

EW101: A First Course in Electronic Warfare

EW102: A Second Course in Electronic Warfare

电子战 原理与应用

[美] David Adamy 著

王燕 朱松 译 姜道安 孟建 审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

国防电子信息技术丛书

电子战原理与应用

EW101: A First Course in Electronic Warfare

EW102: A Second Course in Electronic Warfare

[美] David Adamy 著

王 燕 朱 松 译

姜道安 孟 建 审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书由上篇《电子战基础》(EW101)和下篇《电子战进阶》(EW102)两部分组成,其中上篇内容包括:基本的数学公式、天线类型与定义、接收机、电子战处理、辐射源定位、干扰与雷达诱饵等;下篇内容包括:威胁、雷达特性、红外与光电、对通信信号的电子战、辐射源定位精度、通信卫星链路等。书后附录了《电子战基础》和《电子战进阶》的问题与解答。

全书从最基础的数学公式开始,由浅入深,图文并茂,全面讲述了电子战所涉及的各种基础技术,是电子战专业技术人员和高校师生的实用参考资料。

1-58053-169-5 EW101: a first course in electronic warfare ©2001 ARTECH HOUSE, INC.

685 Canton Street, Norwood, MA 02062

1-58053-686-7 EW102: a second course in electronic warfare ©2004 Horizon House Publications, Inc.

All rights reserved. Printed and bound in the United States of America. No part of this book may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording, or by any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher.

All terms mentioned in this book that are known to be trademarks or service marks have been appropriately capitalized. Artech House cannot attest to the accuracy of this information. Use of a term in this book should not be regarded as affecting the validity of any trademark or service mark.

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,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。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2007-4581

版权贸易合同登记号 图字: 01-2007-4582

图书在版编目(CIP)数据

电子战原理与应用 / (美)阿达米(Adamy, D.L.)著;王燕,朱松译. —北京:电子工业出版社, 2011.10
(国防电子信息信息丛书)

书名原文: EW101: A First Course in Electronic Warfare & EW102: A Second Course in Electronic Warfare

ISBN 978-7-121-14700-5

I. 电… II. ①阿… ②王… ③朱… III. 电子对抗 IV. ①TN97

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 197623 号

责任编辑:竺南直

印 刷:北京东光印刷厂

装 订:三河市皇庄路通装订厂

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:23.5 字数:600 千字

印 次:2011 年 10 月第 1 次印刷

印 数:3 000 册 定价:55.00 元

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, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

译者序

电子战是指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，它包含电子战支援、电子攻击和电子防护三大部分。电子战的作战对象包括雷达、通信、光电、引信、导航、敌我识别、计算机、指挥与控制以及武器制导等所有利用电磁频谱的电子设备，其作战目的是从整体上瘫痪敌信息系统和武器控制与制导系统，进而降低或削弱敌方战斗力并确保己方电子装备正常工作，增强己方战斗力。

在现代高技术战争中，电子战已经发展成为一种独立的作战方式，是不对称战争环境中具有信息威慑能力的主战武器和作战力量之一。局部战争的实践表明，电子战是现代战争的序幕与先导，并贯穿于战争的全过程，进而决定战争的进程和结局。随着军事信息技术广泛应用于现代战争的各个领域，电子战作为现代信息化战争的主要作战样式之一，其作用范围将更广、规模更大、强度更高、进程更加激烈。电子战必将成为未来信息战场的核心和支柱，成为掌握信息控制权、赢得战场主动权和获取战争制胜权的关键。

随着科学技术的进步和世界各国对电子战的投入不断增大，电子战技术正以史无前例的速度向前发展，新技术和新装备不断涌现，性能水平持续提高，从而促使电子战的作战领域和作战方式不断变化，电子战装备的能力也在发生着革命性的变化。

David Adamy 是一位国际知名的电子战专家，曾在 2001 年担任过美国“老乌鸦协会”主席，现为该协会董事会成员。他在电子战及其相关领域出版了十多本专著，并在世界范围内讲授电子战相关课程、向军方和电子战公司提供咨询服务。《电子战基础》(EW101) 和《电子战进阶》(EW102) 是他多年来为“老乌鸦协会”会刊《电子防御杂志》撰写的电子战讲座专栏经重新修订、补充编写而成的电子战技术专著。这两本书已于 2007 年分别引进出版，得到了广大读者的认可与肯定，并有部分院校选为教材。现在我们借重印之机，将这两本书（分为上篇与下篇）合并出版，定名为《电子战原理与应用》，校正了原译文的某些偏差或编排错误，并更正了原书的个别计算错误。另外，为保持相对独立性并便于读者参考原著，未改变原书章节号和所有图、表及公式序号，只是将原《电子战进阶》(EW102) 的附录改为全书的附录。

上篇：《电子战基础》(EW101) 共包含十一章内容，第 1 章：概述；第 2 章：基本的数学公式，包括 dB、链路方程和球面三角形；第 3 章：天线，包括类型、定义和参数折衷；第 4 章：接收机，包括类型、定义、应用和灵敏度计算；第 5 章：电子战处理，包括信号识别、控制机理和操作员界面；第 6 章：搜索，包括搜索技术、限制和折衷；第 7 章：低截获概率信号，主要针对低截获概率通信信号；第 8 章：辐射源定位，即电子战系统采用的辐射源通用定位技术；第 9 章：干扰，包括概念、定义、限制和方程；第 10 章：雷达诱饵，包括有源、无源以及正确的计算；第 11 章：仿真，即用于概念评估、训练和系统测试的仿真技术。

下篇：《电子战进阶》(EW102) 共包含七章内容，第 1 章：简介；第 2 章：威胁，包括定义、频率范围、威胁制导方法、威胁雷达的扫描特征、威胁雷达的调制特性、通信信号威

胁；第3章：雷达特性，包括雷达方程、探测距离、雷达调制、连续波和脉冲多普勒雷达、动目标指示雷达、合成孔径雷达、低截获概率雷达；第4章：电子战中的红外和光电问题，包括电磁频谱、红外制导导弹、红外行扫描器、红外成像、夜视设备、激光目标指示、红外对抗；第5章，对通信信号的电子战，包括频率范围、HF传播、VHF/UHF传播、传播介质中的信号、背景噪声、数字通信、扩谱信号、通信干扰、对扩谱信号的干扰、对扩谱发射机的定位；第6章，辐射源定位精度，包括基本辐射源定位方法、角度测量方法、精确辐射源定位技术、辐射源定位精度、辐射源定位误差估计；第7章，通信卫星链路，包括卫星通信特性、术语和定义、噪声温度、链路损耗、链路性能计算、对卫星链路的干扰。

书后附录了《电子战基础》和《电子战进阶》的问题与解答。

全书从最基础的数学公式开始，由浅入深，图文并茂，全面讲述了电子战所涉及的各种基础技术，是电子战专业技术人员和高校师生的实用参考资料。

本书上篇《电子战基础》由信息综合控制国家重点实验室的王燕、朱松翻译，下篇《电子战进阶》由朱松、王燕翻译，全书由姜道安、孟建审校。本书的翻译出版得到了中国电子科技集团公司第二十九研究所毛嘉艺所长的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于译者水平有限，译著中肯定会存在不少错误，敬请广大读者批评指正！

译 者

2011年9月

原著前言

EW101（电子战基础）是《电子防御杂志》（Journal of Electronic Defense, JED）上一个非常受欢迎的栏目，迄今已持续了 10 多年。在每月一期的《电子防御杂志》中，EW101 栏目都以短小的篇幅讲述电子战知识，涉及了电子战的方方面面。在其中一部分内容的基础上，为保证内容的连贯性，补充了一些新素材，出版了《电子战基础》（EW101）。这本书，同其在期刊上的栏目一样，受到读者的好评。自那以后，又写了差不多 60 期的栏目文章，其中一些是对第一本书的内容进行更深一步的分析，而另一些则涉及全新的领域，于是又推出了第二本书《电子战进阶》（EW 102）。

EW101 和 EW102 的目标读者，是针对新入行的电子战从业人员、电子战某一领域的专家，以及电子战外围技术领域的专家。另一大类读者就是技术管理人员，他们必须根据电子战知识来做决策。总之，本书就是针对那些希望了解电子战概况、掌握基础知识并能进行总体层次计算的读者。

谨以此书献给我亲爱的电子战同行们，无论是穿军装的还是不穿军装的。电子战是一个广泛的领域，有关内容可以讨论很多年。我期待着将来能看到一系列版本的电子战技术专著。

我们的行业是一个陌生而富有挑战的行业，真诚地希望本书能对您的工作有所帮助，节省您的时间，解决您的问题，有时还能帮助您摆脱困境。

David Adamy

* 根据《电子战基础》（EW101）和《电子战进阶》（EW102）的原著前言整理而成。

作者简介

David Adamy 是一位国际知名的电子战专家，为美国“老乌鸦协会”《电子防御杂志》撰写了多年的 EW101 专栏。他已在军队和电子战工业领域工作了 40 多年，作为系统工程师、项目技术负责人及项目经理，直接参与了从直流到可见光各个领域、多个项目的工作。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，满足了多项需求。

Adamy 拥有亚利桑那州立大学的电子工程学士学位和圣克拉拉大学的电子工程硕士学位，在电子战、侦察及其相关领域出版了 10 本专著并在世界范围内讲授电子战相关课程，向军方和电子战公司提供咨询服务。他是“老乌鸦协会”董事会成员，并在 2001 年当选过该协会主席。

目 录

上篇 电子战基础 (EW101)

第 1 章 概论	3
第 2 章 基本数学概念	6
2.1 dB 值与方程	6
2.2 电子战功能中的链路方程	8
2.3 电子战应用中的链路问题	11
2.4 球面三角形的关系	14
2.5 球面三角形的电子战应用	17
第 3 章 天线	21
3.1 天线参数与定义	21
3.2 天线类型	24
3.3 抛物面天线的参数折中	25
3.4 相控阵天线	28
第 4 章 接收机	31
4.1 晶体视频接收机	32
4.2 IFM 接收机	33
4.3 调谐式射频接收机	34
4.4 超外差接收机	34
4.5 固定调谐式接收机	35
4.6 信道化接收机	35
4.7 布拉格小盒接收机	36
4.8 压缩接收机	36
4.9 数字接收机	37
4.10 接收机系统	37
4.11 接收机灵敏度	40
4.12 调频灵敏度	43
4.13 数字灵敏度	44
第 5 章 电子战处理	47
5.1 处理任务	47
5.2 确定参数值	50
5.3 去交错	53
5.4 操作员界面	55
5.5 现代飞机操作员界面	59

5.6	战术 ESM 系统中的操作员界面	62
第 6 章	搜索	66
6.1	定义和参数限制	66
6.2	窄带频率搜索策略	68
6.3	信号环境	72
6.4	间断观察法	77
第 7 章	LPI 信号	79
7.1	低截获概率信号	79
7.2	跳频信号	80
7.3	线性调频信号	83
7.4	直接序列扩谱信号	86
7.5	一些实际考虑	89
第 8 章	辐射源定位	92
8.1	辐射源定位规则	92
8.2	辐射源定位的几何位置	93
8.3	辐射源定位精度	95
8.4	基于幅度的辐射源定位	98
8.5	干涉仪测向	102
8.6	干涉仪测向的实现	105
8.7	多普勒测向原理	108
8.8	到达时间辐射源定位	111
第 9 章	干扰	115
9.1	干扰的分类	115
9.2	干扰—信号比	118
9.3	烧穿	121
9.4	覆盖干扰	124
9.5	距离欺骗干扰	127
9.6	逆增益干扰	130
9.7	AGC 干扰	134
9.8	速度门拖引	135
9.9	对单脉冲雷达的欺骗干扰技术	136
第 10 章	诱饵	146
10.1	诱饵类型	146
10.2	RCS 和发射功率	149
10.3	无源诱饵	150
10.4	有源诱饵	151
10.5	饱和诱饵	151
10.6	诱骗诱饵	152

10.7	交战场景中的有效 RCS	155
第 11 章	仿真	158
11.1	定义	158
11.2	计算机仿真	160
11.3	交战场景模型	164
11.4	操作员界面仿真	168
11.5	操作员界面仿真的实际考虑	171
11.6	模拟	174
11.7	天线模拟	176
11.8	接收机模拟	180
11.9	威胁模拟	183
11.10	威胁天线方向图模拟	186
11.11	多信号模拟	190

下篇 电子战进阶（EW102）

第 1 章	概论	197
1.1	电子战概述	197
1.2	信息战	198
1.3	如何理解电子战	200
第 2 章	威胁	201
2.1	定义	201
2.2	频率范围	204
2.3	威胁制导方法	205
2.4	威胁雷达的扫描特征	207
2.5	威胁雷达的调制特性	210
2.6	通信信号威胁	213
第 3 章	雷达特性	217
3.1	雷达方程	217
3.2	雷达距离方程	219
3.3	探测距离与可探测距离	222
3.4	雷达调制	227
3.5	脉冲调制	227
3.6	连续波和脉冲多普勒雷达	232
3.7	动目标指示雷达	235
3.8	合成孔径雷达	237
3.9	低截获概率雷达	241
第 4 章	电子战中的红外和光电问题	247
4.1	电磁频谱	247

4.2	红外制导导弹	250
4.3	红外行扫描器	253
4.4	红外成像	255
4.5	夜视设备	257
4.6	激光目标指示	260
4.7	红外对抗	262
第 5 章	对通信信号的电子战	266
5.1	频率范围	266
5.2	HF 传播	266
5.3	VHF/UHF 传播	270
5.4	传播介质中的信号	272
5.5	背景噪声	274
5.6	数字通信	275
5.7	扩谱信号	283
5.8	通信干扰	286
5.9	对扩谱信号的干扰	288
5.10	对扩谱发射机的定位	295
第 6 章	辐射源定位精度	299
6.1	基本辐射源定位方法	299
6.2	角度测量方法	300
6.3	精确辐射源定位技术	304
6.4	辐射源定位——报告定位精度	310
6.5	辐射源定位——误差估计	313
6.6	到达角误差转换为定位误差	316
6.7	精确定位系统中的定位误差	318
第 7 章	通信卫星链路	324
7.1	卫星通信的特性	324
7.2	术语和定义	325
7.3	噪声温度	326
7.4	链路损耗	330
7.5	典型链路中的链路损耗	333
7.6	链路性能计算	336
7.7	相关的通信卫星和电子战公式	339
7.8	对卫星链路的干扰	340
附录 A	问题与解答	342
附录 B	参考书目	364

上 篇

电子战基础（EW101）

第 1 章 概论

第 2 章 基本数学概念

第 3 章 天线

第 4 章 接收机

第 5 章 电子战处理

第 6 章 搜索

第 7 章 LPI 信号

第 8 章 辐射源定位

第 9 章 干扰

第 10 章 诱饵

第 11 章 仿真

第 1 章 概 论

本书的目的是使读者全面了解电子战（EW）领域的概貌，并试图使其对相关领域的专家有所帮助。该书涵盖了系统级的射频（RF）电子战，更多地讨论了硬件和软件将要完成的功能而不是其工作原理。为避免复杂的数学计算，本书假设读者已经具备代数和三角知识，并坚持避开微积分。

电子战概述

电子战的定义是：为确保己方使用电磁频谱，同时阻止敌方使用电磁频谱所采取的战术与技术。电磁频谱包含从直流（DC）到光波及以远的频率范围。因此，电子战覆盖了全部射频频谱、红外频谱、光学频谱及紫外频谱等频率范围。

如图 1.1 所示，传统电子战分为：

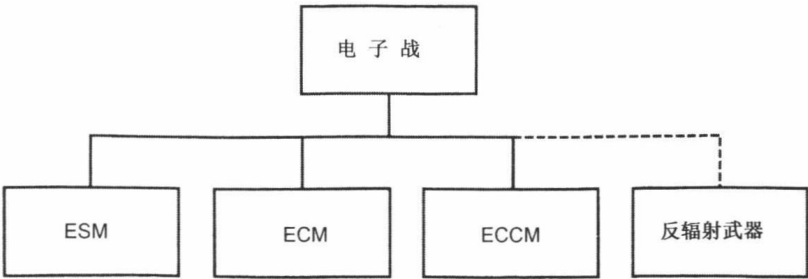


图 1.1 传统电子战分为 ESM、ECM 和 ECCM 三部分，反辐射武器没有被作为电子战的一部分

- 电子支援措施（ESM）——电子战的接收部分；
- 电子对抗（ECM）——利用干扰、箔条和曳光弹来扰乱雷达、军事通信和热寻的武器的正常工作；
- 电子反对抗（ECCM）——在雷达或通信系统的设计或工作过程中为阻遏 ECM 的影响所采取的各种措施。

尽管知道反辐射武器（ARW）和定向能武器（DEW）与电子战密切相关，但在当时它们没有被作为电子战的一部分，而是被划归为武器类。

最近几年，许多国家（但不是所有国家）都将电子战重新定义为图 1.2 所示的几个组成部分。目前北约国家公认的定义为：

- 电子战支援（ES）——即传统的 ESM；
- 电子攻击（EA）——不仅包括传统的 ECM（干扰、箔条和曳光弹），而且包括反辐射武器和定向能武器；
- 电子防护（EP）——即传统的 ECCM。

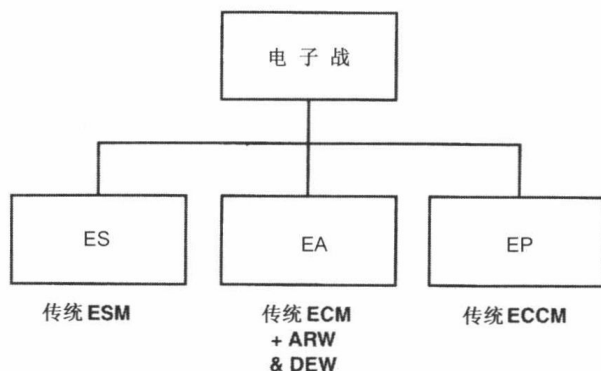


图 1.2 目前，北约的电子战定义将 EW 分为 ES、EA 和 EP 三部分，
EA 现在包含反辐射武器和定向能武器

ESM（即 ES）不同于由通信情报（COMINT）和电子情报（ELINT）构成的信号情报（SIGINT），尽管两者都涉及对敌辐射信号进行侦收。这种差异随着信号复杂度的不断提高正变得越来越模糊，只存在于对辐射信号的侦收目的不同。

- COMINT 侦收敌通信信号，目的是从这些信号所携带的信息中提取情报。
- ELINT 侦收敌非通信信号，目的是获得敌电磁系统的详细情况以便制定对抗措施。因此，ELINT 系统通常要在较长时间内搜集大量数据，才能支持详尽的分析。
- ESM/ES 搜集敌信号（通信信号或非通信信号），目的是立刻对这些信号或与这些信号有关的武器采取某种行动。可以干扰接收的信号或将其信息传送给致命打击能力。接收的信号还可用于态势感知，即识别敌方部队、武器或电子能力的类型与位置。通常，ESM/ES 采集大量的信号数据来支持吞吐率很高的处理。ESM/ES 一般只能确定出现的是哪一类已知辐射源及它们的位置。

如何理解电子战

理解电子战原理（尤其是射频部分）的关键是要真正深刻地理解无线电的传播理论。如果明白无线电信号的传播机理，那么就很容易理解截获、干扰或保护这些信号的原理。若不了解信号的传播，要真正进入电子战领域几乎是不可能的。

一旦了解了一些简单的公式，如 dB 形式的单向链路方程和雷达距离方程等，那么你就能够自己解决一些电子战问题。掌握了这点，在面临电子战问题时你就能迅速切中要害，并迅速、便捷地解决问题。

上篇具体内容

- 第 2 章：基本的数学公式，包括 dB、链路方程和球面三角形。
- 第 3 章：天线，包括类型、定义和参数折中。
- 第 4 章：接收机，包括类型、定义、应用和灵敏度计算。
- 第 5 章：电子战处理，包括信号识别、控制机理和操作员界面。

- 第 6 章：搜索，包括搜索技术、限制和折中。
- 第 7 章：低截获概率信号，主要针对低截获概率通信信号。
- 第 8 章：辐射源定位，即电子战系统采用的辐射源通用定位技术。
- 第 9 章：干扰，包括概念、定义、限制和方程。
- 第 10 章：雷达诱饵，包括有源、无源，以及正确的计算。
- 第 11 章：仿真，即用于概念评估、训练和系统测试的仿真技术。

第2章 基本数学概念

本章讨论书中介绍的电子战概念所涉及的数学基础，包括 dB 值与方程、无线电传播和球面三角法。

2.1 dB 值与方程

在有关无线电传播的领域，信号强度、增益和损耗通常用 dB 形式表示。因为，采用 dB 形式的方程比采用原有形式的方程更方便。

用 dB 表示的数字是对数的，便于比较相差很多数量级的数值。为方便起见，我们将非 dB 形式的数字称为线性数字，以区别于 dB 形式的对数数字。dB 形式的数字还具备便于处理这一极大优势：

- 欲将线性数字相乘，则将其对数形式的数字相加即可。
- 欲将线性数字相除，则将其对数形式的数字相减即可。
- 欲将线性数字增大 n 次方，则将其对数形式的数字乘以 n 即可。
- 欲求线性数字的 n 次方根，则将其对数形式的数字除以 n 而得。

为了最大程度地利用这种便利，我们在处理过程中应尽可能早地采用 dB 形式的数字，同时尽可能晚地将其转换为线性形式的数字。在许多情况下，最常见的答案形式仍是 dB 形式的。

重要的是要了解用 dB 表示的值必须是一个比值（已转换为对数形式）。常见的例子有放大器或天线的增益和电路或无线电传播中的损耗。

2.1.1 线性数字与 dB 数字的转换

利用下列公式即可将线性数字 (N) 转换为 dB 形式的数字：

$$N(\text{dB})=10 \log_{10}(N)$$

对本书中的大多数方程来说，我们只假定是 $10\log(N)$ ，即以 10 为底的对数。如果要用科学计算器进行该运算，则输入线性数字，然后按下“log”键，再乘以 10 即可。

采用下述公式即可将 dB 值转换为线性形式：

$$N=10^{N(\text{dB})/10}$$

利用科学计算器，输入 dB 形式的数字，除以 10，然后按下第二功能键，再按下“log”键。该过程还可以被称为取 dB 值除以 10 的“反对数”。

例如，如果放大器的增益为 100 倍，我们可以说它具有 20dB 的增益，因为：

$$10 \log(100)=10 \times 2=20\text{dB}$$

逆转这个过程，可以求出 20dB 放大器的线性形式增益：

$$10^{20/10}=100$$