刷 西安长青印刷厂

版 次 1999年10月第1版 1999年10月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 14.5

字 数 336千字

印 数 1~4 000册

定 价 15.00元

ISBN 7-5606-0783-7/TN·0137

*** 如有印制问题可调换 ***

出版说明

为做好全国电子信息类专业“九五”教材的规划和出版工作，根据国家教委《关于“九五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》和《普通高等教育“九五”国家级重点教材立项、管理办法》，我们组织各有关高等学校、中等专业学校、出版社，各专业教学指导委员会，在总结前四轮规划教材编审、出版工作的基础上，根据当代电子信息科学技术的发展和面向 21 世纪教学内容和课程体系改革的要求，编制了《1996—2000 年全国电子信息类专业教材编审出版规划》。

本轮规划教材是由个人申报，经各学校、出版社推荐，由各专业教学指导委员会评选，并由我们与各专指委、出版社协商后审核确定的。本轮规划教材的编制，注意了将教学改革力度较大、有创新精神、有特色风格的教材和质量较高、教学适用性较好、需要修订的教材以及教学急需、尚无正式教材的选题优先列于规划。在重点规划本科、专科和中专教材的同时，选择了一批对学科发展具有重要意义，反映学科前沿的选修课、研究生课教材列入规划，以适应高层次专门人才培养的需要。

限于我们的水平和经验，这批教材的编审、出版工作还可能存在不少缺点和不足，希望使用教材的学校、教师、学生和其他广大读者积极提出批评和建议，以不断提高教材的编写、出版质量，共同为电子信息类专业教材建设服务。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按原电子工业部的《1996~2000年全国电子信息类专业教材编审出版规划》，由电子工程专业教学指导委员会编审、推荐出版。本教材由西安电子科技大学赵国庆教授担任主编，主审和责任编委为电子科技大学陈天麒教授。

本教材的参考学时为46~60学时，其主要内容共分为9章。第1章雷达对抗概述，介绍雷达对抗的基本概念和基本知识；第2、3、4、5章为雷达侦察部分，分别介绍对雷达信号频率的测量，对雷达信号到达方向的测量和定位，雷达侦察的信号处理，雷达侦察的作用距离和截获概率等。第6、7、8、9章为雷达干扰部分，分别介绍对雷达的遮盖性干扰、欺骗性干扰，干扰机的构成和干扰的能量计算与时间计算，以及对雷达的无源对抗技术。

本教材是在原西北电讯工程学院林象平等主编的《雷达对抗原理》教材(1985年出版)的基础上编写而成的。这次重新编写，根据近年来雷达对抗原理和技术的发展和电子工程专业教学改革的要求，对原版书进行了修改和增补，以力求反映雷达对抗的新思想、新理论、新概念和新技术，同时删除了一些有关设备构成以及具体技术实现等细节内容。

使用本教材时应注意以“雷达原理”、“信号与系统”、“统计信号处理”或“随机信号分析”等为先修课程。

本教材由赵国庆编写第3、4、5、7章，张正明编写第2、6章，林象平教授与赵国庆、张正明共同编写了第1、8、9章。参加审阅工作的还有电子科技大学的杨肇基老师、西安电子科技大学的杨绍全、魏本涛、梁百川等老师，他们都为本书提出了许多宝贵意见，在此表示诚挚的感谢。

由于编写者水平有限，书中难免还存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

1999年3月

目 录

第 1 章 雷达对抗概述	1
1.1 雷达对抗的基本概念及含义	1
1.1.1 雷达对抗的含义及重要性	1
1.1.2 雷达对抗的基本原理及主要技术特点	3
1.1.3 雷达对抗与电子战	3
1.2 雷达对抗的信号环境	4
1.2.1 现代雷达对抗信号环境的特点	5
1.2.2 信号环境在雷达对抗设备中的描述和参数	5
1.3 雷达侦察概述	6
1.3.1 雷达侦察的任务与分类	6
1.3.2 雷达侦察的技术特点	7
1.3.3 雷达侦察设备的基本组成	7
1.4 雷达干扰概述	8
1.4.1 雷达干扰技术的分类	8
1.4.2 雷达干扰设备的基本组成	10
习题一	11
参考文献	12
第 2 章 雷达信号频率的测量	13
2.1 概述	13
2.1.1 雷达信号频率测量的重要性	13
2.1.2 测频系统的主要技术指标	13
2.1.3 现代测频技术分类	15
2.2 频率搜索接收机	16
2.2.1 搜索式超外差接收机	16
2.2.2 射频调谐晶体视频接收机	19
2.2.3 频率搜索形式	19
2.2.4 频率搜索速度的选择	20
2.3 比相法瞬时测频接收机	22
2.3.1 微波鉴相器	23
2.3.2 极性量化器的基本工作原理	25
2.3.3 多路鉴相器的并行运用	26
2.3.4 对同时到达信号的分析与检测	27
2.3.5 测频误差分析	29

2.3.6 比相法瞬时测频接收机的组成及主要技术参数	29
2.4 信道化接收机	31
2.4.1 基本工作原理	31
2.4.2 信道化接收机存在的问题	33
2.4.3 信道化接收机的特点和应用	33
2.5 压缩接收机	34
2.5.1 Chirp 变换原理	34
2.5.2 表声波压缩接收机的工作原理	35
2.5.3 压缩接收机的参数	36
2.6 声光接收机	38
2.6.1 声光调制器	38
2.6.2 空域傅立叶变换原理	39
2.6.3 声光接收机的工作原理	41
2.6.4 声光接收机的主要特点	41
习题二	42
参考文献	43

第 3 章 雷达的方向测量和定位

3.1 概述	44
3.1.1 测向的目的	44
3.1.2 测向的方法	44
3.1.3 测向系统的主要技术指标	45
3.2 振幅法测向	46
3.2.1 波束搜索法测向技术	46
3.2.2 全向振幅单脉冲测向技术	49
3.2.3 多波束测向技术	52
3.3 相位法测向	54
3.3.1 数字式相位干涉仪测向技术	54
3.3.2 线性相位多模圆阵测向技术	56
3.4 对雷达的定位	58
3.4.1 单点定位	58
3.4.2 多点定位	60
习题三	68
参考文献	69

第 4 章 雷达侦察的信号处理

4.1 概述	70
4.1.1 信号处理的任务和主要技术要求	70
4.1.2 信号处理的基本流程和工作原理	73
4.2 对雷达信号时域参数的测量	74
4.2.1 t_{TOA} 的测量	74
4.2.2 τ_{PW} 的测量	76
4.2.3 A_P 的测量	77

4.3 雷达侦察信号的预处理	78
4.3.1 对已知雷达信号的预处理	78
4.3.2 对未知信号的预处理	84
4.4 对雷达信号的主处理	86
4.4.1 对已知雷达信号的主处理	86
4.4.2 对未知雷达信号的主处理	98
4.5 数字接收机和数字信号处理	100
4.5.1 数字接收机	100
4.5.2 数字测频	101
4.5.3 数字测向	102
4.5.4 信号脉内调制的分析	105
习题四	108
参考文献	110
第5章 雷达侦察作用距离与截获概率	111
5.1 侦察系统的灵敏度	111
5.1.1 切线信号灵敏度 P_{TSS} 和工作灵敏度 P_{OPS} 的定义	111
5.1.2 切线信号灵敏度 P_{TSS} 的分析计算	111
5.1.3 工作灵敏度的换算	115
5.2 侦察作用距离	115
5.2.1 简化侦察方程	116
5.2.2 修正侦察方程	116
5.2.3 侦察的直视距离	117
5.2.4 侦察作用距离 R_r 对雷达作用距离 R_a 的优势	117
5.2.5 对雷达旁瓣信号的侦察	118
5.3 侦察截获概率与截获时间	119
5.3.1 前端的截获概率和截获时间	119
5.3.2 系统截获概率和截获时间	121
习题五	122
参考文献	123
第6章 遮盖性干扰	124
6.1 概述	124
6.1.1 遮盖性干扰的作用和分类	124
6.1.2 遮盖性干扰的效果度量	125
6.1.3 最佳遮盖干扰波形	126
6.2 射频噪声干扰	128
6.2.1 射频噪声干扰对雷达接收机的作用	128
6.2.2 射频噪声干扰对信号检测的影响	131
6.3 噪声调幅干扰	134
6.3.1 噪声调幅干扰的统计特性	134
6.3.2 噪声调幅干扰对雷达接收机的作用	136
6.3.3 噪声调幅干扰对信号检测的影响	138

6.4 噪声调频干扰	141
6.4.1 噪声调频干扰的统计特性	142
6.4.2 噪声调频干扰对雷达接收机的作用	145
6.4.3 噪声调频干扰对信号检测的影响	148
6.5 噪声调相干扰	152
6.5.1 噪声调相干扰的统计特性	152
6.5.2 影响噪声调相干扰信号效果的因素	154
6.6 脉冲干扰	155
习题六	156
156 参考文献	157

第7章 欺骗性干扰 158

7.1 概述	158
7.1.1 欺骗性干扰的作用	158
7.1.2 欺骗性干扰的分类	159
7.1.3 欺骗性干扰的效果度量	160
7.2 对雷达距离信息的欺骗	161
7.2.1 雷达对目标距离信息的检测和跟踪	161
7.2.2 对脉冲雷达距离信息的欺骗	164
7.2.3 对连续波调频测距雷达距离信息的欺骗	167
7.3 对雷达角度信息的欺骗	169
7.3.1 雷达对目标角度信息的检测和跟踪	169
7.3.2 对圆锥扫描角度跟踪系统的干扰	174
7.3.3 对线性扫描角度跟踪系统的干扰	177
7.3.3 对单脉冲角度跟踪系统的干扰	179
7.4 对雷达速度信息的欺骗	183
7.4.1 雷达对目标速度信息的检测和跟踪	183
7.4.2 对测速跟踪系统的干扰	187
7.5 对跟踪雷达 AGC 电路的干扰	190
7.5.1 跟踪雷达 AGC 电路	190
7.5.2 对 AGC 控制系统的干扰	191
习题七	192
参考文献	193

第8章 干扰机构成及干扰能量计算 194

8.1 干扰机的基本组成和主要性能要求	194
8.1.1 干扰机的基本组成	194
8.1.2 干扰机的主要性能要求	196
8.2 干扰机的有效干扰空间	198
8.2.1 干扰方程	198
8.2.2 干扰机的时间计算	200
8.3 干扰机的收发隔离和效果监视	201
8.3.1 收发隔离	202

8.3.2 效果监视	203
8.4 射频信号存储技术	203
8.4.1 模拟储频技术(ARFM)	204
8.4.2 数字储频技术(DRFM)	206
8.5 载频移频技术	208
8.5.1 由行波管移相放大器构成的载频移频电路	209
8.5.2 由固态移相器构成的载频移频电路	210
习题八	211
参考文献	212

第 9 章 对雷达的无源对抗技术

9.1 箔条干扰	213
9.1.1 箔条干扰的一般特性	213
9.1.2 箔条的有效反射面积	214
9.1.3 箔条的频率响应	215
9.1.4 箔条干扰的极化特性	215
9.1.5 箔条回波信号的频谱	215
9.1.6 箔条的战术应用	216
9.2 反射器	217
9.2.1 角反射器	217
9.2.2 龙伯透镜反射器	219
9.3 假目标和雷达诱饵	219
9.3.1 带有发动机的假目标	220
9.3.2 火箭式雷达诱饵	220
9.3.3 投掷式雷达诱饵	220
9.3.4 拖曳式雷达诱饵	220
9.4 隐身技术	221
习题九	221
参考文献	221

第 1 章 雷达对抗概述

现代军事技术的一个重要特点，就是各种武器装备越来越广泛地采用和依赖于无线电电子技术。各种武器装备威力的发挥，战区的监视和警戒，诸兵种协同作战的调配、联系、指挥和控制等，都越来越多地依赖于雷达的效能。雷达对抗的目的就是通过对雷达的侦察和干扰，获取敌方武器装备、兵力部署、作战指挥等方面的重要情报；在重要的战斗和战役进程中，使敌方的武器系统失效、指挥控制失灵，为消灭敌人、保存自己、取得战争胜利创造条件。

本书着重阐述雷达对抗的基本原理，主要的雷达对抗技术实现方法、技术指标要求，以及雷达对抗系统的组成、信号处理和参数选择等。

1.1 雷达对抗的基本概念及含义

1.1.1 雷达对抗的含义及重要性

在现代战争中，每一个作战装备和作战人员都会因其在战争中的地位和作用而受到多种雷达和武器系统的威胁、杀伤。如图 1-1 所示的一架作战飞行中的军用飞机，可能会同时遭受到敌方数种雷达、杀伤武器的威胁。如果它及所在方不能有效地对抗敌方诸多的威胁雷达和武器系统，则其不仅不能完成预定的作战任务，甚至不能保证自己的生存。

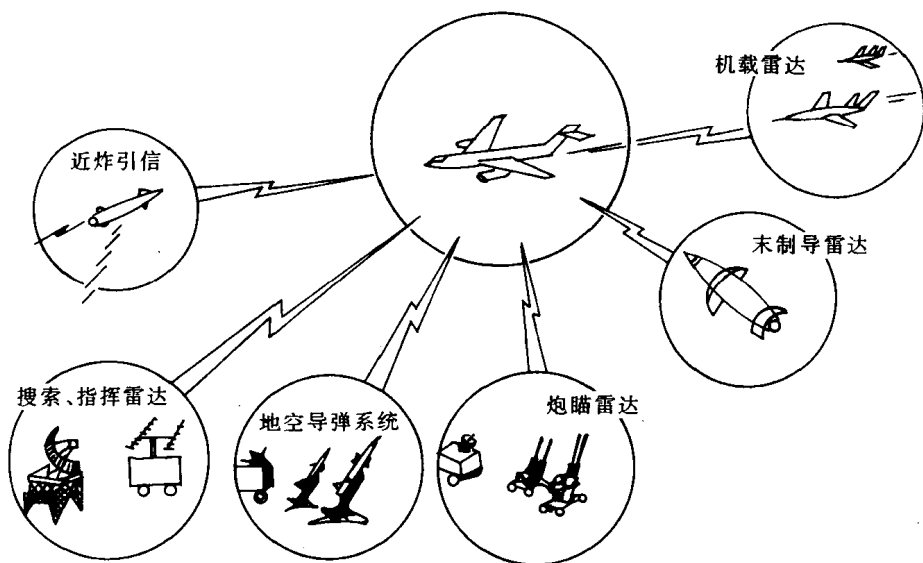


图 1-1 飞机所面临的威胁雷达示意图

雷达对抗是一切从敌方雷达及其武器系统获取信息(雷达侦察),破坏或扰乱敌方雷达及其武器系统的正常工作(雷达干扰和雷达攻击)的战术、技术措施的总称。

雷达对抗在现代战争中处于举足轻重、日益重要的地位。其主要表现在以下两方面:

1. 雷达对抗是取得军事优势的重要手段和保证

由于在各种现代武器系统中,雷达仍然是信息获取和精确制导领域中最重要装备。特别是在广大的作战地域内,及时、准确、全面地获取各种目标信息,雷达的作用是不可取代的。破坏了雷达的正常工作,也就破坏了整个武器系统的重要信息来源,很可能使其成为“聋子”、“瞎子”。这对于取得军事优势,无疑是十分重要的。

第二次世界大战中的诺曼底登陆战役,英美联军通过雷达侦察完全掌握了德军在此战区 40 多部雷达的工作频率、性能和配置,然后进行大规模的火力轰炸,制造假的进攻方向。在进攻开始后,又进行了连续不断的干扰和轰炸,使雷达完全陷于瘫痪,根本不能提供任何有用的信息。此次战役参战的 2127 艘舰船,只损失了 6 艘,损失率不到 0.3%。

海湾战争中,以美国为首的多国部队凭借高科技的优势,从战争开始前数周至战争结束,对伊军的整个战区进行了连续不断的电子侦察和强大的电子干扰,不仅使伊军的全部雷达无法正常工作,通信中断,指挥失灵,甚至成为招致各种反辐射武器直接攻击的靶源,损失惨重。这场战争仅持续两个月,双方的人员损失分别为百余人比数十万人,开创了世界军事史上的奇迹,也充分展示了现代高科技战争的威力。

2. 雷达对抗是每一种武器系统和军事目标生存与发展的必不可少的自卫武器

在现代战场上,对每一种武器系统和军事目标(包括作战人员)的直接威胁,主要来自于精确攻击武器。这里的精确是一个相对的概念,是指精确到武器的有效杀伤范围之内。而攻击武器的精确性能主要是依靠一系列的雷达和电子设备保障的。例如,在现代防空系统中,首先需要有远程警戒雷达预先提供敌方来袭飞机、导弹的批量、距离、方向等有关的情报,供防空指挥部门核实后,发出空情预报,作出预防处理;然后由目标指示、引导雷达准确核对目标的编队数量、位置、威胁的空域等,引导我方机群或远程防空导弹进行空中拦截;当来袭飞机、导弹进入一定的作战空域之后,由各种制导雷达、炮瞄雷达指挥控制中、近程防空导弹和防空火炮进行拦截射击。如果没有干扰,则防空导弹一次齐射(约为三发)的杀伤概率为 90%以上,防空火炮一次点射(约为 36 发)的杀伤概率为 80%以上。为了对付超低空突防的飞机(飞行高度在 300 米以下),由侦察卫星、预警飞机上的下视雷达担任早期预警和目标指示,由各种车载、步兵便携式雷达担任低空补盲。步兵肩扛发射的防空导弹杀伤概率也在 50%以上。显然,没有现代雷达对抗技术支持的作战飞机只能是空中的活靶,难以生存。

雷达对抗技术是改善武器系统和军事目标生存与发展条件的有效手段。越南战争中,美军综合采用了多种雷达对抗措施,曾一度使地空导弹的杀伤概率降到 2%,防空火炮的杀伤概率降到 0.5%以下;海湾战争中,美军的 F-117A 隐形轰炸机出动数千架次,执行防空火力最强地区的轰炸任务,在强大的电子干扰掩护下,竟然无一损失。

现代战争和未来战争也是一场在高科技支持下的高度信息化的战争,从每一个荷枪实弹的士兵到整个战场的指挥控制,每一个作战单元都是依靠详尽的作战信息紧密联系在一起的。雷达和雷达对抗技术作为其中信息来源的重要支柱,无疑具有广阔的发展前景。

1.1.2 雷达对抗的基本原理及主要技术特点

雷达对抗是与雷达紧密联系在一起的。众所周知，雷达为了获取目标信息，必须首先将高功率的电磁波能量照射到目标上；由于目标的电磁散射特性，将对照射能量产生相应的调制和散射；雷达接收到目标调制后的一部分微弱的散射信号，再根据收发信号调制的相对关系，解调出目标信息。

雷达对抗的基本原理如图 1-2 所示。雷达对抗设备中的侦察设备接收雷达发射的直达信号，测量该雷达的方向、频率和其它调制参数，然后根据已经掌握的雷达信号先验信息和先验知识，判断该雷达的功能、工作状态和威胁程度等，并将各种信号处理的结果提供给干扰机和其它有关的设备。由此可见，实现雷达侦察的基本条件是：① 雷达向空间发射信号；② 侦察接收机接收到足够强的雷达信号；③ 雷达信号的调制方式和调制参数位于侦察机信号检测处理的能力和范围之内。

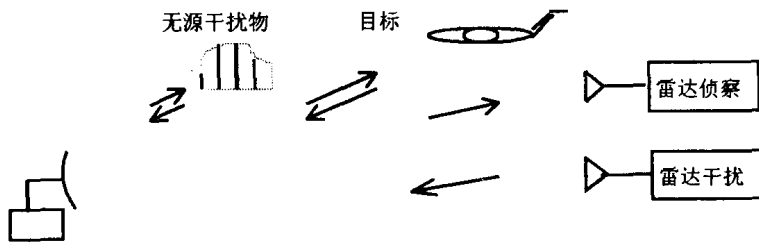


图 1-2 雷达对抗的基本原理示意图

根据雷达对目标信息检测的过程，对雷达干扰的基本方法包括：① 破坏雷达探测目标的电波传播路径；② 产生干扰信号进入雷达接收机，破坏或扰乱雷达对目标信息的正确检测；③ 减小目标的雷达截面积等。本书主要阐述图 1-2 中各种干扰信号的产生技术，以及它们进入雷达接收机后破坏或扰乱对目标信息正确检测的原理。

雷达对抗的主要技术特点是：

1. 宽频带、大视场

雷达对抗要能够作用于广阔地域内各种工作频率的雷达，对抗具有众多威胁雷达的信号环境。因此，雷达对抗设备的工作视场往往是半空域或者全空域，工作带宽往往是倍频程或多倍频程的。

2. 瞬时信号检测、测量和高速信号处理

由于雷达信号大多为射频脉冲，持续时间很短。雷达侦察设备预先并不知道雷达信号的调制特性、到达的时间和空间等，在信号严重失配的情况下，对于射频脉冲信号的检测、测量等都必须短暂的脉冲期间内完成。导弹末制导雷达、近炸引信等武器设备的发射信号时间很短，要求雷达对抗系统的信号处理必须尽快完成，及时作出有效的反应。

1.1.3 雷达对抗与电子战

电子战(EW)是敌我双方利用电磁能定向能以破坏敌方武器装备对电磁频谱、电磁信息的利用或对敌武器装备和人员进行攻击和杀伤，同时保障己方武器装备效能的正常发

挥和人员的安全而采取的军事行动。

电子战包括两个相互斗争的方面：电子对抗(ECM，包括电子侦察、电子干扰、电子隐身和电子摧毁)和电子反对抗(ECCM，包括电子反侦察、电子反干扰、电子反隐身和电子反摧毁)。电子干扰、电子摧毁也统称为电子进攻，电子反侦察、电子反干扰、电子反摧毁也统称为电子防护。电子战的技术分支很多，通常按照具体的无线电电子设备或器材进行分类，如：通信对抗与反对抗、雷达对抗与反对抗、光电对抗与反对抗、引信对抗与反对抗、敌我识别系统的对抗与反对抗、C³I(通信、指挥、控制和情报)系统的对抗与反对抗等。

从频域上分为：射频对抗、光电对抗和声学对抗。各频段的划分如图 1 - 3 所示。

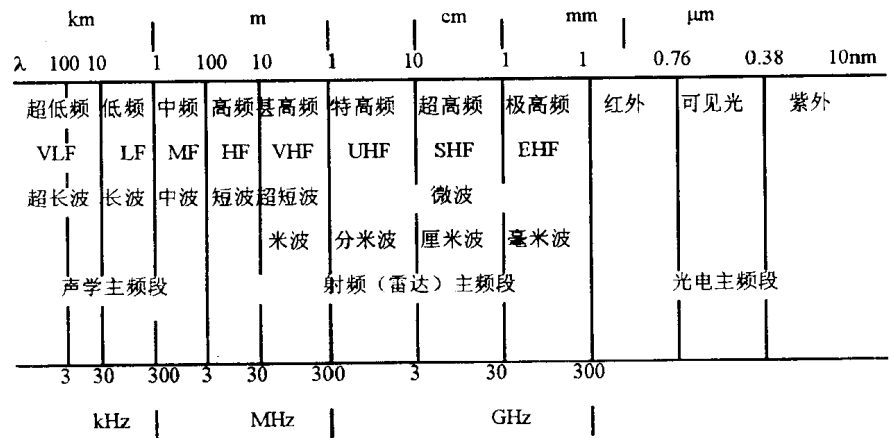


图 1 - 3 电子对抗的频段划分

1. 射频对抗

射频对抗的频率范围为 3 MHz~300 GHz，是雷达、通信、导航、敌我识别、无线电引信、制导等设备工作的主要频段。

2. 光电对抗

光电对抗的频率范围在 300 GHz 以上，可分为红外、可见光和激光等子频段，是近距离精确制导武器和高定向能武器工作的主要频段。

3. 声学对抗

声学对抗主要用于水下信息的对抗。从次声波至超声波，是声纳、水下导航定位设备工作的主要频段。

1.2 雷达对抗的信号环境

雷达对抗的信号环境 S 是指雷达对抗设备在其所在地域内存在的各种辐射、散射信号的全体：

$$S = \bigcup_{i=0}^{N-1} s_i(t) \quad (1-1)$$

式中， N 为信号环境 S 中辐射、散射源的数量； $s_i(t)$ 为其中第 i 个辐射、散射源的信号。

1.2.1 现代雷达对抗信号环境的特点

1. 辐射源的数量多、分布密度大、分布范围宽、信号交叠严重

由于雷达的广泛应用,许多作战飞机、舰艇、战车和作战单位都配有一定数量的雷达,分布范围很大,特别是在重要的军事集结地,雷达的分布十分密集, N 的数值往往为数十、数百甚至上千。在单位时间内出现的脉冲信号平均数少则数万,多则数百万,在同一时间可能有多个信号同时出现(交叠)。

2. 信号调制复杂,参数多变、快变

雷达通过信号调制波形和参数的选择与变化,可以获得诸多目标信息检测和抗干扰等方面的利益。随着信号产生技术和处理技术的发展,一部雷达往往能够根据需要,产生多种不同调制特性的波形,特别是在脉冲持续时间内的频率和相位调制;此外,出于反侦察、抗干扰等的需要,许多雷达都可以改变发射信号的载频、脉冲重频、脉冲波形或其它调制参数;这种变化的时间可能是数秒、数十毫秒,甚至到每个发射脉冲都发生捷变。

3. 信号综合威胁程度高

现代雷达与各种杀伤性武器系统的结合十分紧密,如制导雷达、炮瞄雷达、反辐射寻的等,都直接威胁到雷达对抗设备和人员的生存。由于受到杀伤性武器系统威力范围的限制,这些雷达往往在目标尚未进入攻击范围时保持电磁静默(不发射),由其它探测设备提供信息保障,一旦目标进入攻击范围则立即投入工作,迅速捕获目标,引导武器攻击。

1.2.2 信号环境在雷达对抗设备中的描述和参数

如(1-1)式所示,信号环境 S 是由 N 个辐射源和散射源组成的。如果主要考虑其中的雷达信号辐射源,则辐射源信号 $s_i(t)$ 可顺序展开其射频脉冲序列:

$$s_i(t) = \{s_i(n)\}_{n=1}^{\infty} \quad (1-2)$$

式中的 $s_i(n)$ 为 $s_i(t)$ 的第 n 个脉冲。

雷达对抗设备是以 S 为工作背景,从 S 中获取有用信息,并对 S 作出适当反应的设备。根据不同用途和战技指标的要求,具体雷达对抗设备对 S 的检测能力是一有限子空间 D ,如:

$$D = \{\Omega_{RF} \otimes \Omega_{AOA} \otimes \Omega_{PW} \otimes \Omega_P\} \quad (1-3)$$

式中, Ω_{RF} 、 Ω_{AOA} 、 Ω_{PW} 、 Ω_P 分别为雷达对抗设备对信号载频、到达方向、脉冲宽度和信号功率的检测范围, $\otimes$ 为直积。 D 可以是非时变的(通常称为非搜索检测),也可以是时变的(通常称为搜索检测)。雷达对抗设备可检测的信号环境 S' 是 S 中的子集合:

$$S' = \bigcup_{i=0}^{N-1} \{s_i(n) | s_i(n) \in D\}_{n=1}^{\infty} \quad (1-4)$$

显然, D 的检测范围越大,则进入 S' 的雷达信号也越多。如果以 P_i 表示 i 雷达发射脉冲可被雷达对抗设备检测的概率,则在1秒钟时间内 S' 中的平均脉冲数 λ 为

$$\lambda = \sum_{i=0}^{N-1} P_i f_{ri} \quad (1-5)$$

式中, f_{ri} 为第 i 部雷达的平均脉冲重复频率。在典型情况下,如果 i 雷达的工作频率、所在方向、脉冲宽度都在雷达对抗设备的检测范围内,只要其天线波束指向雷达对抗设备,接

收到的信号功率就能高于接收机灵敏度, 则 P_i 为

$$P_i = \begin{cases} 0 & \text{波束始终不指向雷达对抗设备} \\ 1 & \text{波束始终指向雷达对抗设备} \\ \frac{\theta_a}{\Omega_\theta} & \text{波束宽度 } \theta_a \text{ 在 } \Omega_\theta \text{ 范围内扫描} \end{cases} \quad (1-6)$$

S' 是 N 个具有周期特性的脉冲信号序列 $\{s_i\{n\}\}_{n=1, i=0}^{\infty, N-1}$ 按照 (1-4) 式条件的合成。当 N 的数量很大时, 由于各信号序列的到达时间是相互独立的, 在一定时间内近似满足统计平稳性和无后效性, 根据随机过程理论, S 可以采用泊松(Poisson)流近似描述。

在时间 τ 内到达 n 个脉冲的概率

$$P_n(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^n}{n!} e^{-\lambda\tau} \quad \tau \geq 0; n = 0, 1, \dots \quad (1-7)$$

在 τ 时间内到达脉冲的平均值(均值)为

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_n(\tau) n = \lambda\tau \quad (1-8)$$

λ 为单位时间($\tau = 1$ s)内到达脉冲的平均值, 也称为 S' 的信号流密度。

1.3 雷达侦察概述

1.3.1 雷达侦察的任务与分类

雷达侦察的目的就是从敌方雷达发射的信号中检测有用的信息, 并且与其它手段获取的信息综合在一起, 引导我方作出及时、准确、有效的反应。

按照侦察的具体任务, 雷达侦察主要分为以下 5 类。

1. 电子情报侦察(ELINT)

“知己知彼, 百战百胜”, 这是古今中外都适用的科学真理。军事情报是作战、指挥、决策的基础。电子情报侦察属于战略情报侦察, 要求其获得广泛、全面、准确的技术和军事情报, 提供给高级决策指挥机关和中心数据库各种详实的数据。雷达情报侦察是信息的重要来源, 在平时和战时都要进行, 主要由侦察卫星、侦察飞机、侦察舰船、地面侦察站等来完成。为了减轻侦察平台的有效载荷, 许多 ELINT 侦察设备的信号截获、记录与信号处理是异地进行的, 通过数据通信链联系在一起。为了保证情报的可靠性和准确性, 电子情报侦察允许有较长的信号处理时间。

2. 电子支援侦察(ESM)

电子支援侦察属于战术情报侦察, 其任务是为战术指挥员和有关的作战系统, 提供当前战场上敌方电子装备的准确位置、工作参数及其转移变化等, 以便指战员和有关的作战系统采取及时、有效的战斗措施。电子支援侦察一般由作战飞机、舰船和地面机动侦察站担任, 对它的特殊要求是快速、及时, 对威胁程度高的特定雷达信号优先进行处理。

3. 雷达寻的和告警(RHAW)

用于作战平台(如飞机、舰艇和地面机动部队)的自身防护。雷达寻的和告警的作用对

象主要是对本平台有一定威胁程度的敌方雷达和来袭导弹，RHAW 连续、实时、可靠地检测它们的存在、所在方向和威胁程度，并且通过声音或显示等措施向作战人员告警。

4. 引导干扰

所有雷达干扰设备都需要有侦察设备提供威胁雷达的方向、频率、威胁程度等有关的参数，以便根据所辖干扰资源的配置和能力，选择合理的干扰对象，选择最有效的干扰样式和干扰时机。在干扰实施的过程中，也需要由侦察设备不断地监视威胁雷达环境和信号参数的变化，动态地调控干扰样式和干扰参数以及分配和管理干扰资源。

5. 引导杀伤武器

通过对威胁雷达信号环境的侦察和识别，引导反辐射导弹跟踪某一选定的威胁雷达，直接进行攻击。

1.3.2 雷达侦察的技术特点

1. 作用距离远、预警时间长

雷达接收的是目标对照射信号的二次反射波，信号能量反比于距离的四次方；雷达侦察接收的是雷达的直接照射波，信号能量反比于距离的二次方。因此，侦察机的作用距离都远大于雷达的作用距离，一般在 1.5 倍以上，从而使侦察机可以提供比雷达更长的预警时间。

2. 隐蔽性好

向外界产生的信号辐射，容易被敌方的信号侦收设备发现，不仅可能造成信息的泄露，甚至可能招来致命的攻击。辐射信号越强越容易被发现，也就越危险。从原理上说，雷达侦察只接收外界的辐射信号，因此具有良好的隐蔽性和安全性。

3. 获取的信息多而准

雷达侦察所获取的信息直接来源于雷达的发射信号，受其它环节的“污染”少，信噪比高，因此信息的准确性较高。雷达信号细微特征分析技术，能够分析同型号不同雷达信号特征的微小差异，建立雷达“指纹”库。雷达侦察本身的宽频带、大视场特点又广开了信息的来源，使雷达侦察的信息非常丰富。

雷达侦察也有一定的局限性，如：情报获取依赖于雷达的发射，单侦察站不能准确测距等。因此，完整的情报保障系统仍然需要有源、无源多种技术手段配合，取长补短，才能更有效地发挥作用。

1.3.3 雷达侦察设备的基本组成

典型雷达侦察设备的基本组成如图 1-4 所示。

测向天线阵覆盖雷达侦察设备的测角范围 Ω_{AOA} ，并与测向接收机组成对雷达信号脉冲到达角 θ_{AOA} 的检测和测量系统，实时输出检测范围内每个脉冲的到达角数据 (θ_{AOA})；测频天线的角度覆盖范围也是 Ω_{AOA} ，它与测频接收机组成对其它脉冲参数的检测和测量系统，实时输出检测范围内每个脉冲的载频 (f_{RF})、到达时间 (t_{TOA})、脉冲宽度 (τ_{PW})、脉冲功率或幅度 (A_P) 数据，有些雷达侦察设备还可以实时检测脉内调制，输出脉内调制数据 (F)，这