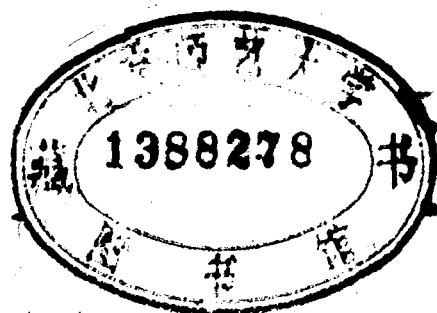


电 磁 理 论

J·A·斯特莱顿 著

何国瑜 译 宋丽川 校

741141/10



北京航空學院出版社

内 容 简 介

本书为著名科学家J·A·Stratton于1941年发表的一本世界公认的经典著作。作者在宏观范围内完整地阐述了麦克斯韦所创立的电磁理论。对电磁场、电磁力、电磁能和电磁波等专题作了极严密和精辟的论述。在理论性、实用性和系统性诸方面均有独到之处。本书的绝大部分内容目前仍适合于作物理系和电子工程系高年级本科生和研究生的教材。对于从事电磁场理论及其工程应用的科技工作者和大学教师亦为极有价值之参考书。

ELECTROMAGNETIC THEORY

BY

JULIUS

STRATTON

1941

电 磁 理 论

〔美〕J·A·斯特莱顿著

何国瑜 译 宋丽川 校

责任编辑 杨昌竹

北京航空学院出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

机械工业出版社印刷厂印刷

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张: 22 字数: 580千字

1986年8月第一版1986年8月第一次印刷

印数: 1-4700册 定价: 4.35元

统一书号: 15432·032

译者序

电磁理论是近代物理学的一个重要分支，又是现代无线电电子学的主要基础之一。自 1873 年麦克斯韦发表《电磁学通论》之后，已经过去 110 多年了。在这一时期内，无数优秀的数学家、物理学家和工程师对电磁理论、微波技术和天线工程进行了艰苦卓绝的研究工作，使电磁理论及其工程应用得到了极大的发展和进步。在此基础上，曾经出现过大量不同版本的电磁理论专著。

有志于在工程电磁理论领域深造的本科生和研究生，应当认真地阅读几本有关的经典著作。历史、现在、未来是不能割裂的。科学与文化总是沿着一个又一个台阶循序渐进不断向前发展的。正如麦克斯韦继承和发展了法拉第的学说，爱因斯坦继承和发展了牛顿、伽里略和麦克斯韦的学说一样，后来居上者只不过是站在历史巨人的肩头上，从而比前人看得更远一些而已。

40 年前，Stratton 出版了这本《电磁理论》。现在证明，这是一本在电磁理论方面的权威性世界名著。Stratton 处于工程电磁理论蓬勃发展的时代，他本人对电磁理论的造诣颇深，因此他有可能对电磁理论诞生后 70 年的发展作出深刻的总结和提炼。也许可以说，Stratton 的《电磁理论》是继麦克斯韦的《电磁学通论》之后，在这一领域中写得最好的一本教科书。后来的电磁理论教材大都受到这本书的影响，至少没有一本书不把 Stratton 的著作列为最重要的参考书目之一。

基于这种看法，我们感到有必要将本书译出，以便利我国的学生进行学习和研究。

本书的大部分内容来源于历史文献，但它又极成功地显示出整个电磁理论的完整性、系统性以及数学与物理的完美融合。作者在书中对许多重要问题的历史背景作了简要介绍，这对读者加

深对问题的理解将大有裨益。本书的另一个特点是，对静态和动态问题的处理极为得当。它一方面强调了静态和动态问题的密切联系和不可分割性，另一方面又把动态问题放到了更重要的位置上。对于动态场的许多问题，诸如动态场的边界条件、解的唯一性、波函数的各种表示式、基本定理及其应用等，都可在书中找到严格而系统的阐述。最后，本书对单位制、坐标系和电磁位等作了全面、深入的论述。在以上三个方面，其它电磁理论教科书是难于与之媲美的。

按照我们的看法，本书的大部分内容仍然适合于作物理系和电子工程系高年级本科生以及有关专业研究生的教材或主要参考书。当然，随着时代的进步，本书的一部分内容已略嫌陈旧；有些部分，例如傅里叶分析和拉氏变换，已为多数学生所熟悉，故可将之删去。但因这是一本经典著作，我们一律照译了。此外，有些后来发展的新内容，如格林函数、矩量法、几何绕射理论等，本书自然没有讲到，建议教学时可参照其它有关教材。

本书由何国瑜同志主译，史乃平同志协助并完成了第九章的翻译工作。宋丽川教授对全书作了认真的校对，对此译者表示衷心感谢。

译者

1985年于北京航空学院

前 言

麦克斯韦的名著“*Treatise on Electricity and Magnetism*”在七十年前所创立的格局，使后来的英美教材几乎无不受其深刻影响，持续至今，仍未或已。该书的写作意图是单从法拉第的观点出发，对人类所知的全部电现象和磁现象提出彼此相连的论述。故很少列入甚至根本不提里曼、韦伯、基尔霍夫、亥姆霍兹等人前此在欧洲大陆所提出的种种假说。这种将原有理论完全抛弃的做法是否有利于物理学后来的发展，还不清楚。若谓该书旨在传播法拉第的见解，这个目的无疑是达到了，但就作者本人所作贡献的阐述，则略嫌逊色。书中所载关于麦克斯韦特有的理论和学说，如位移电流的概念以及光和电磁振动的一致性等，往往不比原先发表的论文更加完善，而且也许没有原来的精辟。我们发现，第一卷全卷和第二卷大部分都讨论静态场。事实上，全书 1000 页中，仅有 12 页讲述电磁场方程，18 页讲述平面波的传播和光的电磁理论，20 多页讲述磁光学。从那时开始，位理论在数学上的完备无遗和电路理论的实际应用一直影响着英美作者们，使他们保持相近比重。只有亥维赛的新颖的和独一无二的创见成功地突破了那本教程的框子。

为了探索麦克斯韦方程的基本内容，人们必须转回欧洲大陆。在那里赫兹、波因盖尔、洛伦兹、阿卜拉罕和索末菲及其同事与后继者的工作，大大加深了人们对物理现象的理解，并导致了工业的大规模发展。

本书力图更充分地讨论变化电磁场及电波传播的理论。对静态问题也给予了一定的注意，但其目的是在简单条件下引入基本概念，并且这又是为了以后在普遍情况下的应用。读者必须具备电和磁的一般知识，这样的知识得自从库仑、安培和法拉第实验

定律出发的基础课程。读者还必须学完涉及到更一般的电路特性、热离子和电子器件、电磁机械原理，并以麦克斯韦方程的建立作结束的一门中级课程。本书以此为起点。第一章包括的内容有：对场和位所服从的方程组的一般论述，单位制理论的复习，关于曲线坐标系的参考材料以及张量分析基础，最后并列空间—时间连续体中的场方程。第二章仍为一般性章节，在初次阅读时可将其中一大部分略去。在这一章，人们将看到讨论场的基本特性时，可以完全脱离具体坐标系。从麦克斯韦方程的量纲分析将得出矢量 $\mathbf{E}$ 和 $\mathbf{B}$ 的基本定义；从能量关系的研究可得到有关施于电荷元、电流元和中性物质上的力的表示式。这样一来，可观测力和描述场结构的矢量之间的直接连系被建立起来了。

第三章和第四章将静态场当作动态场方程的特殊情况进行讨论。波的传播问题始于第五章，该章讨论均匀平面波。谐波分析法受到特别重视，且相当细致地讨论了色散问题。第六章和第七章讨论柱面波和球面波在无界空间的传播，提供了有关贝塞尔函数和球谐函数的必要辅助材料，并给出了波方程的矢量解。第八章讨论场和场源的关系，辐射的一般理论和基尔霍夫—惠更斯绕射理论的概要。

最后，我们在第九章研究平面、柱面和球面对电磁波传播的影响。事实上，本章说明了怎样将以前所确立的一般理论应用于具有实际意义的问题。读者在这里将会看到较重要的物理光学定律，波沿柱形导体传播所遵循的基本理论，腔体振荡的讨论和波在地球表面传播的扼要理论。

令人遗憾的是，不能更多和更详细地给出具体例子的数字解答。可惜，一本书的篇幅有限，包括范围如此广泛，实无法兼顾及此。本书的主旨是要完整地阐述电磁理论，所选用的例子都是为了说明它的原理。对于天线设计、传输线特性或其它类似的重要工程课题，书中并没有作透彻的讨论。作者的愿望是：本书能够提供必需的基础知识，以便读者正确理解在各个特殊领域中出现的创新的贡献，并能对不愿在不知其来龙去脉及限制条件的情

况下接受各种工程公式的读者，满足他们的需要。

除去第一章和第二章外，每章都附有一组习题。学习理论，只有一种适当的方法，即将之应用于具体例子中。习题的选择正是遵循这种思想进行的，但是在习题中也包含了许多不得不从教科书中删去的课题。书的末几章尤其如此。在多数情况，给出了答案和参考文献。

本书只涉及大尺度的现象。把讨论推广到被弗兰克尔 (Frenkel) 称为“准微观状态”的广阔天地，并阐述关于物质的经典电子领域理论的许多优美成果，这是极为诱人的。由于近代的发展，任何人想实现这样的计划，必定会遇到巨大的困难。虽然经典电动力学的许多定律直接适用于准微观领域，但人们没有选场的基础。作者坚信，应当由量子电动力学向经典理论过渡，而不是相反。无论量子电动力学的方程最终具有什么形式，大量原子在统计上的平均必定导致麦克斯韦方程。

本书一概采用 m. k. s. 单位制，许多物理学家一直认为，这种单位制是由那些“不讲道理”的工程师们强加给他们的。尽管事情或许如此，但是这种单位制的概念却是麦克斯韦本人首先提出的。无论如何，m. k. s. 单位制是一种好的单位制，容易学习，而且可以避免在实际应用中出现没完没了的混乱。看来，在不久的将来，它就会被人们普遍接受。为部分读者的方便，我们在 4.8 节讲到了高斯单位制。

与对待 m. k. s. 制的立场不同，作者并不坚持有理化单位的重要性。之所以采用有理化单位，其原因是人们把麦克斯韦方程作为出发点，而不是库仑定律；而且尽可能从最简单处入手看来是合理的。这样做的结果将使全部有关能量或传播的方程避免因子 4π 。这些关系式远比那些用场源表示位和场矢量的关系式有更大的实际重要性。

采用时间因子 $e^{-i\omega t}$ 来代替 $e^{+i\omega t}$ ，这是另一略有争议之点。所以这样做的原因，是由于时间因子终被略去；保持正指数 e^{+ikR} 来表示正向波，更为便利。为了与工程上的任何对应公式统一起

XVI

来，只要用 $+j$ 代替 $-i$ 就行了。

(谢辞，略)。

J · A · Stratton.

1941年1月

52114110

目 录

译者序

前言

第一章 场方程

麦克斯韦方程	1
1.1 场矢量	1
1.2 电荷与电流	2
1.3 场矢量的散度	5
1.4 积分形式的场方程	6
物质的宏观特性	10
1.5 诱导率 ϵ 和 μ	11
1.6 电极化和磁极化	12
1.7 导电媒质	14
单位和量纲	16
1.8 M. K. S. 制或乔吉制	16
电磁位	23
1.9 矢量位和标量位	23
1.10 均匀导电媒质	27
1.11 赫兹矢量或极化位	28
1.12 复数场矢量和复数位	31
边界条件	34
1.13 场矢量的不连续性	34
坐标系	37
1.14 么矢量和互易么矢量	38
1.15 微分算子	45
1.16 正交坐标系	48
1.17 广义正交坐标系中的场方程	51

IV

1.18 基本坐标系的特性	52
场张量	61
1.19 正交变换和正交变换中的不变量	61
1.20 张量分析基础	67
1.21 场方程的空-时对称性	72
1.22 洛伦兹变换	77
1.23 运动系上场矢量的变换	81
第二章 应力和能量	
弹性媒质中的应力和应变	87
2.1 弹性应力张量	87
2.2 应变的分析	91
2.3 弹性能及应力与应变的关系	97
电荷与电流上的电磁力	101
2.4 矢量 $\mathbf{E}$ 和 $\mathbf{B}$ 的定义	101
2.5 自由空间电磁场应力张量	102
2.6 电磁动量	109
静电能	110
2.7 静电能与电荷密度的关系	110
2.8 静电能与场强的关系	113
2.9 矢量场的一个定理	117
2.10 静电场中电介质物体的能量	118
2.11 汤姆生 (Thomson) 定理	121
2.12 恩绍 (Earnshaw) 定理	122
2.13 不带电导体的能量定理	123
静磁能	125
2.14 恒定电流的磁能	125
2.15 磁能与场强的关系	131
2.16 铁磁材料	132
2.17 静磁场中磁性物体的能量	133
2.18 永久磁体的位能	136
能流	138
2.19 坡印亭定理	138

2.20 复数坡印亨矢量	143
静电场中电介质上的力	146
2.21 流体中的体力	146
2.22 固体中的体力	148
2.23 应力张量	156
2.24 不连续表面	157
2.25 电致伸缩	159
2.26 浸没于流体中的物体上的力	161
静磁场中的力	163
2.27 非铁磁性物质	163
2.28 铁磁材料	166
电磁场中的力	167
2.29 流体中物体所受的力	167
第三章 静电场	
静电场的一般特性	171
3.1 场和位的方程	171
3.2 边界条件	174
由电荷分布计算场	176
3.3 格林定理	176
3.4 泊松方程的积分	177
3.5 无限远的特性	179
3.6 库仑场	181
3.7 积分的收敛性	182
电位的球谐展开	184
3.8 轴上的电荷分布	184
3.9 偶极子	187
3.10 轴多极子	189
3.11 任意电荷分布	191
3.12 多极子的一般理论	192
电介质的极化	197
3.13 矢量 $\mathbf{P}$ 和 $\mathbf{\Pi}$ 的解释	197
位理论中积分的不连续性	199

3.14 电荷与偶极矩的体分布	199
3.15 单层电荷分布	202
3.16 偶层分布	203
3.17 格林定理的解释	206
3.18 镜象法	208
边值问题	209
3.19 静电学问题的拟定	209
3.20 解的唯一性	211
3.21 拉普拉斯方程的解	212
球的问题	217
3.22 点电荷场中的导体球	217
3.23 点电荷场中的电介质球	220
3.24 平行场中的球	221
椭球问题	224
3.25 导电椭球上的自由电荷	224
3.26 平行场中的导电椭球	226
3.27 平行场中的电介质椭球	228
3.28 E 和 D 的腔内定义	231
3.29 作用在椭球上的力矩	233
习题	235
第四章 静磁场	
静磁场的一般特性	245
4.1 场方程和矢量位	245
4.2 标量位	246
4.3 泊松分析	248
电流分布的场的计算	250
4.4 毕奥-萨伐尔定律	250
4.5 矢量位的展开	254
4.6 磁偶极子	257
4.7 磁壳 (Magnetic Shells)	258
单位与量纲的补充	259
4.8 基本单位制	259



4.9 磁物质的库仑定律	262
磁化	263
4.10 等效电流分布	263
4.11 磁化棒和磁化球的场	264
矢量 $\mathbf{A}$ 和 $\mathbf{B}$ 的不连续性	266
4.12 面电流分布	266
4.13 磁矩的面分布	268
方程 $\nabla \times \nabla \times \mathbf{A} = \mu \mathbf{J}$ 的积分	272
4.14 格林定理的矢量对应式	272
4.15 在矢量位中的应用	273
边值问题	277
4.16 静磁学问题的拟定	277
4.17 解的唯一性	279
椭球问题	280
4.18 均匀磁化椭球的场	280
4.19 平行场中的磁化椭球	281
平行场中的圆柱	281
4.20 场的计算	281
4.21 圆柱上的作用力	285
习题	285
第五章 各向同性、无界媒质中的平面波	
平面波的传播	293
5.1 一维场方程	293
5.2 时间上简谐的平面波	298
5.3 空间上简谐的平面波	303
5.4 极化	304
5.5 能流	306
5.6 阻抗	307
一维波方程的一般解	310
5.7 傅里叶分析基础	310
5.8 无损耗媒质中一维波方程的通解	320
5.9 损耗媒质, 给定时间上的分布	325

5.10 损耗媒质, 给定空间上的分布	330
5.11 数字阵列的讨论	334
5.12 拉普拉斯变换的理论基础	340
5.13 拉普拉斯变换在麦克斯韦方程中的应用	351
色散	354
5.14 电介质中的色散	354
5.15 金属中的色散	359
5.16 在电离大气中的传播	361
传播速度	364
5.17 群速	364
5.18 波前速度和信号速度	367
习题	374

第六章 柱面波

柱面场方程	385
6.1 赫兹矢量的表示法	385
6.2 标量位和矢量位	388
6.3 简谐柱面场的阻抗	391
圆柱波函数	392
6.4 基本波	392
6.5 函数 $Z_p(\rho)$ 的特性	394
6.6 圆柱波函数的场	397
波函数的积分表示式	399
6.7 平面波解答的合成	399
6.8 函数 $Z_0(\rho)$ 的积分表示式	403
6.9 傅里叶-贝塞尔积分	408
6.10 平面波表示式	411
6.11 圆柱波函数的加法定理	412
椭圆柱波函数	415
6.12 基本波	415
6.13 积分表示式	421
6.14 平面波和圆柱波的展开	426
习题	429

第七章 球面波

矢量波方程	437
7.1 基本解系	437
7.2 在柱坐标中的应用	440
球坐标中的标量波方程	445
7.3 基本球波函数	445
7.4 径向函数的特性	451
7.5 勒让德多项式的加法定理	454
7.6 平面波展开	456
7.7 积分表示式	458
7.8 傅里叶-贝塞尔积分	460
7.9 柱波函数的展开	461
7.10 $z_0(kR)$ 的加法定理	462
球坐标矢量波方程	463
7.11 球矢量波函数	463
7.12 积分表示式	466
7.13 正交性	467
7.14 矢量平面波的展开	469
习题	471

第八章 辐射

非齐次标量波方程	476
8.1 基尔霍夫积分法	476
8.2 推迟位	481
8.3 推迟赫兹矢量	483
多极子展开	484
8.4 矩的定义	484
8.5 电偶极子	488
8.6 磁偶极子	491
线天线系的辐射理论	493
8.7 单根直线振子的辐射场	493
8.8 行波辐射	500
8.9 交替倒相的抑制	501

X

8.10 强方向性阵	505
8.11 直线阵子场的精确计算	511
8.12 计算辐射电阻的电动势法	515
基尔霍夫-惠更斯原理	518
8.13 标量波函数	518
8.14 场方程的直接积分	522
8.15 不连续的表面分布	526
辐射问题的四维公式	530
8.16 波方程的积分	530
8.17 运动点电荷的场	533
习题	537
第九章 边界值问题	
一般定理	544
9.1 边界条件	544
9.2 解的唯一性	548
9.3 电动力学的相似原理	550
平面上的反射和折射	551
9.4 斯耐尔定律	551
9.5 菲涅耳方程	553
9.6 电介质媒介	557
9.7 全反射	560
9.8 导电媒质的折射	563
9.9 导体表面的反射	568
平板	575
9.10 反射与透射系数	575
9.11 在电介质中的应用	578
9.12 吸收层	579
表面波	581
9.13 复数入射角	581
9.14 集肤效应	585
沿圆柱体的传播	589
9.15 本征模	589