

电磁场与波

[美] R. V. 朗 穆 著



国防工业出版社

53.67
441

电 磁 场 与 波

[美] R. V. 朗 穆 著

甘 本 祓 译

吴 万 春 校

Handwritten scribble



国防工业出版社
1966.4.13
1966

內 容 簡 介

本书較全面而簡练地討論了宏观电磁理論的基本問題。对于穩态場和交变場中用到分离变量法的場合，作者特別詳細地进行了討論和举例。在各章末都有一些作为該章討論問題的延續和应用的习题。书后对电磁理論有关的常用参考书作了簡單的評价，并列有数学附录供不熟悉者参考。

本书可供无綫电等专业师生和有关工程技术人員参考。

ELECTROMAGNETIC FIELDS AND WAVES

[美] Robert V. Langmuir

McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC 1961

电 磁 場 与 波

甘 本 祓 譯

吳 万 春 校

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印裝

850 × 1168 $\frac{1}{32}$ 印張 7 $\frac{1}{4}$ 184 千字

1966 年 3 月第一版 1966 年 3 月第一次印刷 印数：0,001—3,300册

統一书号：15034·1081 定价：(科六) 1.10 元

目 录

第一章 靜电学概論	7
1.1 庫侖定律	7
1.2 用直接矢量积分解題	8
1.3 标位	10
1.4 高斯定理	12
1.5 用高斯定理解題	13
1.6 导体、鏡像問題	14
1.7 电容	18
1.8 高压同軸綫的最佳尺寸	20
习题	21
第二章 拉普拉斯方程	23
2.1 散度定理和泊松方程	23
2.2 直角座标中拉普拉斯方程的特解	26
2.3 直角座标中的例題：傅立叶級数	29
2.4 迭加法	36
2.5 高斯定理与級数解	38
2.6 球座标中的拉普拉斯方程	45
2.7 偶极子	50
2.8 柱座标中的拉普拉斯方程	52
习题	57
第三章 介电現象	62
3.1 介电媒质	62
3.2 矢量的微分法、极化媒质的电位	62
3.3 介电媒质的边界条件	65
3.4 介质問題举例	66
3.5 介质鏡像問題	69

习题	71
第四章 磁学	73
4.1 比奥-薩伐尔定律, 单位制	73
4.2 用矢量积分法解题	75
4.3 常用的方法	75
4.4 B的散度	75
4.5 B的旋度	76
4.6 安培定律的另一种推导法	79
4.7 圓綫圈的磁場	81
4.8 边界条件	83
4.9 几个例题	84
4.10 似穩場以及靜电問題和靜磁問題間的关系	89
习题	90
第五章 磁性媒质	92
5.1 磁性媒质的种类	92
5.2 磁位, B和H	93
5.3 磁性媒质的边界条件, 例题	96
5.4 磁鉄設計	99
习题	100
第六章 麦克斯韦方程	102
6.1 法拉第定律	102
6.2 电感	104
6.3 电場和磁場中的儲能	106
6.4 位移电流	108
6.5 麦克斯韦方程組	110
6.6 波动方程	111
习题	113
第七章 电磁波	115
7.1 E和H的波动方程	115
7.2 平面波	116
7.3 坡印亭定理	119
习题	120

第八章 矩形波导	122
8.1 横分量的标位	123
8.2 波导中的阻抗	125
8.3 波导的边界条件	126
8.4 直角坐标中波动方程的解	128
8.5 相速和群速	132
8.6 波导波型	133
8.7 TE_{10} 波	134
8.8 两平行板间波的传输	136
8.9 波导壁上的电流	137
8.10 截止下的波	138
习题	140
第九章 集肤效应和波导中的损耗	142
9.1 涡流方程	142
9.2 集肤效应	143
9.3 波导中的铜损耗	145
9.4 典型例题	147
9.5 脉冲变压器硅钢片中的瞬时涡流	148
习题	151
第十章 横电磁波	153
10.1 TEM波	153
10.2 同轴线	154
10.3 传输线上的行波和驻波	156
10.4 用四分之一波长短路线作为谐振器	158
10.5 最佳同轴线	160
10.6 应用分布参数的传输线理论	161
习题	162
第十一章 球坐标中波动方程的解和元天线	164
11.1 球坐标中波动方程的解	164
11.2 球面波	167
11.3 简单天线	170
习题	172

第十二章 空腔和圆柱形波导	173
12.1 矩形空腔	173
12.2 空腔的Q值	178
12.3 其他形状的空腔	181
12.4 圆柱形波导中波的传播	182
12.5 同轴綫中的高次波型	187
12.6 圆柱形空腔	187
12.7 空腔的耦合	189
习题	192
第十三章 电波传播中的一些問題	194
13.1 平面波的反射和折射	194
13.2 全反射	200
13.3 在各种频率上介质和导体的性能	201
13.4 表面导行波	208
13.5 电离层传播	211
13.6 沿介质棒的导行波	214
习题	215
参考书目	216
附录	218
A. 梯度和綫积分	218
B. 矢量分析簡述	219
C. 斯托克斯定理	220
D. 正交曲綫坐标中的矢量运算	221
E. 唯一性定理	225
F. 勒让德多項式	226
G. 貝塞尔函数和汉克尔函数	227
H. 傅立叶級数展开	230

53.67
441

电 磁 场 与 波

[美] R. V. 朗 穆 著

甘 本 祜 译

吴 万 春 校

Handwritten scribble



国际
1966.4.13
1966
科学出版社

內 容 簡 介

本书較全面而簡练地討論了宏观电磁理論的基本問題。对于穩态場和交变場中用到分离变量法的場合，作者特別詳細地进行了討論和举例。在各章末都有一些作为該章討論問題的延續和应用的习题。书后对电磁理論有关的常用参考书作了簡單的評价，并列有数学附录供不熟悉者参考。

本书可供无綫电等专业师生和有关工程技术人員参考。

ELECTROMAGNETIC FIELDS AND WAVES

[美] Robert V. Langmuir

McGRAW-HILL BOOK COMPANY, INC 1961

电 磁 場 与 波

甘 本 祓 譯

吳 万 春 校

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业營業許可証出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

国防工业出版社印刷厂印裝

850 × 1168 $\frac{1}{32}$ 印張 7 $\frac{1}{4}$ 184 千字

1966 年 3 月第一版 1966 年 3 月第一次印刷 印数：0,001—3,300册

統一书号：15034·1081 定价：(科六) 1.10 元

目 录

第一章 靜电学概論	7
1.1 庫侖定律	7
1.2 用直接矢量积分解題	8
1.3 标位	10
1.4 高斯定理	12
1.5 用高斯定理解題	13
1.6 导体、鏡像問題	14
1.7 电容	18
1.8 高压同軸綫的最佳尺寸	20
习题	21
第二章 拉普拉斯方程	23
2.1 散度定理和泊松方程	23
2.2 直角座标中拉普拉斯方程的特解	26
2.3 直角座标中的例題：傅立叶級数	29
2.4 迭加法	36
2.5 高斯定理与級数解	38
2.6 球座标中的拉普拉斯方程	45
2.7 偶极子	50
2.8 柱座标中的拉普拉斯方程	52
习题	57
第三章 介电現象	62
3.1 介电媒质	62
3.2 矢量的微分法、极化媒质的电位	62
3.3 介电媒质的边界条件	65
3.4 介质問題举例	66
3.5 介质鏡像問題	69

习题	71
第四章 磁学	73
4.1 比奥-薩伐尔定律, 单位制	73
4.2 用矢量积分法解题	75
4.3 常用的方法	75
4.4 B的散度	75
4.5 B的旋度	76
4.6 安培定律的另一种推导法	79
4.7 圓綫圈的磁場	81
4.8 边界条件	83
4.9 几个例题	84
4.10 似穩場以及靜电問題和靜磁問題間的关系	89
习题	90
第五章 磁性媒质	92
5.1 磁性媒质的种类	92
5.2 磁位, B和H	93
5.3 磁性媒质的边界条件, 例题	96
5.4 磁鉄設計	99
习题	100
第六章 麦克斯韦方程	102
6.1 法拉第定律	102
6.2 电感	104
6.3 电場和磁場中的儲能	106
6.4 位移电流	108
6.5 麦克斯韦方程組	110
6.6 波动方程	111
习题	113
第七章 电磁波	115
7.1 E和H的波动方程	115
7.2 平面波	116
7.3 坡印亭定理	119
习题	120

第八章 矩形波导	122
8.1 横分量的标位	123
8.2 波导中的阻抗	125
8.3 波导的边界条件	126
8.4 直角坐标中波动方程的解	128
8.5 相速和群速	132
8.6 波导波型	133
8.7 TE_{10} 波	134
8.8 两平行板间波的传输	136
8.9 波导壁上的电流	137
8.10 截止下的波	138
习题	140
第九章 集肤效应和波导中的损耗	142
9.1 涡流方程	142
9.2 集肤效应	143
9.3 波导中的铜损耗	145
9.4 典型例题	147
9.5 脉冲变压器硅钢片中的瞬时涡流	148
习题	151
第十章 横电磁波	153
10.1 TEM波	153
10.2 同轴线	154
10.3 传输线上的行波和驻波	156
10.4 用四分之一波长短路线作为谐振器	158
10.5 最佳同轴线	160
10.6 应用分布参数的传输线理论	161
习题	162
第十一章 球坐标中波动方程的解和元天线	164
11.1 球坐标中波动方程的解	164
11.2 球面波	167
11.3 简单天线	170
习题	172

第十二章 空腔和圆柱形波导	173
12.1 矩形空腔	173
12.2 空腔的Q值	178
12.3 其他形状的空腔	181
12.4 圆柱形波导中波的传播	182
12.5 同轴綫中的高次波型	187
12.6 圆柱形空腔	187
12.7 空腔的耦合	189
习题	192
第十三章 电波传播中的一些問題	194
13.1 平面波的反射和折射	194
13.2 全反射	200
13.3 在各种频率上介质和导体的性能	201
13.4 表面导行波	208
13.5 电离层传播	211
13.6 沿介质棒的导行波	214
习题	215
参考书目	216
附录	218
A. 梯度和綫积分	218
B. 矢量分析簡述	219
C. 斯托克斯定理	220
D. 正交曲綫坐标中的矢量运算	221
E. 唯一性定理	225
F. 勒让德多項式	226
G. 貝塞尔函数和汉克尔函数	227
H. 傅立叶級数展开	230

第一章 靜电学概論

靜电学是研究不随時間变化的电場的一門科学。

經典电磁学所研究的对象尺度远比原子尺度为大，因此，不必考虑由于原子的实际結構所引起物质的微粒性，而是把各种电磁量在較原子尺度为大的区域内取平均，所得答案也仅在此条件下有效。

电磁理論的論述是以某些假說或实验为基础的。这方面的高等教科书中常假設麦克斯韦 (Maxwell) 方程为正确，并考察由此所得的結論。若結論与实验一致，則认为假說成立，反之則否。

在本书中，以实验室中所做的某些实验結果为前提。即在靜电学的开始給出物理实验〔例如庫侖 (Coulom) 定律〕的結果；在磁学的开始給出描写恒定电流間相互作用的定律〔比奧-薩伐尔 (Biot-Savart) 定律〕。然后再由这些基本实验推出結論，以构成理論的主体。当然，选择那些实验作为理論基础是有一定自由度的，通常我們选那些便于作深入探討的实验。

1.1 庫侖定律

实验发现：有两种力可以作用于带电质点上，即电力和磁力。此实验定律的表示式为

$$\mathbf{F} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad (1)$$

这叫做洛侖茲 (Lorentz) 方程。公式中用的单位是有理化米·千克·秒单位制 (mks 单位制)，其中作用力 F 的单位是牛頓，使 1 千克的质量产生 1 重力加速度 ($g = 9.8 \text{ 米/秒}^2$) 的力为 9.8 牛頓，即 1 牛頓为 0.22 磅重，或約等于作用在一个小苹果上的重

力；电荷 q 的单位为庫侖（1庫侖/秒 = 1 安培）。

这里所用的电磁学单位制（米·千克·秒·安培制或 mksa 制），在沒有参考磁学实验之前还不能完全确定，因为安培的定义以及磁力（ $q\mathbf{v} \times \mathbf{B}$ ）都要在磁学那章才讲。但是 q 和 \mathbf{E} 的单位必須选择得使力的单位为牛頓。当我们用安培来规定 q ，由（1）式可得出 \mathbf{E} 的量綱为伏特/米。

现在我们来研究两带电荷质点間的作用力。实验发现：相距为 r 的两点电荷 q_1 和 q_2 間相互作用力可由庫倫定律表示为

$$\mathbf{F} = \frac{q_1 q_2 \mathbf{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3} \quad (2)$$

因此 q_2 对单位正电荷的作用力为

$$\mathbf{F} = \mathbf{E} = \frac{q_2 \mathbf{r}}{4\pi\epsilon_0 r^3} \quad (3)$$

而作用在任意电荷 q 上的力为

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} \quad (4)$$

当电荷的单位为庫侖（它由安培确定），作用力的单位为牛頓時， ϵ_0 为一实验常数。在 mks 单位制中真空的 ϵ_0 值为 8.85×10^{-12} 法拉/米。“法拉/米”的意义在討論电容后就能明确。公式中的 4π 是使用了有理化单位制的結果，并且仅仅是为了計算的方便。电荷的符号按照常规取电子的电荷为負。当把 mks 单位制用到电磁学中时，还必须选择一个任意的电学单位，通常选 q 的单位为这样的单位。但是在第四章中我们将要看到，由于安培的实验测量更为直接，故用安培更实际些。

在磁学那章里我们再来全面討論单位問題。

1.2 用直接矢量积分解題

将上述简单的实验定律和普通的矢量代数定律一起使用，我们就能解决靜电学中許多常用的問題，虽然这个解答可以更容易地用高斯（Gauss）定理和电位的概念得到，但用简单的矢量运算所得到的物理形象却是非常有用的。现在我们来举几个应用上

述概念的例题。

例 1 一无限长线电荷，其线电荷密荷为 σ 库仑/米，试求离其 R 处的电场。

解 如图 1.2 a 所示在 x 处的电荷元 σdx 所产生的电场为 $\sigma dx / 4\pi\epsilon_0 r^2$ ，方向为 F_1 ；而在观察点上边对应的电荷元产生一大小相等、方向为 F_2 的电场，两者相加则得方向为径向 F_r 的合成场。故总电场的方向为径向，它是所有电荷元产生电场的矢量和，并可用下面标量积分代替，即

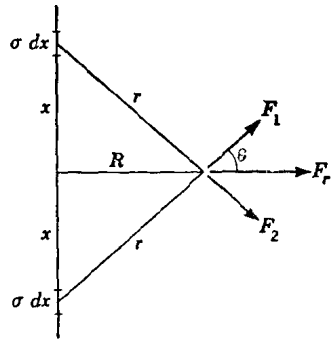


图 1.2 a 线电荷的电场

$$E_r = 2 \int_0^{\infty} \frac{\sigma dx \cos \theta}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (1)$$

因为 $r = \sqrt{x^2 + R^2}$ 及 $\cos \theta = R/r$ ，故

$$\begin{aligned} E_r &= \frac{\sigma R}{2\pi\epsilon_0} \int_0^{\infty} \frac{dx}{(x^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\sigma R}{2\pi\epsilon_0} \frac{x}{R^2(x^2 + R^2)^{1/2}} \Big|_0^{\infty} \\ &= \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0 R} \text{伏特/米} \end{aligned} \quad (2)$$

例 2 一均匀带电的无限大平面，其面电荷密度为 σ 库仑/米²，求该平面前 R 处的电场。

解 以平面上与观察点的相对点为圆心，以 x 为半径作一环形电荷元，根据对称，此环形电荷元的电场方向垂直于带电平面。故总电场的大小为

$$\begin{aligned} E &= \int_0^{\infty} \frac{2\pi\sigma x dx}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cos \theta = \frac{\sigma R}{2\epsilon_0} \int_0^{\infty} \frac{x dx}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \\ &= \frac{\sigma R}{2\epsilon_0} \frac{-1}{(x^2 + R^2)^{1/2}} \Big|_0^{\infty} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \text{伏特/米} \end{aligned} \quad (3)$$

例 3 一半径为 R 的球面上分布有面电荷，其密度为 $\sigma = -P \cos \theta$ ，其中 θ 为球坐标的极角。求球心处的电场。

解 这个问题看起来似乎是虚构的,但在第 13 章中讨论液体和固体的色散时,却要用到它的解答。由图 1.2c 可见,在极轴方向上只有 E_z , 故我们可取 E 的 z 分量来计算,即

$$E_z = \int_0^\pi \frac{P \cos \theta \cos \theta 2\pi R \sin \theta R d\theta}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$

$$= \frac{P}{3\epsilon_0} \text{ 伏特/米} \quad (4)$$

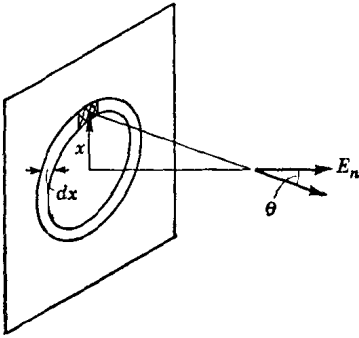


图1.2b 平面电荷的电场

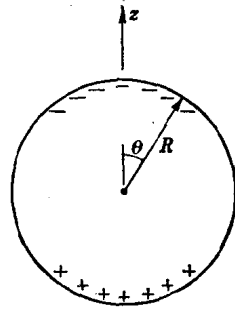


图1.2c 介质中球形腔中心的电场

必须注意,上面几个例题本来都要用矢量积分求解的,但由于每种情况都有足够对称性存在,使得电场方向可以直观看出,于是实际工作就简化为标量积分。但在更复杂的问题中是不可能这样做的,必须用矢量积分求解,因而问题变得更为困难。此外,在上面的问题中都假定电荷的分布是已知的,但在有大导体存在的情况下这是不可能的。所有这一切都要求不用矢量而要找出一个标量来求解静电问题,这就是标位的用处。

1.3 标 位

在附录 A 中我们指出,“对位置的标量函数求梯度”的矢量运算可得到一个矢量场。这种运算记为 $\nabla\phi$, 其中 ϕ 为标量函数。在附录 A 中还证明它有如下性质: