

被导电磁波原理

[英] R. A. 瓦尔特朗 著

徐 鲤 庭 译

人 民 邮 电 出 版 社

被 导 电 磁 波 原 理

(英) R. A. 瓦尔特朗 著

徐 鲤 庭 译

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 提 要

本书根据最基本的电磁规律由浅入深地讲述了各种传输线、波导和空腔中被导波的理论，对推导所用的基本数学方法作了简明的阐述，并以若干常见的结构作为示例帮助说明。为了便于读者查阅，还有一章专门列举了需用的公式和表格。

被 导 电 磁 波 原 理

(英) R A 瓦尔特朗 著

徐 鲤 庭 译

*

人民邮电出版社出版

北京东长安街 27 号

北 京 印 刷 一 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

限 国 内 发 行

*

开本: 850×1168 1/32 1977年11月第一版

印张: 18 28/32 页数302 1977年11月北京第一次印刷

字数: 496 千字 印数: 1—7,000册

统一书号: 15045·总2106-无620

定价: 2.30元

出 版 说 明

随着我国通信事业的发展，被导波的应用日益广泛。例如同轴电缆；微波中继通信、卫星通信、电视信号的微波传输中所大量使用的厘米波波导；大容量波导通信中所用的毫米波波导；小型化微波设备中正在迅速发展的微带电路等，它们都是完成导波作用的结构。

为了便于从事这方面工作的工程技术人员掌握被导波的基本理论和基本计算方法，我们翻译出版了这本书。希望读者本着洋为中用的精神，批判地吸取那些对我们有用的东西，为我国社会主义通信建设服务。

由于书中所提到的人名的译名还没有统一规定，特在本书之末附有英汉人名对照表供读者参考。

人民邮电出版社

1977年6月12日

绪 言

以波导为主题的书籍已经很多,对我所以要写这一本书,需要作些解释。任何物理学题材的书,都可以从特别实用化(主要考虑测量方法和对器件的说明)写到高度数学化(只限于少数水平较高的读者阅读)的许多书。就波导方面来说,应当有的书还没有出全。已有书籍虽然不少,但其中绝大多数内容都偏重极端实用化方面;剩下少数的内容则又偏向于另一极端,只不过给读者提供了一些水平过高的数学论证。在内容侧重“实用”方面的书籍当中有些给出了公式、表格和曲线,但对这些数据从何而来则很少或根本不予说明;也可能介绍一下结果是用什么方法求得的,但并不对方法本身进行讨论。这类书籍对实际应用虽尚能提供有价值的资料,但对那些想用被作者认为范围之外的参数值工作的技术人员来说仍属迷茫无助,起不到举一反三的作用。

有鉴于此,写作本书的目的在于为迄今未被重视的许多内容填空补缺。当然全部内容不可能由一本书网罗无遗,再出版几本也仍绰有余地,但希望本书能使一些前此未被满足的读者比较满意。本书的基本指导思想是引导读者对波导理论的原则和数学方法有一充分的了解,使之具备独立解决广泛范围内各种问题的能力。

为了达到这一目的,本书具有若干特色。首先,理论是从电磁学的基础实验证据出发来阐述,所以并不要求读者须有物理学中有关这方面题材的知识。其次,虽然假设读者应有一定的基础数学知识,但并不要求对学过的数学都彻底掌握,有一章以“手册”形式收集在本书内的数学可供参考。设想读者对复变数、线性微分方程、矢量分析、傅里叶分析和拉普拉斯变换等有一定的了解,但不一定

擅长它们的应用。数学一章的目的在于帮助读者应用数学解题，而非促使读者成为专业的数学工作人员，为此而列举了不少在波导计算中有用的公式和表格。第三，估计读者可能不太熟悉的数学题材则针对波导理论的特定用途，以适于本书目的的程度在书内适当的地方加以讨论。这些题材包括有网络理论、摄动理论、变分理论和正常模展开法等。第四，并不企图求得读者可能碰到的各类问题的全部结果，这已在若干内容侧重“实用”的书籍中给出，本书限于篇幅，也不能说明结果从何而来，而只是对若干典型问题进行足够详尽的讨论，使读者能理解方法的原则，从而在学过本书适当章节以后能够运用相似的方法，处理同类的其他问题。

R. A. 瓦尔特朗

目 录

绪言

第 I 章 波导理论的数学	1
I . A: 复变数	1
复变函数	3
初等函数	4
多值函数	7
复数积分	8
留数	9
保角图象	10
I . B: 行列式	12
I . G: 张量和矩阵	17
I . D: 矢量	22
矢量的微分	23
积分公式	25
其他公式	26
I . E: 三角函数, 指数函数和双曲函数	26
微分和积分公式	28
三角函数的正交性质	30
三个三角函数之积的积分	31
I . F: 整数阶的贝塞尔函数	32
贝塞尔方程式及其解	32
微分和递归关系	36
含有贝塞尔函数的积分	38
小幅角的近似式	40
大幅角的近似式	41
朗思基关系	42

贝塞尔函数的行列式	42
含有贝塞尔函数之积的积分	60
贝塞尔函数的正交性质	63
I. G: 勒让德及勒让德陪函数	65
正交性质	68
I. H: 椭圆积分	69
特殊值	70
I. I: 雷卡蒂方程式	73
I. J: 积分变换	77
傅里叶分析	77
傅里叶变换	78
拉普拉斯变换	84
参考资料和深入读物	87
第II章 基本电磁理论	88
II. A: 静电学	88
库伦定律	88
电位	89
电场	90
力线	91
电感应	91
由电荷位形引起的电位	92
电位梯度	94
由若干电荷引起的电场	94
电极化	95
高斯定理	96
各向异性材料	98
不均匀材料	99
拉普拉斯方程式	99
静电能	100

电容·····	102
II. B: 静磁学 ·····	104
安培定律·····	104
磁场和磁感应·····	105
矢量磁位·····	106
纯量磁位·····	108
磁场和电流密度·····	110
磁场的能量·····	111
磁极化·····	113
电感·····	115
II. C: 时变场 ·····	116
电磁感应·····	117
涡流·····	119
集肤效应·····	120
II. D: 电磁波 ·····	121
麦克斯韦方程式·····	121
电磁波·····	123
有耗媒质中的波·····	127
导电性媒质中的麦克斯韦方程式·····	128
由平面电磁波所载的功率·····	130
平面波的波印廷矢量·····	132
色散媒质中平面波的功率流·····	134
有耗媒质中平面波的功率流·····	136
非平面波中的功率流·····	136
各向异性媒质中电磁波的功率·····	137
波印廷矢量的另一形式·····	137
静止场·····	138
结论·····	139
II. E: 边界条件 ·····	139

两种介质之间的边界表面·····	139
磁性材料之间的边界表面·····	140
介质和导体之间的表面·····	140
时变场·····	141
结论·····	142
II. F: 材料 ·····	142
II. G: 椭圆体中的电场和磁场 ·····	143
计算方法·····	144
椭圆体中的电磁场·····	146
圆极化·····	147
退磁因数·····	148
退极化因数·····	150
参考资料·····	150
第三章 传输线·····	151
III. A: 交流电路 ·····	151
电路元素·····	151
多于一个元素的电路·····	154
含有电感和电阻的电路·····	155
含有电容和电阻的电路·····	156
含有电感和电容的电路·····	157
交流电路中的功率·····	160
III. B: 电气网络 ·····	164
电气网络·····	164
网络分析·····	166
极点和零点·····	167
节点分析·····	168
响应函数的计算·····	169
网络的矩阵表示式·····	169
阻抗矩阵·····	170

导纳矩阵·····	171
级联矩阵·····	172
Ⅲ. C: 传输线 ·····	173
传输线的参数·····	173
电报方程式·····	174
Ⅲ. D: 传输线上波的传播 ·····	175
波方程式·····	175
波方程式的解·····	176
特性阻抗和特性导纳·····	178
功率·····	179
Ⅲ. E: 作为电路元件的传输线 ·····	181
特性阻抗·····	181
端接线·····	182
短路线·····	185
开路线·····	186
传输线的集总元件当量·····	187
传输线的矩阵表达式·····	189
Ⅲ. F: 传输线的应用和方法 ·····	190
四分之一波长变压器·····	190
短线匹配·····	193
二项式匹配·····	194
传输线的连接·····	196
Ⅲ. G: 若干实际传输线的单位长度电容 ·····	199
保角映射的应用·····	201
Ⅲ. H: 若干实际传输线的单位长度电感 ·····	212
计算方法·····	212
由一长直导体中的电流所产生的磁场·····	214
同轴线·····	214
传输线中电磁波的速度·····	216

各种传输线的电感·····	217
Ⅲ. I: 若干实际传输线的特性阻抗 ·····	218
三板线·····	219
平行板之间的导线·····	221
参考资料·····	222
第四章 波导的基础理论 ·····	223
IV. A: 波导型式的分类 ·····	223
波导的定义·····	223
波导的型式·····	224
IV. B: 各向同性媒质的波方程式 ·····	225
IV. C: HSP 矩形波导 ·····	228
波方程式的解·····	228
横向场分量·····	230
边界条件的应用·····	231
特性方程式和相位常数·····	232
正常模·····	234
截止频率和波长·····	236
波速·····	238
功率·····	239
归一化·····	243
模式的正交性·····	246
完全性·····	248
IV. D: 圆形横截面的 HSP 波导·····	249
波方程式的解·····	249
横向场分量·····	250
边界条件的应用·····	251
场分量·····	254
相位常数·····	255
截止频率和波长·····	255

波速·····	256
功率·····	256
归一化·····	258
模式的正交性·····	259
IV. E: 作为传输线的波导 ·····	262
波导电流·····	263
特性阻抗·····	265
波导电压·····	265
矩形 HSP 波导中 H_{10} 模的特性阻抗 ·····	267
圆形 HSP 波导中 H_{11} 模的特性阻抗 ·····	268
IV. F: 作为波导的传输线 ·····	269
同轴 HSP 波导的波方程式的解 ·····	270
边界条件的应用·····	271
同轴波导的正常模·····	272
传输线模·····	274
场分量的归一化·····	280
IV. G: 通论 ·····	282
色散关系·····	282
波速和群速·····	285
特性阻抗·····	285
模式的正交性·····	287
功率和波印廷矢量·····	289
模式命名法·····	290
参考资料·····	292
第五章 空腔谐振器 ·····	293
V. A: HSP 矩形空腔 ·····	294
波方程式的解·····	294
横向场分量·····	295
特性方程式的推导·····	296

正常模·····	298
归一化·····	299
V. B: HSP 圆柱形空腔 ·····	301
V. G: HSP 同轴空腔 ·····	304
V. D: 球形 HSP 空腔 ·····	306
球面系统中的电磁波·····	307
波方程式的解·····	309
E 模的场分量·····	312
H 模的场分量·····	312
模谱·····	313
V. E: 带状线空腔 ·····	316
靠近空腔中心处的场形·····	316
远离中心处的场形·····	320
参考资料·····	322
第五章 摄动论及其应用 ·····	323
VI. A: 空腔摄动公式的推导 ·····	324
VI. B: 空腔形状的微小变更 ·····	328
VI. G: 气体充填的空腔 ·····	331
VI. D: 空腔中的小固体试样 ·····	334
在一个 E_{0n0} -模圆柱形空腔中对球形试样的介质 常数的测定·····	334
在一个 E_{0n0} -模圆柱形空腔中对杆状试样介质 常数的测定·····	338
在一个 E_{210} -模正方形空腔中对杆状铁氧体 试样导磁率的测定·····	338
总的结果·····	341
VI. E: 空腔壁中的损耗 ·····	344
VI. E: 试样损耗的测定 ·····	350
VI. G: 波导摄动公式的推导 ·····	352

VI. H: 波导壁中的损耗	356
VI. I: 杆负载和片负载的波导	360
片负载的矩形波导	360
以铁氧体杆负载的圆柱形波导	361
法拉第旋转	366
由介质损耗引起的衰减	366
VI. J: 对传输线损耗的应用	367
导体损耗的最小值	369
VI. K: 结论	369
参考资料	370
第四章 不均匀和各向异性的波导	371
VII. A: 总论	371
波方程式和特性方程式	371
正交性	372
连续改变的媒质	373
VII. B: 具有金属壁的波导	373
圆形波导	373
矩形波导	380
VII. C: 介质负载的波导	381
具有二个同心媒质的圆柱形波导的特性方程式	382
具有二种媒质的圆柱形波导的模谱	384
不均匀圆柱形波导的场分量和功率	392
不均匀圆形波导中的反向波	393
圆形波导壁上薄介质膜的影响	394
具有介质片的矩形波导	396
VII. D: 表面波	398
分隔二种媒质的平面	399
介质表面	402
金属表面	403

覆有介质的完善导电表面·····	404
表面阻抗·····	409
高包线·····	411
VII. E: 介质杆波导 ·····	416
VII. F: 铁氧体负载的波导 ·····	420
铁氧体·····	420
亚铁磁性·····	421
陀螺磁性·····	422
铁氧体的微波导磁率·····	424
固有的和外部的导磁率·····	427
在无穷大铁氧体中传播的电磁波·····	428
法拉第旋转·····	431
谐振吸收·····	433
有限横截面铁氧体的波方程式·····	433
含有铁氧体的圆柱形波导·····	437
含有铁氧体的矩形波导·····	444
VII. G: 长距离通信用波导 ·····	449
螺管波导·····	449
螺管波导的理论·····	450
螺管波导的深入读物·····	453
长距离通信中的其他波导·····	453
VII. H: 含有等离子体的波导 ·····	454
等离子体的本质和性能·····	454
等离子体和铁氧体的比较·····	456
充填非极化等离子体的波导·····	456
波方程式的推导·····	457
$\varepsilon = \varepsilon(x)$ 的波方程式的解 ·····	461
含具有极化磁场等离子体的波导·····	464
参考资料·····	469

第四章 变分理论及其应用	474
Ⅳ. A: 序	474
Ⅳ. B: HSP 空腔的变分原则	476
Ⅳ. C: HSP 波导的截止频率	479
Ⅳ. D: 不均匀波导的截止频率	479
Ⅳ. E: 波导的相位常数	480
Ⅳ. F: 矩形 HSP 波导的截止频率	481
Ⅳ. G: 不均匀矩形波导的截止频率	484
Ⅳ. H: 波导相位常数的实例	489
Ⅳ. I: 脊形波导的截止频率	490
Ⅳ. J: 空腔谐振频率	494
Ⅳ. K: 高次模	494
Ⅳ. L: 变分理论和摄动理论	495
Ⅳ. M: 无限延伸的系统	498
参考资料和深入读物.....	499
第五章 不均一的波导	500
Ⅴ. A: 波导中的不均一性	500
不连续性.....	500
连续的变化.....	501
波导中的障碍物.....	503
波导中的其他不均一性.....	503
耦合参数和耦合系数.....	504
Ⅴ. B: 计算耦合系数的方法	504
Ⅴ. C: 圆柱形波导半径的突变	506
Ⅴ. D: 圆柱形 HSP 波导轴线方向的突变.....	512
Ⅴ. E: 圆柱形波导轴线的偏位	515
Ⅴ. F: 螺管波导中的不连续性	516
Ⅴ. G: 有关耦合系数的若干通论	519
Ⅴ. H: 大量随机不连续性的统计效果	520