

国外电子与通信教材系列

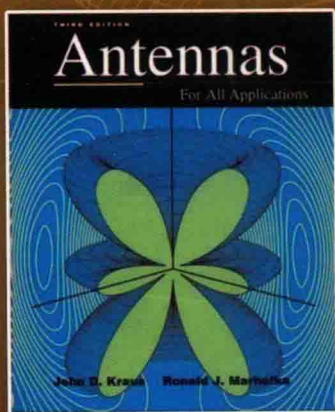
约翰·克劳斯

Mc  
Graw  
Hill  
Education

# 天线

## (第三版)(下册)

Antennas: For All Applications  
Third Edition



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

国外电子与通信教材系列

# 天 线

( 第三版 ) ( 下册 )

Antennas : For All Applications  
Third Edition

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

章文勋 译

電 子 工 業 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。为了适应国内教学的需要,翻译版根据各章内容深浅层次的不同,分为上、下两册出版。上册为前12章,介绍了天线的各种基础知识。下册为后12章,详细展开了这些内容。上、下册的内容分别针对本科教学和研究生教学进行组织。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学期的课程,还是更深入的进一步学习,本书都能够提供切实的帮助。

本书可作为高等院校相关专业的本科生和研究生的教学用书,也可作为工程技术人员的参考用书。

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

ISBN 978-0-07-232103-6

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 published by McGraw-Hill Education(Asia) Co. and Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2018.

本书中文简体字翻译版由美国麦格劳-希尔教育出版(亚洲)公司授予电子工业出版社。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.下册/(美)约翰·D.克劳斯(John D. Kraus),(美)罗纳德·J.马赫夫克(Ronald J. Marhefka)著;章文勋译.一北京:电子工业出版社,2018.1

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

国外电子与通信教材系列

ISBN 978-7-121-33366-8

I. ①天… II. ①约… ②罗… ③章… III. ①天线-高等学校-教材 IV. ①TN82

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第325734号

策划编辑:马 岚

责任编辑:马 岚

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:23.25 字数:595千字

版 次:2018年1月第1版(原著第3版)

印 次:2018年1月第1次印刷

定 价:69.00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 zlt@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。

## 序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速,可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定的作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处,特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授  
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

## 出版说明

进入 21 世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入 WTO 后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在 2000 年至 2001 年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了 40 余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

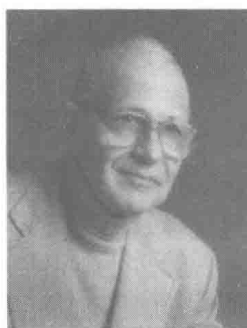
此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、南京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学、中山大学、哈尔滨工业大学、西南交通大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

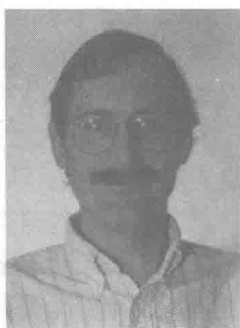
今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

## 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。

经历了上世纪六七十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 Radiowave 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<sup>①</sup>介绍有关符号和记号的知识,并附列了一些有用的图表<sup>②</sup>。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细直天线及其阵列。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.mhhe.com/kraus](http://www.mhhe.com/kraus),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*.

① 全书中提及第1章至第12章的相关内容,均指《天线(第三版)(上册)》中的内容。——编者注

② 由于版权问题,本书在编辑过程中已删除了一些照片图。——编者注



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切入主题。

凡重要的、涉及正文的公式,从各节首起连续编号。当参引另一节的公式时,应完整地引用其章、节和公式编号。例如,式(2.8.4)代表所参引的是第 2 章第 8 节的式(4)。参引同一章节中的公式时,只需简单地引用式号。注意,章名和书名被分别作为页眉印刷在单页和双页的顶部。

集中在各章末尾的习题按对应正文所在的节编号,如编号为 1.5.2 的是与 1.5 节主题有关的第 2 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

## 上册简目

- 第 1 章 引论
- 第 2 章 天线基础
- 第 3 章 天线家族
- 第 4 章 点源
- 第 5 章(上) 点源阵
- 第 5 章(下) 点源阵
- 第 6 章 电偶极子和细直天线
- 第 7 章 环天线
- 第 8 章(上) 端射天线:螺旋聚束天线和八木-宇田天线
- 第 8 章(下) 螺旋天线:轴向模和其他模
- 第 9 章 缝隙天线、贴片天线和喇叭天线
- 第 10 章 平板和夹角反射器、抛物面反射镜天线
- 第 11 章 宽频带和非频变天线
- 第 12 章 天线温度、遥感和雷达截面

# 目 录

第 13 章 阻抗与互阻抗 .....	1
13.1 引言 .....	1
13.2 天线的互易性定理 .....	1
13.3 半波长天线的 $73 \Omega$ 辐射电阻 .....	3
13.4 非电流最大点的辐射电阻 .....	5
13.5 细线天线的自阻抗 .....	6
13.6 两平行线天线的互阻抗 .....	8
13.7 边靠边平行天线的互阻抗 .....	9
13.8 平行共线天线的互阻抗 .....	12
13.9 梯式平行天线的互阻抗 .....	12
13.10 其他布置天线的互阻抗 .....	13
13.11 用定向性和辐射电阻表示的互阻抗 .....	14
参考文献 .....	15
习题 .....	16
第 14 章 柱形天线和矩量法 .....	17
14.1 引言 .....	17
14.2 积分方程法概述 .....	17
14.3 电流分布 .....	19
14.4 输入阻抗 .....	20
14.5 圆柱天线的波瓣图 .....	24
14.6 细圆柱天线 .....	25
14.7 带有圆锥形输入段的圆柱天线 .....	26
14.8 其他形状的天线,类球体天线 .....	26
14.9 长圆柱天线上的电流分布 .....	26
14.10 静电学的积分方程和矩量法 .....	29
14.11 矩量法及其应用于导线天线 .....	32
14.12 用矩量法求短偶极子的自阻抗、雷达截面和互阻抗 .....	37
参考文献 .....	44
习题 .....	45
第 15 章 口径分布与远场波瓣图之间的傅里叶变换关系 .....	46
15.1 连续口径分布 .....	46
15.2 远场波瓣图与口径分布之间的傅里叶变换关系 .....	47
15.3 空间频率响应和波瓣图平滑处理 .....	50
15.4 简单(加法)干涉仪 .....	51

15.5	口径合成和多口径阵 .....	59
15.6	栅瓣 .....	59
15.7	二维口径合成 .....	60
15.8	“干净”图形的相位闭合或自校准 .....	62
	参考文献 .....	63
	习题 .....	64
<b>第 16 章</b>	<b>偶极子阵和口径阵 .....</b>	<b>66</b>
16.1	引言 .....	66
16.2	两根受激 $\lambda/2$ 单元的边射阵 .....	66
16.3	两根受激 $\lambda/2$ 单元的端射阵 .....	73
16.4	两根受激 $\lambda/2$ 单元的等幅任意相位阵 .....	76
16.5	密距单元的辐射效率和 $Q$ 值, W8JK 阵 .....	78
16.6	$n$ 根受激单元阵 .....	82
16.7	地平面上的水平天线 .....	83
16.8	地平面上的铅垂天线 .....	91
16.9	八木-宇田天线的变种 .....	93
16.10	相控阵 .....	94
16.11	频率扫描阵 .....	97
16.12	返回式阵和范阿塔阵 .....	100
16.13	自适应阵和智能阵 .....	100
16.14	微带阵 .....	102
16.15	低旁瓣阵 .....	102
16.16	长导线天线 .....	102
16.17	帘幕形阵 .....	106
16.18	天线的馈电位置和方式 .....	106
16.19	折合偶极子天线 .....	107
16.20	折合偶极子的变种 .....	109
16.21	百眼巨人型全空监视天线 .....	109
	参考文献 .....	111
	自适应阵的补充参考资料 .....	112
	习题 .....	113
<b>第 17 章</b>	<b>透镜天线 .....</b>	<b>116</b>
17.1	引言 .....	116
17.2	非金属介质透镜天线, 费马原理(射径等同性) .....	117
17.3	人造介质透镜天线 .....	121
17.4	$E$ -面金属板透镜天线 .....	123
17.5	透镜天线的容差 .....	127
17.6	$H$ -面金属板透镜天线 .....	128

17.7	反射器-透镜天线 .....	129
17.8	介质杆 .....	130
17.9	多螺旋透镜 .....	131
17.10	龙伯透镜和爱因斯坦透镜 .....	132
	参考文献 .....	133
	习题 .....	134
<b>第 18 章</b>	<b>频率选择表面和周期结构 .....</b>	<b>135</b>
18.1	引言:频率选择表面的定义 .....	135
18.2	半波长厚的介质天线罩 .....	136
18.3	开缝的金属天线罩 .....	137
18.4	简单的混合天线罩 .....	138
18.5	理想的隐形天线罩 .....	139
18.6	简单周期性导线表面的传输和反射特性 .....	140
18.7	互补表面与巴比涅原理 .....	142
18.8	斜入射角 .....	142
18.9	单元的形状及其演化 .....	142
18.10	控制入射角和极化的频带宽度 .....	145
18.11	其他应用 .....	147
	参考文献 .....	150
	习题 .....	151
<b>第 19 章</b>	<b>实用大型口径天线的设计考虑 .....</b>	<b>152</b>
19.1	口径分布与口径效率 .....	152
19.2	表面不规则性和增益损失 .....	161
19.3	抛物面反射镜的偏轴工作 .....	164
19.4	卡塞格伦馈电、赋形反射镜、球面反射镜和偏馈 .....	165
19.5	低旁瓣的考虑 .....	168
	参考文献 .....	170
	深入阅读的补充参考资料 .....	170
	习题 .....	172
<b>第 20 章</b>	<b>大型或独特的天线实例 .....</b>	<b>173</b>
	参考文献 .....	178
<b>第 21 章</b>	<b>特殊用途的天线 .....</b>	<b>179</b>
21.1	引言 .....	179
21.2	电小天线 .....	179
21.3	物理上的小天线 .....	182
21.4	天线架设和典型(非理想)地面的影响 .....	183
21.5	带接地面的天线 .....	187
21.6	套筒天线 .....	188



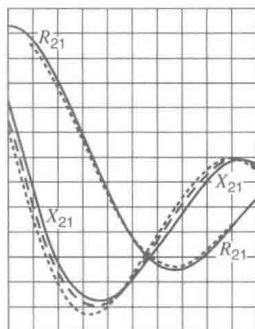
21.7	旋转场天线	189
21.8	超旋转场天线	190
21.9	其他全向天线	191
21.10	圆极化天线	192
21.11	高增益全向天线	193
21.12	埋地天线	193
21.13	表面波和漏波天线	197
21.14	设计卫星通信天线的考虑	202
21.15	用做接收和用做发射的考虑	205
21.16	频带的考虑	207
21.17	建筑上可接受的天线	207
21.18	用于仪表着陆系统(ILS)的天线	209
21.19	糖铲形天线和3K宇宙背景的故事	212
21.20	用于近地轨道(LEO)卫星线路的天线	215
21.21	检测小行星的天线	222
21.22	泄漏传输线用做天线	224
21.23	艺术性天线(分形)	224
21.24	蜂窝-塔树	225
21.25	用于陆上移动通信系统的天线	227
21.26	探地雷达(GPR)的天线:脉冲的频带宽度	232
21.27	植入式天线	234
21.28	数字式应用的特宽频带天线	234
21.29	等离子态天线	237
	参考文献	237
	习题	240
<b>第22章</b>	<b>太赫频率的天线</b>	<b>243</b>
22.1	引言	243
22.2a	带偶极子的棱锥喇叭腔	244
22.2b	夹角反射器阵	244
22.2c	领结形偶极子	245
22.3	一种600 THz的天线	245
22.4	介质透镜的平面天线结构	246
22.5	太赫频率的波导结构	246
	参考文献	247
<b>第23章</b>	<b>平衡-非平衡转换器等</b>	<b>248</b>
23.1	引言	248
23.2	I型,II型,III型和扼流式巴仑	248
23.3	频带宽度	250

23.4a 套筒-偶极子式巴仑 .....	252
23.4b 变种结构 .....	252
23.5 支杆式巴仑 .....	253
23.6 印刷巴仑 .....	254
23.7 半波长旁路式巴仑 .....	255
23.8 平衡变换器 .....	257
23.9 截割式巴仑 .....	258
23.10 天然巴仑 .....	259
23.11 折合偶极子到 J 形匹配天线 .....	261
23.12 匹配短截线 .....	261
23.13 陷波器 .....	261
23.14 结论 .....	262
参考文献 .....	262
补充参考资料 .....	263
习题 .....	263
<b>第 24 章 天线测量</b> .....	<b>264</b>
24.1 引言 .....	264
24.2 基本概念 .....	265
24.3 天线测量的典型误差源 .....	270
24.4 测量场地 .....	272
24.5 不同天线参量的测量 .....	283
24.6 各种特殊测量 .....	295
参考文献 .....	302
习题 .....	304
<b>附录 A 参考表格</b> .....	<b>305</b>
<b>附录 B 参考书、录像带和文章</b> .....	<b>312</b>
<b>附录 C 计算机程序(代码)</b> .....	<b>319</b>
<b>附录 D 吸波材料</b> .....	<b>323</b>
<b>附录 E 测量误差</b> .....	<b>326</b>
<b>附录 F 带 * 号习题的答案(下册)</b> .....	<b>327</b>
<b>术语表</b> .....	<b>331</b>
<b>符号、词头和缩写词</b> .....	<b>352</b>
<b>常数和换算</b> .....	<b>354</b>
<b>在矩形、圆柱、圆球坐标系中的梯度、散度和旋度</b> .....	<b>355</b>
<b>后记</b> .....	<b>356</b>

# 第 13 章 阻抗与互阻抗

本章包含下列主题：

- 天线的互易性定理
- 半波长天线的  $73 \Omega$  辐射电阻
- 电流最大点偏离中心的天线辐射电阻
- 细线天线的自阻抗
- 两平行线天线的互阻抗
- 边靠边平行天线的互阻抗
- 平行共线天线的互阻抗
- 梯式平行天线的互阻抗
- 其他布置天线的互阻抗
- 用定向性和辐射电阻表示的互阻抗



## 13.1 引言

接于传输线的天线之阻抗可以表示成一个二端网络,如图 13.1 所示,天线用接于传输线末端的等效阻抗  $Z$  代替。在设计发射机及其附配的传输线时,将天线简单地当成二端阻抗很方便。这种作用于传输线末端的阻抗称为**馈端阻抗**或**激励点阻抗**。对于无耗<sup>①</sup>且孤立的天线,即远离地面和其他物体的天线,其终端阻抗也就是该天线的**自阻抗**,具有称为**自电阻**(辐射电阻)的实部和称为**自电抗**的虚部。当天线用做接收时,其自阻抗与用做发射时的相同。

在天线邻近存在物体(如若干其他天线)的情况下,终端阻抗仍可以用一个二端网络来代替。然而,其等效阻抗的值不仅由该天线的自阻抗,而且由该天线与其他天线之间的互阻抗以及在上述天线上的电流所确定。该天线用于发射或接收,其终端阻抗仍相同(见 13.2 节)。

在关于天线阻抗概念的发展中,有一项重要且非常有用的定理,即**互易性定理**。为此,先讨论这个定理,再将它应用于阻抗问题。

## 13.2 天线的互易性定理

瑞利-亥姆霍兹的互易性定理已被卡森推广到含连续媒质的情况(Rayleigh-1; Carson-1, 2;

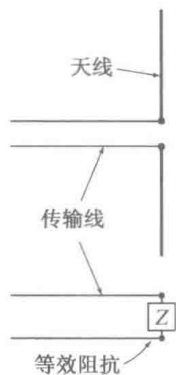


图 13.1 接有天线和接有等效阻抗的传输线

<sup>①</sup> 这里所说的无耗,意指天线不产生焦耳热,但它当然是有辐射的。若天线不是无耗的,则在其末端用一个等效的损耗电阻与自电阻(即辐射电阻)相串联。