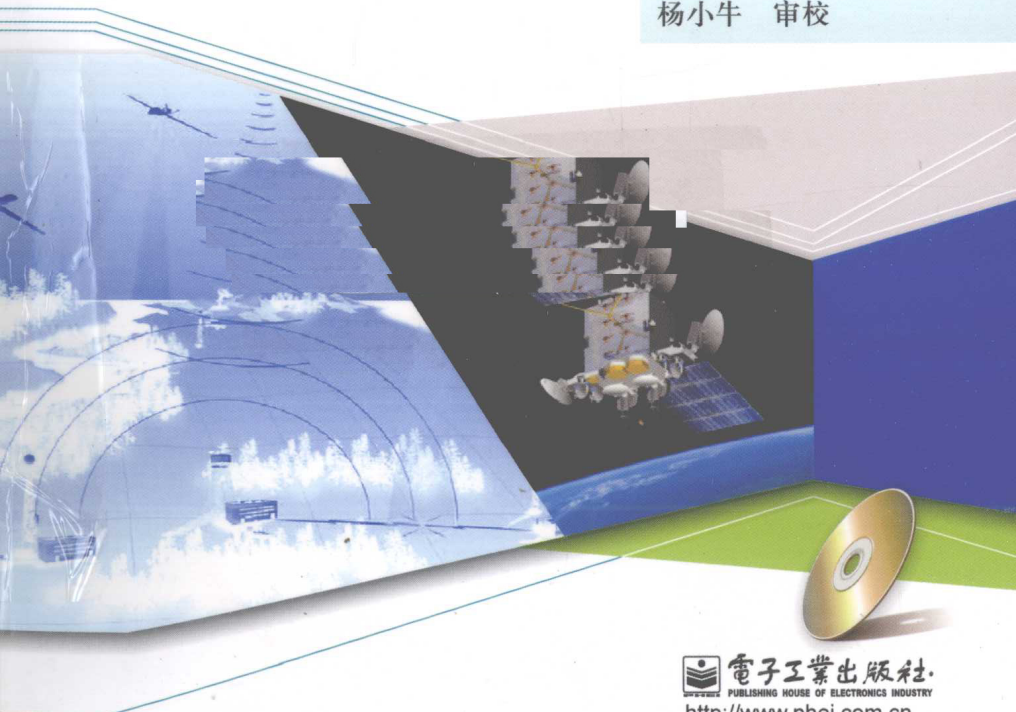


EW103:Tactical Battlefield Communi-  
cations Electronic Warfare

# EW103

## 通信电子战

[美] David L. Adamy 著  
楼才义 等译  
杨小牛 审校



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

# EW103: 通信电子战

EW103: Tactical Battlefield communications  
Electronic Warfare

[美]David L. Adamy 著

楼才义 等译

杨小牛 审校

电子工业出版社

**Publishing House of Electronics Industry**

北京 · BEIJING

Authorized translation from English Language Edition entitled **EW 103: Tactical Battlefield Communications Electronic Warfare**, by David L. Adamy, ISBN: 978-1-59693-387-3, published by Artech House, Copyright ©2009 Artech House

Simplified Chinese Edition Copyright © 2010 by Publishing House of Electronics Industry.

All rights reserved.

本书中文翻译版专有出版权由 Artech House, Inc. 授予电子工业出版社, 专有出版权受法律保护。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2010-0256

#### 图书在版编目(CIP)数据

EW103: 通信电子战 / (美)阿达米(Adamy,D.L.)著; 楼才义等译. —北京: 电子工业出版社, 2010.3

书名原文: EW103: Tactical Battlefield Communications Electronic Warfare  
ISBN 978-7-121-10451-0

I. E… II. ①阿… ②楼… III. 军事通信—通信对抗—电子战 IV. E96 E919

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第032015号

责任编辑: 竺南直 特约编辑: 郭莉

印刷: 北京天宇星印刷厂

装订: 三河市鹏成印业有限公司

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: 850×1168 1/32 印张: 9.875 字数: 256千字

印次: 2010年3月第1次印刷

印数: 3500册 定价: 28.00元(含光盘1张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 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。

质量投诉请发邮件至 [zltz@phei.com.cn](mailto:zltz@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

# 译者序

该书是 EW100 系列的第三本。本书是以美国老乌鸦协会会刊《电子防御杂志》一个很受读者欢迎的专栏中的文章为基础写成的。该书全面、清晰地介绍了通信电子战系统所涉及的各种基本理论、基本技术和主要功能，该书的通信电子战实践特色明显、实用性很强。全书共 9 章，主要内容为：第 1 章：引言，主要介绍了 dB 这个单位的换算与应用；第 2 章：通信信号，介绍了各种数字、模拟、跳频、直扩等信号的产生与特点；第 3 章：通信天线，主要介绍了天线的波束、增益、极化、阵列等概念；第 4 章：通信接收机，主要介绍了超外差、信道化、压缩等各种接收机，信号的数字化，以及接收机的各种指标；第 5 章：通信信号传播，主要介绍了信号传播特性和链路预算；第 6 章：通信辐射源搜索，主要介绍了搜索策略、系统配置、对各种低截获概率信号的搜索等内容；第 7 章：通信辐射源定位，给出了各种测向、定位的方法及其能达到的精度；第 8 章：通信信号截获，主要给出了低截获概率信号、强信号影响下弱信号的侦收方法；第 9 章通信干扰，讨论了对跳频、直扩、蜂窝等通信信号的各种干扰方法。

全书深入浅出、通俗易懂、图文并茂，与实际应用联系紧密，是通信电子战专业研究人员实用的参考资料和快速查阅手册。该书适合广大通信电子战领域的专家、研发人员、应用人员和管理人员使用。

本书前言、第 1 章、第 4 章由楼才义翻译；第 5 章、附录 A 由郑仕链翻译；骆振兴翻译了第 2 章；李新付翻译了第 3 章；张东坡

翻译了第 6 章；贾璐翻译了第 7 章；章军翻译了第 8 章；王晓音翻译了第 9 章。楼才义负责对全书的统稿，杨小牛对全书进行了仔细的审校。

由于译者技术水平和翻译水平所限，对书中的一些技术术语难免把握不准，译著中肯定会存在各种错误，敬请读者批评指正。

译 者

2009 年 8 月于嘉兴

# 原著前言

这是 EW100 系列丛书的第三本。与前两本书一样，它是基于电子防御杂志的讲座性文章 EW101 系列编写而成的。而这本书着重讨论针对敌通信信号的电子战实际应用方面的内容。

与前两本书一样，本书的读者对象包括：刚进入电子战行业的从业人员、电子战某些领域的专家、电子战外围技术领域专家以及电子战项目管理者。

在本书交付出版的时候，EW101 系列讲座还在继续，本书的某些素材将会出现在未来的栏目中。通过对过去或将来栏目中出现的所有资料进行重新组织，并加入引言和衔接性的内容，就可以形成各章内容。与 EW102 一书一样，这本书也有一个包括问题和解决方案（不仅是答案）的附录。

这本书的另一个新特点是使用一个能快速计算出天线和传播问题答案的计算尺。与此类似的滑动计算尺很多，但这本书的计算尺新设计了一些其他计算尺所没有的功能刻度。

最后，本书附了一张 CD，内含用于计算传输损耗、接收信号强度、有效范围、干信比以及其他类似重要数值的计算公式。这些公式都以电子数据表格形式给出，因为大多数技术人员都有该软件。Matlab 程序会更简洁，但软件价格非常昂贵。如果读者愿意，欢迎将电子数据表的公式（已经提供）转换成 Matlab 或其他程序。

## 作者简介

David L. Adamy 是一位国际公认的电子战专家。他已撰写了多年的 EW 101 专栏。然而，除了撰写该专栏之外，46 年前他就已经是军队和工业领域的 EW 专家（自豪地称自己为“乌鸦”）。作为系统工程师、项目负责人、项目技术主管、项目经理以及生产线经理，Adamy 先生直接参与了从直流到可见光各个领域的 EW 项目。这些项目所完成的系统应用于从潜艇到太空的各种平台上，满足了从“快捷粗放”到高可靠性的各种需求。

Adamy 拥有电子工程学士学位和电子工程硕士学位，主修专业均为通信理论。除了 EW101 专栏外，他在 EW、侦察及相关领域发表了多篇技术文章，出版了 11 部专著（包括这本书在内）。Adamy 在世界范围内讲授 EW 相关课程，向军方机构和 EW 公司提供咨询服务。他长期担任老乌鸦协会董事会成员，还当选过该协会主席。

他已结婚 47 年（他的妻子能够这么长时间忍受他这位经典的“书呆子”，应该得到一枚奖章），有四个女儿和八个外孙。他声称自己是一位还干得不错的工程师，但却是世界上真正卓越的飞钓者之一。

# 目 录

第 1 章 概述	1
1.1 通信的特征	1
1.2 频率范围	2
1.3 本书的架构	3
1.4 数学上的 dB	4
1.4.1 dB 值	4
1.4.2 与 dB 形式之间的转换	5
1.4.3 用计算尺来实现 dB 转换	6
1.4.4 用 dB 形式表示的绝对数	8
1.4.5 dB 公式	10
第 2 章 通信信号	11
2.1 模拟调制	11
2.2 数字调制	14
2.2.1 模拟和数字信息的传输	14
2.2.2 数字化	15
2.2.3 数字射频调制	17
2.2.4 数字信号带宽	21
2.2.5 数字信号的结构	24
2.3 噪声	25
2.4 LPI 信号	28
2.4.1 伪随机码	31



2.4.2	跳频信号	34
2.4.3	Chirp 信号	39
2.4.4	直接序列扩频信号	41
2.4.5	混合技术 LPI 信号	45
2.4.6	蜂窝电话信号	46
2.5	纠错码	50
<b>第 3 章</b>	<b>通信天线</b>	<b>53</b>
3.1	天线参数	53
3.1.1	天线类型	54
3.1.2	不同类型天线的基本特点	55
3.2	几种重要的通信天线	58
3.3	天线波束	59
3.4	有关天线增益的附加说明	61
3.5	极化	61
3.6	相控阵	62
3.6.1	相控阵天线的波束宽度和增益	64
3.7	抛物面碟形天线	65
<b>第 4 章</b>	<b>通信接收机</b>	<b>74</b>
4.1	接收机的种类	74
4.1.1	脉冲接收机	75
4.1.2	超外差接收机	78
4.1.3	调谐式射频接收机	81
4.1.4	固定调谐接收机	81
4.1.5	信道化接收机	81
4.1.6	布拉格小盒 (Bragg Cell) 接收机	83
4.1.7	压缩接收机	84
4.1.8	数字化接收机	86

4.2	数字化	88
4.2.1	采样速率	89
4.2.2	数字化波形	89
4.2.3	数字化技术	90
4.2.4	I、Q 数字化	90
4.3	数字化信号质量问题	91
4.3.1	伪码检测	92
4.3.2	跳频信号截获	93
4.4	接收系统的灵敏度	95
4.4.1	$kTB$	97
4.4.2	噪声系数	98
4.4.3	检波前所需信噪比	100
4.5	接收系统的动态范围	105
4.5.1	模拟与数字动态范围	106
4.5.2	模拟接收机动态范围	106
4.5.3	数字动态范围	110
4.6	典型接收机系统配置	111
4.6.1	多接收机侦察和电子支援系统	111
4.6.2	多接收机系统	112
4.6.3	远距离接收系统	115
<b>第 5 章</b>	<b>通信传播</b>	<b>117</b>
5.1	单向链路	117
5.2	单向链路方程	118
5.3	传播损耗	121
5.4	视距传播	122
5.5	双线传播	127
5.6	菲涅耳区 (Fresnel Zone)	131
5.7	刃峰绕射 (Knife-Edge Diffraction)	134

5.8	大气以及雨损耗	137
5.8.1	大气损耗	137
5.8.2	雨雾损耗	138
5.9	HF 传播	139
5.10	卫星链路	143
<b>第 6 章</b>	<b>通信辐射源搜索</b>	<b>147</b>
6.1	截获概率 (POI)	147
6.2	搜索策略	148
6.2.1	常规搜索	148
6.2.2	指定搜索	148
6.2.3	序贯寻优搜索	149
6.2.4	有用的搜索工具	149
6.2.5	影响搜索的实际因素	150
6.3	系统配置	152
6.3.1	搜索接收机种类	154
6.3.2	数字调谐接收机	155
6.3.3	数字接收机	157
6.3.4	测频接收机	157
6.3.5	能量检测接收机	158
6.4	信号环境	161
6.4.1	角度覆盖	161
6.4.2	信道占用率	162
6.4.3	灵敏度	163
6.5	无线电视距	163
6.6	低截获概率信号的搜索	168
6.6.1	LPI 信号的搜索策略	169
6.6.2	跳频信号	169
6.6.3	Chirp 信号	170

6.6.4	直接序列扩频	171
6.7	间断观察 (Look Through)	171
6.8	己方自扰	174
6.9	搜索策略举例	175
6.9.1	窄带搜索	175
6.9.2	从宽带接收机中转接	178
6.9.3	利用数字接收机的搜索	179
<b>第 7 章</b>	<b>通信辐射源定位</b>	<b>180</b>
7.1	辐射源定位方法	180
7.1.1	三角测量法	180
7.1.2	单站定位	183
7.1.3	方位角和仰角	184
7.1.4	其他定位方法	185
7.2	精度定义	185
7.2.1	均方根 (RMS) 误差	185
7.2.2	圆概率误差和椭圆概率误差	187
7.2.3	校准	190
7.3	测量站的位置和基准方向	191
7.4	中等精度定位技术	195
7.4.1	瓦特逊·瓦特测向技术	196
7.4.2	多普勒测向技术	197
7.5	高精度定位技术	199
7.5.1	单基线干涉仪	199
7.5.2	多基线精确干涉仪	204
7.5.3	相关干涉仪	205
7.6	精确辐射源定位	205
7.6.1	到达时差法	206
7.6.2	到达频差法	209

7.6.3	FDOA 和 TDOA 的组合 .....	212
7.7	辐射源定位——误差估计 .....	213
7.7.1	合成误差 .....	213
7.8	扩频辐射源的定位 .....	215
7.8.1	跳频信号的定位 .....	216
7.8.2	Chirp 辐射源 .....	222
7.8.3	直接序列扩频辐射源 .....	223
7.8.4	低截获辐射源的精确定位技术 .....	224
<b>第 8 章</b>	<b>通信信号的截获 .....</b>	<b>225</b>
8.1	截获链路 .....	225
8.1.1	截获定向发射 .....	227
8.1.2	截获非定向发射 .....	228
8.1.3	机载截获系统 .....	231
8.1.4	截获非视距信号 .....	232
8.2	在强信号环境下截获弱信号 .....	234
8.3	低截获 (LPI) 信号的截获 .....	234
8.3.1	截获跳频信号 .....	235
8.3.2	Chirp 信号的截获 .....	236
8.3.3	截获直接序列扩频信号 .....	237
<b>第 9 章</b>	<b>通信干扰 .....</b>	<b>240</b>
9.1	干信比 .....	241
9.1.1	干信比计算 .....	241
9.1.2	其他损耗 .....	243
9.1.3	有利位置干扰 .....	243
9.2	数字与模拟干扰 .....	244
9.2.1	数字与模拟干扰 .....	244
9.2.2	脉冲干扰 .....	246

9.3	干扰扩频信号 .....	247
9.3.1	部分频带干扰 .....	248
9.3.2	跳频信号干扰 .....	251
9.3.3	Chirp 信号干扰 .....	255
9.3.4	干扰直扩信号 .....	255
9.3.5	组合模式扩频信号的干扰 .....	257
9.4	纠错码对干扰的影响 .....	258
9.4.1	蜂窝电话干扰 .....	258
9.4.2	干扰上行链路 .....	259
9.4.3	干扰下行链路 .....	260
附录 A	问题及答案 .....	262
附录 B	参考书目 .....	290
附录 C	使用随书附带的 CD .....	295

# 第1章 概 述

作者试图使本书成为一本容易阅读的书籍。本书用物理学的方法而不是用数学的方法、术语对硬件和技术进行解释。大部分公式采用简单的 dB 形式表示，以便于记忆和使用。

与以前两本 EW100 系列书籍一样，技术内容力求准确，而不是精确。在大部分情况下，所给出公式和例子的计算精度为 1dB。但是，为了便于把那些公式用于更高精度的场合，所提供的常数项精度是很高的。

本书关注的是通信电子战 (EW)，因此，没有涉及雷达威胁、搜索、截获、干扰、诱饵等内容。这些问题可以参看书籍 EW101 和 EW102。

## 1.1 通信的特征

通信电子战 (EW) 是针对所有通信的，所以我们会以适当的篇幅讨论通信信号、通信传播和硬件组成的本质特点。重点在于 VHF、UHF 和低频段微波等频率范围的战术战场通信。同时也涉及低频段传播、指挥和数据链路、卫星通信等。

通信的目的在于把某个点的信息传送到远方的另一个点，因此（不像雷达），它天生就是单程的。虽然存在“突发”通信这种时间非常短的信号，但是大部分通信信号或长或短总是有一段持续时间的，从几秒钟到连续存在。

通信信号一般是窄带的，但也有一些通过调制人为地把信号带宽扩展至远超过承载信息所需要的带宽上。这样做是为了防止被敌

方检测到, 或降低受有意或无意干扰的影响。

通信信号可以是模拟信号, 也可以是数字信号, 而数字信号现在使用越来越普遍。EW 系统中处理这两类信号的方法存在很大差别。对于数字通信信号而言, 敌方可以通过使用保持信号完整性的各种先进技术, 使得电子战任务实现起来更困难。

## 1.2 频率范围

表 1.1 给出了用于通信的频率范围及其典型应用、传播模式和传播问题。

表 1.1 频率范围

频率范围	缩 写	信号类型和特征
甚低频, 低频和中频: 3kHz~3MHz	VLF, LF, MF	极远距离通信 (在海上的船只等), 商用 AM 无线电广播。环绕地球的地波
高频: 3~30MHz	HF	超视距通信, 信号通过电离层反射
甚高频: 30~300MHz	VHF	移动通信, 电视, 商用 FM 无线电广播。要求视距
超高频: 300MHz~1GHz	UHF	移动通信和电视。要求视距
微波: 1~30GHz	MW	电视和电话信号传输链路, 卫星信号传输链路。要求视距
毫米波: 30~100GHz	MMW	极短距离通信。要求视距, 雨、雾对其具有高吸收性

注意到低频段传播的特点在于对视距的低依赖性, 地波和电离层反射使得通信范围得到极大的扩展。但是低频也具有窄带的特点, 低频段相对带宽宽给天线和放大器性能的提高带来了困难。通常相对带宽在 10% 时性能还算好, 当带宽大于 10% 时, 就会牺牲性能。

VLF 和 LF 链路通常承载低速率数字信号或莫尔斯电码, 而 MF 链路则具有足够的带宽承载语音信号。商用 AM 无线电在 MF 频率



的高端进行广播。大约在 30MHz 以上，无线电会穿透电离层，因此，频率较高的信号不能通过电离层反射传播。它们只能依靠视距或近视距传播路径。

VHF 和 UHF 传播可以提供足够的带宽，不仅可以承载语音和数据，还可以传输视频信号，包括商用电视广播。微波频率用宽带宽来承载大信息容量信号。宽带微波点对点链路承载大批量的电话信号、电视信号和宽带数据。通信卫星链路也位于微波频段，作为无人航空飞行器（UAV）与其控制站之间的指挥和数据链路。

## 1.3 本书的架构

- 在概述中，我们将讨论 dB 值和公式。
- 第 2 章讨论包括模拟调制、数字调制、低截获概率调制的通信信号。本章的大部分内容将涉及数字信号和相关的纠错编码问题。
- 第 3 章涉及用于通信和通信电子战的各类天线。包括用于通信频段所有常用天线的应用和典型性能参数。
- 第 4 章讨论用于通信和通信信号截获的各类接收机。同时也包括通信接收机灵敏度和动态范围的计算。
- 第 5 章是关于无线电传播的。重点在 VHF、UHF 和微波低端通信，但也包括 HF 和较低频段的传播问题以及通信卫星的传播问题。
- 第 6 章是有关搜索技术的。包括对固定频率和低截获概率通信信号的搜索。
- 第 7 章是关于敌通信辐射源的定位。介绍了常用的方法和技术。对每种方法的应用、预期精度以及其他性能和实现问题进行了讨论。
- 第 8 章涉及通信信号的截获——常规和低截获概率调制。对各种类型信号的搜索和截获概率相关问题进行了讨论。