电磁波述论

盛新庆

科学出版社
www.sciencep.com

内 容 简 介

本书分两部分。第一部分，即第 1 章，从多方面展示电磁波建立的背景及其背后隐藏的学术传统和精神；第二部分，为第 2~4 章，包括电磁波的传播和传输、电磁波的辐射、电磁波的散射，此部分试图用分散于各种典籍、文献的电磁知识，来简明构建解决信息技术关键问题的电磁知识逻辑体系。

本书可作为电子科学与技术、信息与通信工程等相关专业的高等院校学生教材，以及科研院所研究人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

电磁波述论/盛新庆. —北京：科学出版社，2007

ISBN 978-7-03-019099-4

Ⅰ.电… Ⅱ.盛… Ⅲ.电磁波 Ⅳ.O441.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007) 第 085601 号

责任编辑：胡 凯 刘凤娟 /责任校对：桂伟利

责任印制：赵德静/封面设计：王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码：100717

http://www.sciencep.com

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 7 月第 一 版 开本：B5(720×1000)

2007 年 7 月第一次印刷 印张：8 3/4

印数：1—3 000 字数：160 000

定价：38.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换〈科印〉)

前　　言

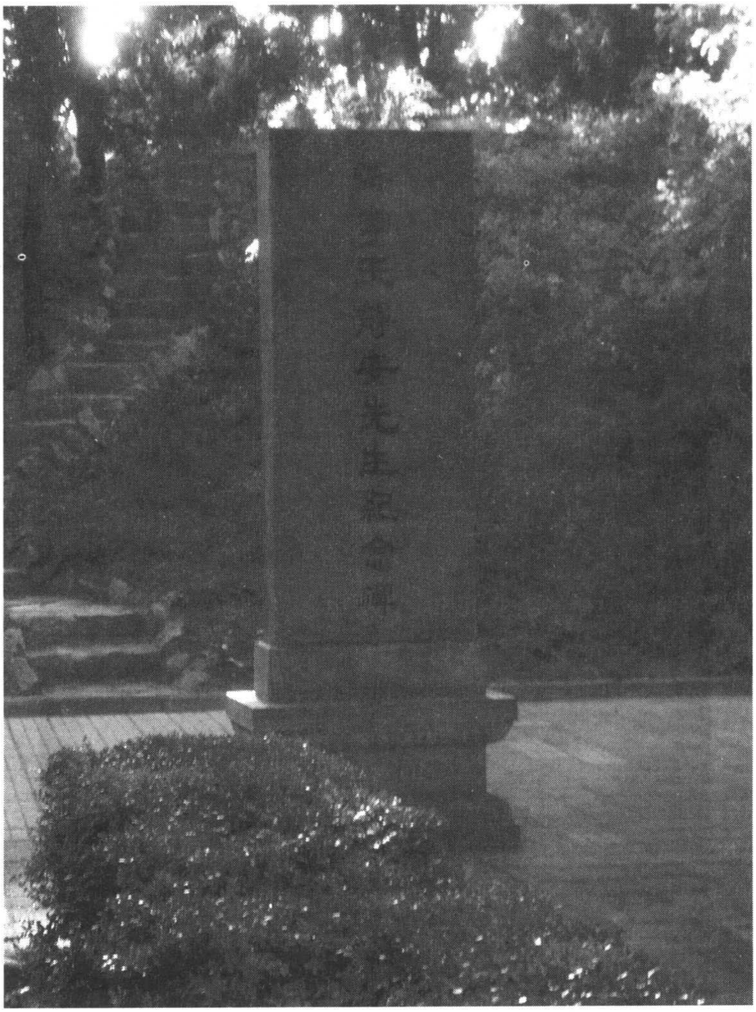
改写一本电磁理论教科书，是本人多年来的一个心愿。由于忙于科研，此志一直未行。二零零五年春，受聘“教育部长江学者”，责任之一便是开设一门本科课程。由于此项责任，此志终于成行。

电磁知识浩瀚，论著繁多，其中不乏经典。然如何紧扣信息技术，以最少笔墨，举其要，详其当详，略其当略，迅速构建开发信息技术之必备电磁知识逻辑体系，拉近电磁与信息之距离，现有论著似虑之不多。此为作者撰书之一因。电磁理论的建立无疑是人类文明的辉煌成就。追踪其发展之轨迹，剖析其建立之缘由，不仅是一件有趣之事，更是养育后人学术精神的康庄大道。然现有论著也论之较少，此为撰书之二因。

麦克斯韦电磁理论的辉煌不仅在于以四个数学公式极其简明地解释了众多繁杂的电磁现象，更在于凭借建立的数学逻辑体系，准确预言了电磁波的存在。从多方面展示电磁波建立的背景及其背后隐藏的学术传统和精神，便是本书第一部分（即第 1 章）的主要内容。本书第二部分试图用分散于各种典籍、文献的电磁知识，构建解决信息技术关键问题的电磁知识逻辑体系。从发展信息技术角度来看，作为现代信息系统的主要凭借的载体 —— 电磁波，要弄清的问题大致有三：电磁波的传播和传输、电磁波的辐射、电磁波的散射，这便是本书的主要内容，分别对应第 2, 3, 4 章。

本书意欲合为时而作，以“切问”为体，以“逻辑”为用，建立解决信息技术问题的电磁知识逻辑体系。然学识有限，未必达到。只能是非曰能至，心向往之，尽力而为。

盛新庆
2006 年 12 月于北京



海宁王静安先生纪念碑

海宁王静安先生纪念碑碑铭

目　录

第 1 章 电磁波的建立

电磁波得以建立固然起于电磁现象的观察，但根本之处是凭借想象力。想象力植根于社会文化之中，取决于多种因素，诸如知识之积累，学术之传统，价值之取向，乃至思想自由之程度。本章主旨便是勾勒出电磁波得以建立的数理背景及学术传统。显然本书的叙述不容用西洋工笔勾勒，只能以中国技法写意。若能离真精神不远，供学人养学术境界之一小方土，诚为可幸。

1.1 物理背景

电磁知识是麦克斯韦 (Maxwell, 1831～1879) 构建电磁波的基础。麦克斯韦之前，人类就已获得大量电磁知识。这些知识大致可分两类：一类主要是凭借对自然界直接观察获得，这主要发生在库仑定律发现以前；一类是凭借一定的哲学观念，通过有目的的实验获得，这主要发生在库仑定律发现以后。

1.1.1 库仑定律发现以前

在库仑定律发现以前，人类获知的电磁现象并不是很多。主要有各类静电、静磁现象、闪电、指南针、磁偏角等。下面将分别列出这些电磁现象在中西方被发现的年代，以示中西方在这一时期对电磁认识的具体进程。

古代中国大概在公元前后百年间发现了摩擦起电及静电吸引现象，后便是各种可摩擦起电材料以及静电火花、爆裂声现象的不断发现和详尽记载，到宋代学者沈括(1031～1095) 对闪电熔化金属，而不熔木料的观察，以及明代学者方以智(1611～1671) 在其《物理小识》卷二《风雨雷旸类・野火灯塔》中，据雷电击墙杆而出声的细致观察，推测天上闪电和静电火花同类。这些大致便是电学知识在古代中国的发展。至于磁方面，古代中国认识得更早，有文字记载的是公元前 3 世纪《吕氏春秋・精通篇》："慈石召铁，或引之也"。后有药物学家用磁石做各种药物实验，到唐代中晚期之前已有称为 "司南" 的磁性指向器发现，以及宋代学者沈括名著《梦溪笔谈》对指南针制作及磁偏角的阐述。

西方对电磁的认识更早，可追溯到古希腊米利都的泰勒斯(Thales of Miletus, 公元前 640～ 前 546)—— 已知道摩擦的琥珀会吸引轻小物体，磁石可吸铁。但此后对电磁认识一直停留于此。直到十二世纪，欧洲才用磁针指南，至少晚古代中国一百余年。至于磁偏角的认识，在西方是由哥伦布在 1492 年航海中发现，晚古中国

四百余年。

综上所述，在库仑定律发现以前，古代中国对电磁现象的认识丝毫不弱于西方，而实际上是略强于西方。这缘于古代中国学者高品质的观察能力。然也可以看出，仅靠简单直接地对自然的观察，是很难获得更丰富更深入的电磁知识的。

1.1.2　库仑定律发现以后

自牛顿(Newton，1642~1727) 创立力学三大定律及万有引力定律之后，通过有目的的实验建立定量物理规律已成为西方研究世界的锐利武器。可惜这一锐利武器未被中国学者重视和运用，因而也就未能在电磁领域继续有所创获。下面要讲述的便是西方利用这一锐器在电磁领域先后发现的库仑定律、安培定律以及法拉第定律。

1. 库仑定律

法国物理学家库仑(Coulomb，1736~1806) 在 1784~1785 年间，设计了一个扭秤实验。扭秤的结构示于图 1-1。在细金属丝下悬挂一根秤杆。它的一端有一小球 A，另一端有平衡体 P，在 A 旁还置有另一与它一样大小的固定小球 B。为了研究带电体之间的作用力，先使 A，B 各带一定的电荷，这时秤杆会因 A 端受力而偏转。转动悬丝上端的旋钮，使小球回到原来位置。这时悬丝扭力矩等于施于小球 A 上电力的力矩。

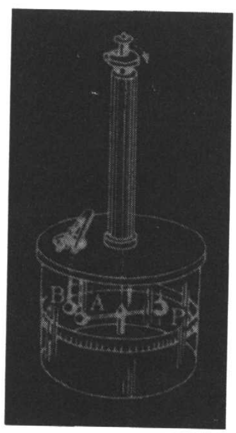


图 1-1　库仑扭秤

库仑正是通过这一实验总结出下面库仑定律：在真空中，两个静止的点电荷 q_1 和 q_2 之间的相互作用力的大小和 q_1 与 q_2 的乘积成正比，和它们之间的距离 r 的平方成反比；作用力的方向沿着它们的联线，同号电荷相斥，异号电荷相吸。即

$$\boldsymbol{f}_{12}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r_{12}^2}\hat{\boldsymbol{r}}_{12} \tag{1.1}$$

式中 q_1 和 q_2 是两个静止点电荷的电量，$\boldsymbol{f}_{12}$ 是 q_1 对 q_2 的作用力，$\hat{\boldsymbol{r}}_{12}$ 是从 q_1 指向 q_2 的单位距离矢量，ε_0 是真空电介电常数，精确实验可测定为 $\varepsilon_0 = 8.8541878178 \times 10^{-12}\mathrm{C}^2/(\mathrm{N}\cdot\mathrm{m}^2)$。此定律与牛顿的万有引力定律的形式极其相似。

2. 安培定律

在康德哲学的影响下，丹麦学者奥斯特(Oersted, 1777~1851) 深信电与磁之间存在着联系，并一直设法找到这种联系。1820 年 4 月，奥斯特在讲授电、伽伐尼电、磁的课程时，做了一个实验：他使一个伽伐尼电池的电流通过一条细铂丝，铂丝放在一个带玻璃罩的指南针上，结果盒中的磁针被扰动了。尽管效应很弱，但奥斯特觉得很不寻常。事后，奥斯特使用更大的电池做了许多同样的实验，终于证实"电流的磁效应是围绕着电流，呈圆形的"，并于 1820 年 7 月的一篇题为《电冲击对磁针影响的实验》的四页纸论文中，宣布了这一发现。

奥斯特的发现立刻引起了许多学者的重视和更深入的研究，其中最为著名的便是毕奥(Biot, 1774~1862)、萨伐尔(Savart, 1791~1841)和安培(Ampère, 1775~1836)。毕奥和萨伐尔通过对奥斯特实验的分析、改进得出定量结论：载流导线对磁极的作用力与其间垂直距离成反比，以及弯折载流导线对磁极作用力大小与折线夹角的关系。毕奥 - 萨伐尔的实验观测结论经法国数学家拉普拉斯(Laplace, 1749~1827) 的数学提炼得出如下现代形式的毕奥 - 萨伐尔 - 拉普拉斯定律。即电流元 $I\mathrm{d}\boldsymbol{l}$ 在距离 $\boldsymbol{r}$ 处产生的磁感应强度矢量为

$$\mathrm{d}\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\mathrm{d}\boldsymbol{l}\times\hat{\boldsymbol{r}}}{r^2} \tag{1.2}$$

其中 μ_0 是磁导率，其值为 $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}\mathrm{N/A}^2$。

安培在物理思想上走得更远：认为磁的本质是电流，一个磁体是由无数小电流环在有序排列下形成的。因此安培认为研究电流元之间的相互作用更为根本。通过四个杰出的示零实验，安培得出了类似 (1.2) 的公式。即在真空中，电流元 $I_1\mathrm{d}\boldsymbol{l}_1$ 对电流元 $I_2\mathrm{d}\boldsymbol{l}_2$ 的作用力可表示为

$$\mathrm{d}\boldsymbol{F}_{12} = I_2\mathrm{d}\boldsymbol{l}_2\times\mathrm{d}\boldsymbol{B} \tag{1.3}$$

其中磁感应强度$\mathrm{d}\boldsymbol{B}$ 为

$$\mathrm{d}\boldsymbol{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I_1\mathrm{d}\boldsymbol{l}_1\times\hat{\boldsymbol{r}}_{12}}{r_{12}^2} \tag{1.4}$$

并且证实下述安培环路定律：磁感应强度沿任何闭合环路 L 的线积分，等于穿过这个环路所有电流的代数和的 μ_0 倍，即

$$\oint_L \boldsymbol{B}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{l} = \mu_0\sum I \tag{1.5}$$

其中电流 I 的正负规定如下：当穿过回路 L 的电流方向与回路 L 的环绕方向服从右手法则时，I 为正；反之，为负。

3. 法拉第定律

奥斯特发现电能产生磁，那么磁能否产生电呢？众多学者对此问题都进行了种种探索，但多年都未有突破。英国物理学家法拉第(Faraday, 1791~1867) 经过十余年的不断努力，在无数失败之后，终于在 1831 年夏，在图 1-2 的实验中发现了寻找已久的电磁感应现象。

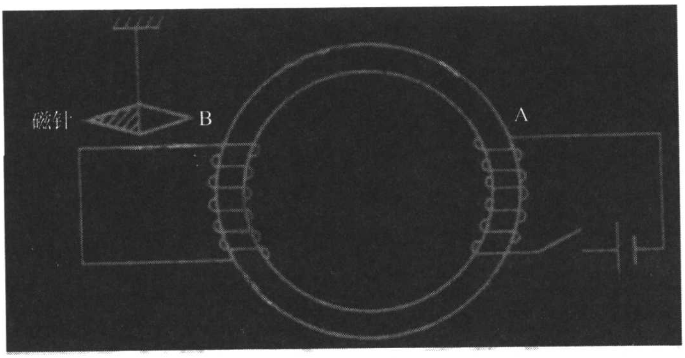


图 1-2　法拉第电磁感应实验

具体而言，在图 1-2 的实验中，法拉第发现：当把与电池、开关相连的线圈 A 的开关合上，使线圈 A 中的电流从零增大到某恒定值的瞬间，在闭合线圈 B 附近的磁针偏转、振动并且最终停在原来的位置上；当把线圈 A 的开关断开，其中的电流从恒定值减小为零的瞬间，在闭合线圈 B 附近的磁针反向偏转、振动并且最终停在原来的位置上。

法拉第领悟到电磁感应现象是一种在变化和运动过程中出现的非恒定的暂态效应。随后做了几十个产生感应电流的实验，并概括成五类：①变化着的电流；②变化着的磁场；③运动的恒定电流；④运动的磁铁；⑤在磁场中运动的导体。

法拉第同时代的德国物理学家诺依曼(Neumann, 1798~1895) 在 1845 年发表的论文中，首次给出了法拉第电磁感应定律的定量表达式

$$\varepsilon = -\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\iint_S \boldsymbol{B}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S} \tag{1.6}$$

这里 ε 是感应电动势，是一个表示产生电流大小的量，其准确定义在“麦克斯韦方程的建立”一节讲述。

1.2 数学背景

大量物理现象的发现为麦克斯韦构建电磁波理论提供了充足的材料，但仅此是不够的。麦克斯韦的想象要能切实的飞翔，还需数学这个强有力的工具。麦克斯韦的生活时代，数学知识已相当丰厚，其中牛顿的微积分已为人所熟知。当然对麦克斯韦建立电磁波理论最为有力的数学思想，是从英国数学家哈密顿(Hamilton, 1805~1865)四元数思想发展而来的，由美国耶鲁大学数学物理教授吉布斯(Gibbs, 1839~1903)和英国学者赫维赛得 (Heaviside, 1850~1925) 独立创立的矢量分析。下面便从矢量定义开始，讲述矢量分析的基本内容。

1.2.1 矢量定义

物理世界中有很多量仅用大小来描述是不够的，还必须标明其方向。为了准确表述这种既有大小，又有方向的物理量，数学上创造了不同于标量的矢量，通常记成 $\boldsymbol{A}$。在几何上，用一个带有方向的线段表示。线段的长度代表矢量大小，指向代表矢量方向。平行、长度相等、指向一致的有向线段代表着同一矢量。在三维空间中，代数上要表示一个矢量需三个数。在直角坐标系下，任何矢量都可表示为在三个互相垂直的单位矢量 $\hat{\boldsymbol{x}}$, $\hat{\boldsymbol{y}}$, $\hat{\boldsymbol{z}}$ 上的投影。将矢量 $\boldsymbol{A}$ 在 $\hat{\boldsymbol{x}}$, $\hat{\boldsymbol{y}}$, $\hat{\boldsymbol{z}}$ 三轴上的投影记为 A_x, A_y, A_z。这样矢量 $\boldsymbol{A}$ 可记为

$$\boldsymbol{A} = \hat{\boldsymbol{x}}A_x + \hat{\boldsymbol{y}}A_y + \hat{\boldsymbol{z}}A_z \tag{1.7}$$

1.2.2 矢量运算

要使矢量成为分析物理现象的有力工具，除了上述明确数学定义之外，还要给出能反映物理本质的矢量运算。设有两个矢量 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$，在直角坐标系中记为

$$\boldsymbol{A} = \hat{\boldsymbol{x}}A_x + \hat{\boldsymbol{y}}A_y + \hat{\boldsymbol{z}}A_z$$

$$\boldsymbol{B} = \hat{\boldsymbol{x}}B_x + \hat{\boldsymbol{y}}B_y + \hat{\boldsymbol{z}}B_z$$

通过分析物理现象不难得出，将他们的加减法定义为下列形式是合适的：

$$\boldsymbol{A} \pm \boldsymbol{B} = \hat{\boldsymbol{x}}\left(A_x \pm B_x\right) + \hat{\boldsymbol{y}}\left(A_y \pm B_y\right) + \hat{\boldsymbol{z}}\left(A_z \pm B_z\right) \tag{1.8}$$

(1.8) 式可用图 1-3 形象表示。从物理现象中还可抽象出两种非常有用的乘法：一种称为点乘，定义为

$$\boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{B} = A_xB_x + A_yB_y + A_zB_z \tag{1.9}$$

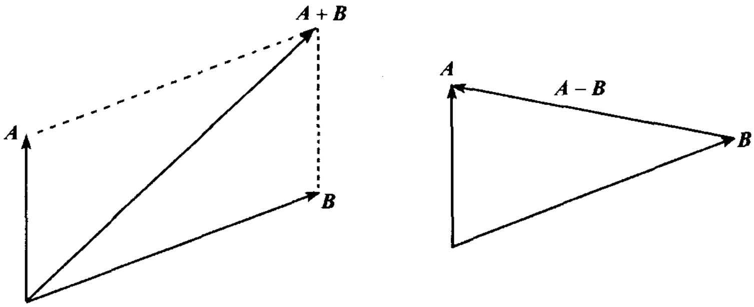


图 1-3　矢量加减法示意图

不难验证 $\boldsymbol{A}\cdot\boldsymbol{B}=AB\cos\theta_{AB}$，其中 θ_{AB} 是 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 之间的夹角；另一种称为叉乘，定义为

$$\begin{aligned}\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}&=\begin{vmatrix}\hat{\boldsymbol{x}} & \hat{\boldsymbol{y}} & \hat{\boldsymbol{z}}\\ A_x & A_y & A_z\\ B_x & B_y & B_z\end{vmatrix}\\ &=\hat{\boldsymbol{x}}\left(A_yB_z-A_zB_y\right)+\hat{\boldsymbol{y}}\left(A_zB_x-A_xB_z\right)+\hat{\boldsymbol{z}}\left(A_xB_y-A_yB_x\right)\end{aligned}\tag{1.10}$$

这种叉乘可用下面图 1-4 形象表示。矢量 $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}$ 的幅度等于 $|AB\sin\theta_{AB}|$，即由 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{B}$ 组成的平行四边形的面积。它的方向的确定符合右手螺旋法则，即当右手的手指由 $\boldsymbol{A}$ 转向 $\boldsymbol{B}$ 时，大拇指所指方向就是 $\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B}$ 的方向。根据上述定义不难推出下面两个常被使用的恒等式

$$\boldsymbol{C}\cdot(\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B})=\boldsymbol{A}\cdot(\boldsymbol{B}\times\boldsymbol{C})=\boldsymbol{B}\cdot(\boldsymbol{C}\times\boldsymbol{A})\tag{1.11}$$

$$\boldsymbol{C}\times(\boldsymbol{A}\times\boldsymbol{B})=\boldsymbol{A}(\boldsymbol{C}\cdot\boldsymbol{B})-\boldsymbol{B}(\boldsymbol{C}\cdot\boldsymbol{A})\tag{1.12}$$

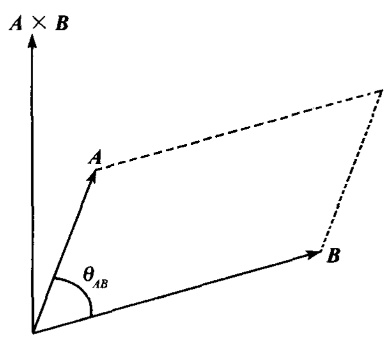


图 1-4　矢量叉乘示意图

1.2.3 矢量算子

当要描述一个物理量在空间的分布特征时，数学家发现有三个非常有用的算子：梯度、散度、旋度。下面分别予以介绍。

1. *梯度算子*

设有一个标量函数 $f(x,y,z)$，不难知道表征此函数在某位置变化最快的方向及大小的矢量可表示成

$$\nabla f=\hat{\boldsymbol{x}}\frac{\partial f}{\partial x}+\hat{\boldsymbol{y}}\frac{\partial f}{\partial y}+\hat{\boldsymbol{z}}\frac{\partial f}{\partial z} \tag{1.13}$$

其中 ∇ 称为梯度算子。在柱坐标系下可表示成

$$\nabla f=\hat{\boldsymbol{\rho}}\frac{\partial f}{\partial \rho}+\hat{\boldsymbol{\phi}}\frac{1}{\rho}\frac{\partial f}{\partial \phi}+\hat{\boldsymbol{z}}\frac{\partial f}{\partial z} \tag{1.14}$$

在球坐标系下表示成

$$\nabla f=\hat{\boldsymbol{r}}\frac{\partial f}{\partial r}+\hat{\boldsymbol{\theta}}\frac{1}{r}\frac{\partial f}{\partial \theta}+\hat{\boldsymbol{\phi}}\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial f}{\partial \phi} \tag{1.15}$$

2. *散度算子*

设有一个矢量场 $\boldsymbol{F}$，那么其在点 P 处的散度定义为

$$\nabla\cdot\boldsymbol{F}=\lim_{\Delta V\to 0}\frac{1}{\Delta V}\oint_S \boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S} \tag{1.16}$$

这里点 P 是在面 S 包围的体积 ΔV 之内。根据此定义，可推出在直角坐标系下有

$$\nabla\cdot\boldsymbol{F}=\frac{\partial F_x}{\partial x}+\frac{\partial F_y}{\partial y}+\frac{\partial F_z}{\partial z} \tag{1.17}$$

在柱坐标系下可表示成

$$\nabla\cdot\boldsymbol{F}=\frac{1}{\rho}\frac{\partial(\rho F_\rho)}{\partial \rho}+\frac{1}{\rho}\frac{\partial F_\phi}{\partial \phi}+\frac{\partial F_z}{\partial z} \tag{1.18}$$

在球坐标系下可表示成

$$\nabla\cdot\boldsymbol{F}=\frac{1}{r^2}\frac{\partial\left(r^2F_r\right)}{\partial r}+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial(\sin\theta F_\theta)}{\partial \theta}+\frac{1}{r\sin\theta}\frac{\partial F_\phi}{\partial \phi} \tag{1.19}$$

根据散度定义 (1.16)，不难推出下面高斯定律：

$$\int_V \nabla\cdot\boldsymbol{F}\mathrm{d}V=\oint_S \boldsymbol{F}\cdot\mathrm{d}\boldsymbol{S} \tag{1.20}$$

3. 矢量旋度

$\boldsymbol{F}$ 的旋度是度量矢量场 $\boldsymbol{F}$ 环绕一闭合路径的线积分特征的量。考虑一很小面单元 $\Delta S\hat{\boldsymbol{n}}$, 闭合路径 l 为边界, 定义平行于法向 $\hat{\boldsymbol{n}}$ 的旋度分量为

$$\hat{\boldsymbol{n}} \cdot \nabla \times \boldsymbol{F} = \lim_{\Delta S \to 0} \frac{1}{\Delta \boldsymbol{S}} \oint_{l} \boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} \tag{1.21}$$

此定义表示一个矢量场的旋度是一个矢量。路径 $\mathrm{d}\boldsymbol{l}$ 的方向根据右手螺旋法则。根据此定义, 可推出在直角坐标系下有

$$\nabla \times \boldsymbol{F} = \begin{vmatrix} \hat{\boldsymbol{x}} & \hat{\boldsymbol{y}} & \hat{\boldsymbol{z}} \\ \dfrac{\partial}{\partial x} & \dfrac{\partial}{\partial y} & \dfrac{\partial}{\partial z} \\ F_x & F_y & F_z \end{vmatrix} \tag{1.22}$$

在柱坐标系下可表示成

$$\nabla \times \boldsymbol{F} = \frac{1}{\rho} \begin{vmatrix} \hat{\boldsymbol{\rho}} & \rho\hat{\boldsymbol{\phi}} & \hat{\boldsymbol{z}} \\ \dfrac{\partial}{\partial \rho} & \dfrac{\partial}{\partial \phi} & \dfrac{\partial}{\partial z} \\ F_\rho & \rho F_\phi & F_z \end{vmatrix} \tag{1.23}$$

在球坐标系下可表示成

$$\nabla \times \boldsymbol{F} = \frac{1}{r^2 \sin\theta} \begin{vmatrix} \hat{\boldsymbol{r}} & r\hat{\boldsymbol{\theta}} & r\sin\theta\hat{\boldsymbol{\phi}} \\ \dfrac{\partial}{\partial r} & \dfrac{\partial}{\partial \theta} & \dfrac{\partial}{\partial \phi} \\ F_r & rF_\theta & r\sin\theta F_\phi \end{vmatrix} \tag{1.24}$$

根据旋度定义式 (1.21), 可推出下面斯托克斯定律:

$$\int_S \nabla \times \boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{S} = \oint_{l} \boldsymbol{F} \cdot \mathrm{d}\boldsymbol{l} \tag{1.25}$$

1.3 学 术 传 统

丰富的物理知识, 强有力的数学工具, 这是时代为麦克斯韦构建电磁波理论提供的条件。然而即便如此, 倘若麦克斯韦内心没有强烈的创建电磁理论的激情, 这些时代铸造的完美条件也只能是付之东流。是麦克斯韦内心的激情点燃了麦克斯韦想象之列, 是麦克斯韦的激情推动着麦克斯韦想象之列最终驶向终点 —— 电磁理论的建立。那么, 麦克斯韦的激情又来源于何方呢? 是其家庭, 是其所受教育, 是当时的社会风尚, 抑或是这众多元素的混合。从众多事实中可以看出, 西学传统

是麦克斯韦创建电磁理论激情之重要一源。正因如此，我们不妨来简略回顾一下西学的传统。

《爱因斯坦文集》第一卷第 574 页有："西方科学的发展是以两个伟大的成就为基础，那就是：希腊哲学家发明的形式逻辑体系 (在欧几里得几何学中)，以及通过系统的实验发现有可能找出因果关系 (在文艺复兴时期)。在我看来，中国的贤哲没有走上这两步，那是用不着惊奇的。令人惊奇的倒是这些发现 (在中国) 全部做出来了。" 这番话点出了西方两个基本的学术传统：一、以欧几里得几何学的逻辑体系为模本，追求构建解释宇宙万物的逻辑体系，注重体系的宏大及逻辑推理的严密；二、通过系统实验找出因果关系。以中西差异而言，西学的第一个传统要比第二个传统更为突出明显。下面简要介绍一下这个学术传统发展的几个重要标志：欧几里得的《几何原本》，牛顿的《自然哲学的数学原理》，以及康德的《纯粹理性的批判》。

欧几里得(Euclid) 可能受教于柏拉图学院，在公元前 300 年左右生活于亚历山大城，并在那里授徒。《几何原本》是欧几里得在亚里士多德创立的逻辑学以及前人数学知识基础上，构思创作的一本体大缜密的经典著作。这本著作创立了一种陈述方式：首先明确定义及公理，然后由简到繁，分 13 篇，逐个证明 467 个命题，第一次以极其深刻的方式展示了人类逻辑推理的巨大力量。这本著作的陈述方式成为西方追求知识的典范。此书自成书日始，一直是西方育人的基本教材，其意义犹如中国的四书五经，影响深且远。

西欧中古是神学时代。这一时期，上古希腊建立的学术传统主要用于神学研究上。文艺复兴之后，这一传统大量用于自然规律的研究，取得了丰硕的成果。其突出标志便是牛顿的力学理论。牛顿 (Newton, 1642~1727) 于 1687 年出版了《自然哲学的数学原理》。此书仿照欧几里得《几何原本》的陈述方式，在力学三定律及万有定律基础上，凭借逻辑推理，成功解释了无数自然事实，更为重要的是：极其准确地预言了很多自然现象，首次展示了构建逻辑体系的学术传统在解释物理世界中的神奇力量。

正在人们以无比的信心，继续发扬上古希腊建立的学术传统，沿着牛顿开辟的道路继续前进的时候，有不少好学深思之士，其中最为突出的便是德国伟大的哲学家康德 (Kant, 1724~1804)，发起了对这个探索世界的学术传统本身的深入思考，即这个学术传统是怎样使我们获得知识的？获得的知识可靠性如何？哪些是靠这个学术传统不可能获得的？康德哲学思考的结论集中反映在其 1781 年完成的里程碑式的《纯粹理性的批判》。此书的伟大意义在于第一次指出了时间和空间观念在这一学术传统中的特殊地位，进而也指出了这一学术传统探索世界所得结论的不唯一性，更为重要的是指出这一学术传统不仅能揭示世界，而且更为重要的是能创造世界。

为了彰显西方这一学术传统的特质，我们不妨对中国学术传统作一简单的考

察，以作参照。《论语》子张篇第十九中有子夏曰：“博学而笃志，切问而近思，仁在其中矣。”此语虽简，然已回答了中国学术传统的两个基本问题：什么样的问题值得研究？与人类日常生活紧密相关的问题；如何去研究？以博学求知。纵观中国经典名著，四书五经、《史记》、《资治通鉴》等，多以记人事，论人事为主，因为与人生活最为密切。即便不多的论述自然的著作如《九章算术》、《水经注》、《梦溪笔谈》、《本草纲目》等，所论问题也不离人的生活。至于构造出一个理论逻辑体系来解释世界的愿望不能说没有，但从未成为中国学术研究的主流问题。因此学以致用的价值取向在中国学术传统中是很明显的，无需赘述。下面想较为详细地考察一下中国学术传统中博学求知的具体内涵。先不妨以《九章算术》为例来作一分析。所谓九章即九类人们生活中遇到的数学问题。每章都是先列出问题及其变种，然后给出问题的解法。章与章之间并无严密的逻辑联系，前后次序安排也无严格标准。这种陈述方式大致也反映了华夏民族学术研究的特征：紧扣问题展开研究。再看《论语》。陈述也采取一问一答式。共有 20 篇，篇与篇之间也无逻辑联系，甚至内容有重复，前后次序安排也无明显章法，结构松散。那么中国学术传统中的“博”主要体现在何处呢？主要体现在追求研究问题的“广”和“深”两方面。所谓“观天下书未遍，不得妄下雌黄”(《颜氏家训》勉学篇)，讲的就是“广”；所谓“李德裕那种能分辨得出扬子江水上下游不同的品味本领”，讲的就是“深”，这里的“深”更多地不是想的深，而是感觉的敏锐。“所谓不局不杂，知类也；不烦不周，知要也。类者，辨其流别，博之事也；要者，综其指归，约之事也。”“足以尽天下之事相而无所执者，乃可语于博矣。”(《复性书院讲录》，马一浮)

比较西学研究传统，华夏学术传统对材料的整理所下工夫是较少的。这里的“整理”指的是从材料中提炼出观念，并用观念来统领解释材料。正所谓“述而不作”(《论语》述而篇第七)。正因如此，华夏著作往往结构、条理都不及西学名著，后学之士很难从著作中快速记忆、掌握，只能“学而时习之”(《论语》学而篇第一)，在反复的咏颂中，以达“其义自见”(《艺文类聚》卷五十五)，“熟能生巧”(《归田录·卖油翁》)，“温故而知新”(《论语》为政篇第二)。然西学传统也有其弊端。其弊在于提炼的观念未必真能统领解释所有材料，因而不免有时削足适履，貌似严谨有序，而实与真相相去甚远。因此著名学者钱钟书有以下感叹：

更不妨回顾一下思想史罢。许多严密周全的思想和哲学系统经不起时间的推排销蚀，在整体上都垮塌了，但是它们的一些个别见解还为后世所采取而未失去时效。……往往整个理论系统剩下来的有价值东西只是一些片段思想。脱离了系统而遗留的片段思想和萌发而未构成系统的片断思想，两者同样是零碎的。眼里只有长篇大论，瞧不起片言只语，甚至陶醉于数量，重视废话一吨，轻视微言一克，那是浅薄庸俗的看法——假使不是懒惰粗浮的借口。(《读〈拉奥孔〉》，《七缀集》，第 33~34 页)