

Practical Engineering
Circularly Polarized Antenna

实用工程 圆极化天线

俱新德 陈志兴
赵玉军 刘军州

编

 西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

实用工程圆极化天线

俱新德 陈志兴 赵玉军 刘军州 编



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书共 17 章,既包含用贴片、正交偶极子、单线、双线、4 线螺旋、环天线和缝隙天线构成的圆极化天线,还包含近十多年出现的许多新技术,如 GNSS 天线、顺序旋转馈电圆极化贴片天线、波导圆极化器、圆锥波束和全向圆极化天线、波束切换和极化重构圆极化天线。本书所列天线种类颇多,内容极为丰富,且独特新颖。本书不是手册,胜似手册,工程性、实用性极强。

本书特别适合从事卫星通信圆极化天线设计、生产和应用的广大工程技术人员参考,也适合移动通信相关人员阅读,还可以作为天线电磁场专业和卫星通信、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

实用工程圆极化天线/俱新德等编. —西安:西安电子科技大学出版社,2019.12
ISBN 978-7-5606-5183-5

I. ① 实… II. ① 俱… III. ① 圆极化天线—研究 IV. ① TN821

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 107444 号

策划编辑 毛红兵
责任编辑 刘玉芳 毛红兵
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 xdupfxb001@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 2019 年 12 月第 1 版 2019 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 31
字 数 726 千字
印 数 1~1000 册
定 价 108.00 元

ISBN 978-7-5606-5183-5/TN

XDUP 5485001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

序 言

实践出真知，这是在天线行业的从业者中流传最广的至理名言，大家对它的理解甚至比麦克斯韦方程来的还要彻底！纸上得来终觉浅，绝知此事要躬行，这是天线行业的从业标准，因为任何方案，都只有通过实际的试验、近场或远场的测量才能确认是否正确。《实用工程圆极化天线》的每一章、每一节都源自俱新德教授 50 多年来的教学或实践经验的总结和汇合，这必将成为我国天线设计史上的重要成果。

与俱新德教授的相识，源于我的母校——西安电子科技大学。1989 年，我毕业于西安电子科技大学，此时的俱教授风华正茂，是我们最喜爱的专业课老师，也是我们崇拜的对象。俱教授本人毕业于西安电子科技大学（原西北电讯工程学院）的天线和电波专业，从 1965 年开始就一直在该校电磁场工程系执教，2000 年 7 月开始担任陕西海通天线公司技术总监一职。50 多年的教研生涯，俱教授孜孜不倦，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。而作为国内天线产业的佼佼者，我们广东盛路通信科技股份有限公司也有责任和义务将成熟的天线技术向广大科研人员进行推广和普及，因此我们积极参与了本书的编写工作。本书编者陈志兴同志是我司一名非常优秀的员工，先后在华南理工大学和查尔姆斯大学（瑞典）攻读硕士和博士学位，已成为天线行业的高端专业人才，获得全国五一劳动奖章、省五一劳动奖章、佛山大城工匠、森城英才等荣誉和称号，是我们青年一代学习的榜样和楷模。

《实用工程圆极化天线》一书的编写，耗费了俱教授大量的心血，是其从教和从业几十年经验的心血结晶，高达数十厘米厚的手写稿是俱教授一笔一画认真书写而成的。本书是产学研结合的成功典范，该书的编写，旨在把国内外最新的天线技术介绍给广大的无线工程技术人员，促进我国天线技术的普及和发展，也弥补了我国在圆极化天线设计方面的资料空缺，是一件极有意义的工作。

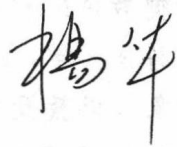
本书重点突出了工程性和实用性，主要介绍各种类型的圆极化天线的基本概念、设计方法，并一一用实例进行了验证。本书所列举的圆极化天线种类非常多，内容丰富。鉴于本书主要面向广大天线设计者，重点偏重于天线的设计过程，俱教授在整个编写过程中，将不同类型的圆极化天线单独成章，采用图文并茂的形式，列出大量的设计实例，使得各种设计图标、分析曲线与文字内容相得益彰，通过对设计过程的描述，非常巧妙地将天线行业枯燥无味的理论变得通俗易懂、妙趣横生，便于读者掌握和理解。

俗话说：没有实际的理论是空虚的，同时没有理论的实际是盲目的。本书的出版给我们的实践提供了非常好的理论基础，免去了广大天线从业者们盲目地进行无用的实验。相信本书对于天线从业者们来说无论从理论设计还是工程实现上都能有所收获和借鉴。

知识，需要传承！俱教授把他毕生的经验，用这本著作传递给我们后来的通信人。他这种无私奉献的精神，必将鼓舞我们努力前行！

本书是难能可贵的学习资料，必将为学习通信天线的读者提供有益支撑。

盛路通信集团 董事长



2018年8月

前 言

本书是全面、系统、专门介绍圆极化天线的实用工程参考书，全书共 17 章，虽然用贴片天线、正交偶极子、环天线、缝隙天线、4 线螺旋等天线都能够构成圆极化天线，但由于内容丰富，所以把它们均单独作为一章给出。另外，本书对国内外近十年出现的许多新技术，如高精度 GNSS 天线、顺序旋转馈电圆极化天线阵、波导圆极化器、圆锥波束天线、全向圆极化天线、波束切换、极化重构圆极化天线等内容都作了较详细的论述，这些内容首次与读者见面。

本书不用繁杂的数学公式，主要介绍了各种圆极化天线的物理概念、结构尺寸、图表曲线及主要电性能。本书天线的种类多、实例多，工程性、实用性强，图文并茂，不是手册，胜似手册。为了便于读者进一步研究，作者尽可能在每一章的后面列出大量参考文献。

本书由俱新德、陈志兴、赵玉军、刘军州编写，张培团、王小龙、邱林、朱亮参与了部分章节的编写。

本书在编写过程中得到了三水市盛路天线有限公司董事长杨华和中山市广东通宇通讯设备有限公司董事长吴中林的大力支持，还得到了专门从事集成天线研制生产的陕西特思电子科技有限公司总经理马玉新的鼓励 and 大力支持。本书在出版过程中得到了西安电子科技大学出版社社长胡方明、总编辑阔永红、副总编辑毛红兵和编辑刘玉芳的关照和大力支持。在此，作者对以上同志表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

2018 年 8 月

目 录

第 1 章 圆极化贴片天线和宽波束及小尺寸圆极化天线	1
1.1 圆极化贴片天线	1
1.1.1 探针馈电圆极化方环贴片天线	1
1.1.2 用单馈几乎方贴片构成的圆极化天线	4
1.1.3 由带不对称 U 形缝隙方贴片构成的圆极化天线	5
1.1.4 由不等长正交缝隙方贴片构成的圆极化天线	6
1.1.5 微带线串联缝隙耦合单馈圆极化贴片天线	7
1.1.6 由单馈缝隙耦合带 F 形缝隙方贴片构成的圆极化天线	7
1.1.7 圆极化单馈 H 形贴片天线	8
1.1.8 缝隙加载圆极化贴片天线	9
1.2 宽波束圆极化天线	11
1.2.1 用正交下倾偶极子构成的宽波束圆极化天线	11
1.2.2 用单极子和正交偶极子构成的宽波束圆极化天线	12
1.2.3 带 U 形缝隙的宽波束圆极化切角方贴片天线	14
1.2.4 用微带线耦合馈电切角方贴片构成的宽波束圆极化天线	15
1.2.5 用寄生方贴片和 4 个双短路 U 形贴片构成的宽波束圆极化天线	16
1.2.6 带寄生环的宽波束圆极化圆贴片天线	17
1.2.7 双频宽波束圆极化贴片天线	18
1.2.8 宽波束单馈双频双圆极化圆贴片天线	18
1.2.9 用周围带金属柱的单馈单臂圆锥螺旋天线构成的宽波束圆极化天线	20
1.2.10 由不对称单馈贴片构成的宽角轴比圆极化天线	20
1.2.11 宽角轴比 GPS 天线	21
1.2.12 宽带宽角轴比双圆极化贴片天线	23
1.3 小尺寸圆极化贴片天线	23
1.3.1 实现小尺寸圆极化贴片天线的方法	23
1.3.2 用高介电常数基板	25
1.3.3 用 4 馈 4 个 F 形单元	26
1.3.4 分形技术	26
1.3.5 环形贴片和环形反射器	29
1.3.6 带 X 形和 T 形缝隙的方贴片天线	30

1.3.7	T形探针耦合馈电切角方环贴片天线	31
1.3.8	折叠法	31
	参考文献	35
第2章	宽带圆极化贴片天线	37
2.1	概述	37
2.2	用单馈贴片天线实现宽带圆极化天线的方法	37
2.2.1	用单馈倒L形空气介质切角贴片天线	37
2.2.2	用曲折带线单馈层叠切角方贴片天线	38
2.2.3	用微带线单馈层叠矩形贴片天线	39
2.2.4	用层叠寄生方贴片和馈电切角方贴片天线	41
2.2.5	用曲折探针单馈切角方贴片天线	42
2.2.6	用空气介质切角方贴片天线	43
2.2.7	用H形贴片天线	44
2.2.8	用不对称矩形贴片天线	45
2.2.9	用变形平面倒F形天线	46
2.2.10	用层叠矩形环形贴片天线	47
2.3	用双馈贴片天线实现宽带圆极化天线的方法	47
2.3.1	用H形缝隙耦合双馈方贴片天线	47
2.3.2	用宽带90°馈电网络和双L形探针馈电环形贴片天线	48
2.3.3	用宽带90°巴伦和L形T形探针耦合双馈圆贴片天线	49
2.3.4	用宽带90°功分器和容性探针耦合馈电层叠方贴片天线	50
2.4	用4馈贴片天线实现宽带圆极化天线的方法	51
2.4.1	用4容性探针馈电层叠方贴片天线	51
2.4.2	用耦合线移相器和变形4L形探针耦合馈电圆贴片天线	52
2.4.3	用宽带移相功分器和4容性探针耦合馈电层叠圆贴片天线	54
2.4.4	用4L容性探针给周围带寄生环形贴片的圆贴片耦合馈电	55
2.4.5	用宽带90°C形混合电路和4L形探针耦合馈电圆贴片天线	56
2.4.6	用宽带90°混合电路和4L形探针耦合馈电圆贴片天线	58
2.5	宽带低成本电磁耦合圆极化圆贴片天线	59
	参考文献	60
第3章	用正交偶极子构成的圆极化天线	62
3.1	概述	62
3.2	用单馈等长容性和感性正交偶极子构成的圆极化天线	62
3.3	单馈圆极化等长正交偶极子天线	63
3.4	单馈圆极化宽带正交矩形偶极子天线	66
3.5	单馈圆极化带不对称箭头的正交偶极子天线	66
3.6	由带不对称倒刺正交偶极子构成的单馈多频宽波束GPS天线	67

3.7	自相位单馈圆极化不等长正交偶极子天线	69
3.7.1	单馈圆极化背腔不等长正交偶极子天线	69
3.7.2	单馈圆极化带寄生环和电抗负载的不等长正交偶极子天线	70
3.8	圆极化正交下倾偶极子天线	71
3.8.1	圆极化倒 V 形正交偶极子天线	71
3.8.2	宽带 GNSS 正交下倾偶极子天线	73
3.8.3	圆极化倒 U 形不等长正交偶极子天线	74
3.8.4	圆极化正交下倾倒 U 形蝶形偶极子天线	74
3.8.5	圆极化正交下倾曲线偶极子天线	76
3.9	圆极化小尺寸渐变曲折线偶极子天线	77
3.10	由正交变形蝶形偶极子构成的宽带圆极化天线	78
3.11	宽带圆极化双馈正交三角形偶极子天线	81
3.12	由正交蝶形偶极子构成的海事卫星圆极化天线	82
3.13	宽角轴比较好的圆极化正交偶极子天线	82
3.14	由正交对数周期偶极子构成的宽带圆极化天线	83
	参考文献	84
第 4 章	用环天线构成的圆极化天线	86
4.1	概述	86
4.2	由单环构成的圆极化天线	86
4.2.1	圆极化单馈开路环天线	86
4.2.2	圆极化电抗加载圆环天线	87
4.3	圆极化同心间隙单频和双频圆环天线	88
4.3.1	单频圆极化同心间隙圆环天线	88
4.3.2	双频同心环圆极化天线	88
4.4	由印刷渐变间隙环构成的宽带圆极化天线	91
4.5	由双环天线构成的宽带圆极化天线	93
4.5.1	圆极化双螺旋线环天线	93
4.5.2	带寄生环的宽带圆极化双矩形环天线	93
4.5.3	带寄生环的宽带圆极化双菱形环天线	95
4.5.4	圆极化绞扭双环天线	96
4.6	圆极化背腔环天线	97
4.6.1	圆极化背腔单馈带寄生环的双菱形环天线	97
4.6.2	由背腔自相位 4 方环构成的圆极化天线	100
4.6.3	宽带圆极化背腔正交环天线	102
4.7	由方环构成的双向圆极化天线	103
	参考文献	104

第 5 章 由缝隙天线构成的圆极化天线	105
5.1 概述	105
5.2 用微带线给方或圆缝隙天线馈电构成的圆极化天线	105
5.2.1 在圆或方缝隙上设置合适的短路段	105
5.2.2 用 L 形微带线给环形缝隙耦合馈电	106
5.3 弯曲微带线馈电圆极化环形缝隙天线	107
5.4 CPW 馈电圆极化缝隙天线	109
5.4.1 CPW 馈电有开口缝的圆极化缝隙天线	109
5.4.2 CPW 馈电宽方缝宽带圆极化天线	110
5.4.3 CPW 馈电圆极化波纹缝隙天线	110
5.5 由多圆段宽缝构成的宽带圆极化天线	111
5.6 由正交缝隙构成的圆极化天线	113
5.7 背腔圆极化缝隙天线	115
5.7.1 圆极化短背射正交缝隙天线	115
5.7.2 由浅脊形背腔正交缝隙构成的宽带圆极化天线	117
5.7.3 SIW 背腔圆极化正交缝隙天线	118
5.7.4 带寄生贴片的圆极化背腔缝隙天线	119
5.7.5 用 4 个圆盘加载微带线给背腔圆缝馈电构成的宽带圆极化天线	119
5.7.6 由背腔缝隙/带线环构成的宽带圆极化天线	120
5.8 双频圆极化缝隙天线	122
5.8.1 由同心环形缝隙构成的双频 GNSS 天线	122
5.8.2 双频圆极化背腔同心方缝隙环天线	124
5.8.3 由不等长 U 形带线给方缝隙馈电构成的双频圆极化天线	125
5.9 由 6 边形缝隙构成的 3 频圆极化天线	125
参考文献	126
第 6 章 螺旋天线	128
6.1 概述	128
6.2 带小地板的轴模螺旋天线	128
6.2.1 用螺旋形微带线馈电带小地板的轴模螺旋天线	128
6.2.2 用小地板贴片和轴模螺旋构成的高增益圆极化天线	129
6.3 低上升角轴模螺旋天线	130
6.3.1 L 波段 2 圈低上升角轴模螺旋天线	130
6.3.2 12 GHz 低上升角轴模螺旋天线	131
6.3.3 高增益低轮廓单臂轴模螺旋天线	132
6.3.4 2.5 GHz 低上升角轴模螺旋天线	133
6.3.5 背腔 2 圈低上升角轴模螺旋天线	134
6.4 高上升角轴模螺旋天线	136

6.4.1	位于不同地板上的高上升角轴模螺旋天线	136
6.4.2	缩短尺寸的轴模螺旋天线	137
6.4.3	背腔轴模螺旋天线	137
6.4.4	两圈高上升角高增益轴模螺旋天线	138
6.4.5	2.4 GHz 高上升角轴模螺旋天线	139
6.4.6	双频同心高上升角轴模螺旋天线	139
6.4.7	双上升角轴模螺旋天线	141
6.5	圆锥半球螺旋天线	143
6.5.1	3 圈圆锥半球螺旋天线	143
6.5.2	宽带圆极化半球螺旋天线	145
6.6	圆极化双线螺旋天线	146
6.6.1	双线背射螺旋天线	146
6.6.2	末端加载双线背射螺旋天线	148
6.7	平面印刷螺旋天线	150
6.7.1	概述	150
6.7.2	平面双臂阿基米德螺旋天线	151
6.7.3	平面双臂等角螺旋天线	154
6.7.4	由背腔平面螺旋天线构成的宽带赋形波束圆极化天线	156
6.7.5	平面 4 臂 8 线螺旋天线	157
6.7.6	空腔背射 4 臂阿基米德缝隙螺旋天线	157
6.7.7	4 臂平面等角和阿基米德螺旋天线的模式和旋向	161
	参考文献	162
第 7 章 4 线螺旋天线		164
7.1	谐振 4 线螺旋天线	164
7.2	自相位 4 线螺旋天线及旋向	166
7.2.1	串联补偿分支导体巴伦底馈自相位 4 线螺旋天线及旋向	166
7.2.2	微带底馈自相位 4 线螺旋天线	167
7.2.3	裂缝式巴伦顶馈自相位 4 线螺旋天线	168
7.2.4	带反射板的顶馈自相位 $3/4$ 圈 $\lambda/2$ 长 4 线螺旋天线	170
7.2.5	自相位和双馈 4 线螺旋天线的带宽	170
7.3	附加馈电网络的 4 线螺旋天线	172
7.3.1	顶部同轴线双馈 4 线螺旋天线	172
7.3.2	顶部微带线双馈 4 线螺旋天线	172
7.4	底部 4 馈 4 线螺旋天线	173
7.5	4 缝隙螺旋天线	176
7.6	双馈圆极化 4 线间隙环天线	177
7.7	低轮廓圆极化 4 线螺旋天线	179

7.8	宽带 4 线螺旋天线	180
7.8.1	低轮廓印刷 4 线螺旋天线	180
7.8.2	带寄生螺旋线的 4 线螺旋天线	182
7.8.3	宽带宽波束 8 臂螺旋天线	183
7.8.4	宽带折叠印刷 4 线螺旋天线	183
7.9	宽波束 4 线螺旋天线	185
7.10	双频 4 线螺旋天线	186
7.10.1	用阶梯宽度 4 线螺旋构成的双频 GPS 天线	186
7.10.2	双频 GPS L1/L2 4 环天线	188
7.10.3	带陷波电路的双频 GPS 4 线螺旋天线	189
7.10.4	带开关的双频 4 线螺旋天线	189
7.11	3 频 4 线螺旋天线	190
7.11.1	S/L/UHF 3 频 4 线螺旋天线	190
7.11.2	3 频印刷 4 线螺旋天线	192
7.11.3	3 频 BD2 4 线螺旋天线	192
7.12	缩短尺寸的印刷 4 线螺旋天线	193
7.12.1	每臂用连续方波	193
7.12.2	每臂用不对称连续方波	195
7.12.3	把每臂下倾	196
7.12.4	把每臂折叠	196
7.12.5	几种缩短尺寸 4 线螺旋天线缩短百分比的比较	197
7.12.6	缩短尺寸的双频曲线印刷 4 线螺旋天线	198
7.12.7	变上升角和渐变绕制 4 线螺旋线金属带的宽度	199
7.13	赋形波束 4 线螺旋天线	200
7.13.1	赋形圆锥波束 4 线螺旋天线	200
7.13.2	具有马鞍形方向图的圆极化曲线螺旋天线	203
7.13.3	有赋形方向图轴向长度缩短的 4 线螺旋天线	204
7.13.4	有高稳定相位中心和能扼制低仰角多路径干扰的 7 圈 3 段不等直径 4 线螺旋天线	206
7.14	圆锥 4 线螺旋天线	207
7.14.1	顶馈圆锥 4 线螺旋天线	207
7.14.2	底馈圆锥印刷 4 线螺旋天线	208
	参考文献	210
第 8 章	高性能 GNSS 天线	212
8.1	高性能 GNSS 对天线的要求	212
8.2	减小 GNSS 贴片天线表面波和扼制多径干扰的方法	213
8.3	用电磁带隙构成的高阻地面	213

8.4	扼流环地面	217
8.4.1	同心扼流环地面	217
8.4.2	径向扼流环地面	220
8.5	减小表面波的圆极化短路贴片天线	220
8.5.1	减小表面波带 4 个短路柱的圆极化贴片天线	220
8.5.2	减小表面波的圆极化短路环贴片天线	222
8.6	有稳定相位中心的 4 馈层叠双频圆极化贴片天线	227
8.7	位于正交板反射地面上的双频层叠阶梯短路环贴片天线	228
8.8	高性能 GPS 天线	231
8.9	差分 GPS 地面站天线	232
8.9.1	VHF 差分 GPS 地面站天线	232
8.9.2	双频差分 GPS 地面参考天线	233
8.9.3	3 频 GPS 地面站参考天线	234
	参考文献	236
第 9 章	双频和双圆极化天线	237
9.1	概述	237
9.2	双频圆极化天线	237
9.2.1	单馈双频圆极化天线	237
9.2.2	双馈双频圆极化天线	242
9.2.3	4 馈双频圆极化天线	245
9.2.4	L 形探针耦合馈电层叠双频宽带圆极化圆贴片天线	248
9.3	宽带双频和多频圆极化天线	250
9.3.1	由同心双环形贴片构成的宽带双频 GNSS 天线	250
9.3.2	共面宽带双频圆极化 GNSS 天线	251
9.3.3	单馈层叠多频圆极化贴片天线	252
9.3.4	单馈层叠 3 频 GPS 贴片天线	253
9.3.5	由分形边缘贴片构成的 3 频圆极化天线	254
9.3.6	带陷波电路的 3 频倒 L 形 GPS 天线	255
9.3.7	由层叠环形贴片构成的 4 频 GNSS 天线	256
9.4	双频双圆极化天线	257
9.4.1	用 90°分支线定向耦合器给圆贴片双馈构成的双频双圆极化天线	257
9.4.2	带长度不等十字形缝隙的双频双圆极化缝隙环天线	258
9.4.3	单馈双频双圆极化缝隙天线	259
9.4.4	用单臂缝隙螺旋构成的双频双圆极化天线	260
9.4.5	CPW 馈电双频双圆极化缝隙天线	262
9.4.6	双频双圆极化层叠单线方螺旋天线	263
9.4.7	GPS 和 DAB 系统使用的双频双圆极化扇区天线	264

9.4.8	用不同单元构成的双频双圆极化贴片天线阵	266
	参考文献	267
第 10 章	全向圆极化天线	269
10.1	由 4 个倒 L 形单极子构成的全向圆极化天线	269
10.2	由顶加载单极子和 4 个圆弧形偶极子构成的全向圆极化天线	269
10.3	由顶贴片和变形地构成的宽带低轮廓全向圆极化天线	270
10.4	由共面波导馈电方缝隙构成的全向圆极化天线	272
10.5	由矩形环构成的宽带全向圆极化天线	272
10.6	由垂直套筒偶极子和寄生斜振子构成的全向圆极化天线	275
10.7	由两对正交下倾对称振子组成的全向圆极化天线	276
10.8	由水平极化缝隙和垂直极化偶极子构成的全向圆极化天线	278
10.9	由垂直缝隙和水平缝隙构成的小尺寸全向圆极化天线	279
10.10	由绕杆天线和垂直偶极子组成的宽带全向圆极化天线	280
10.11	由变形单极子和 4 个水平圆弧形偶极子构成的宽带全向圆极化天线	282
10.12	由变形不对称双锥对称振子和 6 个圆弧形水平偶极子构成的宽带全向圆极化 天线	284
10.13	4/6 GHz 双频全向圆极化天线	285
10.14	由同轴缝隙对构成的全向圆极化天线	286
	参考文献	288
第 11 章	顺序旋转馈电圆极化贴片天线阵	289
11.1	引言	289
11.2	用顺序旋转 90° 相差给线极化贴片馈电构成的 2×2 元圆极化天线阵	289
11.3	顺序旋转馈电 2×2 元圆极化圆贴片天线阵	291
11.3.1	辐射单元为 L 形探针耦合馈电带正交缝隙的圆贴片天线	291
11.3.2	辐射单元为缝隙耦合圆贴片天线	292
11.3.3	辐射单元为带缺口的圆贴片天线	293
11.4	顺序旋转并联 2×2 元圆极化缝隙天线阵	294
11.5	顺序旋转并联 2×2 元圆极化矩形贴片天线阵	295
11.5.1	顺序旋转并联 2×2 元圆极化缝隙耦合层叠矩形贴片天线阵	295
11.5.2	5.8 GHz 顺序旋转串联 2×2 元圆极化矩形贴片天线阵	296
11.5.3	L 形微带线耦合馈电圆极化顺序旋转 2×2 元矩形和切角方贴片天线阵	297
11.6	顺序旋转馈电 2×2 元圆极化方贴片天线阵	298
11.6.1	常规和顺序旋转并联 2×2 元圆极化方贴片天线阵及性能	298
11.6.2	顺序旋转串联 2×2 元缝隙耦合层叠圆极化方贴片天线阵	299
11.7	顺序旋转馈电 2×2 元串联圆极化切角方贴片天线阵	301
11.7.1	顺序旋转串联 2×2 元圆极化层叠切角方贴片天线阵	301

11.7.2	Ka 波段顺序旋转串联 2×2 元和 8×8 元圆极化切角方贴片天线阵	302
11.7.3	顺序旋转并联 2×2 元圆极化切角方贴片天线阵	303
11.7.4	2.4 GHz 顺序旋转并联 4×4 元圆极化切角方贴片天线阵	304
11.8	用行波激励圆极化背腔天线构成的顺序旋转 2×2 元并联天线阵	306
11.9	用结构紧凑、顺序旋转馈电网络馈电构成的 2×2 元圆极化圆贴片天线阵	308
11.10	顺序旋转馈电 2×2 元双频双圆极化贴片天线阵	310
11.10.1	收发双频双圆极化顺序旋转馈电 2×2 元贴片天线阵	310
11.10.2	顺序旋转馈电 2×2 元复用口径双频双圆极化贴片天线阵	312
11.10.3	适合 L、S 波段使用的宽带圆极化缝隙天线阵	313
11.11	顺序旋转馈电 2×2 元圆极化折叠缝隙天线	314
11.12	顺序旋转馈电 1×4 元天线阵	314
11.12.1	Ku 波段 1×4 元顺序旋转单馈宽带圆极化贴片天线阵	314
11.12.2	1×4 元顺序旋转馈电双圆极化天线阵	316
11.13	几种顺序旋转馈电网络的比较	316
11.13.1	串联馈电网络	317
11.13.2	由 T 形功分器构成的并联馈电网络	317
11.13.3	由混合电路和 T 形功分器构成的组合并联网路	318
	参考文献	318
第 12 章 波导圆极化器及应用		320
12.1	概述	320
12.2	波纹波导圆极化器	320
12.3	脊波导圆极化器	322
12.4	螺钉圆极化器	322
12.5	介质板圆极化器	324
12.6	曲折线圆极化器	324
12.7	开槽圆波导圆极化器	325
12.8	切角方波导圆极化器	326
12.9	椭圆波导圆极化器	326
12.10	线栅式圆极化器	327
12.11	反射式圆极化器	327
12.12	隔板圆极化器	328
12.13	圆极化器在圆极化喇叭天线中的应用	331
12.14	用带 S 形隔板圆极化器构成的圆极化反射面天线	333
12.15	用圆极化器构成的 S 波段双圆极化短背射天线	334
12.16	用阶梯形圆极化器构成的 K 波段双圆极化波导阵列天线	337
12.17	X 波段 4 极化径向缝隙天线阵	338
	参考文献	338

第 13 章 圆极化圆锥波束天线	340
13.1 概述	340
13.2 圆极化圆锥波束单馈圆贴片天线	340
13.3 圆极化圆锥波束双馈和 4 馈圆贴片天线	342
13.4 圆极化圆锥波束电磁耦合馈电圆环天线	345
13.5 用自相位正交偶极子构成有圆锥方向图的圆极化天线	346
13.6 圆极化圆锥波束径向线缝隙天线	347
13.7 由周长为 2λ 的背射螺旋构成的圆极化圆锥波束天线	349
13.8 圆极化圆锥波束双模同心环形天线	351
13.9 具有圆锥形方向图的双馈宽带圆极化贴片天线	354
13.10 有圆锥形方向图的双馈圆口径圆极化天线	354
13.11 宽带低轮廓圆极化圆锥波束天线	357
13.12 用 4 元并联矩形贴片天线阵构成的圆极化圆锥波束天线	359
参考文献	360
第 14 章 移动卫通天线	361
14.1 车载卫通天线	361
14.1.1 车载 GPS 天线	361
14.1.2 机械控制车载卫通天线阵	363
14.1.3 相控车载卫通天线阵	364
14.1.4 L 波段波束切换卫通车载天线阵	371
14.1.5 S 波段车载波束切换卫通天线阵	377
14.2 舰船海事卫通天线	380
14.2.1 海事卫星舰船站的组成	380
14.2.2 舰船站 L 波段海事卫通天线	381
14.3 航空海事卫通天线	384
14.3.1 波音 747 飞机上的卫通	384
14.3.2 由 2×8 元圆贴片构成的 L 波段相阵天线	385
14.3.3 由环形贴片和背腔正交缝隙构成的 L 波段相阵天线	386
14.3.4 S 波段机载相阵天线	389
14.3.5 L 波段机载波束切换卫通天线阵	389
14.3.6 直升机使用的 L 波段卫通天线	390
参考文献	392
第 15 章 微波圆极化天线和天线阵	394
15.1 微波圆极化天线	394
15.1.1 Ka 波段圆极化背腔自相位分开的正交偶极天线	394
15.1.2 大电尺寸空腔圆极化天线	395
15.1.3 用于方波导中的 L 形探针构成的圆极化天线	398

15.1.4	环形探针激励的宽波束圆极化金属腔天线	399
15.1.5	毫米波圆极化背腔贴片缝隙偶极子天线	400
15.1.6	低轮廓圆极化 SIW 背腔正交缝隙天线	400
15.1.7	有喇叭的单馈层叠圆极化贴片天线	401
15.1.8	介质填充的圆极化圆波导天线	403
15.1.9	双圆极化圆锥喇叭天线	403
15.1.10	Ku 波段双频双圆极化背腔缝隙天线	404
15.2	圆极化贴片天线阵	405
15.2.1	串联圆极化贴片天线阵	405
15.2.2	C 波段双圆极化层叠电磁耦合贴片天线阵	406
15.2.3	S 波段 7 元 6 边形圆极化贴片天线阵	407
15.2.4	短距离通信使用的带有 T 形缝隙的圆极化 H 形贴片天线阵	408
15.2.5	Ku 波段移动卫通层叠贴片天线阵	410
15.2.6	用环形贴片构成的 Ku 波段平面圆极化天线阵	411
15.3	用喇叭构成的圆极化天线阵	412
15.3.1	用单臂渐变螺旋线边馈背腔阶梯喇叭构成的圆极化天线	412
15.3.2	Ka 波段用贴片馈电的圆极化喇叭天线	414
15.3.3	Ka 和 K 双频双圆极化喇叭天线阵	416
15.4	圆极化径向线缝隙天线阵	417
15.4.1	双圆极化径向线十字形缝隙天线阵	417
15.4.2	双圆极化径向线垂直缝隙对天线阵	419
15.4.3	毫米波双层径向线圆极化缝隙阵天线	420
15.4.4	用径向波导馈电的低轮廓螺旋天线阵	421
15.4.5	大功率径向线螺旋天线阵	425
15.5	电磁耦合卷曲天线阵	427
15.6	毫米波圆极化 8×8 元印刷平面天线阵	428
15.7	平面高增益圆极化缝隙天线阵	429
	参考文献	431
第 16 章	圆极化/线极化组合天线	433
16.1	数字音频广播使用的 S 波段双极化天线	433
16.2	S 波段接收地面/卫星信号的组合偶极子/4 线螺旋天线	434
16.3	GPSLI 和 DCS 双频双极化组合天线	435
16.4	小体积 GPS 和 DCS 双频双极化组合天线	436
16.5	由共面集成方环和方贴片构成的双极化天线	437
16.6	GPS/GSM 双频双极化组合天线	439
16.7	GPSLI 和 UMTS 全向组合双频双极化天线	440
16.8	结构紧凑的 GPSLI 圆极化天线和 1800 MHz 全向组合天线	441