

国防电子信息技术丛书

Mc
Graw
Hill

Antennas: For All Applications, Third Edition

天线

(第三版)

[美] John D. Kraus 著
Ronald J. Marhefka
章文勋 译



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

天 线

(第三版)

Antennas: For All Applications

Third Edition

[美] John D. Kraus 著
Ronald J. Marhefka

章文勋 译

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是关于天线的经典著作,全面覆盖了有关天线的各方面内容。前12章介绍了天线的各种基础知识,后12章详细展开了这些内容。书中包括大量实例和习题,便于读者实践掌握。全书图文并茂,更有助于读者的直观理解。书中加入了包括无线革命在内的许多全新的现代应用,对参考文献列表也进行了相应的更新。本书概念清晰,层次分明。无论读者需要的是仅介绍天线基础知识的一个学期的课程,还是计划更深入地进一步学习,本书都能够提供切实的帮助。

本书可作为相关专业高等院校的本科生和研究生的教学用书,以及工程技术人员的参考用书。

John D. Kraus, Ronald J. Marhefka : **Antennas: For All Applications, Third Edition**

ISBN 0-07-112240-0

Copyright © 2002 by The McGraw-Hill Companies, Inc.

Original language published by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Simplified Chinese translation edition jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) Co. and Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2006.

本书中文简体字翻译版由电子工业出版社和美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司合作出版。未经出版者预先书面许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。
本书封面贴有 McGraw-Hill 公司激光防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2002-2859

图书在版编目(CIP)数据

天线(第三版)/(美)克劳斯(Kraus, J. D.)等著;章文勋译.-北京:电子工业出版社,2006.8
(国防电子信息技术丛书)

书名原文:Antennas: For All Applications, Third Edition

ISBN 7-121-02977-4

I.天... II.①克... ②章... III.天线-基本知识 IV. TN82

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第087520号

责任编辑:马 岚

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市金马印装有限公司

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

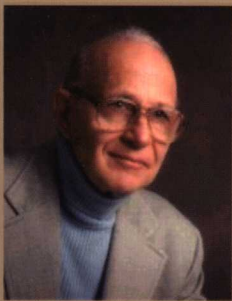
经 销:各地新华书店

开 本:787 × 1092 1/16 印张:49.25 字数:1261千字

印 次:2006年8月第1次印刷

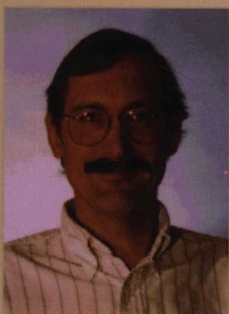
定 价:128.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。



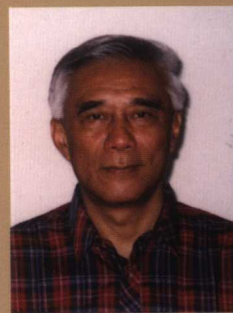
John D. Kraus

美国密歇根大学博士，现任俄亥俄州立大学（哥伦布市）电气工程与天文学教授。他是螺旋聚束天线、夹角反射器天线和其他多种天线的发明者，还是 *Radio Astronomy, Second Edition*, *Big Ear II and Our Cosmic Universe* 以及 *Electromagnetics, Fifth Edition*（与 Daniel Fleisch 合著）等书的作者。Kraus 博士是美国工程院院士，曾荣获包括 IEEE 杰出成就奖在内的很多奖励，并获得 IEEE 一百周年奖章和三枚金质奖章；俄亥俄州立大学的沙利文奖、IEEE 的爱迪生奖和海因里希·赫兹奖。



Ronald J. Marhefka

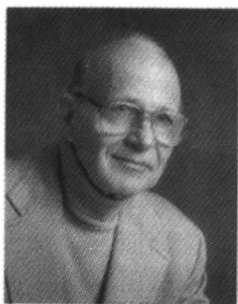
美国俄亥俄州立大学博士，现任俄亥俄州立大学（哥伦布市）电科学实验室资深研究科学家，电气工程兼职教授。擅长复杂天线结构和复杂散射环境的分析计算。IEEE 会士（1992），曾当选 IEEE AP-S（天线与传播学会）会长（1998）。曾荣获 IEEE R. W. P. King 论文奖和最佳应用论文奖、应用计算电磁学会技术成就奖以及俄亥俄州立大学的多项奖励。



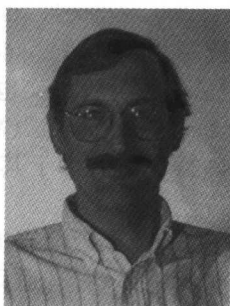
章文勋

1958年毕业于南京工学院无线电工程系。现任东南大学教授、博士生导师。长期从事工程电磁理论与天线的教学、科学研究和技术开发,著有《无线电技术中的微分方程》、《电磁场工程中的泛函方法》以及 *Engineering Electromagnetism: Functional Methods* 等书。中国电子学会会士(1987), IEE (英国电气工程师学会)会士(1992), IEEE 会士(1999), 电磁学研究会(EMA)会员(2002)。曾荣获国家教委科技进步一等奖(1992)。

作者致译者的一封信



John D. Kraus

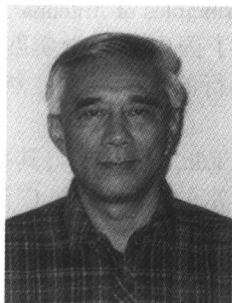


Ronald J. Marhefka

We are pleased that *Antennas: for All Applications* has been translated into Chinese, a language used by more people than any other. And we thank Prof. Wen Xun Zhang for his excellent translation.

John D. Kraus & Ronald J. Marhefka

译 文



章文勋

中文是世界上使用人数最多的语言。“Antennas for All Applications”一书被译为中文出版，作者深感荣幸。同时，对章文勋教授的出色翻译，作者深表感谢。

作者

John D. Kraus & Ronald J. Marhefka

译 者 序

天线作为国内高校的一门专业课程,其自编教材始于原南京工学院(今东南大学的前身)陆钟祚教授所撰的《实用无线电天线》(中国科学技术仪器公司,1951年)。此后不久,国内全面仿效前苏联的教学体系,谢处方先生在南京工学院开设了“电波与天线”课程,随后出版了同名教材上、下册(人民邮电出版社,1958年),即被众多高校所采用。与此同时,若干俄文的天线教材和参考书被陆续译成中文,多种非公开出版的国内自编教材或讲义也担当过重要角色。在此时期引进的少数英文的天线教材中,就有 John D. Kraus 的“Antennas”(McGraw-Hill, 1950)一书。该书以作者所发明的螺旋天线和夹角反射器天线为特色而有别于其他教材,可惜未能被当时的教材体系所接受。

经历了上世纪 60,70 年代政治动乱的停顿,高校复课迎来了百废俱兴的繁荣局面。分属不同行政部门的教材编审委员会曾拟定了各种层次的教材出版计划,有适用于本科用多学时或少学时天线课程的基础教材;也有适用于研究生的专题性天线教学参考书。其中不乏叙述清楚、结构严谨的佳作,对普及天线教学、提高天线人才的培养质量功不可没。可是,本科教材的大纲基本沿循了前苏联教材的严谨而不够生动、详尽而缺少启发的模式;研究生参考书虽则题材多样、内容丰富,但仍似本科教材模式在较高层次的复现,不便于用做单门天线课程的教材。其间,流传较广的有谢处方、丘文杰合编的本科教材《天线原理与设计》(西北电讯工程学院出版社,1985年)和任朗教授的专著《天线理论基础》(人民邮电出版社,1980年)等。

上世纪 80 年代,国际上也迎来了天线教材出版的高峰时期。相继面市的有研究生与高年级本科生兼用的教材:W. L. Stutzman & G. A. Thiele 的“Antenna Theory and Design”(John Wiley & Sons, 1981), R. S. Elliott 的“Antenna Theory and Design”(Prentice Hall, 1981), C. A. Balanis 的“Antenna Theory: Analysis and Design”(John Wiley & Sons, 1982), R. E. Collin 的“Antennas and Radio-wave Propagation”(McGraw-Hill, 1984)等;以及本科教材 K. F. Lee 的“Principles of Antenna Theory”(John Wiley & Sons, 1984)等。这些教材的引进,在一定程度上影响了国内的教学实践,尤其是 C. A. Balanis 著作的第二版(1997)在国内外备受推崇,堪称国际流行的优秀教材。然而,所有这些教材都带有侧重理论、原理的“学院式”倾向。

最近,John D. Kraus & Ronald J. Marhefka 合著的“Antennas”(Third Edition, 2002),其书名加有副标题“*For All Applications*”(适合所有的应用)。确实,本书以其丰富的内容涵盖、广泛的应用联系,以及逾千幅图释、数百道例题和习题,提供了原理论述与工程实例相结合的典范。它为天线课程开创了一种新的教学模式,并兼有工程技术人员进修参考书的功能。

电子工业出版社致力于引进国外优秀教材,慧眼优选出了本书的原版样书。译者承编辑部之约请,盛情难却,更受本书内容特色之吸引而欣然从命,执笔译成中文版。

译者虽从教四十五载,积有多年天线教学和研发之经验,但面对如此内容浩瀚的巨著,顿感力不从心、才疏学浅,只能勉力而为之。故此,书中译词失当、疏误之处难免,敬请读者不吝指正。

章文勋 于南京

前 言

本书新版较前两版更好地陈述了天线的基本要点,并扩充了最新的无线通信应用的内容。全书结构可按前 12 章和后 12 章分成两门课程,具有多种选配组合的灵活性。

第 1 章介绍有关符号和记号的知识,并附列了一些有用的图表。第 2 章包含基本的天线概念和天线语言。在第 3 章中将简述从偶极子到贴片等 20 余种天线。第 4 章介绍点源及其场强、功率、相位的波瓣图。点源的边射阵和端射阵则在第 5 章(上)中介绍。接着,第 6 章讨论了电偶极子和直天线及其阵列。各种环天线及其特性在第 7 章中叙述。第 8 章(上)是螺旋聚束天线和八木-宇田天线的引论,第 8 章(下)则是对螺旋天线的详细讨论。第 9 章介绍缝隙天线、贴片天线和喇叭天线。第 10 章阐述平板和夹角反射器以及抛物面反射镜天线。第 11 章讨论宽频带和非频变天线。第 12 章介绍天线温度、遥感和雷达截面。以上是第一门天线课程的建议章节。

第二门天线课程的建议章节可包含第 5 章(下)对点源阵内容的拓展,第 8 章(下)对螺旋天线的深入理解,以及第 9 章对缝隙天线和喇叭天线的更多知识。然后顺序介绍自阻抗与互阻抗(第 13 章)、柱形天线(第 14 章)、口径分布与远场波瓣图之间的傅里叶变换关系(第 15 章)、偶极子阵和口径阵(第 16 章)以及透镜天线(第 17 章)。第 18 章阐述频率选择表面和周期结构,第 19 章是对实用大型口径天线的设计考虑。第 20 章给出若干大型或独特天线的实例。第 21 章介绍了很多特殊用途的天线,包括移动电话天线、仪表着陆系统(ILS, Instrument Landing System)天线、近地轨道(LEO, Low Earth Orbit)卫星天线,等等。第 22 章详细介绍了物理尺寸很小的太赫频率天线。第 23 章介绍关于平衡-非平衡转换器、变换器、陷波器等的有效知识。最后,第 24 章给出了当代天线测量的完整知识。附录中包含许多有用的表格、参考文献和计算机程序。

本书的特色是配有大量辅助性图示、透彻而富有挑战性的习题集以及丰富的参考文献。下面附有建议的课程设置。当然,也可以有多种不同的选配方案。可以将靠后的一些章节加入第一门天线课程,如第 21 章中的某些内容可适时地用做第一门天线课程的实例。欢迎读者访问本书的网页 www.antennas3.com,以制订出特定的课程计划。

虽然本书是按教材来编写的,但其中包含的丰富知识,即使对从事实践的工程师来说,也仿佛是一座真正的“金矿”。因为书中包含了数以百计的工作实例,有助于将理论转化为实际。

作者们对众多同仁的协助深表感谢,他们是:

Prof. Ben A. Munk, ElectroScience Laboratory, Ohio State University, for his chapters on *Frequency Selective Surfaces* and *Baluns, etc.*

Prof. Arto Lehto and Pertti Vainikainen of the Helsinki University of Technology Radio Laboratory for their chapter on *Measurements*.

Prof. Pertti Vainikainen for his section on *Antennas for Terrestrial Mobile Communication*.

Dr. Edward H. Newman, ElectroScience Laboratory, Ohio State University for his section on *Self-impedance, Radar Cross Section and Mutual Impedance of Short Dipoles by the Method of Moments*.

Prof. Warren Perger, Michigan Technological University for class testing the new manuscript.

Dr. Spencer Webb, AntennaSys, Inc. for assistance on patch and other antennas.

Prof. Jonathan Young, ElectroScience Laboratory, Ohio State University, for assistance on *Ultra Wide Band Antennas for Digital Applications*.

Dr. Brian Baertlein, ElectroScience Laboratory, Ohio State University, for assistance on the *600 THz Antenna*.

Dr. Steven Ellingson, ElectroScience Laboratory, Ohio State University for assistance on the *Argus Array*.

Prof. Richard McFarland, School of Avionics, Ohio University, for assistance on *Instrument Landing System Antennas*.

Dr. Fred J. Dietrich, FD Engineering and Globalstar, for assistance on *Low Earth Orbit Satellite Antennas*.

Dr. Edward E. Altshuler, Air Force Research Laboratory, for assistance on *Genetic Algorithm Antennas*.

Prof. Christopher Walker, Dept. of Astronomy, University of Arizona for sections on *Terahertz Antennas*.

Dr. Eric Walton, ElectroScience Laboratory, Ohio State University for assistance on *Instrument Landing System Antennas*.

Dr. Richard Mallozzi, General Electric Research Laboratory, Schenectady, N.Y., for assistance on many topics.

Drs. James C. Logan and John W. Rockway, EM Scientific, for contributing computer programs available on the book's web site.

感谢本书评阅者对手稿的有益建议,他们是 McGraw-Hill 的项目组:主编 Catherine Fields, 执行主编 Emily Lupash 和项目经理 Marilyn Rothenberger。

感谢 Jerry Ehman 博士和 Erich Pacht 博士认真的编辑加工。作者们还要分别感谢他们各自的妻子 Alice Kraus 和 Deborah Marhefka 以耐心和关爱所给予的支持。

John Kraus & Ronald Marhefka

附言 1: 虽经极其仔细的审校,书中谬误在所难免,笔者竭诚欢迎指正。可给 Ronald Marhefka 发电子邮件至 marhefka.1@osu.edu。

附言 2: 据统计,本书(英文原版)超出 900 页,其中包含 1200 多幅图、130 个例题、75 个表格、300 多道习题、近 900 篇参考文献以及一套多于 2200 词条的索引可供快速接入主题。

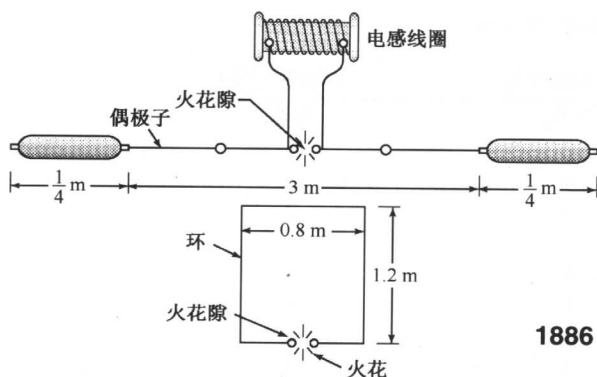
建议的课程设置

每节课平均 8 页

第一学期	1/2年的学期	1/4年的学期
章次	节数	节数
1	1	1
2	5	5
3	2	2
4	2	2
5(上)	4	4
测验	1	1
6	4	2
7	3	3
8(上)	4	3
9	4	3
10	4	2
测验	1	
11	2	1
12	3	1
测验		1
15	2	合计 30
21	2	
测验	1	
	合计 45	

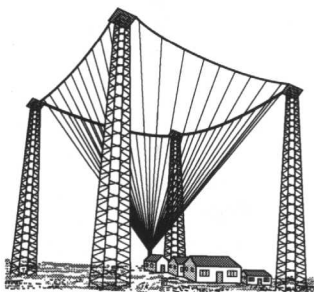
第二学期	1/2年的学期	1/4年的学期
章次	节数	节数
5(下)	4	3
8(下)	2	1
9	2	1
13	3	2
14	4	3
测验	1	1
15	3	2
16	5	4
17	2	1
18	2	1
19	2	1
20	1	1
测验	1	
21	5	4
22	1	1/2
23	1	1/2
24	5	3
测验	1	1
	合计 45	合计 30

从赫兹天线到手持天线的一个世纪



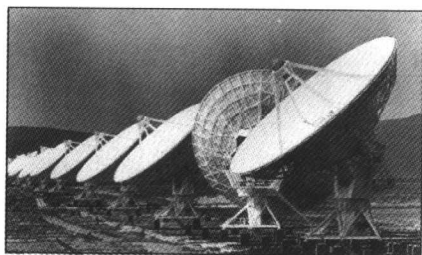
1886

海因里希·赫兹 (Heinrich Hertz) 的终端加载偶极子发射天线和半波谐振环接收天线工作于 8 m 波长。在德国卡尔斯鲁厄的赫兹实验室中,电感线圈在偶极子的间隙中所产生的火花,导致相距数米远的环隙中也产生了火花。这就是首个无线电链路,也是最早的用于无线电的偶极子天线和环天线。



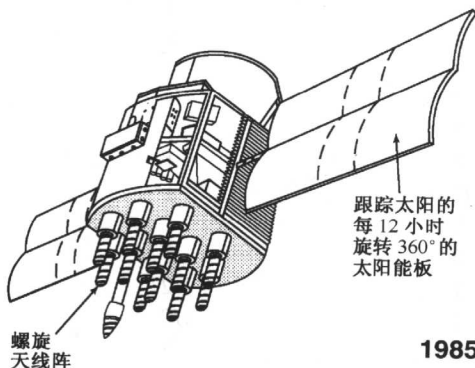
1905

古利莫·马可尼 (Guglielmo Marconi) 在英格兰波尔多架设的方锥天线,发射波长为 1000 m 的信号。



1980

工作在厘米波长的甚大阵 (VLA) 由 27 个直径各为 25 m 的可转向抛物面碟形天线组成,用于观测数亿光年以远的射电源。该阵列位于新墨西哥州索科罗附近的 (美国) 国立射电天文台 (National Radio Astronomy Observatory)。



1985

20000 km 的中高度地球轨道上 24 颗全球定位卫星 (GPS, Global Position Satellite) 之一所装载的螺旋天线阵。工作在 20 cm 波长,为地面或空中的客户提供所处位置 (经纬度和高度) 的信息,其精确度优于 1 m。



到处可见的带有半波天线的手持移动电话,工作在 30 cm 波长,可与任何人通话。

2000

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail：dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

教学支持说明

McGraw-Hill Education, 麦格劳-希尔教育出版公司, 美国著名图书出版与教育服务机构, 以出版经典、高质量的理工科、经济管理、计算机、生命科学以及人文社科类高校教材享誉全球, 更以丰富的网络化、数字化教学辅助资源深受高校教师的欢迎。

为了更好地服务于中国教育发展, 提升教学质量, 2003年麦格劳-希尔教师服务中心在北京成立。在您确认将本书作为指定教材后, 请您填好以下表格并经系主任签字盖章后寄回, 麦格劳-希尔教师服务中心将免费向您提供相应教学课件或网络化课程管理资源。如果您需要订购或参阅本书的英文原版, 我们也会竭诚为您服务。

证 明

兹证明_____大学_____系/院_____专业_____学年(学期)
开设的_____课程, 共_____学时, 现采用电子工业出版社出版的英文原版/简体
中文版_____ (书名/作者) 作为主要教材。
任课教师为_____, 学生_____个班共_____人。

任课教师需要与本书配套的教师指导手册和习题解答

电 话: _____

传 真: _____

E-mail: _____

联系地址: _____

邮 编: _____

建议和要求:

系 / 院主任: _____ (签字)

(系 / 院办公室章)

_____年_____月_____日

请与我们联系

Publishing House of Electronics Industry

电子工业出版社: www.phei.com.cn

www.hxedu.com.cn

北京市万寿路173信箱外版教材事业部

联系电话: 010-88254555

传 真: 010-88254560

E-mail: Te_service@phei.com.cn

麦格劳-希尔教育出版公司教师服务中心

北京市海淀区-清华科技园 创业大厦 907室

北京 100084

传真: 010-62790292

教师服务热线: 800-810-1936

教师服务信箱: instructor_cn@mcgraw-hill.com

网址: <http://www.mcgraw-hill.com.cn>

目 录

第 1 章 引论	1
1.1 引言	1
1.2 量纲和单位	2
1.3 基本单位和派生单位	2
1.4 如何阅读符号和记号	3
1.5 公式和习题的编号	5
1.6 量纲分析	5
1.7 电磁频谱与无线电频段	6
参考文献	7
第 2 章 天线基础	8
2.1 引言	8
2.2 基本天线参量	8
2.3 波瓣图	10
2.4 波束范围或波束立体角 Ω_A	14
2.5 辐射强度	16
2.6 波束效率	16
2.7 定向性 D 和增益 G	17
2.8 定向性与分辨率	20
2.9 天线口径	21
2.10 有效高度	23
2.11 无线电通信线路	27
2.12 振荡偶极子产生的场	29
2.13 天线的场区	30
2.14 形状 - 阻抗的讨论	31
2.15 线极化、椭圆极化和圆极化	33
2.16 椭圆和圆极化波的坡印廷矢量	36
2.17 极化椭圆和庞加莱球	37
参考文献	41
习题	41
第 3 章 天线家族	44
3.1 引言	44
3.2 环形、偶极子和缝隙天线	44
3.3 张开的同轴线天线	46
3.4 张开的双导线天线	46

3.5 张开的波导天线(口径类)	47
3.6 平板反射器天线	48
3.7 抛物面和介质透镜天线	49
3.8 端射天线	50
3.9 宽频带天线:圆锥螺蛳和对数周期	50
3.10 贴片天线、贴片阵列和栅格阵列	52
参考文献	54
习题	54
第4章 点源	55
4.1 引言:点源的定义	55
4.2 功率波瓣图	56
4.3 功率定理及其应用于个别各向同性源	57
4.4 辐射强度	57
4.5 功率波瓣图举例	58
4.6 场波瓣图	62
4.7 相位波瓣图	66
习题	67
第5章(上) 点源阵^①	69
5.1 引言	69
5.2 两个各向同性点源的阵	69
5.3 非各向同性的相似点源和波瓣图乘法原理	75
5.4 用图乘法综合波瓣图举例	78
5.5 非各向同性的非相似点源	81
5.6 n 个各向同性点源的等幅等间距直线阵	83
5.7 n 个各向同性点源的等幅等间距阵的零方向	89
习题	92
第5章(下) 点源阵	97
5.8 非均匀幅度分布的直线边射阵的一般性讨论	97
5.9 非均匀幅度分布的直线阵与道尔夫-切比雪夫最优分布	99
5.10 道尔夫-切比雪夫分布的八源阵举例	105
5.11 八源阵幅度分布的比较	107
5.12 连续阵	108
5.13 惠更斯原理	111
5.14 惠更斯原理应用于平面波投射到平板的绕射与物理光学	113
5.15 矩形面积的边射阵	116
5.16 缺源阵和随机阵	118

① 本书章节编号与原英文版保持一致。

5.17 边射 – 端射阵与环圈 – 偶极子的三维阵	119
5.18 n 个各向同性点源的等幅等间距阵的最(极)大方向	123
参考文献	125
习题	126
第 6 章 电偶极子和细直天线	128
6.1 短电偶极子	128
6.2 短电偶极子的场	129
6.3 短电偶极子的辐射电阻	136
6.4 细直天线	138
6.5 半波天线的辐射电阻	141
6.6 非电流最大点的辐射电阻	142
6.7 两个半波偶极子:边射和端射	143
6.8 载有均匀行波的细直天线的场	146
参考文献	151
习题	151
第 7 章 环天线	154
7.1 电小环	154
7.2 小环与短偶极子的远场比较	155
7.3 环天线的一般情况	156
7.4 载有均匀电流的圆环天线的远场波瓣图	158
7.5 作为特例的电小环	160
7.6 环的辐射电阻	161
7.7 载有均匀电流的圆环天线的定向性	163
7.8 环的公式列表	166
7.9 方环	166
7.10 辐射效率、品质因数、频带宽度和信噪比	167
参考文献	172
习题	172
第 8 章(上) 端射天线:螺旋聚束天线和八木 – 宇田天线	173
8.1 螺旋聚束天线的故事	173
8.2 螺旋的几何表示	178
8.3 单绕轴向模螺旋天线的实际设计考虑	180
8.4 用环取代接地平面的螺旋聚束天线	189
8.5 含有寄生单元的偶极子阵	190
8.6 八木 – 宇田阵的故事	193
习题	195
第 8 章(下) 螺旋天线:轴向模和其他模	196
8.7 引言	196
8.8 轴向模波瓣图和波沿单绕螺旋的传播相速	196