

高等学校电子信息类教材

通信对抗原理及应用

Principles and Applications
of Communications Countermeasures

© 邓兵 张韞 李炳荣 编著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

高等学校电子信息类教材

通信对抗原理及应用

Principles and Applications of Communications Countermeasures

邓 兵 张 韞 李炳荣 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书系统地阐述了通信对抗侦察、通信干扰的基本原理。主要包括：通信侦察天线与接收机、通信对抗信号处理、通信侦察信号特征提取、通信侦察信号分析识别、通信辐射源测向与定位、通信干扰原理、基本通信干扰方式、通信干扰方程与通信干扰压制区、对新体制通信系统的侦察和干扰等。

本书既可作为高等院校信息对抗相关专业本科生、研究生的教学用书，也可作为电子信息领域科研人员和部队信息对抗岗位任职人员的参考用书。

本书电子教学课件（PPT 文档）可从华信教育资源网（www.hxedu.com.cn）免费注册后下载，或者通过与本书责任编辑（zhangls@phei.com.cn）联系获取。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

通信对抗原理及应用/邓兵，张韞，李炳荣编著. —北京：电子工业出版社，2017.1

高等学校电子信息类教材

ISBN 978-7-121-30448-4

I. ①通… II. ①邓… ②张… ③李… III. ①通信对抗—高等学校—教材 IV. ①TN975

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 282963 号

责任编辑：张来盛（zhangls@phei.com.cn）

印 刷：北京京科印刷有限公司

装 订：北京京科印刷有限公司

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1 092 1/16 印张：16.25 字数：426 千字

版 次：2017 年 1 月第 1 版

印 次：2017 年 1 月第 1 次印刷

印 数：2 500 册 定价：49.80 元

凡购买电子工业出版社的图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：（010）88254467；zhangls@phei.com.cn。

前 言

通信对抗是夺取信息化战场电磁频谱控制权的主要手段，也是信息对抗研究的重要领域。为适应信息对抗相关专业人才培养需求，在总结多年通信对抗领域科研和教学成果，并汲取国内外优秀研究成果的基础上，我们完成了本书的编写工作。

作为面向信息对抗相关专业本科学员的教学用书，本书在内容设置上突出通信对抗理论知识的系统化、条理化，强调理论与应用的紧密结合。它围绕通信信号的截获、信号参数测量与特征提取、信号分选与识别、通信辐射源测向与定位，系统地阐述通信对抗侦察的基本原理；围绕电磁波传播特性、通信技术体制分析、通信干扰样式、通信干扰方程等方面，系统地阐述通信干扰的基本原理；针对新体制通信的侦察与干扰进行了系统的介绍。通过合理的内容设置，既立足通信对抗的理论基础，又紧跟通信对抗的理论前沿；既揭示通信对抗的客观规律，又突出通信对抗的理论分析方法。

本书内容共分 12 章。第 1 章，系统地阐述通信对抗的基本概念和通信对抗系统的基本组成、一般功能及典型战技要求；第 2 章至第 8 章，以通信对抗侦察为主线，系统地阐述侦察接收机的类型、原理和技术特点，通信对抗侦察数字信号处理的关键技术，通信信号参数测量、特征提取、信号分选、分析识别的流程与方法，通信侦察测向天线特性、通信辐射源测向与定位的基本方法；第 9 章至第 11 章，以通信干扰为主线，系统地阐述了通信干扰的干扰体制、干扰方法，进行了通信干扰样式、通信干扰方程和通信有效干扰压制区分析；第 12 章介绍了对新体制通信系统进行侦察和干扰的方法。

本书由邓兵、张韞和李炳荣共同编著。其中，张韞编写了第 11、12 章，李炳荣编写了第 8、9 章，邓兵编写了其余各章并对全书进行统稿。在编写过程中，田文飏老师参与了部分图表的仿真和绘制工作，在此表示衷心的感谢。

本书的出版得到了国家自然科学基金（No.61571454、No.60902054）和海军院校重点建设课程及海军航空工程学院百门精品课程立项培育的资助。

由于资料和时间限制，书中难免出现不完善之处，诚请使用单位和读者批评指正。

编著者

2016 年 10 月

目 录

第1章 通信对抗概述	1
1.1 基本概念.....	1
1.1.1 通信对抗的含义与基本内容.....	1
1.1.2 通信对抗的作用与发展.....	1
1.2 通信对抗系统.....	2
1.2.1 概述.....	2
1.2.2 通信对抗侦察系统.....	4
1.2.3 无线电通信干扰系统.....	6
1.2.4 综合通信对抗系统.....	8
小结.....	9
习题.....	10
第2章 通信侦察接收机	11
2.1 通信对抗侦察.....	11
2.1.1 通信对抗侦察的含义、任务及特点.....	11
2.1.2 通信对抗侦察的分类和基本步骤.....	11
2.1.3 通信对抗侦察的关键技术和发展趋势.....	12
2.2 频率测量的技术指标和分类.....	13
2.2.1 频率测量的主要技术指标.....	14
2.2.2 频率测量技术分类.....	14
2.3 常规超外差搜索接收机.....	15
2.3.1 全景显示搜索接收机.....	15
2.3.2 监测侦听分析接收机.....	18
2.4 压缩接收机.....	19
2.4.1 问题的提出.....	19
2.4.2 压缩接收机的基本原理.....	20
2.4.3 压缩接收机的主要特点.....	23
2.5 信道化接收机.....	24
2.5.1 多波道接收机工作原理.....	24
2.5.2 信道化接收机分类.....	25
2.5.3 信道化接收机的特点与应用.....	28
2.6 声光接收机.....	29
2.6.1 声光调制器.....	29
2.6.2 声光接收机工作原理.....	30
2.6.3 声光接收机的特点.....	30
2.7 数字接收机.....	31
2.7.1 射频数字化.....	31
2.7.2 基带数字化.....	32
2.7.3 中频数字化.....	32

小结	33
习题	34
第3章 通信对抗侦察信号处理	35
3.1 概述	35
3.2 数字频谱分析	35
3.2.1 模拟信号的数字化	35
3.2.2 数字频谱分析	37
3.2.3 DFT (FFT) 的几种应用方式	40
3.3 数字滤波	43
3.3.1 数字滤波基础	43
3.3.2 窗函数加权	46
3.4 频率信道化	49
3.4.1 用 FFT 直接实现频率信道化	49
3.4.2 相关讨论	50
3.5 正交变换	55
3.5.1 采用正交混频实现正交变换	55
3.5.2 采用希尔伯特变换实现正交变换	57
小结	60
习题	60
第4章 通信侦察信号特征提取	62
4.1 通信信号特征概述	62
4.1.1 通信信号特征分类	62
4.1.2 通联特征	63
4.1.3 技术特征	64
4.2 通信信号常规技术参数测量	68
4.2.1 信号载频的测量	69
4.2.2 信号带宽的测量	70
4.2.3 信号的电平测量	71
4.2.4 AM 信号的调幅度测量分析	71
4.2.5 FM 信号的频偏测量	72
4.2.6 通信信号的瞬时参数分析	72
4.2.7 MFSK 信号频移间隔测量分析	75
4.2.8 码元速率估计	76
小结	80
习题	81
第5章 通信侦察信号分析识别	82
5.1 信号分析识别的内容	82
5.2 通信信号自动识别的方法	82
5.2.1 特征参数值域判别法	82
5.2.2 信号模本匹配法	83
5.3 通信调制方式的识别	86

5.3.1	概述	86
5.3.2	信号调制方式自动识别举例(一)	88
5.3.3	信号调制方式自动识别举例(二)	89
小结		97
习题		98
第6章	测向天线	99
6.1	概述	99
6.1.1	线天线	100
6.1.2	口径天线	104
6.1.3	有源天线和阵列天线	105
6.2	环形天线	106
6.2.1	环形天线的方向性	107
6.2.2	环形天线的有效高度	109
6.3	艾德考克天线	109
6.3.1	艾德考克天线的方向性	110
6.3.2	艾德考克天线的优缺点及使用场合	111
6.4	角度计天线	111
6.5	阵列天线	112
6.5.1	通常情况下的数学模型	113
6.5.2	阵列天线的方向特性	114
小结		116
习题		116
第7章	通信辐射源测向	117
7.1	无线电通信测向的基本概念	117
7.1.1	无线电通信测向的含义	117
7.1.2	测向设备的组成与分类	118
7.1.3	测向设备的主要性能指标	121
7.1.4	无线电测向的主要用途和在通信对抗中的地位	122
7.2	测向原理	123
7.2.1	最小信号法	123
7.2.2	最大信号法	123
7.2.3	振幅比较法	124
7.2.4	相位法测向	129
小结		140
习题		141
第8章	通信辐射源定位	142
8.1	概述	142
8.2	多站无源定位	142
8.2.1	测向交叉定位	142
8.2.2	时差定位	146
8.3	单站无源定位	149

8.3.1	单站测向定位	150
8.3.2	多普勒定位	151
8.3.3	相位差定位	153
小结		156
习题		156
第9章	通信干扰原理	157
9.1	通信干扰的形成	157
9.2	干扰信号特性	158
9.2.1	通信干扰的基本概念	158
9.2.2	通信干扰的特点	162
9.3	影响干扰效果的因素及最佳干扰	162
9.3.1	有效干扰的基本准则	162
9.3.2	通信干扰能力	164
9.4	通信干扰的分类	164
9.5	常规通信信号干扰样式分析	165
9.5.1	概述	165
9.5.2	对 AM 通信信号的干扰	169
9.5.3	对 FM 通信信号的干扰	174
9.5.4	对 SSB 通信信号的干扰	177
9.5.5	对 2ASK 通信信号的干扰	180
9.5.6	对 2FSK 通信信号的干扰	183
9.5.7	对 2PSK 通信信号的干扰	188
小结		193
习题		193
第10章	基本干扰方式	194
10.1	通信干扰体制	194
10.1.1	瞄准式干扰	194
10.1.2	拦阻式干扰	195
10.1.3	多目标干扰	196
10.2	通信干扰样式	199
10.2.1	噪声调制类干扰	199
10.2.2	音频干扰	200
10.2.3	梳状谱干扰	200
10.2.4	部分频带噪声干扰	201
10.2.5	脉冲干扰	202
10.2.6	相关型干扰	203
小结		204
习题		204
第11章	通信干扰方程	205
11.1	电波传播方式与传播衰耗	205
11.1.1	不同频段电波传播特点	205

11.1.2	电波传播方式	206
11.1.3	电波传播衰耗	208
11.2	通信干扰方程与通信干扰有效辐射功率	211
11.2.1	通信干扰方程	211
11.2.2	通信干扰有效辐射功率	213
11.3	通信有效干扰压制区	214
	小结	219
	习题	219
第 12 章	对新体制通信系统的侦察和干扰	221
12.1	对直扩通信的侦察和干扰	221
12.1.1	直扩通信的基本概念	221
12.1.2	直扩信号的侦察	222
12.1.3	直扩通信的干扰	225
12.2	对跳频通信的侦察和干扰	229
12.2.1	跳频通信基本概念	229
12.2.2	跳频序列	231
12.2.3	跳频网台的组网方式	232
12.2.4	跳频同步的方法	233
12.2.5	跳频信号的侦察	235
12.2.6	跳频通信的干扰	241
	小结	246
	习题	246
	参考文献	248

第1章 通信对抗概述

1.1 基本概念

1.1.1 通信对抗的含义与基本内容

通信对抗是为削弱、破坏敌方无线电通信系统的作战使用效能和保障己方无线电通信系统正常发挥使用效能所采取的战术技术措施和行动的总称。其实质是敌对双方在无线电通信领域内为争夺无线电频谱控制权而开展的电磁波斗争。

在无线电通信过程中，通信发射机向空间辐射载有信息的无线电信号，而作为通信对象的接收机，则从复杂的电磁环境中检测出有用的信息。这种开放式的发射和接收通信信号的特点是实施无线电通信对抗的基础。无线电通信对抗涉及军用无线电通信的所有波段、所有通信体制和通信方式。

通信对抗的实施应包括技术措施和对技术装备的作战应用两个方面。技术装备是实施通信对抗的物质基础；而合理的战术组织和运用，则可以更加充分地发挥技术装备的作用。

从广义上讲，通信对抗的基本内容包括三部分：无线电通信对抗侦察（简称通信对抗侦察）、无线电通信干扰（简称通信干扰）和无线电通信电子防御（简称通信电子防御）。

通信对抗侦察是使用通信侦察设备探测、搜索、截获敌方无线电通信信号，对信号进行测量、分析、识别和监视，并对敌方通信设备测向和定位，以获取信号频率、电平、调制方式等技术参数，以及电台位置、通信方式、通联特点、通信网结构和属性等情报。

通信干扰是使用无线电通信干扰设备发射专门的干扰信号，破坏或扰乱敌方的无线电通信，是通信对抗中的进攻手段。

通信电子防御是采用反侦察与反干扰措施来保障己方无线电通信系统的正常工作。

1.1.2 通信对抗的作用与发展

1. 通信对抗的作用

从通信对抗在以往历次战争和军事冲突中的应用可以发现，通信对抗在战争中可以发挥多种不同的作用，主要有：

(1) 获取有价值的军事情报。在通信对抗应用的早期，由于无线电通信技术和通信保密技术比较落后，通过侦听敌方无线电通信以及对敌方通信电台的测向定位，可以获得敌方兵力布署、活动规律甚至隶属关系、行动企图等有价值的军事情报。在很长一段时间内，通信侦察成为获取敌方军事情报的一种重要手段。随着通信技术和保密技术的不断进步，利用通信对抗侦察获取军事情报变得越来越困难，而破坏和扰乱敌方的无线电通信则显得越来越重要。

(2) 使敌方失去关键性战机。战争带有很强的时间性。经过周密计划，在关键时刻对敌方主要通信网和通信专向突然实施集中的通信干扰，破坏敌方的通信指挥系统，使敌方失

去关键性战机，往往会对己方战役或战斗的胜利产生决定性影响。

(3) 在主要方向上使敌方指挥失灵。有效发挥通信干扰的作用，通常是在主要方向上集中使用通信干扰设备，选择有利时机，突然实施强大的压制性干扰，破坏敌方无线电通信，使敌方通信瘫痪，指挥失灵。在己方进攻时，可以在主攻方向上破坏敌方的无线电通信；在己方防御作战时，集中压制破坏敌方指挥通信，使敌方无法协同有效进攻。

(4) 用通信干扰迷惑敌方，使之产生错误判断或接收虚假情报。可以进行假通信（又称佯信），传送虚假情报，以迷惑敌人；也可以选择适当时机，对敌方某一地域突然实施强烈干扰，以制造将要对该地域发动进攻的假象。

(5) 制造反侦察的通信屏障，以防止敌方对我方通信的侦察。为了反侦察，我方干扰设备可以在己方的通信频率上，采用方向性天线，向靠近的敌方地域施放干扰，形成通信屏障，使敌方无法对我方通信实施侦察。这种干扰也称“烟幕”干扰。

(6) 利用通信对抗所获得的情报资料，分析判断敌台的威胁等级，对威胁等级高的敌台进行测向定位，在定位精度足够高的条件下，可以为使用火力摧毁敌台提供依据。

总之，通信对抗在战争中可以发挥多方面的作用，这与通信对抗设备本身的战术技术性能、设备的使用环境以及设备在战术上的巧妙运用程度有关。

通信对抗问世之后，在很长的一段时期内，利用通信对抗侦察获取敌方的军事情报方面发挥了重要作用。随着通信技术和通信保密技术的发展，尤其是猝发通信、直接序列扩频通信、跳频通信等通信新技术的应用，利用通信对抗侦察获取军事情报已变得越来越困难。另外，随着科学技术的迅速发展，武器装备技术越来越先进，使得战争的节奏不断加快，机动性和灵活性不断增强，这些变化导致利用通信对抗侦察获取军事情报的意义逐渐下降，通过干扰破坏敌方通信而获得的作战效益不断提高。

2. 通信对抗的发展

目前，通信对抗从理论、技术到装备，仍然继续向深度和广度发展。

(1) 通信对抗范围的拓宽。随着军事通信技术的发展进步，通信对抗范围也不断拓宽，对跳频、直接序列扩频等新通信体制的对抗和对 C^3I 系统的对抗成为国内外研究的重点。此外，对卫星通信的对抗，对军用地域通信网的对抗，伴随计算机病毒而出现的计算机（病毒）对抗等，也成为通信对抗领域研究的重要课题。

(2) 扩展工作频段，提高干扰功率。扩展工作频段包括两个方面，一是扩展通信对抗的频段范围，二是增大通信对抗单机设备的频率覆盖范围。干扰机的发射功率，目前基本上是采用固态功率合成技术产生的，工作频率越高，合成大功率的难度就越大。因此，研制射频大功率器件和研究射频大功率合成技术，是提高发射干扰功率需要不断解决的问题。

(3) 发展不同类型、不同层次的通信对抗系统，提高设备和系统的快速反应能力。

(4) 开发和运用新技术、新器件，以提高通信对抗装备的性能。

1.2 通信对抗系统

1.2.1 概述

1. 通信对抗系统的含义、分类和特点

通信对抗系统是为完成特定的通信对抗任务，由多部通信对抗设备在采用计算机或多个

微处理器以及通信设备后组成的统一、协调的整体，统一指挥，协调工作，能在密集复杂的信号环境下，实施对目标通信信号的侦察，测向和干扰。

根据作战使用对象的不同，通信对抗系统分为战术通信对抗系统和战略通信对抗系统。根据运载工具的不同，通信对抗系统分为地面固定通信对抗系统、移动通信对抗系统、车载通信对抗系统、机载通信对抗系统、舰载通信对抗系统和星载通信对抗系统。还有的通信对抗系统综合运用各种运载工具，如某大型通信对抗系统，通过车载、机载侦察站获得目标信号的通联特征、技术参数和方位信息，传到固定或可移动的指挥控制中心进行综合分析、判断、决策，根据作战需要，指挥和控制车载和机载干扰站对目标信号实施干扰。

通信对抗系统的主要特点是它具有以下能力：

(1) 统一协调的管理、指挥控制能力——系统是一个有机的整体，对系统内的设备进行最佳的设计组合，统一协调系统内各种通信对抗设备的工作，按照通信对抗作战指挥程序和原则，处理好设备之间的相互联系，并提高其自动化程度，充分发挥系统的整体效益。

(2) 自动快速的反应能力——系统采用高速计算机和微处理器，从而提高分析处理能力和自动化程度，加快系统的反应速度。

(3) 机动灵活的适应能力——系统采用通用化、系列化设计和模块化结构，可以根据使用目的和使用对象合理调整系统的规模和组成，如增减侦察测向站和干扰站的数量，或增减各站内设备的数量。

2. 通信对抗系统的主要性能指标

不同的通信对抗系统，其组成存在很大的差异，所以其性能指标所包含的内容也不同。就典型的地面通信对抗系统而言，一个系统往往包含多个“站”，每个“站”由不同的设备组成，从而构成侦察站、测向站、干扰站、中心控制站等。系统的性能指标大多分两个层次表述：一是系统的总体性能指标；二是“站”的性能指标。后者主要反映“站”内设备的性能指标。

不同的通信对抗系统所给出的总体性能指标各不相同，其中主要有：

(1) 系统的用途、作用范围或战术部署规范，通常指地面系统部署的战区正面和纵深地理范围。

(2) 频率范围，通常指侦察、测向和干扰的频率范围。在一个系统中，受设备性能的限制，这三种频率范围往往是不同的；一般侦察频率范围最宽，测向频率范围次之，干扰频率范围最小。

(3) 系统能力和反应时间。系统能力主要描述系统的侦察能力、测向能力、干扰压制能力、信号处理与存储能力、数据传输能力等；系统反应时间通常指系统某些重要功能的反应时间，如信号识别时间、干扰反应时间等。

(4) 系统的环境使用条件。电子产品在储存、运输和使用过程中，经常受到周围环境的各种有害影响，如影响电子产品的工作性能、使用可靠性和寿命等。影响电子产品的环境因素有：温度、湿度、大气压力、太阳辐射，雨、风、冰雪、灰尘和沙尘、盐雾、腐蚀性气体、霉菌、振动、冲击等。在实际产品考核中，通常用温度、湿度、冲击和振动的指标来衡量。

(5) 系统的开设和撤收时间。在由多个“站”组成的移动式系统中，通常以“站”的开设和撤收时间来衡量。开设时间是从选择好地形、架设天线到开通设备可以开展工作的总时间；撤收则是与开设相反的过程。开设和撤收时间越短越好，通常撤收时间比开设时间短。

(6) 系统可靠性和可维修性。可靠性是反映设备质量的综合性指标,可按不同目的和要求采用相应的可靠性定量指标来衡量。平均寿命是衡量可靠性的定量指标之一,对于不可修复产品来说它是指失效前平均时间(MTTR),对于可修复产品来说它是指平均无故障时间(MTBF)。MTBF的度量方法是:在规定的条件下和规定的时间内,产品寿命单位总数与故障总次数之比。可维修性又称平均修复时间(MTTR),它是产品维修性的一种基本参数,其度量方法是:在规定的条件下和规定的时间内,产品在任一规定的维修级别上,修复性维修总时间与在该级别上被修复产品的故障总数之比。

(7) 系统的电磁兼容性,指电子产品和设备以规定的安全系数在指定的电磁环境中按照设计要求工作的能力,它是电子设备的重要指标之一。电磁兼容性的含义包括两个方面:一是电子系统或设备之间的电磁环境中的相互兼容;二是电子系统或设备在自然界电磁环境中,按照设计要求能正常工作。在电磁兼容性方面,一般对接收设备的反向辐射提出要求。

在第二个层次的性能指标中,一般是根据各个“站”内配置的设备给出,例如:侦察站的性能指标主要有频率范围、接收灵敏度、频率搜索速度、动态范围、截获概率、参数测量精度、信号识别种类与时间、信号显示方式和带宽、信号存储能力等;测向站的主要性能指标有频率范围、测向灵敏度、测向精度、测向速度、示向度显示方式及显示分辨率等;干扰站的主要性能指标有频率范围、干扰发射功率、干扰反应速度、同时干扰的最大目标数、干扰样式、间隔观察时间等。

3. 通信对抗系统的应用与发展

多功能一体化综合通信对抗系统,把通信对抗的新概念、新技术、新器件、新工艺等融于一体,这是通信对抗系统发展的大趋势。其突出的特点是使通信对抗侦察、测向、干扰有机地结合在一起,组成一个既功能强大,自动化程度高,又灵活多变、适应性强的系统。

今后相当一段时间内,通信对抗系统应向一体化、智能化方向发展,即发展成为集多种传感器、多种运载平台和多种对抗手段于一体的综合通信对抗系统,其核心是计算机智能系统。其中发展重点主要有:

- (1) 战场全辐射源综合探测系统;
- (2) 信息分布处理的计算机专家系统或计算机网络智能系统;
- (3) 能根据信号形式自动选择最佳干扰样式的自适应干扰调制源;
- (4) 超大功率、超宽带干扰发射机技术及升空平台(机载、无人机载、星载等),既可干扰卫星上的转发器,又可干扰卫星地面站;
- (5) 集通信对抗与反对抗通信诸功能于一身的一体化系统设备;
- (6) 对扩频、跳频、高速数据通信等先进通信体制对抗的新技术研究;
- (7) 模块化、通用化和智能化的系统组成,系统应具有方便重新组合的灵活性,应根据战技指标要求而具有快速反应能力,并能够根据作战需求通过通用或专用软件扩充功能。

1.2.2 通信对抗侦察系统

1. 基本组成

通信侦察的任务由通信侦察设备完成。典型的通信侦察设备由天线、接收机、通信侦察信号处理和分析设备、通信情报分析设备、测向设备、显示存储设备、控制设备等组成,其原理框图如图 1-1 所示。

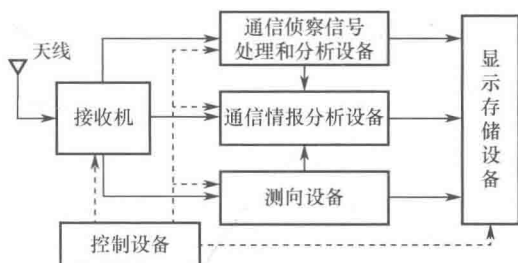


图 1-1 通信对抗侦察设备原理框图

(1) 天线：通常使用宽频段、宽波束天线，也使用不同结构形式的多元天线阵。

(2) 接收机：用于对信号的滤波、放大、混频等处理，为后续设备提供所需的各种信号。

(3) 通信侦察信号处理和分析设备：完成对通信侦察信号的参数测量和分析，获取通信信号的频率、带宽、调制参数等基本技术参数，实现调制类型识别、网台分选，以及对通信信号的解调、解扩、监听和监测等功能。

(4) 通信情报分析设备：利用得到的通信信号技术参数和到达方向参数，进行综合分析处理，得到通信情报。

(5) 测向设备：完成对通信辐射源信号到达方向的测量。测向设备可以独立工作，也可以与侦察分析设备协同工作。当多个测向设备协同工作时，还可以实现对通信辐射源的定位。

(6) 显示存储设备：通信情报在被传送到上级指挥中心的同时，也在本地记录和显示。

(7) 控制设备：向其他部分设备提供控制信号，起到协调、开关、控制等作用。

2. 主要功能

(1) 对通信信号的搜索截获和全景显示功能。随着战场电磁环境的日益密集复杂和 DS、FH 等特殊通信信号的日益增多，在要求系统保持高的截获概率下，对搜索截获速度的要求越来越高。

(2) 对信号的测向功能和对目标网台的定位功能。提高测向定位精度是对侦察子系统的主要要求。

(3) 信号技术参数测量和信号分析识别功能。测量信号技术参数，提取信号特征，信号分选，信号识别，通联特征分析，对信号技术特征、通联特征及网台方位的综合分析等，都是侦察信号处理与分析中的重要内容。不仅对 DS、FH 等特殊信号，就是对常规信号，目前仍存在很多技术难点。

(4) 对疑难信号的记录、存储功能，将不能分析识别的信号进行记录和存储。

(5) 综合情报处理和态势显示功能。系统对全源信息进行分类和相关处理，对目标信号建立跟踪文件。对情报进行综合处理，得到敌方通信装备的技术状况、网台组成、位置部署等信息，形成通信对抗态势显示图，为指挥人员决策提供依据。

(6) 具有时间统一和自定位功能。在系统内部必须有统一的时间基准，对于移动系统，必须具备自定位功能。

(7) 系统具有统一的指挥控制功能，即统一指挥控制系统内的信息交换、综合处理和各部分的协同工作。

3. 主要性能和特点

(1) 宽频段接收。要求侦察系统具有宽的频率覆盖范围。

(2) 高灵敏度。对通信信号的侦察不同于通信双方对信号的接收，侦察系统的接收天线一般不会处在通信发射天线的最大辐射方向上，所接收到的信号往往比较微弱。这就要求接收机具有高灵敏度。侦察接收设备的灵敏度与接收机的内部噪声密切相关。

(3) 大动态范围。动态范围是指保证侦察接收设备正常工作条件下，接收机输入信号的最大变化范围。通常有以下两种定义：一是饱和动态范围；二是无虚假响应动态范围。在侦收的过程中，经常会遇到很强的信号，可能发生大信号阻塞和出现交调、互调，形成虚假信号，影响侦收效果。因此，侦察设备的前端应具有大的动态范围。目前，一般要求动态范围大于 70~80 dB。

(4) 可测信号种类多。随着通信技术的不断发展，通信体制也日趋复杂，各种体制的通信信号越来越密集，通信侦察面临密集、复杂的信号环境。因此，侦察系统必须是多功能的，具有高度的适应性，能适应不同体制通信信号的接收。

(5) 实时性好。为了避免被敌方侦收截获，通信的速度越来越快，通信时间非常短暂，侦察系统应具有高搜索截获速度、高分析处理速度和多功能等特点。侦察接收设备的反应速度包括搜索速度、对信号的分析处理速度等。

(6) 信号处理能力强。为了能迅速测量侦收范围内信号参数，对信号进行分选识别，要求侦察系统具有强的信号处理能力。目前，信号处理主要是采用 DSP 技术实现。

(7) 系统的协调控制能力和综合分析处理能力强。整个系统统一协调工作，资源共享，优势互补，提高系统的自动快速反应能力和灵活机动的适应能力，充分发挥系统的整体效益。

1.2.3 无线电通信干扰系统

1. 组成

无线电通信干扰系统主要由天线、通信侦察引导设备、干扰信号产生设备、功率放大器、控制设备等组成，其原理框图如图 1-2 所示。

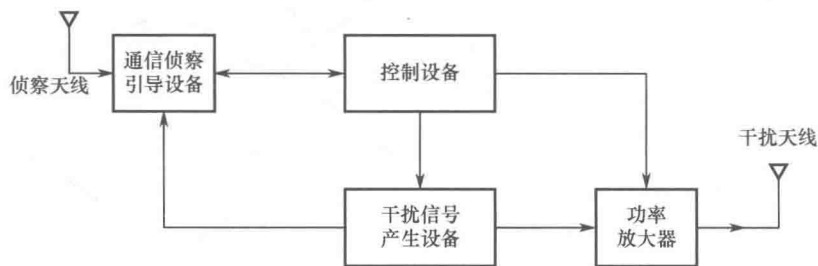


图 1-2 无线电通信干扰系统原理框图

(1) 天线：可分为侦察天线和干扰天线，分别担负为侦察引导设备提供输入信号和为功率放大器提供对外辐射的功能；二者既可共用天线，也可分别采用独立天线。其中，干扰天线把功率放大器的输出电信号转换为电磁波能量，向指定空域辐射。通信干扰系统的天线要求具有宽的工作频段、大的功率容量、小的驻波比、高的辐射效率和高的天线增益。

(2) 通信侦察引导设备：主要用于对目标信号进行侦察截获，分析其信号参数，为干扰信号产生设备提供干扰样式和干扰参数，进行方位引导，并在干扰过程中对被干扰目标信号进

行监视,检测其信号参数和工作状态的变化,即时调整干扰策略和参数。

(3) 干扰信号产生设备:根据干扰样式和干扰参数产生干扰激励信号。它既可以产生基带干扰信号,然后经过适当的变换(如变频、放大等),形成射频干扰激励信号,也可以直接产生射频干扰激励信号。干扰激励信号的电平通常为 0 dBm 左右,被送给功率放大器,以形成具有一定功率的干扰信号。

(4) 功率放大器:将小功率的干扰激励信号放大到足够大的功率电平。功率放大器是干扰子系统中的大功率设备,其输出功率一般为几百瓦至数千瓦,在短波波段可以到达数十千瓦。受大功率器件性能的限制,在宽频段干扰时,功率放大器是分频段实现的。

(5) 控制设备:根据侦察引导设备提供的被干扰目标参数,形成干扰决策,对干扰资源进行优化和配置,选择最佳干扰样式和干扰方式,控制干扰功率和辐射方向,以最大限度地发挥干扰机的性能。

2. 主要特点

(1) 工作频带宽。通信干扰设备随着现代军用通信技术的发展,需要覆盖的频率范围已经相当宽,已从几兆赫、几十兆赫发展到几十吉赫。在这样宽的工作频率范围内,不同频段上电子技术和电磁波的辐射与接收都有不同的特点和要求。

(2) 反应速度快。在跳频通信、猝发通信飞速发展的今天,目标信号在每一个频率点上的驻留时间已经非常短促,而通信干扰设备必须在这样短的时间内完成对整个工作频率范围内目标信号的搜索、截获、识别、分选、处理、干扰引导和干扰发射。可见,通信干扰系统的反应速度必须十分迅速。

(3) 干扰难度大。为实现有效干扰,在通信干扰技术领域需要解决的技术难题相当多。例如,与雷达对抗相比较:第一,雷达是以接收目标回波进行工作的,回波很微弱;而通信是以直达波方式工作的,信号较强,所以对通信信号的干扰和压制比雷达干扰需要更大的功率。第二,雷达是宽带的,一般雷达干扰机所需的频率瞄准精度为几兆赫数量级;而通信是窄带的,通信干扰所需的频率瞄准精度为几赫到几百赫,即频率瞄准精度要求更高。第三,通信系统的发射机和接收机通常是在异地配置,通信干扰设备通常只能确定通信发射机的位置,而难以确切地知道通信接收机的位置;因此,要实现通信系统的定向干扰十分困难,要实现通信系统的有效干扰,需要的干扰功率更大。

(4) 对通信网的干扰。随着通信系统的网络化,对通信干扰系统面临着更大的挑战。现代通信网是多节点、多路由的,破坏或者扰乱其中一个或几个节点或者链路,只能使其通信效率下降,不能使其完全瘫痪或者失效。因此,对通信网的干扰与对单个通信设备的干扰有着显著的差别。对通信网的干扰目前还处于起步阶段,有大量的工作需要研究。

3. 主要性能

(1) 干扰频率范围。干扰频率范围一般小于或等于传统通信侦察频率范围,其覆盖范围是 0.1 MHz~3 GHz。现代通信干扰系统的频率范围已经向微波和毫米波扩展,高端需要覆盖到 40 GHz。

(2) 空域覆盖范围。空域覆盖范围反映了通信干扰系统方位和俯仰角覆盖能力。通信干扰系统的俯仰覆盖通常是全向的,方位覆盖范围是全向或者定向的。

(3) 干扰信号带宽。干扰信号带宽是指干扰系统的瞬时覆盖带宽。干扰信号带宽与干扰体制和干扰样式有关:拦阻式干扰的干扰信号带宽最大,可以达到几十到几百兆赫;瞄准式

干扰带宽最小，一般为 25~200 kHz。

(4) 干扰样式。干扰样式反映了通信干扰系统的适应能力。干扰样式应依据被干扰目标的信号种类、调制方式、使用特点以及通信干扰装备的战术使命和操作使用方法等多方面因素来选取。为了能适应多种体制的通信系统进行干扰，除常用的带限音频高斯白噪声调频外，通信干扰装备一般还有多种干扰样式备用，如单音、多音、蛙鸣、线性调频等。

(5) 可同时干扰的信道数，指在实施干扰过程中干扰信号带宽可以瞬时覆盖的通信信道数目 N ，它与干扰信号带宽 B_j 和通信信道间隔 Δf_{ch} 有关，且满足：

$$N \leq B_j / \Delta f_{ch} \quad (1-1)$$

(6) 干扰输出功率。为保证一定的干扰能力，增大干扰发射机输出功率与减小干扰带宽（在一定限度内）和降低频率瞄准误差是一样可取的。因此，在设计通信干扰装备时应该在这些技术参数之间权衡利弊，折中选取。一般情况下，干扰发射机的输出功率根据任务的不同可以有几瓦、几十瓦、几百瓦、几千瓦或更大。

1.2.4 综合通信对抗系统

1. 组成

综合通信对抗系统亦称一体化通信对抗系统。它是指把无线电通信对抗侦察、测向和干扰通过指挥控制中心有机结合在一起的系统，一般包括指挥控制中心、侦察子系统、干扰子系统和内部通信子系统。根据系统的规模和完成功能的不同，综合通信对抗系统的组成和配置是不尽相同的。在典型的现代通信对抗系统中，作为前端探测器（传感器）的是技术侦察子系统和方位侦察子系统，作为中心控制器的是以情报数据库和知识库为核心的多传感器数据智能融合处理与决策生成和控制子系统，而对目标实施干扰压制的则是干扰子系统。如果把用于对目标进行火力摧毁的武器系统也包括在内，那么一个完整的通信对抗作战框架结构模型如图 1-3 所示。

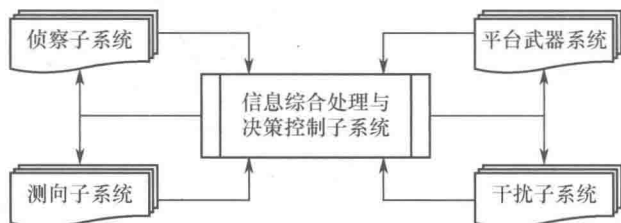


图 1-3 通信对抗作战框架结构模型

综合通信对抗系统是具有侦察、测向与干扰三种功能的综合系统，不同系统的具体组成各不相同。图 1-3 所示的综合通信对抗系统组成方案，主要由侦察测向系统、干扰系统和指挥控制中心三部分组成。其中，侦察测向系统完成侦察和测向功能，干扰系统完成干扰功能，指挥控制中心实施对全系统的指挥和控制。

实际系统中，也有的将指挥控功能和侦察功能集于一体，构成侦察控制站，与多个测向站和干扰站构成一个综合系统，如图 1-4 所示。其中测向站和干扰站的数量可以根据需要增加或减少，使系统具有灵活的组群能力。