



高等院校
通信与信息专业规划教材

通信抗干扰技术

张邦宁 魏安全 郭道省 等编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等院校通信与信息专业规划教材

通信抗干扰技术

张邦宁 魏安全 郭道省 等编著



机械工业出版社

本书内容涵盖了有关通信抗干扰技术的各个方面。首先介绍了通信电子战的基础知识。接着系统地阐述了直接序列扩频和跳频两种抗干扰体制的原理、抗干扰性能分析和同步技术。然后介绍了时域、变换域和空域干扰抑制技术,给出了有关这几种干扰抑制技术的最新发展情况。最后讨论了抗干扰技术在短波、超短波通信和卫星通信领域的应用。本书系统地介绍了通信中各种主要的抗干扰技术,对于基础性理论,比如直接序列扩频技术和跳频技术,讨论得比较深入,对于一些比较新的专门技术,比如干扰抑制技术,则力求给出其最新的发展状况,对于其基础理论推导,讨论得较少。

本书可作为高等院校通信专业高年级学生和研究生的教材或参考书,也可供其他通信领域的研究人员和工程技术人员学习参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

通信抗干扰技术/张邦宁等编著. —北京:机械工业出版社, 2006.3
高等院校通信与信息专业规划教材
ISBN 7-111-18474-2

I. 通... II. 张... III. 通信抗干扰—高等学校—教材
IV. TN975

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 008623 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划:胡毓坚 责任编辑:陈振虹 版式设计:冉晓华

责任校对:张晓蓉 责任印制:杨 曦

北京市朝阳区展望印刷厂印刷

2006 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·15.25 印张·363 千字

0001—3000 册

定价:22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

编辑热线电话 (010) 88379739

封面无防伪标均为盗版

高等院校通信与信息专业规划教材

编委会名单

(按姓氏笔画排序)

| | | | | |
|--------|-----|-----|-----|-----|
| 编委会主任 | 乐光新 | | | |
| 编委会副主任 | 张文军 | 张思东 | 杨海平 | 徐澄圻 |
| 编委会委员 | 王金龙 | 冯正和 | 刘增基 | 李少洪 |
| | 邹家禄 | 吴镇扬 | 赵尔沅 | 南利平 |
| | 徐惠民 | 彭启琮 | 解月珍 | |
| 秘书长 | 胡毓坚 | | | |
| 副秘书长 | 许晔峰 | | | |

出版说明

为了培养 21 世纪国家和社会急需的通信与信息领域的高级科技人才，配合高等院校通信与信息专业的教学改革和教材建设，机械工业出版社会同全国在通信与信息领域具有雄厚师资和技术力量的高等院校，组成阵容强大的编委会，组织长期从事教学的骨干教师编写了这套面向普通高等院校的“高等院校通信与信息专业规划教材”，并且将陆续出版。

这套教材力求做到：专业基础课教材概念清晰、理论准确、深度合理，并注意与专业课教学的衔接；专业课教材覆盖面广、深度适中，不仅体现相关领域的最新进展，而且注重理论联系实际。

这套教材的选题是开放式的。随着现代通信与信息技术日新月异地发展，我们将不断更新和补充选题，使这套教材及时反映通信与信息领域的新发展和新技术。我们也欢迎在教学第一线有丰富教学经验的教师及通信与信息领域的科技人员积极参与这项工作。

由于通信与信息技术发展迅速，而且涉及领域非常宽，在这套教材的选题和编审过程中难免会有缺点和不足之处，诚恳希望各位老师和同学提出宝贵意见，以利于今后不断地改进。

机械工业出版社
高等院校通信与信息专业规划教材编委会

前 言

随着国民经济的发展,无线通信已被广泛地应用在国民经济的各个领域和人们的日常生活中,特别是公用移动通信的迅速发展,社会上使用的各种无线通信设备的数量急剧上升。现代战争中,指挥通信、军事情报、兵器控制都日益依赖于电子设备,特别是无线电设备的支持。信息战和电子战作为一种崭新的作战形式涉及军事领域,开辟了继陆海空战场之后的第四维战场——电磁战场。

为了提高通信系统信息传输的可靠性,对抗各种形式的干扰,人们采用了各种通信抗干扰技术,保护通信系统在干扰环境下能准确、实时、不间断地传输信息。因此,对通信抗干扰原理和技术进行系统的介绍是很有必要的。

本书介绍了通信抗干扰领域的各种技术、应用及相关的新知识,也为深入研究及应用奠定基础。

全书共分为6章。第1章主要介绍了通信电子战的基础知识。第2章和第3章系统地阐述了直接序列扩频和跳频两种抗干扰体制的原理、抗干扰性能分析和同步技术。第4章介绍了时域、变换域和空域的各种干扰抑制技术。第5章和第6章讨论抗干扰技术在短波、超短波和卫星通信领域的应用。在学习本书之前,要求学生已掌握通信原理的有关知识。

本书可作为通信工程专业和电子对抗专业高年级大学生和研究生的专业课程教材,也可作为通信工程技术人员的参考书。作为教材,部分章节可以作为自学或选学内容,比如第4章介绍的干扰抑制技术内容较新,需要借助于其他文献才能进行深入研究;根据不同的专业方向,第5、6章的内容可根据具体专业作为选学内容。

本书由张邦宁负责组织和统稿,并编写了第2、3、6章;魏安全编写了第1、5章,郭道省编写了第4章。参与编写的人员还有陆溪平、叶展、潘克刚、单超、陈思、秦勇、张涛、刘跃宣等。

本书在编写过程中,得到了刘爱军、任国春、王华力、张杭、童新海等同志的大力支持和帮助,在此深表谢意。

由于书中内容涉及的知识新而广,加上作者水平有限,对于书中错误之处,恳请广大读者和专家批评指正。

作 者

目 录

出版说明

前言

| | |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| 第 1 章 通信电子战 1 | 统一描述 59 |
| 1.1 电子战与通信电子战概述..... 1 | 2.2.4 编码 DS 扩频系统抗干扰性能的统一描述 61 |
| 1.1.1 电子战与通信电子战的概念..... 1 | 2.2.5 脉冲干扰对 DS 扩频系统的影响 ... 62 |
| 1.1.2 电子战、通信电子战的特点..... 3 | 2.3 DS 扩频码序列..... 63 |
| 1.1.3 电子战、通信电子战系统的基本构成..... 4 | 2.3.1 DS 系统扩频码的选码原则..... 63 |
| 1.1.4 电子战、通信电子战的地位和作用..... 5 | 2.3.2 m 序列 64 |
| 1.1.5 电子战、通信电子战的发展趋势..... 6 | 2.3.3 Gold 序列 66 |
| 1.2 无线电通信侦察..... 7 | 2.4 DS 扩频系统的扩频码同步技术..... 67 |
| 1.2.1 概述..... 7 | 2.4.1 概述 67 |
| 1.2.2 无线电通信侦察的基本原理..... 8 | 2.4.2 扩频码捕捉技术 68 |
| 1.2.3 无线电通信侦察的关键技术 19 | 2.4.3 DS 扩频序列的跟踪技术..... 79 |
| 1.3 无线电通信测向 20 | 2.5 习题 85 |
| 1.3.1 概述 20 | 第 3 章 跳频通信技术 86 |
| 1.3.2 无线电通信测向的基本原理 21 | 3.1 FH/SS 技术的基本原理 86 |
| 1.3.3 无线电通信测向的关键技术 27 | 3.1.1 工作原理 86 |
| 1.4 无线电通信干扰 28 | 3.1.2 FH/SS 通信系统中的几个重要概念 87 |
| 1.4.1 概述 28 | 3.1.3 跳频器 89 |
| 1.4.2 无线电通信干扰的基本原理 29 | 3.1.4 FH 通信的特点 89 |
| 1.4.3 无线电通信干扰的关键技术 38 | 3.1.5 FH 通信系统的主要技术指标 90 |
| 1.5 无线电通信的反侦察与抗干扰 39 | 3.2 FH/SS 信号抗干扰性能分析 91 |
| 1.5.1 无线电通信反侦察 39 | 3.2.1 非编码的 SFH 系统抗干扰性能分析 91 |
| 1.5.2 无线电通信抗干扰 41 | 3.2.2 编码的 FH 系统抗干扰性能分析 ... 96 |
| 1.6 习题 46 | 3.3 跳频编码..... 100 |
| 第 2 章 直接序列扩频通信技术 49 | 3.3.1 设计准则..... 100 |
| 2.1 DS 扩频技术的基本原理..... 49 | 3.3.2 跳频序列的汉明相关特性..... 101 |
| 2.1.1 工作原理 49 | 3.3.3 基于 m 序列构造跳频序列 102 |
| 2.1.2 几个重要概念 51 | 3.3.4 基于 M 序列构造跳频序列 103 |
| 2.1.3 DS 扩频通信系统的特点..... 52 | 3.3.5 基于 RS 码构造跳频序列族 104 |
| 2.1.4 DS 扩频通信的主要技术指标..... 53 | 3.3.6 基于 TOD 的长周期跳频序列 106 |
| 2.2 DS 扩频信号抗干扰性能分析..... 53 | 3.4 FH/SS 跳频码同步技术 107 |
| 2.2.1 抗干扰性能分析计算方法 54 | 3.4.1 概述..... 107 |
| 2.2.2 抗干扰性能分析 56 | 3.4.2 FH 码序列捕获技术 107 |
| 2.2.3 非编码 DS 扩频系统抗干扰性能的 | |

| | | | |
|---|------------|---|------------|
| 3.4.3 FH 码序列跟踪技术 | 115 | 5.4.3 短波数字调制解调技术 | 191 |
| 3.5 习题 | 118 | 5.4.4 短波、超短波通信扩频技术 | 202 |
| 第 4 章 干扰抑制技术 | 120 | 5.4.5 短波、超短波通信的其他 抗干扰技术 | 207 |
| 4.1 时域干扰抑制技术 | 121 | 5.5 习题 | 209 |
| 4.1.1 信号模型 | 121 | 第 6 章 卫星通信抗干扰技术 | 210 |
| 4.1.2 线性预测技术 | 122 | 6.1 概述 | 210 |
| 4.1.3 非线性预测技术 | 124 | 6.1.1 卫星通信的特点 | 210 |
| 4.1.4 基于扩频码辅助的干扰 抑制技术 | 125 | 6.1.2 通信卫星的工作轨道 | 210 |
| 4.2 变换域干扰抑制技术 | 128 | 6.1.3 卫星通信的主要工作频段和 信道特点 | 211 |
| 4.2.1 基于 DFT 的干扰抑制技术 | 129 | 6.1.4 卫星转发器类型 | 212 |
| 4.2.2 基于重叠变换的干扰抑制技术 | 137 | 6.2 卫星通信面临的干扰威胁 | 213 |
| 4.2.3 基于时频域及小波变换的干扰抑制 技术 | 139 | 6.2.1 干扰卫星通信的几种形式 | 213 |
| 4.2.4 基于 HMM 的干扰抑制技术 | 147 | 6.2.2 干扰方式和干扰信号样式 | 214 |
| 4.3 空域干扰抑制技术 | 153 | 6.2.3 干扰强度 | 215 |
| 4.3.1 概述 | 153 | 6.3 透明转发器的非线性特性 | 216 |
| 4.3.2 星载多波束天线 | 154 | 6.3.1 透明转发器的 AM-AM、AM-PM 效应和互调分量 | 216 |
| 4.3.3 自适应调零天线原理 | 160 | 6.3.2 透明转发器的功率掠夺效应 | 219 |
| 4.4 习题 | 167 | 6.3.3 干扰条件下非线性的影响 | 220 |
| 第 5 章 短波、超短波通信抗干扰 技术 | 168 | 6.4 透明和再生转发器性能分析 | 222 |
| 5.1 概述 | 168 | 6.4.1 传输性能分析 | 222 |
| 5.2 短波、超短波信道的基本特性与时 变色散信道的数字模型 | 168 | 6.4.2 抗干扰性能分析 | 223 |
| 5.2.1 短波、超短波信道的基本特性 | 168 | 6.5 提高卫星通信抗干扰能力的 几种措施 | 226 |
| 5.2.2 时变色散信道特性的数学模型 | 173 | 6.5.1 透明转发器抗干扰技术措施 | 226 |
| 5.3 短波、超短波通信干扰威胁分析 | 178 | 6.5.2 透明转发器系统可调整参数 | 229 |
| 5.3.1 短波、超短波信道的自然噪声和 非有意人为干扰 | 178 | 6.5.3 基于再生处理转发器的宽带 跳频技术 | 230 |
| 5.3.2 短波、超短波军事通信的有意人为 干扰威胁 | 180 | 6.5.4 基于再生处理转发器的 DS 技术 | 231 |
| 5.4 短波、超短波通信抗干扰技术 | 185 | 6.5.5 采用 Ka、EHF 高通信频段 | 232 |
| 5.4.1 概述 | 185 | 6.6 习题 | 232 |
| 5.4.2 短波通信的高频自适应技术 | 186 | 参考文献 | 233 |

第 1 章 通信电子战

本章介绍电子战，主要是通信电子战的基础知识，内容包括电子战与通信电子战、无线电通信侦察、测向和干扰以及无线电通信反侦察与抗干扰的基本概念、原理与技术。

1.1 电子战与通信电子战概述

1.1.1 电子战与通信电子战的概念

1. 电子战

电子战也称电子对抗，军事上为削弱、破坏敌方电子设备的使用效能和保护己方电子设备的有效使用而采取的各种战术、技术措施的总称，包括电子侦察、电子攻击和电子防护^①。电子战一方面指削弱、破坏敌方电子设备的使用效能，主要包括侦察、测向、干扰、摧毁等措施，另一方面指保护己方电子设备的有效使用，主要包括反侦察、反测向、反干扰、反摧毁等措施。

在有些场合下，电子战仅指侦察、测向、干扰和摧毁等削弱、破坏敌方电子设备的使用效能的措施，如通常所说的电子战装备主要是指电子侦察、电子干扰和摧毁装备，电子战部队是指执行电子侦察、电子干扰和对敌电子设备进行摧毁作战任务的部队。

2. 电子战的分类

电子战按作战对象或领域不同可分为：通信电子战、雷达电子战、声纳电子战、光电电子战、导航电子战、制导电子战、遥控遥测电子战、敌我识别电子战、计算机网络电子战等，随着电子技术的不断发展和在军事领域中应用的推广，电子战的领域在不断扩展。

电子战按作战内容不同可分为：电子侦察、电子攻击和电子防护，每一部分又有多种内容，如表 1-1 所示。

表 1-1 电子战的基本内容

| 分 类 | 电子侦察 | 电子攻击 | 电子防护 |
|-----|---------------------------------------|--|---|
| 内 容 | (1) 情报侦察 (2) 战斗测向、定位 (3) 战斗威胁告警 | (1) 电子干扰 (2) 电子欺骗 (3) 反辐射导弹 (4) 定向能武器 | (1) 抗电子干扰 (2) 电磁辐射控制 (3) 电磁加固 (4) 信号保密 (5) 隐身 |

① 美军对电子战的定义是（1993年3月，美军参谋长联席会议）“电子战是使用电磁能和定向能控制电磁频谱或攻击敌军的任何军事行动”。新定义电子战包括3个主要部分：电子攻击（EA）、电子防护（EP）和电子战支援（ESM）。美军的电子战的定义仅局限于作战使用过程，这里用“电子侦察”来代替“电子战支援”，把情报侦察也包括在内。

电子侦察是对有意和无意电磁辐射进行搜索、截获，测量其技术参数和空间参数，进行分析识别，以获取军事情报和技术情报，并在作战过程中为其他电子战行动提供电子战支援。电子攻击是使用电磁能或定向能攻击敌方人员、设施或装备，以削弱或摧毁敌方的战斗力。电子攻击的具体措施有：电子干扰、电子欺骗、反辐射导弹攻击和定向能武器（包括激光、微波、粒子束武器）攻击。电子防护是为保护己方人员、设施或设备免受己方或敌方运用电子战的影响以致降低己方战斗力而采取的行动。电子防护的具体措施有抗电磁干扰、电磁辐射控制、电磁加固、电子战频率兼容、信号保密和隐身等。

电子战按作战时期不同可分为平时时期的电子战、危机时期的电子战和冲突时期的电子战。平时时期的电子战的主要形式是电子情报侦察，以获取军事情报和技术情报，包括对方电子兵器及其相关平台的性能、部署等，为高层部门的政策决策、研制和发展新的电子战装备提供情报依据。危机时期的电子战是在危机时期进行电子战兵力部署、加强电子侦察，并利用电子战和心理战等手段减轻或加剧危机。冲突时期的电子战包括电子战支援措施、电子攻击和电子防护 3 个部分，冲突时期的电子战已成为一种重要的作战手段，并对战争的进程和胜负产生重要的影响。

电子战按承载电子战装备平台不同可分为陆基平台电子战、海基平台电子战、空基平台电子战和天基平台电子战。由于现代战争是海、陆、空、天同时展开的立体战争，电子战将在这些领域同时展开。随着技术的发展，空基和天基电子战平台将成为电子战的主要作战平台。

3. 通信电子战的概念

通信电子战也称通信对抗或无线电通信对抗，是军事上为削弱、破坏敌方通信系统的使用效能和保护己方通信系统的有效使用所采取的措施和行动的总称。

通信电子战是电子战的重要组成部分。通信电子战是在通信领域展开的电子战，其实质是在通信领域特别是无线通信领域为争夺电磁频谱的控制权和使用权而展开的电磁波的斗争。

通信电子战通过向目标通信系统中释放能量或从中提取能量来攻击其信息系统，这样，有意的信息传输就会被截获，或被破坏，或两种目的同时达到。

4. 通信电子战的分类

通信电子战可按作战对象（各种无线电通信系统）的不同属性进行分类，如按工作频段的不同可分为长波、中波、短波、超短波、微波、红外、激光通信电子战。按电波传播方式可分为地波、天波、空间波、散射波等通信电子战。按调制方式可分为模拟通信和数字通信电子战。按通信业务可分为语音、电报、传真、图像和数据通信电子战。按传输体制又可分为传统窄带通信和扩频通信电子战等。

通信电子战按内容不同可分为通信侦察、通信干扰和通信防护，每一部分的具体内容如表 1-2 所示。

无线电通信侦察是对无线电通信信号进行搜索、截获，测量其技术参数和空间参数，进行分析识别，以获取军事情报和技术情报，并在作战过程中为其他通信电子战行动提供电子战支援。

无线电通信干扰是用人为辐射电磁能量的方法对敌方无线电通信系统的信息传输进行干扰或压制。按战术目的不同，可分为欺骗性干扰和压制性干扰。通常所说的军事通信抗干扰

是指抗有意的人为压制干扰。

表 1-2 通信电子战的内容

| 分 类 | 通信侦察 | 通信干扰 | 通信防护 |
|-----|--|------------------------|--|
| 内 容 | (1) 搜索、截获 (2) 参数测量 (3) 测向、定位 (4) 分析识别 (5) 情报融合 | (1) 压制性干扰 (2) 欺骗性干扰 | (1) 通信反侦察 (2) 通信抗干扰 (3) 频谱管理与电磁兼容 (4) 通信保密 (5) 通信反摧毁 |

通信防护是为保护己方通信人员、设施或设备免受己方或敌方运用通信电子战的影响以致降低己方通信保障能力而采取的行动。仅对敌方的电子侦察和干扰而采取的行动通常称为通信电子防御。通信防护的具体内容有无无线通信反侦察、抗干扰、频谱管理与电磁兼容、信号保密等。比通信防护更大的领域叫信息安全，通信防护只是其中的一项。

通信电子战按作战时期不同可分为平时时期、危机时期和冲突时期的通信电子战。平时时期的通信电子战的主要形式是通信情报侦察，以获取军事情报和技术情报，包括对方通信系统及其相关平台的性能、部署等，为高层部门的政策决策、研制和发展新的通信电子战装备提供情报依据。危机时期的通信电子战是在危机时期进行通信电子战兵力部署，加强通信侦察，对危机发展情况进行密切监视。冲突时期的通信电子战包括了上述通信电子战的所有内容。冲突时期的通信侦察也称通信电子支援措施。冲突时期的通信电子战在各种电子战中具有特殊的、重要的作用和地位。

通信电子战按承载通信电子战装备平台不同可分为陆基平台通信电子战、海基平台通信电子战、空基平台电子战和天基平台电子战。随着技术的发展，空基和天基电子战平台将成为通信电子战的主要作战平台。

1.1.2 电子战、通信电子战的特点

高技术战争中的电子战（含通信电子战）作为一种重要的作战方式，总体而言具有以下主要特点。

1. 电子战是战争的先导，并贯穿战争的始终

高技术条件下的战争在敌对双方还没有真枪实弹交战的时候，电磁领域内的斗争就已率先进行，而这种无形的、激烈复杂的斗争始终贯穿战争的全过程。

2. 电子战渗透到战场的各个领域和方面

高技术条件下的电子战已从过去的无线电通信对抗、雷达对抗，扩展到指挥、控制、引导以及光电对抗等多种领域，覆盖整个战场空间。

3. 电子战具有软、硬杀伤的双重战斗能力

过去，电子战主要是通过电子干扰对敌方的电子设备进行“软”杀伤，由于反辐射和定向能武器的应用，使电子战发展成为“软”杀伤与“硬”摧毁相结合的新的电子战作战手段。各种反辐射导弹、高功率电磁脉冲武器、激光武器以及核武器爆炸后产生的核电磁脉冲，都将是电子战的“硬”摧毁手段。随着电子技术的发展，电子战的“硬”摧毁手段将越来越多，能力越来越强。

4. 电子战的重点是 C⁴ISR 系统对抗

拥有高技术装备军队的作战行动对 C⁴ISR 系统（指挥自动化系统）的依赖性大。由于 C⁴ISR 系统主要是由各种电子设备构成的，干扰和摧毁敌方的 C⁴ISR 系统可以削弱乃至使其整体作战能力瘫痪。因此，拥有高技术装备的军队在大力发展 C⁴ISR 系统的同时，非常重视 C⁴ISR 系统的对抗，把保护己方 C⁴ISR 系统的正常工作，削弱破坏对方 C⁴ISR 系统的使用效能作为电子战的重点目标。

1.1.3 电子战、通信电子战系统的基本构成

电子战系统是由多部电子战设备在采用计算机或微处理器控制下组成的统一指挥、协调工作、在战场环境下完成特定的电子战任务的系统。系统的设计取决于具体的应用。不同功能和性能的电子战系统的设备种类、数量和组成形式各不相同。图 1-1 显示的是典型的综合的电子战系统构成的功能框图。有些组成部分可能不是在每个电子战系统中都有，有些电子战系统可能包括其他组成部分。如果一个电子战系统只用于侦察，则不会有诸如激励器、功率放大器等组成部分。图中虚线表示信号，而实线表示控制。

系统控制部分用于对系统各功能模块进行总体控制，使其协调工作。具体的控制功能包括对侦察测向数据进行综合分析处理，确定需干扰目标网台的威胁等级、干扰参数和干扰功率，控制干扰部分实施干扰。干扰过程中随时监视干扰效果，并对于干扰部分进行调整。控制部分的功能、智能化水平及反应速度是衡量系统先进性的一个重要标志。现代电子战系统普遍采用微处理机或微型计算机实现对设备的自动控制，系统可以采用集中控制，也可以采用分布式控制，这取决于所选择的系统结构。图中的实线表示系统控制总线。典型的控制总线有军标 1553、VME、VXI、IEEE 1394（火线）、IEEE 802.3（以太网）、FDDI（分布式光纤数据接口）等。

侦察功能由天线、搜索接收机、信道接收机、侦察信号处理等功能单元构成。在综合电子战系统中，侦察天线、测向天线和干扰天线经常是同一根天线。多个接收机共用天线时需要对信号进行分配，信号分配器将从天线来的电缆与到达不同接收机的电缆连接起来并实现阻抗匹配。搜索接收机用于在感兴趣的频带中搜索、截获信号。侦察信道接收机用于对固定信道上的信号进行接收，完成选频、放大、变频、滤波、解调等功能。侦察信号处理用于检测在某个特定频率或特定的带宽上是否存在信号，测量信号的频率，确定某个信号的调制样式等，根据要完成的不同任务处理信号的方式也不同。侦察系统的主要技术指标有频率覆盖范围、灵敏度、动态范围、频率分辨率、频率稳定度、抗干扰性、时效性（侦察速度）、适

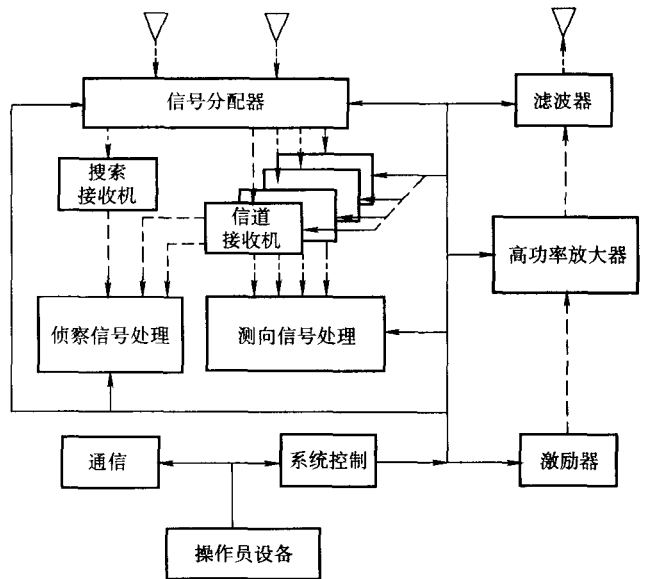


图 1-1 典型的综合的电子战系统构成的功能框图

应性（可侦察信号的种类）等。

测向功能由天线、测向信道接收机、测向信号处理等功能单元构成。测向天线是单个天线单元或多个固定排列天线单元构成的天线阵，测向天线的结构形式与特定体制的测向系统相适应。测向信道接收机对天线输出的信号进行选择、放大、变频等处理。与一般的侦察接收机一样，测向信道接收机的性能指标对测向系统的性能有很大影响。根据测向方法的不同和特殊的需要，测向信道接收机可选择单信道、双信道或多信道接收机。对双信道和多信道接收机通常采用共用本振的方式，以利于信道之间幅度与相位特性的平衡。测向信号处将测向信道接收机输出信号中所包含的来波方位信息提取出来，并对测向误差进行校正。测向系统的主要技术指标有：工作频率范围、测向灵敏度、测向精度、处理带宽和频率分辨率、抗干扰性、时效性（测向速度）、适应性（可测向信号的种类）等。

干扰功能由激励机器、高功率放大器和滤波器等单元构成。激励器实质上是一个射频信号发生器，具有对产生出来的信号进行调制的功能，可以用多种形式来进行调制，如噪声调幅、噪声调频、随机键控等，单音干扰用来对付 FSK 信号有时是有效的。高功率放大器将来自激励器的较弱信号（典型的是 0dBm，即 1mW）转换成更强的信号，电子战中典型的干扰发射功率是 1kW 上下。滤波器用于限制系统发射频道之外的能量，以避免对己方接收机的干扰。干扰系统的主要技术指标有频率范围、干扰带宽、干扰样式、发射功率、反应时间等。对瞄准式干扰还有频率重合度、带外辐射等技术指标。

通信部分可以完成几种不同的功能，它是该系统指挥和控制的手段，也是接收外部数据的手段（接收任务），以及向外传送系统获得信息的手段（上报信息）。

1.1.4 电子战、通信电子战的地位和作用

随着科学技术的发展，电子技术在军事上的应用日益广泛，在现代战争中，指挥通信、军事情报、兵器控制、侦察监视都日益依赖于各种电子设备构成的 C⁴ISR 系统，C⁴ISR 系统已成为现代战争中整体作战效能的倍增器。由此，以 C⁴ISR 为作战和保护对象产生的电子战这种新的作战方式，已成为现代高技术条件下的主要作战手段，起着越来越重要的作用，具有越来越高的地位。

1. 电子战、通信电子战的作用

由电子战的内容可以看出，电子战（含通信电子战）在现代战争中具有以下几个方面的作用。

(1) 搜集敌方军事和技术情报

通过电子侦察，广泛搜集敌方军事电子情报，是平时和战前电子对抗的主要内容，可为研制电子对抗设备，制定电子对抗计划和采取正确的军事行动提供重要依据；在现代作战中，为对敌实施电子进攻和防护行动提供实时或近实时的战术情报支援。

(2) 扰乱、迷惑和破坏敌方电子设备（C⁴ISR 系统）的工作

利用各种软杀伤和硬摧毁电子战系统，在关键时刻、关键地点和主要进攻方向上，对敌方的 C⁴ISR 系统和精确制导武器以及隐身目标的薄弱环节实施集中的、高强度的电子攻击，以迷盲和破坏敌之雷达防御体系、阻断敌之通信联络、破坏敌之武器控制，造成敌雷达迷盲、通信中断、武器失控、指挥失灵，从而从整体上瓦解其战斗力，保障以最小的损失率顺利完成各项作战任务。

(3) 保障己方电子设备 (C⁴ISR 系统) 的有效工作

当敌方采取侦察、干扰和摧毁等电子进攻行动时, 只有实施电子防御 (反侦察、反干扰、反摧毁) 行动, 才有可能发挥己方电子设备和武器系统的效能。

2. 电子战、通信电子战的地位

现代战争的特点和电子战 (含通信电子战) 的作用决定了其在现代战争中的重要地位, 具体表现在以下几个方面。

(1) 电子战是现代战争的重要作战手段

现代战争是信息化的高技术战争, 战争的内容已不仅是飞机、大炮、坦克之间的传统战争, 战争的胜负也不仅仅取决于这些武器及兵员的数量、质量, 而在相当程度上取决于由大量电子设备构成的 C⁴ISR 系统的数量、质量和应用上, C⁴ISR 已成为整体作战效能的倍增器, 而电子战要“消灭”的不仅是敌人的有生力量, 它通过攻击或使敌方的 C⁴ISR 系统瘫痪, 降低敌方的整体作战效能, 同时保护己方的作战效能。所以, 电子战是一种有效的军事打击力量, 已成为一种必不可少的基本的作战样式和重要的作战手段, 是现代战争的“杀手锏”。

(2) 电子战是赢得战争胜负的关键要素

电子战是敌对双方在整个电磁频谱内为争夺电磁频谱的使用权和控制权而进行的斗争, 夺取电磁频谱的控制权是掌握战争主动权的重要因素, 取得控制电磁频谱的一方, 可依靠电子侦察和强大的电子进攻行动, 使敌方的 C⁴ISR 系统失灵、指挥瘫痪、协同作战混乱、制导武器失控、重要的电子目标遭到摧毁, 从而使敌方的军队战斗力受到削弱、破坏或丧失, 同时又有效地保障己方电子设备免遭破坏而达到“保存自己、消灭敌人”的目的。没有电子战的胜利, 就没有制电磁权, 就不会有制信息权, 进而就会丧失制空权、制海权和战争的主动权。所以, 通过电子战获取电磁优势 (制电磁权) 是夺取战争主动权的先决条件, 是现代战争中军队赖以生存和取胜的重要支柱, 是赢得战争胜负的关键要素。

(3) 电子战是一种战略威慑力量

电子战已成为高技术战争的主要内涵, 电子战装备已成为现代武器的重要组成部分。电子战能力是整个战争能力的重要组成部分, 已成为一个国家整体军事力量的一个重要标志。所以电子战是一种有效的战略威慑力量, 是维护国家安全和尊严的一种重要手段。

通信电子战在现代战争中具有特殊重要的作用与地位, 这是由通信在 C⁴ISR 中的特殊作用以及其特性所决定的。通信是 C⁴ISR 的神经和纽带, 也是 C⁴ISR 系统赖以生存和发挥效能的关键, 所以, 一个可靠的通信网已成为现代战争能否取胜的关键因素。但是, 通信系统在战时又是 C⁴ISR 系统中最易暴露和最薄弱的环节。通信系统的瘫痪将导致整个 C⁴ISR 无法正常工作。通信电子战的作战对象不仅是通信系统, 而且是整个 C⁴ISR 系统, 其目的不是破坏一两件武器, 而是剥夺对方指挥员的权力, 使对方的武器系统瘫痪。干扰敌方一部雷达, 只能除掉一件武器的威胁, 而如果干扰掉敌方的 C⁴ISR 系统, 就可使敌人的整个武器系统陷于瘫痪, 因而通信电子战是一种重要的作战方式, 是赢得战争胜利的关键因素之一, 强大的通信电子战能力是战略威慑力量的重要构成。

1.1.5 电子战、通信电子战的发展趋势

随着科学技术的不断发展与战争需求的不断提高, 电子战的理论、技术和装备也不断向

前发展。电子战的领域不断扩大，理论不断完善，技术越来越先进，新体制电子战装备不断出现。电子战的作用和地位日益提高，对战争的胜负影响也越来越大。

电子战的发展最终表现在电子战装备上，就电子战的装备而言，有以下发展趋势。

1. 电子战装备的功能向一体化、综合化方向发展

现代战争是陆、海、空、天一体化的大纵深的联合作战，电子战已渗透到现代战争的各个方面，使得现代战争不再是单个设备的斗争，而是系统对系统、体系对体系的斗争。现代战争中的电子战装备，不再是各领域完全分隔的功能单一的侦察机、测向机、干扰机等，而是多领域、多功能的一体化、综合化的电子战系统。综合电子战系统可实现情报资源共享，提高系统的适应性、反应速度，从而大大提高了电子战的整体作战能力。所以，建立包括雷达对抗、通信对抗、制导对抗、光电对抗等内容的一体化的综合电子对抗系统，形成陆、海、空、天立体多系统对抗体系，是今后发展的主要趋势。

2. 电子战装备应用向新领域拓展

随着科学技术的不断发展和进步，以及现代战争的需要，电子技术在军事上的应用越来越广，应用领域不断扩大，促使电子战装备的应用向新领域拓展。

3. 电子战装备的技术不断更新，并出现新体制的对抗

各种新技术、新器件不断应用于电子战，使电子战技术不断更新，水平越来越先进，性能越来越好，并产生新的电子战技术体制。

4. 电子战装备的设计和实现向数字化、软件化方向发展

数字化和软件化便于系统集成、减小系统体积、降低功耗，也便于生产，且性能稳定，数字化和软件化还便于实现计算机处理、控制和管理，提高系统的性能，使系统工作自动化和智能化，便于产品的更新换代。

5. 电子战装备的构成部件向小型化、模块化、标准化、系列化方向发展

系统的小型化对机载和空载平台特别有意义，系统的模块化、标准化、系列化减小了系统模块的种类，增加了模块的兼容性，使系统配置、使用和维护方便。

6. 电子战装备的工作向自动化、智能化方向发展

系统功能的自动化和智能化集成了专家知识和经验，实时或准实时地融合处理大量信息，增加了系统的功能，减小了操作难度，提高了系统的时效性。

7. 电子战装备的平台向多样化发展

现代战争中的电子战装备由以陆基平台为主，向空基和天基电子战平台发展，空基和天基电子战平台将成为主要的电子战平台。

8. 电子战装备的时效性越来越短

由于新技术的不断发展和应用，产品不断更新换代，性能越来越好，功能和适应性越来越强，应用领域越来越宽，使得电子战装备的使用寿命越来越短，更新速度越来越快，系统的时效性越来越短。

1.2 无线电通信侦察

1.2.1 概述

无线电通信侦察是利用无线电通信侦察和测向设备对各种无线电通信信号进行搜索、截

获、参数测量、测向定位、分析识别，从而获取技术或军事情报。

无线电通信侦察按目的或用途不同可分为军事情报侦察和技术情报侦察，军事情报侦察以获取敌方的军事情报为主，而技术情报侦察以获取技术情报为主。无线电通信侦察获取的军事情报包括敌方电台的数量、类型、位置、用途、工作规律和通信内容等，而技术情报是有关的敌方无线电通信设备的技术体制和参数的情报，包括通信体制、工作方式、工作频率、调制方式、相对电平等。

不同目的的无线电通信侦察，其具体内容的侧重点和要求也有所不同。例如，仅仅为获取军事情报，无论是战略性或战术性军事情报侦察都无须对信号参数进行详细测量、守候监视和引导干扰。战略性技术情报侦察对信号分析测量的参数要尽量齐全，精度要高，但时效性要求低，即对信号分析处理的速度可以放宽，甚至可以先将信号记录下来留待事后进行分析处理；而战术性技术情报侦察即通信对抗支援侦察要求对敌方通信信号的截获概率要高，侦察设备的反应速度要快，对信号具有实时分析处理能力，而对信号参数的测量精度可适当放宽。

通过对侦察获得的技术情报进行分析判断和数据融合，在平时为掌握敌方通信装备的技术水平、制定通信电子战的发展战略、研制和发展通信电子战装备提供重要依据，在战时为电子干扰和摧毁提供电子战支援。通过对侦察获得的军事情报进行分析判断和数据融合，为掌握敌方无线通信的组网方式、指挥关系、通信规律、设备类型与数量的部署及变化情况，判断敌指挥所位置、战斗部署、行动意图提供依据，对判明敌情、分析军事形势、指挥作战和采取作战行动提供情报支持。可见，无线电通信侦察是获得技术情报和军事情报的一种不可或缺的重要手段，是通信电子战的重要内容，是通信电子战的前提和基础。

1.2.2 无线电通信侦察的基本原理

1. 无线电通信信号侦察接收机

用来截获通信信号的搜索接收机的类型取决于所需实现的特定功能和所截获信号的形式。对常规的传统窄带信号，过去一直采用超外差接收机，超外差接收机具有灵敏度高、选择性好的优点，但传统超外差体制的接收机是窄带接收机，需通过扫频方式实现宽带搜索，然而扫频超外差接收机在提高频率搜索速度和频率分辨率方面存在自身不能克服的矛盾，采用扫频超外差接收机难以在宽带范围内对持续时间较短的窄带信号特别是突发通信信号实现全概率截获。随着技术的发展，扩频通信应用越来越广泛，扩频信号是宽带信号，采用窄带扫频超外差接收机难以或不能实现对其截获。为此，必须采用新的宽带接收机体制，以使接收机同时具有较宽的瞬时带宽、较高的频率搜索速度和频率分辨率。

随着技术的发展，出现了一些新的宽带接收机体制，大大提高了侦察接收机的技术性能。目前，用于通信侦察的接收机体制主要有超外差接收机、压缩接收机、信道化接收机、声光接收机和数字接收机，其中，超外差接收机为窄带（所谓带宽的宽窄是相对而言），其他接收机为宽带。下面对这些接收机体制的概念、原理和特性作简单介绍。

(1) 超外差接收机

超外差接收机是通过变频对信号进行接收，按中频的不同可分为普通超外差接收机、零中频超外差接收机，按调谐方式又可分为固定调谐超外差接收机和扫频超外差接收机。图 1-2 所示为扫频超外差接收机的原理框图。超外差接收机的主要特点是同时具有高灵敏、高选择性和

高动态性能。超外差接收机不仅应用于搜索接收机，也用于信道接收机和引导接收机。

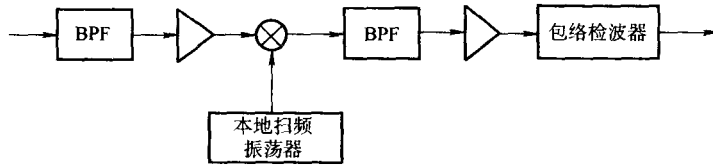


图 1-2 扫频超外差接收机原理框图

窄带扫频超外差接收机的主要问题在于其灵敏度、频率分辨率与扫频速度之间存在无法克服的矛盾。对于扫频超外差接收机，如果以 μ (Hz/s) 代表接收机的扫描速率， B 代表混频器之后的中频滤波器的 3dB 带宽，则由参考文献 [3] 分析得，归一化峰值 α (相对于输入信号的幅度归一化) 为

$$\alpha = \left(1 + 0.195 \frac{\mu^2}{B^4} \right)^{-1/4} \quad (1-1)$$

频率分辨率为

$$\Delta = B \left(1 + 0.195 \frac{\mu^2}{B^4} \right)^{1/2} \quad (1-2)$$

因此，随着扫频速率 μ 的增加，归一化幅度峰值要减小，而频率分辨率会下降（选择性降低）。在一个密集的信号环境中，为了实现相邻信道之间的干扰最小化，希望可分辨带宽小于 50kHz。因而，在军事 VHF 频段，信号的典型带宽为 25kHz，其快速扫频必须保持在大约每秒 3GHz 以下，以便保证所需要的频率分辨率。对于在 30 ~ 88MHz、频道间隔为 25kHz 的 VHF 频段的跳频电台，当跳速大于约 50 跳/s 时，采用扫频超外差接收机不能实现对该跳频信号的全概率实时截获。

(2) 信道化接收机

信道化接收机本质上是一组固定调谐的接收机（通常为窄带），射频带谱被分成多个信道，其带宽取决于所感兴趣的信号类型，对 VHF 通信信道，带宽典型值为 25kHz。

接收机的信道化可以有多种形式，模拟中频信道化接收机是在中频级使用相互邻接的滤波器组，每个滤波器对应一个信道，其特点是具有快的搜索速度，在相同的频率分辨率下， n 个信道的信道化接收机的搜索速度比单个信道的扫频超外差接收机提高近 n 倍，其缺点是设备量大，还有邻道识别模糊问题。信道化接收机也可以采用数字接收机实现，它是用数字滤波器组代替邻接滤波器组的中频信道化接收机。

(3) 声光接收机

声光接收机利用布喇格 (Bragg) 小室使人射激光束受信号频率调制发生偏转，偏转角度正比于信号频率，用一组光检测器件检测偏转之后的光信号，从而完成信号检测和测频等目的。声光接收机的原理框图如图 1-3 所示。它的主要特点是可以实时计算射频信号的

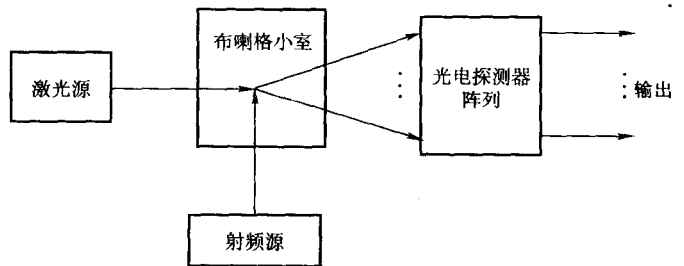


图 1-3 声光接收机典型原理框图

傅里叶变换，瞬时带宽宽、搜索速度快，能够实现全概率截获信号，但动态范围较小。