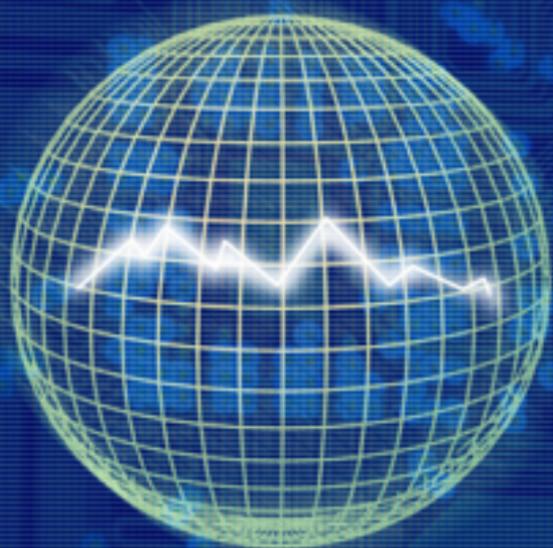


SHENBIAN DE DIANZIXUE

身边的电子学

施修龄 华铭 陶艺军



科普教育精选
青苹果电子图书系列

身边的电子学

施修龄 华铭 陶艺军 等 编著

《身边的电子学》编委会

主编 施修龄 华 铭 陶艺军

编委 林海景 王励志 刘丰州

李 哲 孙 忠 宋焦宇

冯金发 钱思语 赵 盈

郑 强

目 录

第一章 电子学的初级阶段.....	1
第一节 电学在迷惘中徘徊.....	4
一、摩擦起电现象.....	4
二、正电和负电.....	5
三、泰利斯的错误.....	5
四、电学在迷惘中徘徊.....	7
第二节 “从苍天取得闪电”.....	8
一、对雷神的怀疑.....	9
二、取得闪电的勇士.....	9
三、富兰克林对电学的多方面贡献.....	11
四、自学成才的杰出科学家.....	12
第三节 从摩擦起电到伏特电池.....	14
一、摩擦起电机的改进.....	14
二、莱顿蓄电瓶的发明.....	15
三、伏特电池的问世.....	17
第二章 孪生兄弟始相见.....	20
第一节 电磁现象新发现.....	20
一、库伦和伽伐尼的贡献.....	21
二、奥斯特的发现——电产生磁.....	22
三、欧姆定律.....	24

四、电学将要走上实际应用的道路	24
第二节 打开电力之门	25
一、转磁为电	26
二、不畏失败的人	27
三、震惊世界的成功——磁能够产生电	28
第三节 电世界的建立	29
一、进一步的探索	29
二、电磁感应定律的创立	30
三、电世界的建立	32
第四节 电磁场和电磁波	33
一、理论突破的年代	33
二、麦克斯韦的电磁场理论	36
三、深远的意义	40
四、赫兹的刻苦努力	43
六、前辈的功绩	45
七、两个难题	45
八、抓到了电磁波	46
九、来迟了的赞扬	48
十、进一步的工作	50
第五节 电磁波的实际应用	53
一、早期的设想与尝试	53
二、顽强的实干家	54
三、扬起新的篷帆	57
四、新的进展	59
五、无线电波飞越重洋	60

六、人才辈出的时代.....	62
第六节 电学的一些应用.....	65
一、伦琴与记录图像.....	65
二、声音录制.....	73
三、图像录制.....	77
四、雷达.....	83
第三章 小荷才露尖尖角.....	89
第一节 电子的发现.....	89
一、电子发现前，人们对电的认识.....	89
二、原子不可能再分了吗.....	91
三、预告了电子的存在.....	92
四、阴极射线之谜.....	94
五、电子的发现.....	96
六、揭开原子世界的帷幕.....	99
第二节 秤砣虽小压千斤.....	102
一、电子小得惊人.....	102
二、最小的电量.....	103
三、电子处在不停的运动状态.....	105
四、自由电子在金属导体中游荡.....	109
五、电子的定向运动——电流.....	111
六、电子还能传递热量.....	115
七、电子自旋.....	116
第三节 光和磁的起源.....	125
一、电子的跳跃产生了光.....	125
二、磁起源于电子的运动.....	130

第四节	制造放射性元素的居里夫妇	133
第四章	脱胎换骨谱新篇	140
第一节	真空二极管	140
一、	驯服电子	140
二、	爱迪生的发现	142
三、	弗莱明发明真空二极管	144
第二节	真空三极管	147
一、	德·福雷斯特的创造	147
二、	神奇的放大作用	148
三、	电子管的发展	151
第三节	晶体管时代的来临	155
一、	半导体的发展	155
二、	更小更省	157
第四节	从晶体管到集成电路	159
第五节	表面科学与硅工业	162
第六节	微电子技术	168
一、	什么是微电子技术	168
二、	半导体工业发展迅速，竞争激烈	172
三、	平面工艺	172
四、	超微细加工技术	177
五、	量子功能元件	180
六、	砷化镓微电子技术	182
七、	以硅为基础的光电子学	183
八、	超导电子学	184
第七节	光电子技术	184

一、光电子技术的发展.....	185
二、激光技术.....	186
三、红外技术.....	192
四、光纤通信技术.....	194
第八节 反映微观层次的粒子加速器.....	198
第九节 电子时代的新思潮.....	200
第五章 电子学趣谈.....	203
第一节 电子的速度有多大.....	203
一、谁先听到歌声.....	203
二、人比电子跑得快.....	204
三、电子比火箭还要快.....	205
第二节 爱迪生与西屋的争论.....	206
第三节 水下“雷达”.....	209
第四节 微波杂谈.....	210
一、哪里来的信号.....	210
二、神奇的金字塔能.....	212
三、凶狠的武器.....	214
第五节 漫谈红外线.....	214
第六节 现代电子战.....	217
第七节 电子炉灶.....	222
一、无火煎蛋.....	222
二、一个棘手的问题.....	222
三、电子炉是怎样烧水的.....	223
第八节 快乐的电椅.....	224
第九节 用电捕鱼.....	226

一、先打昏再捕.....	226
二、有声有色的陷阱.....	227
三、欲擒故纵.....	228
第十节 会发电的鱼.....	228
第十一节 信号与干扰.....	230
第十二节 $1/f$ 噪声与东方音乐	232
第十三节 研究噪声获得的副产品	234
第十四节 电子测量仪器.....	238
一、真正的“万用电表”	238
二、自己给自己看病.....	239
三、不需要高精度.....	240
第十五节 皮鞋里的暗探.....	241
第十六节 电子技术与海洋开发.....	244
第六章 电信时代.....	256
第一节 电信基本知识.....	256
一、什么是电信.....	256
二、电信网	258
三、电话机的工作方式.....	259
四、电话号码的编排.....	260
五、热门的 IP 技术	262
六、受人欢迎的 IP 电话	264
七、IP 电话与传统电话之间的区别	265
八、电话的历史变迁.....	268
九、固定电话网.....	273
十、通信数据传输.....	274

十一、电话网需要交换设备	276
十二、太阳风暴对通信的影响	277
十三、最常用的通讯传输材料——双绞线	278
十四、同轴电缆	279
十五、无线通信如何传送信号	281
十六、无负载电缆通信	282
十七、微波衰落现象	283
十八、卫星通信	285
十九、通信卫星是如何工作的	286
二十、卫星通信的优点	287
二十一、卫星通信信号损耗	288
二十二、卫星通信的噪声	290
第二节 计算机网络与多媒体通信	292
一、网络互连	292
二、什么是 Internet	292
三、计算机网络的客户机和服务器	294
四、IP 地址和域名系统	297
五、计算机网络的分类	299
六、计算机网络进行数据通信	301
七、数据通信规则	304
八、网络传输协议	307
九、模拟信号和数字信号	308
十、如何避免数据传输中的衰减	311
十一、电子信箱	312
十二、什么是多媒体	313

十三、多媒体信息的传输	315
十四、多媒体系统的作用	317
十五、虚拟现实 (VR) 技术	320
十六、什么是光通信	322
十七、光纤通信	323
十八、网络几大定律	327
十九、光纤传输容量	329
二十、光纤通信的抗干扰能力强	330
二十一、海底光缆	331
二十二、三网融合	332
二十三、全球定位系统 (GPS)	335
二十四、通信革命——移动 IP	337
第三节 手机知识	339
一、手机“不在服务区”是怎么回事	339
二、手机辐射	340
三、手机如何影响人体健康	341
四、呼机和手机的发明	345

第一章 电子学的初级阶段

电子科学,或简称电子学,它的研究对象究竟是什么呢?对于这个问题,一般的认为是,电子学是研究电子运动的原理、利用电子运动原理制成的器件、以及利用这些器件所组成的线路和系统。

20世纪40年代以来,由于微波、激光、半导体、集成电路和计算机技术的迅速发展,使得“电子学”这一名称有了更新和更加广泛的含义。它研究的对象不仅包括人类所熟悉的通信、广播、电视、雷达、导航、电子对抗、录音、录像、微波器件和设备、信息处理、电磁场理论、各类真空和固态电子元器件等,而且还包括了像自动控制、人工智能、生物程这样一些新兴的学科,并和信息论、控制论和系统工程学等学科互相交叉和渗透,形成了一个十分复杂的学科网。

电子学的发展历史并不长。从现在来看,评定电子学进展的方法有3种。

第一种方法是以电子元器件的更新换代而计。从爱迪生效应发现以后不久出现的电子管到20世纪40年代末出现的晶体三极管,以及60年代以后大规模和超大规模集成电路,使电子技术的应用产生了一个接一个的飞跃。伴随着元器件的更新,电子计算机也经历了一至五代的历程。

第二种方法是以电磁频谱的开拓来划分:电子学的发展

史也正是频谱的发展史，无线电波和光(也即光波)都是电磁波，但他们的利用率是不均匀的。在电子技术发展的时期，许多频率的利用率很低，长时间内仅局限于中波频率即从 500 赫兹到 1650 赫兹之间。自短波通信广泛应用之后，电子技术的应用开始向高频进军，从短波到超短波进一步发展到微波；20 世纪 60 年代初期出现了激光，从此，从无线电波到光波之间全部频率空白均被填补了。

激光的出现，引起了通讯技术的一场革命，区域通讯、卫星通讯、洲际通信等技术已基本成熟。光纤通信，传输能力大，损耗却很小，它已引起了世界各国的巨大关注。

近年来，对极长波和超长波也进行了大量的研究。在短波领域的红外、紫外、X 射线、 γ 射线等方面也取得了一定的进展。这为远距离潜水艇之间的通信，导弹预警系统和物质微观结构的探索提供了有力的手段。

第三种方法是电子学与其他学科结合和渗透的深度以及电子技术推广应用的广度来判断。随着电子技术的发展，一场信息革命已经开始了。电子技术对极大、极微、极远、数量巨大和要求极准的信息，不仅有进行检测和传递的能力，而且还有记忆的能力，变换计算的能力，和判断过滤的能力，并且也具有与别的学科易于结合的能力。这就是信息革命必然来临且来势特别凶的原因所在。

电子学与天文学结合的一个范例就是射电天文学，它应用高灵敏度的无线电接收机来探测宇宙中各种物质所辐射的谱线，并可探测可见光以外的辐射。近年来出现的类星体、脉冲星、星际分子和宇宙微波背景辐射都是依靠射电望远镜

测得的。

雷达天文学是 20 世纪 40 年代中期发展起来的，利用这一技术可以观测流星的分布，日、月行星的自转和表面特征以及测定太阳系内天体间的距离等等。

此外，还有许多与电子学结合而产生的新学科，电子技术与第一次工业革命时代的蒸汽和纺织机一样，成了新的技术革命的催生婆。不过，电子技术的发展更快，影响更为巨大和久远。

电子技术的发展史表明，从大量的实验和实践中归纳出带有一定普遍性的经验规律，以基本科学为指导，把经验上升为应用基本科学演释、分析和综合的设计规划、工艺规划，导致新的发明，从而应用于生产实践和科学试验，并经受检验。这已是普遍的但也并不是唯一的一条规律。

电子技术的发展史还表明，新技术源于实践，从基本科学和应用基本科学来演释、分析和综合，是当代后起的然而先进的方法。

发明家仍然是当代经济发展的重要支柱，我们需要多种多样的科学技术人才，尤其是那些富于创新，对新事物敏锐，善于从直觉形成概念，从经验导出规律并能发现科学技术发展新方向、不断提出真知灼见的人才：需要那些不甘落后、以坚强信心和巨大耐力投身于实践，变革自然、驾驭自然的人才。

电子发展史是整个物质文明发展中极其重要的一部分，是人类用自己的聪明才智书写和创造的历史。科学技术发展到今天，已经为创造一个美好未来准备了十分坚实的物质条

件。人们从事伟大的探索，是把阐述生命、物质结构和普天之下一切现象作为目标的。

虽然人类迄今为止取得的成功充其量只能说是部分的成功，但他们在探索中获得的如此宝贵和重要的发现，足以使人类社会发生根本的变革。人们已发现了可以造福于这个物质世界的新的能源，它能够无与伦比地造福于人类。

第一节 电学在迷惘中徘徊

一、摩擦起电现象

在 2500 多年前，正当我国处于周朝时期，古希腊著名哲学家泰利斯在人类历史上第一次记载了摩擦起电现象。

当泰利斯在爱琴海的海滩上散步时，不知出于什么原因，一种透明的黄褐色石块深深地吸引了这位学者。经过仔细的观察，他发现了一件有趣的现象：使劲摩擦石块后，这种石块竟能吸起麦秆的碎渣和羽毛的碎片或是他衣袍上扯下来的线丝。

在希腊文中，这种石块叫做“Elektran”，也就是现在称作“琥珀”的石块。现今英文中其他许多国家文字中的“电”字拼音，就是从 Elektran 这个希腊字源引过来的。

我国在东汉初期（公元 1 世纪时），王充在《论衡》一书中也曾记载了琥珀吸引草屑的摩擦起电现象。

以后人们又陆续发现，不仅是琥珀经摩擦后能吸引轻小物体，而且其他许多种物体——象玻璃、火漆、硫磺和蜂蜡等，经过摩擦后，它们同样能像琥珀那样吸引轻小物体。人

们把此现象称作“摩擦起电”现象。人们开始设想：既然许多物体经摩擦后都能出现吸引轻小物体的现象，是不是在这类物体中存在一种共同的东西呢？

二、正电和负电

此后又经过几代人相继的探索和不断的实验，人们发现使劲摩擦物体所产生的电（或者物体经摩擦后所带的电）有两种不同的类型。譬如用绸布摩擦玻璃棒和用毛皮摩擦火漆棒后，发现玻璃棒带的电与火漆棒带的电是不一样的，人们把玻璃棒带的电称为“正电”，而火漆棒带的电叫作“负电”。

如果使两个轻小的物体分别带上正电和负电，那么我们就可看到这两个物体将会相互吸引。如果使两个物体都带上正电，或者都带上负电，则可观察到这两个物体出现彼此排斥的现象。这就是著名的“异种电相吸引，同种电相排斥”的原理。

因此，当我们已知某一物体带有正电或者负电时，就可以根据与该物体相吸引还是相排斥的原理，来测知另一个物体是带正电还是带负电。

三、泰利斯的错误

泰利斯以他哲学家的智慧和细心，早在 2500 多年前，就发现了琥珀的摩擦起电现象，但他却犯了一个很大的错误，这个错误在历史上竟延续了 2100 多年之久。

当泰利斯发现琥珀摩擦起电现象之后不久，他就仔细地观察和研究天然磁石（即天然磁铁矿石，古代希腊人把这种天然矿石叫做魔石）吸引小铁片的现象。可惜泰利斯把磁石

吸住铁屑或小铁片的现象与琥珀吸引麦杆碎渣现象当作同一回事，并且他根据观察到的现象，说得头头是道，以致当时没有人怀疑他的这种说法是不正确的。

当权威者提出的见解是正确时，那么这种正确的见解将会像蒲公英毛茸茸的种籽，随风飘扬，非常迅速地传播开去，在四方大地上生根发芽。

先哲或权威的错误见解或学说却会禁锢人们的思想，以致一般人把谬误当成千真万确的教条予以信奉，这在历史上是不罕见的。泰利斯把电和磁两者完全视作同一码事的错误见解，以君临一切和不容怀疑的姿态统治科学界达 2100 百多年。

直到 1600 年，英国有一位名叫吉伯的物理学家大胆地指出了泰利斯的错误。吉伯写了一本名叫《论磁石》的书，在书中吉伯把物体经摩擦后产生的对其他物体的吸力或斥力称作电力，而把磁石对铁屑的吸力称作磁力。

他明确指出电力和磁力是两码事，带电体和磁石对其他物体的吸引是不同的现象。此外，吉伯还把凡是能产生电的物体（即经摩擦后会出现吸引轻小物体现象的物体）统统称作“电体”，而把经摩擦后不能起电的物体叫做“非电体”。

吉伯在正确指出电力和磁力不是一回事的同时，他也犯了一个认识上的错误。吉伯试验了许多种物体，除了像琥珀、玻璃和火漆那样能摩擦起电的一类物外，他发现另外一些物体，如大多数金属，它们不能像琥珀那样摩擦起电。因此吉伯称金属为“非电体”，而将琥珀等一类物体叫做“电体”。一百多年后，吉伯的这一错误才被史蒂芬·格雷所纠正。

1729年，史蒂芬·格雷用实验证明：正是吉伯称之为“非电体”的金属却是良好的导体——电能从这些物体的一端迅速地传导至另一端，而吉伯所指的大多数“电体”，却是不能导电的物体（即现在我们称为“绝缘体”的物体）。

今天也许连一个初中学生都知道，吉伯所以没有能通过摩擦使金属带电，那是因为摩擦产生的电通过金属的良好传导作用而逃掉了，而琥珀、玻璃等一类物体因为是良好的绝缘体，摩擦产生的电可以长时期停留在这些物体上。

由这里我们可以领悟到，现时看来是多么简单和多么容易理解的问题，处在电学迷惘时期的人们，即使是著名的学者，却要花费那么长的时间才搞清楚。

在电学探索的道路上，先驱者的步履是艰难的，因为他们没有可供借鉴的经验和知识，没有现成的可以判明真非是假的实验仪器。因此先驱者所留下的脚印往往是十分肤浅的，但正是那依稀模糊的足迹启发和引导着后继者，告诉他们应朝那个方向前进，或启示他们如何避免陷入科学探索道路上的死胡同。

四、电学在迷惘中徘徊

自从泰利斯发现摩擦起电现象后，2100多年过去了，在这漫长的岁月中，电学的研究基本上仍停留在摩擦起电以及同种电相互排斥和异种电相互吸引的表面现象上。人们对电的认识仍是十分模糊的，电究竟是什么？它从哪儿来？连科学家也一无所知。

直到18世纪40年代以前，摩擦起电仍是人们获得电的唯一方法。那时有许多人曾经这样形象地提出问题：物体中

是否有着一一种看不见的无形的流体存在呢？是否当摩擦时，这种看不见的流体就悄悄地从这些物体中流了出来，从而吸附一些轻小的物体呢？那时，对于现在我们早已司空见惯的自然界的放电现象——天空中轰鸣的雷电，那时的人们却诚惶诚恐地将它看成是上界对世人罪孽的惩罚。

两千多年来，电学一直在迷惘中徘徊，进展缓慢。必须抹去电学的种种神秘色彩，才能使电学真正走上科学的轨道。为此，首先要对电的现象进行系统而深入的科学探索。于是时代将一位印刷徒工出身的美国人本杰·富兰克林推上了电学舞台。

第二节 “从苍天取得闪电”

历史把人们带到了18世纪，那是力学和天文学取得重大突破的年代。伽利略和牛顿等科学巨匠已奠定了经典力学基础。哥白尼的日心说——地球绕太阳旋转的学说，在被教会当作异端邪说禁锢了一阵子之后，开始为越来越多的人所接受。

新发现和新思想，既像一阵阵春风，吹进了人们的心坎；又如汹涌的海涛，一浪高过一浪地冲击着因袭势力和旧习惯构筑起来的思想栅栏。很多人开始对自己长期来曾深信不疑的现象提出了疑问。

同样，一些研究电学的、具有进步思想的科学家开始对天空中频频出现的雷鸣和闪电打上了问号：难道说天空中真有雷公雷婆在向世人显示神威吗？

一、对雷神的怀疑

只上过两年学的印刷徒工出身的美国人富兰克林不仅是18世纪北美洲有名的政治家，而且是著名的科学家，他对电学做出了比较大的贡献。

富兰克林是首先敢于对自然雷电进行探索的先驱之一。他仔细地观察和研究了地面上物体的放电现象——带电物体与其他物体相碰而放电时会迸发出火花和劈劈啪啪的响声。

天空中的闪电和雷鸣与地面上带电物体的放电现象是不是同一回事呢？这是萦绕在富兰克林脑海里的一个疑团。在此之前，史蒂芬·格雷（就是那个纠正吉伯错误的人）也曾怀疑到轰鸣的雷声和耀眼的闪电是是空中的放电现象，而富兰克林却进一步认为这可能是飘浮在天空中的带电云层在进行剧烈的放电。

仅仅提出疑问是不解决问题的。富兰克林深深懂得，要改变几千年来根深蒂固地扎在人们心底里的对“雷神”权威的迷信，是很不容易的，除非拿出确定的证据来。

二、取得闪电的的勇士

1752年7月，在闪电和雷雨交加的一天，强烈的好奇心和对科学的探求热情促使富兰克林进行了一次十分冒险的天电试验。在美国费城地区，他亲自放出一个风筝。在风筝上安置了一段尖尖的金属丝，并用一根很长的能导电的丝线与其连结。

忽然间，金属丝被云层的电吸引住了。在富兰克林的时代，当时还没有什么能测量电的仪表，因此当富兰克林把自己的手指凑近系在丝线下端的金属钥匙时，钥匙与手指之间

居然出现了火花。

富兰克林又惊又喜。跳跃的火花清楚地告诉他：天电（云层所带的电）已被他成功地导引到地面上来了。

接着富兰克林将天电用来对莱顿蓄电池充电（莱顿蓄电池是一种能贮蓄电的瓶子）并与地面上摩擦产生的电作了仔细的比较，最终他证明了这两者的相同性。

从此，几千年来受人膜拜的“雷神”失去了他的威严，使世人第一次科学地认识到：威力无比的天空闪电，原来不是什么上天对人类的惩罚手段，而只不过是千万个自然现象中的一个而已！

就在富兰克林进行天电实验后的第二年夏天，俄国科学院院士李赫曼在进行类似的天电实验中不幸被雷电击毙。在电学的战场上，如果说富兰克林是凯旋荣归的英雄，那么李赫曼就成为一名马革裹尸的战士了。

富兰克林进一步思索和发问：难道人类只能局限于认识天电的真相吗？人类为什么不能制服桀骜的天电而防止建筑物遭受雷击的破坏呢？

1752年下半年，富兰克林制成了世界上第一根避雷针。这是用绝缘支架固定在屋顶上的一根竖直的金属棒，在棒上拴一根直地下的金属导线。当雷电将袭击房屋时（带电的大云层逼近屋顶时），电就通过金属棒安全传导至地下。

今天当你看到高大建筑物顶上耸立的金属杆时，你就会想到富兰克林的贡献。从此每逢雷电时刻，人们不再像前辈那样担惊受怕而祈求上苍的保护了。

三、富兰克林对电学的多方面贡献

富兰克林对电学的贡献是多方面的。他冲破了前人设下的，认为电只存在于琥珀、玻璃等一类物体中的樊篱，大胆地提出了所有物体都包含着“电”这一正确概念，并且认为物体这所以会带正电和负电，那是因为带电物体相互之间的“电”的分配引起的。富兰克林这一见解，即使从 200 多年以后电学已获得高度发展的今天来看，也是比较正确的。

富兰克林是最早提出“电荷”概念的人。他把电想象为一个电的微粒——电荷，物体带电是因为该物体存在着多余电荷的缘故。

他正确地解释了摩擦起电的现象，认为物体在未经摩擦前，它们是处于电的平衡状态，也就是物体既不多余电荷，也不缺少电荷。一经摩擦后，在相互摩擦的物体之间引起了电荷的重新分配：当有的物体多余出电荷时，该物体就表现为带正电状态，另一物体由于缺少电荷就显出带负电状态。

譬如当玻璃与绸布摩擦时，电荷流入了玻璃，使玻璃带正电；当琥珀受到摩擦时，电荷就从琥珀流出来，而使琥珀带负电。一当带负电的物体和带正电的物体相互接触时，电荷就从带正电的物体流向带负电的物体，直到达到了电的平衡状态。

自从 19 世纪末和 20 世纪初电子被发现后，人们才逐渐搞清楚物体带电是由于多余或缺少电子的缘故。

在距今 200 多年前，即在电子发现 100 多年前，在缺少最起码的实验器械和检测工具条件下，富兰克林就比较正确地预见：物体带电是由于多余电荷或缺少电荷引起的，这不

能不说是富兰克林的真知灼见了。

如果我们把富兰克林所说的“电荷”改为电子，并将他所说的电荷流进和流出方向倒过来——如上述玻璃与绸布摩擦时，实际上电子是从玻璃中流出来。从而使玻璃由于缺少了带负电的电子，破坏了电的平衡而呈现带正电状态，那么富兰克林有关物体的带电见解，以及有关电的基本概念，即使从电子理论已获得完善发展的今天的科学角度来看，在本质上仍是相当正确的。

富兰克林关于电荷的概念和有关电的初步理论，照亮了以后电学发展的道路，这些见解和理论是 19 世纪电学大突破的先声。

四、自学成才的杰出科学家

与富兰克林同时代的 18 世纪法国著名的数学家兼哲学家达朗贝尔，在法国科学院介绍富兰克林的时候说：“在天上，他驯服了雷电”。由于天电的实验和避雷针的发明，富兰克林名满全国，蜚声欧美。

更使人感到惊讶和钦佩的是，在电学发展的黎明时期作出如此重大贡献的人，竟是一个全依靠自学成才的人，而且富兰克林的许多成就是在短短的数十年时间内获得的。这不能不归结为他那惊人的勤奋和对科学的热爱。

1706 年 1 月 17 日，富兰克林出生在美国波士顿城一个制造蜡烛和肥皂的工匠家里。他 8 岁才开始上学，两年后因家庭经济困难，不得不停学帮家里干活。从 12 岁起在印刷厂当学徒，常常为了维持起码的生活而累得气喘吁吁，但他从孩时期起，就养成了刻苦自学的习惯，书本成了他的最好教

师。

富兰克林涉足科学领域只有很短的一段时间。在 1746 年以前,也就是 40 岁以前,他主要从事印刷业和创办报纸及各种社会福利事业;48 岁以后,富兰克林全力投入著名的美国独立战争。除了对电学作出许多重大贡献外,富兰克林的科学旨趣是多方面的,在热学、声学 and 颜色研究方面,他都作出了成就。可以说,凡是涉及的领域,都放出了科学的光芒。

他既是杰出的科学家,又是著名的社会活动家、思想家、资产阶级政治家和爱国主义战士,这在历史上也是不多见的。

富兰克林是有史以来第一次向全世界显示美洲科学技术杰出成就的人,使一向傲慢的欧洲科学界开始看到了北美洲这块以前落后的殖民地焕发出来的科学光芒;特别是他所发明的避雷针使全人类摆脱了天电袭击的威胁,亿万人受惠获益于他的发明。

在富兰克林进行有名的天电试验后,时间过去了 1/4 世纪。1776 年,为了祖国的独立,富兰克林代表刚诞生的美利坚合众国出使到法国访问时,他赢得了法国人民的普遍尊敬,并受到了热烈欢迎。法国举国上下不仅把他看作是象征着独立、自由和民主的新生共和国的使者,而且将他视作是征服天电、造福全人类的科学巨人。

1790 年 4 月 17 日,84 岁的富兰克林在美国费城与世长辞。在他的墓碑上镌刻着下述反映他生平主要业绩的两句话:

“从苍天取得闪电;从暴君处夺得民权。”

第三节 从摩擦起电到伏特电池

一、摩擦起电机的改进

从泰利斯发现摩擦琥珀可以起电时算起,直到 1800 年意大利人伏特发明伏特电池为止,在这 2300 多年时间中,摩擦起电几乎是人们获得电的唯一方法。科学家们想要进行任何电学实验,他们不得不使劲地摩擦物体。

为了比较有效地产生电,人们努力改进摩擦起电工具。在 1663 年,一个名叫葛利克的德国马德堡市市长制成了一部大型的摩擦起电机,这可说是人类历史上第一部“发电机”。

葛利克的起电机是一个非常大的带有一个长柄的硫磺球,当用一只手握住球柄使硫磺球绕轴旋转,另一只手按在球体上,这时硫磺球就起电。葛利克用这个起电机仔细地观察了带电的放电现象。在电学历史上,他是第一个通过实验观察到物体放电时会产生电火花和发出噼噼啪啪爆裂声的人。

还有其他一些人也纷纷致力于制造起电机,进行了种种今天我们看来颇感奇怪的尝试。如当时有一个人做了一个大轮子,在轮子上他装置了许多像风车轮的叶片,在叶片的端头嵌上琥珀。他把自己的猫绑在轮子下面。当轮子旋转时,一块块琥珀不断地摩擦猫背,于是猫背的毛皮不断地因摩擦而闪烁着电火花。那时的人们就是用这种原始而可笑的方法来获得少得可怜的电。

1709年，英国科学家一个名叫霍克斯贝的人根据葛利克起电机的原理，制成了当时非常吸引人的起电机。

他用一个带柄的中间是空的玻璃球替代葛利克原先所用的实心硫磺球。当人手按在旋转的玻璃球上时，球内部的空间区域就不停地闪烁着电火花。电光透过玻璃球壁，霍克斯贝居然可利用它在暗室里读书写字。这是人类历史上电气照明的前奏，霍克斯贝的起电机也可说是世界上第一盏电灯。

由此我们可以看到，早期人们为了取得电，经历着何其曲折而困难的道路啊！现在当人们下班回到家里，习惯地开启电灯、音响、电视机等俯拾即是电器用具时，你可曾想到过，我们的祖先在漫长的年代里，曾为打开电力之门进行过何等艰苦卓绝的努力啊！

所进行的电学实验越多，新的发现也越多，接踵而至的发现又诱发更多人从事电学研究的兴趣，特别是进行较大型的电学实验的兴趣，但这将需要更大量的电。

摩擦起电是完全依靠物体的摩擦而产生出电来的，一旦停止摩擦，电的来源也中断了。于是人们产生了将较多量的电贮藏起来以供随时应用的念头，正如将涓涓滴滴的流水贮藏起来一样，这种想法导致了莱顿蓄电瓶的诞生。

二、莱顿蓄电瓶的发明

19世纪40年代初，一个偶然的发现使人们能够将摩擦产生的电蓄存起来，荷兰莱顿居民卡那阿斯成了世界上第一个蓄电发现者。

卡那阿斯有一次发现盛水的大玻璃瓶能将电贮存在其中，他把此现象报告给莱顿大学物理学教授马赫布克。经过

马赫布诺克和法国诺雷梯教授等人的实验验证和不断改进，莱顿蓄电瓶（简称莱顿瓶）成为电学研究的得力柱杖。

改进后的莱顿也是一只大的玻璃瓶。瓶子内外两面紧紧地贴附着铅箔，瓶内装满水，用软木塞子堵住瓶口，并在塞子中间穿入一根金属导线。

现在我们知道，莱顿瓶实际上就是一只大的平板电容器。瓶的内外两个面上的铅箔即是电容器的两块平板电极，玻璃瓶壁就是夹在两块金属平板之间的绝缘介质。

当瓶子的外侧面铅箔接地时，任何带电物体与插在瓶塞中的金属导线相连接时，带电体上的电荷立即通过与导线相接触的瓶内的水转移到瓶内壁的铅箔上，从而把电贮蓄在瓶中。

莱顿瓶的发明为电学的进一步发展起了很大的失去作用。自从有了莱顿瓶，人们就能将由摩擦得到的零星的电蓄存起来，因而能够进行较大的电学实验。

富兰克林在 1752 年所做的天电试验，正是由于他观察到莱顿瓶的放电现象——电火花伴随着噼噼啪啪的爆裂声，才使他联想到天空中的闪电和雷声是否就是云层之间的放电现象这一问题，从而促使他进行那一次科学冒险。

从莱顿瓶的发明过程，我们可以领悟到这样一个事实：历史上许多意义重大的发现或发明，既是那个时代生产力和科学发展的必然趋向，是社会需要的必然产物，也是人们对偶然发现的现象紧紧地攫住并详加探究的结果。

作为莱顿城的一个普通居民——卡那阿斯，如果他当年像其他许多人一样，对于偶然发现的玻璃瓶的贮电现象漫不

经心，更不将此发现报知马赫布诺克教授，那么事情又会怎样发展呢？

从这里我们也可以得知：发现、创造和发明并非专属于学者和专业工作者的。在电学发展史上，我们可以看到许许多多像卡那阿斯那样“局外人”的功绩。群众广泛的发现和创造，与专家们的深入探索，两者紧密结合起来，才谱写成许多科学技术发展的新篇章。

虽然莱顿瓶帮了科学家的大忙，但它毕竟只能用来贮蓄电，它并不能产生出电。因此人们又在想方设法，希望发明一种能源不断地自行产生电的东西——发明一种稳定的电源，于是意大利人伏特的名字就被记载到电学和物理学的史册上。

三、伏特电池的问世

各种科学发现是彼此促进和相互沟通的，后一个重大的发现，乍一看，似乎与前一个发现毫不相关，但实际上两者却存在着内的联系。

解剖学家伽伐尼由于完全偶然的的机会，闯进了电学的圈子，发现了蛙腿上电流的流动。

伽伐尼在解剖青蛙而将蛙腿挂在铜钩上时，当他的钢刀同时接触蛙脚和悬挂铜钩的铁栏时，发现蛙腿的肌肉突然抽搐和颤动起来。这个意外的现象使这位解剖学家的兴趣转移到对电学的研究上来。

伽伐尼几经试验和研究，发现只要将两种不同种类的金属的一端分别同时去接触蛙腿的不同部位，而将该两种金属的另一端彼此连接起来，那么青蛙大腿的肌肉就会同样地抽

搐、收缩和颤动。此与蛙腿肌肉受到莱顿蓄电池的放电刺激时出现的颤动现象是多么地相似啊！

于是伽伐尼猜想：蛙腿肌肉中含有一种他称为的“动物电的东西”。

1793年，当伽伐尼在英国皇家学会上宣布这一发现时，立即引起了另一位意大利科学家——巴维亚大学物理学教授伏特的兴趣。于是作为物理学家的伏特第一次拿起解剖刀，重复着伽伐尼的青蛙解剖实验，从而导致在电学历史上具有深意义的伏特电池的问世。

经过伏特的多次重复实验和仔细观察研究，他于1796年发现了蛙腿颤动的原因——电流流过蛙腿引起了蛙腿肌肉的抽搐和颤动，但电流的产生并不是由于蛙腿内部所谓的“动物电”而引起的，而是因为钢刀和挂蛙腿的铜钩这两种不同金属相接触所产生的电位差引起的。

伏特发现不同种类的金属同时接触电解质溶液都会产生电位差和引起电流。在上述蛙腿颤动实验中，蛙腿内部的体液就是一种能导电的电解质。

既然不同种类的金属彼此接触时可以产生出电流来，那么为什么不用它们来制造电源呢？于是伏特着手创造奇迹了。

1800年，伏特成功地创造出历史上第一个电池，后人称为伏特电池。他用许多铜片和锌片分别连接起来，分别成为电池的正、负两个电极。由于当时还未发明精确测量电压的电表，伏特只能用自己的两只手同时分别碰触电池的两极，他因受到了电击（触电）而吃惊。这一惊给他带来了巨大的

喜悦，因为伏特知道他的电池已产生出电来了。

接着英国工程师尼可逊应用伏特电池来电解水——通电使水分解成氧气和氢气。这是人类历史上第一次应用电解法制造氧气和氢气。

接着英国化学家戴维于 1807 年和 1808 年应用伏特电池和电解法成功地提取了钠、钾、镁、钙、锶、钡等金属。于是摩擦起电成了自己的历史使命而定量靠行终正寝了，能提供稳定电流的伏特电池登上了电学舞台。

19 世纪上半期，在电磁感应定律和发电机问世前，在电学实验和一些电的应用中，伏特电池扮演了重要的角色。

从摩擦起电到莱顿瓶的发明，再从莱顿瓶发展到伏特电池，在早期电学的发展史上是两个不小的飞跃，但是如何获得强大而廉价的电力供应这一中心问题，仍有待人们解决。

社会的迫切需要是创造发明的原动力。千年尘封的强大电力大门快要被人撞开了，一个电学大展身手的时代就要到来了。

第二章 孪生兄弟始相见

第一节 电磁现象新发现

经过富兰克林等人的探索，电学鸿蒙初启；千百年来，隐蔽“电”的真相的帷幕已开始慢慢地被挪动了。

到了 18 世纪末期，强大的动力之源——蒸汽机轰鸣起来，开始卷起了澎湃的产业革命浪潮。人们的思想也普遍地受到一次技术革命的洗礼，于是大胆地探索和勇敢的实践逐渐替代了对宗教和经典的颂奉。这是一个科学创新的时代，电学在它的发展道路上也加快了它前进的步伐。

这时，电学已由以前的默默无闻，渐渐地演变成为最时髦的科学；它完全卸下了过去披在身上的魔衣，露出它那熠熠的科学光芒（在 17~18 世纪，电学中的简单放电现象往往被用来作为魔术表演节目，直到 18 世纪初，在欧洲的宫廷和贵族的官邸中，魔术师们还不时在表演这种放电魔术）。

电学将欧洲和美洲许多优秀学者吸引到自己的周围，于是一个又一个发现接踵而至，一个又一个实验揭示了电的本质及其规律。

一、库伦和伽伐尼的贡献

1785年，法国科学家库伦用自己设计的实验器具居然测出了同种电荷或异种电荷之间的作用力（排斥力或吸力）的大小，从而得出了电荷的相互作用定律——库伦定律。这是电学发展史上第一个有关电的规律的定量数学公式，是电学研究的最早的奠基石，以后人们几乎所有关于电学的研究和讨论都是以库伦定律为基础的。

按照库伦定律，两物体所带的电荷越多（电量越多），两物体之间存的排斥力或吸引力也越大，并且这种电的作用力随着物体之间的距离加大而急剧地减小。

库伦定律使电学开始进入定时计算和精密测量阶段，这是非常重要的，因为事物的本质和内在规律往往只有通过精密的测量和计算才能获得。伟大的俄罗斯学者——化学元素周期表创造人门捷列夫在上一世纪曾说过一句至理名言：“没有测量，就没有科学”。

1791年发生了一件意外事件。对电学毫不关心的，一心想在解剖学方面搞出点名堂的意大利解剖学教授伽伐尼，竟然成了世界上第一个发现电荷流动——电流现象的人。

当伽伐尼在解剖青蛙而将蛙腿挂在铜钩上时，当他的钢刀触到蛙的神经时，蛙腿突然抖动起来。青蛙已死亡多时，蛙腿怎么会自动地抖动？伽伐尼当初不知道这是怎么回事。后来经伏特的研究才知道，他的钢刀触及蛙神经时，有一股电流从钢刀通过蛙腿的肌肉流向铜钩（悬挂青蛙的铜钩），引起了蛙腿的抖动。

于是人们对电的研究开始跳出静止电荷的框框，正如人

他们在研究液体力学时从对静止的液体的研究进展到对流动的液体的研究一样。这是一个重大的转折，这个转折照亮了人们日后开辟电流实际应用的道路。

二、奥斯特的发现——电产生磁

1820年4月，一个更大的发现震惊了世界。丹麦哥本哈根大学物理学教授奥斯特发现电产生磁的新现象，称为“电流的磁效应”。

大家知道，可以自由旋转的磁针处在静止时，它的两个磁针头（磁极）总是N极指北，S极指南，这里的南、北方向接近于地球的南北方向。

奥斯特将一枚小磁针接近一根通有电流的铁丝时，小磁针发生了偏转。当他将磁针放在通电铁丝的上方时，磁针的N极指向一个方向，但把磁针放到通电铁丝的下方时，N极却指向另一个方向。

譬如在静止的磁针的上方平行地安置一根导线，当导线上通过从右到左方向的电流时，发现磁针的N极的向着纸面外方向旋转；当通过反方向的电流时，发现磁针的N极的朝向也随之改变，变成向着纸面内方向偏转。当电流一旦被切断时，磁针立即恢复到原先的静止位置。

1820年7月21日，当奥斯特在欧洲各主要科学刊物上公布上述这个惊人的实验结果时，这篇仅有4页的报告轰动了当时的欧洲科学界。

在通电导线周围磁针为什么会发生偏转呢？以前人们只知道磁针靠近磁铁时会发生偏转，因为在磁铁周围存在着磁力作用的磁场。莫非在通电导线周围也产生了具有磁力作用

的磁场吗？难道电能够产生磁吗？

2000 多年前，泰利斯错把电和磁说成一回事，到 1600 年吉伯才指出电和磁是两码事，但现在奥斯特的实验又向人们表明：电和磁一定存在着内在联系，因为在通电导线周围确确实实地出现了磁场。

这是多么惊人的发现啊！正是这一空前发现引导人们日后将电和磁两者归并在一起加以研究，改变了以往对两者孤立地研究的做法。

正是这一发现，启发电学巨匠法拉第去发现转磁为电的电磁感应定律和打开电力世界的大门。以后我们将会明白，电和磁是彼此紧紧地拴在一起的，两者是不能完全分隔开的，我们不能只要一个而不要另一个。

奥斯特的发现燃起了更多人对电磁现象的探求热情。就在奥斯特发现电流的磁效应现象的第二年，英国著名化学家戴维进一步发现：凡是在铁和钢块外面绕上通电的金属导线时，该块铁或钢块就变成了磁铁。于是人造磁铁——电磁铁就出现了。

电磁铁的极性和绕在外面的导线上的电流方向有关。如果我们把电流的方向改变一下，那么电磁铁的 N 极和 S 极就相反了。这进一步说明了电可以转变为磁，而且磁极的方向由电流的方向决定。

以后法国科学家安培和其他一些学者相继详细地研究了奥斯特的发现，并且得出了磁针转动方向和通电电流方向的精确关系。

三、欧姆定律

时间又过去了几年，1827年，一个原先从不为大家注意的德国科伦中学物理老师欧姆发表了一篇论文，文中阐明了流过导体的电流、导体的电阻和导体两端的电压这三者的关系，这就是今天初中学生都知道的著名的欧姆定律：

$$\text{流过导体的电流} = \frac{\text{导体两端所加的电压}}{\text{导体的电阻}}$$

当时许多有名的学者对于这样一个极为简单而又十分重要的关系式是否真正成立，都表示怀疑。但这公式接受了时间的考验。经过了20年左右时间的验证，欧姆定律终于获得了一致的公认。

这一定律是电学的最基本规律之一。当电学一旦走上了正确的定量测量道路后，它进一步发扬光大是毫无疑问的，因为隐蔽在电学纵深之处的奥秘往往只有通过量的关系才得以被揭露出来。

四、电学将要走上实际应用的道路

数千年来，古代的学者和近代的科学家不断地探索电的秘密，为的是希望有朝一日使电能够为人类服务。但是直到18世纪中期，电在一般人心目中还被认为是虚无飘渺的幽灵似的东西，如果它有过什么用途的话，那它不过是时髦魔术师手中的得力魔具而已。

从18世纪下半期到19世纪20年代，接踵而至的电磁现象新发现，一个又一个电量之间的关系式和计算公式的创立以及其他许多重要的电学实验，将电学带到了一个全新的境地。这时许多人开始从旧概念中摆脱出来，电不是仅仅供人

欣赏的玩意儿，它一定可以被人利用和帮人工作，因为即使从极其有限的业已显露的现象，人们已看到利用电的可能性：

物体放电时跳跃的电火花不是可以被用来引爆火药或炸药吗？

每当天空出现闪电的一刹那，大地一片光亮，由此人们想到：如果能持续地获得大的电火花，黑夜不是也能变成白昼吗？这正是电灯设想的未来。

利用通电与否，人们可以随心所欲地控制电磁铁磁性的有无，从而制造出各种电磁装置。

现在电学的进展将使电从魔术师手中挣脱出来，走上造福于人类的实际应用的康庄大道。

但是用什么方法得到源源不断的电力供应呢？如何打开电力世界的大门呢？这是电学能否进一步发扬光大和走上实际应用道路的关键。

第二节 打开电力之门

从 18 世纪末到 19 世纪 20 年代，在这短短的几十年间，电学犹如暴发户般发展壮大起来。一个接一个新的发现激荡着当时的科学界，同时一个又一个的电学巨人涌现出来了。到了 19 世纪 20 年代末，电学已发展到了这样的地步——它能否再继续大步前进，并最终应用于实际，取决于如何获得廉价而强大的电力供应。

摩擦起电盘和莱顿瓶虽然已被伏特电池所代替，但是伏特电池所产生的电力是十分昂贵的，其昂贵的程度正如我们

今天用干电池烧电炉取暖一样。

另外，伏特电池所能提供的电力也是很有限的，当时世界上最大的、由 2000 块铜片和锌片组成的伏特电池也只能供给一盏弧光灯所需的电力。

必须打开电力世界的大门，否则电学很难走上实际应用的道路。

许多人也许难以相信，电力之门竟是由一个从未受过正式学校教育的订书匠出书的人撞开的，但历史却真实地记载了这位电学巨人的光辉业绩。

一、转磁为电

1791 年 9 月 22 日，在英国一个贫困的铁匠家里新添了一个看来极为平庸的孩子，但是 40 年后，当电磁感应定律被发现和公布于世时，伦敦和巴黎社交界中连对科学一窍不通的贵妇人，也都以熟悉迈克尔·法拉第这个耀眼的名字而感到光荣。

法拉第 13 岁进书铺当订书学徒，由于他发疯似地渴求知识和极为刻苦的自学，后来碰到一个偶然的机，使他走上科学研究的道路。

1819 年，当奥斯特发现能电导线能使磁针发生偏转现象后，法国科学家毕奥和安培等人相继阐明了电流的大小和由该电流所产生的磁场强弱的定量关系。这清楚地表明了电能够产生磁。法拉第对此现象发生了浓厚的兴趣。

法拉第多次重复了奥斯特所作的电流磁效应的实验。“电既然可以产生出磁场，那么反过来能否由磁铁产生电流呢？”科学的有心人总是不断地向自己提出难题。法拉第反

复地思考着这个问题。“对，必须转磁为电。”这是在 1822 年法拉第写在自己日记本上的话。

二、不畏失败的人

和法拉第同时代的一些学者，其中包括当时颇有名气的英国化学家武拉斯顿也曾设想并做了转磁为电的实验，最后都失败了。法拉第并没有被名家的尝试失败所吓倒，在他心中燃烧着强烈信念的火焰——磁一定能够生出电来。

信心和无畏是建立在对科学的深刻认识与理解的基础之上的。法拉第认为：电产生磁是一种感应，为什么不能有一种磁转化为电的反感应呢？他想，地球上磁铁或磁石多的是，地球本身就是一个巨大无比的大磁体，如果磁能够转化为电，那么人类不就能得到强大的、源源不断的电力供应了吗？

法拉第沉浸在幻想的喜悦海洋里；绚丽的电力火花引诱着这位电力世界的拓荒者。在他的口袋里装满了磁铁、大大小小的用铜线绕成的线圈和铁条、铁块等一类东西。铜线圈一接通电源就产生了磁场，但用什么办法在不连接电源时使线圈中产生出电流来呢？在法拉第以前的一些人所做的试验都失败了，他能成功吗？

他将磁铁静置在铜线圈中，线圈中根本没有电流产生。他再将一根通了电流的导线挨近一根未通电流的导线，后者也没有出现电流。他变换了磁铁和导线的相对位置，变换了导线的连接方式，……所有这一切努力都未能产生出电流来。

日复一日的试验，失败总是一个接着一个。年复一年，岁月消逝，但成功似乎离他还很遥远。挫折不断袭击着他，每次激起新的成功的“希望泡”，最后总被实验结果无情地戳

得粉碎。

但是时间并没有磨灭法拉第转磁为电的雄心，一次又一次的失败却更激起他对成功的渴望。法拉第不停地实验，不断地经受失败带给他的苦恼，但他又不断地思索和总结。

三、震惊世界的成功——磁能够产生电

热爱科学、持之以恒的人，科学也是不会舍弃他的，正如科学家季米里亚席夫所说：“科学不会舍弃真诚爱它的人们”。法拉第顽强的毅力终于驱散了十年来失败的阴霾，迎来的黎明的曙光。历史记载了1831年10月17日这个珍贵的日子。

那天，法拉第像往常一样，专心致志地进行着转磁为电的实验。他预备了一根22厘米长和2.2厘米粗的长圆形磁铁棒，并将67米长的铜丝绕在一个空的圆筒上。铜丝的末端连接一个电流计。

当他磁铁一端挨近铜线圈时，电流计的指针仍如以往各百次试验碰到的那样，纹丝不动。但当法拉第将磁铁棒迅速地插入到绕有铜丝的圆筒中时，突然，他十年来梦寐以求的现象出现了——电流计的指针摆动了一下。法拉第惊住了，他不由自主地急忙将磁针铁棒从铜线圈中抽了出来，奇怪的是电流计的指针又摆动了一下。

反复的试验都显示了相同的现象——在磁铁棒插入线圈或从线圈中抽出的一刹那间，电流计的指针也随着摆动。毫无疑问，在线圈中产生了电动势（后来被称为感应电动势，意思是由于感应作用而产生的电动势），因而才有电流流过线圈（这种电流叫做感应电流）。

转磁为电成功了，感应电流产生了。这个成功似乎来得太突然了，一个来得太突然的成功往往会使人感觉到加倍的兴奋。此刻法拉第已忘怀了的十年来失败的痛苦和挫折带给他的折磨，内心洋溢着欢乐和兴奋。他虽然已是 40 岁的人了，但却像一个小孩子似的在实验室里狂蹦猛跳起来。

十年来，法拉第一次次地失败，但他是一个不畏失败的人。他把一次次失败当作一块又一块的砖石，收集堆积起来。失败越多，垫在他脚下的砖块也越多，他也站得更高了。最后他终于攀登上了旁人未能企及的电学高峰。

法拉第成功了！这不是他个人的功成愿遂，而是全人类的空前伟大成功！因为从这电流计指针的微小摆动中，人们已找到了电力的源泉，已可依稀地遥想到光耀夺目电世界的雏型，看到了电气文明的光芒和人类未来的璀璨年华。

第三节 电世界的建立

一、进一步的探索

现在电力大门的钥匙已攥在人们的手心里了，但要完全敞开千年尘封的电力大门，还有一系列工作需要人们去做。

在 1831 年 10 月 17 日以前，法拉第和其他许多人无数次的转磁为电的试验，为什么都失败了呢？同样的设备，相同的磁铁和线圈，为什么唯独这次成功了呢？

法拉第想之再三，“要产生感应电流，磁铁必须运动”。只有磁铁插入到线圈内的一瞬间（运动时）才有感应电流产生，而以前试验时磁铁和线圈都是静置着的。

接着法拉第发现,不管是磁铁插入线圈内(线圈静置着),还是将线圈套到静置的磁铁上去,只要两者之中有一个运动时,就有感应电流产生,因此他得出了“要磁转化电,运动是必要条件”的结论。

为什么运动是产生感应电流的必要条件呢?感应电流的大小和方向是否与运动方式有关呢?于是法拉第又投入了紧张的试验研究。最后他得到了“金属导线必须切割磁力线才能产生感应电流”的正确结论。

电荷之间的相互作用,小磁针在磁铁周围发生偏转,这些现象都清楚表明了带电体和磁铁周围有作用力场——电场和磁场存在。

法拉第分别用电力和磁力线来形象地表示电场和磁场强度(电场和磁场的大小和方向)变化情况。一根长条形磁铁,在N极和S极之间就有许多弧形的磁力线,箭头所指的方向就是磁力线的方向——永远是从磁铁的N极发出,到S极终止。某一处磁力线的方向即是磁场的方向,也就是一枚小磁针处在该处时它在N极所指的方向。磁力线或电力线越密,表示磁场或电场强度越强。

二、电磁感应定律的创立

通过无数次的实验验证和分析,法拉第总结了感应电流产生的规律——只有当导线在磁场里作切割磁力线的运动时,线圈中才有感应电流产生。

当磁棒插入到线圈中间时,或从线圈中抽出来时,线圈的每一匝都在切割磁力线,因此在线圈中就有感应电流产生。当磁棒静止不动,而将线圈套到磁棒上去时,线圈的每一匝

同样地都要切割磁力线，因此也有感应电流产生。只有当两者皆静止时，因为线圈未曾切割磁力线，所以无电流流过线圈。

线圈切割磁力线实际上就是线圈中央空间内的磁场发生了变化，因为线圈内磁力线数目的多少就代表着磁场的强弱。因此我们可以说：只要导线线圈内的磁场发生变化时，线圈两端就会有感应电动势产生，从而产生了感应电流。

法拉第还发现，线圈导线切割磁力线的速度越快，线圈在磁场中运动的速度越快，则所产生的电流也越大。

法拉第将上述的发现和实验结果总结成定律，这就是著名的电磁感应定律。

电磁感应定律不仅进一步揭示了电磁之间的作用规律，更重要的是它启示人们：只要我们持续不停地保持线圈在磁场中的运动（切割磁力线），我们就能够获得源源不断的电力供应。

不久，法拉第创造了人类历史上真正的第一部发电机。他将一个铜圆盘插入磁铁的两极之间，铜盘的四周贴连着许多铜条和铅条。当铜盘转动时，就产生了连续不断的电流。稍后，人们陆续制成了改进的发电机。

一旦打开电力的大门，世界上立即涌现出一大群有才能的发明家和创新能手。他们好像早已久久地等候在这座沉甸甸的千年尘封的电力大门外面，一待门开道通，就蜂涌而进，升堂入室，向电的宝库索取人类的需要。于是一颗比一颗更光彩夺目的电学明珠连接不断地被人们撷取到。

三、电世界的建立

只经过了很短时期，在人们面前，显现了一个前所未有的世界——电世界。发电机运转了，电动机出现了，电气文明的光芒开始射进了人类社会的各个角落。

1844 年画家出身的发明家莫尔斯建立起世界上第一条有线电报线——美国华盛顿和巴尔的摩两城市之间的长达（64 公里）的有线电报线，揭开了人类史上近代通信的帷幕。

1878 年电话发明者贝尔在美国波士顿和纽约相距 320 公里的两大城市之间成功地实现了长途电话通话，人类第一次听到了来自远方的话音。“顺风耳”的时代来临了。

1879 年 10 月，伟大的发明家托马斯·爱迪生创造白炽电灯成功，整个世界开始沐浴在明亮洁白的电光下。

于是大地上出现了奇景异象，电杆林立。城市的上空电线越架越密，犹如一个巨型蛛网笼罩在大地上。在地面下和海底，人们忙碌地敷设大小电缆。顷刻之间，世界上各大城市建立起了巨大的发电厂，黑龙似的浓烟从高耸的烟囱中吐了出来。

与电有业的事业，犹如暴发户似地膨胀壮大，它们纷纷成为商人和企业家赚钱逐利和竞相投资的对象。电报、电话、电热器、电灯、电影……一个接着一个新的名词和新东西，象喷泉似的陆续喷射出来。

300 多年前，英国著名哲学家弗兰西斯·培根说过一句名言：“知识就是力量”。人类凭借自己智慧的探索，终于设法产生和制服了这股看不见的巨大流动体——电流。

从 19 世纪后半期开始，这股看不见的洪流以汹涌澎、排

山倒海之势，冲击着各个领域、各个部门，冲击着社会的各个角落，冲出了一个电气化的世界。

电学发展到了 19 世纪后半期，理论和实践的成就已为另一门与电学密切相关的、具有旺盛生命力的新学科——无线电电子学的分娩，逐渐准备了条件；酝酿之久的物理学的新突破就要开始了。

第四节 电磁场和电磁波

一、理论突破的年代

历史将人们带进了 19 世纪 60 年代，这是一个理论突破的年代，也是迫切需要出现理论巨人的时代。

1820 年，奥斯特发现了电流的磁效应——通电流的导线能使磁针发生偏转现象，这也就是电对磁的作用。

不久，人们又发现了磁铁会对通电流的导线产生作用。譬如我们将一根导线放置在一块马蹄形磁铁的两个磁极之间，当电流通过导线时，导线将向侧方向运动。现在是磁铁不动，而通电导线运动了，这像是奥斯特发现的通电流导线使磁针产生偏转作用的逆效应。如果我们把通过导线的电流方向颠倒一下，那么导线也随之向着相反方向运动。

简单的力学原理告诉我们，任何物体由静止到运动，总是受到力作用的缘故。两个物体之间的相互作用，要么是由于两者的直接接触，要么是通过第三种物质作为媒介物体，才能彼此发生作用。

如人所以能够听到声音，那是因为声源的振动带动了空

气，并通过空气分子的振动传递到人的耳膜上。帆船能够鼓帆疾进，那是因为风力作用到船帆上的缘故。

那么现在我们要问：无论是磁针在通电导线周围的偏转，或是通电导线在磁铁两极之间的运动，作用力是通过什么物质传递到磁针或导线上去的呢？是通过空气作为媒质传递的吗？回答是否定的。因为当在真空中作同样的实验时，也出现了完全相同的结果。那么正确的答案是什么呢？这一问题使当时的科学界产生了一阵混乱。

当时许多著名的学者，包括那些在电学发展上曾作出卓越贡献的科学家，如安培、高斯等人提出了“超距作用”理论。

他们认为电磁之间的作用力是不需要任何物质作为传递媒质的，也不需要传递时间的，是“超时间”和“超距”作用的，正如宇宙间物体与物体之间存在着万有引力和地球对地面上的物体产生重力作用一样。

但是也有少数学者，如法拉第和另一个英国著名科学家卡文迪什等人，他们认为电磁之间的作用一定与它们的周围媒质有关，也就是说，作用力是通过某种物质作为媒质传递的。

究竟哪一种说法正确呢？这是飘浮在物理学晴空的一朵乌云。

另一方面，从18世纪中叶开始，一直到19世纪中期，在这短短的一百年左右时间里，电学犹如脱缰之马，奔腾向前，新发现踵而至，新现象层出不穷，所发现的新现象远远超过了以往数千年人类曾经发现和总和。但是遗憾的是人们

的努力当时主要是集中在发现和观察各种电磁现象上，特别是对各种电磁现象的研究和观察都是孤立进行的。

就从影响最大的电磁感应现象来说，虽然经过法拉第的反复实验和观察，总结出了著名的电磁感应定律，但就电磁现象的整来说，它仅仅是一个侧面，何况电磁感应定律只是从无数次实验现象总结和归纳出来的，并没有阐明电磁感应现象与其他各电磁现象之间的关系。

发现越多，疑问也越多。电荷对电荷的作用，磁铁对磁铁的作用，电对磁的作用，磁对电的作用，电生磁以及磁生电等一连串现象呈现在人们面前。人们猜测它们彼此之间一定存在着内在的必然联系；它们的共同本质又是什么呢？是否存在着一种共同的准确数学公式可用来表示和清楚说明业已发现的所有电磁现象呢？

电学和物理学已发展到了一个关隘口，只有突破理论的关隘，它们才能大步向前，进一步发扬光大。否则的话，人们只能在这些五花八门的现象之间徘徊。

如果说奥斯特、法拉第等人是观察缜密、长于实验的实验物理学家，那么现在迫切需要涌现出远见卓识思维深刻的理论物理学家，把那些业已发现的、分散的各个电磁现象予以统一归纳，给予理论的解释。

对于那些有关电磁学的见解或零星理论，一方面需要将它们彼此联系衔接起来，并上升为严格完整的理论；另一方面，也是更重要的，需对它们鉴别真伪，决定取舍。19世纪伟大的理论物理学家麦克斯韦担负起这一伟大任务。

二、麦克斯韦的电磁场理论

就在法拉第发现电磁感应定律的同一年——1831年，英国又诞生了一位科学巨人——麦克斯韦。历史似乎作了巧妙的安排，法拉第和其他一些人开创的电学事业将来会由这个婴儿来继承、总结和发扬光大；飘浮在物理学晴空的有关电磁作用媒质的乌云，将来会被他所创立的理论所驱散。

少年时代的麦克斯韦就已显出他那出色的才华，还在15岁时，他在爱丁堡皇家学宣读了一篇颇获好评的数学论文。以后他相继就读于爱丁堡大学和著名的剑桥大学，并于1854年毕业于剑桥。

“需要是一切创造发明的母亲”。社会的迫切需要会比十所大学更能把科学推向前进”。麦克斯韦所处的时代正是电磁理论急待大突破的年代，他的智慧和才华正迎合了时代的需要。

1865年，麦克斯韦站在奥斯特、安培、卡文迪什和法拉第等电学巨人的肩膀上，以他深邃的智慧和谨严的思维，发表了划时代的，名为“电磁场的动力理论”这篇著名论文。

在这篇名著中，他系统地总结了前人业已发现的所有电磁现象，指出它们彼此之间的内在联系，清楚地解释了这些现象的本质，统一了以前纷纭的见解，创立了完整的电磁场理论。

要严格地表述麦克斯韦的理论，那是困难的，因为这将牵涉到高等数学和物理，但是我们可以用下述简单通俗的语言，说明和归纳一下他的电磁场理论的要点和他对物理学的重大贡献。

1. 从数学方面去寻求各种电磁现象的解释

麦克斯韦创造性地把电和磁的复杂关系变成了清晰的数学关系式。他创立了十个电磁场方程式，确定了电、磁之间的定量关系。所有前人发现的电磁现象及已经得到验证的电磁感应定律、定培定律、欧姆定律、高斯定律、库仑定律等等，都可以用这些统一的电磁场方程式清楚表达出来，特别是可用这些方程式去验证前人提出的有关电磁学见解或说法是否正确。

2. 发展了电磁作用力的作用媒质理论

麦克斯韦发展和丰富了法拉第的关于电磁场的初步设想，即发展和丰富了传递电磁作用力的作用媒质的设想。

他认为电磁作用不可能是超距、超时间作用，这是和带电物体或带磁物体周围空间密切相关的；并认为空间内存在着一种特殊的运动物质，电磁作用正是依靠这种物质传递的。这种物质就是电场和磁场。因此传递电磁力的媒质即是电场和磁场。

电磁场是一种特殊的无形物质，它可以和空气、玻璃以及其他物质共存于同一空间中。麦克斯韦从数学公式和理论上推导出：电磁场和其他物质一样，是具有能量的。这就清楚地说明了以前争论不休的媒质问题。

3. 得出电场和磁场互相作用的结论

麦克斯韦从理论上推导出下述重要的结论，那就是任何电场的改变都要在它周围空间产生出磁场；同样，任何磁场的改变将在它周围空间产生出电场，而且电场（或磁场）变化越快，则由此所产生的磁场（或电场）也越强。

由这里我们可以得知，静止的带电体或者静电荷（静止不动的电荷）是不能在它们的周围空间里产生磁场的，它们只能在其周围空间引起不变化的恒定电场。只有当电场发生变化时，才会产生磁场，而这种电场的变化是由带电体上电荷的运动——电流引起的。这就清楚地解释了奥斯特的通电导线周围产生磁场（使磁针发生偏转）的现象。

由上我们还可以看出，由于电场（或磁场）变化的快慢将影响到它周围空间内所产生的磁场（或电场）的强弱，因此如果电场（或磁场）变化不均匀时，则由此所产生的磁场（或电场）强度也将随之不断地变化。

这样，我们看到：电场和磁场将是相互依存的、紧紧地拴在一起而不能完全分隔开来，我们不能只要一个而不要另一个。

4. 预见电磁波的存在

麦克斯韦在解他的电磁场方程式时，预见到一种无形的，看不见的波的存在，那就是所谓电磁波的存在。

电磁波是电磁场强度的起伏变化——振动形式的，正好比空气分子的起伏振动形成声波，或者水分子的上下振动形成水波一样。

电磁波也能向四面八方传播，即在空间中某一点电磁场强度的起伏变化能以波的形式向周围传播，真好比声波或水波向四面八方传播过去那样。麦克斯韦从理论上计算出了电磁波的传播速度正好等于光的速度——每秒传播 30 万千米。因此麦克斯韦认为，光在实质上也是一种电磁波。以后的科学发展完全证明了麦克斯韦论断的正确性。

为了更清楚地说明麦克斯韦所预见的电磁波，我们设想在一根金属导线中流过的电流一会儿大和一会儿小地周期性变化着（也就是在导线中流动的电荷一会儿多和一会儿少地周期性变化着），而且变化速度是不均匀的，那么根据电荷周围必定存在电场的事实，在这根导线周围空间里就存在着周期性变化的电场，由于导线中电流的大小是不均匀变化的，所以导线周围所激起的电场强度的大小（强弱）变化速度也将是不均匀的。根据上述麦克斯韦的电磁场理论，这个不均匀改变的电场要在它周围空间激起不断变化的磁场。

这个新生的不断变化的磁场，根据麦克斯韦的理论，又要在较远的周围空间激发起新的、强度不断变化的电场，而这个新的、不断变化的电场要在其周围更远的空间产生出新的变化着的磁场……如此电场和磁场一个拉着一个地产生，一个跟着一个地以光速向外传播，很快地在周围广大的空间里就充满了成列的不断前进的交变电场和磁场。

因此，根据麦克斯韦的电磁场传播理论，只要每次产生出来的电场或电磁场都是不均匀变化的，那么电场和磁场就将永远交织在一起，相互交替、激发和转换，由近及远地传播开来。由传播着的电场和磁场所交织成的整体，就叫做电磁波。这就是麦克斯韦所预言的电磁波的实质。

以上就是麦克斯韦所创立的电磁场理论的主要内容。这一理论的光辉照示了无线电电子学的发展道路。它犹如一根强有力的拉纤，将把人们业已开创的电学时代拉向无线电电子学的时代。

三、深远的意义

当新理论和新思想闪出它们的第一个火花时，尽管这个火花是美丽而诱人的，但大多数人是不会承认它的，有些人也许还会对这个耀眼的火花感到眩晕和厌恶。

麦克斯韦所创立的光辉的电磁场理论也不例外。在麦克斯韦活着的日子里，他的理论并未真正得到重视，只有很少数的学者，如法拉第等，以他们的慧眼，看出了麦克斯韦新理论的光芒。

麦克斯韦用数学语言表达了各种电磁现象，将以前彼此孤立的电磁现象给予统一的理论解释；特别是他用敏锐的数学眼睛，看到了电磁波的存在，启迪后人去进行意义重大的关于电磁波的探索实验和研究，为 19 世纪末年无线电电子学的兴起开创了有利条件。

麦克斯韦指出了光的本质——光是电磁波的一种，把光学和电磁学两者统一起来，这个创见也是划时代的，对以后物理学的各个分支的发展，影响是非常深远的。无怪乎著名的物理学家波尔兹曼把麦克斯韦在 1873 年出版的，包括他的全部电磁场理论的《电磁研究》一书誉为“天书”。

从广义来说，麦克斯韦的这部“天书”并不完全是他一个人写成的。这部“天书”正如一部雄壮的科学“交响乐曲”，是由许许多多知名的和不知名的不同时代的人共同谱写而成的。

在克斯韦之前，卡文迪什已经注意到了周围媒质对电磁现象的影响；法拉第也已几乎触及到电磁波的边缘，因为法拉第曾指出了电磁作用力是以有限速度传播的，而不是超时

间传递的；奥斯特发现的电流磁效应，法拉第发现的电磁感应定律以及安培、高斯等人有关电磁学的发现，为麦克斯韦所创立的完整电磁场理论提供了丰富的感性实验依据和大量的可靠数据。

这正如天文学和力学的大突破——第谷费了 30 年的精力，精密地观测了行星的位置，而他的学生开普勒才从这位辛勤观察者所集积的数字里寻找出著名的天空三定律。

伟大的理论或学说并不是一下子成熟的，它往往从一个萌芽状态开始，需要经过几代人前赴后继的努力，才不知不觉地慢慢成长起来，而在开始时总是以连接不断的新发现为先导。

寻究事物的本质和探求新现象的成因，往往是人们不可遏止的自然意向；于是起先个别人从所发现的现象中逐渐萌发起一种见解或概念，也许这种见解是十分粗浅的，概念也是极为模糊的，但是久而久之，慢慢地有一些人同情或支持这种或那种见解或概念。后来见解和观念越来越扩大，概念也越来越变得清晰。

虽然这些见解、观念和概念是零星的和彼此不相关连的，但是时间一到，人类总会涌现出一位具有综合头脑的人，他会沿着先驱者在科学征途中留下的肤浅模糊的脚印，综合前人的零星成果，以敏锐的目光、深刻的思维和创造性的劳动，开辟出某一科学领域的崭新天地，创立了比较完整的、综合的、具体而又明朗的新理论。

当然，在开始阶段，杰出人物所创立的新理论往往并不能被大家普遍接受和赞同，但是正如文艺复兴时期伟大的科

学家兼艺术家达·芬奇所说：“时间是真理的女儿”，经历了一个或长或短的时期以后，周围总会有一些人站出来，接受他的理论，并会象传福音的使徒那样地热情宣传新理论。

最后当这一新理论得到实验或实践检验并被证明是正确时，于是人们就把这位具有综合头脑的新理论创立者当作自然规律的发现者。麦克斯韦就是这样一位罕见的、具有综合头脑的创见者，而他创立的电磁场理论也正经历着上述曲折过程。

尊重事实和对自己的成就保持谦虚是科学工作者应有的美德。对于一个真正的科学家来说，他是深知自己所获得的成就的前因后果的，他会尊重别人劳动的成果和劳绩，列举前驱者的名字，宣传那些因没有注意或由于其他种种原因而埋没多年的著作。从麦克斯韦身上散发出了这种美德的光辉。

麦克斯韦并没有把自己看成是创造的天才，而是将自己置于科学继承者的地位。在1856年出版的他写的“论法拉第力线”一文中，他谦虚地说：“我的目的只是想指出，用什么方法或直接应用法拉经的观念和方法可以更好地解释他所发现的各种不同现象之间的相互关系”。也正是麦克斯韦将卡文迪什有关电学及电磁作用媒质理论的遗稿——被埋没数十年的手稿整理并发表于世。

麦克斯韦的心智超越了同时代的人，他的思想伸张到百余年后当今的世界。以他为代表所总结的电磁规律和由他所创立的电磁场理论，推动了物理学第二次革命。他用数学的慧眼，看到了电磁波的存在，播下了无线电电子学的火种。

可惜的是，麦克斯韦的生命太短促了。正当这位才气横

溢的学者风华正茂这年，1879年他就遽然早逝——癌症夺去了他的生命。他在这个世界上只活了47岁。

但他可以回眸笑慰的是，他的光辉理论所预示的电磁波，马上将由一个1857年在德国汉堡诞生的孩子——赫兹用光耀的实验得到证实；他所播下的火种即将燃起无线电电子学的熊熊烈火。

四、赫兹的刻苦努力

1857年，当麦克斯韦发有了著名的“论法拉第力线”论文后一年，路德福·赫兹在德国汉堡呱呱坠地了。历史似乎作了巧妙的安排，这位苏格兰理论物理大师所预见的电磁波，将来会由这个汉堡出生的德国婴孩用光耀的实验得到证实。

麦克斯韦的电磁场理论发表后，起先并没有得到大家普遍的重视。落后于时代的理论是注定要消亡的，但远跑在同时代人前面的科学预言家，也总不会受到太多的“礼遇”和赞扬。

麦克斯韦所预见到的电磁波，似乎太抽象了，它既不像水波高低起伏，为人眼所见到；又不像声波引起空气的振动，为人耳所听到。虽然麦克斯韦的理论是严密的，从数学上来说是无暇可击的，但大家还是半信半疑，某些学者甚至把麦克斯韦的理论当作数学游戏。

时间是淘汰淹埋真理的泥沙，真理迟早总是要焕发出它的光芒的。随着研究的逐步深入，越来越多的人起来支持麦克斯韦的理论。电磁波象一个幽灵，已在当时的科学界中到处游荡着，现在所差的就是用实验证实其存在了。

1879年，即麦克斯韦逝世的那一年，柏林科学院以重金

向当时科学界征求对麦克斯韦所预言的电磁波实验验证。历史正在等待着一位伟大的实验大师出现于科学舞台。

在汉堡求学时，年青的赫兹一心想当工程师。不久，他发现自己的旨趣是在物理学方面。于是在 1877 年他转到当时人才云集的柏林大学学习物理学，并有幸得到名师霍尔姆兹的悉心指导。以后的历史发明，赫兹选对了自己要走的路，他个人这一自我设计，从某种意义上来说，加快了无线电电子学的历史发展进程。

1880 年，勤奋的学习和不倦的工作，使 23 岁的赫兹显露了他那惊人的才华，他因发表“电气运动时之动力”一文而获奖。

从 1883 年起，赫兹的注意力开始集中到麦克斯韦的电磁场理论方面来了。渐渐地他萌发了壮志雄心——验证电磁波是否存在；打算进行决定麦克斯韦理论的命运的实验。

在当时很多人看来，似乎这个青年人太自负和太大胆了，但他的老师——霍尔姆兹却热情地支持和鼓励他，也许霍尔姆兹的慧眼已预见到了这位青年学者内藏的即将焕发出来的科学灵光。

开头几年，并没有什么大的进展。他碰到了许多困难问题。如何验证麦克斯韦的电磁场理论呢？怎样能够证明这种无形的电磁波的存在呢？先驱者的步伐是艰难的，他没有成熟的经验可以借鉴，没有现成的实例可以模仿。在那个时代，既没有无线电发射机的影子，也没有电子放大器的概念，那时候电子还未曾被人发现哩！赫兹仅有的东西就是麦克斯韦关于电磁波的预言，他一心想往的就是抓住电磁波这个幽灵。

六、前辈的功绩

是的，一切只能靠他自己来创造。不过赫兹的工作也并不是完全孤立的。他的实验所以能够顺利进行和最后获得成功，在一定程度上，得力于霍尔姆兹和美国电学大师亨利所创造的振荡电路。

在 19 世纪中期，德国的霍尔姆兹和美国的亨利分别研究了电火花放电现象，发现由一个电感线圈和一个电容组成的电路通电时，电路中的电流方向和大小作周期性变化，也就是说，产生的振荡电流。

这种由电感线圈 L 和电容 C 组成的电路就被称作振荡电路。振荡频率由线圈的电感量和电容器的电容值大小决定。

且有 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 关系公式。这里 f 是振荡频率（1 秒钟内电流方向和大小的改变次数）；L 代表电感量；C 代表电容值。

根据麦克斯韦电磁场理论，当电路或导线中流过大小和方向不断变化的电流时，在电路或导线邻近周围空间就要激起不断变化的电磁场。因此霍尔姆兹和亨利创造的振荡电路就被赫兹用来进行电磁波的实验了。

七、两个难题

赫兹想：如果麦克斯韦的电磁场理论是正确的，他所预见的电磁波真的存在的话，那么振荡电路中的振荡电流不仅会激起电磁场的周期性地改变，而且会以波的形式将这种电磁场变化从电路所在空间逐渐播传开去。

但是振荡电流所产生的电场和磁场基本上都分别集中在电容器和电感线圈的中间区域，即电场集中在电容器的两极

板之间的区域，而磁场则集中在线圈中央空间区域，所以要证实电磁波存在，对赫兹来说，必须解决以下两个最主要的难题：

1. 将电磁波传递出去

必须将集中在电容器中变化的电场或线圈中变化的磁场向周围空间释放出去，也就是使电磁波向外传播开去，否则的话，电磁波将被禁囚在振荡电路之中，犹如在密封房间内的声音（声波）永远传不到外面来一样。

2. 接受传递出去的电磁波

当电磁波从振荡电路中释放出来向空间传播后，必须设法创造一种检测工具，使得在离开振荡电路的空间某一点处接收到由振荡电路发出的电磁波（如果电磁波真的能传播的话）。

为了解决上述两个难题，赫兹反复地思索和进行试验。经过数年的研究和试验，在 1887 年的某一天，电磁波终于第一次被人类抓到手了。

八、抓到了电磁波

赫兹的实验装置，从我们今天已具有无线电电子学知识的人看来，似乎显得十分简单，但我们须知他是距今近一个世纪之前进行这个实验的，这是多么难能可贵呵！

由于当时还没有象现在那样的各种专用电容器，赫兹用已充贮了电的莱顿蓄电瓶作为充电电容器使用。他将几个莱顿蓄电瓶与一个变压器的初级线圈相连（该变压器的次级线圈两端分别连接铜球和锌板）。

当接通电路时，莱顿蓄电瓶将开始通过初级线圈放电，

这时在该线圈两端就会出现较高的感应电压，因而通过感应耦合作用在次级线圈两端将激起更高的电压（这是因为次数线圈的匝数比初级线圈多许的缘故）。

在次级线圈的两端连接了两个铜球和两块锌板。铜球擦得十分光亮，两铜球之间的空间称为“火花隙”，因为次级线圈的高电压将在两铜球之间产生电火花，这些电火花形成了电磁振荡。

两块锌则是用来将振荡电路所产生的变化电磁场（电磁能量）向空间释放出去，这好比我们用一个喇叭（扬声器）将声音的能量（声波）有效地传向空间一样。赫兹当时把他这种能产生电磁振荡的装置称作“振荡偶极子”，后来人们称它为“火花振荡器”。这是最原始的振荡器。

如果麦克斯韦的理论正确的话，那么在振荡偶极子的周围空间一定存在着电磁波。为了检测到由振荡偶极子发射的电磁波，赫兹精心设计了一个接收装置，称为“共振偶极子”。

根据电磁感应原理，当磁声变化时，导线线圈两端就会产生感应电动势。

赫兹的共振偶极子是一个由铜线弯成的开口铜环，在铜环开口的两端各安装了一个光亮的铜球，两铜球彼此靠得很近，它们之间的距离可以通过一个螺旋予以精密调节。假如电磁波的确传播到了空间某一点，则在该点的共振偶极子的两端——两个铜球之间就会产生出感应电动势，这是因为偶极子环中间的磁场和电场是在不停地变化着的缘故。由于两个铜球靠得十分近，所以它们之间应有电火花产生。

这就是赫兹验证电磁波存在的全部构思和实验手段。

有历史意义的试验开始了。为了清楚地观察到铜球之间微弱的电火花，赫兹是在暗房中进行他的实验的。

当赫兹屏息凝视两个小铜球之间的微小隙缝并用手移动共振偶极子与振荡偶极子两者距离时，突然，共振偶极子的两铜球之间迸发出一个小小的火花。接着，赫兹看到了连绵不断的电火花在两个铜球的隙缝间跳跃。

成功了，振荡偶极子发射出的电磁波已被共振偶极子接收到了。电磁波已被抓住了，它已由过去的幽灵变成了客观存在着的实物。这微弱的电火花不仅标志着赫兹实验的成功，而且闪烁着麦克斯韦理论的光辉。

赫兹将向全世界宣告：电磁波确定存在，正如水波和声波存在着一样。微弱的电火花映出了无线电电子世界的晨曦，标志了电学技术新纪元的开始。

九、来迟了的赞扬

1888年2月13日，赫兹在柏林科学院的大厅里将他的实验结果详细地公诸于世。参加会议的人，有的赞美不绝，有的诧异万分；有的激动难抑；更有的人心欢手痒地想去实践和亲身试验一下。整个大厅洋溢在欢乐和赞扬声中。遗憾的是麦克斯韦离开人世已9年了，他没有能亲眼看到铜球之间跳跃的电火花，共享赫兹实验成功的欢乐；他也没有能亲耳听到大家对他科学睿智的赞扬声。

古往今来，在漫漫的历史长河中，杰出的先驱者在科学园地上播下了真理的种子，但他们却往往看不到自己亲手播下的种子的发芽成长，更见不着花开果熟的丰收盛景。多少造福于人类的伟大发现、惊人创造和不朽著作，在发现者和

创造者在世的日子，他们本人多半是听不到赞扬声的。他们所能得到的除了汗水和贫困以外，或许还有诘难，甚至迫害，但随着时间的流逝，在他们身后却会卷起越来越巨大和宽广的赞扬声浪。

现在谁也不会怀疑电磁波的存在了。全世界都向这位已逝去的伟大苏格兰学者表示崇敬。如果说 16 世纪时哥白尼的“天体运行”奠定了近代天文学的基础，韦扎耳的“人体构造论”成为近代人体生理学的基石，那么已被赫兹实验证实的麦克斯韦理论将成为 20 世纪初兴起的无线电子学的基础。

麦克斯韦是伟大的理论物理学的开拓者，赫兹却是杰出的实验能手。虽然他们不能完全相处于同一时代，但科学却把他们两人的名字联接在一起。两个天才的结合，迸发出巨大的力量。这是理论和实验的联结，虽然这种联结或结合不是体现在同一个人身上，但这是必不可少的，其意义也许比体现在同一个人身上更重大、更深刻。

科学发展的历史表明，人们的智慧常有两种表现。伏案思维的理论研究者和埋头于实验的实践工作者相互提出问题，彼此密切配合，相辅相成，才促进了科学技术的发展。不过这两种才干同时在一个人的身上显露出来是很罕见的。

古代的迦勒底人不倦地观察天空星辰，但是希腊人却埋头于沙盘之上，通过绘制各种图形去了解天象。数学家勒维烈纯粹从理论计算推断出距地球 40 亿公里之外一定有一颗巨星存在，因为它影响了天王星的运动，但是他本人却没有能亲身实践去发现这颗巨星，而别人根据他的推断和指出的天空方位，终于从望远镜里发现了这颗影响天王星运动的行

星——海王星。

现在麦克斯韦和赫兹也可以说是理论和实践两方面结合的典范。麦克斯韦用数学作为利器，科学地预言电磁波的存在，赫兹则以光耀的实验，确凿无误地证实了电磁波的存在；于是在物理学和无线电电子学的史册书刊上，人们常常可以见到麦克斯韦 - 赫兹这两个闪光的名字。

十、进一步的工作

只要一会儿功夫，滴滴嗒嗒的莫尔斯电码（有线电报电码）把赫兹的新发现传遍欧洲，稍后五大洲的报纸都以醒目的标题报导了赫兹用实验证实电磁波存在的消息。赫兹由原先一个并不著名的卡尔斯鲁厄工艺学校的物理教授一下子变成誉满德国和蜚声欧、美两大洲的时髦人物。但周围赞美的歌声并没有淹没赫兹理智的清泉和他献身科学的热情。赫兹继续埋头于他的电磁波实验。

他一方面不断地改进他的实验装置，另一方面他仔细研究电磁波的特性和行为。赫兹发现电磁波可以毫无困难地穿过墙壁，但是它却被薄薄的大面积金属片所挡住；他发现一面普通的镜子可以将电磁波反射回去，正如光线被镜子反射回去一样。

通过进一步的实验，赫兹发现电磁波也具有像光波一样的反射、折射、绕射、偏振和干涉等现象，而且电磁波完全遵循光波的反射、折射等规律。这就证实了麦克斯韦的理论——光在本质上是电磁波的学说。

赫兹通过改变变压器线圈的匝数获得了不同波长（或频率）的电磁波。当他将接收器（共振偶极子——现代检波器

的原型)在振荡器(即振荡偶极子——现代无线电发射机的原型)和一面大镜子之间逐步移动时,他测出了电磁波的波长,并由此计算出电磁波的传播速度。

结果他惊奇地发现:尽管电磁波的波长(或频率)各不相同,但它们的传播速度却都相同,而且等于光的传播速度,因而完全证明以麦克斯韦学说的正确。

通过上面关于赫兹工作的系统叙述,也许你会觉得,特别是从现时的人们看来,赫兹为了验证电磁波存在所进行的一系列工作并没有什么神奇之处,他的实验构思旁人也是完全可以理解的。

是的,赫兹只是依照麦克斯韦理论的指引,循着科学思路,并且借用霍尔姆兹和亨利已经创制的高频振荡电路,设计了自己所要进行的实验。也许他所做的工作,和他同时代的许多人通过努力都能够做到,但问题恰恰是他去做了,而且做成功了,而旁人却没有去做,或者没有做成功。

科学对任何人都一视同仁,不偏不袒,正如已故的法国著名天文学家、诗人弗拉马利翁所说:“自然科学所表示的真理都建筑在事实上,谁原意去研究它,谁就可以得到验证”。

正是赫兹,他从1883年起,满腔热情地投入这一项具有伟大历史意义的验证工作,孜孜不倦,不畏失败,最后终于获得了成功。在那个时期,也许有很多人错过了发现电磁波的机会,让它从自己身边悄悄地溜走了。伟大的美国发明家托马斯·爱迪生在赫兹之前几乎也抓住了电磁波。在1875年,当爱迪生试验电火花时,他看出了有点奇怪的地方,可惜他没有心思继续研究下去,实际上当时被他称作“以太力”

的东西正是电磁波“幽灵”的显形。

任何伟大人物的思想和杰出人物所作的伟大工作，既应被人理解，也能被后人所仿效和超越。赫兹的思想和工作也不例外。

如果一个伟大人物的思想和所做的工作，对别人来说，永远是高不可攀，深不可测，那么这样的伟大人物不是下凡的“神仙”，就是被人膜拜的人间偶象了。

赫兹以他出色的劳动完成了电磁波的实际验证工作，但他并没有摆脱认识的局限性。当 1887 年赫兹发现电磁波时，说来奇怪，他本人是一点没有预见到，他的发现会引起多大的反响和改变世界技术面貌的。在他发现电磁波后的第二年，当有人问到利用电磁波实现通信的可能性时，他竟然公开否认这种可能性。这是赫兹的短见。

赫兹在进行电磁波的实验时，曾发现用紫外线照射铜球时，铜球之间电火花的产生就变得容易了，实际上这就是光电效应的一个现象。

1889 年，赫兹到波恩大学任教。为了渴望发现电的其他特性，他开始研究稀薄气体中的放电现象。

正当他专心致志于这一新的实验工作时，也许过度的辛劳损害了他的健康。1894 年 1 月 1 日，一颗灿烂的科学新星还没有投射完它的光和热时，便过早地陨落了。他一生为之奋斗的光辉事业也就中止了。

赫兹在这个世界上只活了 36 年多一点儿时间，他就像是物理学界的莫扎特。他那短促的一生，犹如他自己用实验发现的在两个铜球间跳跃的电火花，噼啪闪烁了一下，就熄灭

了。但他那理想、智慧的火花和人类希望的新技术的火花，却在他身后燃起进步的火炬，照示了人类通向无线电电子学的新世界，照亮了马可尼等后起之秀前进的道路。

第五节 电磁波的实际应用

赫兹成功地证实电磁波存在的实验，像是大海的狂澜，冲击着技术世界的旧栅栏；它又像是一块硕大无比的磁石，吸引着四面八方一大批渴望创新和富有科学冒险精神的各阶层人干。

科学界感到高兴鼓舞，因为随着电磁波地发现，在他们之前显现了一个前所未有的新的物理学领域，并向他们提供了无限的研究机会。发明家们跃跃欲试，渴望从这个新发现中找到使亿万人身受其惠的发明。一群眼光远大的商人和实业家开始窥探电磁波在商业上的价值。总之，大家都在凯觞这个新发现的利用价值。

在科学和技术上，这是一个新旧交迭、不断变化的时代，也是一个充满科学冒险的时代。历史正在为一群富有进取心的年青英才登上技术舞台安梯架桥。麦克斯韦所预见的、被赫兹实验发现的粼粼电磁波很快就将成为推动技术世界前进的物质力量。

一、早期的设想与尝试

在马可尼等人将电磁波投入实际应用之前，就有人设想不用电线传送电信号，虽然那时有线通信已开始逐渐普及，但如何将电码送到奔驰的火车上去呢？如何实现海面上舰船

之间的电报通信联络呢？何况有线通信是要耗费大量铜金属材料，敷设 10 公里的电缆线路就得耗用 5 吨铜材料。因此人们萌发产于不用电线传送电信号的设想是很自然的。

有线电报发明后，人们就想利用大地和水来代替金属导线，将电码传到奔驰的火车上去，或将电码传送至江河彼岸。

1842 年莫尔斯（即发明有线电报的美国画家）在华盛顿的一条运河两岸进行了利用水来传送电码的试验。电流虽然通过水的传导作用而到达运河对面，但在电码接收器上显示出来的莫尔斯电码是模糊不清的。1854 年，苏格兰人林赛在台河两岸也进行了类似的试验，但也没有实际应用的价值。

1892 年，即在马可尼开始从事电磁波（无线电波）通信实验前三年，英国的物理学家克鲁克斯首先提出应用电磁波进行无线电报通信的设想，但他本人并未试验。

1865 年麦克斯韦提出电磁波的概念，但他自己从未触及到实际的电磁波。1887 年，赫兹实验发现了麦克斯韦所预言的电磁波，但赫兹又像是一个愚蠢短见的母亲，把一个不会走路说话的婴孩扔掉了，因为他否定了电磁波实际应用于通信的可能性。1892 年虽然克鲁克斯提出了将电磁波应用到电报通信的设想，但克鲁克斯却懒于动手去实践一下。

如今，历史将把一位 20 岁的意大利青年推上世界技术舞台。正是他，捡起了被赫兹抛弃的“婴孩”，并将其抚育成“人”，使无线电通信得以实现。

二、顽强的实干家

1874 年，也就是麦克斯韦逝世前五年，哥列尔姆·马可尼在意大利诞生了。马可尼的父亲是意大利人，母亲是英国

爱尔兰人。少年时期的马可尼常随他母亲返回英国探亲。

在他乘船出入地中海和越渡大西洋的旅途中，在那一望无际的碧波蓝天之间远航的孤舟上，马可尼常常萌发起舰船与陆地之间如何实现电报通信的念头。

马可尼从小对于物理学和电学十分喜爱。在赫兹用实验发现电磁波的前几年，马可尼相继在意大利的佛罗伦萨和勒格旺等几个地方学习物理学和电学。这为他以后在科学上的发展奠定了基础。

19世纪法国伟大的化学家兼细菌学家、近代微生物的奠基人巴斯德说过：“机遇只偏爱那种有准备的头脑”。在马可尼的头脑里一方面已萌发着实现不用导线传输电码的念头，另一方面已贮存了丰富的物理和电学知识，现在所差的是机遇了。

1894年夏天的某一天，机遇终于来到了。20岁的马可尼在一个偶然的时机看到了赫兹过去写的一篇关于电磁波实验的文章，这时虽然赫兹已不在人世，但这篇文章却像一个强烈的触发信号触发了马可尼有准备的头脑。

“电磁波既然可以无阻碍地越过一段空间，那么是否可以让它越过田野和海洋呢？”“赫兹发现电磁波可以穿过墙壁，那么它是否也能够翻山越岭、穿屋入室呢？如果是那样的话，莫尔斯电码不是可以不需要金属导线传播吗？”在马可尼的脑子里不停地回萦着上述念头。

应该说，上述这些想法并不是马可尼独有的。前面已经讲过，在马可尼之前克鲁克斯和其他的人也曾有利利用电磁波进行能信的设想，但都缺少实践的勇气，这是什么原因呢？

这是因为当时被赫兹丢掉的这个婴孩——电磁波实在太衰弱了。

自从 1887 年赫兹用实验发现电磁波后，在全欧洲的所有大学里，物理学教授们在课堂或实验室里，竞相表演磁波的实验。由于当时所用的电磁波发射器——振荡器（振荡偶极子）和接收器（共振偶极子）都是十分原始的，为了看到接收器小铜球之间跳跃的微弱电火花，表演需像电影院那样把全部窗幔拉上，而且接收器还要挨近发射器。即使作了这样的安排，结果除了表演者本人和站在表演台周围的人外，其他人还是很难看到这种闪烁的电火花。如何能够设想将这种“玩意儿”应用到电报信中去呢？因此包括赫兹本人在内，大家都认为电磁波在空间的传播只是一个有趣的物理现象。

当时大家犯了一个特大的错误，因为他们惯于用成人的尺度来衡量一个刚刚出世的“婴儿”。许多年以前，英国学者洛治为我们留下了一句名言，他对蔑视事物的怀疑者反问道：“一个新生的婴儿有什么用处呢？”

年轻的马可尼看出了这个新生“婴儿”的未来光辉前途，他相信电磁波一定会成为将来无线电报的传递物。

马可尼并不是一个大胆的空想家，而是一个顽强的实践者。他既充满勇气和满怀信心，又勇于实践和重尚实干精神，这两者对科学技术领域的“拓荒者”来说，是至关重要的。

21 岁的马可尼在意大利波伦亚附近他父亲的别墅三楼上建立起实验室，亲自进行不用导线的电报电码传送实验。马可尼的可贵之处正在于他能看到未来、勇于实践和大胆创新。这正是他取得成功的关键所在。

三、扬起新的篷帆

要把赫兹抛掉的“婴儿”抚育成强壮的成人，的确是很费劲的。首先必须大胆改革赫兹的实验装备，突破原有的设计框框，否则是不可能超越原先赫兹的实验结果的。因此必须扬起新的篷帆，去探索新的江川。

经过多次反复的试验，马可尼发现；在振荡偶极子（电磁波发射器）的一个铜球上连接一根很长的架空导线，那么就可以大大增强所发射的电磁波的强度。这根架空导线，现在大家都知道，就是天线。当年马可尼在进行实验时，将天线挂到大树上。

马可尼把一个莫尔斯电报电键连接到一个包括电感线圈 L 和电池 V 的电路中。线圈 L 两端分别与两个放电金属小球相连接，其中一球接天线，一球接地，构成发报装置。在这里马可尼用电池替代了赫兹实验中的莱顿蓄电池。

在开始的试验中，马可尼没有另外接入电容器，实际上在线圈两端之间也是存在着由导线和两个金属球构成的杂散电容器，只是电容量比较小罢了。

根据振荡电路的原理，当按下莫尔斯电键时，在由线圈 L 和杂散电容 C 所组成的振荡电路中就会出现方向和大小不断地作周期性改变的振荡电流，并在两个放电的金属小球之间产生一连串的电火花，因而通过挂在树竿上的天线就会向周围空间发射出电磁波。

振荡电路的发明者亨利和霍尔姆兹指出：电磁振荡的频率（或电磁波的频率）或波长，与线圈 L 的电感量和电容 C 的电容量大小有关，电容量或电容值越小，振荡频率越高（或

波长越短)。马可尼当时使用的是频率为 500 千赫(波长为 600 米)左右的电磁波,这在当时已算是高频率电磁波了。

马可尼对收报机作了很多改进。当时赫兹实验时所用的接收器,即开口的铜线环——共振偶极子灵敏度太低了,而且无法用它抄录接收到的电码。

同发报用天线一样,他将一根长导线挂在竹竿上,作为接收天线。天线的一端与一个称为粉末检波器的东西相连接,电池 V 将粉末检波器与电报机连接成一个回路。粉末检波器是一个两端装有金属电极的玻璃小瓶,中间充满粉末状的金属微粒。所谓检波器就是将天线接收到的无线电波检出来的意思。

当从发报机天线发射出去的电磁波传播到接收地点时,接收天线周围空间的电磁波(变化的电磁场)将在天线导线中激励出感应电流,这时粉末检波器将成为导电的,因而与电池 V 相串接的电报机中将有电流通过,电报机开始工作——在纸带上划出线段。

当放松发报机中的莫尔斯电键时,发报机的发射天线就没有电磁波发射出去,这时收报机的接收天线中没有感应电流产生,粉末检波器将不导电,电报机也随之停止工作,纸带上不划线。这样,根据机中的纸带上亦步亦趋地划出断断续续的长短线段,也就是记录了发报机发出的莫尔斯电码,这样就实现了无线电报通信。

马可尼这样的装置,居然收到了 140 米外发射出的电码。

1895 年夏天,马可尼的电码已经可以在 1.6 公里的远处被接收到了,21 岁的马可尼在实现无导线传送电信号——后

来被称为无线电通信方面，迈出了可贵的第一步。

1.6 公里，用现时无线电通信的疆域标准来衡量，也许是马拉松赛跑中的米尺，但它揭开了无线电通信的序幕，大家开始预见到无线电通信的美妙前景了。

四、新的进展

1896 年，马可尼和他的父亲到英国旅行。在那里，马可尼作了 10 公里左右的无线电报通信表演。马可尼的发明得到了外界的承认，他在伦敦获得了电磁波的第一次应用发明专利权。

马可尼的名字，像他应用的电磁波那样，在意大利和欧洲逐渐地传播开来。但是马可尼深深懂得，这只是开始，离开功成愿遂还遥远得很。要使电磁波真正占领通信舞台，必须不断增大通信的距离。

马可尼不断改进无线电报的收、发装置。后来他在发报机和接收机的天线前面各插放一个由线圈和电容器组成的振荡电路，而且把这两个振荡电路都调节到同一个振荡频率。这样发报机就能发射出确定频率或波长的电磁波，收报机的灵敏度也提高不少。

1897 年，23 岁的马可尼经回到了意大利。这时无线电波已经可以跨越近 20 公里的距离了。当时无线电通信焕发出来的原始光芒，已使云集在世界商业和金融中心的一些有远见的伦敦商人们眼界大开，竟想从这个新发明中捞到好处。于是在 1897 年 7 月，他们把除了意大利以外的马可尼在各国的无线电专利权统统买下了。同年，英国马可尼公司成立，因而马可尼获得了大量经费，从而可以在更大范围内进行无线

电通信的改进实验。

但是对马可尼来说，一切并不都是顺利的。虽然马可尼的工作不断地取得进展，但因袭守旧的力量是很大的。人们的旧习惯势力和对新鲜事物的偏见，使他们对马可尼的发明，往往有着害怕上当受骗的心情。

1898年夏天，当马可尼的发明首次应用于商业。马可尼从爱尔兰海中的一个汽船上，用无线电向“都柏林快报”报告金士顿赛船盛况时，在一般人心目中还认为无线电不过是一种高级玩意儿罢了。

但是怀疑论者将在新的事实面前低头了。他们从马可尼的发明中看到了电磁波拯救生命的价值。

1899年3月3日，一艘名叫东谷德文的灯船被另一艘轮船撞毁了，呼救的电磁波跨过水面，越过空间，向各邻近海岸和海港粼粼飞云，于是救生快艇奔赴出事地点。以前遇到这种事故都要葬身鱼腹的人现在都获救了。

马可尼的发明向全世界显示了奇迹，而拯救生命的奇迹是最能敲开人们的心灵之门的，就连最保守的人士也不例外。于是世人接受了“无线电”这个新名词，电磁波演变成为无线电波。

1899年，马可尼在怀特岛上播发了第一封收费电报——越过45公里英吉利海峡的电报。后来有人把此作为无线电诞生的标志。

五、无线电波飞越重洋

在新的成就面前，马可尼并不满足。早在少年时期跟随母亲乘船往返于意大利和英国之间时，马可尼就立志要把电

码送过大西洋。现在马可尼正准备实现自己的愿望。

当时，在许多人看来，无线电波不可能传播很远，更不可能飞越大西洋，因为地球表面是弧形的，而无线电波走的路线，正如光波那样，一定是直线。因此从地球上某一点发出去的无线电波只能向空间径直传播，无法超越隆起的地面而到达另一点。

根据地球的直径和地表面的弯曲程度，他们认为无线电波在地面上至多只能传播五六十公里，马可尼越过英吉利海峡的无线电报已是无线电通信的极限距离了。所以当有一份科学杂志发表马可尼决心把无线电波送过大西洋的报导时，有一位著名的物理学教授竟然亲自赶到杂志社，咄咄逼人地责问出版社为什么发表这种荒谬的文章。

年轻的马可尼却没有附和众人的见解，更没有被权威的责难所吓倒。虽然当时马可尼还不完全明白无线电波的传播原理，因为当时大家既不知道长波无线电波会沿着地球表面传输，也不了解短波无线电波会被大气层中的电离层反射而返回地面。但他是个顽强的实干家，他决心再次创造出奇迹来。

马可尼说：“我的这些无线电波一定会随着地球走。我们需要好好准备的是一个强有力的振荡器和一个灵敏的接收器，这样我们可以将无线电波打到住在地球对面的人那里去”。

当马可尼作好各种准备工作后，1901年冬天，他亲自赶赴美国的圣约翰和纽芬兰，他的助手留在英国的波得大，他们准备史无前例的无线电波横越大西洋的伟大试验。

为了提高收报机的灵敏度，马可尼在纽芬兰放起一个高达 400 米的风筝，将接收天线挂到风筝上。1901 年 12 月的某一天，他自己在一座小山的钟楼内，静静地等待着从无线电听筒传来的他助手从英国发来的电码声。

这是一个具有历史意义的时刻。突然，从听筒里传来了三下微弱的“滴嗒”声，马可尼抵制不住内心的喜悦，连声喊叫“成功了！”“成功了！”无线电波终于飞越 3600 公里的大西洋上空而从英国直达美国，人类向往已久的不用导线的远距离通信实现了。

于是全世界轰动了。原先固执的怀疑者现在信服了；激烈的反对者被封住口了，五大洲报纸都用醒目大标题报导了这一奇迹。

自从莫尔斯在 19 世纪 40 年代发明有线电报通信后，为了使电码送过大西洋，实现欧洲和美洲两大洲的通信联络，人们进行了敷设大西洋海底电缆的巨大工程。在著名的英国科学家开尔文勋爵的领导下，前后经过了 10 多年时间，到了 1866 年，连贯欧美两大洲的大西洋海底地缆总算敷设成功，莫尔斯电码通过电缆传到了大洋彼岸。现在马可尼却静悄悄地不用电缆而将电码送过大西洋，这是何等的奇迹啊！

六、人才辈出的时代

历史往往不是造就一个人，而是造就一代人。每当一个新的科学技术时代开始后，总会涌现出一大批杰出的人物。他们之中有的人因自己的成就而将自己的名字留在史册上，但也有更多的人在作了许多有意义的工作后，由于各种原因而使自己湮没无闻。无数知名的和不知名的人共同努力，才

促进了科学技术的进步。

马可尼的成就既是他自己辛勤努力、大胆创新和顽强实干的结晶，更是时代迫切需要的结果。马可尼的工作也不是孤立的，这里既有导师和科学前辈的指引，也有同时代同行们的帮助促进。赫兹证实电磁波存在的实验将他引上了实际应用电磁波的科学征途，并向他提供了许多宝贵的借鉴；霍尔姆兹和亨利发明的振荡电路及电磁振荡的特性知识，在很大程度上促成了马可尼的成功。

此外，19世纪80年代末期法国物理学家布兰利设计的粉末检波器被马可尼应用到收报机上，借此才能驱动收报机中的电报机在纸带上划出电码，法国的鲁门阔夫于19世纪中期设计并制造的带铁芯的高压变压器也被可尼可实际应用于通信装置中。

19世纪末和20世纪初可说是开创科学技术新纪元的时代。这是一个伟大而富有创精神的时代。这个时代并不是只对马可尼一人“礼遇”。

与马可尼同时代的俄国发明家亚·斯·波波夫也独立地在俄国实现了无线电通信。1895年5月7日，波波夫试制成功了被他称之为“雷暴指示器”的仪器。波波夫把它连接到架设高空中的导线（天线）上，记录天空中的雷击放电现象，实际上这也是一架无线电接收机的原型。1896年3月4日，波波夫成功地在两幢相距为250米的大楼之间表演了无线电报通信。

1897年，波波夫开始在俄国波罗的海舰队的一些船只上装置无线电通信设备。

1897年夏天在波罗的俄国海舰队进行的一次射击演习中，在巡洋舰“非洲号”和相距为5公里的运输舰“欧洲号”进行无线电报通信联络时，突然间由于另一艘军舰“依林上尉号”的介入而使上述两舰的通信中断，因而使波波夫发现了电磁波的受阻和反射现象。

1900年，波波夫为了拯救触礁的战斗舰“阿普拉克新海军上将号”，在哥格兰岛和哥特加港之间设立了无线电报通信网，借此救起了27名被冰块冲走的渔民。从此经年累月航行于茫茫大海中的舰船在发生各种危险事故时有了获救的希望。

在谈到开创电磁波实际应用方面，另一个人的名字也是不应忘记的，这就是美国的德·福雷斯特。

德·福雷斯特生于1873年，只比马可尼大一岁。与马可尼一样，少年时期的德·福雷斯特就对赫兹的电磁波表现出浓厚的兴起。他对无线电报通信作出了不少贡献，并且“幻想”着这些电磁波不仅能传送莫尔斯电码，而且能传送人的说话声（无线电话）。

自从大学毕业并取得博士学位后，德·福雷斯特开始试验无线电话。他是真空三极管（电子管）和高效率检波放大器的发明者，并且首先利用无线电话中的送话机。

科学和技术是全人类的共有，它们的成就理应造福于人类，并且归属于人们。但是在那“利润高于一切”的社会里，即使是杰出的发明家，也往往不能摆脱金钱的羁束。

20世纪初，马可尼与德·福雷斯特之间由于无线电的发明权归属问题，引起一场执。马可尼无线电公司向当时美国

的循环法庭控告德·福雷斯特无线电公司。这场争执和诉讼以马可尼公司的胜利而结束。循环法庭的坦生德法官在 1905 年 5 月 4 日宣读时说：“……马可尼是第一个利用赫兹电磁波而发明无线电信号的人……马可尼敢于升起他的篷帆，去探索未知的川流，最先发现了这条新道路。”

坦生德法官宣读的判词只是根据法律条文而作出的无线电报发明归属权的决定。无线电通信作为一门科学和技术，它是许多人共同努力的结晶，而马可尼只是他们之中的一个典型代表人物而已！

第六节 电学的一些应用

一、伦琴与记录图像

把活动的图像记录下来，这一过程就是摄像。电影放映机是把摄得的胶卷再观为活动图像的机器，而电视机是一种把摄像过程中获得的电信号转变为光学信号的装置。所以，摄像就是在发送端把活动的光学信号转变成电信号或别的信号的装置，放象则是接收端再把这种信号返回，转变为光学信号。

拍摄电影是一种摄像过程，电影摄影机将一幅幅活动的光学图像转化为记录在感光胶片上的化学信号，所以可以说，电影摄像是利用光化学的原理记录活动的光图像的过程。

有关对活动图像的再现，可以追溯到 19 世纪 30 年代。那时候，在欧洲人家庭的客厅里，人们常常玩一种叫“魔盘”的玩具，它由两个圆盘组成，一个是带有缝隙的固定圆盘，

另一个圆盘是转动的，两圆盘串在同一个轴上。

在转动圆盘上有许多小画片，当活动圆盘转动时，人们可以透过师科曼·赛勒勒把两个儿子的 6 幅连续拍摄的照片放在转动圆盘的边缘，当轮盘转动时，孩子的活动就像真的一样，十分生动，邻居们看了，都非常高兴。

以后，人们的注意力开始地去研究连续拍摄现实世界中活动形态的分镜头照片。19 世纪 70 年代，埃维·梅布里奇利用 24 架拉线快门照像机拍摄了活动中的动物的照片。1882 年，法国发明家艾蒂安·肯尼迪、狄克逊设计成一种链轮系统，可利用一条长 50 米的赛璐璐胶卷进行拍摄。

1891 年，一种窥孔式“动画镜”由爱迪生公司获得专利，它就是现在各种电影机的先祖。动画镜的胶片宽 35 厘米，至今仍是国际上通用的胶片标准宽度。爱迪生本人对这种动画镜片并不很感兴趣，而欧洲人却很热心地模仿了它。

许许多多的动画馆——电影院的前身，像雨后春笋般地在欧洲和北美洲出现，过路的行人只须花五分钱便可透过一个小孔观看 15 秒钟短小生动的节目。到 1896 年 4 月 23 日，活动电影首次在纽约音乐堂内公演，引起了很大的轰动。

发展到今天，电影已是十分普及了。但是，影片的产生过程复杂，很费时间，同时需要有一套专门的设备和技术，需要大量的感光胶片和显影、定影的化学药品，成本很高。假若要检查现场的拍摄效果，只有等胶片冲洗后才能知道，这不能说是一种很大的遗憾。

磁性录像就能轻易克服上述光化学摄像的缺点，它可以随时录、随时放，一盘磁带，可以录放多次，便于携带、便

于保存和运输等等。它是 20 世纪 50 年代诞生的一门新技术，它是记录活动光学图像的一种比较先进的方法。

磁性录像的原理比较简单，它首先是把活动图像的光信号通过光电转换装置转变为相应的电信号，光亮的强弱和电信号的大小相对应。然后根据电磁效应，由大小不同的电信号产生强弱和极性不同的磁场，这样的磁场被记录在磁带上就是磁录像。

再现活动图像的过程正和录像的过程相反，当磁带相对磁头运动时，磁带上的剩磁场就会在磁头上的感应线圈中感应出电信号，这一电信号就可以再现活动的光学图像。

现代科学技术能很好地将磁录像的原理变为现实。首先，人们用“化整为零”的办法，将千变万化的活动的光图像分解成一个个足够小的光点，然后由电信号去反映这些小光点的亮度和颜色。

为了得到活动的图像，必须以极快的速度去分解并组合这许许多多小光点的电信号。根据我国的电视体制，具地说，就是要在每秒钟形成 25 幅画面，每幅画面由 625 行组成，每行又包括了 800 多个像点。这样，一秒钟内的画面就被分解为 1200 多万个被称为像素的小光点。

为了反映这些小光点的亮度和颜色，图像信号必须以很快的速度变化。经过计算，图像信号最快的变化速度可达每秒 600 万次。

磁性录相非常灵活，有一种被称为“镶嵌”的技术，它能把两幅在不同年代，不同季节里录得的图像加在一起。这样可以避免许多图像背景及道具的制作，大大节省时间和开

支。

但是，总的看来，录像技术比录音技术复杂得多，这是因为图像信号的频率范围要比声音信号高出好几百倍，还因为图像信号的形式和内容要远比声音信号复杂。以电视图像信号而言，它不仅包括代表图像的电信号本身，还包括同步信号、消隐信号。它们的形状比声信号波形复杂多了，记录下来自然会更困难。

尽管如此，磁性录像技术还是十分迅速地发展起来了。1954年，第一台磁带录像机诞生了。

到了20世纪70年代。录像机已开始进入家庭生活。日本的索尼公司、三洋公司、美国无线电公司、泛声公司和胜利公司竞相推出新颖的录像装置。

早期的录像机以日本索尼公司的CV系列为最典型，它采用了一种称为“跳场”式记录技术，就是说，每隔一场记录一次电视信号，跳过中间的一场。这样，用较少的录像带就可以放映较长的时间。“跳场”式记录会使垂直清晰度受到一些损失，画面也有不连续的感觉，但CV系列的录像机还是获得了较大的市场。

以后不久，日本的松下、东芝电气等公司生产了使用全帧记录技术的1/2英寸磁带开盘式机器。当时因为录像设备的规格不大一致，各厂商生产出录像机的磁带互不通用，这使用户感到很难办。系列化、标准化成了当务之急。

1968年，日本电子工业协会（CIAJ）制订了1/2英寸磁带录像机的标准，这个标准规定了黑白和彩色录像机的各种参数，为录像机的广泛使用打下了基础。

早期，因为录像机的价格较贵，它只被用在工业生产中。但因为录音机只能录放声音和音乐，而录像机能录放全电视信号，就是说它能产生视频信号和音频信号，并分别送到显象管和扬声器中去，消费者对这一点非常感兴趣。录像机的生产公司也作了不少努力，试图把产品打入消费市场，包括家用市场。

1972年，日本索尼公司推出一种称为 U-matic 的盒式录像机，它使用 3/4 英寸的二氧化铬磁带。日本的许多厂家、厂商获得准许生产这种产品。由于它小巧灵活，受到用户的欢迎，它们除了作为工业使用外，体育、文教、军事训练和部分家庭也开始使用这种录像装置。近 50 年来，录像技术稳步地向前发展着。

现在去追究是谁，或者哪一个集体，在什么时候摄下了第一张照片是不必要的。众所周知，是伦琴发现了 X 射线。可是很少有人知道，他还是摄影成像的初期探索者之一呢！

伦琴研究 X 射线，当他在真空管上通以高压以后，他实验台上的小小的荧光晶体竟然发出了奇异的闪光。涂有铂氰酸钡的感光纸也闪烁着浅绿色的光。

这样，伦琴便开始了照相感光的试验，他让人的肉眼所看不见的 X 射线作用在感光板上成像。如在明亮的房间里摄像，感光板得用黑纸包上或把它装在暗盒里。

由于当时伦琴的感光薄膜灵敏度不高，对 X 射线的反应迟钝，曝光时间竟一再延长，一直到 10 分钟左右。但感光薄膜成像诱发了伦琴的巨大兴趣。

“对我来说，照相曾是达到目的的手段，而现在人们把

它搞成了主要的东西”。科学家搞照相是为了探知“未知数 X”的奥妙，他抱怨利用科学成果单纯地消遣和取乐。

伦琴自己摄制的，技术上完美的照片有：罗盘仪、装小砝码的木盒以及伦琴夫人的左手。伦琴找到了新的感光照相方法，感到由衷的欣慰。1895年7月，伦琴把自己的专著寄给朋友、同行和科学研究所，并附寄了一些照片，作为专著的附件。

伦琴的出版物及其专著的传播，引起了社会各界非常强烈的反映，他们急切期待着能欣赏到这些照片，以至于在宣读伦琴的报告时只能将照片镶在镜柜里展出，生怕它们会不翼而飞。那时，这位普通大学（弗兰克大学）的普通教授，只有点小名气的伦琴一夜之间成了最闻名的物理学家之一。

朋友们索要伦琴的照片，报纸上以“耸人听闻的发现”这样的大字标题报道发现了新的射线，小册子“一种新的射线”几星期之内就印了五版，广泛地被译成了英、法、意大利和俄文等几种外文。

激动之余，人们却发现，有关发现新射线的即景报道虽多，出入却很大，甚至连伦琴本人也只是含糊其词地向别人述说地发现射线当时的情况。这是因为伦琴几乎同赫兹一样，是个个体研究者，习惯于一个人进行实验，几乎很少有助手参加。

第一次发现射线是1895年11月8日夜晩，现场只有一人，没有另外的目击者，而伦琴本人，作为一个严谨的研究者，总是希望以“完善无瑕的结果”说话，而不是在这之前就夸夸其谈。这样，有关发现新射线时的许多相互矛盾的报

道也就不足为奇了。

连篇累牍的吹捧和赞扬，无休止的滑稽和讽刺，形形色色的好奇的喧嚣，使这位严肃而又谦逊的科学家坐立不安。伦琴陷入了烦恼。

“我丝毫没有对任何人谈论过我的工作”，有一次他这样写道，“我只是对我的妻子私下说过我正在做一件事情，如果人们知道此事，他们会说伦琴大概发疯了”。“几天之后真叫我由衷生厌。（对于报刊的说法——编者）在形形色色的报道中，我们工作被弄得面目全非，连我自己都难以辨认……我整整四个星期不能恢复自己的实验，别人可以工作，唯独我不能工作。你不能想象，这是怎样发生的。”

1896年1月，伦琴被召到柏林皇宫，德皇和达官显贵们听了他的报告，观察了他的实验。

有一次，伦琴在维尔茨堡研究所向物理和医学界作报告，当然，与会者感到无尚的荣幸。报告结束的时候，受人尊敬的长者、年已60高龄的解剖学家阿尔伯特·冯·克里克尔在热烈的、暴风雨般的掌声中提议用“伦琴射线”的名称代替X射线，伦琴自己没有反对。

然而，纯真的谦虚也没有使他附和这项提议，他坚持早先选定的富有探索意味的名称“X射线”。后来，“伦琴射线”一词主要是在德语国家通用，而在英语国家，人们仍沿用“X射线”，因为它音节较短（X-rays），发音也比较容易。

这位德国科学家的名字迅速传遍了全世界。1901年，威廉·康拉德·伦琴在世界科学家中第一个获得诺贝尔物理学奖金，这是一种科学上最高的荣誉。

为了接受奖励，伦琴于 1901 年 12 月 6 日来到了斯德哥尔摩。出发之前，他向所在单位皇家巴伐利亚国家宗教和学校事务部呈文请假。摘录假条的中文译文，（是按照当时的风格译出的），读起来是饶有兴味的。伦琴在假条上写道：

“谨遵瑞典皇家科学院的信任的通知，最恭顺和最忠实的呈文人接受了 1901 年第一项诺贝尔奖金。瑞典皇家科学院认为，获奖人于获奖之日（本年 12 月 10 日）在期德哥尔摩亲自接受奖励具有特殊的意义。由于这奖励赋有崇高的价值和极其庄重，故最恭顺的和最忠实的呈文人认为，虽然并非怀着轻松的心情，但也应当遵循瑞典皇家科学院的愿望行事，所以呈文人请求在下星期内给予假期。”

按照规定，伦琴应在获奖后 6 个月作报告。但他太谦虚了，竭力避免在公共场合发表关于自己和自己成就的演说。于是，他成了诺贝尔获奖者中唯一不作报告的例外，但伦琴本人却感到了由衷的高兴。

伦琴专心致志于科学事业，他确是一位严谨的学者。但伦琴也是一位很有毅力的体育爱好者，他喜欢划船、登山、骑马、滑雪橇。因此，他对瑞士的山山水水有很深的感情，一生中曾经 40 多次在那里畅游。

他和他的妻子是阿尔卑斯山谷恩加丁的常客。1904 年以后，他们的大部分时间是住在魏尔海姆的乡村住宅里，伦琴则每天乘火车去研究所上班。

在战争时代艰难困苦的日子里，这位正直的知识分子严格地食用凭粮卡应得的那份口粮，当人们告知他可以多领一点的时候，他真正生气了。他不希望以任何理由比别人特殊，

尽管他做得要比别人多些。他特别不愿意侵犯别人利益而使自己的生活得更好些。他是那样的不放心，甚至亲自去厨房称量一下自己的那一份食品是否超过了量，正如他在实验室里严格把握各种剂量一样。

在战争结束以后，这位科学家陷入了完全的孤独之口。1919年，他细心照料多年的爱妻去世了；1923年2月10日，这位伟大的物理学家也被癌症夺去了生命。他为后人留下了极其宝贵的科学遗产和一份德国实验物理学家的良心。

二、声音录制

在声音的发射接收技术发展的历史进程中，值得提到的一段插曲就是声音的录制。

早在19世纪末，美国人史密斯就提出了磁性录音的方案。他根据爱迪生留声机和贝尔电话机的原理，推测电话机线圈中的音频电流可以使钢丝磁化，从而可以以剩磁的形式将声音信号记录在钢丝上。这是人类第一个用电磁特性记录声音的方案。

1908年，丹麦工程师波尔森在反复实践以后实现了史密斯的设想。他用钢丝作为记录载体，制成了第一台磁性录音机。但波尔森的录音机质量不高，载体钢丝的重量也太大，因而钢丝录音机的发展受到了限制。

波尔森还发明了直流偏磁录音技术，使磁性录音进入了实用阶段。

后来，人们改进了记录声音的载体，用不锈钢丝和合金带代替了钢丝，以后又发展到使用表面有铁磁性涂层的磁盘和磁鼓。

有一个建议是十分新颖的，那就是克列奇曼和弗利默尔大胆提出的把铁磁性材料涂到柔性基体上的新方案(一开始是用纸作带基)。1905年，赛特里被研制成功，这对磁性录音的发展带来了福音，由它制造出一种叫拜耳赛特里的薄膜产品，可大大缩小了磁带的体积。

1932年首次制造出这种柔性商品磁带的，是法国巴登苯胺纯碱公司。1935年，德国 AEG 公司制成的最早的商品磁录音机，它就使用了 BASF 公司的柔性磁带，其带速为 76 厘米/秒，性能很理想。

第二次世界大战前后，录音技术在德国获得了迅速的发展。其中最著名的德律风根公司制造的录音机，首先用于军事、治安、广播等部门，以后才发展到精密记录仪器、磁带录像和电子计算机等其他方面。

第二次世界大战后，德国的录音机技术连人带器材一起被美国人俘获了过去，这就促进了美国录音技术的发展。

1950年，业余爱好者已能在市场上买到直径为 10 厘米的磁带和放唱设备。20 世纪 50 年代和 60 年代，美国生产了各式各样的磁带录音机，包括循环带形式的卡式录音机和立体声录音机，录放声音的失真度很小。而日本大量生产电池式录音机并出口美国去冲击美国市场。

1962年，荷兰飞利浦公司发明了盒式录音机，这种机器构造简单，价格便宜，互换性能好。1965年，荷兰向全世界无偿公开了这项专利，日本是这项专利的最大受益者，它以极快的速度生产了盒式录音机，迅速地渗透到了世界各个市场。

目前，世界上磁带和录音技术先进的生产企业有美国的明尼索达矿业和机器制造公司，英国的EMI、东德的伏尔芬公司、法国的BASF纯碱公司、德国——比利时的苯胺染料公司、日本的索尼公司和富士胶片公司等。

我国的录放声音的技术开始于1951年。当时，上海钟声电工社最早生产了钢丝录音机，1953年，生产了我国第一台磁带录音机。

以后，上海录音器材厂和北京广播录音器材厂研制生产了盘工录音机。1974年，我国开始将脉冲编码调制(PCM)新技术引入磁性录音领域，1978年，生产出了我国第一台PCM录音机。

现在，一些国家正在研制所谓“固体录音”技术，这是大规模和超大规模集成电路出现以后录音技术发展的新动向。实现以后，传统的磁带传动机构将被废除，声音的录放工作开始向微型化、“静止化”和多功能化方向迈进。

如果说，20世纪30年代收音机的兴起曾使电影事业一度显得十分萧条外，那么到了40年代，即有图像又有声音的电视机又开始向收音机挑战了。50年代，人们纷纷撇开收音机去看电视了，收音机面临着萧条的危险。

但是，无线电广播很快采取了对抗措施。作为措施之一，首先改进了它的节目，无线电广播的及时的及时性为电视所不及，昼夜不停的音乐和广告也是电视广播所不能办到的。

收音机本身也在不断地改进着，微型化、低功耗、多功能化，使它们能在电视机的强大冲击下又挣扎了起来。收音机市场历半个世纪以上而经久不衰，其原因也就在这里。

现在，收音机可以小到放在口袋里携带，戴在头上像草帽似的接收太阳能为动力，也可以做在晴雨伞的把柄里，可以与闹钟、电视机、钢笔和其他日常用品结合起来。

收音机市场变得丰富多彩起来，调频机、调幅机、立体声等各种收音机琳琅满目。电路集成化，显示数字化，声音立体化，功能多样化是当今世界收音机技术发展的总趋势。

更有趣的乐器是电子琴，它的声音是用振荡电路形成的，可以加上较高的谐音以便随意调节音色。在电子琴中，可以把来自几个荡振电路的信号送入同一扬声器，这样就可由一个键产生一个完全的和弦音。电子乐器的一个优点是音乐家可以带着耳机练习而不打扰其他家庭成员。

但是，电子琴的声音，缺乏象弦乐、钢管和木管乐器的机械振动所产生的那种生动而且多少有些不规则的音色。

在声音的录放方面，发展到现在，已有多次技术改革，可以毫不夸张地说，只是在激光数码唱片系统问世以后，才使得声音重播的音质和音响技术向前迈出了重大的一步。

数码唱片系统是一种新式音响媒介体，它和其他高保真音响设备连接使用，成为另一种高保真音响设备的音源，整个系统包括激光唱片机以及与其配合播放的数码唱片。唱片采用压铸方法制成，录下的是节目的数码信息。播放时采用激光原理，拾音设备与唱片并无表面接触，故唱片不会因使用次数过多而磨损太大，也并不因指纹，划痕而影响其美妙的音质。其音色甜润，音质优美；美妙的和弦几乎与原音一样，听起来能享受到置身现场的音响效果。

最近出现的激光唱片机有 CD100 型和 CD200 型两种，

可以快速向前及向后选曲，也可以预选歌曲，并能以任何顺序按指定程序播唱。菲利普激光唱片机采用数码式滤波器，这是专为激光数码唱片系统而设计的新器件，它比传统的模拟滤波器更准确，并能把电相位失调和温度变化所引起的失真一概清除。因此，音质特别清晰准确，人们几乎完全听不到使人烦噪的背景杂音。工作之余，听到那些优美动听的节目，人们顿觉赏心悦耳，疲劳倍减，心情也随即欢快起来了。

三、图像录制

把声音记录下来，然后用留声机或别的放音设备把声音还原出来，这一关，人们早就闯过去了。但使图像录制和再现，人们却经历了漫长的历程，克服了许多困难才得以实现的。

1884年，有一个名叫巴维尔·尼普科夫的俄裔德国发明家，用机械扫描图像并使之再现了，质量当然是十分粗糙的，他制造的扫描盘是一个多孔的快速旋转的轮子。

先把景物放在轮子的后面并用灯光把景物照亮，当轮子飞快地转动的时候，轮上的小孔就把景物分解成了许许多多的亮点和暗点。然后把这些亮点和暗点对应转换成大小不同的电信号，输进具有同步扫描盘的接收机中去，这些电信号经过还原处理后就现出了原景物图像。

尽管尼普科夫的装置不太精密，扫描的速度也不够，重现的图像并不清晰，但他还得获得了这一项目的专制权，人们称之为机械式扫描装置。

到了1923年，居住在美国的俄国移民弗拉基米尔·佐尔金研制成了电子扫描装置。他的光电摄像管内有一块镀着感

光金属的小板，当摄像机对着景物时，感光金属便按景物反光强弱的比例带上了电荷。

电子枪连续不断地对感光板进行扫描，从而摄取感光板上的电荷，于是，电子枪也获得了强弱不同的电信号。把扫描获取的信息作为电码发射给接收机，接收机里装的解码电路，并由另一支电子枪把图像再现在荧光屏上。图像的录制、发射和接收工作就这样完成了。

大家都认为，佐尔金研制的非常出色的装置比机械扫描装置要进了一大步，它奠定了现代电视摄像和接收的基础。

差不多就在佐尔金完成电子扫描装置同时，美国一位年仅 21 岁的神童菲洛·法恩斯沃期斯和另一个发明家杜蒙也取得了与佐尔金相似的成果。这一不谋而合的事实说明，历史已经孕育着电子成像的再现技术，一旦时机成熟，它就要呱呱坠地了。

还得提一下的是一种名叫“布老恩管”的阴极射线管，它早在 1897 年就出现了，比福雷斯特的三极管还要早 10 年。

安装在布老恩管外面的线圈可使光束在互相垂直的两个方面上偏转，其偏转角度可由该线圈内电流的大小去控制。若在线圈内供以随时间变化的电流，使电子束在荧光屏上描绘出来回的扫描线，电子束的强度按图形每个点的亮度变化，那么，阴极射线管的屏幕上便再现出由线条组成的黑白影象。兹沃利金于 1928 年制造出来的光电摄像管大体上就是这样工作的。

电子成像技术发展到这里，差不多可以说比较成熟了，关键问题在于显象管的制备。显象部分可以做得非常扁平，

但装设电子枪和偏转线圈的部分，要做得很短是有困难的，做好的显象管是尽可能地扁平，以便缩小它所占的空间。

早期显象管的玻璃外壳是吹制的，其屏面必须要承受很大压力。因为显象管内是真空的，外侧受大气压力，在面积为 2000 平方厘米的玻璃上承受的压力高达 2000 公斤。这是一个不小的数字，人们在享受娱乐活动的同时，还潜伏着被炸的危险。

万一显象管存在缺陷，巨大的压力会使玻璃碎片溅向四面八方；看不见的电子束会以迅雷不及掩耳之势射向室内的每个成员，那实在是很不应该的，但早期的显象管确实存在这个问题。

1960 年，荷兰菲利普公司发明了一种制造“防爆”管子的方法，这种防爆管称为“P 型管”，它的面板具有向内的幅向压缩应力，安装电子枪的玻璃管与锥形面玻璃接合处包上了一层塑料和灌注了一层厚厚的聚酯树脂，这样的管子即使爆炸也安全的多了。

荧光屏是发生图像的地方，细密的荧光粉薄薄地涂抹在玻璃面板上，被电子束打击扣发光。纯净的荧光粉发出美丽柔和的光，被污染的荧光粉成像后则观感很差。由于这些原因，在那个年代，世界上的电视显象管的成品率只有 50% 左右，实在是比较可怜。

由于在电子成像技术方面不断有新的成果出现，使美国能在 20 世纪 20 年代末就能用全电子电视装置进行电视节目的试播。

1939 年纽约博览会上公开播出的电视节目，吹响了电子

显象管胜利的序曲。那一年4月30日，一个名字叫“明天的世界”的博览会在美国纽约市费拉辛草坪上开幕。架设在游行队伍中以及草坪上的电视摄像机记录了开幕式的实况。中午十二时三十分，电视机的荧光屏开始闪闪发光，它向美国人宣告，电视已开始进入美国的现实生活。

那一天，成千上万的美国观众，像着了迷似的，纷纷来到博览会草坪，观看电视转播。夜间，更多的人观看了长达几个小时的各类节目。人们在大饱眼福以后又奔走相告，一连数日，又有更多的人来到曼哈顿百货商店，排队观看这新鲜玩意儿。

美国第一架正式接收节目的全电子黑白电视机，屏幕的大小只有 22.5×30 厘米，但它却吸引了千千万万兴高彩烈的人们，空前的盛况，已使它载入了电子发展的史册。

在大西洋彼岸的英国，首次播出电视的时间要比美国人早17个月，它们是在1936年11月2日由英国广播公司播发的，自此以后，英国观众每天可以收看两个小时的电视节目。

美国首播电视以后的10年，它已拥有电视机1000万台。到了1958年，美国已拥有523家电视台，4700万台家用电视机，可以说是非常普及了。在电视技术发展方面作出贡献的有尼普考、法恩斯沃斯、兹沃利金和杜芒特，电子史中应明白无误地写进他们的名字。

有一位名叫贝尔德的英国人，对电视的发明和发展也作了积极的探索和许多有意义的工作。这位出身于苏格兰的格拉斯哥的发明家，从小就喜爱学习，想象力丰富，富于独立思考和创新精神。

1906年，当时贝尔德才18岁，他就大胆设想：既然马可尼能实现无线电波的远距离发射和接收，对图像的处理也一定能如法炮制。他开始如饥似渴地学习基础理论，尽管经济并不宽裕，还是设法建立了试验室。

他健康不佳，但毅力过人。有一次，他将几百节电池串联起来，以便能得到2000伏的高压，不慎被电击倒在地，不省人事，一只手被烧伤了，但他苏醒后立即又投入试验。

有耕耘，就有收获。贝尔德第一次传送的图像是一枚马耳他十字勋章，发送距离仅为3米，图像画面也并不清晰，但贝尔德的兴奋心情无异于真正获得了一枚货真价实的勋章。

他继续努力，到1928年2月，他在无线电爱好者的协助下，已经能把伦敦播送室的人像传送到远在纽约的接收机上了。

第二年9月，英国议会决定使用贝尔德发明制造的设备进行电视广播试验，以后不久，著名的BBC广播公司即用贝尔德系统播送节目。贝尔德本人并不以此止步，他又研究了彩色电视机的问题。到1941年12月，贝尔首次传送彩色图像获得成功。

长期艰苦紧张的研制工作，使贝尔德健康状况恶化，到1946年6月去世时，他才58岁。然而，他对发明和发展电视机所做的杰出的贡献，却永远留在了人间。

从传统的观念看，电视是传播艺术和其他信息的工具，人们乐于利用它为自己服务。但作监视用的电视并不属于这个范围，它多少已具有管理和控制方面的特性。

交通警察可以通过设置在许多地方的摄像机在电视屏幕前即可获取有关全城交通情况的信息；火车站的调度员可以通过电视看到列车编组，装货卸货等情况；锅炉房的工人可以监视炉膛内炽热的火焰；在核能装置中，以及许多对人有害的场所，均可利用电视做监控工具；电视与电话结合起来，可使人们在通话的同时能看到对方的形象，多年未见的亲友，在电视屏幕前会面，别有一番情趣。

闭路电视是一个独立的电视系统，把它用于教育是很适合的。外科专家手术时总不能有大量的实习医生在旁边观看，而使用闭路电视系统，就可以使众多的观众坐在手术室外的电视机旁观看手术过程。电视投影系统可以在很大的屏幕上显现电视图像，以供更多的观众观看，有小电影之称。

有一种超小型电视机，其显示器已不再是尾巴很长的阴极射线管，而代之以微型液晶平面显示板，这样的显示板不仅又轻又薄，而且成本降低很多。

电视技术除了应用于家庭以外，也将会在工业、交通、医疗、教育、科研和国防等部门得到更深更广的应用。

典型应用的电视系统由摄像机、遥控台、变焦镜头、中心控制台、监视器等组成。

在碧波万顷的海面上，操作人员可以经水下电视装置清晰的观察包括钻机、打捞机等所在内所有水下作业机械的动作情况，这对水下侦察、水中建筑、渔业捕捞、打捞沉船、修建码头桥梁等都是非常有用的。

特种电视可以用于核电站，代替工作人员监视燃料装卸情况。会议电视能给会议工作和参加人员带来方便，节省时

间和旅途开支等，它不同于电视电话，因为电视电话仅显示一个人的图像，会议电视使用多条路线分别传送许多人的活动情况，这样使会议的气氛更加逼真和生动。

四、雷达

赫兹所研究并获取积极成果的谐振现象，今天已广泛地使用于无线电波的发射和接收设备中，雷达也是如此，它是许多科学工作者在不同的时间、不同的国度里，勇于探索和实践的成果。他们不懈努力，促使雷达在 20 世纪 20 年代出现并迅速广泛地应用开了。

有一位早期在雷达探索领域里十分活跃的学者，他就是剑桥的物理学家爱德华·阿普尔顿 1924 年发现了电离层。当时，他使用了一个接收机接收一个已知距离之外发来的无线电波。

从接收到的电波来分析，一些电波是直线到达接收机的，而另一些则不然，它们绕道而行，经历了较长的路程才到达接收机的。他还改变波长，反复作了发射和接收的试验。在大量的数据资料中，他整理并归纳出了一条方程式，从这条方程中，很容易计算出反射点即电离层的高度。

后来，美国人发明了脉冲发射系统，阿普尔顿马上采用了这个系统，并且以电波从电离层反射回来的时间去验证电离层的影响。他的这些踏踏实实的工作，为雷达的出现奠定了坚实的基础。

真正具有现代雏型的雷达是在 20 世纪 30 年代出现的，它首先被应用于军事目的，以对付航速大有提高的敌方飞机。因为无线电波的传播速度每秒达到 30 万公里，且不受黑

暗和恶劣气候条件的影响，因此用电波的反射原理制成雷达，并把它作为一种侦察工具就显得十分重要了。

到了第二次世界大战期间，雷达已使用得十分普遍，交战双方几乎都使用了雷达。自此雷达技术有了长足的进步。

一直发展到今天，雷达技术和使用领域都已大大改观。人们使用它测定人造卫星、宇宙飞船等飞行物的速度和轨道；测定水面舰船、陆上目标以及大气中云雾团等，因此，雷达技术和航海、气象、大地测量、航空和宇宙通信都密切联系起来了。

飞机上装上了雷达，就可测出飞机自身的高度和航道附近的气象状态；航海雷达则可以帮助驾驶员确定船只的方位和找出正确的航行路线；洪口指挥雷达则可以为进出洪口的船只服务，以保证这些船只的航行安全。

当今，雷达天文学和射电天文学相结合，为星际飞行探测宇宙服务，这一方面也取得了可喜成果。例如，过去测量地球至太阳的距离为 149500 千公里，误差约为几十万公里。后来利用雷达测得此值为 149457 千公里，一下子测量精度提高了近百倍。

1964 年，人们第一次用雷达测量月亮。从地球到月球往返的路程约为 76 万 8 千公里，无线电波用了 2 秒多一点的时间走完了这段距离。

土星的光环令人神往，可是对此光环的组成，长期以来还一直是个谜。1972 年~1973 年，曾用雷达测量了土星的光环，结果发现这一光环是由许多坚硬的岩石块组成的，很象土星自身的小“银河”。

利用雷达，还可以精确测定洲际导弹和宇宙探测器在空中的位置，根据目前的技术水平，用雷达可以测量距地球 8 亿公里之遥的飞行物的位置。

现代雷达的种类已越来越多，它们的性能越来越完善，探测能力也越来越强了。新型雷达中有超远程雷达、超视距雷达，单脉冲雷达、脉冲压缩雷达，侧视雷达、相控阵雷达和激光雷达等等。

相控阵雷达被称为第二代雷达，它是先进雷达群中的一枝新秀。相控阵雷达用多束无线电波扫描，这些无线电波束具有不同的相位，把不同相位的波束叠加起来，就形成为数更为众多的波束，它们在空间的指向也就更加灵活多变。控制波束的相位叫“相控”，众多的单元波束可以排列成“阵”、“相控阵”雷达便由此而得名。

控制波束相位的设备叫移相器，它和天线上的辐射单元相连接。实际上，天线上的一个个辐射单元已独自成了一个个小天线。

相控阵雷达的天线虽然很庞大，但它不像普通雷达的天线那样需要来回转动，而用扫描波束来代替。这样，就大大提高了雷达搜寻目标的速度。

普通雷达的天线有的重量达几百吨，转动一圈需几秒钟，既费时又费能源，现在采用波束“转动”，“转”一周只需要几微秒，使扫描速度提高了百万倍之多。一场激烈的战斗，争分夺秒是十分重要的，而相控阵雷达的搜寻速度是大多数雷达所望尘莫及的。

相控阵雷达的灵敏度很高，这主要是因为它天线上有为

数众多的辐射单元，这些单元也是排列成阵的。例如 AN/MPQ-3 型相控阵雷达的天线上，就有 5667 个辐射单元排列成整齐的阵，和它们相连的有相应的移位器，然而这种相控阵雷达还是属于小型的呢！

可以把极小的相控阵雷达装备到飞机和船舰上。因为相控阵雷达的发射功率大，故它的作用距离很远。例如“丹麦眼镜蛇单面阵”雷达对一平方米目标的探测距离为 3700 公里，(大型相控阵雷达的作用距离可达 5 万公里)。

即使这样，为了准确而又有效地监视目标，常常需要几部相控阵雷达完成对一二个目标的制导攻击任务。例如，美军“霍克”导弹就配有低空指示雷达，目标指示雷达，照射雷达，测距雷达等，由指挥中心统一指挥，最终目标是发射“霍克”导弹摧毁目标。

为保证相控阵雷达准确地工作，一般都把它们与电子计算机相联接。计算机的运算速度极快，他能保证在不同的方位上扫描波束有合适的相位。另外，对被接收回来的反射波束参数，也需要进行大量运算。这些工作都由电子计算机完成。

计算机工作的最后结果是计算出被测目标的座标方位，这一结果被送到相应的控制设备中去。这时，反导弹系统一旦接到动作的指令。就能马上发射导弹，摧毁目标。

所以，一般来说，使用相控阵雷达时要同时布置一个控制和指挥中心，用电子计算机去协调各个单元的工作，相控阵雷达的威力也就更大了。

雷达无论在战时和平时都一样有用。前面已经提到，实

用雷达是第二次世界大战的产物，人们把曾经在 1942 年那些阴云密布的日子里挽救了英国这件事归功于它。是它将敌机来犯的准确情况及时告诉皇家空军驾驶员，从而挫败了纳粹分子想用大规模轰炸迫使英国屈膝的企图；它也在战胜德国潜水艇这一仗中立了功，因为盟国的驱逐舰可以探到德国潜水艇的突然出现。

现代的另一类雷达叫激光雷达。激光是物质原子中的电子在能量变化过程中的一种产物，激光技术是一门综合性的科学技术，它和电子学的关系十分密切。

早在 20 世纪 50 年代，就有人通过光照、通电或化学反应等手段发现可以使物质中的电子发生能级上的变化。

1960 年，第一个红宝石激光器诞生了，它的机理是用强烈的氙灯光照射红宝石时，红宝石中处于高能级的电子受到激发，释放出光子后转到低能级的轨道上，形成了一束能量极高而又极纤细的光，这些光只沿一个方向射出，它就是激光。

由于激光的亮度高，单色性好，波速宽度窄，方向性强，波束不易发散和能量高度集中等优点，所以把它应用到雷达技术中来是非常适宜的。

激光雷达是向目标物发射激光信号的，它通过测量反射信号到达的时间和频率等等特征来判断目标物的座标方位。普通的激光测距离雷达能测到十几公里以外的目标物，误差通常为万分之几。

60 年代初，科研人员曾经向月球射了激光信号，由激光雷达接收由月球反射回来的回波信号(这个雷达所用的激光

器的脉冲功率达 500 兆瓦，而平均功率却不到 10 瓦)。漫长的 38 万多公里的路程，激光光波只走了一秒多钟，测得的月球与地球之间的距离极其准确，其误差只有 45 米。这样高的测量精度，是其他形式的雷达所无法比拟的。

1973 年，经过改进了的激光雷达再一次测量了月球与地球之间的距离，所得数据为 378197.85 公里，测量误差缩小到 2.5 厘米范围之内。

同样也可以把激光雷达按装在飞机、卫星和宇宙飞船上。通过它可以测量大气中湍流的情况以保证飞机航行的安全，也可以测量飞行物自身高度和其他星球，例如月球表面起伏的地形等。

有时，为了试验需要宇宙飞船在空中会合和对接。装上激光雷达的两艘飞船在飞行过程中随时测量与对方的距离，并通过自己的计算系统控制航速，纠正航行方向。这样，用不了多长时间，两艘飞船就可以靠近对接。

完成这样复杂的任务的激光雷达，并不需要很大的发射功率。据计算，测量 16000 公里之远的宇宙飞船，只要装上平均输出功率为 66 瓦的激光器就够用了，测量误差可保证在 $1/100000$ 以下。

和平利用激光雷达，就像和平利用原子能一样，是大有发展前途的。目前，属于第二代雷达的激光雷达，还处于发展阶段。它的缺点是输出功率小，工作效率低，接收器件灵敏度还不高，在气候剧变的状态下工作不不稳定等问题都有待进一步解决。把激光雷达和微波雷达结合起来使用，看来是最合适的。

第三章 小荷才露尖尖角

第一节 电子的发现

法拉第发现了电磁感应定律，打开了电力的大门，于是在人们面前呈现了大放光明的电世界。麦克斯韦创立了电磁场理论，并预见电磁波的存在，随之赫兹又证实了电磁波的存在，从而播下了无线电电子学的火种。

但是要将这个火种燃烧成无线电电子学燎原大火，还有一些重要问题需要搞清楚。“电”究竟打哪儿来的？“电”和“磁”的“源”出自何处？电的本质又是什么？

自从麦克斯韦的电磁场理论发表后，进一步激起了人们对电磁本质和它们起源的探索热情。现在电学和无线电电子学的主人公——电子就将被人发现而与大家见面了。

一、电子发现前，人们对电的认识

300 多年前，有人认为电是一种看不见的奇妙液体。17 世纪最负盛名的科学家牛顿也认为在带电内有一种液体在流动。发展到了 18 世纪，又有人认为电是一种神秘的“素”，称为“电素”，正如那时流行的各种“素”理论那样，人们把一切都归结为“素”——物体的热是因为物体内部积聚了“热

素”；物体的弹性是由于它含有“弹性素”；物体的可燃性是因为它包含着“燃素”，磁铁或磁石的磁性则是由于所谓的“磁素”引起的。

但是这些“素”究竟又是什么东西呢？谁也不知道。因为这些“热素”、“弹性素”、“磁素”等等，从来没有人看见过，也从未被实验发现或证实过。因此这些神秘的“素”，与其说是解释现象的理论，还不如说是回避问题的挡箭牌，和对事物本质懵然无知的代名词。

富兰克林他认为一切电都是由无数微小的东西组成的；富兰克林管这些微小的东西叫做荷电的粒子——电荷。这可以说是现代电子论的第一级梯子。

到了19世纪初，就有人明确地指出了电子的概念。他们认为在物体之中存在着一颗颗微小的带电粒子——电子，电流就是电子在物体中流动的结果。这一正确的见解更接近了现代电子论。

但是由于当时电的液体概念已根深蒂固地盘踞在一些人的脑海中，同时提倡电的液体学说的是牛顿等万方景仰的学者，由于他们对当时科学界的巨大影响，因此这一正确的电子概念和学说竟遭受到许多人的反对，从而推迟了电子论的诞生。

要想冲破旧理论的羁绊拘束，使电学从液体学说中彻底解放出来，不拿出确实的证据是不行的。于是人们想方设法去证实电子的存在。

既然一切物体皆包含着电子，而人们早已知道物质都是由原子组成的，难道原子内部存在着电吗？于是科学家们把

探索电子与探索物质结构两者紧紧地联系在一起了。

二、原子不可能再分了吗

在人类漫长历史的长河中，各个时期的学者都在为探索物质构造的秘密而付出辛勤的劳动；在迢迢的科学征途上，无不留下了他们逝去的足迹。

2400 多年前，我国的大哲学家墨翟（墨子）曾提出了这样的见解：任何物质如果不断分割下去，到最后会出现“端”，这个“端”就是组成物质的最小单位。所谓“端”，就是不能再被分割的，到了极限点的意思。实际上墨翟已经提出了他的“原子”概念。

大约在 2300 多年前，古希腊学者德谟克利特向大家提出了一个看不见的，比较模糊的“原子”概念。他也认为物质同不可能无限制地被分割下去，原子是物质不能再分的最小物质微粒，而且组成物质的这些微粒之间间隔着空间。他还认为原子是永远不变的，世界万物之所以各不相同，那是由于构成物质的原子形式和其结合方式不相同的缘故。在希腊文中，“原子”就是不能再分的意思。

古罗马的鲁克莱苏在他的诗句中曾清楚地表达了德谟克利特的原子学说：

物体或者说物质要素，
都是由原始粒子集合而成；
虽有雷霆万钧之力，
要破坏物质要素也不可能。

用我们现代的原子论来衡量，德谟克利特的原子学说既不完善，也有点幼稚，也许一个中学生就能指出他的“原子

永远不变”和不能再分的错误。但是我们要记住，德谟克利特是在距今 2000 多年前提出他的原子论的，比起当时形形色色占统治地位的对物质构造的唯心错误学说来说，他的见解已是难能可贵的了。

无论是墨翟的原子概念，还是德谟克利特的原子学说，他们都指出了一切物质都是由最小粒子（原子）构成和子是客观存在着的物质。这可以说是二千多年后现代原子论的胚胎。

时间过去 2000 多年，一直到 19 世纪初，人们对物质构成的理论并没有完全突破德谟克利特等人的“古代原子论”。在那个时候，人们的见解离开原子深处还遥远得很。他们仍在想象，原子是分不开的、打不碎的、钻不进去的坚固密集的小圆球。就连在化学上作出卓越贡献，发现著名的倍比定律的英国科学家道尔顿也说：“创造或毁灭原子，跟创造或毁灭已经存在的行星，是同样的不可能的事。”

原子真的不能再分了吗？如果是这样的话，那么我们的世界和宇宙会变成啥样子？地球上将不会有原子化合成分子的事；恒星发光所需要的能量将从哪儿取得呢？那么茫茫宇宙将不再有发光体存在，一切是黯淡无光，世界上也不会再有电存在了。我们人类也将不复存在了。

许多现象显示，原子一定能够被再分割。来自原子内部的信息已在召唤人们去探索这个未知的、微小的原子世界。漫漫长夜，晨曦就要映出了。

三、预告了电子的存在

1833 年，法拉第发现了著名的电解定律。法拉第自己始

终没有想到，这个定律竟会促进电子的发现。

电解现象早已人们发现了，早在 19 世纪一开始，人们就用当时刚刚问世的伏特电池电解水，从而将水分解成氢气和氧气。

法拉第所发现的电解定律，可用一句话来表达——电解时，在电分离出来的物质质量是与通过的电量多少成正比的。电解水时，如通过的电流加大一倍，则从水中分解出来的气体量也增加一倍。

从电解定律可以推导出电量的最小单位。

我们已经知道，原子是物质存在的最小单位。因此可以想见，从电解反应所得到的物质质量至少是一个原子，因为不可能存在半个原子， $\frac{1}{4}$ 个原子……

法拉第的电解定律还告诉我们：对于不同的化学元素，由电解分离出一个原子所需的电量是不同的，是与该元素的化合价成正比的。例如水被电解时，分解成氧和氢气，由于氢元素的化合价是一价，而氧是二价，因此分离出一个氧原子所需的电量将比分离出一个氢原子所需电量多一倍。但是所有元素的化合价都是呈 1, 2, 3, …… 整数形式，其中最低的化合价是一价（如氢原子），由此我们可得出下述两个结论：

第一个是，电解分离一价元素的一个原子，所需要的电量是最小的电量，也就是说电量存在着一个最小单位。如果我们以 q 为符合代表电量的最小单位，那么这个 q 就是电解分离一价化学元素一个原子所需要的电量。

第二个是，从电解得到的其他任何化学价的元素，每一个原子所需要的电量都是 q 的整数倍 $1q$ 、 $2q$ 、 $3q$ ……其中数字 1、2、3……就是该元素的化学价。

上述这两个结论清楚地向人们表明：电的量并不是连续可变的，而是以 q 、 $2q$ 、 $3q$ ……形式存在着。这就进而启示人们：电只能以一个一个粒子形式存在着，不可能存在半个电的粒子，正像原子只能一个一个存在着，而不可能存在着半个原子一样。一个电的粒子所带的电量为 q ，两个电的粒子所带的电量为 $2q$ ，三个电的粒子所带电量为 $3q$ …… n 个电的粒子所带电量为 nq (n 代表任意整数)。这不就预示电子的存在吗？

应该提出，作为电解定律的发现者法拉第当时并未意识到由电解定律可以推论出电子的存在。正是麦克斯韦觉察到电子定律这一额外重大价值的。当初麦克斯韦指出：从电解定律可以推导出电的分子概念（意思是电象气体分子那样一个个地存在着）。到了 19 世纪 80 年代德国物理学家霍尔姆兹正式提出了电的原子——电子概念。

因此电解定律预示了电子的存在，为近代电子论的创立提供了实验依据，并引导人们从物质内部寻找这种一个个电的粒子——电子。

四、阴极射线之谜

从 19 世纪 70 年代开始，物理学界展开了一场所谓“阴极射线”的争论。这场争论前后延续了 20 年左右的时间。争论的结果是导致了电子的发现和电子学的兴起。

争论是从稀薄气体中放电现象的研究开始的。从 19 世纪

中期起，人们就陆续发现，电流现象并不只是在金属导体中可以观察到，在稀薄气体中也存在着放电现象。

法拉第是最早进行稀薄气体放电现象实验的人。在 1838 年，他在一根玻璃管的两端封接两根铜线，作为电极，并将玻璃管抽成真空。然后在两个电极上分别加上正、负电压。这时在玻璃管内就出现明显的辉光。当时法拉第就怀疑到在两个电极之间有电荷在流动，不过更多的人从表现的辉光现象出发，以为在两个电极间有一股光流（光射线）通过。

到了 1859 年，德国学者普鲁克发现了新的现象，那就是通电的玻璃管置于磁场中时，玻璃管中的光流发生了偏转。于是人们又开始怀疑光射线或光波这种说法了，因为光在磁场中是不会偏转的，只有带电的粒子在磁场中会产生偏转。

随着真空技术的发展和抽气机性能的不断完善，稀薄气体中放电现象的研究也越来越深入。1879 年英国科学家克鲁克斯在前人实验的基础上系统地、精确地观察了通电玻璃管的发光现象，这就是著名的克鲁克斯实验。

在一根抽成较高真空度的玻璃管（称为克鲁克斯管）两端封接两个金属电极。在两个电极之间施加近千伏的高电压，这时从加有负电压的一个电极（阴极）上好像发出了一种不可见的奇怪的射线。当这种射线射到玻璃管壁上时，立即发出了闪烁的光辉。人们把这种射线叫做阴极射线（阴极射线这一名词实际上是在 1876 年德国科学家哥顿斯坦首先使用的）。

但阴极射线究竟是什么呢？

为了探明阴极射线的本质，人们想方设法在玻璃管内的

阴极前面装置了一块“十”字形云母片，看看是否真有什么东西从阴极射了出来，打到玻璃壁上。

果然，当加进了云母片后，在玻璃壁上产生了很清晰的“十”字黑影。于是人们才断言：这股射线确实是从阴极发出来的，而且像光一样是沿直线前进的。许多人认为阴极射线就是光波，但克鲁克斯和另一位英国科学家华莱则认为阴极射线是由带电的微粒组成的。

如果真的是带电粒子的话，那么这是什么样的带电微粒呢？为什么用不同的金属材料作阴极都能发射出相同的微粒呢？

1897年，通过有名的汤姆逊实验，阴极射线之谜终于逐渐揭开了；在电学和无线电电子学中扮演最重要角色的电子被发现了。

五、电子的发现

1883年，实用发明家，36岁的爱迪生为了提高电灯的寿命，在真空泡壳内引入了一个金属电极。他观察到当金属电极接在正电位时，电极和灯丝之间便有电流流动。

这种奇怪的“漏电”现象是爱迪生所没有意料到的，对此，他思索着电流到底是怎样穿过真空区的，百思不得其解。他觉得这一现象对他改革电灯没有什么用处，但发明家所特有的耐心、仔细和敏锐驱使他把这一现象详细地记在笔记本上。后来，爱迪生只是把这一发现作为“电检测器”登记了专利，没有继续作深入的研究。

没过几年，科学家们发现爱迪生所见到的现象是十分重要的，他们把它称为“爱迪生效应”。正是“爱迪生效应”使

人们终于能把电子从固体的羁绊下解放出来，并为人们认识它、变革它创造了条件，直接导致了 14 年以后电子的发现。

最早解释“爱迪生效应”的是卓越的英国物理学家汤姆逊，他证明炽热的灯丝所释放出来的载流子就是电子。促成发现电子的另一个重要的因素是对阴极射线的研究，当时，一物理学家发现，阴极射线能穿透某些金属，并在磁铁的作用下发生偏转。

从 1886 年，一直到 20 世纪 30 年代，在长达 50 年左右的时间里，汤姆逊一直从事气体放电现象的观察和研究，他通过不同的实验方法，证实阴极射线是带负电的微粒流。

1897 年，汤姆逊对阴极射线作了定性定量的研究。汤姆逊在克鲁克斯管的两旁分别加了电场和磁场，发现阴极射线皆会发生偏转（拐弯）。毫无疑问，阴极射线是带电的微粒流，因为只有带电的粒子才会受到电场的作用，又受到磁场的作用。

根据电磁作用所已发现的定律，汤姆逊由阴极射线在电场和磁场中的偏转方向，判断出阴极射线是带负电的微粒流。他由阴极射线在磁场和电中都发生的偏转得到粒子速度 v 与它的荷质比之间的关系，确定阴极射线是一种带电的粒子流。他用磁偏转法证明了阴极射线粒子的电荷与氢原子的电荷大小相等、符号相反，质量约为氢原子的 $1/2000$ 。

汤姆逊的实验完全否定了阴极射线是光波的流行说法（因为光是不带电的）。不管使用何种金属或气体，汤姆逊所测得的“荷质比”皆是相同的。因此他认为这种带负电的粒子存在于一切物质的原子之中。

1897年4月，他在英国皇家协会宣布，他发现了某种迄今未知的带电微粒，这些微粒就是后来正式获得“电子”这个名称的带负电的粒子。“电子”这个术语是1890年左右由爱尔兰物理学家斯托尼创立的，当时的概念与现代意义的电子是不同的，但人们还是沿用了他的名称，并把它赋予汤姆逊所发现的微粒。

到了1911年，美国物理学家密里根等人用精确的实验，进一步测定了单个电子所带的电量，以及单个电子的质量。十分奇怪的是，每个电子都带有完全相同的电量和有着相同大小的质量。更使人感到惊异的是，一切带电物体的电量总比电子具有的电量要大，而且总是电子电量的整数倍。这就启示人们：电子所带的电量是最小的电量，电子是最微小的电的粒子。

从电解定律可以推论出具有最小电量的“电的原子”的存在，现在人们从实验中清楚地发现了电的砂子——电子的存在。

这样，从1833年发现电解定律，并由此定律预示电子的存在，到1911年人们测得单个电子的电量和质量，前后经历了近80年的时间和几代科学家的前赴后继的努力。由此可以看到，科学上每一次突破或重大发现，是要经历那么多坎坷而漫长曲折的道路啊！

电子被发现了，但它具有什么特性，它遵循的运动规律，至今仍然是人们非常感兴趣的问题。由于电子是如此之小，所以传统的力学定律对它们已不适用了。

为了分析它们的波动运动，一位奥地利物理学教授薛定

谓研究出一种新的理论体系，叫量子力学，或称波动力学。这种理论按照概率论分析粒子的波动运动。薛定谔认为——后来被认为是相当准确的，新的波动力学将可以说明原子内部发生的力学过程，另一位物理学家海森堡也研究了类似的问题。

六、揭开原子世界的帷幕

既然用不同的金属材料作阴极时，从阴极发射出来的射线都是完全相同的电子流，那么就有理由认为，电子存在于普通的物质之中。

我们曾叙述了赫兹发现电磁波实验。赫兹在进行电磁波实验时，曾发现当用紫外光照射偶极子的金属球时，在金属球之间电火花的产生就变得容易了。实际上金属球之间的电火花即是电子的流通现象。

1888年，俄国莫斯科大学教授斯托列托夫研究了光对电的影响。他发现当光照耀金属板时，可以从金属板上打出电子来。这些现象进一步论证了电子是存在于物质之中的。大家已知道，所有物质都是由原子构成的，因此只能认为，电子存在于所有的原子之中。

综合了許多人（包括汤姆逊本人）的实验发现，汤姆逊于1903年提出了原子模型——且认为电子存在于原子的壳层中。

1911年英国科学家卢瑟福进一步提出了较完善的原子结构的行星模型。他认为原子内部的结构好比茫茫宇宙中的行星系——有一个原子核和若干个绕核旋转的电子。如果把原子核比作太阳，地球和其他行星比做电子，那么正如地球

和行星绕太阳旋转一样，原子中的电子也一刻不停地绕着原子核打转。

进一步研究表明，原子核也不是简单的东西。原子核是由称做质子和中子的小东西组成的。其中质子是带电的，不过它与带负电的电子不同，它带的是正电，中子不带电。所以整个原子核是带正电的。原子核中质子所带的正电量刚好与绕核旋转的电子所带的负电量相互抵消，因此从外部看来，原子是呈现中性的。

也许有人会纳闷：既然正、负电荷是相互吸引的，为什么带正电的原子核不把周围的电子吸到核上去呢？这是因为电子绕着原子核非常快速旋转的缘故。

生活的经验告诉我们，绕中心旋转的物体如果没有一股向着中心的力拉住它的话，它就要飞离出旋转轨道。当用绳子连接一个小球，并且用手甩动绳子的另一端使小球作圆周运动时，就会感觉到有一股牵引力作用到自己的手上。小球旋转越快，则牵引力也越大。一旦放松握绳子的手时，小球将立即飞离出轨道。

电子绕原子核旋转的情况也是这样。原子核里带正电的质子使很大的劲拉着电子，不让电子飞离出旋转轨道。原子核吸引电子的电力刚好与电子作圆周运动时飞离轨道的“离心力”相等，因此电子既不会落到原子核上去，也不会飞离自身旋转轨道，而是老老实实在地沿着自己固有的轨道打转，正如地球一直绕着太阳旋转一样。

原子核加上它四周旋转的电子，合起来才成为一个原子。与电子核的大小相比，电子旋转的轨道要大得多。化学元素

中最大的原子核，也只有 10 个电子那么大。在一个原子中，原子核只占据了大约一百亿分之一的体积。如果我们将原子核放大到一个胡桃那么大，那么整个原子就该有 1500 米的直径。

原子核虽然微乎其微，但它却集中着原子的大约 99.95% 的重量。因此原子核里的质子和中子达到了惊人的密集程度。假如我们将原子核填满一个体积为 1 立方厘米的盒子，那么这个盒子就将会重 1 亿多吨。

也许读者又会提出问题：同种电荷不是相互排斥吗？为什么带正电的质子却能紧紧密集在这么微小的核内呢？

是的，核内的质子是相互排斥的，但在原子核内除了同种电荷的排斥力外，还存在着一种更大的力——称为核力。核力比排斥力大许多倍，它将质子和中子紧紧地拉聚在一起。它是世界上最强大的力，要比万有引力大百万倍。一旦原子核内这种核力消失，核内的质子立即因相互排斥而向四面八方飞散开来，就像高压锅内的蒸汽从喷嘴中冲出来那样。这时将有异常巨大的能量释放出来，这种能量就是原子能。

电子的发现揭露了电的本性和找到了电和磁的源由，于是形形色色的电磁现象将通过近代的电子论得到完全的解释。

电子的发现促进了原子世界的秘密的揭露，于是 2000 多年前德谟克利特所播下的古老原子学说的种子，终于在 20 世纪初新的土地上开花结果了。以前许多古老的臆测和纷纭的解说将——受到现代科学实验和原子理论的证实或否定。

人类一旦掌握了科学，就使自己变得强大无比，他不仅

能移山填海，改造宏观世界，而且还能深入到不可见的微观原子世界中去。

第二节 秤砣虽小压千斤

发现电子只是人们踏上通向电子世界通道的第一步。驯服电子，使电子来为人类进行出色的“劳动”，这才是人们努力的目标。但要制服电子，使电子“忠诚”地为人们服务，首先必需了解电子的个性、脾气和它的行为。

一、电子小得惊人

原子已是够小的了，但电子还要比原子小得多。现代最好的电子显微镜，它的放大能力刚刚能使人们观察到一个原子。

在阳光闪烁下，我们用肉眼勉强可以看到，浮悬在空气中的一颗灰尘粒子，但是谁会想到，在这一片直径只有 0.03 毫米左右的尘粒中，却包含着 1 亿亿（1 万万亿）个原子呢！

如果把一个原子放大一百亿倍，那它将成为一个直径为 1 米的圆球，但是如果把一枚别针头也放大到这样的倍数，那它将变成和我们的地球一样大小了。需知一个别针头里包含着 1 千亿亿个原子。当我们用自来水笔写字时，每一支笔就有成百亿亿个原子从笔尖随着墨水流到纸面上云。

但是与电子相比，原子却是庞然大物了。如上面所说的，当我们将原子放大一百亿倍而成为直径等于 1 米的圆球时，那么电子只相当于在这个圆球边沿上快速旋转的、直径仅为 0.01 毫米的微粒。在一个原子的体积内可以装得上 1 千万万

个电子。

由此我们知道，原子虽然由原子核和核外旋转电子所构成，但电子和核两者加在一起只占据整个原子极小一部分体积。

以金属铅来说，每一个铅原子具有 82 个电子，但把 82 个电子和铅原子核的实际体积加在一起，与整个铅原子的体积相比，也是微不足道的。如果我们将一千吨铅板中所有的铅原子核和所有电子都取出来，集中在一起，那么它们的总体积比一个钉头还小得多！人们用一只手就可抓住一大把这样的“钉头”。但是如果要载运一颗这样的“钉头”，得动用 60 节火车车厢。

也许许多人不会相信，重达 1000 吨和体积大至 88.5 立方米的铅板，除了这一小颗的“钉头”外，其余部分竟会全是空隙，但事实确实是这样。

电子也是十分轻的。在所有化学元素中，氢原子是最轻的，它的质量是十亿亿亿分之一点六七克，但是一个电子还要比氢原子轻 1840 倍。如果以克作为质量或重量的单位，那么我们要在小数点后加上 26 个零，才能表示出电子的质量。将数万亿个电子放在一起，其总重量还不到一小段羊毛的重量。

所以在原子世界里，不能再用日常生活中所用的标尺或磅秤来度量碰到的东西了。

二、最小的电量

电子所带的电量是最小的，任何带电物体所带的电量总是电子所带的电量 q 的整数倍。这是很容易理解的，因为所

有物体的带电现象是该物体原子得到电子或失去电子的结果。

当物体得到电子时，原先原子的“电中性”平衡就被破坏了，这时原子核内质子所带的正电量不足以抵消核外电子所带的负电量，因此该物体就呈现带负电的特性。同样，当物体失去电子时，该物体原子中原子核内的质子所带的正电量就超过了核外电子所具有的负电量，因而该物体呈现带正电特征。

由于电子只能以“个”作为单位存在着，因而很自然地任何带电物体所带的电量总是电子电量 q 的整数倍。物体得到或失去的电子越多，物体所带的电量（负电量或正电量）也越多。

电量 q 是异乎寻常的小。平时可以觉察到的物体带电量或流动的电流，实际上是无数个电子贮积（或流失）的结果，或者是无数个电子流动的结果。

当人们将手电闪亮一下时，不知有多少亿万电子流过了手电的小灯泡。当家里点燃一盏 60 瓦的电灯时，那么每秒钟就有 170 万万万个电子通过了灯泡内的钨丝。如果把把这些电子加起来，它们的总重量才不过 $1.53/1000000$ 毫克。

即使将这盏 60 瓦的电灯连续地点亮一年时间，那么尽管有天文数字的众多电子流过了灯泡，但总共只流过了 48 毫克的电子。1 安培的电流相当于每秒钟需要超过 6 万万亿个电子通过导线的截住面积。如果要在 1 秒钟内流过 1 克的电子，那么这时电流大到一亿七千六百万安培。

电子的电量大小还可以从能量单位——电子伏特反映出

来。大家知道，任何一种能量都可以用“功”的单位表示。譬如热量通常是用“卡”来度量的；家里每月所耗用的电能是以千瓦·小时（度）作为单位来计量的。但在原子世界中，各种基本粒子的能量大小是用一种特殊的能量单位——电子伏特表示出来的。

我们知道，要将地面上物体举高，则需要克服地心引力而做功；同样，要将带负电的电子从电池的正极转移到电池的负极，则需要克服电力而做功，因为电池的正极和负极分别对电子产生吸引力和排斥力。1 电子伏特就是使一个电子从一个电动势为 1 伏的电池正极拉向负极时，为克服电池正极的吸引力和负极的排斥力所需要作的功。

由于电子的电量十分小，所以 1 电子伏特也是非常小的能量单位，它大约等于把 1 毫克的东西从地面上举高 1 厘米所需能量 60000 亿分之一。但在原子世界中，1 电子伏特已是不小的能量了，因为当电子的运动速度达到每秒为 593 公里时，这个电子才具有 1 电子伏特的能量（动能）。

三、电子处在不停的运动状态

原子中的所有电子处于不停的运动状态，它们像地球一样，既绕着原子核（太阳）旋转，又绕着自己的轴打转（自转）。但电子自转的“昼夜”短促得难以想象，而它绕核一圈的“一年”也只有十万万分之一秒时间。

电子绕核旋转是惊人的快速，最内层轨道（距核最近的轨道）上电子的速度达到每秒 2200 公里，比地球绕太阳旋转的速度还要大 70 多倍。

原子中的所有电子并不是只循着一个椭圆形或圆形的轨

道绕着原子核不断运行，实际上从内到外，轨道分好几层。依照不同的元素原子，轨道的层数和每一层中运行的电子数目也不完全相同，不同层的轨道也有点相互交叉穿透，但是平均地说，还是可以分得清楚离核较近的内层轨道和离核较远的外层轨道。一般地说，内层轨道上运动的电子受到带正电的原子核紧紧吸引，因此跟核结合得比较牢固。

如果原子中的所有电子都是永远不变地沿着自己轨道绕核打转的话，那么情况就糟糕透顶了。这时世界和宇宙将没有一丝光亮，元素和元素之间也不可能化合，宇宙间除了元素存在外，不会有其他物体存在，更不会出现电流。当然，人们也就无法利用电子为人类工作了。幸好大自然作了巧妙的设计和安排，在适当条件下，原子中在轨道上运行的电子是能够挣脱轨道的羁绊的，特别是外层轨道上的电子是能够被解放出来的。

我们仍以被绳子系着的作圆周运动的小球为例，来说明电子是怎样摆脱原子核的束缚的。

经验告诉我们，小球转动得越快，绳子牵住它的拉力越大。如果现在我们牵引小球的不是绳子，而是一根富有弹性的橡皮筋，那么当小球转动越来越快时，橡皮筋也被拉得越来越长，小球运动的轨道——圆周也变得越来越大了。最后橡皮筋被拉断，小球飞离出去。

电子也是这样从原子中挣脱出来的。当外界加给电子以能量时。譬如加热原子，将使电子的运动速度加快，因而使得电子与核的距离拉大。物体越热，电子运动速度越快，因而离核也越远，这时核对电子的拉力（吸引力）也得越来越

小。

最后，当加热到一定程度时，原子核已拉不住快速旋转的电子，电子就从原子核束缚中解放出来。这种不肥原子核羁束的电子称为自由电子，以区别于原子中受核束缚的电子。

当然，除了加热方法外，还有其他各种方法能使电子从原子中飞出来。

各种不同原子吸住外层轨道电子的力量大小各不相同。譬如要从金属的钠原子的外层轨道中“解放”出一个电子，需要 5.11 电子伏特的能量，但对金属钾原子来说，“解放”一个外层电子只需 4.32 电子伏特能量。因此有些原子容易失去电子，而另外一些子则不易失去电子。

早在近 300 年前，电学先驱者富兰克林就曾想到：物体之所以会带有正电和负电，是由于带电物体相互之间进行电荷分配引起的。他的这一大胆科学预见现在已为电子理论全证实了。

物体带正电正是由于组成该物体的原子丧失了电子的结果；而物体带负电则是因为从别处获得了多余的电子。因此现在我们可以更确切地说，物体的带电现象是因为电子的分配引起的。

人们早已司空见惯的摩擦起电现象也是电子运动的结果。只有当电子发现和电子理论建立后，这一古老的现象才得到科学的解释。

当用一块绸布摩擦玻璃棒后，如将玻璃棒凑近原先并不带电的纸屑时，就会发现纸屑被玻璃棒吸了起来。这与 2600 多年前泰利斯发现摩擦后的琥珀能够吸引羽毛的现象是相同

的。

实际上，当用绸布摩擦玻璃棒时，玻璃棒因摩擦而发热，发热的结果使一部分电子从组成玻璃棒的原子中跑了出来（跑到绸布上），从而使玻璃棒呈现带正电的状态。失去电子，也就是失去电平衡的玻璃棒总是力图从别的可能地方去夺回它那失去的电子，以恢复其先的电平衡状态。所以一当玻璃棒凑近纸屑时，带正电的玻璃棒就紧紧地吸引纸屑原子中的电子，同时纸屑原子的原子核又使劲地吸引住它们的轨道中电子不放。这样相互作用的结果把整片纸屑吸了起来。

当然，我们观察到的只是纸屑被玻璃棒吸了来，其实，纸屑原子中的电子也在使劲在吸引带正电的玻璃棒。

这种正、负电之间的吸引力是自然界中存在着的最强大也是最奇妙的引力之一，这是继万有引力后被人们发现的又一种引力。

万有引力告诉我们，万物之间都存在着相互吸引的力。我们居住的房屋，包括我们自己的身体，能够紧紧地贴附在地面上，而没有从地球上飞离出去而掉入漫无边际的茫茫宇宙空间，正是依靠地球的巨大万有引力——地心引力。

但是正、负电荷之间的引力要比万有引力大得多。失去电子的原子虽然这么微小，但它们竟能把整片纸屑或小片羽毛吸了起来，这是何等强大的力量啊！直到现在为止人们还没有完全搞清楚为什么有这么大的力量。

这种摆脱子束缚、飞离轨道的自由电子会接受人们的控制和驾驭，它们像是一群人类忠诚的仆人，按照人们的意愿，进行形形色色的劳动。

四、自由电子在金属导体中游荡

电子的发现和电子理论创立后，导体和绝缘体之谜也就揭开了。

与其他物质的原子结构相比，金属原子中的电子比较容易摆脱原子核的束缚而成为来去自如的自由电子。这是由于金属原子中的电子和它们的原子核之间存在着的拉力比较小的缘故，它们不像别的物质原子中电子和核拉得这么紧。因此在金属中存在着一大群到处游荡的自由电子。一当金属导线在两端加上电压时，自由电子就会朝着一定方向运动，也就是把电从一端传导到导线的另一端，这正如水管中充水时，当在水管一端加上一个压力时水就从另一端流出来一样。

但在绝缘体中，像玻璃、胶木、塑料和橡胶一类物体中，电子被原子核紧紧拉住而不能自由行动，所以当我们触到用绝缘体包裹着的电线时也不会触电。

在 1600 年英国科学家吉伯把凡是经过摩擦而能产生电的物体像琥珀、玻璃、宝石等，称为“电体”，而把经过摩擦而不能显出带电现象的金属称作“非电体”。

摩擦金属同样可以产生出“电”来，只是因为金属是良好的导体，所以当年吉伯在做实验时，一边通过摩擦产生出电，一边金属又把所产生的电迅速地传导走了。只有绝缘体，因为它没有自由电子参与导电，所以摩擦产生的电就被保留起来了。

现在我们知道，吉伯的错误在于他把电看成是永远静止不流动的。在他那个时代，人们根本不可能知道金属中会有导电的自由电子存在。

读者也许会觉得奇怪，在这样密集坚硬的金属导体中，自由电子怎么能够自由地来回奔跑呢？

其实，构成物质的原子与原子之间，存在着莫大的空间。有些物质，它们的原子彼此挤靠得比较近些，那就是固体；而有些物质则松散些，象液体和气体。但即使看来密度很大的坚硬金属，它们的内部也是空空荡荡得惊人。

如果我们把原子比做空气微粒，那么物质内部结构的疏散程度犹如地表的高空稀薄大气层。就以我们自己的身体来说，如果能把我们身体中全部空旷的空间去掉而只剩下真正构成物质的微粒——原子的话，那么人就会变得和一粒钮扣差不多大小了。

原子与原子之间的“广漠”空间为金属中的自由电子提供了最好的运动场所。这里我们特别需要指出的是这些自由电子的运动只限于原子与原子之间存在着空间，不能穿过原子内部存在着空旷区域。

虽然我们已知，构成物质的每一原子，除了其中心处有一个小小的坚实原子核和核外面有一些稀稀落落的电子在旋转外，中间也存在着偌大的空间。因为这里存在着力场，这个力场排斥自由电子进入到原子核与轨道上旋转电子之间存在着的空间区域。

这种在金属导体中自由游荡的电子并不能构成定向的电流流动，尽管它们各自不停地在金属导体内部穿梭地运动着，这是因为这些电子的运动是杂乱无章的。当导线中某些自由电子向左方向运动的时候，就有另外一些电子跑向右边。因此实际上就平均来说，通过导线横截住面积 AB 的电子——

电流等于零。只有当导线中所有的自由电子都向一个方向流动的时候，导线中才有电流出现。

通常我们把正电荷流动的方向规定为电流的正方向。由于电子带负电，因此电流的正方向刚好与实际电子流的流动方向相反（电流的方向是为了电学理论叙述的方便而人为地规定的，并没有绝对的涵义）。

金属导线是电子的“河流”，但如何设法使电子按照人们的意愿在“河流”中作定向流动呢？

五、电子的定向运动——电流

现在我们设法让电子朝着一个方向跑。

从生活的常识得知，要使水管中的水定向流动，则需在水管两端保持一个水压差。只有当 A 端的水压力大于 B 端时，水流才会从 A 端到 B 端方向流动。

同样，要使自由电子在导体或导线中朝着一个方向跑去构成电流，必须在导体或导线中建立起一种能推动电子前进的压力——简称电压。

显然，推动电子往前跑的力量不可能是我们常见的机械压力，而必需是能对电子起推动作用的“电”的压力。那么怎么能获得电压呢？

如果我们在导线的 B 端周围积贮起为数众多的电子，而在 A 端周围积贮起许多失去电子的带正电的原子（或者称为“正电子”），这时 A 端处于高电压，B 端为低电压，则根据同性电相斥和异性电相吸引的理，金属导线中的电子一方面受到来自 B 端周围所积贮的电子的推力，另一方面又受到 A 端正电子的吸引力，这样一推一拉，导线中就出现了由 B 到

A 方向的电子流（电流的方向为由 A 到 B，与电子流方向相反）。

也许有人会想：电子流一经出现，导线中自由电子不是一下子就流完了吗？

导线中的自由电子是永远不会流完的，只要我们在导线两端始终维持着电压差的话。因为随着导线中自由电子不断地流出 A 端，从 B 端外部将不断地有新的自由电子流入导线中。

实际上导线 A、B 两端是分别加接到电池或发电机两个正、负电极上的。电池或发电机的功能就是使流出 A 端进入正电极的自由电子经过电池或发电机内部，从负电极流出来，重新经 B 端流入导线。

因此从导线 A 端流出去的电子和从 B 端流入导线的电子数目是相等的，所以在导线中自由电子的总数既不减少，也不增加。此情况与在正常情况时水管入口处与出口处水流量相等时水管内的水量保持不变是相似的。

可能有人又会提出疑问：电子流怎么会通过电池或发电机内部而不断地循环流动呢？其实这也没有什么希奇，我们只要看一下水流的例子就会明白了。

假如在远处有一个水槽 T，水流从上而下从置于地面上的水管 AB 的 A 端流入水管中。只要我们保持水槽中的液面不变，那么 A 端的水压也将保持不变，所以就有恒定的水流源源不断地流经水管 AB。为了维持水槽 T 的水位不变，我们可以将从 B 端流出的水流通过水泵 M 送回到水槽 T 中去。用力学的术语来说，就是通过水泵做功，把 B 端流出来的水

的水位升高 h ，从而保持 T 中的液面不变。

电子在导体中循环流动的情况也类似于上述水流情况。电池的正电极不断地将导体中的电子吸出来，然后通过消耗电池内部的化学能，使电子经过电池内部，从电极的负电极跑出来。

当然，在电池内部电子从正电极跑向负电极，需要克服电场的力，这好比上面所说的水从低处升到高处，需要克服地心引力（重力）一样，不过现在消耗不是水泵的机械能而是电池的化学能罢了。

水压越大，水流也越迅速。同样，电压越高，单位时间内流过的电子数目也越多，即电流越大。在电学中，我们用“伏特”作为度量电压高低的单位。

日常我们使用的小型干电池的两端电压只有 1.5 伏特，但是远距离传输电能的导线，电压可高达数万伏，甚至数十万伏。电流的大小是用“安培”作为单位来表示的。亿万个电子在导体中朝着一定方向流动时，才产生了我们可以觉察到的微小电流。譬如当导体中每秒钟通过 3.2 万亿个电子时，其相应的电流才 0.5 微安（1 微安等于 $1/1000000$ 安培）。

以后我们将会知道，电子不仅在导线中能够按照人们的意图，循规蹈矩地顺着导线流动，而且在一定的条件下，在没有导线的空间区域，也会朝着一定方向运动。

虽然我们说，原子与原子之间留有诺大的空间，允许自由电子通过，但这并不等于说电子在金属导体中可以完全自由驰骋，丝毫不会受到拦阻。

在十分靠近原子的地方，自由电子是不容易通过的，有

时电子会被拉进原子里边去，而原子中别的电子却被推了出来。这样挤进挤出，使游荡的自由电子运动受到阻力，并且消耗掉一部分能量。

即使是最好的金属导体，像银、铜等金属，它们的原子在常温下也总是跟流动的电子为难的——阻止电子自由流动。这就是我们平常说的导体或导线的电阻。电阻越大，说明阻拦自由电子通过的阻力越大。当然，对于同一种金属导线，当导线越长或越细时，电阻也越大；这与水管越长或越细时水流所遭受的阻力也越大的情况是类似的。

自由电子挨近原子流动时，常会发生上述的“挤进挤出”现象，由此而消耗掉的能量就会使金属发热。对于电阻大的金属，如铁、钨等金属，电流流过时发热现象是很显著的。这就是为什么当电流流过电灯泡中的钨丝时，钨丝变得白炽发亮的原因。

电阻的大小是用欧姆作为单位来度量的。欧姆数越大，说明电阻越大。平常，我们在家中看到的照明灯具上的软电线，它们每米电阻值约为 0.01 欧姆左右。

很显然，物体的电阻越大，那么为了通过一定值的电流，就需施加更加高的电压来推动电子前进。此情况又与水流相似，因为当水流遭到大大的阻力时，我们只有加大水压才能获得一定的流量。

1826 年，德国一位当时还是科伦中学的物理教师欧姆提出了著名的说明电流、电压和电阻三者关系的欧姆定律，即流过导线的电流等于导线两端的电压与导线电阻的比值：

$$\text{电流} = \frac{\text{电压}}{\text{电阻}}。$$

通过大量的实验验证，证实了这个定律的正确性。在电学中广泛地要应用到这个定律。譬如当导线两端的电压为 1 伏特和导体的电阻是 1 欧姆时，则流过该导线的电流将等于 1 安培。

六、电子还能传递热量

为什么有些物质，像绝大多数金属物质，具有良好的传导性的特性，而其他许多物质却不能很好地传导热量？在滴水成冰的三九天气，当我们的手接触到一块金属物体和一根木头时，为什么感觉金属物体比木头要凉？而在盛夏酷暑的日子里，却感觉金属物体比木头热得多，这是什么原因呢？难道金属和木头的温度不相同吗？不，在同一环境条件下，金属和木头不可能具有不同的温度。那么正确的答案在哪里呢？正确的答案是自由电子在作祟。

自由电子不仅能搬动电荷，而且还能传导热量。当我们一块金属的一端接触热源时，金属中的自由电子迅速地将热量传递给金属原子，使原子产生热运动。依靠自由电子的来回奔跑，不要多久，金属的另一端的温度也显著升高了。

但是橡胶、木头和胶木这一类物质，由于在它们里面几乎没有自由电子，因此热的传导现象是很不显著的，而且热传导非常慢。

早在 3000 多年前的古代社会，人们就知道利用铜、铁一类金属作为烹煮食物的炊事器具，但只有当人们发现电子并了解电子的行为后，才真正揭露了金属导热的秘密。

虽然金属和木头的温度是相同的，但为什么我们却感觉到金属比较凉呢？这是因为在冬天时，人体的温度远远高于周围的环境温度。当我们用手接触金属时，手上的热量被金属的自由电子很快地传到金属内部去了，而人体的血液还来不及补充与金属相接触的手面所损失掉的热量，于是就感觉到冷。但是在木头里很少存在自由电子，因此与木头接触的手面就不感到十分凉。

在夏天的烈日下，当我们接触金属木头时，我们也会有类似的错觉——感觉到金属比木头更烫手。实际上两者的温度是完全相同的。

这是因为金属和木头的温度在夏天的烈日下总是高于人的体温的，当人手接触到金属时，金属的热量通过自由电子的来回“搬运”，源源不断地传递到人的手上，因而使人感觉烫手。

对于木头来说，因为几乎没有自由电子参与“搬运”热量的工作，因此除了与人手直接接触的那一部分木头表面层的少量热量传递到人手外，木头其余部分的热量是很难被传递到人手上去的，所以人们并没有烫手的感觉。

由此我们不难明白：良好的导电物质往往也是良好的导热物质。

七、电子自旋

有关电子自旋的问题，最早是在 1925 年，有人为了解释光谱学中的精细结构而推出了电子具有自旋的假设，没有经过多长时间，电子自旋理论便得了整个学术界的公认。

到了 1928 年，狄拉克把相对论引入了量子力学，得到了

一个相对论形成的量子力学方程，这才真正从理论上确定了电子自旋特性。后来，电子自旋共振，也即顺磁共振，成了研究物质结构的有力方法，现正在化学和生物学中作出贡献。至于电子自旋在电子学的应用，远没有电子的其他应用广泛，它还只是刚刚开始。

谈到电子自旋的问题，还得阐述一下自然界中普遍存在的有关守恒的问题。例如，能量守恒律反映出时间上的位置的不相关性；动量守恒定律反映出空间中位置的不相关性；角动量守恒定律反映着空间取向的不相关性；电荷守恒则反映着一种奇怪的不相关性，即所谓规范的无关性。有一条被称为“宇称”守恒的奇妙的守恒定律，它则和所谓旋向性的不相关性有关。

“宇称”不是让人容易具体想象的东西，它可以指左和右之间的同一。在镜子里左和右互换，例如，用右手写字的人在镜中竟成了个左撇子，因为现实生活中确实有左撇子存在，因此，人们就无法从一幅左撇子的图像中区别到底是“真实的”情况还是镜中存在的映象。这种不可区分性便叫做“宇称”守恒。

证明宇称守恒定律的证据是很有说服力的，但是有一些新的迹象却又让人怀疑它的准确性，在这些大胆的怀疑者之中，就有当时还年轻的华裔物理学家杨振宁和李政道，他俩于1951年就开始了合作，到了1956年，他们决心审查那些支撑宇称守恒的证据，因为他们当时已捕捉到了某些在弱相互作用下宇称不守恒的蛛丝马迹。

尽管如此，他们的大胆和果敢仍然使他们的一些同行感

到紧张不安，因为他们看到这两位青年物理学家把自己声誉押在了一个可能成为笑料的冒险之中。

杨振宁、李政道的天才在他们不仅指出了宇称在弱相互作用下的守恒性，而且还为实验物理学家指出了，到哪里去找可能有的宇称不守恒。

他们设计了可行的实验，但要实现这些实验，仍然需要天才。这个天才的实验家不是别人，正是杨、李的同行，哥伦比亚大学的吴健雄教授，她是一位聪明的有才华的杰出的女性，她和她的小组精心观察钴 60 原子放射性衰变时电子射出的方向，结果，杨、李的见解得到证实，在弱相互作用下宇称并不守恒。

由于这一重大的理论发现和实验证实，杨振宁和李政道俩人共同获得了 1957 年的诺贝尔物理奖。吴健雄未分享这一荣誉，但她实验技巧高超，博得物理学界的高度赞扬。

宇称被破坏的另一个例子就在于中微子的旋转，这是一些不带电、无质量的奇怪地粒子，但它们确实是在空间以光速运动着，有趣的是它们的自旋总是逆时针方向的(左撇子)，右旋的中微子只能在镜中看到，在现实世界上不存在，这样的就可以很容易区分真实世界镜中世界了换句话说，宇称守恒被破坏了。

1978 年 6 月 12 日，美国斯坦福直线加速器中心的伯里斯科特宣布，他们在实验中观察到宇称被破坏。这一次试验的不是中微子，而是电子。

斯坦福的加速器能够产生高能电子，它的一台线型加速器 SLAC 是 1966 年开始运行的，全长 3050 米，束流强度达

到 3×10^{14} 粒子数/秒。它的另一台线型加速器名为“Mark II”，它的束流强度达到 3×10^{13} 粒子数/秒。

上述两台加速器产生的高能电子的能量分别为 22.1GeV 和 1.2GeV，有了这样的高能电子，就可以做让它们去撞击质子的实验。

当然，这些电子是左旋和右旋的都有。由于这两种旋向对电子均存在，因此在电磁相互作用中宇称守恒。

当用这些电子去撞击质子时，伯里斯科特及其同事们发现，左旋电子和质子的相互作用，其可能性比右旋的更大些，大得有限，大约一万个事例中仅超过一例。

但这在灵敏的测量仪里却是一个大的效应，足以使我们这一代人震惊的效应。因为我们有了一个把真实世界从镜像世界中区分出来的新方法——电子左旋在真实世界中有较强的相互作用，尽管右旋也存在这种作用，毕竟弱一些。

在此以前，前苏联新西伯利亚的研究小组曾经宣布，已经发现了电子的宇称守恒性，但他们没有发表详细资料供世界上其他各国物理学家进行判断。而斯坦福直线加速器中心的实验作了清楚、透彻又有说服力的解释，它的意义极为深远，因为其基本数字表达式——所谓规范场原理可能包含强相互作用，甚至可能包括引力相互作用。如果是那样的话，它将成为解释一切事物运动的理论。这是有关电子自旋研究而引起的统一场论研究的新进展。

除了自旋以外，电子还具有回旋共振动的特性，因为在恒定磁场中，具有初速度 v 的电子会受到一个洛伦兹力的作用，这个力使用电子绕磁走一个圆形，直到这种特殊的向心

力与电子回旋运动的离心力相等时，这样才会达到稳定状态。

若给电子加上一个微波电，那么电子就可以加速，轨道半径增大，这也是回旋加速器的原理。

1945年，贝克莱物理试验室就建成了一台大型回旋加速器，直径为4.67米，此加速器不仅可以加速电子，还可以加速质子和比重子更重的粒子。

不过，因为电子质量很小，只要给予中等能量，便可使其接近光速，这时，相对论效应很明显，电子质量增加得很多。一旦电子以接近光速的速度回旋时，它就会发出很强的电磁辐射，这称为同步回旋辐射。

这种辐射会使电子能受到损失，随着电子能量增高，此项损失会按四次方增加。因此，为了获得高能量的电子束，要求注入电子束的能量也得高出许多。

为了减少能量的回旋辐射损失，近年来，研究了一种电子直线加速器，它可以非常容易地将电子加速到光速的一半。

美国斯坦福大学，有一个以瑞奇为首的小组在SLAC研究中心工作，当研究人员从事于一项例行的检查时，发现了一个微小的、短暂的不协调现象。麻省理工学院华裔美籍教授丁肇中听到了斯坦福的问题时就立即意识到，瑞奇他们已经看到了一种被丁教授称为“J”粒子的一些现象。这和丁肇中教授的实验观察结果是不谋而合的。事实上，已经很难分清究竟是谁首先发现了新粒子，尽管新发现是在不同的实验室里获得的。

著名的华裔教授丁肇中是一位现代实验物理学家，他认为实验物理是一种探索，他的观点是：除非一个东西能够被

测量和确定，否则这个东西是不存在的。正是这样一位坚忍不拔、精力充沛的实验物理学家的创造性工作所获得的实验结果，改写了教科书中的理论，为原子世界开拓了新的天地。

丁肇中曾在台湾上过学，后来进入美国密歇根大学工学院研读，但是在那里几乎遭到退学。“我不能了解机械制图，因此，在下学期的时候，我选了些物理学和数学的课程。”在大学二年级时丁肇中转到了他认为有兴趣的物理系。

在安阿伯的研究所，他遇到了当时为密大教授的马丁·派尔，以后在派尔教授领导的加州试验室接受了有关高能试验的严格训练，并很快成为一名出色的实验物理学家。

在德国汉堡的电子加速所，丁肇中教授穿着整洁的深蓝色的工作套装，白颜色的衬衫，领带上别着一枚徽章，他领导着一个包括来自世界各地的几十位物理学家和技术人员，但他从不摆架子。

他所研究的是质与能的变换过程，因为正是这个过程，新粒子有可能被“创造”出来，内部结构及变换作用力有可能被测量出来。丁肇中教授和研究小组的成员决定让高能量的电子束在真空中与阳电子光束发生正面碰撞。他们发现，有的时候电子会安然地跳过阳电子，有时候却不然，正负电子“湮没”而产生新的粒子，其中有些不稳定的粒子刚刚形成就衰变了，但它们仍能形成原子的粒子。在这些粒子中，最值得注意的就是所谓“J”粒子。

1974年夏天，丁肇中在纽约布海汶国家试验室继续寻找他们的新粒子，他们首先寻找存在于40~50亿电子伏之间的粒子质量方位，搜索了一个夏天，效果不佳。到了8月份，

他们搜索 30~40 亿电子伏的范围，出现奇迹了！有一些新迹象，“然后数量就开始出现”，丁肇中回忆道，“那是很令人兴奋的。不过，我们仍然用了两三个月的时间来进行检查。”

丁教授十分谨慎小心，到了 11 月份仍然未发表他们的发现，只是写了一份简短的备忘录，记载了这一发现。

几天以后，他在斯坦福碰到了瑞奇，告诉他：“我有一些有趣的物理新发现要告诉你。”瑞奇回答说：“我也有一些物理学新知告诉你。”两人真是不谋而合。所不同的仅是，丁肇中称他们的发现为 J，而瑞奇称其为 ψ 。运用今天的外交辞令，这项发现的正确名字是：在东海岸是 J，在西海岸是 ψ 。

新粒子的发现，在世界上引起了很大转轰动，直到今天，有的物理学家还在用“J”粒子之前和“J”粒子之后作为科学史上的分界年代！

两年以后，即 1976 年，丁肇中获得诺贝尔奖金，那一年，他刚好 40 岁，丁太太凯是一位建筑师，他们有两个女儿，她正利用诺贝尔奖金设计一座新房子。对孜孜不倦的丁教授来说，他的大部分时间，肯定不是在这所新房子里，而是花如何加速获得新的粒子。

但事情到此并没有完结，80 年代，科学界对 J 粒子或 ψ 粒子仍然没有统一的认识，它究竟是代表一种新的基本粒子，还是和基本粒有关的某种确定的现象，看来仍然是个谜！

和数学中存在以零为对称点的正负数值一样，基本粒子理论中有一种被称为反粒子的理论，它是 1930 年由英国物理学家狄拉克首先提出的。

在此之前两年，即 1928 年狄拉克利用爱因斯坦的相对

论，提出了一个新的量子力学方程式，这就是著名的狄拉克方程。

看看美国科学家 B 霍夫曼对这一方程的评价吧他在“量子史话”一书中写道：新方程“证明了电子的自旋不过是相对论的一个自然反映，从而解决了精细结构起因的问题上相对论和自旋的表现矛盾。在数学的一面，它在相对论中引入了新的量，结果产生了一种新的运算，为归功于自旋，这种运算称作旋算。它取代了薛定谔表示的单个电子方程，它带来了某些重要的发展。”

霍夫曼继续赞赏狄拉克方程写道：“总而言之，它(指方程)表明由现代物理学的那两个杰出的造反者——量子论和相对论——的美满婚姻，能得出何等神奇的结果。”

狄拉克不仅数学手段高明，他的想象力也极为丰富。当时，他在解自己列出的方程时发现，电子除了有正能态外，还有负能态出现，且在分布上是完全对称的。这看起来似乎违背了经典力学的解释，因为经典力学的观点认为物体具有的能量不可能是负值。

那么，狄拉克方程中的负能态究竟意味着什么呢？在一段时间内这简直成了一个十分严重的问题，这就是物理史上著名的“负能灾难”。

这里想必诸者会有负能态和负电荷的概念混淆的问题，在我们今天看来，电子具有一个单位的负电荷，它具有正的能态，这就是普通电子的特性。

狄拉克却津津乐道于对负能态的解释。他首先革新了“真空”的概念，提出了真空是负能态电子海洋的新假说，认为

真空中稠密地分布着无限多的普通的负能态电子。

狄拉克在“电子海”的基础上，又进一步认为，如果把一个电子从负能态激发到正能态中去，那么就会出现一个正能态的电子和一个负能态的空穴，这个正能态的电子就是普通的电子，带一个单位的负电荷，而电子留下的这个空穴，就表现为一个带正电荷的电子。

狄拉克的想象是根据许多假设提出来的，它的结论又恰恰预言了正电的存在。那就是狄拉克方程和他的空穴理论的伟大所在。

20世纪30年代，科学技术的发展，已使人们能制造出高达500万伏特的高压发生器，以及带有这种高压发生器的粒子加速器和回旋加速器，用被加速了的粒子去轰击原子核，造成了许多元素的蜕变，于是，人们发现了重氢和中子。

威尔逊云室的使用已使人们能更形象地看到许多带电粒子的运动转迹。1931年，美国人安德逊在芝加哥分析由威尔逊云室摄取的宇宙射线照片时发现，有个粒子的踪迹非常可疑，它在磁场的作用下，在与通常电子的踪迹相反的方向上发生弯曲。

据安德逊估计，该粒子的大小和重量，均与电子相同。这样，就没有别的可能，唯一可能的是这个粒子是一个带正电荷的电子。安德逊的这一发现证实了狄拉克关于空穴理论的预见，实际上，这是人类首次发现反粒子。

第二年，英国人布莱凯林和意大利人奥查林尼发现了宇宙射线中有正负电子对产生，这些电子对会产生电子“簇射”，他们的发现证实了安德逊的正电子的确实存在。

到了 1933 年，法国人季保德用实验证实了：正负电子相遇可转化成电磁辐射，即伽玛(γ)射线，人们称这一现象为“湮没”。正负电子湮没时总电荷不变，这也符合电荷守恒定律，湮没的发生率完全符合狄拉克 1930 年电子论公式。

20 世纪 30 年代，在基本粒子领域里，他们这几位科学家互相验证，彼此吻合，有人在使用电子对湮没成 γ 射线，也有人做相反的工作，让 γ 射线转换成电子和正电子，也获得了成功，这也正是爱因斯坦的能量质量可以相互转化理论的体现。

第三节 光和磁的起源

光是从哪儿来的？也许你会回答说：光是从光源发出来的，但是光源为什么能发出光来呢？有些物体，像磁铁，为什么会显出磁性？磁起源于什么？

千百年来，不同时代的人们都曾探索过光和磁的起源，但只有当近代电子理论建立后，上述问题才获得了清楚的答案——电子的跳跃产生光；电子的运动产生了磁。

一、电子的跳跃产生了光

每当早晨朝阳冉冉上升时，万道金光向你迎面射来。当你仰望晴天的夜空，满天星斗闪烁着灿烂的星光。夜晚，从奔驰的车辆前灯里投射出耀眼的光柱，而在夏夜的田野上可以见到忽隐忽现的萤火。也许人们对这些现象都已司空见惯了，但是那正是电子在不停地跳跃地结果。可以说，如果没有电子的跳跃，那么广漠的宇宙也不会出现一缕光芒。

要了解光的本质，让我们先从“光电现象”谈起吧。

1888年，俄国莫斯科大学物理教授斯托列托夫发现了一个有趣的现象。他把一块金属锌板和一片金属网板分别用导线连接到电池的负极和正极。因为锌板和金属网板之间间隔着一段空间，因此它们之间没有电流流通。

但是当斯托列托夫用电弧灯发出的强光照射锌板时，竟意外地发现串接在导线中的电流计的指针移动了一小段距离。这清楚表明：锌板和金属网板之间已有电流通过。

进一步的研究指出，电流的流通是由于积贮在锌板上的电子被光搬走了结果。光能够搬走电子和引起电流，这说明光与电之间彼此存在着内在联系。斯托列托夫的上述实验所发现的现象，后来被称为“光电效应”。

光电效应的发现促使科学家们对发光现象进行深入的探索研究，并将物体的发光现象与其原子内部结构联系起来，最后人们终于搞清楚了光现象的电本质。原来任何可见的或不可见的光——包括红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫各种颜色的可见光以及我们肉眼看不见的红外光、紫外光和X光等，都是原子中电子在它们轨道之间跳跃的产物。

为了比较容易地理解电子跳跃发射光的复杂机理，我们先看一个明白易懂的例子。

在建筑工地上，人们往往利用举高的大铁块下落时的冲力将桩子打入土中。当铁块或其他重物放置在地面上时，它们所处的状态是稳定的。当我们用力把它们举高到空中时，这时铁块等物所处的状态是不稳定的，因为它们随时随地企图返回地面，而在返回地面时将它们在原先升高过程中所积

蓄或获得的能量——在力学中称此能量为势能或位能——释放出来，这时它们猛力击打桩子，使后者向地面深处推进。

电子跳跃发光的情况也与上述铁块下落释放出能量的例子相类似。

在原子中每一个电子都沿着自己的固有轨道旋转，正如地球循着轨道绕太阳旋转一样。但是与地球旋转不同的是，在一定的条件下电子可以在不同的轨道之间往返跳跃。

在以前我们也曾指出，在原子中电子绕核旋转的轨道距离原子核远近是不一样的，在正常情况下电子只有处在距核比较近的轨道上旋转时才是稳定的，正如物体被放置在地面上呈现稳定的状态一样。

但是在一定条件下，或者当电子受到外来影响时，电子可以从一个距离核较近的正常的旋转轨道跳跃到另一个距核比较远的轨道上去，正如上述例子中铁块受外力作用离开地面被举高至空中某一定高度那样。但是电子的这种状态是不稳定的，它随时有返回原先所处的正常轨道的可能，正如被举高的物体力图返回地面一样。

我们知道，电子从距核近的轨道跳到距核远的轨道是需要克服核的拉力的，这好比物体从地面被升高至半空需要克服地心的引力和人们需对物体做功一样。

因此在电子跃迁到距核较的外层轨道时，它必须吸收一分额外的能量，但是一当电子跳回到原来的正常轨道时，它就必然要释放出原先被它所吸收的那一部分能量。这一部分能量就以光的形式释放出来（光也是一种能量，正如热是能量一样）。此情况与上述铁块返回地面时需要释放势能或位能

的情况类似，只不过铁块下落时是以对桩子做功的机械能形式释放出原先获得的势能或位能罢了。

电子每跳返轨道一次就发出一个单元的光（称为光子），无数个电子在轨道间的不停跃迁和返回，就使物连续地发射出光来。

我们曾介绍了麦克斯韦的电磁场理论。按照麦克斯韦的理论，光是电磁波的一种；不同颜色的光对应于不同频率或波长的电磁波。近代的电子理论和精密实验观察结果都证明了麦克斯韦理论的正确。

实际上，依照距离原子核的远近程度，从最内层轨道上的电子到最外层轨道上的电子，电子的能量也逐层增加，这类同于地面上的物体由低到高势能或位能逐渐递增一样。

电子跳得离核越远，那么当该电子返回原来正常轨道时放出的光能量越大。因为光波（电磁波）的频率高低对应于光子的能量大小，因此当距核很近的内层电子，由于某种原因跳跃至距核较远的外层轨道，以后又跳回内层轨道时，它就会发射出高频率的不可见的光波——紫外线，甚至比紫外线频率更高的 X 射线（X 光）；而外层轨道之间电子的跳跃往返，只能发射出较低频率（或波长较长）的红外线或红光。

紫外线的光子能量等于几十电子伏特，X 射线的光子能量从几万到几十万电子伏特，而红外线的光子能量不到一个电子伏特。

平常我们肉眼所见到的可见光——红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫等光，也是电子在不同的轨道之间跳跃的结果，它们的光子能量为几个电子伏特。这样，每一种光都和一定的光

子能量相对应，也就是和电子在一定轨道间的跳跃相对应。

那么电子如何能获得能量而跳跃到外层轨道呢？物体的受热发光可清楚地说明电子跳跃而发光的机理。

不管是固体、液体或是气体，当它们达到一定高的温度时，都会发出光来，这是大家已熟知的事儿。随着物体温度的升高，原子的运动也将变得剧烈起来，原子中的电子因受热激发而获得了能量，旋转速度也将加快，因而离开了自己的正常旋转轨道而跃迁到距核较的外层轨道上去。

但当这些跃迁的电子重新跳回到原先它们所在的正常轨道时，就将它们在受热激激发过程中所获得的能量以发光的形式释放出来了。这就是物体高温发光的实质。

太阳是一个不停地在进行热核反应的大火球，即使在其表面处，温度也高达 6000 以上。无数个电子在具有不同的能级轨道之间跳跃，使太阳发射出几百万种不同波长（频率）的波，其中只有波长为 380~760 毫微米（1 毫微米等于 10^{-9} 米）范围的光线，才能被我们的肉眼所见到，那就是红、橙、黄、绿、蓝、靛和紫色的光。不过当这些光线合在一起时，就成为白光。

当开启电灯时，电流通过灯泡内的钨丝，使钨丝呈现白炽状态而发光。这是钨丝中原子里的电子在十分靠近的相邻轨道之间跳跃的结果。这种白炽灯泡的发光效率是非常低的，几乎有 97% 的电能变成了热而白白地损失掉了。只有大约 3% 的电能才转换成光。

斯托列托夫观察到的光电效应是电子吸收光能而逸出原子的现象。当强烈的弧光照射到金属板上时，光的能量被电

子吸收后加速了电子的旋转运动。当电子获得足够大的能量后就摆脱原子核的引力而直接飞离金属板，朝着带正电的金属网板奔去。这就是光能够搬走电子的秘密所在。

现在当看到形形色色的发光现象时，不管是强烈的电弧光和炽热灯丝的白炽光，还是带在手腕上的手表的夜光字盘或夏夜田野里萤火虫的闪光，都是亿万个电子在跳跃的结果。

二、磁起源于电子的运动

和摩擦起电现象一样，磁现象也很早就被发现和被利用了。约在 2300 多年前，我国就发现了一种现在称作四氧化三铁（ Fe_3O_4 ）的天然矿石，它能够吸引铁质物体。至今在我国东北地区还大量蕴藏这种具有强磁性的铁矿石。

古希腊的泰利斯把经过摩擦的琥珀能够吸引小片羽毛的现象和磁石吸引铁屑的现象，两者混为一谈，经过了 2200 多年以后，英国的吉伯又把两者绝然分开，自从电子发现和电子理论建立后，磁现象的电本质才真正地搞清楚。

在任何带电物体的周围存在着一块电力作用的磁场，这就是我们常说的电场；同样，在磁石（或磁铁）周围也有一块对铁屑或铁质物体产生吸引力——磁力的场，这就是磁场。现在我们已经知道，所有电场都是由电子或者是正电子产生的，但是磁场和物体的磁性又是什么产生的呢？

从发现磁现象一直到 19 世纪初，几千年来，磁现象的本质和起源始终没有得到正确和完善的科学解释。这是因为在那漫长的时代里人们一直是孤立地研究磁现象的。到了 1819 年奥斯特发现了著名的电流磁效应现象后，人们才从黑暗的磁迷宫里兜了出来，才开始将磁现象与电现象归并在一起考

虑，科学家们才努力寻找电 - 磁之间的内在联系。

就在奥斯特发现通电流导线能使磁针偏转的电流磁效应现象后的第三年（1922 年），法国的数学教授安培大胆地提出了磁现象的电本质假说。安培认为磁铁之所以具有磁性——在其周围产生磁场，是因为在组成磁铁的每个微粒里都存在着川流不息的环形电流的缘故，而且每个微粒的环形电流的取向都是一致的。

每个微粒都可以看作为一个小磁体，有 S 和 N 两个磁极。磁铁内部各微粒——小磁体的 S 极和 N 极彼此首尾相接，因此在磁铁的两端，无数个小磁体（微粒）所显示出的 S 极和 N 极的总和，分别构成了磁铁的 S 极和 N 极，也就是磁铁显示出磁性。

对于其他不具有磁性的物体，如一般的铁块或钢块，其内部各微粒的环形电流旋转方向不相一致，因此各小磁体的 S 极和 N 极取向杂乱无章，磁性相互抵消，所以就整体来说，该物体并不显示出磁性。

安培关于微粒环形电流的见解在当时只是一种假说，虽能解释磁现象的电本质，但并未得到证实。19 世纪末和 20 世纪初揭开原子结构的秘密和发现了电子后，才赋予安培和假说以扎实的科学涵义。

原来安培所说的微粒，实际上就是构成物质的原子、分子或分子团等物质微粒。每个子不是都有绕核旋转的电子吗？而且电子也绕着它自身的轴旋转（自转），电子的旋转不是就产生了环形电流了吗？所谓磁铁，事实上就是它内部的原子排列井然有序，因而使微粒的环形电流取向一致，从而

显示出磁性。

不管是绕核旋转的电子所产生的电流——称为永久电流，因为它是永远存在着的，还是我们人为地在导线上通以电流，在产生磁场这一点上，两者的效果是相同的。由此我们不难理解奥斯特所发现的电流磁效应了。

因此，我们说，物体所显示出来的任何磁性，都是由于电流的存在所产生的，而电流又是电子的定向运动所产生。因此任何磁场都起源于电子的运动；电流和磁场是电子运动时具体表现的两个方向。

大家知道，当将导线弯成长的螺线管并通过电流时，螺线管的两端就显示出磁性。如果在通电的螺线管内插进一根软铁芯，那么这根软铁芯就成为一根磁铁了。这实际上就是英国化学家截维在 1920 年所发现的电磁铁。

软铁芯在没有插入通电螺线管之前，它不过是一块普通的软铁，因为它内部的各个微粒的环形电流方向杂乱无章。插入到螺线管后，因受到管内强磁场的作用，微粒的环形电流或多或少地都趋向一个方向，也就是各个小磁体排列得比较整齐了，因而软铁芯成了磁铁。

电磁铁已广泛地应用于各个方面。工厂内大吊车上的电磁铁用来搬运各种笨重的钢铁部件；码头上巨大的磁铁起重机用来吊卸货物。

电子是产生电场和磁场的源泉。如果我们根据麦克斯韦的电磁场理论：任何电场的改变都要激起磁场，而任何磁场的变化又将在其周围空间产生电场，那么电场和磁场不仅出自同一个源，而且两者彼此紧密地依存在一起。

2600 多年前，泰利斯把电和磁说成是一回事；300 多年前，吉伯又将电和磁完全分隔开来，而近代的电子理论才将两者科学地统一起来。由此可见，科学上一个正确的理论、思想和认识，需要经历多少次迂回曲折，经过多少人前赴后继的努力探索才能获得啊！

通过前面的叙述，我们已经了解了电子的发现过程及电子性质和行为，这是我们从电世界转向电子世界的过渡。接下来我们就要迎接无线电电子学时代的来临了。

电子的发现和其性质与行为的了解，不仅开始揭开了原子结构的秘密和找到了电、磁、光与热的起源，而且向理论科学工作者提供了无限的研究机会；向他们显示了十分宽广的生活海洋，于是量子力学、波动力学、原子物理学、量子电动力学和相对论相继应运而生了。

电子的发现和对其性质与行为的了解，诱发起了人们控制电子、驯服电子和利用电子的强烈欲望，于是无线电电子学兴起了，电子世界的大门将向人类敞开了。

自然界真是奇妙，连现代最好的电子显微镜也远远不能窥察到的小小电子竟推动了偌大世界的前进。正如 2500 多年前古希腊最负盛名的学者毕达哥拉斯所说：“人类只有凭借智慧的探索，才能欣赏大自然的美妙。”

第四节 制造放射性元素的居里夫妇

居里夫妇提取放射物质镭是物理学方面一件十分有意义的工作，但他们的工作场所，却是一间十分破蹩脚的小屋。

它被熏得很黑，十分肮脏。棚子里每一件东西都经受风吹雨淋，铁锈和煤尘四处飞扬。就是在这样的小屋内，夫妇俩从成吨的矿渣中提取了 0.1 克的氯化镭。用他们自己的话说，他们在这小棚内“渡过了一生中最美好最幸福的时刻”。

这种镭盐的射线，几乎能穿透一切东西，它能把细菌杀死，也能让钻石生辉，更能使人们健康的肌体受到损害。但居里夫妇置这一危险于度外，他们出色的工作为自然科学史填写了极光彩的篇章。

玛丽·居里成了世界上唯一两度获得诺贝尔奖金的女性。1903 年，她与别人合作获得物理奖，1911 年独自获得化学奖。在这里，多花些笔墨记述这位伟大的科学家是十分必要的。

自然科学史上杰出的女性之一——玛丽·居里出生于波兰华沙市一个教师的家庭里，他的父亲曾在波德堡大学学习，以后在华沙的一家中学教数学和物理。母亲多年领导一个女子学校，但很不幸，小玛丽 9 岁时候，她就去世了。

小玛丽从小受到的是一种饱含炽热的爱国主义的教育。因为当时波兰王国是俄罗斯帝国的一个属国，强权俄化是波兰人民经常为恢复民族独立而进行反抗的根本原因。玛丽的父亲就是因为被怀疑有敌对情绪而失去了在学校的职务的。那个时候，抗议沙俄统治的主要成员中大多数是知识分子，包括教师、科学家、艺术家，还有天主教士等。

小玛丽在学校里学习几乎不存在什么困难，非凡的记忆力使她经常是班里的优秀生之一。她学习了 4 种外语——英、法、德、俄，运用起来几乎同使用波兰本国语一样自如。

每逢假期，她总愿意与兄弟姐妹们一起去农村住几天，

恬静的田园生活陶冶了她热爱大自然和热爱祖国的情操。因为经济上的原因，她中学毕业后不得不终止上大学深造的计划。她在远离华沙的一位地主家里当上了一名家庭女教师，一干就是6年。她在空闲时 also 去教庄园里的穷苦人——佃农、雇农及其子女，她使用的是波兰文字，这在当时是非法的，弄不好要招致监禁或流放。

她一边教书，一边还自常深造。“我一口气读好几本书……连续研究某一种学科可能使我宝贵的、负担足够重的大脑疲倦。当我感到自己完全不能有效地读书的时候，我就开始做代数和三角习题，因为代数和三角习题不容许注意力开小差，能使智力回到正道上来”。当她回忆起当家庭教师这段生活是曾经写过这段话，足见她的意志是多么坚韧和刚毅。

19岁那年，玛丽和地主的长子建立了共同生活计划，但是在地主家庭坚决反对的情势下，这位长子竟屈从了。社会的不公正，阶级的偏见，使年青的玛丽十分痛楚。

回到华沙以后，她成了工厂主的家庭教师，这时，她有机会从事于自然科学的试验，命运注定她作了这一职业选择。

24岁的玛丽进入巴黎的一家大学学习物理，但因经济的来源十分可怜，她不得不过着极度贫困的生活。她在回忆这段时间的生活时曾经写道：“这种诸多困难的生活对我来说曾充满了诱惑力，她给了我以自由和独立之感。我在巴黎举目无亲，自感是在大城市中被遗忘的人，我那自行其事和生活无援的境况，未曾使我苦恼过。如果说我有时也感到孤独的话，那么我通常仍然是平静的和满怀着内心的喜悦的，我把我的全部精力集中在学习上了”。她的心深爱着科学和事

业，在她的生活的字典里暂时删去了爱情和婚姻。

玛丽大学毕业后，为了寻找实验室，在 1894 年初结识了物理学家比埃尔·居里，那时她已 27 岁了，比埃尔·居里比她大 6 岁，他已创立了巨大的科学业绩，例如他研究了晶体的压电特性，创立了居里天平，他还研究磁性和温度的关系（后人称失去磁性的温度为居里点）。这些研究成果使专家们承认他是一位实验物理学大师。

他那博大的谦虚和胸怀，勤恳踏实的工作态度，无私的献身精神，深深地为玛丽所崇拜，他们结下了亲密的友谊。

1895 年 7 月，举行了婚礼，从此开始了他们共同的幸福的、但又是单调的、千篇一律的生活。婚后，比埃尔·居里继续研究晶体特性，后来索性与玛丽一起干开了——研究镭。

居里夫妇的全力以赴的科学合作始于 1898 年春天，合作的时间不算太长，因为自此以后 8 年，比埃尔不幸死于车祸，由居里夫人继续他们未完的事业。

科学事业上的成就促使居里夫人的爱国心更加强烈。夫妇俩通过测量证明了新元素的存在。“我们想把它命名为钋，以示不忘我们俩人之中一人出生的地点。”他们在一份报告中写的这句话显然指的是玛丽的祖国——波兰。

科学事业上的成就使他们的试验小棚处于“神话魔力的包围之中”，但他们却变得更加谦虚谨慎了，他们把追求科学真理看得高于一切，而把一切荣誉和物质享受置于脑后。

教育部长同意给比埃尔·居里颁发勋章，他却回答说：“我丝毫不需要什么勋章，但我非常需要一所实验室。”

1903 年，居里夫妇第一次从伦敦皇家学会得到了戴维奖

章，他们把这个珍贵的，用纯金压制的奖章交给了孩子们当玩具。夫妇俩认为黄金不过是富贵和权力的象征，他们心目中的实验室要比同等大小的黄金匣更为珍贵和庄严。

他们认为，他们从简舍陋棚中苦心提炼出来的化学元素镭“不应该使任何人发财致富”，玛丽·居里谈到镭的时候说：“这是元素，它属于整个世界。”她在谈到科学发现与物质利益的时候写道：“我丈夫和我总是反对从我们的发现中去吸取任何物质利益。我们从一开始就详尽无遗地公布了提取镭的方法，我们没有提出申请专利，也没有给自己保有供给者的特权。同镭有关的工业能够如此迅速地发展，只是由于我们发表的文章很详细。”

居里夫人对一位记者所提的问题尖锐地回答说：在科学中，需要关心的是事物，而不是个人。比埃尔·居里在谈到人类新发现的时候庄严指出：“人类要能够使用新的发现去谋求幸福，而不是为罪恶服务。”这里，居里显然指的是不能去搞罪恶屠杀。而当波兰掀起了革命风暴的时候，居里夫人毫不迟疑地从诺贝尔奖金中拿出巨大的金额寄到自己的祖国以支援起义者。

玛丽·居里失去了丈夫以后，不得不独自在实验工作，还得抚养两个女儿。这些打击是沉重的，同时也使她变得更加坚强了，她继续加紧她的工作。

第一次世界大战期间，她几乎把自己的全部才能和一切精力献出来为法国的保健事业服务。她有组织的巨大的才能，在她的领导下，建立了200个式伦琴射线装置，且把它们架设在汽车上。夫人本人则随同这些汽车走遍了法国北部战线

和东部战线的占地区院。

战后，居里夫人继续她的研究镭的工作。1921年春天，她应邀访问了美国，鲜花、旗帜、掌声、种种荣誉向她迎来，她常常难以摆脱欢迎者前拥后挤浪潮似的冲击。在美国旅行结束时，她的手上不得已扎上了绷带，因为一位狂热的女崇拜者在过于激动的握手中，使她的手腕脱位。这正如她的女儿所说的那样，她成了“荣誉的牺牲者”。居里夫人感到了盛名于世的沉重负担，因为她是一个本质严肃的人，始终不能掌握与荣誉相称的那些“做作”。

20年代，居里夫人健康状况开始恶化，她不得不经受几次眼科手术，甚至失明也在威胁着她。1934年7月4日，玛丽居里因病逝世于阿尔卑斯山疗养院，终年67岁。医生认为她患的是恶性贫血，这是放射性物质多年作用的结果。危险的射线也侵入了她的骨髓，引起了血液中的病变。玛丽居里被她自己所发现的化学元素所伤害，而那个“伟大的革命家镭”登上科学舞台时，从根本上震撼了经典力学，这个化学元素使她的名字更加光彩和永垂不朽！

在纽约举行的追悼居里夫人的大会上，爱因斯坦无限伤痛地说：“她性格刚强、她思念纯正；她严以律己；她处事客观和廉洁——所有这些品质很少在一个人身上兼而有之。她每时每刻都感到自己是在为社会服务，而她平凡的谦虚不曾给她留下自我欣赏的余地。她深感社会之残酷和不平，并因此身心常常受到压抑。正是这一点，赋予她外在的严峻表情——任何人为的压力软化不了的、奇异的严峻表情；而这种严峻表情曾为那些疏远她的人们所误解”。

人们将永远怀仿这位伟大而又谦虚、勤奋而又质朴的科学巨人!而这些可贵的美德,既里夫人所特有,也为其他许多科学家所共有。

第四章 脱胎换骨谱新篇

那么，电子科学，或简称电子学，它的研究对象究竟是什么呢？对于这个问题，一般的认为是，电子学是研究电子运动的原理、利用电子运动原理制成的器件、以及利用这些器件所组成的线路和系统。

20 世纪 40 年代以来，由于微波、激光、半导体、集成电路和计算机技术的迅速发展，使得“电子学”这一名称有了更新和更加广泛的含义。

它研究的对象不仅包括人类所熟悉的通信、广播、电视、雷达、导航、电子对抗、录音、录像、微波器件和设备、信息处理、电磁场理论、各类真空和固态电子元器件等，而且还包括了像自动控制、人工智能、生物程这样一些新兴的学科，并和信息论、控制论和系统工程学等学科互相交叉和渗透，形成了一个十分复杂的学科网。

第一节 真空二极管

一、驯服电子

到了 19 世纪末，无线电和电信设备的主要元件，如耳机（听筒），话筒（送话器），电容器和变压器等，都已陆续发

明并被实际应用到收、发报装置上，利用数百米长的天线，无线电波虽已越过大西洋。

但对一般的无线电报、发报装备来说，通信距离还是很有限制的。在 20 世纪开始几年，无线电报设备差不多都用于航海方面，因为海面上的舰船之间以及舰船与陆地之间是无法实现有线电报通信的。

当时发报机（发射机）仍是沿用原始的电火花式振荡发射机，它所发射出去的电磁波功率不可能很大；而收报机（接收机）中所使用的最重要中心部件仍是马可尼所用的粉末检波器，它既笨重又不可靠，灵敏度也很低。人们一直在想方设法增大发射机的无线电波发射功率和提高接收机中检波器的性能。

1906 年，人们发现了一种特别简单的检波装置，这就是现在大家都已熟悉的矿石检波器。它是利用钢针和某些矿石晶体——如辉铅矿或金刚砂晶体的接触而构成的一种高效率检波装置（现代锗和硅二极管的前身）。

这种矿石检波器的检波效率虽然比较高，但从发射机发射出去的无线电波强度在空间随着传播距离的增大而将剧烈地衰减，加之受到天线长度的限制，因此那时无线电通信距离一般不超过 200~300 公里。无线电通信大幅度地增大距离的办法是什么呢？

那时，人们开始设想：如果能发明一种电磁波或振荡电流放大装置，那该有多好啊！这样，一方面可用它将振荡电路所产生的振荡电流放大后再通过天线发射出去。另一方面，当距离发射机很远的接收机的天线接收到极微弱的电磁波

后，我们可以用放大装置将天线中感应的高频率电流放大到我们所需要的信号强度。

现在的问题是怎样创造这种特殊的放大器呢？为此人们就得求助电子来帮忙了。

发射天线中的振荡电流激起了天线周围电磁场的变化，天线中的振荡电流实际上就是电子在天线中来回地奔跑引起的。来回奔跑的电子数目越多，则振荡电流也越大，发射出去的天线电波也越强。同样，当电磁波传播到接收点后，就会在接收天线中激励电子来回运动，从而构成微弱的振荡电流。因此我们只须设法让更多数目的电子来回循环运动就行了。为此我们需要驯服电子和驾驭电子，这就导致电子管的发明。

二、爱迪生的发现

托乌斯·爱迪生是 19 世纪后半期和 20 世纪前期世界上最负盛名的发明家之一。他生平发明了电灯、留声机、自动抄报机、电影机等等大小 2000 多种供人们实用的新东西，但是现在很少有人知道，爱迪生敏捷的发明双手曾经触到了独霸无线电电子学世界达半个世纪的电子管的边缘。在他发明的年鉴上差一点儿加添了“真空电子管”这一重大发明项目。

19 世纪 70 年代末期。爱迪生致力于白炽电灯泡的发明工作。他试验了数千种用作灯丝的材料，最后选定了碳丝（碳化竹丝）作为灯丝材料。由于碳丝在高温下很容易蒸发汽化，当时灯泡寿命最长的也只有 1200 个钟头左右，因此爱迪生继续寻找延长灯泡使用寿命的改进方法。

到了 1883 年，爱迪生忽然萌发了奇思遐想：在抽空的灯

泡内另行封入一根不与灯丝相连的铜丝，也许能遏止碳丝的蒸发，以延长灯泡的寿命。于是他就进行试验。反复的试验丝毫没有获得他预期的延长灯泡寿命的结果，但却意外地发现了一个十分奇怪的现象，那就是当通电加热灯泡中的灯丝（碳丝）后，在铜丝与灯丝上分别加上正、负电压时（这时灯丝称为阴极，铜丝称为阳极），铜丝与灯丝之间竟出现了微小的电流。铜丝是绝缘地封接在灯泡上的，它并不与灯丝相连，电流从哪里来的呢？这个问题把著名的发明家难住了。

在此以前，人们知道只有在金属导体中才能有电流通过，金属导线是电的“河流”；但是现在爱迪生却发现电流能够飞越灯泡内的真空空间，在灯丝与铜丝之间流通。

当时电子还没有被人发现，阴极射线之谜还没有揭开，爱迪生当然不可能知道在20年后人们才搞清楚的这种“热电子发射”现象。但是爱迪生觉得他所发现的新现象可能有朝一日会有实用价值，因此正象他对待其他大大小小他的发明或发现一样，习惯地为这个新发现申请了专利权，并称此现象为“爱迪生效应”。

爱迪生与麦克斯韦和法拉第不同，他是一位注意实用和急功近利的发明家，他没有太多的兴趣去探求事物的原因；他不愿对自己所发现的新效应寻根究底地探索下去；因此当他申请到专利后就把“爱迪生效应”束之高阁不顾了。他不知道他已用人工加热灯丝方法从碳丝上发射出了第一批自由电子到空间，他实际上已站到电子管的门槛上而却没有升堂入室。

爱迪生一生发明了难以数计的与“电”有关的东西，这

些都已——记载在史册上，但是奇怪的是后来的一些传记作家们却多将“爱迪生效应”忽略掉了。近代控制论创始人美国科学家维纳曾把此效应看成是爱迪生一生最大的成就，因为正是这个效应引导弗莱明等人发明了决定无线电电子学兴亡命运的真空电子管。

三、弗莱明发明真空二极管

科学总是要越出国界的，爱迪生的新发现很快地传到了英国，引起了麦克斯韦的学生佛莱的浓厚兴趣和对“爱迪生效应”的探求热情。

通过一年的研究，弗莱明认为灯泡内的电流是从阴极（加负电压的灯丝）流向阳极（加正电压的铜丝）的带电粒子流。1884年，弗莱明到达美国，与爱迪生讨论此问题，并向他汇报自己对此效应的见解。但是热衷于实用发明的爱迪生对于原理探讨并无太多兴起，结果仍只留下弗莱明专心致志地继续探求“爱迪生效应”的实质。

19世纪最后十年，随着阴极射线之谜的揭开和电子的发现，给弗莱明的研究工作带来了光明。人们逐渐搞清楚了金属受热释放自由电子的所谓“热电子发射效应”。原来弗莱明当年所指的从灯丝发出的到达铜丝的带电微粒就是从受热灯丝释放出来的自由电子。这些自由电子飞越灯泡内已抽成真空的空间而到达铜丝，因而出现了电流。

1896年，马可尼无线电公司成立后，已成为马可尼无线电公司顾问的弗莱明在从事检波器的改进工作中，终于发明了真空二极管。

弗莱明希望能够控制驾驭从灯丝飞出的自由电子。

当灯丝连接到电源的负极和铜丝接到电源的正极时，从炽热灯丝（阴极）飞出的自由电子飞往灯丝与铜丝之间的空间，从而被加有正电电压的铜丝（阳极）拉去，出现了电子流和电流（注意：电子流与电流方向相反）。

如果我们将灯丝接到电源正极，铜丝接到电源负极，那么从灯丝发射出去的电子由于受到带负电压的铜丝的推斥而仍返回灯丝，因此就没有电子飞向铜丝，因而灯丝与铜丝之间没有电流流通。这样一来，正、负方向流动的交流电就变成了单方向流动的直流电（因为只有当铜丝电压比灯丝高时才允许有电流流过）。这就是现在大家都已知道的“整流”原理。

1904年，弗莱明想利用上述整流原理去对高频率的交流电进行整流，但是他发现整流的效率太低了。我们知道，在当年爱迪生发现“爱迪生效应”时，他所发现的整流电流是十分微弱的。使整流效应真正能在实际中应用，必须增大通过阳极和阴极之间的电流。

于是弗莱明把作为阴极的灯丝做得十分细小，使它只能释放电子而不会捕捉电子，而把原先作为阳极的铜丝加大成一块板状的电极（13-2），使它能捕捉更多的从阴极发射出的电子。这样设计的另一个好处是使阳极只吸收电子而几乎不发射电子。

因为在原先的结构中阳极也是一根很细的铜丝，且紧紧挨近灯丝，铜丝本身虽然没有象灯丝那样通过加热电流，但由于炽热灯丝的热辐射以及自由电子的轰击而它的温度也显著升高，从而也会或多或少地发射自由电子。现在阳极是一

块较大面积的金属板，热容量很大，所以几乎不释放电子。这样，阳极就成了专门收集或捕捉电子的电极，阴极变成专门发射电子的电极，这就完全不同于原先的灯泡。

弗莱明把他的这一发明称作“热离子阀”，意思是对电流起到了阀门的作用。后来人们管它叫真空二极管。

把灯泡内的空气抽走，使管子保持一定的真空度是必要的。因为如果管内留有大量空气，空气的原子和分子很大，从阴极飞出的电子就会撞上它。电子与空气一碰撞，就走不动了。

另外，当管内存在空气时，炽热的阴极就会立即烧毁。这就是为什么灯泡和所有电子管管内都要保持真空的缘故，这也是人们常把电子管叫做真空管的原由。

现在大多数真空二极管和真空三极管（电子管）的阴极是与灯丝分开的。灯丝只用来加热它上面覆盖着的表面涂有白色氧化物的阴极，这种白色的金属氧化物加热到一定温度后就能发射出大量电子。

弗莱明所发明的真空二极管成功地取代了原先应用在收报机中的笨重和低效率的粉末检波器。在 20 世纪 40 年代晶体检波器发明前，它是无线电设备中广泛使用的唯一检波器（1906 年发明矿石检波器，由于检波性能不稳定和可靠性差，所以此后并未被普遍采用，但这种廉价检波器却受到业余无线电爱好者的欢迎）。

电子管的发明标志着人类控制电子、驯服电子和驾驭电子的开始。从此微乎其微的电子将为人们进行各种各样的出色劳动，成为人类忠心而能干的“仆役”；从此各种用途的电

子器件陆续涌现出来，开创了繁花似锦的电子学世界。

第二节 真空三极管

弗莱明是为了取代笨重、低效率的粉末检波器而去发明真空二极管的，但是在无线电发展中起作用的真空三极管却已经孕育于弗莱明所发明的真空二极管之中了。

一、德·福雷斯特的创造

大概在 1906 年前后，德·福雷斯特想把弗莱明的真空二极管改造成为能放大电流或电信号的电子管。为了控制和驾驭真空管中自由电子的运动，他在阴极与阳极之间加进了一个控制电极。

在阴极和阳极间安置了一个栅栏形的电极，称为栅极。这个栅极有控制电子的功能，它的作用有点象百叶窗。栅极打开的时候，所有的电子都可以畅通无阻地通过它，跑到阳极上去，正好像百叶窗的叶板全部开启的时候阳光可以射到房间内来一样。但是当栅极逐步关闭的时候，通过栅极跑向阳极的电子数目就越来越少了。这犹如百叶窗的叶板一点点闭合时，射进房内的阳光逐渐减少一样。

那么如何控制栅极的开启和关闭呢？显然，这里是不能应用机械开关的，因为这里所要求的控制速度是极其快的。德·福雷斯的巧妙地借助于栅极上电压的大小（或电位的高低）来控制所通过电子的多少。

如果栅极的电位比阴极低许多时，那么带负电的自由电子运动至栅极附近时将易被栅极弹回到阴极附近区域，因为

处于负电位的栅极一定要排斥飞来的自由电子的。栅极电位越低(相对于阴极来说),能够通过栅极到达阳极的电子越少,也就是通过管子的电流越小。这样,栅极成了指挥电子前进与否的“交通警察”。

加入栅极后的管子称为真空三极管,而电子管是真空二极管和真空三极管以及其他多电极管子的总称。栅极通常是盘成螺旋状的一根金属丝(钼丝),或者是一片状的金属网,有时也可能是一片打满小孔的金属板。在真空三极管中,连接正电压的阳极一般称作板极,因为它是一块板状的电极。一般真空三极管的板极往往作成圆筒形,网状栅极套在阴极外面。

二、神奇的放大作用

下面我们看一下这种管子的最重要作用——电流或电信号放大作用。

从上面我们可以知道,当加在栅极上的电压变化时,到达板极的电子数目也随之变化,这也就是说通过管子的电流大小将一丝不苟地跟随着栅极电压的变化。由于栅极紧紧接近阴极,栅极电位的微小变化就可以使板极上所收集到的电子数目发生很大的变化。因此当栅极上输入很小的交流电压时,通过管子的交流电流幅度起伏变化就会很大。

如果我们要得到放大的电压,那么只要在板极与电源之间串接一个较大阻值的电阻,就可以在电阻两端取出放大的电压。

通常在真空三极管正常应用时,栅极相对于阴极总是呈负电位,因此从阴极发射的电子不会被栅极收集,所以栅极

几乎不吸收任何电流，这就使得输入到管子栅极的待放大的交流电压（信号电压）几乎不构成输入电流或者只出现非常微小的输入电流。

由此我们可以看出，三极管放大电流的能力是非常强的。有了三极管，我们就可以将很微弱的电信号放大到足够强度。

譬如从遥远地方传来的无线电波在接收天线中感应出（激励起）微弱的高频电流或高频电压（电动势），现在我们可以用真空三极管将它们放大千倍、万倍，甚至数百万倍，因而大大增大了通信距离。对于发射机来说，应用大功率电子并将振荡电流放大到足够强度后，再通过发射天线发射出去，那么在空间传输的电磁波强度也大大地增强了，从而也使通信距离大大地增大。

也许读者会纳闷：通信用无线电波的频率很高，即使以那时所使用的长波来说，也有 500 千赫以上，因此要放大这样的无线电信号，管子栅极上的信号电压方向和大小每秒钟要循环地改变 50 万次以上。真空管中运动着的电子能够跟上栅极电压如此迅速的变化而完全受后者的控制吗？

回答是肯定的。管内电子能否跟上栅极电压的迅速变化完全决定于电子在真空管中的运动速度。如果电子速度很慢，它从阴极发射出去后，慢条斯理地通过栅极而跑向板极，那么它就跟不上栅极上信号电压的迅速变化。只有当电子从阴极穿过栅极后飞到板极所需的时间远小于栅极上信号电压变化一周所需的时间时，通过管子的电流才完全一丝不差地跟着栅极上的信号电压发生变化。

幸好电子在真空管中的运动速度很快，即使在普通电子

管中，飞离阴极的电子以每秒钟数十公里以上的高速度跑向板极，因此从阴极到板极用不了一千万分之一秒的时间，而对于 500 千赫的长波来说，电信号循环变化一次所需的时间却为 $1/500000$ 秒。因此德·福雷斯特发明的这种电子器件是能够作高频放大用途的。

最初的真空电子管是仿照电灯泡的，管基是一个多脚插头，可插入管座。到 1913 年，出现了许多使用真空电子管的电路，如检波、再生反馈、高频振荡等，它们的发明者也先后获得了专利。

1917 年，菲利普炮厂化学试验室的助理舍尔曼制出了一个具有两个栅极和两个阳极与灯丝平行的三极管。这个电子管真空度并不同，增益却很高。1919 年 2 月，在荷兰乌德勒支工业博览会上，人们利用菲利普公司制造的电子管进行了范围为 12 公里的通话现场表演。

电子管被发明出来了，但却迟迟不能用于工业生产。这里一条主要原因是政府希望能将这种新的发明保留起来用于军事目的。另一个原因是有关真空管及其电路的专利权为几个不同的公司所掌握。所以直到 1921 年，“美国无线电股份有限公司”成立，将马可尼、贝尔电话、通能电器、西屋和阿姆斯特朗几个公司的专利集中起来后，才真正开始将真空三管付诸于工业生产。

三极管的发明对无线电电子学的兴起有着不可估量的意义。它不仅仅起到了放大电信号的作用，而且以后逐步发展成为能对电信号进行其他各种处理的万能器件(如具有振荡、检波、混频以及其他形形色色的功能)。从此无线电技术沿着

康庄的发展大道疾驶。

三、电子管的发展

电子管的阴极是发射电子用的，为使电子自由逸出，需要给予它一定的能量。管子阴极所允许的最高温度取决于材料的熔点和蒸发率。为使材料具有合理的寿命，钨阴极一般允许加热到 2400，由于钨的许可温度高，所以钨丝仍然在大型发射管中广泛应用。

氧化物阴极一般只允许加热到 900 左右，这时它的电流达 70~80 安培/厘米²。氧化物阴极通常由氧化钡——锶制成，有时也含氧化钨的成份，它们在比钨阴极低得多的温度下却具有大得多的电子发射能力，但因为不易拉成丝，所以总是以涂层的形式将它们涂敷在基片上。

氧化物阴极又是十分娇气的，玻璃管内稍有杂质污染它便会因“中毒”而失去功能，因此一般总在真空电子管内加有清洁剂，以净化真空空间。栅极本身不允许发射电子，但它可以控制阴极电子的移动，它大多用坚韧又不易氧化的钼制成，讲究的栅极还在钼表面上镀黄金，用以防止二次发射。

由于电子管的生产工艺比较复杂，因此在生产的初期，50%的废品率也不算高，到 1945 年才下降到 15%。

1936 年，一种新型的电子管问世、它有圆柱形外壳，在扁平的管基上可以将引入线封接起来。美国无线电公司和德国德律风根公司利用这个设计制造了金属壳电子管，整个结构的机械强度大，耐震外壳的屏蔽性能也好，但造价较高。

1925 年，有人发明了五极电子管，除了控制栅极以外，出现了抑制栅极；1934 年前后出现了八极电子管，它具有六

个栅极，并很猴用于超外差式收音机。40年代，荷兰菲利普公司已制造出了适用于短波的真空电子管，EF50型短波接收管开始用于军事雷达。同时，美国人生产了小型七脚型，管子很轻，管座中的簧卡能很容易把管子固定住。

后来，出现了一种诺伐型电子管，菲利普公司生产了一种小型九脚管；1964年，美国人生产了一系列十二脚电子管，用众多的栅极可以进行十分复杂的组合。

电子管的管脚数增加了，功率也随之增加得很快。现在，单个发射管可以做到100千瓦，美国之甚至用1000千瓦的超大功率进行对外广播。真空电子管在晶体管的强大挑战面前仍在继续发展。

20世纪上半世纪大多数电子装置都是电子管的巧妙运用。今天有几百种各式各样的电子管，有的像顶针那么小，有的像巨人那么高。

继真空电子管以后，电子器件的频率也向更高的方向发展，提高频率的目的不单是为了提高传递信息的速度，也是为了提高诸如雷达等探测设备的鉴别率和分辨率。因为只有频率更高，波长更短时，才能使用不大的天线，把天线电波的发射和接收限制在更小的角度之内。

微波电子器件能在 10^9 赫兹~ 10^{11} 赫兹这样的高频下工作，也就是说它们能工作在米波和厘米波段。目前，无线电设备中应用得最广泛的微波器件是多腔磁控管、反射及多腔调速管、“O”型行波管、返波管、泊管，还有一些特别型式的三极管和四极管等。

20世纪30年代，对微波器件的研究主要处于实验室阶

段，首先研究的是速调管，行波管和脉冲磁控管，它们主要用于大功率发射和雷达。

30年代末期，瓦里安兄弟就因研制出有关速调管的新型微波放大器和振荡器而震动了电子学界。当时，这种器件被瓦里安兄弟称为振荡器而震动了电子学界。当时，这种器件被瓦里安兄弟称为谐振放大器，后来，人们把它称为微波谐振器。

速调管的作用是使穿过空隙缝的电子束中的电子加速或减速，或者从电子速形成的对流电流获得能量。所以它是一种非常有用的器件。迄今为止，这种“速度调制管”是作为一个“放大器”来讨论的，它广泛地应用于定向发射机和雷达的本机振荡器，效率和增益十分高。

多腔速调管又用于电视发射机，它能调制400至960兆赫的频率，并且有6兆赫的带宽。反射速调管工作波长为毫米级，频率在极高段上。

第二次世界大战期间，奥地利一位建筑师鲁道夫·康普佛纳在英国发明了行波管。由于他对物理学很感兴趣，他曾在英国海军部研究过微波管，后来在牛津大学获物理学博士学位。

康普佛纳采用一种以行波来影响电子的方法。他设法产生一种波，这种波在电子前进的方向上具有电场，这样就在电场强度增大时，使进入该电路的电子继续处于正在增大的电场中；反之就处于减小的电场中。行波管具有很宽的频带，有一种型号为YH1170的行波管可在5800至8500兆赫的范围内提供40分贝的增益，在这么大的频宽范围内起放大作用。

是很有价值的。

1954年，威廉·肖克利发表论文，探讨了微波固体器件的理论。他推测，只要使一块均匀半导体受高电场的作用，就有可能产生负微分电阻的两端器件。1957年，江崎发明了隧道二极管，但由于这种器件输出功率太低而另人失望。

1958年，里德提出了多层二极管的概念，后人称为里德二极管，它产生的微波功率实际上和肖克利提出的“滤越时间”的概念是一致的。到1965年，已经可以从雪崩器件获得脉冲输出功率了。

1963年，里德利提出了多层二极管的概念，后人称为里德二极管，它产生的微波功率实际上和肖克利提出的“渡越时间”的概念是一致的。到1965年，已经可以从雪崩器件获得脉冲输出功率了。

1963年，里德发表了有关固体特有的“负电阻”的论文，指出半导体中的电子会在不规则的高场中产生聚束现象。两年以后，J. B. 耿氏在研空半导体电噪声时，观察到砷化镓(GaAs)样品在每厘米几千伏的脉冲电场作用下会发射出瓦级的微波噪声功率，当他采用小于0.2毫米的短样品时，这个噪声就变成具有对应于渡越时间频率的相干微波振荡。人们把这一现象称为耿氏效应。现在，耿氏二极管一般属于转称电子器件。

1966年，美国无线电公司发现了雪崩二极管的俘越工作模式，它涉及到器件与微波电路之间极复杂的相互作用。等离子体雪崩渡越二极管由于可以满足高峰值功率、高占空系数、高效率等条件，它已成了相控阵雷达系统放大器的主要

竞争者。

第三节 晶体管时代的来临

一、半导体的发展

以电话发明人贝尔的名字命名的贝尔研究所以它独特的工作方式，崭新的创造发明而著称于世，它具有先进的技术装备、精明的研究人员和雄厚的经济基础。1947年，贝尔研究所的一项发明成果，足以影响我们一代人、甚至几代人的生活。

那一年，美国的3位物理学家——威廉·肖克利、约翰·巴丁和沃尔特·布拉顿，正在位于新泽西州的贝尔电话研究所工作，他们发现了半导体晶体对电信号的放大特性。小小的晶体，微弱的电流，震动了整个电子学界。

在这以前，人们只知道受压的半导体晶体可以产生微弱的电流，这就是电唱机里应用的压电效应，但是人们并不知道产生这一效应的原因。

物理学家开始对半导体材料感兴趣起来了，贝尔研究所则把重点放在对锗、硅晶体特性的研究上。

3位物理学家在一小块这类材料上布置了三个触点，当在两个触点上通以一小电流时，第三个触点上就获得了一般要大得多的电流。进一步的试验使他们能通过调节输入电流值去改变第三极上大电流值的大小。现在看来，这就是最早的晶体三极管了。这真是求之不得的奇迹。

1947年12月33日，被肖克利等3人成功地试验过的一

支半导体三极管的放大倍数已达到了 18，不久以后他们又制出了 40 倍和 100 倍的半导体三极管。1948 年 6 月 30 日，贝尔研究所正式宣布：晶体管诞生了。

在这以前，电子管是电子学中得心应手应用的工具，它能对高至 50 兆赫的频率、250 千瓦的功率进行整流、放大、混频和开关。新诞生的电子器件——晶体三极管，比起真空电子管来，优点就很多了。

普通电子管大约需要 2 瓦的能量，以使阴极保持一定的温度，同时还得设法排走这些热量，这是一个致命的缺点。而半导体三极管体积小，耗电少，没有发热的灯丝和热电子发射，寿命也要比电子管长得多得多。

几年的发展，使晶体管的制造成本大幅度下降了，这就是使它能在商品化方面具有与真空管挑战的强大能力。

贝尔研究所首先研究的半导体材料是锗如硅，它们也是目前世界上主要应用的半导体材料。后来，人们逐渐发现，在元素周期表上具有半导体特性的元素有十几种，例如硼(B)、碳(C)、硅(Si)、磷(P)、锗(Ge)、砷(As)、硒(Se)、锡(Sn)、锑(Sb)、碲(Te)和碘(I)都是具有半导体特性的。

上述 11 种元素中，并不是在所有形态时都具有半导体性质的。元素锡按其结晶结构的不同就有 α -锡和 β -锡两种，只是前者才具有半导体特性。更不是所有具备半导体性质的元素都具有实用价值，这也就是为什么半导体元素中只有锗、硅等几个少数元素获得十分广泛应用的原因。

另一类半导体材料是化合物，被称为化合物半导体目前普遍受到重视，并集中进行研制的有砷化镓(GaAs)、磷化镓

(GaP)、磷化铟(InP)、砷磷镓铟(InGaPAs)以及锌(Zn)、镱(Gd)、汞(Hg)、硫(S)、硒(Se)、碲(Te)等元素组成的化合物。化合物氧化铜和碳化硅的应用历史较长，近年来又重新获得研究者的重视。

半导体工艺中有一种被称为外延法的工艺方法，即以—种半导体单晶薄片作为衬底，通过汽相沉积或液相重结晶的方式，沿着衬底的晶向生长出一层单晶薄膜。用外延法生长的材料，被称为异质结半导体，它的衬底和外延层是两种成份完全不同的材料。如在蓝宝石或尖晶石上外延生长出硅的材料，在砷化镓衬底上外延生长固溶体镓铝砷的材料等，就是异质结材料。

普通玻璃的原子排列十分紊乱，有时只在一个十分小的范围内，譬如说在几十个原子的间距内，稍稍有点秩序，但随着距离的增大，不规则的偏离越来越明显。因此，从大菱围来看，原子排列还是杂乱无章的，人们把具有这种结构特点的固体叫做玻璃态材料。

自然界中许多玻璃态材料具有绝缘的特性，但在某些特定的条件下，玻璃态材料也具有半导体。近些年来发现一些有机物，如萘、葱聚丙烯腈等也具有半导体的特性，它们就被称为有机半导体。

二、更小更省

晶体三极管被发明的初期，由于人们对半导体材料的提纯、杂质的掺入浓度等掌握不好，历此人们对它仍保持半信半疑的态度。20世纪50年代和70年代，处理半导体材料的工艺方法有了很大的提高，人们掌握了提纯半导体材料的方

法，并先后获得了高纯和超高纯的单晶锗和单晶硅。至种类繁多半导体器件，进入了市场。电子技术的发展又开始进入一个新的阶段。

如果说半导体材料中第一代是锗，第二代是硅，那么化合物半导体砷化镓就可当第三代的称号了。用砷化镓制成的雪崩二极管、变容二极管、肖特基势垒二极管、场效应二极管和微波集成电路等在激光雷达、激光通讯和超小型固体雷达待方面获得了应用。

化合物半导体碳化硅在温度高达 2000 时仍很稳定，所以它是很有前途的高温半导体材料。玻璃半导体材料在通常条件下并不具有半导体特性，只有在电压、光照等条件改变时才呈现出半导体特性，人们对此地很感兴趣。

半导体三极管的问世使广播事业空前兴旺起来，晶体收音机以它的雄辩的优点，一下子吸引了几乎所有消费者的兴趣。

日本在小型晶体管收音机的生产方面后来居上，并始终保持着领先地位。美国政府预见到了晶体管在军事和宇航领域的重要性，它拨出巨款让工业界开展对硅材料的研制。没过几年，美国的一些公司便掌握了硅材料的提纯、溶炼和扩散技术。用硅材料制成的晶体管稳定性好，耐高温，它的性能更容易控制。一个硅二极管承受的电压虽然只有几十伏到几百伏，但迭装的硅二极管(指二极管的串并联)能和发射机用电子管整流器竞争。

第四节 从晶体管到集成电路

我们已经谈到了 1947 年贝尔实验室肖克利等人发明的晶体三极管，那时用的是锗材料，并且是点接触的。当时，肖克利等人就发现点接触式的晶体管增益低，噪声大，带宽窄而且器件参数十分分散。于是，他们提出了结型晶体管的建议，即管子的工作效益不是依靠尖端接触处的传导电流，而是依仗于扩散效应。

在所谓双极型电子器件里，扩散效应是由于两种载流子同时工作的。一种载流子是电子，这为大家所熟知，另一种奇怪的粒子与电子反向等效，这就是狄拉克所说的空穴，他可以用量子力学的空穴理论作出圆满的解释。

通过对晶体管工作的理论分析，人们意识到，除非得到超纯度的单晶，否则，晶体管就不可能可靠地工作。1949 年底，贝尔实验室的梯尔拉制出第一批单晶锗，以后又拉制出单晶硅。

单晶的纯度很高，杂质的原子密度远小于十亿分之一。这时，可以意识地掺入一杂质，比如说一个亿个原子中掺有一杂质原子，晶体的性质就可以受人们的控制。

早期制作晶体管用的材料既有硅也有锗，人们比较了锗和硅的特性后了解到，当温度大于 75℃ 时，锗管的特性大大变坏了。而 1954 年德克萨斯仪器公司研制的硅晶体管却可以耐 200℃ 的高温。所以，一直到今天，绝大多数电子器件都

是用硅制造的。

但电子工业前进的步伐是那样异乎寻常的迅速，以致人们好不容易才适应由于晶体管出现而引起的变化。不久又面临着新的考验，因为双发现了用硅晶体制造电容和电阻的方法。

在平面硅晶体技术中，只需经过一系列工艺处理，就可在单块晶体上制造出二极管、三极管、电阻和电容。这些工艺处理通常包括氧化外层；被覆光刻胶，对一定的表面施加“掩模”，曝光，洗掉没有曝光的光刻胶；腐蚀氧化硅保护层；在形成窗口的地方扩散一定的材料；通过蒸发形成一个金属膜等等。这样，便形成了一整套完整的集成电路工艺。

在集成电路出现以前几年，就有许多人在不同的场合提出过把单个元件集合在一起以减少的设想。

1952年，离贝尔试验室的肖克利等人发明晶体三极管仅4年，英国的一位科学家达默就在皇家雷达研究所的一次电子原件会议上发表了有关集成设想的演说。

他说：“随着晶体管的发明和半导体技术研究的进展，目前看来可以期待将电子设备做在一个没有导线的固体块中。这种固体块由一些绝缘的、导电的、整流的以及放大的材料层构成，而把每层分割出来的某些区域直接相连，可以实现某种电路功能。”达默的这一全新的概念比基尔实现的集成电路要早6年。

比起单个元件来，集成电路的优越性是无与伦比的。集成电路所占的体积很小，而且功耗也十分微小。在分立元件的电路路上，通常要用两个电阻分压，若一个阻值高20%，另

一个低 20%，分压值仍然是正确的。

集成电路最容易实现二极管和三极管的功能，高频和低频的放大电路也可以由集成电路去实现。后来逐步发展到在一个晶体上设置了许许多多迴路，这就是所谓大规模集成。用这种方法制成的晶体管存贮器，可以与传统的磁芯存贮器相抗衡，大规模集成存贮器甚至比磁芯存贮器具有更多的优点。

20 世纪 60 年代初期国际上出现的集成电路产品，每个硅片上的元件数在一百个左右；1967 年前后出现的所谓中规模集成电路，元件数增加到了 1000 个；1970 年就很快激增到 10000 个；到 1975 年超大规模集成电路问世，元件数达到了 10 万个以上。

现在已有属于第五代的产品，被称为超级大规模集成电路，每个硅片上集成的元件数达 100 万个以上。20 年间，集成度提高了 1 万倍！

但也有人认为，大规模集成指的是在一块晶片上制作 4000 件以上的触发电路，因为触发电路是数字电路的基础电路，用它作为集成度的基本单位要更加合理些。这一点，还是留给分类专家们去争论吧。

对于整个人类来说，现在的产品，属于第几代，或者叫什么规模集成电路，那并不重要，语言宝库里不乏称呼它们的词汇。重要的是，人们还得继续辛勤劳动，以更多地享受微电子技术的发展所带来的好处。

事实上，自 20 世纪 80 年代以来，集成电路的集成度还在不断提高。美国国际商用机器公司已经研制成功每个硅片

上的元件数超过 1 亿个。当然，这还并非集成度的最高极限。

第五节 表面科学与硅工业

正像冶金、化学以及三束加工技术推进了集成电路工艺一样，大规模和超大规模集成电路的发展也必然会推动某些称之为边缘学科的新兴科学的发展，表面科学和表面、界面分析技术就是其中之一。

通常，表面是指在固体边界上那些具有不同于体内物相的原子层，一般包含几个原子的深度，其厚度约为几埃几十个埃（1 埃= 10^{-10} 米）。这虽然是个很小的数字，但它已是可以和集成电路中元件的厚度相比拟，所以它的作用已不能忽视了。

尤其是当两种材料的表面重叠在一起形成所谓界面时，即使在室温下通过相互扩散和固相反应造成的界面层也可达 100 埃左右，因此只能把它们看作是高密度的缺陷层，它既对界面的物理、化学性质产生影响，也影响微电子器件的电学性质。可以设想，它对更细微的器件，例如超晶格器件和三维集成电路中的器件的影响将是多么严重！

因此，国内外许多有远见卓识的学者，那一致指出应深入研究表面和界面，以促进集成电路继续发展。事实上，也的确是这么做的，表面科学研究已在许多高等院校、研究所兴起。

现在看来，至少应研究表面原子的性质及其沿平面方面和深度方向的分布特性，吸附和沾污特性；研究表面原子的

周期性排列以及表面的形貌；研究表面原子的振动、扩散、再构和外延生长、外向和内向扩散等特性。因为完全可能正是这些因素，影响着集成电路的性能和产品合格率。

不仅对集成电路，而且对其他电子器件例如固态和真空显示器件、约瑟夫逊器件、电荷耦合器件等，研究工作也会对这些期间的改进产生很大的影响。

表面和界面科学虽然被称之为是一种边缘性学科，但它的基本原理仍然是借助各种粒子，例如电子、粒子、中性粒子和光子等与固体、液体乃至气体分子的相互作用。当发生作用时，激发出携带表面集息的粒子。界面科学的内容大多属于电子物理学的范畴，它与电子学是不可分割的。

集成电路一出现，电子工业真正的奇迹性飞跃便开始了。寻根问底，奇迹性的飞跃源于“奇迹硅片”。而奇迹硅片的集中生产基地又是世界地图上都很难找到的奇迹般的小地方——美国硅谷。

今天被称为“硅谷”的地方，指的是美国西海岸、加利福尼亚州旧金山以南的圣克拉拉这一块地方，南北长约 40 公里，东西靠山，是一片实实在在的谷地。这里有得天独厚的良好环境，北纬 30° 左右净的宜人气候，阳光灿烂，四季如春，常年没有风沙，空气纯净，落基山脉的雪水，犹如琼浆玉液，滋润着这片 1300 平方英里的土地。谷地地方中小，但它的影响是很大很大的。

美国“硅谷”的形成，得力于谷地北端的斯坦福大学和其他两所高等院校、九所专科学校和许许多多的技术学校。斯坦福大学的技术力量雄厚，以研究科技尖端工程为主要任

务，她在半导体工艺研究的开发方面是有成就的。她和别的许多学校一起，与各生产企业和公司签订合同，转让技术。

“硅谷”以微电子技术闻名遐尔。与“硅谷”并列的还有得克萨斯的“硅平原”，日本九州的“硅岛”以及从宇都宫到盛冈的东北新干线沿线的“硅路”。它们几位并列，号称称为当今世界四大微电子工业基地。

自 20 世纪 60 年代初掀起的电子热潮，促使人们开始兴建“硅谷”的热潮。可以毫不夸张地说，当今世界，“硅谷”遍地。

那么，建设“硅谷”，需要什么样的条件呢？世界上许多经常学家、企业管理专家、决策能手、智囊人物都有自己的分析见解。考虑到因素的众多繁杂，专家们往往将许多条件送到电子计算机中去，请计算机帮助运筹决策。为了清楚地阐述这个问题，我们有必要分析一下集成电路生产企业的情况。

硅电子工艺学作为一门十分有用的工艺学已引起越来越普遍的注意。在生产集成电路的工艺步骤中包含着许多复杂的物理、化学现象，为了改善产品的性能和提高产品的技术训练。此外，对于生产集成电路的工厂来说，也必须具备一定的生产设备和手段，以确保各工艺过程的顺利进行。

一个成功的生产集成电路的工厂必须要有良好的生产管理，熟练的生产工人，聪明能干的技术人员以及精选的机械设备、测试手段和它们的合理布局。在建立起一条流水线以前，必须充分考虑合理的工艺程序和为今后发展留有一定的余地。在选取设备时，应极其谨慎，优先挑选那些耗能少，

噪声低、污染轻或者带有污染处理设备的机械。当然，这些机械又是操作人员便于掌握或经过短期培训就能熟练使用的。此外，在机械报废之前，应该设想好工艺步骤的可能的改变。

集成电路的形式是千变万化的，它们的生产工艺和所需的工装设备也各不相同。一个高效率的集成电路工厂，它们共同的特点是：

清洁的环境；

有事业心、责任感和上进心理的各类工作人员；

各类机器设备有良好的重复性；

对原材料的精选以及对材料可能带来问题的预测和分析；

不断改革加工工艺，增设或简化工艺时应考虑到相对稳定，以达到完善的工艺流程；

对重大投资和发展方向有预测并具备应变能力；

逐步增大自动化作业的范围；

强调生产成本和利润率；

产品质量的严格控制；

不断扩大电子计算机的应用范围；

了解和熟悉市场。

实际上，在上列每一条中还可以分离出许多更细的内容，以保证原则条件得到满足。例如，为使环境保持清净干净，必须考虑：

尽可能减少化学用料；

回收溶剂或使之再循环；

实行去离子水的再循环；
提高能源利用率，全力控制污染等。

在集成电路的生产过程中，化学水质是极为重要的。日本电气公司下属的一家生产集成电路的工厂，他们的制水系统中有几个水箱，一次工厂放假，谁也无暇顾及这几个水箱会给假日后的生产带来什么问题。

但在后来发现，假日后生产出的大量集成电路报废是由于水箱内生长和漫延了大量的细菌在捣乱的缘故。停产整顿后改用无水箱循环系统，解决了过滤和杀菌的问题，集成电路的报废问题也就迎刃而解了。

加拿大渥太华市一家微系统公司，过去一直是采用离子交换的常规工艺制取纯净水的，这对制造一般的集成电路水质已很高，但在制造 MOS 大规模集成电路时，成品率就大大下降了，以后采用反渗透法来制取超纯水，水质有了更大提高，MOS 大规模集成电路的成品率也有了显著的提高。因为经过反渗透法处理过的超纯净水，其中的尘埃粒子不超过 10 个，而用弱酸弱碱离子交换得到的超纯净水，每毫升中就包含 1000 个以上的尘埃微粒。

原水中除了包含大量的尘埃微粒外，还有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 K^+ 、 Fe^{2+} 、 Al^{3+} 等阳离子、 $(\text{SO}_4)^{2-}$ 、 Cl^- 、 $(\text{CO}_3)^{2-}$ 、 $(\text{HCO}_3)^-$ 、 $(\text{PO}_4)^-$ 等阴离子；溶解于原水中的有机物质主要有混煤、有机铁、有机酸、有机碱、碳水化合物等。此外，在原水中还有细菌、藻类及其他浮游生物。

而半导体器件基本上是以高纯单晶为基础的，有目的地掺杂可以改变单晶的特性。但是，许多无用的、分布没有规

律的杂质，即使它们的量极少，也足以使器件性能变坏和失效，所以水质不纯就会直接影响集成电路的质量。因为在集成电路的制造过程中，要经过多次化学处理和化学清洗，而芯片对尘粒和化学离子的沾污十分敏感，所以几乎在每道工序后都要用超纯水清洗，故超纯水成了集成电路生产工厂的命根子。

另外，还必须考虑到，在集成电路的生产过程中扩大电子计算机的使用范围已是时代的潮流趋势了。使用电子计算机进行生产管理和对生产过程予以控制，不仅可以提高产品产量而且可以保证产品质量。

近年来，生产过程中使用一些自动化的机械以控制外延层的生长、离子的注入和金属淀积、等离子体淀积，这些自动化机械都是以微处理机控制为主要特征的。工序控制计算机可以用来直接监视工艺参数，或者通过微处理机，保持对机器中出现反常现象的控制处理（如漏气、堵塞、热电偶老化等）；对所有同类机械的性能进行比较；对时间，日期进行精确的记录。

还可以用计算机收集测试结果，给出数据图表、产量分析的动向和许多其他有用的资料。集成电路工厂的计算机系统还可以被用来收集情报信息、分析和通信工作。从总厂到分厂，或从总公司以子公司，计算机之间的信息传递可以通过一些像人造卫星之类的先进设备，它在解决问题和作出决策中发挥着超乎寻常的威力。

第六节 微电子技术

微电子技术是各种高科技中的关键技术，是发展电子信息产业和各项高技术的基础。70年代以来，微电子技术的飞跃发展，为电子计算机的广泛应用，开辟了广阔的道路。

一、什么是微电子技术

传统的电子技术以真空电子管为基础元件，在这个阶段产生了广播、电视、无线电通信、仪器仪表、自动化技术和第一代电子计算机。现代的微电子技术是建立在以集成电路为核心的各种半导体器件基础上的高新电子技术。

集成电路的特点是体积小，重量轻，可靠性高，工作速度快。例如，1990年日立公司制造出的64MB动态存储器（DRAM），是在198平方毫米的硅薄片上，制作了1.4亿只晶体管，光刻的基本线宽是0.3微米，它可以储存400万个汉字。现在商用的DRAM的储存值可达1024MB。

集成电路是电子计算机的基础，它的作用和功能性往往是通过计算机表现出来，而且集成电路的规模越来越大，集成电路也越和计算机相衔接、相融合。例如，单片机是将1台小型计算机制作在1片硅片上，它既是集成电路又是计算机。

微电子技术不仅是各种科学技术水平的突出标志，而且对于经济建设和国防建设具有战略意义。

1. 行业改造的关键是引入微电子技术

改革开放的大潮推动着各行各业日新月异地发展，各种传统行业面临的中心任务是进行行业改造，技术更新，发展新的生产力，其关键的一步是将微电子技术引入本行业。

例如，我国的机械加工产业十分庞大，有大量的机床在工作，而且每年又有大量的新机床投入使用，我国的机床加工有相当雄厚的力量和水平，而且有一定的出口量。但是，传统上的机床加工效率低，精度差，就是能出口，也是廉价的低档产品。

然而，引入微电子技术之后，使普通机床成为数控机床，其加工效率和精度大幅度提高。所以，近年来机械工业对正在运行的机床进行大规模的改造，使之程序化、数控化。

机床作为出口项目，一旦加上数控系统，身价陡增，便一改过去那种我们廉价出售机床，国外加上数控系统卖大钱的状况。

再如，传统的轻纺业引入微电子技术，其生产效率和产品质量大幅度提高，新产品款式层出不穷。

微电子技术还正在使古老的中医中药诊断定量化、技术现代化，整体走向科学化。

总之，微电子技术有着巨大的威力，有极强的渗透力，所到之处无不面目不新，焕发青春。一个行业要发展，要新生，要获得新的竞争力，首要考虑的措施就是引入微电子技术，这已是被无数的实例证实了的普通规律。

2. 微电子技术是新技术和新产业的基础

微电子技术和其他技术相互渗透相互结合产生了许多新技术，一些产业引入了微电子技术发生了飞跃，发展成为新

型产业。例如，微电子与生物技术结合形成生物电子技术，微电子技术、光电子技术和新型光纤材料构成了光纤通讯技术和光纤技术产业。

再如，能源电子技术、医疗电子技术、军事电子技术、空间电子技术、交通电子技术、汽车电子技术等等都是微电子技术与其他技术溶合的结果，是新型产业的产生点。

如果说传统行业引入微电子技术是增加了生产力，那么新型产业新型技术的产生与发展则是创造了新的生产力，如果前者是近期起作用的因素，则后者是更长远更重要的因素。

例如，现阶段微电子技术把加工业的效率和精度大幅度提高，把能耗、材料消耗和成本大幅度降低；以微电子技术为核心的机器人已进入智能化阶段，它首先大量在加工工业中应用，现在已是走入更广阔的天地，将来是由智能机器人组成无人工厂，那将是一个更新更高的阶段。

所以，微电子技术的发展地我国现代化建设是具有战略意义的。

3. 微电子技术在国防建设中的重大作用

一个国家的国力过去是以钢铁产量为主要标志，而今天钢铁已不再是主要标志了，代替它的是微电子技术，是集成电路的产量。

有人说海湾战争是一场电子战，联合部队发起进攻之前，先摧毁了对方的通讯指挥系统，使装备了各式武器的“令人可畏”的庞大队伍失去了指挥，断绝了联系，无法进攻，也无法退却，余下的只有挨打。

巡航导弹低空漂游，穿堂入室以难以置信的准确度打击

目标,这一切都是制作在小小的硅片上的集成电路在起作用。所以,有人说海湾战争是硅片战胜了钢铁,这是有道理的。

现代化的军事与国防是万万离不开微电子技术的,高速、灵活、准确的通信指挥系统,高空卫星侦察监视,海陆空各军种的配合与联络,海底导弹的发射,靠的是微电子技术;在地球的这一端打仗,其决策和指挥却在地球的另一端,靠的是微电子技术;大到火箭导弹的发射,小到一颗炸弹的引爆,也都靠微电子技术。

现代化的武器如果失掉了电子控制系统只是一堆废钢。近年的局部战争,特别是海湾战争,用血与火告诉人们,想要不挨打就要发展微电子技术;一个国家要强盛要有尊严地位立于世界之林,必须要发展微电子技术。

4. 微电子技术改变着人类的生活

历史上还从来没有一项技术像微电子技术这样深刻地广泛地影响与改变人们的生活。人们日常用的收音机、收录机、电视机、录像机、电子计算机是微电子技术产品;自动洗衣机、电熨斗、电饭煲、电风扇、空调机都可以加上一片小硅片使它们更好地为人们服务;专家系统可以使更多的病人得到著名医生的诊治;一片小小的心脏起搏器,可以使心脏病病人正常生活;一辆小汽车中微电子产品只占成本的10~15%,它却使汽车灵巧方便、可靠、节能.....

微电子技术在人们生活中无所不至,人们在物质生活方面,满足了温饱之后,追求的主要目标是微电子产品与之有关的产品。所以,要提高人们的生活水平,不断满足人们的需要,必须大力发展微电子技术。

二、半导体工业发展迅速，竞争激烈

半导体工业是一个国家的战略工业，是代表国力的产业之一。它既是技术密集型产业，又是投资密集型产业。有人称半导体工业是电子工业中的重工业，所以发展集成电路工业，需要有长远的战略眼光。日本曾宣布，发展微电子技术是日本的基本国策，是关系到日本前途的大事。所以，政府对微电子技术的发展进行了积极的干预，给予了很大的财政支持。

在这样一个决定国家经济地位的重大技术领域，国际上竞争是十分激烈的。世界各国在不同技术层次不同规模上进行着竞争，这种竞争是拼技术拼投资，目的是控制世界市场。

最高层次上的竞争，一直是在美、日两个微电子技术上的超级大国之间进行；欧洲部分也参与了上层竞争；亚洲四小龙之间则在较低的层次上竞争。许多大的微电子公司都是跨国大公司，公司之间竞争非常激烈，国与国、公司与公司之间的竞争，错综交叉。

一片大规模集成电路往往包含成百万只元器件，这么多的器件只是作在一片长、宽各为几毫米，厚度只有 0.3~0.5 毫米的硅片上，一个元器件的长、宽尺寸只有几个或十几个微米。因此，它的制作不能用普通晶体管制作工艺，需采用精细无比的平面工艺和超微细加工技术。下面分别介绍这两种工艺技术。

三、平面工艺

现在有许多微雕技术，米粒大小的材料上雕山水画，头

发丝上雕诗词，但是都无法与集成电路的制造技术——微电子技术相比。

首先，微电子技术“雕”出来的器和电路，远比一般微雕精细，而更重要的是，微电子技术是把千百万个不同形状、不同性质乃至不同材料的图形作在 1 片小硅片的表面上。一般这些器件是一个挨一个地平摆在硅片表面，它们占的厚度只有 1~3 微米厚，而硅片厚 0.3~0.5 毫米。也就是说，作器用的有效厚度还不到硅片厚度的 1%，下面 99% 以上的硅材料只是用来作基座。

正因为集成电路技术只是在硅表面上沿着平面布设器件，所以这一工艺称为平面工艺。平面工艺堪称世界上最精细的工艺。它是由一系列很精巧的技术构成的。

1. 氧化技术

集成电路工艺流程是从原始硅片作起。这些硅片是由直径为几寸乃至十几寸的硅单晶柱切成的，厚度仅 0.3~0.5 毫米。硅片经过磨片和抛光，表面平坦光亮。在 1000~1100 下，硅单晶片在氧气中表面被氧化，生成一层与硅片粘附得非常牢固的二氧化硅（ SiO_2 ）层。

二氧化硅层十分致密，非常稳定，而且耐高温，把硅片可靠地保护起来。它是很好的钝化膜。二氧化硅不导电，是很好的绝缘膜。高温下，杂质无法穿过致密的二氧化硅进入硅，所以二氧化硅又是掩蔽膜。复杂的集成电路能在硅单晶上建造起来，决定性的因素之一是因硅上能生成二氧化硅。

2. 光刻技术

二氧化硅如此致密、稳定，要在包了二氧化硅的硅片上

刻图形就必须用光刻技术。

光刻技术和平时制作标牌或校徽用的技术很相似，只是更精更细更复杂。它包括照相制版，曝光显影和化学腐蚀等几个步骤。

制版是首先将图形放大绘制出来，然后对图照相。其原理和普通照相类似，底片是用高分辨感光材料涂覆在极平坦的玻璃上。照相时应按一定比例将图缩小到要求的尺寸。最后作出来的版叫光刻版。

然后在硅片上均匀地涂布一层对光照敏感的光刻胶，再把光刻版套上，进行曝光，这很像印相片，一经曝光，图形就被印到光刻胶膜上了。曝光后的硅片必须进行显影，将光刻胶没曝光的部分去掉，曝了光的地方留下。

接着，下一步工作是进行化学腐蚀。二氧化硅可以很容易地溶于氢氟酸，而露出了下面的硅；但曝过光的光刻胶却能抵抗氢氟酸的浸蚀，它所覆盖部分的二氧化硅不受浸蚀。这样就把硅片上的二氧化硅刻出了许多窗口，这就是器件的图形。

曝光用的光线，波长越短，能刻出来的极限线条越细，线条边缘也越齐整。一般采用紫外光。用氢氟酸化学腐蚀，一般称为湿法腐蚀。后来又发展起了干法腐蚀，即用所谓等离子体刻蚀。

光刻能够刻出的最细线条称为分辨率，是集成电路工艺水平的一个表征。例如，集成电路中用的细线条宽度为3微米，就称为3微米技术；如果线条宽小于1微米就称为亚微米技术。一些超大规模集成电路用的多属亚微米技术。

光刻时，硅片是一片一片地刻，每一个硅片有许多集成电路同时加工，全部工艺流程都完成之后将一个个集成电路分割下来，这就是集成电路的芯片。

光刻不仅刻蚀二氧化硅膜，其他绝缘膜和金属膜也都用光刻技术刻蚀。当然不同的材料用的刻蚀液是不同的。

3. 掺杂技术

在硅片上刻出窗口之后，就可以向硅片中掺入杂质。常用的掺杂方法是高温扩散法。在 850~1200 温度范围内，杂质原子就会向硅内扩散。扩散的深度和杂质和浓度可由扩散时间和温度来控制。如果先扩散硼，形成一个 p 型层，然后再扩散磷（或砷），如果磷浓度比硼高，深度比硼浅，就在 p 型层的上面又形成一个 n 型层。所以用扩散法可以在选定的区域改变硅的型号。

掺杂还可以用离子注入法。就是把要掺杂的元素原子离子化，变成离子，在电场中加速，使之直线轰击硅样品的表面，把杂质离子像子弹一样打入硅片。

4. 外延技术

外延就是沿着单晶衬底再生长一层单晶。常用的方法是气相外延生长。在一定的温度下，用氢气对四氯化硅气体还原，放出的硅原子就会在样品表面沿着原来的晶格结构向外一层层地排列生长，形成一个外延层。化合物半导体外延生长常用液相外延技术。

在集成电路制备中，外延主要用于双极型集成电路，集成电路的元器件全部作在外延层上，所以外延层是制作器件的有效基础材料，原来的衬底只是支座。一般 MOS 集成电

路不需要外延工艺。

5. 金属化技术

做好的器件要引出电极，而且还要将各器件连接起来才能形成电路，这要求助于金属化技术。常用的方法是在样品的表面上用真空蒸发的办法淀积一层铝，再用光刻法刻成铝条，形成金属连接线。如果用铝作连线，其熔点比较低（660），用真空蒸发就可以淀积；若一些高精密仪器用金属银作连接，就要用溅射法。此外，还可以用掺杂浓度很高的多晶硅作连线，它可以耐高温，但电阻比金属高一些。

一片集成电路，作到金属化，其各器件已被连通，它已具有电路功能。但是，为了电路长期稳定可靠地工作，在整个电路表面还要覆盖一个钝化层，并光刻压焊孔。

至此，集成电路内部加工工艺才算全完成。下面的任务是对这些布满集成电路的大圆片进行后道工序加工。

首先将大圆片上的集成电路分割下来，分成一个个芯片，称为划片。随后是装架——将芯片装到管壳的基座上，压焊——将集成电路引出线的焊脚与管壳的管脚相焊接，封装——将管壳加盖或进行软封装。最后经测试检验合格，就得到集成电路的成品了。

6. 洁净技术

集成电路的工艺技术极度精细，工艺操作必须在超净的环境中进行。为此需要设计和建造专门的洁净室和洁净流水线。对洁净室，我国和许多国家一样都专门制订了洁净室等级标准。室内操作人员应穿特别工作服，且严格限制室内操作人数。集成电路工艺中用的大量化学药品和试剂为特制的

超高纯材料，其纯度称为电子级。

人们设想在太空生产半导体材料和集成电路，其目的就是为利用太空的洁净条件和失重状态。我国和国外一些国家都已在人造卫星上进行了半导体材料生长实验。但在太空制造集成电路还是将来的事。

四、超微细加工技术

以硅材料，平面工艺和平面器件为基础的微电子学还有巨大的潜力。可以肯定，在相当长的一段时期内，依然是微电子学的技术基础，它将推动信息技术和计算机技术从一个高峰走向另一个高峰。为了向更大规模的集成电路突进，各国争相发展超微细加工技术。

超微细加工技术，一方面以平面工艺为基础，向着更细、更薄、更精的方向发展，另一方面又发展了许多新的技术。它既是未来的更大规模集成电路的工艺技术，同时又被许多新诞生的高技术领域所采用。它逐渐形成一种综合性的精细加工技术，是支撑许多尖端技术发展的工艺技术基础。目前有下面这样一些发展趋势。

1. 高分辨率光刻技术

集成电路始终不渝的目标是高集成度和高速度。90年代初集成电路产品的水平是亚微米技术，主要是0.5~0.7微米，集成度为 10^6 ；最高水平的样线条分辨率0.35微米，集成度 1.4×10^8 。现在已有分辨率可达0.18微米，集成度 10^9 。

理论预计，线条分辨率的极限是0.1微米。如果到达这个极限，那么1平方厘米的硅片上的最高器件密度为 10^{10} ，也就是说集成电路产品的集成度至少还可以提高1万倍。目

前集成电路产品已逼近物理极限。

提高线条的分辨率，缩小器件的尺寸，既可以提高集成度，又可以提高集成电路的工作速度。超微细加工，高分辨率光刻技术是关键。现在生产用的光刻机，曝光采用汞弧光源，光刻分辨率到 0.5 微米尚能胜任，进一步提高分辨率需要新的、波长更短的光源。

提高分辨率需要的光源有 4 个选择：远紫外光、X 射线、电子束和离子束。在技术上它们都很困难，预计前两者是下一步的主要选择对象，可能正是它们将把 DRAM 推向 1GB，分辨率向 0.1 微米靠近。此外，对高分辨光刻，干法刻蚀是必须的。

分辨率 0.1 微米是一般晶体管正常工作的极限，小于这个极限将出现新的效应。这可能预示着微电子学进入一个阶段，而并非是它的终结。

2. 超浅结技术

现在集成电路中 p-n 结的深度为 0.2~0.3 微米。在亚微米器件中，结深的影响已不可忽略，进而它将成为提高器件开关速度的主要障碍。所以，浅结技术成为研究的热点之一。

浅结掺杂一般采用离子注入配以快速热退火工艺。为了得到更浅的结，正大力研制注入能量更低的离子注入机，并从注入技术和退火技术加以改进，发展分子离子注入技术和研究微波退火技术，以便将结深控制在 0.1 微米以下。

3. 新的金属化技术

金属连线是另一个重要问题。目前普遍采用铝引线或掺杂多晶硅（即所谓硅栅技术）。多晶硅的电阻过高，对高速电

路不能适应。而铝耐温低，线条很细的地方当通过的电流密度过大，铝将随着电流迁移，会造成断条，即所谓电迁移现象，导致电路失效。因此，高分辨率光刻的细线条连线，问题会更为突出。

比较肯定的办法是采用难精密仪器金属如钽、钛、钨等作连线。这些金属与硅形成硅化物，其电导率极低，高温下稳定，是极好的连线材料。

4. 浅结自对准技术

老的自对准技术，目的是为了提提高光刻精度，浅结自对准技术是综合利用光刻、离子注入和金属化中的先进技术组合成的一套新技术。

接近 0.1 微米的线条分辨率，在关键部位光刻的套刻是极困难的，必须采用自对准技术，并减少套刻次数。而 0.1 微米以下的超浅结形成后，金属化时会将 p-n 结熔通。

浅结自对准技术是先 在硅表面形成稳定的硅化物（如硅化钽、硅化钛）以它作为连线，然后将杂质注入硅化物，进行退火。把杂质扩散到硅中形成浅结。这套工艺的特点是将连线作好再形成 p-n 结。不但结深可以很浅，而且深度可精确控制。

5. 大直径高完整性硅片技术

增大硅大圆片的直径，提高硅片的完整性，不但可提高生产效率，而且是提高集成电路水平的重要手段。20 世纪 90 年代世界各公司采用 20~25 厘米（8~10 英寸）硅片；90 年代末已达到 30 厘米（12 英寸）。

6. 封装技术的新发展

传统的集成电路封装是将芯片封入管壳，然后用户将电路安装在印刷板上。目前采用表面安装技术，将芯片直接键合在印刷板上，以提高安装密度。采用表面安装技术，可将一台个人计算机安装在 16 开纸张大小的印刷板上，但是对印刷技术几乎达到了极限。

封装技术的新发展是将集成电路工艺技术扩展到安装，可用集成电路技术对整机进行封装。其中最引人注目的是多模块组装（MCM）技术。

MCM 技术是以硅、氧化铝、氮化铝等为衬底，利用集成电路工艺设备和技术制作多层的互连线（连线用铜或铝），各层之间用聚酰胺或聚四氟乙烯等隔离，各层中也可夹制电阻等元件。多层连线的制作精度与集成电路内部布线精度相近。

多片模块技术的优点是提高了封装密度。和单片芯片封装技术相比，把封装密度降低到 1/10。另一个优点，是缩短了电路间连线距离，提高了总体的工作速度。

此外，可用 MCM 技术提高集成电路的功能，可以将多片 RAM 封成容量更大的存储器，也可以将 SRAM 和 E²PROM 封成高速非易失性存储器。

五、量子功能元件

超微细加工的尺寸正通向 0.1 微米，这是超大规模集成电路的极限尺寸。小于这个尺寸，即进入纳米尺寸（1~100 纳米），半导体器工作原理将发生根本变化，进入量子功能器件阶段。

一般半导体器件是通过控制器件中电子数目的增减来实

现其功能的。但是，电子是具有粒子和波动二象性的，在较大尺寸的材料和空间中电子主要表现为带电粒子，即表现其粒子性；如果将电子局限于纳米尺寸的材料或空间中，其波动性将显现出来。这些纳米尺寸的细线或颗粒称为量子线或量子点。

电子可以通过隧道效应在量子线或量子点之间穿行移动，即所谓量子效应，通过这种量子效应来实现其功能的器件称为量子功能器件。这种量子功能器件不像一般电子器件那样需要大量的电子才能实现器件功能，它只要极少数甚至只需 1~2 个电子即可实现器件功能，其速度可比普通器件高 3 个数量级，功耗也极低。

日本政府已开始推行一个量子功能元件计划。日本几家大的公司都开始投入力量进行研究，以便能在这个新一代的器件领域中占有自己的地位。

富士通的计划是利用量子点来实现超高密度的存储器，量子点的尺寸为 50 纳米，每平方厘米的硅片上可控制作 10GB 存储单元。但是，现在的量子器件还要在低温下工作，今后的目标之一是将其工作温度提高到室温。日立公司的量子功能器件方案是利用量子线结构来实现开关功能。这种结构的器件是利用波的干涉作用来实现开关的。索尼公司、松下公司也分别推出自己的计划。

除日本外，美、英、德等国也都相断开始研究。美国确定超微细加工是国家至关重要的技术之一，这为量子效应元件的研制提供了技术保证。

六、砷化镓微电子技术

以硅为材料基础的微电子技术已高度发展，超微细加工将它的集成度和速度推向极限。在微电子技术发展的历史上，砷化镓作为一种性能优良的半导体材料不断地向硅提出挑战。

和硅相比，砷化镓最突出的优点是：它的电子迁移率高，在同样条件下，砷化镓器件比硅的工作速度要快得多；光学性能也优于硅；在砷化镓集成电路中实现器件隔离也远比硅简便易行。

砷化镓的缺点是，没有像硅上的二氧化硅那样优良的绝缘材料，所以制作 MOS 结构非常困难。砷化镓微电子技术采用的主要器件形式是金属-半导体场效应晶体管（MESFET）。为了提高器件速度，MESFET 的栅长都作得很短，已达到亚微米量级。

此外，在砷化镓上生长栅绝缘层构成 MOS 结构，虽困难重重，但经长期努力还得取得了进展。

砷化镓集成技术开始主要用于微波技术即微波集成技术。80 年代开始发展砷化镓数字集成电路，常称之为砷化镓超高速电路。其发展水平也已进入了大规模集成电路，如目前已经推出了 15K 阵列、30 阵列和 45K 全定制门阵大规模砷化镓数字集成电路。

我国砷化镓微电子技术已有一定的发展，已制出放大器、振荡器等数种微波电路并已实际应用，数字电路已制出 200 门的砷化镓门阵列。

砷化镓微电子技术正期待技术上的突破，目标是取代硅

的地位，把微电子技术推向一个新阶段。

七、以硅为基础的光电子学

由光学和电子学相结合而形成的一门新学科称为光电子学。

集成电路极力追求高速度，以致于信息的载体——电子在导线中运动的速度也成了进一步提高速度的障碍。一个合理选择，是以世界上传播速度最快的光为信息载体，并与硅上的集成电路结合起来，形成光电集成。

可是硅的发光性能是很差的，即使在某些条件下促使硅发一些微弱的光，它的波长是 1100 纳米，是红外光，人眼是看不见的。所以，硅在电子学中没有立足之地。可是在微电子学方面，硅又是无与伦比的。因此人们一直希望将光学过程引到硅材料基底上来，这就是人们大力研究在硅衬底上生长砷化镓的目的之一。

砷化镓是一种半导体发光材料，使其外延生长在硅衬底上，这样就可以把砷化镓的光学性质与极为发达的硅集成电路结合起来，形成光电子集成。可是这种努力历经 10 余年，收效不大。

1990 年，人们发现，如果把硅单晶片的表面经过电化学处理，使之变成多孔状，在蓝-紫光的照射下，这种多孔硅发射红光、黄光或绿光，这是一种光致发光。1992 年又有报道说，多孔砖坯在电流诱导下也能发光。

另外，又发现在硅衬底上生长硅-锗硅合金交替的多层结构，即锗-硅超晶格，也有发光效应。这一系列的发现无疑为以硅为基底的光电子学的发展打开了大门，其意义是巨大的。

它的发展将把信息技术和计算机技术推向一个新阶段——光电子学阶段。

八、超导电子学

1962年英国物理学家约瑟夫发现，在两个超导层间夹一层极薄的（薄于0.01微米）绝缘膜，电子可以穿绝缘层形成电流，这就是约瑟夫结。这是一个隧道结，即使在结上没有电压，电流依然流过。这种现象要用超导量子理论解释。以约瑟夫结为基础可以构成逻辑门、存储器和运算电路。这些电路的制造可用微电子学的平面工艺技术。

1986年瑞士物理学家缪勒和德国物理学家帕诺兹发现了高温超导材料（高于液氮温度）。此后高温超导材料的研究出现了空前的热潮，发展也十分快，并迅速转向应用。高温超导的发展对超导电子学是一个巨大的推动力。

超导电子电路的优势是其功耗低。与功耗很低的CMOS电路相比，超导集成电路还低两个量级。超大规模集成电路集成密度的一个很大的限制是功耗高，散热问题难以解决，而散热问题对超导电子集成密度的限制要小得多。

超导电子路的另一个优势是速度快，它比CMOS快3个数量级，所以这是一个很受重视的发展方向。

第七节 光电子技术

光电子技术是现代信息科学技术中的一个重要分支，它是由光学和电子技术相结合而形成的一门高技术，已成为世界各国竞相发展的现代高科技的重要组成部分。

一、光电子技术的发展

60年代由于激光的出现,使古老的光学焕然一新,光电子技术得到飞速的发展。特别是70年代以后,由于半导体激光器和光导纤维技术的重大突破,导致以光纤通信为代表的光信息技术的蓬勃发展,促进了相应各学科的发展和彼此间互相渗透,于是这门新的综合性交叉科便从光学、电子学领域中脱颖而出。它是研究光波与物质中的电子相互作用及其能量相互转换的学科。

光电子技术是科学技术中的先导技术。当今世界上几乎所有领域的各个学科都在应用光电子技术,它已遍及国民经济的各行各业、人类日常工作和生活的各个方面。

光电子技术在军事领域中的应用尤为重要。它是夜战和精确制导武器的重要基础之一,尤其是在空-地的探测定位和制导中光电子技术占主要地位。光电制导武器具有投放精度高、抗电子干扰能力强等优点,在海湾战争中多国部队的夜战能力和精确制导武器的良好效果给人们留下了深刻印象。它汇集了美国及主要西方国家多年来研制和装备的先进的光电目标导向装置,在战争中起了重要作用。在那次战争中使用了7种空-地制导系统,光电子技术就占6种。由此可见它的战略地位。

随着光电子技术的发展,它在民用、军用方面应用领域愈来愈广,可以形成一代新的极有生命力的高技术产业。目前世界各国都巨额投资研究、开发光电子技术和产品。正如美国的“时代”杂志预测:“21世纪将成为一个光电子时代”。在国外,已形成相当规模的光电子产业,2000年时已达1000

亿美元。

光电子技术是一个知识高度密集，发展更新极快，内容丰富的技术领域。为此我们选择其中主要的、典型的三部分内容即激光技术、红外技术和光纤通信技术，作一简要介绍。

二、激光技术

1960年5月美国制成世界上第一台红宝石激光器，由于它具有单色性好、亮度高、方向性强和相干性好等独特性能，在军事、工业、医学、农业和科学研究中得到了越来越广泛的应用。有人把激光比作是继原子能、半导体、计算机之后，人类在20世纪中的又一重大发明。计算机延伸了人的大脑，而激光则延伸了人的五官。激光是人类探索自然奥秘的超级“探针”。

1. 激光及其特性

激光和我们所熟悉的日光、灯光以及用人眼看不见的紫外线、红外线、无线电波、X射线等一样，都是电磁波。所不同的是，激光是一种受激辐射产生的光波。而普通光则是一种自发辐射的光波。

普通光是一种由大量的原子（原子中的电子从高能态向低能态跃迁）向各个方向无规则地自发辐射的光波，其波长和相位都杂乱无章，持续时间极短并以指数函数形式急剧衰减。

而激光虽然也是由大量的原子、分子所发射的，但在时间上、空间上相位完全保持一致，几乎是一列无限的光波，它是一种人造光波激光具有以下神奇的特性。

激光颜色最单纯（谱线宽度窄）。众所周知，人们用眼

睛能感觉到的不同颜色，正是由于光波具有不同波长所致。光的波长从 0.76~0.40 微米为可见光范围。波长大于 0.76 微米的光波为红外线，波长小于 0.40 微米的光波为紫外线，它们是用肉眼看不见的光线。如下表所示。

光的波长分布

名称	远红外	中红外	近红外	红	橙	黄
波长(微米)	几毫米~30	30~2.5	2.5~0.76	0.76~0.62	0.62~0.59	0.59~0.56
名称	绿	蓝	靛	紫	近紫外	远紫外
波长(微米)	0.56~0.50	0.50~0.48	0.48~0.45	0.45~0.38	0.38~0.05	0.05~0.005

如果一个光源发射光波所包含的波长范围越窄，即光谱线宽度越窄，那么它的颜色就越单纯，人们就说这光源的单色性越好。因此，单色光就是指波长范围很窄的一段光辐射。激光出现之前的光源中，单色性最好的光源是红色氦灯，其所发光的谱线宽度为 10^8 赫。而氦-氖激光器所发出的激光，其谱线宽度却小于 10^4 赫。可见，激光是世界上发光颜色最纯的光波。

光的亮度最强。光源的亮度是一个光源在单位时间、

单位面积和单位立体角内辐射的能量。由于激光发光时间最短、发光面积和发光立体角又最小，所以激光器是当今世界上最亮的人造强光源，它的亮度甚至可以比自然界最强的光源太阳还大几百亿倍。

方向性最好，发射角最小。激光器的发射角比普通光源的发射角要小得多，激光几乎只沿着一个方向传播，其发射角仅 0.1 度左右，所以激光能射得很远。它从地球射到月球，长达约 40 万公里，其光斑直径不超过 200 米，这是其他光源绝对无法相比的。

由于激光具有这些特性，所以，它在各种科技领域中、在国民经济各行各业中、在人类生活各个方面、在军事方面都得到广泛的应用。

2. 激光器

激光器是利用受激辐射实现放大或振荡的器件。它是一种崭新的人造光源。种类很多，但其基本结果都是由三部分组成，即：激光工作物质、光学谐振腔和激励源。

激光工作物质是产生激光的物质。在激励源的激励下，光波通过这种物质时，引起受激辐射，产生光放大作用。我们称这种物质为增益物质或激活物质。实质上这种物质只是处于非热平衡状态，即所谓粒子数反转状态，因而成为增益介质。

光在增益介质中经历的路程越长，越能有效地放大。但是，把增益介质做得很长又不方便，这就靠光学谐振腔将增益介质放在两反射镜之间来回反射，光得到不断放大，使其产生光振荡。它是一种光学正反馈装置。

光学谐振腔是由一对反射镜构成。其中一面反射镜可以采用全反射镜，另一面反射镜为部分反射镜。光能够部分透过反射镜射出谐振腔外。其透射光就是人们所需要的激光。谐振腔的反射镜可以是平面镜、凹面镜和凸面镜三种。

光在增益介质和谐振腔内往返，得到放大的同时还存在损耗。要使光能够在腔内来回振荡形成激光，要求光的单程增益大于、最起码要等于光的单程损耗。该条件称为产生激光的起码条件——阈值条件。并不是所有频率的光波都能够满足这个条件。

谐振腔的功能还在于选择具有特定频率的光，使之在腔内特定的方向具有最小的单程损耗，最先满足形成激光的阈值条件，不断地来回放大直至形成稳定的激光输出。

激励源是一种能源，它能使腔内介质由一般物质变成具有增益的激活介质，使其处于非热平衡状态，称为建立起粒子数反转状态。

在通常情况下，腔内介质中大多数原子都处在最低的能量状态上，低能态上的原子数目总是远大于高能态上的原子数目。要建立起粒子数反转状态，必须依靠能源对原子体系进行有选择地激励，使较多的原子激发到高能态上去，造成高能态上的原子密度大于低能态上的原子密度。对于不同的工作物质，采用不同的激励方式，如电激励、光激励、热激励和化学激励等。

激光器的种类已发展到几千种，激光谱线已产生上万条，激光波长从最长的几毫米远红外区到最短的几十纳米远紫外区。按工作物质不同，激光器可以分为固体激光器、气体激

光器、液体激光器和半导体激光器等。

3. 激光的应用

由于激光具有以上优异的特性，因此它在国民经济各行各业、科技领域各个方面都得到了广泛的应用。

激光在工业上的应用。激光在机械加工、处理方面的应用是将激光作为一种很强的热源来使用。它具有许多普通热源所没有的优点。常用激光对材料进行切割、钻孔、焊接、淬火等等，显示出神奇的威力。

激光用作准直光和导向是利用激光的方向性好和发射角小的特点。主要应用于安装定位、旋转轴的同心定位、隧道的导向、控制铁路的起拔平直等。

利用激光的高单色性和高亮度的优良特性，可对长度、速度、转速等进行精密测量。长度测量范围能到几百米甚至几千米，精度达 0.1 微米。利用这种精密微小长度变化的测量技术可以预测地震、平面度检查等。

激光监测气象与大气污染是利用激光的单色性和介质对某一波长的吸收特性。用激光气象雷达可测量云层高度和大气污染，可根据某些矿藏造成附近大气中有关分子浓度增加的现象来探矿。

激光印刷是利用激光的单色性好、能量集中、光斑小等特点来识别图像和形成画像。

激光在农业上的应用。激光在农业方面的应用虽然开始不久，但硕果累累，说明了激光在这一领域的应用具有巨大的潜力和广阔的前景。

激光对有机体的作用是相当复杂的，原理尚未搞得很清

楚，大致认为激光是通过光、热、压力和电磁场等效应对有机体发生作用。目前在激光育种、作物生长期照射处理、激光灭虫等方面的应用上已取得显著效果。

激光在医学上的应用。激光在医学的应用，主要是利用激光具有高强度和高单色性的特点。

在医学上，由于利用了激光技术，有效地用来提高医疗效果和诊断水平，特别是近年来在诊断和治疗肿瘤病症中取得了显著的效果。激光作为手术刀已在医学上广泛应用，被誉为不出血的“光刀”，它已用于外科手术、眼科治疗、肿瘤切除等。激光作为“光针”在理疗方面也取得很大成果。

目前激光在医学上应用还是处在探索阶段，随着对激光与有机体相互作用的深入研究，必将获得更广泛的应用。

激光在军事上的应用。从60年代激光一经问世，就首先引起了军事方面的高度重视，有人认为，今后低空、高空、太空战争的主要武器都离不开激光。星球大战的中心内容也是激光战。

目前激光已广泛地应用于防御武器和进攻武器，它的出现有可能改变现代战争的战略、战术，使武器系统发生根本性的改变。

激光在军事方面的应用，一般用于激光测距、激光雷达、激光制导、激光引信和引爆、激光模拟、激光防线、激光窃听技术等等，这些应用已达实战水平，在战争中显示了锋芒。激光武器主要有激光致盲武器、激光战术与战略武器、激光对抗与反对抗等。

激光在科学技术上的应用。激光技术日益成为整个科

学领域强有力的研究工具，在许多新的科学技术领域中显示了强大的生命力。

激光在计算机的应用，未来的光子计算机与电子计算机相比，演算速度高出 100 倍以上，存储容量高百万倍。

除此以外，激光在地球物理学、高能物理学、海洋学、非线性光学、集成光学、激光化学等领域中都有广阔的应用前景。

三、红外技术

红外技术是研究红外光辐射的产生、传播、转化、测量及应用的技术。自从 1800 年英国天文学家赫谢耳发现红外线，至今已有近 200 年的历史，中间有很长一段时期它基本没有得到实际应用。直到第二次世界大战后才引起各国的重视，红外技术得到迅猛地发展。

我国红外技术的发展起步于 20 世纪 50 年代，发展速度很快，应用范围不断扩展。从军事上应用逐步扩大到工农业各个部门和科学技术研究等领域。我国红外技术的发展成绩虽然很大，但和国际先进水平相比还有较大差距。我国红外技术应用基本上还只大致够得上国际先进国家 20 世纪 80 年代的水平。

1. 红外技术的应用

红外技术在军事上和民用方面已经得到相当广泛的应用。红外辐射穿透大气和云雾的能力比可见光强，利用这种性质在军事上用来通信、导航、制导、定位、跟踪、侦察、对抗和夜视等。

红外遥感在战略侦察、预警以及气象、地质资源勘测、

卫星等方面的应用也很成功。在工业生产中，许多设备处在高温、高压、高速运转状态下，利用红外测温技术对这些设备进行监控或检测，既能保证设备的安全运转，又能发现异常现象，及时排除隐患。

利用热成像技术可进行工业产品质量控制和管理。在电子工业中还用来检查半导体器件、集成电路、印刷电路等。红外技术在医疗方面可用来检查皮下肿瘤和乳腺癌、血管疾病、皮肤疾病等。

2. 红外技术的基本功能

远红外辐射加热技术。远红外辐射加热的机理是，当辐射源的辐射波长和被辐照物体的吸收波长相一致时，物体材料吸辐射能，从而改变或加剧分子热运动，达到发热升温的作用。许多需要加热干燥的无机物、大多数有机物及高分子化合物在远红外波段都有强烈的吸收带。因此，利用远红外辐射加热特别有效。

远红外加热技术和常用热风加热技术相比，具有缩短工件处理或加热到所需温度的时间，减少加热所消耗的能量，并且能控制辐射功率的空间分布等优点。

红外测温技术。红外测温是温度检测的一种技术。众所周知，任何物体的温度超过绝对零度都会不断地发射红外辐射，辐射功率由物体的温度决定。如果测定了物体所发射的辐射光功率，就可确定物体的温度。

利用红外辐射测温不需接触被测物体，不会影响被测物体的温度分布，这样可测远距离目标、高速运动目标、带电目标以及其他不可接触目标的温度；红外测温反应速度快，

它只要接收到目标的辐射，无需与被测物体达到热平衡，所以目标表面温度变化能立刻反应出来；红外测温范围宽，一般可测负几十摄氏度到 2000 的温度。红外测温分为亮度测温 and 比色测温两种。

红外成像技术。人们不仅需要知道物体表面的平衡温度，还希望了解物体的温度分布，以便分析物体的结构，探测物体内部的缺陷。

红外成像技术是将红外图像直接或间接转换成可见光图像的技术。它能将物体的温度分布转换成图像，以直观、形象的热图像显示出来。目前主要有红外线变像管成像、红外摄像管成像、光学机械扫描成像、电荷耦合器件（CCD）成像等。

红外无损检测技术。它是一种非接触式检测方法，是利用物体表面温度的差异检测物体内部缺陷的一种方法，也是红外测温技术的一种具体应用。

红外无损检测分主动式和被动式两类。主动式检测是在人工加热工件的同时或在加热后经一段时间延迟后测量工件的温度分布来检测物体的缺陷。被动式检测是利用工件自身的温度分布来检测工件内部的缺陷，多数用于运行中的设备及电子元器件的检测，目前主要应用于火箭发动机壳体及内层缺陷的检测、集成电路中每个元器件的温度信息的检测、多层印刷电路板的质量检测等。

四、光纤通信技术

光纤通信是通过光导纤维传输信息的通信方式。它是在 70 年代初发展起来的，是现代通信科学中的一个新的分支，

也是现代光学和电子学相结合的一门综合性应用技术。

光纤通信的问世具有划时代意义，在世界范围内得到极大重视并获得了飞速的发展和广泛的应用，显示了强大的生命力。现在已经实用化，并仍以惊人速度向更高阶段发展。据国外估计，现在全世界已拥有 10880 万公里的光纤线路。从当前光纤通信的发展趋势来看，今后由光纤通信取代传统的电气通信已是不可逆转的世界潮流。

光纤通信具有传输高码率的潜在容量，意味着它有适应能力适应未来迅速增长的信息业务量的需要。它不仅在长途通信网，而且在短距离的市内用户网和局部地区网都用广泛的应用前景。话务、计算机数据和电视图像等多种信息综合服务的需求不断扩大，并形成宽带综合服务数字信息网，光纤通信系统正好迎合信息时代的需要，受到普遍欢迎。

1. 光纤通信及其特点

光纤通信是以光波为载波，以光导纤维（光纤）为传输介质的信息传输系统。它由发送、传输、接收等 3 部分组成。

在发送端，由电光转换器将我们需要传递的信息，例如话音、图像、数据等电信息，变换为光信息。目前它是通过半导体激光器中发光二极管进行电光转换的，使光源辐射的光波由电信号调制成携带着信息的光波。这种光波耦合到光纤中去后，光纤起着信息长距离传递作用。

接收部分由光电探测器将接收到的光信号进行光电变换，检测出传递的电信息，这是一个逆转换过程。由此可见，在光纤通信系统中光电子器件和光导纤维起着极其重要的作用。

2. 光纤、光缆与光电器件

光纤是光导纤维的简称，是一种新型的介质光波导。它是细如头发的透明玻璃丝，可用来传导光信息实现通信。主要由纤芯、包层和涂敷层构成。

光纤的导光机理是利用光在介质界面上的全反射原理来导光能的。纤芯的折射率大于包层的折射率，前者我们称它为光密介质，后者为光疏介质。如果纤芯中的光线以大于一定倾斜角射入界面时，就会发生全反射。

光纤传输特性有损耗特性和色散特性。损耗特性关系到光纤通信系统传输距离的长短，即中继站距离的选择。有光纤通信有三个低损耗传输窗口：

短波长传输窗口：波长在 0.85 微米附近；

长波长传输窗口：波长在 1.3 微米附近，

波长在 1.55 微米附近。

光纤另一个重要特性是色散，光纤色散导致在光纤通信中传输光信号波形畸变，表现为脉冲宽度展宽。这个参量直接关系到光纤传输系统的信息容量。从光纤传输特性可以看出长波长（1.3 和 1.55 微米）比短波长（0.85 微米）优越，所以长波长光纤通信是光纤通信的发展方向。

为了工程应用需要，把若干单根或多根光纤绞合成光缆。在外面包上各种护套，防止外界各种机械和施工时可能发生的损伤。

光缆的结构大致有层绞式和骨架式两种。层绞式光缆的结构是有一根钢质加强芯，其目的是增强光缆的抗拉强度，特别是抵抗施工时施加的拉力。在光缆中还可旋转若干铜线，

用以远供中继站所需电能或传递遥测、监控信息。骨架式光缆对抗侧压力具有较大的强度。

光电器件是指光源器件和探测器件。光源器件是半导体激光器(LD)和发光二极管(LED)。探测器件是半导体PIN光电二极管和雪崩光电二极管。半导体光电器件具有体积小、重量轻、结构紧凑、效率高、寿命长等优点。半导体光电器件的性能对光纤通信系统的性能具有决定性的影响。

半导体光源器件是光纤通信系统中最理想的光源器件，半导体激光二极管主要用于长距离、大容量的光纤通信系统。半导体发光二极管主要用于短距离、低码率的通信系统或模拟通信系统。与光纤传输损耗窗口相对应，光源器件亦可分为短波长光源器件和长波长器件。

目前，实用化光纤通信系统中，半导体激光器或发光管还被用作电光调制器。它们都是在正向偏置下工作的器件，输出光功率随着正向注入电流的变化而变化。如果在正向偏置电流上叠加一个小的电信号，就可输出一个相应于电信号变化的调制光波。这就是电光转换效应。电信号可以是模拟信号也可以是数字信号。

半导体(PIN)光电二级管及其组件和雪崩光电二级管是目前光纤通信系统中广泛应用的探测器件，前者是一种无内增益器件，后者是一种有内增益的器件。它们具有光电转换效率高、速度快、噪声低、稳定性好和寿命长等优点。

对应光纤传输低损耗窗口也分为短波长光电检测器和长波长光电探测器两种。短波长光电探测器采用硅材料，长波长光电探测器采用锗和铝镓砷三元系、铟镓砷磷四元系材料。

光电二极管探测器是一种光生伏特效应光子探测器，它工作时处于反向偏置。在光照下产生光生载流子，它们在电场的作用下形成相应的光生电流。光生电流的大小决定于照射的光强大小，即光电探测器的反向电流受入射光强调而相应变化，将光信号转换为相应变化的电信号，起着光电检测作用。

第八节 反映微观层次的粒子加速器

人们为了探索原子的秘密、电子秘密，为了探索那些极其微小的粒子的精细结构和超精细结构，人们建造了规模越来越大的设备，有的能把质子加速到几百亿电子伏特。由于原子核物理研究的需要，今天，几千亿电子伏特能量的高能粒子加速器也已经出现，它能把粒子加速到接近于光速。

人们设计和制造如此庞大的加速设备，其目的不是为了打破纪录，而是为了更好地了解物质微粒子的性质，以使它们更好地为人类服务。

目前世界上大量应用的仍是低能加速器，其中包括电子感应加速器，静止加速器和直线加速器等，它们在工业生产上有着广泛的应用。

利用加速器产生的有穿透能力的射线以检查厚度的工作，探测大型火箭的固体燃料、高压容器的焊缝，分析发电机主轴、钻井钻头等大型部件的缺陷等已成为现实；某些塑料制品经过射线幅射后可以提高机械强度、耐温和绝缘性能；利用加速器对半导体材料进行离子掺杂，可以相当精确地控

制掺杂的深度和浓度，调节加速器的能量还可以使杂质加在不同的分层面上而不相混合。

在加速器里被加速到具有 50~100 千电子伏的能量的电子，将它们打到被检查的样品上，电子将会产生强烈的散射。利用这一原理制成的电子显微镜，可用来观察和研究物质的超微结构。

在生物学和医学研究中，切片技术的发展已经把电子显微镜的分析能力扩展到大分子的水平，可以清晰显示复杂的细胞，如膜线柱体、内质网以及核糖体等。

不过用电子显微镜检验物质，无论是固体物质还是生物，其样品切片都是十分微薄的，固体切片的厚度不超过 0.1 微米量级，生物组织的切片则更薄，常在 0.05 微米量级左右。因为样品厚度增加，电子就会被物质多次散射，像的反差就会降低。

高压电子显微镜的发展始于 20 世纪 60 年代中期。在高压电显微镜中，电子通常被加速到 50 万电子伏到 100 万电子伏以上，因而就有更大的穿透力，也就能检查较厚的切片。这种高压电子显微镜对样品的损伤较小，尤其适用于对晶体材料的研究。

制备直接供透射式电子显微镜观察用的片状样品有两种方法。大块样品可以采用喷射加工、电火花加工切割和研磨等方法，然后靠化学和电化学的方法把样品厚度减薄到 0.1~0.2 微米；另一种是利用各异的沉积方法来得到具有适当厚度和特性薄膜。用这些方法获得的晶体薄膜会强烈地使电子束衍射，而像的反差，则决定于衍射的相互作用。由于

晶体结构及其缺陷在成像过程中产生强烈的反差，这就使得电子显微术成为研究固体缺陷以及薄膜结构的重要工具。

电子显微镜的高分辨率，使它比光学显微镜有了更明显的优越性。今天，电子显微镜已应用得如此普遍，在广泛的科学研究中，电子显微镜更能揭示物质的精细结构。因此，也可以肯定，电子显微技术和电子加速技术一样，它一定可以为人类的文明、和平与进步作出更大的贡献。

第九节 电子时代的新思潮

一股浪潮，一场革命，正以不可阻挡的势头推进着，席卷着全球。人们用各种语言去描述已经到来的这一场新的技术革命。人们一边在勤奋地、创造性地工作着，一边在惬意地利用并享受着新技术发展所带来的一切成果。

有人称这场浪潮为“信息革命”，我们的时代就是信息时代。因为计算机技术和通信技术强化和延伸了人们的神经活动和脑力劳动，人们观察、研究和控制新生事物的能力一下子增强了许多倍。人与人之间的信息交换，突破了语言、传统、种族、肤色、空间和时间等几乎一切过去认为是不可逾越的屏障，突破了从蜂蚁等低级生物到人、智能者以及尚未真正探测到的，但地球人确信其存在的空间高能智慧者之间的界线。

新产品似百花齐放，新材料如雨后春笋，智力开发已成了技术进步力量的源泉，它是新鲜氧气，是充满活力的新鲜血液，是信息革命的支柱和原动力。

高大的烟囱伸入天空，粗壮的电缆埋入地底和海底，马达飞转，机器轰鸣，这已成了传统工业的代名词，钢铁、汽车等重工业的发展，被看作是一些卖大力气、喝大碗茶的人们辛勤劳动的结晶，是刻苦、艰辛的重体力劳动的代名词，是大量利用煤、石油等天然能源的结果。重工业主要是肌肉和骨骼活动的结果。而信息革命则极广泛地触及和延伸了人们神经活动，思维和智慧。

信息社会的一大特征是：信息成了资源，知识成了资本，因此信息经济是“信息密集型”的，而不是“资本密集”型的经济。专业化和社会化使得某一阶段的生产或是一部门的产品，成了前一阶段或其他部门产品的组装。因此，谁能在他人产品基础上设计出新产品，谁就得拥有信息，谁便能占领市场，而设计新产品的关键就是知识。

还有人把这场技术革命称为尖端工业革命、微电子革命，硅冲击等。因为美西海岩狭长的 760 平方公里范围内的沧桑巨变给这场技术革命添加了最基本的色调。

现在，这一片地方已被称为“硅谷”，它对世界发起了硅冲击，它现在已拥有大小企业上万家，其中电子工业制造厂商和为其服务的产前产后公司也有近万家。

在资本主义世界经济萧条，就业不景气的情况下，唯有硅谷集中了全美国 96% 的半导体公司，以年产值过千亿美元，每年能安排 5 万名就业人员的优势，朝气蓬勃地立于不败之地。

这里水清山秀，阳光充足，60 多年前还是一片充满着鸟语花香的幽静的果园，现在则是大公司密集，办公楼林立，

一派恬静的田园风光，一跃迈过了传统工业的必经之路，而这种沧桑巨变，只不过发生在弹指一挥间，把它称作一场革命，实质上也是无可非议的。

硅谷的开发过程基本记录了美国这个发达的资本主义国家向信息社会迈进的历程。世界上许多国家，如日本、法国、加拿大等等，对硅谷表现出了巨大的热情，一股在地球上兴建硅谷的热潮已经形成，成功的企业不乏先例。

但也可以预言的是，在这一窝蜂的大浪潮中，硅谷本来就是知识性产业的代名词，那些热情有余，准备不足，仓促上阵的建设项目在激烈竞争的年代里是不大可能成为这场技术革命中的佼佼者的。

第五章 电子学趣谈

第一节 电子的速度有多大

虽然电路各有特色，用多种多样，但每种电路要正常工作，都缺少不了电流。众所周知，电子沿导体流动才能形成电流。那么，电子的运动究竟有多快呢？

一、谁先听到歌声

首都剧场的舞台上，男高音歌唱家正在做动人心弦的表演。他那优美的歌声，吸引了成千上万的观众。电视台和广播电台把这精彩的节目向全国的广大观众、听众作了转播。请问在广州市坐在收音机前收听广播和听众和位于剧场前排（比如说距扩音器 10 米远）的观众来说，他们中谁最先听到歌唱家的声音呢？广州到北京的直线距离按 2000 公里计算。

让我们算算看：电信号经广播电台变成无线电波，以光速每秒 30 万公里传播。那么，电波从北京到广州需要的时间： $2000 \text{ 公里} \div 30 \text{ 万公里/秒} = 0.0067 \text{ 秒}$ 。假如广州的听众距离收音机的扬声器 1 米远，而声音在空气中的传播速度为 340 米/秒，那么歌声从扬声器再传到听众的耳朵所需要的时间是： t_2 等于 $1 \text{ 米} \div 340 \text{ 米/秒}$ ，等于 0.003 秒。因此广州的听

众听到歌声的时间是 $0.0067+0.003=0.0097$ 秒。而在北京剧场里的前排观众听到声音的时间则是： $10 \text{ 米} \div 340 \text{ 米/秒}=0.03$ 秒。

显然，广州的听众先听到了歌声。

无线电波是怎样传播的呢，是不是在北京的电子以光速跑到了广州？不是的。北京的电子只是在原地跳跃着，它所产生的电波才以光速传到了广州，使广州那里的自由电子也按照这个规律跳跃起来，变成了相应的电信号。

这正如在一个平静的湖里，在相距 10 米远处有两片树叶漂浮在水面，我们向其中一片叶子处投一石子，于是水面溅起浪花，叶片上下浮动，形成一个以石子落处为中心的一圈圈波纹。这水波逐渐向四面传去。开始，远处的叶片并不动，过一会儿，当水的波动传到该处时，那里的叶片也就上下浮动起来。它浮动的规律和波中心处的叶片一样。这里，叶片并没有传到远处，传到远处的只是波。

二、人比电子跑得快

假如从北京到广州的长途电话是用一根长电缆线传送的，当驱动这根电缆的电源未合上时，电缆中没有电流。但是电缆的芯线和皮线中都有自由电子在运动着。

有人做过这样一个实验：将一个迅速转动的铜环突然停止，这时这个由瞬时电流产生的磁场会使悬挂在铜环附近的电磁针偏转。这是因为金属中的自由电子平时像无头苍蝇似地沿着各个方向杂乱地运动着，而且还和金属中的原子不断地发生碰撞，因此铜环中测不出电流来。

可是当铜环转动时，电子沿某个确定方向的速度增加了。

当铜环突然停转时，自由电子还以惯性向前奔跑，因此产生了瞬时的电流。这种自由电子在导线上无电压时，只能在其附近杂乱运动。

可是当北京要向广州打长途电话时，电源接了，假设用的是直流电源，那么，在整条电缆线中立即产生电场。这电场是以光速建立起来的，位于北京的电子在这电场的作用下要向广州出发了。这许多自由电子在金属导线中不断地与金属原子相碰撞，每前进一步都非常困难。电子在这种导线中实际上每秒钟只能往前走一个毫米左右。

假如电信号不是靠电场而是靠电子来传播的话，那么，在北京的父亲给在广州的儿子打电话，电子大约要 60 年才能到达广州，儿子在电话机旁等到比 60 岁更多的时间才能听到爸爸的第一个声音。平常人步行 1 小时按 4 公里的速度计算，也比电子快上 1000 倍呢！

如果传送长途电话用的是交流电源，那就更加麻烦了。因为在交流电场作用下，电子一会儿向前运动，一会儿向后运动，那就是老寿星，也等不到北京的电子到达广州了。

三、电子比火箭还要快

电子比火箭还要快，似乎和上面谈的结论自相矛盾，其实不然。上边我们谈的是金属导线中的电子，而现在说的是在真空中的电子。

在真空中的电子由于不和其他物质的原子相碰撞，前进的阻力很小，它的运动速度和电子所在空间位置的电场强度有关系。

在电子管里，电子受到近 300 伏的阳极电压加速，速度

可达每秒近万公里。宇宙火箭每秒 17.6 公里就可以脱离太阳系奔向那浩瀚的宇宙深处。而电子在真空中的速度是火箭望尘莫及的。

在电子显微镜中，阳极电压达到几千伏乃至上万伏，电子在这样强的电场作用下速度就更快了。在电子回旋加速器中，电子在磁场的作用下不断地转圈运动。在它的运动轨道中几处都设有电场，这样电子每圈都要加速，转的圈数越多，得到的能量就越大。电子在这里起劲地飞跑着，几乎就要接近光的速度了。

第二节 爱迪生与西屋的争论

大约在一个世纪以前在，美国的某个集市上，车水马龙，人声熙攘。集市的一头簇拥着几百名观众，只见高台上站着一位演说家，虽然他的陈词激昂，并没有获得多少听众的理解和赞同，但他的实验表演却引起了不少人的注意。

演说家叫助手带上来一条黑狗，然后将两电线缚到狗的身上，他命令助手给狗通上交流电，并逐渐增加电压，眼看着这条黑狗发出绝望的惨叫，顷刻间一命呜呼了。顿时人群里响起一片狂叫声和口哨声，这声音中有欢呼，惊叫，也有指责和谩骂。

就在这时，台子上又出现了第二条黑狗，演说家指着这个活蹦乱跳的畜生对观众说：“这回我们改用直流电压。为了证明直流电比交流电安全得多，我要给这条狗加上更高的电压，大家将看到，在更高的直流电压下，狗依然能够生存着。”

正当实验要继续进行时，人群中走出人一位先生，自称是××动物保护委员会的成员，他坚决要求立即停止这种危害动物的残酷实验，否则将向法庭起诉。在这位先生的干预之下，人们没能看到这场表演的最后结果，演说家只好停止了实验。

原来，这种街头演说和表演者的背后，隐藏着一场剧烈的竞争，而且是轰动一时的两位大发明家之争。

举世闻名的发明大王爱迪生一直是搞直流电应用的，他认为直流电比交流电安全，希望人们都用直流电。爱迪生本人在北美杂志上发表文章，说“交流电是极端危险的东西，而且到目前为止，还没有发现减低这种危险的方法”。因此爱迪生公司专门致力于推广直流电的应用，宣传交流电的危害。

与之同时代的另一位伟大发明家名叫威斯汀豪斯，按意思翻译过来叫西屋。西屋一生有360多项发明，虽然不及爱迪生的发明多，但他发明的范围很广；西屋是主张使用交流电供电的。

在这场争论中，获胜的竟是西屋。因为为纪念美洲新大陆发现400周年，在哥伦布展览会开幕时，一幕25万盏电灯同放光芒的盛大灯典正是西屋的杰作。从此使用交流电供电的方法占了上风。

但是，至今世界上许多国家还使用110伏的交流电，其中一个重要原因就是不敢完全忽视爱迪生当年的告诫。

交流电究竟是否比直流电更危险呢？科学实验的结果证明确实如此。但究竟多少伏电压才能使人造成伤亡呢？事实表明，在人的皮肤潮湿，或部分皮肤破损时，即使在很低的

电压下，也会造成重大的伤亡。相反，有时在很高的电压打击下，虽然人的心脏会立即停止跳动，但机体并未发生损伤，不少受过高压电击的人往往能使心脏慢慢恢复跳动。

真正对人产生危害的是电流而不是电压。有时人们不注意，误触上了交流电源，会感到贯穿身体一直传到头部的一种麻木感觉，这种情况大约有 0.5 毫安的电流流过了自己的身体；如果有 5~10 毫安的电流流过身体了，则会造成人体肌肉痉挛。当发现某人触电后手紧紧抓住电线不放时，那就具有 10~20 毫安的电流流过身体，那将使人呼吸困难，近于休克。

因此对于 50 赫兹的交流电往往规定安全的电流数值为 10 毫安，而对于直流电这个安全界限则放宽为 50 毫安。当然对人造成危害的程度也和触电的时间长短有关。

另一方面，电流的频率不同对人体的影响也不同，一般高频电流对人体危害比起低频电流较小，因为高频电流通过人体时将沿着人的表皮流动——这是真正的趋肤效应，而 50 赫兹的电流则被认为是最危险的。

既然 50 赫兹的交流电最危险，那为什么西屋会取胜呢？因为直流电在输送过程中导线上降压多，消耗功率太大，成本很高；而交流电可以用变压器升压的办法将电压升压后输送到远方，因而导线上损失的功率较少。

不过，直流有直流的优点，交流有交流的长处。比如一只电铃，当我们通上交流电时，电流流过磁铁的线包，交替地改变电流的方向，使电磁铁吸动小锤一下一下地敲打铃碗，发出清脆的铃声；而在直流电作用下电铃只能是一只哑铃，

或者要加断续开关。

相反，在电解食盐水的电解槽中，则只有合适的直流电压加在电极上，才能使两极处分别产生氯气和金属钠。但是，在一定条件下交流电和直流电是可以互相转换的。爱迪生和西屋的争论，都有各自的道理，但谁也不能完全取代对方。

第三节 水下“雷达”

声纳跟踪系统又是怎样能拍下他们的照片来的呢？大家知道，深水对于肉眼是并不透明的；雷达系统纵然能准确地判断高空中的飞机的位置和速度，对于水下它可无能为力，因为无线电波能够被水吸收，产生热量，它的能量在水中很快地被衰减掉了。水底世界对于无形电波来说是“此路不通”的。

声音的传播却有着相反的情形。在空气中，声音传播的速度是 340 米/秒左右；而在介质中，声能很少被衰减，声速变得很快。在水中，声波的传播速度可达 1400 米/秒。因此，人们采用超声波代替无线电波，利用声波的反射来探索水底世界的奥秘，这就是声纳的原理。

如果我们按照一定方向把石英晶体切削成薄片，它就具有这样的特性：当把石英片拉长或压缩时，它的两面会产生不同极性的电荷。若石英片受的是周期性变化的压力，那就会产生出交变电流来。这叫做晶体的“压电效应”。

反之，若在石英片上加有电子振荡信号，它也会产生变薄变厚的振动，推动周围的空气，产生超声波。在声纳系统

中，人们用电子振荡器产生几十赫兹的电子振荡信号，加在石英晶体上，产生超声波，再通过发射机将超声波聚成细束，定向发射出去。

此后，等待被测目标将超声波反射回来，由晶体接收，产生电信号，经放大器放大后送至控制系统进行分析，并通过显示系统显示被测目标。由于发射和接收是依次间断地进行，因此接收与发射可使用同一晶体。控制系统可用电子数字计算机，它能准确地控制声纳系统跟踪探测目标。

声纳系统目前已被用于测量海水深度，发现暗礁，搜索潜艇，还可以探测鱼群的位置和数量。但它的作用距离和分辨能力，特别是快速跟踪能力还有待进一步提高。

第四节 微波杂谈

微波，顾名思义，是一种波长很短的电磁波。一般把波长为1毫米~1米的电磁波称作微波。由于微波传输的方向性好，又能集中传输很大的能量，因此在雷达、电视和卫星通讯等方面都得到了极其广泛的应用。

一、哪里来的信号

天文学家为了观察和研究宇宙中某个星体的现象和运行规律，经常用射电望远镜向某个星体发射较强的无线电信号；这些信号在到达该星体后，一部分被吸收，另一部分被反射。

天文学家通过研究和分析这些反射的电波，就可以知道该星体含有哪些元素，具有哪些特性。而对于那些相当遥远的星体，比如那些距地球可能为几百光年（注）几千光年，

甚至更远的星体，就不用这种方法了。

拿距地球 100 光年远的星体来说吧。无线电波从地球发射出去，再从该星体反射回来需要 200 年的时间（电磁波传播速度近似等于光速）。这是任何天文学家也等待不了的。因此，对于这远方的星体，天文学家就把天文望远镜直接对准它，观察从这星体上发来的信号。

天文望远镜相当于一个具有极高灵敏度的天线，它可以接收所对准的星体发来的无线电波。不过这些电波并不是观察星球时才发出的，而是几千年、几万年或更久以前该星体发出的光，现在才传到了地球。也许你在观察它时，这个星球早已不存在了！天文学家用这种方法研究星体，已经取得了许多卓著的成就。

1964 年美国的科学家彭吉亚斯和威尔逊，为了使卫星通讯的效果更好，对可能干扰卫星工作的电波进行了研究。

当他们用高灵敏度的天线接收银河外星际气体所发出的波长为 7.35 厘米的电波时，发现有一种消除不掉的背景辐射；这种微波波段的无线电波究竟来自何方呢？

他们进一步研究发现：不只是在 7.35 厘米的波长处有这种现象，而且在 1 毫米到 30 厘米的波段中都可以探测到这种背景辐射。特别令人奇怪的是：它不只来自某一个或一群星体，这种电波同时来自于天空中的各个方向；而且每个方向发来的电波强度几乎都一样，形成均匀的背景辐射。是谁把我们的地球包围了起来，从我们的外围各个方向上一齐向我们发出信号的呢？

对于这样一个难以解释的宇宙现象，科学家们进行了深

入的研究和探讨。原来这个现象和宇宙的起源还有关系哩！

关于宇宙的起源有着各种假说：其中一种称作宇宙膨胀理论，它说大约 100 亿年以前，宇宙开始膨胀，也称做宇宙大爆炸，它与中国古代神话传说的盘古开天辟地时的情形相类似。到处是一片高密度、高温度的混沌一片。随着宇宙的不断膨胀，物质密度逐渐变稀，温度变冷，最后凝聚成许多星际，恒星等天体。微波背景辐射就是在这宇宙膨胀的后期中发射的。经过 100 亿年以后，今天被地球所接收到的是已冷却到 3K（即零下 270^o）的宇宙尘埃发出的黑体辐射。

由于微波背景辐射的发现，为宇宙膨胀学说找出了论据，因此，被认为这是 20 世纪 60 年代天文学的四大发明之一，也是 20 世纪天文学的一个重大成就。科学家彭吉亚斯和威尔逊因此于 1978 年获得了诺贝尔奖金。

二、神奇的金字塔能

埃及的大金字塔举世闻名，它是能够标明地球文明的少有的伟大建筑之一。据传它是在约 5000 年前为古埃及第四代法老胡夫建造的陵墓。

胡夫大金字塔高达 146.6 米，约有四五十层楼房高，由 230 万块巨大的石头堆成。石缝中没有任何粘合剂，却严丝合缝，真是鬼斧神工。

关于金字塔的建造至今人们看法尚有争论，许多人怀疑在技术落后的远古时代，人们能否有建造这么宏伟建筑的能力呢。因此，有宇宙人、外星人建造之说。同时，金字塔的结构数据与数字、地理以及天文学等都有许多极准确的巧合，这就使人们对于金字塔的奥秘更为关心。就是在电子学方面，

金字塔也有其美妙之处呢！

20 世纪 30 年代后期，一个叫鲍维斯的法国人在参观金字塔时，注意到一种奇特的象：在位于塔高 $1/3$ 处的王厅堂中有一只垃圾桶，里边有水果屑、瓜皮及死猫、死狗等小动物。当时厅堂内温度很高，可是这些小动物的尸体不腐烂，反而脱水，变成木乃伊了。

鲍维斯回国后，模仿金字塔的结构造了一个模型，并也把一只死猫放在塔身 $1/3$ 处，结果同样巧妙的现象发生了，死猫并不腐烂。从此，关于存在着一种神奇的“金字塔能”的说法传开了。

后来，人们相继发现这种金字塔式的结构保存水果，不仅可以保持新鲜，而且味道更为甘美。在这里存放过的种子，种出的农作物更为茁壮。有人在金字塔式建筑中睡觉，感到头脑清新，心旷神怡，甚至还能清除诸如牙痛、肿痛等症状。

捷克的一位工程师把一把旧的剃头刀刀片放在金字塔式建筑里，发现已经用钝的刀片又变得十分锋利起来。据说他为此还得到了“金字塔剃头刀刀片锋利器”的专利。

科学家们经过研究分析，倾向于“金字塔能就是微波”。金字塔形建筑是一种最为有效的微波振荡器，它能把宇宙中各处发来的微波，有效地汇集起来，并使它能发生谐振。因此采用金字塔式结构可以把来自宇宙深处的能源有效地集中起来为人类服务。实验还表明，在塔身 $1/3$ 处最为有效，而且，若避免了高频电压，如日光灯、电视机等的干扰后，效果就更好。

三、凶狠的武器

别看微波对死猫、死狗有保护作用，它对活猫活狗可是挺不客气的。原来，一定强度的微波可以使动物体内脱水，甚至可以使动物的神经麻痹，肌肉瘫痪。

有人为了赶走飞机场附近的飞鸟和家禽，保证飞机起落的安全，他们用每平方厘米为 10~30 毫瓦的、频率为 16 千兆赫兹的微波照射被关在铁笼中的鸡群，开始时鸡群情绪激动，几秒钟后就相继瘫倒，失去自控能力。

过强的微波对人体也会发生损害，但是人们还是可以应用微波的这个特点来为自己服务的。如微波驱鼠器，微波电子灭蚊器等。据说微波电子灭蚊器，不仅杀伤力大，而且永远不会使蚊虫产生适应性。

第五节 漫谈红外线

一束白光照射到三棱镜上，被折射出一组由紫、蓝、青、绿、黄、橙、红七种颜色排列成的彩带，因此证明了白光是由七种颜色组成的。

19 世纪初，英国的科学家候舍勒在研究太阳光谱时，用灵敏的温度计测量光谱中各种色光的温度时，发现红光区域温度最高。

测量完毕后，他把温度计放在靠近红光区域的外边（这里并没有光线），温度计的指示明显地上升了。这说明太阳光谱在红光以外还有一种看不见的光线，故起名叫红外线。后来经过许多科学家的研究，发现红外线也是一种电磁波，它

的波长从 0.76 微米一直到无线电波的毫米波。

红外线是由物体分子的热运动产生的。每一个物体都会发射或强或弱的红外线。理论上，凡是温度为绝对零度（零下 273 ）以上的物体都能发出红外线。物体的温度越高，所发射出的红外线就越强。

红外线用人的眼睛是看不见的。然而自然界中有的生物却能够看见红外线，如：有一种飞蛾，可以使自己的体温比周围环境的温度高出 9 ，它们往往在黑夜里飞行，每只飞蛾就像一盏红外灯高悬在夜空；它们的触须具有天线的的作用，专门接收几个微米波段的信号。这样，它们就能以红外线作为通讯联络的工具了。

假如我们能看见红外线，我们所看到的周围世界又是什么样子呢？这个问题提的并不荒谬，因为人们已经用这种对红外线敏感的底片拍摄了大自然的照片。

在这种红外照片上，还真有些黑白颠倒的味道哩！这里黑煤，却白得象雪，而雪却黑得像煤一样。由于树木和森林都能很好地辐射红外线，因而它们在红外照片上象漫漫白雪；天空中的空气能让红外线穿过而无反射，看起来竟像黑夜。

另外，红外线波长较可见光长，它能穿过烟尘、薄雾，因而视野较远。红外照片上可以呈现几百公里以外的山峰轮廓，这是普通照片即使在晴朗的天气里也拍摄不到的。

红外望远镜是一种供军事上应用的红外成像仪，它用类似电视扫描的装置把物体按许多点子（像素）进行扫描。由于物体上各点温度的差异，辐射的红外线强度不同。红外探测器接收到物体辐射出的信号再经过数据处理，在显示器上

就可以得到物体的形状影象了。

它可以发现隐藏在几公里外丛林中的坦克，甚至能分辨出土兵头上戴的伪装绿叶。因为折下的树枝和生长着的树枝在辐射红外线方面也有着微小的差别。

用这种红外成像仪，不论白天黑夜，都可以看得清清楚楚。例如士兵用装有红外夜视仪的步枪可以在夜间准确地射击；汽车驾驶员不用开灯就可以看清崎岖不平的道路；消防队员用红外装置可以迅速发现远处的火场；公安人员在汽车停车场的空地上甚至能拍摄出几个小时前在这里停过的汽车照片，从而找出破案的线索。

红外探测威力如此之大，有没有对付它的办法呢？有，俗话说，有矛必有盾。比如，当飞机发现有用红外制导的导弹向自己袭来时，就立即熄掉油门，开始滑翔，或者迎着太阳光的方向飞去；有的还放出热诱饵，诱使导弹上钩。

在许多场合下，还用照明弹、探照灯、强光源等对红外装置进行干扰，以加大本底光强，致使红外装置饱和、变瞎。

美国的鬼怪式飞速超过音速 2 倍，携带有新型导弹，机身涂得斑斑驳驳。据说这种保护色外衣可以对红外光线漫反射，使飞机与周围背景难以区分。它还能吸收飞机自身的红外辐射、不留热迹，使得靠温差成像的红外探测器失灵。以上所说的，统称为红外对抗。

人造地球卫星装上具有遥感功能的摄像仪，拍摄越来越少让发出的可见光和红外线的照片，可以探知地球上资源的分布情况。美国的一颗地球资源卫星距地面 900 公里高处，绕地球旋转一周约需 103 分钟。每过 18 天，就可把地球的全

貌拍照一遍，并将所拍的照片通过无线电信号发向地面站。

第六节 现代电子战

电子仪器的互相交锋，已成为现代战争中不可缺少的一种重要手段了。它的科学名称叫做电子对抗，起源于第二次世界大战时期。

1942年，德国空军部队训练了一批特务人员，让他们潜入到敌方地区，用秘密电台给德国的轰炸机导航，报告轰炸目标。后来英国军队发现了这个秘密，就派人模仿德国特务人员，用德语给轰炸机导航。结果，使德国轰炸机不是迷失方向，误入高炮火力区，就是轰炸假目标，甚至把成批的炸弹投入海中。

1943年的一个夏夜，天空一片漆黑，英国的轰炸机飞往德国的汉堡，德国地面防空部队的雷达机警地搜索着空中目标。当轰炸机群进入雷达的探视范围之后，德军的高炮正准备开火，英国飞机却突然来个“天女散花”，在空中撒出大量的锡箔片、箔丝，使雷达波胡乱反射，顿时雷达失去目标，荧光屏上出现一片斑白，英国飞机顺利地执行了轰炸任务。

1944年6月，英美联军在诺曼底半岛的成功登陆，也是电子侦察的一大功劳。当时，德军在这个半岛部署了40多个雷达站，近百部警戒和炮瞄雷达，并集结了大量歼击航空兵，海防快艇和其他防御。联军通过周密的电子侦察，完全掌握了德军雷达的载频、性能及分布情况。

登陆之前，联军参谋部故意“泄密”，似乎要首先在诺曼

底半岛以东的布伦地区登陆。与此同时联军还在该地区上空施放了大量的干扰箔条，使德军误认为有一个庞大的舰队和大批护航飞机正向布伦方向运动。于是，德国把大批海防快艇、歼击航空兵及防御部队调到诺曼底半岛以东。

“诱敌”成功后，联军迅速向诺曼底半岛发动了真正的进攻，首先用轰炸机摧毁了德军 80% 的雷达站，然后用 20 架干扰飞机对残存的雷达实施压制性干扰；德军耳目失灵，防御系统随即瘫痪。联军登陆一举成功，参战舰船 2127 艘，仅损失了 6 艘。

电子对抗的宗旨是：在战争中设法保护自己的雷达、通讯工具、导航仪及遥控、遥测设备，使其正常工作，而千方百计地使敌方的雷达成为瞎子，通讯联络中断，指挥失灵，导航失误，飞机迷航，导弹失控偏离轨道等等。半个世纪来，电子对抗的手段真是水涨船高，一筹胜一筹。

1968 年 6 月，苏军用迅雷不及掩耳的速度入侵盟邦捷克斯洛伐克，首先采取的也是电子战。它利用飞机的发动机喷射出大量电离的铯、钨、钠、钾等金属微粒，并施放大量涂敷金属屑的气球，瞒过了北约组织和捷军的全部雷达网，使入侵者已经进“家”，而对手还蒙在鼓里。

在第三次中东战争中，以色列的轰炸机去轰炸埃及部队，可是那机敏的雷达眼睛在老远的距离就发现了来犯者。根据雷达搜捕到的机群目标，早已等待出击的埃及导弹像饿鹰捕兔一样，一枚又一枚飞向天空，迎着机群而去。

眼看着这些导弹就要在机群中开花，突然，导弹失控，一枚枚导弹像断线的风筝一样，摇摇摆摆地飘然而去。同时，

地面防空雷达的屏幕上一片混乱，目标失踪。

这时，以军轰炸机群已快速飞临埃及上空，雨点般的炸弹从天而降，阵地上顿成火海，埃及部队遭到了惨重的损失。这次战斗几乎是 1943 年英德战争的重演，但技术手段却达到了更高的阶段。

吃一堑，长一智，以牙还牙的埃及部队总结了这次战争中的教训，在 1977 年的第四次中东战争中，使用大规模阻塞式电子通讯干扰机，使以色列的坦克部队通讯失灵，被埃及部队分割包围，以方遭到重大损失。可是以色列也不示弱，在后来的战斗中也使用电子干扰手段，使埃军前线部队与统帅部之间的通讯联络中断，得以突破埃及防线。

1982 年，英国和阿根廷在福克兰(英国称马尔维纳斯)群岛争端中，阿根廷使用了一枚价值 20 万美元的带有电脑的“飞鱼”导弹，一举击沉了价值两亿美元的英军“谢菲尔德”号巡洋舰。这个成绩应归功于准确的电子装置发挥了作用。

由于雷达系统的完善，高炮和防空导弹的命中率大大提高了，这样，飞机的安全就受到严重的威胁。因此，现代化的飞机上也都装上了先进的电子设备，各国空军都竭力增强机载警戒和电子干扰设备的能力。目前，电子对抗已发展成一门系统的科学，主要研究的是电子侦察与电子干扰。

电子侦察的方式很多，可以派无人驾驶飞机飞往敌方阵地观察，还可用高空飞机，将带有发报机的电子侦察仪器投掷到对方的导弹发射场或核武器试验场附近。这些仪器加有伪装，在荒原上犹如自然界的风化石头一样，很不容易被发现。它们定时发回对方关于导弹及核武器试验情况，是一个

巧妙地潜伏在敌方阵营中的奸细。

侦察卫星不受国界限制，可以居高临下，肆无忌惮地拍摄别国的军工设施及工业基地分布的情况。在战时，各种形式的雷达能够提前发现敌方部队的行动，电子侦察仪还能不断地在空中电波中搜索敌方的指挥及联络通讯信号等等。

电子干扰的目的在于减弱敌方侦察设备的侦察能力，使其致盲。比如一部雷达机，它有一个固定的工作频率，以这个频率向空中发射电波，再靠分析反射回波来判断空中目标。当得知对方雷达工作频率后，就可以用发射机发射与此频率相同的大功率干扰信号，使雷达的回波被淹没，使之无法正常工作。这种方法叫瞄准式干扰。

可是在实战中，雷达的工作频率都是极为保密的，很多雷达的开机时间都严格控制，平时尽量少工作，使对方无法侦察。还有一种跳频式雷达，一旦某一频率被干扰后，可以自动跳变到其他频率上继续工作，可见瞄准式干扰实难瞄准。

因此，就又产生极宽频带噪声的（也叫杂波）阻塞式干扰机。这样，不管雷达工作频率是多少，都在噪声频带覆盖之内。这种干扰方式用处很大，但也有其不足之处，就是频带太宽，能量分散，有用功率太少。

还有一种叫做扫描式干扰机，它的频带很窄，但不固定，可由最小到最大连续变化，因此也可搜捕雷达信号。由于这些干扰方式都使用了采用电子器件的设备，因此叫有源干扰。目前，许多有源干扰都配有电子计算机。接收机一收到雷达信号，电子干扰机便能在几十万分之一秒内发出干扰电波，其反应是十分迅速的。

有句俗话说：“一物降一物”，有源干扰虽然威力很大，但也有它的冤家对头。有一种反杂波辐射导弹，一“嗅”到干扰杂波的“味道”，就会跟踪而来，把干扰机彻底摧毁。

战争中常用的另一种干扰手段是无源干扰。专用的电子干扰飞机舱中满载着一箱箱的金属箔，当侦察到对方雷达工作频率时，开动飞机上的切箔机器，将金属箔片切成能强烈反射该雷达电波的适当长短的箔丝、箔片。这些箔片、箔丝可在广阔天空中形成一条几百公里长、十公里宽的干扰带，好像一道空中烟幕，轰炸机群可以在此掩护之下迅速地逼近对方阵地。

现代的军用飞机一般都涂有保护层，多半是石墨橡胶等导电性良好的材料，它能大量吸收雷达电波，使反射回波很弱，这样雷达就容易判错目标的距离。为了迷惑对方，还经常施放一些假目标，如小飞机、带有金属反射物的空中气球等等。一种叫角反射器的小金属物反射回来的电波竟能与飞机本身相似，往往使雷达上当。

一切电子侦察，电子干扰和电子遥控的设备和武器，其工作频率和信号形式都是至为机密的。设想一个正在空中向目标飞去的导弹，其控制信号若被对方窃知，此导弹便可在对方电子设备指令下改变轨道，提前爆炸，或去轰炸假目标。可以设想，更高级的反导弹系统还能使此导弹返回到发射一方，让导弹发射者自食其果呢！

第七节 电子炉灶

这里所要说的电子炉，可不是那种普通的电炉，而是真正的“无火之炊”。

一、无火煎蛋

那是很久很久以前的事了。一位表演者请大家看一个奇特的节目：他在一张木桌面上面放上一只铁锅，并且请来一位观众，让他亲自用手摸了一下，铁锅确实是凉的。再看看桌面上既没有炉灶，更没有火焰。表演者当面把油倒在锅里，油竟然沸腾起来了。接着他在这锅里煎鸡蛋，并且当众把它吃了下去。观众为之愕然。这是怎么回事呢？

原来在木桌的下面隐藏着一块电磁铁，当电磁铁的线圈中通上强大的交流电时，铁锅里就产生了感应电流，这种感应电流把能量传给铁锅使锅变热，以至能将鸡蛋煎熟。不过这种炉灶，在今天已不是什么奇迹了。

二、一个棘手的问题

1920年，苏联的一个无线电实验室正在制造无线电发射管时，遇到这样一个问题：他们要把一个已经密封在电子管中的阳极再加热。而这只电子管内已被抽成真空，如果把阳极取出来，就要损坏管子；不取出来，加热工具又无法伸到管子里去。

这时，著名的电子学家邦奇·布鲁也维奇想出了一个巧妙的办法。他做了一个金属圈，套在需要加热的阳极处的玻

璃壳外面，然后在线圈上通上超高频电流，阳极在超高频电场中被加热得通红发亮，而电子管的玻璃却还是凉的。

他们这个实验的成功，实际上正是电子炉灶的一个应用。

三、电子炉是怎样烧水的

实用的微波电子炉，是在一对平行板电容器的两个极上施加超高频电压。由于水分子是由氢原子和氧原子组成的，氢原子一端带有正电荷，氧原子端带有负电荷，假若在某一瞬间上极板电压为正，下极板电压为负，那么，水分子就要有一定的取向，使它的氢原子朝向下极板，氧原子朝向上极板；在下一瞬间外加电压改变了方向，上负下正，这时，水分子也就要掉过头来，使氢原子一端向下，氧原子一端向下了。

这样，外部电压不断地变化，水分子也就随之迅速地上下改变方向。于是，于行板电容器中超高频电场的能量就传给了水分子，使水分子剧烈运动，并由此产生了很大的热量，使水沸腾起来了。

超高频电流一般指300兆赫~3000兆赫交变频率的电流，由于它的波长很短，因此也叫微波。这种微波加热有很多特点，比如，对于不同的被加热对象，它所传给的能量也不一样。

人们在建筑房子或制作家具时都需要将木材烘干，一般的火炉烘干法常使板材变形，若用微波加热，木材上水分多的地方吸收热量多，水分少的地方吸收热量少，这样就使整个木材受热均匀，不致变形。

太空船的烧水问题

太空船在宇宙中飞行时，宇航员要烧些开水喝，可是烧了很久，也未见水沸腾，使宇航员很是纳闷。原因何在呢？因为我们在地球上烧开水，是地球引力之功。

比如我们用壶烧水时，位于壶的下部的水首先受热膨胀，向壶的上部运动，而上部的冷水向下沉降，由于这种对流作用，使得整壶水受热均匀，直至把全壶的水全部烧开。

而在运行中的宇宙飞船，完全处于失重状态，不能发生冷水和热水的对流，而水的热传导作用又很差，壶水的下部早已烧开了，而上部还是凉的。

有了微波电子炉，宇航员就不必为此苦恼了。因此微波电子炉可以靠交变电场的作用使所有的水分子频繁地换向、激烈地运动，而无须对流就把整壶水都能烧开。可以设想，用这种电子炉烧饭不会夹生。但是，要控制好适当的温度，否则，煮过了火整锅饭都焦了。

第八节 快乐的电椅

电子学也象其他学科一样，它的发展给人类带来了文明，但使用不当或者滥用，也会给人们造成严重的危害。

人的皮肤具有约几十千欧的接触电阻，当人碰到带电导体时，脚或身的其他部位与地相连，就相当于一个电阻接进了电源，形成了导电回路。在高电压或大电流的作用下，瞬时就就可致人于死命。因为较大的高频电流通入人体，会使人的心脏受到严重刺激，破坏人体器官的正常功能。法西斯匪

徒曾用这种惨无人道的方法来迫害被俘的官兵。

然而人体通入电流有时也会有其好处。如海中有一种鱼叫电鳗，身上带有几十到几百伏的电压。远在公元 1 世纪，希腊的医生，就已经知道了用电鳗的电击来医治痛风病。

在 19 世纪，更有许多医生试图用电来为病人解除疼痛。后来由于种类繁多的止痛药品大量上市，使这项研究延缓了下来。但药物止痛往往有副作用，因此人们又开始研究用电来止痛了。

人的神经网络像一条条电线一样，它把所感觉到的刺激信号送到大脑中枢，而每根神经有其专门的功能。神经传输刺激信号的过程就像多米诺骨牌一样，一个倒下，再波及另一个。

如果给人体一定的刺激，在神经上产生过载信号，阻止了信息的传输，人们就不会感到疼痛。比如在人的肢体受到重大损伤的瞬间，受害者是不会感到疼痛的，这就是由于过载信号的阻塞作用。

对人们的某些部位通以单一频率的重复性电信号，可以有止痛作用。但这也象服止痛药一样，开始时作用较明显，时间久了就失去了效果。

目前发现了一种 $1/f$ 规律，即加到人体上的电脉冲信号的大小随频率而变化，频率越高的成分，其电流越小，电压也越低；频率低的成分电流大些，电压也高些。信号宽度不断地变化，出现的时刻也是随机的。

实验表明，这种刺激信号有最好的止痛效果。目前在某些国家中，电子止痛器已进入市场。由于不同的人对刺激信

号的要求不尽相同，科学工作者对电子止痛的机理正在作进一步探讨。

来自外界电信号不仅能使人止痛，还能使人产生各种不同的情绪和感觉。有人用 1/40000 毫米粗的微电极来探测和刺激脑的单个皮质细胞，结果探明，下丘脑中有好感中枢和厌恶中枢，二者仅相距 0.5 毫米。

电刺激好感中枢可使人乐此不疲，可以设想，有朝一日，人们会研究出对好感中枢有最佳效果的刺激电流来，到那时，“快乐电椅”就会像彩色电视机一样成为深受人们欢迎的家具。在人们工作感到疲劳之际，电脉冲帮助恢复疲劳，使人产生一种像在美丽的海滨散步，在百花丛中浏览，或者欣赏最动听的电子音乐一样的快感。那时，再有人请坐电椅，被邀请者就不会感到精神紧张，而是十分乐于接受的了。

第九节 用电捕鱼

随着科学和技术的发展，捕鱼业也逐渐进入了电法捕鱼。目前世界各国都已经涌现出一批电捕船和电捕队。

一、先打昏再捕

直流电捕鱼是用强大的直流电源在水中形成电场，先将鱼儿吸至电场中击昏，然后一一捕捉入网。

这种方法的威力大，电击作用范围较宽广，无论水中各层鱼虾或藏匿在泥沙、石缝中的水中生命，一律不能幸免于难。电击后的鱼，都像吃了迷魂药一样，服服帖帖地漂浮到水面上。这时要手急眼快，尽速捕捞。

这些电捕船上都装有直流发电机，在船头安有一块金属板作为一个电极，再在一个长杆顶部装上一块电极板，水手将此带电极杆从船的前方置于水中，即形成电场。当然也可以将两极电分设在两只船上以扩大电击范围。

这种捕捞法，虽然不论大小、不分种类、不管鱼鳖虾蟹，一概先打昏后选取，但它可以选取所需，放走小鱼，消除水中鱼霸，有效地保护水中资源。

如果在电击法中使用的是交流电源。交流电在水中产生强大的电流，这样水中生命就要全部死亡，灭其九族。虽然一次达到捕捞目的，但是竭泽而渔，断绝了水产资源，是应该加以禁止的。

二、有声有色的陷阱

随着电子技术的广泛应用，电子法捕鱼也竞相产生，各放异彩。其中，声光诱鱼就是一种较为有效的方法。

这种捕鱼法，是捕鱼船是水中设置颜色醒目的灯光，由于很多种鱼都趋光性，所以见光而来；另外，再在水中用电子仪器产生不同频率的音响（鱼类对各个频率的声响也是各有所好）。这样，在彩色灯光及“悦耳”的声音引诱下，鱼群便会络绎不绝地远道而来，自投罗网。

实验证明，用这种方法往往能取得令人满意的收获。有些业余爱好者自制小型声光诱鱼器，在闲暇之时，垂钓河湾、水上，鱼儿也是争相竞往，吞饵率大为提高。

这种简单的声光诱鱼器是由一个自激多谐振荡器，两只晶体灯，一个弛张振荡器和一只小型耳机组成。

自激多谐振荡器振荡频率约为每秒钟一二次，它使两个

颜色不同的晶体灯（发光二极管）交替闪光，振荡器的输出再去激励一个简单的弛张振荡器。小型耳机在这里是作为弛张振荡器的负载当作喇叭用的，它能在水中发出有节奏的声响。电路用 1.5 伏或 3 伏电池供电。

将这些电路密封在一个玻璃瓶中，用钓竿垂入水中，在线的上部放上多个鱼钩、鱼饵，虽然制作简单，但用来钓鱼，却是妙趣横生。

三、欲擒故纵

人们在实践中，想出了许多捕鱼方法。

其中之一，是在鱼苗时期就拉网喂养。在喂养中每次给鱼儿投食时，都在水中播放某一频率的录音。久而久之，形成了条件反射，鱼儿闻声即至。

等这些小鱼喂养长大，将其投入海中，继续寻食生长；等鱼儿吃得肥胖个大，欲捕捉时，鱼主人只要在海中施放“开饭铃”，虽然时隔很久，但鱼儿听到这种熟悉的声音，依然争相竞往，自投罗网。

另一种更巧妙的办法，几乎是无本万利。科学家们根据鱼群相聚时发出的频谱规律，探索鱼类的语言，并用电子技术模仿鱼类的声音录制。当这些录音在水中播送时，游动的鱼儿便相携而来，相聚为欢了。

第十节 会发电的鱼

现在世界上已发现许多种鱼类。它们能在水中产生很强的电场，电场小鱼虾，击晕敌对鱼类和进入水域中的特征畜

或人。

鱼身上怎么能带电呢，经生物学家和电子学家们研究发现：不仅鱼类，任何生物机体中的每一个细胞都是一个极其微小的电池，这个微电池的电压大概是 50~90 毫伏。生物体中有数以亿万计的细胞，这些细胞电池叠加起来，能组成一个多么大的高压电源啊！

然而，绝大多数生物的细胞排列是杂乱无章的。这些小电池的极性各异，电压互相抵消，因此，作为一个生物整体来说，所能体现出来的总电压就极其微弱了。

许多鱼类却具有发电的能力。据统计，约 500 种鱼具有专门的发电器官，这种器官位于鱼体两侧的肌肉纤维或电板。电板能够把单个细胞产生的电动势串联起来，并能在周围的液体中产生明显的电压。

这些电板叠加成六角形的柱形体，电板之间充满胶状物质，起着绝缘作用。每一块电板都有与之相联系的神经末梢。像电池的简单串联一样，强电鱼的发电器官可由几百个到几千个电板串联组成，形成很高的电压。

生活在热带海洋中的身体扁平、形若圆扇的电鳐放电时可产生一二百伏的电压，而美洲的电鳗则可产生四五百伏的电压。据说，最高的可达 650 伏。

强电鱼不仅串联的电板数目多，电压高，而且，这些串联的电板组还能互相并联起来，从而产生大电流。有的可产生几安培以至 50 安培的强电流。

有人曾经设想把电鱼作为一种能源，用它来发电，他们试图用电鳗来作电动机的电源，在实验中，用棍棒去触动电

鳗，就立刻产生很大的电流。然而这电流极为短暂，并不能带动电动机运转。

显然用电鱼作电源的想法是不能实现的。因为电鱼平时并不带电，它的放电是由神经系统控制的。当电鱼的大脑神经受到刺激或兴奋时，就能发电来进行捕食，自卫和攻击。人们知道了电鱼的这种习性后，便把家畜赶下河里，使电鳗一再受扰，一次又一次地放电，很快地把电耗尽了，人们再走下河去，轻而易举地将电鳗捕捉上来。

由于各种电鱼身体中电器官的位置不同，因而在他们体内电流的方向也不同。有的从头部流向尾部，有的则从尾部流向头部，还有的从背部流向腹部等等。

除了这些“直流电鱼”之外，还有许多鱼能连续地、规则地发出低压电脉冲；同时，它们还有自己的“接收机”，从而组成了一个完善的电子导航系统。它们的接收灵敏度是极高的，能够检测水中电导的极其微小的变化，有的甚至能够觉察到几十个毫微安培电流所产生的微弱电磁场能量，它们根据这些信号互相联系，判断航向，自由地在海洋里游动。

第十一节 信号与干扰

收音机喇叭里发出的“咔咔”声，电视机屏幕上的“雪花”纷飞、图像乱扭，谁都知道这是干扰太大了。那么，你知道什么是干扰吗？简单来说，对我们有用的就是信号，没用的都是干扰。

是否是信号，不能看电波的形状是否“规则好看”，而要

看你关心的是什么。

那么干扰的大小又是怎样衡量呢？在两个电子设备里有两个干扰电波，一面的是 10 微伏，一面的是 10 毫伏，你说哪一个干扰大呢？有人会说：“当然是 10 毫伏的那个干扰大！”

其实不见得。假如这两个干扰都是放大器输入端的干扰，一个放大器的输入信号是 1 伏，干扰是 10 毫伏，那么信号就是干扰的 100 倍；另一个放大器的输入信号是 10 微伏，干扰也是 10 微伏，信号和干扰一样大。也就是说，10 毫伏的干扰对第一个放大器只有 1/100 的影响。但是 10 微伏的干扰就会使第二个放大器无法工作。

这正如我们要听阵地上的枪炮声一样，即使你大声地喊叫也不妨事；而当夏夜要听蚊子从何处向你袭来时，你用最小的声音也会成为干扰。

所以，干扰的大小，总是和信号的大小相比较而言的，离开信号本身只谈干扰大小是没什么意义的。信号对干扰的比率称为信噪比。一般的电子仪器总希望有一个较高的信噪比。

一般的逻辑电路都给出允许的干扰幅度，称为抗干扰度或阈值。对于放大器等线性电路，则要求信号至少比干扰大 5~10 倍，才能正常地工作。可是有时我们却会遇到这样的情况：干扰的幅度远远超过信号的幅度。能从这噪声的海洋中测出所需要的微小信号吗？有一种叫做锁相放大器的技术可以解决这个问题。

锁相放大器实际上是一种采用相敏检波器的交流电压

表。普通的电压表把信号和噪声一齐检出，锁相放大器则可以把输入信号的频率抓住，相位锁住，测出那沉溺在巨大噪声干扰之中的微弱信号来。由于锁相放大器只检出输入信号及与输入信号同频率、同位门的噪声，因此可以把信号噪声比大大地提高。

锁相放大器是一种十分有用的探测微弱信号的仪器，原则上它可以检出比噪声小 100 万倍的弱小信号。现在国际上较好的锁相放大器，测试的满量程只有 1/100 万伏。使用这样的仪器，就好比在巨雷下可以清楚地听到蚊子的叫声一样。

第十二节 $1/f$ 噪声与东方音乐

看了这个标题，读者也许首先要问什么是 $1/f$ 噪声？

人们发现，几乎在一切电子器件或元件中，都存在着一一种固有的噪声，这种噪声的功率密度与频率 (f) 成反比。也就是说，频率高的噪声成分较弱，而频率越低的噪声成分越强。因此称之为 $1/f$ 噪声。

在电子元器件中，这种噪声是由于两种材料之间不完善的接触所造成的电导率的起伏而产生的，这是一种表面态效应，因此也叫做接触噪声、过剩噪声、闪变噪声等等。

那么 $1/f$ 噪声与东方音乐又有什么关系呢？有一位富有浪漫色彩的外国科学家根据尼罗河洪水历年的水位记录，不加修饰地谱成一首曲子，据说具有东方音乐的色彩。经过研究，发现尼罗河洪水的水位记录正具有 $1/f$ 的起伏规律。

于是，有人又饶有兴趣地研究了一些古典音乐和爵士音

乐，发现它们在音调的变化以及音量的变化中都表现有 $1/f$ 的起伏。人们甚至直接从晶体管的噪声中产生随机的乐曲，听起来也是并不乏味的。

经过进一步的研究，发现在自然界中有大量的具有 $1/f$ 起伏规律的现象。比如太阳黑子的变化，地球地轴的转动，海洋的潜流等。

令人惊奇的是，连经过高速公路上某一点的车流都呈现 $1/f$ 的起伏。医学上，具有 $1/f$ 功率谱的电流信号能给人以精神神经快感，起到镇痛和解除痛苦的作用。自然界的种种现象，看起来似乎互不相关，其实却有着微妙的内在联系啊！

在电子器件中，由于 $1/f$ 噪声与频率成反比的特性，使得这种噪声在较低的频率时起着重要的作用。

而在 0 频率时，功率密度将为无穷大，似乎在那里可以产生无穷大的噪声能量。这简直近于荒谬了！科学家们看到了这块暗礁，在探索 $1/f$ 机理时，都巧妙地掉转自己的船头。他们在精确计算 $1/f$ 噪声的各种理论中，都试图规定一个频率下限，即设想在某个最低频率以下，功率密度为常数。

然而实际上，这个频率下限却是难以找到的。人们对 $1/f$ 噪声进行了实际测量，发现甚至频率低到每天几周，接触噪声仍然保持着 $1/f$ 特性。

真的要触礁吗？对这个问题作过一些定量的分析以后，会发现结果并不那么可怕。

根据实测经验得知，在 1 赫兹情况下，噪声电压约为几微伏；而当频率每减小 100 倍时，噪声电压才增加 10 倍。这样，即使频率低到 $1/31536000$ 赫兹，也只能得到 10 毫伏大

小的接触噪声电压；若再提高一个数量级，使噪声电压达到 100 毫伏，那恐怕要 100 年一次的频率的噪声了。这么长的时间，不要说一个确定的测量条件不能保持，就是整个测量电路中的元器件也不知要更换多少次了。

从理论上说，要想测到具有无限大幅度的噪声电压，那就要观察真正“0”频率的噪声信号，这意味着观测的时间将是无限长。显然这是难以实现的。由上面分析可知， $1/f$ 噪声在 0 频率附近的功率激增，是不存在实际上的威胁的。

第十三节 研究噪声获得的副产品

天文学是一门古老的科学，几乎在人类具备文字之初，就有了关于天象的记载。我国在几千年以前就开始了天文现象的观测，至今还保持着世界上最丰富的古代天文资料。1054 年由我国发现的一颗超新星的记录成了现代天文学史料中最珍贵的资料。

但在很长时间内，天文观测只能在天气晴朗的时候进行，观测的目标一直是天体发射出来的光的现象。“千里眼”只是人们美好的理想。自从超短波和微波技术特别是雷达技术的广泛应用以后，人们的眼界才得以延伸和扩大，观测天体时除了研究光和热以外，在地面上还能接收到比光的波长更长的无线电波。

20 世纪 40 年代，具有悠久历史的天文学中又诞生了一门最值得注意的新的分支学科，那就是射电天文学，这是一门在射电望远镜基础上发展起来的新学科。

射电天文学与电子学，尤其是与微波量子物理学有着紧密的联系，射电天文望远镜一般是利用高灵敏、低噪声的微波量子放大器作为核心部件的，许多宇宙电谱是某些分子的精细和超精细结构辐射谱或吸收谱，并且很有可能在宇宙射电谱中存在着微波激射现象。射电望远镜是“听到”而不是“看到”来自外层空间的电磁波的。

射电天文学本身只是科学工作者对静电进行研究而得到的一项副产品。

1928年，年仅28岁的物理学家赞斯基接受了贝尔试验室分配给他的一项任务，去解决横越大西洋的无线电话受“静电噪声”的严重干扰问题。

经过几年的研究，他发现产生静电干扰的原因之一是来自外层空间的无线电波的“捣乱”。这种“捣乱”的发源地极远，年轻又聪明的赞斯基居然能够断定这种捣乱来自人马座方向。射电波以电噪声的形式干扰地球，尽管它十分隐秘，它还是被俘获了。

1931年，赞斯基第一次吁请科学界注意“地球大气层中存在着一种明显的来自外层空间的定向电磁波”，这类电磁波中的一种，后来被证实是从一种被称之为射电星的天体发射出来的，灵敏的雷达接收机可以接收到这类电磁波。

由此在雷达接收机的基础上发展起来的专门接收天体射电波的设备——射电天文望远镜，就成了人类观测和研究天体的新工具。

在射电天文学的研究领域里，美国芝加哥的一位年青电子工程师雷伯继承了赞斯基的事业，他设计和制造了一架高

达 9 米多的射电望远镜和一个可转抛物柱面镜短波盆形反射天线，波长 1.9 米。1938 年，他用这架望远镜找到了一系列射电“热点”的位置。后来，这些射电热点被证明都是射电星。

射电源中的大部分都是一些处在特殊演变过程中的天体，有名的蟹状星云则是一场大爆发以后的超新星遗骸。我国的历史记载表明，我国天文学家早在 900 多年前就观察到了这些爆发。现在，地球表面的许多地方，都架起了巨大的射电望远镜，并对太阳的射电辐射进行了相当长期的观测。

射电望远镜依仗它巨大的天线来截获无线电波的能量，能量的积累由记录器记录下来，从记录中可以分析天体无线电波的起伏变化。天线越大，接收的距离就越远。

英国人班克在曼彻斯特附近的约屈莱尔河岸架设的射电望远镜，具有一架直径为 76 米的抛物面天线，竖立起来，足有 25 层楼房那么高；美国西维及尼有一个 90 米直径的盆形天线；澳大利亚人帕克造出了一个 64 米的可转盆形天线；科内尔大学则安装了地下可转动的庞大的半圆形天线，直径达 300 米。

但巨型天线不够灵活，也很难保持良好的工作状态。解决这方面的困难是采用一种远距离配合的方法，即在地球上相距很远的两个地点上同时使用两架射电望远镜，这样，实际上也起到了一架巨型天线的的作用，使观测具有很高的分辨率。

射电天文学家除了研究太阳等射电源以外——太阳是距我们最近的射电源，他们还发现了弥漫在宇宙中的极其稀薄

的氢。1951年，美国哈佛大学观察到的这一发射，是来自天空某些被称为中性氢的区域，它的频率相当于1.420兆赫，这正是氢原子超精细结构间的跃迁频率，也是氢原子微波激励器的频率。所以，哈佛的这一观察是十分惊人的。

但也有预言在先有高明者，一位荷兰天文学家就曾预言过，宇宙空间存在着这种辐射。这真是踏破铁鞋无觅处，哈佛大学把它找到了。

1963年，射电天文学界发现了自由基分子OH的波谱，以后几年里又发现了多种分子或自由基，而OH则是自由基分子中最主要的一个。

1967年8月6日，英国剑桥大学使用它们的81.5兆赫兹的射电望远镜意外地接收到了脉冲信号，当时并不明其原因。由于脉冲信号的周期惊人地稳定和准确，人们普遍怀疑是宇宙中其他文明世界传来的向地球人招手的电信号。

过了几个月，科学家们在分析记录时才意识到他们可能发现了一种新型天体，即脉冲星，取名CP1919。这一观测结果于1968年公开发布，引起了天文学界极大的轰动。现在，脉冲星被公认为是中子星，它们的星体小，但密度极大，有的每立方厘米的重量竟高达一亿吨！所以有人认为脉冲星是超高新星的遗迹。到目前为止，已发现的脉冲星达2万个，其射电频率从40兆赫兹到10000兆赫兹不等。

总的看来，射电天文学还是一门年轻的科学，但它却几乎经常拨动人们的心弦。1931年，当人们第一次接收到宇宙射电波时，许多人兴高采烈，以为是外星人拍来的电报。他们期望着能首先与外星人取得联系，并设想外星人也是以水

为生命的基础的，那么，在他们那儿也一定存在着下述关系式：



因此，射电天文学工作者把给外星人准备的信号，暂定在所谓“水洞”频率上是合乎情理的。“水洞”频率指的是 H 原子与 OH 自由氢之间的频率，大约 1400 兆赫兹~24000 兆赫兹。所以，非常可能的情况是，宇宙人——包括地球人和外星人在内的共同语言桥梁是“H”和“OH”。

第十四节 电子测量仪器

早期的电子测量仪器，都是用刻度盘或各种表头来显示测量结果的。由于数字化电路的发展使测量仪器增添了异彩，使用起来也更加方便了。

特别是近些年来又出现了微处理机。微处理机是电子计算机的核心部分，它具有控制和运算的功能，体积小，可以制作在一块很小的半导体芯片上。将它运用于电子测量仪器，给电子测量仪器带来了一场新的革命。

一、真正的“万用电表”

我们要测量室内的温度，就要用温度计；测量电信号的振荡频率要使用频率计；而测量元件的电容和电感值时，则要用交流电桥了。

一般的测量仪器只能测得一两种参量，就是所谓的万用电表也不过是只能测量电压，电流和电阻 3 个电参量而已。但具有微处理机的电子电路，再加上数字化的显示装置，那

就真可堪称“万用电表”了。它可以测电压、电流、电阻、电容、电感、频率、时间间隔等等；再配合各种传感器，就可以把诸如压力、体积、温度、湿度等各种物理量都转变为电参量进行测量了。

现在国际上有一种电子手表，它可以由液晶数字显示器指示出时、分、秒、星期；戴在手上还可以测出人体的血压、脉搏，甚至能分析出人的健康和营养状况；学生可以用它作为电子计算机进行数学运算。总之是一表多用，十分方便。

从某种程度上来说，未来的电子测量仪器不会像现在这样种类繁多，各专一职，它可能只有一种，但却是真正万能的。

二、自己给自己看病

经常使用电子仪器的人一定有这样的体会：仪器与一切生命相拟，再好的仪器也有出毛病的时候。好仪器用起来得心应手，令人喜爱，一旦出了毛病，那就不是件愉快的事啦！

为了检查故障的所在，需要查看仪器说明书，了解工作原理，分析电路图等。有的说明书厚达几十以至几百页，线路图几十张，别说电子学的门外汉，就是行家里手也要费不少功夫呢！

可是，具有微处理机的“万用电表”能够自己给自己看病。一旦仪器发生故障，它能通过附属的荧光屏或输出打靶机指出故障发生的地点及故障的原因。如“编号第一百号的与非门第二脚损坏，第三十七号晶体管发射结击穿”等等，使用者可据此更换元器件。

更高级的“万用电表”还能通过一定的机械系统，自行

改换接线或用备用无器代换损坏的元器件。无须人们动手，真可谓服务到家了。

三、不需要高精度

一台电子秤，要想称量准确，必须能将被测重物的重量——转换为相应的电信号（比如电压），而且这转换的线性要好。如果被秤重量与转换电压之间的关系不成比例，这台电子秤就没人敢使用了。

有了微处理机，这种弯曲的转换曲线也就不成问题了。只要被秤重量与转换电压有一一对应的关系，“万用电表”就能够对测量结果自己进行修正（当然在第一次使用前要用已知的标准重量逐点校准一次）。这样，最后我们看到的数字显示就能正确地对应于被测的重量。

重量和电压有良好的线性关系

重量	1斤	2斤	3斤	4斤	5斤
电压	1伏	2伏	3伏	4伏	5伏

重量和电压线性不好

重量	1斤	2斤	3斤	4斤	5斤
电压	0.72伏	1.90伏	3.25伏	4.07伏	4.80伏

可想而知，这样的“万用电表”对于其中的电子学线路仅有最低限度的要求，只要测量结果具有重复性，即每次测量结果相同，则测量的准确度是有保证的。而通常我们所使用的电子测量仪器精度越高，要求转换的线性越好，这对

于电子仪器的研制者来说是一个重要的难关。

另一方面,电子仪器中的元器件在工作时总是要发热的,元器件密度大的仪器发热更加集中。有的仪器在长时间工作后,机壳甚至热得烫手。而一般的半导体器件对于温度变化是很敏感的,因此仪器的性能也将受到温度的影响。

一般的电子仪器总是给出一个工作温度范围,越是精密的仪器,这个温度范围就越小。有的甚至还得附加专门的恒温设备才能保证较高的准确度。那么,未来的电子仪器能不能解决这个问题呢?

前面说过,具有微处理机的“万用电表”对于转换准确度没什么要求,并且被测参量还可在测前瞬间作即时校正,因此即使温度变化极大,也照样能够进行准确的测量。

这种“万用电表”不仅能测量某些参量,而且还能够自动地对被测数据进行分析,描绘曲线,列出方程,计算结果等等。由此可见微处理机进入电子测量仪器的领域将给人们带来多么大的方便啊!

第十五节 皮鞋里的暗探

有一次,美国驻某国大使馆的保安人员正在用电子仪器对大使馆的建筑物进行例行的检查,忽然仪器中传出了该使馆一位高级外交官员的谈话声。保安人员赶紧走进屋里用笔写了一张纸条,递给这个外交官,提示他赶紧离开这个藏有窃听器的房间。

外交官迅即离开了。可是,电子检测仪器里还是不断地

传出他的声音，不管他走到哪里，也无法摆脱这个跟踪追击的暗探。保安人员费了很大力气，才把这个暗探“捉住”。原来它是安装在外交官皮鞋里的一只微型窃听器。

提起窃听器的名字，大家一定不感到陌生。由于它所执行的都是些隐秘的侦察任务，因此微型化及伪装是它的两大特点。它可以安装在台灯底座、电话听筒、烟灰缸、花瓶、打火机、手表、钢笔及戒指里，现在最小的窃听器可以做得比一颗米粒还要小。

窃听器究竟是什么东西呢？

我们都收听过广播电台的广播节目，其实，一个窃听器就是一台微型广播电台。实际上，窃听器工作原理和无线电广播的原理是基本相同的。

它由送话发射器及灵敏接收机两部分组成。我们上边提到的藏在外交官鞋里的那个部分就是送话发射器。人的谈话声音引起周围空气的振动，这个振动在压电器件或其他类似的传感器中转变成音频电信号。高频振荡器不断地产生高频振荡信号：在调制器中，高频信号作为载波信号受到音频信号的调制，经过放大再由天线发射出去。这一套工作系统都是由一个微型电池如镉镍电池、水银电池等供电。

信号发射出去后，在处工作的灵敏接收机实际上是专收听一个“台”的高灵敏度收音机，可以把窃听到的谈话放大、收听并录下来。

上边谈的这种窃听器是一直在工作着的。它的工作时间受电池寿命的限制，而且在对方进行检查时也不能躲藏起来，较易被电子仪器搜索发现。

近年来，人们又研究出能够远距离控制的窃听器。这些窃听器的原理与上述窃听器没有什么区别，只是它的电源受远距离的一个固定频率的信号所控制。

这种窃听器一旦安置好后并不立即开始工作。当远处控制器发出一个频率 f_1 的信号时，与窃听器的谐振电路 1 的谐振频率相符合，产生一个信号将触发电路 1 改变状态，带动继电器 1，使电池接通，窃听器开始工作，向外发出窃听信号。

当窃听完毕时，发出第二个信号 f_2 ，这时谐振电路 2 得到一个信号，使触发电路 2 工作，带动继电器 2，使电池断开，窃听器就休息了。

这种窃听器工作起来省电，而且在对方检查时可以停电“躲藏”起来。据说美国驻苏大使哈里曼，就曾得到一位前苏联“公民”赠给他的一个带有这种窃听器的“礼物”。那是一枚象征着美国的鹰徽章，在这只老鹰的肚子里是一个镀银空腔。由于受声波振动，空腔体积不断变化，谐振频率不断改变，通过窃听器可以发射窃听信号。

由于电子窃听器在欧美一些国家里经常被用来干些不光彩的事情，因此声名狼藉，其实是受了委曲。电子窃听器不只是在侦破犯罪案件，加强公安保卫方面有重要作用，在军事上也有很重要的作用。

此外，电子窃听在为民造福方面也是大有用处的。比如，一个捕鱼队，将电子窃听器涂上香料，作为鱼饵，喂入已经捉到的鲑鱼肚子里，再将这条鱼放回海中，由于鲑鱼颇喜欢群居，因此捕鱼队靠这只藏在鱼肚子里的微型发报机，便能

准确地获悉鲑鱼群所在地点。使得捕鱼丰收。

人们还把电子窃听器放在老鼠体内，将老鼠放回，据此找到老鼠的洞穴，消灭它们。

同样，也可以电子窃听器安装在其他生物的身上，以便对它们的习性和活动规律进行深入研究。比如，自古以来，传说老象意识到自己生命的末日来临时，就进入象的公墓死去。迄今虽有很多人到野生象的天国——非洲去探险，但传说中的象的公墓还未发现过。假如能够借助于窃听器找到象的公墓，岂不是可以发掘出大量极其珍贵的象牙来人类造福吗？

第十六节 电子技术与海洋开发

自人类组成社会以来，就开始了海洋的利用和研究，收获不浅，付出的代价也很大。但人类真正认识到海洋的潜力和作用，还是 20 世纪中期以后的事。

半个世纪以来，世界各国为了各自的利益，在寻找食物资源和矿物资源方面，以及在各国的交往和军事应用方面，正对海洋下着大力气。可以肯定随着世界新技术革命浪潮的推进，一个全球性的积极开发海洋的新时代即将来临。

当世界日益增长的人口向海洋索取更多的食物时，一切有关海洋的情报资料就显得颇为重要了。如今，人类每年从海洋中获得的食物大约是 8000 万吨左右。

如果人们对海洋这片“尚未开垦的处女地”进行精心和有效管理的话，那么，据估计，人类每年能从海洋中获取的

食物为 2 亿吨。这个数量尚不至影响海洋生物的正常繁衍和毁坏，当然也包括合理开发，从而能保持海洋的生态平衡。然而，当今海洋的实际情况却不免让人忧心忡忡，不合理的使用海洋正在不断地降低着它为我们提供食物和资源的能力。

海洋除了向人类提供食品资源以外，它还几乎包含有人类所需要的一切宝贵资源，而且数量十分巨大。据著名科普作家阿西莫夫在《宇宙、地球和大气》一书中所作的估计，在海洋中大约含有 40 亿吨铀，3 亿吨银和 400 万吨金。实际上，近年来人们已能从海水中提取镁和溴，在全世界所生产的全部溴当中，有 75% 是从海洋中提取的。

在海洋的深处还散布着大量的金属结核块，其核心大体上是由砾石或鲨鱼的牙齿等组成，外部逐渐凝起一些含锰量甚高的金属物，这种金属团块广泛分布于太平洋的洋底，保守的估计是每平方公里的含量在 12000 吨以上。如果说这些锰不足于十分吸引人的话，那么和锰粘结在一起的，大约还含有 1% 的镍、0.5% 的铜和 0.5% 的银。这些就足于吸引人尽早动手开采它们了。

甚至就连在全部海洋物质中占 97% 的海水，也是十分重要的。我们居住在这个星球上，淡水有限，而需求量在日益增加，大工业需要大量的水，电子工业需要十分纯净的水，农田灌溉、人们食用需要不间断的供应水。

人们砍伐森林使沙漠渐趋扩大，非洲北部的大旱灾使数以万计灾民面临无法生存的威胁。人们最终将不得不使用经过淡化处理的海水。目前世界上大约有数千家海水淡化工厂

向人们供应淡水，一旦淡化技术完善和成熟，从淡化工厂出来的淡水，完全可以和天然雨水的数量比高低。

几十年前，阿波罗飞船上的宇航员从3万公里之遥拍下了地球的照片，看起来象一个蓝色的“大月亮”。原来是占地球表面3/4的蓝色海洋的反射光起了大作用，柔和的蓝色基调让人倍感亲切。从根本上说，得天独厚的地球，有了这蓝蓝的海洋，才孕育出生命，才有今天的勃勃生机。

但是，海洋也有凶猛、狂暴的一面，呼啸的海风，浮天的海浪，也会成许多灾难。因此研究海洋，认识海洋，以便更充分地开发利用海洋，已成为人类所面临的紧迫任务之一。当今世界，海洋科学已成为各发达国家专心致力的重大科学领域之一。电子技术成了揭开海洋的奥秘、打开海洋宝库的一把金钥匙。现在，可以毫不夸张地说，海洋的研究与开发，一步也离不开电子技术！

利用电子技术，人类不但能离开地球，遨游太空，开发宇宙宝藏，建设宇宙城市，而且还要深入到占地球总面积为71%的海洋中去。蓝蓝的大海上将出现崭新的“蓝色城市”，海上专列将如游龙飞奔，水下通讯将会四通八达，另一个人间乐园将会首先出现在海洋上。到那时，欣欣向荣的“水下人间”必将成为整个人类文明不可分割的一部分。

但是，人们对海洋的设想往往过多地充满着幻想、诗意、天真和浪漫的色彩。事实上，咆哮的海洋中有许多尚不为人知的秘密，它在我们关于地球的知识中还是一个巨大的空白。海洋研究工作者尚面对着一大堆有关海水水质、海水环流、海底构造和海洋栖息生物方面的未知数。

人们曾经认为，海洋是由自然界中变化较小、较慢，因而被称为惯性很大的、非常适于研究生物进化的宝地。在那里，温度、含盐量，以及其他溶解物质的含量的变化是很小的。

不论是以季节而论，还是以地质年代作为尺度去衡量，这种变化与陆地上新发生的变化相比是微乎其微的。因此，在广漠的海洋中，有可能生存着几个地质时代以前的代表性生物。

事实上，早在 1864 年就从 540 米的海洋深处获得了海百合，而在那以前人们以为这种生物已经灭绝了。以后，人们又发现了鲜红的海胆，它在陆地上也只能在化石中找到。1939 年人们发现了矛尾声鱼，这也是人们早先所不曾料想到的。

有时还出现这样的情况，有些海洋中的动物，人们偶而见到过它们，但因为它们太古怪了，又弄不清它们的属性，或者干脆认为它们早已在地球上绝迹了而不敢相信它们现在仍然存在。这也多少有点象天空不明飞行物 UFO，人们弄不清它们究竟为何物，但目击者都说他们发现了它们。

电子技术在研究海洋生物，开发海洋，利用海洋的许多问题上是有大作为的。这些问题包括寻找、发现和测量各种目标的方位，如船只、鱼群、矿藏以至那些稀奇古怪的生物等。

海洋研究中的一个大范围技术问题是涉及到测量世界性海洋的各种参数和特性。为此人们必须要有目标地分析被研究对象所带有的大量信息，并寻找出能减少因多种因素导致测量误差的方法。

尽管需要解决的问题以及实施的种类十分繁多，但电子设备的本质却是相似的。它们的工作原理都是以电磁波或声波和光波的能量在目标区形成一种场，然后获取许多被测数据的；工作方式也大致经历发射、振荡转换、放大、接收以及与数字装置工作有关的逻辑程序等。

雷达系统在海洋调查中的作用是十分重要的。为了提高雷达的作用性能。目前，在海洋电子技术中基本上应用3厘米波段的雷达系统（1~10千兆赫）。为了保证雷达在波束方向上具有较高的分辨率，脉冲压缩技术是比较理想的方法。

侧视雷达系统几乎是“全天候”的，不管气象条件如何，也不分白昼黑夜，它在相当大的距离范围内均能获得清晰的水面照片。尽管在研制卫星侧视雷达系统中，有许多技术和方法上的难题，但它必将成为一种主要的遥感系统。

海洋考察中应用的雷达系统，仅仅是复杂系统中的一个小分支系统。在研究和开发海洋的工作中，通常用的是水面和水下作业，支持这一工作的有母船和水下试验室等一整套装置。

母船通讯台通常设有无线电通讯机、电传打字机、传真机、电话、电视机、声、光警报器等。水下试验室和航天舱很相像，为了使工作人员能在试验室生活和工作，这里的条件应该与地面上十分相似，例如适量的空气、适当的气压和温度，这里还得有厨房、浴室、湿门和应急舱等生活设施，通讯工具更是不可少，诸如电视摄像机、电报机、声力电话、传声器、各种应急警报器和计算机终端等。

当然，由于海洋研究和开发工作内容的差异，航船和水

下装置中的仪器也是不一样的。但无论是研究海洋资源，还是打捞或水下军事活动，都需要派人潜入海中，支持他们活动的是一系列复杂的装置。它们几乎无一例外地不受到电子装置的控制。在这方面，电子装置显示着无与伦比的优越性。

第二次世界大战期间，苏联购买了一批美国武器，当时是以黄金支付这笔钱的。1942年，苏联一艘载有五吨半黄金的船只在开往美国途中被德国击沉。

五吨半黄金，这是一笔不小的财富，它引起了世界各国打捞公司的重视。但许多人的努力都宣告失败了。后来，是在计算机的帮助下才得以打捞成功的。

这与苏格兰捷索普海洋采矿公司的努力是分不开的，它使用了西德制造的潜水基地母船，这艘母船设备先进，潜水员和潜水设备各种动作的协调全部由电子计算机去完成。计算机有三种不同的输入输出系统，这就使控制系统的可靠性大大提高了。母船本身的动态定位系统，也由计算机控制着，以使母船始终保持在一定的位置上。

通过潜水员的努力，终于将这笔在250米的深海里浸泡了几十年的财富打捞了上来。当时，这些黄金的归属问题还曾引起了一场国际纠纷呢！

1966年1月17日早晨，美国的一架B-52重型轰炸机正飞行在地中海边西班牙巴洛马列斯村上空，另一架型号为KG-125的运输机此时正飞行在它的旁边，它试图给B-52飞机补充喷气燃料。

不幸，它们没能完成任务就碰撞坠毁了。更为糟糕的是，B-52飞机上载着的4枚氢弹失踪了。这可是件大事！因为

这 4 枚氢弹一旦爆炸起来，就相当于 120 万吨梯恩梯炸药的威力，这无疑是一场巨大的灾难，也无疑将使美国军界的威信和声誉扫地。

幸好氢弹没有爆炸，美国人在村子里找到了 3 枚完好的炸弹，估计另一枚是坠入地中海去了。美国海军立即出动了两艘他们引以为自豪的深海潜水船，在出事地点附近区域投下了精密的潜海机器，在茫茫海面上不厌其烦地从事大海捞针式的艰苦作业。

当他们的潜水机器第 19 次潜入水时时，终于在离海岸 8 公里的地方找到了氢弹，并发现缠绕在 3 米长的氢弹外面的降落伞还完整无损。工作人员投下了端部带有钩子的钢索和其他一些必要的设备，从水下 765 米处钩住了氢弹。就这么一个看来似乎简单的动作，但在水下由机械装置去成，难度就大多了。

起初，进行得并不顺利，在起吊过程中，当氢弹距水面只有 100 多米时，钢索断裂了，氢弹又重新掉进海底，这一回它掉得更深了，据测量，氢弹掉到 850 米深的另一个地方去了。

当时的美国总统约翰逊闻讯此事，指示不惜一切代价要把氢弹打捞上来。

又一艘深海探测船出动了，它的关键性设备就是装有电子计算机和电视摄像机的“卡布”号打捞机。“卡布”能长期在水下工作而不需人在水下帮忙。电子遥控专家们只需坐在指挥船上，通过电视屏幕就可知晓海底情况，他们指挥着装有液压活动关节的“卡布”，结果没有花多少时间，这枚氢弹

被抓出海面，稳稳当地停放在回收船的甲板上。“卡布”装置的功劳不小，实际上，它是一个带有复杂电子装置的机器人。

潜水艇能深藏在水下，完成水面舰船所无法完成的任务，它在平时可以搞侦察活动，在战时则可实施对敌舰船和海港基地的偷袭，隐蔽性很好。

但由于潜艇会发生螺旋桨和机械运动的低频噪声，它自身的安全性又大大降低了。因为人们也正是利用这种有规律的低频噪声，发展了一种被称之为潜艇线谱噪声的超远程探测声纳，用于侦察或跟踪潜艇。因此，声纳也是应运而生的时代产物。由于声纳的功能与雷达很相似，故也有“水中雷达”之称。

除了在海上行航的船只发出噪声以外，还有拍浪、湍流噪声和因为海底火山活动、地震、风暴、潮汐、海流、生物活动等因素造成的噪声。水下噪声成了海洋物理中一个分支——水声学中的一个重要研究课题。

远在几个世纪以前，人们就注意检测这种水下噪声了。公元 1490 年，意大利人有人在他的一篇日记中就曾这样写着：“如果使船停航，将长管的一端插入水中，而将管的开口端放在耳旁，则能听到远航船的声音。”

这篇日记的作者正是那位留下了不朽名画“蒙娜丽莎”、“最后的晚餐”的著名画家达·芬奇，他和拉斐尔、米开朗琪罗同称为意大利文艺复兴时代的三杰。

除了以画著称之外，达·芬奇还是位优秀的工程师、数学家和诗人。他不仅提出了存在水下噪声这一物理现象，同

时，也提出了探测水下噪声的方法和设备。直到第一次世界大战期间，这种方法人们仍然还沿用着。

现在电子技术不仅能使我们听到水下噪声，还能“看到”水下噪声呢！实际上，这只是接收声纳把噪声变为电信号，并在屏幕上显示出来而已。声纳和雷达的不同点在于，前者利用声波在水下的传播特性，而后者是利用电磁波在空中的传播特性。因为电磁波的能量在海水中衰减得很快，这就使它们在深海中工作几乎无能为力。

美国有一种大型的声纳设备，名为“SQS-26”，它的听声器部分是一个直径达5米的球体，整个导流罩长达13米，宽8米，高6米，重达好几百吨。

美国海军曾做过这样一个实验，他们在靠近加里福尼亚的门多西诺爆炸深水炸弹，长达十几分钟以后，远在印度洋的大巴里埃岛和马约尔岛收到了爆炸声音信号，声波几乎斜贯太平洋后仍被接收到，这确是相当惊人的。功劳应归于他们高精度的声纳设备。

声纳一登上海洋的舞台，就开始在测距、定位以及水下通信等领域发挥出巨大的作用。利用声波，在水下潜伏的潜艇间可以互通消息、传递密码。

声纳员与无线电信号一样，随时向驾驶员和指挥员报告水下情况。分析、判断接收到的声音信号，是声纳员一项重要任务，因为不同的物体，运动时可以发出十分接近的声纳信号，这就给声纳员的工作带来了困难。例如，鲸鱼游动时，尾巴拨水发出的声音和潜艇螺旋桨的拨水声就很相似，这样就发生了误把鲸鱼当潜艇的趣事。第二次世界大战期间，就

曾发生了好几起用鱼雷攻击鲸鱼的怪事，这对海洋生物来说，真是太不幸了。

水声通信还会遇到许多障碍。起伏不平坦的海底，会使声音造成许多杂乱的反射；海水的情况复杂，不同的温度、盐度、深度、密度，会形成不同的水团，它们有着各不相同的特性，使辨别水声信号变得困难。

电磁波并不是不能进入海洋深处的，随着技术的进步，电磁波在海洋通信中的作用也日渐明显起来了。波长在 1 千米以上的超长波，就可用于潜艇通信和导航。利用它，可以使通信不受磁爆、核爆和太阳黑子的影响；它可以穿到海水的 30 米深处传递信息。波长为 1000 米到 10000 米的长波则适于地面和海面通信，气象变化对它的影响小，可以全天候工作。比长波更短的波，就只能在空中或更远的宇宙空间传播了。所以适合于深水通信的就只能是超长波或比其波长更长的极长波和超极长波了。

极长波的波长在 100 千米以上，它穿越海水时能量衰减极小，而且几乎不受电离层和核爆炸的影响，它可以把信息送到 240 米深处的潜艇，这就使许多反潜探测仪更难以对付。

但是，极长波通信也有它的不足，就是它的地面设备庞大，长长的天线在战时是很容易遭到破坏的目标。所以，海洋中的通讯手段往往是多元的综合的，它和其他通讯设备，如超短波电台，卫星通讯等联合使用，以获得有效的通信。现在，激光通信、光纤传输等新技术发展很快，它们也将一定可以应用到海洋领域中去。

人类科技发展中，有可能成为通讯领域里一颗新星的是

中微子通信。宇宙中存在一种被称为中微子的基本粒子。1956年，李政道、杨振宇博士提出在弱相互作用下宇称不守恒，并由吴健雄教授主持实验，已经发现了中微子的存在。

吴教授在观察钴⁶⁰ (Co^{60}) 原子放射性衰变过程中电子射出的方向时发现电子不是做向上向下的均等射出，现实和它的镜象有本质的不同，宇称并不守恒。因为实验的原因，吴教授的实验所处于的是包含中微子的弱相互作用，因此，可以把实验结果解释成证明中微子具有明确的旋向性。

中微子是一种十分奇特的基本粒子，我们周围乃至宇宙空间，到处都有它的足迹，但它的足迹是如此微小，以至人们极难发现它们。中微子是一种比电子质量还小得多的粒子，严格地说，中微子的质量接近于零（但不等于零！）；它既不带正电，也不带负电，呈中性状态；它的磁感也很小，几乎为零。

就这么一个小怪物，它的神通可广大得很。中微子的个子虽小，能量却极大；它每秒可飞行30万公里，而能量损耗几乎可以忽略不计；它只与其他物质发生弱相互作用，穿透能力极强，即使穿过巨大的地球，其能量只不过损失1/100亿。所以，在中微子看来，月球、地球乃至更大的星球都是透明的；它从来也不知道什么叫拐弯，对它来说，没有障碍和阻拦，不存在反射，折射和散射。

现在科学家们已经确定，有两种中微子，即电子中微子和 μ 介子中微子。它们都有自己的反粒子，即磁场方向与它们相反的电子反中微子和 μ 介子反中微子。

太阳上的核聚变要产生大量的中微子，据测算每秒约为

1.8×10^{38} 个；地球表壳要产生反中微子，每秒钟约为 1.75×10^{28} 个；地球每秒要接待从太阳来的中微子 8×10^{28} 个，平均每平方厘米为 6×10^{10} 个。

来到地球的中微子，有的来自太阳，有的自别的星球甚至宇宙深处来，它们不远万里，不惜时间，来到我们地球，身上还带着有关太阳和宇宙的重要情报，因此，研究作为宇宙通信信号的中微子，对我们来说是多么重要啊。

关键问题是如何“截留”这批“通讯员”并把它们的信息取出来研究。这里所说的“截留”只能指短暂的观测或留下点痕迹。

科学实验表明，海洋是“截留”这些不速之客最理想的地方，若在海洋里安放巨型的声换能器基阵，就可以探测到中微子，因为中微子碰击海水时会使海水中质子或电子放出带粒子，后者会产生一系列的光脉冲，这是一种蓝光，用光电倍增管接收机可以接收到它们。1986年，美苏两国就已联合合作中微子贯穿地球实验达成协议。

中微子一出现，电子学家们几乎一致使用它在海洋中传递信息，因为它传信速度快，作用距离远，准确性极好，保密性强。中微子发射机和接收机就在科学家们的精心设计下研制出来了，实际上，发射机是一台高能质子加速器，接收机则是由分布于各处的光电倍增管探测器组成。

初步的成功给科学家们以巨大的鼓舞，但要进入实用仍有许多问题等待解决。科学家们相信，中微子通信一定会获得成功，它在海洋通信中也一定会放出光彩的！

第六章 电信时代

第一节 电信基本知识

一、什么是电信

“电信”是目前人们经常听到的词汇，那么到底什么是电信？它包括哪些内容呢？首先，来看一下国际上对电信是如何认识的。

1992年，国际电信联盟（ITU）在《国际电信联盟组织法、公约和行政规则》中对电信作了如下定义：“电信是利用有线、无线、光或者其他电磁系统传输、发射或接收符号、信号、文字、图像、声音或其他任何性质的信息”。

WTO的《服务贸易总协定》中对“电信”的定义是这样的：

“电信”是指以任何电磁方式传递或接收信号。

“公共电信传输服务”是指向公众广泛提供的任何电信传输服务。这种服务可以包括，但不限于电报、电话、电传、数据的传输。这种传输通常是对用户提供的信息在两个或多个端点之间进行实时传递，而且这种传递最终对用户提供的信息不做任何形式上或内容上的改变。

“公共电信传输网络”是指允许在两个或多个确定的网络端点之间进行通信的公共电信设施。

世界各国电信立法中大都参照这个定义对电信作了界定。如，美国 1934 年《电信法》关于“电信”的定义是：

“有线通信”是指通过导线、电缆或其他类似的连接，在发送与接收端之间，传送文字、符号、信号、图像及各种声音，包括所有与这种传送相关联的手段、设施、设备以及服务（通信的接收、转递和投送及其他）。

“无线通信”指通过无线电方式传送文字、符号、信号、图像及各种声音，包括所有与这种传送相关联的手段、设施、设备以及服务（通信的接收、转递和投送及其他）。

再如，日本 1987 年《电气通信事业法》第二条规定：电信，是指通过有线、无线及其他电磁方式，发出、传播或接收符号、声音或影像。法国 1990 年《电信法》规定，电信是指对符号、信号、文字、图像、声音和信息由无线电、光学仪器、微波或其他电磁手段以任何方式进行传递、传播或接收。

我国的《电信条例》参照世界各国公认的国际电信联盟的电信定义基础上对“电信”作了如下表述：“本条例所称电信，是指利用有线、无线的电磁系统或者光电系统，传送、发射或者接收语音、文字、数据、图像，以及其他任何形式信息的活动”。

这一定义，清楚地表明电信活动就是利用有线、无线的电磁系统或者光电系统的方式，对任何的信息所进行的传送、发射或者接收的行为。这种行为主要表现为电信业务经营者

所提供的各种电信业务的活动，如电话服务、电报服务、数据服务、图像服务以及多媒体通信服务等等。

二、电信网

电信网是多个用户电信系统互连的通信体系，是由终端设备、传输设备、交换设备等基本要素组成的综合系统。电信网的主要功能是按用户的需要传递和交流信息，以实现人类远距离通信的需要。

1. 电信网的分类

按电信业务的种类分为：电话网、电报网、用户电报网、数据通信网、传真通信网、图像通信网、有线电视网等等。

按服务区域范围分为：本地电信网、农村电信网、长途电信网、移动通信网、国际电信网等等。

按传输媒介种类分为：架空明线网、电缆通信网、光缆通信网、卫星通信网、用户光纤网、低轨道卫星移动通信网等等。

按交换方式分为：电路交换网、报文交换网、分组交换网、宽带交换网等等。

按结构形式分为：网状网、星形网、环形网、栅格网、总线网等等。

按信息信号形式分为：模拟通信网、数字通信网、数字模拟混合网等。

按信息传递方式分为：同步转移模式（STM）的综合业务数字网（ISDN）和异地转移模式（ATM）的宽带综合业务数字网（B-ISDN）等。

2. 电信网的发展

现在世界各国的电信网正在向数字化的电信网发展，将逐步代替模拟通信的传输和交换，并且向智能化、综合化的方向发展。但由于电信网具有全程全网互通的性质，已有的电信网不可能同时全部更新，因此，电信网的发展是一个逐步演化的过程。

三、电话机的工作方式

现在常用的话机一般是双音频和脉冲两种，使用的线路是金属对绞线，通常称为电话用户线或市话电缆，它的主要功能是传送音频话音信号。

双音频和脉冲在拨号时发出的信号不同，脉冲话机拨号时发出的是脉冲个数，如果拨 1 就发出 1 个脉冲，以此类推，如果是 0 就发出 10 个脉冲，交换机根据脉冲个数来确定用户拨的号码。

双音频话机拨号时发出的是音频信号。该音频信号分高频和低频两种。每次拨号时都会发出两种信号（即一个高频信号，一个低频信号），话机上的每个按钮都对应一个相应的高频信号和一个相应的低频信号，交换机以此来确定接收到的号码。

对于一部话机，一旦提起话筒，交换机就会马上识别该信息，同时交换机会在其内部找寻空闲的收号器和交换机空闲的通路，找到后马上就会发给该用户拨号音，同时它会监视收号器的状态，准备接受话机送过来的信号。

收号器收到第一位号码后，就会停止发送拨号音，将收到的号码按位进行存储，同时比较应接收的位数和已经接收的位数，如果两者相等后就停止接收信号。这时，交换机把

接收到的信号的前几位送到分析程序进行分析，以决定该号码是本地还是长途。

如果是本地号码，交换机就会检查被叫用户是否空闲，如不空闲，交换机就会给该主叫用户发忙音。如被叫用户空闲，交换机就寻找交换机到被叫用户的空闲通路，找到后向被叫用户发信号，指示有电话打入；同时交换机也向主叫用户送回音铃，指示用户正在呼叫被叫用户。

一旦被叫用户拿起话机，信号马上就会被交换机识别并停止向双方送信号，这样两者的通话通路就建立，可以通话了。

如果是外地号码，交换机就会立即把接收到的号码发到长途传输中心进行分析，把该号码发到相应地区的交换机，由该地区的交换机进行分析、寻找通路，然后接通双方用户。

四、电话号码的编排

由 10 个阿拉伯数字(0~9)构成的电话号码排列具有严格的规律性，严格地说，世界上任何一部电话机的号码都是唯一的。

国际电话号码由“国际长途区号”，即国家或地区代号和“国家内部号码”组成。任何国家或地区的代号都是不同的。国际电信联盟规定各国和地区代号长度为 1~3 位，其中第一位为全世界九大区的编号，这九大区是：北美：1；非洲：2；欧洲：3、4；南美：5；南太平洋：6；独联体：7；东亚：8；远东和中东：9。

那么我国的国内电话是又如何编码的呢？

国际电信联盟（ITU）规定国际电话号码总长度不大于

12 位(不包括国际长话字冠“00”),中国的号码是 86,长度为 2 位,所以我国国内号码总长度不大于 10 位。

电话号码前面第一位数,称为字头,按《全国电话号码编码制度》规定,“0”字头是供长途直拨电话业务使用,凡使用国内国际长途直拨电话的,均先从“0”开始拨号。以“1”为字头的号码如 110、119 等是特服号。

普通电话号码由长途区号和市号号码两部分组成。长途区号为不等位编号,其长度为 $n=1-4$ 。这样,城市市话号码长度 $=10-n$ 。城市越大,区号位数 n 越短,市号号码长度越长,市话容量越大。原邮电部对此有如下规定:

1. 北京

区号一位为“1”。市话号码长度不大于 9 位,因为市话用户号码不能用 1、0,最终容量可达 8 亿。目前,北京市电话号码长度为 8 位。

2. 除北京以外的在区中心局和天津等

区号二位,首位为“2”。市话号码总长度不大于 8 位,最终容量可达 8 千万部。

3. 各省会城市和大城市

区号三位,第一位选取“3、4、5、6、7、8、9”共 7 个数字。第二位选取单数“1、3、5、7、9”共 5 个数字,第三位随意。这样可以有 $7 \times 5 \times 10 = 350$ 个城市采用三位区号。这些城市市话号码长度不大于 7 位,最终容量可达 800 万部。

4. 各县城及小城市

区号四位,第一位选取“3、4、5、6、7、8、9”共 7 个数字。第二位选取单数“2、4、6、8、0”共 5 个数字,第

三、四位随意。这样可以有 $7 \times 5 \times 10 \times 10 = 3500$ 个县市采用四位区号，市话容量为 80 万部。

这样，我国使用的一、二、三、四位不等位编号的长途区号总容量为 $1 + 10 + 350 + 3500 = 3861$ 。

我国长途区号首位一般有如下规律：

华北：3，如石家庄：311

东北：4，如长春：431

华东：5、6，如济南：531

中南：7，如长沙：731

西北：9，如兰州：931

大部分国家的内部号码都和我国相似，由国内长途区号和市话号码组成，也有一些国家的内部号码是由通信公司号和长途区号、市话号码组成的，还有一些国家只有一个城市，所以内部号码就是市话号码。

五、热门的 IP 技术

IP 是当前热门的技术。与此相关联的一批新名词，如 IP 网络、IP 交换、IP 电话、IP 传真等等，也相继出现。那么，IP 是什么呢？

IP 是英文 Internet Protocol 的缩写，意思是“网络之间互连的协议”，也就是为计算机网络相互连接进行通信而设计的协议。在因特网中，它是能使连接到网上的所有计算机网络实现相互通信的一套规则，规定了计算机在因特网上进行通信时应当遵守的规则。

任何厂家生产的计算机系统，只要遵守 IP 协议就可以与因特网互连互通。正是因为有了 IP 协议，因特网才得以迅速

发展成为世界上最大的、开放的计算机通信网络。因此，IP 协议也可以叫做“因特网协议”。

IP 是怎样实现网络互连的？各个厂家生产的网络系统和设备，如以太网、分组交换网等，它们相互之间不能互通，不能互通的主要原因是因为它们所传送数据的基本单元（技术上称之为“帧”）的格式不同。IP 协议实际上是一套由软件程序组成的协议软件，它把各种不同“帧”统一转换成“IP 数据报”格式，这种转换是因特网的一个最重要的特点，使所有各种计算机都能在因特网上实现互通，即具有“开放性”的特点。

那么，“数据报”是什么？它又有什么特点呢？数据报也是分组交换的一种形式，就是把所传送的数据分段打成“包”，再传送出去。但是，与传统的“连接型”分组交换不同，它属于“无连接型”，是把打成的每个“包”（分组）都作为一个“独立的报文”传送出去，所以叫做“数据报”。

这样，在开始通信之前就不需要先连接好一条电路，各个数据报不一定都通过同一条路径传输，所以叫做“无连接型”。这一特点非常重要，它大大提高了网络的坚固性和安全性。

每个数据报都有报头和报文这两个部分，报头中有目的地址等必要内容，使每个数据报不经过同样的路径都能准确地到达目的地。在目的地重新组合还原成原来发送的数据。这就要 IP 具有分组打包和集合组装的功能。

在实际传送过程中，数据报还要能根据所经过网络规定的分组大小来改变数据报的长度，IP 数据报的最大长度可达

65535 个字节。

IP 协议中还有一个非常重要的内容，那就是给因特网上的每台计算机和其他设备都规定了一个唯一的地址，叫做“IP 地址”。由于有这种唯一的地址，才保证了用户在连网的计算机上操作时，能够高效而且方便地从千千万万台计算机中选出自己所需的对象来。

现在电信网正在与 IP 网走向融合，以 IP 为基础的新技术是热门的技术，如用 IP 网络传送话音的技术（即 VoIP）就很热门，其他如 IP over ATM、IP over SDH、IP over WDM 等等，都是 IP 技术的研究重点。

六、受人欢迎的 IP 电话

IP 电话是一种新型的通信业务，它的出现给广大电话用户带来了福音。因为 IP 电话是利用 INTERNET 来传输语音，通信成本很小，与传统电话相比，它的资费大大降低，所以极受用户欢迎。

那么什么是 IP 电话呢？IP 电话简单来说就是通过 INTERNET 网进行实时的语音传输服务。其原理是将普通电话的模拟信号进行压缩打包处理，通过 INTERNET 传输，到达对方后再进行解压，还原成模拟信号，对方用普通电话机等设备就可以接听。

其实，IP 电话最初并不是这种普通电话机到普通电话机（Phone to Phone）的形式，而是一种 PC to PC 的形式。它要求通话的双方都拥有计算机，并有声卡、话筒等设备，双方必须均登录到 INTERNET 网上，使用相同的 IP 电话软件，以实现相互通话。

随后又出现了 PC to Phone、Phone to PC 的 IP 电话形式。同理，它也是需要通话一方的计算机登录到 INTERNET 网上，使用特定的 IP 电话软件，以实现 PC 与 Phone 之间的通话。

这几种形式的 IP 电话技术背景比较简单，但使用方法比较复杂，对通话方的要求比较高，所以不能作为一种公共的电话服务手段来推广使用，仅适用于网络爱好者个人使用。

随着技术的进步，出现了现在的这种 Phone to Phone 的 IP 电话形式。这种形式的通话双方都不必上网，甚至不需要掌握计算机知识，直接在普通电话上拨入 IP 电话的接入号，即可打 IP 电话了。这种形式操作简单，使用方便，颇受电话用户的欢迎。

七、IP 电话与传统电话之间的区别

传统的电话通信使用电路交换系统，下面用保龄球来为例理解一下电路交换的特点。

你想去一个保龄球馆打保龄球，这个保龄球馆有 10 个球道，看看这时候会发生什么……

你向管理员订一个球道，管理员查看了一下球道使用记录，然后将 4 号球道分配给你；这在电路交换理论中称为“接续”。随后，在 4 号球道上，你一个又一个地把保龄球扔向球道另一端的瓶子；在这一过程中，球道是电路，保龄球是信息（如果是电话通信，就是语音信息）。

在你投掷的过程中，你独占了 4 号球道，即使你中间休息了几分钟，其他人也不能使用这条球道。这时候，你玩累了，你通知管理员本次游戏结束，管理员就收回了 4 号球道，

并且随时准备把 4 号球道分配给其他人，这在电路交换理论中叫做“拆线”。

当然，保龄球是热门的运动，如果你在周末晚上向管理员申请一条球道，那么你很可能会失望的，因为所有的球道都被分配出去了，这叫做“呼损”。

电路交换的优点是，一旦端到端的信息通路建立完成，两端的用户就将独占这条线路，从而保证了通信的质量，传输时延或者通信带宽将能保证在一个比较稳定的状态。

电路交换的缺点是，一旦你占用了一条线路，其他人就不能使用这条线路，这样就降低了整个交换系统的效率，这种情况在打电话时很常见。

你在电话里要求你的朋友帮助你查找另外一个朋友的电话号码，于是你的朋友放下电话，花了 5 分钟时间去翻他的电话号码本，然后告诉你电话号码找不到。请注意，在这 5 分钟里，电话并没有挂断，而你们并没有说话，你们占用的线路处于空闲状态，但是其他人并不能在这 5 分钟里使用这条线路。

IP 电话使用的是 IP 分组交换系统。不同于电路交换系统，当你通过一个分组交换系统与另外一个用户通信的时候，分组交换系统不会在你和另外一个用户之间建立起一条通信线路。

这时，你需要把你的数据（如果你是打 IP 电话，数据就是语音信号）按照分组交换系统的要求封装成特制的分组（有时候称为“包”），在每个分组中，都需要说明一些特征，比如说分组的目的地。由于数据可能会很长，而分组交换系

统只能运送比较小的分组，你的数据会被拆分为很多分组碎片。这些碎片在交换过程中没有任何联系，交换的过程是独立的；当这些碎片最终达到目的地时，会根据一些标记正确地重新组合。

在一个分组被交换的过程中，它占用了分组交换系统的带宽，但是它从来没有独占过任何通信资源，一个分组总是和其他分组分享通信线路。从这个角度来说，分组交换比电路交换的系统利用率更高。这也是 IP 电话比传统电话便宜的原因。

分组交换系统很像一个城市公路系统，在公路上奔驰的汽车是分组，很显然，没有哪一辆车可以独占一个路段，它总是与其他车辆共享一条路。当你开车（或是骑自行车）上路时，你会发现，车少的时候，你可以走得快一些；车多的时候，你只能排着队慢慢走。路宽的时候，堵车的机率就小；路窄的时候，堵车的机率就大。

分组交换也是这样，网络的空闲带宽多的时候，一个分组的传送效率就会高一些，网络的空闲带宽少的时候，一个分组的传送效率就会低一些，甚至会丢失。也许，这就是某些分组交换系统的缺点，很难保证两个用户之间具有稳定的带宽，也不容易控制一个分组从源到目的地的传送时延。这也影响到了 IP 电话的话音质量。

懂得了上面的道理，下面的这些结论就是水到渠成了。

IP 电话为什么便宜？IP 电话技术是指将话音压缩、打包后在 IP 网上传输到目的地后再恢复成话音的技术。与 PSTN 每路通话始终保证 64 kbit/s 带宽（电路交换）的特性相比，

IP 电话由于采用在 IP 网上传输，无法保证传输时延及时延抖动，因而也就无法保证通话质量，但由于 IP 电话只收本地电话费和服务费，远较国际长途电话便宜得多，还是得到了众多 IP 电话厂家和网络接入商的青睐。

八、电话的历史变迁

1. 从人工交换到自动交换

第一个研究发明自动电话的人是一个名叫阿尔蒙·B·史端乔的美国人，他是美国堪萨斯城一家殡仪馆的老板。

他发觉，电话局的话务员不知是有意还是无意，常常把他的生意电话接到他的竞争者那里，使他的多笔生意因此丢掉。为此他大力恼火，发誓要发明一种不要话务员接线的自动接线设备。

从 1889 年到 1891 年，他潜心研究一种能自动接线的交换机，结果他成功了。1891 年 3 月 10 日，他获得了发明“步进制自动电话接线器”的专利权。1892 年 11 月 3 日，用史端乔发明的接线器制成的“步进制自动电话交换机”，在美国印第安纳州的拉波特城投入使用，这便是世界上第一个自动电话局。从此，电话通信跨入了一个新时代。

自动电话的大踏步发展是在 20 世纪，到 20 世纪 20 年代，世界上还只有 15% 的电话是自动电话，随着自动电话技术的发展和进步，到 20 世纪 50 年代，世界上已有 77% 的电话是自动电话了。

史端乔发明的自动电话交换机的制式，为什么叫做“步进制”？这是因为它是靠电话用户拨号脉冲直接控制交换机的机械，作一步一步动作的。例如，用户拨号“1”，发出一

个脉冲（所谓“脉冲”，就是一个很短时间的电流），这个脉冲使接线器中的电磁铁吸动一次，接线器就向前动作一步。用户拨号码“2”，就发出两个脉冲，使电磁铁吸动两次，接线器就向前动作两步，余类推。所以，这种交换机就叫做“步进制自动电话交换机”。

1919年，瑞典的电话工程师帕尔姆格伦和贝塔兰德发明了一种自动接线器，叫做“纵横制接线器”，并申请了专利。1929年，瑞典松兹瓦尔市建成了世界上第一个大型纵横制电话局，拥有3500个用户。

“纵横制”的名称来自纵横接线器的构造，它由一些纵棒、横棒和电磁装置构成，控制通过电磁装置的电流可吸动相关的纵棒和横棒动作，使得纵棒和横棒在某个交叉点接触，从而实现接线的工作。

“纵横制”和“步进制”都是利用电磁机械动作接线的，所以它们同属于“机电制自动电话交换机”。但是纵横制的机械动作很小，又采用贵重金属的接触点，因此比步进制交换机的动作噪声小、磨损和机械维修工作量也小，而且工作寿命也较长。

另外，纵横制与步进制的控制方式也不同。步进制是由用户拨号直接控制它的机械动作的，叫做“直接控制式”；而纵横制是用户拨号要通过一个公共控制设备间接地控制接线器动作，因而叫做“间接控制式”。

公共控制设备的功能就好比是人工电话交换中的话务员，担任着接收用户拨发的电话号码，并进行存储、计数、转发等工作。它模仿话务员的工作过程，但是接线速度比人

工快得多。公共控制设备是：由许多电子器件组成的一个极为复杂的电子电路。

这种，“间接控制方式”比“直接控制方式”有明显的优点。例如，它的工作比较灵活，便于在有多个电话局组成的电话网中实现灵活的交换，便于实现长途电话自动化，还便于配合使用新技术、开放新业务等等。因而，它的出现使自动电话交换技术提高到一个新的水平。

2. 从“模拟”走向“数字”

电信通信按传送信号的方式不同，可分为模拟通信和数字通信两大类。电话是模拟通信，因为传送说话声音的电信号是“模仿”说话人的声音变化的；而电报是数字通信，因为它传送的是只有“有”和“无”两种状态的脉冲组合信号。

常见的模拟通信有电话、电视等，常见的数字通信有电报、数据通信（计算机通信）等。过去，数字通信在整个通信中只占很小的比重。

近年来，随着电子计算机的日益广泛应用，数字通信的需求急剧增长。同时由于大规模和超大规模集成电路的迅速发展以及计算机技术、数字信号处理技术的日益发展，电话通信技术也在一步步向数字化的方向发展。

所谓电话的数字化就是在电话传送时先把模拟的电话信号变换成数字信号，在接收时再把数字信号恢复成模拟信号。这样做看起来是增加了变换的过程，但是在现代技术条件下，这样做能提高电话通信的质量和效率，而且还更为经济。

实现电话通信数字化的技术叫做“脉冲编码调制”技术。脉冲调制技术的应用现在已经遍及全世界，到1990年已经出

现了在一对线上能传送 30240 路电话的脉码调制系统。脉码调制技术使电话通信得以向高速、大容量、长距离的方向发展，它正在逐步取代模拟通信。

电话通信数字化后，使电话网不仅可以通电话，而且可以在数字化的电话网中传送各种通信，使电话网成为所谓的“综合业务数字网”（简称 ISDN）。这又是 20 世纪电信的一大成就。

3. 程控电话交换技术的出现

自动电话交换由“机电”方式”向“程控”方式演变，是 20 世纪电话通信的又一次重大变革。程控电话交换机就是电子计算机控制的电话交换机。它是利用电子计算机技术，用预先编好的程序来控制电话的接续工作。

1965 年 5 月，美国贝尔系统的 1 号电子交换机问世，它是世界上第一部开通使用的程控电话交换机。但这还不是时分数字式的，而是所谓“空分”的。

什么叫“空分”？空分就是用户在打电话时要占用一对线路，也就是要占用一个空间位置，一直到打完电话为止。过去机电式的交换机都是空分方式的。从 1965 年到 1975 年这 10 年间，绝大部分程控交换机都是空分的、模拟的。

为什么不直接实现数字化呢？这是因为交换机中的两大部分，即公共控制设备部分和通话电路接续部分，随着电子器件、集成电路和电子计算机技术的发展，解决公共控制设备的电子化、实现计算机控制比较顺利；而想要把通话接续部分的金属接点换成电子接点却比较困难，因为没有一种电子接点的开关性能（即开关断开时的电阻与接通时的电阻之

比)能比得上金属接触点。

1970年,法国开通了世界上第一部程控数字交换机,采用时分复用技术和大规模集成电路。随后世界各国都大力开发。进入80年代,程控数字电话交换机开始在上世界普及。

程控数字交换与数字传输相结合,可以构成综合业务数字网,不仅实现电话交换,还能实现传真、数据、图像通信等的交换。程控数字交换机处理速度快,体积小、容量大,灵活性强,服务功能多,便于改变交换机功能,便于建设智能网,向用户提供更多、更方便的电话服务。因此,它已成为当代电话交换的主要制式。

4. 从有线到无线

无线电话是20世纪的重大发明。无线电通信虽是1895年发明的,但无线电话却是在20世纪初发明了真空三极管之后才出现的。1915年首次成功地实现了跨越大西洋的无线电话通信;1927年在美国和英国之间开通了商用无线电话。当时的越洋无线电话通信是利用短波无线电波能从电离层折射返回地面这一特性。

20世纪30年代发现了超短波,20世纪40年代发现了微波。超短波和微波都不能从电离层反射,具有直线传播的特性,能穿过电离层;它们在地面上只能以视线距离传播。人们利用这种特性开发了多路无线接力通信。

超短波接力通信可以传送30路以下的电话,微波接力通信可以传送几千路电话,还可以用来传送彩色电视。所谓接力通信,就是在直线视距范围(在地面平原地区约50千米)内设立一个中继站进行接收转发。通信距离越长,设立的中

继站越多。

卫星通信是利用人造地球卫星作为中继站或卫星转发器的微波通信。卫星通信可以在大面积范围内进行高质量的通信，已经成为全球远距离和洲际通信的重要手段之一。

20 世纪 70 年代后期出现的蜂窝式移动电话系统，是无线电话的重大发展，迅速在世界各国投入使用。20 世纪 90 年代人们提出了覆盖整个地球的低地球轨道卫星移动电话系统，把移动电话系统的基站设在卫星上，可覆盖整个地球，使用户能在任何时间、任何地点与任何人进行通信的“个人通信”成为可能。

九、固定电话网

电话网是开放电话业务为广大用户服务的通信网络。最早的电话通信形式只是两部电话机中间用导线连接起来便可通话，但当某一地区电话用户增多时要想使众多用户相互间都能两两通话，便需设一部电话交换机，由交换机完成任意两个用户的连接，这时便形成了一个以交换机为中心的单局制电话网。

在某一地区（或城市），随着用户数继续增多，便需建立多个电话局，然后由局间中继线路将各局连接起来，形成多局制电话网。

电话网从设备上讲是由交换机、传输电路（用户线和局间中继电路）和用户终端设备（即电话机）三部分组成的。

按电话使用范围分类，电话网可分为本地电话网、国内长途电话网和国际长途电话网。

本地电话网是指在一个统一号码长度的编号区内，由端

局、汇接局、局间中继线、长市中继线，以及用户线、电话机组成的电话网。例如北京市本地电话网的服务范围，包括市区部分、郊区部分和所属 10 个县城及其农村部分，因此，北京市本地电话网是一个大型本地网。

国内长途电话网是指全国各城市间用户进行长途通话的电话网，网中各城市都设一个或多个长途电话局，各长途局间由各级长途电路连接起来。

国际长途电话网是指将世界各国的电话网相互连接起来进行国际通话的电话网。为此，每个国家都需设一个或几个国际电话局进行国际去话和来话的连接。一个国际长途通话实际上是由发话国的国内网部分、发话国的国际局、国际电路和受话国的国际局以及受话国的国内网等几部分组成的。

应当指出在电话网中增加少量设备还可以传送传真、中速数据等非话业务。

电话网当前的主要方向为程控数字网，即各级交换中心均装用程控数字交换机，传输电路均为数字电路。程控数字网通信质量好，自动化程度高，故发展很快。我国目前程控数字化程度已达到 85% 以上。

十、通信数据传输

数据通信是依照一定的协议，利用数据传输技术在两个终端之间传递数据信息的一种通信方式和通信业务。它可实现计算机和计算机、计算机和终端以及终端与终端之间的数据信息传递，是继电报、电话业务之后的第三种最大的通信业务。

数据通信不同于电报、电话通信，它所实现的主要是“人

（通过终端）——机（计算机）”通信与“机——机”通信，但也包括“人（通过智能终端）——人”的通信。数据通信中传递的信息均以二进制数据形式来表现。数据通信的另一个特点是它总是与远程信息处理相联系的，是包括科学计算、过程控制、信息检索等内容的广义的信息处理。

数据通信系统是由计算机、远程终端和数据电路以及相关通信设备组成的一个完整系统。任何一个远程信息处理系统或计算机网都必须实现数据通信与信息处理两方面的功能，前者为后者提供信息传输服务，而后者则是在利用前者提供的服务基础上实现系统的应用。

为了实现数据通信，必须进行数据传输，即将位于一地的数据源发出的数据信息通过传输信道传送到另一地数据接收设备。

为了改善传输质量、降低差错率、并使传输过程有效地进行，系统根据不同应用要求，规定了不同类型的具有差错控制的数据链路控制规程。这些规程有的符合国际标准，有的是国家标准，也有的是公司自己制定的。但对开放性的用户接口通常是采用国家标准或国际标准，以利于互连互通。

数据交换的方式主要有两种：即电路交换和分组交换，其中分组交换在实际的数据网中较多采用。

在一个采用分组交换的数据网中，除了在相邻交换节点之间实现数据传输与数据链路控制规程所要求的各项功能外，在每一交换节点上尚需完成分组的存储与转发、路由选择、流量控制、拥塞控制、用户入网连接以及有关网路维护、管理等诸方面的工作。

通信协议是双方为准确有效地进行通信所必须遵循的规则和约定。它可以分为两类，一类是与数据通信网（从计算机网构成来讲，有时也称之为通信子网）有关的协议，包括网内节点与节点间，以及网与端系统间的协议。另一类是端系统与端系统之间的协议，它们是在前一类协议所实现的功能基础上，为了实现端系统间的互通与达到一定的应用目的所必须的协议。

作为一种通信业务，数据通信为实现广义的远程信息处理提供服务。典型应用有：文件传输、电子信箱、话音信箱、可视图文、目录查询、信息检索、智能用户电报以及遥测、遥控等等。

十一、电话网需要交换设备

电话网是开放电话业务为广大用户服务的通信网络。最早的电话通信形式只是两部电话机中间用导线连接起来便可通话，但当某一地区电话用户增多时，要想使众多用户相互间都能两两通话，很自然我们会想到每两个用户用一对线路连起来。例如，5 个用户连接的情况： $n=5$ 时，所用线路 $=4+3+2+1=10$ ； n 个用户连接的情况：所用线路 $=n(n-1)/2$ 。

因此当用户数增加 n 时所需的线对数更迅速增加，想想看，要是每个用户来说，家中需接入 $n-1$ 对线，打电话前还需将自己话机和被叫线连起来，那就太麻烦了！

于是人们想出了一个好办法，在用户分布的密集中心，安装一个设备，这好比是一个开关接点，平时是打开的，当任意两个用户之间需要通话时，设备就把连接两个用户的电话线接通。

由此可以看出，设备可根据发话者的要求，完成与另外一个用户之间交换信息的任务，所以这种设备就叫做电话交换机。实际的交换机是相当复杂的，但有了电话交换设备， n 个用户，只需 n 对线就可以满足要求，使线路的费用大大降低。尽管增加了交换机的费用，但它将为 n 个用户服务，利用率很高。

十二、太阳风暴对通信的影响

被科学家形象地称为太阳打“喷嚏”的“太阳风暴”6月2日15时左右，6月9日5时至22时，6月11日5时至22时三次干扰我国，造成部分频率的信号中断，使一些移动电话无法接收信号。

太阳风暴是太阳黑子活动达到高潮时，太阳因能量增加而向太空喷射大量带电粒子。太阳风暴每11年发生一次，它往往以每小时300万千米的速度向地球扑来，与地球磁场发生撞击产生地磁冲击波。

太阳风暴对地球的负面影响不大，但还是常引起地球发“高烧”，对人类生活造成一定破坏。比如20世纪70年代的一次太阳风暴导致大气活动加剧，增加了当时前苏联的“礼炮”号空间站的飞行阻力，从而使其脱离了原来的轨道。1989年的太阳风暴曾使加拿大魁北克省和美国新泽西州的供电系统受到破坏，损失超过10亿美元。

另外，太阳风暴对卫星通信、地面通信也是重大的考验。对绕地球轨道飞行的人造卫星来说，地球磁场被扰乱后，它们可能失去方向控制，甚至闯入星际太空变成太空“孤儿”。20世纪90年代太阳风暴抵达地球，俄罗斯一颗导航卫星就

差点失去方向。

太阳风暴还会造成人造卫星的短路，许多靠卫星传播的通信业务可能因此停顿。1998年5月，美国银河4号卫星因受太阳风暴影响而失灵，造成北美地区80%的寻呼机无法使用，金融服务陷入脱机状态，信用卡交易也中断了。

2000年的6月8日当天，加拿大的部分地区出现无线电通信联络异常现象，一些移动电话用户的通话数次被打断，有的则听不清楚对方讲话。目前天文学家主要利用在太空飞行的欧美联合研制发射的太阳观测卫星“SOHO”对太阳黑子的活动进行考察，俄罗斯科学家还借助自己发射的“科罗纳斯”卫星对其进行研究。尽管如此，科学家目前还只能提前3天预报太阳黑子活动的最高峰和太阳风暴的到来。

十三、最常用的通讯传输材料——双绞线

通信媒体是用于承载传输信息的物理媒体。不同的通信媒体具有不同的属性，应针对不同的用途运用在不同的场合，发挥不同通信媒体的最佳效能。

双绞线电缆（简称双绞线）是将一对或一对以上的双绞线封装在一个绝缘外套中而形成的一种传输介质，是目前局域网最常用到的一种布线材料。为了降低信号的干扰程度（使电磁辐射和外部电磁干扰减到最小），电缆中的每一对双绞线一般是由两根绝缘铜导线相互扭绕而成，每根线加绝缘层并有色标来标记，双绞线也因此而得名。

双绞线按其电气特性而进行分级或分类，一般分为非屏蔽双绞线（UTP）和屏蔽双绞线（STP）两大类，局域网中非屏蔽双绞线分为3类、4类、5类和超5类四种，屏蔽双绞

线分为 3 类和 5 类两种。

目前局域网中常用到的双绞线一般都是非屏蔽的 5 类 4 对（即 8 根导线）的电缆线。这些双绞电缆线的传输速率都能达到 100Mbps。

随着传输介质的发展，近年来在局域网中又出现了超 5 类双绞线。超 5 类双绞线属非屏蔽双绞线，与普通 5 类双绞线比较，超 5 类双绞线在传送信号时衰减更小，抗干扰能力更强，在 100M 网络中，用户设备的受干扰程度只有普通 5 类线的 1/4，所以被认为是“为将来网络应用提供的解决方案”。

双绞线一般用于星型网的布线连接，两端安装有 RJ-45 头（水晶头），连接工作站的网卡和集线器，最大网线长度为 100 米，如果要加大网络的范围，在两段双绞线之间可安装中继器，但最多可安装 4 个中继器，也就是最多为 4 个中继器连 5 个网段，这时最大范围可达 500 米。

当双绞线电缆连到 HUB 和网卡之间时，怎样才能判断是否连通呢？首先在安装 RJ-45 头时，两个 RJ-45 头中的双绞线排线顺序应固定、统一；其次是看 HUB 和网卡上的发光二极管 LED 是否发亮，因为每 16 毫秒集线器和网卡之间便发送一个脉冲信号，当相互间能接收到此信号时，LED 就发亮，表示物理连接正常。

十四、同轴电缆

同轴电缆由内部导体环绕绝缘层以及绝缘层外的金属屏蔽网和最外层的护套组成，内导线和圆柱导体及外界之间用绝缘材料隔开，这种结构的金属屏蔽网可防止中心导体向外

辐射电磁场,也可用来防止外界电磁场干扰中心导体的信号。

根据传输频带的不同,同轴电缆可分为基带同轴电缆和宽带同轴电缆两种类型。按直径的不同,同轴电缆可分为粗缆和细缆两种。

粗缆适用于比较大的局域网的布线,它的布线距离较长,可靠性较好,安装时采用特殊的装置,不需切断电缆,两端头装有终端器。用粗缆组网时在硬件的设置上必须注意以下几点:若要直接与网卡相连,网卡必须带有 AUI 接口(一种 15 针 D 型接口);用户采用外部收发器与网络干线连接;用 AUI 电缆连接工作站和外部收发器。粗缆局域网中每段长度可达 500 米,采用 4 个中继器连接 5 个网段后最大可达 2500 米。

用粗缆组建局域网虽然各项性能较高,具有较大的传输距离,但是网络安装、维护等方面比较困难,而且造价太高,同时细缆近年来的发展较快,所以计算机局域网中如无特殊要求,一般都使用细缆组网。

细缆一般以总线型结构在网络中出现。连网时,应注意以下几点:网卡要带有 BNC 接口;每个用户通过 BNCT 型连接器接入网络;在干线的两端必须安装 50 欧姆的终端电阻;如要拓宽网络范围,需使用中继器。细缆网络的每段干线长度最大为 185 米,每段干线最多接入 30 个用户,且相邻两用户之间的连线距离不能小于 0.5 米。可采用 4 个中继器连接 5 个网段,使网络最大距离达到 925 米。

细缆安装较容易,而且造价较低,但因受网络布线结构的限制,其日常维护不甚方便,一旦一个用户出故障,便会

影响其他用户的正常工作。

十五、无线通信如何传送信号

那些能够在网络中传输讯号的连接媒体并不局限于铜制电缆和光缆。

无线媒体不使用电子或光学导体。大多数情况下，地球的大气就是数据的物理通路。从理论上讲，无线媒体最好应用于难以布线的场合或远程通信。无线通信有三种主要类型：无线电通信、微波通信和卫星通信。

和铜线一样，人类利用电磁波传送信息也有相当长的一段历史。无线电波可以穿透墙壁，也可以到达普通网络线缆无法到达的地方。用无线电链路连接电脑的时候，无需考虑墙壁阻挡和视线的问题。另外，无线电不受雨雪天气的干扰。

使用无线电时，需考虑的一个重要问题便是电磁波频率的范围（频谱）是相当有限的。其中的大部分已被电视、广播以及重要的政府和军队通信系统占用。因此，只有一部分留给网络计算机使用。

微波是无线电波的一种形式，如果电磁波频率再高，达到一千兆赫到十几千兆赫，可采用集中定向发射天线将电磁波集中，这就是微波通信。

在高大建筑物顶端和铁塔上面，我们常看到有锅状设备，那就是微波发射或接收天线。如果家庭或办公室在城里视野宽阔，可以避开树木和建筑物的阻挡，则可以考虑选用专门的微波硬件作为网络的一部分。

用来传输数据的微波和做饭的微波是同一类型，但是网络用微波天线和微波炉又是另一回事。微波天线是一种反射

式抛物面形式，直径可小到 18 英寸，上面带有发射机和接收机。这种天线的接收距离只有“目视”距离。这就是说，如果两天线之间没有障碍，一切都很顺利，效果会很好。如果中间有障碍物，需要增加额外天线或铁塔，以绕过障碍物。

微波通信的进一步发展，就是卫星通信。从地面发射一个地球卫星，围绕地球旋转，但相对地球自转来讲，它是静止的（称同步卫星）。由地面向卫星发送定向的微波，然后由卫星将信息转发回地面，其覆盖面可达地球表面的 $1/3$ 。如果能让地球各处都能收到该信息，那么需围绕地球设置三颗对称角度的同步卫星。

卫星返回的信息，实际上是一种散射方式的通信，这一点和微波定向通信稍有区别。地面接收时，要设锅形天线和接收设备，而且天线要始终对准通信卫星。

十六、无负载电缆通信

长距离电缆通信，途中的信号衰减严重，为了解决这个问题，美国哥伦比亚大学教授普茄于 1900 年发明了负载线圈式电缆，但此种负载电缆通信有不少缺点，信号的畸变大，回声也大，最重要的是因为把传递信号控制在一定频率以下，限制了多路通信。

1932 年日本递信省工务局松前重义等人分析了负载电缆通信的缺点，提出了无负载电缆通信的设想。他们完全改变了电缆的构造，对来往线路实行静磁性屏蔽，进而解决了各线路间的漏话问题，且当时制造电子管放大器和滤波器性能比以前有了明显提高。

在 1932 年，松前重义等人公布了无负载电缆通信的发明

和这种装置的全部内容。1933年在朝鲜海峡设置了世界上第一个无负载电缆通信线路，通信获得成功。现在这种无负载方法仍被世界各地广泛采用着。

十七、微波衰落现象

微波在空间传输中将受到大气效应和地面效应的影响，导致接收机接收的电平随着时间的变化而不断起伏变化，我们把这种现象称为衰落。

衰落的大小与气候条件、站距的长短有关。衰落的时间长短不一、程度不一。有的衰落持续时间很短，只有几秒钟，称之为快衰落；有的衰落持续时间很长，几分钟甚至几小时则称之为慢衰落。衰落的出现将使得信号发生畸变。接收电平低于自由空间传播电平的称之为下衰落。而接收电平高于自由空间的传播的电平时，则称为上衰落。显然慢衰落和下衰落对微波通信有很大的影响。

从衰落的物理因素来看，可以分成以下几种类型。

1. 吸收衰落

就是大气中的氧分子和水分子能从电磁波吸收能量，这就导致微波在传播的过程中的能量损耗而产生衰耗。

2. 雨雾引起的散射衰落

这是由于雨雾中的大小水滴能够散射电磁波的能量，因而造成电磁波的能量损失而产生衰落。

3. K型衰落

这是由于多径传输产生的干涉型衰落，它是由直射波和反射波在到达接收端时，由于行程差，使它们的相位不一样，在叠加时产生的电波衰落。由于这种衰落与行程差 r 有关，

而 r 是随大气的折射参数 K 值的变化而变化的，故称为 K 型衰落。

这种衰落在水面、湖泊、平滑的地面时显得特别严重。除了地面的反射以外，大气中有时出现的突变层也能对电磁波产生反射和散射，也可以造成电波的多径传输，在接收点产生干涉型衰落。

4. 波导型衰落

由于气象的影响，大气层中会形成不均匀的结构，当电磁波通过这些不均匀层时将产生超折射现象，称为大气波导传播。若微波射线通过大气波导，而收、发两点在波导层外，则接收点的电场强度除了有直线波和地面反射波以外，还有“波导层”以外的反射波，形成严重的干扰型衰落，造成通信的中断。

5. 闪烁衰落

对流层中的大气常发生的体积大小不等，无规则的漩涡运动，这些称为大气湍流。大气湍流形成的不均匀的块式层状物使介电系数与周围的不同。当微波射线射到不均匀的块式层状物上来时，将使电波向周围辐射，形成对流层散射。此时接收点也可以接收到多径传来的这种散射波，它们的振幅和相位是随机的，这就使接收点的场强的振幅发生变化，形成快衰落。

由于这种衰落是由于多径产生的，因此称之为闪烁衰落。这种衰落持续时间短，电平变化小，一般不会造成通信的中断。

十八、卫星通信

自 1957 年苏联发射第一颗人造地球卫星以来,人造卫星即被广泛应用于通信、广播、电视等领域。1965 年第一颗商用国际通信卫星被送入大西洋上空同步轨道,开始了利用静止卫星的商业通信。

卫星通信系统由卫星和地球站两部分组成。卫星在空中起中继站的作用,即把地球站发上来的电磁波放大后再返回另一地球站。地球站则是卫星系统与地面公众网的接口,地面用户通过地球站出入卫星系统形成链路。

由于静止卫星在赤道上空 3600 千米,它绕地球一周时间恰好与地球自转一周(23 小时 56 分 4 秒)一致,从地面看上去如同静止不动一般。三颗相距 120° 的卫星就能覆盖整个赤道圆周。故卫星通信易于实现越洋和洲际通信。

最适合卫星通信的频率是 1~10G 赫兹频段,即微波频段。为了满足越来越多的需求,已开始研究应用新的频段,如 12G 赫兹,14G 赫兹,20G 赫兹及 30G 赫兹。

在微波频带,整个通信卫星的工作频带约有 500 兆赫兹宽度,为了便于放大和发射及减少变调干扰,一般在星上设置若干个转发器。每个转发器的工作频带宽度为 36 兆赫兹或 72 兆赫兹。

目前的卫星通信多采用频分多址技术,不同的地球站占用不同的频率,即采用不同的载波。它对于点对点大容量的通信比较适合。

近年来,已逐渐采用时分多址技术,即每一地球站占用同一频带,但占用不同的时隙。它比频分多址有一系列优点,

如不会产生互调干扰,不用上下变频把各地球站信号分开,适合数字通信,可根据业务量的变化按需分配,可采用数字话音插空等新技术,使容量增加5倍。

另一种多址技术是码分多址,即不同地球站占用同一频率和同一时间,但有不同的随机码来区分不同的地址。它采用了扩展频谱通信技术,具有抗干扰能力强,有较好的保密通信能力,可灵活调度话路等优点。其缺点是频谱利用率较低。它比较适合于容量小,分布广,有一定保密要求的系统使用。

近年来卫星通信新技术的发展层出不穷。例如甚小口径天线地球站系统,中低轨道的移动卫星通信系统等都受到了人们广泛的关注和应用。卫星通信也是未来全球信息高速公路的重要组成部分。

十九、通信卫星是如何工作的

利用通信卫星和广播卫星传输广播电视节目是卫星应用技术的重大发展。那么,通信卫星是怎样工作的呢?

卫星通信系统是由空间部分——通信卫星和地面部分——通信地面站两大部分构成的。在这一系统中,通信卫星实际上就是一个悬挂在空中的通信中继站。它居高临下,视野开阔,只要在它的覆盖照射区以内,不论距离远近都可以通信,通过它转发和反射电报、电视、广播和数据等无线信号。

通信卫星工作的基本原理是这样的:从地面站1发出无线电信号,这个微弱的信号被卫星通信天线接收后,首先在通信转发器中进行放大,变频和功率放大,最后再由卫星的通信天线把放大后的无线电波重新发向地面站2,从而实现

两个地面站或多个地面站的远距离通信。

举一个简单的例子：如北京市某用户要通过卫星与大洋彼岸的另一用户打电话，先要通过长途电话局，由它把用户电话线路与卫星通信系统中的北京地面站连通，地面站把电话信号发射到卫星，卫星接到这个信号后通过功率放大器，将信号放大再转发到大西洋彼岸的地面站，地面站把电话信号取出来，送到受话人所在的城市长途电话局转接用户。

电视节目的转播与电话传输相似。但是由于各国的电视制式标准不一样，在接收设备中还要有相应的制式转换设备，将电视信号转换为本国标准。电报、传真、广播、数据传输等业务也与电话传输过程相似，不同的是需要在地面站中采用相应的终端设备。

随着航天技术日新月异的发展，通信卫星的种类也越来越多。按服务区域划分，有全球、区域和国内通信卫星。按用途分，有一般通信卫星、广播卫星、海事卫星、跟踪和数据中继卫星以及各种军用卫星。

二十、卫星通信的优点

卫星通信同现在常用的电缆通信、微波通信等相比，有较多的优点，可以概括为以下几条。

1. 远

是指卫星通信的距离远。俗话说，“站的高，看的远”，同步通信卫星可以“看”到地球最大跨度达一万八千余公里。在这个覆盖区内的任意两点都可以通过卫星进行通信，而微波通信一般是 50 公里左右设一个中继站，一颗同步通信卫星的覆盖距离相当于三百多个微波中继站。

2. 多

指通信路数多、容量大。一颗现代通信卫星，可携带几个到几十个转发器，可提供几路电视和成千上万路电话。

3. 好

指通信质量好、可靠性高。卫星通信的传输环节少，不受地理条件和气象的影响，可获得高质量的通信信号。

4. 活

指运用灵活、适应性强。它不仅可以实现陆地上任意两点间的通信，而且能实现船与船，船与岸上、空中与陆地之间的通信，它可以结成一个多方向、多点的立体通信网。

5. 省

指成本低。在同样的容量、同样的距离下，卫星通信和其他的通信设备相比较，所耗的资金少，卫星通信系统的造价并不随通信距离的增加而提高，随着设计和工艺的成熟，成本还在降低。

二十一、卫星通信信号损耗

卫星通信是在空间技术和地面微波中继通信技术的基础上发展起来的，靠大气外卫星的中继实现远程通信。其载荷信息的无线电波要穿越大气层，经过很长的距离在地面站和卫星之间传播，因此它受到多种因素的影响。

传播问题会影响到信号质量和系统性能，这也是造成系统运转中断的一个原因，因此电波传播特性是卫星通信以及其他无线通信系统进行系统设计和线路设计时必须考虑的基本特性。

卫星通信的电波要经过对流层(含云层和雨层)、平流层、

电离层和外层空间，跨越距离大，因此影响电波的传播因素很多。下表列出了有关的传播问题。

影响电波的传播因素

传播问题	物理原因	主要影响
衰减和天空噪声增加	大气气体、云、雨	大约 10G 赫兹以上的频率
信号去极化	雨、冰结晶体	C 和 Ku 频段的双极化系统（取决于系统结构）
折射和大气多径	大气气体	低仰角跟踪和通信
信号闪烁	对流层和电离层折射扰动	对流层：低仰角和 10G 赫兹以上频率 电离层：10G 赫兹以下的频率
反射多径和阻塞	地球表面及表面上物体	卫星移动业务
传播延迟、变化	对流层和电离层	精确定时、定位系统

卫星通信的电波在传播中要受到损耗，其中最主要的是自由空间传播损耗，它占总损耗的大部分。其他损耗还有大气，雨，云，雪，雾等造成的吸收和散射损耗等。卫星移动通信系统还会因为受到某种阴影遮蔽（例如树木、建筑物的遮挡等）而增加额外的损耗，固定业务卫星通信系统则可通过适当选址避免这一额外的损耗。

卫星移动通信系统中，由于移动用户的特点，使接收电波不可避免地受到山、植被和建筑物的遮挡反射、折射引起的多径衰落，这是不同于固定业务卫星通信的地方。海面上的船舶、海面上空的飞机还会受到海面反射等引起的多径衰落影响。

固定站通信的时候，虽然存在多径传播，但是信号不会快衰落，只有由温度等引起的信号包络相对时间的缓慢变化，当然条件是能有其他移动物体造成电波的发射等情况发生。

二十二、卫星通信的噪声

卫星通信系统中接收机输入端的噪声功率分别由内部（接收机）和外部（天线引入）噪声源引入，外部噪声源可以分为两类：地面噪声和太空噪声。地面噪声对天线噪声影响最大，来源于大气、降雨、地面、工业活动（认为噪声）等；太空噪声来源于宇宙、太阳系等。

1. 太阳系噪声

它指的是太阳系中太阳、各行星以及月亮辐射的电磁干扰被天线接收而形成的噪声，其中太阳是最大的热辐射源。只要天线不对准太阳，在静寂期太阳噪声对天线噪声影响不大；其他行星和月亮，没有高增益天线直接指向时，对天线噪声影响也不大。实际上，当太阳和卫星汇合在一起，即太阳接近地球站指向卫星的天线时，地球站就会受到干扰，甚至造成中断。

2. 宇宙噪声

外空间星体的热气体及分布在星际空间的物质所形成的

噪声，在银河系中心的指向上达到最大值（通常称为指向热空），在天空其他某些部分的指向上是很低的（称为冷空）。宇宙噪声是频率的函数，在 1G 赫兹以下时，它是天线噪声的主要成分。

3. 大气噪声与降雨噪声

电离层、对流层不但吸收电波的能量，也产生电磁辐射而形成噪声，其中主要是氧气和水蒸汽构成的大气噪声，大气噪声是频率和仰角的函数。大气噪声在 10G 赫兹以上显著增加，仰角越低时，由于电波穿越大气层的路径长度增加，大气噪声作用加大。

降雨以及云、雾在产生电波吸收衰减的同时，也产生噪声，称为降雨噪声。对天线噪声温度的作用与雨量、频率、天线仰角有关。即使在 4G 赫兹的频率下，仰角低的时候，大雨对天线噪声温度的“贡献”也达到 50~100 千赫兹，因此我们在设计系统的时候要充分考虑这些因素。

4. 内部噪声

内部噪声来源于接收机，由于接收机中含有大量的电子元件，而这些电子元件中由于温度的影响，其中自由电子会做无规则的运动，这些运动实际上影响了电路的工作，这就是热噪声，因为在理论上，如果温度降低到绝对温度，那么这种内部噪声会为零，但实际上我们达不到绝对温度，所以内部噪声不可根除，只可抑制。

第二节 计算机网络与多媒体通信

一、网络互连

网络互连通常是指将不同的网络或相同的网络用互连设备连接在一起而形成一个范围更大的网络，也可以是为增加网络性能和易于管理而将一个原来很大的网络划分为几个子网或网段。

在现实世界中的计算机网络往往由许多种不同类型的网络互连而成。如果几个计算机网络只是在物理上连接在一起，但它们之间并不能进行通信，那么这种“互连”并没有实际意义。因此通常在谈到“互连”时，就已经暗示这些相互连接的计算机是可以进行通信的，也就是说，从功能上和逻辑上看，这些计算机网络已经组成了一个大型的计算机网络，或称为互连网络（internet work），也可简称为互联网、互连网（internet）。

请注意这里的字母 i 是小写的，所以互连网是泛指由多个计算机网络互连而成的计算机网络。使用大写字母的 Internet（因特网）则是指当前全球最大的、开放的、由众多网络相互连接而成的特定计算机网络，它采用 TCP/IP 协议族，且其前身是美国的 ARPANET。

二、什么是 Internet

不同的 Internet 用户对 Internet 有不同的认识，特别是对不同领域的用户来说，更是如此。使用 Internet 来阅读新闻

或者搜索信息的普通用户一般通过万维网（WWW）访问 Internet，他们所见的是简单的网页，对他们来说，Internet 上的一切都很容易简单，只需敲入网址，用鼠标点击几下就行了。

对工程师或研究人员来说，他们常谈起的是“远程登录”到这一点或文件传输到那一点。但是如果解释如何实现“远程登录”和“文件传输”，那就一言难尽了。对一个有丰富编程经验的网络大师来说，他会用大量的网络术语和技术理论来阐明对 Internet 的认识，这一定会让外行的听众头昏脑胀。

很难给 Internet 下一个总结性的定义。对于一些人来说，Internet 仅仅是给其他人发送电子邮件的一种途径，而对另一些人来说，Internet 则是他们会友、娱乐、阅读、辩论、工作甚至环游世界的地方。在国外文献中，人们称它是“没有领导、没有法律、没有政治、没有军队……”，总之是不可思议的组织结构。

Internet 非常象地球上广阔的海洋，它实际上覆盖了全球，从美国到欧洲、亚洲、澳大利亚、南美洲，最后再返回美国。同样可以将 Internet 划分为大洋（子网）、海峡（网络间的连接）、大陆（超级计算机）、大岛（大型机、小型机或工作站）和一些数不胜数的小岛屿（个人计算机）。在他们之间来回穿梭的是数据流，或称为比特流，它们穿越数千里，从一个港口（计算机端口）到达另一个港口（计算机端口）。

在 Internet 中航行和在大海中航行的最大区别在于航行的速度。网上的用户和航海员的区别在于用户不需要离开座位就可以每秒航行数千公里。可以从中国出发到美国选取一

份文件，将它复制到德国、日本，所有这一切都可以在弹指一挥间完成，这是技术上的一项伟大成就。

由数以千计的小网络构造出了 Internet 这个世界上最大、最流行的计算机互联网，它连接了上百万台计算机和数千万用户（还在不断增加）。除去设备规模、统计数字、使用方式、发展方向上的明显优势外，Internet 正以一种令人难以置信的速度在发展。Internet 所包含数据的丰富程度远远超过了人们最大胆的想象。

从网络通信技术的角度看，Internet 是一个以 TCP/IP 网络协议连接各个国家、各个地区以及各个机构的计算机网络的数据通信网。从信息资源的角度看，Internet 是一个集各个部门、各个领域的各种信息资源为一体，供网上用户共享的信息资源网。

今天的 Internet 已远远超过了网络的涵义，它是一个社会。虽然至今还没有一个准确的定义概括 Internet，但是这个定义应从通信协议、物理连接、资源共享、相互联系、相互通信的角度综合考虑。

三、计算机网络的客户机和服务器

客户机 / 服务器系统 (Client / Server System) 是计算机网络 (尤其是 Internet) 中最重要的应用技术之一，其系统结构是指把一个大型的计算机应用系统变为多个能互相独立的子系统，而服务器便是整个应用系统资源的存储与管理中心，多台客户机则各自处理相应的功能，共同实现完整的应用。

用户使用应用程序时，首先启动客户机通过有关命令告知服务器进行连接以完成各种操作，而服务器则按照此请示

提供相应的服务。

客户机 / 服务器 (C / S, Client / Server) 概念来源于日常生活中常见的一种工作方式。

例如, 在一个大餐馆中, 食客向招待员点菜, 招待员把食客要求通知厨房的厨师, 厨师按食客要求做好菜让招待员端给食客, 这就是一种餐馆的 C / S 工作方式。

餐馆中的招待员和厨师进行了分工: 招待员直接面向食客, 了解食客要求并向食客提供最终服务; 厨师看不到食客, 但具体运作食客提交的任务。

如果把餐馆看成一个系统, 则招待员与厨师的分工就是一种系统的分工, C / S 工作方式就是一种系统分工、协同的工作方式, 有时也称为 C / S 模式、C / S 系统。招待员与厨师的分工关系是一种系统的结构关系, 所以 C / S 实际上也是一种系统结构模式。

计算机网络的主要用途之一是允许共享资源。这种共享是通过相呼应的两个独立程序来完成的。每个程序在相应的计算机上运行。一个程序在服务器中, 提供特定资源; 另一个程序在客户机中, 它使客户机能够使用服务器上的资源。

例如, 你正在计算机上用文字处理程序 (如 Word) 进行工作, 你告诉程序, 你要编辑一个存贮在网络的另一台计算机中的特定的文件。你的程序将给那台计算机发送一个信号, 请求它把这个文件传输过来。在这种情况下, 你的文字处理程序是客户机, 此时接受这种请求并发出这个文件的程序叫服务器, 更确切地说它是一个文件服务器。

在局域网上, 硬件就在附近并且看得见。通常, 人们用

“服务器”这个词来称运行服务器程序的这台计算机。假设有这样的场面：一位网络管理员带着美国总统参观他的局域网，他在现场指着一台米色计算机，夸耀地说“这就是我们的文件服务器！”对于这种恰当有礼的炫耀，总统点头示意并说：“很好！”

在 Internet 上，硬件却通常看不到，这里的“客户机”和“服务器”一般是分别指载有相应程序的计算机，一个是要服务服务的计算机，另一个是可提供服务的计算机。

可以举一个重要的例子，很多 Internet 的主机提供一种叫做 WWW 的服务（就相当于浏览网页）。WWW 允许用鼠标点击“链接”（简言之，就是使鼠标光标变成手形的文本词句和图形），每次点击一项，WWW 程序就执行所要求的任务，一直到所需要得到满足。例如，某个“链接”是连到一个特定的信息内容（如“今日新闻”），WWW 将检索这个信息，并把它显示出来。

使用 WWW 时，要涉及两个不同的程序。一个程序安装在客户机上，它执行鼠标点击，立即显示链接的网页内容，确保要求得到执行，这个程序叫做 WWW 客户机程序，比如平时所使用的浏览器（IE 或 Netscape）

另一个程序在服务器上，如“阿帕奇”Web 服务器软件，它对 WWW 客户机所要求的一切进行满足。这种系统的绝妙之处，就是客户机和服务器程序不在同一台计算机上运行，这些客户机和服务器程序通常归属不同的计算机。

例如，人们可能坐在中国北京的一台 PC 机前，通过 WWW 来阅读万里之外的美国国家安全局的“今日新闻”，

看一看美国总统选举的闹剧。在这种情况下，WWW 客户机就是个人的 PC 机，它运行着一个程序，此时 WWW 服务器是在美国另一端的一台超级计算机，它运行着另一个程序。

大部分计算机网络（包括所有的 Internet 服务）都使用这种客户机 / 服务器关系。要懂得怎样使用计算机网络（尤其是 Internet），事实上就意味着要懂得怎样使用每个客户机程序。客户的任务是启动客户机，并叫它执行程序。客户机的任务是连接上相对应的服务器，并确保你的指令正确执行。

四、IP 地址和域名系统

Internet 由成千上万的计算机互联组成，允许任何主机之间通信，为了让与 Internet 连接的主机能互相识别对方，定义了两种方法来标识网上的计算机，分别是 IP 地址（Internet Protocol）和 DNS（域名系统，Domain Name System 的缩写）。

IP 地址是一个 32 位的二进制地址，写成 4 个十进制的数字字段，中间用点来隔开。例如，北京数据通讯局的 Internet 服务器的 IP 地址是：202.98.38.12。

由于用数字难于记忆，为便于解释机器的 IP 地址，人们又采用英文符号来表示 IP 地址，这就产生了域名系统（DNS），并按地理和机构类别来分层。每个域名也由几部分组成，每部分称之为域，域与域之间用圆点（.）隔开，最末的一组叫域根，前面的叫子域。例如北京数据通讯局的域名为：bta.net.cn。其中，最高域名为 cn（表示中国），次高域名为 net（表示网络机构），主机名为 bta。

根域表示提供 Internet 服务的组织机构类型，常用的根域名的代码具体含义见下表。

常用的根域名的代码表

代码	名称	代码	名称
Com	商业机构	arts	娱乐机构
Edu	教育机构	firm	工业机构
Gov	政府机构	info	信息机构
Int	国际机构	nom	个人和个体
Mil	军事机构	rec	消遣机构
Net	网络机构	store	商业销售机构
Org	非盈利机构	web	与 www 有关的机构

随着 Internetde 的不断发展壮大，国际域名管理机构又增加了国家与地区代码这一新根域名，采用国家（地区）的英文名称的缩写作为根域名中的国家代码，例如，cn 表示中国，uk 表示英国，jp 表示日本。Internet 上部分国家（地区）域名代码见下表。

国家与地区代码表

代码	国家/地区	代码	国家/地区	代码	国家/地区
AR	阿根廷	IQ	伊拉克	PT	葡萄牙
AU	澳大利亚	IE	爱尔兰	RO	罗马尼亚
AT	奥地利	IL	以色列	RU	俄罗斯
BY	白俄罗斯	IT	意大利	SG	新加坡
BE	比利时	JP	日本	CN	中国
BR	巴西	KP	朝鲜	DK	丹麦
KH	柬埔寨	MO	澳门	FI	芬兰

CA	加拿大	MY	马来西亚	FR	法国
GR	希腊	NO	挪威	DE	德国
BG	保加利亚	KP	韩国	EG	埃及
HU	匈牙利	PK	巴基斯坦	ZA	南非
HK	香港	PH	菲律宾	NZ	新西兰
CH	瑞士	US	美国	TH	泰国
UK	英国	TW	台湾	CO	哥伦比亚
CU	古巴	SA	沙特	TR	土耳其
ID	印尼	SE	瑞典	NL	荷兰
IS	冰岛	KW	科威特	VN	越南
IR	伊朗	PL	波兰	ES	西班牙

我国又按行政区域划分了 34 个行政区代码,采用各行政区域名称拼音的第一个字母组合,例如 bj 表示北京,cq 表示重庆。

五、计算机网络的分类

1. 从小到大——局域网、城域网、广域网、因特网

网络中计算机设备之间的距离可近可远,即网络覆盖地域面积可大可小。按照联网的计算机之间的距离和网络覆盖面的不同,一般分为局域网(LAN,即 Local area network)、城域网(MAN,即 Metropolitan area network)、广域网(WAN,即 Wide area network)和因特网(Internet)。LAN 相当于某厂、校的内部电话网,MAN 犹如某地只能拨通市话的电话网,WAN 好像国内直拨电话网,因特网则类似于国际长途电

话网。

局域网（LAN）是由某种类型的电缆把计算机直接连在一起的网络。把局域网连在一起组成了广域网（WAN）。大多数的广域网是通过电话线路连接的，少数的也采用其他类型的技术，如卫星通讯。Internet 中大多数广域网连接是通过电话系统。

下面就是一个很典型的网络例子。设想坐在一所大学的计算中心房间里，里面放满了计算机。自己的计算机在这一局域网中，与房间中所有其他的计算机相连，也与整栋建筑内的办公室的计算机相连。在一个学校，有很多的局域网。例如，电信系有自己的计算机网络，管理系、计算机科学系等等也有。这些局域网中的每一台机器都连在一个作为主干的高速通路上，构成一个校园的广域网。

以上是一个大学的例子，很多其他的机构，如公司、政府机关、研究单位、其他种类的学校等，其实也是相似的。如果是小机构，可以只要一个局域网，大机构可把多个局域网连成一个或多个复杂的广域网，通常由专职人员来管理这些网络。

局域网间是怎样连接的？它是通过一种叫做路由器（router）的专门设备来实现的。路由器的作用是提供从一个网络到另一个网络的通路。我们用路由器来连接局域网（构成广域网）和广域网（构成更大的广域网）。换句话说，我们可以认为：Internet 里的计算机通过大量的路由器连成局域网和广域网。

2. 地位不同——基于服务器的网络和对等网络

在计算机网络中，倘若每台计算机的地位平等，都可以平等地使用其他计算机内部的资源，每台机器磁盘上的空间和文件都成为公共财产，这种网就称之为对等局域网，简称对等网。

在对等网计算机资源这种共享方式将会导致计算机的速度比平时慢，但对等网非常适合于小型的、任务轻的局域网，例如在普通办公室、家庭、游戏厅、学生宿舍内建个小 LAN。

如果网络所连接的计算机较多，在 10 台以上且共享资源较多时，就需要考虑专门设立一个计算机来存储和管理需要共享的资源，这台计算机被称为文件服务器，其他的计算机称为工作站，工作站里硬盘的资源就不必与他人共享。

如果想与某人共享一份文件，就必须先把文件从工作站拷贝到文件服务器上，或者一开始就把文件安装在服务器上，这样其他工作站上的用户才能访问到这份文件。这种网络称为客户机/服务器（Client/Server）网络。

六、计算机网络进行数据通信

数据通信技术是计算机网络系统的基础之一。当计算机互相通信时，它们在说些什么呢？大多数时候是在它们之间传送特定的电信号——数据信号。

尽管多数人从不知道——也不关心所发生的事情，但粗略地看看一些超出基础的通信知识（只是超出一点点）会有助于我们理解所发生的一切。

借助对电话通话的模拟，来分析一个典型的对话，如下表所示，表明人类的对话方式和计算机对话方式之间的一些显著相似的特点。

人类之间和计算机之间是如何交流的

人类会话	计算机会话
喂，你好，我是小强。	计算机显示发送者的姓名和地址。
小丽在吗？	计算机显示接收者的姓名和地址。
请问我可以同她讲话吗？	计算机发出请求并建立连接以证实到达接收者。
小丽，你今晚有空吗？我想请你吃饭。	计算机要求或提供服务。
五点钟在老地方等。	计算机提出特定要求或提供特定服务。
不见不散。	计算机关闭服务。
再见。	计算机中断连接。

从表中可以看出，人类会话和计算机会话并非都不同——每次交流的基本内容都非常相似。当看到每条真实内容时，很快会意识到人类用声音来交流，具有特定的但却很灵活的含义，而计算机用数据位（比特，bit）的方式来通信，也具有特定的但非常固定的解释。

下面来看一看两台计算机之间传输文件的过程。首先，计算机 A 通过调制解调器和电话线与计算机 B 建立连接；然后，利用通信软件，计算机 A 将存在磁盘上的文本文件 FILE.TXT，通过建立的连接传到计算机 B 的磁盘里。这样接

收到的文件和发送的文件是完全一致的。

上述文件传输过程看似简单，其实它包含了非常复杂的通信技术。假设在计算机 A 中的文件 FILE.TXT 包含一条问候信息“你好！新年快乐！”，这一问候信息其实由一些 ASCII 码字符组成，而每个 ASCII 码字符又是 8 位二进制数的序列，所以计算机 A 中的文件 FILE.TXT 由一个二进制数的序列组成。

在发送文件时，这个二进制数的序列从磁盘调入计算机的内存，然后通过计算机与调制解调器之间的通信电缆，二进制数的序列被送到调制解调器时，成为一个二值（具有高低两个电压）的电信号序列。

为了防止传输错误，调制解调器往往在这个二值的电信号序列中添加一些错误校验信息，然后转换成适合于在电话线中传输的模拟信号，以便有效而可靠地传输。

在这个模拟信号的传输过程中，由于信号的能量会有所衰减和受到其他的干扰，所以在接收端，计算机 B 的调制解调器收到的信号往往与计算机 A 的调制解调器发出的信号不同。

计算机 B 的调制解调器将接收到的信号转换回二值的电信号序列，并根据校验信息试图发现或纠正传输中的错误。正确的二值电信号序列被送到计算机 B 的存储器里，然后又转储到磁盘中。

计算机 B 的用户打开接收到的文件就可以看到接收到的信息，这条信息通常是发送的原始信息的准确复制。

从上面的介绍可以看出，计算机间的通信和普通电话间

的通信有着显著的区别。

首先，计算机通信系统中发送和接收的是数字信号，而电话通信中发送和接收的是模拟信号；其次，计算机间的通信增加了信号变换的设备，例如调制解调器，通过它可以在模拟信号上传递数字数据，并且可以发现或纠正传输中的错误；第三，在计算机间的通信中，接收到的数据和发送的数据通常是完全一致的，而在电话通信中，接收的却是变了样的原始信号的仿制品。

将上面的计算机间传输文件的系统抽象化，就成为数据通信系统一般结构模型。

DTE 是数据终端设备，它是数据的出发点和目的地。数据输入输出设备、通信处理机和计算机属于 DTE 的范围。DTE 根据协议控制通信的功能。通信控制器负责 DTE 和通信线路的连接，完成数据缓冲、速度匹配、串并转换等。如微机内部的异步通信适配器、数字基带网中的网卡就是通信控制器。

信道是传输信号的通道，可以是有线的传输媒体，也可以是无线的传输媒体。信号变换器的功能是把通信控制器发出的信号转换成适合于在信道上传输的信号，或者相反，把从信道上接收的信号转换成通信控制器所能接受的信号，如调制解调器、光纤通信网中的光电转换器。信号变换器和其他的网络通信设备又统称为数据通信设备 DCE，DCE 为用户设备提供入网的连接点。

七、数据通信规则

“数字”与“数据”的概念不同。若数字信号具有一定

编码、一定格式和一定位长，该数字信号才成为“数据”。换句话说，数字可以看作是一个个的人，数据就是有组织的队列。

数据通信指数据经过一定的处理，能在有线或无线的传输系统中进行的通信，其处理的目的是要保证数据准确、无误地传送。例如接收和发送的同步问题，当传输出现差错时的检错和纠错问题，传输过程中如何提高效率的问题。

1. 传送队列—并行和串行

数据传送要有一定的顺序，如果顺序错了，“字”的含义就变了。因此，当发送端把数据通过信道传送到接收端时，一定要按规格并保证顺序不变的原则。所谓规格就是一个字占多少位，所谓顺序就是位（比特）的排列。

通常数据的传递有两种方式：一种称为“并行传输”；另一种称为“串行传输”。

当我们站好方队，例如每行有 8 人（列），每列有若干人（行），然后队伍才能行进。并行传输就好像一行人“齐步走”，一起到达终点，此时第二行才能再次齐头并进……确切地讲，并行传输就是把每一个字符所包含的几个“位”（如 8 位）同时从发送端传送出去。隔一段时间之后，再按同样的方法传送下一个字符。

串行传输就是将第一行的 8 人按顺序一个一个地行进，到终点之后，再按其原有的顺序恢复原样编排，此时第二行才能再次出发并按顺序一个一个地前进……确切地讲，串行传输就是在发送端把每一个字符所包含的几个“位”（如 8 位）按顺序一个一个地传送出去，隔一段时间之后，再按同

样的方法传送下一个字符。

2. 单双行线—单工、半双工和全双工

数据的流动就好像火车行驶或汽车车队的行驶一样，火车要有车头、车厢和车尾，数据（例如报文）也要有报头、数据信息和报尾。火车要在铁路上行驶，数据也要在信道中流动。铁路有双线和单线，公路也有双行线和单行线，通信信道也是这样。

所谓单工通信，就是指传送的数据始终是一个方向，而不能进行与此相反方向的传送，好像单行线一样。

所谓半双工通信，就是指传送的数据可以在两个方向传送，但不是同时。就像单线铁路一样，某时允许 A 站发出列车到 B 站，另一时刻允许 B 站发出列车到 A 站，火车往返运行要由调度控制。

所谓双工通信，就是指传送的数据可以同时两个方向传送，好像双线铁路一样，其中一线路只允许 A 站发出列车到 B 站，另一线路只允许 B 站发出列车到 A 站，两站可同时或不同时发送列车。又或者让两路数据通过调制的方法，在共同的信道中传输而不冲突，就像宽马路中间划一条黄线，只要司机开车不越黄线逆行，就不会发生碰撞。

3. 交通指挥—同步和转接

在十字路口，通常会有红绿灯转换，或者由交通警察指挥，它是汽车流量和流向控制的重要环节。数据信息的流动也同样需要有个交通指挥，来指挥一组一组的数据。

指挥时要注意两个问题：一是“同步”，即每一组数据都要有它明显的头、尾标志，以便每到一个“节点”（分叉口）

转向一条新路时，该组数据能完整转向，也就是说，节点能准确截断数据流，防止出现一组数据中间被截断；二是“转接”，即数据流的流向控制，要能准确地按地址转接到规定的路径。

数据同步主要是区分每一组数据首尾，它要求一组数据的前和后要有明显的标记，也就是说发送端要给接收端（或中转站）以明显的同步标记。正如在公路上看到的迎宾车队，前面有能发出闪光和警报信号的开道车（表示起始），最后一辆车则打着双转向黄色闪光灯（表示结束），这样，交警的指挥就不会出现车队被中间截断的事故。

数据从发送端传递到接收端时，中间要通过很多转接的节点，该节点有时称为“交换中心”。节点就好像车队到了交叉路口，由红绿灯或交警决定车辆何时行驶及行驶方向。我们知道，为确保每个车队能顺利到达终点有两种方法：一是事先联系并通知各交叉路口，建立好一条专用通道，然后快速通过完整的一组车队，最后解除该专用通道，此间其他各路车队都不得驶入这条通道。正如前面介绍的迎宾车队，这类类似于“电路转接方式”；二是司机根据地址行驶，每到一个交叉路口，用转向灯告知交警将要转向的路径，这类类似于“存储转接方式”。

八、网络传输协议

“无规矩，不成方圆。”网络协议就是网络通信的规章制度。

协议本质上是一套行为规则。这些规则也许是非书面形式的，但却是人们在使用中认为是正确而接受的。由于环境

和文化的因素，行为规则有些细微差别。

有些行为规则是写在纸上的，例如交通规则。但由于国家和地区的不同，交通规则的差异也很大。例如，在中国，黄色交通信号意味着“当心，准备停车”。但是在德国，同样的黄色交通信号却表示“准备，灯就要变成绿色了”。

类似地，当两台或更多台计算机需要通信时，它们也要有行为规则和书写与传送信息的习惯。就像世界各地的人们在不同的地区讲不同的语言一样，计算机也需要“讲”特定的网络语言即“协议”。如果一台计算机不能使用某个协议，它就不能与使用那个协议的计算机通信。

网络里面充斥着各种协议。一台计算机需要准确地知道信息在网络里以什么形式传递，从而确保信息到达正确的地方。它需要知道网络预计的信息格式（例如，信息的哪一部分是数据，哪一部分用于制定接收方的地址）；只有这样，网络才能将数据顺利地传递至目的地。就像上面提到的交通规则，我们可以称之为十字路口的公路交通协议，这种协议可以确保车辆的安全通过。

九、模拟信号和数字信号

信号是运载消息的工具，是消息的载体。从广义上讲，它包含光信号、声信号和电信号等。例如，古代人利用点燃烽火台而产生的滚滚狼烟，向远方军队传递敌人入侵的消息，这属于光信号；当我们说话时，声波传递到他人的耳朵，使他人了解我们的意图，这属于声信号；遨游太空的各种无线电波、四通八达的电话网中的电流等，都可以用来向远方表达各种消息，这属电信号。人们通过对光、声、电信号进行

接收，才知道对方要表达的消息。

在信号这个大家族中，有两兄弟特别引人注目，就是“模拟”和“数字”。

1. 模拟信号

“模拟”是“数字”的兄长。

“模拟”是对我们生活的实体的一种表达方式。比如说我们在看一本书，白纸黑字映入眼帘中，在大脑中就会有反应，从书中知道了一些东西，我们说印在纸上的字是一种“模拟”。

与此相类似，用笔在纸上记下的一个电话号码，或是写下的一首诗歌，还有刻在石头上的古代碑文，这些都是“模拟”。

除了文字以外，我们在生活中还能见到许多“模拟”的东西，比如说一幅风景画，又比如说在电视上或是电影院的屏幕上，看到听到了孩子们的欢歌笑语，在电话里听到了朋友的声音。

“模拟”需要载体或是信息的存储媒体，比如说一张白纸，又比如说是一盒胶卷。

“模拟”需要工具，比如说有一台电视机，那么电视机的荧光屏和喇叭都属于模拟设备。

“模拟”需要传播方式，比如说可以和一个十几米外的朋友说话，但是如果这位朋友在几百公里以外，就不得不需要电话，电话网通过“模拟信号”将声音传到了几百公里甚至几千公里以外。

2. 数字信号

类似于“模拟”，数字也是我们生活中的实体的一种表达方式。我们可以用笔在纸上记下一个电话号码，也可以把这个电话号码输入计算机存储器；我们可以看一本印刷成册的书，也可以看存储在 CD-ROM 中的电子出版物；我们可以听收音机播放的音乐，也可以听一盘音乐光盘（CD）……

数字信息的最小度量单位叫做“比特”，有时也叫“位”，意即二进制的一位。在媒体中传输的讯号是以比特的电子形式组成数据。比特的定义是：比特是一种存在的状态：开或关，真或伪，上或下，入或出，黑或白。出于实用的目的，我们把比特想成 1 或 0。

人们可以用 1 或 0 构成的二进制来表示世界上几乎所有的信息，比如可以说一人有 65 岁，也可说他有 01000001 岁。只是后一种说法听起来相当别扭，因为人们早已习惯了用十进制数字来表达数量。如果采用“六进制”数字（世界上似乎还没有哪个民族采用过这种进制的数字），那么就可以说一年有二“六”个月。如果螃蟹有朝一日进化到与人接近的水平，它们很可能采用“八进制数字”来计数，那么在它们看来，一年就有一“八”又四个月。

除了“比特”（bit），人们还经常会遇到几个数字信息度量单位。字节（byte）是一种比“比特”更抽象或是高级的度量单位，一般来说，一个字节有 8 位，即 8 个比特。还有三个缩写，“K”、“M”和“G”。 $1K = 1024$ ，在中文里我们通常叫它“千”； $1M = 1024 \times 1K$ ，在中文里我们通常叫它“兆”； $1G = 1024 \times 1M$ ，在中文里通常叫它“千兆”或者“吉”。

比特（位）通常用于数据在网络上传输的情况下，比如

我们一般都说这条电话线一秒钟可以传送 9600 比特的二进制流,而不是说 1200 字节。字节通常用在数据的存储系统中,比如说这个文件的大小是 2M,这里指的是字节而不是比特,又比如是 1.44M 软盘、20G 硬盘,指的也是字节。

十、如何避免数据传输中的衰减

数据在信道中“行驶”,免不了要受到一些干扰与减损,致使接收端错误接收。正如在运货过程中,破损、散包和掉包是可能发生的。对待这样的问题该怎么办?通常采用两种办法:

1. 选择好的通信信道,改善通信线路的电气性能

我们知道,路面情况越好,运输过程中造成货物破损的程度和机会就越小。显然,要想降低传输中的误码率,应尽量选择通频带宽、衰耗和干扰影响小的信道。

2. 随时检查

在通信线路上,每经过一个环节,如发送端到交换中心(节点)节点到节点……设法步步检查错误,随时发现,随时采取措施,对错误进行控制,不要等到错误到达终点再从头返回进行纠正。就好像在运货过程中需随时清点货物一样。

为便于各节点发现错误并自动纠正错误,较为有效的办法就是对传输的衰减进行抗干扰编码。即在传送的衰减码元之后再按一定规则增加一些“多余”的码元,这多余的码元称为“冗余码”。发送时,数据码元和冗余码一起发出,接收端按数据码元和冗余码元之间的关系(规则)查找数据是否出现错误或者能部分地纠正错误。如果出现错误,就要采取一定的措施。

显然，“冗余”一词对数据来讲具有多余的含义，但对检错来讲可是按“法”检测的依据，相当于运货时要附带运货清单，以便检查、核对之用。

十一、电子信箱

电子信箱又称电子邮寄、电子邮件，英文又称 Electronic-mail，简称 E-mail。电子信箱是通过电子通信的手段实现信件和文件的传送、接收、存储、投送等服务。

电子信箱业务是以“信箱对信箱”和信件的“存储、转发、提取”为基础的。发信人以“信箱”为中心，通过用户电报网、电话网、数据交换网等电信网路，经过计算机网的处理，将信件、文件送到接收用户的“信箱”中，关通知收信人提取。

这种以“信箱”为中心的电信业务，实际上并没有住宅楼和办公楼内经常可以看到的具体的信箱；信件也并不是写在纸上，装在信封中的。电子信箱系统，实际上是设立在电信网上的一个计算机系统。

每个用户在“电子信箱”系统中，都有一个属于自己专用的“电子信箱”，还有自己信箱的名称和密码。

电子信箱通信的过程是这样的：发信用户按照规定的方式和格式把“信件”送进自己的“信箱”，通过电信网传送到对方用户的“电子信箱”；收信用户可以使用自己的“钥匙”（密码）去开启“信箱”，提取“信件”。

这种过程和邮寄信件的过程相似，“电子信箱”就好比是邮政信箱；信箱与信箱之间信件的处理、传递、交换、投递就好比是邮政系统对信件的处理过程，因此称之为“电子邮

政”。

电子信箱系统的硬件是一个高性能、大容量的计算机，而系统的各种功能则是由软件来实现的。

早期的电子信箱系统是一些独立的系统，每个系统有一台计算机，数据库和电子信箱都设在一台机器上，因此多台计算机的电子信件要互通就比较困难，资源共享受到很大的限制。

现代的电子信箱系统是以消息处理系统（MHS）为基础的。MHS是20世纪80年代后期发展起来的计算机通信网系统，现在已经成为公用电子信箱系统的国际标准。因此，现在的电子信箱系统可以实现全球连网，与全世界的电子信箱系统互通。消息处理系统的技术也使电子信箱系统的功能、互连性、安全性和经济性等各方面都有很多改进和提高。

随着信息技术的发展，计算机系统的处理能力和存储能力的提高，现代的电子信箱系统，不仅能传送信件和文件，还能传送二进制数据、传真、话音、图像以及其他形式的信息。

十二、什么是多媒体

声音、图像、图形、文字等被理解为承载信息的媒体而称为多媒体其实并不准确，因为这容易跟那些承载信息进行传输、存储的物质媒体（也有人称为介质），如电磁波、光、空气波、电流、磁介质等相混淆。

但是，现在多媒体这个名词或术语几乎已经成为文字、图形、图像和声音的同义词，也就是说，一般人都认为，多媒体就是声音、图像与图形等的组合，所以在一般的文章中

也就一直沿用这个不太准确的词。目前流行的多媒体的概念，主要仍是指文字、图形、图像、声音等人的器官能直接感受和理解的各种信息类型，这已经成为一种较狭义的多媒体的理解。

在计算机和通信领域，人们所指的信息的正文、图形、声音、图像、动画，都可以称为媒体。从计算机和通信设备处理信息的角度来看，可以将自然界和人类社会原始信息存在的形式——数据、文字、有声的语言、音响、绘画、动画、图像（静态的照片和动态的电影、电视和录像）等，归结为三种最基本的媒体：声、图、文。

传统的计算机只能够处理单媒体——“文”，电视能够传播声、图、文集成信息，但它不是多媒体系统。通过电视，我们只能单向被动地接受信息，不能双向地、主动地处理信息，没有所谓的交互性。可视电话虽然有交互性，但我们仅仅能够听到声音，见到谈话人的形象，也不是多媒体。所谓多媒体，是指能够同时采集、处理、编辑、存储和展示两个或以上不同类型信息媒体的技术，这些信息媒体包括文字、声音、图形、图像、动画和活动影像等。

在日常生活中，被称为媒体的东西有许多，如蜜蜂是传播花粉的媒体、苍蝇是传播病菌的媒体。但准确地说，这些所谓的“媒体”是传播媒体，并非我们所说的多媒体中的“媒体”。因为这些传播媒体传播的都是某种物质实体，而文字、声音、图像、图形这些都不是物质实体。它们只是客观事物某种属性的表面特征，是一种信息表示方式。我们在计算机和通信领域所说的“媒体”，是信息存储、传播和表现的载体，

并不是一般的媒介和媒质。

从概念上准确地说，多媒体中的“媒体”应该是指一种表达某种信息内容的形式，同理可以知道，我们所指的多媒体，应该是多种信息的表达方式或者是多种信息的类型。自然地，我们就可以用多媒体信息这个概念来表示包含文字信息、图形信息、图像信息和声音信息等不同信息类型的一种综合信息类型。

总之，由于信息最本质的概念是客观事物属性的表面特征，其表现方式是多种多样的，因此，较为准确而全面的多媒体定义，就应该是指多种信息类型的综合。

这些媒体可以是图形、图像、声音、文字、视频、动画等信息表示形式，也可以是显示器、扬声器、电视机等信息的展示设备，传递信息的光纤、电缆、电磁波等中介媒质，还可以是存储信息的磁盘、光盘、磁带等存储实体。

十三、多媒体信息的传输

信息技术是人类信息获取功能的增强和扩展，它经历了从简单到复杂、单一到综合的发展过程，从传输话音的电话、无线电广播到传输活动图像的电视、电影以及能够处理文字、数字数据的电子计算机。

现在，计算机网络综合了许许多多先进的信息技术，已经成为现代甚至未来社会信息网络的重要基础设施之一，其应用也越来越广泛地深入到我们社会生活的方方面面。

我们能从计算机网络系统中得到各种各样服务的同时，自然希望这些服务也能像我们观察自然界和生活以及直接进行人与人的交往那样，得到具有声音、图像、图形和文字等

多种信息形式的综合感受。正是我们人类的信息器官对多媒体的这种自然需求，推动了各种信息技术与多媒体技术的结合，特别是计算机网络与多媒体技术的结合。

而计算机网络能把信息采集、处理、存储、传输和显示、控制技术高度一体化地综合在一个系统平台中，而且不断地融合各种新的信息技术，反过来又推动了多媒体技术的发展和推广，从而更好地适应和满足我们对各种网络信息服务的多媒体要求。

这时可能会产生这样一个疑问：既然多媒体信息是声音、文字、图像等多种信息类型的综合，它应该跟单一的声音信息、文字信息不一样，那么它需要新的技术和方法以完成在计算机网与通信网中的存储、传输、显示和处理过程吗？

我们知道，文字信息、声音信息和图像信息，一旦进入计算机和通信系统中，就会被转换成“0”和“1”的数字组合来表示，我们把这种处理方法称为二进制编码，把这种数字组合的结果称为数字信号。虽然多媒体信息要比单一的文字信息、声音信息和图像信息复杂的多，也丰富得多，但在计算机和通信系统中，同样是利用“0”和“1”的组合来表示出所有的多媒体信息，在本质上没有什么根本区别。

从理论上讲，只要数字的长度没有限制，“0”和“1”所能产生的组合是无限的，所以人们就能相信，通过“0”与“1”的无限组合就能表示所有多媒体信息。

虽然目前的计算机和通信系统中的设备能处理的由“0”和“1”组成的数字长度有限，但随着技术的不断发展，计算机和通信设备的处理能力的不断提升，这种处理方法应该是

能满足我们获取多媒体信息的要求的。

十四、多媒体系统的作用

人们通过感觉、视觉、听觉、触觉、味觉和嗅觉，打开了通向世界的窗口。这些感觉器官把有关环境的数据传递给大脑，由大脑来解释这些数据，同时把当前发生的情况与先前发生的情况加以对比，最终使人们获得信息。

多媒体系统作为一个建立在人与环境之间的系统，实质的目的是要协助人与环境之间的交互和操作。这种协作不同于普通的控制与交互系统，不能理解为用于协助人对机器的操纵，而在概念上是透过多媒体系统对环境进行交互和控制，这种交互由于多媒体系统的介入将我们人类对信息的获取与处理能力大大加强，既扩大了范围，加快了速度，又增加了存储，而且更易于接受。

1. 多媒体出版

以光盘形式出版的各种各样的出版物已经普及。这一类光盘可以把软件、游戏、电影、书籍、教科书、杂志、报纸等以电子出版物的形式发行，我们用户通过多媒体个人电脑或其他多媒体终端设备进行阅读和使用。这种出版物不仅可以阅读，而且可以进行动态执行，演示出活动的效果，表现力更加丰富。

近来，与网络结合的多媒体电子网络出版方兴未艾，产生了更加好的效果，无论时效性、消息传递效果及信息的容量，都大大优于传统出版物。

2. 多媒体办公自动化和计算机会议系统

多媒体数据库和超媒体文献的大量使用，多媒体办公自

动化和指挥自动化系统将为工作人员提供能够支持各种媒体查询和检索、支持协作的工作环境。

这些系统不仅可以浏览处理大量通过网络来来往往的信息和数据，而且通过多媒体计算机会议系统，还可以使多个不同地点的人员参加同一个会议，通过视频、音频信息的传递，可以在不同地点之间形成面对面的效果，同时，也可以监视所需要的各种现场数据和图像。

3. 多媒体信息咨询系统

由于多媒体信息非常易于理解和表现，用多媒体信息来制作信息咨询系统就顺理成章了。这一类系统包括城市道路查询、航班咨询、专业业务咨询系统等等，也包括展览、展示、广告等一系列系统。这种系统主要由用户自己操作使用，或者是自动播放。

4. 交互式电视与视频点播

交互式电视将来要成为电视传播的主要方式。通过增加机顶盒和铺设高速光纤电缆，我们可以将现在的有线电视和单向电视改造成成为双向电视系统。

这样，用户看电视将一改过去被动的接收方式，可以使用点播、选择等方式，还可以通过交互式电视实现家庭购物、多人游戏等多种娱乐活动。

5. 交互式影院和数字化电影

交互式影院是交互式娱乐的另一方面。通过互动的方式，人们观众可以以一种参与的方式去“看”电影。这种电影不仅可以通过声音、画面制造效果，通过座椅也可以产生触感和动感，而且可以控制电影情节的进展。

电影全数字化后，电影制造厂只要把电影的数字文件通过网络发往电影院或家庭就可以了，而质量和效果都比普通电影高出一大截。

6. 数字化图书馆

数字化图书馆是另外一种信息服务方式。一旦图书馆中的图书都数字化，今后出版的书籍又都有电子版，数字化图书馆的时代就指日可待了。这种图书馆提供的将不仅仅是图书，事实上可以提供任何种类的信息和数据，例如影片、录像、图表与软件等等。

7. 家庭信息中心

家庭将是未来人们活动的主要场所。人们可以在家中休息、娱乐，也可以在家中工作，与外界的联系可以通过家庭信息中心去完成。人们通过这个系统口头打电话、发传真、收发电子邮件，处理有关的业务和工作，也可以通过视频通信与家人或同事作面对面的交谈，当然也可以通过该系统进行娱乐和休息。

8. 远程学习和远程医疗保健

通过多媒体通信网络，我们可以建立起远程学习系统和远程医疗保健系统。通过该系统，可以参加学校的听课、讨论和考试，也可以得到导师的面对面的指导。远程医疗保健可以使得偏远地区的病人一样地享受到专家的诊断。

9. 媒体空间、赛博空间

将办公室、公共活动区以及公共资源设备等用网络连接成为一个整体，形成跨距离的信息空间环境，供工作人员交换信息、传递数据或进行讨论，这就是所谓的媒体空间。媒

体空间有时候是通过复杂的会议系统实现的，有时候与计算机网络相连形成更大的信息空间。

当这个空间发展到相当大的范围，信息内容更加丰富，用户存取接口更加方便和更具沉浸感的时候，就成为赛博空间（Cyber Space，高度逼真的虚拟现实环境）。在赛博空间中，我们可以自由的进进出出，甚至还可以与人的大脑相连，获取所需的任何信息。Internet 的迅速发展预示了赛博空间的可能，而虚拟现实技术的广泛应用才会使得赛博空间更像一个“空间”。

上面所举的例子都是多媒体应用的不同形式。它们在很多方面具有相同的特点，采用的信息不再局限于文字或数据，扩展到了多种媒体信息；于人的各种活动密切相关，直接面向人进行工作；采用的技术形式大致相同，但所实现的应用却很不一样。

十五、虚拟现实（VR）技术

VR 是 Virtual Reality 的缩写，中文的意思就是虚拟现实，概念是在 20 世纪 80 年代初提出来的，其具体是指借助计算机及最新传感器技术创造的一种崭新的人机交互手段。1992 年美国国家科学基金资助的交互式系统项目工作组的报告中，对 VR 提出了较系统的论述，并确定和建议了未来虚拟现实环境领域的研究方向。

可以认为，虚拟现实技术综合了计算机图形技术、计算机仿真技术、传感器技术、显示技术等多种科学技术，它在多维信息空间上创建一个虚拟信息环境，能使用户具有身临其境的沉浸感，具有与环境完善的交互作用能力，并有助于

启发构思。所以说，沉浸-交互-构想是 VR 环境系统的三个基本特性。

虚拟技术的核心是建模与仿真。当前，VR 已不仅仅被关注于计算机图像领域，它已涉及更广的领域，如电视会议、网络技术和分布计算技术，并向分布式虚拟现实发展。

虚拟现实技术已成为新产品设计开发的重要手段。其中，协同工作虚拟现实是 VR 技术新的研究和应用的热点，它引入了新的技术问题，包括人的因素和网络、数据库技术等。如人的因素，已需要考虑多个参与者在共享的空间中如何相互交互，虚拟空间中的虚拟对象在多名参与者的共同作用下的行为等。

在 VR 环境下的进行协同设计，团队成员可同步或异步地在虚拟环境中从事构造和操作虚拟对象的活动，并可对虚拟对象进行评估、讨论以及重新设计等活动。分布式虚拟环境可使地理位置上分布不同的设计人员面对相同的虚拟设计对象，通过在共享的虚拟环境中协同地使用声音和视频工具，可在设计的初期就能够消除设计缺陷，减少产品上市时间，提高产品质量。

此外，VR 已成为构造虚拟样机，支持虚拟样机技术的重要工具。VE——虚拟环境技术可使工程师在三维空间中实时地与他们的设计样机（虚拟样机）进行交互。

看过《泰坦尼克号》的人或许都不会忘记，借助头盔式显示器和可远程操作的机械手打捞遗留在沉船上物品的场景；参与过虚拟角色游戏和虚拟社区的人，也必将沉浸于其真实感、临场感的体验中。它们带给我们的共同感受是：虚

拟和现实之间已经没有明显的界限。虚拟现实的广泛应用前景使之成为目前最具影响力的技术之一。

传统的信息处理环境一直是“人适应计算机”，而当今的目标或理念是要逐步使“计算机适应人”，使我们能够通过视觉、听觉、触觉、嗅觉，以及形体、手势或口令，参与到信息处理的环境中去，从而取得身临其境的体验。这种信息处理系统已不再是建立在单维的数字化空间上，而是建立在一个多维的信息空间中。虚拟现实技术就是支撑这个多维信息空间的关键技术。

十六、什么是光通信

光通信的本来含义是以光波为载波的通信。由于光纤开发的巨大成功，使得目前通常意义上的光通信都是指以光纤为传输媒质的通信方式，所以确切地应称为光纤通信。大气或真空也可以作为光波低损耗传输的理想媒质，以此为基础，可以构成大气或空间光通信系统，具有独特的潜在开发价值。

只涉及光载波及传输信道的光通信称为“狭义光通信”。由于光纤传输特性的无比优越性和近 30 年来的迅猛发展，促使整个通信系统和体制发生了一个又一个革命性的飞跃变化：从模拟到数字、从准同步到同步，从单线（点对点）到网络，从窄带到宽带，直至从传统的“通信”跨越到“传输”领域。

可以说，已经扩展了的地面“有线”通信，离开光纤的支撑已成为不可能。因此，应当把所有必须用光纤来传输的通信体系都纳入光通信范畴，构成“广义光通信”的概念。

按照传统的看法，通常把电信网划分为传输、交换和终

端三个部分。由于光纤所天然具有的巨大带宽优势(理论上,光纤可用带宽比通常的全部无线可用频谱大将近 1000 倍),在传输部分已经占据了毋庸置疑的主导地位,作为未来有线接入网部分的理想解决模式也已被业界所接受。光通信作为现代通信的最重要支柱之一,已是无可争议。

十七、光纤通信

人类很早就认识到用光可以传递信息,2000 多年前我国就有了用光传递远距离信息的设施——烽火台;后来有用灯光闪烁、旗语等传递信息的方法。

以发明电话而著名的发明家贝尔也在光通信方面作过贡献,1880 年,他利用太阳光作光源,用硒晶体作为光接收器件,成功地进行了光电话的实验,通话距离最远达到了 213 米。

用大气作为传输介质,损耗很大,而且无法避免自然气象条件的影响和各种外界的干扰,最多只能传几百米远。人们不得不寻求可以在封闭状态下传送光信号的办法,例如用波导管、棱镜、透镜折射的光束导管等。不过这些波导结构复杂,难以实现实用导光的目的。

玻璃纤维也是一种能把光信号封闭在其中的光的波导。玻璃光纤简称光纤,人们用它制造了在医疗上用的内窥镜,例如做成胃镜,可以观察到距离一米左右的体内情况。但是它的衰减损耗很大,只能传送很短的距离。

直到 20 世纪 60 年代,最好的玻璃纤维的衰减损耗仍在每公里 1000 分贝以上。每公里 1000 分贝的损耗是什么概念呢?每公里 10 分贝损耗就是输入的信号传送 1 公里后只剩下

了十分之一，20 分贝就表示只剩下百分之一，30 分贝是指只剩千分之一……1000 分贝的含意就是只剩下亿百分之一，这样是无论如何也不可能用于通信的。因此，当时有很多科学家和发明家认为用玻璃纤维通信希望渺茫，失去了信心，放弃了光纤通信的研究。

就在这种情况下，1966 年 7 月，英国标准电信研究所的英籍华人高锟博士和霍克哈姆就光纤传输的前景发表了具有重大历史意义的论文。

论文分析了玻璃纤维损耗大的主要原因，大胆地预言，只要能设法降低玻璃纤维的杂质，就有可能使光纤的损耗从每公里 1000 分贝降低到 20 分贝 / 公里，从而有可能用于通信。

这篇论文鼓舞了许多科学为实现低损耗的光纤而努力。1970 年，美国康宁玻璃公司的卡普隆博士等三人，经过多次的试验，终于研制出传输损耗仅为 20 分贝 / 公里的光纤。这样低损耗的光纤，在当时是惊人的成功，使光纤通信有了实现的可能。

光纤通信的另一重要技术是光通信的光源，因为传送光信号不能用普通的光。太阳光、灯光的频率和相位是杂乱的，不能用于大容量的通信。

1960 年美国梅曼发明了红宝石激光器，从而人们获得了性质与电磁波相同、而且频率和相位都稳定的光——激光，这才使人们进入了近代光通信的时代，但是红宝石激光器还不能在室温条件下连续工作。

又经过多年的研究试制，1970 年贝尔研究所的林严雄等

(人研制出能在室温下连续工作的半导体激光器,这种激光器只有米粒大小。尽管最初的激光器的寿命很短,但这种激光器已被认为可以作为光纤通信的光源。由于光纤和激光器的重大突破,使光纤通信有了实现的可能,因此1970年被认为是值得纪念的光纤传输元年。

1970年这两项关键技术的重大突破,使光纤通信开始从理想变成可能,立即引起了各国电信科技人员的重视,竞相进行研究和实验。

1974年美国贝尔研究所发明了低损耗光纤制作法(CVD法,即汽相沉积法),使光纤损耗降低到1分贝/公里;1977年,贝尔研究所和日本电报电话公司几乎同时研制成功寿命达100万小时(实用中10年左右)的半导体激光器,从而有了真正实用的激光器。1977年,世界上第一条光纤通信系统在美国芝加哥市投入商用,速率为45Mb/s。

进入实用阶段以后,光纤通信的应用发展极为迅速,应用的光纤通信系统已经多次更新换代。70年代的光纤通信系统主要是用多模光纤,应用光纤的短波长(850纳米)波段,(1纳米=1000兆分之一米,即 10^{-9} 米)。

20世纪80年代以后逐渐改用长波长(1310纳米),光纤逐渐采用单模光纤,到90年代初,通信容量扩大了50倍,达到2.5Gb/s。进入90年代以后,传输波长又从1310纳米转向更长的1550纳米波长,并且开始使用光纤放大器、波分复用(WDM)技术等新技术。通信容量和中继距离继续成倍增长,广泛地应用于市内电话中继和长途通信干线,成为通信线路的骨干。

光纤是迄今为止发现的最适合传导光的传输媒介，是光纤通信系统中不可缺少的组成部分。光缆不仅是目前可用的媒体，而且是今后若干年后将会继续使用的媒体，其主要原因是这种媒体具有很大的带宽。光纤与电导体构成的传输媒体最基本的差别是，它的传输信息是光束，而非电气信号。因此，光纤传输的信号不受电磁的干扰。

与传统电缆相比，光纤具有损耗小、传输距离长的优点。由于光纤传输损耗低，所以其中继距离达到几十公里至上百公里，而传统的电传输线中继距离仅为几公里。

光纤具有抗干扰性好、保密性强、使用安全等特点。光纤是非金属介质材料，具有很强的抗电磁干扰能力，这是传统的电通信所无法比拟的。光信号束缚在光纤芯子中传输，在芯子外很快衰减，这样不会产生光纤间的串光现象，所以其保密性好且能保证同一光缆中不同光纤间光信号的传输质量。光纤具有抗高温和耐腐蚀的性能，因而可以抵御恶劣的工作环境。

光纤的体积小、重量轻，便于敷设。光纤细如发丝，加塑套后的外径也小于 1 毫米，再加上光纤材料比重小，因而制成光缆后，直径比电缆细，重量也轻很多。例如一根 18 芯的光缆每公里约重 150 千克，而 18 芯同轴电缆每公里约重 11 吨。经过表面涂敷的光纤具有很好的可挠性，便于敷设，可架空或置入管道。

制作光纤的原材料丰富。石英光纤的主要成分是二氧化硅，这是地球最主要的成分之一。而传统通信电缆的主要材料为稀有金属铜，其资源严重紧缺，这样使用光纤作为传输

媒介可以节省大量的越来越宝贵的金属材料。

光纤由单根玻璃光纤、紧靠纤心的包层以及塑料保护层组成。为使用光纤传输信号，光纤两端必须配有光发射机和接收机，光发射机执行从光信号到电信号的转换。实现电光转换的通常是发光二极管或注入式激光二极管；实现光电转换的是光电二极管或光电三极管。

根据光在光纤中的传播方式，光纤有两种类型：多模光纤和单模光纤。多模光纤又根据其包层的折射率进一步分为突变型折射率光纤和渐变型折射率光纤。以突变型折射率光纤作为传输媒介时，发光管以小于临界角发射的所有光都在光缆包层界面进行反射，并通过多次内部反射沿纤心传播。这种类型的光缆主要适用于适度比特率的场合。

多模突变型折射率光纤的散射通过使用具有可变折射率的纤心材料来减小。折射率随离开纤心的距离而增加，导致光沿纤心的传播好像是正弦波。将纤心直径减小到一种波长（3-10 微米），可进一步改进光纤的性能，在这种情况下，所有发射的光都沿直线传播，这种光纤称为单模光纤。这种单模光纤通常使用 ILD 作为发光元件，可操作的速率为数百兆 bps。

从上述三种光纤接收的信号看，单模光纤接收的信号与输入的信号最接近，多模渐变型次之，多模突变型接收的信号散射最严重，因而它所获得的速率最低

十八、网络几大定律

随着互联网的发展，人们提出了网络时代的三大定律。

1. 摩尔定律

早在 1964 年，英特尔公司创始人戈登·摩尔在一篇很短的论文里断言：每 18 个月，集成电路的性能将提高一倍，而其价格将降低一半。这就是著名的摩尔定律。

由此，微处理器的速度会每 18 个月翻一番。这就意味着每 5 年它的速度会快 10 倍，每 10 年会快 100 倍。同等价位的微处理器会越变越快，同等速度的微处理器会越变越便宜。

可以想见，在未来，世界各地的人不但都可以通过自己的计算机上网，而且还可以通过他们的电视、电话、电子书和电子钱包上网。

作为迄今为止半导体发展史上意义最深远的定律，摩尔定律被集成电路近 40 年的发展历史准确地验证着。

2. 吉尔德定律

乔治·吉尔德曾预测，在未来 25 年，主干网的带宽将每 6 个月增加一倍，其增长速度超过摩尔定律预测的 CPU 增长速度的 3 倍。

今天，几乎所有知名的电讯公司都在乐此不疲地铺设缆线。当带宽变得足够充裕时，上网的代价也会下降。在美国，今天已经有很多的 ISP 向用户提供免费上网的服务。

3. 麦特卡尔夫定律

以太网的发明人鲍勃·麦特卡尔夫告诉我们：网络价值同网络用户数量的平方成正比。如果将机器联成一个网络，在网络上，每一个人可以看到所有其他人的内容，100 人每人能看到 100 人的内容，所以效率是 10000。同理，10000 人的效率就是 100000000。

4. 光线定律

联合国“1999世界电信论坛会议”副主席约翰·罗斯在10日论坛开幕演说时提出“新摩尔定律”——光纤定律，互联网带宽每9个月会增加一倍的容量，但成本降低一半，比晶片变革速度的每18个月还快。

“摩尔定律”用来形容半导体科技的快速变革，平均每18个月，晶片的容量会成长一倍，成本却减少一半；“光纤定律”则用来形容网络科技。

十九、光纤传输容量

大家外出坐车都希望自己的车能很快地跑，这就需要有宽阔的马路；马路越宽，容纳的车辆也就越多，车辆才有机会跑得快。高速公路就以其路宽、车快、无阻塞，通过的车辆多而备受人们的青睐。

相似的，信息高速公路要求在其上传送任何信息都畅通无阻，不论是话音、数据，还是图像都能够随心所欲地传送，而不会发生阻塞现象。对于通信系统，信道的频带越宽，相当于马路越宽，所能承载的信息也就越多，也就是通信的容量越大。光纤以其极高的通频带当仁不让地成为信息高速公路的“马路”。

到21世纪初，光纤的传输速率已经达到了每秒近10T比特级。“T”是什么概念呢？T数量级为10的12次方，1T比特/秒的速率意味着，我们可以用一对只有头发丝1/10粗细的光纤，在1秒钟之内将300年的泰晤士报传送到世界上的任何一个角落，或者同时传送10万路电视节目，或同时通1200万路电话。试想如果像电缆那样把十几根或上百根光纤组成光缆（即空间复用），再使用波分复用技术，其通信容量

就会大得惊人。

但是在通信中，信道的带宽和信道的容量遵所谓的香农公式：

由于任何信道都无法避免地会有各种噪声，而信号的功率也不可能太高，所以信道的容量不可能达到无穷。尽管如此，光纤的带宽在通信传输领域仍然是首屈一指的，具有不可替代的地位。

二十、光纤通信的抗干扰能力强

任何的通信系统都应具有一定的抗干扰能力。否则，通信系统就不能正常工作，更谈不上通信的稳定性和可靠性了。

众所周知，我们周围的空间每时每刻都充斥着各种各样的电磁干扰。这些干扰有的是天然干扰，如雷电干扰、电离层的变化和太阳黑子的活动引起的干扰等；还有的是工业干扰，如电动马达、高压电力线等，甚至还有可能发生核爆炸干扰。以上各种干扰都必须认真对待，而现有的以电为主的通信系统都不可避免的会受到其影响，唯有光纤通信不会。

光纤通信为什么有这么强的抗干扰能力呢？主要有两个原因：第一是光纤是由非金属的石英介质材料构成的，它是绝缘体，不怕雷电和高压，不受电磁干扰；第二是光纤中传输的是频率很高的光波，而各种干扰的频率一般都比较低，所以它不能干扰频率比它高的多的光波。打个比方说，光纤中的光波好比是在万丈高空飞行的飞机，任凭地上行驶的火车、汽车如何得多，也不会影响到它的飞行。

有试验表明，在核爆炸发生时，地球上所有的电通信将中断，而唯有光通信几乎不受影响。

二十一、海底光缆

1988年,在美国与英国、法国之间敷设了越洋的海底光缆(系统,全长6700公里。这条光缆含有3对光纤,每对的传输速率为280Mb/s,中继站距离为67公里。这是第一条跨越大西洋的通信海底光缆,标志着海底光缆时代的到来。

1989年,跨越太平洋的海底光缆(全长13200公里)也建设成功,从此,海底光缆就在跨越海洋的洲际海缆领域取代了同轴电缆,远洋洲际间不再敷设海底电缆。

光纤的传输容量大,中继站间的距离长,适用于海底长距离的通信。用于海底光缆的光纤比陆地光缆所用的光纤有更高的要求;要求低损耗,高强度,制造长度长。光缆的中继距离长,一般都在50公里以上,在光纤的传输性能方面要求在25年以内不会变化。

在海底光缆的结构方面要求能经受强大的压力和拉力,特别是深海光缆(敷设在水深1000米以上海底的光缆),在敷设和维修作业中除了光缆本身的重量外,还要加上海浪加到光缆上的动态应力。在如此大的负荷条件下,光缆的应变要限制在0.7~0.8%之内

海底光缆的结构要求坚固、材料轻,但不能用轻金属铝,因为铝和海水会发生电化学反应而产生氢气,氢分子会扩散到光纤的玻璃材料中,使光纤的损耗变大。因此海底光缆既要防止内部产生氢气,同时还要防止氢气从外部渗入光缆。为此,在20世纪90年代初期,研制开发出一种涂碳或涂钛层的光纤,能阻止氢的渗透和防止化学腐蚀。光纤接头也要求是高强度的,要求接续保持原有光纤的强度和原有光纤的

表面不受损伤。

即使是如此严密的防护，在 20 世纪 80 年代末还是发现过深海光缆的聚乙烯绝缘体被鲨鱼咬坏，造成供电故障的实例。

海缆系统的远程供电十分重要，海底电缆沿线的中继器，要靠登陆局远程供电工作。海底光缆用的数字中继器功能多，比海底电缆的模拟中继器的用电量要大好几倍，供电要求有很高的可靠性，不能中断。因此在有鲨鱼出没的地区，在海底光缆的外面还要加上钢带绕包两层和再加一层聚乙烯外套。

进入 21 世纪，海底光缆已经和卫星通信成为当代洲际通信的主要手段。海底光缆承担的洲际通信业务量逐年上升，已经超过了卫星通信的业务量，成为现代洲际通信的主力。

二十二、三网融合

三网融合中的“三网”指的是电信网、计算机网和有线电视网。实际上它们代表了信息产业中三个不同行业，即电信业、计算机业和有线电视业（可简称电信、电脑和电视）的基础设施。电信业的主体业务是电话；计算机业以提供信息检索为主（因特网是其最典型的代表）；有线电视业则提供娱乐性的电视节目。

历史上电信、电脑和电视这三个行业有各自的业务范围，各用各的技术，各建各的网络，各立各的行规。无论从建设、所有权、运行和管制等方面看，它们都是各自独立的基础设施。

自从 20 世纪 90 年代中期提出建设国家信息基础设施

(NIL)和全球信息基础设施(GII)的口号之后,这三个行业都想撑头扛大旗,成为建设信息基础设施的主帅。

电信界认为,把电信网演变为多媒体网络,除通信外再把娱乐、教学、医疗与企业市场等许多其他可能的应用都包括进来,就可成为信息基础设施。

电脑界认为,信息基础设施就是一个更便于高速数据存取和检索的高性能计算机网络。

有线电视界认为,把有线电视网改造为交互式网络,以智能电视机为主要通信工具,以娱乐为主要业务,同时开展许多其他服务,即是信息基础设施。

然而,事实证明这三种观点都是行业之见,独揽天下是行不通的。唯一的可能就是不同行业之间在技术上走向趋同;在业务范围上互相渗透、互相交叉;在网络上互连互通,形成无缝覆盖;在经营上互相竞争、互相合作,朝着向人类提供多样化、多媒体休、个性化服务的同一目标逐渐交会在一起,这就是所谓的三网融合。

促使三网融合的动力主要来自技术、市场和自由化三个方面。

1. 技术方面

在技术方面,首先是数字技术的大力发展和全面铺开,从计算机业首先开始的数字化进程经在电信业中迅速发展,并正在扩展到电视业。把所有信息变成“1”“0”符合的数字技术,使电信、计算机、有线电视等传统的行业界限变得越来越模糊,打破了信息产业中历来按信息种类划分市场和行业的技术壁垒,任何信息可以从任一源点流向任一宿点。以

前那种“一种业务，一个网络”的组网思路和网络形态已成为过去。

其次，数字处理技术、数字压缩技术和大容量光纤通信技术的开发，在很大程度上减少了网络容量这一制约因素，为传送各种业务提供了必要的带宽。

现在，集成电路芯自密度按摩尔定律每项 8 个月翻一番，到达 2010 年每芯最多可包含 100 亿个元件，微处理器的速度从 1980 年以来一直以每 5 年 10 倍的速度增长，利用波分复用技术目前在单一光纤上传输 80Gbit/s 的系统已经商用，富士通、NTT 和贝尔实验都突破“万亿大关”的研究水平，这相当于在 1 秒钟内传输 1000 份一套 30 册的百科全书，或华尔街日报自创刊以来的全部内容。

还有 TCP/IP 协议的广泛采用也使不同的网络找到了可以互通、支持各种应用的共同语言，这一切都为三网融合创造了技术条件。

2. 市场方面

在市场方面，自从信息高速公路的号角吹响之后，特别在因特网迅速掘起之后，人们的生活方式、工作方式和消费观念发生了很大变化，越来越需求多样化、个性化的服务与应用。

电信、电脑、电视三大行业都在寻找新的市场空间，因特网不断向传统电信业务渗透，有线电视公司想通过同轴电缆提供电话和因特网接入，电信公司则想搞信息服务和诸如 VOD 之类的娱乐性电视节目，故它们势必走向互相渗透、互相交叉的融合之路。

3. 自由化竞争

“自由化”即业务市场从局部竞争走向全面竞争的趋势，将促使市场更加开放，允许国家之间相互进入对方的市场，允许长途电话公司、本地电话公司和有线电视公司相互渗透、相互竞争，这给电信、电脑、电视走向融合创造了有利的政策环境。

目前，来自技术、市场和政策三方面的动力正在使三网融合的这一发展大趋势加快。

二十三、全球定位系统（GPS）

现在，GPS 这个名词已经为越来越多的人所熟悉。它是“全球定位系统”的英文缩写。GPS 概念的提出，可以追溯到几个世纪之前。古代在海上扬帆远航的水手们，为了判断自己在海上的位置，常常借助于天上的“恒星”。显然，用这种方法只能辨别一个大概的方向，而得不到精确的定位。

近代的全球定位系统是随着卫星通信和计算机技术的进步而发展起来的。它最初由美国军方提出，是美国“星球大战”计划的一部分。其目的是用作全球范围内的精确定位导航。但由于各种原因，这项耗资百亿，被视为是阿波罗登月计划后第三大空间计划的 GPS，虽历经 20 年的研究，却迟迟未见出台。

1991 年海湾战争的爆发，给了 GPS 一个小试锋芒的机会。不料，这一试却使 GPS 提前走出“深闺”，扬名于天下。

海湾战争中，五角大楼为美军士兵配备了像移动电话手机那样大的 GPS 接收机，使他们在沙漠中行进时不致迷失方

向。对被敌方击落的飞机飞行员，GPS 系统可以很快发现他落地的准确位置，以便立即组织营救。不仅如此，美军还用 GPS 装备它的巡航导弹和战斧导弹，大大加强了它们对远程目标的命中能力。

那么，GPS 到底是什么呢？GPS 由空间段、地面段和用户段三部分组成。

空间段共有 24 颗卫星（其中 21 颗为工作卫星，3 颗为备用卫星），分布在离地面高度为 2 万公里以上的 6 个圆形轨道上。在每颗卫星上，都装有精度极高（每 30 万年误差 1 秒）的原子钟。

地面段由一个主控站、5 个地面监控站和 3 个上行数据发送站组成。它所起的作用是保证卫星时钟计时准确，并完成导航数据的计算。

用户段由天线、GPS 接收机、数据处理器，以及控制、显示部分组成。不管 GPS 接收机在地球上任何位置，也不管在任何时刻，它都能同时接收到从 4~6 颗卫星发来的导航信号。经过数据处理后，系统便能确定用户所在的三维位置（经度、纬度和海拔高度），并显示在接收器的液晶显示屏上，用户据此便能自我定位导航。

现在，GPS 系统已经逐步从军用转向民用。据报道，美国将 GPS 用于指挥越洋油轮，一次航行便能节省数百万美元；GPS 用于商船导航，每年一艘船便可节省数千万美元；GPS 用于铁路系统，可使相邻两列车的间隔时间从以前的 8 至 9 分钟缩短到 3 分钟，使铁路运输能力提高 1 倍；GPS 用于公安部门，可以让追踪逃犯的警方人员的所在位置清晰地

在一张“电子地图”上显示出来；将 GPS 信号接收机和发射机装入汽车，就可防止汽车被盗，启动遥控引擎，还可以使被盗汽车立即停止行驶……

二十四、通信革命——移动 IP

移动 IP 不只是移动和 IP 技术及业务的简单叠加，它是一场深刻的变革。

1. 移动 IP 是通信方式的深刻变革

移动 IP 不是移动通信技术和因特网技术的简单叠加，也不是无线语音和无线数据的简单叠加，它是移动通信和 IP 的深度融合，也是对现有移动通信方式的深刻变革。

现有的移动通信采用的是电路交换方式，用户通话时一直占用固定的带宽资源。这种通信方式适合话音业务，但对 IP 类型的业务则不是最适合的。

为适应快速增长的数据型业务需求，现有的电路交换的移动通信网络必须进行改造，人们需要的是一个以包交换为基础的无线网络，这种新型网络结构正是移动 IP 未来的结构。

移动 IP 将是移动技术和 IP 技术的深度融合，它将真正实现话音和数据的业务融合，移动 IP 的目标是将无线语音和无线数据综合到一个技术平台上传输，这一平台就是 IP 协议。未来的移动网络将实现全包交换，包括话音和数据都由 IP 包来承载，话音和数据的隔阂将消失。

移动通信的 IP 化进程将分为三个阶段：首先是移动业务的 IP 化；之后是移动网络的分组化演进；最后是在第三代移动通信系统中实现全 IP 化。

2. 移动 IP 带来服务方式的深刻变革

移动 IP 从业务角度来讲,不是为用户提供简单的话音业务和简单的数据业务。由于 IP 在移动通信中的引入,将改变移动通信的业务模式和服务方式。

基于移动 IP 技术,为用户快速、高效、方便地部署丰富的应用服务成为可能。这种以人为本的服务方式将会日益取代简单的话音或数据业务方式,不断在需求丰富的市场中拓展。这一趋势将对传统的电信运营商产生巨大的冲击,单独从简单话音业务中追寻利润的空间会变得越来越小。

与此同时,各种基于移动 IP 网络的应用型服务的市场会越来越大。这为新的移动应用服务商的成长创造了机会,他们可以利用移动网络经营者的资源,为客户开发和提供各种应用服务,对传统的移动运营商带来冲击。为此,传统的移动通信运营商应积极向服务提供商的角色转变。

3. 移动 IP 发展的关键是应用

目前,IP 应用主要是在固定领域,移动 IP 应用受网络带宽限制,其信息内容的丰富性还难以和固定网抗衡。特别是在中国,移动用户还主要是话音用户,数据业务还没有被用户广泛认同。作为一种全新的业务,要想赢得客户打开市场,就必须推出定位准确,有针对性、实用性的应用和服务。

在未来,移动 IP 的服务将更丰富多彩,用户和移动网络运营商之间将是厚实的应用服务层,只有抓住应用才能抓住用户占据市场。

第三节 手机知识

一、手机“不在服务区”是怎么回事

许多手机用户在打电话时，常听到“手机用户不在服务区”的应答声，这到底是怎么回事？

出现“手机用户不在服务区”的状况，主要是由于以下几种原因：一是对方手机用户在网络覆盖区以外，如郊区农村等尚未建设网络通信设施的地方；二是在城市内，如在电梯内、地下场所、建筑物内等地，手机在使用时受到屏蔽物阻挡或信号覆盖不到导致信号减弱或消失的情况；三是由于网络的临时性故障；四是手机用户自己的手机可能存在问题，比如用户 SIM 卡触点较脏等原因；五是对方手机用户采取了一些“特别措施”——只要将手机电池在开机状态下拔掉，就会出现“不在服务区”的应答效果，据了解，目前用这一“体面”的方式逃避接手机十分流行。

解决以上问题的办法各不相同：一方面，随着农村无线通信市场的蓬勃兴起，郊区农村的网络覆盖会越来越完善；另一方面，在城市内，随着电信部门工程人员的不断调试和补盲点，盲点会一天天减少。并且移动通信运营部门也欢迎客户及时将使用过程中发现的信号盲区反馈给他们，以便他们查补通信盲区。

至于手机 SIM 卡触点较脏等原因造成的通话故障，只要取出该卡擦干净即可。而对于采取开机时摘除电池的方法主

动“不在服务区”的，经常使用这种方式会使 SIM 卡寿命缩短，最终造成手机损坏。

二、手机辐射

手机辐射一直是人们关心的话题，特别是那些工作在白领阶层的人们，他们使用手机的频率远远高于其他人群。

1. 防磁贴是否能真正防止辐射呢

防磁贴的效果不是很理想，更为严重一点说根本不起作用。因为辐射源是手机天线，而把所谓的防磁贴贴在听音器上面，这样怎么会起作用呢？

如果把防磁贴贴在天线上就行了吗？绝对不行，因为这样会改变天线周围的磁场，使得天线的信号发生变化，使得通话不能正常进行。

2. 手机什么时候的辐射值最大

手机信号刚接通时，因为这时信号传输系统还不稳定，处在最大工作功率。所以消费者在使用手机时，信号接通的瞬间最好把手机放在离头部远一点的地方。

3. 高频手机辐射相对较弱

手机分别工作在 900 / 1800 赫兹的频率上辐射会有什么不同吗？根据电磁波的特性，工作频率越高其穿透力越弱，所以手机工作在 1800 赫兹上时其辐射相对弱。

4. 手机耳机是否可以兼作天线

不可以，因为耳机的铜线材料不同于制作天线的材料，另外天线在制造过程中要符合一定的长度和性能才能发挥有效的作用，而如果用耳机作天线，其长度及方向会随时发生变化，所以这是不可行的。

另外，手机的结构可分为两个部分，一部分是射频信号部分，一部分是音频信号部分，两部分不能相通，否则就会造成干扰，使手机不能正常工作或者是无法工作。

5. 天线短是否会加大辐射量

有的手机把天线放在机身里面，这是否会加大辐射量呢？因为天线的材料及尺寸没有改变，而且 GSM 标准规定的辐射量就是那么多，超出了就不符合规定不能生产了，也就是说手机的小型化也不会使得它的辐射量有任何的增加。

6. 金属壳手机和塑料壳手机辐射相同

即使是塑料壳手机，在内部也会有一层金属涂层，用来与外界保持隔离，防止外界信号的干扰，同时也防止了高频信号的外泄。

三、手机如何影响人体健康

当然手机对人类的威胁并不是一时半时就可以感觉出来的，说不定人类真正地遇到什么奇病怪症时，自己也可能不认为是手机“干”的呢？为了自己和家人的健康，我们还是有必要了解一下手机到底能给人带来多大的伤害，以便自己在必要的时候能采取相应的保护措施。

1. 会损伤面神经

在接听手机时，面部和手机是接触得非常近的，甚至有的人还很喜欢把手机紧贴脸面呢？这样做的目的，大多数人会认为可以更清楚地听到对方的话语。

殊不知，这样做可能使流动于手机周围的电话磁场刺激人类的脸面。如果大家每次通话只是短短的几分钟，那倒没什么影响，如果有人连续接听手机两小时以上，手机周围的

电磁辐射就能损伤人的面部神经。

据医学专家研究发现，一名连续打了两次长达 1 小时手机的病人，出现了永久性神经损害，导致脸部右侧失去知觉。因此，不要让手机紧贴脸面来接听电话，距离太近可能反而使对方不能很好地听清楚话语；如果有可能的话，尽量使用耳机来接听电话；每次应该尽量控制通话的时间，如果时间长了，手机积聚的辐射量对人类的威胁更大，而且手机通话的费用也是非常昂贵的，如果非要进行长时间通话，可以使用自己附近的固定电话来进行通话。

2. 会影响人的心脏

不知大家有没有这样的感觉，那就是手机的振铃突然响起或者手机突然震动时，自己的心脏会感觉到突然跳动一下，其实这就是手机对人类的心脏影响的一个表现。如果心脏功能健全的人倒不会受什么威胁，但心脏功能差的用户就会引起心脏病的复发。

此外，手机还会影响心脏起搏器运作，据说手机会令心脏起搏器错误感应病人的心跳，在病人出现心跳紊乱或心跳过慢时不能做出及时调节，甚至会出现失灵，错误刺激病人的心跳，导致病人感到不适，甚至出现眩晕、呼吸困难等情况。

在人多的车厢内，或在密室内，多人同时使用手机更会使心脏起搏器受影响。因此装有心脏起搏器的病人，在上述场所应尽量远离使用的手机。

此外，一些国家和地区也颁布规定在一些特殊的场合不允许使用手机，以免给那些心脏差的人带来麻烦。

3. 能让人心情不安

现代生活，人们越来越多的依赖移动通信带来的方便快捷，随时随地进行无线通信。但就在享受通信科技的同时，许多人在不知不觉中就患上了一种所谓的手机焦虑症。

由于长期使用手机，他们在日常生活中不会再简单地把手机当作一个普通的通讯工具，一旦手边没有了手机，就立刻觉得心里没着没落的，再不就总觉得自己不在服务区内，时不时地想掏出移动电话来看一看，更有甚者已经发展到开始害怕听到手机响铃和惧怕手机交谈的地步。伴随此病症还会出现手脚发麻、头脑发晕、胃功能失调等症状。

4. 能影响人的生育

现在的手机由于非常便宜，因此很多人都购买了一部悬挂在腰间。正是由于手机长时间挂在人体的腰部或腹部旁，其收发信号时产生的电磁波将辐射到体内的精子、卵子，从而可能会影响使用者的生育机能。

手机发射出来的电磁波，和自然界的可见光、医疗用的X光，以及微波炉所产生的微波，都属于电磁波，只是频率各有不相同；X光的频率可超过百万兆赫兹，具有很强的穿透力；用于烹煮食品的微波，则是数亿赫兹的范围；至于手机所用的无线电波，则大约只有数百万赫兹。

大家知道，人过度曝照于X光之下将会导致癌症，而微波炉可把肉类烤熟、烤焦。手机的电磁波虽没有X光、微波炉强，但如人体距离太近，也会造成伤害。尤其是手机即将接通的瞬间，电磁波的能量最强，伤害也最大，虽不至于烧伤人体，但对于精子、卵子这种微小的生殖细胞所造成的伤

害，也许将是它们所无法承受的。

因此，医学专家建议手机使用者，尽量让手机远离腰、腹部，如不要将手机挂在胸前、挂在腰上或塞在大衣口袋里。

不管是在办公室、家中或车上，手机最好摆在一旁，按下接听键后也不要马上接听，应稍等几秒钟再接听。

对于孕妇及乳母来说，由于手机存在着严重的电磁波辐射有致畸作用，而且还能引起内分泌的紊乱，影响泌乳，因此孕妇及乳母最好不要使用手机和远离手机用户。

5. 让人感觉神经衰弱

据医学研究证实，被大部分国家使用的手机系统 GSM 频率为 900 和 1800 兆赫兹，其振动的电子过程有机会对人体健康造成影响，主要是对脑部及精神状态的影响。

医学专家认为手机的响铃或者振动可能会导致减低睡眠质素、造成记忆力受损、血压上升及头痛的情况出现，而经常使用手机的人可能引发失眠、健忘、多梦、头晕、头痛、烦躁易怒等神经衰弱症状。这都是因为手机无线电波所形成的非热效应所造成。

6. 影响未成年人发育

未成年人使用手机，受到的危害是非常巨大的，特别是长时间使用手机危害更大。因为从未成年人身体发育的程度来看，他们身体的各个部位和机能还并没有完全发育成熟，身体抵抗外界电磁波的干扰以及自身的免疫系统还比较差。

如果他们长时间使用手机，手机会在工作的时候，发射出大量的辐射能量，这些能量有两成至八成的无线电波会被使用者吸收。这些电波辐射会影响脑部节奏，能影响细胞的

稳定性，就像受干扰的收音机。而且手机辐射会对脑部神经造成损害，引起头痛、记忆力减退及睡眠失调。科学家表示，儿童应尽量避免使用手机，因为手机的电磁辐射会使他们的脑部组织变暖而影响正常发育。

四、呼机和手机的发明

1949年，他设计了第一个无线寻呼机。1951年，他的无线电话也诞生了……他说：“我要是晚生35年就好了”。他就是步话机的发明人，无线通信之父阿尔·格罗斯。这位82岁的老人于2000年12月21日在美国亚利桑那州太阳城与世长辞。

格罗斯生于加拿大多伦多，长于美国克里夫兰，他早年在克里夫兰凯斯应用科学学院获得电气工程学位，这所学校现在叫做凯斯——西保留地大学。当时美国军方发现了步话机的潜在作用，就把格罗斯吸收进了战略情报处（中央情报局的前身）。在这里，他发明了由电池供电的地对空无线电通信装置，其传送范围可达30英里（50公里）。这套装置由于在二战中挽救了许多人的生命而赢得赞誉。

战后，格罗斯在克里夫兰创立了公民无线电公司，为大众生产双向无线电通信装置，1949年，他设计了第一个无线寻呼机。1951年，他的无线电话也诞生了。1956年，他在一次医学会议上展示了寻呼机样品，但是未能推广。医生们对他说，他们不想在打高尔夫球的时候被打扰。

然而几十年以后，移动电话和寻呼机如此广泛地应用，令格罗斯很高兴，因为它们都是从他最初的发明衍生出来的。格罗斯的发明曾获许多专利，但是它们都太领先于时代

了，以至于其中的大部分在世人还没来得及接受之前就过期失效了，所以这些发明也没有给他带来巨大的财富。