

# 磁学起源与发展历程概述

## Origin and Development of Magnetism

杨玉岗

辽宁工程技术大学电气与控制工程学院 辽宁省 葫芦岛市 125105

**摘要**：磁学具有非常悠久的发展历史，一直伴随着人类文明进步的历程而发展，可以说是人类文明进步史的重要组成部分。本文主要介绍了西方和中国的磁学起源及发展历史，即通过回顾电磁学的起源和发展历史，以增强电力电子磁技术的科学底蕴和文化底蕴，更加注重基础研究，促进自主创新，更好地把握电力电子磁技术的现在和未来，使电力电子磁技术得到更大的发展。

**关键词**：磁学起源，发展史，西方，中国

磁学具有非常悠久的发展历史，一直伴随着人类文明进步的历程而发展，可以说是人类文明进步史的重要组成部分。下面分几个历史阶段，简要论述西方和中国的磁学起源及发展历程。

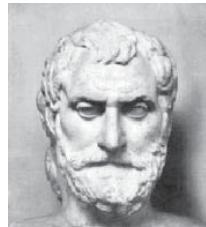
### 1 西方磁学起源及发展历程

#### 1.1 磁学的起源

##### 1.1.1 古希腊时期——磁学的起源

西方磁学最早起源于古希腊时期。关于电和磁的几个孤立的观察应归功于希腊人。古希腊的“七贤”之一，米利都的泰勒斯（希腊语： $\theta\acute{e}l\acute{e}s$ ，英语：Thales，约前640-前546）被认为有这种知识——他知道，摩擦了的琥珀会吸引轻小物体，现在称之为磁铁矿或天然磁石的某种矿物具有吸铁的能力。古希腊哲学家苏格拉底（希腊语： $\text{Sokrates}$ ；英译：Socrates；前469—前399）说：“……这石不仅吸引铁环，而且还使铁环具有类似的吸引其他铁环的能力；有时你可以看到一些铁片和铁环彼此钩挂以至于形成一个十分长的链，而它们的悬吊力全部来自于原磁石。”古希腊的磁铁矿石据说是在小亚细亚一个靠近马格尼西亚（Magnesia）的地方被发现的，由此产生了“magnet”（磁铁）一词。小亚细亚（英语：Asia Minor）又名安纳托利亚（Anatolia），或西亚美尼亚，是亚洲西南部的一个半岛，位于黑海和地中海之间，现在属于土耳其。

在此后的一千多年里，西方对磁学的认识一直停留于此，主要是由于强大的罗马帝国吞并古希腊的社会原因，以及基督教和古代宗教之间的大搏斗，使希腊人中创造性的科学研究走到了末日，而后来的罗马人除了将天才用于战争、征服、统治和法律外，只在军事工程和城市建设等技术问题上有些发明创造，而对于纯数学和科学的研究则没做什么努力。直到12世纪，欧洲才用磁针指南。



泰勒斯



苏格拉底

##### 1.1.2 13世纪——磁学的史前史

最早对磁现象进行系统观察的西方人是13世纪的数学家、磁学家、医生和炼金术师派勒格令尼（P. Peregrinus），他在1269年8月8日给他朋友的信——《论磁体的信》（Letter on Magnet）中，描绘了磁石的大概轮廓和性质：(1) 磁石的颜色类似于铁被擦亮并在空气中放置一段时间后所变成的颜色；(2) 磁石均匀程度越高，磁性就越强；(3) 重量和密度；(4) 吸引铁的能力。此外，派勒格令尼还在磁学方面做出以下贡献：

(1) 提出磁极的概念，他用“Polus”词表示“极”，并

认为任何磁石球都有两个磁极：南极和北极，他告诉人们用磁针来寻找磁石球的磁极，并提出子午线的概念，用磁针找出磁石球的子午线，这些子午线汇聚于球面上的两点，就是磁石球的南极和北极。

(2) 派勒格令尼是最早提出磁偏角概念的西方人，指出磁针一般不是指向正(南)北方向，而是略向东(西)偏移，但未引起人们的注意，以至于许多人认为磁偏角是1492年由哥伦布在航海中发现的。

(3) 提出关于磁体的磁极“同性相斥，异性相吸”的原理，比迪菲(C. F. Dufay)在1733年发现电的“同性相斥，异性相吸”的原理早400多年。

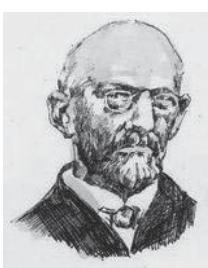
### 1.1.3 16世纪——磁偏角的发现

1544年，哈特曼(G. Hartman)发现了磁倾角，1576年，诺曼(R. Norman)再次发现了磁倾角，并测出伦敦的磁倾角为 $71^{\circ}51'$ 。

## 1.2 近代磁学的诞生

### 1.2.1 17世纪——《论磁》的出版

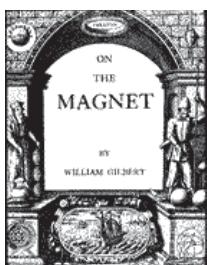
西方对于近代电磁学的研究，可以认为开始于英国的威廉·吉尔伯特(William Gilbert, 1504-1603)。1600年，吉尔伯特用拉丁文发表了《论磁》(拉丁文：De Magnete，英语：On the Magnet)一书，系统地讨论了地球的磁性，认为地球是一个大磁石，还提出可以用磁倾角来判断地球上各处的维度。现代英语中 Electricity(电)这个词就是他



吉尔伯特



《论磁》(1600年，拉丁文)



《论磁》(1900年，英译本)

根据“琥珀”的希腊文字(ελεκτρον)和拉丁文字(electrum)创造的。

《论磁》的出版，标志着近代磁学的诞生。

### 1.2.2 17世纪——磁涡 1.5 旋假说

自从哥白尼于1543年发表《天体运动论》以后，托勒密的“地心说”开始动摇，布鲁诺由于宣传哥白尼的学说而被罗马教皇烧死，开普勒无所畏惧地继续探索，于1619年提出行星运动三定律，从此行星围绕太阳旋转的概念被牢固地建立起来。天文学的成就给磁学的发展提供了巨大的动力，法国自然哲学家笛卡尔(Rene Descartes)在1644年发表的《哲学原理》第一次把天体运动的概念带进了磁学，提出磁流体涡旋运动的假说，从而最早暗示：磁是物质运动的一种闭合的涡旋运动形式。

### 1.2.3 18世纪——从米谢尔到开文迪许

从1746年开始，富兰克林(Benjamin Franklin)开辟了电学研究的广阔前景，在他之后，更多的科学家进入了电学研究这块肥沃的报道，广泛的实验研究已为静电学和静磁学理论的创立准备了充分的条件。开文迪许(H. Cavendish)等人最先想到如何将丰富的经验总结成为理性的知识(1771年)，库伦建立起静磁作用和静电作用两个形式相同的数学定律，使电学从此进入理论发展的阶段，成为一门定量的科学。19世纪初，泊松(S. D. Poisson)等人又以分析数学为工具，建立起电和磁的势理论。

从科学思想方面来讲，这个时期电学的一个重要特点是电学家们普遍将牛顿的引力定律和超距作用的哲学观点用于电学和磁学研究，所以人们也将这一时期的电学史称为“牛顿式电学和磁学的历史”。例如：米谢尔(J. Michell)、普利斯特利、开文迪许和库伦都借用了牛顿的引力公式，先后经过假设和实验两个阶段，肯定了电力和磁力随距离平方下降的规律。

## 1.3 19世纪——近代磁学的发展

### 1.3.1 静电学、静磁学和地磁学在19世纪初的发展

库伦将牛顿引力的模式引进静电学和静磁学，用距离平方反比定律统一了静电力、静磁力和万有引力，将超距论引进法国，使法国物理学产生了深刻变革。进入19世纪，法国物理学家们在超距论的基础上，创立了静电学和静磁学的数学理论。具体包括：

(1) 19世纪初，法国把物理学从其他学科中划分出来，

使之成为一门独立的学科。法国科学家把可以观察并能借助于模型和数学方法来分析的现象列入了物理学的范畴，静电学和静磁学被列入了物理学中。

(2) 法国科学家泊松 (S. D. Poisson) 在英国科学家开文迪许、法国科学家库伦、拉格朗日、拉普拉斯、伊佛里等人的基础上，建立了泊松方程，创立了静电势理论和静磁学数学理论。

(3) 1828 年，英国科学家格林 (G. Green) 把势理论向前推进了一步，建立了格林定理，并证明了导体中的电荷分布处于平衡状态，其内部电场处处为零，导体上电势处处相等。

(4) 1828 年，格林测量了地磁场强度。

(5) 1828 年，格林研究了地磁起源，发现了磁北极。

### 1.3.2 奥斯特关于电流磁效应的发现

1820 年 4 月，丹麦物理学家奥斯特 (H. C. Oersted) 发现了电流和磁的相互作用现象。1820 年 7 月 21 日，奥斯特用拉丁文发表了划时代的论文：《关于磁针上的电碰撞效应的实验》(Experimenta circa effectum conflictus electri in accum magneticam)。这篇仅仅几页纸的实验报告，使整个欧洲为之一动，特别是使法国物理学界兴奋起来。科学史用鲜明夺目的大字记下了：1820 年 7 月 21 日，奥斯特发现了电流的磁效应。

### 1.3.3 安培定律——电动力学的基础

1820 年，法国科学家安培 (Andre Marie Ampere, 1775-1836) 发现了两根通电导线之间会发生吸引或排斥现象，在此基础上，安培提出载流导线之间相互作用力的定律——安培定律，以精确的数学公式表示电流与电流之间的相互作用，成为电动力学的基础。

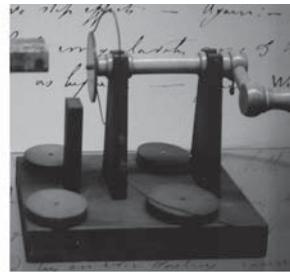
### 1.3.4 毕奥—萨伐尔定律的发现

1820 年，法国物理学家毕奥 (J.B. Biot) 和萨伐尔 (F. Savart) 联名向法国科学院提交了《运动中的电传递给金属的磁化力》的论文，提出了毕奥—萨伐尔定律，即电流元的磁作用强度 (磁感应强度) 与距离的平方成反比，与电流元和距离间的夹角的正弦成正比。

### 1.3.5 法拉第电磁感应定律的发现

1821 年，英国科学家法拉第 (Michael Faraday, 1791-1867) 通过实验发现了电磁旋转现象——交流电动机的原理，第一次实现了将电磁力转化为机械力。1831 年，法拉第成功地进行了“电磁感应实验”，发现了通过磁的运动来

产生电流的现象和交流发电机的原理——磁棒进入螺线管时产生一个方向的电流，离开时产生另一个方向的电流。在此基础上，法拉第创立了电磁感应定律。至此，电和磁的统一关系终于被人类所认识，从此诞生了电磁学。此外，法拉第还发现了载流体的自感和互感现象，提出了磁力线和电力线的概念。1831 年 10 月，法拉第研制了世界上第一部感应发电机的模型——法拉第盘。1833 年法拉第通过实验证明不同来源的电都是相同的——电的同一性。1844 年，法拉第初步提出了“场”的思想。1845 年，法拉第发现了磁致旋光现象，并开始研究抗磁体，最后形成了电磁场的思想。此外，法拉第还创造了一系列电学新词，如“电极”(electrode)、“电解质”(electrolyte)、“电解”(electrolysis)、“离子”、“阳离子”、“阴离子”、“阳极”、“阴极”等。



法拉第与最早的发电机——法拉第盘

### 1.3.6 开尔芬的电磁学研究

自从库仑时代以来，电学和磁学的数学理论研究几乎都被法国人所垄断。在英国，除了格林在电势理论方面做出过单项贡献外，截至法拉第时代还没有出现一位可称为电学数学理论家的英国人。法拉第是以实验电学家的身份出现的。随着法拉第的到来。电磁学家们的视野转向了一个完全陌生的方面——电磁场。然而，要开拓法拉第进入的研究领域还需要等待一段时间，在这段时间内还有许多工作要做。填补这段时间间隔，并为麦克斯韦电磁场数学理论奠定数学方法基础的是开尔芬 (即威廉·汤姆逊，William Thomson)，他在磁学领域的主要贡献有：

1851 年，汤姆逊发表了《磁学的数学理论》的论文，给出了磁场的定义，推导了介质中磁场的特性，将磁场强度  $\bar{H}$  与具有通量性质的  $\bar{B}$  区别开来，得出  $\bar{B} = \bar{H} + 4\pi j = \mu \bar{H}$ 。其中， $j$  为介质的磁极化强度。他还发现， $\bar{H}$  是一个标量势函数  $\phi$  的梯度， $\bar{B}$  是一个有旋量。他把  $\bar{H}$  称为“按极性定义的磁力”，把  $\bar{B}$  定义为“按电磁定义的磁力”。后来，

麦克斯韦简称为  $\vec{H}$  “磁场强度”， $\vec{B}$  为“磁感应强度”，一直沿用至今。此外，汤姆逊还创造了许多术语：如“磁化率”(susceptibility) 和“磁导率”(permeability)。他把磁化率定义为磁感应强度与磁场强度之比。

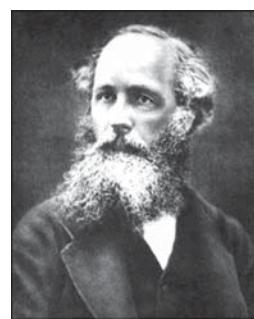
1847 年，亥姆霍茨 (H. von Helmholtz) 在《论力的守恒》一书中用数学公式总结了能量守恒定律定律，并将这个定律演绎到力学、静电学和静磁场领域。1853 年，汤姆逊在亥姆霍茨工作的基础上，将静磁场的能量表示为磁场强度的函数： $W_m = \frac{1}{8\pi} \iiint \mu H^2 dx dy dz$ ，并进一步推出载流线圈的能量公式  $W = \frac{1}{2} L I^2$ 。

### 1.3.7 韦伯的电动力学

1832 年，高斯在韦伯 (Wilhelm Eduard Weber) 的协助下提出了磁学量的绝对单位，1833 年，他们发明了第一台有线电报机，在哥根廷大学的物理实验室和天文台之间建立了 9000 英尺长的电报线。1834 年，他们组创了哥根廷地磁学联盟。1836-1841 年间，他们发表了六卷《磁学联盟的观察结果》，其中高斯有 15 篇、韦伯有 23 篇磁学论文。1841 年，韦伯发明了既可用于测量地磁强度又可用来测量电流强度的绝对电磁学单位的双线电流计，提出了电流强度、电量和电动势的绝对单位和测量方法。1853 年，韦伯发明了用于测量地磁强度垂直分量的地磁感应器。

### 1.3.8 麦克斯韦电磁场理论的创立——对电磁学划时代的贡献

麦克斯韦因创立电磁场数学理论、预言电磁波的存在和电磁波与光波的同一性，而在 19 世纪的电磁学史上树立了又一块丰碑。他的理论鞭策了一代人去探索和证明电磁波，鼓励和指引过数代人去利用电磁波为人类谋福利，其影响不仅超越了英吉利海峡，也超越了世纪，直至今日。麦克斯韦的电磁学构成了人类知识宝库中的一份博大精深的科学遗产，在历史地位上完全可以和牛顿力学相媲美。



麦克斯韦和他所著的《电磁通论》



麦克斯韦于 1854 年从剑桥大学毕业后开始研究电磁学，一直持续到他逝世，长达 25 年。他对电磁学的贡献主要体现在他于 1854-1868 年间发表的 5 篇论文和 1873 年出版的《电磁通论》(A Treatise on Electricity and Magnetism) 一书中。其中，《电磁通论》被认为是继牛顿的《自然哲学的数学原理》(The Mathematical Principles of Natural Philosophy) 之后最重要的物理学经典。

### 1.3.9 罗兰与运动电荷的磁效应

1876 年，美国霍普金斯大学物理学教授罗兰 (H. A. Rowland) 在柏林发现了运动电荷的磁效应，成为麦克斯韦位移电流磁效应的一种特殊形式，为赫兹通过实验发现电磁波提供了先决条件。在罗兰和赫兹之间起桥梁作用的是亥姆霍兹 (H. von Helmholtz)。

### 1.3.10 赫兹对电磁波和光波同一性的实验证明

1887 年，德国物理学家亨里希·鲁道夫·赫兹 (Heinrich Rudolf Hertz, 1857-1894) 通过实验证明了麦克斯韦提出的在介质中存在位移电流的假说。1888 年 3 月，30 岁的赫兹测量出电磁波的速度等于光速。赫兹先用检测驻波的方法测量出电磁波的波长，再用威廉·汤姆逊在 1853 年得出的频率计算公式计算出电磁波波源的振荡频率，最后计算出电磁波的速度等于光速。在同一年，赫兹用一根直径为 3 厘米、长度为 26 厘米的偶极振荡器发射电磁波，经过金属面反射 45 度使电磁波成为波长只有 66 厘米的短波，然后用高度为 2 米、孔径为 1.2 米的抛物面使电磁波折射……。这些实验结果表明光波所具有的一切物理性质，电磁波几乎都具备，从而证明了电磁波和光波的同一性。

### 1.3.11 亥维赛奠定了电讯工程的理论基础

英国电磁学家、麦克斯韦电磁场理论的继承人奥利夫·亥维赛 (Oliver Heaviside)，通过自学，在两世纪之交为电磁场理论和电讯技术理论的发展做出了卓越贡献。在他 50 余年的奋斗生涯中，写下了大量的电磁学论文。他建立了第一个具有电感的电报方程，最早预言了可以通过加载电感元件来减小电缆上信号的畸变，他独立于赫兹将麦克斯韦方程组简化为四个较为对称的方程，他引入运算微积的方法，开辟了电工计算的捷径。

### 1.3.12 电子的发现

1897 年，J·J·汤姆逊 (J. J. Thomson) 用不同的方法测定了阴极射线粒子的质荷比，证明它们是一种更基本的粒

子，导致了电子的发现，接着，他又借助于威尔逊的云室技术，测量了电子的电荷。此后，密立根 (R.A.Millikan) 等人利用油滴技术测出了更为精确的电子电量。

### 1.3.13 洛伦兹电子论的创立

1892 年，洛伦兹发表了划时代的论文——《麦克斯韦电磁学理论及其对运动物体的应用》(La théorie électro-magnétique de Maxwell et son application aux corps mouvants)，奠定了洛伦兹电子论的基础。在洛伦兹的电子论中，以太和物质在力学上是相互独立的，而在电磁学上又是相互联系的，联系它们的“桥梁”是电子（洛伦兹在这篇论文中用电粒子，在 1895 年改用离子，在 1899 年后改用电子）。同时，电子的运动又是一切电磁场的根源，这种思想比麦克斯韦更深入了一步，因为麦克斯韦从来不问及电磁场是如何产生的，在他的理论中，电磁波似乎总是来自于无穷远处。洛伦兹还用电子论解释了光的反射和折射现象、光的色散现象，以及金属对光的吸收现象。

洛伦兹电子论的意义不仅在于它从理论上预言了电子的存在，在电子被发现之前就解决了电子运动与电磁场之间的关系，还在于它将经典电磁学推到了最高的高度，并为爱因斯坦狭义相对论的诞生创造了条件。

### 1.3.14 磁致旋光理论的产生和发展

在电磁学诞生之前，有许多自然现象促使科学家考虑这样一个问题：光、电和磁之间是否存在内在的联系？例如，雷电能够打乱磁针的指向，莱顿瓶放电能够使钢针磁化，这些现象说明电和磁是“相通”的。又如，磁场能使偏振光旋转，通过螺旋管的电流也能使偏振光旋转，这些现象表明电、磁和光绝对不是孤立的。以下简略叙述磁致旋光理论的产生和发展。

#### (1) 晶体的自然旋光性——毕奥定律和麦库拉方程

1818 年，毕奥在法国科学院宣布了毕奥定律：偏振面的旋转角与偏振光通过晶体的厚度成正比，与波长的平方成反比。1936 年，都柏林三一学院的麦库拉 (J. Mac Cullagh) 提出了自然旋光性方程。

#### (2) 麦克斯韦的磁致旋光理论

根据亥姆霍兹的涡旋流体力学公式，麦克斯韦在 1865 年发表的论文《电磁场的动力学理论》和 1873 年出版的著作《电磁通论》中用动力学的方法总结了磁致旋光现象的理论，提出了磁光旋转方程。

#### (3) 罗兰从霍尔效应推导磁光效应方程

1879 年，美国霍普金斯大学物理系的学生霍尔 (E. H. Hall) 发现了以他的姓命名的电磁效应——霍尔效应。霍尔的导师罗兰在此基础上，罗兰得出了磁致旋光方程。

#### (4) 用电子论解释磁光效应——拉莫尔对塞曼效应的解释

1896 年，荷兰物理学家塞曼 (P. Zeeman) 将强磁场作用于钠的火焰，结果发现钠 D 线变宽，后来他又发现其他谱线、甚至吸收线也会变宽，这些事实使他发现磁的确能够对光产生作用，这就是塞曼效应。此后，塞曼和洛伦兹共同研究了塞曼效应，1897 年春天，他们发现加宽的线实际上是由三条分裂的细线构成。为此，他们共同获得了 1902 年的诺贝尔物理学奖。

### 1.3.15 电磁技术的早期应用

从 19 世纪 80 年代起，电力开始逐步取代蒸汽动力，将西方资本主义社会的工业推上了一个更高的地步。电弧灯代替的燃气灯，照亮了伦敦、巴黎和纽约等城市的大街小巷。白炽灯的出现，又给千家万户带来了光明。由于直流电机和交流电机的问世，水力发电站和火力发电站相继出现，电力被送进了工厂、矿山和铁路，马达成了蒸汽机强有力的竞争者。电力驱动和牵引使西方国家更加变成区域密集、劳动密集和资本密集的工业社会。对这个工业社会进行有机联系和调节的是电报和电话。当时，虽然人们还没能从理论上预言信息将是一种更为重要的资源，但是他们确确实实已经把这两个“怪物”（指电报和电话）当作生活必需品，欢迎它们的降临，促进它们的发展。

#### (1) 电报的发明和海底电报电缆的铺设

1833 年，高斯 (K. F. Gauss) 和韦伯根据电磁感应原理制造了人类第一个电磁式电报机，他们在德国哥廷根大学架设了 9000 英尺长的电报线，将该校的天文台和物理实验室联系了起来。

#### (2) 多工电报的衍生物——电话的发明

1876 年 6 月 25 日，贝尔 (A. G. Bell) 在纪念美国独立 100 周年的费城博览会上表演了他发明的电话。

#### (3) 发电机和电动机的发明及应用

发电机和电动机的发明是交叉进行的。由于早期的用电设备只能由伏打电池供电，不仅成本高，而且容量小，因此人们开始研究实用的发电机。

1832 年，法国科学家皮克斯 (Hippolyte Pixii)，1808-

1835) 在法拉第的影响下发明了采用永久磁铁励磁的直流发电机。1845 年, 英国物理学家惠斯通 (Charles Wheatstone, 1802-1875) 用电磁铁取代永久磁铁, 发明了电磁铁直流发电机。1866 年, 德国科学家西门子 (Werner von Siemens, 1816-1892) 发明了自激式直流发电机。与此同时, 英国的维尔德 (H. Wilde)、惠斯通、伐利 (Varley)、美国的法麦 (Farmer) 也都发明了自激式直流发电机。1870 年, 比利时工程师格拉姆 (Z. T. Gramme) 采用多绕组电枢工艺制造直流发电机, 克服了此前直流发电机输出不稳定的缺点, 为电镀和弧光灯供电, 成为电机发展史上的一个重要里程碑。1873 年, 德国电气工程师赫夫纳·阿尔特涅克 (1845-1904) 对直流发电机的制造工艺又做了改进, 研制成功了鼓状电枢自激式直流发电机, 提高了效率, 降低了成本, 使直流发电机进入实用化阶段。1880 年, 爱迪生制造了名为“巨象”的大型直流发电机, 并将其展示在 1881 年的巴黎博览会上。

1856 年, 西门子发明了纵向槽梭绕式电磁铁定子交流发电机, 成为现代交流发电机的前身。1867 年, 英国教授霍尔姆斯 (F. H. Holmes) 发明了供灯塔用的交流发电机。

1834 年, 德籍俄国物理学家雅可比 (Moritz Hermann von Jacobi, 1801-1874) 发明了功率为 15W 的棒状铁芯电动机, 1839 年, 雅可比在涅瓦河上做了用电动机驱动帆船的实验。1836 年, 美国工程师达文波特 (1802-1851) 用电动机驱动了木工车床, 1840 年, 达文波特用电动机驱动了印报机。1885 年, 意大利物理学家加利来奥·费拉里斯 (1841-1897) 提出了旋转磁场的原理, 并研制了二相异步电动机的模型。1886 年, 塞尔维亚裔美籍物理学家和发明家尼古拉·特斯拉 (Nikola Tesla, 1856-1943) 独立研制出了二相异步电动机, 1888 年, 特斯拉发表了交流感应电动机理论。1888 年, 俄国工程师多利沃·多勃罗沃利斯基 (Dolivo-Dobrovolskii, 1861-1919) 发明了实用的三相交流单鼠笼异步电动机。

#### (4) 变压器的发明和电力系统的发展

1882 年, 法国人高拉德 (L. Gaulard) 和英国人约翰·吉布斯 (D. Gibbs) 研制成功了第一台具有实用价值的变压器。威斯汀豪斯公司买进了这一专利, 在美国麻省的大巴林顿 (Great Barrington) 成功装配了一座实验性质的交流发电站。于是, 能够升压与降压的交流电与直流电相比显示了其优越性, 使得交流电力系统得到迅速发展。到 1887 年, 美国已经有了好几座可为 13 万盏灯供电的威斯汀豪斯交流

电供电中心。

(5) 1888 年, 美国威斯汀豪斯公司的萨伦伯格 (O. B. Shallenberger) 发明了交流电度表。

在 1990 年以前, 大多数发电厂属于直流发电厂, 在 1890 年以后, 交流电开始逐步成为电力工业的主流。1891 年, 苏黎世奥厄利空公司的总工程师布朗 (C. E. L. Brown) 在德国劳芬 (Larffen) 设计了世界上第一座三相交流发电厂, 该电厂位于尼卡尔河 (Neckar River) 畔, 以 3 万伏的高电压向法兰克福供电。

### 1.4 19 世纪末到 20 世纪初——近代经典磁学大发展

#### 1.4.1 近代经典磁学大发展

从 19 世纪末到 20 世纪初期, 是近代经典磁学大发展的时期。在这一时期, 不但抗磁性、顺磁性和铁磁性的实验研究和理论研究取得许多重大甚至突破性的进展, 如 P. 居里 (P. Curie, 1859-1906) 在 1895 年发表了关于抗磁性和顺磁性的两个定律, 并发现了居里温度; 外斯 (P. Weiss, 1865-1940) 创立了铁磁性理论; 而且还发现了不少新的磁效应, 为以后的新研究和新应用开辟了广阔的途径。

所谓磁效应是指由外加磁场或磁性物质内部的磁状态变化所引起的其他物理性质的变化, 或者由其他物理因素 (力、声、热、电、光) 引起磁性物质的磁性或磁状态的变化。这一时期发现的磁效应主要有:(1) 磁-力效应;(2) 磁声效应;(3) 磁热效应;(4) 磁(场)-电效应;(5) 磁光效应。

以上这些效应多数在当时已经能够用经典电磁学、热力学和电子论等理论加以解释, 并在以后的科学的研究和生产实际中获得应用。

#### 1.4.2 第二次工业革命

1870 年-1913 年, 以电气化为主要特征的第二次工业革命彻底改变了世界经济的格局。在这一时期, 以汽轮机和水轮机为原动机、以交流发电机为核心、以变压器和输配电线路为输电网的电力系统得以形成, 使电力的生产、传输和应用都达到了较高的水平, 并具有相当大的规模。电力在工业生产、交通运输和家用电器 (如吸尘器、洗衣机、电冰箱、电灶、空调) 等领域都得到广泛的应用。例如, 到 1876 年, 全世界电报线总长度已达到 178000 公里; 到 1910 年, 全世界的电话用户已经达到了 1 千万户。在贝尔于 1876 年发明电话之后的 1877 年 1878 年, 爱迪生和休斯 (D. E. Hughes) 分别发明了碳粒麦克风, 1877 年, 柏林纳尔 (E.

Berliner) 发明了金属 - 阻抗型麦克风 , 1888 年 , 柏林纳尔又发明了盘式留声机 ;1877 年 , 西门子 (E.W.Siemens) 发明了动圈式扬声器 ; 这样 , 主要的音响设备在 1880 年代末就都出现了。从 1914 年到 1929 年 , 在美国的工业企业中 , 以电动机为动力的比重 , 从 30% 上升到了 70% 。 1926 年 , 英国成立了中央电气委员会 , 1933 年 , 英国在全国建成了电力网。到 20 世纪 30 年代 , 欧美发达国家先后完成了电气化。从此 , 电力取代了蒸汽 , 使人类迈进了电气化时代。

## 2 中国磁学的起源与发展历程

### 2.1 古代中国 (1840 年以前 )

在磁学方面 , 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 ” ; 《韩非子 · 有度》中记载 :“ 夫人臣之侵其主也 , 如地形焉 , 即渐以往 , 使人主失端 , 东西易面而不自知。故先王立司南以端朝夕。 ” 可见在战国时期 , 就出现了用磁石指示方向的仪器——司南。汉王充《论衡 · 是应》中记载 :“ 司南之杓 , 投之於地 , 其柢指南 ” 。王充的《论衡》中还记载了 “ 顿牟掇芥 磁石引针 ” 现象 , 最早把静电现象和磁现象相提并论。后来有药物学家用磁石做药物实验 , 沈括 (1031-1095) 的著作《梦溪笔谈》有对指南针的制造方法及磁偏角的阐述 , 他在《梦溪笔谈》卷 24 中写道 :“ 方家以磁石磨针锋 , 则能指南 , 然常微偏东 , 不全南也。 ” 比 1492 年哥伦布发现磁偏角早 400 多年。 1695 年 , 清初刘献庭在《广阳杂记》中最早记述了磁屏蔽现象 , 他写道 :“ 磁石吸铁 , 隔碍潜通…… 唯铁可以隔之耳。 ”

关于指南针的发展方面也是于宋代最盛。沈括指出了四种指南针的安放方法 : 水浮法 , 把针放在水面上 ; 指甲发 , 把针放在光滑的指甲上 ; 碗唇法 , 把针放在光滑的碗唇上 ; 丝悬法 , 以蚕丝缀针腰 , 悬吊指针。宋代已经把指南针用于航海。公元 1119 年 , 宋代朱彧在《萍洲可谈》中记载 “ 舟师识地理 , 夜则观星 , 昼则观日 , 阴晦观指南针。 ”

以上这些大致就是磁学知识在古代中国的发展。可见 , 在库仑定律 (1784-1785) 发现之前 , 古代中国对电磁现象的认识方面丝毫不弱于西方 , 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。然而也可以看到 , 仅依靠简单直接的对自然现象的观察 , 是很难获得更丰富更深入的电磁知识的。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

定量物理定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 , 因而也未能在电磁学领域继续有所创获。美国人亨利 · 奥古斯特 · 罗兰在 1893 年 ( 即中日甲午海战爆发前一年 ) 发表的文章《纯科学的呼吁》指出 :“ 为了应用科学 , 科学本身必须存在。假如我们停止科学的进步而只留意科学的应用 , 我们很快就会退化成中国人那样 , 多少代人以来他们 ( 在科学上 ) 都没什么进步 , 因为他们只满足于科学的应用 , 却从来没有追问过他们所做事情中的原理。这些原理就构成了纯科学。中国人知道火药的应用已经若干世纪 , 如果他们用正确的方法探索其特殊应用的原理 , 他们就会在获得众多应用的同时发展出化学 , 甚至物理学。因为只满足于火药能爆炸的事实 , 而没有寻根问底 , 中国人已经远远落后于世界的进步。 ” 这段话虽然说得难听 , 但却戳到了我国科技发展的痛处 : 重视技术应用 , 漠视基础研究 ( 国家自然科学基金委主任 : 杨卫 ) 。

### 2.2 近代中国 (1840~1949 年 )

近代中国的电磁学知识传自于西方。在 1840 年第一次鸦片战争爆发后 , 中国社会开始发生重大变化 , 战争的失败导致一系列不平等条约的签订并割让香港 , 中国被迫打开了闭关自守的大门。此后 , 西方传教士纷纷进入中国 , 设立教会学校 , 编译书籍 , 办报纸和刊物 , 成立出版印刷机构 , 在传教的同时将西方近代科学带进中国。在这个时期 , 由中国学者和西方传教士合作翻译了较多的电磁学著作 , 其中较为重要的有 :

(1)1851 年 , 《博物通书》 , 美国医学传教士玛高温译述 , 玛高温的中国合作者 : 周祖濂——《中国基督教史纲》作者王治心妻子的祖父 ; 出版者 : 宁波华花圣经印书局。

(2)1855 年 , 《博物新编》 , 英国医学传教士合信译述 , 出版地 : 广州。

(3)1866 年 , 《电磁学入门》 , 美国传教士丁韪良译述 , 出版者 : 京师同文馆 , 此书是《格物入门》七卷本中其中之一册。

(4)1876 年 , 《格致略论》 , 传教士傅兰雅译述 , 出版地未知。

(5)1879 年 , 《格致启蒙》 , 传教士林乐知译 , 郑昌校述 , 出版者 : 上海江南制造局。

(6)1880 年 , 《电磁学》 , 英国传教士傅兰雅口述 , 中国

学者徐建寅 (1845-1901) 笔译 , 出版者 : 上海江南制造局。

(7) 1880-1885 年 , 《电学纲目》 , 傅兰雅口述 , 周郁笔述 ,  
出版者 : 上海江南制造局。

(8) 1883 年 , 《格物测算·电学》 , 它是《格物测算》的  
八卷本之一 , 丁韪良辑译 , 出版者 : 京师同文馆。

(9) 1887 年 , 《电学图说》 , 傅兰雅辑译 , 出版者 : 益智  
书会。

(10) 1887 年 , 《电学须知》 , 傅兰雅辑撰 , 华衡芳译 ,  
出版地未知。

(11) 1889 年 , 《增订电学入门》 , 《格物入门》的增订本 ,  
出版者 : 京师同文馆。

(12) 1892 年 , 《论电》 , 英国传教士欧礼斐辑译 , 出版者 :  
京师同文馆。

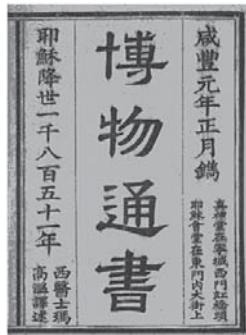
(13) 1896 年 , 《电学总览》 , 美国传教士博恒里译 , 出  
版地 : 上海。

(14) 1898 年 , 《无线电报》 , 美国传教士卫理口译 , 范  
熙庸笔述 , 出版者 : 上海江南制造局。

(15) 1899 年 , 《电学纪要》 , 英国传教士李提摩太口译 ,  
暇深居士笔述 , 出版者 : 上海广学会。

(16) 1903 年 , 《物理学》 , 日本饭盛挺造编撰 , 藤田丰  
八译 , 王季烈重编并润色文字 , 出版者 : 上海江南制造局。

以上关于“电学”的书籍均包含了磁学知识。



### 2.2.1 《博物通书》——第一本中文电磁学著作

1851 年出版的《博物通书》一书 , 由美国医学传教士  
玛高温译述 , 由宁波华花圣经印书房出版。“华”即中国 ,  
“花”即美国 , 当时的中国人看到美国的星条旗很花哨 , 所  
以称美国为“花旗国”。据笔者考证 , 玛高温的中国合作者  
是周祖濂 , 周祖濂较早信奉基督教 , 并跟随玛高温一起传教 ,  
他是《中国基督教史纲》作者王治心妻子的祖父。

《博物通书》的第一部分是封面 (见下图) 和前言 , 计

3 页 ; 第二部分是“三言真诠” (相当于“绪论”) , 计 4 页。  
这两部分主要介绍基督教的内容。

《博物通书》的第三部分是“电气通标” , 计 6 章 28 页 ,  
约 7460 个汉字 , 大约占整本书的 60%。这是该书的主要  
内容。各章内容分别为 :

第 1 章 引言。内容有 : 宇宙中任何一种物质都具有“气” ,  
也就是今天我们说的“电荷” ; 把棉花用细丝垂吊在架子上 ,  
用干燥的羊毛摩擦琥珀 , 棉花和琥珀相互吸引 , 棉花和棉花  
之间相互排斥 , 从而证明电荷同性相斥、异性相吸。

第 2 章 : 电气玻璃器。介绍静电存储实验。

第 3 章 : 电气五金器。介绍伏打电堆实验。

第 4 章 : “吸铁石气”。介绍磁铁的四个用途 : (1) 平指  
南北。 (2) 侧照高低。 (3) 呼吸开合。 (4) 动气交钢铁。

第 5 章 : 电气连吸铁。介绍电流产生磁场的实验。

第 6 章 : 电气通标。介绍电报机和楷书汉字的编码方案 ,  
指出电报的用处 :“ 中华之大 , 诚得此法 , 联络十八省 , 则  
朝廷不虑四境之远 , 闾阎不觉九阍之高 , 商贾可知各处货  
物之贵贱 , 行旅可知家乡亲戚之安否。”

《博物通书》是我国在近代科学意义上的第一本中文  
电磁学著作。该书在中西方文化的交流方面至少创造了五  
个第一 : (1) 第一次把西方电磁学知识带进了中国 , 这些  
知识是现代电磁学中最基础、最核心、最重要的部分 , 因  
此 1851 年成为中国现代电磁学发展史上的元年。 (2) 第一  
次将西方刚刚出现并正在快速发展的电报技术介绍进中  
国 , 但当时的中国人认识不到电报的价值 , 直到 25 年后的  
1876 年 , 清政府才在福州设立了中国第一家电报学堂。 (3)  
第一本中文电磁学著作。由于现代电气工程学科是在电磁  
学的基础上发展起来的 , 所以《博物通书》又是今天的电  
气、电子、计算机学科的第一本中文著作。 (4) 第一次在汉  
语中创造了至少 13 个电磁学术语 : 电气 (电荷 , 汉语“电  
气”就来自这本书 , 它是英语电流体 (electric fluid) 的直译 )  
独在 (电容器) 大引 (电容器) 电气增 (正电荷) 电气  
减 (负电荷) 电气玻璃器 (电容器) 电气五金器 (伏打  
电堆) 呆铁 (无磁性的铁) 吸铁 (磁铁) 弯吸铁 (马蹄  
形磁铁) 电气吸铁 (电磁铁) 电气通标 (电报机) 通字  
(电报编码) (5) 创造了第一个汉字编码方案。

《博物通书》出版后并没有得到中国人重视 , 也没有在  
中国流传 , 读过的人不多。这本书没有在我国流传的原因  
大体有 : (1) 新概念、新术语太多 , 内容太超前 , 远远超出

当时中国人的认识水平 ;(2) 电和磁的概念太抽象 , 看不见、摸不着 ;(3) 当时社会对新知识不敏感 , 整个社会还没有认识到电磁学知识的重要性 ;(4) 科举考试不考自然科学 , 学了没用。(5) 翻译原因 ;(6) 宗教原因 ;(7) 被 4 年后出版的《博物新编》等新书所取代。

### 2.2.2 《博物新编》——近代早期中外文化交流史上的一部重要译著

1855 年 ( 咸丰五年 ) 出版的《博物新编》一书 , 由英国伦敦会传教医师合信 (Hobson, Benjamin, 1816-1873) 编译 , 由上海墨海书馆出版。该书介绍了一些浅显的科技知识 , 被称为当时本风行一时的综合性科技知识的启蒙读物 , 其书名是与《博物通书》相对而言的。该书共分三集 , 初集分地气论、热论、水质论、光论、电气论四部分 , 介绍了气象学、物理学、化学等基础知识。

在第一集《电气论》里有一段关于电的用途的文字 :“ 西人有作电气之法 , 理奇而用大 , 有藉以传通音信 , 有藉以医治疯癱 , 有藉以引烧火炮 , 有藉以制作器物 , 功难尽述。” 所谓 “ 制作器物 ” 就是用电镀方法制造金属器皿。

《博物新编》的编译出版 , 对中国近代早期一批科学家与知识分子产生过很大的影响。王韬曾讲此书 “ 词简意尽。明白晓畅 , 讲格致 ( 即物理 ) 之学者 , 必当由此入门 , 奉为圭臬 ” 。后来闻名近代科学技术界的徐寿、华衡芳 , 都曾研读过此书 ,“ 甚为欣羡 , 有慨襟怀 ” 。徐寿还把此书带回无锡家中 , 按照书中的方法 , 做了些仪器 , 来验证其中的结论。据傅兰雅的《江南制造总局翻译西书事略》记载 , 徐寿不但试验该书所载的方法 , 而且触类旁通 , 做出一些书上没有的实验。徐寿后来在江南制造局主持翻译馆 , 非常注意介绍西方综合性的科学知识 , 曾建议至英国购《泰西大类编书》 ( 即《大英百科全书》 ) , 把西方近代科技知识系统化地介绍给中国知识界 , 与他早期接触合信的《博物新编》不无关系。

《博物新编》作为近代早期中外文化交流史上的一部重要译著 , 其内容明显比《博物通书》通俗易懂 , 而且其初集的 “ 电气论 ” 部分主要介绍实用的电磁学知识 , 较少涉及深奥的电磁学理论 , 也不涉及令中国政府排斥的宗教内容 , 也引用了《博物通书》中的 “ 电气 ” 等术语 , 比《博物通书》的出版时间仅仅晚四年 , 所以取代了《博物通书》。

### 2.2.3 近代中国的磁学研究

从 1908 年开始 , 我国的交通大学 ( 当时称南洋大学 ) 、同济大学 (1912) 、浙江大学 (1920) 、东南大学 (1923) 、清华

大学 (1932) 、天津大学 (1933) 等高校陆续开设了电气工程专业 , 系统教授电磁学知识。 1925 年 , 叶企孙在清华学校 ( 清华大学前身 ) 创办了物理系 , 并开创了中国的磁学研究。

## 3 结语

笔者近期阅读雷银照教授的文章《“电气”词源考》、《第一本中文电磁学著作及其历史地位》 , 宋德生、李国栋教授的《电磁学发展史》及其他有关文献 , 感觉受益匪浅。正如雷教授所说 , 通过学习电磁学发展史 , 将有助于汲取历史经验和教训、澄清疑问、更正史书之误、完整认识电磁学发展史、从历史中获得启发、增强电磁学的文化底蕴 , 更好地学习电磁学知识。

在明末至晚清时期 , 伴随着西方传教士的来华 , 包括电磁学知识在内的西方近代科学技术被引进中国。面对这一新事物 , 中国人起先是被动、零星地吸收 , 继而是主动、系统地学习 , 其结果不仅开阔了中国人认识自然现象和自然本质的视野 , 为中国实现由传统科学向近代科学的历史转变奠定了基础 , 而且启迪了民智 , 改变了中国人对世界的看法 , 促进了中国社会的变革。然而由于受 “ 用夏变夷 ” 的封建政策和 “ 西学中源 ” 的文化思潮影响 , 中国学者在学习西方近代科学技术的过程中 , 主要还是把它作为一种有实用价值的学问来看待 , 对于其中的近代科学思想真谛缺乏明晰的认识和理解 , 既无法摆脱传统科学观念和方法的束缚 , 又受不通晓外语的制约。因此 , 一直停留在传教士 “ 口译 ” 、 “ 口授 ” , 中国学者笔录成文的跟踪模仿层面上传播科学知识。由于未能对科学理论作深入的研究和探索 , 更谈不上对科学方法和科学精神的倡扬 , 也就难于为推进中国科学的近代化使其跟上世界先进水平发挥更大的作用 , 显然对社会的影响也非常有限。这与近邻日本在明治维新时期学习西方先进科学技术卓有成效形成了鲜明的对照。今天 , 中国正在加速现代化进程 , 应该吸取我们在近代学习西方科学技术中的教训 , 走自主创新之路 , 实现科技的跨越式发展<sup>[4]</sup>。

本届功率变换器磁元件领域技术和学术交流大会主要围绕功率变换器高频磁元件的最新学术和技术成果、应用方向及未来发展趋势进行讨论。笔者想利用这一机会 , 和大家一起回顾一下电磁学的起源和发展历史 , 以便进一步增强电力电子磁技术的科学底蕴和文化底蕴 , 更加注重基础研究 , 促进自主创新 , 更好地把握电力电子磁技术的现在和未来 , 使电力电子磁技术得到更大发展。

## 参考文献

- [1] 弗·卡约里 (美)著,戴念祖译。物理学史 [M]。广西师范大学出版社, 2002。
- [2] 吴国盛。科学的历程 (第二版) [M]。北京大学出版社, 2002。
- [3] 戴念祖。中国物理学史大系——电和磁的历史 [M]。湖南教育出版社, 2002。
- [4] 施若谷。晚清时期西方物理学在中国的传播及影响 [J]。自然辩证法研究, Vol. 20(7), 85-88, 2004. 7.
- [5] 雷银照。“电气”词源考 [J]。电工技术学报, Vol. 22(4), 1-7, 2007. 4.
- [6] 雷银照。第一本中文电磁学著作及其历史地位 [J]。电气电子教学学报, Vol. 32 (增刊), 126-129, 2010. 2.
- [7] 宋德生, 李国栋。电磁学发展史 (修订版) [M]。广西人民出版社, 1996
- [8] 刘光磊。宁波新闻传播事业通史目录 [M]。哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2010. 10。
- [9] 谢振声。近代宁波传教第一人——玛高温 [J]。中共宁波市委党校学报, 123-127, 2010 年第 2 期。
- [10] 谢振声。玛高温与宁波华美医院及《中外新报》。<http://nbwb.cnbb.com.cn/forum.php?mod=viewthread&tid=191016&highlight=>
- [11] 王治心。中国基督教史纲 [M]。青年协会书局, 1940. 3; 2007 年 3 月由上海古籍出版社重新出版。
- [12] 王治心撰, 徐以骅导读。中国基督教史纲 [M]。世纪出版集团, 上海古籍出版社, 第 5 页, 2004. 4.
- [13] 任桑桑。宁波华花圣经书房与晚清科学传播 [D]。浙江大学硕士学位论文, 2006. 4.
- [14] 高黎平。花华圣经书房与晚清西学翻译 [J]。梧州学院学报, Vol. 17(4), 55-59, 2007. 8.
- [15] 王扬宗。晚清科学译著杂考 [J]。中国科技史料, Vol. 15(4), 32-40, 1994.
- [16] 冯志杰。中国近代科技出版史研究 [D]。南京农业大学博士学位论文, 2007. 6.
- [17] 邹振环。合信及其编译的《博物新编》 [J]。上海科技翻译, 45-45, 1989. 1.
- [18] 周金保。《博物新编》与早期电镀文献 [J]。电镀与土石, Vol. 11(1), 70-75, 1992. 3.
- [19] 王仰之。关于《地学浅释》和《金石识别》两书介绍中所存在的几个问题 [J]。地质论评, 551-552, Vol. 26(6), 1980. 11.
- [20] 玛高温, 华衡芳。金石识别 [M]。江南制造局, 1871 年。

## 作者简介

杨玉岗 (1967), 男, 博士, 教授, 主要研究领域为电力电子技术及其磁集成技术、电磁学发展史。