

WILEY



智能感知前沿技术系列



国防电子信息技术丛书

Space Antenna Handbook

空间天线手册

William A. Imbriale

[美]

Steven Gao

主编

Luigi Boccia

胡明春 王建明 金林 孙俊 等译



中国工信出版集团



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

智能感知前沿技术系列

空间天线手册

Space Antenna Handbook

William A. Imbriale

[美]

Steven Gao

主编

Luigi Boccia

胡明春 王建明 金林 孙俊 等译



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书由多位具有理论和实践经验的专家合著而成。全书共 18 章,分别讨论天线基础,空间天线模型,卫星通信、雷达、导航和遥感的系统构架,空间环境与材料,空间天线的机械和热设计,空间天线测试,空间天线发展的历史回顾,空间应用的可展开网面天线:射频表征,空间应用的微带阵列技术、用于空间的印刷反射天线阵,空间应用中的新天线技术,卫星通信天线,SAR 天线,全球导航卫星系统接收机天线,小卫星天线,射电天文空间天线,深空应用天线,并展望了空间天线面临的未来任务、关键技术和工艺的挑战。

Space Antenna Handbook, 9781119993193, William A. Imbriale, Steven Gao, Luigi Boccia.

Copyright © 2012, John Wiley & Sons, Ltd.

All rights reserved. This translation published under license.

Authorized translation from the English language edition published by John Wiley & Sons, Ltd.

本书简体中文字版专有翻译出版权由 John Wiley & Sons, Ltd. 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的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2012-9067

图书在版编目(CIP)数据

空间天线手册/(美)威廉·A.英布里尔(William A. Imbriale)等主编;胡明春等译.

北京:电子工业出版社,2018.3

(国防电子信息技术丛书)

书名原文:Space Antenna Handbook

ISBN 978-7-121-30701-0

I. ①空… II. ①威… ②胡… III. ①天线-手册 IV. ①TN82-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 316101 号

策划编辑:马 岚

责任编辑:杨 博

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

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:787×1092 1/16 印张:37 字数:1006 千字

版 次:2018 年 3 月第 1 版

印 次:2018 年 3 月第 1 次印刷

定 价:129.00 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)88254888,88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式:classic-series-info@phei.com.cn。

《空间天线手册》编委会

翻译委员会

主 任：胡明春

副主任：金 林

委 员：吴道庆 周志鹏 李 明 邢文革 杨予昊 李大圣 黄银和
姚克荣 尹德成 倪 菁 邵江达 马建林 姜 毅 蔡晓睿
韩长喜 陈 丽 倪迎红 冯晓磊 沙 舟 王 虎 张 昊
张 蕾 张春雁 周上元 陈 卓 朱宝明

校对委员会

主 任：王建明

副主任：孙 俊

委 员：邵春生 倪国新 谢勇光 张 良 朱建军 李 勤 袁 刚
伍光新 孙 磊 孙红兵 邢小明 王茂彬 彭 为 傅有光
李 斌 吴明敏 邓大松 陈 玲 方能航

CETC 中国电子科技集团公司第十四研究所



中国电子科技集团公司智能感知技术重点实验室

智能感知技术重点实验室是由中国电子科技集团公司于2014年10月批复设立的首批集团重点实验室之一，被列为中国电科集团示范实验室建设行列。

作为国内预警探测领域首个系统级创新研究型实验室，智能感知技术重点实验室的主要任务是面向未来复杂作战环境下武器装备发展信息化、体系化的新需求，建设一流研发平台，吸引国内外优势学术资源，从事智能感知体系、先进探测系统和基础技术研究，牵引专业技术发展，促进探测技术多学科融合，引领国家探测领域技术发展方向，提升国家探测领域自主创新能力，是技术创新体系重构的重要组成部分。

智能感知技术重点实验室始终坚持人才是科技创新的第一资源。目前，实验室已形成一支初具规模、结构合理、素质优良的人才队伍。其中，具有研究员与高级工程师职称的人员占比达70%以上，具有硕博学位的人员占比达85%以上。

“惟创新者进，惟创新者强，惟创新者胜”。智能感知技术重点实验室将瞄准国际前沿，面向国家重大需求，努力整合联合内外部优势力量，布局具有战略性、前瞻性、基础性科技创新资源，努力将实验室打造成聚集国内外一流人才的科技创新高地。

译者序

卫星具有不受国界限制、作用距离远、观测范围广等空中和地面平台所不具备的独特优势,受到军事和科技强国的高度重视,广泛应用于广域预警探测、地海侦查监视、数据通信传输、导航定位授时、深空探索研究等军民领域,成为高科技战争和人们日常工作生活不可或缺的重要装备。

在组成卫星的各个分系统中,天线往往是规模最为庞大、结构最为复杂、指标要求最高、设计难度最大的分系统,是卫星能够成功完成任务的关键。卫星发射方式、天线展开要求、空间辐射环境、极端温度变化、体积重量功率等条件对空间天线提出了诸多限制,增加了空间天线设计、制造、部署和操作的难度。

美国国防先期研究计划局、国家航空航天局、欧洲航天局、日本宇航局等多家机构对空间天线进行了大量深入研究,取得了一系列理论创新和应用成果,对我国天基天线的设计开发具有重大参考价值。然而,这些资料分布零散、不成体系,限制了空间天线知识的传播和应用。

2012年,我们惊喜地发现 William A. Imbriale 等人主编的 Space Antenna Handbook。该书内容完整,不仅涵盖空间天线设计、建模和分析的基本理论方法,还介绍了丰富的空间天线设计和制造实际案例,并对空间天线在卫星通信、空间载 SAR、射电天文学等热门应用做了详细评述。本书既有对基础原理的清晰介绍,又有对实际应用的具体详细描述,既有对空间天线历史的回顾,又有对前沿技术和未来发展的展望,相信读者阅读本书后,一定能够对空间天线有一个综合和系统的了解。

本书由中国电子科技集团公司智能感知技术重点实验室组织翻译,胡明春、王建明、金林、孙俊、陈玲、邓大松、蔡晓睿、韩长喜、倪迎红等参与了翻译,并得到了中国电子科技集团公司第十四研究所各部门领导及专家的大力支持和帮助,在此一并感谢。由于水平和经验有限,翻译错误与不妥之处在所难免,敬请读者批评指出,以便今后进一步完善,不胜感激!

前 言

鉴于空间的独特环境以及发射飞行器的动力特性,对空间飞行器天线的需求和设计方式与地面天线大相径庭。然而,专门针对空间天线的书非常少,其中一本是 2006 年出版的 Spaceborne Antennas for Planetary Exploration(《行星探索天基天线》),但该书仅仅介绍了美国国家航空航天局喷气推进实验室所做的工作。因此,需要一本综合全面的书来介绍世界范围内领军工程师在空间天线的最新进展。

本书广泛讨论了空间天线应用的话题,目的有两个方面。一是介绍空间天线设计、建模和分析的基本方法,以及前沿技术和未来技术发展。每一话题都以空间为专业和背景。另外,许多章节都提供了案例研究来演示如何在实际情形进行天线设计和制造。接下来,本书提出了对热门应用,如卫星通信、空间载 SAR、全球导航卫星系统接收机、射电天文学、小卫星以及深空应用的天线设计的详细评述。

由于本书涵盖的范围十分庞大,从基本原理到技术以及实践案例研究,因此适用的读者面十分庞大,包括入门者、学生、研究人员,以及经验丰富的工程师。文中的技术术语假定读者熟悉经常在电磁学高级课程中遇到的基础工程学和数学概念以及物质材料。

本书分为三部分,分别探讨天线开发、空间天线技术和空间天线特定应用。第一部分包括天线基础原理和建模,以及与环境 and 材料有关的空间天线特定需求,包括空间天线要求的机械和热问题。其中一章是关于系统架构的,描述了天线在空间飞行器总体设计中扮演的重要角色。第二部分详细描述了与网格反射面天线、阵列天线以及印制反射阵天线相关的技术,给出了历史见解,并强调了新兴技术。第三部分包含卫星通信、空间 SAR、全球导航卫星系统接收机、射电天文学、小卫星以及深空的特定应用。结论部分展望了空间天线的未来发展。因此,从基础原理到与特定应用,通过阅读本书,读者能够综合全面、逻辑性强地了解空间天线。

合著者名单

Eduardo Alonso	EADS CASA Espacio(西班牙)
David A'lvarez	EADS CASA Espacio(西班牙)
Eric Amyotte	MDA(加拿大)
Silvia Arenas	EADS CASA Espacio(西班牙)
Luigi Boccia	Calabria 大学(意大利)
Olav Breinbjerg	丹麦技术大学(丹麦)
Paula R. Brown	喷气推进实验室(美国,行政隶属于加利福尼亚理工学院)
Miguel Bustamante	EADS CASA Espacio(西班牙)
Jennifer Campuzano	EADS CASA Espacio(西班牙)
Pasquale Capece	泰利斯阿莱尼亚宇航公司(意大利,罗马)
Francisco Casares	EADS CASA Espacio(西班牙)
Chi-Chih Chen	俄亥俄州立大学(美国)
Jacqueline C. Chen	喷气推进实验室(美国,行政隶属于加利福尼亚理工学院,)
Keith Clark	萨里卫星技术有限公司(英国)
Luis E. Cuesta	EADS CASA Espacio(西班牙)
Tie Jun Cui	东南大学信息科学与工程学院(中国,南京)
L. Salghetti Drioli	欧空局欧洲空间研究与技术中心(ESTEC)(荷兰)
Jose A. Encinar	马德里技术大学(西班牙)
Mohammad Fakharzadeh	滑铁卢大学电气与计算机工程系智能天线与无线电系统中心(CIARS) (加拿大)
Paolo Focardi	喷气推进实验室(美国,行政隶属于加利福尼亚理工学院)
Luis F. de la Fuente	EADS CASA Espacio(西班牙)
Steven (Shichang) Gao	萨里大学萨里空间中心(英国)
Quiterio Garcia	EADS CASA Espacio(西班牙)
Vicente García	EADS CASA Espacio(西班牙)
Paul F. Goldsmith	喷气推进实验室(美国,行政隶属于加利福尼亚理工学院)
Richard E. Hodges	喷气推进实验室(美国,行政隶属于加利福尼亚理工学院)
William A. Imbriale	喷气推进实验室(美国,行政隶属于加利福尼亚理工学院)
Jerzy Lemanczyk	欧空局欧洲空间研究与技术中心(ESTEC)(荷兰)
Cyril Mangenot	欧空局欧洲空间研究与技术中心(ESTEC)(荷兰)
Moazam Maqsood	萨里大学萨里空间中心(英国)
Luís Martins Camelo	MDA(加拿大)
Kevin Maynard	萨里卫星技术有限公司(英国)
Fernando Monjas	EADS CASA Espacio(西班牙)
Antonio Montesano	EADS CASA Espacio(西班牙)

Margarita Naranjo	EADS CASA Espacio(西班牙)
Xue Wei Ping	东南大学信息科学与工程学院(中国, 南京)
Yahya Rahmat-Samii	加利福尼亚大学洛杉矶分校(UCLA)(美国)
Heiko Ritter	欧空局欧洲空间研究与技术中心(ESTEC)(荷兰)
Antoine G. Roederer	Delft 理工大学 IRCTR(荷兰)
Safieddin Safavi-Naeini	滑铁卢大学电气与计算机工程系智能天线与无线电系统中心 (CIARS)(加拿大)
J. Santiago-Prowald	欧空局欧洲空间研究与技术中心(ESTEC)(荷兰)
Jos e Luis Serrano	EADS CASA Espacio(西班牙)
Hans Juergen Steiner	Astrium GmbH(德国)
Michael A. Thorburn	Space Systems/Loral(美国)
Andrea Torre	Thales Alenia Space Italia(意大利, 罗马)
Ana Trastoy	EADS CASA Espacio(西班牙)
Jiadong Xu	西北工业大学(中国, 西安)
Wen Ming Yu	东南大学信息科学与工程学院(中国, 南京)
Jan Zackrisson	RUAG 宇航公司(瑞典)
Jian Feng Zhang	东南大学信息科学与工程学院(中国, 南京)
Xiao Yang Zhou	东南大学信息科学与工程学院(中国, 南京)

缩 略 语

AFR	Array-Fed Reflector	阵列馈电反射面
AIT	Assembly, Integration and Test	组装、集成和测试
AIT-AIV	Assembly, Integration and Test-Assembly, Integration and Validation	组装、集成和测试-组装、集成和验证
A/BAMSU-A/B	Advanced Microwave Sounding Unit version A/B	先进的微波探测装置 A/B 型
BFN	Beam-Forming Network	波束成形网络
CFRP	Carbon Fibre Reinforced Plastic	碳纤维增强塑料
CFRS	Carbon Fibre Reinforced Silicon	碳纤维增强硅
CMB	Cosmic Microwave Background	宇宙微波背景
CTE	Coefficient of Thermal Expansion	热膨胀系数
DARS	Digital Audio Radio Service	数字音频广播
DBF	Digital Beam Forming	数字波束成形
DGR	Dual-Gridded Reflector	双网格反射面
DMB	Digital Multimedia Broadcasting	数字多媒体广播
DOA	Direction Of Arrival	到达方向
DOS	Denial Of Service	拒绝[否认]服务
DRA	Direct Radiating Arrays	直接辐射阵列
DTH	Direct To Home	直接到户
DVB	Digital Video Broadcasting	数字视频广播
EBG	Electronic Band Gap	电子带隙
EIRP	Equivalent Isotropic Radiated Power	等效各向同性辐射功率
EOS	Earth Observing System	地球观测系统;
FSS	Frequency-Selective Surface	频率选择表面
GEO	Geostationary Earth Orbit	地球同步轨道
GNSS	Global Navigation Satellite Systems	全球导航卫星系统
HPA	High-Power Amplifier	高功率放大器
I/F	Inter Face	接口
INET	Input NETwork	输入网络
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar	干涉合成孔径雷达
ITU	International Telecommunication Union	国际电信联盟
LDA	Large Deployable Antenna	大型可展开天线
LEO	Low Earth Orbit	低地球轨道
LNA	Low Noise Amplifier	低噪声放大器
LO	Local Oscillator	本地振荡器

MEMS	Micro-ElectroMechanical Systems	微型机电系统
MEO	Medium Earth Orbit	中地球轨道
MHS	Microwave Humidity Sounder	微波湿度仪
MLS	Microwave Limb Sounder	微波组成成分探测器
MMIC	Monolithic Microwave Integrated Circuit	单片微波集成电路
MPA	Medium Power Amplifier	中功率放大器
MSG	Meteosat Second Generation	第二代气象卫星
MSS	Mobile Satellite System	移动卫星通信系统
MSU	Microwave Sounding Unit	微波探测装置
MTG	Meteosat Third Generation	第三代气象卫星
MTI	Multiple Target Indicator	多目标指示器
OBP	On-Board digital Processor	星上的数字处理器
OMT	Orthomode Transducer	正交模转换器
ONET	Output NETwork	输出网络
PAE	Power-Added Efficiency	功率附加效率
PCB	Printed Circuit Board	印刷电路板
PIM	Passive Inter Modulation	无源互调制
QoS	Quality of Service	服务质量
RF	Radio Frequency	无线电频率(射频)
SAR	Synthetic Aperture Radar	合成孔径雷达
S/C	Space Craft	航天器
SSPA	Solid State Power Amplifier	固态功率放大器
TT&C	Telemetry, Tracking and Command	遥测,跟踪和指令
TWTA	Travelling Wave Tube Amplifier	行波管放大器
T/R	Transmit/Receive	发送/接收
UHF	Ultra High Frequency	超高频
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	通用移动通信系统
VLBI	Very Long Baseline Interferometry	甚长基线干涉测量
VSAT	Very Small-Aperture Terminal	甚小孔径终端
XPD	Cross-Polar Discrimination	交叉极化鉴别

目 录

第1章 天线基础	1
1.1 引言	1
1.2 天线性能参数	1
1.2.1 反射系数和电压驻波比	1
1.2.2 天线阻抗	2
1.2.3 辐射方向图和覆盖	3
1.2.4 极化	4
1.2.5 方向性	5
1.2.6 增益和实际增益	5
1.2.7 等效全向辐射功率	6
1.2.8 有效面积	6
1.2.9 相位中心	6
1.2.10 带宽	7
1.2.11 天线噪声温度	7
1.3 基本天线单元	7
1.3.1 线天线	7
1.3.2 喇叭天线	8
1.3.3 反射面天线	11
1.3.4 螺旋天线	13
1.3.5 印刷天线	15
1.4 阵列	20
1.4.1 阵列天线布置	21
1.5 天线在太空环境中的基本效应	23
1.5.1 倍增	23
1.5.2 无源互调(PIM)失真	23
1.5.3 出气	24
参考文献	24
第2章 空间天线模型	28
2.1 引言	28
2.1.1 麦克斯韦方程	28
2.1.2 CEM	29
2.2 天线建模方法	30
2.2.1 基本理论	30
2.2.2 矩量法	31
2.2.3 FEM	34
2.2.4 FDTD 方法	36

2.3	大型稀疏阵建模的快速算法	40
2.3.1	引言	40
2.3.2	MLFMA	41
2.3.3	FEM 的分层基	46
2.4	案例研究: 卫星本体对天线辐射方向图的影响	48
2.5	总结	52
	参考文献	53
第3章	卫星通信、雷达、导航和遥感的系统构架	55
3.1	引言	55
3.2	构成卫星系统的各部分	55
3.3	卫星的任务	55
3.4	通信卫星	55
3.4.1	固定卫星服务(FSS)	56
3.4.2	广播卫星服务(直播卫星服务)BSS(DBS)	56
3.4.3	数字音频无线电服务(DARS)	56
3.4.4	直接到户(DTH)宽带服务	56
3.4.5	移动通信服务	57
3.5	雷达卫星	57
3.6	导航卫星	57
3.7	遥感卫星	57
3.8	卫星指令和控制结构	57
3.9	通信有效载荷应答器	58
3.9.1	弯管应答器	58
3.9.2	数字应答器	58
3.9.3	再生中继器	58
3.10	卫星功能需求	58
3.10.1	主要性能概念: 覆盖范围, 频率分配	58
3.10.2	通信有效载荷的结构	59
3.10.3	卫星通信系统性能要求	59
3.11	卫星链路方程	60
3.12	微波发射机模块	60
3.12.1	交调点	61
3.12.2	输出功率回退	62
3.12.3	发射天线和等效各向同性辐射功率	62
3.13	接收机前端模块	63
3.13.1	噪声系统和噪声温度	63
3.14	通信系统射频链路接收功率	65
3.14.1	上下行链路的角度依赖性	65
3.15	卫星和天线中的额外损失	65
3.15.1	传播效应和大气引起的其他损耗	66
3.15.2	电离层效应——闪烁和极化旋转	67

3.16	热噪声和天线噪声温度	67
3.16.1	天线和通信系统的接口	67
3.16.2	上行链路信噪比	68
3.17	SNR 方程和最小可检测信号	68
3.18	功率通量密度、饱和通量密度和动态范围	68
3.18.1	PFD 和卫星应答器增益状态之间的重要关系	69
3.19	全双工工作和无源互调	69
3.20	增益和增益的变化	70
3.21	指向误差	70
3.22	卫星系统架构的其余部分	71
3.23	轨道和轨道方面的考虑	71
3.24	航天器介绍	73
3.25	航天器预算(质量, 功率, 热量)	73
3.25.1	卫星质量	73
3.25.2	卫星功率	73
3.25.3	卫星热量耗散	74
3.26	轨道任务周期和运载火箭的考虑	74
3.27	环境管理(热、辐射)	74
3.28	飞行器结构(声学的/动力的)	75
3.29	卫星定位(位置保持)	75
3.30	卫星姿态控制	76
3.31	电源子系统	76
3.32	跟踪、遥感、指令和监控	76
	参考文献	77
第4章	空间环境与材料	78
4.1	引言	78
4.2	天线的空间环境	78
4.2.1	辐射环境	79
4.2.2	等离子体环境	80
4.2.3	中性环境	81
4.2.4	典型的航天器轨道空间环境	82
4.2.5	热环境	82
4.2.6	发射环境	84
4.3	材料选择及其与电磁性能之间的关系	87
4.3.1	RF 透明材料及其使用	87
4.3.2	RF 导电材料及其使用	87
4.3.3	PIM 控制的材料选择黄金规则	88
4.4	空间材料与制造工艺	88
4.4.1	金属及其合金	89
4.4.2	聚合物基复合材料	91
4.4.3	陶瓷及陶瓷基复合材料	95

4.5	机械和热性能的特征	96
4.5.1	热真空环境和出气作用的筛查	96
4.5.2	聚合物和复合材料的基本特性测试	97
4.5.3	机械性能表征	99
4.5.4	热和热弹性特性	99
	参考文献	100
第5章	空间天线的机械和热设计	102
5.1	引言:机械-热-电气三角形	102
5.1.1	天线产品	103
5.1.2	配置、材料和工艺	104
5.1.3	需求及其验证的概述	104
5.2	天线结构的设计	105
5.2.1	反射面的典型设计方案	106
5.2.2	夹层板结构的描述	108
5.2.3	夹层板耐热性的描述	108
5.2.4	与热机械设计有关的夹层板结构的电气描述	109
5.3	结构建模与分析	109
5.3.1	一阶板理论	109
5.3.2	高阶板理论	112
5.3.3	经典层合板理论	112
5.3.4	均匀各向同性板与对称夹层板的比较	113
5.3.5	合成材料表皮	114
5.3.6	蜂窝芯材的特点	115
5.3.7	夹层板失效模式	116
5.3.8	质量优化的夹层天线结构	117
5.3.9	有限元分析	118
5.3.10	天线的声负载	121
5.4	热和热弹性分析	125
5.4.1	空间天线的热环境	125
5.4.2	横向夹层板的热传导模型	126
5.4.3	平面夹层板的热平衡	127
5.4.4	空间中的平板热变形	128
5.4.5	偏置抛物反射面的热弹性稳定性	129
5.4.6	热分析工具	130
5.4.7	热分析案例	131
5.4.8	热模型的不确定性和安全系数	131
5.5	热控制策略	131
5.5.1	要求和主要设计选择	131
5.5.2	热控制元件	132
5.5.3	热设计实例	133
	参考文献	135

第6章	空间天线测试	136
6.1	引言	136
6.2	作为开发和验证工具的测试	137
6.2.1	测试工程	137
6.2.2	模型的理念和定义	138
6.2.3	电气模型关联	144
6.2.4	热测试和模型关联	147
6.3	天线测试设施	154
6.3.1	远场天线测试场	154
6.3.2	紧凑天线测试场	154
6.3.3	近场测量和设施	160
6.3.4	环境试验设备和机械测试	165
6.3.5	PIM 测试	167
6.4	案例分析: SMOS	169
6.4.1	SMOS MIRAS 仪器	170
6.4.2	SMOS 模型理念	172
6.4.3	天线方向图测试活动	177
	参考文献	184
第7章	空间天线发展的历史回顾	186
7.1	引言	186
7.2	早期情况	187
7.2.1	简单卫星上的导线天线和裂缝天线	187
7.2.2	天线的计算机建模开始起步	191
7.2.3	改造现有的/经典的天线设计用于空间应用	193
7.3	采用复杂馈电系统的较大尺寸的反射器	195
7.3.1	引言	195
7.3.2	多频天线	196
7.3.3	大型可展开天线	201
7.3.4	固体表面可展开反射面天线	207
7.3.5	极化敏感反射面和赋形反射面	209
7.3.6	多馈天线	211
7.4	阵列天线	219
7.4.1	自旋稳定卫星上的共形阵列	219
7.4.2	用于遥感的阵列	220
7.4.3	用于远程通信的阵列	222
7.5	总结	226
	致谢	226
	参考文献	226
第8章	空间应用的可展开网面天线: 射频表征	233
8.1	引言	233

8.2	可展开网格反射面的历史	233
8.3	网格反射面特有的设计上的考虑事项	237
8.4	SMAP 任务——一个典型的案例研究	237
8.4.1	任务概述	237
8.4.2	关键的天线设计的驱动因素和约束	239
8.4.3	反射面材料的射频性能确定	242
8.4.4	射频天线方向图的建模	244
8.4.5	馈源组件的设计	252
8.4.6	性能验证	253
8.5	总结	253
	参考文献	254
第9章	空间应用的微带阵列技术	256
9.1	引言	256
9.2	阵列天线的基础知识	256
9.2.1	功能上(驱动)的要求和阵列设计解决方案	256
9.2.2	无源阵列的材料与环境与设计要求的关系	259
9.2.3	阵列优化方法和准则	260
9.3	无源阵列	261
9.3.1	SAR 天线的辐射面板	261
9.3.2	导航天线	264
9.3.3	深空用的无源天线	269
9.4	有源阵列	271
9.4.1	有源天线的关键有源元器件:放大器	271
9.4.2	有源混合电路	274
9.4.3	热耗散设计方案	274
9.4.4	有源阵列控制	276
9.4.5	通信和数据传输用的有源阵列	276
9.5	总结	287
	参考文献	288
第10章	用于空间的印刷反射天线阵	289
10.1	引言	289
10.2	工作原理和反射天线阵单元的性能	291
10.3	分析与设计技术	293
10.3.1	反射天线单元的分析与设计	294
10.3.2	反射天线阵的设计与分析	296
10.3.3	宽带技术	297
10.4	通信卫星和广播卫星的反射天线阵	301
10.4.1	等场强线波束反射天线阵	301
10.4.2	双极化覆盖的发射天线	302
10.4.3	覆盖南美的收发天线	306