

# 电磁场,电磁能和电磁力

[美] R. M. 范诺等 著



上海科学技术出版社

---

# 电磁場, 电磁能和电磁力

---

[美] R. M. 范諾等 著  
王石安 虞厥邦 譯  
謝 处 方 校

上海科学技术出版社

## 內 容 提 要

本书从宏观上研究了电磁場,电磁能和电磁力,以及場理論和电路理論之間的关系。全书共分十章。第一到第三章討論麦克斯韦方程組,并介紹必需的矢量分析知識;第四到第六章討論靜态場和时变場;第七和第八章介紹电磁能量和功率流的概念,并把它应用到电路元件;在最后两章中,把宏观場定律和有关的功率和能量的討論扩大到具有相对运动的物质的系統中。

本书可供电信、电机专业的高等院校师生及有关工程技术人员作参考。

书中第一至第六章由王石安翻譯;第七至第十章由虞厥邦翻譯。全书由謝处方担任校閱。

## ELECTROMAGNETIC FIELDS, ENERGY AND FORCES

R. M. Fano, L. J. Chu and R. B. Adler

John Wiley & Sons, Inc., 1960

## 电磁場,电磁能和电磁力

王石安 虞厥邦 譯

謝 处 方 校

---

上海科学技术出版社出版 (上海瑞金二路 450 号)  
上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

---

上海新华印刷厂印刷 新华书店上海发行所发行

---

开本 787×1092 1/23 印张 19 5/23 排版字数 400,000  
1965 年 8 月第 1 版 1965 年 8 月第 1 次印刷  
印数 1—2,600

統一书号 15119·1816 定价(科六) 2.40 元

本书是美国馬省理工大学最近一次改革电机工程課程所产生的几本书之一。这些书正在作教材使用。但是，把它們看成是旨在改革大学电机工程方面核心課程的研究計劃报告，也許适当些。这些书所构成的基础，将适应日益发展的工作要求。

馬省理工大学发展电机工程的教学計劃以适应工程技术方面的变化，并不是个新的尝试。在1930年初，系的教授会曾对重新审查和重新评价本系的教学計劃进行了較多的工作。到1940年，制訂了一系列新的課程，并出版了四本有关的书。

第二次世界大战期間出現的新工程技术，使电机工程的領域发生了巨大的变化。针对这个情况，系的教授会对本系的教学計劃又进行了另一个重新评价的工作。大致到1952年，新課程草案产生了，并以高度的热情和毅力付诸实施。

新課程中附有环繞工业实践的范围而制訂的选课計劃，以加强一个共同的核心，使科学在工程上的应用提供广闊的基础。这个核心計劃包括新近发展的實驗室課程，加强了实验的作用，并解决工程問題时，強調它同理論模型的关系。面对着四年学士学位制教学計劃的时间限制，整个核心課程优先考虑基本的理論和分析方法，把介紹通用工程技术的讲授放在次要地位。

J. A. Stratton

近十年間，电机工程領域中的空前发展和迅速变革，向教育界提出了挑战；为了应付这种需要，馬省理工大学电机系内进行了通力协作，而这本书可作为这种努力的部分証据。通过大家的努力，編出了包括大約八門主科的大学“核心課程”，其目的在于构成一个宽广的基础，使每一个学生能据此在他以后所选定的分支学科中获得专业知識。

在六年前制定这些核心課程的計劃时，很快就一致认为，学生在电路理論中的預备知識，应该用同样透彻的电磁学的預备知識来加以补充，而这些电磁学的預备知識应该多于大学二年級物理課中电学和磁学部分所能包含的內容。經過长时期的反复試驗，更縝密地确定了課程內容，并发展出合适的讲授方法。

反复試行的結果产生了兩門主要討論电磁場理論的課程：三年級第一学期的电磁場、电磁能和电磁力的課程，是以本教材所提出的內容为基础的，而四年級第一学期讲授的电磁能的傳輸和輻射課程，是以另一本教材<sup>†</sup>的內容为基础。

本教材的原稿是讲义的第四版。在編写时，其內容經過不断的充实和多次讲授，并曾迅速付印，以供大量学生的使用。虽然，同初版讲义相比較，除其中一小部分外，这分原稿已經面目全非，但是我們仍希望讀者对书中（它是一系列原稿中的最后一次修訂本）仍然存在的缺点給予諒解。

作 者 1959年8月

<sup>†</sup> Adler, Chu, Fano, *Electromagnetic Energy Transmission and Radiation*, John Wiley & Sons, 1960. [中譯本：电磁能的傳輸和輻射，上海科学技术出版社，1965年.]

## 前 言

## 原 序

## 緒 論 ..... ( 1 )

## 第一章 自由空間的积分定律 ..... ( 6 )

## 1.1 基本假設和定义的复习 ..... ( 7 )

## 1.2 对流电流和傳导电流 ..... ( 10 )

## 1.3 自由空間內的場方程 ..... ( 11 )

## 1.4 积分定律的应用和限制 ..... ( 14 )

## 1.5 把物质作为場源 ..... ( 17 )

## 1.6 提要 and 結論 ..... ( 19 )

## 参考文选 ..... ( 20 )

## 习题 ..... ( 21 )

## 第二章 矢量分析 ..... ( 23 )

## 2.1 矢量及矢量加法 ..... ( 23 )

## 2.2 矢量乘法 ..... ( 25 )

## 2.3 正交坐标 ..... ( 28 )

## 2.4 綫积分、面积分和体积分 ..... ( 33 )

## 2.5 梯度 ..... ( 40 )

## 2.6 散度及高斯定理 ..... ( 44 )

## 2.7 旋度及斯托克斯定理 ..... ( 48 )

## 2.8 其他定理\* ..... ( 53 )

## 2.9 提要 and 結論 ..... ( 58 )

## 参考文选 ..... ( 60 )

## 习题 ..... ( 60 )

## 第三章 自由空間的微分定律 ..... ( 63 )

## 3.1 自由空間的麦克斯韦場方程組 ..... ( 63 )

3.2 面电荷和面电流	(66)
3.3 边界条件	(68)
3.4 自由空间和线性导体内场的分类	(71)
3.5 电偶极子	(73)
3.6 磁偶极子	(78)
3.7 摘要和结论	(80)
习题	(81)
<b>第四章 静态场</b>	<b>(83)</b>
4.1 静止电荷的库仑场	(84)
4.2 电荷奇异点及其应用*	(88)
4.3 标量位的微分方程	(94)
4.4 矢量位及其微分方程	(96)
4.5 电流奇异点*	(99)
4.6 拉普拉斯方程的一般性质	(103)
4.7 直角坐标系内拉普拉斯方程的二维解	(107)
4.8 极坐标系内拉普拉斯方程的二维解	(112)
4.9 直角坐标系内拉普拉斯方程的三维解	(116)
4.10 球面坐标系内拉普拉斯方程的解	(119)
4.11 摘要和结论	(121)
参考文献选	(122)
习题	(123)
<b>第五章 场和物质</b>	<b>(125)</b>
5.1 微观场和宏观场	(127)
5.2 极化物质的宏观模型	(128)
5.3 磁偶极子的电流模型和磁荷模型	(134)
5.4 磁化物质的宏观模型	(138)
5.5 物质内的宏观麦克斯韦方程组	(140)
5.6 边界条件	(144)
5.7 组成关系	(145)
5.8 永久极化物体的电场的例子	(149)
5.9 线性介电材料和线性磁性材料中的场	(150)
5.10 磁路	(155)
5.11 场综合的例子*	(161)
5.12 摘要和结论	(166)
参考文献选	(167)

习题 .....	(167)
<b>第六章 时变場 .....</b>	<b>(169)</b>
6.1 静态場和时变場 .....	(169)
6.2 时变率参量 .....	(171)
6.3 时变率参量中的冪級数 .....	(175)
6.4 冪級数解的例子 .....	(179)
6.5 作为准靜近似的电路理論 .....	(186)
6.6 多端导体* .....	(192)
6.7 多导体电容系統* .....	(196)
6.8 电感場的例子 .....	(199)
6.9 多繞圈系統* .....	(206)
6.10 电压的概念和基尔霍夫定律 .....	(209)
6.11 提要 and 結論 .....	(212)
习题 .....	(213)
<b>第七章 电磁能和功率 .....</b>	<b>(214)</b>
7.1 电磁力 .....	(215)
7.2 坡印廷定理 .....	(219)
7.3 电能和极化能量 .....	(223)
7.4 磁能和磁化能量 .....	(227)
7.5 功率流和导体中的損耗 .....	(232)
7.6 功率的电路概念 .....	(234)
7.7 带电导体系統的能量* .....	(236)
7.8 多端导体中的功率* .....	(240)
7.9 多繞組系統中的能量* .....	(242)
7.10 对于电流模型的坡印廷定理* .....	(248)
7.11 提要 and 結論 .....	(250)
参考文献 .....	(251)
习题 .....	(252)
<b>第八章 正弦稳态 .....</b>	<b>(254)</b>
8.1 場的复数表示法 .....	(254)
8.2 复坡印廷定理 .....	(257)
8.3 阻抗、功率和能量 .....	(261)
8.4 $\omega$ 的冪級数 .....	(264)
8.5 一个电容器的頻率行为 .....	(268)
8.6 一个电感繞圈的頻率行为 .....	(273)



8.7 一个电阻器的频率行为	(278)
8.8 趋肤效应	(285)
8.9 多端网络*	(294)
8.10 摘要和结论	(300)
参考文献	(300)
习题	(301)
<b>第九章 存在运动物质时的电磁场</b>	<b>(303)</b>
9.1 场和运动物质之间的相互作用	(304)
9.2 极化电流和极化电荷	(306)
9.3 磁化电流和磁荷	(312)
9.4 运动物质中的宏观麦克斯韦方程组	(312)
9.5 运动物质的组成关系	(313)
9.6 以时变率参量表达的幂级数	(315)
9.7 导体在磁场中的匀速运动(幂级数法)	(318)
9.8 导体在磁场中的匀速运动(直接求解法)	(325)
9.9 同极发电机的一个模型*	(328)
9.10 摘要和结论	(335)
参考文献	(337)
习题	(337)
<b>第十章 运动系统中的力和能</b>	<b>(339)</b>
10.1 电磁力、应力和动量	(339)
10.2 坡印廷定理的一个推广	(344)
10.3 静态力和虚功	(347)
10.4 计算静态力的例子	(350)
10.5 由于导体在磁场中作匀速运动而引起的能量变换	(354)
10.6 同极发电机模型中的能量变换*	(358)
10.7 摘要和结论	(362)
参考文献	(362)
习题	(363)
<b>附 录</b>	<b>(365)</b>
1. 电动力学的四维表示法	(365)
A1.1 引言	(365)
A1.2 狭义相对论的概念	(366)
A1.3 运动学	(373)
A1.4 物质的标量、矢量及张量	(383)

A1.5 电磁场张量 .....	(388)
A1.6 力矢量和电磁应力张量 .....	(395)
A1.7 组成关系 .....	(405)
A1.8 提要 .....	(407)
参考文献选 .....	(410)
2. 单位和量纲 .....	(410)
3. 正交坐标系中的微分算符 .....	(413)
4 公式集成 .....	(415)
索引 .....	(417)

本教材是为馬省理工大学电机系三年級学生写的。我們想把它建立在两年物理学（包括整个一学期的电学和磁学）、两年数学和連續两学期电路理論的基础上。本书并不需要任何矢量分析或偏微分方程的預备知識。教材的内容是沿着两条交織的思路組織起来的，这两条交織的思路相应于本书的两个主要目标，正如即将要概略介紹的，这就是树立統一的宏观电磁学理論以及探索电路理論和場理論之間的关系。

本教材是从大部分大学二年級物理課將結束的地方开始的，即从积分形式的麦克斯韦方程組开始。我們把麦克斯韦方程組和作用在运动电荷上洛倫茲力的表达式，假设为电磁学的定律。洛倫茲力的表达式以作用在电荷上的力来表述电場和磁場的定義，而麦克斯韦方程組則說明这两个場彼此之間的依賴关系，还說明两个場对存在于空間的电荷和电流的依賴关系。从宏观的观点，电荷本身可看成是在空間內連續分布的，即不考虑基本电子电荷的离散特性。

从这些基本假設出发，电磁学理論將沿四个步骤来依次闡述。首先从积分形式的麦克斯韦方程組出发，对单独由自由电荷和自由电流形成的电磁場，推导出相应的微分形式的麦克斯韦方程組以及有关的边界条件。必需的矢量分析，由单独一章介紹，作为預备知識。

其次討論駐定物质作为場源的作用。这里將証明，极化物质的存在可宏观地用适当分布的电荷和电流来研究，这些电荷和电流分別是极化矢量（即分子电偶极子矩的宏观密度）对空間依賴性和对時間依賴性的函数。同样可以証明，磁化物质可以宏观地用适当分布的磁荷和磁流来代表，这些磁荷和磁流分別是磁化矢量（即分子磁偶极矩的宏观密度）对空間依賴性和時間依賴性的函数。讀者須一再記着，象自由电荷和电流

那样的孤立磁荷和磁流，从来没有通过实验观察到过。磁荷和磁流只是用来作为数学上方便的数量，借以描述作为场源的磁偶极子的分布情况；在理論上抛弃磁荷和磁流的概念，不致产生任何实质性的改变，而代价是牺牲宏观场定律的方程在数学上的简单性。

在宏观场定律中考慮磁化物质的方式，以及相应地选择磁场强度  $H$  而不选择磁通密度  $B$  作为基本的磁矢量，就构成了本书同大多数其他书籍在电磁学叙述上的根本差别。为了同时保持理論上的内在协调以及理論和实验结果的一致性，这种差别看来是必要的。这里所提出的叙述系统中，在下列各种场量之間作了鮮明的区别：即电场强度  $E$  和磁场强度  $H$  之間，各物质（或场源）量之間（即自由电（磁）荷密度，自由电（磁）流密度，代表物质宏观电磁状态的极化矢量和磁化矢量）。电通密度  $D$  和磁通密度  $B$  看成沒有多大物理意义的混合矢量，在某些特殊情况下，只是为了数学上的方便才使用它們。

电磁场对物质电磁状态的影响，即对物质的极化、磁化和导电作用的影响，取决于物质的微观结构。为此，在本教材中，对于用电磁场来表述物质电磁状态的組成关系只限于經驗的角度，即作为从实验上得到的关系来加以討論。

理論闡述的第三步是介紹电磁能量和功率流的概念。首先指出：从实验观察到的作用于运动电荷和磁偶极子上的力，暗示着类似于作用在运动电荷上的洛倫兹力，也存在作用于运动磁荷的力。然后利用洛倫兹力和它的磁模拟，把所謂坡印廷定理——麦克斯韦方程組的直接結果——的表达式理解为电磁场的能量守恒定律。表达式中的三項証实为物质由于导电而消耗掉的功率，或由于它的极化和磁化状态的变动而吸收的功率。其余各項只是  $E$  和  $H$  的函数，而可理解为代表场内儲藏的电磁能量的时变率和电磁功率流。

第四步，也是最后一步，将宏观场定律和有关的功率和能量的概念扩大到含有处于相对运动的物质的系統中去。这里証明，极化物质的运动可以用額外的电流分布来代表，这种电流分布是速度场和极化矢量对空間变化的函数。磁化物质的运动用类似的磁流分布来代替。相应的广义的坡印廷定理包括一个附加項，它等于每一物质晶粒的速度和作用于其

上的电磁力密度的乘积。不难証实，这一項就是从电磁形式变换为机械形式(或反之)的功率密度。最后証明：可从广义的坡印廷定理得到計算作用于剛体上电磁力的虛功法。

将宏观場定律和有关的能量关系扩大到含有相对运动的物质系統时，并没有引入任何狭义相对論的概念。在場定律或广义的坡印廷定理中，都沒有采用低速近似法。只在从靜止物质的組成关系推导运动物质的組成关系时，才假定所討論物体的速度必須比光速小得多。为了完整性起見，在附录 1 中介绍了这一理論的相应的四維相对論表示法，并把它同其他教材中出現的两种不同的表示法作了比較。

这本书的第二个主要目标是研究电路理論和場理論之間的关系。在闡述电磁学理論的同时把它提出来的理由是，除了問題本身确有意义和有用之外，它还提供大量实例。

对于理想化元件組成的网络，电路理論討論了各个电压和电流的行为，而每一个理想化元件的特性完全可由它两端的电压电流关系来表征。这样，电路理論除了考虑各元件彼此連接的方式之外，并不考虑实际电路的几何形状。正是这一事实表现了电路理論的优点和缺点。

一个簡單的例題就可使討論的問題落实下来。由導綫繞成的綫圈可以是一个电阻器、一个空心电感器、一个諧振元件、一副电视天綫、行波放大管的一部分螺旋綫、或者干脆就是鋼絲彈簧或螺旋起子。这一点决不是毫无意义的。它着重說明器件的实际外形和它的功能之間沒有——对应的关系，即使已知这器件是用来构成电磁場时也还是如此。在器件周圍空間观察到的电磁場的显著特性在很大程度上取决于激励的頻率。反过來說，場的特性又决定了器件在电磁系統中可能正常运行时的功能。当綫圈接到一个直流电源，或接到一个极低頻交流电源时，它在电路中的作用犹如一个电阻。对于稍高一些的頻率，它的行为主要受控于电流所形成的磁場，它的端特性同电路理論中所确定的电感的端特性非常相似。頻率再提高，導綫上电荷所形成的电場使儲能等于磁場中的儲能，这时綫圈的作用犹如一个諧振电路。最后，当相应于激励頻率的波长小于綫圈的尺寸时，綫圈可用来引导电磁波(例如在行波管中)或作为一根天綫。

这个簡單的例題着重指出将三个基本元件(即电阻、电容和电感)的特

性和电路功能同电磁場相应特性联系起来的重要性。分布元件系統(即傳輸綫)有关的場将在另一本书中討論(見第八章参考文选[2])。

把适当的电磁量展开为幂級数,就可研究場特性和各电路元件之間的关系,而仅求解靜态場問題,就可依次算出幂級数的相继各項。这些項随着它們所代表的电磁量时变率的增大而依次变得重要。然后利用这些級数展开式,証明电路理論中的基本元件——电阻、电容和电感——可从每一級数的前兩項所描述的准靜态电磁場得到。实际电路有关的杂散效应则是由高阶項产生的。事实上,在有些情况下,可以通过递推演算定出級数的所有各項,从而得到整个电磁場。

电路元件的性质分三步来依次研究。首先,一般地提出幂級数的方法,并逐个分析各种可能型式的准靜态場,并把它們同相应的各电路元件連系起来。其次,从能量的观点研究这些准靜态場,从而得到以电阻、电容和电感为一方,以功率損耗、儲藏电能和儲藏磁能为另一方之間的关系。利用同样的能量关系,对于可用上述类型元件的網絡代表的电磁系統,获得了互易定理的証明;同时还論証了網絡中所有元件的真实特性,但互感是例外。

最后,利用符号法研究了正弦稳态下准靜态場的行为。網絡的輸入阻抗(或导納)則用網絡內平均損耗功率、平均儲藏电能和平均儲藏磁能表述。这一表达式特別表明了从电路观点来看的諧振条件对应于網絡中平均儲藏电能和磁能相等的条件。此外,还証明了諧振电路的品质因数(即 $Q$ )等于角頻率和总平均儲能的乘积除以平均損耗的功率。其次,又証明了前面一般地推演出来的級数展开式,現在就变成頻率变量的幂級数。因此,級数的各相继項随着頻率的提高而依次变得重要,从而提供了研究电路元件頻率行为的一个方便方法。这些結果用額外的一些例子來說明,这些例子是代表各种电路元件的准靜态場的。这里根据对綫性、无源电磁系統的互易定理的証明,来結束对正弦稳态的討論,并由此通过对端电压和端电流所下的适当定义,推导电路理論中的一般互易定理。

从上面提供的一个輪廓显然知道,电磁学理論中各种特定边界值問題不是本书的目标。当然,之所以不包括这种經典論題的理由,是因为要牵涉到复杂的数学方法,而部分三年級学生对所遇到的特殊数学函数的

性质还不够熟悉。虽則是这样,为了提出足够类型的实例,书中仍不得不包括某些計算場的数学方法。第四章用来研究泊松方程和拉普拉斯方程的解的一般性质,并用来推演少数几类具有代表性的在二維和三維空間中拉普拉斯方程的解。

在拉普拉斯方程的非零解中,偶极子場是作为說明問題的例子而应用得最多。它首先出現在第三章中,作为电偶极子的場,其后在每一章中都用它来描述电場或磁場。在讀完本书之后,讀者應該彻底熟悉这一非常重要的場的性质,它是仅次于点电荷所构成的最簡單的場,而这場可由位于有限空間区域内的場源形成。

各个实例及其分析方法主要是根据两个指导原則挑选的。第一个原則是优先挑选数学上簡單的場,当然这种簡單程度还要使所討論的系統接近于工程實踐中所用的器件。最有意义的特性将直接用电磁場表現出来,而不用形成此电磁場的物质边界来表示。因此,从一个最簡單場的彻底研究(这个場能表現出有关的特性),比之对一个器件所必需进行的更多的定性研究,可以学到更多的东西,因为这些定性研究是为了滿足課題以外的实际要求的。

第二个指导原則是:在一个設計課題中,經常感到更为方便的是求出一个所需特性的場,然后圍繞它来設計出能够构成这种場的場源和媒质边界,而不是从某种媒质結構开始,据此确定所形成的場是否具有所需的特性。換句話說,綜合一个具有預定特性的电磁系統,比分析一个完全規定好的电磁系統,通常要容易一些。在本教材的主要部分也好,在各个实例中也好,都經常強調这种綜合观点。

最后輪到考虑在一个学期能否学完这些內容。对于可望深造的三年級或四年級学生,可以在一个学期内学完本教材的主要部分(不包括标有“\*”的几节和附录1)。对于一般程度的三年級或四年級学生,可以删去最后两章。除附录1外的整个教材,都适合于研究生的水平。附录1主要是作为高年級研究生和研究人員的参考;其中介紹了本书作者之一(朱兰成)新近提出的关于电磁学相对論的宏观學說。

## 自由空間的积分定律

十九世紀电磁学发展的同时,在观点上也产生了很显著的变化,从而有关的实验证据得到了解释,并相互联系在一起. 库仑定律的特性,即“超距作用”的原始观点,曾使人考虑到电磁性质的力,形成电荷对电荷以及磁极或电流元对其他磁极或电流元直接作用. 在十九世紀前半叶,法拉第就是第一人設想在电荷周圍空間充滿着“力綫”,表明各处作用在假想存在的正单位电荷上力的方向和量值(以其密度表示). 法拉第更进一步把空間(不論是空的或充有可极化物质)設想为处于应力下的彈性媒质,在沿力綫方向呈現拉力,而在垂直于力綫的所有方向則有挤压作用. 于是,电荷間的互作用力就可設想为被这样的媒质所“傳輸”.

法拉第的思想路綫,把注意焦点从电荷和导体的几何形状的性质,轉移到周圍媒质和其中的假量力場的性质. 麦克斯韦在十九世紀后半叶对这一重大轉移的重要性感受很深,于是他着手用精确的数学形式来表达法拉第的观念. 他在他著名的著作“論电与磁”<sup>[1]</sup>第一版序言中写道:

当我将我认为法拉第的观念变换为数学形式时,我发现这两种方法(法拉第方法和当时理論物理学家和数学家之間最流行的超距作用方法)的結果一般是一致的,所以,这两种方法闡明了同一現象,并导出同一作用定律,但是根据法拉第的方法,好象我們分析是从整体开始而到局部,而通常的数学方法是綜合的方法,原則是从局部开始而建立整体. 我还发现,有些由数学家发现的最富有成果的研究方法,能够用法拉第引出的观念来表示,比之于它們的原始形式要好得多. 例如,将电位的整个理論設想为某一个量,而滿足某些偏微分方程,都在本质上属于我所称的法拉第的方法.

同研究电磁源的几何形状和强度相反,麦克斯韦致力于研究电磁場的固有数学性质,这样便引导他构成有名的場方程,并从理論上发现了电



磁波。虽然，电磁波也能用“滞后作用”的结果来解释，但它们被麦克斯韦发现为电磁场性质的必然结果，对场观点构成了最有说服力的单个例子。

为了尊重十九世纪物理学家的机械观点，麦克斯韦保留了法拉第的概念(虽然在他的场方程的形式中一点也没有用到它)，将自由空间看做一种适当的弹性媒质，并从而传输电磁作用。只是从来没有观察到这种媒质——以太——的任何预期物理结果，使得近代物理学家认为这种假设是没有理由的，而且是完全不必要的。但是，由于电磁学和弹性学在数学上的相似性，弹性媒质的概念对提供有益而示意的模拟仍然是有用的。

从库仑定律开始，经典方法之后就是电磁学的最基本处理方法，因为当讨论这些实验定律到形成麦克斯韦场方程时，这种方法能逐渐深入地提出场的抽象概念。另一方面，在电磁学的再深入的研究中，这样做似乎是更适当的，就是把麦克斯韦场方程组作为电磁学的定律，从而把简单的库仑、安培、法拉第等定律作为特殊情况而推导出来。这方法的优点是严格地分清了电磁场源、场本身和场对电荷、电流和中性物质的作用。这方面的重要事实是，在任何已知空间区域内同样的场，能够由区域外部不同的源分布形成。然而，区域内部场必须满足的条件，完全不依赖于区域外部的源。这些可看做确实可实现的条件，是用麦克斯韦场方程组来表示的，所以，麦克斯韦场方程组的解代表了真实的场。这样就看到，场的方法允许把任何设计问题分为三部分：

- (1) 根据能够对电荷、电流和物质产生所需作用的形式，而决定场的类型；
- (2) 在这一真实场的类型内，选择满足麦克斯韦方程组的场；
- (3) 决定一次源(电荷和电流)和二次源(极化和磁化物质)，以形成所需的场。

在本书的大部分中，将应用这种场综合的观点，以引导思路。

## 1.1 基本假设和定义的复习

在任何物理理论的解释中，基本假设和定义总是一个难题。这是因为，一方面，定理的解释必须首先对作为基础的假设和有关物理量的精确