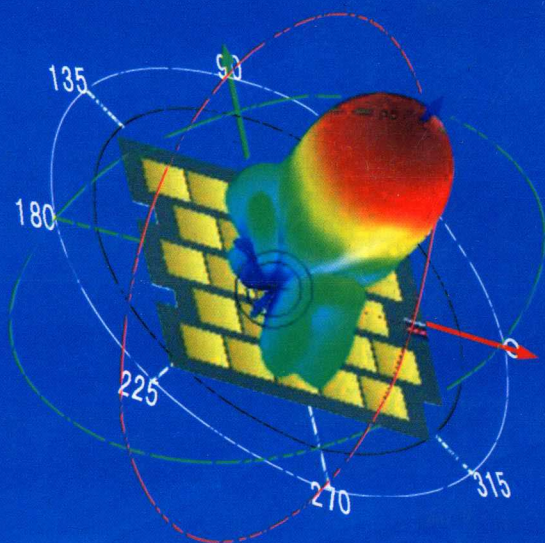


实用 天线工程技术

Pactical
antenna engineering technology

俱新德 赵玉军 编著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

实用天线工程技术

俱新德 赵玉军 编著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

全书共 10 章,重点介绍天线的物理概念,设计图表、曲线,天线的具体结构和尺寸,主要电性能。书中天线的种类和实例繁多,内容极为丰富且新颖,对常规天线都赋予了许多新内容,许多章节(如赋形波束天线、基站天线、同轴缝隙天线阵等)都是首次与读者见面。该书既是一本专著,又具有科普性,可读性和可操作性特别强。

该书特别适合从事天线设计、生产、使用和维修的广大工程技术人员参考,也适合从事无线电传输、移动通信的相关人员阅读,还可以作为天线电磁场专业和无线通信专业大专院校师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

实用天线工程技术/俱新德主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2015.4

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3387 - 9

I. ① 实… II. ① 俱… III. ① 天线—研究 IV. ① TN82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 033916 号

策 划 戚文艳

责任编辑 许青青 戚文艳

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com

电子邮箱 xdupfb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2015 年 4 月第 1 版 2015 年 4 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 39.375

字 数 929 千字

印 数 1~2000 册

定 价 80.00 元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3387 - 9/TN

XDUP 3679001-1

* * * 如有印装问题可调换 * * *

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

为人类文明的进化添砖加瓦

——《实用天线工程技术》序言

经过长时间的酝酿，俱新德教授编著的《实用天线工程技术》终于面世了。拿到这本书稿时，回想起与俱教授的结识，本人感慨万千，因为这一切都源于海格通信（股票代码：002465）……

海格通信的前身——国营第 750 厂成立于 1956 年，其时隶属于国家第四机械工业部，从建厂之初专为我国海军提供舰载短波通信、导航装备至今，已从事无线电专业领域近 60 年，秉承深厚的专业底蕴，海格通信自 2000 年成立以后，通过四个“s”^①的运作战略：

1. 横向实现了从短波向中长波、超短波、V/U 频段和更高的卫星通信频段延伸；
2. 纵向实现了产品功率等级与使用方式的系列化派生；
3. 实现了由单机向系统集成、网络、网系的综合化提升；
4. 实现了向基础技术、关键部件乃至芯片的系列化纵深。

经过了十多年的发展，海格通信已成为军用通信导航领域最大的整机供应商之一。我们看到：无线电技术自发明以来，一直是日新月异的快速发展，到了互联网时代的今天，无线通信技术的应用更是一日千里，特别是“无线 WiFi”的应用彻底影响和改变了人们的生活模式及交流方式，可以说无线通信已达到了无处不在的程度。而凡是无线通信都离不开天线，哪里有无无线，哪里就有天线。天线作为无线通信设备的重要组成部分，犹如人的耳目一样不可或缺，它不但作为单独的配件部件出现，同时还会直接影响到整机效能的发挥。海格通信作为追求业界最优的、资深的无线通信装备的承制商，“致力于使我们的产品具有科学的精确、可靠与艺术美的和谐结合”^②，因此一直希冀实现天线与设备的完美结合。

而这机会来自于 2010 年 8 月 31 日海格通信在 A 股成功挂牌上市之后，借助资本平台，海格通信的首例收购案就是当初的“陕西海通天线”，因此，我也有缘结识了俱新德教授。俱教授毕业于西安电子科技大学（原西北电讯工程学院）天线和电波传播专业，从 1965 年开始在该校电磁场工程系执教，2000 年 7 月受聘于陕西海通天线公司的技术总监一职。50 年的时间，俱教授一直从事天线专业的教学与天线实用化、产品化研究，具有丰富的理论和实践经验。俱教授等人用了长达 3 年的时间编著了《实用天线工程技术》一书，旨在把国内外最新的天线技术介绍给广大无线工程技术人员，促进我国天线技术的普及和发展，确是一项极有意义的工作。

本书重点突出了工程性和实用性，主要介绍天线的物理概念、设计方法，列举了大量

① “s”为下述四句话中最后一个文字“伸”、“生”、“升”、“深”的拼音“sheng/shen”的首字母。

② 摘自《海格通信管理探索》之组织使命。

实例。其中，所列天线种类颇多，内容甚为丰富，且独具新颖。鉴于天线的科技性和专业性，所以人们往往只见其形而不知其能。基于上述原因，本书在编撰时不但细致描述了各类天线的外形，而且用大量的篇幅将天线的工作原理进行了详尽的阐述，给出了许多实用的设计图表和曲线，一些常规天线如环天线、八木天线、对数周期天线、背射天线等都分别单独作为一章列出。在编著过程中，俱教授收集了截至目前国内外最新资料，且有不少章节的内容如赋形波束、基站天线、同轴缝隙天线等内容都是首次与读者见面。本书以图文并茂的形式，各种设计图表、分析曲线与文字内容相得益彰，通俗易懂，具有很强的可读性和可操作性，是目前国内少见的一本实用工程天线设计和教学的参考书。

遥想 2002 年 3 月 28 日海格通信出版的《工艺技术手册》，与现在手中的这本书实有异曲同工之妙——因为它们都是由海格人亲自撰写。其时，我曾为该书题写了名为《传承与淬炼》的序言，在序言中我提到：

“人类文明之所以能不断地进化，是因为人类能够学习前人的经验。同时以文字的方式记载、整理、归纳、提炼自己的感受，代代相传。我们吸收知识，再加上自己的经验和想法，而后传递给其他人甚至是下一代。

‘传承’与‘淬炼’代表了人类文明进化的两个不可或缺环节。前者代表当事人获得和继承前人成功的或基础的经验，其方式包括言传身教或从文字载体中获知；而后者则代表当事人的全身心的投入和反复的实践。”^①

今天，俱教授编著的这本《实用天线工程技术》同样适用于上述提法。俱教授等编委之于本书的辛勤付出，为涉及该领域的科技人员进行科学研究提供了可资参考的资料，为从事相关专业领域的从业者提供了便于查阅的指南，为有志于该领域的学者和爱好者提供了宝贵的学习资料，这些都无疑是在为中华民族的伟大复兴、为人类文明的进化添砖加瓦！



2015.2.8 写于出差北京途中

① 摘自《海格通信管理探索》之管理理念之十六。

② 杨海洲，无线通信专业，广州无线电集团总裁、海格通信(002465)创始人董事长、中国软件行业协会副理事长。

前 言

《实用天线工程技术》是一本实用性极强的天线工程参考书，全书共 10 章，主要介绍天线的物理概念、设计图表、曲线，天线的具体结构和尺寸、主要电参数仿真和实测结果。书中少用或不用繁杂的公式，列举了大量实例、设计图表、曲线并增加了许多新内容，把许多常规天线(如环天线、八木天线、短背射天线)、水平偶极子天线、贴片天线、全向天线均分别作为一章单独列出，还增加了一些新章节，如赋形波束天线、同轴缝隙天线和基站天线，以适应新技术发展的需要。为了便于读者进一步研究，在每一章后面都列出了大量参考资料。

俱新德任本书主编，赵玉军任副主编，刘军州、张培团、邱林参与了部分章节的编写并对部分天线进行了仿真。

本书在编写过程中得到了广州海格集团董事长杨海洲，陕西海通天线有限责任公司董事长喻斌、原总经理李军、现任总经理姚兴亮的大力支持，并得到了西安海天天线股份有限公司首席科学家肖良勇教授的指导和支持，还得到了刘庆刚、顾庆峰、祁建军的关怀和大力支持，在排版和绘图等方面得到了宁惠珍、吴佩菁、李峰娟、朱君侠、李景春的帮助，还得到了西安电子科技大学出版社编辑戚文艳和许青青的大力支持，在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限，难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

作 者

2015 年 1 月

目 录

第 1 章 基站天线	1
1.1 移动通信和移动通信天线的相关知识	1
1.1.1 移动通信及通信天线的发展概况及方向	1
1.1.2 基站天线的相关技术	2
1.2 单极化基站天线	10
1.2.1 用线形 $\lambda_0/2$ 长偶极子构成的基站天线阵	10
1.2.2 用贴片天线构成的基站天线	11
1.2.3 高 F/B 比基站天线	13
1.2.4 利用三角波导上的横向缝隙实现基站天线的 120° 扇区波束	15
1.2.5 由近耦合渐变缝隙构成的六扇区天线	17
1.3 宽带单极化基站天线	18
1.3.1 由有调谐支节的 U 形辐射单元构成的宽带基站天线	18
1.3.2 由不等间距线阵构成的宽带基站天线	19
1.3.3 由开缝贴片构成的宽带单极化基站天线	21
1.4 双频和三频基站天线	22
1.4.1 由偶极子构成的双频基站天线	22
1.4.2 由角反射器天线构成的水平面宽波束和双频基站天线	24
1.4.3 由贴片构成的双频基站天线	25
1.4.4 三频基站天线	27
1.5 单频双极化基站天线	31
1.5.1 用偶极子构成的双极化基站天线	31
1.5.2 用正交缝隙构成的双极化基站天线	38
1.5.3 用贴片构成的双极化基站天线	39
1.6 双频双极化基站天线	48
1.6.1 由倾斜菱形偶极子和正交偶极子构成的双频双极化基站天线	48
1.6.2 由双层双列正交偶极子构成的双频双极化基站天线	49
1.6.3 2.4 GHz 和 5 GHz 极化分集偶极子天线	51
1.6.4 由正交偶极子构成的双频四极化基站天线阵	52
1.6.5 由圆环和印刷偶极子构成的双频双极化基站天线	53
1.7 双波束基站天线	54
1.8 双向基站天线	57
1.8.1 公路、铁路沿线使用的双向天线	57
1.8.2 在隧道、地铁等地下狭长通道中使用的双向天线	63
1.9 基站天线的波束下倾	68

1.9.1	基站天线波束下倾的好处及实现方法	68
1.9.2	基站天线电波束下倾角度的计算及实现方法	69
1.9.3	天线下倾应注意的问题	70
1.9.4	天线下倾角 α 的计算	71
1.9.5	电下倾和机械下倾的比较	71
1.10	基站天线的无源交调干扰	73
1.10.1	互调干扰简介	73
1.10.2	在天线中产生互调的原因	74
1.10.3	扼制 PIM 的方法	75
1.11	基站分集技术	75
1.11.1	采用分集技术的原因	75
1.11.2	分集技术的概念	76
1.11.3	空间分集	76
1.11.4	极化分集	79
1.11.5	空间和极化分集组合基站天线阵	88
1.12	基站天线增益与覆盖距离的关系	89
1.12.1	dBm 与 dBmV 和 dB μ V 的关系	89
1.12.2	自由空间路径损耗	89
1.12.3	平面地上的路径损失	90
1.12.4	基站发射天线增益的计算	90
1.12.5	基站发射天线增益与通信距离的关系	91
1.13	基站天线的选型及安装架设	92
1.13.1	基站天线的选型原则	92
1.13.2	减少基站天线之间相互干扰的方法	93
1.13.3	基站天线的安装架设	93
1.14	基站天馈系统的组成	95
1.15	基站天馈系统 VSWR 的现场测量	96
1.15.1	测量基站天线 VSWR 的环境	96
1.15.2	铁塔上测量	97
1.15.3	地面测量	97
1.15.4	机房天馈系统 VSWR 的测量	97
1.15.5	造成 VSWR 超标的原因	99
1.16	基站天线的共用技术和天线之间的隔离度	101
1.16.1	天线的共用技术的定义	101
1.16.2	共用的实现	101
1.16.3	天线之间的隔离度	106
1.17	网络优化对基站天线的要求	106
	参考文献	107
第 2 章	赋形波束天线	109
2.1	综合低副瓣天线阵使用的道尔夫-切比雪夫分布	109
2.1.1	概述	109
2.1.2	切比雪夫天线阵的几个参数	109
2.1.3	等间距切比雪夫天线阵的有关设计数据	110

2.2 用不等间距多元线阵综合的赋形主波束方向图	113
2.2.1 用不等间距九元和十九元线阵综合的赋形主波束方向图	113
2.2.2 用十元和十四元不等间距线阵综合的低副瓣天线阵	114
2.2.3 用二十一元不等间距线阵综合的低副瓣方向图	115
2.3 用等间距不等幅不同相线阵综合的赋形方向图	116
2.3.1 用等间距($d=\lambda_0/2$)不等幅不同相十六元线阵综合的余割平方方向图	116
2.3.2 用等间距($d=\lambda_0/2$)不等幅不同相十六元线阵综合的平顶主波束方向图	119
2.4 用 ORAMA 计算工具综合的赋形波束线阵天线	120
2.4.1 SLL=-20 dB 的切比雪夫边射天线阵	121
2.4.2 SLL=-30 dB 的泰勒级数方向图	122
2.4.3 余割平方功率方向图	122
2.4.4 用等幅但不等间距综合的低副瓣天线	123
2.5 用不等幅度分布十九元线阵综合的低副瓣雷达天线	124
2.6 在不同角度有零深的赋形方向图	126
2.7 用阶梯阻抗线串馈微带缝隙天线阵构成的赋形波束	127
2.8 用寄生线阵变换天线赋形波束的形状	129
2.9 赋形波束基站天线	130
2.9.1 基站天线的赋形波束	130
2.9.2 用不等间距综合的赋形基站天线阵	131
2.9.3 用不等间距和不等相位差线阵综合的赋形基站天线	135
2.9.4 用切比雪夫分布综合的 2.4 GHz 双极化赋形基站天线阵	141
2.9.5 用不等幅度和不等相位线阵综合的赋形基站天线	143
2.10 全向赋形波束天线	152
2.10.1 全向赋形波束印刷偶极子天线阵	152
2.10.2 全向赋形微带缝隙天线阵	153
2.10.3 宽带全向赋形波束共线天线阵	155
参考文献	158
第 3 章 环天线	160
3.1 环天线的分类	160
3.2 环天线的极化	161
3.3 计算环天线输入阻抗的简单公式	162
3.4 小环天线	163
3.4.1 小环天线的特点及方向图	163
3.4.2 小环天线的电参数	167
3.4.3 小环天线的馈电及阻抗匹配	169
3.4.4 短波使用的紧凑发射环天线	170
3.4.5 短波使用的小接收环天线	171
3.4.6 屏蔽环探头	172
3.4.7 小环天线在测向中的应用	174
3.5 方位不连续环形天线	177
3.6 环天线的耦合电路	180
3.7 大环天线	182
3.7.1 大环天线的电参数	182

3.7.2	周长为一个波长的环天线	185
3.7.3	两单元方环天线	185
3.7.4	由双环构成的水平极化全向天线	187
3.8	Δ 环天线	187
3.8.1	Δ 环天线的输入阻抗及垂直面方向图	187
3.8.2	短波用 Δ 环天线	189
3.9	短波使用的垂直菱形环天线	190
3.10	Halo 环天线	190
3.11	VHF 环天线	191
3.11.1	移动通信使用的环天线	191
3.11.2	145 MHz 使用的倒 8 字形双环天线	192
3.11.3	有源定向接收环天线	192
3.12	Alford 环天线	193
3.12.1	概述	193
3.12.2	双馈平衡 Alford 环天线	194
3.12.3	印刷 Alford 环天线	195
3.13	由环天线构成的 FM 天线	197
3.13.1	把 $\lambda_0/2$ 长折合振子弯曲成圆构成的水平极化全向天线	197
3.13.2	四叶天线	197
3.13.3	周长小于 $\lambda_0/2$ 的方环天线	198
3.13.4	同轴线馈电的圆环天线	199
3.14	由印刷多边形环天线构成的宽带定向天线	201
3.15	层叠菱形环天线	203
3.16	双圆环天线	205
3.17	由半环构成的宽带全向天线	207
3.18	由框架式金属板条构成的 UHF 定向天线阵	208
	参考文献	210
第 4 章	对数周期天线	211
4.1	对数周期偶极子天线	211
4.1.1	对数周期偶极子天线的工作原理	211
4.1.2	LPDA 的参数	212
4.1.3	LPDA 的馈电及阻抗	214
4.1.4	LPDA 阵的设计	217
4.1.5	LPDA 的设计实例	222
4.2	缩短尺寸的对数周期天线	235
4.2.1	缩短 LPDA 尺寸的方法	235
4.2.2	缩短尺寸的 20~200 MHz 电磁兼容测试天线	236
4.2.3	采用双脊波导型偶极子的 LPDA	237
4.2.4	对数周期单极子天线阵(LPMA)	239
4.2.5	缩短尺寸的垂直极化 HF 对数周期偶极子天线	241
4.3	其他对数周期天线	244
4.3.1	由对数周期环天线构成的高增益线极化天线	244
4.3.2	由双 Δ 环构成的对数周期天线	245

4.3.3	由折合振子构成的对数周期偶极子天线	246
4.3.4	高仰角 HF 水平极化对数周期环天线	247
4.3.5	紧凑的对数周期八木天线	248
4.3.6	7~10 MHz 倒 V 形对数周期天线	248
4.3.7	双面印刷 LPDA	249
4.4	角齿对数周期天线	250
4.4.1	齿片型对数周期天线	251
4.4.2	梯形齿线对数周期天线	254
4.4.3	三角齿线对数周期天线	258
4.5	对数周期天线在电子战中的应用	261
4.5.1	超宽带跳极化天线	261
4.5.2	由六个印刷对数周期天线构成的宽带测向天线	265
	参考文献	269
第 5 章	全向天线	270
5.1	全向天线的组成及主要特点	270
5.1.1	概述	270
5.1.2	垂直接地天线的电流分布	270
5.1.3	不同高度垂直接地天线的增益	271
5.2	鞭天线	272
5.2.1	$\lambda_0/4$ 长鞭天线	272
5.2.2	$5\lambda_0/8$ 长鞭天线	273
5.2.3	$3\lambda_0/4$ 长共线车载天线	273
5.2.4	折合单极子天线	274
5.3	宽带单极子天线	275
5.3.1	由十字形短路金属板顶加载单极子构成的低轮廓全向天线	275
5.3.2	由套筒和寄生辐射管构成的宽带单极子天线	277
5.3.3	四种带圆盘的单极子天线	277
5.3.4	由阶梯状印刷单极子构成的多频全向天线	280
5.3.5	适合笔记本电脑接收 UHF 数字电视的平板单极子天线	280
5.3.6	带有套筒和抬高馈电点的平面单极子天线	282
5.3.7	由双套筒组成的宽带全向天线	284
5.3.8	带有改善阻抗匹配的宽带蝶形全向单极子天线	285
5.3.9	宽带卷筒式单极子天线	286
5.4	由倒锥、盘锥和双锥构成的宽带全向天线	287
5.4.1	宽带低轮廓圆锥单极子天线	287
5.4.2	宽频带 $\lambda_L/8$ 单极子天线	288
5.4.3	矩形宽带单锥全向天线	290
5.4.4	宽带线锥单极子天线	291
5.4.5	改善高仰角辐射的倒锥全向天线	293
5.4.6	宽带盘锥天线	294
5.4.7	位于圆地面上的低轮廓宽带双锥天线	296
5.4.8	宽带毫米波全向双锥天线	297
5.5	超宽带全向天线	297

5.5.1	泪珠型 UWB 天线	298
5.5.2	印刷平面倒锥 UWB 单极子天线	298
5.5.3	倒平面倒锥全向天线	300
5.5.4	超宽带全向眼睛天线	301
5.5.5	有缺口功能的平面印刷 UWB 单极子天线	303
5.5.6	用共面波导馈电有缺口功能的 UWB 单极子天线	304
5.6	由法线模螺旋天线构成的全向天线	305
5.6.1	法线模螺旋天线在终端天线中的应用	305
5.6.2	VHF 螺旋鞭状天线	306
5.6.3	高增益 450~470 MHz 车载螺旋鞭天线	307
5.6.4	缩短尺寸的宽带全向车载天线	308
5.6.5	适合 400 MHz 频段双向移动电话使用的组合螺旋单极子天线	309
5.6.6	由螺旋和鞭构成的双频终端天线	311
5.6.7	由变螺距螺旋和鞭天线构成的双频宽带天线	311
5.6.8	由不等螺距或不等直径螺旋天线构成的双频终端天线	312
5.6.9	由带有寄生单极子的法线模天线构成的双频天线	314
5.7	与地无关的低增益全向天线	315
5.7.1	由同轴中馈 $\lambda_0/2$ 长偶极子构成的全向天线	316
5.7.2	由带扼流线圈或磁环的 $\lambda_0/2$ 长同轴偶极子构成的全向天线	317
5.7.3	与地无关的 $\lambda_0/2$ 长全向天线	317
5.7.4	全向 J 形天线	318
5.7.5	由双锥对称振子构成的宽带全向天线	319
5.7.6	由 $\lambda_0/2$ 长折合振子构成的全向天线	319
5.7.7	能扼制电缆外皮泄漏电流的印刷碟形偶极子全向天线	320
5.7.8	安装在小型导弹头部的天线	322
5.8	由贴片构成的全向天线	322
5.8.1	由圆贴片构成的宽带低轮廓全向天线	322
5.8.2	由带短路环圆锥套筒的圆贴片构成的宽带全向天线	323
5.8.3	由正交梯形平面单极子和短路圆贴片构成的超宽带单极子天线	324
5.8.4	由中心馈电圆贴片和耦合环状贴片构成的全向天线	326
5.8.5	由正方形环状贴片构成的宽带低轮廓全向天线	327
5.8.6	宽带全向贴片天线	328
5.9	双频和三频全向天线	329
5.9.1	由陷波、组合结构和附加寄生单元构成的双频单极子天线	329
5.9.2	有带线套筒的双频单极子天线	330
5.9.3	由分叉单极子和共面波导馈电构成的双频全向天线	330
5.9.4	微带线馈电共面印刷双频单极子天线	332
5.9.5	由分支线加载构成的双频全向天线	332
5.9.6	由支节加载构成的双频全向天线	334
5.9.7	由带 U 形支节印刷共线偶极子构成的双频全向天线	335
5.9.8	双频印刷全向天线阵	336
5.9.9	双频印刷单极子天线	337
5.9.10	印刷共面双频单极子天线	338

5.9.11	有部分地的双频印刷全向单极子天线	339
5.9.12	适合数字电视和 GSM 移动通信使用的双频套简单极子天线	340
5.9.13	双频共线天线	341
5.9.14	双频垂直极化全向天线	342
5.9.15	三频车载天线	343
5.9.16	移动通信使用多频吸顶天线	345
5.10	共线全向天线阵	346
5.10.1	全向共线 $\lambda_0/2$ 长偶极子天线的增益及方向图	346
5.10.2	佛兰克林全向共线天线阵	349
5.10.3	用同轴线内外导体换位连接构成的全向天线阵	350
5.10.4	由双扼流套构成的全向天线	351
5.10.5	缝隙耦合套筒偶极子共线全向天线阵	351
5.10.6	耐高温中增益宽带全向天线	360
5.10.7	由盘锥构成的宽带中馈增益全向共线天线阵	362
5.10.8	由缝隙和套筒构成的垂直极化基站天线	365
5.11	低成本印刷全向共线天线及天线阵	365
5.11.1	有倒相段的全向不对称对称振子	365
5.11.2	由印刷折合偶极子组成的全向天线	367
5.11.3	中馈背靠背印刷偶极子共线天线阵	368
5.11.4	印刷全向微带天线阵	369
5.12	主要海船载 HF、VHF 和 UHF 全向天线简介	374
5.12.1	HF 全向天线	374
5.12.2	VHF/UHF 全向天线	375
	参考文献	376
第 6 章	水平偶极子天线	378
6.1	水平对称振子	378
6.1.1	对称振子的方向图	378
6.1.2	对称振子的输入阻抗	381
6.1.3	半波与全波对称振子	382
6.2	折合振子及其变形结构	382
6.2.1	折合振子的由来	383
6.2.2	对称振子与折合振子的相同点和不同点	383
6.2.3	三线和四线 $\lambda_0/2$ 长折合振子	385
6.2.4	长度为 $3\lambda_0/4$ 和 $3\lambda_0/8$ 的折合振子	386
6.2.5	部分折合振子	387
6.2.6	复合折合振子	387
6.2.7	V 形复合折合振子	388
6.2.8	双折合振子	389
6.2.9	折合振子的变形结构——环天线	389
6.2.10	折合振子的馈电	391
6.2.11	由平面折合振子构成的宽带低轮廓微带天线	392
6.2.12	宽带平面折合偶极子天线	393
6.2.13	由支节和电容加载构成的宽带折合偶极子天线	394

6.3 平板偶极子和印刷偶极子天线	396
6.3.1 平板偶极子天线	396
6.3.2 印刷偶极子天线	400
6.4 蝶形偶极子天线	403
6.4.1 用微带线馈电的平面蝶形偶极子天线	403
6.4.2 用同轴线馈电的平面蝶形偶极子天线	406
6.4.3 蝶形偶极子天线阵	408
6.4.4 加载蝶形偶极子天线	408
6.5 水平面宽波束偶极子天线	409
6.5.1 由倒 V 形印刷偶极子构成的宽波束天线	409
6.5.2 把偶极子天线安装在夹角大于 180° 的角反射器上	410
6.5.3 有桥蝶形偶极子	414
6.6 双频或多频偶极子天线	416
6.6.1 由安装在双接地板上折叠偶极子天线构成的双频天线	416
6.6.2 由双面印刷带线偶极子构成的双频天线	418
6.6.3 由有许多矩形缝隙印刷偶极子构成的双频天线	420
6.6.4 用分支线巴伦馈电的双频偶极子天线	421
6.6.5 由多个框型印刷偶极子构成的多频偶极子天线	423
6.7 双极化偶极子天线	425
6.7.1 由正交双面印刷偶极子构成的双极化天线	425
6.7.2 由四个泪珠天线构成的双极化平面偶极子天线	426
6.7.3 由正交折合偶极子天线构成的双极化天线	427
6.7.4 由正交钩形带线耦合馈电方板偶极子天线构成的双极化天线	429
6.7.5 由介质加载正交钩形探针耦合馈电正交方板偶极子构成的双极化天线	432
6.7.6 由正交梯形偶极子和短路蝶形贴片构成的组合双极化天线	434
6.8 宽带偶极子天线	437
6.8.1 带寄生振子的宽带印刷偶极子天线	437
6.8.2 带双寄生振子的双面印刷偶极子天线	438
6.8.3 末端加载和带有平面开式套筒的印刷偶极子天线	440
6.8.4 三角形加载宽带印刷偶极子天线	442
6.8.5 有短路桥的 UWB 偶极子天线	443
6.8.6 同轴线馈电印刷方板偶极子天线	444
6.8.7 加微波吸波材料的平面方板印刷偶极子天线	446
6.8.8 由平面倒锥构成的低轮廓偶极子天线	447
6.8.9 宽带电磁偶极子天线	449
6.8.10 有圆锥方向图的宽带电磁偶极子天线	452
参考文献	453
第 7 章 贴片天线	455
7.1 贴片天线的基本知识	455
7.1.1 贴片天线的原理及相关参数	455
7.1.2 矩形贴片天线的设计	456
7.1.3 贴片天线的馈电	459
7.2 小尺寸贴片天线	460

7.2.1	短路梯形贴片天线	460
7.2.2	由 U 形缝隙短路贴片构成的宽带低轮廓天线	462
7.2.3	小尺寸宽带三角形贴片天线	463
7.2.4	由折叠短路 L 形缝隙贴片构成的宽带天线	464
7.3	宽带贴片天线	465
7.3.1	E 形贴片	465
7.3.2	用层叠技术构成的宽带贴片天线	467
7.3.3	缝隙耦合宽带高增益贴片天线	471
7.3.4	用 L 形探针近耦合馈电构成的宽带贴片天线	474
7.3.5	由脊椎形地面构成的贴片天线	478
7.4	双频贴片天线	479
7.4.1	用共面探针给矩形贴片馈电构成的双频宽带贴片天线	479
7.4.2	宽带双线极化 VHF 贴片天线	480
7.4.3	由多层多谐振贴片构成的宽带和双频天线	482
7.4.4	多频贴片天线	483
7.4.5	双馈双频宽带贴片天线	484
7.4.6	由折叠短路贴片构成的宽带双频贴片天线	486
7.5	双极化贴片天线	489
7.5.1	用组合馈电构成的双极化贴片天线	489
7.5.2	由双 L 形探针耦合馈电构成的双极化贴片天线	498
7.5.3	由双缝隙耦合馈电构成的双极化贴片天线	506
7.6	其他贴片天线	507
7.6.1	背腔贴片天线	507
7.6.2	空腔高增益宽带贴片天线	508
7.6.3	带圆锥背腔圆贴片天线	509
7.6.4	带反相功分器的低交叉极化宽带贴片天线	510
7.6.5	用 L 形探针馈电有圆锥形方向图的宽带贴片天线	511
7.6.6	水平面宽波束 WLAN 天线	513
	参考文献	514
第 8 章	短背射天线	516
8.1	用对称振子激励的短背射天线	516
8.1.1	用 $\lambda_0/2$ 长对称振子激励的短背射天线	516
8.1.2	用 $\lambda_0/2$ 长偶极子激励短背射天线的馈电方法	518
8.1.3	用 $\lambda_0/2$ 长偶极子激励有波纹边环的短背射天线	519
8.1.4	改进型短背射天线	520
8.2	用波导馈电的短背射天线	521
8.2.1	概述	521
8.2.2	用同轴波导馈电的短背射天线	523
8.2.3	矩形波导馈电带波纹边环的短背射天线	525
8.2.4	矩形波导馈电带圆锥反射器的短背射天线	527
8.3	短背射天线阵	529
8.4	宽带短背射天线	534
8.4.1	用 H 形缝隙贴片激励的短背射天线	534

8.4.2	用縫隙激勵的短背射天線	536
8.4.3	寬帶背腔平板偶極子天線	539
8.4.4	超寬帶組合背腔折疊扇形偶極子天線	540
8.4.5	寬帶背腔折疊三角蝶形天線	543
8.5	高增益背射天線	546
	參考文獻	547
第9章	八木天線	548
9.1	概述	548
9.1.1	八木天線的組成	548
9.1.2	八木天線的增益及半功率波束寬度的估算	549
9.2	縮短尺寸的二元八木天線	549
9.3	交叉饋電八木天線	550
9.3.1	二元交叉饋電八木天線	550
9.3.2	四元交叉饋電八木天線	552
9.3.3	由兩個不等長相位差為 135° 的有源折合振子組成的多元八木天線	552
9.4	多元八木天線	553
9.4.1	三元八木天線	553
9.4.2	最佳三元八木天線	554
9.4.3	四元八木天線	554
9.4.4	六元八木天線	555
9.4.5	七元八木天線和十元八木天線	555
9.4.6	移動通信頻段使用八元八木天線	556
9.4.7	十元八木天線	557
9.4.8	十一元八木天線	558
9.4.9	十五元八木天線	558
9.4.10	六個不同軸向長度八木天線的參數及增益	558
9.4.11	十六元八木天線	559
9.5	對數周期八木天線	560
9.6	高阻抗十二元八木天線	560
9.7	由圓環構成的二十五元八木天線	562
9.8	優化計算的多元八木天線	563
9.8.1	三元和四元八木天線	563
9.8.2	最佳增益六元八木天線	564
9.8.3	最佳八元八木天線	566
9.8.4	最佳十元八木天線	566
9.8.5	最佳十二元八木天線	567
9.8.6	十五元八木天線	569
9.8.7	十八元八木天線	570
9.8.8	二十二元八木天線	571
9.9	其他八木天線	571
9.9.1	三單元 V 形八木天線	571
9.9.2	寬帶准平面八木天線	572
9.9.3	毫米波使用的平面高增益八木天線	573

参考文献	574
第 10 章 缝隙天线	576
10.1 二重性原理及应用	576
10.1.1 概述	576
10.1.2 二重性原理	576
10.1.3 互补偶极子与缝隙天线之间的阻抗关系	578
10.1.4 超宽带(UWB)磁天线	578
10.2 微带缝隙天线	580
10.2.1 用微带线馈电的缝隙天线	580
10.2.2 用共面波导馈电的缝隙天线	583
10.3 同轴缝隙天线	589
10.3.1 概述	589
10.3.2 柱面缝隙天线	591
10.3.3 由介质加载开缝圆柱体构成的水平极化全向天线	592
10.3.4 行波同轴缝隙天线	594
10.3.5 用 Z 字形缝隙构成的水平极化全向天线	595
10.3.6 VHF/UHF 行波电视发射天线	596
10.3.7 带有调谐装置的宽带同轴缝隙天线 ^[9]	598
10.3.8 改善周长为一个波长同轴缝隙天线水平面全向方向图不圆度的方法	600
10.3.9 VHF/UHF 双频同轴缝隙天线	602
10.3.10 由宽缝隙构成的宽波束基站天线	604
10.3.11 分馈数字电视发射天线	606
10.3.12 由水平缝隙构成的垂直极化全向天线	607
10.3.13 泄漏同轴电缆天线	608
10.3.14 由一个缝隙构成的中增益水平极化全向天线	610
参考文献	611