



国防科技著作精品译丛

雷达电子战系列

Antenna Systems and
Electronic Warfare Applications

天线系统及其在 电子战系统中的应用

【美】Richard A. Poisel 著 胡来招 白华 杨曼 沈阳 译
刘永红 审校



ARTECH HOUSE
BOSTON | LONDON



国防工业出版社
National Defense Industry Press



装备科技译著出版基金

天线系统及其在电子战系统中的应用

Antenna Systems and Electronic Warfare Applications

[美] Richard A. Poisel 著
胡来招 白 华 杨 曼 沈 阳 译
刘永红 审校



国防工业出版社

National Defense Industry Press

著作权合同登记 图字:军-2012-066号

图书在版编目(CIP)数据

天线系统及其在电子战系统中的应用 / (美) 波塞尔 (Poisel, R. A.) 著; 胡来招等译. — 北京: 国防工业出版社, 2014. 1
(国防科技著作精品译丛. 雷达电子战系列)
书名原文: Antenna systems and electronic warfare applications
ISBN 978-7-118-09299-8

I. ①天… II. ①波… ②胡… III. ①天线—应用—电子对抗 IV. ①TN97

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 033547 号

Translation from the English language edition:

Antenna Systems and Electronic Warfare Applications by Richard A. Poisel / ISBN: 978-1608074846

Copyright © 2012 by Artech House, INC.

Authorized translation from English language edition published by Artech House, INC.

All Rights Reserved.

本书简体中文版由 Artech House 公司授权国防工业出版社独家出版发行。

版权所有, 侵权必究。

天线系统及其在电子战系统中的应用

[美] Richard A. Poisel 著

胡来招 白 华 杨 曼 沈 阳 译

出版发行 国防工业出版社

地址邮编 北京市海淀区紫竹院南路 23 号 100048

经 售 新华书店

印 刷 北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

开 本 700 × 1000 1/16

印 张 53.75

字 数 965 千字

版 印 次 2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

印 数 1—2000 册

定 价 242.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777 发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755 发行业务: (010) 88540717

序

电子战领域方兴未艾,正成为现代武器装备的核心而迈入发展的新纪元,将在未来高科技战争中,发挥更加突出的重要作用。在电子战技术的发展中,急需相关专业书籍。就天线方面而论,可以找到很多论著,但是对于电子战领域,由于它所使用的天线的某些特殊性,专门论述的著作相当罕见。而本书涉及到了电子战天线的很多方面,可以被认为是这个领域内的一个补缺。

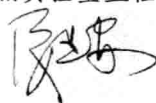
本书从电子战系统应用的角度,对各种常规以及近年来发展应用的天线技术理论、各种参数以及应用情况进行了详尽论述,论述角度新颖,基本概念清晰、准确,论证完备,是电子战研究领域不可多得的基础理论性书籍。同时,本书也具有很好的工程应用价值。无论对于从事电子战装备研究的工程技术人员,还是电子战专业的师生,都具有很好的指导意义。

原著的作者理查德·玻塞尔 (Richard A. Poisel) 博士具有电子战方面的一些专利,而且具有多年从事电子战领域技术研究和管理的经历,世界知名的 Artech House 出版社已出版了该作者的多部专著,并引起了业界的广泛关注,获得比较高的评价。作者渊博的学识和丰富的工程经验,加之本书研究内容与工程实践密切结合,使得本书具有较高的学术价值和工程应用价值。

本书译者是多年从事电子战总体技术研究以及情报研究的专家和资深技术人员,已编写出版、编译多部电子战专著,在该领域具有较高的知名度。感谢他们的辛勤工作,使得这本沉甸甸的译著能够很快完成。还要

感谢军事科学院的赵捷教授, 是他的推荐, 才使得我们与国防工业出版社很快取得共识。感谢国防工业出版社的相关人员, 是他们积极推动才能够很快完成版权等与出版相关的工作。最后感谢所有关心支持本书翻译出版的人们。

电子信息控制重点实验室主任



2013 年 11 月

译者序

一看到这本书,我们就有一种想把它翻译出来的感觉。电子对抗技术发展到今天,人们已经非常迫切地需要总结。一方面,要把现在应用的技术做一个梳理,给出一个理性的、全面的认识;另一方面,在这样的认识基础上,我们还需要有一个提高,重新审视电子对抗,提出独特的技术见解,以此推动电子对抗领域内新技术的诞生和应用。本书的翻译,就是想对电子战天线这一层面的技术现状做一个回顾和推广,希望它对广大读者有一定的启发作用。

本书由胡来招、白华、杨曼、沈阳等人翻译,其中胡来招翻译了前言、前8章、第21章、4个附录、缩写和关于作者,白华翻译了第9、12、13、15、16、18、22章,杨曼翻译了第9、11、14、20章,沈阳翻译了第9、10、17、19章和附录17A。由于译者在天线领域内的知识有限,我们诚恳地希望本书的翻译没有夹杂过多的差错,至少不想对读者造成任何误导。

书的原著由国防工业出版社提供,翻译工作得到西南电子设备研究所和电子信息控制重点实验室相关领导的关心和支持,张锡祥院士、顾杰研究员、刘江高级工程师、肖开奇研究员和方剑研究员等对译稿提出了大量宝贵的建议,给予了极大的帮助和支持,译者在此一并表示感谢。

译者

2013年12月

前言

涉及射频天线内容的经典教科书很多,而本书并非要取而代之。我们主要关心的是将本书中所讲述的理论应用到电子战系统中。出于完整性的考虑,我们加入了必要的背景知识介绍。在本书中,我们对电子战系统中使用的通用天线类型的技术参数进行了讨论,重点放在这些天线在电子战领域中的应用情况。

本书的内容主要分为三大部分。第一部分是天线基础,由第2章~第4章组成。第2章讨论了电磁波传播的基本原理。之后在第3章中介绍了所有天线类型遵循的基本原理。最后在第4章中研究了传输线的特性。熟悉这部分内容的读者开始阅读时可以跳过这几章,作为本书后续部分的参考。

第二部分是天线系统,也是本书的主要部分。我们研究了各种不同类型的天线并重点关注了其在电子战领域的应用情况。第5章中首先介绍了偶极子天线,并对其主要类型进行了研究。在第6章中我们介绍了单极子天线及其特性,第7章内容为环形天线。第8章中讨论了行波天线。第9章介绍了天线阵的内容。所谓天线阵就是两种或两种以上基本天线组合成一部天线。第10章讲述了天线阵在电子战领域的几种应用情况。第11章中介绍的是常见的八木天线,可由偶极子、单极子和环形天线组成不同的天线阵,特性也各不相同。在第12章中,我们研究的是频率无关天线。其实没有一部天线是真正频率无关的(这种天线将会无穷大)。在实际应用中,通常我们认为天线的带宽为10:1或者更大可以看作是频率无关。第

13 章介绍的是面天线。第 14 章介绍了电小天线的特性。大部分电子战天线的设计目标是小尺寸与大带宽的结合, 因此尺寸是特别重要的主题。接着在第 15 章和第 16 章中分别介绍了贴片天线的基本特征以及贴片天线在电子战中的应用。第 17 章介绍的是自适应天线阵。第 18 章介绍的是分形天线设计。在第二部分的结尾, 即第 19 章讨论了遗传天线的设计技巧。

第三部分是天线相关专题, 包括第 20 章 ~ 第 22 章。在与天线相关的书籍中很少涉及这部分内容。第 20 章中讨论了天线匹配的基本知识, 并介绍了一些专用设计方法。第 21 章中包含有与天线匹配的有关专题: 多耦合器、功率合成器和双工器。最后在第 22 章中介绍了天线罩的特性。

在此之后是 4 个附录。之所以把这几个专题的内容放入附录部分, 是为了使正文部分的技术内容阐述更流畅。附录 A 介绍了有源电子战系统中所使用的射频放大器的基本特性。附录 B 是射频开关。矩量法是分析天线结构的一种常用的技术, 这部分内容将在附录 C 中介绍。最后, 附录 D 中讨论了电介质材料的特征。

在本书的最后列出了缩写表, 表中还包括了本书中使用的变量的常用定义。由于英语和希腊语中都没有足够的字母表示, 为了避免重复, 这些定义只针对大部分使用的变量, 但根据需要也有可能对某些符号重新定义。我们希望重新定义是明确的, 不会出现混淆。

译者

2013 年 12 月

献给

Jim, Teresa 和 Sheryl

目录

第 1 章 电子战天线系统引论	1
1.1 引言	1
1.2 发射系统	2
1.3 接收系统	2
1.4 典型的天线系统	3
1.4.1 线天线	3
1.4.2 面天线	5
1.4.3 天线阵	6
1.4.4 频率无关天线	7
1.4.5 微带贴片天线	8
1.4.6 分形天线	9
1.4.7 遗传设计的天线	9
1.4.8 有源天线	10
1.5 结语	11
参考文献	11

第一部分 天线基础

第 2 章 电磁辐射原理	14
2.1 引言	14

2.2	坐标系统	15
2.3	电磁波	15
2.4	矢量场	16
2.4.1	散度定理	17
2.4.2	电场和电通量	18
2.4.3	法定关系	18
2.5	麦克斯韦方程	19
2.5.1	麦克斯韦推广的包含位移电流的安培定律	20
2.5.2	法拉第感应定律	21
2.5.3	高斯电定律	22
2.5.4	高斯磁定律	22
2.6	电磁波传播	23
2.6.1	波动方程	23
2.6.2	偶极子天线产生的电磁波	25
2.6.3	时变谐波场	25
2.6.4	辐射功率通量	27
2.7	用矢量的势函数确定天线的辐射场	31
2.7.1	矢量势和标量势	32
2.8	天线辐射场	33
2.8.1	辐射原理	33
2.8.2	电流元	34
2.9	闭合场线的辐射	36
2.10	电磁波小结	38
2.11	结语	39
	参考文献	40

第 3 章 天线的基本性能 41

3.1	引言	41
3.2	天线原理基础	42
3.2.1	天线参数定义	42
3.2.2	辐射方向图	44
3.2.3	天线辐射的平均功率	44
3.2.4	方向性	45

3.2.5	天线阻抗	46
3.2.6	发射天线	47
3.2.7	接收天线	49
3.2.8	天线互易	50
3.2.9	天线损耗电阻	51
3.2.10	天线效率	53
3.2.11	天线增益	54
3.2.12	天线极化	55
3.2.13	天线有效面积	58
3.2.14	天线有效高度	60
3.2.15	天线谐振和带宽	61
3.2.16	辐射方向图	64
3.2.17	天线 Q 值	64
3.3	宽带天线	66
3.3.1	电阻加载	66
3.4	微元辐射	67
3.4.1	引言	67
3.4.2	偶极子微元	68
3.4.3	环路微元	78
3.4.4	微元天线阻抗	84
3.5	理想导电地面上的架高天线	85
3.5.1	理想导电平面上的水平电流元	89
3.5.2	车载架高的通信系统天线	89
3.6	桅杆和电缆对架高天线的效应	90
3.7	线天线	91
3.8	结语	93
	参考文献	93

附录 3A	劳伦兹互易定理	96
	参考文献	103

第 4 章	传输线	104
4.1	引言	104

4.2	传输线的特性	104
4.2.1	速度因子	107
4.2.2	特性阻抗	108
4.2.3	横电磁波的传输	108
4.2.4	无损耗传输线	109
4.2.5	有损耗传输线	112
4.2.6	驻波	115
4.2.7	T 矩阵	116
4.3	端接的传输线	117
4.3.1	有限长的线	119
4.3.2	线的端接	119
4.4	波导	122
4.4.1	波的特性	125
4.4.2	理想波导中的横电波和横磁波	128
4.4.3	理想的矩形波导	129
4.4.4	矩形波导的横电波和横磁波参数	132
4.4.5	横电磁波模式	133
4.4.6	圆波导	134
4.4.7	波导小结	136
4.5	传输线电缆	137
4.5.1	同轴电缆	138
4.5.2	双线	142
4.5.3	微带线	143
4.6	结语	147
	参考文献	147

第二部分 天线系统

第 5 章	偶极子天线	150
5.1	引言	150
5.2	偶极子	150
5.2.1	短偶极子	153
5.2.2	有限长偶极子天线	156

5.2.3	半波偶极子	164
5.2.4	天线长度	167
5.3	折叠偶极子	168
5.3.1	折叠偶极子的性质	168
5.3.2	应用	171
5.4	带套偶极子	171
5.5	袖筒偶极子	172
5.6	结语	174
	参考文献	174
第 6 章	单极子天线	176
6.1	引言	176
6.2	垂直单极子	177
6.2.1	垂直单极子的辐射方向图	178
6.2.2	$1/4$ 波长垂直单极子	180
6.2.3	$1/2$ 波长垂直单极子	181
6.2.4	短垂直单极子	182
6.2.5	垂直单极子的馈点阻抗	182
6.2.6	垂直单极子的辐射电阻	184
6.2.7	架高的垂直单极子	185
6.2.8	顶端加载	188
6.3	地平面	188
6.3.1	均匀的地平面	190
6.3.2	非均匀的地平面	192
6.4	倒 L 和倒 F 天线	194
6.5	折叠的单极子	195
6.6	锥/双锥/盘锥天线	197
6.6.1	盘锥天线	197
6.7	袖筒单极子天线	201
6.8	螺线天线	207
6.8.1	法向模式的螺线	207
6.8.2	轴向模式的螺线	207
6.8.3	盘旋螺线天线	211

6.9 结语	211
参考文献	212

第 7 章 环路天线 213

7.1 引言	213
7.2 小环路天线	214
7.3 环路天线的一般特性	215
7.3.1 感应电压是磁场的函数	218
7.3.2 感应电压是电场的函数	219
7.3.3 辐射方向图	220
7.4 铁氧体棒环路天线	220
7.4.1 铁氧体棒的 Q 值	222
7.4.2 辐射电阻	222
7.5 环路天线的等效电路	225
7.5.1 分布电容	225
7.5.2 辐射电阻	226
7.5.3 环路电感 L_w	226
7.5.4 电阻引入的损耗	227
7.5.5 环路电感	230
7.5.6 调谐电容	231
7.6 环路天线的极化	232
7.7 大环路天线	232
7.7.1 大环路的特性	232
7.8 结语	233
参考文献	234

第 8 章 行波天线 235

8.1 介绍	235
8.2 贝佛里日天线	236
8.3 行波天线终端	244
8.3.1 双线传输线	244
8.3.2 单线传输线	244

8.4 V 形行波天线	245
8.5 菱形天线	247
8.5.1 半菱形	248
8.6 结语	250
参考文献	250

第 9 章 天线阵 251

9.1 引言	251
9.2 一般阵列的方向图	252
9.2.1 阵因子	254
9.2.2 阵列方向图	254
9.3 直线阵	255
9.3.1 M 元均匀线阵	255
9.4 圆阵	263
9.4.1 M 元均匀圆阵	263
9.5 平面阵	265
9.6 有源阵	268
9.6.1 收/发模块	268
9.6.2 馈电网络	269
9.6.3 中频波束形成	270
9.6.4 基带波束形成	270
9.6.5 射频波束形成	270
9.7 互耦和互阻抗	271
9.7.1 互阻抗	273
9.8 确定天线或阵列的输入阻抗的替代技术	279
9.8.1 天线阵	280
9.8.2 带电流源的天线阵的公式	281
9.8.3 天线导纳和阻抗	282
9.8.4 小结	283
9.9 结语	283
参考文献	283

第 10 章 天线阵的电子战应用	285
10.1 引言	285
10.2 圆阵	285
10.2.1 圆形布局的天线阵	285
10.2.2 Adcock 天线阵	287
10.2.3 干涉仪测向	289
10.2.4 伪多普勒测向	293
10.3 巴特勒矩阵	296
10.4 波束形成	297
10.4.1 阵列处理方位估计	297
10.4.2 波束形成	299
10.4.3 子空间法	300
10.4.4 全电磁天线阵	300
10.5 测向用的单脉冲接收机	303
10.5.1 单脉冲比幅接收机	304
10.5.2 测角标准差与信噪比的近似关系	320
10.5.3 单脉冲比幅与单脉冲比相的对比	322
10.5.4 未分辨的目标	323
10.5.5 小结	324
10.6 结语	325
参考文献	325
第 11 章 八木天线	329
11.1 引言	329
11.2 八木偶极天线	330
11.2.1 寄生阵元	331
11.2.2 八木天线的特性	332
11.2.3 辐射方向图	333
11.2.4 增益	334
11.2.5 馈电网络	334
11.2.6 带宽和阻抗	336
11.2.7 主梁长度	337