

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

学友文库

空中帝国

eBOOK
网络资料 免费下载

空中帝国

一 新时代的来临

时代在进步，人类的社会生活正在发生着日新月异的变化，从蒸汽机时代到电信时代，科学技术不仅将人从繁重枯燥的体力劳动中解脱出来，而且开始深入到每个人的生活里，影响我们的思想，改变我们的观念。尽管在这场历经 200 多年的革命里也曾出现过各种各样的反对的声音，科学的车轮看来仍是不可阻挡地向前飞奔，迎来一个又一个的新世纪。

1765 年 格拉斯哥大学的仪表工瓦特改进了 50 年前纽可门发明的蒸汽机，机器的效率得到了显著提高。之后英国人首先将蒸汽机应用到纺织工业，揭开了近代首次产业革命的序幕，随后机器制造、采矿、冶金、铁路和化学等行业也先后采用蒸汽机作为动力。整个工业社会的物质财富以前人难以置信的速度积累着。机器的发明让无数人着了迷。大哲学家罗素曾说：“人们崇拜机器，因为它美丽壮观；人们珍爱机器，因为它提供动力。”连那最富有自然气息的诗人华兹华斯也深情地把机器比喻成一位美丽的妇女

如果说以蒸汽机为标志的工业革命还只是提高了劳动生产率并使无数工人的辛苦和疲惫得以缓解的话，那电的发明则带动了工业的全面发展和生产体系的变革，尤其重要的是，电的引入已经开始使人们的生活获得便利，人们有越来越多的活动深深地依赖着这个不可捉摸的玩意。

1831 年，曾是一名装订工人的法拉第在对科学的强烈爱好的驱使下，在伦敦的一个研究中心里发明了世界上第一台发电机。35 年后，德国近代科学之父西门子研制成功了世界上第一台可供实用的发电机，发电机的轰鸣声成为又一次革命的序曲。电灯出现了，电动机、电车、电炉炼钢等等许多工业风起云涌地兴起，电和机器的结合让这个世界开始像飞一样前进。

对于无数的普通人，他们生活的舒适和方便已无法和电分离。电灯的出现、电话的发明以及各种电动机在剃须刀、吹风机、风扇和冰箱中的应用，机器和人之间的关系从来还没像现在这样亲近过。

然而，这只不过是一个开始，电的发现引发了一场至今仍方兴未艾的革命。这个时代更确切地说开始于 1865 年，那年伟大的麦克斯韦以精确的数学方程描述出电和磁的关系，奠定了无线电波传播的基础。他的忠实的追随者年轻的德国科学家赫兹在 1887 年的一个物理学发展史上最重要的实验里证实了麦克斯韦的预言。然而，赫兹并不认为这具有什么实际应用价值。但接着有更多的技术天才冒了出来，俄国的波波夫和意大利的马可尼，没有相信赫兹的意见，他们的工作共同开创了无线电波传播的新时代。而同样是麦克斯韦弟子的佛莱明博士发明的真空二极管使这个时代得以以不可思议的方式降临到我们的身边。广播、电视、计算机以及各种轻便的通信设备让这个 世界彻底变了个样。

新时代的来临当然使整个社会的生产变得更具效率和规模，但这并不是它的最特殊之处。与前两次革命与众不同，由上述的这些媒介构筑起来的社会已经使每个人都无法逃遁。我们买电视广告介绍给我们的产品，听收音机播放给我们的音乐，通过接在国际网络上的计算机查询我们需要的资料。全社会的人一起建成了整个通信媒体系统，这个系统反过来又指导着每一个人的生活。大约三十年前，美国的社会理论家马歇尔·麦克卢汉就宣称“寰球村”，一种通讯媒介超越国界的无分界线世界，即将来临。……“‘时间’已停止，‘空间’已消失，我们生活在……事态的发生与展现同时完成

的时代，”如果说在那时这还只是理论家的空想，那么今天正有数不清的计算机领域和通讯领域内的工程师在为这个神话般的目标奋斗着。

并不是所有的人都盼望这样的世界出现。余光中先生在他令人深思的散文里表达过这样的担心：在高速紧张的年代，不再有书信，一切都即生即灭、随荣随枯，感情和友谊，区区与耿耿，都被机器吞进又吐出，成了车载斗量的消耗品，那时人们怕只有从下面的古诗中才能体会到那种天长地久，耿耿不灭的情怀。

客从远方来，遗我一书札；
上言长相思，下言久离别，
置书怀袖中，三岁字不灭；
一心抱区区，惧君不识察。

这样的沉思的确发人深省，但我们在回头看看技术革命的光辉历程时，在聆听机器的轰鸣时，在享受电灯的光明时，在记录下我们最欢乐的情景时，无法不感到深藏于人类胸中那一颗伟大而进取的心，感受到人类无与伦比的智慧和勇气。正是有了这种更为深刻的基础，我们才从远古的蛮荒走到了今天的文明，也同样是有这样的基础，更多的人才深信我们会拥有一个更美好更理想的世纪，这需要永不停息的科技进步，更需要一颗永远追求美好的心。

1. 我们身边的变化

我们总是以并存的两种方式生活在这个世界上。为保证个体的独立性人需要独处，而为满足情感的交流又使我们和他人联系。科技的进步如同一个无所不在的幽灵渗透到你生活中的每一个细节里，你会在不经意间使用到它并为之感到方便而满足。

为了使生活变得越来越舒适方便，各种各样的工具、器械和设备被发明出来。今天的家庭主妇们在商场里挑选洗衣机、微波炉时都知道一定要挑个带模糊功能的，模糊功能是什么？对一台旧式的所谓全自动洗衣机而言，它其实只不过是拥有一套完整的洗衣程序，并且是固定的程序，一旦开动，它在设定的 20 分钟后就一定会结束全部的工作而毫不理会这次的衣服要比上一次难洗得多。如果有了模糊功能，洗衣机就能按照衣服的种类、重量、洗衣桶内加水量的多少和温度来确定怎么洗才能又干净又省电。这些复杂的控制过程不是由使用者来完成的，而是由配备在洗衣机内部的称为带“智能”的电路来实现的。有了这样的功能，妇女从繁重的家庭事务中更大程度地摆脱出来，以便有更多的精力投入到实现她们个人价值的活动中去。

人们总希望生活中的很多事能更简单些，其中的一个目的就是能腾出时间来享受生活。1877 年秋天的某个时候，大发明家爱迪生用一张锡箔把一个圆筒包了起来，使一根针与圆筒接触，转动曲柄使圆筒旋转，并大声朗诵以“玛丽有一头小羊”开始的童谣。声波引起钢针震动，在锡箔上刻印了振动的痕迹。他变换了几下之后，又转动手柄使圆筒旋转，便从该装置的喇叭中听到他自己的可以辨识出来的重放话音。第一台留声机就这样诞生了。到 1924 年，贝尔实验室的研究人员在真空管放大的基础上发展了新的电录音技术。电子技术还给声音和电信号的互相转换提供了另外一种装置——磁带录音机、磁带记录器实在是个记忆装置，正是因为有了这些装置，我们才能在今天还能聆听到霍洛维兹的最后录音，感受到一代大师的风采。也是因为有了它们，我们才可以记录下婴儿的咿呀之声，记录下父亲睡觉时的轰然鼾鸣。

然而，这些发明比起人类在电讯方面的发明而言其重要性就要小得多了。

1940 年 6 月 4 日，永不屈服的雄狮温斯顿·丘吉尔面对敦刻尔克大撤退的惨痛现状在下院起立发言。他的声音通过位于伦敦的英国广播公司（BBC）的电波送往全世界：“我们将战斗到底，我们将在法国战斗，将在海洋战斗，我们将以不断增长的信心和不断增长的力量在空中战斗。不论代价多么大……我们绝不投降……”在无线电广播发明后的历史以来，还从来没有哪一次播音比这次更能鼓舞全世界笼罩在黑幕之下的人们以及热爱和平的人们坚持战斗、永不屈服的决心，也从没有哪一次播音像这一次一样为人类文明作出如此巨大的贡献。

1906 年，人类实现了第一次无线话音的传送。后来，发明了真空三极管的德·福雷斯特在 1910 年应用他的三极管也成功地进行了广播实验。当时，他惊喜地写道：“我发现了一个看不见的空中帝国。”然而，空中帝国在长达 15 年的时间内一直没能建立起来，因为多数的当时人认为用无线电传播人的声音只是一种不切实际的娱乐性玩具。

但是，业余无线电爱好者成了发展无线电广播事业的先锋。他们自编节目，用耳机收听对方的谈话和播放的音乐；他们资金微薄，工具简陋，做出

来的收音机也就拙劣而笨重。但从耳机传来朋友的声音使他们激动，从简陋的收音机里放出来的音乐使他们倍感快乐。世界上第一座无线电广播电台就是在业余无线电专家康拉德主持下建立起来的。1920年，设在美国匹兹堡的这座电台开始播音，大获成功。由此，无线电立即成为发展最快的工业。到1924年底，美国就建立起600家广播电台。BBC广播公司也是在那个时期建立起来的。

回想在80年代前的岁月里，我国大多数得到有声信息的唯一途径就是听广播了。曾经有位知识分子回忆在难忘的1976年，听到中央电台播放贝多芬的“欢乐颂”时，那种复杂的心情至今难以描述；而又有多少球迷也是伴随着收音机同中国女排一道走上夺冠之路的呢？当卡蓬特的“Yesterday Once More”的歌声响起时，恐怕没有人能忘记收音机带给我们种种的欢乐和悲哀。

另一项重要的发明是电报，仅仅在10余年前，它还是普通中国人最常用的向远地快速传送信息的方式。1845年元旦，英国一名罪犯毒死了一位住在斯牢的妇女，然后乘火车逃往29公里以外的伦敦，治安人员用10多年前由医科学生库克和物理学家惠更斯发明的早期电报机发出了罪犯的容貌特征。当他还未到伦敦时，刑警已认出了他，他终因谋杀罪被判绞刑。现代的电报机是由一位美国的肖像画家莫尔斯发明的，它把信息转换成短暂的、间歇的电脉冲并像电信号一样进行传输。莫尔斯的发明在1844年5月1日成功地进行了第一次通信。而5月24日他为官方拍发的一份电文似乎更是对他和他的发明作出的评价：“神为他行了何等的大事”。但看来并不是所有人都把电报看作是一种方便。在某个地区，农民们认定电报线从空气中抽走了电，搅乱了天气，毁坏了农作物的收成，所以他们拆除了几英里长的电线。尽管如此，把电报线路延伸至全世界的趋势是不可遏止的。无数的人开始享用这种廉价的通信方式传递对他们而言极为珍贵的消息。

1876年2月14日，了不起的贝尔向美国专利局申请专利，仅仅过了三个小时，一位名叫格雷的人也向专利局申请一份与贝尔的发明非常类似的东西。幸亏有了这三个小时的差别，贝尔发明的电话获得了美国专利局寄来的第174465号专利。当时，世人熟悉的还是劈劈啪啪的密码电报机。把人实实在在说话的声音用导线传送出来，对迷惑不解的公众来说，那简直和巫术不相上下。

今天，电话机成为人们生活中几乎不可缺少的机器。到80年代初，仅在美国就有近1.6亿台，至少每两个人就有一台以上。我们国家近年的电话普及率也迅速上升，越来越多的居民把电话看成是必需工具。几乎有人在打第一个电话时不感到别扭和陌生，也同样几乎没有人不在很短的时间内适应并且喜欢这种新奇的交谈方式。“天涯若比邻”的梦想仅仅通过一根纤细的电话线就得以实现，这是古时候人们所无法想象的。

最受欢迎的电视发明的时间最晚，直到电子学的发展导致了光电管的产生。光电管像人的眼睛，并具备更好的敏感度和耐久力。这种小器件能把光信号转变成电信号由此可以通过有线或无线电方式传送图像。1929年，俄籍美国人佐尔金展示了第一个光电摄像管，这是电视中最基本的元件。1941年，电视广播正式开始，并在二战结束后受到空前的欢迎，在美国，从1949年到1960年的这段时间内，电视机的产量提高了50倍，达到5000万台。我们国家电视普及是从80年代初开始的，大多数的乡镇居民在70年代时听说可以不出门而观天下事都觉得惊讶乃至可笑，但今天，我国几乎所有的偏远

山区都已经能收看电视，彩色电视机也早已走进寻常百姓家。

还是在本世纪初叶，新闻记者们盼望的不过是能将各地的新闻以尽快的方式散发到尽可能大的范围去。而今天，不仅是文字消息，每件事情的进展也被详尽而准确地展现在亿万观众面前，当我们亲眼目睹巴格达空袭中一颗炸弹正往下落时，很难想象距我们万里之遥的巴格达城中心此时此刻就有一幢高楼被夷为平地。电视的介入让这个世界的时间和空间概念几乎完全发生了改变，世界的每个角落都被电视这个媒介紧紧联系在一起。

除去新闻，各种各样的频道都冒了出来，从教育到美容，从音乐到体育。几乎无所不包，电视给人们的影响是巨大的。人们从电视里获得知识，提高修养、获得快乐，但同时人们因为有了电视也目睹了暴力，疏远了家庭、淡漠了关系。有无数的社会理论家去探讨电视带给人的利弊得失，但无论结果如何，我们必须承认一个事实，那就是电视的发明与许多其它的发明一样深刻改变着我们的生活。你可以喜欢它，也可以讨厌憎恶它，但你无法回避它！

2. 两项伟大的发明

第二次世界大战结束后出现了两项人类历史上最伟大的发明，一项是晶体管，另一项则是计算机。晶体管的出现使它很快取代了原有的体积庞大的真空三极管成为电子设备的“心脏”，前面曾提到过的日常的广播电视及通讯产品都是以它为核心实现的。晶体管带来的另外一项当时还未曾认识到的贡献是它直接引发了一场新器件的革命，并导致了一门新学科的产生。微电子学是专门研究制造微型电子器件的科学，它成为电子学中的一个重要分支。

计算机今天似乎已被更多的人了解。如果说广播和电视、电话曾经在 20 世纪深刻改变过人们的生活的话，那么计算机将会在下一个世纪与原有的这些设施一起在更深的程度及更广的领域影响到每一个人，而且它扮演着其中最重要的角色。多媒体这个新名词的出现和有关信息高速公路的铺天盖地的宣传，令甚至中国这样的发展中国家也激起了鼓舞人心的波澜。但大多数对电子学不了解的人常常认为计算机工业与电子工业之间是完全独立、并不相关的，这实在是一种误解。计算机自诞生之日起就与电子学有着密不可分的关系。

计算机工业可以简单地分为硬件工业和软件工业两部分。所谓硬件，其实就是一些电路的组合，它可以实现各种各样的复杂运算和控制，至于如何运算和控制，或者用计算机完成哪一类事情，则是由软件也就是通常说的程序来控制的。所以说到底，计算机也是一种电子设备，只不过它比电视、收音机这样的机器要能完成更多更复杂的事情罢了。

让我们来看看电子学是如何与计算机结合在一起的。

1969 年，美国英特尔（Intel）公司来了一位年轻的工程师，他叫霍夫，在斯坦福大学获得了哲学博士，他是微电子学历史上的一位传奇人物。当时有一家日本计算机公司请英特尔生产日本设计的计算机芯片，逻辑电路分散在约 11 块芯片上，设计的复杂程度对当时还很年轻的英特尔来讲是个很沉重的负担。霍夫看到这样的设计感到实在不可理解，他想为什么不把这些最重要的控制逻辑放到一块芯片上呢？于是他开始利用当时先进的微电子工艺进行这方面的试验，这就是现在大家熟知的“奔腾”处理器的第一代祖先，这种器件被称为中央处理器（CPU）。当时英特尔公司的总裁穆尔和董事长诺伊斯给了霍夫以热情的支持，那时许多专家把单片计算机想象成特别昂贵和遥远未来的东西，在一次讨论会上有个专家说：“啊！我才不愿意把我的整台计算机掉进地板缝里。”诺伊斯反驳说：“你完全错了，因为你的桌上满可以再摆 100 台计算机，掉了一台完全算不了什么。”

这样就诞生了第一片微处理器，在一块不到 1/8 英寸长和 1/8 英寸宽的芯片上集成了 2250 个微型化晶体管。英特尔公司将它命名为 4004。4004 的体积虽小，但它与 60 年代早期售价为 3 万美元的国际商用机器公司（IBM）计算机的计算能力相同，而后的中央处理装置占了整整一个办公桌的空间。

4004 的成功使英特尔一举成名。微电子工业领域各种新工艺的出现以及原有工艺的完善使集成度越来越高的处理器的出现成为可能。不久，IBM 公司推出了最新式的个人型计算机 PC/XT，这种个人机的核心就是英特尔在 1978 年设计完成的 8088 微处理器，它的内部集成了大约 4 万个晶体管。PC

机的轰动性成功促使英特尔继续前进，在电脑微处理器领域，它看来罕有匹敌的对手。到 80 286 时，内部晶体管的数目就超过了 10 万，而过了仅仅 4 年，80486 内部就有了 100 万个晶体管，1993 年英特尔推出了最新的“奔腾”处理器，它的晶体管集成数目达到了难以置信的 390 万。中世纪的时候，宗教僧侣们潜心研究一个针尖上究竟能站几个上帝，如果他们能看到现在一平方厘米的晶片上竟有 400 多万个晶体管，他们恐怕会惊得目瞪口呆，会觉得就是上帝也不会比这更神通广大了！

中央处理器是计算机的核心，它内部集成有更多的晶体管就意味着它有了更为强大的功能。现在只要配上合适的接口卡，通过计算机我们能收听到音乐节目，也能看到各个电视台的节目；利用电影卡就可以不用出门独自欣赏大师们的艺术杰作；要是你已进入了国际互联网络，那就可以感受感受在计算机屏幕前同远在大洋彼岸朋友聊天的乐趣；只要你愿意，你可以翻阅美国国会图书馆的资料，没准会找到一个特别感兴趣的专题。

这就是未来世界，电信设备不再是扰人清静的东西，它们将会提供各种各样供你选择的信息，你喜欢什么，就选择什么，什么时候要，什么时候有——从友好的交谈到维瓦尔第的小提琴协奏曲，到证券市场的最新行情。

我们的生活就是这样被改变的！

3. 贝卡谷之战

古人打仗，用的是大刀长矛，多为短兵相接。今天打仗，用的是枪炮、飞机、坦克、军舰、导弹等武器。但是，随着无线电技术的发展，仅凭这些有形的“硬性”杀伤武器已不可以保证战争的胜利。

电子技术从诞生开始，便和战争紧密的联在了一起。第二次世界大战，美越战争、英阿福克兰群岛争端，“十月战争”中的贝卡谷地之战，以及二次世界大战后参战国最多、武器装备最先进、空袭规模最大的海湾战争等一系列战争、战役的爆发，使各国都充分意识到了“电子战”的威力，从而对电子技术的研究和开发高度重视起来，并投入了大量的人力、物力。如美国，像计算机、半导体、无线通信和高清晰度电视等的研究开发工作，均得到国防预算的大力资助，同时也成为军事研究的重要课题，这正是电子技术飞速发展的一个不可忽视的重要因素。

无论在战争时期还是平时时期，国防建设都离不开军事电子。军事电子工业也成为国防工业的重要组成部分。随着电子信息技术的不断进步和日趋成熟，电子技术的军事应用领域不断拓宽和加深，军事电子在国防中的作用也日显重要。特别在现代国防中，国防现代化更离不开军事电子。

在军事电子领域里，最古老最有名的战争“元老”可以说是“雷达技术”了。

1922年秋天，位于阿纳苏斯底亚河的美国海军实验基地上，军官泰勒和他的助手杨格正在进行收发报试验。河畔的清幽、狭谷的宁静，为试验创造了一个非常有利的环境。突然，泰勒的耳机里出现了震耳欲聋的声音，时而清晰，时而模糊。怪声停了一会儿，又多次重复出现。泰勒怀疑他的耳机、他的电子管、他的机器零件，甚至他的助手杨格在捣乱。然而这一切疑虑排除以后，怪音照样出现，他百思不得其解。猛然，泰勒想起大概是河里行走的船只“捣乱”，于是他命令助手继续作对话实验。果然在他们之间有船只通过时，耳机里的异常声音又出现了。他们分析是行船阻碍了电磁波的传播。为此他们继续进行试验，得到了证实，又进一步设法用无线电波去寻找障碍物，寻找敌船，这就是有关雷达的最初设想。

就在泰勒军官作实验的1922年，马可尼在接受英国无线电工程师学会荣誉勋章的同时也已开始认真思索有关雷达的问题了。

他说：我已经注意到一些电波由相距数英里之外的金属物体所引起的反射和差转效应。在我看来，应该能够设计出一些仪器，船只能够依靠它们以任意既定的方向辐射这些射线的发射束，这些射线如遇到金属物体，比如另一只汽艇或舰船，就会反射到发射船只上的一个接收机上，从而立刻揭示出船只的存在和方位。马可尼所想象的这种特定仪器，无疑给雷达的发展铺下了前进的基石。

真正具有现代雏型的雷达是在本世纪30年代首先在军事领域内出现的。第二次世界大战之后，雷达的研究和发展继续进行，主要的发展领域是：制导无人飞行器用的雷达；

确定几千英里外的目标位置和速度用的高精度雷达；

从高空飞机和卫星上测绘地球表面的侦察雷达。

由于人们对遇到的各种新问题坚持不懈的努力，现在已有多种形式的连续波雷达和常规脉冲雷达的改进型号投入使用了。

1905年，日俄对马海战中，日本侦察船以无线电截获俄国海军情报，拉开了电子战的序幕，而以雷达为首的电子技术在军事领域中的广泛应用则揭开了现代战争的新篇章。随着电子战装备和技术的迅猛发展，战争范围节奏及瞬变性产生了新的变化。电子战部队不再只作为一种支援力量，而成为一种相对独立的作战部队，出现在现代战争的舞台上。它开辟了继海、陆、空战场之后的第四个战场——电磁战场。

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，海防快艇和其它防御力量。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。在诺曼底登陆战役发起前，盟军为达到声东击西、瞒天过海的目的，首先从假的蒙哥马利、巴顿司令部里，不断发出假电报，在所谓“无线电训练”中，又故意作了些“泄密”，似乎要首先在诺曼底半岛以东的布伦地区登陆。如此虚张声势，致使德军无线电侦听系统，将假情报源源不断地呈报给德军统帅部。为使德军能对这些假情报加以印证，盟军在战役发起前夜，又协调一致地实施了多种电子战欺骗战术：以无源干扰器材模拟了两支舰队和护航机群向弗勒海、加来——布伦驶去；以小批载着杂波干扰机和铝箔片的轰炸机，模拟了向德军本土的大规模空袭；一支假的飞机编队，模拟了在瑟保地区的空降行动；以带有干扰器材的飞机，对警戒雷达施放杂波干扰。于是德军相信了假情报，便把大批海防快艇、歼击航空兵及防御部队调到诺曼底半岛以东。由于盟军巧妙地组织了通信欺骗、反雷达伪装、有源干扰和无源干扰等多种手段间的协同，从而各种手段各尽其能，相互补充，相互印证，使之形成一个严密、逼真、完整的电子骗局，致使狡猾的德军中了调虎离山之计。“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2217艘，仅损失36艘。

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，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。

又如，美军在1972年12月18日至29日，对越南河内等地区大规模轰炸中，针对越南防空力量构成因素多，各种性能的雷达数量多，部署严密等特点，为提高空袭效果和飞机安全率，各种电子干扰手段密切协同：首先以大功率电子战飞机，对越方大功率警戒、搜索雷达、实施远距离支援干扰；以轰炸机群内编有的电子战飞机，对越方重点防空区域内较大功率的雷达和地面无线电通信、指挥系统，实施随机干扰；以B—52轰炸机携带的10多部干扰机，诱饵导弹和消极干扰丝，对越方导弹、炮瞄雷达以及导引头等，实施自卫和掩护干扰；同时，美军还在其攻击航线上投入了成百吨的消极干扰器材，并辅之以地面压制性干扰行动。由于美军从地面到空中的各种干扰手段的密切协同，形成了一个能互相衔接、互相重叠、多层次、多方向的电子掩护干扰整体，有效地干扰了越南绵密的防空雷达网和无线电指挥通信，使名振一时的苏联“萨姆—Z”导弹也只能“望机兴叹”。

而最精彩的、现代电子战中最具代表性的、并能反映80年代世界电子战

的典型水平的战例则是“十月战争”中的贝卡谷地之战。

贝卡谷地是叙利亚设在黎巴嫩的一个导弹基地，导弹为苏制萨姆—6S型。以色列部队使用了从美国购进的大批先进的电子武器，其中E—2C型空中预警与指挥飞机的性能是非常独特和惊人的。E—2C是美国格鲁门公司为海军研制的舰载空中预警飞机，它的前身E—2A和E—2B分别于1961和1969年试飞成功。1968年该公司制造E—2C鹰眼预警机，1973年有34架交付海军使用。E—2C有良好的起落性能，能在几分钟内进入高空；它的作用距离远，续航时间长；它能在空中加油；它的机翼可以折叠，能隐蔽地藏于舰船的甲板之下。当然，它还装上了先进的电子设备。E—2C的背上驮了一个直径为7.2米的可旋转的大圆盘，这是它的雷达天线罩。飞行时，天线罩用液压转动，以6转/分的速度作360°的圆周搜索。此外，还有中央数字电子计算机、无线电导航设备、通讯设备、敌我识别器、显示器及操纵控制设备等。

E—2C飞机上安装的APS—125新型雷达具有很高的角度分辨能力和距离分辨能力，在9000米高度飞行时，能监视和跟踪400公里以内的飞行目标。因此，一架E—2C飞机能跟踪和监视数百个目标并引导几十架歼击机去拦截目标。大型电子计算机对选定目标的方位、距离、高度、航向、速度以及其它必要的气象参数作快速运算，得出对各个目标的最佳截击参数，经无线电通讯装置发送给自己的战斗机和轰炸机，指挥它们进行准确的攻击。根据1975年北约“特别快车”军事演习的统计，一架E—2C预警机与一个中队的歼击机配合，就能挫败从不同高度入侵的几百架敌机的进攻。和E—2C预警飞机作陪的有EC—135型电子侦察机和CH—53型电子干扰机。前者主要是搜索对方的雷达参数，由计算机找出最佳干扰方案；后者则接受EC—135的命令，施放有针对性的干扰。这三种飞机都可以躲在萨姆—6S导弹的射程以外执行任务，因而是非常安全的。此外，以色列也拥有先进的美制战斗机和轰炸机，其中包括F—4、F—4G、F—15和F—16等等。

贝卡谷地的电子战，是由以色列出动E—2C和EC—135、CH—53型三种飞机拉开战幕的；继而以军出动战斗轰炸机，冲在最前面的是一架F—4飞机，它尚未进入导弹基地上空就迅速弹射出一架“壮士”号塑料制无人驾驶飞机，上面装有雷达信号反射器。“壮士”很快被叙利亚的警戒雷达发现，但雷达操纵员在荧光屏上看到的“壮士”和F—4鬼怪式战斗机一模一样，于是急忙开动瞄准雷达，准备发射萨姆—6S地空导弹。叙利亚的瞄准雷达一开机，“壮士”就获取了它的信号，顷刻之间，E—2C预警飞机已经得出了最佳攻击参数。差不多就在同时，到达导弹基地上空的F—4和F—4G飞机已经接到了E—2C的指令，迅速发射了反雷达导弹，将叙利亚的雷达摧毁。这时，萨姆—6S导弹的耳目已被破坏，它再也不能对来犯的目标进行有效的攻击了。首批以色列96架战斗轰炸机似黑压压的乌鸦，压境而来，对谷地上的19个导弹基地狂轰滥炸一番。叙利亚出动62架苏制米格战斗机迎战，但因主动权已掌握在以色列手中，短短几分钟内就有36架叙利亚米格飞机被击落。仅仅6分钟，叙军的19个“萨姆—6S”导弹阵地全部一命呜呼。一个多小时后，以色列派出第二批92架轰炸机飞临谷地上空，再次重创叙迎战机群。这次短促的空中突击，使叙利亚军队蒙受了重大伤亡和损失，而以色列的100多架飞机中只有一架F—4鬼怪式飞机被萨姆—6S导弹击落，受伤的也寥寥无几。这就是现代化的电子战例。

1991年初爆发的海湾战争更加充分地说明了电子技术在战争中的地位和作用。海湾战争标志着一个崭新的战争形态——高技术战争已经来临。

1月17日凌晨，夜幕笼罩下的巴格达万籁俱寂。然而，就在联合国限定伊拉克从科威特撤军的最后期限过后17个小时，几枚“战斧”式巡航导弹从停泊在波斯湾的美军“密苏里”号和“威斯康星”号战舰上呼啸升空直捣巴格达，随即，美、英、沙、科四国空军数百架战斗轰炸机结伴扑向巴格达，“沙漠风暴”行动开始了。

其实这场海湾战争并不是以第一颗导弹的爆炸声宣告开始的，一场无形的电子战早在去年8月伊拉克入侵科威特后就已开始部署，在美国白宫正式发表向伊拉克进攻声明之前5小时便大规模展开。

卫星是这场战争的先导。随着美国进兵中东地区，一些原先主要针对苏联的太空侦察卫星被迅速调集到中东地区上空，时刻探测伊拉克的武器装备、军事设施、军事调动以及截获伊军导弹控制信号和监听伊军电台通信等。

在多国部队大规模空袭之前5小时，驻沙特的美国部队即开始对伊拉克进行电子战，干扰伊军通信联络。从广义和现代意义上讲，战争已经开始。

在实施干扰前，美军首先利用侦听机查明了伊军通信使用的频率，然后使用相同频率发出更强的信号。结果当“战斧”式巡航导弹准确命中巴格达的军事目标时，伊拉克军队的通信电台里却一片噪声，大部分雷达屏幕上一片雪花，根本无法看清导弹和飞机的到来，致使多国部队的导弹和飞机在头几番攻击中如入无人之境，未遇丝毫有效抵抗。

在空袭中，美国将一些电子战导弹与“战斧”式导弹一起射向目标，干扰伊军的雷达和通信装备，迷惑其防空武器系统。同时，飞越伊拉克领空的美军飞机还撒下大量干扰片，进一步蒙骗伊拉克军队的防空雷达。很显然，为进行这场战争，美国准备了充分的电子战力量，从而具备了强大的电磁优势。10余颗照相侦察、电子侦察、预警等卫星，以及SR-71、TR-1、RF-4等侦察机，具有全天候、全天时、近实时、高分辨率的电子侦察能力，对伊重要目标和战场情况始终保持高透明度；预警飞机可连续24小时，实时监控伊军动态；EF-111、EA-6B、F-4G等电子战飞机则对伊军形成了巨大的电子干扰压力。

这次海湾战争中，以美国为首的多国部队利用先进的电子技术武器，在同伊拉克之间展开的以电子侦察和反侦察，电子干扰和反干扰、电子摧毁和反摧毁为基本内容的电子战中，令伊拉克军队的通信中断、指挥不畅、雷达迷盲、武器失控、取得了明显优势。电子战在现代战争中的重要作用又一次为人们所认识。

在这次海湾战争中，美军首次大量使用了计算机技术。

交战初期，最耀眼的高技术明星便是美国的“爱国者”号防空系统。“爱国者”导弹在战争史上第一次实现了导弹拦截导弹，被称为“头号英雄”，战争中伊拉克向以色列共发射了35枚“飞毛腿”导弹，70%被“爱国者”拦截（开始一段时间以色列未装备“爱国者”导弹），向沙特发射了33枚，90%被拦截，其中1月21日伊拉克发射的10枚“飞毛腿”，除一枚落入无人水域外，其余9枚均被拦截击毁，拦截成功率为100%，甚至连“爱国者”的设计者们也认为，成功率超过了他们的预期值。在成功的背后，电子技术当然功不可没。“飞毛腿”一从仓库搬出来或者一点火，侦察卫星就会把侦察到的情况通过卫星传到美国本土指挥中心，大型计算机对这些数据进行分

析识别，并立即把结果送到“爱国者”发射部队，这一全过程仅需2—3分钟。然后“爱国者”导弹部队通过雷达、计算机和导弹跟踪制导技术，精确地实施拦截。“爱国者”导弹早先是作为防止飞机空袭的地对空导弹系统设计的，为有效进行导弹拦截，特意进行了软件升级。

在地面进攻中，美军各兵种的部队普遍利用了膝上型计算机来进行电子保密通信，制定作战计划和实施后勤支援。在“沙漠盾牌”行动开始时即为美军所使用的最大、最新的网络，是已投入使用了两年的国防数据网络（DDN）。DDN是一个国际网络，可以在陆军各部队之间以及陆军和其它军种之间进行语音、图像和数据传输，包括电子邮件功能。

另外，美国DEC公司的VAX计算机及一系列的配套专用软件在“沙漠风暴”幕后发挥了巨大的军事作用，例如医疗救护支援准备等，同时也是美国有线电视新闻网（CNN）处理世界各地新闻的坚强支柱。

以上一系列的电子战明确无误地告诉人们，如今战争水平已经开始进入高技术兵器阶段。而一切制导武器都离不开微电子技术，离不开人工智能和微型计算机，而一切计算机都离不开数字运算。所以在高技术武器中，无电子不能制导，无智能不能精确制导，无数字化就无法实施控制。每一件高技术武器除了战斗部分之外，还有大量电子元器件构成的控制部分。控制部分可以识别目标、识别地形、自动寻的，甚至还可以反干扰。高技术武器的电子化、智能化、数字化，使指挥系统自动化程度大大提高，战争准备时间大大缩短，战争的过程进一步加快。

电磁波的出现给现代战争带来了巨大冲击。在不远的未来，电磁波将成为战争中的主要工具和战场上决定胜负的重要因素。在电子战的战场上没有传统战斗的交战线，可以说，这里的前沿阵地就设在每个国家的实验室里，因此，谁最好地掌握了电磁波和电子技术，谁就将在未来战争中赢得战场上的主动权。

4. 无所不在的电子学

人们对电子学的了解通常来源于电视机、收录机、洗衣机等家用电器和电话、电报等公用通信设施。事实上，电子学的应用远远超出了电子行业本身，而深深地渗透到各行各业，各种应用领域。

只要稍稍细想就会发现，电子学的踪迹是无所不在的。从我们日常生活中必不可少的各种家用电器到将来为我们提供超级娱乐与享受的家庭影院、高清晰度电视以及数字化的高保真广播系统，从工业生产中的各种自动化仪器仪表到工业机器人乃至智能机器人，从随处可见的电话到未来的能够传输大量信息的“信息高速公路”，从车、船、飞机的移动通信设备到先进的全球定位导航系统，从人造卫星、航天飞机到未来的空间站，无不显示着巨大威力。

首先，电子学与航天工业密切相关。无论是人造卫星还是航天飞机，以及人类向宇宙深处发射的各种探测器，都大量应用了电子仪器与设备。从这些飞行器一发射开始，所有的通信设备就在不停的工作，为它们和地面控制中心提供必不可少的通信联络。在整个发射过程中，飞行器的定位和进入指定轨道都要在地面控制中心和自身所携带的控制设备的密切协作下完成。到达指定地点后，数据、图像的采集和其他工作的完成同样也依赖于先进的电子仪器。在远离地球的茫茫宇宙中，环境与地球上完全不同。那里，一切都失去了重量，有各种宇宙射线的袭击，还存在各种不可知的危险，这样恶劣的环境要求所使用的电子设备必须是高精度、高可靠性的，唯有如此，人类的各种航天活动才有可能获得成功。

在军事上，人们利用夜视仪可以在漆黑的夜晚“看”清几百米以外甚至更远处的景物，这靠的是红外遥感技术。人造地球卫星从天空飞过时，能够拍摄下地球的照片，它也利用了遥感技术。遥感是电子学的又一重要应用领域。人造卫星绕地球飞行时，用各种遥感方法拍摄下地球表面的照片，然后发回地面接受站。专门的技术人员对这些照片加以处理和解释之后，就能得到许多极有价值的信息，如航道上冰山的位置及移动情况，某一地区农作物的生长情况，森林的种类、范围与病害情况等等。根据卫星发回的照片，我们能够对过去绘制的地图的不正确部分加以修正，还可以监测森林火灾或火山活动，因为这些地区在红外扫描图上通常会明显地表现为热部位。在扑灭森林大火的过程中，还可以利用红外扫描图勾画出失火地区的界线，从而为指导整个灭火工作提供极为重要的情报。

人的视觉依赖于一双明亮的眼睛，遥感是靠什么“看”到遥远的景物的呢？是敏感器件，也就是传感器。在人们依靠视觉不足以获取所需信息时，传感器就成为了我们新的“眼睛”。传感器的种类很多，有的对压力敏感，有的对光敏感，有的对热敏感，有的对某种或某些气体敏感，还有湿敏的、磁敏的、色敏的、味敏的等等。敏感元件是电子领域里一支突起的新军，它们构成了电子元件的一个必要分支。众多的传感器，犹如天上闪烁的群星，在电子世界放射出奇异的光芒。

最近几十年来，机器人一直是个吸引人的话题。机器人同样也是电子学发展的产物，一个机器人实际上就是一套复杂的电子系统。现在，人们已经发明了各种各样的机器人。有的比较简单，例如工业机器人。工业机器人通常具有简单的判断能力，它能够代替人从事一些有危险的或繁重的重复劳

动。比如说，在造船厂里，要给造好的船喷漆，这是一项非常危险的工作。工人要站在船体周围的脚手架上进行喷漆作业。脚手架很高，一不小心就会出危险。因脚手架倒塌而造成伤亡的事也时有发生。于是人们发明了一种喷漆机器人，它能够吸附在船壁上，在地面人员的遥控下一边移动一边喷漆，劳动效率是人的五倍。更重要的是，工人们再也不必从事这种危险的高空作业了。在人工种植的森林里，为了让木材质量好，必须砍掉树下部的树枝，只留下树上部的枝。这项工作既危险又繁重。人们发明了一种爬树机器人，它能够代替人爬到树上去，砍掉多余的树枝。这种机器人有八个轮子，把它放到树根下，它就会用八个车轮紧紧地箍住树干，然后螺旋状地向上爬，碰到树枝就用链锯锯掉，然后再前进。爬到一定的高度，它就会自动反方向回转，下降到地面上来。与此类似的还有消防机器人，以及在深海区、有毒环境工作的机器人。工业机器人的出现，解决了许多危险工作的难题。但是，在机器人王国里，更引人注目的是具有与人类类似的判断、思维、语言、视觉能力的智能机器人，这种机器人的核心就是电子计算机。智能机器人将会具有良好的环境自适应能力、学习能力和与人类交流的能力，从而可以在更高的程度上代替人从事各种复杂的工作，如照顾老人和孩子，给学生上课等等。

许许多多从前与电子学毫不相干的行业，现在也已不得不深深地依赖于电子学，比如说医学。几十年前，医生依据各种表面症状对病人进行诊断，现在，多样的医学电子设备成了医生的一双双“眼睛”。目前，生物医学电子学发展非常迅速，已经形成了一门新兴的边缘学科。比如人体有一些很微弱的电信号，它们反映了人体内部各个系统与器官的工作状况，因此在临床上具有重要的诊断价值。对这些微弱信号的提取与分析也就成为电子学在医学方面的一项重要研究内容。利用CT仪等电子设备对人体器官与组织成像，并对这些图像进行处理与识别是生物医学电子学的又一个方向。CT就是计算机断层扫描，这一诊断方法目前在临床上的应用已经非常广泛。它是从各个角度对人体扫描，然后根据扫描数据重建出人体内部某一部分的三维立体图的一种技术。应用CT设备可以使医生看到人体内部组织、器官等的大小、形状，经过一定的处理与识别，就能很好地诊断病人是否患有某一疾病。

除此以外，电子学还广泛应用于导航、自动控制等领域。它存在于人类生活的每一个角落，每时每刻都在为人类服务。随着科技的高速发展，它也将为我们创造更为美好的未来世界。

二 从真空管到集成电路

从本世纪 20 年代到现在，是人类社会发生深刻变革的时代。从无线电广播的繁荣到电视的迅速普及到计算机革命的发生，人类的生活在几十年间就从几千年的单调走进了现代社会的繁荣。

回首这段历史，我们总是无法不惊叹于人类的无比智慧与创造力。在这部光荣的电子繁荣史中有一个引人注目的辉煌篇章。那就是从真空管到集成电路的出现。正是真空管的出现，导致了本世纪 20 年代无线电广播的迅速崛起与 40 年代的电视“爆炸”，也正是小巧而可靠的晶体管的发明，才使得像电子计算机这样的复杂电子设备的实现成为可能。更令人激动不已的则是晶体管集成化的设想。从中小规模集成电路到大规模超大规模集成电路乃至专用集成电路，集成技术以惊人的速度向前发展着，至今仍未停止。到今天，几乎任何一个稍复杂些的电子产品都离不开集成电路；没有集成电路，就没有现在这个无比庞大与丰富的电子世界。

1. 第一代电子管“王朝”

从爱迪生效应到真空二极管

1893年，历史上最负盛名的大发明家爱迪生在改进他著名的发明——白炽灯泡过程中，发现了一个奇怪的现象，那就是当他将一根铜丝封接到灯泡玻璃壳上时，在通电加热的灯丝与铜丝之间竟然出现了微弱的电流。进一步的实验发现，当灯丝不通电加热或者灯丝温度不很高时，在铜丝上就没有电流通过。电流是从什么地方冒出来的呢？难道它能飞越空间而传输吗？为什么加热灯丝是电流出现的必要条件呢？当然现在我们都知悉其中的缘由了，但在当时，即使是爱迪生也无法解释这一现象。可这丝毫不影响这位发明家的专利簿上又增加了一个纪录。这个现象以后也就被称为“爱迪生效应”，当时谁也不会想到正是这份专利孕育了第一代电子器件——电子管，由此揭开了人类科技史上新的一幕。

第二年，远隔重洋的英国科学家佛莱明注意到了这个现象。佛莱明早年上过伦敦大学和剑桥大学，但都没毕业。他是电磁理论创始人麦克斯韦的学生，并为他的理论深深吸引。麦克斯韦的课上得并不太好，而且他的理论很少能被人理解，以致有一次他的课堂上只坐着两个学生，其中一个就是佛莱明。佛莱明在爱迪生的电灯公司作过一阵子技术顾问，他在仔细分析“爱迪生效应”后认为一定有一种带电的粒子通过了真空灯泡内的空间，他确信灯泡内的电流是从加负电压的灯丝流向接正电压的铜丝的带电粒子构成。科学的发展后来证实了佛莱明的预见。

1895年，马可尼发明了无线电报，第二年，他成立了自己的无线电报公司。佛莱明受聘成为该公司的顾问，并负责电报接收机中的关键部件——检波器的改进工作。老式的检波器被称为“粉末检波器”，性能很不稳定，粉末检波器在一个真空玻璃管内装有许多粉末状铁颗粒；用时还必须用一个小锤不断敲击铁粒，使其保持粉状而不致凝结在一起。这种装置灵敏度很低，大大影响了无线电通信的效率。

佛莱明接手这项工作后，由于特殊的工作经历使他设想是否可以利用“爱迪生效应”来对无线电波进行检波。佛莱明首先想到，作为阳极的铜丝连接到电源的正极时，当然会吸引从炽热灯丝飞出的电子，由此产生电流。相反，若铜丝电压低于灯丝连接的电压，那么从灯丝发射出的电子由于受到带负电压的排斥而仍返回灯丝，或者悬浮在铜丝与灯丝之间靠近灯丝的空间，这样就不再会有电流流经铜丝。所以，如果加在灯丝与铜丝之间的是交变电压，那么只有在铜丝的电压更高时才有电流流经管子，也就是变成了单方向的直流电流了，这就是大家都知道的检波作用了。

佛莱明接着又改进了原有的装置，为了提高效率，他用一块大面积的金属板代替铜丝，这样电流显著增大了，更适用于实际。1904年，佛莱明把上述发明作成检波器，获得了巨大成功。人们把加负电压的灯丝称为阴极，而金属板叫作阳极，因此佛莱明的发明就称为“真空二极管”。

真空二极管是人类历史上第一只电子器件，它的意义是难以估量的。真空二极管除了用于检波外，还大量充当其它用途，其中包括变交流为直流的整流作用。更重要的是，因为有了佛莱明的这项发明，才会有后来者在这个基础上发明的一种崭新的器件。这种新器件在几十年内一直是所有电子设备

的“心脏”，为电子技术的发展作出了难以估量的贡献，这种新器件的名称是真空三极管，而那位有幸的后继者是来自新大陆的德·福雷斯特。

德·福雷斯特与真空三极管

德·福雷斯特出生于 1873 年，正是那年麦克斯韦的名著《电与磁》问世了。和许多大科学家一样，他中学时并没有显露什么才华。用他自己的话说“学识既不丰富，也不会交际，而且文笔和口才又是那么笨拙”。总之，是一个再平常不过的少年。他的唯一爱好是喜欢摆弄各种机器。他那时梦寐以求的，大约就是作个机械师了。没有想到后来的两件事情影响他改变了理想，走上了伟大的发明之路。

第一件事情发生在他 20 岁还是一位大学二年级的学生时，那一年在芝加哥举行了世界博览会，这届博览会在科技史上占有重要一席，因为大发明家台思拉用研制的十二台交流发电机为会场九万盏五颜六色的彩灯供电，这是交流电全面击败爱迪生的直流电方式的开始。在溢彩流光的海洋里，德·福雷斯特完全陶醉了，直至展览厅空无一人。未来会是什么样呢？一个热爱科学的青年，应该朝什么方向努力呢？他苦苦思索。之后过了四年，他又得知台思拉在完成交流电大业后又开始探索电磁波的应用，已经可以不用导线而点亮远处的电灯了。德·福雷斯特完全被台思拉的天才征服，也为不用电线就能够传播电信号的无线电时代感到激动不已。他一心希望能够成为台思拉的助手，能够在无线电领域内有一番作为，但一直都没有机会。

幸运之门总为有志青年敞开着。德·福雷斯特没有遇上台思拉，却有幸结识了另一位杰出人物——无线电发明家马可尼。在此之前，马可尼在英国成功进行无线电通信表演的消息早已传遍欧美大陆。德·福雷斯特曾读到过介绍马可尼的文章，并见到一张马可尼的照片，神情严肃的他的左边放着电磁波发射机，右边是接收机。德·福雷斯特深受鼓舞，决心转变自己原来的方向，潜心研究无线电。他独身一人默默工作了三年却苦无收获，倍感痛苦和迷惑。

1899 年深秋，马可尼应邀来到美国，他在纽约的军舰上进行了无线表演。正是在这次表演中，德·福雷斯特结识了马可尼，尽管两个人中一个已是享誉世界的发明家，而另一个只是默默无闻的普通人，但因为对无线电事业的共同热爱使他们很快就亲密起来。德·福雷斯特向马可尼倾诉了他一无所获的苦恼。马可尼鼓励他说或许是没有找到恰当的研究课题，他一边指着发报机中的金属检波器说，“比如这个东西，要想进一步增加通信距离，非要革新不可。”这位意大利发明家的话给德·福雷斯特以深刻的印象，原来改进金属检波器就是无线电研究中一个急待解决的课题。回家的路上，他兴奋地想：也许我就能完成这个使命。就在马可尼离开美国后不到两个月，德·福雷斯特辞去了他在芝加哥西方电气公司的工作，在纽约泰晤士街租了一间破旧小屋，全心全意研究改进检波器。

在随后的三年中，德·福雷斯特节衣缩食，沉浸在发明创造的乐趣中。其间他发明了“气体检波器”，获得了相当成功，但这项用火焰来检测无线电波的方法效率还不是太高，他最终决定放弃这种方法，但他也同时想到了也许用炽热的灯丝可能有效果，他打算开始行动了，通向真理之门的钥匙现在就在他手中了。可是命运没有选择他作为真空二极管的发明人，佛莱明博

士先他一步用同样的思路获得了巨大的成功。

消息传来，德·福雷斯特沮丧之至，甚至产生了放弃继续惨淡研究的决心。但对科学的热爱使他终于决定在他人成果的基础上继续向前开发，那么现在该做什么呢？

他首先重复成功了佛莱明的发明，然后下意識地在电子管里面封进了第三个电极，这是一片不大的锡箔，它的位置在灯丝和屏极之间。这时，奇迹出现了，他在第三极上加一个不大的电信号竟可以改变屏极电流的大小，而且改变的规律同信号变化的规律一致。这表明第三个电极能够控制屏极电流，只要屏极电流的变化比第三极的变化更大，那就意味着信号被放大了，而这正是无数电气工程师们梦寐以求的。德·福雷斯特预感到这个惊人的发现的价值，他沉住气继续实验，最后发现用金属丝代替小锡箔灵敏度最高，于是他用一根白金丝扭成网状封装在灯丝和屏极之间，世界上第一个真空三极管这就样诞生了。控制极因为像网栅就被称为“栅极”，它像一个非常灵敏的控制闸，按施加信号的变化，有规律地改变着屏极电流的大小，由于屏极电流要比栅极电流大很多，微小的电信号经过真空三极管后就可以放大很多倍。

电子管的出现是电子科技史上划时代的大事，它推动了无线电技术的迅猛发展，引发了一场革命并奠定了近代电子工业的基础。人们把电子管称作无线电的“心脏”是一点也不过分的。德·福雷斯特的贡献使之成为近代电子工业的鼻祖，美国人民尊称他为“无线电之父”，而全世界的人民至今都还在享用他带给我们的好处。

庞大的电子管“王朝”诞生了

真空三极管的发明给刚刚兴起的无线电通信带来了光明前景。由于真空三极管的放大作用，通过以真空三极管为核心的放大器电路可以将信号进行连续多次的放大，使微弱信号的功率提高成千上万倍甚至更高。过去人们对从遥远地区传来的无线电波束手无策，因为微弱的电信号根本无法驱动收报机的工作。现在通过真空三极管将接收天线中感应或激励出来的微弱高频电流或电压放大到足够强度，因而大大增加了通信的距离。另一方面，对发报机而言，也可以用类似的办法将发射信号放大，增加发送功率，也就增大了在空间传播的无线电波的强度，从而从另一侧面增大了通信距离。

后来当人们把真空三极管用于较高频率的放大器中时，又出现了令人头痛的问题，就是放大器会发生振荡，一振荡就不能实现信号的正常放大功能了。振荡的原因在于栅极与板极之间存在较大的电容，为了解决这个问题，人们在两者之间加入了一个新的电极，称为帘栅极，因为它像一个用金属丝做成的帘子，起着静电屏蔽的作用，这就是四极管。1928年，荷兰飞利浦公司的特勒根和霍尔斯特又发明了五极管，它是为克服四极管的缺陷而产生的，加入的新电极位于帘栅极和板极之间，称为抑制栅极，它是用于抑制四极管中出现的二次电子发射现象。随着广播事业的发展又出现了六极管、七极管和八极管，所增加的新极都是栅极。这些新的器件不仅能对电信号起放大作用，而且能做更为复杂的平理，譬如振荡、检波、混频等等。

早期的电子管是十分昂贵的东西，是博览会上展出的珍品，直到本世纪20年代，电子管才开始得到普及和应用，这是因为此前电子管的工业生产基

础尚未奠定。虽然真空三极管和真空二极管分别早在 1907 年和 1904 年问世，但有关发明的专利权分别属于几个不同的公司，到 1921 年，无线电报通信业务的蓬勃发展，无线电话和无线电广播技术的兴起，才促使“美国无线电股份有限公司”成立，从而将原先分属于马可尼、贝尔电话、通用电气、西屋和阿姆斯特朗等公司的有关专利技术汇集在一起，电子管才开始正式进入大规模的工业生产阶段，专门生产电子管的大工厂在世界各地相继建立起来，电子管的年产量犹如雪崩一样成倍增加。

20 年代中期，无线电广播事业在无数无线电爱好者的努力下得到迅速发展，收音机开始潮水般涌上市场，巨大的需求刺激着电子管的进步，电子管从一个陌生的学术名词一下成为家喻户晓人皆有之的东西了。电子管工业空前壮大起来，1918 年，荷兰菲利普灯泡厂还只生产了几百只真空三极管，到 30 年代，这家工厂的电子管年产量已超过百万只。

到三四十年代时，电子管已渗入各个应用领域，在无线电的领地内它是“天之骄子”，没有任何东西可与之竞争。在第二次世界大战中，为了对付德国人出没无常的潜艇，英国在 1938 年开始使用雷达。最初，使用的雷达波长还比较长，后来为了通讯的保密起见雷达的工作频率越来越高，而频率太高时，普通的栅控电子管由于自身特性的限制就不再适用了。由于军事上的迫切需要，促成了电子管在微波领域内的进展。1939 年，英国伯明翰大学的布特和兰道尔在军事部门的资助下完成了能发生微波信号的多腔磁控管。之后，一位传奇性的人物，维也纳建筑师出生的考夫纳，来到伯明翰大学工作，而他的工作竟然是为海军部研究电子管。更令人神奇的是对电子学本一无所知的他经过不懈努力终于在 1946 年发明了宽带新型微波管，成为科技史上的一段佳话。此外，美国的瓦里安兄弟在 1939 年也发明了多腔速调管，这样一来，电子管无所不在了。

各种各样的电子管诞生了，一个繁荣的以真空三极管为核心的电子管王朝赫然屹立起来了。

面临困境

自从德·福雷斯特发明了真空三极管后，在大约半个世纪内，它几乎独占了电子学的舞台。无线电广播的普及使电子管王朝的领域极剧膨胀，全世界每年生产的各种电子管可达数亿只以上。但是，随着电子技术的进一步发展和实际需要的不断增长，电子管性能上的不足使它面临日益严峻的困境。

最突出的矛盾是电子管过于膨胀的体积使得各种复杂设备的体积变得过于庞大以致不堪承受。人们也一直在寻找电子管小型化的方法，早期的电子管封装就像我们现在的灯泡一样，是梨形玻壳，电子管的管芯安置在作为芯柱的玻璃管上，玻璃管的末端与玻壳封接。到 30 年代后期，人们把梨形改成柱形，体积缩小了不少。之后，由于工艺的提高，到 1961 年时，电子管的栅极与阴极之间的距离已从 1928 年的 1 毫米缩短到 0.05 毫米以下，体积缩小的程度是非常可观的。然而电子管复杂的机械结构使得体积的继续大幅度缩小成为不可能，这使整个电子领域内的工程师们都感到头疼。

不仅于此，电子管的缺陷还在于它的耗电量过大。为使电子管的阴极发射出电子，人们不得不通电把阴极加热至相当温度才能促成其发射，而这部分功率并不构成电子管输出的有效功率，甚至可以认为是白白损耗掉了。

另一个问题是电子管的使用寿命。为发射电子，在阴极的表面涂有一层氧化钡。电子管工作时，阴极和灯丝处于炽热状态，氧化钡会逐渐蒸发，也就是说电子发射源会逐渐衰竭，这从理论上表明它一定是有寿命的。而实际中很可能不用等到氧化钡蒸发完，因为电子管的结构很复杂，经历的处理工序太多，期间任何一道工序的不严格都会导致管子的寿命缩短。这样由大量电子管为核心组成的大型电子设备性能就很受影响了。尽管通过工艺改进使电子管的寿命从 1000 小时延长到 1~2 万小时，但仍难以满足很多场合的需要。

以上的几个缺陷在世界上第一台电子计算机上表现得最为充分。1946 年，美国宾夕法尼亚大学莫尔电气工程学院的摩赫利博士与另一位研究人员艾克特共同制造出这台具有历史意义的名为 ENIAC 的计算机。它能在一分钟內完成数以千次的计算，这在当时的确是一个令人吃惊的速度。但同样令人吃惊的是 ENIAC 总重量达到 30 吨，一些 9 英尺高的金属柜足足装满了一小间体育馆；这台机器还产生如此之大的热量，只有开动工业用冷风机才能防止线路融化，盘上共耗用 1.8 万支真空管，耗电之大据说 ENIAC 一旦开动，整座费城的灯光立刻昏暗；更麻烦的是平均每 7 分钟就会损耗一只真空管。这样的情况令甚至 IBM 这样的大公司当时也断言对计算机的需求永远不会太大。

现实的需要使电子管陷入越来越大的困境，看来是需要一种新的器件来改变整个无线电世界面貌的时候了。

2. 电子学的宠儿

贝尔实验室的伟大发明

时值 1945 年，电子管的困境引起了越来越多人的关注。美国贝尔研究所的执行副所长凯利是个电子管专家，他想如果要进一步发展通信事业，一定要有一种新的电子器件。他找来了威廉·肖克莱，当时他是贝尔物理研究所的固体物理专家。年仅三十一岁，他在二十六岁获得理学博士学位。就是这个年轻人即将在科技界和企业界掀起至今仍汹涌不已的波浪。“你认为应该朝哪个方向努力才比较有希望呢？”凯利问。“半导体物理学。”肖克莱肯定地回答。他的意见是有足够根据的，当时半导体已用于制造二极管等小型电子器件，许多国家都开始研究半导体材料的特性。

听从肖克莱的意见，凯利决定在所里成立一个固体物理学研究小组，核心有三个人，肖克莱担任组长，另外两人一个是巴丁，也是固体物理学专家，当时三十八岁，另外一位是布拉坦，四十三岁，有着丰富的半导体实验经验。

小组成立后，他们没有忙着去实验各种办法制造新器件，而决定首先深入了解半导体的物理特性，然后希望在正确理论的指导下研制出新的器件。因此他们花了两年的时间耐心地做各种各样的实验，对半导体的性能包括半导体与金属接触的整流作用以及阻挡层势垒等进行了深入研究。肖克莱根据对半导体的多年探索，提出了一种被称为“场效应”的设想，从理论上预言：当半导体层薄得同表面空间电荷层相近的时候，就可以用和表面垂直的电场来控制薄膜的电阻率，使平行表面流动的电流受到控制，就可取得放大作用。

为了验证肖克莱的设想，小组的成员们尝试了很多方法，终于又有一天，巴丁又拿出了一个新的设想，天才的实验家布拉坦设计了一个精巧的实验。他们把一根金属针封上绝缘的腊，然后把针尖触到处理成 N 型或 P 型硅片（实质是个晶体二极管）上，接触处放一滴水作电解液。因为有腊层，针和水滴是绝缘的，水滴里再插一个金属细环，它等效为栅极。实验取得了相当成功。布拉坦后来回忆说：“像预期那样，我们发现加在水滴和硅片之间的电压，会改变硅片流向金属针的电流。于是，获得了功率放大！”整个实验是如此简单，使用的最昂贵的设备不过是一台示波器。后来经过一些改进，终于在 1947 年圣诞夜的前一天，在贝尔实验室里诞生了世界上第一个晶体三极管，这样，他们可以怀着一种无限欣慰的心情来过一个新年了。

贝尔实验室于 1948 年 6 月宣布了这项发明，而且从此之后发展工作迅猛向前，巴丁与布拉坦完成的晶体管有几个限制：有噪声、不能承受大功率、可用范围受到限制。这时肖克莱又提出了性能更好的结型晶体管概念，这种新型晶体管克服了上述的缺点，更适合于生产，因而获得广泛应用，目前绝大多数晶体管都是结型的。

这是世界上最重要的发明之一，本世纪还没有哪项发明像它这样深刻地影响和改变整个世界。晶体管登堂入室，无线电王国的新主宰出现了。

由于肖克莱、巴丁和布拉坦的卓越贡献，1956 年，他们被授予了诺贝尔物理学奖，成为科技发明史上合作研究的佳话。肖克莱后来回到家乡，几乎可以说就是他开创了未来“硅谷”，而巴丁后来由于在超导物理学上的贡献再次被授予诺贝尔物理学奖，成为唯一一位两次获物理奖的科学家。

神奇的半导体

在凯利问及肖克莱沿着什么方向研究才最有可能在器件革命上产生突破进展时，为什么回答会正好是半导体呢？这当然离不开肖克莱的高瞻远瞩，可也是基于当时世界各国正在研究半导体的现实而得出的结论。

事实上，早在 1878 年就有人发现一种名叫方铅矿的晶体具有一种特殊的导电性能，即只允许电流以一个方向通过，称为单向导电性。开始，无人意识到这种物质有什么应用价值，直到马可尼发明了无线电报通信后，在接收机中需要一种检波装置，即只允许高频电流单向通过的装置，这时人们才想起方铅矿石。但利用矿石做成的检波器性能并不很稳定，在佛莱明发明了真空二极管并利用它做检波器后，人们就不再使用矿石了。岁月流逝，无线电通信的范围伸展到短波和超短波频段后，真空二极管的结构使之无法胜任这些频段的检波工作，这让人们重又回到矿石检波器。不过这回使用的不是天然矿石晶体，而是经过提炼和加工过的半导体锗和硅。因顾这段历史，我们发现科学的发展和世界上任何事物的发展是服从同样一个规律的，总是螺旋式地上升着。

自然界中的物质根据其导电性能可划为三类。大多数的金属有许多电子可以导电，电阻值很小，因此日常生活中我们会用金属导线来连接电灯和电源插座，这些物质称为导体；也有一些材料如玻璃、橡皮和大多数的塑料内部没有可传导的电子，这些物质则称之为绝缘体；另外还有一些物质譬如锗、硅，它们的导电性介于其中，它们内部有些自由电子，但不足以使之成为电流的良导体，特别是当它们是很纯净的材料时，情况更是如此，这些物质就是半导体。

尽管纯净的半导体导电性能很差，但我们可以通过一道独特工序来改变它的导电性能。这道工序称为掺杂，即用某种不同元素的原子代替硅晶体内的原子。

我们知道硅在元素周期表位于第 Ⅳ 族，有四个价电子，如果选用带五个价电子的原子譬如磷原子进行掺杂，由于它比硅原子多一个电子，这样就有可能提供一个额外的自由电子，这个电子就可用于传导电流，从而大大改善半导体的导电性能，用这种掺杂方式形成的硅片称为 N 型硅。同样，如果我们掺杂的元素是只带三个价电子的硼，那么硅晶格中原来的由第四个价电子占据的地方现在成了空穴（即表示接受电子后还留有空余的地方），这些空穴显然带正电，它也能改善半导体的导电性，这样方式形成的掺杂硅称为 P 型硅。

显然，掺入的杂质越多，可导电的电荷也就越多，导电性能当然就越好，因此，半导体导电性能的好坏完全取决于掺杂的情况。

1+1 > 2 晶体管的工作原理

伴随晶体管收音机的普及，许多并不了解电子技术的人也已非常熟悉“晶体管”这个名词。人们通常就把晶体三极管称为是晶体管，但在更完整的意义上，“晶体管”是包括各种晶体二极管在内的更大范围的半导体器件的总称，不过这两种定义倒很少真正引起过麻烦。

在了解了半导体材料的导电特性后，我们就有了足够多的知识来了解晶

体三极管是怎么工作的了。正如德·福雷斯特是在真空二极管的基础上发明的真空三极管，要了解晶体三极管的工作秘密首先也要从晶体二极管开始。

半导体通过不同的掺杂可以形成 N 型和 P 型两种掺杂半导体，前者自由电子较多，而后者则有更多的带正电的空穴。建立一个晶体二极管非常的简单，事实上只需将这两种不同形式的掺杂硅片接触在一起就行了。

接触后会发生什么现象呢？显然，由于两种硅片之间存在着浓度差，N 区内的电子就会试图通过扩散运动占领本属于 P 区的领地，而 P 区内带正电的空穴也会由于存在着浓度差侵入 N 区，这看起来更像是场战争。战争的结果并不是在这两个区的任何一个地方都具有均匀的电子和空穴浓度，电子和空穴在离两块晶体接触面远一点的地方仍然保持着自己的控制领地，只在接触面的附近存在一个大家都不能侵入的相对稳定的区域，这个区域仿佛类似朝鲜半岛上的板门店，它被称为 PN 结。二极管的全部核心就是这个 PN 结。PN 结有两极，P 端为正极，而 N 端为负极。

如果我们在 PN 结后两端加上一个正向的电压，先前达到的“军事”平衡就会被破坏，大量的电子就可以通过 PN 结形成电流，这个时候，二极管就处于导通状态。而如果是一个反向电压，则二极管中就不能有电流流过，因为外加电场制约了自由电子和空穴的运动。

瞧，这不就是佛莱明的二极管吗？

是的，两者的特性几乎是一致的，不过晶体二极管更小巧，功耗要更低并且性能也要更好，因而它出现后很快取代了真空二极管在电子“王朝”内的地位。

虽然晶体二极管的原理很简单，但在实际工艺中却不是把两类掺杂半导体拼起来就行的。它必须是把一块完整的半导体晶片一部分制成 P 区，而另一部分制成 N 区，也就是在晶片的内部实现 P 型和 N 型半导体的接触，而不是外部碰在一起的形式上的接触。

有了对晶体二极管的认识，三极管就非常好理解了。我们在这里要谈到的都是一种称为双极型的晶体三极管，这种三极管的基础是半导体二极管，所以被称为双极型。这个世界上难道还有其它形式的晶体管吗？是的，还有一种称为 MOS 晶体管的器件，它在半导体世界里扮演着非常重要的角色。在下一节里我们就会遇到它。

晶体三极管是怎样建立起来的呢？

虽然在实践上行不通而且在理论上也有问题，我们还是可以想象它是由两个二极管拼起来的。如果把两个二极管的正极都连在一起，就可以得到一个 NPN 的三极管，如果负极接在一起，就有了一个 PNP 的管子了。虽然这仅仅是我们的想象，但事实上一个三极管内部的确存在着两个 PN 结。

那么一个三极管的功能是否就是两个二极管的总和呢？不是的！由于其中的两个 PN 结之间还要产生相互的影响，所以不能用 $1 + 1 = 2$ 这样的等式来简单地概括，自然界中的许多事情都不能简单的用算术来描述的。晶体三极管的功能相对于二极管而言有了质的变化，就这点来说， $1 + 1$ 是大于 2 的！

晶体三极管的三极分别称为发射极、基极和集电极，正好对应 NPN 或者 PNP。三极管有两个特点引人注目：其一是流过发射极的电流会等于基极电流和集电极电流的总和；另外一点是基极的电流相对发射极电流和集电极电流是非常非常小以致可以忽略不计，所以发射极的电流的绝大部分都会由集电极流出，这也正是三极管中有一个极称为发射极而另外还有一个集电极的原

困了。

晶体三极管最重要的放大特征正是体现在这三个极电流之间的关系上。基极的电流非常小，但它对其它两个极电流的影响都非常大。通常，如果基极电流增加 1 个毫安，那集电极电流就会有几十到几百毫安的增加。这的确是个非常惊人的数字，它意味着基极信号的变化幅度在集电极端放大了几十到几百倍，这不也正是肖克莱小组以及许许多多电气工程师们所梦寐以求的吗？

显然，晶体管的这种放大效果真空三极管也是能够实现的，可为什么晶体管最后会将真空三极管取代掉呢？它究竟好在哪里呢？

它好在哪里

电子管的发明使人类进入了电子学时代，没有它就不可能在 20 年代推广无线电声音广播，让亿万人听到音乐、新闻等种种丰富多采的节目，也不可能在 40 年代出现“电视爆炸”也就是电视的迅速普及。显然，在电子技术的发展史上，电子管的里程碑地位是无可否认的，但在现实需要与电子管的缺陷之间的矛盾日益尖锐时，晶体管的出现无疑使无线电殿堂的主宰慢慢由电子管移到了晶体管上，电子管的缺陷看来一夜之间全部得以克服了。

每天清晨在公园里、马路边我们总能见到一些鹤发童颜的老人一边散步，一边聆听收音机里播送的早间节目。他们可以把收音机拿在手上或者就把它放在口袋里，这个玩意是这样轻巧，丝毫不让这些年长的人感到累赘。凭什么能这样呢？因为有了晶体管，这种便携式的东西在真空管时代还是难以想象的，体积小和重量轻无疑是晶体管最值得夸耀的资本。晶体管的核心是块小晶片，加上电极和封装也要比普通的电子管小巧几百倍。即使到了 60 年代出现了超小型电子管，可就是早期的个头相对来讲还很笨重的晶体管与之相比，也只能说是小巫见大巫了。

晶体管的另一个长处是它的性能要稳定得多了，能够适用在那些震动很厉害的场所，譬如运输过程中，而电子管却不行。为什么呢？我们平时骑自行车上马路的时候，总会很小心地避开那些坑坑洼洼，其中的一个原因当然是使自己感觉舒适平稳些，而另外一个方面是震动小能很好地维护自行车，因为自行车是用螺丝把各种组件紧固在一起的。电子管的结构也是很复杂的，组装起来的東西一经震动没准就会出现接触问题了。而新发明的电子管的电气性能的连接是在具有两个 P—N 结的晶片的内部完成的，三个极是一个整体，因而没有这种因震动而引起的麻烦，如果有也只出现在晶体管外部的引出线上。这样的结构使得它的性能要可靠得多。

而且晶体管电信号的传递靠的是掺杂半导体内部的电子和空穴，不用再像真空管那样费劲地加热灯丝去发射电子了，因此耗电量也大幅度降了下来。发射电子的氧化钡涂层现在也不再需要，因而器件理论上的使用寿命值也不复存在了。

对生产厂家来说，他们最关心的是生产的成本，而晶体管显然要比真空管更对他们的胃口了。首先是作为原材料的硅是地球上仅次于氧的最丰富的元素，我们见到的沙石瓦砾中都有它的原子；并且它的生产工序也很简单，非常有利于实现自动化生产。成本低廉的晶体管使各种电子设备价格变得越来越低廉，收音机自不必说，电视机也走进了更多的家庭。在晶体管问世不到

15年后，在广播收音机中几乎全部取代了真空三极管，在电视机里唯一幸存的电子管就是显像管了。

从50年代后半期开始，整个无线电世界掀起了一场波澜壮阔的电子设备晶体管化运动，并由此带动了其它元件如电阻、电容、线圈、继电器和各种电路接插件的小型化工作，在电子设备小型化的征途上，人们取得了空前的突破，设备的性能也有了大幅度的提高。整个世界的面貌完全焕然一新，继电子管王朝之后人类终于又跨入了一个新的阶段——半导体的时代。并且由这个时代直接导致了后来更为辉煌灿烂的集成世界的诞生。

谁也想象不出没有晶体管的发明这个世界会怎么样，也许更好，也许更糟，但这都不重要，重要的是它诞生了，世界就变了。

推陈出新

晶体管应运而生的最重要的原因是由电子管为心脏的各种电气设备实在太庞大了。人们都希望看到小巧、漂亮又实用的东西，这样的想法使晶体管从诞生之日起就开始了迈向小型化的漫漫征程。这样带来的好处是不仅可以缩小体积，而且能很好地提高晶体管的频率特性。频率特性的概念看似陌生，其实在日常生活中我们早都熟悉了它。如果你是一个音乐爱好者，你就一定会发现吉他的六根弦中发出声音最尖的必定是那根最细的弦。晶体管也一样，越小越细，高频特性就越好。

一直到50年代末，生产出来的晶体管大都是合金晶体管，顾名思义，它是采用合金方法制成的，内部有一个小金属电极，体积较为庞大。

到1956年，半导体器件工艺有了重大的进展，两位美国的物理学家发明了一种新的工艺——扩散工艺，很快就诞生了一种新型的三极管——扩散晶体管。这两位科学家都来自美国的贝尔实验室，这个实验室为电子学的进展所做出的贡献是任何其它公司和研究所都不能比拟的。他们和通用电气公司的邓拉普对元素周期表中Ⅲ—V族杂质向硅和锗的扩散做了大量深入的研究，为扩散晶体管的制造奠定了基础。扩散过程是制造扩散晶体管的关键工序，依靠自己研制出的成果，贝尔实验室成了世界上第一个制造锗和硅扩散晶体管的单位。

扩散技术已经被证明是制造P—N结的最好的控制方法。掺杂杂质在半导体中的扩散速度是非常缓慢的，可以通过调节温度来改变它。这样，杂质的分布可以得到很精确的控制，因而能控制所制造晶体管的全部参数。这当然对提高晶体管的质量大有好处，并且现在也不需要金属球了，体积比起合金晶体管自然要小很多。

1959年，在硅谷仙童公司工作的物理学家霍尼公布了一项他的发明——平面工艺，这种工艺具有相当高的精度，它马上被用于制造一种更新型的晶体管，就称为平面晶体管。仙童公司年轻的创业者们当年就开始出售这种新式产品。有赖于先进的精密工艺，平面晶体管的尺寸更是小了很多，因而大受欢迎。而平面工艺的成功却远不止此，由于它的出现，集成电路的制造成为可能，它成了现代半导体工业的最重要的基石。

先让我们来看看另外一个常见的情形，我们经常在一些场合见到巨幅的伟人画像，它们是那样逼真以致人们总很惊讶于这么大一张画布如何才能画得那般精确呢？其实这里面有个小技巧，画师们可以把一张伟人相片的底片

放在投影机上，而把画布当作幕布，这样经过投影放大的伟人像就会出现在画布上，画师们就可以根据影像把轮廓勾划出来，这样出来的画像当然神态轮廓都很逼真了。平面工艺中最困难的事情是处理小至微米细的线路，怎么能够这样精确呢？事实上，我们也可以做一个模板，它一般是晶片的数百倍的放大，在这样一个大区域内可以很精确地分割出该掺杂的区域和绝缘区域。与画像时的放大相反，我们可以用照相的方式再数百倍的缩小，我们就可以得到一张非常精细的电路版图了。在这张版图上，该掺杂的区域是透光的。我们在硅片的绝缘薄膜上再涂上一层光致抗蚀剂，也就是一旦受到光照的话就可以把底下的绝缘膜给腐蚀掉。最后一步的原理再简单不过了，把制好的版图放在硅片上，仅需要一束光就能得到预定的光刻区域了，这些区域就是半导体杂质渗入的方便之门。

通过平面工艺制成的晶体管比合金晶体管前进了一大步，不过这仅仅是小试牛刀而已，真正发挥平面工艺巨大的潜力的时代还在后头呢！那是什么时代？那是集成电路的时代。

3. 新技术革命和集成电路

大胆的设计——集成化

人类的追求总是无止境的，在通往科学和真理以及追求进步的征程上更是如此。古人因为感觉到步行负载的不便而发明了可以滚动而行的各种小车。到了近代，马达的发明使人们有了汽车，然后有了火车有了飞机。每一次的进步都极大地改变了人们的生活，电子领域的进展同样是令人瞠目结舌的。

晶体管的发明是为了取代体积庞大的真空三极管，它的体积因此缩小了数百倍而大获成功。不过我们也看到在本质上两者是一致的，每一只电子管都需要一个甚至更多的晶体三极管来替代。1955年，IBM销售的一种计算机中，以往用了1250只电子管，采用晶体管后还需要2200只。随着电子设备功能逐渐增加，整个结构和体积也随之庞大，在先前看来是那样小巧可爱的三极管似乎一下都变得大得不能忍受了。自从ENIAC诞生后，由于科学运算和国防的需要，计算机工业得到了很大发展，到60年代时，一台中型电子计算机需要上百万只晶体管。同时代的轰炸机上所需要的电子元件的数量则比40年代增加了200倍以上。当年电子管面临的困境如今又戏剧性地摆在了晶体管面前。

怎么解决这个矛盾呢？最简单直接也是最容易想到的办法就是减小晶体管的体积。所以这才有了从合金晶体管再到扩散晶体管最后发展成为平面晶体管的过程，现在世界上最小的平面晶体管已仅有小米粒大小了。

50年代末期，美国的电气工程师们提出了一种新的设计思想，这种设计被命名为“微组件系统”。在了解这种思想之前，我们可以先回忆小时候玩的搭积木的游戏。积木是一些形状各异的彩色木块，方的，半圆的，镂空的，各式各样，凭着自己的想象，我们可以设计出风格迥异的宫殿、宝塔等许多建筑。在电路中有很多类似的情况：首先是所有的电路都是由电阻、电容、二极管、三极管等元器件构成，这就相当于积木游戏中最小的积木模块了；其次是电路中经常包含一些通用的模块，比如放大器、振荡器、分频器等等，这些功能模块实际上更像是由小积木模块组装成的大积木块，选用不同的大积木块就可以实现多种多样的电路以满足不同应用的需要。现在，如果我们把小积木模块尽量做小些，这带来的好处当然是减小体积，并且把小积木模块拼装在一起组成各种标准的大积木模块，这样会使电路设计师们的工作变得更为简单。实际上，这两点最后也成了集成电路带给用户和电气工程师们的最大好处。

1957年，美国无线电公司最先开始制造这些“积木玩具”。小积木玩具都是310密耳（1000密耳=1英寸=2.54厘米）的薄片。这些薄片或者是小型晶体管、或者是小型及超小型的电阻、电容等。然后将这些组装起来的组件封在一起，这就是大积木模块，也就是术语上被称为“微组件系统”的东西。采用这种微组件，最高封装密度能够达到每立方米100~150万个，这几乎已是封装密度的极限值了。看来仅仅通过器件小型化的道路而不是彻底变革思想是不能解决问题的。

要什么样的思想才有可能实现器件的又一次革命呢？

1952年，也就是在晶体管发明仅仅4年后，一个新的预言出现了，英国

科学家达默在华盛顿召开的一次座谈会上说：“在现阶段，预示将来，随着晶体管 and 一般半导体的发展，现在似乎可以想象：电子设备可以在一个固体块上实现，而不需要连接线。这种固体可以由绝缘体、导体、整流、放大等材料组成，可以由各层切出一块块面积直接联接起来而获得各种电气功能。”这是人类第一次提出集成电路的思想，正是这个全新的想法引发了电子器件的又一次革命。

事实上，在一块晶体管管芯晶片上，一个晶体管实际占用的真正工作面积是非常小的。因为工艺的限制，晶片无法做得太小，故而有 99% 的晶片面积是被浪费掉了。设想，如果我们将一个大积木模块所具备的功能用一块大晶片来实现，把晶体管、电阻与电容都在这一块晶片上实现，那么晶片的利用率不就变得高了吗？晶片与其被分割成无数效率很低的小块去封装成三极管，然后又让电气工程师们将这些三极管重新根据各种要求连接起来，还不如在一块晶片上都连接好，再作为商品出售，这样使设计变得简单而且体积能大幅度减小，真可谓有百利而无一弊。

梦想能变为现实吗？

梦想成真——集成电路的实现

1958 年，第一块集成电路在美国问世了。

这一回是美国德克萨斯仪器公司（TI）的基尔比，他在申请专利的报告中写到：“本发明的首要目的就是利用一块包含扩散型 PN 结的半导体材料，制备一种新颖的小型电子管电路，在其中，所有电路元件全部集成在这块半导体材料当中。”就像阿姆斯特朗在月球上的第一步一样，人类开始了集成制造的第一步，而集成电路以日新月异的步伐前进还是在 1959 年平面工艺被广泛应用后的事。

那集成电路是怎么样制作出来的呢？人们总是感到很奇怪，几个平方厘米的芯片里怎么能够集成数以万计的晶体管、电阻和电容呢？靠的是什么样的魔法呢？

其实让我们来看看它的原理，就一定会感到所有的一切原来都是那么熟悉。

所有半导体器件在半导体晶片上的实现都有赖于掺杂这个基本概念。关于晶体二极管和三极管的实现核心是制作 PN 结，这可以通过在不同类型的晶片上选用不同元素进行掺杂而完成。这和平面晶体管有很多相似之处。

那电阻呢？考虑电阻的物理概念指的就是材料的导电能力。而半导体最显著的特性就是其导电能力会随着掺入到内部的杂质量的多少发生极为明显的变化，所以只要控制掺入杂质的数量，我们就能得到不同阻值的电阻了。

我们也都熟悉平行板电容器，两块金属板，板的中间充满电介质，再从两块金属板上各引出一个电极，就构成了一个电容器。在集成电路里制作电容的原理与平行板电容器是完全一样的。当然，两面金属板可用两个导电平面来代替，可必需的电介质又从何而来呢？在描述平面晶体管时我们曾提到硅片上有一层很薄的绝缘膜，它能够对集成电路中的硅片起到保护作用，不过在这里，它却正好可以用来充当导电平面之间的电介质。这样，一个电容就制成了，改变电容值可以通过改变导电平面的面积实现，这也就是集成电路内部没有大电容的原因，因为要占用太大面积而显得不经济。

晶体管、电阻、电容是电路实现中最重要也是最主要的元件。现在它们都可以在硅晶片上实现了，那整个电路的实现就不困难了。集成电路要求的工艺精度是很高的。譬如制作一个 30 皮法（1 皮法= 10^{-12} 法拉）的薄膜电容器，中间绝缘薄膜的厚度仅有 0.1 微米。电极的面积也只有 0.07 平方毫米左右。杂质扩散时需要开一扇窗，这扇窗的口径也只有几个微米。这样的要求全有赖于霍尼发明的平面工艺，不能想象没有它这样精细的工作怎么能完成。因此从这个意义上可以毫不夸张地说没有平面工艺就绝不会有集成电路，它是整个电子学发展史上最为重要的一环。

1962 年，世界上出现了第一块集成电路的正式商品，尽管它只集成了 12 只晶体管和电阻，但毕竟标志着又一代电子器件正式登上了电子学舞台，而由此开创的一个时代直到今天还在继续。在继电子管、晶体管之后，集成电路成为电子学殿堂中最光彩照人的角色。

之后没有多久，一股集成电路的研制热潮席卷全世界，集成技术逐渐演变成成为最富竞争意义的专门技术之一。现在，所有国家都充分意识到在集成技术上的领先对各国在国际舞台上扮演的角色起着极为重要的作用。它不仅涉及到单纯的技术，更有管理、基础研究、创造力等多方面的因素，反映着国家的整体科技实力。一个新的学科——研究集成电路制作和应用的科学——集成电子学兴起了。电子学经过半个世纪的发展，又迎来了一个崭新的时代——集成电子学时代。

大规模和超大规模集成电路

前面曾经介绍过 1958 年开始出现的微组件系统，它的出现是基于两条原则：其一是采用微组件使电路尽可能小型化；其二是让一些通用的功能单元电路成为一种标准，像人人都能使用的一块积木，以后便可利用这些标准模块更方便地实现大系统的功能。这两个原则看来和集成电路的原则并没有什么差别。集成电路诞生最初也是用于大量集成各种功能电路，因此当微组件于 60 年代初刚刚获得通用时，集成电路就以非常优惠的价格使前者成为历史中的一现昙花。

在集成电路发展的最初阶段，大量生产的是中小规模集成电路。如果一块集成电路包含 100 ~ 1000 个管子和元件，它就被称为中规模集成电路，数目更少的则称为小规模集成电路。中小规模集成电路涵盖了许多通用电路，尤其是在数字集成电路领域中。这些通用电路积木模块包括计数器、译码器、寄存器、比较器、加法器和乘法器等数十种电路。利用这些模块，再加上存储器，就可以实现所有的各式各样的数字电路。现在已普及到家庭的电脑以及复杂得多的大、中型电子计算机看起来无所不能，其实它们内部就是由数万甚至数十万块通用电路模块完成的，不过品种却不会超过 20 种。因此中小规模集成电路用在一些小系统的设计上更是游刃有余了。直到现在，中小规模集成电路因为它的通用性好而广受欢迎，产量也因此非常之大。

事物总是这样具有两面性，有了这样的优点，就一定会有另外的缺点。中小规模集成电路适用范围广，则它的集成度必然不高。不同电子设备的功能毕竟是各不相同的，不同电路之间相同的部分也必定是很少的，只可能在较小规模的程度上一致。当然，我们可以用这种集成电路去实现一个庞大的系统，但这会导致芯片的数量达到很可观的数字，体积也就不可避免地会膨

胀起来。不幸的是总有一些场合，体积是受到严格限制的。比如用运载火箭携带卫星上天时，为了能把卫星送上预定的轨道，它必须得有足够的推动力使之克服地球的引力达到第一宇宙速度，为此的花费是昂贵的，通常每增加一公斤重量，费用要增加 10 万元左右。火箭和卫星上都大量配置着各式各样的电子设备，如果它们都由小规模集成电路来实现，结局无疑会是灾难性的。

所以绝对有必要去制造集成度更高的集成芯片，尽管它们适用范围会比中小规模的集成电路小很多，重要性却要大得多，尤其在一些军用的高精设备上更起着举足轻重的作用。

1967 年前后，首次出现了大规模集成电路，管子和元件数超过了 1000 个；1970 年很快激增到 10 000 个；到 1975 年时超大规模集成电路问世，这次集成的元件数达到了 10 万，到 80 年代中期，每个硅片上集成的元件数达到了难以想象的 100 万个，现在这个数目增加到了 390 万。不到 30 年的时间，电路器件的集成度提高了几十万倍，这种速度是世界上任何一类其它产品都不能够相提并论的。您还记得 ENIAC 吗？那台人类拥有的第一台电子计算机，它的运算速度为每秒 5 000 次，体积达到 90 立方米，重有 30 吨，耗电量更高达 140 千瓦。到 1976 年出现的运算速度略高于每秒 5000 次的计算机体积仅为前者的三十万分之一，重量仅有一磅，耗电量小到只有 2.5 瓦。这真叫不以大小论英雄。另外一个实例是微机的发展，80 年代初期出现的具有划时代意义的 PC/XT 机为了完成串行通信、并行通信以及对软盘驱动器和硬盘驱动器的工作，一共占用三个输入输出卡槽资源，需要上百块集成电路芯片，其中包括有大量的中小规模片子。现在呢？不再需要占用任何槽口了，所有的功能都由计算机主板上的一块芯片完成，正是它，使大量通用芯片不再成为必需。

当集成电路以令人瞠目结舌的速度往前飞奔时，新的工艺问题出现了，老的原则现在不适用了，过去生产中小规模集成电路的工艺方法如今胜任不了新的工作了。

一块晶片上需要集成 100 万个元件，而晶片的面积却小得可怜，提高集成度的首要问题当然是尽可能地缩小各种元件的面积。可没有想到另外有一个麻烦冒了出来——集成电路的工作电流。在中小规模集成电路中晶体管的数量较少，这使得它能容忍每只管子有较大的工作电流。而谁要是糊涂地把这种思想带到超大规模集成电路中去，那真是一场灾难。假想一块晶片上要集成十万只晶体管，并假设平均每只管子工作电流为 100 微安，这看起来实在是很小的一个数了，但所有晶体管一起工作就太可怕了，电流足足有 10 安培。除非是某些特殊用途的器件，否则在这么大电流下工作实在无法正常起来，何况集成的晶体管数早已不是 10 万的水平了。

怎么办呢？所幸人们还有一种 MOS 晶体管，它在面积和电流的两项重要指标上都比前面讲到的双极型三极管要好得多。MOS 是英文金属氧化物半导体的简称。它的工作核心不再是 PN 结，而是利用电场来控制半导体中运动的截流子从而使 MOS 管也能起到和双极型三极管一样的放大作用。而且在集成电路中 MOS 管的面积可小到 0.0005 平方毫米以下，只有双极型晶体管面积的 1/5，工作电流指标也有了显著改善。众多的好处使 MOS 管成为超大规模集成电路中倍受青睐的角色，MOS 集成电路也成为微电子技术革命中当仁不让的先锋。

另外的许多先进手段开始引入集成电路的设计制造过程。现在用计算机

辅助集成电路的设计已经成为微电子行业里最富有活力的领域，依靠计算机强大的功能，复杂电路的设计和检验才成为一件可能的事。难以想象存在这样的人愿意花费无数的精力和金钱去实际完成一个包含几十万电子元件的电路以验证这个电路的可行性。计算机每一次的革命都是以集成电路的进步为基石的，而最后它又成为促进集成度提高的最有力的工具，它们相辅相成，促成了这个世界的美妙进程。

平面工艺中最重要的一道工序光刻现在也遇到了不可克服的困难。受到光固有的衍射特性的限制，2~3 微米的线宽成为光刻无法突破的极限。为追求更高的精度，60 年代后期又有了一种称为电子束曝光的新工艺，它能在硅片上蚀刻出小于 1 微米线宽的图形。1970 年，以斯皮勒为首的美国科学家又发明了 X 射线工艺，它的分辨率也很高，至少达到与电子束曝光法同一量级。

不断更新的工艺让集成电路有足够的推动力往前发展，所有的电气设备，从卫星到随身听，都变得越来越小巧、精密和可爱，也使所有人的生活变得越来越轻松、方便而丰富多彩。

4. 硅谷：微电子学的故乡

在谈到整个电子学的发展历程中，如果离开“硅谷”这个话题是不可想象的。“硅谷”是个什么样的地方？是充满半导体硅的山谷吗？不是的，在美国的地图上找不到“硅谷”这个地名的。其实，它只是美国西海岸加利福尼亚州旧金山南端一段南北长约 40 公里，宽约 20 公里的夹在两片低矮丘陵之间的狭长地带。这里气候宜人、风景优美，直到 1950 年以前，它还被称为“美国的梅脯之都”。而现在一切都不一样了，木结构的公寓式建筑群一望无际，沿着新兴的高速公路两侧，是崭新的低层工厂，清一色采用青铜色玻璃和黑色塑料。谁也想象不出这儿曾是满园飘香的果地，它不再是梅脯的产地而成为微电子学的故乡。在硅谷占尽风骚、独步天下的数十年时间里，电子学方面的每一件新花样几乎都出自硅谷。

在硅谷里有近万家商行，1/3 以上是电子企业，而代表电子领域最基础也是最先进部分的微电子工业有着举足轻重的地位。这些公司包括有著名的惠普（HP）公司，有已成为昨日黄花的曾在集成工业史中占有重要一席的仙童（FairChild）公司，还有因生产“给电脑一颗奔驰的芯”而蜚声世界的英特尔（Intel）公司，计算机行业的巨人国际商用机器（IBM）公司也在这里设立了一个研究机构，有 2000 名研究人员孤独地在各自的房间专心致志地完善程序编制技术。在这个狭长地带中有 6000 多名博士在工作着，是全美受过高等教育的知识人才最集中的地方，年销售额超过 400 亿美元，是美国最富有的地方之一。

通常都把硅谷的起源定为 1956 年，尽管在此之前这里已经有一些颇具规模的公司譬如惠普，那年具有深远意义的事是威廉·肖克莱决定返回自己的故乡，那是离硅谷很近的帕洛阿托。正是这一年，了不起的肖克莱与巴丁、布拉坦一起因为 9 年前无可争议的最伟大的发明获得了诺贝尔物理学奖。当时，肖克莱还在贝尔实验室工作。贝尔实验室至今仍是世界最著名的电气科学实验室，全世界的贝尔实验室共拥有一万多项专利，并且还在以每天一个的速率增加着，它的设备、资金都具有令所有研究人员羡慕的优势。但这一切仍不足以留住肖克莱，他的父母还生活在故乡，更重要的是他的老师，加州工学院的贝尔曼教授已拥有足够的财力帮助他开办自己的公司。

肖克莱是有更深想法的。他不仅是位理论造诣很深的半导体物理学家，更难得的是他还是一位雄心勃勃的科技企业家。他精明强悍，决心凭借自己的技术才能创下巨大财富，他这种勇往直前的品质是当时无人能及的。那时的无线电工业形势已显示出晶体管工业是最富有希望的工业之一，肖克莱决定开办自己的公司生产晶体管。他从美国东海岸招聘了一些充满活力的青年技术人才，他们为肖克莱的声望所吸引，也为他的理想所感染。糟糕的是还不到一年的时间，他们发现与肖克莱相处起来太困难，于是决定离开肖克莱开办自己的生产厂家。1957 年，人称“肖克莱八杰”的青年人离开了他，有了自己的产业，他们后来都成为硅谷微电子工业的中坚，他们的公司也享誉全世界。而作为旧日领袖的肖克莱却被迫弃工从教，在硅谷附近的著名的斯坦福大学担任教授。八个人的“背叛”行为使当时舆论界深为震惊，谁也没有想到这种事情在今天无数个仿效硅谷建成的电子工业园里成了再司空见惯不过的事情。是肖克莱和他的年轻人们开创了硅谷的作风和传统，这也是把硅谷的创始时间定为肖克莱东迁那一年的原因。

八个人中间的罗伯特·诺伊斯 1957 年就成为仙童半导体公司的老板，另一位戈登·穆尔先也加入了仙童公司。1968 年他们创办了如今人尽皆知的英特尔公司，公司的总裁是穆尔而诺伊斯成了董事会主席。其它的六位也都有了了不起的业绩。仙童半导体公司与众“仙童”们对硅谷随后数十年的发展产生了巨大影响。据说 1969 年在森尼韦尔举行的由半导体关键人物参加的一次会议上，400 名出席者中，未曾在仙童公司工作的只有不足 24 人。70 年代初，有 41 家公司是由仙童公司原雇员创办的。仙童公司独特的地位使它成为美国微电子工业的标志，所以后来日本人准备在仙童处于衰败之际收购它时，激起了美国人的强烈对抗心理，结果终于保住了仙童的美国国籍。

电子学的发展促进了微电子工业的迅速发展，正如本世纪初美国的石油热吸引了无数冒险的开拓者一样，有越来越多的拥有一技之长的电气工程师们涌向硅谷开办自己的公司，生产最有前途的电子产品。一个公司倒闭了，更多的公司冒了出来，激烈的竞争、巨大的需求使硅谷膨胀起来，也极大地促进了美国半导体工业的发展，蓬勃发展的局面确立了美国六七十年代在世界半导体工业领域内的绝对统治地位，60 年代包揽全部世界十大半导体公司，至 70 年代中期，也仅有荷兰、日本各占一席，这是美国半导体工业最辉煌的时候了。

5. 天下纷争

美国人在度过他们在微电子工业领域最辉煌的阶段后，80年代初开始感受到日本人投下的阴影。日本人在60年代中期才开始集成电路的研制，尽管他们曾经有一位著名的物理学家江崎早在1958年就对半导体PN结理论作出过卓越贡献并诞生了一种以他名字命名的二极管。起步的滞后似乎没有给日本带来多糟糕的影响，日本政府在目睹了大量美国造的集成电路涌入后决心给本国的微电子工业以大力支持。战后，日本曾先后制定过五个振兴法规促进电子工业的发展。最初，日本也只是从美国引进一些技术，但日本民族的性格使得他们迅速成长为微电子领域内重要的一员。日本人善于模仿，改进和完善是他们最拿手的绝活。日本汽车工业的繁荣使美国的同行受到沉重打击，而随后就轮到微电子工业了。日本人虽不是很好的发明家，但他们的精于模仿、一丝不苟、严格高效和精益求精的性格使之特别适合于从事这项新兴的工业，因为集成电路最需要的是精密的工艺和严格的管理。日本凭借工艺技术的进步在80年代首次研制成功64K随机存取存储器之后大量的日本公司成长起来。世界四大微电子工业基地除去“硅谷”与美国德克萨斯的“硅平原”外，就是日本九州的“硅岛”，以及从宇都宫到盛岗的东北新干线沿途的“硅路”。1985年，日本半导体工业首次超过美国取得市场领先地位，“硅谷”也面临着严峻的萧条。到90年代，世界10大半导体公司中美国仅剩下3家，而日本的微电子工业却光芒四射，现在还有5家，NEC、东芝、日立、富士通、三菱名列其中。90年代初期，日本人更是辉煌，总共占去6席，而且将三甲尽收囊中。日本人骄傲地宣称，如果在美苏军备竞赛中，他们将半导体器件卖给前苏联而不是美国，那整个对比形势就会颠倒过来。

日本人的成功使美国深受刺激，政府、工业界一片“狼来了”之声。80年代中期，美国半导体工业大滑坡。代表集成技术最高工艺水准的存储器被迫停产。正如每在关键时刻，美国政府都会给予半导体工业以支持一样，这一次政府又不例外的与企业界站在一起，制定了各种发展措施，并一同为维护本国利益与日本进行漫长的贸易谈判。1994年副总统戈尔说：“微电子的领先地位对美国经济的未来是至关重要的。”政府给予的各项优惠以各种方式促进微电子工业的复苏，但要赢回昔日的荣耀还有赖于自身实力。美国人凭借民族富有的创造性使它在90年代中期重又回到榜首位置。我们知道，集成技术的水平体现在工艺的精度上，若是工艺彼此相近，则创造性的设计就成为决定产品成功与否最重要的因素，因为集成电路本来的目的就是要使电路系统简单，大量方便用户使用的芯片的推出，使美国重又赢回了市场的最大占有份额。

谁也没能预料到韩国会成为半导体工业中的第三大国，因为韩国的集成电路工业从1971年才开始起步。在政府的支持和关注下，利用美日鹬蚌相争之际，韩国充分利用国际间的高技术领域联盟来获得最新技术，并且利用半导体工业飞速发展以及更新换代快、产品寿命周期短等特点，跨越了大规模集成电路阶段，直接进入超大规模集成电路生产阶段，仅仅用了12年时间就赶上了美国用28年、日本用23年取得的成就。如今，在存储器的市场占有率上，韩国稳居头把交椅。

西欧的半导体工业起步太晚，在世界10大半导体公司中，只有荷兰飞利浦公司硕果仅存，位列班尾。为弥补与美国的差距，以法国为首提出了复兴

西欧的尤里卡计划。在这项共有 6 个领域投资达 2300 亿法郎的计划中位列第一的就是高速微电子学。

近 10 年来，亚太地区经济持续高速稳定发展，半导体工业也有了长足进步。最初，大国们只是将一些零碎的、次要的工艺安排在诸如台湾、新加坡、马来西亚等地完成，慢慢地，一些核心的技术也开始转移过来，这些地区都开始拥有较为先进的微电子技术。1983 年，亚太地区占全球的市场份额还只有 8%，而十年后就已上升到了 19%。所有的人都毫不怀疑到下个世纪初期亚太地区会成为世界第一大半导体市场。

如果此时在您的家里正有一台电脑，不妨打开看看，十之八九会是这样的情形：微处理器是美国产的，底板是台湾造的，而内存条上清晰写着的是韩国公司的名字，硬盘的侧边上贴着马来西亚的标签。这就是竞争，再也没有那种一统天下唯我独尊的局面了，有的只是共同占有的市场。

6. 我们能行吗

1947年晶体管的发明给世界以巨大震动，由此引发了一场席卷世界的半导体研究热潮，美国、前苏联、日本及西欧走在前头，当这股潮流波及到中国大地后，引起了我国科技界和政府的极大关注。1956年，高瞻远瞩的周总理把迅速发展半导体工业作为紧急措施列在12年科学发展规划当中。当时科研条件还是很简陋的，但老一辈的半导体专家们在一无参考资料二无完整设备的前提下以极大的爱国热忱和严谨的科学态度投入到这项新兴工业中去，终于在1956年11月制成了我国第一批半导体器件：锗合金管。

半导体工业的起点是晶体管，它随后孕育了半导体集成电路的诞生。在基尔比获得发明集成电路专利后的第3年，集成电路正式开始投产。我国著名的半导体专家武尔楨在仔细分析当时的情形后意识到以硅平面工艺为基础的单片集成电路代表着集成电路未来的发展方向，他果断决定将我国半导体研究方向从锗集成电路转向硅平面工艺的研究，这个决定被证明是具有战略意义的。经过众多科技人员的艰苦奋战，1965年4月终于诞生了我国首批硅单片低速集成电路。这个时间与日本相差无几，这表明我国集成电路的研制开端是非常好的。突破性的成功在国内产生了重要的影响，使我国半导体工业迅速上升到了一个新的高度。

当众多的科技人员将视觉令聚到更高的目标时，令人痛心的十年动乱开始了，集成电路事业如同全国其它行业一样深受影响。在低速集成电路研制成功的3年后方始完成中速TTL（晶体管——晶体管逻辑电路）系列产品的设计定型，然后又花了4年时间到1972年才完成高速TTL系列产品的设计定型，而此时“硅谷”里年轻的公司正在以年增长率高达25%的速度前进着。中国在起步甚好的情况下痛失良机，渐渐地落在了世界步伐的后面。

为了赶上国际微电子技术的发展步伐满足我国大规模集成电路的需求。自70年代中期开始我们用了8年的时间，进行3次大规模集成电路会战，取得了不小的突破。我们用国外60年代末期的设备条件实现了世界70年代中后期的水平。尽管如此，我们与当时的世界水平还差着一大截。当我国竭尽全力进行16K存储器的攻关时，国外已经在开发容量达到4M的产品了。要知道，后者的容量整整是前者的250倍，相隔着好几代呀！

什么原因呢？更多的意见倾向于设备陈旧落后是最根本的问题。当科学的春天再次来临，我们终于能够打开国门引进技术的时候，渴望提高技术的厂家竟一哄而上，全国范围内共引进了多达33条生产线。盲目的举动让我国蒙受了巨大的经济损失，大量的生产线至今都没能发挥作用。

经过20多年的磕磕碰碰，总结历次的经验教训，我们终于慢慢摸索出发展我国集成电路的途径。再不迎头赶上后果将不堪设想，没有强大的微电子工业作基石保证，高精尖领域的现有优势就很难再继续维持下去。火箭、卫星、导弹、种种高精设备质量的稳定和性能的提高都有赖于高度发达的微电子工业，这已成为世界的共识。

而目前我们国家的半导体工业仍然令人担忧。1994年所有半导体器件中仅有3%是集成电路，它创造的产值也只占总额的19%，我们的半导体工业实质上是分立器件工业，而其中的绝大部分又是二极管工业。硅三极管的比重由1981年的65.1%锐降到1991年的11.7%。目前国际上的主流集成电路产品包括MOS存储器、MOS微机元件、MOS逻辑电路等我们几乎都还是空白。

许多曾经为我国半导体工业作出过很大贡献的著名企业也纷纷退出了集成电路的竞争。相当长的时间内，很多企业由生产集成电路芯片退到生产晶体管管芯，再退到生产二极管管芯甚至退到代人封装器件的地位。

现在，我们已无路可退了，我们还能行吗？

非常幸运的是，在整个国际半导体市场的不断变化下，我们正处于一个非常有利的形势下，中国丰富的物产资源、廉价的劳动力和广阔的市场吸引着众多的世界著名厂家。1991年，日本 NEC 公司与首都钢铁公司合资生产 4M 的动态存储器，荷兰的菲利普公司在上海与我国合资建成上海菲利普半导体公司。1992年，Motorola 公司在天津建厂，而中国最大的集成电路制造企业无锡的华晶公司先后与德国西门子等多家公司合资生产 MOS 器件。通过合资获得技术，几乎是所有半导体小国得以腾飞的必由之路。目前，这些合资公司已经开始带动我国的微电子工业向良好的方向上发展。

全球集成电路技术发展日新月异，生产规模日渐庞大，竞争更是纷乱激烈，加工基地最早从集成电路的发源地美国转到了日本，日本发展了扩张了，又移到了亚洲的“四小龙”，最近又转向亚洲的几条新小龙。根据这种趋势，只要我国维持良好的经济环境，最终加工基地一定会大量移向中国。一项对世界 1000 家跨国企业的调查表明，有 66% 的美国公司、77% 的日本公司以及 69% 的欧洲公司未来投资的首选目标就是亚太地区，而中国更被列为“第一重点”。在这样大好的机遇下，只要我们坚持打“持久战”，养精蓄锐、广泛学习，制定有效的发展策略并努力付诸实施，就很有可能在下个世纪初达到国际生产技术最先进的水平。

三立体交叉的现代通信网

1. 带你走进通信世界

现代社会是一个通信高度发达的社会，电话、电报、传真为我们提供众多的通信手段，广播、电视随时向我们传递世界各国的新闻，我们处在一个五彩缤纷的信息时代。你想知道电话系统是怎样工作的吗，你想知道卫星是怎样用于通信的吗，那么，请跟我来，让我们一同走进神奇的通信世界。首先，让我们来看一看人类的通信方式已经发生了怎样的改变。

人类离不开信息

什么叫信息？简单说，信息就是消息、情报，就是语言、图像、文字、符号、数据等的总称。人们每时每刻都在参与信息的传递。你说话的时候是在向听者传递信息，写信是在向你的亲友传递信息，你坐下来看电视，这时你成了信息的接收者。现代社会瞬息万变，每一天都会有不同。天气预报、商品信息、股市行情、市场动态等都是信息。依据这些信息，我们才能作出各种决策；失去了对信息的随时掌握，人们将一筹莫展。

从古到今，人类都与信息密切相关，并试图用各种方法传递信息。通信就是人们传递信息的过程。古时候，通信多依靠人力、马匹、信鸽乃至旗语、火光等原始、低效的方式。战争期间，在边境上设有烽火台，一有敌人入侵，戍边的士卒立即燃起烽火报告军情。后来，各代帝王又在官道旁每三十里设一驿站，用来传递公文、命令与军事情报。一旦遇到紧急军情，用快马接力传递，一日之内，情报就能传到千里之外，这是古代最有效、最迅速的通信方式。

在很长一段时间内，人类的通信方式都是很原始的，通信的发展相当迟缓。直到十九世纪，法拉第发现了震惊世界的电磁感应定律，从而使人类对于电的认识发生了重大突破。不久以后，人们又发明了发电机，电的火花开始闪烁在人类社会的各个角落。1844年，第一条有线电报线路开通，标志着电通信的新时代的到来；1866年，第一条横贯大西洋的海底电缆敷设成功，通信走向国际化；1876年，贝尔和沃森发明了电话，“顺风耳”冲破人类的幻想而成为现实。短短的几十年间，人类在通信领域已经跨越了一个时代。电通信在它诞生的初期就充分显示出巨大的威力。一切只不过才刚刚开始，更精彩的还在后面。

1865年麦克斯韦建立了电磁波理论，这是人类科学发展史上又一座不朽的丰碑。随后，赫兹用实验证实了电磁波的存在，到1895年，意大利发明家、年仅21岁的马可尼成功地用无线电波传递了电信号，开辟了无线通信的新天地。本世纪二十年代，无线电广播事业迅速崛起，无线电波终于飞遍了全球。

历史的车轮滚滚向前，通信科学也在一代又一代理论科学家和实验科学家的共同努力下飞速发展。本世纪六十年代，通信卫星的成功发射为人们提供了另一种有效的大容量、远距离通信方式，而七十年代光纤通信理论与实践的发展则描绘了未来通信的更为美妙的前景。与此同时，微电子技术正蓬勃兴起，这无疑是通信技术的又一个强力助推器。

时光之河流入二十世纪八十年代，集成技术仍在发展，通信频带越来越

宽，容量也越来越大，光纤通信进入实用阶段，通信产业已发展成全球瞩目的热点。它与人类息息相关，如同一条条动脉，延伸到世界的每一个角落。通信所带来的经济效益有目共睹，通信作为一个国家支柱产业的地位已不可动摇，通信发展的程度也被视为评价一个国家综合国力的重要指标。通信领域，一系列新的概念也被提出。世界各国为争夺二十一世纪高新科技的发展优势，都在加紧建设综合业务数字网与“信息高速公路”，通信技术的新时代已经来临。

多路通信

在一个通信系统中，通常都要求多对通信能够同时进行。比如，电话网中同时进行的多路通话并不会相互干扰；各家电台同时播音，而每个人都能清楚地收到各自想听的电台的节目，这些是怎样实现的呢？人们是采用各种多路方法来达到目的的。常见的多路通信方式有频分多路和时分多路两种。

电信号都是有一定的频带的，不同频率的信号能够相互区别，频分多路就是将整个信道的可用频带划分为多个互不重叠的部分，在每一部分内传送一路信号，如果每一部分的带宽都大于或等于一路信号的带宽，那么各路信号之间将不会相互干扰。仍以电话为例，语音信号的频率主要是在 20—4kHz 之间，即一路电话大约占用 4k—H 的频带。如果要在同一信道中传输 3 路模拟电话，我们可以让一路信号占用 0—4kHz 的频带，一路占用 4—8kHz，另一路占用 8—12kHz 的频带，这样几路信号经传输到达接收端时，可以把各路信号按频带分开，然后送往相应的电话用户，于是每个电话用户都只听到自己这一路电话的声音。这就是频分多路的原理。把信号加到一定的频带上去的方法叫做调制。

我们还可以采用时分多路的方法。与频分多路方法不同，时分多路使用单一的频率传送信号，但在某一时间间隔内只允许某一路的信号通过信道，其它各路信号都被禁止传送。各路信号的传送先后次序都有严格的规定。当信号到达接收端时，再按照发射端的各路信息在时间上的划分规律，将分散在各时间间隔内传送的同一路信号重新聚合起来，还原成发射端发送的各路信息，最后分送给用户。在时分多路方法中，各路信号在不同的时间段里通过信道，因而也不会相互干扰。由于数字信号是由离散的“0”、“1”序列组成的，处理起来很方便，因此时分多路方法通常应用于数字通信之中。

数字通信时代

“数字”是一个人人都熟悉的概念，这里的“数字”和我们平时所说的数字有一定的联系，但已经是一个不同范畴的概念了。数字是和模拟相对的，所谓模拟信号，就是在时间上、幅度上都连续的信号。例如，我们现在用的普通电话线上的电信号就是模拟信号，它是模仿声音信号的变化而变化的。数字信号是时间、幅度都只能取离散数值的信号。数字通信就是所传送的信息是用数字信号来表示的通信方式。在通信领域，通常采用二进制来表示数字，因为二进制只有“0”和“1”两个基数，最为简单。例如，我们可以用电流“通”的状态表示“1”，用电流“断”表示“0”，或者用电压“高”表示“1”，电压“低”表示“0”。

数字信号并不是只能表示数字的，一切信息，如文字、声音、图像等都可以通过编码用数字信号来表示。例如，英语中有 26 个字母，我们可以用五位二进制数给它们编码，不同的数表示不同的字母。汉字的数目虽然庞大，但也可以用同样的方法进行编码。

图像也可以表示成数字信号。一幅黑白的两色图像，如果我们仔细地观察，就会发现它是由无数密密麻麻的小点组成的。这样的点越细密，图像就越清晰。所以，我们可以把一幅图像划分成许多个小区域，用“1”表示黑点，用“0”表示白点。如果把整幅图从第一行开始，从左到右地逐点排列下来，图像也就用数字信号表示出来了。

把模拟的语音、图像、文字信息转换成数字信号的过程叫数字化。早期的电通信完全是模拟信号的通信，如电话、电报、收音机、电视机等都是模拟装置。后来，人们发现，数字信号有很多模拟信号所不具备的优良特性。它抗干扰能力强、传输距离远、保真度高，而且保密性能好，易于加密。

众所周知，噪声是通信的大敌。电信号在传播过程中会遇到各种各样的噪声和干扰信号，这些噪声会迭加在有用信号上，并和有用信号一起在通信的另一端被接收下来，从而导致接收到的信号失真。特别是在远距离通信的时候，信号在传播过程中被大大地衰减了，到达终点的信号已很微弱，如果此时噪声较强，则很有可能噪声的强度超过了信号本身，真实信号完全被噪声淹没，导致通信的失效。

数字信号的抗干扰能力要比模拟信号强得多。因为数字信号只有“1”和“0”两个信号，在通信的接收端只要分辨出脉冲的“有”、“无”或电压的“高”、“低”两种状态就行了，不像模拟信号那样需要精确区分信号的大小和弱弱的变化细节。即使传输过程中出现一些干扰和噪声，对数字信号来说，还是比较容易分清“1”和“0”两种状态。所以在同样的发射功率条件下，数字通信可以有更远的通信距离。在数字通信中，一旦信号被正确接收并恢复，它与发射端的信号是完全相同的，所以数字信号有很高的保真度。

数字通信的另一优点是电子计算机进入通信领域开辟了道路。由于计算机也是数字式的，所以数字通信的信号处理、存储、交换都可以交给计算机完成，从而促进了通信的自动化，提高了效率。在未来的通信网中，微型计算机将会是数字通信的最普遍的终端。

数字通信还易于保密，一连串的“0”、“1”信号，采用某种方式编码或打乱后再发送出去，非法接收者将很难破解。

可以看到，与模拟通信相比，数字通信的优势是非常明显的。目前，数字通信正在各个领域取代模拟通信的位置，电话网首当其冲，世界各发达国家都计划在本世纪末完成本国电话网的数字化进程。不仅电话，数字化过程也正在通信的各个领域发生，数字移动通信网方兴未艾，数字高清晰度电视和数字式高保真收音机也将逐渐实用化并走进家庭。数字通信的时代已经来临了，在未来的发展中，它必将拥有更为辉煌的岁月！

2. 现代社会最基本的通信手段

1876年，当美国发明家贝尔生产了第一部实用的电话的时候，人们还只不过把它看作一个新奇有趣的小玩意儿。然而一百余年后的今天，全世界已经拥有了八亿多部电话，电话已经成为了现代社会最基本的通信手段。

电话的问世在很大程度上改变了人们生产、生活和工作的方式。以前人们需要历经舟车劳顿、长途跋涉才能够坐到一起交谈或商讨问题，现在有了遍及全球的电话网，一切都不同了。无论交谈双方相隔多远，电话都能把他们连在一起。每时每刻，全世界都有无数人在通过电话交流信息，电话成了生活中最常用的通信工具。但是有谁能想到，电话的发明者竟是一名最初并不懂电学的聋哑学校教师呢？

贝尔的大胆构想

1844年，莫尔斯在华盛顿和巴尔的摩之间建成了第一条电报线路，嘀嘀嗒嗒的电报声开始在地球上响起，电通信的时代由此开始了。不久以后，人们就可以利用电报迅速地传递商品行情、重大新闻以及政府部门的各种命令，电报在社会生活中的作用日益重大。

然而，人类对信息的需求是永无止境的。人们对新事物的追求也永远不会停止。还在电报业方兴未艾的时候，就有人在想：电线能够传送莫尔斯电码，那它为什么不能用来传送人的声音呢？这个人就是年轻的贝尔。

贝尔于1847年出生于苏格兰。他的祖父和父亲都长期从事聋哑人教育，具有渊博的知识，所以贝尔从小受到了非常良好的教育。1870年，年轻的贝尔继承父业，成为一名聋哑学校的教师。从那时起，他就开始构思他心中的电话了。家庭的熏陶与职业的因素，使得贝尔具有丰富的声学知识，但他对电学却所知甚少。困难并没有使贝尔止步不前，怀着满腔的热情，他开始自学电学知识。不久以后，他与年仅18岁的电气技师沃森一见如故，两个年轻人共同开始了研制电话的艰苦历程。

贝尔知道，声音是靠空气振动传播的，不同频率的振动对应着不同的声音，而电线上传送的是电流，如何实现这截然不同的两者之间的联系呢？他们想，如果能够让电流大小的变化跟随声波的振动，电流不就可以传递声音了吗？而要使电流发生变化，根据欧姆定律， $I=U/R$ ，当电压 U 固定的时候，只要改变电阻值 R 就行了。带着这个想法，他们开始试验。在那些日子里，他们整天关在一间拥挤而闷热的小屋子里，夜以继日地设计、实验，再设计、再实验，甚至做梦都想着电话。就这样，两年过去了，他们尝试了无数个方案，终于有一天，当他们再次连接好改装过的机器并开始实验时，沃森忽然在电话的另一头听到贝尔大声呼喊：“沃森，快来呀，我需要你！”原来贝尔不小心把硫酸溅到身上了，正向沃森大声求助。这就是人类通过电话传送的第一句话。两名年轻的发明家欣喜若狂，立刻冲出各自的房间，激动地呼喊着对方的名字，相互拥抱在一起。这是多么令人难忘的一刻啊！历史记下了这个有纪念意义的日子——1875年6月2日。

后来，贝尔又对最初的设计进行了修改，并于1876年2月申请了发明专利，世界上第一台实用的电话机就这样诞生了。

困难的不仅仅是发明

年轻的发明家们满以为人们一定会争相购买电话机，但现实却再一次打击了他们。在费城举行的美国建国 100 周年纪念博览会上，贝尔和沃森表演用电话通话。这是电话机在公众面前的首次露面。开始，他们的电话机被陈列在一个偏僻的角落里，一连几天无人问津。后来，由于巴西王太子的赞赏，电话机才受到重视，被搬到博览会最引人注目的地方，成了重点展览品，受到了普遍的称赞。尽管取得了很大的影响，但人们并没有把电话看作是实用的东西，只不过把它当作新奇有趣的玩具罢了。无论贝尔和沃森如何讲解，谁也不肯相信它真的能够实现远距离通话。这使贝尔深深感到，要使电话被社会普遍接受，必须大张旗鼓地进行宣传。一件新事物在它刚刚诞生的时候总不那么容易为人们所接受，只有通过不断的宣传，才能改变人们的旧观念。于是，贝尔和沃森一边改进电话机，一边在各种可能的场合大力宣传电话的原理和广阔的应用前景。又是两年过去了，1878 年，首次长途电话实验在波士顿和纽约之间进行，两地相距 300 公里。贝尔在纽约，沃森在波士顿，两地同时举办宣传讲演，互相通话，这一次宣传取得了极大的成功，当地报纸以头条新闻报导了这次试验，并评价说，长途通话业务将在不久的将来得到实现。

为了进一步扩大电话的影响，贝尔和沃森在全国不辞辛苦地四处奔走，进行巡回表演。有一段时间由于经费的困难，他们几乎到了山穷水尽的地步。然而两位发明家不懈的努力赢得了许多人的尊敬和援助。就这样，电话逐步地被更多的人所了解，所接受。到电话发明 5 周年的时候，全美已有四万八千部电话投入使用，电话正在北美地区盛行起来。

在发明创造的道路上，人们所遇到的困难远远不止于发明本身。与习惯势力，与陈腐观念的斗争在一代又一代发明家身上重复进行，永不停息。科学的发展也正是这样在斗争中一步步前进的。假如有一天你的发明、创新不被人们所理解、所认可，假如你坚信自己是正确的，那么，朋友，为之斗争吧！

从人工接续到自动交换机

自从世界上第一条长距离的电话线路开通以来，电话系统的技术革新就从未停止过。在程控长途直拨电话日益普及的今天，我们拿起话筒就可以方便地直接拨通世界上任何一处的电话，一切对电话呼叫的识别转接全都通过各级中心机房里的程控交换机来控制。但是，在多年以前，电话系统完全不是这样工作的。

世界上第一部交换机是 1878 年在美国制造的磁石式交换机，它安装在耶鲁大学附近，当时共接了 20 部磁石式电话机。最初的电话系统的中心机房实际上是一个交换台，电话的接续由话务员手工完成。从电影中我们可以看到，老式的电话机都带有一个手柄，当人们要打电话的时候，就转动手柄，交换机上相应的吊牌落下，话务员提起手柄，询问用户要哪部电话，用户回答后，把这部电话的插头插入相应的被叫用户的插孔里。这样，两部电话就接通了。当用户打完电话以后，再由话务员拨下插头，使电路断开。在一个小城市里，接线员知道所有电话用户的正确插孔。如果用户需要呼叫本地以外的电话，

接线员就要通过干线呼叫另一个城市的接线员，由远地的接线员把干线插入被呼叫的电话插孔里，呼叫完成。从上面的叙述中，我们可以看出，早期的电话接续完全由人工操作，是非常麻烦的。也不难想象，随着电话用户数量的增长，接线员和交换台将变得不能适应。

1893年，电话系统的发展取得了一个重大的突破。堪萨斯城的一位名叫史端乔的殡仪馆老板发明了自动电话交换机，使用户可以直接拨叫对方的号码，而不需通过接线员。你一定会奇怪，一个殡仪馆老板怎么会对交换机感兴趣的呢？这里面还有一个有趣的故事呢。一个偶然的的机会，史端乔发现，每当城市中发生了死亡事件，用户打电话给他的殡仪馆时，话务员却总是把电话接到另一家殡仪馆——他的主要竞争对手那里去了，使他失掉了很多笔生意，原来那个话务员是那家殡仪馆老板的妻子。史端乔为此非常恼火，立志要发明一种不要接线员的交换机，并居然获得了成功。

史端乔的交换设备是一种电机设备，它由固定的步进马达和滚动式的铜开关连接器组成。为了配合史端乔式交换机，1896年，美国人爱立克森发明了旋转式电话拨号盘。把这种拨号盘装到电话机上，使电话线路中的直流电流产生断续，从而形成一系列的直流脉冲。例如，一个脉冲表示数字“1”，5个连续的脉冲表示数字“5”。不同个数的脉冲控制交换机上步进马达的动作步数，接通不同号码的电话机，从而建立起呼叫者与被呼叫者之间的连接。

史端乔式交换机开关噪音大、耗电多、速度慢、效率低、机械磨损严重，并需要大量的人工维护。它的中心机房环境非常糟糕，充满了噪音、臭氧、油和电线。在1970年以前，美国一半以上的电话交换机房都仍处于这种状况之下。纵横制交换机的出现使这种情况大为改观。这种交换机使用一个继电器矩阵来实现电话的接续，因而比步进开关要可靠得多。

让计算机控制电话交换业务

相对于步进制交换机，纵横制交换机有了很大的改进，但仍然存在接续时间较长、体积大、不够灵活等弊端。半导体器件和计算机技术的诞生与迅速发展，猛烈冲击着传统的机电式电话交换结构，使之走向电子化。1965年，美国贝尔电话公司(AT&T)经过艰苦的努力首先发明并使用了世界上第一台商用程控交换机NO.1ESS，标志着电话交换从机电时代步入电子时代，程控交换技术也由此产生了。

所谓程控交换技术，就是用计算机来控制电话交换业务。大规模集成电路与超大规模集成电路、专用集成电路的出现，使得电话的交换完全电子化：体积更小，容量更大，交换速度大大提高，工作稳定可靠，维护简便。而计算机的加入，则导致了电话业务的又一场革新。计算机强大的软件控制功能使得交换机可以为用户提供更多的新型服务如缩位拨号、呼叫等待、呼叫传递、转移呼叫、遇忙回叫、热线电话、会议电话等，给用户带来了很大的方便。

下面我们介绍几种程控交换机的新业务：

自动回铃

我们平时打电话常常遇到占线的情况，这时只好放下话筒等一下再拨号。有时候一连拨几次，对方还没说完，真耽误时间。如果你申请了自动回铃功能，那可就方便得多了。遇到占线的情况，只要拨指定的自动回铃代码，

就可以放下话筒了。交换机会自动发出信号，告诉正与别人通话的被叫用户：外面还有电话打进来。对方通话完毕挂机后，交换机将自动让你们双方的电话都振铃，拿起话筒就可以讲话了。

免打扰服务

有时候电话很让人讨厌，它会在你非常不情愿的时候响起来，比如深夜你熟睡时。如果你确实需要不受任何干扰的好好睡一觉，就可以申请免打扰服务。在你要求的时间内，外来的任何呼叫都不会使你的话机振铃，而将自动地转向留言系统或话务台。在你醒来以后，你可以向留言系统或话务台查询这段时间内谁给你打过电话，以及他们的留言。

闹钟服务

电话还可以当闹钟使用，如果你想在第二天早晨某个时候醒来，就可以在头天晚上按规定的程序通知交换机，到时候电话就会准时响铃把你唤醒。这对于外出旅行的人特别方便。

会议电话

有时候，我们不仅想通过电话交谈，还希望能够好几个人在电话里商量一些事情，也就是想在电话里开个会。有了程控交换机，这也就不难做到了。不过，一般的交换机都只能提供三个人的电话会议，如果有更多的人参加会议，那就只能借助于专门的会议电话系统了。

程控交换机所提供的新业务远不止这几种，这里我们就不一一讲解了。下面我们来看看，全世界的电话有八亿多部，为什么它们能够相互通话而不至于乱套呢？这靠的是有组织的全球电话网。

全球电话网

全世界的电话之所以能够相互通话，在于世界上所有的电话都按照一定的方式组织起来，形成了一个严格、有序的电话网络。

首先，世界上任何一部电话必须按照一定的规则予以编号，使每一部电话都拥有一个独一无二的电话号码。一个电话号码通常是由好几部分组成的，我国的电话号码由三部分构成，即国家号、长途区号和本地号码。国家代码是由世界各国、各地区共同召开的国际会议商讨确定的，例如，美国的国家代码是 1，我国的国家代码是 86，香港地区的代码是 852 等等。世界上每一个国家或地区，无论大小，都分配到一个不同长度的代码。如 086—01—5463217 这个号码中，86 是我国的国家代码，01 是北京地区的长途区号，5463217 则是用户在北京地区的唯一号码。我们可以看到，通过这种方式，全世界的任何一部电话都能通过电话号码来区别。

然而，仅仅分配好了号码是不够的，所有这些电话还必须按照一定的层次结构组织成一个合理的系统。

让我们先来看看本地电话网的构成。本地电话网是长途电话网中的一个长途编号区，拥有唯一的长途区号。用户的话机通过用户线连到端局的交换机上，一个本地网中有好几个端局，各个端局通过汇接局联系起来，从而实现本地的电话交换。端局和汇接局还与长途局相连，从而可以与其它的本地图网之间通长途电话。

我国有一千多个长途区号，也就是有一千多个这样的本地电话网，全国设有若干个不同等级的长途交换中心，本地电话网首先与较近的四级交换中

心相连，各四级交换中心又与更大的三级交换中心相连，然后再连到二级、一级交换中心。全国共有八个一级交换中心，分别设在北京、上海、长春、沈阳、武汉、成都等八个大城市。全国的国际电话还要经过这八个一级交换中心与国际局接轨。同样，国际局也是分等级的，共有 CT1、CT2、CT3 三级，通过国际局就可以完成国际间长途电话的交换业务。

未来的电话世界

不管是现在还是将来，电话都是通信的一个重要工具，但是，未来的电话将会与现在大不一样。今天，电话主要是作为一种语音通信的工具被使用。而未来的电话，将把语音和图像的传送结合起来，为用户提供视频服务。据统计，人们接受外界的信息，15%—20%是依靠听觉，而 70%—80%则依靠视觉，人们用眼睛接受到的信息比耳朵要多得多。随着科学技术的发展，生活水平的提高，人们不仅仅满足于听到信息，对图像通信的需求也日益迫切。因此，现代通信系统所传输的内容正由以语音信息为主逐步地变成多种媒体信息，未来电话的一个发展趋势是与图像通信的结合。

活动图像的带宽大约有 6MHz，它的传送属于宽带业务，在普通电话线上一般无法进行。下世纪初，当“光纤到路边，光纤进入家庭”之后，在宽带综合业务数字网 B-ISDN 上，家庭中的图像通信是很容易实现的。但从现在的情况看来，ISDN 网络还远未建成，设备价格仍然非常昂贵，而且还需要数字信道，必须增添相应的设备，其费用是普通用户难以承受的。幸运的是，技术的发展已经为我们找到了一种较为廉价的办法，那就是高速数字用户线（HDSL）技术和不对称数字用户线（ADSL）技术。

随着高速数字信号处理的理论方法和技术的进步，随着超大规模集成电路技术的突飞猛进，我们现在可以通过普通电话线双向传输高速数字信号。也就是高速数字用户线（HDSL）技术。

与 HDSL 技术相比，不对称数字用户线（ADSL）更适用于家庭。任何 ADSL 系统的信道频谱都分成三部分：一条 4kHz 的基本信道，用来传送电话业务；一条窄带的由用户到系统的信道，占用 10kHz—50kHz 之间的频谱；一条宽带的由系统到用户的信道，占用 50kHz 以上的频谱，用来传输视频数据。ADSL 系统不提供双向的高速数据传送，因而频带可以更宽。当线径为 0.5mm 时，ADSL 系统的传输速率可达 6Mb/s 甚至更高，距离可达 3.6 公里。

利用这些新技术，人们将能够享受可视电话、按需电视、远程学习等多种服务。

可视电话早在 60 年代就已出现，也曾一度为热门话题，但可视电话最终没能普及，原因在于它居高不下的费用与受电话线传送带宽的限制。美国 AT & T 公司现已出售码率为 19.2kb/s 的可视电话，并能利用现有的电话线路传送。英国的 Marconi 公司也提供类似的可视电话。这些可在模拟电话线路中传送的图像，质量都较差，方块效应较严重，不能使用户满意。在解决了普通电话线传送宽带信号的问题后，优质的可视电话的通话费用将有可能降到与普通电话差不多的程度，可视电话业务将日渐普及。

按需电视也是非常具有吸引力的视频业务之一。人们不仅希望通过电话线收到更多的节目，更希望能点播节目和自己安排收视时间。在家里，只要拿起话筒，拨一个电话号码，就能够收到你想看的电影或电视节目。这些影视

节目是由影视数据库提供的。

身体不好或有某种残疾的儿童可以通过远程学习在家收看资料库里存储的授课节目。希望在业余时间自学的人们也可从中受益，可以自由地选择学习时间和所学内容。

HDSL 和 ADSL 技术的应用前景十分广阔，如居家银行、居家办公、居家购物、远地医疗诊断等，更多的难以预料的新应用也会不断出现。

未来电话的另一个发展方向是向远程控制、监视、报警等领域渗透，为人们提供多样化的服务。语音识别和语音合成技术的发展，使得未来的电话将能够“听”懂人们说出的指令或代码，代替外出的人们控制洗衣机、电饭煲等家用电器的工作。我们还可以将防盗报警系统与电话相结合，制造出报警电话，用于家庭、办公室、商店等各种场合。技术的发展永远都不会停止，人类的想象力也是无穷的。谁又能预料明天的电话还会有什么更为新颖的用途呢？

3. 覆盖全球的卫星通信

飞向太空的电波

在人类通信的发展历史中，由于人们对通信容量的要求不断增长，通信用的频谱也不断向高频发展。本世纪 40 年代，二次大战中雷达的广泛使用推动了超短波和微波在通信领域的应用。

微波的频率非常高，在 300MHz 以上，它既不能像长波那样沿地表传播，也不能像短波一样利用电离层的反射作用传至远方，而只能沿直线传播。就是这也是有条件的。物理知识告诉我们，各种波在向前传播的过程中遇到障碍物时，只有当障碍物的大小远远小于波长时，波才能顺利地绕过障碍物，继续前进，否则就会被阻拦住。微波的波长不到一米，别说是高山，任何一座建筑物就能挡住它前进的道路。我们也知道，地球表面并不是平面，而是个球面，因此微波只能在地面上互相看得见的最远两点间传播，如图 1 所示。这段视线距离大约为 50 公里。

微波最早是应用于电视系统的。为了把信号传到很远的地方，人们想出了微波中继力的方法，就是在传播途中，每隔几十公里的地方建一个中继站，把上一站的信号

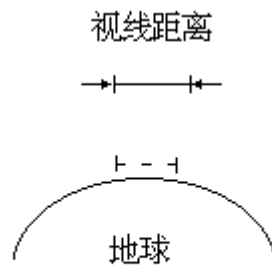


图1 微波传播示意图

接收下来，放大，再向下一站发送。这样电视信号就被一站接一站地传到了远方。但是，这种方法需要建立数目可观的中继站。为了减少中继站的数目，人们千方百计地力图拉大相邻中继站间的距离。为此，人们耗费巨资，纷纷建筑高耸入云的天线塔，以扩大微波的视距传播范围。但是，用建造高塔的方法来加大视距，其效果是非常有限的，建筑物最多只能高到几百米，即使我们把天线塔建在小山顶上，有效的传播距离也难以超过一百公里。

借助于在地面上增高天线高度以实现远距离通信的方法已到了尽头，让我们把思路放得更开阔些来考虑这个问题。微波能够穿过电离层，飞到地球以外的空间去，如果把发射机悬挂在地球以外的高空中，它的作用不就可以像一座很高的发射塔，把信号传得很远吗？这一设想最早是出于英国一位科幻小说家的头脑，二十年后，这一早期的幻想变成了现实，那就是于本世纪六十年代中期崛起的新的通信方式——卫星通信。微波从此飞出地球，奔向太空中那些距地球表面约 36 000 公里的“中转站”——同步通信卫星。

36,000 公里高空的“中转站”

1957 年，苏联把人类第一颗人造地球卫星送入轨道，四个月後，美国的

“探险者1号”也发射上天，空间技术的新纪元开始了。人们开始设想，能不能利用人造卫星作为空中的中继站来传递微波信号呢？

1954年，人类首次利用地球的卫星月球进行通信试验获得成功。人们利用月球作反射体，将电波反射回地球，在地面上用巨大的天线来收集反射电波，加以放大后送给用户。1960年8月，美国发射了“回声1号”人造卫星。这是一个表面镀上铝膜的直径为30米的薄聚酯气球。它像一面反射镜，高悬在空中，将发自地面的微波反射回大地。无论是月球还是“回声1号”，它们都是无源的反射器，只能起反射电波的作用。1962年，美国发射了“电星1号”，这是一颗真正的通信卫星，它能够接收来自地球的信号，加以放大并发射回地球，真正起到了空中中继的作用。

虽然“电星1号”开创了卫星通信的先河，但仍有许多实际问题需要解决。为了使通信稳定可靠，轨道上的通信卫星最好相对于地面是静止不动的，这样地球站就不需要复杂昂贵的跟踪设备，可节约大笔资金。理论计算表明，如果我们将人造地球卫星发射到距地面35860公里高的赤道上空轨道，那么卫星将会与地球同步运转。从地球上看来，这颗卫星就如同一个在我们的头顶上静止不动的“中转站”，这样的通信卫星称为同步通信卫星，也叫静止卫星。

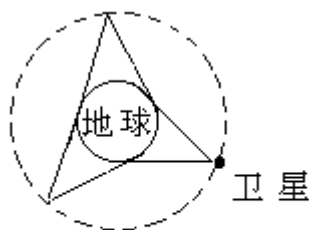


图2 卫星通信传播

同步通信卫星向地面发射电波的波束为17度左右，大约可覆盖三分之一的地球表面。理论上，只需将三颗同步卫星射入赤道上空35860公里高的轨道上，并使它们相互之间间隔120度，那么整个地球，除两极地区以外，都可以收到卫星转发的信号（见图2）。现在的卫星通信系统正是按照这一理论建立起来的。如果在太平洋、大西洋、印度洋的上空各发射一颗同步通信卫星，就可以实现全球通信。太平洋上空的卫星可以覆盖中国和北美洲的西半部以及大洋洲的大部分；印度洋上空的卫星可以覆盖从英国到中国广袤的欧亚大陆和非洲的东半部；大西洋上空的卫星则可以覆盖南美洲、欧洲和北美洲的东半部以及包括非洲在内的广大区域。

从地面上任何一处发射的微波都可以通过一个或两个通信卫星的转播而到达地球上其他任何地方。位于同一颗卫星的覆盖区域内的任何两个地面站都能以那一颗卫星为中转站进行通信。比如，美国和中国之间的通信就可以通过太平洋上空的卫星进行。但是如果两地处于不同卫星的覆盖区内，又该怎样进行通信呢？实际上，各颗卫星的覆盖区不是完全独立的，而存在一定的交叠区域，位于交叠区域内的地面站能够与这两颗卫星通信。如果让这个区域内的某一地面站接收一颗卫星的信号，并转发给另一卫星，就可以实现不同覆盖区间的通信了。例如，将位于南美洲的阿根廷的电视节目转送至中国，就要首先通过大西洋上空的通信卫星将信号转发到英国的卫星地面站，该地面站再通过印度洋上空的卫星，将节目转送至中国。

世界上第一颗同步通信卫星是美国于 1963 年发射的“辛康 1 号”，定位于大西洋上空，标志着卫星通信进入实用阶段。1964 年 10 月，太平洋上空的同步通信卫星“辛康 2 号”破天荒第一次将第十八届奥运会的实况从日本转播到美国，使亿万人民体会到卫星通信的巨大价值。从那以后，卫星通信就迅速发展起来了。

国际卫星通信

在通信发展的历史上，长距离通信一直是人们所期待的。从有线电话到无线短波通信，通信距离从几百公里延伸到几千公里，人类的通信事业日益走向国际化。早在 1866 年，世界上第一条横贯大西洋的海底电缆就已敷设成功。这可以说是最早的国际有线通信线路了。然而，无论是海底电缆还是短波通信，其覆盖范围都无法与卫星通信相比拟。只需三颗同步通信卫星就能实现全球通信，仅从这一点来看，卫星通信就已是实现国际通信最好的方式之一，更何况它的通信容量之大也同样受人青睐。因此，卫星通信从它诞生之日起就与国际通信密切相关。

1964 年，国际通信卫星组织（INTELSAT）成立。1965 年，该组织发射了第一颗国际通信卫星“晨鸟”。从那时开始到现在的三十年间，国际通信卫星已从第一代发展到第七代，国际商业卫星通信组织在赤道上空的同步轨道上拥有 18 颗卫星，分别分布在太平洋、大西洋、印度洋的上空，形成了一个全球卫星通信网。我国于 1977 年正式加入国际卫星组织并参与其工作。

第一代卫星“晨鸟”自重 85 磅，有效带宽为 50 兆赫，只能容纳 240 路电话或 1 路电视节目。国际通信卫星自第四代开始进入成熟阶段，它拥有 12 个带宽为 36 兆赫的转发器，目前最先进的第七代通信卫星则可以同时传送 10 万条双向话路加上四路彩色电视信号。

国际通信卫星的主要业务是国际电话通信，目前三分之二的国际电话都是通过卫星进行的。过去国际电话依靠海底电缆或短波通信，价格昂贵，数量一直不多。在七十年代卫星通信兴起后，费用逐渐降到一般市民都能支付的水平，国际电话数量因此猛增，仅 1980 年美国一国的国际电话就达两亿次。

国际卫星还被用于大量全球性的电视节目转播或广播节目传送。我们收看的奥运会、世界杯足球赛等各类国际体育比赛以及国际会议、国际新闻都是通过国际通信卫星转播的。

除此以外，国际通信卫星组织还将通信卫星的剩余容量租借给各国，用于国内卫星通信。我国现已租用国际通信卫星转发器用于国内通信和中央电视台节目的传送。

与以往的通信方式相比，卫星通信具有许多优良的性能。它的容量大，国际间组网方便，目前已成为最重要的国际通信手段，承担了众多的国际电话、传真、数据通信、广播电视业务。即使在光纤通信异军突起的今天，卫星通信仍然以它独特的优势发挥着不可或缺的作用。卫星通信的机动性强，特别适合于各种临时业务，如奥运会、世界杯足球赛等国际大型活动都通过卫星转播，利用卫星的国际会议电视业务也很普遍。海湾战争中美国利用商用卫星建立了一千多条高速临时信道，在战时信息传送中发挥了重大作用。国际卫星组织的统计表明，卫星传输的故障率明显低于海底光缆。卫星的正

常工作比率平均为 99.9%，而海底光缆只有 97%左右。而且卫星即使遇到故障、一般只需要几分钟的控制、调度，就能恢复工作，而海底光缆平均每三年要中断一次，持续两、三个星期。在此期间，其业务由通信卫星来恢复。自从 1965 年 6 月第一次用卫星线路来恢复海底光缆之后，利用通信卫星来恢复海底光缆已经成为一种正常的处理程序。

卫星通信的巨大成功，使得国际间方便、迅捷、廉价的信息传递成为可能。但是，人们并没有因此而满足，对新的通信方式的追求也从未停止。在卫星通信如日中天的七十年代，古老的光通信以一种新的面目出现在世人面前，在通信学界造成了非凡的轰动与惊喜。

4. 信息时代的真正来临

人们常说，现代社会是一个“信息爆炸”的时代。的确如此，大量的信息、高速的信息流通正是现代社会的基本特征之一。科学家们预测，在未来的岁月中，信息量将会以过去从未有过的速度急剧地、爆炸式地增长。面对这个即将到来的信息时代，人类是否有足够的通信手段来迎接新时代的挑战呢？

电通信面临的困境

从世界上第一条有线电报线路开通到现在，不过一个半世纪的时间，电通信技术的迅猛发展使世界面貌发生了巨大的变化，人类已经远离了闭耳塞聪的年代，大步跨入现代信息社会。一系列的通信设施，同轴电缆、海底电缆、通信卫星、微波中继等人们多年建设的通信系统，正为人类提供全面的信息服务。然而，一个不容忽视的问题已经出现，那就是：随着人类社会的进步，人们的生产和生活日益社会化、国际化，所要传递的信息量也迅速增长，已有的通信设备正变得越来越繁忙，通信线路日益拥挤，现在业已建立和预计能达到的电通信容量，与需要量相比，正日益显示出枯竭的趋势。

首先，有线通信线路容量的扩大依赖于通信线路路数的增加，这必将导致铜、铅、铝等有色金属的更多的耗费。现在全世界通信用铜的消耗量已达几十万吨。按照目前世界每年消耗铜的速度来估算，全世界已探明的铜储量最多只能维持三十年。

其次，电通信发展以来，通信用频率一直在提高。由早期的长波、中波逐渐发展到短波、超短波，以至于微波波段。进入本世纪六十年代后，人们已开始利用微波中的最高频段——毫米波段。

通信卫星的崛起，曾一度给通信领域带来新的希望与活力。卫星通信通信距离远，三颗卫星就可实现全球通信；信道容量大，最先进的同步通信卫星可以同时传送 10 万条双向话路加四路彩色电视节目。但是，这样巨大的容量依然无法满足人类不断增长的信息量要求。卫星通信的最终限制在于，同步轨道上卫星间隔至少大于 3 度，也就是同步卫星的数目不超过 120 颗。现在，赤道上空同步轨道已经分布有八、九十颗通信卫星，国际卫星通信已是人到中年了。

现有通信所面临的另一个问题是干扰。从一开始，人们就与各种电磁干扰作斗争。相邻的通信信道之间会相互干扰。在现在频带狭窄、信道日益拥挤的情况下，这种干扰正越来越严重。我们周围的各种电器和电子装置在工作时会发出各种电脉冲，它们无疑也成为通信的干扰源。此外，自然界的一些现象，如雷雨、太阳黑子活动、下雪等也会对通信造成干扰，例如卫星通信就容易受自然界气候变化的影响。显然，在电通信中，电磁干扰只能尽量减小，是永远无法消灭的。

既然现有的通信系统面临着如此众多的困难。那么，通信技术的未来在哪里呢？在广阔的电磁波频谱图上，一眼望去，我们会发现一片较为空旷的土地，那就是雄居频谱最高端的——光波波段，那里孕育着希望之光——光通信。

激光的出现

人类很早就运用过光华通信手段，烽火台、信号弹等都是原始光通信的例子。电话的发明者贝尔在 1880 年发明了光电话。他试图把声音的变化转换成光束强度的变化，就像在电话中把声音的变化转换成电流的变化一样。他的这个实验是成功的，但无法用到实际中去。因为这种简单的方法是视距通信，通信双方必须相互可见。而且，当时所用的光源是普通光，含有多种频率成分，亮度低，容易发散，因此通信的效果很差。此后很长一段时间，光通信沉寂了。

1958 年，美国科学家查尔斯·汤斯和阿瑟·肖洛发现了一种奇怪的现象：当他们将闪光灯的光照射在某种称作稀土晶体的物体上时，晶体的分子会爆发出集中的、颜色鲜艳的不发散的强光。这就是激光现象。这一惊人的发现马上吸引了科学界的注意。经过短期的研究后，汤斯和肖洛提出了下述激光理论：任何物质的分子都会有一定的频率下振荡发光，当物质受到与此固有振荡频率相同的“能量”刺激时，它们就会发出激光。激光就是物体因受激辐射而发射出放大的强光的简称。两年后，美国学者梅曼成功地制造了世界上第一台红宝石激光器。

激光是一种高纯度的光，它只包含单一频率的光波。我们平时看到的普通光都是由多种频率的光组成的，如太阳光、白炽灯光等。它们所发出的光散向四面八方，不能汇聚成束。激光不同，它的光束是不发散的，即使投射到几公里以外，其光斑也只有茶杯口般大小。它的方向性比最好的探照灯还好一千倍。由于激光的光束异常集中，因此亮度很高。激光所具备的这些优良性能使它成为合适的通信用光源，光通信从此拉开了序幕。

诱人的新技术

70 年代，光纤通信刚刚出现，它所显示出的独特优点就使全世界的通信界欣喜若狂。在它所蕴藏的巨大无比的通信潜力面前，现有的最先进的通信系统都相形见绌。

首先，在通信中，频带的紧张一直困扰着人们，宽频带一直是多年来通信工作者们孜孜以求的目标。高频同轴电缆的带宽小于 1GHz，整个微波波段的带宽也小于 300GHz，而光纤的频带之宽，竟高达 40,000GHz，这与现在的信息流量所要求的带宽相比，几乎可以视为无限。虽然在目前的技术水平下，光纤的带宽只有 1% 能被利用，但预料 15—20 年后将达到 100%。这样的容量，从理论上说，可以同时传送 100 亿对电话或 1000 万套电视节目。全美国现在的电话、广播和电视的容量加起来，一条光导纤维也已足够。

光导纤维作为一种通信导线，其优势也是非常吸引人的。现代工艺水平足以提炼出纯度极纯、透明度极高的一束束细如发丝的光导纤维，它清澈到即使厚达二十多公里都可以一眼看穿，其传输损耗极小。早期的光纤每 10 公里需设一个中继站，现在已经延伸到上千公里才设置中继站，信号仍不致明显减弱。与之相比，铜导线的传输损耗就大得多了，往往不到十公里就得设一个中继站。

光导纤维的原材料是自然界中随处可见的二氧化硅，开采很容易，而且不必担心会消耗光，一公斤的高纯度二氧化硅就能够拉制几千公里的光导纤

维。与之相比，铜不仅存在耗尽的危险，而且开采、冶炼、精炼的过程复杂，价格昂贵，并会排出较多的污染物质。同等长度的同轴电缆与光缆相比，前者的直径是后者的50—250倍，而后者的重量仅为前者的几分之一。光缆体积小，重量轻，敷设容易。它可以与原同轴电缆同孔敷设，能大量节省管道建设费用。在大城市的地下管道设施日益拥挤的今天，这无疑给人们省去了不少的麻烦。

光纤通信的另一个诱人的优点是它的高度可靠性与极好的保密性。过去，无论是有线通信还是无线通信，都不可避免地要受到电磁干扰。光通信的传输线路是由不导电的二氧化硅制成的纤维，无论在什么条件下，都不受任何电磁干扰，也不存在短路或电火花之类的问题，即使将光缆与电力传输电线并行，也丝毫没有问题。激光的传播完全被限制在光纤这个安全的“温室”里，一切自然界的自然变化，也不会产生任何影响。像太阳黑子活动、地磁异常变化、雷雨闪电等一系列曾让通信专家们伤透脑筋的问题，都不再存在了。

以光代电并不仅仅是传输手段和形式上的变化，而且是电信史上的一场深刻的革命。它不仅为电信网提供了几乎无限的带宽资源，而且触发了一系列观念上的重大转变。面对这样广阔的带宽，人们开始以新的眼光来研究通信的方式、方法，以新的思路来考虑通信在未来的应用问题。光纤通信已经给世界电信的面貌带来了巨大的变化，其更为深刻而长远的影响却还在后头。

让我们走向宇宙——空间激光通信

从远古到现在，地球一直是人类生存、成长的摇篮。当历史发展到今天，空间技术的成就足以把宇航员送上月球，地球也不再被视为人类唯一的家园。足不出户的年代早已成为过去，人类正走向整个宇宙。航天飞机的成功飞行，标志着人类进行宇宙开发所必需的交通工具已经有了着落，长期的空间站不久后必定能够建成。那么，在茫茫宇宙中，什么是最合适的通信方式呢？是空间激光通信。

空间激光通信就是在卫星与卫星、空间站与卫星、地球与其它行星、卫星与航天飞机等宇宙空间的两点之间，利用激光进行信息传递的通信技术。前面我们已经讲过，激光束在大气中传播，会受到大气中微粒的吸收或散射。随着传输距离的增大，激光的损耗很大。所以，激光通信并没有在地球表面附近获得广泛的应用。但是，在大气层以外的宇宙空间，由于不再存在吸收和散射等损耗，激光通信将会是用于星际之间、宇宙飞船、航天飞机之间最合适的通信手段。它的通信容量很大、设备体积小重量轻、不受干扰，而且保密性好。

空间激光通信的双方往往是处于运动轨道上的卫星或航天飞机，要在运动的两者之间进行通信，必须对目标进行高精度天线跟踪。激光束的散射角非常小，小至毫弧度级，因此跟踪的精度必须达到微弧度级。可以想得到，这一套跟踪设备是非常复杂的。

随着空间技术的发展，高精度、大容量的空间激光通信将在二十一世纪进入实用阶段。光通信不仅为现代化的高速信息社会铺路，而且也将伴随我们走向遥远的星河，成为茫茫宇宙中人类最亲密的伴侣。

5. 漫游城市与乡村

近年来，在我国的许多城市和乡村，随身携带无线寻呼机和移动电话的人已经越来越多。在各种公共场合，常常能听到“嘀嘀”的铃声，街头巷尾，也每每有人驻立路旁，手持移动电话与他人通话。这一切表明，一种新的通信方式已悄悄地深入到我们的生活中，它就是移动通信。

有线电话是生活中最基本的通信方式，但它固定安装在家中或办公室里，一旦人们离开这些地方，就无法接到其他人打来的电话，常常会耽误了重要的事情。解决这个问题的办法就是移动通信，也就是利用随身携带的无线通信装置，保持与他人的联系。移动通信主要有三种，即无线寻呼、移动电话和无绳电话。

随着经济的发展，商业的繁荣，人们对通信的迅速、有效性的要求也愈来愈高，仅靠有线电话已不能满足人们的需要，于是导致了七十年代以来全世界范围内移动通信业务的迅速成长。

无线寻呼

据统计，在发达国家，大多数电话都因为被叫人离开而未能接通。生活中，我们也经常有找人找不到的时候，这有时会令人很恼火，如果事情相当重要的话。假如被找的人配备了无线寻呼机，那问题就迎刃而解了，只需打一个寻呼电话即可。

无线寻呼系统是一种单向的传输系统，又叫袖珍铃。它的功能是：当有人想要与移动中的无线寻呼用户通电话时，他可以打电话给无线寻呼台，要求呼叫这一用户，并告诉服务台自己的电话号码。然后寻呼台向用户发出信号，使用户随身携带的寻呼机响铃，表示有人寻呼，用户就可按照寻呼机上显示的电话号码回电话与他通话。从上面的介绍可以看出，无线寻呼是一种单向的传输系统，即信号从寻呼台传向用户，不能通话。它的价格比移动电话低得多，在有线电话网建设比较完善的地方，无线寻呼是一种很方便、价廉的移动通信方式。

无线寻呼系统的工作原理是这样的：寻呼台给每一位用户分配一个号码，也就是用户的地址码。寻呼时，由寻呼台向所有用户发出携带有地址码的寻呼信号，用户寻呼机收到信号后，将寻呼地址与自己的地址码相比较，如果一致，则接受信息并响铃通知用户，否则不予理睬。

无线寻呼七十年代才刚刚起步，它的功能虽然不及移动电话那样可以使双方畅所欲言地交谈来得完美，但它却能及时传递信息，而且低廉的价格赢得了众多用户的欢迎，因而发展极为迅速。据统计，截至 1992 年底，日本全国已有 700 多万寻呼机用户。在香港，平均每 5 个人就有一人佩带寻呼机，成为世界上寻呼机密度最高的地区。最近几年，我国无线寻呼业务呈惊人的上升势头。到 1992 年底，全国用户数目一跃达 280 万，而且已普及到全国一千多个大、中城市，目前正以年均 150% 的速度迅速增长。

现在常见的寻呼机有两种。一种是数字显示式，一种是文字显示式。数字显示式寻呼机只能显示数字或字符信息，如电话号码、姓名代码等，用户按一定的规则来理解数字与字符信息的内容。文字显示式寻呼机则能直接传递某种语言的文字信息，使用户一目了然，不必找电话复机。将来，寻呼机

除继续向小型化、轻量化方向发展之外，还将在以下技术方面取得突破性进展：

首先，由于文字显示型寻呼机可以弥补数字显示式寻呼机需要用户复机的不足，语言化的寻呼机将大受欢迎。科学家们正在研制一种只需改变软件即可显示世界上任何两种文字的寻呼机，文字寻呼机是无线寻呼技术的必然发展趋势。

其次，开展直接寻呼方式也是一个发展方向，用户只需连续拨寻呼台号、对方用户寻呼机号码，而无需通过寻呼台话务员操作控制，便能实现对用户寻呼。这种寻呼方式给用户带来了快捷和便利的服务效果。

最初的无线寻呼业务都只限于本地，但是随着无线寻呼业务的日益普及和用户要求的不断提高，寻呼机漫游服务正在开展。以国内为例，1991年广东省率先在全省10个地区完成寻呼业务联网工作，为全省55万寻呼机用户提供跨地区、跨城市的寻呼服务，目前与香港之间的280MHz频道跨域寻呼网络也已准备就绪。1995年在北京、上海等五大城市实现了数字寻呼机联网，开放漫游业务。

寻呼服务已经走向多元化，为用户提供各种信息，如股市行情、天气预报等等。小小的寻呼机已远不止寻呼这么简单了。

蜂窝网移动电话

蜂窝网移动电话俗称大哥大，目前，它已经风靡全球，成为办事快捷、高效的必备工具，成为当代社会的一种时尚。

蜂窝式无线通信是这样一种通信方式：将通信区域划分成一个个相互连接的正六边形，形似蜂窝的小区。每个小区内设一个基站，小区内的移动用户可通过该基站与区内外其他的移动电话用户或固定电话用户通话。当移动用户从一个小区到另一个小区时，基站之间会自动实现交接。这样，移动用户就可以漫游于各小区之间，而通话不会中断。这一概念最初是在1947年由美国(AT&T)贝尔实验室提出的，当时由于受到技术上的限制未能付诸实施。经过一代科学家的努力，到80年代初蜂窝式无线通信技术日趋成熟，才得以正式向公众提供服务。

蜂窝网移动电话划分的小区是六边形的，样子像蜂窝，所以称它为蜂窝网。为什么不采用三角形或四边形小区，而要用六边形呢？实际上，采用六边形小区的划分方法能得到最少的区域个数，也就是需要建设的基地台数目最少。为了防止同频干扰，相邻的无线电区不能使用同一工作频率或频率组，所以六边形划分所需的频率数也是最少的，因而组网方式最经济。

蜂窝网移动通信的网络结构见图3。图中BS代表基站，MS代表移动机，它可以在各区内任意移动，到哪一区就与哪一区的基站直通。MSC是移动交换中心，所有的BS都与它相连，全部呼叫业务都在移动交换中心的控制下进行。当移动机移动时，系统自动测定其位置，并指挥过网控制设备实现越区频道切换。PSTN是公用市内交换网，所有的移动电话可以通过MSC的控制接入公用市话网，再由汇接局进入长途网。

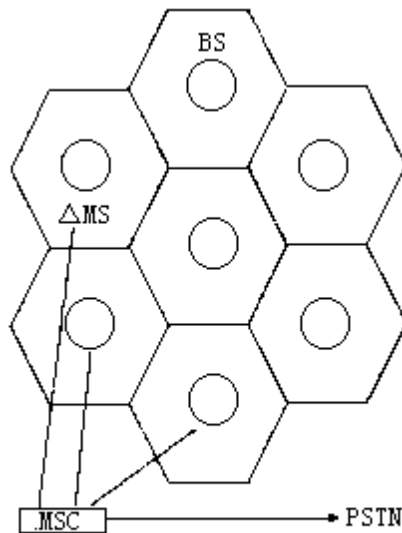


图3 蜂窝移动通信网

现在使用的蜂窝网移动通信系统大多是模拟系统，模拟的移动电话存在着音质差、易受干扰、安全保密性差、频率利用率低等缺点。因此，随着数字通信技术的高速发展，数字式移动电话必将取代大部分模拟式移动电话，这已成为当今移动通信技术发展的主流。1992年7月欧洲率先推出了崭新的数字蜂窝移动电话 GSM 制式，使移动电话可以在整个欧洲漫游。随后，美国及日本也分别制定了各自的数字蜂窝移动电话标准，即 DAMPS 和 JDS 制式。以上这三种都是采用时分多址方式工作的系统。最近，美国又推出了数字空中接口的 CDMA 制式，它是一种码分多址的系统，这种系统由于比前三种制式总体性能更优良而倍受人们注目。目前，对这几种制式的研究和应用都正在进行。

我国从九十年代才开展移动电话业务，前后不过几年时间。在 1991 年全国仅有 3 万多用户，到 1992 年底已猛增到 10 万多，年增长率高达 200%。

目前，数字式移动电话业务已在一些地方迅速开展。将来，移动电话仍会高速发展下去，呈现出模拟式与数字式并存的局面。

第二代无绳电话

第一代模拟无绳电话投入使用已经 10 年了。它取得了很大的成功。它具有一定的移动性，通常是几百米范围内。这个距离是较小的，如果人们去更远的地方，无绳电话就派不上用场了。在移动通信崛起的今天，面对无线寻呼与蜂窝网移动电话的强劲挑战，无绳电话更显得无能为力。蜂窝网移动电话的功能虽很强大，但价格过高，一般人难以承受。

为此，人们对第一代无绳电话作了很大的改进，演变出了第二代无绳电话 CT2。第二代无绳电话与原有方式相比，有两大改进：一是实现了全数字化，二是把座机改成了基站。这是一种低成本的移动通信，适用于大城市的繁华地带。它的费用约为蜂窝移动电话的 25%，功能相当于一部无线的公用电话。它由基站和手持机两部分组成，手机发射功率仅 10mW，覆盖直径约 200 米的区域。在城市中心地带，每隔 200 米装设一个基站，其作用是手持机提供接入公用市话网的无线通道，众多的基站就形成了一个灵活、廉价、方

便的移动通信网。当使用者在街头行走，且速度不超过每小时 8 千米时，可以随时打开手持机，自动接入最近的一个基站并申请一个无线通道开始通话。在家中或办公室里，手持机又可以与座机接通，保证在附近不会漏接电话。

目前，这种系统已经在法国巴黎使用。在巴黎商业区、办公街、交通要道等地区已经安装了 8 000 个这样的基站，用户手持这种仅重 180 克的话机在街头漫步，就可随时与欧洲各地通话。法国电信部门下一步打算在其他 10 个城市安装这种无绳电话系统，以后再扩展到全国各地。第二代无绳电话制式已经得到了世界上 30 多个国家的认可，并由美国电讯、加拿大北方电讯、美国 AT & T 等著名厂商协作制订出国际标准加以推广，可望不久以后几乎所有的工薪阶层都能够用得起这种无线电话。

伴你在世界的任何一个角落

随着信息社会的深入，人们对通信的灵活性要求越来越高。移动通信的迅速崛起，部分地满足了人们的这一要求。近几年来，一种更先进的通信技术正在世界范围内兴起，它就是人类梦寐以求的全球个人通信。

个人通信是信息社会对通信多样化、高需求的产物，即要求在任何时间、任何地点与任何人进行各种业务的通信。个人通信不仅能提供终端的移动性，而且还能提供个人的移动性。它将通信由“服务到家庭”推向“服务到个人”，这一通信方式的新变革将最终摆脱传统通信网对人们的束缚，使通信真正成为个人与个人之间的通信。个人通信以无线寻呼、无绳电话和蜂窝网移动电话等移动通信技术为基础，把移动网与固定网相结合，无线接入与有线通信相结合，快速移动与慢速移动相结合，国内通信与国际通信相结合，建立一个立体的、全方位的全球个人通信网。

个人通信的实现涉及到多种新技术，包括数字蜂窝移动通信、第二代无绳电话和中低轨道移动卫星通信系统。前两种技术属于国内的移动通信，我们已经作过介绍。要真正实现全球范围的个人通信，必不可少的是全球范围的国际通信，这要靠中低轨道移动卫星通信系统来完成。

移动卫星通信技术是移动通信与卫星通信结合的一个新的发展方向，也是常规卫星通信的延伸。常规国际卫星通信通常采用静止卫星技术，也有少量的极轨道卫星。而用于移动通信的卫星系统都借助离地面约 10000 公里高度的中轨道卫星族，或离地面约 1000 公里高的低轨道卫星族，以期得到高效率、低耗费的全球个人通信。

目前，世界上已经有多个这样的移动通信卫星族正在建设中，其中最著名的当属美国摩托罗拉（MOTOROLA）公司设计的“铯”系统。

“铯”是一种元素，它的原子核外围有 77 个电子。摩托罗拉公司开发的这个卫星系统恰好也由 77 颗小型低轨道卫星构成，故称“铯”系统。77 颗卫星分布在 7 个低轨道上，每个轨道上 11 颗星，每一颗卫星只有 2.3×1.2 米大，整个系统造价为 42 亿美元。

“铯”系统的工作原理类似于数字蜂窝系统，每颗卫星的作用就像一座基地台，负责它的点波束照射范围内的个人通信。各卫星之间也相互通信，协同完成呼叫、通话、跨区切换等任务。后来，摩托罗拉公司又将该系统的卫星总数改为 66 颗，同样承担全球卫星通信业务，整个系统预计于 1997 年

投入全面运行。

在 21 世纪初，人们将能够使用一个号码走遍天下进行通信，可以在任何地方使用有线或无线方式、固定或移动方式进网，获取语音、数据、视频等多种通信服务。全球个人通信的实现，必将大大推动信息社会向前发展，使人类在广阔的地球获得一种新的自由。

四 广播与电视

在我们的日常生活中，电视与收音机是必不可少的。我们通过收音机收听国际国内新闻，参与形式多样的节目，欣赏美妙的音乐；我们通过电视了解国家大事，认识知名人士，欣赏文艺节目，观看体育比赛，品味异域的风土人情。广播与电视把我们与世界的每一个角落紧密相连，万里之外的事情就如同发生在身边。它带给我们的决不仅仅是知识与娱乐，更有关于这个世界的观念的深刻变革。

下面，我们就从电磁波的传播说起，深入地了解这个给人们的生活方式与思维带来如此巨大的影响的无形的“空中帝国”。

1. 神秘的电磁波

在人类通信史上，从有线通信到无线通信是一个跃变。这个跃变所以能够实现是因为人们发现和利用了电磁波（特别性能）的缘故。无论是广播电台、还是电视台，都没有传输电信号的导线和你连通，但是你却能接收到电台播出的节目，这是因为由电台或电视台发出的电磁波越过空间静悄悄地钻到你房间里来了。

说到电磁波，有些人可能会感到陌生，其实，电磁波每时每刻都在你的周围伴随着你。但是就因为它既无影又无形，所以我们无法感觉到它的存在。不过，只要你打开收音机听到优美的乐曲，或者打开电视机看到有趣的画面，你马上就会意识到这个“精灵”的存在。自从人类发现、利用电磁波以来，“月宫作客”、“龙宫探宝”就不再是幻想，“千里眼”、“顺风耳”也不再是神话了。无线电通信只是人们利用电磁波的一个方面，但人类利用电磁波和电磁波发展的历史正是从无线电通信开始的。

要想利用自然，就得了解自然。可是隐遁无形的电磁波如七十二变的孙悟空，来去无影踪，想看清它的真实面目，绝非易事。但是事物总是普遍联系的，水波和声波与电磁波一样，同属波的家族，具有波的性质，同时又能看得见，摸得着。让我们先来看看水波和声波，再顺藤摸瓜，就可抓住电磁波这个“精灵”了。

从水波与声波说起

请想象这样一幅画面：夕阳下，池塘边，一棵老树倚其旁，一片枯黄的叶子静静地躺在水面上，没有风，一切都那样安详、宁静。突然，一颗熟透的果子从树上掉下来，“咚”地一声坠入水中，这时你就会发现以果子下落的地方为中心，泛起的水波由里向外逐渐延伸开去，远处的那叶子起初仍是一动不动，随着水波的不断扩散，当水波到了叶子呆的地方时，树叶就随着水波一上一下地波动起来。当叶子到了最高处时，就说它正处在波峰处。同样地，当叶子到了最低处时，就说它正处在波谷处。在一秒钟内落叶处在波峰（谷）的次数就叫水波的频率，就在落叶不断起伏的过程中，被果子激起的波纹也就逐渐地向远处延伸，这就是水波的传播。不过，值得注意的是在水波的传播过程中，落叶并没有向前移动，仅仅是上下振动。这说明了振动可以产生波。波的传播可以借助于水这种物质来实现，但水分子是不会随着波的传播而向前移动的。

同样，声波也是由空气分子的振动引起的，而空气的振动是由于某一物体的振动激起来的，这个物体叫做振源。比如，弹吉它时，琴弦的振动就会引起空气的振动，从而发出声音；唱歌时，声带振动引起空气振动也发出声音。声波与水波不同的只是空气分子并不是呈现上、下部位的振动，而是以振源为中心形成了间隔一定的疏密相同的空气层，交替逐步向外伸展。在物理学上，水波被称做“横波”，而声波则称为“纵波”。不论是水波还是声波，它们的基本性质是一致的。与水波相对应，我们把密的空气层叫做声波的波峰，而将疏的空气层称做波谷。单位时间内空气分子来回振动的次数叫做声波的频率。频率越高，声音就越尖锐。我们人耳能听见的声波的频率为20~20,000周/秒，低于20周/秒的叫次声波，高于20,000周/秒的叫超

声波。

相邻两个波峰（或波谷）之间的距离对某一确定的波来说，是固定不变的。这个固定不变的距离称为波长，即波的长度。

懂得了水波和声波的性质后，就不难理解它们的另一同胞——电磁波了。

前进路上的开拓者

早在 2000 多年前，人类就发现了摩擦生电和磁石吸铁这些原始的电磁现象。但是找到它们之间的联系却花去了 2000 多年的时间。事实就是这样，在攀登科学高峰的途中，到处充满着荆棘。为了一个真理，一个大自然的秘密，有时需要付出几代甚至数十代人的努力，而要把它从实验室请出来，投入社会变成真正的生产力则又不知要付出多少代价。历史上的许多科学家为了追求真理，宁愿露宿街头，甚至贡献自己的生命。不管他们是否为后人留下了丰富的物质财富，单是他们那种孜孜不倦、探求科学真知的无私奉献精神就足够我们世代享用不尽。这里首先值得一提的是近代电磁学的奠基人——法拉第。

迈克尔·法拉第于 1791 年出生于英国一个铁匠家庭。由于家境贫寒，只上过两年小学，12 岁上街卖报，13 岁起在一个订书店里当学徒。他非常热爱学习，也很刻苦，利用在书店当学徒的机会，他阅读了大量书籍，学识逐渐丰富起来。有一天，他弄到了一张演讲的入场券，讲演者是当时著名的大化学家、英国皇家学会会长戴维。他认真地聆听了戴维的演讲，并做了详细的记录。晚上回来，他怀着无比激动的心情，挑起烛光，连夜学习。他认真整理了戴维演讲的记录，并在某些地方加入了自己的见解。后来他把这份记录稿寄给了戴维，并附言表明自己有志从事科研工作。后来几经周折，戴维约见了她，并让他充当实验室的助手。这时法拉第才 22 岁，这期间人们对电的认识正在逐步加深。有一天法国著名物理学家安培给戴维写了一封信。信中提出一个推论：他认为既然静止的电荷能感应出静止的电荷，（当时人们已经知道：当一个带电的金属小球靠近但不接触另一个不带电金属小球时，这个不带电的小球也会带上电），那么运动的电荷形成电流，也应该能感应出运动的电荷。这在逻辑上是很容易理解的，但正确与否还需实验证实。戴维当时兴趣主要在化学上，而对电学并不十分感兴趣，于是就把这个问题交给法拉第解决。法拉第从此便开始“以电生电”的实验和研究了。

1820 年，丹麦科学家奥斯特发现，当导线中有电流通过的时候，附近的磁针会发生偏转，法拉第知道后，就非常认真地重复了这一实验，并做了大量的分析和研究。为进一步搞清电与磁的关系，他认为既然电能生磁，那磁也一定能生电。就是这一念头使他进行了长达十年的艰苦卓绝的反复研究和试验。什么叫持之以恒，什么叫坚韧不拔？法拉第告诉了我们。1831 年，这个铁匠的儿子以极其顽强的意志、刻苦钻研的实践精神，终于发现了磁铁与金属线圈的相对运动是由磁生电的必要条件，随后创造出电磁学历史上第一架感应发电机。这就是日后各种复杂电机的始祖。1837 年和 1852 年他先后引起了电场和磁场的概念，电力线和磁力线的概念，为电磁学的产生打下了坚实的基础。

法拉第经过毕生的努力，终于为人类开创了一个全新的知识领域。由于

对电磁学的巨大贡献，他在晚年获得全世界的敬重。而他坚韧不拔的精神和淳朴无私的人格，使许多人倾倒。与他同时代的法国著名大作家大仲马，曾这样称赞他：“我不知道是否会有一个科学家，能够像法拉第那样，遗留下许多令人惬意的成就，当做赠与后辈的遗产而不自满……他的为人异常质朴，爱慕真理异常热烈；对于各项成就，满怀敬意；别人有所发现，力表钦羨；自己有所得，却十分谦虚；不依赖他人，一往直前的美德。所有这些融合起来，就使这位伟大物理学家的高尚人格，添上一种罕有的魔力。”

就是这样一位成就卓著而又虚怀若谷的伟大的物理学家为我们拉开了电磁学史的序幕。

法拉第为电磁学做出了巨大贡献，但是仅靠他一人是无法推动科学向前发展的。因为现代的科学不能仅满足于丰富的观察和生动的比喻，还应当上升为定量的理论。而这项工作又是由法拉第的学生，伟大的电磁理论家克拉克·麦克斯韦完成的。他凭借自己优秀的数学才能，通过对法拉第实验成果的大量研究和一系列天才般的数学推导，用数学公式把法拉第等人的成果表达了出来。不仅如此，他还根据现实中的矛盾作了两个推广。首先，他指出不仅电荷流动形成的电流能产生磁场，而且在交流电路的电容器中，它的两个极板之间没有电荷流动，但其周围也同样能产生磁场，即变化的电场也能产生磁场，或者说变化的电场具有同导线传导的电流一样的功能，所以他也为它取了一个电流的名字，叫“位移电流”。其次，他认为变化的磁场不仅在导体中能感应出电动势（电压），即使在没有导体的空间也同样感应，也就是说他把法拉第电磁感应定律推广到了无导体的空间，即变化的磁场在任何空间都能产生电场。

这一切的数学形式，就是有名的麦克斯韦方程组。这个方程组不但把两千年来人们在电磁学上的一切成就都概括成了一个统一的电磁理论体系，而且，方程本身还是那样的简练和对称，甚至可以说是那样完美。即使到了今天人们还要为之赞叹，而且很难找到另外的数学物理方程在这点上能与之媲美。

更重要的是，就在解释这组优美的方程组之际，一个更为优美的事物被发现了，这就是电磁波！

变化的电场在它的附近产生变化的磁场，变化的磁场再在它的附近产生变化的电场，变化的电场又在它的附近产生变化的磁场，如此循环，岂不是这交变的电磁场就波动着越走越远了么？于是，麦克斯韦断言：有电磁场辐射存在，这就是电磁波，简称为电波。

麦克斯韦还根据他的方程推导出了电波的速度，其结果与当时测定的光速一致。于是他进一步断言：光就是电波！这个结论在今天看来是这样自然，而在当时却是个划时代的论断。它敲响了唯心主义的“以太”说的丧钟，使电磁理论完全走上了科学的轨道。

神奇的电波就这样推演出来了，它不是首先产生于实验，而是预言。

科学之路多坎坷，在电波科学的征途中也同样充满了艰辛。正如辩证法所指出的那样：人们对客观事物的认识总是先掌握一定的感性认识，并在此基础上建立起一系列理论，即理性认识；而只有与这些理论被证实并应用在社会实践中时，才能体现出它的真正价值。

麦克斯韦的学说正是遭遇了这样的问题：这一完美的理论到底是真理的再现还是虚幻的构想，人们无法肯定。要解决这一问题。只有靠实践，也就

是说必须能够产生电波，并用可靠的方法证明它真的产生了。可是年复一年，人们却一直没有发现电波的踪迹。

世上无难事，只要肯登攀。当事物发展到山穷水尽疑无路时，就会出现柳暗花明又一村的情景。

1887年的一天，杰出的德国青年物理学家海因利希·赫兹在一间暗室里进行了一次现在看来并不复杂的实验，他把两个隔开一个间隙的金属小球接上高压交流电，当劈劈啪啪的电火花产生之后，他开始观察放在另一处的一个金属圆环。这个圆环并没有封口，而是留有一个可以调节的缝隙。当他轻轻转动螺丝，使缝隙越来越小时，一个人们期待了多年的现象发生了：微小但却真切的电火花越过了缝隙！这证明了能量越过了空间，由火花发生器传到了圆环探测器。这就是有史以来第一次有意识地探测到了无线电波存在的情景。

科学真理有其不同的存在形式，科学家发现它的手段也不同。麦克斯韦是一理论家，他预言了电磁波的存在，却不能证明它；赫兹是一个实验物理学家，他虽没有预言到电磁波的存在，但却在前人的基础上，又把人类对电磁波的认识推进了一大步。所以说，理论和实践同等重要，我们绝对不能忽视任何一方面。

赫兹虽然证实了电磁波的存在，但当他的朋友古别尔工程师问到利用电磁波进行通信的可能时，他却令人遗憾地写到：“若要利用电磁波进行无线通信，非有一面和欧洲大陆面积差不多大的巨型反射镜才行”。就这样，赫兹在证明了别人的预言是正确的以后，却对自己的成果下了个荒谬的结论。

但是另一批年轻人又从赫兹手里接过了火炬继续在科学的坎途上攀登。其中28岁的俄国青年教师波波夫，和年方30岁的意大利青年马可尼分别进行了长期艰苦的研究，终于于1895年使无线通信的奇迹降临人间。

1897年马可尼在英国建立了世界上第一家无线电器材公司——英国马可尼公司。1898年，电波已能跨越英吉利海峡。1901年，无线电波发射到了大西洋彼岸。1906年，人类第一次听到了一台无线电接收机里传出的话音和音乐，无线电广播从此诞生！无线电事业也走上了辉煌！

朋友们，当你一口气读完这动人心弦的科学历史的时候，你能不为之感动吗？能不为之献身科学事业的科学家们的精神所鼓舞吗？如今，我们国家正处在电子事业突飞猛进的年代，急需大量的科技人才。那些有志于科学事业的青少年们，请扬起理想的风帆，及早确立人生的航向，要让自己在不久的将来能够成为一个有益于社会的人，一个令世人敬仰的人！

无线电波的世界

知道了电磁波的来历后我们再来看看它是怎样传播的。我们已经知道一根导线中若有电荷在流动，并且迅速不停地变化，导线附近空间的电场就会随着变动；根据“电生磁”的规律，在变动的电场外围一定会产生变动着的磁场；又根据“磁生电”的规律推出，在变动着的磁场周围又会产生新的电场。这样继续不断地发展下去，就形成一种电场和磁场的交替运动，并且一起一伏地向前推进，像波浪一样，这种向四方传播出去的电场和磁场，就是电磁波。可见无线电波是由频率很高（即变化很快）的交流电通进天线（一根导线）而产生的。

在自然界中还有一些波也和无线电波一样属于电磁波。譬如光线就是一种电磁波，不过它不是由高频电流产生，而是由于物体受到灼热而产生的。另外，它的电场和磁场在一秒钟内的变化次数也比无线电波多得多。尽管如此，它们的传播速度却是一样的，这个速度和光速一样，一秒钟能跑 30 万公里（3 亿米），相当于一秒钟绕地球和赤道转七圈半。这种神奇的高速度是无线电波卓越的特性之一。

无线电波（简称电波）的频率很高，至少每秒十万周以上，高的甚至达到几十亿周。

各个无线电台或广播电台所发出的电波，它们的传播速度都是每秒 30 万公里，但它们的频率可以不一样，同一地区的几个电台所发的电波之所以能够互不干扰，就是因为它们的频率各不相同的缘故。每个电台至少有一个专用频率。频率是用来区别各种电波的标志之一。此外，电波还可以用波长来作它的标志。

前面已谈到了频率、波长和传播速度间的关系，因为电波的传播速度是固定的，所以电波频率越高，波长就越短；频率越低，波长就越长。

电波的波长范围很大，波长不同的波性质和用途也不同，所以为方便起见，通常把整个无线电波的波长范围划分为几个波段。

无线广播常用的是中波，中短波和短波三个波段（电视使用超短波），为简便起见，收音机一般只分中波和短波两个波段；中波段规定从 535 千周到 1605 千周，短波段为 2~24 兆周，（1 兆周=100000 周），但最常用的是从 6~18 兆周，有的收音机为了展宽度盘，往往把短波段再分成几个波段，如六波段收音机等。

2. 古老而年轻的帝国

声与电的转换——话筒与扬声器

喜欢唱歌的同学一定唱过卡拉 OK，那么唱卡拉 OK 时你首先要找的是什么呢？是话筒。这是因为有了话筒才能把发出的声音转变成电信号，才能进入卡拉 OK 机进行各种处理。话筒是把声音变成电信号的第一道大门。

话筒也叫微音器。最早的能将振动变为电脉冲的器件就是赖斯发明的接触不良的金属换能器。据说，这种换能器能发送不同频率的单音，但不能发送易懂的语音。发送易懂语音信号的是 1875 年 6 月 3 日贝尔用电磁传声器首先实现的，但是贝尔传声器的灵敏度不够高，不能在电话中使用。此后不久，伯利纳、爱迪生、休斯和其他人的实验，迎来了松接触碳精换能器占统治地位的一个漫长的时代。最早设计出使用碳化硬煤粒的换能器的荣誉属于爱迪生。现在广播中常用的话筒有动圈式、铝带式 and 电容式等几种。

自然界的事物总是有其对立的两方面，有高就有低，有来就有去，有了把声音转变成电信号的元器件，那么又怎样把电信号变回声音呢？这就需要另一种器件——扬声器。大家也许对它感到陌生，但是提到“喇叭”大家一定非常熟悉。其实，不严格地讲，扬声器就是喇叭。

广播中所使用的扬声器大多是动圈式扬声器。历史上动圈式扬声器的发明也经历了一段坎坷。首先西门子揭示了由一个圆形线圈放置在方向一定的磁场内组成的电动机结构。然后，洛奇、普里德姆、詹森等人对悬吊系统作出了贡献。但是在洛奇的发明之后的 27 年里，扬声器没有取得什么进展。

1925 年赖斯和凯洛格在电动式扬声器方面取得了重大突破。电动式扬声器才得以研制成功。

从构造上看，扬声器和话筒非常相似。它也是由一个永久磁铁和一只处在磁铁隙缝里的音圈组成。不过和线圈所连接着的不是薄膜片而是纸盒。扬声器的作用和话筒正好相反，它接受的是音频电流，产生的是声波。话筒利用了“磁生电”的原理，而扬声器则利用了“电生磁”的原理。

扬声器有很多种，其中低音频率比较丰富的，被称为“低音喇叭”。它常用于室内，或收音机、录音机及电视机中。除此之外，还有常用在广场上使用的高音喇叭以及“随身听”上使用的耳塞、耳机等发声器件，它们的基本构造是一样的，只是声音特性有所不同。

广播的老前辈——有线广播

广播的初期形式是结构比较简单的有线广播。由于话筒产生的音频电流是很小的，用这样微弱的电流送进扬声器去，不足以使扬声器发声。为了增强电能，使它有足够的能力来推动扬声器发声。在有线广播系统中，还有另一个主要的电子设备，叫做扩音机或扩大机，也叫功率放大器。它并不直接放大声音，而是把由话筒产生的音频信号放大到足够的程度，再输送给扬声器，使它发出比进入话筒的声波要强得多的宏亮的声音来。

实际上，扩音机所连接的扬声器往往不止一个，而输入到扩音机去的信号，也往往不只是话筒信号，还有收音和拾音信号（放录音时，由录音机产生的信号叫拾音信号）。另外，各级广播站可以连结成一个完整的有线广播

网。各级广播站可以自己组织节目，也可以转播上级广播站送的节目，然后用干线和支线把信号分别输送到它所属范围内的许许多多扬声器，让广大听众都能听到广播。

扩音机是有线广播网里的核心部分，它是一种电子管（或晶体管）放大器，依靠电子三极管（或晶体三极管）的放大作用来增强音频信号。电子三极管是弗雷斯特在1906年10月25日发明的，它是一种电压控制电流器件，像放大镜可以把微小的物体放大一样，它可以把微弱的电信号变成强度较大的电信号。

1947年，晶体三极管问世。它同样具有放大作用，和电子管相比较，它有更多的优点，因此，后来的大部分场合下电子管都被晶体管所代替。

由话筒送来的音频信号，通过话筒线送进扩音机里，经电子管放大后，信号就变得比原来大了。不过，单独一只电子管的放大能力是有限的，所以扩音机里总有很多电子管，组成所谓多级放大器，以便把音频信号逐步地放大，达到应有的强度，最后由扩音机的输出端把信号送出去，经过输送电线分配给各个扬声器，使之发声。

在扩音机里，还有一套非常复杂的电路，它们可以分成许多模块，每一块电路完成一个功能，大家各司其职，互相配合，最后才能顺利完成工作。

有线广播是通过导线来传播节目。乍看起来，有线广播好像不及无线广播。但它仍有自己的独特优点：

第一，有线广播保密性较好，便于播送内部或地区性强的节目。

第二，用有线广播的喇叭来收听节目，不需要收听地点另外供电，喇叭里的电流是由广播站用电线传过来的。

第三，无线广播的收听工具——收音机，构造复杂，价格昂贵；而有线广播则只需一只喇叭，既简单又便宜。

当然，有线广播的局限性也很大。要在各种交通工具上收听电台广播，相隔遥远的城市之间甚至国际间要互相收听广播，就非得采用无线电广播不可了。这时输送节目就不能再依靠电线了，而需要借助于一种不受任何地形限制，能够翻山越岭，跨海涉水的空中传递者——无线电波。这种利用无线电波进行的广播就是现在家喻户晓的无线广播。

漫漫征程——从发射到接收

在有线广播中为了把声音传出去就必须使用导线。毫无疑问，这限制了广播的范围。当人们对无线电波的性质了解之后，便决定让无线电波来完成电线的使命。而这样的广播系统就是我们现在使用的无线广播。

在无线广播中，为了让远方的声音传过来，并被人们听到，就必须解决以下几个难题：

首先，必须能够产生无线电波，并发射出去。

其次，必须使发射出去的无线电波带有所要传送的音频（声音）信号。

另外，当带有音频信号的无线电波到达接收点后，需要将此音频信号从无线电波中取出来，并还原成声音。

这几点是不难理解的。打个比方说，为了让北京的市民吃到武汉生产的大米，就必须把大米运到北京，而大米是不会自己走到北京的，而需要火车这一工具。

火车的开动及大米的装卸都是由人力完成的，而在无线广播中，无线电波的产生，发射及声音信号的装载和取出都是由电子元件组成的电路来完成的。

在第一节中曾指出，高频率的无线电波由高频率的交流电送入发射天线所产生，而高频率的交流电是怎样获得的呢？在无线电技术中，采用一种叫做“振荡器”的电路就能产生高频率交流电，振荡器里有一个“振荡回路”，它是高频电流的发源地。

电振荡和荡秋千很类似。要使静止的秋千开始摆动起来，必须先把它推到一定的高度，从力学上来讲，就是给它一定的势能。振荡回路也需要推动一下，但不是加力，而是加以一定的电能。比如，把电容器的两端暂时和电池接通一下，让它充上电，然后再断开电源，接上线圈，于是振荡就开始了。

秋千荡到最低点时，它绝不会骤然停止，由于惯性作用，它会趁势继续往上摆去，振荡回路也是如此。由于线圈的惯性和积聚的磁能，使电流继续流动，不过是逐渐减少罢了。这样，电容器就按反方向充电，使得原带正电的极片带负电，原带负电的极片反而充上了正电荷。

当线圈里的能量全部返回到电容器以后，回路电流暂时消失。但是因为电容器上已经充上了电，和起始一样，又要放电，回路里重新有了电流，不过方向和原来相反。过程就这样反复着，我们只要用开关给电容器充一次电，回路里就会有连续不断的交流电产生。这个过程就叫电振荡，振荡的频率可以达到很高。

不过，实际上由于振荡回路里存在着电能的损耗，所以电振荡不断减小，振荡幅度越来越小，最后振荡消失，这显然不是我们所需要的。为了得到振幅恒定不变的等幅振荡（等幅高频振荡产生的等幅波就是无线电技术中常说的载波，它在广播及其它一些技术中是非常重要的）。在无线电技术中，人们采用了“放大”和“反馈”两项技术，从而使得振荡器在不借助任何外界的帮助（激励）下，仍能源源不断地产生等幅振荡。把这种振荡从天线上发射出去，就形成了等幅波（又称载波）。

但是仅把载波发射出去，是毫无意义的，就像开着一辆空车一样，为了能把“货物”运出去，就必须把“货物”装上车。在无线电技术上，把音频信号（即要运载的货物）加到载波上的过程称做“调制”。现在我们就着手用音频信号来调制载波。也许有人不禁要问：为啥这么啰嗦呢？我们把音频信号放大后变成无线电波直接发射出去不就可以了吗？这样还可以省去一套振荡器呢？

可是，事实上问题并不那么简单。原因有以下两点：一是音频信号频率太低，根本就发射不出去；二是即使能够发射出去，由于天空中没有轨道，而电波又无孔不入，它们必定会纠缠在一起，互相干扰。湖北广播电台正在播新闻，广东台正在播音乐，而北京文艺台则正在讲评书，大家一起说，就像在公共场所，你说，他也说，那到底听谁的呢？因此，任何电台送到天线去的电流必须满足两点：一是要具有较高的足以发射的频率；二是这个频率是某一电台所独有的，其它电台不能占用。为满足上述要求，人们从交通运输的特点中受到启发，才使用了“调制”这一手段。

送往天线去的电振荡是一种高频交流电，表征它的两个主要参量是振幅和频率。我们可以把所要传递的信号内容表现在电振荡的振幅变化上。也就是让高频电振荡的频率保持不变，但让它的振幅严格一致地按照音频信号来

变化，振幅变化的轨迹叫包络线，它的形状和音频信号完全一致。这样就实现了调制，由于这里载波中被改造的是其幅度，所以也叫“调幅”，（此外，还有调频等其它方式）。

现在，我们已经顺利地让音频信号坐上了高频电波这一高速火车，下面就开始“旅行”！

电波可真是一个优秀的传话员，它不仅非常神速，而且总是悄无声息，绝不居功自傲，四处炫耀。它既不发光，也不出声，总是在我们身边默默无闻地工作。此外，电波的旅行可以不借助于其它任何东西，便能跑到世界任何一个角落，非常灵活，还可以根据自己的波长自动选择不同的传播方式。对于中长波来说，它们可以沿着地面跑，因此又叫地波，当然在传波过程中还要缴一点“养路费”，地面要吸收一部分电波，所以地波总是越传越弱，到远处就可能收不到了。比如湖北省的广播到了北京就听不到了，不过，地波有一个很大的特点就是传播稳定可靠。因此，收音机中的中波广播都很稳定、清晰。

对于波长较短的波，地面对它吸收的厉害，因此它就由陆地改走空中了，即从天空中反射回来，这叫天波。读者或许觉得奇怪；整个天空空空荡荡，哪有什么反射体呢？别急，天空中还真有这么一种天然反射体，这就是距地面大约五、六十公里的高空中的电离层，它像一面大镜子，电波射到电离层后就被反射回来。

当然，电离层在反射电波时，也要吸收电波。吸收作用与波长及昼夜有关。电离层喜欢上夜班，因此白天吸收很强，晚上很弱。我们在收听短波广播时，往往白天只能听到当地几个电台，而夜里却能收到许多远地的电台。这是因为天波白天几乎全被电离层吸收掉了，反射不回来，只有靠地波来传播，所以白天就收不到远地电台了。另外，由于电离层很不稳定，被反射回来的电波也忽强忽弱，所以在听短波时，声音老是忽大忽小，这就是电波的衰落现象。知道了这一点，你就不会冤枉收音机了。

至此，带有音频信号的电波各显其能，已悄无声息的来到了你的周围，等待你把它接收下来，然后你就可以听到丰富多采的节目。

收音机接收了电波，并经过选择器（调谐回路）挑选出有用信号以后，就开始对它进行处理了。别忘了，收音机接收的这种电波是“调幅波”，也就是运载着音频讯号的高频波。这种电波在收音机里感应出来的电流，和发射机里最后送进发射天线去的电流一样，也是调幅过的高频电振荡。于是收音机就得设法从高频电振荡上取下它所运载着的音频信号来，我们可以把高频电振荡（载波）比作邮递员，而代表声音的音频信号就像是所要传递的邮包。因此，要收音机发出声音来，就必须从邮递员身上卸下邮包来。这一技术有一专业名词，叫做“检波”；它和广播电台在发射机里所进行的调幅过程正好相反，因此也可以说，检波就是调幅的逆过程。

检波电路中常用的元件有二极管、电容、电阻等。整个检波电路就像一把大筛子，而高频电流像“细沙”，低频电流像“石子”，经过这把大筛子后，细沙都被滤去，只剩石子了。

经过检波器检波后得到的音频信号，经过放大后送到收音机的扬声器里，就可以发出声音，听到广播节目了。

现在当你坐在收音机旁聆听美妙的音乐时，是不是也明白了无线广播的原理呢？

广播电台面面观

让我们顺着声音信号的变化顺序，首先来看一看广播节目的发源地——播音室。

播音室里最大的特点就是“静”，只有静，才能使播出的声音清晰可辨。因此，播音室在建筑设计上不同于一般的住宅或办公室，而是一种特殊的建筑。首先，它的门又厚又严实，并且是双重的，很不同凡响，这是为了隔绝外界的杂音；同样，播音室不论大小，都没有一扇窗子，这也是为了避免杂音从窗而入。当然，由于无法采光，播音室不论白天晚上都必须开着灯才能工作。

播音室的墙壁也与众不同：四壁毛糙不平，甚至有的还带有许多小孔，这是避免回声用的。如果房屋四面的墙壁很光滑，就会造成回声，或者使声音的尾音拖得很长，这都会使广播变得不清晰。所以播音室四壁要用一定的吸音材料，如毛毡、丝绒、石棉等把声波吸收一部分，当然不能全部吸收掉。

如果把投到墙壁上的回声全部吸收掉，就又会使广播节目的声音变得很干涩。因此，播音室必须设计得准确得当，以获得最清晰悦耳的声音效果。此外，有些播音室的四壁还嵌着一根根半圆形的大柱子。这些柱子既不是建筑结构上的需要，也不是为增加美感。而同样是为改善声音质量而设计的。有了这些半圆形的柱子，可使声波向不同方向扩散，而不反射到屋子中央来。

所有这些关于声音效果上的改进，对不同的节目来说，处理方法也稍有不同。语言播音室一般都是小房间，因为每次在这里播音的人数很少。而音乐播音室则分成大、中、小型几种。例如播送拥有数十人的大型乐队或大合唱的节目时，就要使用大播音室；一个人独奏或独唱时，使用小播音室更合适些。所以在一个广播电台里根据其业务的情况，往往有很多大小不等、要求不同的播音室，以满足各种需要。

播音室内主要的设备是话筒，这是整个广播机器的“入口处”，广播节目就从这儿进入（有些节目，如录音、转播等不从话筒进入）。

除话筒外，室内还有一个播音桌，桌上配有若干开关和信号灯，供与隔壁控制室联络用。

每个播音室或录音室都配备着一个控制室。声波进入话筒变成电信号，沿着电线送到相应的控制室内。控制室的作用是控制和监察这个播音室的信号，包括调节音量、音质、监听播音质量和初步地放大信号等。

话筒产生的电信号，经控制室的调整放大后，就沿电线来到广播电台的另一重要处所，它就是广播电台的总枢纽——中控室。

中控室的任务，同样包含着调整和放大电信号。那么，它和每一间播音室旁边的控制室又有什么不同呢？

前面说过，一个广播电台往往有好几个大小不同的播音室，每个播音室都配有一个控制室。由谁来统一指挥和调度这些控制室，以便让它们按次序有条不紊的工作呢？就是中控室。

从每一间控制室来的信号，都集中送到中控室来。这里备有好几套音频放大器，也叫增音机，用来放大电信号。此外，还有一张大控制桌，这不是一张普通的办公桌，而是布满了许多开关、旋钮、信号灯、测试和监察仪表等技术性设备。那些坐在控制桌前面的技术员，就按预定的计划来调度广

播节目。电台的所有节目都要经过这一关口，不论是直播节目（在播音室里产生，并立刻经小控制室和中控制室送出去）、录音节目（在录音室里进行，把节目录在磁带上，到预定时间再通过控制室把磁带上的节目传出去）、还是收转节目（把其它电台的节目接收下来，然后经过自己的增音机和发射机播出去）、实况转播节目（在演出现场把节目接收下来，用专用电线将信号送到电台控制室，像其他节目一样播送出去），虽然来源不一，但最后都要通过中控室，去进行统一调度和放大，然后送到发射台去。这“无线电波制造厂”——发射台就是广播台的第三大部分。

广播电台的编辑部门和播音室、中控室等都要设在市内，以便于业务的发展。而一般地，它的发射台设在郊外。这主要是因为，如果我们把强电台设在市内收听点集中的地方，市内的收音机就会由于离强力发射台距离太近，使得在整个收音机度盘范围内，都被这一电台“占领”着，根本无法收听其他电台；同时，若发射台设在建筑林立的市内，则其发出的电波损失较大；此外，选择台址还要从战备角度考虑，这些都是大型发射台必须设在郊外的理由。

由于发射台、播音室的控制室等地方不在一起，因此由中控室送出的电信号就要用地下电缆传送到发射台。在发射台上除了有高耸入云的发射塔外，还有一个机房大厅，它里面安置着一台或数台发射机，机房里非常安静，光亮的发射机像柜子一样整齐地排列着。在发射机的正面，有许多电表、开关和旋钮，这都是操纵和监察机器用的；发射机背面和正面可大不相同。在这里，有许多数不清的电子元件，它们共同使得发射机能正常工作。

在机房大厅里，除发射机外，像中控室那样，也有一张控制桌，对于各部发射机的经常性操作和监察，都集中在这张控制桌上进行。

由于发射机的结构和线路很复杂，电信号的情况又变化不定，这很容易使发射机出现故障，所以值班技术人员必不可少，一旦发生故障，他们就必须马上找到故障部位和原因，尽快加以处理恢复。因此，维护发射机正常的高质量运行，是一项严肃而紧张的工作。现在，很多发射台基本上实现了自动化，很多经常性的操作和调整工作均由电脑去完成。这使得播音的高质量和安全可靠得到了保证。

最后我们再来说一说这引人注目的大发射塔，发射塔有的单个直立着，有的在两个或数个铁塔间拉着一根根横线。这又有什么区别呢？原来，单个直立着的铁塔本身就是发射天线，这叫垂直天线；由机房发射机送来的馈线就连到铁塔身上，让它发出无线电波。而那些在中间架着横线的铁塔，本身并不是发射天线，中间架着的横线才是，（这叫水平天线），铁塔不过是用来架线用的；从发射机送来的馈线不应通到铁塔上，而应通到横置的天线上去。天线与铁塔间用绝缘体作电气隔离。一般中波用垂直天线，短波用水平天线。虽然我们看不到什么有形的东西从天线那儿发出，但实际上，它们却源源不断地放射着无形物质——无线电波，并迅速传播出去，让千千万万个收音机获得它的信号，收到广播节目。

费森登的故事

1906年12月24日圣诞节前夕晚上8点钟左右，在新英格兰海岸外，在穿梭来往的船只上，一些听惯了“嘀嘀嗒嗒”莫尔斯电码的报务员们忽地从

耳机中听到了亲切感人的说话声和乐曲——朗读圣经故事和播放亨德尔的唱片，最后并祝大家圣诞快乐。

这就是由在加拿大出生的美国发明家费森登组织播送的人类历史上第一次无线电广播，可以想象当时人们听到这飞越空间的语音时是多么惊异，它不亚于 1945 年 8 月听到第一颗原子弹爆炸或 1969 年 7 月人类第一次登上月球的消息。这次广播虽然只有几秒钟，但它却清楚地告诉人们——无线电广播诞生了！

无线电广播从开创到最后成为人类生活的重要内容之一，经历了一段非常坎坷的历史，其中费森登、德·福雷斯特、萨尔诺夫、阿姆斯特朗等人的名字是不应被遗忘的。

早在 1900 年，当马可尼的无线电报已越过 45 英里的海峡后，费森登就产生了利用无线电波传送语音的念头。1901 年底，无线电波飞跃 3 600 公里的大西洋上空的试验成功后，更激起了费森登对无线电广播的探求热情。自 1902 年起，在富豪的资助下，他在美国马萨诸塞州布兰特岩城建立了专门实验室，孜孜不倦地追求他的理想——将人的声音加到无线电波上去。

费森登日以继夜地花了整整四年时间才完成了他的第一套简易广播发射装置，这就是将人的语音通过话筒转变成音频电流后，加到产生高频振荡电流的振荡电路中去。

但是从话筒里输出出来的音频电流太微弱了。尽管人们对着话筒大喊大叫，经话筒转换输出的音频电流仍相当微弱。这样微弱的音频电流是很难去控制（调制）强大的高频振荡电流的。

费森登的雄心受到了挫折！他的无线电波传送声音的理想被上述难题卡住了，他所拟制的这一套简易无线电广播装置离实用尚有偌大距离，发明家陷入了困境。

科学技术各分支是相互支持、彼此促进的，各个科学家分散地进行的工作从来也不是孤立的。1904 年，佛莱明博士发明了真空二极管，在此基础上，1906~1907 年，德·福雷斯特成功地研制出能放大电信号的第一代电子器件——真空三极管，这给正陷入困境的费森登带来了光明！他将电子管用来放大从话筒输出的微弱的音频电流信号，并且将此放大的音频信号连同振荡电路产生的高频振荡信号一起去控制流过电子管的电流，这就实现了调制过程。

有了电子管，费森登如鱼得水，困扰了他几年的困难顿时迎刃而解，利用它不仅成功地实现了对高频无线电波的调制，而且大大增加了发射机的输出功率，也能在遥远地区把接收到的微弱无线电波加以放大。于是在许多场合，耳机纷纷被扬声器所代替，于是整个空间充满了广播声。

在此基础上，大约在 1916 年前后，英国马可尼无线电公司的年轻服务员萨尔诺夫窥见了无线电广播的广阔发展前景，他向公司提出一项建议：“……要拟制简单的廉价无线电音乐盒（即现在的收音机），要使无线电成为家庭用具。”经过数年的努力，被萨尔诺夫称为“无线电音乐盒”的收音机开始涌入市场。

几乎同时，美国电气工程师阿姆斯特朗悉心研究了一种能降低无线电频率的接收装置——超外差接收装置。1920 年阿姆斯特朗公开发表了超外差接收的研究成果，从而为收音机潮水般地涌入市场创造了最好的前提。由此可见，无线电广播和通信的发展，既有赖于新电子器件的不断涌现和采用，也

依靠新原理的创立，两者彼此结合和相互依存，才谱写出无线电广播兴旺和发展的历史。

经过费森登、萨尔诺夫、阿姆斯特朗等许多人的努力，利用无线电波传输声音的技术日臻完善，无线电广播也由试验阶段逐渐进入实用时期。第一次世界大战结束后，许多国家开始了正式的无线电广播。

1919年英国最早试行无线电广播。1921年英国汽车工业中心匹兹堡的无线电台开始广播正规的无线电节目。1922年8月，无线电台第一次播出商业广告节目。此后商业广告成为无线电广播中必不可少的内容之一。1922年11月，在列宁的倡议和支持下，莫斯科广播电台建成并播送了第一个音乐节目，1923年，德国、荷兰和法国正式播送无线电节目，著名的法国巴黎艾菲尔铁塔改为法国广播电台的天线塔。到二十年代中期，短波无线电广播电台建立起来了。人们可以收听到大海彼岸电台的广播节目，于是全球性广播系统——无形的空中“帝国”开始形成了。

1950年，一种新的广播——调频广播出现了，它是用音频信号去控制发射出去的高频无线电波的频率——使其频率随音频或其他信号的变化而改变，但保持载波的幅度不变。接收时利用鉴相器（调幅利用检波器），将音频信号检出来，并经过扬声器还原成声音。

与调幅广播相比，调频广播的优点是：受大气放电以及电机、汽车等马达的干扰要小得多。邻近电台的相互干扰也减少许多、音质高。现在电视伴音（电视机的声音）就是采用调频方法播送和接收的，我国的大部分省市都已建起了调频广播电台。调频广播的出现更使这个无形的空中“帝国”呈现繁荣昌盛的形势。

二战以后，传统的无线电广播面临着新的广播形式——电视广播的有力挑战。但在新形势下，无线电广播迅速调整了它的节目，转而着重于播放那些电视无法提供或难于提供的节目——像即时的新闻报道，连续24小时的音乐和娱乐节目，以及公共服务节目等。在电视已充分普及的今天，我们可以看到“古老”的无线电广播非但没有销声匿迹，反而维持当年的“帝国”盛况长久不变。

3. 五彩缤纷的电视窗口

激动人心的发明

早在 100 多年前，几乎就在电报发明的同时，电视，作为传播图像的一种电子技术，发明家们就已开始认真考虑了。电视技术在 100 多年的发展过程中，大致经历了四个阶段，分别是：设想阶段、机械扫描阶段、电子扫描阶段和第二次世界大战后的发展阶段。

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。当轮子飞快的转动时，轮上的小孔就把景物分解成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出现了原景物图像。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。但他还是获得了这一项目的专利权，人们称之为机械式扫描装置。

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，接收机里装有解码电路，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进了一大步，它奠定了现代电视摄像和接收的基础。

另外还值得一提的是一种名叫“布劳恩管”的阴极射线管，它是实现电光转换（把电信号转换成图像）的关键器件。1897 年，布劳恩发明了这种带荧光屏的阴极射线管，当电子束撞击荧光屏时，涂在荧光屏上的荧光粉就会发出亮光。安装在布劳恩管外面的线圈可使电子束在互相垂直的两个方向上偏转，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像。

电子成像技术发展到这里，差不多可以说比较成熟了。由于在电子成像技术方面不断有新的成果出现，使得美国在本世纪二十年代末期就能用全电子电视装置进行电视节目试播了。1939 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的弗拉辛草坪上开幕，架设在草坪上的电视摄像机记录了开幕式的实况。中午 12 时 30 分，电视机的荧光屏开始闪闪发亮，它向美国人民宣告，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。

美国第一家正式接收节目的全电子黑白电视机，屏幕大小仅 9 英寸，但它却吸引了千千万万兴高采烈的人们。空前的盛况，使它载入了电子发展的

史册。

第二次世界大战结束后，电视工业开始蓬勃发展。在 30 至 40 年代所取得成就的基础上，英国和美国都出现了电视“爆炸”现象。英国 1948 年生产了 100,000 台电视接收机。美国 1946 年仅生产 6,500 台电视机，1948 年为 97,500 台，1949 年猛增到 300 万台，1950 年又升为 746 万台。同时显像管外壳直径也由 9 英寸，不断加大到 21 英寸甚至 25 英寸。（显像管的大小是以荧光屏对角线的长度衡量的）到七十年代，全世界拥有近三亿台电视机，这就促使电视机价格下跌，从而又导致了电视的进一步普及。

一旦黑白电视机的可靠性、图像质量和价格问题得到解决，电视工业的兴趣就转向了彩色电视。不过，彩色电视的第一次实验演示是在 1928 年。英国发明家贝尔德改进了尼普科盘，使盘上孔径组成三条螺旋线，每条线上有 30 个孔径。三条分别对应红、蓝、绿三种颜色，在接收端的光源有两个气体放电管，一个是水银蒸气管和氢气管，对应绿色和蓝色；另一个是氖管，对应红色。这一装置使他在 1941 年 12 月首次传送彩色图像获得成功。但是现代彩色电视采用的方法和这一装置并不一样。它是在 1929 年贝尔实验室的格雷提出的用单个通道发射二个或更多信号的方法上发展起来的。

30 年代后期，英国的贝尔德和美国的戈德马克都在探索用高分辨率标准顺序发射的方法。第二次世界大战前，美国采用这个方法进行实验广播，1951 年批准正式广播。但由于观众不感兴趣，几个月后就停止了。后来美国国家电视委员会 NTSC 致力于研究与黑白兼容的彩色电视系统。于 1953 年获得成功，从而为全世界彩色电视系统奠定了基础。1954 年美国电视广播开始采用 NTSC 制（电视信号传送的一种标准），1960 年这个体制又为日本所接受。其他一些国家喜欢 NTSC 体制的改进型。一种是改进不大的 PAL 体制，另一种是较大的 SECAM 体制。1967 年，英国和德国开始彩色电视广播，采用 PAL 制，我国现在用的也是 PAL 制。后来，法国和苏联也开始彩色电视广播，采用 SE-CAM 制。到 70 年代，所有国家都从这三种体制中选其一作为自己国家的体制。

我国的电视工业起步较晚，但发展很快，而且在某些方面已取得较大的成就。例如我国陕西咸阳彩色显像管总厂于 1981 年首批正式生产的“彩虹”牌彩色显像管，质量优良，连续试验 12,000 小时仍能保持原有的亮度，分辨率和对比度。这种管子，色纯性能好，启动迅速，真实感强。有关专家认为，“彩虹”牌可与世界名牌“飞利浦”相媲美，美国无线电公司权威人士称赞它比日本和美国的管子还略胜一筹。

电视技术发展到今天，并没有就此止步，而是仍在向高品质、高清晰度、大屏幕方向发展，并且由于电视应用广泛，它不仅用于娱乐，还用于工业和科研方面。因此它也正向着多样化发展。

扫描 传递电视图像的绝招

电视和广播是有所区别的。广播是传播声音的，而电视不仅要传送声音，同时更重要的它还必须传送图像画面，因此电视比广播要复杂得多。

我们生活在一个五彩缤纷的世界里，世界上各种各样的人和物层出不穷，因此等待电视传送的图像画面也是千变万化，不计其数。面对如此纷繁复杂的图像，电视是怎样有条不紊丝毫不差地再现它们呢？

拿一张报纸，仔细观察一下报纸上的某幅照片，你会惊奇的发现：它竟是由一个个小黑点构成的！这些点只是有的黑，有的淡一些而已。如此简单？真是不可思议！其实，你也不必太惊奇，世上很多事情都是这样，尽管它表现出来的现象千变万化，令你摸不着头脑，但是只要我们透过现象看本质，就会发现它千变万变，总是万变不离其宗的。这一幅幅的图像正是说明了这一点。这么一来，所谓复杂的图像一下子变得简单了，不就是一个个亮暗不同的点嘛！不错，有了这一点，传输图像的方法也就有了。在电视技术中，首先就是把要传输的图像采用划整为零的方法分割成一个一个的点，这些点叫做像素点。然后把这些像素点按照一定顺序一个一个变成电信号就可以传输了。这里强调一下，这些像素点之间的顺序是一定要保持的，这就像我们平时读的书一样，书有那么多，不同的书有不同的内容，可是不论什么内容的书，它们都是由 2 000 多个汉字构成的，只是这些汉字之间的排列顺序不同。于是就表达了不同的意思，可见这一顺序的重要性。

那么，在电视系统里，这一顺序又是怎样保持的呢？这个方法就是在上一小节中多次提到的“电视扫描”！电视图像的划整为零的分解和合零为整的合成都是通过扫描来完成的，在图像的发送端，通过扫描将按平面空间分布的像素变换成仅与时间有关的图像电信号（这里与时间有关实际上就是体现了前面提到的像素的顺序性），这个过程就是分解过程，有时称为空——时转换过程。在电视图像的接收端，也就是在电视机里，通过扫描将按时间变化的电信号变换为按平面空间分布的光学图像，这个过程就是合成过程，有时称为时——空变换过程。

扫描的方式很多，如直线式扫描，图形扫描，螺旋扫描等。一般地，在广播电视中，考虑到图像质量和扫描设备简单可靠等因素，都采用单向匀速直线扫描。这种扫描又分为两种：一种是逐行扫描，另一种是隔行扫描。为了压缩信号的带宽，这样有利于信号的传输，广播电视均采用隔行扫描。但逐行扫描易于理解，所以我们先来看看逐行扫描。

当我们读书的时候：翻到一页，然后从左上角开始向右看，一行完后再返回来看第二行直到此页的最底行最右边一个字，最后再看下一页，并重复此过程。其实这就是一种简单的扫描。在这一过程中，眼睛不停地重复着从左到右，再迅速返回；从上到下，再迅速返回的过程。在电视摄像机或电视接收机里也有类似的情形，只不过来回扫描的不是眼睛，而是电子束，那么，这一过程是怎样实现的呢？

上一节中提到过一种叫“布劳恩管”的阴极射线管，它后来演变成现在的电视摄像管和显像管，以显像管为例，它外部装有两组线圈，叫做偏转线圈。线圈中分别流过具有一定波形的电流。我们知道，当线圈中有电流流过时，线圈周围就会产生磁场，而且当电子在磁场中运动时，会受到洛仑兹力并使运动方向改变。所以在线圈环抱的空间内会产生一定方向的磁场，当阴极发出的电子束通过此空间时就受到这些磁场的作用，并改变运动方向。实际上这些磁场的作用就使电子束完成了和眼睛看书时类似的从左到右、从上到下的过程。这些电子束打在荧光屏上，就可以使整个荧光屏发亮。

所谓隔行扫描，就是指电子束第一次先扫描屏幕上的第 1、3、5……奇数行，然后再扫描第 2、4、6……等偶数行，这样把整个屏幕扫描一遍，就需电子束从上到下扫描两次。这两次在电视技术上叫做两场，这样做可以降低信号的带宽，节省频带资源。

另外，在电子扫描过程中其速度是非常快的，一秒钟内电子束扫描 50 场，也就是整个屏幕被刷新 50 次，这样做是为了消除闪烁感。（这与人的视觉惰性有关），同时降低 50Hz 的工频干扰（我们照明用的交流电频率是 50Hz，它会对别的电器产生干扰）。

由于电视的传输过程包括发送和接收两个过程，这二者都用到了扫描的方法，因此，为了保证图像能准确地传输，就必须使发端和收端的扫描顺序完全一致，这种一致性称为扫描同步。如果扫描不同步，就会引起图像的畸变，具体地讲，如果场扫描同步但行扫描频率不相等（行扫描频率指电子束在一秒钟内扫描的行数）时，图像就会左右扭曲，严重时收端的图像将模糊不清；当行扫描同步但场扫描频率不相等（场扫描频率是指电子束在一秒钟内扫描的场数）时，收端的图像就会上下滚动，严重时无法看清图像。因此，保持扫描同步是非常关键的。搞清了电视图像的基本传输手段后再来看看彩色电视机的颜色是怎么回事。

重现一个彩色的世界

大家都知道，彩色电视机比黑白电视机要复杂的多，因而价格也贵得多。那么，它复杂在什么地方呢？电视机里五颜六色的画面又是怎么产生的呢？这就需要知道一点儿色度学的原理。

前面讲过，任何复杂事物的背后都隐藏着简单的本质。自然界的色彩表面上千差万别、纷繁复杂，似乎很难描述，但实际上它们都是由三种基本颜色通过不同比例的混合来表达的，这就是色度学中三基色原理。这三种基色分别是红、绿、蓝，用英文字母 R、G、B 表示。这三种颜色按不同比例混合就能得到其它颜色，如把一份红、一份绿混合就可以得到黄色；一份红和一份蓝就能得到紫；一份绿、一份蓝，再加一点红就得到淡青色；若三种颜色各取一份就可得到白色。

在彩色电视系统里，能再现五颜六色的画面也就是利用了三基色原理。

首先在摄制彩色图像时，采用彩色摄像机，它让彩色景物的光像通过自己的一系列光学系统后进入一分色棱镜。大家知道棱镜可以使太阳光色散，产生彩虹一样美丽的光。这个分色棱镜，可以把景物的光像按颜色分成红、绿、蓝三个光象，然后再把它们变成三种信号经过放大、矫正以及其它的一系列技术处理变成一个彩色全电视信号发射出去。

在彩色电视的接收端，即电视机里，有着类似的相反的过程，在这里，首先把接收到的彩色电视信号经过电路处理，变成视频信号，再经过一系列复杂的电路就可还原出三路电信号，分别携带着红、绿、蓝三种颜色。另外，彩色电视机的彩色显像管不同于黑白显像管，它里面有三个可以发射电子束的阴极，从前边送来的红、绿、蓝三种电信号分别加到这三个阴极上，并产生三束互不相关的电子束去轰击荧光屏发光。这个荧光屏也不同于一般，当彩色电视机工作的时候，你靠近荧光屏仔细地看，可以发现屏上涂有从左到右循环排列的红、绿、蓝三基色条状荧光粉。这三种荧光粉被电子轰击后可以发出红、绿、蓝三种不同的光。这样红色电信号控制的电子束只轰击红色荧光粉，使其发红光；绿色电信号控制的电子束只轰击绿色荧光粉，使其发绿光。如此类推，原来景物的三种颜色分量就可以分别再现，利用人眼对彩色分辨力较低的特点，进行空间混色。于是便显示出了原来的彩色。这就是

彩色电视机产生彩色的原理。

漫游电视台

现在我们已达成这样一个共识：由摄像、传输和显像三个环节，就构成了一个完整的电视系统。由于电视在不同的场合有不同的用途，因此每个环节都有各自的特点与要求。就总体来说，广播电视最为典型，最有代表性，技术要求也比较高。所谓广播电视，通俗地讲，就是指我们平常可以收看的这类电视节目，它们是由电视台发射出来的。

电视广播的全过程，可分为发送和接收两大部分。发送部分又包括制作电视节目的中心台、发射电视节目的发射机以及连接各部分节目的传送电缆三部分。

首先来看一看制作电视节目的中心台，它又叫播控设备，是电视台的心脏。它包括很多信号源和设备，主要有图像信号源、脉冲信号源、监测设备、视音频切换设备、记录设备、声音与灯光设备等。而中心台的所有这些设备和信号源又都是由切换设备连接成为一张完整的大网。可以说视频切换设备是其核心构件。

图像信号源设备包括电视摄像机，电视电影放映机、电视幻灯机、磁带录像机、卫星电视地面接收机、城市间交换节目设备以及测试信号发生器等。其中，电视摄像机、幻灯机和电视电影机这三种设备每一种都有好多台，例如摄像机通常有三至五台。这是为了方便导演选取各种景象，使得节目编制更加顺利、迅速。通常，电视摄像机是为了在演播室直接录制节目而准备的。像中央电视台的“12演播室”节目，以及各种新闻、气象报导、东方时空、焦点访谈等需要室内制作的节目都要用到它。

对电视电影放映机，大家一定知道它们的用处。现在电视里播放最多的可以说就是电视连续剧了。这一部部的电视剧可不是在电视台里现场拍摄的，而是和电影一样要到外地或专门的电视剧制作中心拍摄，而后到电视台播放。这时电视电影放映机就派上用场了。当然它还可以用来放电影；电视幻灯机则主要在电视教学节目中使用。

另外，这三种信号源都有自己的图像监视和波形监视。这主要是由监测设备来完成的。监测设备主要包括两部分：（1）示波器，我们在中学物理电学实验中有时会用到它，主要用来显示各种电信号波形，这里就是用来监测电视信号波形的；（2）监视器，它和示波器不一样，它就像一台小电视机，将要播出的节目在它上面可以直接看到。利用它，人们可以通过眼睛来判断图像的好坏。如果图像质量不好，就应该马上查找原因，解除故障，否则用户在家里接收到的电视图像就很模糊，影响收看效果。此外，利用测试信号发生器的各种信号，来监测和校验有关设备的质量。例如，中央电视台在每次节目开播以前都首先播放国家标准彩色测试图，它里面有方格信号、彩色信号、亮度信号等等。这都是由测试信号发生器产生的。专业人员根据它就可以判断出一台电视机质量的好坏。

除上面讲到的几种图像信号源外，一般的电视台都还配有城市内的现场电视转播设备，（如电视转播车等）、各城市间的微波中端设备以及卫星电视广播地面接收设备等。

以上这些图像信号源产生的图像信号经过必要的技术处理后都纷纷送到

视频切换机中，由视频切换机来决定在什么时候播放哪一路图像信号，即什么样的电视内容，视频切换设备在整个播控设备中占据着举足轻重的地位。它不仅能在某一时刻选取其中所需的一路信号传送，而且它对于提高信息显示效果和节目的艺术效果也是必需的。例如，在图像全景中嵌入某一局部的特写镜头；或给播音员配置适当的外景等，以及导演节目预选，信号特技处理和字幕叠加等，形成一路综合的彩色全电视信号送至发射机，视频切换设备带来了极大的方便。视频切换设备的另一大特长就是它可以实现电视节目必须的慢切换和特技效果。

慢切换是以慢变的方式使屏幕上的一个画面被另一个画面所取代。慢切换又分类两种，一种是淡出——淡入切换，它是指在切换过程中，A 路信号幅度由最大逐渐变小至零；与此同时，B 路信号幅度则由零逐渐增至最大。在屏幕上表现为一个画面由最强逐渐变淡而消失，另一画面同时呈现而至最强；另一种是化出——化入切换，它是指 A 路信号幅度由最大逐渐变小至零，然后 B 路信号幅度才由零逐渐增至最大。在屏幕上表现为一个画面由最强逐渐变淡直至消失后，另一画面才开始出现并逐渐增至最强，这两种技术在 MTV 节目的拍摄中经常用到，细心的观众肯定早就发现了这一点。

特技技术是增强电视节目艺术效果的一个重要手段，它能使一路电视信号以某种特定的方式逐渐取代另一路电视信号或与另一路电视信号并存，在屏幕上表现为一个画面从不同位置以不同图案和移动方向来逐渐取代另一画面或并存于另一画面之中。这些特技技术在电视节目的片头或片尾以及广告中经常使用，以便来增强节目的趣味性，提高收视效果。

视频切换设备还有一路信号输出端，经过一系列处理后的待播信号都要从这里输出，一般地电视节目信号到这里后就可以被调制在射频载波上，（这和前面讲的广播原理一样），通过天线以高频电磁波方式播出去，以使用户接收。但有的节目还不行，比如说一些现场采访的节目，像“东方时空”里的节目，由于被采访人讲话时用的是本地方言，而不是普通话，为了让观众能听懂他们在讲什么，就有必要把他们讲的话换成字幕在画面的下边显示出来，而这些字幕不是在一开始就有的，而是在视频切换设备输出图像信号后，再在此基础上，进行字幕叠加，然后才能像别的节目一样被调制成高频信号，通过天线发射出去被用户接收。

广播电视的最后部分就是发送电视节目的发射机及发射天线，它们的作用就是将视频彩色全电视信号和伴音信号（电视的声音）调制在射频载波上，通过天线发射出去给用户的电视机接收。

电视发射机有两种组成方式，一种是由图像发射机和伴音发射机组成。称为双通道电视发射机；另一种是图像与伴音共用一部发射机，称为单通道发射机。双通道发射机在变频功率放大器之后，采用了双工器，减少了高频损耗，提高了传输质量。单通道发射机在图像、伴音中频调制混合后，在一个射频通道中工作，所以设备较简单。由于二者各有所长，因此都得到了较广泛的应用。

在整个广播电视系统中，有一个幕后工作者我们一直没提起，那就是彩色电视同步机，它为整个系统中的各个设备的稳定工作提供了很多种同步信号，这些同步信号就像是一个时间表，整个广播电视系统按这个时间表就能有条不紊的工作，若没有这个出色的总指挥，整个系统就乱了阵脚，无法正常工作了。

4. 欣欣向荣的视听家族

电子技术的迅猛发展使得广播和电视逐步发展成两门独立的分支。然而事物的发展总是合久必分，分久必合的，由广播为首的音响世界在 90 年代开始和电视家族共谋出路。这一共同的求生之道就是日渐成熟的数字技术。

实际上 80 年代音乐发展的中心是 AV（视听）中心。过去我们用“声图并茂”来形容一些视听器件的效果，在 AV 时代就应当用“音、像交融”来要求了。更高的要求促使电声、电视技术发展到了一个崭新时代，与前些年相比，90 年代的 AV 中心则是花团锦簇、五彩缤纷。

在电声产品方面，由于数字技术的成功运用，数字音响电路在音响界引起的革命不亚于视频界彩色电视机迅速取代黑白电视机所带来的巨大影响。

CD 唱机

1977 年底，日本 Teak，Mitsubishi 和 Tokio Denki 公司联袂展出第一部激光唱机。1979 年，飞利浦公司和日本索尼公司共同开发数字激光音频唱片（又称 CD），这一合作的结果使数字激光音频唱机于 1982 年 10 月 31 日问世。CD 采用了目前最先进的四项电子技术：大规模 IC 技术，微机和电脑控制技术，数字信号处理技术，激光高密度记录和重放技术。因此 CD 唱机所具有的小型化、多功能、高音质、高品质以及越来越低的价格使得 CD 如潮水般涌入消费市场而大步进入家庭，成为当代音响新技术的主流。

DAT

1894 年波尔森发明磁带录音机。1967 年日本 NHK 技术研究所研制出数字记录方式的新技术。1977 年 9 月，索尼公司实用的数字录音机第一次投放市场。1983 年 6 月，由日本、欧美 14 家公司发起成立一个研讨数字音频磁带录音机标准化工作的组织——“DAT 座谈会”，以数字音频磁带录音机（DAT）的标准化为目的进行了讨论。1986 年 4 月，在美国全国广播工作者协会上，索尼公司展示出第一台旋转磁头家用数字录音机工作样机。DAT 采用电子编辑取代以往模拟磁带录音机上的剪接和复接，具有精度高、无复制损失、无磁滞消耗的优点，它的频率范围和记录时间均优于 CD，能毫无逊色地拷贝 CD 唱片的节目。在 DAT 的标准中，提供可与卫星广播兼容的方式，并可按照产品的用途，考虑到今后技术的发展加以选择。

DCC

CD 和 DAT 可以说是 80 年代数字音频设备中的双胞胎；90 年代则由 DCC（数字压缩磁带）和 MD（微型唱片）扮演重要角色。

前面提到 DAT 可以毫无损失的拷贝 CD 唱片的节目，所有的复制品的音响效果和原版唱片几乎一般无二。这本是 DAT 的一大优点，可是，这一优点为大量的盗版提供了方便之门，使得很多音乐制作公司的版权受到了严重的侵犯，这引起了很多厂家的强烈抗议，这极大的影响了 DAT 的销售市场，致使 DAT 前景暗淡。当初提倡发展 DAT 的两大厂家（索尼和飞利浦公司）见势不

好便分道扬镳，另觅出路。于是索尼公司自 1986 年起就着手研究 MD（小型激光唱片系统），其着眼点在于开发出一个既有微型磁带多用性特点又有 CD 使用便利、性能优异的新制式音响产品。MD 样机在一年两度的 CES 世界消费类电子产品展览中的亮相令众人刮目相看。1991 年 5 月 15 日，索尼公司在东京正式向世界宣布了 MD 开发成功的消息。它不但可以放音，还可以录音、抹音。录放时间可达 74 分钟，可用于便携式和汽车音响。

飞利浦公司则把 1963 年他们发明的盒式磁带系统改成数字式盒式磁带录音系统 DCC。飞利浦公司于 1991 年 1 月 9 日在美国拉斯维加斯的一次新闻发布会上宣布，飞利浦公司研制的“数字小型盒式磁带录音系统”将于 1992 年推向市场。DCC 是数字音响技术与传统的模拟小型盒带（也就是现在最普通的磁带）技术（ACC）相结合的产物，它的最大优点是当与当今普及率最高的传统的小型盒带技术兼容，在 DCC 机上，既可录放 DCC 带，也可录放 ACC 带。

MD 和 DCC 均属于数字音频产品，它们各具特色、各有千秋。它们将成为 90 年代的音响主流，预计迟早会有一番轰动出现。

音响界争奇斗艳，视频界也不甘示弱，高清晰度电视，有线电视、卫星直播电视将大放异彩，视频界的一场革命正在孕育。

高清晰度电视 HDTV

高清晰度电视（HDTV）是国际上正在发展的新一代电视，是黑白电视发展到彩色电视之后，电视技术发展的第三个里程碑。

HDTV 的出现使电视发展到一个新阶段。HDTV 的垂直和水平分辨率较常规电视各提高约一倍；屏幕宽高比也从常规电视的 4:3 扩展为 16:9；HDTV 电视机的屏幕尺寸大都在 25 英寸以上，其显示的图像色彩看上去与原始景物相近，更为逼真；其图像清晰度相当于 35mm 电影胶片首映的质量；伴音采用数字 4 声道立体声，放音质量相当于激光唱片。因此，HDTV 提供的信息量为常规电视的五倍左右。

国际上日本率先从 70 年代开始研究 HDTV，80 年代 HDTV 引起各国普遍重视，其技术 90 年代趋向成熟。目前已出现的三种体制分别是：日本的 MVSE（多重亚取样编码）卫星广播制；西欧的 HDMAC（高清晰度模拟分量复用）卫星广播制；美国的全数字式地面广播制。

从发展看，美国的全数字 HDTV 地面广播系统技术最先进，体系上更为全面彻底，地面广播遇到的问题最多最复杂，其技术难点解决后，不难解决有线电视网络和卫星信道中播送 HDTV 节目的问题。地面广播实现起来虽有一定难度，但一旦实现广播与普及，其制式无疑将成为制订 HDTV 国际标准的主要基础，况且国际上对全数字式 HDTV 作为发展方向已无异议。

HDTV 电视制式提供了高质量的信号源，为了在接收端得到高清晰度的画面，除了要改进电视接收机外，传输系统的问题也急待解决。于是卫星直播电视和有线电视应运而生，并得到越来越广泛的重视。

卫星直播是电视节目的远距离传送的一种手段。卫星电视的接收可分为两类：个体接收和集体接收。后者设备较复杂，天线尺寸也较大，它主要服务于居民聚居点或者通过转播手段之一定区域服务，而重要的转播手段之一就是有线电视即有线电视（CATV）。有线电视自 20 世纪以来，在全国范围内

得到了逐步发展。

第一代有线电视又称共用天线电视，被普遍用于扩展和补充电视广播覆盖；第二代有线电视主要为满足观众收看多套电视节目的要求。第三代有线电视，是通过光纤和同轴电缆运载的巨大图像和数据信息进入每一户家庭，电视机已成为多用途的家庭信息终端，有线电视网将为用户提供更多的新服务节目。专家们预测，21世纪的有线电视要取代无线电视，到那时，将会出现“天上有卫星直播，地上有电缆传输”的新气象。

为了最终能看到高清晰，高品质的电视画面，做为电视系统中的最后一个环节的电视接收机在其它方面改革的带动下，也已开始革新，电视机的改进无疑也是向着数字化方向发展。

电视机的发展已经历了电子管式、晶体管式和集成电路式三代产品，历经了半个多世纪，每种形式的变革愈来愈快。但它们对电视信号的处理并没有发生本质变化，都是使用模拟电路来实现的，近十年来，由于数字技术和超大规模集成电路技术的迅速发展，出现了一种用数字方式对电视信号进行处理的新型电视机——数字式彩色电视接收机，这就是当今所谓的第四代电视接收机。

当前，由于经济和技术的制约，电视系统全面数字化还有些困难。因此，现在电视台发射的电视信号仍是模拟信号，数字化技术只是在彩色电视接收机中的视频信号处理，扫描信号处理和伴音信号处理三个方面得以应用。但这足以说明，数字式彩色电视机在处理电视信号方面采用了和模拟电路概念、原理完全不同的数字电路来进行，这在电视技术上是一个很大的变革。这类技术在电视中的应用可以增加彩色电视机的功能，提高性能，使它的电路设计进入了一个崭新的发展阶段。

由于采用了超大规模数字集成电路，微处理器、存储器，使用了数字图像处理技术，因此改善了电视图像质量和声音质量，增加了各种功能。例如画中画、多画面、静止画、画面变焦放大及倍频扫描提高画质等功能，同时降低了成本，例于与多种外围设备连接，简化了使用和维修。

在世界新技术革命的激烈竞争中，电视工业的发展已开始进入高清晰度电视实用阶段，一场重大的变革即将到来，九十年代将在世界范围内掀起一个高清晰度电视广播的热潮。日本、美国、西欧等发达国家从七十年代起就在高清晰度电视广播领域进行了大量研究、开发和实用化工作，并进行着激烈地角逐。

可以预见到，在实现 HDTV 广播的进程中，最终必须更换目前使用的传统彩色电视机，一场大规模的产品更新，将会给传统的彩色电视机生产和市场带来极大的冲击。

总之，从传统电视发展到 HDTV，其基础是图像数字信息处理技术和相应的 VLSI 技术。因此新一代的电视机必然是数字式彩色电视机。

当前虽然数字式彩色电视机的价格还比较高。但就功能而言，数字式彩色电视机比模拟式彩色电视机有更大的发展前途。据 ITT 公司和各大电视机厂家估计，数字式彩色电视机的价格上要取决于 VLSI 的价格，而它们的价格近年来下降的很快，因此数字式电视机的价格亦会以较快的速度下降。随着 VLSI 大批量生产技术的进步，数字式彩色电视机的价格在今后几年内可望降至模拟彩色电视机的价格水平，将来定会比模拟电视机更便宜。数字式电视机取代模拟式电视机的时代即将到来，这已经不是很遥远的事了。

在过去的 100 多年里，电子学的出现使我们的生活发生了巨大的改变，而且这种改变至今仍在迅速地进行。

微电子技术的发展始终是走在最前面的。目前，集成电路的工艺水平已达亚微米级，集成度仍以每 18 个月翻一番的速度上升。这一趋势将持续到 2010 年，届时每个芯片将包含几十亿个元件，一个晶体管的体积将缩小到 400 个原子见方，从而达到微电子技术的物理极限。未来的微电子技术将走向何方，这正是富有远见的人们所关注的。在通信方面，光纤是目前发展的热点，它的通信容量将在 2010 年达到千千兆比特/秒，而在更远的将来，能够穿透地球的中微子通信或许会成为现实。至于从本世纪 20 年代以后才建立起来的广播电视的空中帝国，它已经导致了我们的生活中最为深刻的变革，并且将继续给我们带来更高质量的享受。

未来会怎样？谁也无法准确地预言。

我们有幸生活在这样一个五彩缤纷的时代，有幸享受到电子学为我们创造的高质量的生活，我们也同样愿意为创造更美好的未来世界而贡献自己的一份才智与力量。

