



国防电子信息技术丛书

Antenna Theory and Techniques, Second Edition

# 天线理论与技术 (第2版)

钟顺时 (Shun Shi Zhong) 编著



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

# 天线理论与技术

(第2版)

Antenna Theory and Techniques  
Second Edition

钟顺时 (Shun-Shi Zhong) 编著

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

## 内 容 简 介

本书系统地阐述了天线的基本理论和基本分析方法,以及典型线天线、缝天线和面天线的原理与技术。全书共分10章:基本定理与基本辐射元、对称振子和天线电参数、天线阵的分析与综合、振子天线、行波线天线与超宽带天线、缝隙天线与微带天线、口径天线基础与喇叭天线、反射面天线及透镜天线、特殊功能天线,以及计算电磁学在天线中的应用。

本书力求便于读者对天线理论与技术的入门,既注重概念,又有充分的公式推导,由浅入深,图文并茂,便于自学。在内容上经典与新颖并蓄,广度与深度兼备。

本书可供大学电子通信与信息类专业本科生和硕士研究生作为天线课程的教材,也可供相关工程技术人员参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容  
版权所有·侵权必究

### 图书在版编目(CIP)数据

天线理论与技术/钟顺时编著. —2版. —北京:电子工业出版社,2015.1  
(国防电子信息技术丛书)

ISBN 978-7-121-25435-2

I. ①天… II. ①钟… III. ①天线—高等学校—教材 IV. ①TN82

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第012306号

策划编辑:马 岚

责任编辑:马 岚 特约编辑:马爱文

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

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:33.25 字数:1053千字

版 次:2011年8月第1版

2015年1月第2版

印 次:2015年1月第1次印刷

定 价:79.00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。

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

服务热线:(010)88258888。

# 前 言

随着人类跨入信息时代,形形色色的天线随处可见,天线理论与技术受到了广泛的关注与应用。在电子工业出版社的鼓励和支持下,笔者基于从事天线课程教学和科研的体会,学习国内外同类教材,进行了编写本书的努力。然而,由于水平和时间所限,本书与其目标可能差之甚远,而且错误和不妥之处在所难免,谨请读者诸君不吝批评指正!

本书的主要特色如下。

1. **系统性较强,由浅入深,推导充分,便于自学。**书中首先在第1章至第3章介绍天线的基础理论;然后依次研究三类主要天线形式:第4章和第5章的线天线,第6章的缝天线,第7章和第8章的面天线;作为扩展,第9章阐述特殊功能天线,第10章介绍天线的数值计算。

2. **兼收美苏教材之长,又有国人成果,启发创新。**全书以欧美教材的大量成果为基础。而对方向系数的定义、耦合振子的互阻抗、振子阵的方向系数等,都采用了前苏联教材的讲法,以便掌握;同时,对于对称振子的输入阻抗,既介绍了欧美的严格处理,又阐述了前苏联的简化算法。书中也融入了笔者与同事们的教学成果,例如天线阵方向性的形成,抛物面天线最佳张角的“矛盾论”分析,以及极化效率计算公式的推导等。而且,书中还编入了笔者与研究生及国内同行的一些科研成果,例如超宽带印刷单极天线、低旁瓣与双极化微带天线阵等。

3. **经典与新颖并蓄,广度与深度兼备。**书中安排了一些专为研究生学习的较广、较深的内容,有的用小五号字编排(加\*号表示)。有一些是国际最新科研成果,是国内外教材中首次引入的,例如三种超宽带天线阵和介质谐振器天线等;有些内容是同类教材中较少见的,例如分形天线、波纹喇叭馈源的分析与其相位中心的计算、球面波展开法和场相关法等。同时补充了几种天线的设计介绍。但是,受篇幅及水平所限,不少内容只进行了简要介绍。

4. **概念清晰,图文并茂。**本书从天线功能出发,突出天线的4项主要电性能:方向性、阻抗和极化,以及它们的带宽。以此为天线研究的主题,抓住共性,逐步深化。书中还有丰富的实例、照片、图表及习题。不少图是新绘的,特别是一些少见的三维图,如同相水平天线和菱形天线的三维方向图等。同时,为便于读者掌握,习题中增加了证明题,并对带 $\Delta$ 号的习题给出了参考答案。

本书适用于通信电子类专业大学高年级本科生和研究生40~80学时的教学,也可供有关工程技术人员参考。按40学时教学时,主要内容为:第1章至第3章的大部分内容,再加三类主要天线形式的介绍(参看XV页所列的课程安排表),例如折合振子和平衡器(巴仑)、同相水平天线、八木-宇田天线、螺旋天线、超宽带天线、微带贴片天线、口径天线结构特点与远区场、抛物面天线的远场特性、增益与设计,以及智能天线等。与这些内容相配套的电子教案(素材)及一些更广或更深入探讨的内容,包括一些动态演示(如对称振子方向图随臂长的变化等)和彩图等,可通过网站下载<sup>①</sup>。更多学时数的教学可根据各校的特色,在上述基础上增加相应的内容。

<sup>①</sup> 登录华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>),可注册下载本书相关资料。

本书的编写得到上海大学通信与信息工程学院领导与同事们热情支持和帮助。上海大学印刷中心负责打印了原稿；博士孙竹、张丽娜、汤小蓉、刘建军、杜成珠、孔令兵、陈敏华，以及薛玲珑和李丽娴硕士等共同描绘了原稿全部插图，其中新绘的立体图是孙竹完成的；张丽娜和陈旷达分别帮助翻译了8.7节和9.4节的英文原稿。下列博士(其中多位是教授、博士生导师)应邀分别撰写了使本书颇为增色的一节或两节内容(各节分别署名)，依次为：郭英杰、汪伟、姚凤薇、高式昌、尹应增、延晓荣、杨雪霞、余春、梁仙灵和倪维立等。谨向前述各位表示深深的谢意，向本书引用的参考文献的作者们致以敬意。同时向电子工业出版社参加本书出版工作的诸君表示衷心的感谢，并感谢妻子和儿女的支持！

本书第1版出版后，受到了广大读者的欢迎。不少同学反映，本书能使读者由浅入深和由点到面地，较系统深入地获得天线的知识；而且书中还收录了作者及同行们的一些最新科研成果，既反应了天线领域的发展动态，又能启发读者的创新意识。这次再版时，新加坡陈志宁、澳大利亚郭英杰、上海大学杨广立、上海交通大学梁仙灵和合肥汪伟等教授/研究员又分别撰写了独到的一节或进行了重要补充；同时，杨雪霞和沈文辉等同事指正了前版的一些印刷错误。谨向他们致以衷心的感谢，并感谢韩荣苍和刘静等博士研究生的协助！

钟顺时

2014年11月

## 作者简介



钟顺时, 1939年生, 浙江人。1960年西安军事电信工程学院(西安电子科技大学前身)雷达工程系毕业, 并留校任教。1980年至1982年为美国华盛顿大学和伊利诺伊大学(厄班那-香槟分校)访问学者, 后期任研究顾问。1988年引进到上海科学技术大学, 任通信工程系微波教研室主任。1993年由国务院学位委员会批准为博士生导师。1994年起任上海大学通信与信息工程学院教授, 博士生导师。中国电子学会(CIE)会士, CIE全国面天线专业委员会副主任委员, 国际电子电气工程师学会(IEEE)高级会员, IEEE南京联合分会副主席, 美国纽约科学院院士。

钟教授负责指导了我国授予的首批外籍博士。相继主持国家自然科学基金项目6项和国家863高技术发展计划课题2项。研制成我国第一部舰载三坐标雷达的波导缝隙阵天线和国际上第一副C波段卫星接收站平面天线等, 获国家科技进步奖和部省级科技进步奖7项, 中国发明专利授权9项。已在国内外学术期刊和会议上发表300余篇论文, 并编著《微带天线理论与应用》、《电磁场与波(第2版)》等书, 获部省级优秀教材奖2项。

钟教授1964年获军事电信工程学院优秀教师奖, 1998年获全国性宝钢优秀教师奖; 1991年起享受国务院政府特殊津贴。业绩入选《当代中国科学家传略》、《中国教育家》、美国马奎斯《世界名人录》

# 目 录

绪论 .....	1
<b>第 1 章 基本定理与基本辐射元 .....</b>	<b>8</b>
1.1 电磁场基本方程 .....	8
1.1.1 麦克斯韦方程组 .....	8
1.1.2 边界条件和唯一性定理 .....	9
1.1.3 坡印廷定理 .....	10
1.1.4 辐射问题中麦克斯韦方程组的求解 .....	10
1.2 电流元与短振子 .....	12
1.2.1 天线的基本分析方法 .....	12
1.2.2 电流元的定义与场 .....	13
1.2.3 远区场和方向图 .....	14
1.2.4 辐射功率和辐射电阻 .....	16
1.2.5 短振子与辐射效率 .....	17
1.3 对偶原理, 磁流元与小电流环 .....	19
1.3.1 广义麦克斯韦方程组与对偶原理 .....	19
1.3.2 磁流元 .....	21
1.3.3 小电流环 .....	22
1.4 镜像原理与等效原理, 惠更斯元 .....	25
1.4.1 镜像原理 .....	25
1.4.2 等效原理 .....	26
1.4.3 惠更斯元 .....	28
1.5 巴比涅原理, 理想缝隙天线 .....	30
* 1.5.1 巴比涅原理 .....	30
1.5.2 理想缝隙天线 .....	31
1.5.3 布克关系式 .....	33
1.6 相似原理与互易定理, 天线方向图的测试 .....	33
* 1.6.1 相似原理 .....	33
1.6.2 互易定理的一般形式 .....	34
1.6.3 收、发天线方向图的互易性, 方向图的测试 .....	35
习题 .....	36
<b>第 2 章 对称振子和天线电参数 .....</b>	<b>38</b>
2.1 对称振子 .....	38
2.1.1 对称振子的电流分布与远区场 .....	38
2.1.2 远区条件, 场区的划分 .....	40

2.1.3	对称振子的方向图和辐射电阻	42
2.2	天线的方向系数和增益	47
2.2.1	天线方向系数的定义与计算	47
2.2.2	对称振子的方向系数	50
2.2.3	天线增益	51
2.3	天线的输入阻抗与带宽	52
2.3.1	天线的输入阻抗与电压驻波比, 阻抗匹配效率	52
2.3.2	天线的带宽	53
*2.3.3	海伦积分方程法求对称振子的输入阻抗	54
2.3.4	等效传输线法求对称振子的输入阻抗	58
2.3.5	对称振子的谐振长度和阻抗带宽	61
2.4	天线的极化	63
2.4.1	极化概念	63
2.4.2	极化效率	66
*2.4.3	轴比的测量	67
2.5	天线有效面积与传输方程	69
2.5.1	天线有效面积	69
2.5.2	传输方程	71
*2.5.3	雷达散射截面和雷达方程	74
*2.6	天线的噪声温度	75
2.6.1	天线噪声温度的定义	75
2.6.2	天线噪声温度的计算与讨论	77
	习题	80
<b>第3章</b>	<b>天线阵的分析与综合</b>	<b>83</b>
3.1	二元振子阵	83
3.1.1	二元边射阵, 方向图乘积定理	83
3.1.2	二元端射阵, 相量图	84
3.1.3	导体平面上的对称振子	88
3.2	耦合振子的互阻抗	94
3.2.1	感应电动势法	94
3.2.2	互阻抗的计算	96
3.2.3	振子阵的阻抗和方向系数	100
3.3	$N$ 元等幅线阵	103
3.3.1	边射阵	105
3.3.2	普通端射阵	109
3.3.3	汉森-伍德亚德端射阵	112
3.3.4	$N$ 元等幅线阵的方向系数	116
3.3.5	扫描阵	121
3.4	$N$ 元非等幅线阵	125
3.4.1	二项式阵	125



3.4.2	不同振幅分布线阵的比较	127
3.4.3	道尔夫-切比雪夫阵的综合	129
3.4.4	$N$ 元非等幅线阵的方向系数	136
3.5	$N$ 元线阵和线源的综合	137
3.5.1	傅里叶变换法	137
3.5.2	谢昆诺夫多项式法	140
3.5.3	泰勒线源的综合	142
*3.5.4	最大方向系数线阵的综合	147
*3.5.5	超方向性天线	150
*3.6	稀疏线阵	151
3.6.1	不等距线阵	151
3.6.2	缺元阵	153
*3.7	圆环阵	153
3.7.1	$N$ 元圆环阵的方向函数	153
3.7.2	$N$ 元圆环阵的方向系数	156
	习题	157
<b>第4章</b>	<b>振子天线</b>	161
4.1	对称振子天线与平衡器	161
*4.1.1	$\pi$ 形天线和笼形天线	161
4.1.2	折合振子	164
*4.1.3	高斯曲线振子	165
4.1.4	平衡器(巴仑)	167
4.2	同相水平天线	171
4.2.1	结构与远区场	171
4.2.2	方向图及讨论	174
4.2.3	方向系数	178
4.3	八木-宇田天线	179
4.3.1	概述	179
4.3.2	感应电动势法分析	180
4.3.3	特性与设计	181
*4.3.4	背射天线	185
4.4	单极天线	186
4.4.1	无限大与有限尺寸地面上的单极天线	186
*4.4.2	顶加载直立天线	188
4.4.3	单锥天线和盘锥天线	191
4.4.4	套筒单极天线	193
4.4.5	印刷单极天线	195
4.5	同相直立天线阵	196
4.5.1	几种同相直立天线阵	196
*4.5.2	COCO 天线	198

* 4.6	无线通信手机天线 .....	201
4.6.1	手机天线的发展历程与设计要求 .....	201
4.6.2	几种典型的手机天线 .....	202
	习题 .....	205
<b>第 5 章</b>	<b>行波线天线与超宽带天线</b> .....	<b>207</b>
5.1	行波长导线天线 .....	207
5.1.1	行波长导线天线的远区场和方向图 .....	207
5.1.2	行波长导线天线的辐射电阻和方向系数 .....	209
* 5.2	菱形天线 .....	210
5.2.1	菱形天线的结构与工作原理 .....	210
5.2.2	远区场与方向图 .....	211
5.2.3	辐射电阻, 辐射效率和方向系数 .....	214
5.3	螺旋天线 .....	215
5.3.1	螺旋天线的发明与结构 .....	215
5.3.2	法向模螺旋天线, 手机天线的工程设计考虑 .....	216
5.3.3	轴向模螺旋天线 .....	219
5.4	超宽带天线 .....	223
5.4.1	非频变天线原理 .....	223
5.4.2	等角螺线天线与阿基米德螺线天线 .....	224
5.4.3	对数周期天线 .....	228
5.4.4	新型超宽带平面天线 .....	231
* 5.5	三种超宽带天线阵 .....	236
5.5.1	电流片天线阵 .....	237
5.5.2	维瓦尔迪天线阵 .....	238
5.5.3	散片天线阵 .....	240
* 5.6	分形天线 .....	241
5.6.1	分形天线概述 .....	241
5.6.2	几种典型的分形天线 .....	241
	习题 .....	243
<b>第 6 章</b>	<b>缝隙天线和微带天线</b> .....	<b>245</b>
6.1	平面缝隙天线 .....	245
6.1.1	无限大导体平面上的缝隙天线 .....	245
6.1.2	有限尺寸导体平面上的缝隙天线 .....	246
* 6.1.3	高增益宽频带印刷缝隙天线 .....	248
6.2	波导缝隙天线阵 .....	249
6.2.1	矩形波导馈电的缝隙 .....	250
6.2.2	波导缝隙线阵 .....	256
* 6.2.3	波导缝隙面阵 .....	262
6.3	微带贴片天线 .....	264
6.3.1	微带天线的分类、优缺点和分析方法 .....	264

6.3.2	矩形贴片天线的传输线模型 .....	267
6.3.3	矩形贴片天线的空腔模型 .....	271
* 6.3.4	矩形贴片天线的全波分析 .....	289
6.3.5	不同形状贴片的比较 .....	292
6.4	微带天线元技术与阵列 .....	293
6.4.1	宽频带技术 .....	293
6.4.2	圆极化技术 .....	299
6.4.3	微带天线阵举例 .....	307
6.5	介质谐振器天线 .....	314
6.5.1	介质谐振器天线概述 .....	314
6.5.2	介质谐振器天线举例 .....	316
	习题 .....	319
<b>第7章</b>	<b>口径天线基础与喇叭天线</b> .....	<b>322</b>
* 7.1	口径天线的外场计算 .....	322
7.1.1	天线基本问题与解法 .....	322
7.1.2	由封闭面上场求外场 .....	323
7.1.3	远场公式及辐射条件 .....	326
7.2	口径天线结构特点与远区场 .....	327
7.2.1	口径天线的结构特点 .....	327
7.2.2	平面口径的远区场 .....	328
7.2.3	平面口径的方向系数 .....	332
7.3	矩形同相口径 .....	333
7.3.1	均匀分布矩形口径 .....	333
7.3.2	余弦分布矩形口径 .....	335
* 7.3.3	傅里叶变换关系 .....	336
7.4	圆形同相口径 .....	340
7.4.1	均匀分布圆形口径 .....	340
7.4.2	渐降分布圆形口径 .....	342
* 7.4.3	兰姆达变换关系 .....	343
7.5	非同相口径 .....	346
7.5.1	线性相位分布 .....	346
7.5.2	平方律相位分布 .....	348
7.5.3	立方律相位分布 .....	350
7.6	角锥喇叭天线 .....	351
7.6.1	角锥喇叭的口径场 .....	352
7.6.2	角锥喇叭的远区场和方向图 .....	354
7.6.3	角锥喇叭的增益 .....	356
7.6.4	最佳增益角锥喇叭的设计 .....	360
* 7.7	高效率圆锥喇叭馈源 .....	362
7.7.1	双模喇叭及多模喇叭 .....	363

7.7.2	波纹喇叭 .....	366
7.7.3	喇叭馈源的相位中心 .....	373
习题	.....	375
<b>第8章</b>	<b>反射面天线及透镜天线 .....</b>	<b>378</b>
8.1	引言 .....	378
8.2	抛物面天线的远场特性 .....	380
8.2.1	抛物面几何关系和几何光学特性 .....	380
8.2.2	口径场法分析 .....	382
8.2.3	交叉极化分量 .....	387
8.2.4	电流分布法分析 .....	389
*8.2.5	球面波展开法分析 .....	392
8.3	抛物面天线的增益与设计 .....	397
8.3.1	抛物面天线的增益 .....	397
8.3.2	实际因素对方向性的影响 .....	401
8.3.3	抛物面天线的电设计 .....	407
8.4	卡塞格仑天线 .....	411
8.4.1	卡塞格仑天线的工作原理与几何参数 .....	411
8.4.2	等效馈源法与等效抛物面法 .....	414
*8.4.3	电流分布法分析 .....	417
*8.4.4	场相关法分析 .....	422
8.5	其他形式反射面天线 .....	425
8.5.1	引言 .....	425
8.5.2	偏置抛物面天线 .....	425
8.5.3	赋形卡塞格仑天线 .....	431
*8.5.4	抛物环面天线 .....	432
8.6	透镜天线 .....	435
8.6.1	引言 .....	435
8.6.2	介质透镜天线 .....	436
8.6.3	金属透镜天线 .....	437
8.6.4	变折射率透镜天线 .....	439
*8.7	反射阵天线 .....	439
8.7.1	反射阵天线概述 .....	439
8.7.2	反射阵天线设计 .....	440
习题	.....	442
<b>*第9章</b>	<b>特殊功能天线 .....</b>	<b>446</b>
9.1	单脉冲天线 .....	446
9.1.1	单脉冲天线的工作原理 .....	446
9.1.2	4喇叭单脉冲天线的性能计算 .....	447
9.1.3	和差矛盾与最佳馈源概念 .....	450
9.1.4	单脉冲天线的实用馈源 .....	451

9.2	合成孔径雷达天线 .....	451
9.2.1	合成孔径雷达的发展与基本原理 .....	451
9.2.2	合成孔径雷达天线技术 .....	452
9.2.3	合成孔径雷达天线的未来展望 .....	455
9.3	相控阵天线 .....	456
9.3.1	相控阵天线类型(见本书配套网站) .....	457
9.3.2	相控阵天线的馈电方式(见本书配套网站) .....	457
9.3.3	相控阵的扫描方向图与旁瓣的控制 .....	457
9.3.4	相控阵的宽带和宽角匹配(见本书配套网站) .....	459
9.3.5	相控阵的幅相误差与校正 .....	459
9.4	极化捷变天线 .....	460
9.4.1	极化捷变天线的基本原理 .....	460
9.4.2	极化捷变天线单元 .....	461
9.4.3	极化捷变天线阵列 .....	461
9.4.4	多功能极化捷变天线与展望 .....	462
9.5	智能天线 .....	463
9.5.1	智能天线的定义与优点 .....	463
9.5.2	智能天线的基本原理与算法 .....	465
9.5.3	多人多出技术简介 .....	467
9.6	可重构天线 .....	468
9.6.1	概述与组成原理 .....	468
9.6.2	辐射结构与典型设计 .....	468
9.6.3	可重构天线阵列的设计(见本书配套网站) .....	470
9.6.4	开关选择原则与测试系统(见本书配套网站) .....	470
9.7	超材料天线 .....	471
9.7.1	引言 .....	471
9.7.2	超材料天线 .....	472
<b>*</b>	<b>第10章 计算电磁学在天线中的应用 .....</b>	<b>475</b>
10.1	矩量法 .....	475
10.1.1	矩量法的基本原理与求解过程 .....	475
10.1.2	常用基函数和权函数 .....	476
10.1.3	应用举例(见本书配套网站) .....	476
10.1.4	矩量法的误差与发展 .....	476
10.2	混合体-面积分方程法 .....	477
10.2.1	体-面积分方程法概述 .....	477
10.2.2	数值例子(见本书配套网站) .....	479
10.3	有限元法 .....	479
10.3.1	有限元法概述 .....	479
10.3.2	有限元法解题步骤(见本书配套网站) .....	480
10.4	时域有限差分法 .....	480

10.4.1	时域有限差分法的基本原理 .....	480
10.4.2	FDTD 法的应用(见本书配套网站) .....	486
10.5	几何绕射理论和物理绕射理论 .....	486
10.5.1	几何光学与物理光学(见本书配套网站) .....	486
10.5.2	几何绕射理论 .....	486
10.5.3	物理绕射理论 .....	488
10.5.4	应用举例(见本书配套网站) .....	489
10.6	天线数值计算的商用软件 .....	489
10.6.1	基于矩量法的天线仿真软件 .....	489
10.6.2	基于有限元法的天线仿真软件 .....	490
10.6.3	基于时域有限差分法(FDTD)的天线仿真软件 .....	491
10.6.4	基于时域有限积分法(FIT)的天线仿真软件 .....	491
附录 A	矢量分析公式 .....	492
附录 B	贝塞尔函数公式 .....	495
附录 C	两份开卷试题 .....	500
附录 D	带 $\Delta$ 号习题的答案 .....	504
参考文献	.....	506

# BRIEF CONTENTS

<b>Introduction</b> .....	1
<b>Chapter 1 Fundamental Principles and Basic Radiation Elements</b> .....	8
1.1 Fundamental Equations of Electromagnetic Fields .....	8
1.2 Electric Current Element and Short Dipole .....	12
1.3 Duality Principle, Magnetic Current Element and Small Electric Current Loop .....	19
1.4 Image Theorem, Field Equivalence Principle and Huygens Element .....	25
1.5 Babinet's Principle, Ideal Slot Antenna .....	30
1.6 Similarity Principle, Reciprocity Theorem, and Radiation Pattern Measurement .....	33
Problems .....	36
<b>Chapter 2 Dipoles and Fundamental Antenna Parameters</b> .....	38
2.1 Dipoles .....	38
2.2 Directivity and Gain .....	47
2.3 Input Impedance and Bandwidth .....	52
2.4 Antenna Polarization .....	63
2.5 Effective Area and Transmission Equation .....	69
* 2.6 Antenna Noise Temperature .....	75
Problems .....	80
<b>Chapter 3 Antenna Array Analysis and Synthesis</b> .....	83
3.1 Two Dipole Arrays .....	83
3.2 Mutual Impedance of Coupled Dipole .....	94
3.3 $N$ -Element Equal-Amplitude Linear Arrays .....	103
3.4 $N$ -Element Unequal-Amplitude Linear Arrays .....	125
3.5 Synthesis Methods for $N$ -Element Linear Arrays and Line Sources .....	137
* 3.6 Thinned Linear Arrays .....	151
* 3.7 Circular Arrays .....	153
Problems .....	157
<b>Chapter 4 Dipole Antennas</b> .....	161
4.1 Dipole Antennas and Baluns .....	161
4.2 Co-Phase Horizontal Arrays .....	171
4.3 Yagi-Uda Antenna .....	179
4.4 Monopole Antennas .....	186
4.5 Co-Phase Vertical Arrays .....	196
* 4.6 Mobile Phone Antennas for Wireless Communications .....	201
Problems .....	205

<b>Chapter 5</b>	<b>Traveling-Wave Wire Antennas and Super-Wideband Antennas</b>	207
5.1	Traveling-Wave Long-Wire Antennas	207
* 5.2	Rhombus Antennas	210
5.3	Helical Antennas	215
5.4	Super-Wideband Antennas	223
* 5.5	Three Ultra-Wideband Arrays	236
* 5.6	Fractal Antennas	241
	Problems	243
<b>Chapter 6</b>	<b>Slot and Microstrip Antennas</b>	245
6.1	Planar Slot Antennas	245
6.2	Waveguide Slot Arrays	249
6.3	Microstrip Patch Antennas	264
6.4	Microstrip Antenna Element Techniques and Arrays	293
6.5	Dielectric Resonator Antennas	314
	Problems	319
<b>Chapter 7</b>	<b>Aperture Antenna Fundamentals and Horn Antennas</b>	322
7.1	External Field Calculation of Aperture Antennas	322
7.2	Structural Features and Far-Fields of Aperture Antennas	327
7.3	Uniform-Phase Rectangular Apertures	333
7.4	Uniform-Phase Circular Apertures	340
7.5	Nonuniform Apertures	346
7.6	Pyramidal Horn Antennas	351
* 7.7	High-Efficiency Conical Horn Feeds	362
	Problems	375
<b>Chapter 8</b>	<b>Reflectors and Lens Antennas</b>	378
8.1	Introduction	378
8.2	Far-Field Characteristics of Parabolic Antennas	380
8.3	Gain Calculations and Designs for Parabolic Antennas	397
8.4	Cassegrain Antennas	411
8.5	Other Reflector Antennas	425
8.6	Lens Antennas	435
* 8.7	Reflectarray Antennas	439
	Problems	442
* <b>Chapter 9</b>	<b>Particular Functional Antennas</b>	446
9.1	One-Pulse Antennas	446
9.2	Synthetic Aperture Radar Antennas	451
9.3	Phased Array Antennas	456
9.4	Polarization-Agile Antennas	460
9.5	Smart Antennas	463



9.6	Reconfigurable Antennas .....	468
9.7	Metamaterials Antennas .....	471
<b>*</b>	<b>Chapter 10 Computational Electromagnetics Applied to Antennas .....</b>	<b>475</b>
10.1	Moment Method .....	475
10.2	Hybrid Volume-Surface Integral Equation (VSIE) Approach .....	477
10.3	Finite Element Method .....	479
10.4	Finite-Difference Time-Domain Method .....	480
10.5	Geometrical Theory of Diffraction and Physical Theory of Diffraction .....	486
10.6	Commercial Software for Numerical Computations of Antennas .....	489
<b>Appendix A</b>	<b>Vector Analysis .....</b>	<b>492</b>
<b>Appendix B</b>	<b>Bessel Functions .....</b>	<b>495</b>
<b>Appendix C</b>	<b>Two Papers for Open Examination .....</b>	<b>500</b>
<b>Appendix D</b>	<b>Answers of Problems with Symbol <math>\Delta</math> .....</b>	<b>504</b>
<b>References</b>	<b>.....</b>	<b>506</b>

表 0-1 课程安排表(40 学时)

2 学时课次	本书章次	教学内容	习题
1	绪论,第 1 章	天线功能与分析方法,电流元的辐射,方向图和辐射电阻	1.2-1,1.2-2,1.2-4
2	第 1 章(续 1)	短振子和辐射效率,对偶原理与小环天线的辐射	1.2-8,1.3-6
3	第 1 章(续 2)	等效原理与惠更斯元,理想缝隙天线,互易定理	1.4-1,1.5-2
4	第 2 章	对称振子,天线的方向系数和增益,输入阻抗与带宽	2.1-4,2.2-3,2.3-3
5	第 2 章(续)	天线极化,天线有效面积与传输方程	2.4-3
6	第 3 章	二元振子阵,耦合振子的互阻抗	3.1-1,3.2-1,3.2-3
7	第 3 章(续 1)	N 元等幅线阵(边射阵,普通端射阵)	3.3-1,3.3-3
8	第 3 章(续 2)	N 元等幅线阵(HW 端射阵,扫描阵)	3.3-6,3.3-9
9	第 3 章(续 3)	N 元等幅线阵(二项式阵,不同分布阵比较)	3.4-1
10	第 3 章(续 4)	N 元非等幅线阵(道尔夫-切比雪夫阵的综合,N 元线阵的方向系数)	3.4-2
11	第 4 章	折合振子与平衡器,同相水平天线(结构,铅垂直方向图)	4.1-6
12	第 4 章(续)	同相水平天线(水平面方向图,方向系数),八木-宇田天线	4.2-1,4.3-2
13	第 5 章	螺旋天线	5.3-2,5.3-6
14	第 5 章(续)	超宽带天线	5.4-2
15	第 6 章	微带贴片天线(引言,传输线模型)	6.3-1,6.3-2
16	第 6 章(续 1)	微带贴片天线(空腔模型)	6.3-5,6.3-11
17	第 6 章(续 2)	微带天线元技术(宽频带技术,圆极化技术)	6.4-1,6.4-3
18	第 7 章	口径天线的结构特点与远区场,矩形同相口径	7.1-2
19	第 8 章	抛物面天线的远场特性,抛物面天线的增益与设计	8.2-3,8.3-1
20	第 8 章(续)	抛物面天线的增益与设计(续)	8.3-7