



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

DIANBO YU TIANXIAN

电波 与 天线

[第2版]

刘培国 毛钧杰/ 编著

国防科技大学出版社

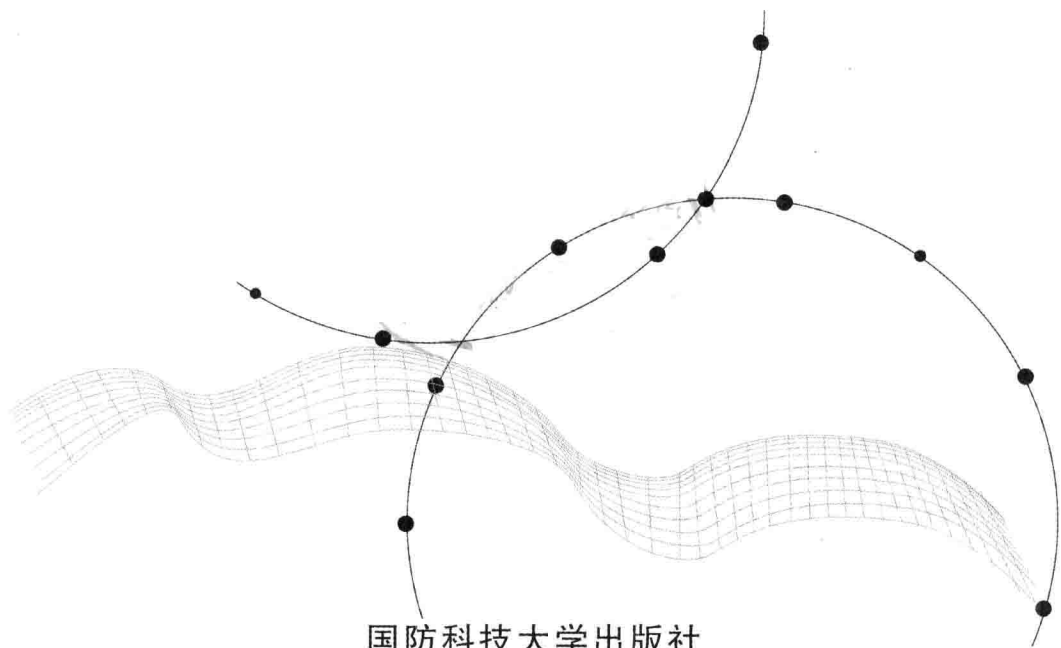


普通高等教育“十一五”国家级规划教材

电波 与 天线

[第2版]

刘培国 毛钧杰/ 编著



国防科技大学出版社

内 容 提 要

本书力求突出电波与天线的基本原理、基本分析方法和应用。主要内容包括电波传播的基础知识,电波传播的主要方式,天线辐射和接收的基本原理,线天线与面天线的基本分析方法,典型天线的基本特性等。全书共分为十章,第一章介绍电波传播的基础知识,第二、三、四章分别介绍地波传播、天波传播和视距传播,第五章至第八章依次分析基本辐射原理和基本辐射元、对称振子、天线电参数和接收天线、阵列天线、面天线,第九章分析多种典型天线的特点,第十章介绍移动通信、卫星通信中的电波传播和天线技术。

本书可以作为高等院校信息与通信工程、电子科学与技术两个一级学科中各专业的本科教材,也可以作为电气、电子工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电波与天线/刘培国,毛钧杰编著. —2版. —长沙:国防科技大学出版社, 2009.10

ISBN 978-7-81099-616-7

I. 电… II. ①刘… ②毛… III. ①电波传播—高等学校—教材 ②天线—高等学校—教材 IV. TN011 TN82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 188753 号

国防科技大学出版社出版发行

电话:(0731)84572640 邮政编码:410073

<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:张 静 责任校对:王 嘉

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本:787×960 1/16 印张:21.75 字数:402千

2004年10月第1版 2009年10月第2版第1次印刷 印数:1-1000册

ISBN 978-7-81099-616-7

定价:39.00元

再版前言

原书是按照教育部使高等学校本科信息类专业口径更加宽广的要求而编写的。2004年出版以来,信息与通信工程、电子科学与技术专业以及信息与信号处理、机电控制等专业采用了该书作为教材,认为该书基础原理、基本分析方法突出,面向应用,反映良好。2007年该书入选了普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

这次再版保持原书系统性较强、内容比较全面的特点,并根据教学需要,对部分内容进行了补充,主要包括三个方面:

原书中电波部分内容相对简洁,占全书的篇幅比例偏低。新版书中适当增加了电波内容。将原第二章中的三节:地波传播、天波传播、视距传播,作了较大的补充,分别扩充为一章,即本书的第二、三、四章。

对原书天线部分修订了部分细节,增加天线平衡馈电一节内容,修订了合成孔径天线、智能天线、超宽带天线技术三节。

适当增加了习题,特别是电波部分的习题。力求通过习题反映各章的主要内容和关键知识点,并进一步深化教材内容,引导学生了解电波与天线的实际应用问题。

作者

2009年10月于国防科技大学

前 言

根据教育部新编制的本科专业目录,许多高等学校都将原有的本科专业进行了调整与合并,并相应调整了培养方案和课程设置,使专业口径面更加宽广。据此,我们在多年本科教学实践的基础上,深入研究了信息与通信工程、电子科学与技术这两个一级学科中本科各专业的内涵,编写了《电波与天线》一书,作为信息与通信工程、电子科学与技术这两个一级学科中各专业的本科生教材。各专业可根据自身的特点对教材中的内容作适当取舍,教学时数以40~60学时为宜。

本书的主要内容是电波传播的基础知识和电波传播的方式,天线辐射和接收的基本原理,线天线和面天线的基本分析方法,典型常用天线的工作原理和基本特性。针对移动通信、卫星通信的电波传播和天线新技术的发展,本书还增加了移动通信、卫星通信中的电波传播和天线新技术的内容。在编写过程中作者力求突出基本原理、基本分析方法和应用。

全书共分八章。第一章电波传播的基础知识,介绍了自由空间的电波传播、媒质对电波传播的影响、粗糙表面的散射等问题。第二章电波传播的方式,研究了地波传播、天波传播和视距传播这三种主要的电波传播方式。第三章基本辐射原理和基本辐射元,介绍了由天线上的电流、电荷求空间电磁场分布的矢量位法和叠加原理,重点研究了基本电振子、基本磁振子和基本组合振子的辐射,同时也介绍了对分析天线辐射有用的对偶性原理、镜像原理和等效原理。

第四章对称振子、天线电参数与接收天线，用矢量位法和叠加原理重点分析了对称振子天线的辐射，并由此出发介绍了天线的电参数和接收天线。第五章阵列天线分析，重点分析了二元阵、均匀直线阵和方向图相乘定理，介绍了电扫天线、频扫天线和连续元直线阵。第六章面天线分析，研究了惠更斯元和惠更斯原理，以此为基础研究了口径场绕射公式，从口径场绕射公式出发，讨论了矩形口径和圆形口径的辐射，讨论了口径场相位分布对平面口径辐射的影响。第七章典型天线分析，介绍了工程上用得较多的振子天线、引向天线、背射天线、等角螺旋天线、对数周期天线、微带天线、喇叭天线、旋转抛物面天线、卡塞格伦天线、单脉冲天线和合成孔径天线的结构、工作原理及应用。第八章为选修内容，主要介绍了移动通信、卫星通信中的电波传播以及天线新技术，包括陆地移动通信和卫星通信中的电波传播、移动通信中的智能天线、超宽带天线技术。

本书各章均由刘培国执笔，毛钧杰统编全稿。在编写过程中，刘克成、宋学诚教授和刘继斌讲师对本书的编写给予了大力支持和帮助，唐朝京教授和电磁场与微波技术教研室的各位老师也对本书的编写给予了支持和鼓励，在此对所有支持、帮助本书编写工作的同志们表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限，书中难免存在缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

作者

2004年8月于国防科技大学

Contents

第一章 电波传播的基础知识

1.1 概 述	3
1.1.1 电磁波谱	3
1.1.2 电波传播方式	4
1.1.3 无线电信道及其传播效应	6
1.2 自由空间电波传播	8
1.3 媒质对电波传播的影响	9
1.3.1 传输损耗	10
1.3.2 衰落	11
1.3.3 传输失真	12
1.3.4 电波的折射、反射与绕射现象	13
1.4 粗糙表面的散射与瞬态电磁波传播	14
1.4.1 粗糙表面的散射	14
1.4.2 瞬态电磁波特性及传播	16
1.5 干扰与噪声	19
1.5.1 电磁噪声的分类及表述方法	19
1.5.2 无线电背景噪声特性	22

第二章 地波传播

2.1 地球表面的电特性	27
2.1.1 地球的电特性	27
2.1.2 地面等效电特性	29
2.1.3 近似边界条件与表面阻抗	29

Contents 目录

2.2 地波传播特性	30
2.2.1 地波场结构	30
2.2.2 地波衰减	31
2.2.3 地波绕射场	33
2.2.4 地波传播特性	33
2.3 地波场强计算	34
2.3.1 光滑、均匀媒质地波场强计算	34
2.3.2 不光滑、不均匀媒质地波场强计算	38
2.4 地下分层与丛林环境对地波传播的影响	39
2.4.1 地下分层特性对地波传播的影响	39
2.4.2 丛林环境的传播路径损耗	39
2.5 向地下或海水的渗透传播	44
2.5.1 平静的海(地)面情况下水(地)下传播损耗和相延	44
2.5.2 海浪起伏引起的水下 VLF 传播相位和误差因子的脉动	45
2.5.3 无线电波在地下传播	46
2.6 以地波方式传播的各波段电波的应用	48
2.6.1 长波、超长波、极长波应用	48
2.6.2 中波应用	49
第三章 天波传播	
3.1 电离层	53
3.1.1 电离层的结构特点	53
3.1.2 电离层的变化	56
3.1.3 电离层的介电性质	58
3.2 短波天波传播	59
3.2.1 天波传播路径	59
3.2.2 天波传播模式	62
3.3 最高和最低可用频率	66
3.3.1 最高可用频率	66
3.3.2 最低可用频率	67

Contents 目录

3.4 天波传输特性	67
3.4.1 传输损耗	67
3.4.2 衰落	69
3.4.3 多径时延	70
3.4.4 静区及跃距现象	72
3.4.5 回波现象	73
3.4.6 电离层暴对短波天波传播的影响	74
3.5 短波传播的基本特点	74
第四章 视距传播	
4.1 自由空间电波传播的费涅耳区	79
4.1.1 费涅耳区和传播主区	80
4.1.2 收信点场强与各费涅耳区能量的关系	82
4.2 地面对电波传播的影响	84
4.2.1 对流层折射与无线电视距	84
4.2.2 直射波和地面反射波干涉	85
4.2.3 传播主区与障碍余隙	87
4.2.4 地面反射系数的计算	89
4.3 低空大气层对电波传播的影响	92
4.3.1 大气对电波的作用	93
4.3.2 降雨影响	96
4.3.3 云、雾引起的衰减	100
4.3.4 大气噪声	101
第五章 基本辐射原理和基本辐射元	
5.1 天线及天线方向图	105
5.1.1 天线的作用	105
5.1.2 天线的方向性	106
5.1.3 天线的分类	108
5.1.4 天线的分析方法	108

Contents 目录

5.2 矢量位法和叠加原理	109
5.2.1 矢量位法	109
5.2.2 叠加原理	112
5.3 基本电振子	113
5.3.1 基本电振子的空间场	113
5.3.2 基本电振子的远区辐射场特性	115
5.3.3 其他放置形式的基本电振子的远区辐射场	117
5.4 对偶性原理与基本磁振子	118
5.4.1 对偶性原理	118
5.4.2 基本磁振子的场解	120
5.4.3 基本磁振子的物理模型	120
5.5 基本振子的组合:单向辐射元和基本圆极化天线	122
5.5.1 单向辐射元	122
5.5.2 基本圆极化天线	123
5.6 镜像原理和等效原理	127
5.6.1 镜像原理	127
5.6.2 等效原理	128

第六章 对称振子、天线电参数与接收天线

6.1 对称振子的电流分布与辐射场	133
6.1.1 对称振子的电流分布	133
6.1.2 对称振子的辐射场	134
6.1.3 对称振子的方向图	135
6.1.4 对称振子的辐射电阻	138
6.2 天线电参数	140
6.2.1 有效长度	140
6.2.2 线天线辐射场的统一表达式	141
6.2.3 方向性系数	141
6.2.4 天线效率	143
6.2.5 增益	143

Contents 目录

6.2.6 天线的极化和带宽	144
6.3 平衡馈电	145
6.3.1 扼流式巴仑	146
6.3.2 U形管对称变换器	147
6.3.3 印刷巴仑	148
6.3.4 截割式巴仑	149
6.4 接收天线	149
6.4.1 接收天线的电参数	151
6.4.2 接收天线的噪声	153
6.5 弗里斯(Friis)传输公式	155
6.5.1 弗里斯传输公式	155
6.5.2 天线增益测量	156
6.5.3 雷达目标散射截面和雷达方程	158
第七章 阵列天线分析	
7.1 二元阵和方向图相乘定理	163
7.1.1 二元阵的辐射场	163
7.1.2 方向图相乘定理	165
7.1.3 地面对天线方向性的影响	166
7.1.4 有源反射器和引向器	168
7.2 均匀直线阵	169
7.2.1 均匀直线阵的辐射	169
7.2.2 侧射阵(垂射阵、边射阵)	172
7.2.3 端射阵(顶射阵)	173
7.2.4 斜射阵	174
7.2.5 可见区与非可见区,栅瓣及其抑制	175
7.3 电扫天线——相控阵和频率扫描阵	177
7.3.1 波束扫描的分类	177
7.3.2 相控阵天线	178

Contents 目录

7.3.3 频率扫描天线	184
7.4 连续元直线阵	185
7.5 超 阵	188
第八章 面天线分析	
8.1 惠更斯元和惠更斯原理	192
8.1.1 惠更斯元	192
8.1.2 惠更斯原理	193
8.2 口径场绕射公式与天线的场区划分	194
8.2.1 口径场绕射公式	194
8.2.2 天线的场区划分	196
8.3 面天线的方向性系数和有效面积	198
8.4 矩形口径辐射	201
8.4.1 矩形平面口径辐射场的一般讨论	201
8.4.2 矩形口径同相场的辐射	202
8.5 圆形口径辐射	204
8.6 相位分布对平面口径辐射的影响	206
8.6.1 线性相位偏移	207
8.6.2 平方律相位偏移	208
8.6.3 立方律相位偏移	211
8.7 平面口径辐射规律的综合讨论	212
8.7.1 典型口径辐射的一般规律	212
8.7.2 非对称幅度分布口径场的辐射特性	213
8.7.3 面天线与离散元天线阵的比较	214
第九章 典型天线分析	
9.1 振子天线	217
9.1.1 垂直接地振子	217
9.1.2 折合振子	220
9.2 引向天线与背射天线	221

Contents 目录

9.2.1 引向天线	221
9.2.2 背射天线	224
9.3 螺旋天线	226
9.3.1 圆柱螺旋天线	226
9.3.2 等角螺旋天线	230
9.4 对数周期天线	235
9.5 微带天线	239
9.5.1 微带天线的辐射机理	239
9.5.2 微带天线的分析方法	241
9.5.3 微带天线阵	243
9.6 喇叭天线	245
9.6.1 矩形角锥喇叭的口径场和方向性	246
9.6.2 最佳尺寸喇叭	247
9.6.3 其他形式的喇叭	250
9.7 旋转抛物面天线	251
9.7.1 旋转抛物面天线的口径场	251
9.7.2 旋转抛物面天线的方向性	253
9.7.3 抛物面天线的馈源	257
9.7.4 影响抛物面天线辐射的因素	258
9.7.5 抛物面反射场对馈源的影响	259
9.7.6 抛物面馈源偏焦	261
9.8 卡塞格伦天线	262
9.8.1 卡塞格伦天线的特点和几何参量	262
9.8.2 卡塞格伦天线的等效抛物面	264
9.8.3 口径遮挡	264
9.9 单脉冲天线	265
9.9.1 单脉冲天线的主要类型	266
9.9.2 单脉冲跟踪原理	267
9.9.3 单脉冲天线的电参数	269

Contents 目录

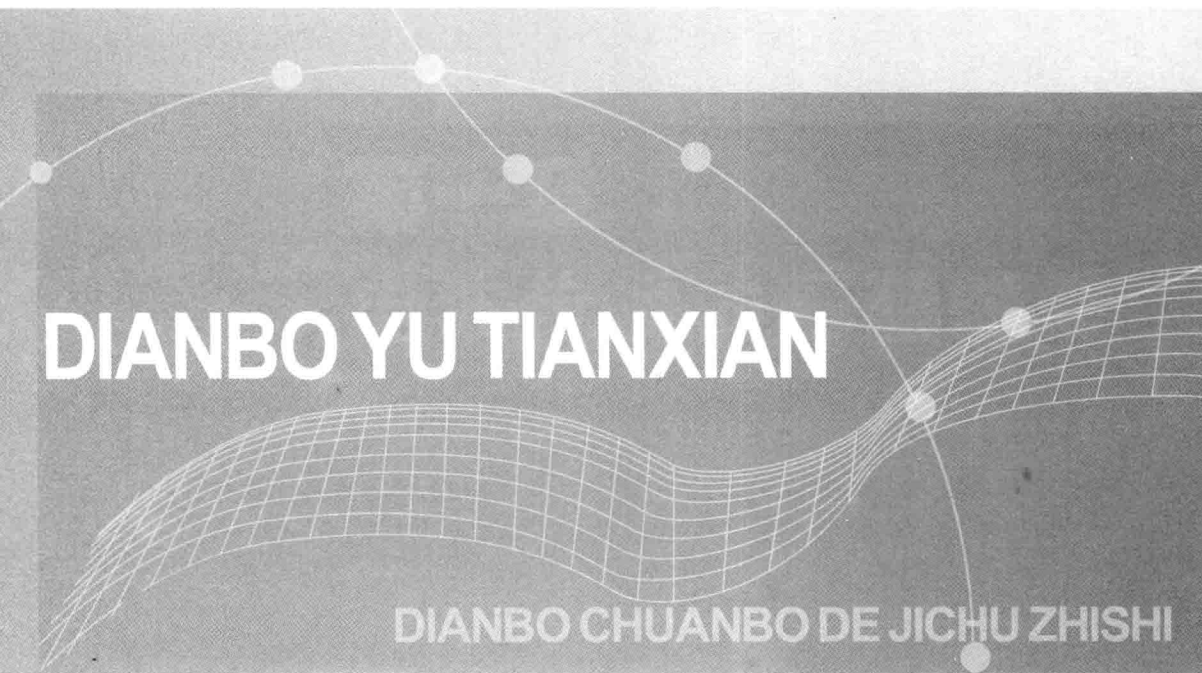
9.9.4 单脉冲天线的和差矛盾	271
9.10 合成孔径天线	272
9.10.1 不聚焦合成孔径天线	273
9.10.2 聚焦合成孔径天线	273
第十章 移动通信、卫星通信中的电波传播以及天线新技术	
10.1 陆地移动通信中的电波传播	277
10.1.1 陆地移动通信电波传播特点	277
10.1.2 幂定律传播机制	280
10.1.3 阴影遮挡	283
10.1.4 多径衰落	285
10.2 卫星通信中的电波传播	288
10.2.1 卫星链路中的路径损耗	288
10.2.2 降雨损耗	289
10.2.3 树木遮挡损耗	290
10.2.4 大气影响	291
10.2.5 电离层闪烁	292
10.2.6 法拉第旋转	293
10.2.7 多普勒频移	294
10.3 移动通信中的智能天线技术	295
10.3.1 智能天线优点和应用	296
10.3.2 智能天线技术	298
10.3.3 波束转换天线	299
10.3.4 自适应天线	302
10.3.5 宽带智能天线	305
10.4 超宽带天线技术	307
10.4.1 超宽带天线的技术要求	308
10.4.2 超宽带天线的性能描述	309
10.4.3 超宽带天线类型及特性	312

Contents 目录

10.4.4 超宽带平面 TEM 喇叭天线	314
习 题	318
电波传播部分	318
天线部分	321
参考文献	329

第一章

电波传播的**基础知识**



DIANBO YU TIANXIAN

DIANBO CHUANBO DE JICHU ZHISHI

