

●高等学校教学用书

●〔美〕C·A·巴拉尼斯 著

●于志远 关秉田 江贤祚 译 ●吕善伟 校

天线理论

——分析与设计

上册

电子工业出版社

高等学校教学用书

天线理论——分析与设计

上 册

〔美〕C·A·巴拉尼斯 著

于志远 关秉田 江贤祚 译

吕善伟 校

内 容 简 介

本书原文共十五章，译文分上下两册出版。上册包括前言和前八章，内容有：天线的类型、辐射机理概述、天线参数、辅助位与场的关系及辐射场的积分方程、线天线、环形天线及大地的影响、线阵、平面阵和圆环阵列、线天线的电流分布、自阻抗和互阻抗计算（矩量法MM），宽带振子和匹配技术。

书中有五章附了FORTRAN语言编制的计算机程序和子程序。总附录和较详细的数学公式、图表和曲线等。

本书可作为大专院校电气工程、无线电和物理专业高年级本科生和低年级研究生的天线课教材或参考书；也可供教师、工程师及无线电自学者和业余爱好者参考。

ANTENNA THEORY

Analysis and Design

CONSTANTINE A

BALANIS

Harper & Row 1982

天线理论——分析与设计

上 下 册

【美】C·A·巴拉尼斯 著

于志远 关秉田 江贤祚 译 吕善伟 校（上）

钟顺时 任凯湘 译 茅于宽 校（下）

责任编辑：梁祥丰

电子工业出版社出版（北京市万寿路）

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

山东电子工业印刷厂印刷

开本：850×1168 1/32 印张：27.375 字数：718千字

1988年6月第一版 1988年6月第一次印刷

印数：1—2000册 定价：5.60元（上、下册）

ISBN 7-5053-0080-6/TN·43

译 文 说 明

本书是根据美国Harper & Row出版社出版的电气工程丛书《天线理论——分析与设计》一书翻译的。该书很受欢迎，自1982年出版以来至1984年已第4次印刷。(译文是用该版校对的)。书中对天线的类型、辐射机理和简史，天线参数、辅助位与场的关系及辐射场的积分方程等基本内容作了系统而简明的介绍。按统一的方法阐述了常用天线的基本原理、分析和设计方法，包括：线振子，环形天线，阵列天线，宽带振子和匹配技术，行波、宽频带及频率无关天线(对数周期和螺旋等)，微带和缝隙天线，喇叭、反射面和透镜天线。此外，还介绍了口径天线理论基础，天线综合理论，天线特性参数的传统和现代测量方法等。书中不仅较好地处理了普通经典天线的理论和技术问题，还引入了现代天线的分析方法，矩量法(MM)和几何绕射理论(GTD)，并将这两种方法用于分析计算线振子(包括电流分布和自、互阻抗)、接地面的边缘效应等。

书中每章附有详细的参考文献，给出若干用FORTRAN语言编写的计算机程序、子程序和相当数量的例题，还选了240道习题。

在全书的总附录中，给出了所需的数学公式、图表和曲线，从而使具备普通高等数学和电磁场基础的读者能顺利地阅读全书，完成习题作业。

全书共十五章，中译本分上下两册出版。上册包括前言和第一至八章，江贤祚译第一、二、七章；关秉田译第三、四、五章；于志远译第六、八章；吕善伟译前言并校阅了第一至第八章；宋丽川教授指导了翻译工作。

下册包括第九至十五章及附录，钟顺时译第九至十四章及附录；任凯湘译第十五章；茅于宽教授校阅了下册并修改了前言译文。

在本书的翻译和出版过程中，得到了国防工业出版社耿新暖同志的大力支持，谨此致谢。

译 者

1985. 1

前 言

本书是为电气工程与物理专业的高年级大学生和一年级研究生而写的，也适用于工程技术人员。本书假设学生及读者已具备大学电磁理论基础知识，包括麦克斯韦方程和波动方程，物理入门知识及微积分学。为便于理解后面几章中一些高深课题，把其所需要的数学方法都分别编排在有关章节或附录中。

本书的主要目的是用统一的方法介绍天线理论的基本原理，并用之以分析、设计和测试天线。因为分析和设计天线的方法以及天线结构形式繁多，这里只能研究最基本、最常用的天线，如线振子；环天线；阵列；宽带振子；行波，宽频带及与频率无关的天线；口径和微带天线；喇叭、反射面和透镜天线。

书中还包括了矩量法(MM)和几何绕射理论(GTD)等分析方法的入门知识。这些技术以及天线理论的基本原理，可以用于分析和设计几乎任何结构形式的天线。天线测量一章，介绍了测量最基本的天线特性(方向性图、增益、方向性系数、辐射效率、阻抗、电流和极化等)的最新方法，并介绍了测试手段、天线测试场地的设计和缩尺模型的近日发展。

本书内容十分丰富，有些内容是首次编入大学本科教材，因此它不仅可作为教科书，而且也可作为制造设计工程师，甚至业余无线电爱好者的参考书。其内容包括：喇叭、八木宇田(Yagi-Uda)和对数周期阵列天线的设计程序；利用谢昆诺夫、傅立叶变换、伍德沃德(Woodward)、切比雪夫和泰勒等方法综合天线的技术；波纹喇叭和微带天线的辐射特性；以及诸如二项式、切比雪夫、T型、 Γ (gamma)型和 Ω (Omega)型的匹配技术。

本书有足够详细的数学推导过程，使中等水平的电气工程与物理专业大学本科能顺利而无太多困难地理解书中的分析和设计。某些详尽、严格、透彻的分析使读者可对许多课题追踪溯源。作为学生、工程师和教师的经验告诉我，这个课程的教科书不应该是彼此无联系的公式的集合，象“烹饪手册”一样。本书从最基本的内容出发，导出后续课题所需要的基础概念，然后逐步过渡到较高深的方法和系统结构。

本书一个显著的特点是有三维的图形说明。以往的天线教科书是用若干分离的二维方向图来描绘三维的辐射能量分布。由于数字计算机和图形显示技术的出现并取得飞速发展，书中采用了三维图形来描绘已知辐射器的辐射能量的分布，这在大学本科天线教科书中还是第一次。利用大多数计算中心均已具备的计算机的绘图能力所制成的这种图形，能清晰地展现出辐射能量在天线周围整个空间的分布。希望这种图示有助于加深对辐射的基本原理的理解，并一目了然地呈现全空间的方向图的图象。

此外，书中还给出大量的示意图、设计数据、参考文献和附加习题。许多原理都用例题、图解和物理论证来阐明。学生往往觉得他们能够理解原理，但在运用这些原理时便出现困难。而一道例题，尤其是一幅示意图，就能够更清楚地阐明原理。正如学生们所说的：“一图顶百句”。

本书通过示例强调使用数值计算技术和计算机解。若干FORTRAN计算机程序和子程序编入第二、四、五、七和第十一章的末尾。这些程序可用来进行复杂函数和/或公式的计算，用它们可以以数值积分的方法来解那些不能以显式积分的问题，并用图解的形式给出解答。各章后面的习题，可作为天线理论的基本原理对许多实际辐射器进行分析与设计的运用。

本书可作为两个学期的天线理论课的教材。前一部分适用于大学四年级，这一部分应包括第一至第十和第十五章的绝大部分。第六至第十章中较高深的课题可以删去，而不致损害教材的

连贯性。第十一至第十四章及其他各章里的选择部分作为研究生一年级的课程内容。在所规定的时间内学完书中全部内容是有困难的，虽然如此，但书中仍编入足够的课题，以期完整，并供教师灵活选择。教师可以加强或削弱或删除某些章节。

全书假定时间变量为 $e^{i\omega t}$ ，并略去不写。书中采用国际单位制，即扩展了的有理化MKS制，但长度单位有时用米(m)或厘米(cm)和呎(ft)或吋(in)。圆括号()里的数字为公式的编号，方括号[]标注参考文献的序号。所得到的最重要的公式用框线框起来，以示强调。针对各章末的习题另出有《习题解答》一书，可供指导教师参考。

我对俄亥俄州立大学的沃尔特博士(C·H·Walter)和亚利桑那州立大学的特艾斯博士(T·E·Tice)的建议和建设性批评表示衷心的感谢。这本书，特别是图形描绘和习题解答，要是没有我过去和现在的许多研究生的贡献是不可能的。在此对杰弗里(J·L·Jeffrey)、陈、(Yuk-Bun cheng)、荣(Yon K·Yoon)和拉德克利夫(R·D·Radcliff)表示由衷的谢意。我深切地感谢希孚莉夫人(Sheila Hively)、沃艾斯特克夫人(J·A·Wainstock)和帕克夫人(B·D·Pack)打印的高质量手稿。感激各大公司提供各种图表。对哈尔坡-萝出版公司(Harper & Row)职员在出版、发行这本书的过程中给予的具体帮助也表示感谢。最后，我还要对海伦(Helen)、丽妮(Renie)和斯蒂芬妮(Stephanie)，在我致力完成这本书的期间里，所给予的鼓励，表现出的忍耐、牺牲和谅解表示感谢。

C·A·巴拉尼斯
(Constantine A. Balanis)

目 录

前 言	(1)
第一章 天线	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 天线的类型	(1)
1.3 辐射机理	(7)
1.4 细导线天线的电流分布	(12)
1.5 天线发展简史	(16)
参考文献	(16)
第二章 天线的基本参数	(18)
2.1 引言	(18)
2.2 方向图	(18)
2.3 辐射功率密度	(26)
2.4 辐射强度	(29)
2.5 方向性系数	(30)
2.6 数字技术	(40)
2.7 增益	(46)
2.8 天线效率	(48)
2.9 半功率波束宽度	(49)
2.10 波束效率	(50)
2.11 带宽	(50)
2.12 极化	(52)
2.13 输入阻抗	(57)
2.14 天线辐射效率	(62)
2.15 有效口径	(63)
2.16 方向性系数与最大有效口径	(66)
2.17 费里斯传输方程和雷达测距方程	(69)

2.18 天线温度	(73)
参考文献	(76)
习题	(77)
计算机程序——极坐标方向图	(82)
计算机程序——直角坐标方向图	(84)
计算机程序——方向性系数	(87)
第三章 辐射积分和辅助位函数	(89)
3.1 引言	(89)
3.2 电流源 \mathbf{J} 的矢量位 \mathbf{A}	(90)
3.3 磁流源 \mathbf{M} 的矢量位 \mathbf{F}	(92)
3.4 电流源 \mathbf{J} 和磁流源 \mathbf{M} 的电场和磁场	(93)
3.5 非齐次矢量波动方程之解	(95)
3.6 远区辐射场	(99)
3.7 二重性(DUALITY)原理	(101)
3.8 互易定理和反作用(REACTION)定理	(102)
参考文献	(107)
习题	(107)
第四章 直导线天线	(109)
4.1 引言	(109)
4.2 无穷小偶极子	(109)
4.3 短振子(SMALL DIPOLE)	(119)
4.4 区域划分	(122)
4.5 有限长振子	(129)
4.6 半波振子	(141)
4.7 靠近或位于无穷大平面导体上方的直线元	(143)
4.8 大地的影响	(160)
参考文献	(171)
习题	(172)
计算机程序——直线振子、方向性系数、辐射电 阻和输入电阻	(175)
第五章 环形天线	(177)

5.1	引言	(177)
5.2	小圆环	(177)
5.3	均匀电流圆环	(190)
5.4	非均匀电流圆环	(198)
5.5	大地及地球曲率对圆环的影响	(202)
5.6	多角形环天线	(206)
5.7	铁氧体环天线	(211)
	参考文献	(213)
	习题	(215)
	计算机程序——圆环天线、方向性系数和辐射电阻	(217)
第六章	阵列：直线、平面和圆环阵	(221)
6.1	引言	(221)
6.2	两元阵列	(222)
6.3	N 元线阵：等辐和等间距	(230)
6.4	N 元线阵：方向性系数	(250)
6.5	N 元线阵：三维特性	(255)
6.6	直角坐标——极坐标图解	(260)
6.7	N 元线阵：等间距不等幅度	(263)
6.8	超方向性系数	(282)
6.9	平面阵	(286)
6.10	圆环阵	(301)
	参考文献	(306)
	习题	(308)
第七章	直线元、阵列的自阻抗和互阻抗，有限直径的影响(矩量法)	(312)
7.1	引言	(312)
7.2	阵子的近区场	(313)
7.3	阵子的输入阻抗	(319)
7.4	直线元之间的互阻抗	(326)
7.5	有限直径的线天线：矩量法	(334)
	参考文献	(348)

习题.....	(349)
计算机程序——有限直径阵子的电流分布、输入阻 抗和方向图	(350)
第八章 宽频带振子及匹配技术	(354)
8.1 引言	(354)
8.2 双锥天线.....	(355)
8.3 三角形薄片、蝴蝶结形及导线模拟	(363)
8.4 圆柱振子	(365)
8.5 折叠振子	(374)
8.6 盘锥天线和锥形套筒单极子	(380)
8.7 套筒振子	(382)
8.8 匹配技术	(384)
参考文献.....	(405)
习题.....	(407)

第一章 天 线

1.1 引 言

韦氏(Websters)词典将天线定义为“由普通金属制成的辐射或接收无线电波的装置(如杆或线)”。根据 IEEE 关于天线术语的标准定义(IEEE Std 145-1973)[⊖], 天线是“辐射或接收无线电波的工具”。换句话说, 天线是自由空间与导波装置之间的过渡设备, 如图1.1所示。导波装置(或传输线)的形式可以是同轴线或空心管(波导), 其作用是将电磁能量由发射源传输到天线或者由天线传输到接收设备。前一种情况所用的天线叫做发射天线, 后一种天线就叫接收天线。

除了接收或发射能量以外, 通常还要求天线能够优化或增强某些方向上的辐射能量, 并抑制其他方向的辐射能量。因而天线除了作为探测装置以外还应当作为定向装置。为满足这些具体需要, 必须采用各种不同形式的天线, 它们可以分别是一段导线、口径、辐射元的组合(阵列)、反射器和透镜等等。

1.2 天线的类型

为了大致了解在本书中将要遇到的各种类型天线的形式, 现在对各类天线作简单的介绍和讨论。

[⊖] IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vols. AP-17, No. 3, May 1969 and AP-22, No. 1, January 1974.

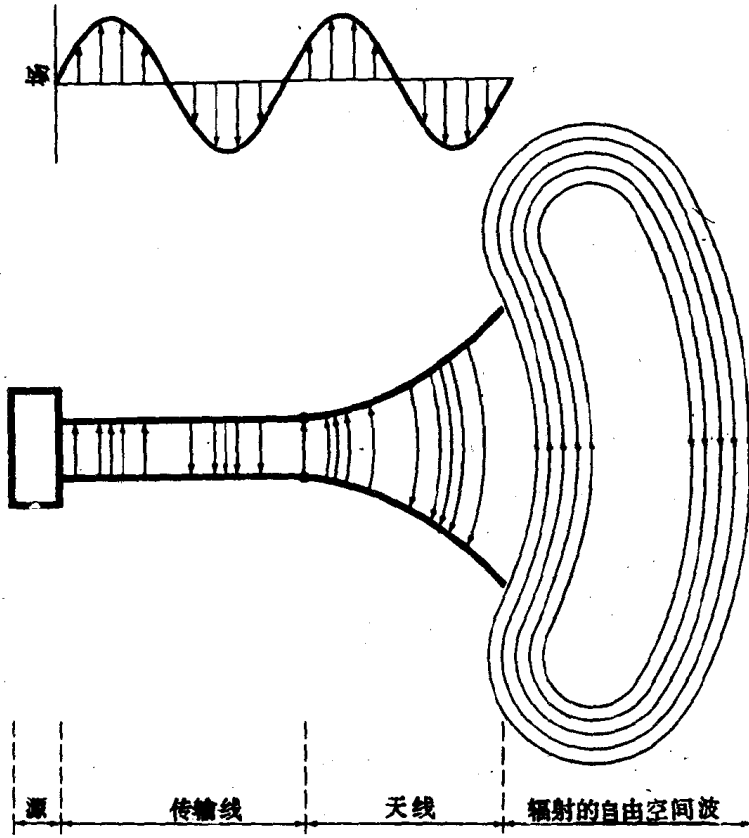


图1.1 作为过渡设备的天线

1.2.1 线天线

线天线对一般人来说是熟悉的，因为它们随处可见(如在汽车、建筑物、船舶、飞机、宇宙飞船上等等)。线天线有各种不同的形状，如图1.2所示的直导线(偶极子)，环形以及螺旋形。环形天线不仅可以是圆形的，也可以是矩形、方形、椭圆形或其

它任意形状的。圆环是最常用的，因为它的结构简单。

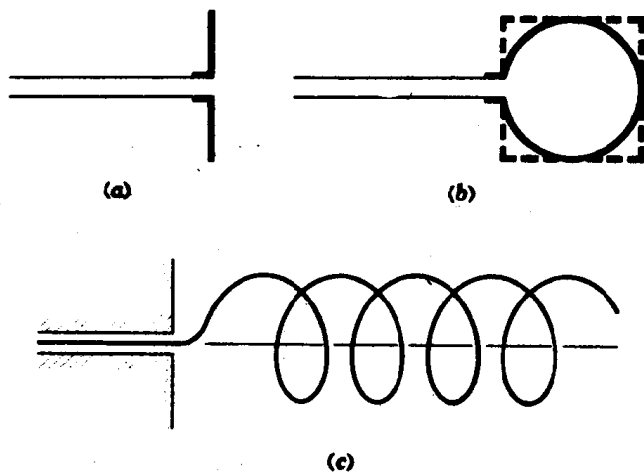


图1.2 线天线的形状
(a)偶极子; (b)圆(方)环; (c)螺旋形。

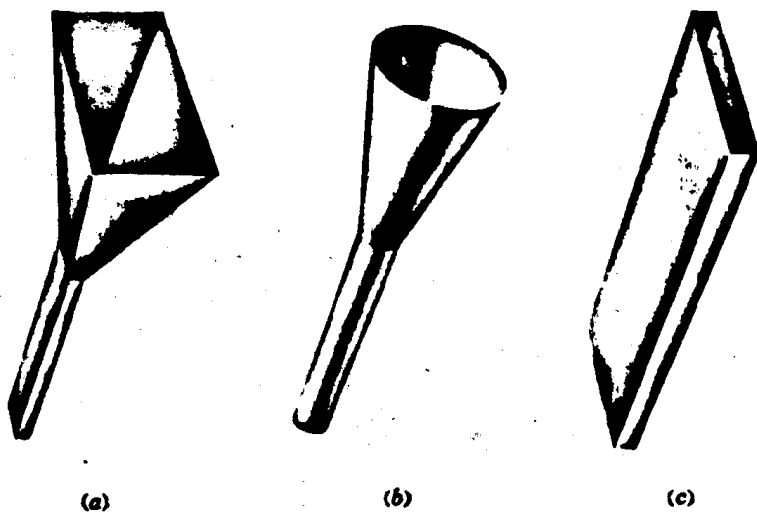


图1.3 口径天线的形状
(a)角锥喇叭; (b)圆锥喇叭; (c)矩形波导。

1.2.2 口径天线

由于对形式更优异和使用频率更高的天线需求的增加，现在一般人对口径天线也许比过去更熟悉了。某些结构形式的口径天线示于图 1.3。这种类型的天线对飞机和宇宙飞船是很有用的，因为它们可以很方便而平整地安装在飞机或飞船的壳体上。此外，还可覆盖上介质材料以保护天线免受外界恶劣条件的损坏。

1.2.3 阵列天线

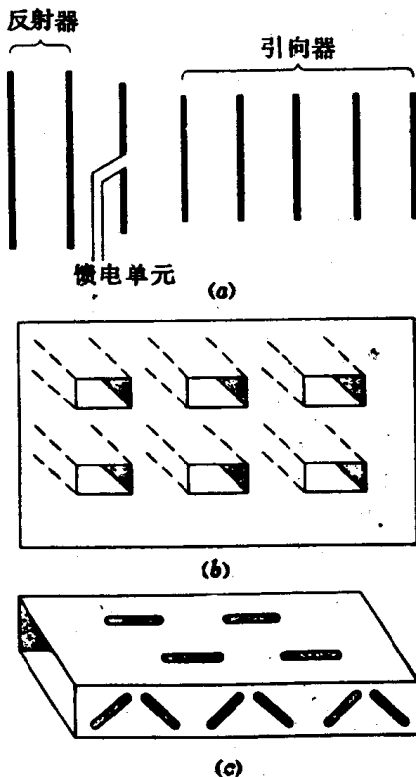


图1.4 典型的线天线阵和口径天线阵的排列形式

- (a) 八木-宇田阵; (b) 口径阵列;
(c) 波导缝隙阵。

许多应用场合所要求的辐射特性可能无法用单个天线元来实现，但在电气和几何上恰当配置的多个辐射元的组合——阵列，就可能给出所要求的辐射特性。阵列的配置，可以利用单元辐射相加，使得在某个或某些方向给出最大值，而在其它一些方向给出最小值，或获得别的所期望的特性。阵列天线的典型例子如图 1.4 所示。阵列一词一般是指图 1.4(a) 和 (b) 所示的若干单个辐射器的离散排列，但也可用来描述图 1.4(c) 所示的在一连续结构上的一组

辐射器。

1.2.4 反射器天线

外层空间探测的成功促进了天线理论的发展。由于需要远距离通讯，不得不采用性能优异的天线来发射或接收必须传播数百万哩的信号。在这种场合下，最常采用的天线形式是图1.5(a)和(b)的抛物面反射器。业已制成的此类天线，其直径有的大到305m。这样大的直径所形成的高增益，可实现发射或接收其传播距离达数百万哩以外的信号；另一种形式的反射器是图1.5(c)所示的角形反射器，它不如抛物面用得普遍。

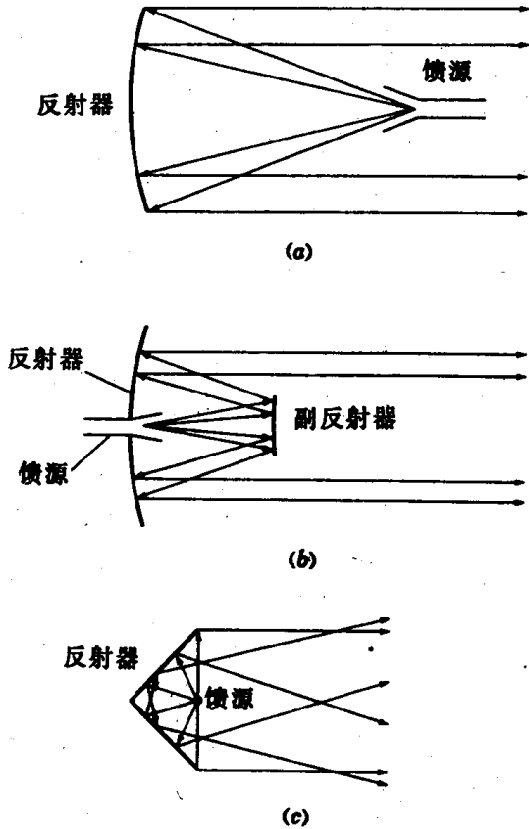


图1.5 典型的反射器结构形式
(a) 前馈的抛物面反射器；(b) 具有卡塞格伦馈源的抛物面反射器；(c) 角形反射器。