

电子应用技术丛书 4

电子管的使命

柯 学 著

内 容 提 要

本书是“电子应用技术丛书”之一。电子管是一类重要的电子器件，它在通信、雷达、电子对抗、声音和电视广播、工业和民用加热、遥感等许多领域得到广泛应用。本书首先叙述电子管的物理基础，然后讲解各种电子管的原理，并以较大篇幅介绍电子管的应用。

本书文字通俗易懂，章节命题新颖；内容丰富，能从一些小故事的角度对科学原理作通俗的叙述；图文并茂。可供初中以上学生、中学教员、电子学爱好者及有关人员阅读。

电 子 应 用 技 术 丛 书 4

电 子 管 的 使 命

柯 学 著

责任编辑：朱桂兰

封面设计：陈德宝

*

科学普及出版社出版（北京海淀区白石桥路32号）
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京四季青印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：53/8 字数：114千字
1983年7月第1版 1983年7月第1次印刷
印数：1—33,500册 定价：0.52元
统一书号：15051·1089 本社书号：0758

《电子技术丛书》

编委会成员

主 编
副 主 编
常务编委
责任编辑
编 委

孟 昭 英
杜 连 耀
甘 本 祓
吴 鸿 适
毕 德 显
任 朗 仁
顾 德 环
邱 绪 允
陈 芳 允
王 玉 珠

吴 朔 平
童 志 鹏
王 守 觉
何 国 伟
周 炯 槃

叶 培 大
陶 棣
张 思 虬
秦 治 纯
周 锡 龄

《电子应用技术丛书》

前 言

电子科学技术是一门发展迅速、应用广泛的现代科学技术。而先进的电子技术又是现代化的重要标志。为了尽快普及电子科技知识，中国电子学会和出版部门聘请有关专家、学者组成编委会，组织编写三套各有特点的、较系统的普及丛书。本丛书是“电子应用技术丛书”，由科学普及出版社出版；其余两套是“无线电爱好者丛书”，由人民邮电出版社出版；“电子学基础知识丛书”由科学出版社出版。

“电子应用技术丛书”以具有中等文化水平的干部、知识青年和电子技术爱好者为对象，着重介绍电子技术的应用，兼顾有关基础知识、发展史和展望未来，俾使读者对电子科学技术获得比较完整的概念和知识。

我们竭诚地期望广大读者和电子科技人员对这套丛书提出宝贵意见，对缺点或者错误提出严正批评，使本丛书不断完善，从而更好地适应“四化”建设的需要。

引 言

就科学和技术范畴而言，人们把19世纪叫做电学世纪，把20世纪叫做电子学世纪。什么是电子学？狭义说来，它是研究电子管和半导体器件的原理、制造和应用的一门科学技术。不过，近年来也有一种看法，认为现代电子学是一个范围极为宽广的领域，包罗了通信、信息、加工、控制等过程中所用的一切电子装置。

电子管诞生于1906年。自那时起，在大约半个世纪的时期内，它几乎独占了电子学的舞台。但是后来，半导体异军突起，使电子管失去了许多用武之地。特别是那些人们经常使用的电子装置，例如收音机、电视机、电子手表、电子计算器等等，差不多都半导体“化”了。今天，除电视显像管以外，人们在日常生活中已不大容易见到电子管。许多人对电子管感到陌生了。人们不禁要问：电子管到哪里去了？难道它已经销声匿迹了么？

.....

朋友，你或许是一名朝气蓬勃的青年学生，也可能是一名热爱科学的工作人员，现代电子学的成就使你叹服。然而，你可能还不了解，如果没有电子管，这些电子学奇迹是很难想象的.....

“我住长江头，君住长江尾。日日思君不见君，共饮长江水”。遥遥万里，天涯海角，曾经给人们的交往带来多么巨大的困难；天各一方，渺无音信，曾经给骨肉亲人造成多么

1111240

深切的痛苦。如今，卫星通信系统使人们可以在大洋两岸互通声息，使全世界的10亿球迷能够在电视机前观看同一场足球赛，长江头尾互诉衷肠更有何难？啊！“电子四海一家”，这个评价是再确切不过了！然而，你可知道，这里边有电子管的一份功劳？

相传在我国古代，楚国有一个射箭能手，名字叫养由基。他在一百步远处，对着杨柳树的叶子射箭，能够百发百中。从那时起，人们就用“百步穿杨”来形容射击准确、枪法高明。今天，现代化的武器——导弹的命中精度使养由基的箭法相形见绌。大家还记得，1980年5月，我国向太平洋预定海域发射运载火箭获得圆满成功。大型运载火箭飞越高山大海，行程上万公里，准确地在此预定区域溅落，这比“百步穿杨”不知要准确多少倍！然而，你可知道，这里边有电子管的一份功劳？

我们伟大的祖国，是历史悠久的文明古国。就拿能源来说，我国是世界上最早开采和使用煤炭的国家。所谓“豫章出石，可燃为薪”，就是明证。我国人民燃用煤炭，曾使元代初年来中国的马可·波罗惊讶不已。其实，当马可·波罗啧啧赞叹之时，勤劳智慧的我国人民已经使用了一千年煤炭！但是，人类不可能无限期地使用煤炭、石油等矿物能源。有人估计，石油还能采30年，煤炭也仅能采250年。石油枯竭了，煤炭耗尽了，怎么办？好在人类还有两个长寿的能源朋友。大朋友叫太阳，小朋友叫原子核。太阳能和核能是人类未来的能源。在开发新能源的事业中，电子学责无旁贷。人们计划建造的太阳能发电卫星，将把太阳能变成微波。它向地面输送的电力，足能顶上10座大型水电站！然而，你可知道，这里边有电子管的一份功劳？

“庭中有奇树，绿叶发华滋”。在电子学百花园中，电视技术可以说是一株枝叶繁盛的嘉木奇树，一簇受人喜爱的绚丽花朵。在遥远的太空，替人类探索土星的奥秘；在宁静的海底，为人类寻找石油的宝藏；在灿烂阳光下，记录孩子们的狂欢；在漆黑的星夜，寻觅逃犯的踪影；在幸福的家庭里，使天伦之乐增添光彩；在紧张的战场上，使威严的枪炮百发百中；在姑娘的衣袋里，跟随她游历名山大川；在宽敞的剧场里，让千百人共享假日的安逸。这些，就代表着名目繁多的电视：广播电视、工业电视、微光电视、红外电视、遥感电视、军用电视、水下电视、电话电视、投影电视……，令人眼花缭乱，目不暇接。然而，你可知道，这里边有电子管的一份功劳？

.....

所以，我们说，电子管并没有销声匿迹。电子管铭记着自己肩负的使命，在高频率、大功率和光电子学等领域，为现代电子学的发展贡献着力量。

本书是“电子应用技术丛书”中的一册。在编写本书的过程中，吴鸿适教授亲自给以指导，提供了许多宝贵的资料，并多次审校书稿。清华大学的应根裕讲师校阅了部分章节。没有他们的关怀、指导与帮助，这本小册子是难以问世的。

目 录

引 言

一、电子的真空王国	1
1. 电磁学的建立	1
2. 电磁波家族	9
3. 电子——我们的小朋友	16
4. 真空王国	22
二、栅控电子管的兴起	27
1. 电子管历史第一页	27
2. 强大的无线电波	33
3. 奇妙的高频加热	41
三、向更短波长进军	47
1. 从中波、短波到微波	47
2. 栅控管遇到难题	51
3. 从汽车队谈起	54
4. 跨进微波的关键一步	60
5. 建筑师与行波管	64
四、活跃的微波管兄弟	70
1. 她在九重天外值班	70
2. 敏锐的眼睛	82
3. 电磁波的战争	91
4. 微波能的妙用多	97
5. 用不完的能源	110

五、电子束管与电子成像	119
1. 克服眼睛的缺点	119
2. 可爱的千里眼	122
3. 医治人眼的“色盲”症	140
4. 美好的回忆	142
5. 观察暗夜，犹如白昼	145
六、未知的射线	149
1. 当时它是个未知数	149
2. X射线管	151
3. 为人类造福	152
4. 探索未知的能手	156
结语	159

一、电子的真空王国

1. 电磁学的建立

电与磁，人类发现这两种自然现象，是两千多年以前的事了。

早期的磁学实验，是从天然磁石开始的。我国古代劳动人民创造的指南针，就是用天然磁石制成的。指南针大约出现在战国时期，距今已有2千多年的历史。那时的指南针，样子象一把勺，它的底面圆滑，可以在盘子上自由旋转，当它静止下来时，勺柄就指向南方。我国人民的聪明才智，和她的古老文化，多么值得我们骄傲！

至于原始的电学实验，却离不开琥珀。公元前600年，希腊哲学家赛尔斯记述过织工们发现的一种现象：当用羊毛摩擦琥珀以后，琥珀就能吸引一些轻小物体。后来才知道，这是琥珀已成为带电体的缘故。现在英文的“电子”这个词，就是从希腊文“琥珀”演变来的。可见，摩擦生电的现象，也是2千多年以前发现的。

尽管对电和磁这两种现象的研究，已经进行了很长时期，但是，直到19世纪以前，人们还认为这两种现象是互相关立、互不相关的。

从19世纪初年开始，电和磁的研究进一步深入。1819年奥斯特发现电流的磁效应；1831年法拉第发现当磁铁与导线相对运动时，导线中就产生电流（电磁感应定律），并用

“场”的概念来解释这一现象；1864年，麦克斯韦把全部电磁现象用一组数学方程表达出来，预言了电磁波的存在，并证明了电、磁和光这三种现象本质上的统一性；此后，在1887年，赫兹用实验证实了电磁波的存在。这样，从理论到实验，电磁波已被人类所掌握。19世纪建立起来的电磁学，为20世纪电子学的迅速发展奠定了基础。

讲台上的发现

在伏打电堆发明以后，丹麦哥本哈根大学教授奥斯特也制出了电堆，并利用它进行了许多实验。当时，已经有一些人认为电与磁必然存在某种联系，但是谁也没有确实的证据来说明这个观点。1819年，在一个偶然的机，奥斯特发现了一个从未见过的现象。

那是发生在电学和磁学课上的事情。上课了，奥斯特把伏打电堆放在讲台上，旁边还放了一个指南针。他把电池两极用导线接上，这样，导线上就有电流流过。当他把导线移到指南针上方时，奇怪的现象发生了。指南针开始旋转起来，最后停止在与导线垂直的方向上。咦，指南针怎么不指南北方向了呢？

这个现象虽然是偶然发生的，但奥斯特却没有放过它。下课以后，他又重复进行这种实验，他要看一看，这里是不是包含着未知的东西。当奥斯特把导线放在指南针下面时，指南针转动的方向与课堂上正好相反；如果把电流改变方向，指南针也改变方向。做完这些实验，奥斯特很有把握地确信自己发现了电与磁之间的关系：流过导线的电流对指南针这个磁体施加一个作用力，而指南针的方向取决于导线内电流的方向，并且总是停止在与电流垂直的方向上。奥斯特

把自己的实验认真地进行了总结，写成一份报告，以小册子的形式发表了。

奥斯特的发现，鼓舞了当时许多科学界人士。对电与磁的相互关系的研究更加深入了。就在奥斯特发表自己实验结果以后几个星期，安培就证实：不但电流对磁体产生作用力，而且两个通电导线相互间也有作用力。安培认为，这也是磁力造成的。在这个基础上，安培对天然磁体作出了自己的解释：这种磁体的磁性，也是由原子内的电流产生的。经过19世纪初期这些卓有创见的工作，人们不再把电与磁看成互相独立的两种现象了。

从订书工到物理学家

大家知道，19世纪在科学上最大的成就，就是建立了电磁学。而在电磁学上贡献最大的科学家，要算是法拉第了。人们把法拉第誉为电气时代的开创者，他是当之无愧的。

法拉第(图1-1) 1791年9月22日生于英国的纽因敦。他父亲是一位铁匠，由于身体不好，不能每天工作，收入微薄。这样，法拉第家里生活极为困苦。在那些岁月里，欧洲战火连绵，食品匮乏、价格昂



图 1-1 法拉第

贵，法拉第父亲的收入怎能喂饱四个孩子呢！法拉第回忆说，有时，他父母每星期只给他一个面包，要他省着吃，这是一个星期的粮食呵！法拉第只读了两年小学，就不得不退学了。

由于生活所迫，法拉第12岁就到一家书店当跑街（报童），第二年又去学习装订书籍，还做卖书业务。法拉第在两年的小学学习中，只学会一点读、写和算术，他对于科学原理的了解，是从他所装订的书中学到的（图1-2）。在装订《大英百科全书》时，他学到了电学的基本知识，在其它书中，他又学到了化学等方面的知识。在当时，只有达官贵人才买得起这些书。法拉第没钱买书，就边装订边学习。他还用印刷厂的废纸订成笔记本，认真记下笔记，自己配上

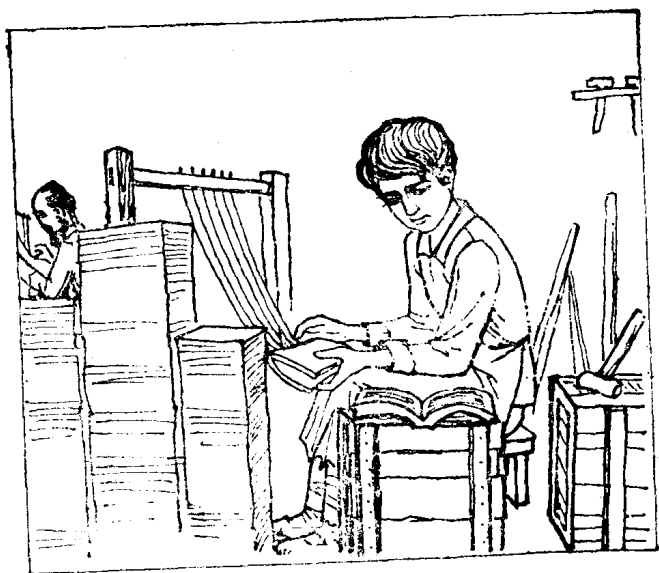


图 1-2 法拉第在当订书工时如饥似渴地学习科学知识

插图。法拉第在极为艰苦的条件下，勤奋地学习着，为他以后的研究工作奠定了基础。所以，不仅法拉第对电磁学的贡献值得称颂，就是他的刻苦学习精神，也值得青年人学习。法拉第曾经说：“希望你们年轻的一代，也能象蜡烛为人照明那样，有一分热，发一分光，忠诚而踏实地为人类伟大的事业贡献自己的力量”。

奥斯特发现电流的磁作用，安培发现两根带电流的导线象磁体一样相互作用，促使法拉第想到：能不能发生与上述情况相反的过程、由磁产生电呢？他朝着这个方向进行了很多实验，但都没有成功。1831年，在一次实验中，法拉第偶然把一根磁棒插到线圈里，导线内出现了电流。他在一根木棍上绕了两个导线环，两个环互相隔开。其中一个环的两端接上一只电流表，当另一个环接到电池上时，这个环上的电流表就指示出有电流产生，这就是感应电流。

从这些实验，法拉第认识到，只要线圈和磁铁发生相互运动，不管是线圈运动还是磁铁运动，都能产生感应电流。而且，只要有磁性的物体，不管它是天然磁体，还是由电流产生的磁场，都能产生感应电流。法拉第发现的这个现象，就叫做电磁感应现象。

法拉第这个重大发现，为电磁学奠定了基础。从此人们知道，只要线圈在磁场中不断地运动，就能连续地输出电流。就在发现电磁感应现象以后几天，法拉第就制作出第一台直流发电机。但是，过了35年之后，人们才造出可供生产中使用的发电机。到19世纪70年代，有实用价值的发电机和电动机已经制成，白炽电灯也在1879年发明出来，80年代又解决了远距离输电问题。人类以电为动力，用电来照明的电力时代开始了。

麦克斯韦的预言

为了解释电磁感应现象，法拉第提出了场力线的概念，突破了从前占据统治地位的超距作用概念，所以在当时受到一般物理学家的反对和非难。而且，由于法拉第家境贫寒，从未受过被富人所独占的教育，因此他无法把自己的发现综合成为完整的理论。

法拉第未竟的事业，由著名的物理学家麦克斯韦（图 1-3）完成了。因此，现代物理学创始人爱因斯坦评价说：伽利略和牛顿，法拉第和麦克斯韦在物理学史上占有同等重要的地位。

当法拉第关于场力线的概念受到几乎所有物理学家的反对时，英国年轻的理论物理学家麦克斯韦站出来赞同他的观点，认清方向加紧研究工作。1864年，麦克斯韦把库仑、奥斯特、安培、欧姆和法拉第等人发现的全部电磁现象，归结

为一组数学方程。在他向英国皇家学院宣读的题为“电磁场的力学理论”的学术论文中，公布了他的研究成果。著名的麦克斯韦方程组，用数学的形式描述了如下的四个定律。

（1）电荷产生电场。这实际上就是静电学的库仑定律。

（2）不存在孤立的磁极，磁力线必定是连续



图 1-3 麦克斯韦

的封闭曲线。

(3) 电流产生磁场。这条定律表达出奥斯特和安培的实验现象。

(4) 变化的磁场产生电场。这实际上就是法拉第电磁感应定律。

此外，麦克斯韦还假定了另外一条定律，这条定律在当时还没有能够得到实验的证明：

(5) 变化的电场产生磁场。

从这个方程组出发，麦克斯韦断定存在电磁波。变化电场产生变化的磁场，变化的磁场又产生变化的电场，在这个过程中，它们以 3×10^8 米/秒的速度（也就是光速）在空间传播。这就是麦克斯韦预言的电磁波。电磁波具有光波的所有已知特性。因此，光仅仅是在一定波长范围内的电磁波。这样，麦克斯韦成功地证明了光、电、磁三种现象的本质统一性。

麦克斯韦在他短促的一生中，对物理学做出过许多具体的贡献。例如，他提出的颜色理论，已经应用于彩色照相和彩色电视；他成功地解释了土星环的稳定性问题；他创立了统计力学，还研究过空气动力学……；但是，给人印象更深的，是麦克斯韦对许多物理学问题所作的科学预言。关于电磁波的预言，只是其中的一个例子。1879年，麦克斯韦因患癌症而早亡，但他所作的科学预言却生机勃勃，启发着人们进行新的探索，使这些预言陆续被实验所证实。

百折不挠的赫兹

就在麦克斯韦逝世那一年，德国的柏林科学院设置了奖金，鼓励人们为麦克斯韦预言的电磁波做出实验证明。

在麦克斯韦去世后八年，1887年11月10日，德国物理学家赫兹在柏林科学院报告说，他已通过实验，证明了电磁波的存在。赫兹是一位刻苦顽强的科学家。赫兹的身体虚弱，经常患病，又染上了肺结核。但是，他并没有被这些困难吓倒，在五年之中反复进行了几千次实验，终于抓住了电磁波的行踪。

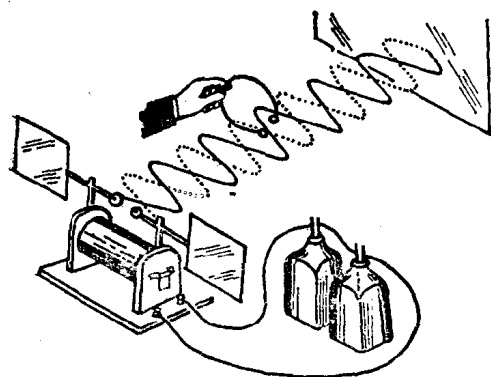


图 1-4 赫兹的实验

赫兹设想，用一个发射源发出电磁振荡，在一定距离之外放置一个谐振接收机，来检测由发射源辐射的电磁波(图 1-4)。

赫兹的发射机有两个抛光的金属球，金属球之间有一个很窄的空气隙。将一个电感线圈与两个球相

连接，线圈在空气隙建立起很高的电压并产生火花。根据麦克斯韦的理论，火花的电流振荡将向空间辐射电磁波。

接收机是一段环形导线，导线一端有个圆球，另一端非常尖锐，这两端之间也形成一个火花隙。

赫兹把发射机放在实验室的一角，接收机装在房间的另一端，并使实验室保持完全黑暗。赫兹把发射机接通，两个金属球之间就产生了火花。就在这一瞬间，在接收天线的空气隙，也闪现极小的火花，其长度只有千分之几英寸，持续时间不超过一微秒。但是，正是这微小的火花，雄辩地说