

0.450112
L60
(11)

全国高技术重点图书·通信技术领域

电 磁 场 理 论

(修订本)

林为干 符果行 著
邬琳若 刘仁厚

人 民 邮 电 出 版 社

内 容 简 介

本书讨论电磁场的基本理论与应用，且偏重于微波理论与技术方面。

全书分四部分，第一部分（1~5章）是静态场的基本理论，第二部分（6~9章）是时变场与波的基本理论，第三部分（10、11章）是函数理论及在场与波中的应用，第四部分（12~14章）是场与波的求解方法。

本书是在修订原版（1984年）的基础上，将近年来国内外的理论与应用成果总结进去，其中也包括了作者的研究成果。

本书可供电磁场工程专业的大学高年级学生、研究生、教师和科技人员参考。

DUB7/23
全国高技术重点图书·通信技术领域

电磁场理论

林为干 符果行

郑琳若 刘仁厚

责任编辑 田秀兰

人民邮电出版社出版发行

北京朝阳门内南竹杆胡同111号

北京密云春雷印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本：850×1168 1/32 1996年2月 第一版

印张：31.125 1996年2月 北京第1次印刷

字数：822千字 印数：1-1500册

ISBN7-115-05740-0/TN·913

定价：48.00元

《全国高技术重点图书》 出版指导委员会

主任：朱丽兰

副主任：刘 杲 卢鸣谷

委员：(以姓氏笔划为序)

王大中 王为珍 王守武 牛田佳 卢鸣谷

叶培大 刘 仁 刘 杲 朱丽兰 孙宝寅

师昌绪 任新民 杨牧之 杨嘉墀 陈芳允

陈能宽 张钰珍 张效详 罗见龙 周炳琨

欧阳莲 赵忠贤 顾孝诚 谈德颜 龚 刚

梁祥丰

总干事：罗见龙 梁祥丰

《全国高技术重点图书·通信技术领域》 编审委员会

主任：叶培大

委员：陈俊亮 徐大雄 姚 彦

程时昕 陈芳烈 李树岭

前 言

本书第一版自 1984 年问世以来已销售万册，至今已有十年之久。在此期间，随着科学技术的日益发展，电磁理论及其应用也取得了长足的进展。我们感到有必要在原书的基础上，将国内外近年来所取得的理论与应用成果适当总结进去，其中也包括作者的理论与应用成果，以适应国家科学技术发展的需要。

修订版仍大体保持了原书的结构特色。全书共分十四章：第一至五章是静态场的基本理论，包括静电场、稳定电场、静磁场和似稳磁场；第六至九章是时变场与波的基本理论，包括时变场、平面波、导波和辐射；第十、十一章是函数理论及在场与波中的应用，包括解析函数和特殊函数；第十二至十四章是场与波的求解方法，包括级数展开法、解析法和计算机法。第一至九章侧重场与波的基础理论，第十至十四章侧重场与波的数学处理方法。

修订版除对原书的内容、结构和文字进行修改、调整和完善外，新增加了第十三章的内容。此外，我们以较大篇幅补充了新的内容，主要包括：一、为了扩展对各类较复杂边值问题的求解，要求建立与之相适应的坐标系。本书扩充和增补了原书未曾涉及的一些坐标系的理论与应用，如双极坐标系、环坐标系和椭圆坐标系等，包括作者提出的退化旋转双极坐标系的理论与应用（参见 2.3~2.7, 8.4 和 8.5）；二、扩充和增补了有发展前景的新型或异型波导和天线的实例，介绍了电磁波在复杂媒质中的传播理论和特性及应用实例，特别是对近年来兴起的有广阔应用前景的手征媒质（Chiral Materials，亦称旋波媒质）的研究给予了充分的重视（参见 7.8, 8.4~8.7, 8.10 和 9.9）；三、扩充和增补了函数理论及其应用的内容，特

别突出了保角变换的具体应用，以适应近代集成电路的分析与应用的需
要。除保留了原书的解析函数、特殊函数和格林函数的内容外，还以大量篇幅介绍了原书未曾涉及的马丢函数和椭圆函数理论及应用，进一步补充了并矢格林函数的内容。各种新型或异型波导和天线构成的复杂边值问题的严格求解，有赖于许瓦兹变换的应用，本书充实了不少应用许瓦兹变换求这类边值问题的应用实例，其中也包括作者在这方面新近的研究成果，如开槽河床波导漏场的计算，用许瓦兹变换将带电矩形导体柱的外场变换为内场来求解等（参见 8.4, 10.5~10.7, 11.7, 11.8, 13.2, 13.3 和附录 VI）。

本书在林为干指导下编写，符果行统编全书。其中，第一至五章由符果行执笔，第六至九章由刘仁厚执笔，第十、十一章和附录由邬琳若执笔，第十二至十四章由林为干执笔，邬琳若协助整理。

作者

1994 年 10 月 1 日

第一版前言

近代电磁场问题能够精确求解的不多，故多借助于静电方法来得到近似的解，所以静电方法的掌握十分重要。它是进一步解决电动力学问题的基础。因此，本书以相当篇幅介绍了静电理论和位场计算。由于篇幅所限，不能对电磁场理论涉及的各个领域都作论述，本书偏重微波理论与技术的内容。

全书共分十三章，第一至五章是静态场的基本理论，包括静电场、准静电场、静磁场和准静磁场；第六至九章是时变场与波的基本理论，包括时变场、平面波、波导和辐射；第十至十三章是场与波的数学处理方法，包括解析函数法、特殊函数法、计算机法和级数展开法。

在静态场理论中，不论章节名称还是内容安排，都注意了电场与磁场的类比关系。这样，在论述静电理论的基础上容易建立静磁理论，进而对静态场理论加以推广，就建立了时变场与波的理论。同时，在论述场与波基本理论的基础上，介绍场与波的各种数学处理方法，特别是位场边值问题的计算方法。这是符合由特殊到一般的认识规律的。但我们没有把理论问题与计算问题截然分开，在理论部分中也有计算问题，在计算部分中也有理论问题，前者计算偏重基本问题，后者计算偏重综合应用问题。比如，第二章和第十一章比较集中地介绍了分离变量法，其区别在于前者仅限于静态场，例题多系基本问题，不涉及特殊函数的性质，后者已扩展到时变场与波，例题多系综合问题，专门讨论了特殊函数的性质。此外，前面着重列举了球坐标的例题，故球坐标安排在柱坐标前面，后面则考虑到各坐标系由简到繁的发展过程，加之球坐标中的混合边值问题

需要利用贝塞尔函数的知识，故球坐标安排在柱坐标后面。

全书采用国际单位制。

本书的编写工作是在林为干的讲稿的基础上进行的。第一至五章由符果行执笔，第六至九章由刘仁厚执笔，第十、十一章和附录由邬琳若执笔，第十二至十三章由林为干执笔，邬琳若协助整理。全书由林为干审阅，符果行统一。对于书中的缺点和错误，望读者不吝指正。

作者

1981年10月20日

目 录

第一章 静电场	1
1.1 静电力作用定律和电场强度公式	1
库仑定律	1
电场 电场强度公式	1
1.2 静电场的通量定理	4
高斯定理	4
静电场的散度	5
1.3 静电场的环量定理 静电位	7
静电场的保守性	7
标量电位 静电位的梯度	9
1.4 泊松方程和拉普拉斯方程.....	14
1.5 位场的基本定理.....	15
格林定理.....	15
唯一性定理.....	16
格林互易定理.....	18
叠加原理.....	19
1.6 位解的形式.....	19
闭合边界内电荷分布的位解形式.....	19
用格林函数求闭合边界内电荷分布的位解形式.....	20
存在规则边界的无源区域中位解的形式.....	22
1.7 电偶极子和电多极子.....	24
电多极子展开.....	24
任意体分布的电偶极子.....	30

电偶层 (电壳)	32
1.8 电介质中的宏观电效应	38
电位移	38
边界条件	39
1.9 电容和电容器	41
电容	41
自电容系数和互电容系数	42
电容器	44
1.10 静电场的能量和静电力	47
自由空间的静电能量	47
电介质中的静电能量	50
静电场的应力张量	53
习题	59
参考资料	64
第二章 静电场的边值问题	65
2.1 电像原理及其应用	65
点电荷和平面的电像解	65
线电荷和圆柱的电像解	70
点电荷和球的电像解	71
均匀场中平面上相切导体球的静电问题及其应用	80
2.2 常用坐标系的变量分离原理及其应用	84
函数的正交性和完备性	84
傅里叶级数和傅里叶积分	85
直角坐标系中的级数解	87
圆柱坐标系中的级数解	93
球坐标系中的级数解	98
2.3 不能直接进行变量分离的坐标系的变换	104
双极坐标系及退化双极坐标系中的级数解	104

旋转双极坐标系及退化旋转双极坐标系中的级数解	108
环坐标系中的级数解	114
2.4 双级坐标系及退化双极坐标系的应用	117
均匀场中平面上部分多层介质柱的静电问题	117
均匀场中平面上相切多层介质柱的静电问题	123
2.5 旋转双极坐标系及退化旋转双极坐标系的应用	127
均匀场中平面附近介质球的静电问题	127
均匀场中平面上相切多层介质球的静电问题	133
2.6 环坐标系的应用	139
均匀场中部分导体球的静电问题	139
2.7 电像原理的深入探讨及其应用	144
两带电相切导体球静电问题的严格解	144
解的电像表示法	147
2.8 格林函数原理及其应用	149
格林函数的泊松方程基本解	150
格林函数的电像解	151
直角坐标系中格林函数的级数解	155
圆柱坐标系中格林函数的级数解	159
球坐标系中格林函数的级数解	160
格林函数的积分变换解	167
2.9 积分方程的解法及其应用	173
积分方程的建立	173
导体问题的积分方程-鲁宾 (Robin) 积分方程	174
电介质问题的积分方程	176
积分方程的解法	179
习题	184
参考资料	195

第三章 稳定电场	197
3.1 导体中的电流	197
欧姆定律	197
焦耳定律	199
电流连续性方程	200
弛豫时间	200
3.2 动电回路中的电流	202
3.3 稳定电场	203
基本方程	203
边界条件	204
静电比拟	205
3.4 稳定电场的边值问题	207
3.5 电解槽理论及其应用	219
双层电解槽	220
习题.....	234
参考资料.....	237
第四章 静磁场	238
4.1 静磁力作用定律和磁感强度公式	238
安培定律	238
磁场 毕奥-沙伐定律	239
4.2 静磁场的环量定理	242
安培环路定律	242
4.3 静磁场的通量定理	243
磁通连续性原理	243
矢量磁位	244
4.4 泊松方程和拉普拉斯方程	248
4.5 磁偶极子和磁多极子	249

磁多极子展开	249
任意体分布的磁偶极子	251
磁偶层 (磁壳)	254
4.6 磁介质中的宏观磁效应	256
磁场强度	256
边界条件	258
4.7 位解的形式	260
矢量磁位的位解形式	260
标量磁位的位解形式	261
4.8 静磁场的边值问题	267
磁像解	267
圆柱坐标系中的级数解	270
球坐标系中的级数解	278
习题	282
参考资料	286
第五章 似稳磁场	287
5.1 电磁感应定律	287
运动回路的电磁感应定律	288
5.2 似稳磁场	292
5.3 电感和电感器	294
电感	294
自感和互感的公式	295
电感器	298
5.4 磁场的能量和磁力	303
自由空间的磁场能量	303
磁介质中的磁场能量	305
磁场的应力张量	306
自感系数和互感系数	309

习题.....	315
参考资料.....	318
第六章 时变电磁场	319
6.1 麦克斯韦方程组	319
6.2 标量位和矢量位	321
6.3 赫兹矢量	323
6.4 点电荷的标量位	325
6.5 滞后位	328
6.6 波动方程的基尔霍夫通解	333
6.7 赫姆霍兹方程的通解	334
6.8 格林函数	337
6.9 格林张量 (并矢格林函数)	339
6.10 外部问题.....	343
6.11 坡印廷定理.....	345
6.12 洛仑兹互易定理.....	348
习题.....	352
参考资料.....	355
第七章 平面电磁波	356
7.1 各向同性均匀媒质中的平面波	356
平面波	356
简谐平面波	358
平面波的极化	359
导电媒质中的平面波	361
7.2 波在平面界面上的反射和折射	362
电场垂直于入射面的反射和折射	363
磁场垂直于入射面的反射和折射	366
7.3 波在电介质面上的全反射和全折射	366

7.4	波在导电媒质中的折射	369
7.5	均匀介质层	375
	成层电介质	377
7.6	各向异性均匀媒质中的平面波	378
7.7	晶体中的折射	382
7.8	平面电磁波通过电介质-手征媒质界面及手征媒质片的传播	385
	半无限大手征媒质	387
	无限大手征媒质片	398
7.9	非均匀各向同性媒质中的平面波	402
	雷利-高斯近似	403
	高频近似	404
7.10	几何光学	405
7.11	电介质仅沿一个坐标变化的波动方程	408
7.12	W·K·B法	409
7.13	兰格尔法	413
	习题	421
	参考资料	425
第八章	电磁导波和电磁振荡	426
8.1	电磁波解的分类	426
	TEM波	428
	TE波和TM波	429
8.2	矩形波导管	431
	TE波	431
	TM波	434
8.3	圆柱形波导管	435
	TM波	435
	TE波	438

8.4	椭圆柱形波导管	439
8.5	抛物柱形波导管	443
8.6	菱形波导管	451
8.7	双对称横截面波导管的功率容量	458
8.8	波导管的衰减常数	465
8.9	介质波导	469
	介质板波导	469
	介质圆波导	473
8.10	手征媒质波导	477
8.11	空腔谐振器	493
	矩形谐振腔	493
	圆柱谐振腔	496
8.12	波导中的柱体	499
8.13	谐振腔中的双模耦合	503
	TE 波	504
	TM 波	506
8.14	循环的 H-面波导结的三维场解	509
	习题	523
	参考资料	525

第九章 电磁辐射和电磁绕射 526

9.1	电偶极子的辐射	526
9.2	磁偶极子的辐射	528
9.3	时谐偶极子的辐射	529
9.4	二维偶极子的辐射	532
9.5	细线天线的辐射	534
9.6	线性阵列	540
9.7	线性阵列的谢昆诺夫法	545
9.8	波束的综合	549

9.9	螺旋天线	552
9.10	口径天线	556
9.11	平面导体的绕射	560
	习题	566
	参考资料	568
第十章	解析函数及其应用	569
10.1	解析函数的基本知识	569
	区域、复变函数和连续的概念	569
	解析函数	570
	多值函数	573
10.2	复电位函数及其应用	575
10.3	保角变换及其应用	577
10.4	多边形变换 (许瓦兹变换)	586
10.5	应用许瓦兹变换求解电磁场的边值问题	591
	开槽河床波导的漏场	602
10.6	从多边形到圆的变换	620
10.7	具有圆弧角的多边形变换问题	628
10.8	具有圆内导体的正多边形同轴线	644
	习题	657
	参考资料	663
第十一章	特殊函数及其应用	664
11.1	贝塞尔函数的性质	664
11.2	贝塞尔函数的应用	667
11.3	勒让德函数的性质	679
11.4	勒让德函数的应用	685
11.5	椭球函数的性质	704
11.6	椭球函数的应用	708

11.7	椭圆积分与椭圆函数的性质	723
11.8	椭圆积分与椭圆函数的应用	735
	单根带状线的特性阻抗与衰减常数	735
	带电矩形导体柱的外场分布	747
	用不等长十字臂作内导体的圆同轴线	760
	具有非中心内导带的矩形同轴结构的特性阻抗	765
	具有滑动十字架内导体的新型 TEM 室	775
	椭圆内导体具有恒定电场强度的矩形同轴传输线	779
	习题	788
	参考资料	790
第十二章 电磁场问题的级数展开法		793
12.1	赫姆霍兹定理	793
12.2	谐振腔中电磁场的级数展开	795
12.3	微带天线上电磁场的级数展开	801
	波型匹配表示法	803
	辐射功率和输入阻抗	804
12.4	旋磁媒质中电磁场的级数展开	805
	习题	817
	参考资料	818
第十三章 电磁场问题的解析法		819
13.1	电磁理论的研究对象	819
13.2	自由空间的并矢格林函数	820
13.3	并矢格林函数的奇异性	827
13.4	应用矢量位求解电磁场问题	833
13.5	赫兹矢量位的应用	836
	矩形口激发源问题	836
	圆环裂缝天线对有耗媒质半空间的聚焦照射	840