

第一章 早期的计算工具

一、算筹与算盘

全世界都公认，在世界计算工具的早期发展史上，东方的炎黄子孙所作出的贡献尤为突出。难怪有人说：“在古老计算工具的宝库中，最古老的藏品属于古老的中国。”

早在商代，中国就开始使用十进制记数法了，领先世界长达一千余年。

周朝，算筹问世了。算筹是中国独特的一种计算工具。算筹是一种竹制、木制或骨制的小棍，在棍上刻有数字。把算筹放在地面或盘中，就可以一边摆弄小棍，一边进行运算，“运筹帷幄”中的“运筹”就是指移动筹棍，当然运筹还含有筹划的意思。

用筹进行计算（筹算）很方便，在古代中国使用得也很普遍，秦始皇及张良等政治家都亲自进行过布筹计算。

算筹是当时世界上最先进的一种计算工具。筹算使我国数学家创造出了卓越的数学成果，使我国古代数学曾长期处于世界领先地位。

筹算的规则得到了发展，同时算筹本身的缺点也暴露出来了。为了便于使用，人们尽管对算筹作了改进，把它从圆柱形变为方形，但形式上的一些改良，仍不能适应运算步骤的发展，念歌诀摆弄算筹时，往往能“得心”但不“应手”，特别是当计算较为复杂时，算筹摆弄既不方便又会弄得十分繁乱，因此这种计算工具到非改革不可的时候了。

算筹最终被新一代计算工具——珠算盘取代了。

在人类以往所用过的计算工具中，珠算盘是一种既古老，又仍充满青春活力的计算装置。

在世界文明的四大发源地，即黄河流域、印度河流域、尼罗河流域及幼发拉底河流域，都曾经出现过形式各异的“算盘”。但沿用至今的，却只有这一种“珠算盘”了，这种计算工具目前我国及亚洲一些国家仍然较为流行。

珠算盘是计算工具史上的第一项重大变革。它最早可能萌芽于汉代，到南北朝时已定型。

珠算是由算筹演变而来的。在筹算时，上面每一根筹当五，下面每一根筹当一，这与珠算盘上档一珠当五，下档每一珠当一完全一致，由于在打算盘时，会遇到某位数字等于或超过十的情况，所以珠算盘采用上二珠下五珠的形式。珠算利用进位制记数，通过拨动算珠进行运算，而且算盘本身能存贮数字，因此可以边算边记录结果。打算盘的人，只要熟记运算口诀，就能迅速算出结果，进行加减比用电子计算器还快。

由于珠算盘结构简单，操作方便迅速，价格低廉又便于携带，在我国的经济生活中长期发挥着重大作用，并盛行不衰，在电子计算器出现以前，是我国最受欢迎、使用最普遍的一种计算工具。

在电子计算器日益普及的今天，美国、日本等国有远见的数学教育家，念念不忘中国的珠算盘，在不少地方的小学开设了珠算课。他们认为，算盘不仅是一种计算工具，还是开发儿童智力的教具。打算盘时既动手指又动脑，能促进儿童思维能力的发展。

现在，合珠算盘与电子计算器于一体的电子算盘也早已问世，古老的算

盘，在现代社会的发展中，仍在继续发挥它应有的作用。在计算工具的大千世界里，算盘这一中国古老的算具，仍占有一席之地。

二、铺地锦与纳皮尔算筹

1617年，因首先提出对数概念闻名的英国数学家纳皮尔在他所著的一本书中，介绍过一种计算工具，后来人们把它称为纳皮尔算筹。它是根据一种称为“格子乘法”的原理制成的。

“格子乘法”是用笔算进行乘法时使用的一种方法。它又称为“写算”，据说最早起源于印度，后来传到中亚细亚，到15世纪传到我国，由于格子及斜线组成的图象犹如织锦，在中文书中亦称为“铺地锦”。

后人对纳皮尔算筹在各方面加以改进，例如1668年，德国一位信仰基督教的数学家加斯帕特·朔特，为了便于使用，提出采用刻有数字的圆柱形棍来代替棒形的纳皮尔算筹。据说他就是把纳皮尔算筹传到中国的两名基督教徒之一。

我国清朝康熙年间，制造过一些筹式计算机，在它们的圆柱形筹滚上、贴有用象牙制的中式纳皮尔算筹，筹上每一竖行的数字，正好能从一个矩形孔中露出来。看来，这种圆柱形筹滚，与朔特的圆柱形筹棍有异曲同工的作用。

纳皮尔发明（纳皮尔）算筹的目的，是使乘法、开平方、开立方，甚至一些三角计算实现机械化。在很长一段时间里，一些国家把它作为一种计算工具，许多学者多次加以改进。后来奥特雷德研究出更加方便、实用的计算工具——计算尺，纳皮尔算筹就逐渐被人冷落了。

当纳皮尔算筹刚流传到我国时，曾引起过一些学者的兴趣，还有人使用过并进行了研究。但是由于它操作起来不如算盘方便，因此，在中国广泛流行的计算工具，仍然是算盘。

三、对数与计算尺

15世纪以来，随着经济、贸易事业的发展，及金融业和航运业的繁荣，需要进行大量、繁重的复杂计算，这就迫切需要改进数字计算的方法。

许多数学家还曾设法创造先进的计算装置，来完成令人烦恼的计算任务。

那时大量的计算问题，与天文、航海和占星术有关，这些问题促使16世纪的许多数学家，专心致力于三角学的研究。

苏格兰数学家纳皮尔，在探索新计算方法方面取得了引人注目的成就。这就是，在1614年他提出了对数概念，并发表了一个对数表。

1614年，纳皮尔的著作的《奇妙对数表的说明书》出版了，书上发表了对数概念，公布了由他编制的正弦函数的对数表。

除了纳皮尔之外，还有其他学者也提出过对数概念，例如瑞士的数学家、天文学家比尔吉，也曾独立发现了对数，时间也许还早于纳皮尔，可惜他迟于1620年发表，而那时纳皮尔早已因提出对数概念，在欧洲名噪一时了。

对数表对当时科学的冲击，就如同电子计算机对现代科技的冲击一样。对数与电子计算机有类似的作用，能大大简化例行的计算，从而使人们在进

行计算时所花费的大量繁琐、重复的劳动大大减轻。

纳皮尔发表对数概念后，立即引起了伦敦格雷沙姆学院数学教授布里格斯的重视。他最先意识到对数是一个非常重要的概念。1616年，他专程前往苏格兰，拜访纳皮尔，并向纳皮尔建议改用以十为底的“常用对数”，以便于计算。

不幸在第二年纳皮尔溘然长逝，于是年过半百的布里格斯，竭尽晚年的全部精力，独自编制出从1到2万，从9万到10万的十位常用对数表，并于1624年公开发表。

布里格斯的工作，很自然地引起同校一位同事冈特的兴趣。冈特是一位非常注重实际应用的数学、天文学教授。

冈特1581年生于英国哈福德郡，1605年在牛津大学获得硕士学位，1619年在格雷沙姆学院任教授。

冈特对天文、航海和日晷制造等感兴趣，这些领域都需要大量的三角计算。由于布里格斯所编制的对数表还不能满足需要，于是冈特亲自完成相隔为（角度）一分的七位正弦对数表和正切对数表，并于1620年出版。这本数表的问世，使在进行与航海有关的三角计算时，工作量大大减少。

冈特早年还研制过计算装置，当时常用的一种计算装置是比例规，他曾为改进这种装置的主要设计作出过努力。

比例规是利用比例线段及比例规的尺身上的各种刻度，进行乘除、求比例中项、开方、开立方等运算的一种数学仪器，外形同两脚规相仿。

冈特经常用两脚规在比例规上测量长度，这些经验促使他萌发出对数进行相加的一种革新办法。1621年，他在一根长约60厘米的木尺上，标上对数刻度（对数坐标纸上所用的就是这种刻度）制造出第一把对数刻度尺。冈特是这种刻度尺的首创者，因此后人把它称为冈特尺。利用两脚规，就可以在冈特尺上实现对数的加减，从而实现数的乘除了。使用冈特尺，给数的乘除带来了方便。这样既可免去查对数表的手续，又能够不用花时间口算来作加减。他的这种巧妙方法很快传遍了英伦三岛。由于数学家温盖特（1596—1656）的宣传，而闻名于全欧洲。

奥特雷德（约1574—1660）是英国当时第一流的数学家。他在剑桥大学毕业后，先后担任过牧师、主教等宗教职务，但是他只顾钻研数学，几乎把可以利用的全部时间都花在数学上了，有时甚至一个晚上只睡两、三个小时。

按现在的说法，奥特雷德应该算是一位基础数学家。他虽然不大重视计算，但对当时流行的数学仪器却很熟悉。在1610年他访问过布里格斯。他还与冈特会见，并同冈特一起对数学仪器进行过仔细的探讨。1631年，他编写了一本后来广为流传的算术和代数教科书，书中首先倡导用“ \times ”作为乘号，并一直沿用至今。

奥特雷德了解，在使用冈特的对数刻度尺进行乘法时，刻度尺上的长度要用一把两脚规去测量。不久之后，在1621年的一天，奥特雷德突然萌发起一个念头，要是做出两根对数刻度尺，让它们相互滑动，不就省得用两脚规去一一度量了吗！于是使乘除计算实现“机械化”的直尺型计算尺就这样问世了。以后，他又灵机一动，想出另一种办法：做两个圆盘，一个比另一个稍大些，再沿每个圆盘的边缘标上对数刻度，在圆心处把它们固定起来，然后让它们相互转动，这样也能取得与两根相互滑动的，直线形对数刻度尺同样的效果。

但是这位热衷于纯理论的数学家，对数学仪器不屑一顾，认为公开去说明怎样把冈特的对数刻度尺改进为计算尺，费时又费力，是不值得的。然而，他却把自己的想法透露给自己的一个学生德拉曼。

在 1630 年，奥特雷德的另一名学生福斯特偶尔提起，在使用冈特的对数刻度尺时，为了达到高的精确度，他曾改用一根长约 2 米的刻度尺，这样测量长度就得选用长脚规了。

奥特雷德建议，只要改用两根彼此滑动的对数刻度尺，就可以不用长脚规了。奥特雷德还向这个学生展示了自己在 1622 年发明的“比例圆”，——一种在圆盘的一个个同心圆上，刻有对数刻度的数学仪器。

福斯特觉得老师的这些设想和发明很有价值，恳切请求老师发表这些发明，但是奥特雷德觉得，对于一个真心搞数学的人来说，重要的是研究数学理论，为这些雕虫小技去费心是不值得的。因此最初他并不理会福斯特的请求。但是在 1632 年他听说，学生德拉曼发表了著作，并在书中自为圆盘形计算尺发明者的时候，奥特雷德才决定公开自己的发明，他正式利用两根相互平行滑动的对数刻度尺做出了能进行计算的装置，这就是计算尺的雏形。奥特雷德还要福斯特把自己所写的拉丁文著作译成英文，以便能让书中的内容更广泛地传播。

以发明蒸汽机闻名于世的瓦特，在 18 世纪末期成功地制造出一把名符其实的计算尺。他原来是一名仪器匠，精通在仪表上准确标示刻度的技术。他在蒸汽机工厂投产后，迫切需要一种计算装置，来迅速算出蒸汽机的功率和气缸体积。

当他设计计算尺时，在尺座上增加了一个滑标，以使用来“存贮”计算的中间结果，使计算更迅速、更方便。他所发明的这种滑标，长久地为后人沿用。由于瓦特的刻度十分准确，因此其他制造厂纷纷要求瓦特为他们复制。为此瓦特曾有过几年从事计算尺生产的经历。

计算尺的制造业，到 1850 年才迅速发展。当时 19 岁的法国炮兵军官曼海姆设计出一种很简单的，类似于瓦特所设计的单面计算尺。曼海姆所作的改进，是增加了可移动的双侧滑标，成为后来流行计算尺的不可缺少的部件，它使相当复杂的计算，在一把做工精巧的计算尺上就能很方便地完成。曼海姆的这种设计，曾被法国炮兵选定为计算尺的规范。几年之后，曼海姆式的样尺已流传到国外好几个国家。在欧洲流行了较长一段时间后，直到 1888 年才传入北美，此后才逐步在北美流行起来，但到 1901 年，美国普及计算尺的工科院校仍然只有一半。此后，许多不同型号的计算尺，由一些工厂制造出来。其中最重大的进展，是在 1891 年开始使用双面标尺，计算尺最终具有了后来流行的形式。后来尽管计算尺的构造再也没有发生什么改变，但标尺的数量却与日俱增。质量上乘的计算尺，竟发展到备有 18 至 20 条不同的标尺。这种计算尺两面都能使用，滑尺也可以更换或翻过来使用，非常灵活，经过组合能实现更多的功能，各种专用计算尺也层出不穷地涌现。

有人为了提高计算尺的精确度，甚至还改变了计算尺的模样。他们对数刻度等刻在圆柱体上，或螺旋线上。1879 年，英国发明家富勒试制出一咱具有螺旋状刻度的圆柱形计算尺，后来人们把它称为富勒计算尺。这种能握在手中的计算尺，虽然体积不大，但相当于一把尺身为 25 米的直尺形标准计算尺，精确度可达到 4 位，有时甚至高达 5 位。

进入 20 世纪后，计算尺曾经被看作为是 20 世纪技术进步的一种象征。

在 20 世纪上半叶，它是工程师必不可少，随身携带的一种计算工具，还曾是 50 年代、60 年代工科大学生身份的一种标志，不过它只是一种短暂的标志。因为，当 70 年代中叶袖珍电子计算器出现之后，计算尺的身价就一落千丈了。

计算工具有两种，一种是模拟式，即通过长度、面积、电流强度等物理量来表示数值，因此它的准确度依赖于模拟物理量的精确度。另一种是数字式，即以数字表示数值，因此它的准确度取决于计算工具所能处理数字的数量。计算尺属于前面那种，是一种模拟计算装置；而算盘则属于后面那种，它是一种数字计算工具。

模拟计算装置，由于在通用性和精度方面有很大的局限性，最终必然被数字计算装置取代。20 世纪中叶，数字计算机取代了模拟计算机。最终，计算尺也未能逃脱被电子计算器取代的命运。

四、税务官之子的杰作

首先成功地利用齿轮传动原理，实现加法运算的计算机，是由法国科学家帕斯卡研制成的加法机。

帕斯卡 1623 年生于法国克莱蒙费朗。他的父亲是一名税务官，而且博学多才，与当时著名的物理学家、数学家联系很密切。

由于父亲的悉心指导，帕斯卡的才能很早就显示出来了，他 16 岁就写出了一本名为《圆锥曲线论》的书。此后在数学、流体力学等很多领域中又作出了重大的理论贡献，流体力学中著名的帕斯卡定律就是由他首先提出来的。

帕斯卡还在计算工具的改革上作出了重要的贡献。1640 年，他的父亲继续担任税务方面的职务，计算税款的工作十分繁重，为了减轻父亲在计算上的辛劳，他决心研制出计算机来报答父亲的养育之恩。在 1642 年，即他 19 岁时，世界上第一台机械式数字计算机——加法机设计出来了。帕斯卡为了制作这台机器，总共花了三年时间，到 1645 年才完工。在研制过程中，他夜以继日地埋头苦干，以致使他的健康过早地受到了损害。

这台加法机的外壳是一个不大的黄铜盒子，内部是齿轮传动装置，通过手工操作，能进行加减运算。

这种加法机是怎样进行加法运算的呢？原来，机器中有一组轮子，在每个轮子上各自刻着从 0 到 9 的 10 个数字。右边第一个轮子上的数字表示个位数字，第二个轮子上的数字表示十位数字……依此类推，在两数相加时，先在加法机的轮子上拨出第一个数，再按照第二个数在相应的轮子上转动对应的数字，最后就会得到这两个数的和，如果某一位两个数字之和超过了 10，加法机就会自动地通过齿轮进位，计算所得的结果在加法机面板上的读数窗上显示，计算完毕要把轮了逐个恢复到零位。

帕斯卡的加法机，虽然只能做简单的加、减运算，但是这一项发明当时却在法国国内引起了轰动。在机器展出时，前往卢森堡宫参观的人川流不息，观众异口同声地称赞这位文武双全、年轻有为的科学家的杰作。法国为帕斯卡的这项发明而自豪，这种加法机的五台样机，至今仍保存在巴黎国立工业学院内的艺术和手工艺品博物馆里。

五、关心实用技术的哲学家

帕斯卡的加法机，曾引起许多人的兴趣。德国著名数学家、哲学家莱布尼茨，就是其中之一。在他闻讯后，就立即写信给他在法国的一个朋友，询问加法机的详情。这位后来与牛顿共同为微积分奠基的科学家，对计算设备这一项实用技术也十分关注。

莱布尼茨在 1646 年生于德国的莱比锡，他的父亲是一位伦理学教授。在莱布尼茨 6 岁时，他的父亲就不幸去世了。在母亲的精心培育下，莱布尼茨从小养成了勤奋好学的良好习惯，他父亲遗留下的丰富藏书，开阔了莱布尼茨的眼界。莱布尼茨本人后来回忆，他在 10 岁之前，就已把家中的几乎全部藏书都阅读过了（他的童年似乎是在图书馆里度过的）。通过博览群书和悉心钻研，为他后来在学术上取得卓越成就，奠定了坚实的基础。

莱布尼茨 15 岁时，进入莱比锡大学学习法律，但课余还涉猎自然科学、哲学等方面的名著，还攻读了欧几里得的《几何原本》和亚里士多德的逻辑学。他 17 岁时就从大学毕业了。20 岁那年，莱比锡大学以他年龄太小为理由不肯授予他博士学位。1666 年 2 月，他的法学论文在附近的阿尔特多夫大学获得通过，取得了博士学位。

1672 年 1 月，莱布尼茨用一个木制的机器模型，向英国皇家学会会员们进行了演示，这个模型只能说明原理，但不能正常运行。莱布尼茨许诺在技术上作一些改进，使它能够正常运行后，再在下次会议上进行展示。但是，皇家学会的秘书后来并未向他发出参加下一次会议的邀请，而写信建议莱布尼茨为他们提供一台能操作的样机来进行演示。

1672 年，莱布尼茨以外交官的身份出使巴黎，当时巴黎是欧洲科学文化的中心，在那里他结识了许多著名科学家和哲学家，吸收到最新的科学思想。由于在当时的德国难于找到手艺高超的工匠和制造计算机的理想材料，他为了加快研制计算机的进程，从 1672 年起在巴黎定居四年。在巴黎，莱布尼茨物色到一位手艺精湛的、著名钟表匠奥利韦。莱布尼茨只需对奥利韦作一些简单的说明，实际的制造工作就全部由这位钟表匠独自去完成。最后定型的那台机器，就是由奥利韦一人装配而成的，这台机器在 1674 年夏天安装完毕，现在仍存放在德国汉诺威的国立图书馆里。

1673 年，莱布尼茨设计的样机，先后在巴黎、伦敦展出。由于他在计算设备上的出色成就，同年被选为英国皇家学会会员，1700 年被选为巴黎科学院院士。1673 年他构思出一种微积分体系，但直到 1684 年才发表。

莱布尼茨对计算机发展还作出了另一项更重要的贡献，这就是系统地提出了二进制数的运算法则。他是第一个认识到二进制记数法重要性的学者。二进制对二百多年后计算机科学技术的发展，产生了深远的影响。

六、早出世一百年的鼻祖

在计算机发展的历史长河中，有一位名垂青史的风云人物，他就是计算机先驱者的鼻祖之一巴贝奇。早在现代数字计算机问世之前一百年，他就对这种计算机的主要组成部分和它们的功能提出了卓越的预见。尽管他的先进思想在一百多年后才得以实现，但他的这一预见对以后计算机的研制产生了深远的影响。

巴贝奇在 1791 年 12 月 26 日生于英国伦敦市郊的一个小镇，他以孩提时体弱多病，但好奇心强，富于创造精神。1810 年 10 月他考入剑桥大学三一学院攻读数学与化学。

巴贝奇是一位在学术上有很深造诣的数学家，在 1828 年他荣获剑桥大学卢卡斯讲座数学教授的职位。他是这个讲座继巴罗（牛顿的老师）、牛顿之后的第三任教授。

巴贝奇又是一位具有广泛兴趣的学者，但是自从他立志建造计算机之后，就把自己的全部精力集中在计算设备的研制上了。

他是一位完美主义者，他首先关心的是计算结果的准确无误。他认为为此必须对当时机械式计算机的性能加以改进。因此，他长期冥思苦想，对新颖计算机进行周密的考虑和构思，甚至达到了入迷的程度。

1812 年后不久，巴贝奇就开始走上设计制造差分机的生涯。

当时人们在编制数表时是利用所谓的“差分表”来进行的。利用差分表，就可以把多项式数表的计算，化为一系列简单的加法。而任何比多项式复杂的“函数”都可以用多项式来近似，因此利用差分，可以编制任何函数的数表。

巴贝奇从用差分表计算数表这种做法中得到启发，想到设计出一种代替人工进行加减计算，来完成数表编制的自动计算装置的，因此他把这种计算机称为差分机。他不仅设计出供计算数表（首先是航海中用的数表）用的小型差分机，在 1822 年还试制出一台样机。

这台差分机可以保存 3 个 5 位的十进制数并进行加法运算，还能打印结果。虽然它只是一种特地供制表人员使用的专用机，但是它能按照设计者的控制自动完成一连串的运算，这实际上是“程序设计”思想的萌芽。

巴贝奇用这台样机计算平方表及其他一些表格取得初步成功，证明了这种差分机对编制天文和航海表来说是很适合的。就在当年的 6 月，巴贝奇正式向皇家天文学会提出要制造一台更大的差分机，用于计算天文学、导航方面数表的建议，同时他还向政府申请研制经费。由于这种机器对政府（特别是海军）很有实用价值，政府决定提供资助。

到 1842 年，政府终于决定停止资助，第 2 年（1843 年）巴贝奇这台未完工的机器，连同全部图纸，只好被送进伦敦的皇家学院博物馆去保存。

巴贝奇试制大型差分机的失败，并不仅仅是由于技术条件不完全具备所造成的。因为当时有一个与巴贝奇同时代的瑞典人塞尤茨，他对巴贝奇差分机的设计略加改进后，在瑞典科学院的资助下，从 1852 年起只化了两年时间就制造出了一台差分机，并在 1855 年巴黎博览会上荣获金奖。

巴贝奇的首创精神有目共睹，但他在工程方面的组织能力略为逊色。然而尽管他在研制过程屡经挫折，试制差分机的愿望最终未能实现，但他追求自己预定奋斗目标的热情丝毫没有减退。在差分机的研制工作不得不终止时，他的心又飞向另一个更引人入胜的目标——设计一种可能控制运算程序的通用数字计算机。

至今，差分机还陈列在伦敦南肯辛顿科学博物馆里。

七、现代通用数字计算机的前身

1834 年，巴贝奇完成了一项新计算装置的构思。他考虑到，为了能使这

种装置有广泛的应用，计算装置应该具有通用性，能解决数学上的各种问题。利用它不仅可以进行数字运算，而且还能够进行逻辑运算，巴贝奇把这种装置命名为“分析机”，它是现代通用数字计算机的前身。巴贝奇曾为他的分析机先后提出过大约 30 种不同的方案，并对各种方案都绘制出了图纸，图纸上零件的个数多达几万。

为了集中全部精力投入到分析机的研制中去，巴贝奇在 1839 年毅然辞去了剑桥大学卢卡斯讲座数学教授的职务。

1840 年，巴贝奇前往直意大利，向人们介绍分析机的设计思想。意大利政治家梅纳布雷亚对他的创见非常赞赏。当时对巴贝奇事业的意义充分理解的只有三个人，除了梅纳布雷亚（他在 1867 年当选为意大利总理），他的儿子亨利·巴贝奇外还有著名诗人拜伦的独生女艾达（Ada）·拜伦。

艾达既是一位作家，又是一名卓越的数学家，她自从在 1833 年结识巴贝奇后，始终对巴贝奇的研究工作给予支持。

梅纳布雷亚为了使人们了解巴贝奇在计算机设计方面的思想，把巴贝奇的演讲和谈话记录编辑成书，在 1842 年用法文出版。

在这本书出版后，艾达为了“使人们知道怎样命令分析机做事”，告诉巴贝奇她打算把书译成英文。巴贝奇建议她，除了把书稿译成英文外，最好再写一些有独创见解的文章。按照巴贝奇的建议，艾达在 1843 年把 245 页的原稿译成英文，连同她自己所写的 297 页评注，汇集成书在英国出版了。

艾达的评注指出了分析机的结构特点和功能，还阐述了自己在计算机理论方面的精辟见解。

这本书可以称为程序设计的第一本专门著作，她的思想为现代计算机的程序设计奠定了基础。她还亲自为分析机编制制造函数表的计算程序，并建议分析机由十进制编码改为二进制编码。她作为世界上第一位程序设计师，是当之无愧的。为了纪念她的功绩，在 1978 年美国国防部把选定的一种通用程序设计语言命名为“Ada 语言”。

遗憾的是，分析机到巴贝奇于 1871 年去世时始终也未能完成。在他逝世后，他的儿子亨利·巴贝奇还为分析机奋斗了好多年。现在，分析机的一部分仍陈列在伦敦科学博物馆里。

巴贝奇的理想当时未能实现，其原因除了在技术上不能满足巴贝奇所设想的要求，而电子学又尚未形成等之外，更重要的是由于在那时社会对高速计算机的需要还不很迫切，巴贝奇几乎完全是在孤军奋斗。因而人们认为，由于巴贝奇这位天才生不逢辰超前了 100 年，因此未能取得成功。直到他去世之后 70 年的 20 世纪 40 年代，由于马克一号和 ENIAC 等计算机相继问世，巴贝奇的预言才得以实现，他的天才思想也终于得到了公认。

第二章 来去匆匆的过客——机电计算机

在本世纪 30—40 年代，由于在穿孔式计算技术主面取得的重要进展，以及在某些技术领域（例如在电话自动交换设备的研制中）使用继电器的成功经验，一些科技人员，提出了几种可以完成复杂计算工作的通用机电计算机的研制方案，巴贝奇分析机中由蒸汽驱动的齿轮，已被继电器取代。从而使巴贝奇未能实现的理想，在这时变成了现实。

尽管机电计算机的研制在计算机发展史中仅占了短暂的一页，但这些计算机的研制者们为现代计算机的发展，揭开了序幕。他们以自己的聪明才智和坚强毅力；为电子计算机的发展铺平了道路。

一、自费研究起家的发明家

最早用继电器进行程序控制的机电计算机，在 40 年代上半叶由德国和美国几乎同时制成。

这些计算机的主要研制者，在德国是楚泽，在美国是艾肯和斯蒂比兹。楚泽的工作稍早于美国学者，但在当时美国的学者并不了解。他们是各自相互独立地完成研制工作的。

楚泽研制了一系列令人惊奇的计算机，与同一时期美国同行们制造的计算机相类似，而且有许多性能还超过了他们。

楚泽在 1910 年生于维尔梅斯多夫，在东普鲁士受到早期教育。东普鲁士是一个比较保守的地方，为了离开这个闭塞的环境，楚泽进入了一所比较开放的学校。

在十几岁时，楚泽就被工程科学迷住了。17 岁时，他进入柏林工业大学，经过预科和本科八年的学习年，取得了土木工程学士学位。

大学毕业后，楚泽在柏林的一家飞机工厂中找到了工作，他的任务是对飞机强度进行分析。这项工作需要反复进行冗长且令人生厌的计算，于是他产生了设法制造出一台机器来自动进行计算的念头。楚泽后来回忆说，当时的辅助计算工具只有计算尺，而计算任务日益繁重，要费很多的时间。因此，我想改变这种状况。

1934 年，楚泽开始拟订研制计划，并于 1936 年开始执行。他预料，重要的问题并不在于计算（加减等）本身，而是在于中间步骤，也就是中间结果的记录和传送，正像人工计算时，人脑“计算机”必须把它们记在纸上一样。

楚泽意识到，他必须找到一种传送中间结果的方法。最初，他想到利用一种穿孔卡系统来进行传送，但是由于这种系统安装起来太费劲而放弃了这种打算。

在楚泽设计的计算机中，有存贮单元、运算单元，连接这两个单元的选择单元，以及利用穿孔带来指挥的指挥单元。控制单元能通过传送指令来选择机械动作并控制运算单元的工作。

1936 年，当楚泽对这些设想觉得很完善时，他就决定全力以赴，使这项研制计划付诸实施。

1937 年楚泽为自己设计的计算机制造出一种可存贮 64 位数的机械存贮单元，在这个单元中，采用在细孔中移动针尖位置来指明数字 0 或数字 1 的

方法，从而把二进制数表示出来，这样就使楚泽制造出的存贮器非常紧凑，体积大约只有 1 立方米。

在 1938 年，楚泽设法把这个存贮器同一个机械运算单元连结起来。为此，他用钢锯把圆钢锯成数千片薄片，然后用螺栓把它们拧在一起，一台机器就安装起来了。这就是楚泽在朋友协助下试制成功的第一台二进制计算机——Z—1 型计算机。但 Z—1 型仍然是一种纯机械式的计算装置，不仅运算速度慢，可靠性也差，始终未能投入使用。

由于 Z—1 号性能并不理想，随后楚泽就立即开始设计机械部件与电磁继电器混用的计算装置。

楚泽的第二台计算机在结构上又朝前迈进了一步。他的朋友帮助他储存了一批从电话公司更换下来的继电器，于是这台命名为 Z—2 型的计算机很快就在 1939 年完工了。

由于使用了继电器，Z—2 型的可靠性比 Z—1 型要差些，但是运行却很正常。

这时楚泽被应征入伍，研制工作面临中断的处境。他的朋友和合作者施赖尔博士向军方提交书面材料，推荐楚泽研制工作的重要价值，使楚泽免服兵役。而同时楚泽的研究成果引起了德国飞机实验研究所的注意。这个研究所迫切希望消除飞机在飞行时机翼出现的颤振，这需要进行一系列十分复杂的运算，他们看出计算机能促使解决机翼颤振问题所需要的大量计算快速完成，因此决定为楚泽计算机的研制提供经费。但是战争期间工厂从不休假，楚泽只能利用晚间进行研制。

楚泽在得到资助后，就立即投入到新型的继电器计算机——Z—3 型计算机的研制中去，不过试制工作仍在家里的客厅中进行。在第二次世界大战期间的 1941 年，楚泽的 Z—3 型计算机开始运行。Z—3 型计算机是世界上第一台采用电磁继电器进行程序控制、穿孔带作输入的通用自动计算机。

Z—3 型计算机工作了三年。在 1944 年美军对柏林的一次空袭中，楚泽的住宅和 Z—3 型机都被炸毁。这时离德国法西斯的灭亡只有几个月的时间了。到 1945 年，楚泽又完成了 Z—4 型机的研制，Z—4 型机是一种比 Z—3 型机更先进的机电式计算机，曾在 V—2 型火箭的研制中发挥过作用。为了避免 Z—4 型机被炸毁，楚泽三番五次在柏林把 Z—4 型机搬来搬去。在德国战败后，楚泽飘泊到瑞士的一个荒凉的村庄。他一度对软件很感兴趣，最早提出了“程序设计”的概念，这对后来软件的发展有重要的影响。

1949 年楚泽创办了“楚泽计算机公司”，计算机研制工作不断取得进展。许多大学和科研机构订购楚泽研制的计算机。Z—4 型机于 1949 年在瑞士苏黎世综合技术学院安装完毕，由于它的可靠性好，一直工作到 1958 年。1954 年前在苏黎世综合技术学院运行，1955 年到 1958 年为法国国防部效劳。

楚泽公司最初研制的计算机是 Z—22 型，1958 年制造出电子管通用计算机 Z—22R 型。

到 60 年代初，楚泽公司已成了有千名雇员的大公司。但楚泽认为“计算机的发展速度越来越快，我们跟不上发展的步伐”。1966 年，他主动退出竞争，把自己创办的公司出售给西门子公司。楚泽至今健在，仍以顾问的身份为西门子公司服务。

早在 1938 年研制出计算机的楚泽，被人遗忘了几乎二十年才被公认为计算机的发明者，1956 年被柏林工业大学授予名誉博士。现在他同夫人生活在

一幢简朴的住宅里，安贫乐道，计算机的发明并没有使他富起来。在回忆他当年的发明动机时，他说：“我只是希望我的机器能够减轻人们的繁琐工作。”但是世人不会忘记他的历史功绩。

二、斯蒂比北和继电器计算机

在 20 世纪 30 年代中叶，至少有三个利用继电器的功能来构思和研制计算装置。他们就是德国的楚泽，纽约的斯蒂比兹和麻省理工学院的艾肯。

尽管他们的研制工作，是在各自的环境中相互独立地进行的，所研制的机器，在许多方面都有很大的差别。但是有趣的是，他们三人所设计的这些机器，使用的元件和性能等方面有许多类似之处。每一种机器都是由控制的二进制继电器，和一些进行数的存贮和运算以及程序输入的穿孔带机电设备组成。而且每一种机器都能完成一系列的四则运算，还能按照计算的需要自动存贮和取出中间结果。

他们的研究成果，实现了巴贝奇建造分析机的理想。而使这个理想成为现实的条件，就是继电器技术的运用。

继电器是一种电磁装置，它利用一个电路的电流变化，去对另一个（继电器）电路的电流进行遥控或自动控制。利用它能使一个回路保持接通，而使其他回路断开，因此它是一种“开关装置”。

最初，继电器用来对电报收报机的电路进行控制，后来又用于电话中继接线。当电流切断，电磁消失，继电器就“闭合”，一个闭合的断电器就能让一个电话接通；而一个“断工”的继电器，就不能接通电话。

斯蒂比兹对继电器具有的逻辑功能很感兴趣。他发现继电器的闭合或断开的“开关”操作，与二进制数之间有平行的对应关系，于是想到，可以用继电器的上述“开关”操作来实现二进制数的加减运算。而一个用继电器装配的机器如果能进行加减，那么它就能进行乘除，这是因为乘或除，能分别转化为一系列的加或减，斯蒂比兹认为这非常有趣，于是决定用继电器来试装计算装置。

在早期的机电式计算机中，继电器用来作为一种开关装置。但继电器的开关速度大约为 $1/100$ 秒，使计算机的速度受到很大的限制。后来用电子管取代继电器，所制成的就是电子管计算机。

1937 年，在贝尔实验室工作的数学家斯蒂比兹，制造出一种复数计算机，称为 K 型计算机。由于这台机器在厨房的餐桌上装配起来的，而在英语中，“厨房”的第一个字母为 K，因此斯蒂比兹的妻子把这项小发明称为 K 型机。斯蒂比兹把 K 型机中的继电器与电池接通后，发现确实能进行二进制的加法。不过在当地他本人并没有意识到他的这一项发明居然是促使计算机时代到来的前奏。

可是，当斯蒂比兹把自己研制的 K 型机带到贝尔实验室向同事们演示时，所得到的却是同事们的暗自发笑。当他提出整个计算机都能用继电器制造出来的想法时。他的同事认为这个主张是荒诞不经的，对他使用古老的、令人费解的二进制表示法来搞这一项发明，觉得简直不可思议。而且认为，即使它能制造出来，就需要几百个继电器，这与当时实验室中所用的台式计算机相比，既庞大又昂贵，毫无可取之处。

但是斯蒂比兹本人并不认为自己的想法是荒谬的。后来他又花了几个星

期来进行周密的考虑和改进，从而使他的 K 型机更加完善了。

但是，促使斯蒂比兹的发明成为正式产品的推动力，是贝尔电话公司本身对“复数”进行大量、复杂、准确计算的需要。

在 30 年代的贝尔实验室，为了满足电路计算的需要，配备了满房间的女计算员，她们成天用台式计算机来计算复数的乘积和商。两个复数相乘，大约需要进行 6 次四则运算，而两个复数相除则大约需要 12 次运算。而且每次运算都需要暂时存贮许多中间结果，麻烦得很。

在 1938 年初，计算任务越来越繁重，贝尔实验室的工作人员提议，把两个台式计算机用机械方式连接在一起，来简化复数的计算。在理论上，这样确实能节省计算员的时间和劳动，但这样组合成的大型计算机，不仅难于制造，操作起来也不容易，正是在这种情况下，人们才想起了斯蒂比兹设计的用继电器控制的 K 型机。

1938 年夏天，斯蒂比兹所在数学室的主管试探地向他询问，他设计的那种小巧的继电器计算机能否进行复数的运算？斯蒂比兹肯定地回答说，可以作复数运算，并说他已经对这种计算机的大部分电路进行过研究。

斯蒂比兹很快就采用标准继电器和一些通用元件，为这种能进行复数运算的计算机画出了电路图。他的初步设想是别出心裁，与众不同的。一位电路专家看了他的电路图后，肯定它们确实是有应用价值的。于是这位电路专家对图纸作了一些必要的修改，研制工作很快就于 1938 年 9 月正式开始了。经过一年的努力，这一台后来称为贝尔实验室 M—1 型机，在 1939 年 9 月制造成功。

这台计算机开始只能作复数的乘除，因为这两种运算最费时间，而且这种计算机本来就是为了解决这种运算而特意制造的。用 M—1 型机进行一次复数乘法大约只要花 45 秒钟的时间。

贝尔实验室计算机小组的人员在实践中发现，用计算机进行复数乘除果然十分方便，于是就决定立即对 M—1 型机加以改进，因为他们还想利用计算机进行复数的加减。经过两天的艰苦努力，他们终于如愿以偿，这样，M 型计算机就能进行复数的四则运算了。

1940 年 9 月，美国数学会的一次地区性会议在新罕布夏州汉诺威的达特默思大学举行。会议邀请贝尔实验室把他们的 M—1 型机向与会人员作演示。

在会议举行前，电报线架设工使用电报线把 M—1 型机所在地纽约与达特默思校园相连。

在会议上，贝尔实验室人员用 M—1 型机进行了出色的表演。在会上当场把一个数学问题打印出来并传输纽约，不到一分钟，电传打字机就开始打印出结果来了。

M—1 型机安放在贝尔实验室的一个房间里，人们在使用计算机时，可以在很远的地方利用与它相连的三台电传打字机中的任何一台进行操作。斯蒂比兹把早年对农场火炉进行遥控的设想进一步应用到计算机上来了。演示结果表明，M—1 型这种复数计算机，它的运算功能令人满意，给人们留下了深刻的印象。

M—1 型机在达特默思大学成功的表演，是计算机发展史上一件大事，它开创了人类——对计算机进行远距离控制的先河。至今，计算机远程通信已成为现实，远隔万里的人们可以相互利用对方的计算机设备和所存贮的信息。

达特默思校园的这次会议特别引人注目，还因为它的参加者中有不少是美国最著名的数学家和后来一些重要计算机研制项目的带头人，如冯·诺伊曼，莫奇利和维纳等人。

尽管复数计算机 M—1 型只能对复数进行计算，但是在贝尔实验室里却使用了好几年。M—1 型机的成功，鼓励斯蒂比兹制订出进一步的研制计划，其中包括用穿孔带设备来改进计算机的性能。

M—1 型机是这一系列中 5 种型号的第一种。它是唯一由贝尔实验室独立设计和制造的机器。

在它制成后，贝尔公司的负责人猛然发现它的全部试制费用竟高达 2 万美元，大吃一惊，决定不再研制其他计算机了。

但是在 1941 年 12 月美国投入第二次世界大战后，贝尔实验室的研究转入军事项目，这些项目比和平时期的研究要涉及更多的计算。他们在战时研制的大部分计算机，是模拟计算机。但是还制造了 5 台军用的数字继电器计算机，再加上 M—1 计算机和战争结束后自用的另一台计算机，总共有 7 台数字计算机。

在 5 台军用数字计算机中，第一台是 1943 年安装在华盛顿特区的一种继电器数字计算机，称为 M—2 型机，它主要用来解决与防空高炮火力指挥有关的问题。

M—2 型机主要用于“内插”，由于“内插”是解决科学、工程问题一种很有用的数学运算，所以在战争结束后仍忙于为其他部门服务，它直到 1961 年才被拆除。M—2 型机是最早的可编程的计算机之一，它还能进行误差检测，这是现代微电脑所具有一项标准功能。

在 M—2 型机开始投入运行之前，斯蒂比兹及同事们就着手准备研制新的、更大的、功能更强的机器——M—3、M—4 型机了。

M—3 与 M—4 型机是性能基本上相同的两种计算机，先后于 1944 年、1945 年完成。它们与 M—2 型机相类似，不过存储器容量更大，除了能进行“内插”外，还能把描述目标飞机和一些防空火包炮弹轨迹的弹道方程计算出来。虽然它们不是通用计算机，但在编程能力上已经具有一定程度的通用性。它们还具有搜索信息的功能，正如现代微电脑能搜寻磁带或磁盘上所存放的特定数据和程序一样。M—4 型机比 M—3 型机的功能稍多一些，例如它能计算某些三角函数等。

由于斯蒂比兹卓有成效的努力，在不到十年的时间里，总共推出了 M 系列的 5 种型号的计算机。其中最大的一种计算机是 M—5 型机。贝尔实验室为军方制造了两台 M—5 型机。一台是为美国航空局设计的，另一台则是为阿伯丁弹道实验室而设计。

三、艾肯和马克型计算机

在德国的楚泽开始研制机电计算机之后不久，美国也有人开始进行类似的工作，除了前面介绍过的斯蒂比兹外，还有一位，他就是麻省理工学院的物理学家艾肯。1944 年，由艾肯主持研制的马克 1 号问世了。马克 1 号及后来研制成的马克 2 号，在计算机发展史上曾占有相当重要的地位。

在计算机先驱者的行列中，艾肯要算是大器晚成的了。艾肯在 1900 年出生于美国新泽西州的霍博肯。由于家庭贫困，他在上职业高中时就不得不半

工半读，以减轻家庭的负担。毕业后他在麦迪逊煤气公司找到一份工作，并争取到一个进入威斯康星大学学习的机会，在大学里他仍然坚持一面工作，一面刻苦读书。1923年他从大学毕业，被麦迪逊公司任命为总工程师，工作之余，仍不忘继续学习新知识。到35岁时，他毅然辞去待遇丰厚的工作，再次到大学去深造，先在哥伦比亚大学攻读，后来又进入哈佛大学物理系当博士研究生。他的博士论文的课题是有关电荷在空间传播问题的研究。为此需要大量繁琐的计算。正是由于这个原因，使艾肯在1937年就提出了研制新型自动计算机的备忘录，但是当时的哈佛大学对这类应用研究不感兴趣。

哈佛大学商学院建议艾肯同IBM（国际商用机器）公司联系。这家公司的一名经理曾经看过麻省理工学院香农的博士论文，对香农在文中所提出的，利用开关电路模拟布尔逻辑的方法颇感兴趣，因此认为艾肯的设想很有价值。这时哈佛大学的两位著名教授对艾肯的备忘录也非常重视，并多方设法为艾肯争取经费。最后，IBM公司的董事长老沃森同意向艾肯提供资助。

IBM对这一项有希望取得成功的研究项目很感兴趣。虽然并不指望通过艾肯的研制计划得到直接的经济利益，但它希望通过对这一项研制工作的资助，为IBM公司获得赞助美国最有名望大学的美名。

艾肯在各方面的支持下，把自己原来的初步设想，逐步形成为完善的设计方案。

1939年近40岁的艾肯取得了博士学位。这一年他与IBM公司正式签订研制合同，由美国海军提供经费。IBM公司委派了4名有经验的工程师与艾肯合作，“马克1号”的计算机正式开始研制了。经过四年坚持不懈的努力，在1943年，这台程序控制的自动计算机终于完工，1944年于哈佛大学投入运行。

马克一号是一种完全机电式的计算机。它长15米，高2.4米，大约同小火车头那么大。看起来有点像图书馆中大书架，不过在架子上放的不是书，而一排排继电器。在它运行时会发出咔嚓咔嚓的响声。

马克一号有15万个元件，其中许多是可以移动的，此外还有800千米的导线。

马克一号是世界上最早的通用型自动机电式计算机之一，其中用电话继电器代替了齿轮传动的机械机构，一共使用了3千多个继电器。机器采用十进制，对23位的数加减，一次需要0.3秒，乘法则需要6秒。指令通过穿孔纸带传送。

马克一号在入场多方面可以说是巴贝奇分析机现代化的翻版，所不同的只不过用电来代替了蒸汽传动，但马克一号的问世却标志了现代计算机时代的开始。

马克一号每秒只能进行3次运算。因此艾肯在1947年又研制出了速度较快的马克二号计算机。它同马克一号一样，仍是一种机械——继电器计算机，但马克二号中的继电器体积很大而且特别贵（当时每个要15美元）。

马克二号每秒能进行8次加法运算，如果开平方或求对数就要12秒钟的时间，这同电子计算机相比是太慢了，但毕竟比马克一号要快些。

正当艾肯和他的资助人剪彩仪式上引起激烈冲突之时，制造更好计算机的同样愿望，也激励着德国的工科大学生楚泽。楚泽在制造他的Z—4型机时听到有关马克一号问世的消息。

虽然楚泽的Z型系列机要早于马克一号、二克，但由于美、英两国对德

国同行的工作毫无所知，因此马克一号、二号对美、英等国后来计算机的发展产生了重要的影响，并在计算机发展史上占有重要的地位。

直到马克二号研制成功以后，艾肯才开始制造电子管计算机，为什么艾肯转入研制电子计算设备拖了这么长的时间呢？

这是由于艾肯是一位非常小心谨慎的工程师，他最初对电子元件的可靠性没有把握。尽管电子技术在迅速发展，但艾肯仍决定通过降低速度来增加可靠性，因此他早期的目标是使计算设备实现机械化，虽然他那时已意识到计算设备实现电子化是必由之路。直到他看到在一些设备中电子元件能可靠地工作时，才决定他也要来搞电子的（设备）。

在 1949 年 9 月，艾肯研制出使用电子管的计算机——马克三号。马克三号并没有完全实现电子化，在最后定型的样机中，不仅包含 5000 个电子管，还使用了许多机械部件——2000 个继电器。

马克三号是艾肯研制的第一台内存程序的计算机，并在其中首先使用磁鼓作为数与指令的存贮器。从此以后磁鼓成为第一代（电子管）计算机中最广泛使用的一种存贮器。

在马克三号中，8 个磁鼓能存贮 16 位的“字”4350 个，另一个磁鼓能存贮 40000 条左右的指令。

在最初，马克三号的可靠性不够理想，运行时经常发出咔嚓咔嚓的声音。后来研制人员采取了一些措施，它就能很好地运行了，从而使它的可靠性与马克一号二克不相上下。

在马克三号的基础上，艾肯主持研制的马克四号在 1952 年完工，被广泛地用于工程和科学方面的计算。

在马克四号完工后，艾肯不再研制新的计算设备，转而培养训练计算机人才，其中有些人后来成为美国研制第二代（晶体管）电子计算机方面的科学家。在 1961 年艾肯辞去教职后开办了艾肯实业公司，但在工作之余仍热心从事教学工作，并帮助大学建立计算中心。直到 1973 年去世前，还始终为计算机事业的发展贡献自己的力量。

艾肯的主要贡献不仅在于研制出马克系列计算机，而且把哈佛大学变成一个著名的计算机培训基地，从而对二次大战后计算机的发展产生了重大影响。而且他研制马克型计算机的成功，激发起人们的创造热情，使人们制造更多更好计算机的愿望更强烈了。

第三章 阿塔纳索夫与 ABC 计算机

至今许多对计算机感兴趣的欧洲人，还都以为世界上第一台数字电子计算机是“巨人”号，它是由数学家图林和他的同事们在英国设计和制造出来的。这个“巨人”在 1943 年 12 月投入运行，被用来破译难解的德军密码，为反法西斯战争立下汗马功劳。而在大洋彼岸的许多美国人，则把首创电子计算机的殊荣归于研制出 1945 年底投入运行的埃尼阿克（ENIAC）的莫奇利和埃克特。

然而直到 70 年代中期，还只有很少人知道，在此之前二、三十年，美国衣阿华大学的阿塔纳索夫等人就已制成了一台能运转的数字电子计算机。

一、计算尺的启迪

阿塔纳索夫在 1903 年生于纽约的一个保加利亚籍侨民的家中，他幼年是在佛罗里达州度过的。10 岁时就对计算产生了浓厚的兴趣。当时他的父亲在佛罗里达州的一座矿山任电气工程师，家里除了拥有许多书外，还有一把计算尺。

当时科学和工程上的许多计算都是用计算尺来完成的，直到 20 世纪 60 年代，工程师们还常常使用这种计算工具。

计算尺对于少年阿塔纳索夫来说是一件新鲜的玩意儿，由于他父亲不常使用，因此阿塔纳索夫有机会经常摆弄它。在利用计算尺作了一些简单的计算后，他开始对计算尺的原理产生了兴趣。为了探索计算尺的奥秘，他渴望学到更多的数学知识。他在父亲的书房里找到一本大学代数教科书，他就抽空利用这本书自学起微分学和二进制运算来。就是这一把小小的计算尺，引导阿塔纳索夫在后来走上发明家的道路。

1925 年，阿塔纳索夫在佛罗里达大学获得电气工程学士学位。第二年在衣阿华大学获得数学硕士学位。1929 年他又到威斯康星大学攻读物理博士学位。他博士论文的题目是《氦的极化强度》，这项研究需要大量繁琐的计算，如果利用当时的“台式计算机”计算要花好几个星期。正是由于阿塔纳索夫想要寻求更有效的计算手段，才激发起他制造出一种新型计算设备的强烈愿望。

从 1935 年到 1937 年，阿塔纳索夫冷静地回顾了他以往曾接触过的各种机械式、机电式计算设备，对它们的性能、优缺点作过比较。并考虑过各种可供选用的解决办法，包括利用电子技术的手段等。

虽然当时阿塔纳索夫还不能肯定，究竟要采用哪种计算技术，但他意识到，他所需要的计算设备必须是数字计算机，同时还应当是一种快速、准确且通用性强的设备。不过阿塔纳索夫当时对于这种计算设备怎样建造和如何操作，还只有模糊的想法。

阿塔纳索夫懂得，必须找到表示数字的替代物。他还考虑，究竟采用电子技术还是机械技术？采用二进制还是十进制，或采用其他进位制呢？

现在几乎所有的数字计算机都采用二进制了，而阿塔纳索夫在当时选取 2 为基数竟被许多人认为简直是在开玩笑。现在看来，这真使人觉得实在不可思议。

阿塔纳索夫通过严密的推理，证明使用二进制有严格的科学依据，而绝

不是信口开河。

有关基数的选择，只不过是研制计算机时遇到的一个问题。还有一大堆与计算机设计制造有关的难题摆在阿塔纳索夫的面前。

在需要解决的一系列问题中，一个举足轻重的问题是计算机的存贮问题，这个问题与基数选择的问题也是密切相关的。

二、求索数载 豁然开朗

制造存贮装置的方法有好几种。例如可采用在斯蒂比兹设计的 K 型计算机中所用的，像继电器一类的电磁器件，此外含铁磁性材料也能用，因为当这种材料在不同方向被磁化时，就能代表开或关的状态。但是使用这种材料的缺陷是元件必须做得相当小，使它们只带有极少量的电荷。

电子管电路当然很适用，但是电子管的价格和运行费用都很昂贵，体积又大。比电子管便宜而且更小巧的，从而更具有吸引力的，是纸介电容器。这种小巧的元件只有半支粉笔那么大，而且它又能存贮一定电量的电荷。

同任何其他元件一样，电容器既有优点也有缺点。用电容器来作存贮器虽然能省钱，但是由于电容器不能长时间地存贮电荷，因此不时需要重新充电。所以阿塔纳索夫在考虑采用电容器来作存贮器时，必须想出一种方法，使计算机的存贮器能很快地更新存贮内容。

以上都是阿塔纳索夫当时所作出的高明设想。接下来的问题是如何对基数的选择、存贮设备等问题加以通盘考虑，去实际构成一个完整的计算机？他必须在计算机问世之前，在高速与低速、价格与方便之间提出许多折衷方案。

1937 年隆冬的一个夜晚，阿塔纳索夫正式确定采用电子器件取代机械装置来制造计算机，他是最早提出这一设想的先行者。

同时他决定计算机采用二进制而不是十进制，在他的头脑中形成了现在称为“逻辑电路”的初步概念。他还确定，数的运算不是通过直接计数来进行，而是利用逻辑规则通过电子器件来实现。

在那天晚上，阿塔纳索夫还解决了一个与二进制数存贮有关的问题。

在此以前，他就考虑过采用电容器（存贮电荷的装置）来作计算机的存贮器。例如，当电容器一端带正电荷表示数字 1，不带电荷则表示数字 0。但问题是电容器所带的电荷会逐渐泄漏掉。在小店休息后，阿塔纳索夫思路变得清晰了，他的脑海中突然萌发出“再生存贮”的想法。他认为，再生存贮是能够实现的，这是由于电容器能更新（再生）自身的状态，即它的电荷不断得到补充，因此如果电容器处于某一状态（例如正的状态），它就会始终保持在这个状态，而且这种状态不会随时间而改变或衰减为 0。因此把电容器作为计算的存贮单元是可行的。

“再生存贮”是第二次世界大战后，对许多计算机研制产生深远影响的，最有用的重要概念之一。

三、ABC 样机的试制

通过与同时代其他计算设备相比较，就可以看出阿塔纳索夫所提出的电子计算机基本原理的独创性和先进性。

当时很多计算是在机电计算机上完成的，它们能对两个数进行连续的加减乘除。而大型的计算机则在使用穿孔卡的制表机上进行，但是这些机器都只能进行数字的运算。当时最先进的用于科学计算的，要算是布什的微分分析仪了，它是一种以十进制为基础的机械式模拟计算装置。

但是阿塔纳索夫所提出的三条原则与上述计算装置截然不同。这些原则是：

- 1、以二进制的逻辑运算为基础来实现数字运算，以保证精度；
- 2、利用电子技术来实现控制、逻辑运算和算术运算，以保证计算速度；
- 3、计算机采用把计算功能和二进制数更新存贮的功能相分离的结构。

现代电子计算机所依据的基本原理，也包含了以上三条原则。

阿塔纳索夫对现代计算机发展作出的贡献之一，就是倡导用电子管作开关元件，电子管的效率高，为实现高速运算创造了条件。

在 1939 年春天，阿塔纳索夫开始准备按自己的设计思想来制造计算机。由于当时他不可能把全部时间、精力都投入到这一项工作中去，所以打算物色一名训练有素的电气工程师作助手。

这时电气工程系的一位教授向阿塔纳索夫推荐了该系的一名应届毕业生，他就是贝利。

贝利是一名才华横溢的小伙子，他对阿塔纳索夫的研制工作很感兴趣。以后的事实表明，阿塔纳索夫和贝利两位，一中一青、一理一工配合默契，是一种最佳的组合。阿塔纳索夫对贝利的评价是“顶呱呱！”

两人先在物理楼的地下室建立了一个车间，从此他们就经常到那里去装配零件了。

为了检验阿塔纳索夫所提出的基本原理，在 1939 年秋天，阿塔纳索夫和贝利决定先试制出一台样机，这就是阿塔纳索夫后来命名为“ABC”计算机的样机。A、B 分别是他们两人名字的第一个字母，阿塔纳索夫这样命名是为了表明贝利在研制工作中所起的重要作用。

1939 年 10 月制成的样机，一开始就能准确、可靠地工作，但并不很引人注目，因为它只能对 8 位数进行加减，而且比笔算还要慢一些。

1941 年 5 月，阿塔纳索夫说：“样机一旦取得成功，我们就能胸有成竹地宣告：我们可以制造出一台几乎能完成计算方面任何工作的机器。”他的话不免有些夸张，但样机的成功证实了阿塔纳索夫所提出的原理与方案是富有生命力而且切实可行的，从而迅速为现代电子数字计算机的研制开辟了道路，对此是毋庸置疑的。

这台样机尽管外表粗糙，但它却是计算机发展史上的一个里程碑。有些科学史学家认为，如果 ABC 机当时能正式制造出来，那将是世界上第一台电子数字计算机。因此，这台样机的问世，预示了“计算机的一个新时代”。

第四章 开创信息革命的里程碑 ——埃尼阿克 (ENIAC)

1945年,在美国宾夕法尼亚大学莫尔学院,由莫奇利与埃克特主持研制的第一台通用数字电子计算机——埃尼阿克(E- NIAC)竣工,ENIAC的问世,标志着人类计算工具发生了历史性的变革,人类从此进入了信息革命的新时代。

一、一个气象学家的孜孜追求

莫奇利在1907年生于美国辛辛那提市的一个知识分子家庭里,他的父亲取得物理博士学位后在华盛顿特区的卡耐基研究所担任研究室主任。

莫奇利在8岁时就已懂得电路方面的许多知识,经常以摆弄电路为乐。去看望亲戚时,逢人就介绍如何接一对电灯开关,使得在一个房间的两个不同地方就能控制同一盏灯的亮或灭。后来他终于弄明白了,这种他自称为“懒汉开关”的电路,实际上就是一种二进制开关电路,这与以后安装在数字计算机中的电路相类似。

莫奇利在中学时就已广泛使用台式计算机。他在课余或周末,经常花费很多时间坐在这种计算机面前,帮助他的父亲进行有关气象等方面的地球物理计算。长时间的复杂计算往往会使人厌倦,但莫奇利却能不厌其烦地工作,并从此培养起耐心和对计算和气象方面的兴趣,还为此献出毕生的精力。

1932年莫奇利取得了博士学位。在30年代,由于美国经济萧条,在大学生中求职很不容易。但莫奇利于1933年有幸在厄西纳斯学院物理系找到了工作。

厄西纳斯学院的经费拮据,连计算机都很缺乏。但经济萧条帮了莫奇利的忙,他从倒闭的银行那里自费买到一台价格低廉的旧台式计算机供自己使用。

于是莫奇利开始用自备的计算机来进行气象预报的计算工作。他想也许他能发布半年、一年甚至两年的较准确的气象预报。

莫奇利希望通过对气象数据进行数学分析来进行气象预报,还想论证太阳黑子与当时地面气象情况之间存在重要的关系。

为此,莫奇利和他的助手专程前往华盛顿去访问国家气象局的数据资料库,并亲手抄写了许多气象资料带回学校。

莫奇利很快组织了十几个学生,让他们用台式计算机对这些数据进行处理。

学生很努力,数据也很可靠,但令人头痛的是计算机。由于在数据穿孔输入及从数据表上读数时容易引起很多错误,所以这些学生简直无法胜任莫奇利要他们完成的任务。

这种计算机也不能存贮计算的中间结果,因此学生在进行下一次计算之前,必须要把上一次的计算结果记录在纸上,这就有可能导致另一类错误,因为如果手和脑子一不小心,就会把1.117误写成1.171,这看似很小的误差却会铸成大错,使以前所作的计算都前功尽弃。

于是,在1936年前后,莫奇利开始考虑制造出符合自己要求的计算机,这台机器与当时流行的,操作缓慢的机械装置截然不同,它是一种电器装置,

采用当时物理研究人员用于粒子计数器的电子管为基本元件。

电子管还能计数。1929年，英国远程通信研究机构的温·威廉斯发明了第一个带电粒子计数器。莫奇利在实验室看到了类似的电子管计数器，每秒计数的粒子数，竟高达100万。

于是，莫奇利联想到，为什么不能同样地花一秒钟的时间，同时为100万个气象数据来计数呢？一台使用电子管的计算装置，也许在一刹那就能进行一次加法，而用台式计算机却要10秒钟时间。

莫奇利对哥伦比亚大学的天文实验室中所用的穿孔卡计算机也很了解。

这个实验室的主任，是耶鲁大学毕业的天文学家W·埃克特，他在一所大学和IBM公司的资助下，建立了一个计算机构。

由于天文方面的繁琐计算用手算太麻烦，太费时间，W·埃克特就决定采用穿孔卡计算机来诸，这些机器是IBM公司在1929年特意为哥伦比亚大学制造的。这样不仅使计算所得到的结果令人满意，而且还据此编制出一本准确无误的历书。

哥伦比亚天文实验室所取得的巨大成功，极大地鼓舞了莫奇利，他决心把制造电子计算设备的计划付诸实施。

二、不堪回首的会见

1940年12月底，在美国科学促进协会的一次会议上，莫奇利宣读了一篇名为《气象预报的数据分析》的论文，叙述了本人如何利用自己的电子分析仪得出结果的。当莫奇利的论文宣读完后，有一个人立即走上前去，并作了自我介绍。这个人就是阿塔纳索夫。

阿塔纳索夫对莫奇利说，他自己也正在用电子管制造计算设备。两人化了几分钟时间在一起讨论了电子计算机的潜力和研制的可行性。在约定继续通信后握手告别。

这一年6月中旬，莫奇利驾驶汽车上千公里前往衣阿华州，在那里作为阿塔纳索夫的客人参观了主人的实验室，看见了他早已向往的ABC计算机。

莫奇利原来预料在他面前将会出现一台全电子式的，能广泛应用的通用计算机。但是呈现在他面前的却是一个用一些电子管与其他部件拼装起来的小机器，他感到很失望。

这时，莫奇利想起，在他们两人初次见面时，阿塔纳索夫并未提起他的ABC机不是全电子式的啊！

莫奇利认为，ABC机做得尽管很巧妙，但是由于其中有一部分是机械部件，因此无论如何也不是原来他心目中的那种电子式机器。

但是，曾经长期使莫奇利困惑不解的“一位数字两个美元”之谜，这次，总算被揭开了。

原来，阿塔纳索夫所用的电子元件不全是电子管，他是用了一些很小的电容器代替了电子管，通过把这些小电容装在旋转的圆筒上，从而做成了一个半机械、半电子的混合物。此外ABC机的功能也很有限。因此，莫奇利认为，ABC机只解决了一类特殊的问题，而并没有解决一般的问题。

使莫奇利感到失望的另一个原因是，ABC机尚未完工。阿塔纳索夫本人在后来也承认，在莫奇利去参观时，ABC机还不能正常演示，为了使它正常运行，许多问题有待解决。当时只对莫奇利介绍了机器的功能，而没有详细

说明机器的结构。

第二天，莫奇利再次到实验室去参观 ABC 机，阿塔纳索夫要助手贝利设法启动计算机，以便让客人莫奇利能看到它的运行。但由于 ABC 机的许多部件尚未安装，有的甚至还没有设计出来，所以演示不怎么成功。当时只有一个圆筒已安装在转轴上，穿孔卡阅读器也不能工作，因此数据必须通过让电刷同电容器接触这样的方式，才能输入到电容器中去。而 ABC 机上又没有定时控制装置，所以一次只能运行一个周期。

莫奇利当时就认为，阿塔纳索夫的再生存贮是一个令人叫绝的概念。虽然他本人也曾考虑过用电容器作存贮器的问题，但仍很乐意详细了解阿塔纳索夫是如何处理这个问题的。

在阿塔纳索夫那里，莫奇利有机会看过阿塔纳索夫所写的，关于 ABC 机及其操作的说明书。

在莫奇利作客期间，两人花了大部分时间讨论有关计算机技术方面的问题，在几天时间内双方建立起真挚的友谊。

在临走前，莫奇利接到通知，宾夕法尼亚大学莫尔式学院同意他去进修一门与国防有关的电子学课程，这样他就有机会进一步提高电子学的实际技能，这正是他研制先进计算设备所需要的本领。

在约定以后继续保持通信联系后，两人握手告别。

在以后的许多年里，阿塔纳索夫确实接二连三地听到莫奇利的声音。两人通过通信或面谈互相沟通思想。但是令人沮丧的是，最后由于 ENIAC 专利权的归属之争，结果发展到联邦法庭的传讯中，莫奇利和阿塔纳索夫这两位以往的朋友，竟然对簿公堂，这绝不是两人始料所及的。

三、仿制分析仪取得成功

1941 年 12 月，日本侵略者悍然发动太平洋战争，美国、英国对日宣战。美国政府下令一切科学研究和技术开发都必须服从国防的需要。这样，计算机的先驱者们的工作，只能听从政府的安排了。

贝利在加利福尼亚大学的帕沙第纳，找到了一个与国防有关的工作，离开了衣阿华。

阿塔纳索夫已超过征兵的年龄，被安排从事军事研究开发工作。在 1942 年 9 月进入马里兰州的美国海军军械实验室，在那里研究音响水雷，这种水雷可以在收集到敌舰螺旋桨发出的声音时发射出去。

与此同时，莫奇利在宾夕法尼亚州立大学莫尔学院工作。这个大学一向具有带头开发计算设备的传统。

早在 1870 年前后，学校的一位知名人士就曾提供了一笔资助，要求按巴贝奇的差分机作为蓝本，制造出一台机械式计算装置，并规定，这台计算机只有在 1876 年美国的费城世界博览会展出后，才能把它运回来留在学校里。这台机器自参展运回学校后，就一直存放在物理楼的顶层。这台计算机后来的遭遇竟然与阿塔纳索夫的 ABC 机完全一样：当物理系搬迁时，由于没有一个人能想起这台设备是干什么用的，竟然无人理睬而被丢弃！

在 30 年代初期，学校要求政府提供经费，来制造一台与麻省理工学院相仿的微分分析仪。

在那时，正当经济危机处于最严重的时期。要取得资助，就需要得到一

个权威的政府机构的批准。幸好学校有一名校友正在阿伯丁弹道研究实验室工作，通过他才使这个项目得到军方的批准。

于是军方和校方一同去找麻省理工学院的布什，访问他是否能协助他们制造一台他本人研制的微分分析仪的仿制品，布什表示同意。

1933年，麻省理工学院制订了一项与莫尔学院及军方三方共同研制的联合计划，来制造两台全部与布什分析仪相仿的复制品，一台放在学校内；而另一台放在阿伯丁实验室里。大约花了两年的时间，一台精巧的，比布什的原型机还要大的微分分析仪就制造出来了。在当时的一段短时期内，它是世界上最大的两台计算机之一。

四、密切配合创业绩

当莫奇利在1941年夏天到莫尔学院时，就想物色一名像他一样对计算机感兴趣，而且在自动化和电子技术方面都具有潜力的人作助手。后来他选用的助手，就是前面提过的研究生埃克特。埃克特在1919年生于费城，比莫奇利小12岁，从1941年起就读于宾夕法尼亚大学莫尔学院。

1941年9月，莫奇利成了莫尔学院的讲师，他在计算机领域有一个宏伟的计划。当月底，他写信给阿塔纳索夫，表示希望能取得有关分析仪操作的第一手资料，并期望自己将要研制出电子技术上超过分析仪的计算机。

莫奇利在信中提到，许多不同的设计思想来自他本人近来考虑的计算机电路，其中有些融合了阿塔纳索夫的方法，而另一些则与阿塔纳索夫的计算机不同。

接着莫奇利说莫尔学院可能要制造一台像阿塔纳索夫那样的计算机。并访问阿塔纳索夫，对自己想结合ABC机的一些特点制造计算机一事有没有不同意见？如果按这种设想，能不能以布什分析仪的方式，制造出一台“阿塔纳索夫式的计算机”来？

在20世纪40年代，第二次世界大战刺激了电子技术的迅速发展，使电子电路的理论和电子元件的生产技术都达到了很高的水平，这时设计制造电子计算机的主要技术条件已经具备。此外，为了适应战争的需要，要求研制出像雷达、火箭、导弹、原子背景和性能更好的飞机等一类新式而复杂的武器系统，这就迫切需要研制出高速的计算工具来进行理论分析的设计计算，同时许多计算机先驱已在研制机械式或机电式计算机方面积累了许多经验，所以研制电子计算机的条件已经成熟。

当时莫奇利充分考虑了研制电子计算机的可行性。

通过自己解决数学问题的经历，他发现，为了解数学问题常常需要用公式来进行计算，而这些计算往往又很容易通过一连串重复的格式来实现。

尽管通过对纯机械式的计算装置加以改进，能使运算速度有所提高，但是如果采用电子方式来进行计算，那么计算速度将能大大加快，因为电子计算装置的运算速度要比任何机械式计算装置快得多。

于是莫奇利开始沿着阿塔纳索夫曾走过的同样的道路，在莫尔学院制造一台“阿塔纳索夫式计算机”，为逐步实现自己的理想而努力。很显然莫奇利的很多主意来自阿塔纳索夫的成果。

当时莫奇利还考虑了可以采用像二进制电容器计数器同样的想法来设计十进制计数器。

莫奇利还打算制造一台脉冲发生器，使计算机各个部件实现同步操作，正像许多钢琴家按同样的节拍进行钢琴合奏一样。

在 1942 年 8 月，莫奇利提出了一份标题为“使用电子管的高速计算装置”的备忘录，它实际上是 ENIAC 的初始设计方案。

1943 年夏天，ENIAC 的研制工作正式开始，按照军方与宾夕法尼亚大学签订的合同，大约召集了 200 多人从事这项工作。

资助研制计算机的是衣阿华州立学院的农业实验站，所提供经费只有 6000 美元，机器预定用于解决农业问题，然而战事一起，研制计划只好告吹。而 ENIAC 方案则因为是由美国军方提供经费，出于战争的需要，对 ENIAC 的研制引起了足够的重视。

主持 ENIAC 技术工作的是莫奇利和埃克特。莫奇利是总设计师，他提出电子计算机的总设想：埃克特是总工程师，负责解决研制中的一系列困难复杂的技术问题。他不仅是莫奇利的得力助手，还在研制中对理论或设计方面提出独到的见解和创造性的思想。

此外对 ENIAC 方案的实施作出重要贡献的，还有戈尔斯坦、勃雷纳德和勃克斯等人。戈尔斯坦不仅在数学上出主意，还在科研组织工作方面显示出卓越的才干，勃雷纳德则是项目的总负责人；而勃克斯作为逻辑学家，ENIAC 设计过大型部件，如乘法器等。后来他对阿塔纳索夫及 ABC 机进行过周密的调查，并在 1988 年著书进行了全面的介绍。1985 年 6 月，他还到我国上海等地访问。

研制 ENIAC 的莫尔小组是一个由朝气蓬勃的年青科技人员组成的集体，其中物理学家、工程师和数学家就有 30 多名。

最后定型的 ENIAC 有 30 个左右不同的单元，如输入、输出、运算等单元，这些单元必须彼此同步，才能同时运行。同“巨人号”一样，ENIAC 是利用机器的内部电子钟，即所谓中央同步单元，来实现这种令人挠头的定时功能的。

ENIAC 设计中的许多特征，后来成为电子计算技术的样板。例如，早在微电脑时代开始之前三十年，埃克特与莫奇利就已在他们 ENIAC 的研制中采用了模块化的设计思想。由于 ENIAC 的电路采用插入式组合而成，这就给维修时更换组件带来很大的方便。ENIAC 中采用插入式组件，这与原定的“简单性”设计原则相符合。

为了遵循简单性、可靠性的原则，ENIAC 按照十进制，而不是按照二进制来操作。ENIAC 的研制者以为十进制是比较可靠、比较方便的。可能由于经费紧张的原因，在 ENIAC 中偶尔也有少量以二进制，而在数据输入、输出时再变回十进制，正像楚泽的 Z—3 型机和 ABC 机一样。研制小组常常在成本和性能之间进行反复的考虑，成为计算机研制者的成功典范。

设计 ENIAC 的信条是简易、适应性强、可靠性高，这些原则确实非常正确，这样就使得曾经预言用电子技术制造计算机注定要失败的悲观论调不攻自破。

ENIAC 于 1945 年试制成功。从运行情况来看，ENIAC 不仅适应性强、快速、可靠，而且很牢固。由于选用可靠性高的电子管，尽管机器不时出现故障，但性能达到预期的效果。

建成的这台 ENIAC，重 30 吨，体积同铁路上的一辆棚车一样大。这样庞大的机器，1947 年在莫尔学院拆开并运往阿伯丁实验室重新装配后，仍然

能正常工作。从 1946 年至 1955 年，ENIAC 经过十年几乎无故障的运行后，在最后拆卸时，还处于正常工作状态。

因此 ENIAC 的问世，使莫奇利制造一台阿塔纳索夫计算机的预期目标圆满实现并大大超过。虽然 ENIAC 原定的目标是用于弹道计算，但是经过多次改进，它后来成为能进行科学计算等工作的通用计算机。

由于在 ENIAC 之前已有英国的“巨人号”计算机问世，所以 ENIAC 已经不能算是世界上的第一台电子数字计算机了。但是，由于“巨人号”是一台专用的计算装置，所以，把 ENIAC 称为第一台通用电子数字计算机，则是毋庸置疑的。

当 ENIAC 在 1945 年投入运行时，大战已经结束，为战争效力的机会已错过，但正赶上战后武器设计的时机。ENIAC 的研制者最初曾利用 ENIAC 去进行与核武器研制有关的大量计算。

ENIAC 是第二次世界大战期间最重要的发明之一。

ENIAC 在通用笥、简单性和可编程方面取得的成功，使现代计算机成为现实，以往任何其他的计算机都不能与它相比。

在 ENIAC 正式使用后 9 个月，英国无线电工程师协会的蒙巴顿将军，把 ENIAC 的出现赞誉的“诞生了一个电子的大脑”，电脑的名称就逐步流传开来了。

埃尼阿克 (ENIAC) 的成功，是计算机发展史上一座纪念碑，在上面凝聚着上百名天才人物的心血，并体现了这些先驱者不屈不挠地为克服一个又一个困难而奋斗的精神。同其他重大发明一样，ENIAC 的问世不是一个孤立的事件，而是人类在发展计算技术取得一系列进展的历程中，到达的一个新的顶点。

第五章 科学全才建奇功

在 1945 年 6 月，当埃尼阿克（ENIAC）还未向外界公开时，著名科学家冯·诺伊曼就主持制订了埃德伐克（EDVAC）的研制方案，在这个方案中，首先提出了著名的“程序内存”概念，成为计算机发展史上的又一个重要里程碑。

1944 年夏季的一天，就在弹道实验室所在地的阿伯丁火车站，当时正从事 ENIAC 研制的戈尔斯坦看见冯·诺伊曼正在等车，就迎上前去与他交谈起来。冯·诺伊曼当时虽然已是世界著名的数学家了，但他平易近人，因此在开始交谈时气氛非常融洽，戈尔斯坦并不感到拘束，但当戈尔斯坦提起他们正在研制每秒运算 300 多次的电子计算机时，气氛就立刻严肃起来，冯·诺伊曼详尽无遗地向戈尔斯坦访问了有关的情况，很明显，正是 ENIAC 的研制方案引起了冯·诺伊曼的极大兴趣。

科学全才冯·诺伊曼是本世纪最杰出、最有影响科学家之一，他不仅同时在基础数学和应用数学两方面都作出了开创性的重大贡献，还对电子计算机的发展产生了深远的影响，被人尊称为“计算机之父”。

1903 年，冯·诺伊曼出生于布达佩斯一个匈牙利籍犹太人的家中，当时匈牙利还是奥匈帝国的一部分。

冯·诺伊曼从小就显示出超人的才华，他的记忆力超群，读过的书能立即一字不漏地复述出来，而且经久不忘。他的心算能力也令人赞叹不已。一次，有一位数学教师，遇到了一个复杂的计算问题，用台式计算机算了一个通宵，还是毫无眉目。而冯·诺伊曼听说后，眼睛盯着天花板沉思了一会儿，不到 7 分钟就把正确答案口算出来了。随后又用了半个小时，连进行计算的最好方法也考虑出来了。

从少年时代起，他的老师和他的父亲就十分注意对他进行特殊的精心培养。1926 年在他 22 岁时就获得了数学博士学位。他一生通晓 7 种语言，这成为他从事广泛科学研究强有力的工具。

1930 年，冯·诺伊曼移居美国。1942 年，为了准备对德作战，美国按照曼哈顿计划，建立了洛斯·阿拉莫斯实验室，研制原子弹等尖端武器。1943 年，冯·诺伊曼以顾问的身份参加了这一实验室的工作，那时他还同时担任阿伯丁实验室的顾问。

在冯·诺伊曼 40 岁左右时，由于第二次世界大战期间美国研制原子弹等战略武器的需要，把他引入计算机科学的领域，从此以后，他就集中主要精力从事这个领域的研究。

在洛斯·阿拉莫斯实验室，为了研究原子核裂变反应过程，往往需要进行大量的计算。而要对一种裂变反应的传播作出肯定或否定的答复，就会涉及到数十亿次初等算术运算和初等逻辑判断，为此，洛斯·阿拉莫斯实验室同阿伯丁实验室一样，调集了上百名计算员日以继夜用台式计算机进行运算，然而结果还是不能令人满意。正如冯·诺伊曼所说：“为了完成这些计算，必须进行比迄今为止人类已进行过的全部计算总次数还要多得多的计算。”

因此，当冯·诺伊曼听戈尔斯坦谈起研制电子计算机的情况时，就立刻敏锐地意识到 ENIAC 研制小组工作的深远意义。

1944 年夏天，冯·诺伊曼作为顾问与 ENIAC 研制小组一起活动。

当时 ENIAC 还在孕育之中，冯·诺伊曼就敏锐地发现，这个胎儿潜伏着来自机电式计算机母体的某些先天性的缺陷。这主要反映在：十进制记数限制了机器的存贮量；而“外插型”程序又增加了计算前的准备时间。为此，冯·诺伊曼提议，开始孕育另一个胎儿，这就是后来研制的埃德伐克(EDVAC，离散变量自动电子计算机的英文缩写)。

参加研制 EDVAC 的，除了冯·诺伊曼及莫奇利和埃克特外，还有戈尔斯坦和勃克斯等人。在这些人的共同努力下，1945 年 6 月发表了由冯·诺伊曼主持制订的研制 EDVAC 的方案，它是一种全新的、采用“存贮程序”概念的通用电子计算机方案，在 EDVAC 中，用存贮设备使指令的执行实现了自动化。这种采用“存贮程序”的计算机，被称为冯·诺伊曼，成为随后研制计算机的楷模。因此，应该说，真正具有现代意义的电子计算机是从 EDVAC 开始的。

从开始研究原始的计算工具，到 ENIAC 的问世，人类经历了几千年以上漫长的岁月。但从 1944 年 8 月到 1945 年 6 月短短十个月内，计算机技术取得了迅猛的进展，许多崭新的思想，从一个富于首创精神的集体中不断涌现出来。

但是，在 EDVAC 方案提出后不久，由于发明权的争执，研制小组发生了令人痛心的分裂，这在科技史上是经常出现的。此后戈尔斯坦与勃克斯随同冯·诺伊曼回到了普林斯顿高等研究院，继续从事有关 EDVAC 逻辑结构的研究。

EDVAC 方案明确规定了计算机有五个主要部件：输入装置、运算器、存贮器、逻辑控制装置、输出装置，并说明了这五个部分的功能和相互关系。

EDVAC 方案有两项非常重大的改进：一是为了充分发挥电子元件工作特点（高速和简便）而使用二进制，这样对于数的表示与存贮都比较适合，不仅运算速度快，还能节省存贮设备和简化逻辑线路。机器的主要工作并不是计算，而逻辑运算，因此制造二进制的运算器，就使计算机的结构紧凑且更通用化，这样在设计同一类型计算机时，工作量可大大减少。

EDVAC 方案的另一项改进，是提出了“程序内存”的概念，这样，不仅数据能存入存贮器，而且指令在用数字表示后也能存入存贮器，于是就可以像数据一样进行处理，通过一种专门的指令，从一条程序指令转到下一条程序指令的过程，就能自动完成。

“程序内存”概念被称为计算机发展史上的一个重要里程碑。利用这个概念，使程序的逻辑选择可以在机器内部进行，从而使所有运算真正实现了自动化。

“程序内存”的概念至今已经很自然地被人们接受，但在当时却是一项非常重大的突破。这个概念的提出，不仅使计算机的运算速度大大提高，而且使计算机的结构简化。当时 EDVAC 所使用的主要逻辑线路，在现代的计算机中仍然被使用，因此 ED- VAC 方案为现代电子计算机的设计奠定了基础。以后的计算机只是改变了实现逻辑线路的手段，例如用晶体管、集成电路代替了电子管，使用了磁芯等新的存贮手段等，以及对逻辑电路作了改进而已。

由于冯·诺伊曼主持制定的 EDVAC 方案为现代计算机的发展指明了正确的方向对现代计算机的设计产生了深远的影响，因此人们把现代计算机称为冯·诺伊曼型计算机。

在 EDVAC 方案的基础上，冯·诺伊曼、戈尔斯坦和勃克斯三人于 1946

年6月间在为普林斯顿大学高等研究院研制新的IAS计算机（IAS是高等研究院英文名称的缩写）时，又提出了一个更完整的“电子计算机逻辑结构的初步探讨”的报告。这个报告的发表，在美国及西欧掀起了“计算机热”，冯·诺伊曼的声望和影响，极大地促进了当时刚刚起步的计算机事业的发展。

冯·诺伊曼本人在普林斯顿高等研究院主持研制ED-VAC，研制工作在极保密的情况下进行，直到1951年才告完成。这台计算机的特点一是快，二是通用性强，它不仅能应用于各种科学计算，甚至连复杂的数论问题也能解决，而且可以用于信息检索、数字控制等方面。这是由于它采用二进制和存贮量大的缘故。

但是最早问世的内存程序的计算机并不是EDVAC，而是埃德萨克（EDSAC，电子继电器存贮程序自动计算机），它是由英国剑桥大学的威尔克斯与他的同事在1949年5月完成的。

威尔克斯曾在1946年七八月间，到宾夕法尼亚大学参加过由冯·诺伊曼主持一个训练班，在这个班听课的有来自英、美等国20个机构的29名专家。学习内容是计算机的设计理论和程序内存概念的运用。这个训练班办得很及时，它犹如一石激起千重浪，开创了计算机研制的新局面。当时，有好几台程序内存的计算机同时在英、美等国设计制造。威尔克斯在回国后，立即抓紧主持对EDSAC的研制，终于捷足先登地摘取了第一台“内存程序”计算机研制者的桂冠。

在EDSAC中，有关的程序像数值数据一样，存入存贮器中，无论什么时间，无论使用几次都可以。计算机在运算时就能修改程序，在运算任务改变时就不再需要一一重新接线了，因此使用时比ENIAC灵活得多。它只用了3000个电子管，体积比ENIAC小得多，但存贮量却增加了。

ENIAC采用的是十进制，而且是通过直接计数而不是用逻辑电路进行计算的。而EDVAC采用的是二进制，用逻辑电路来进行二进制数的算术运算，而且还采用了再生存贮器。显然，参加EDVAC研制的莫奇利和埃克特仍沿用了阿塔纳索夫所提出的研制数字电子计算机的基本原理。

冯·诺伊曼除了在计算机理论和设计方面作出突出的贡献外，还大力开拓计算机在许多领域上的应用。在计算机许多先驱者中，冯·诺伊曼出类拔萃，其原因除了他本人的才智外，还由于他通过自己在许多领域中广泛使用电子计算机，为电子计算机的应用开辟了广阔的前景。

冯·诺伊曼同图林一样，认为计算机只是达到目的的一种手段。他只要有机会就毫不犹豫地利用计算机来解决各个科学领域中出现的问题。正是计算机强烈地激起他的才智，在原子物理、流体力学、计算数学等许多领域作出重大的贡献，在编程序时使用流程图也是由他首先倡导的。

在普林斯顿高等研究院，冯·诺伊曼还提出了一项用计算机进行气象预报的研究计划，这项研究最后开成为系统的气象数值预报的方法。

在电子计算机起步的阶段，主要用于科学和工程方面的计算。例如曾利用计算机来协助研制氢弹的工作，使氢弹的体积缩小到能够用导弹来发射的程度。但是在当时有一些有识之士，其中包括莫奇利和埃克特，他们已预见到计算机必定会在更多的领域中得到应用。冯·诺伊曼还敏锐地预见到，计算机还将能用于事务处理。

特别需要强调指出的是，冯·诺伊曼对计算机和人脑之间的相似性怀有浓厚的兴趣。他从神经学和心理学的角度对人脑思维过程进行研究，几乎独

立地、创造性地开拓出信息传递和自动机理论方面的研究领域。他虽然因病过早地于 1957 年 54 岁时去世，但他为现代计算机事业的发展开辟了广阔的道路，他本人作为对计算机发展一位最有影响的开拓者，名垂计算机发展的史册。

第六章 推动英国计算机发展的“巨人”

如果说第二次世界大战的爆发阻碍了阿塔纳索夫研制 ABC 机的进程，那么这场战争对英国起步研制电子计算机却起了促进作用。

在战争期间，英国外交部通信处主持设计了一种称为“巨人”的机器，这种机器使用高速的电子，电路，它能为英国破译所截听到的德军电台传送的密码消息，这些消息是由德军的一种称为“艾尼格玛”的机器译成密码的。

第一台“巨人”是在 1943 年下半年开始投入运行的。到大战结束，至少已有 10 台“巨人号”按照同一设计图纸制造出来。第一台“巨人号”有 1500 个电子管，并以每秒 5000 个脉冲的速度运行。

同阿塔纳索夫的 ABC 机不同，“巨人号”的逻辑电路并不是用业完成通常的算术运算，而是实现一连串的逻辑运算。因此，严格地说，“巨人号”并不是一种数字计算机。但是“巨人号”能在内部高速产生和存贮数据，而且它的运算顺序可以通过开关的操作加以改变，同时还能把待破译消息的某些特征通过插入电缆输入机器。“巨人号”的上述特点，使它在继电器计算机和现代电子计算机之间填补了空白。

“巨人号”一出世，德军的密码机就遇到了克星，只要“区尼格玛”一制订出密码，就立即被“巨人号”破译。直到二次大战结束，德军最高司令部始终使用这种密码机进行“保密通信”，而对英国情报机关一直在截听、破译却全然不知。有的军事评论家认为，“巨人号”是盟军取得胜利的一个关键因素。盟军使用这一设备的秘密，直到 1975 年以后才慢慢被透露出来。

一、“高尔夫俱乐部”里的秘密，

有关“巨人号”的来龙去脉，要追溯到 40 年代，正当纳粹军队越过欧洲大陆准备向西进犯时，英国一批科学家及工程师被秘密召集到伦敦以北 80 千米远处的布莱奇利园，政府在这个维多利亚女王时代的庄园里举办密码训练班，目的是设计出一些机器来破译德国军事通信中使用的密码。为了保密，这个训练班的公开名称是“高尔夫与象棋俱乐部”。

布莱奇利园在极秘密的状态下开展工作。其中的研制者不是单独的个人，而一批人。图林、纽曼和弗劳尔斯是设计这种破译密码的几个关键人物。

在布莱奇利园工作的传奇式的群中，最奇特、最有才华的成员要算是图林了，有人把他称为是计算机史上最伟大的、空前绝后的一个人物。

图林在 1912 年生于英国的伦敦，1931 年进剑桥大学学习数学，毕业后留校工作。1935 年开始研究数理逻辑。在剑桥大学，他的老师纽曼与他讨论过“可计算性问题”，这项研究讨论哪些计算可能实现，哪些计算不可能实现。

图林设想出一种通用自动机，并证明了：只要输入有关的信息，这种自动机就能解决任何依赖于计算的数学问题。

图林所设想的这种机器，现在称为图林机。图林是在 1937 年他发表的一篇论文中，首先提出上述通用自动机的概念的。正是由于这个概念，使图林机成为首先体现数字计算机通用性观念的第一台机器，并为计算机理论奠定了基础。

1938 年，图林远涉重洋，到美国普林斯顿大学工作。不久之后回国，然

后到布莱奇利园工作，开始把他的抽象概念变为实用的机器。

图林在布莱奇利园的许多发明，其中包括他在破译密码的计算机“炸弹冻（一种冰淇淋制成的西式点心）”上所作的贡献，对一般人来说，至今还是个秘密。但在这些计算机中采用了图林机的某些概念，这一点是毋庸置疑的。

“炸弹冻”和“希思·鲁滨逊”是“巨人号”的前身，希思·鲁滨逊是英国著名漫画家的名字，他以画玄妙奇特的机器闻名于世。

“炸弹冻”是一台由机电继电器做成的设备，高2.4米，宽2.4米。它被用来尽可能快、尽可能准确地确定德军密码机转子的原来位置。英国拥有多少台“炸弹冻”不得而知。但是仅在敦克尔克（英法联军在1940年从这里奇迹般地撤回英国）一地，它就可能拯救过成千上万人的生命。

“炸弹冻”只是布莱奇利园设计和制造的三种破译密码用计算机中的一种。布莱奇利园后业还制造出另两种新的计算机，即“希思·鲁滨逊”机及“巨人号”。这是由于那时德军开始使用一种新的、更复杂的密码机，例如英国人所称的“鱼”密码机。

“鱼”密码机采用“默里码”。这是一种新的电报码。最著名的电报码是莫尔斯码，但使用这种码时收、发报机难于区分相邻的字母，而且发送与接收也难于实现同步，因此在1901年前后英国发明家D·默里提出了新的电报码，后来人们把它称为默里码。这种电报码使用点、空来代表英文字母和数字等符号，因此把字母表示为1连串的0与1。实际上使用的就是二进制。

由于“鱼”密码机采用二进制，因此用二进制计算机来解密是很合适的。

在弗劳尔斯等专家的努力下，第二种密码破译装置“希思·鲁滨逊”问世了。

“炸弹冻”是一种机电装置，而“希思·鲁滨逊”则是由六七十个电子管组装起来的。整个设备占满了一间小的平房，它有两个同步光电纸带阅读器，每秒能读2000个字符。这台机器可以对输入这两个纸带阅读器中的两道川流不息的数据进行二进制逻辑运算。一条纸带上是德军的密码消息，另一条纸带上是英国人认为德军原来信息的电码表示。“希思·鲁滨逊”机一次又一次地反复对这两条带子进行比较，对电码组合的各种可能方式进行试验，就能发现德军传送消息时所用的确切电码。这样，经德军密码机搞乱的一连串二进制代码就能恢复原来的顺序，密码消息就被破译出来了。这种破译密码机的使用，相当于为盟国建立了一条直通德军最高司令部的，获得军事情报的线路。

由于在制造“希思·鲁滨逊”机时，主要考虑的是速度，而不是可靠性。因此常出现故障，有时“咻”的一声纸带断了，那就全都乱套了，全部事情只好都从头开始。还可能出现停止转动、过热和起火等故障。由于研制者夜以继日地努力，克服了种种困难，才使它能够正常运行。

尽管“希思·鲁滨逊”机很难达到预定每秒2000个字符的速度，但它的试制成功，证明了用于破译密码的高速电子设备确实能制造出来。

布莱奇利园的成功，部分原因应归功于参加研制的成员能在任何时候，得到他们所需的几乎每一样东西，有时甚至从美国59搞来设备。

由于所截获到敌方消息的价值，随着时间的流逝而逐渐降低，因此破译密码机处理消息速度的提高就显得非常重要了。

“希思·鲁滨逊”机每秒高达2000字符的速度，对通常的机电纸带阅读器来说是无法适应的。上述光电阅读器就是为了这个目的而研制的，这种阅读器对于“希思·鲁滨逊”机及后来的“巨人号”都是至关重要的。在“巨人号”中，速度甚至可达到每秒5000个字符。

在“希思·鲁滨逊”机取得成功后，布莱奇利园又开始研制新一代的破译密码机——“巨人号”。1943年12月初，第一台“巨人号”开始投入运行。

二、布莱奇利园中孕育的“巨人”

第一台“巨人号”运行情况比英国政府原定的要求要好，但由于德军电传打字机的数据传送速度加快，这就需要更多的密码破译机来破译密码。此外德军开始流行更好的密码机操作手续，为此，密码破译机必须具有更强的功能。

1944年2月底，布莱奇利园的研制者听说将要赶制出十几台“巨人号”，并且限期在6月1日前运行时，都感到十分吃惊。

研制者们不分昼夜地奋战，以5月31日终于把第二台“巨人号”制造出来了，但它不能正常工作。为了寻找原因，研制者们一直苦战到半夜，但仍然没有丝毫进展，只得暂时中止工作。

但当第二天上午上班时，一个意想不到的奇迹出现了，“巨人号”突然启动起来并开始正常运行了。原来好运气来自前一晚的夜班工程师，他查出故障来自“寄生振荡”，他只加了几个电阻就解决了这个一度曾使许多人感到困惑的难题，“巨人号”总算按预定期限投入运行了。

新的“巨人号”究竟是用什么办法来提高处理电码的速度呢？那就是采用了“并行处理”的方法，一个并行处理计算机，能同时进行几种不同的运算，而不是艰难地一步一步地以串行方式进行运算。

研制者为“巨人号”配备了五个以并行方式工作的处理器，每个处理顺以每秒5000个字符的速度处理一条带子上的数据。此外他们还在“巨人号”上使用了附加的移位寄存器，使“巨人号”在运行时能同时读5条带子上的数据，纸带以每小时50千米以上的速度通过纸带阅读器。

新的“巨人号”除了速度比第一台“巨人号”快4倍外，而且由于它还包含一些特殊的电路，当人们发现有更有效的处理方式时，这些电路就能自动更换它自身程序的顺序，从而提高破译密码的效率。在“巨人号”主机的面板上，布满了电子管及像电灯开关一样的有柄开关，这些开关可用来编制程序。面板上还有像电话接线员所用的插座式接线板。

到1945年5月8日，即二次大战在欧洲结束的纪念日为止，在布莱奇利园总共有10台“巨人号”运行。从第2台起，每一台“巨人号”有2400个电子管，12个旋转式开关和800个左右的继电器。

“巨人号”有时还会出现“眼疲劳”——纸带阅读器上的光电管，在连续使用几天后，会变得完全不感光，在再次使用前必须让它歇几天。但是，总的说来，“巨人号”电子元件的性能还是令人满意的，只要操作者不出现失误，“巨人号”破译密码的操作实际上就不会出现错误，而“布思·鲁滨逊”机却往往会由于偶尔有一个继电器不动作而出错。“巨人号”的成功，证明了在计算机中采用电子技术，能取得良好的效果。

虽然当时在英国知道拥有破译密码计算机的人，包括从首相丘吉尔到一般的操作人员，超过了 1000 人，但没有一点消息泄漏到德国。而德军竟然从未想到他们的消息几乎每天被截听、被破译。他们当然也会发现有时秘密消息被泄露，但当他们出现泄密事件时，往往把它归罪于德军内部的间谍，根本没有察觉，在英吉利海峡的彼岸，竟然会有先进的密码破译系统在向他们作无声的挑战。

由于英国在战时曾拥有最好的密码破译机，他们把所截听到的敌方大部分消息，破译后及时提供给美军军官，就连拍发给希特勒的密电，甚至在他本人收到之前，英国首相丘吉尔就能抢先看到，因此“巨人号”为反法西斯战争的胜利立下了汗马功劳。

在 1975 年，英国政府撤消对“巨人号”的保密规定，到这时英国这些密码破译机及它们的工作情况才逐步披露出来，而为世人所知。

存贮程序的概念现在已为人们熟悉了，但在它被提出来之前一般人是难于想到的。利用这个概念，人们能把要存贮的程序存到计算机里，而不是像一迭卡片一样存放在外存贮器中。在采用存贮程序方式的计算机中，程序和所要处理的数据全部混在一起，而且能通过同一个输入设备同时传送到计算机里去。

在现代的家用电脑中，常用的输入设备是键盘。而在“巨人号”里没有键盘，却是用一大排开关和话筒插座来处理程序，数据则通过纸带输入。把程序和数据混合编程就可以节省许多人力和时间，这就是引入存贮程序的概念后，计算机发生革命性变化的原因。

程序存贮这个概念究竟是谁首先提出的？这显然又是科技史上最令人难堪的纠纷之一。莫奇利与埃克特就曾为此与冯·诺伊曼闹得不欢而散。最先考虑这一概念的也许是图林，也许是其他人。但最先用文字来阐述这一概念的人物正是图林，这是毋庸置疑的。图林还是最先考虑“子程序”概念的科学家之一。由于图林在巨人号等研制工作中的卓越贡献，在 1945 年他退役时荣获英国政府颁发的最高奖章。

“巨人号”是一种破译德军密码的专用设备，它能以很高的速度按电子方式实现相应的逻辑功能，在内部以高速存贮数据并能改变存贮内容，能以电子学的速度逐步完成一系列的运算，还能用手工操作来改变运算的顺序。尽管它不能进行通常的算术运算，也不能解决其他逻辑问题，但是由于它具备数字计算机的许多特征，虽然严格地说它本身不是真正的数字计算机，但它却为制造计算机提供了一种模型，因此现在人们仍把它归于数字计算机的行列。

除了对盟军取得胜利作出过巨大的贡献以外，英国的科技人员通过对“巨人号”的研制工作积累了设计计算机电路的丰富经验，为他们在战后设计和制造许多通用数字电子计算机作了充分的准备。他们在曼彻斯特大学、剑桥大学和伦敦等地制造的计算机，与美国的一些计算机一样在世界第一代电子计算机中，处于领先的地位，在欧洲，英国是研制计算机成就最为突出的一个国家。

战后研制的计算机，是能够实现数字运算和逻辑运算的通用计算装置，它们是为数字运算而制造的计算机的继承者，而不是像“巨人号”那种逻辑机的后裔。

现代存贮程序计算机是从前辈 ENIAC、EDVAC 演变而成的。把 ENIAC 说成

是前辈还有点勉强，因为 ENIAC 原来是专门为解决编制弹道火力表这种特殊的计算问题而研制的，后来才逐步扩大了使用范围。

第七章 第一代计算机

冯·诺伊曼主持制订的埃德伐克(EDVAC)设计方案,为现代计算机的发展奠定了基石。从此计算机进入现代的阶段。

1947年,莫奇利和埃克特同时离开宾夕法尼亚大学,再次合作,联合开设了一家公司——埃克特·莫奇利计算机公司,成为世界上第一家电子计算机公司。

当时计算机革命的浪潮已波及科学界,但人们还未意识到计算机时代的到来。就连以生产数据处理机器——穿孔机闻名的IBM公司的创始人老沃森,还认为穿孔机与大型计算机从属于两个截然不同的领域,大型计算机只能为科学界服务,而在会计室里,穿孔机将仍然独占鳌头。他没有意识到一个旧时代已经结束,一个新的时代已降临。当时IBM公司没有一个人明智地认识到,公司的业务范围应该是从事数据处理,而不能仅仅局限于生产穿孔机。直到1947年春天,老沃森还决定投资10万美元,在年底制成一台程序选择式电子计算机,其中既有电子元件,又有机械部件。

以使用电子管为主要特征的第一代计算机,使用过几种不同类型的存贮器。开始使用过电子管和汞延迟线。1950年,美国籍华裔科学家王安,提出了利用磁性材料制造存贮器的创见。

王安是世界著名的美籍华裔科学家,一度曾享誉全球计算机界。他1920年出生于上海,1936年进上海交通大学电机系学习,1940年获得理学学士学位。1945年远涉重洋到美国留学,在哈佛大学攻读应用物理学。1948年王安获得应用物理学博士学位后,就到哈佛大学计算机实验室工作,实验室主任艾肯立即安排他从事电子计算机信息存贮问题的研究。

王安发现,可以用一种镍铁合金做的磁芯,来存贮计算机信息。由于单个磁芯只能存贮一比特(二进制的一位称为一比特)信息,为了存贮大量信息就要把许多磁芯组成一个阵列。

1949年10月,王安就单个磁芯存贮的原理申请专利。同时他辞去哈佛大学研究员的职务。1951年6月,开办了独资企业——王安实验室(1955年改名为王安公司,开始走上科技企业家的道路)。

1956年,王安的磁芯存贮专利,以40万美元的代价(这只是此项专利实际价值的8%)转让给IBM公司。这项专利在计算机行业沿用了20多年。直到70年代,磁芯存贮器才被体积更小的半导体存贮器取代。1967年到1972年期间,王安公司抓住有利时机,发行股票,使资产迅速增值,王安公司一举成为世界著名的计算机公司,作为当时美国最成功的华人企业之一,为华人增了光。

王安在磁芯存贮器的结构和应用方面,先后共获得了34项专利权。

由于王安在计算机磁芯存贮的原理与设计方面取得了卓越成就,1986年7月,他被选为全美最杰出的12位移民之一,受到美国政府的表彰。1988年12月,他的画像进入美国国家发明家纪念馆的殿堂,成为美国继爱迪生、赖特、福特兄弟等人之后的第69位大发明家。

在60年代,王安公司在文字处理机的研制生产方面,曾处于领先地位。

1953年,美国麻省理工学院的福瑞斯特和美国无线电公司,同时研制出磁芯存贮器,从此计算机存贮技术日趋成熟。由于磁芯存贮器的可靠性和存取速度都比原有的存贮器高得多,所以从50年代中期到70年代,几乎所有

计算机都采用磁芯作为主存贮器。

1955 年以前，是第一代计算机的兴旺时期。

1951 年 6 月，莱明顿·兰德公司研制的尤尼瓦克一号（U- NIVAC—I）交付使用。这是莫奇利和埃克特主持设计的，世界上第一台供出售的、程序内存的通用计算机，在其中最早使用了磁芯存贮器这种型号的计算机为电子计算机这一新生事物得到社会的广泛承认鸣锣开道。

第一台 UNIVAC—I 型机，迅速处理了美国 1950 年全国人口普查的数据，取得成功。

在 1952 年 11 月举行的美国总统选举中，CBS 电视公司用第二台 UNIVAC——I 型机抽样分析了 5% 的选票，在选举结束后 45 分钟就很快预测出，艾森豪威尔将当选为总统。由于民意测验表明两名候选人票数不相上下，CBS 公司担心预测的结果未必正确，所以直到选举揭晓时才公布于众。预测的结果与最后结果一致，这条“新闻”与总统竞选结果一起轰动了美国，使社会各界对“无以伦比的电子大脑”的神奇功能留下了深刻的印象。

UNIVAC——I 型机，在制成后 5 年内，一直独执计算机世界的牛耳，被人们认为是大型计算机中的佼佼者。它既能处理数值信息，又能处理以字母顺序排列的信息，是第一台进行数据处理的商用电子计算机。

1951 年，冯·诺伊曼开始担任 IBM 公司的顾问。公司的领导人老沃森才意识到迅速发展电子计算机的重要性，因此采纳了他的许多建议。当时侵朝战争已爆发，军事工业刺激了计算机工业的发展。1953 年研制出的 IBM—701 机，采用阴极射线管作内存贮器，性能好的磁鼓作外存贮器，从此打开了销路。1954 年，改用磁鼓为内存贮器的 IBM—650 机研制成功，这种机器采用了穿孔卡输入输出系统，取得了很大的成功，到 1959 年共销售出几百台。在此后二十年，IBM 成为世界上最大的一家计算机公司，它的计算机产量，占美国全国总产量的 60% 以上。

1951 年，美籍荷兰天文学家布劳威尔发表了一篇论文，该文反映出高速电子数字计算出在天文学中得到成功的应用：计算出几百年时间各个行星的位置，从此计算机在科学的许多领域成为不可缺少的重要工具，得到了广泛的应用。过去由于计算量过大或计算时间过长而无法完成的数字计算工作，逐步成为可能，从而像望远镜的发明对于天文学，显微镜的发明对于生物学一样，开创了人类认识自然的新局面。

在工业上使用计算机及有关的设备后，就可以用最少的人员参与生产和管理，工业界的这一趋势——工业自动化，标志了第二次工业革命的到来，其影响和意义比两个世纪前第一次工业革命更为深远。计算机改变了人类社会，有人甚至说，计算机还改变了人对自己能力的看法。

第八章 第二代计算机

60年代初期，美国的计算机出现了蓬勃发展的局面。从1951年到1959年全美拥有计算机3000多台，而从1960年到1962年的短短三年内，新增的计算机就达7500台。形成这种迅速发展局面的原因，是由于计算机技术出现了飞跃：第二代计算机取代了第一代计算机。而促使计算机这次更新换代的推动力是晶体管的发明。1958年，计算机进入了使用晶体管为主要元件的第二代。第一只晶体管虽然早在1947年就已问世，但到50年代中斯才能批量生产出价格较低的晶体管，这就为计算机步入第二代，创造了条件。

一、微电子革命的先声——晶体管的发明

人们把60年代电子技术的神速发展称为是一场革命，这是任何人都不会提出异议的。

事实是，电子元件做得越来越小，功能越来越复杂，成本越来越低。至今这一场真正的革命还在继续进行着，微电子技术的进步，使人类的社会生活引起了本质的变革。可以毫不夸张地说，过去一、二十年中大多数的技术成就主要取决于微电子技术的发展。

微电子器件对于从通信卫星、宇宙飞船到计算器、电子表等一系列电子产品来说是至关重要的，但微电子技术对计算机的发展来说，意义更为深远。

微电子革命起源于40年代末期晶体管的发明。这样就能用一个小巧的、消耗功率低的电子器件，来代替体积大的，功率大的电子管。

数字计算机制造工业的发展，为晶体管开辟了广阔的潜在市场，这个市场比传统的、通信事业中电子产品的市场要大得多。一个计算机系统需要成千上万个有源电路（收音机就有这种有源电路，不过是模拟电路），在电子数字计算机中，某一个元件的“开”还是“关”于输入状态，即使联接大量的元件时，它们的输出也只是简单的“开”或“关”。

最早的电子数字计算机ENIAC在1946年问世了，它有18000个电子管，功率消耗为140千瓦。它消耗的电能大得惊人，因此当它工作时，不得不对附近的居民区停止供电。与此同时，西方国家正在兴建庞大的无线电通信网，通信事业的发展也需要许多电子管，而当这大量的电子管在工作时，就要消耗巨大的电能。

在这种情况下，人们必须寻找一种消耗功率低电子器件来代替电子管。

1947年12月，美国贝尔实验室的巴丁、布拉顿和肖克莱组成的研究小组，研制出一种点接触型的锗晶体管，标志了现代电子工业的开始。

晶体管的问世，被称为20世纪的重大发明。它是微电子革命的先声，对于电子计算机的进一步发展是一项最有意义的推动力。而电子计算机本身也是20世纪最重大的科技成果之一。因此晶体管的发明对于世界科技的发展产生了难以估量的影响。巴丁等三位科学家由于这一项发明，在1956年同时荣获诺贝尔物理奖。

二、用晶体管制造计算机

在50年代之前制造的计算机，都采用电子管作元件。在计算机中使用电

子管，有许多明显的缺点。例如，电子管在运行时产生的热量太多，可靠性较差，而且使计算机占用的场地大，运算速度不快，价格昂贵，这就使它的发展受到了限制。为了改进计算机的性能，人们开始采用晶体管来作计算机的元件。

晶体管不仅能整流，还能放大电流，总之能实现电子管的大部分功能，又具有尺寸小、重量轻、坚固耐用寿命长、效率高、发热少、功耗低等优点凡是电子管能胜任的，晶体管大都能胜任，而且晶体的性能更好。在电子设备中使用晶体管后，电子线路的结构大大改观，制造高速电子计算机的复杂电路，更容易实现了。

第一台使用晶体管线路的计算机，是在 1954 年由美国贝尔实验室研制成功的，取名为“TRADIC”，在其中装了 800 个晶体管。

1955 年是第二代计算机崛起的一年，这一年美国在阿塔拉斯洲际导弹上，装备了以晶体管为主要元件的小型计算机。10 年以后的 1965 年，在美国生产的同一型号的导弹中，其中的计算机由于改用集成电路元件，重量只有原来的 1 / 100，体积与功耗减少到原来的 1 / 300。

1958 年，美国的 IBM 公司等制成了第一台全部使用晶体管的计算机，“RCA501”等从而宣告计算机进入了第二代的发展阶段。

由于第二代计算机采用晶体管逻辑元件，及快速磁芯存储器，计算速度从每秒几千次一下子提高到几十万次，主存储器的存储量，从几千提高到十万以上。

第一代计算机使用的是“定点运算制”，参与运算数的绝对值必须小于 1，而第二代计算机增加了浮点运算，使数据的绝对值可达 2 的几十次方或几百次方，计算机的科学计算能力实现了一次飞跃。

用晶体管取代电子管，使得第二代计算机体积大大减少、功率消耗大大降低。寿命延长，价格降低，这就为计算机的广泛应用创造了条件。

有人把第二代计算机的研制成功，称为计算机发展史上的第二次革命。

为了能使计算机有条不紊地工作，就要预先编制出让计算机执行的操作步骤即程序。为了使程序能在不同的机器上应用，人们制定出各种通用的高级程序语言。

在 50 年代中期后，各种高级语言陆续问世：FORTRAN (1954 年)；ALGOL (1958 年)，COBOL (1961 年)、BASIC (1963 年) 等等。

COBOL 语言 (通用商业语言) 的开创者是美国一位女应用数学家霍珀，她是计算机程序语言的开拓者之一。

霍珀在 1906 年生于纽约。她在 1934 年获博士学位后，长期在瓦沙学院任教。后来她在海军担任军官；从 1943 年起先后为马克一号、二号、三号计算机编制应用程序，她曾为各种计算机编制过许多程序，还发表了 50 多篇程序语言方面的论文。1992 年，85 岁的霍珀与世长辞。

高级语言的使用，使计算机的应用范围进一步扩大了。

第九章 印刷电路的出世

印刷电路是由澳大利亚的保·艾斯勒在 20 世纪 30 年代中期首先发明的。艾斯勒在 1930 年从维也纳工学院毕业后，成了一名电气工程师。他曾一度在一家无线电周刊打工，学习过印刷技术。虽然他才华横溢，曾拥有自动录音和立体电视两项专利，但他的处境不佳。

处于困境的艾斯勒虽然遇到挫折，但并不气馁，仍继续自己的创造生涯。他专心致志地投入到电子线路板的研究之中，在进行研究时经常到伦敦不列颠图书馆去查阅有关印刷技术方面的书刊。他想到可以把印刷技术用在电子线路的设计制造上，于是萌发出一个发明设想：如果像印刷书籍或报纸那样，把电子设备的电路在线路板上一次印刷在线路板上，这样就不需要用手工一块一块地制作线路板，线路也不用由人一根一根地焊接起来，电子产品的生产效率 and 可靠性不是就能大大提高了吗？

在印刷业中，为了在纸上印刷出图画，通常采用照相制版技术，即通过照相，把拍摄下来的图片底版蚀刻在铜版或锌版上，人们就可用这种铜版或锌版去印刷出许许多多的图画印刷品了。

于是艾斯勒在制造电路板时，采用类似于印刷业中的制版方式进行了尝试。他先画出电子线路图，再把线路图蚀刻在覆盖有一层铜箔的绝缘板上，使得不需要的铜箔被蚀刻掉，只留下导通的线路，这样，各个电子元件就通过这块板上的铜箔形成的电路相互连接起来了。1936 年，艾斯勒用这种方法装配了一台收音机，取得了很好的效果。

艾斯勒为自己试验所取得的成功而高兴。于是到一家公司去展示这种用印刷制版方法装配成挑战型收音机样机，希望这家公司能对它感兴趣。可惜这家公司的主管人员目光短浅，未能意识到这种印刷线路既能提高电子产品的可靠性，又能提高生产效率，对于电子新产品的开发具有极大的价值和潜力，反而因为从来没有见过电路这种制造方法而怀疑它的重要意义和推广价值，竟加以拒绝了。

不过艾斯勒并没有对自己的发明灰心丧气，到 40 年代第二次世界大战爆发时，他坚信自己的发明将会对反法西斯战争的胜利起到重要的作用，他继续对印刷电路进行深入的研究，不出所料，后来他的发明果然受到了美国军方的重视。没想到印刷电路竟首先在一种称为“近发引信”的研制中显示出一定的威力。

近发引信，是在第二次世界大战期间，美国物理学家范艾伦发明的一种无线电引信。把它安装在爆炸性武器（例如高射炮炮弹）上后，在使用时，它就发射出无线电波，如果碰到目标，有一些无线电波就会被目标反身回来。在炮弹与目标直接相撞之前，只要目标进入杀伤范围（100 米）之内，反射的无线电波就能使炮弹所装的炸药引爆，这样就使炮弹的威力大大增强，准确度大大提高。但是要使它在军事上真正发挥作用，就必须使这种引信十分可靠，而且还要求把许多电子元件紧凑地安装在体积很小的设备里。

1944 年，濒临灭亡的德国法西斯进行垂死挣扎，向英国伦敦发动第二次闪电战。盟军使用的高射炮弹，由于其中的无线电近发引信采用了印刷线路，增加了可靠性。因此大多数空袭飞机被盟军的高射炮弹击毁，使伦敦未遭到毁灭性的打击，从此印刷电路的作用才为世人所知。

后来人们发现，采用印刷电路技术，不但免去了大量的、复杂的手工接

线操作，电路板用不着一次又一次地去进行焊接了，使电子产品的生产效率大大提高，而且能使制作出的印刷电路达到高精度，这就使电路板的生产制造进入了一个崭新的阶段。在印刷业进行制版时，通过拍摄可以将很大的图片缩小到一定的尺寸，在制造印刷电路时同样也可以把电子线路图缩小制版，使之成为面积很小、线路复杂而可靠性又高的电子线路板。这种印刷电路板对于线路十分复杂、可靠性要求很高的计算机来说，是十分理想的。印刷电路技术的发展和完善，为下面将要介绍的改变世界面貌的发明——集成电路的产生准备了条件。

至今，所有的计算机及其他几乎所有的电子产品，都使用了印刷电路。

现在生产的印刷电路是把导体图形用印制手段蚀刻或感光在一块绝缘基板上，使电子元件互相连接的一种电子电路。它的印刷方法通常有两种：一种是在覆有铜箔的绝缘基板上蚀刻去掉不需要的铜箔，形成导体图形的铜板，另一种是在绝缘基板上用化学方法形成导体图形的照相版。在印刷导体图形的过程中，同时用印刷法制作一些电阻、电容等电感等元件，这样就形成一块印刷电路。现在，用自动绘图仪能迅速地把导体图形直接描绘在玻璃版上制版，然后印刷出来。

印刷电路不仅使电子设备的可靠性大大提高，还使电子设备的批量生产变得简单易行，为电子产品的机械化、自动化生产奠定了基础。更为重要的是，它使电子设备质量好，性能一致、稳定，结构更加紧凑，而重量却大大减轻。可以毫不夸张地说，如果没有印刷电路工艺，50年代以来的电子设备就不可能取得这样大的进展。

至于发明印刷电路的艾斯勒本人，他对自己的成果表现得很谦虚，他说印刷电路是时代的产物。

应该说，艾斯勒的看法非常中肯，它不仅反映出艾斯勒能对自己研究成果作出实事求是的评价，而且再次向人们展示了这一真理——需要是成功之母。

第十章 改变世界的发明——集成电路

一、硅谷的崛起

提到电子计算机工业的发展，特别是半导体器件、集成电路、微处理器和微型计算机的问世，人们就会很自然地想到美国的“硅谷”，它是微电子工业的发祥地和中心，是近几十年为世人所瞩目的高科技发源地之一。

硅谷在哪里？硅谷位于美国加利福尼亚州，处于旧金山市和圣何塞市之间一块 50 千米长、16 千米宽的狭长地带。在 1950 年时，那里还只是美国著名的杏梨之乡，以生产罐头和食品加工为主。它后来成为高科技开发区，是与前面介绍过的晶体管发明人之一肖克莱在这里的开发、研究工作密切相关的。

自从第一个晶体管问世以来，半导体工业以飞快的速度朝前发展，采用晶体管为元件的产品，包括计算机在内，层出不穷，而且它的体积越来越小巧，它的价格却由于可以批量生产而日益下降，半导体行业出现一片繁荣景象，而它的竞争也日益激烈。肖克莱作为晶体管的发明人之一，既十分了解晶体管的功能，又预见到它的发展前途未可限量，决定自己建立半导体公司。

1955 年，肖克莱在自己的故乡加利福尼亚州的阿尔托建立起“肖克莱半导体公司”，公司聘用了一批精通半导体技术的科技人才，以便不断开发晶体管产品，改进晶体的性能。当时肖克莱半导体公司在这里还是新出现的第一家半导体公司，可后来，聚集在肖克莱公司里的人才不断脱离肖克莱公司，在它的附近纷纷建立起自己的半导体公司，下面我们将要介绍集成电路发明者之一的诺伊斯，他从肖克莱公司脱离出来后创建了自己的仙童公司。

进入 70 年代以来，这里已集中了数以千计的微电子工业和其他高技术新企业，成为信息社会的先驱和范例。而这些企业的产品几乎都用硅制作的半导体器件，因此人们把这一地区称为“硅谷”。而“硅谷”也以它发达的电子工业而驰名世界。

鉴于肖克莱在微电子学方面的贡献以及他率先开发硅谷的业迹，人们把他尊称为“硅谷之父”。

硅谷在发展中最有特色的，也是给它带来巨大财富的产品，当然首推集成电路。由于集成电路给微电子工业，特别是对人类信息产业的发展所产生的巨大影响，人们又把它称为改变世界面貌的发明。

二、相互独立的发明

集成电路的发明，是多项技术不断发展的综合结果。

最早提出制造半导体集成电路思想的，是从事雷达研究的英国科学家达默。他在 1952 年 5 月发表的一篇论文中提出：“由于现在晶体的出现和半导体方面的研究成果，有可能制造单块形状的电子器件而省去连接线。这种器件由多层绝缘材料、通导材料、整流材料和放大材料构成，在各层中去掉某一部分就能使器件具有某种电功能。”

达默的上述设想很有意义，可惜他本人未能使之付诸实施。进入 50 年代以后，军事工业和宇航工业的迅速发展，迫切需要各种功能更强、能实现更加复杂功能的半导体器件，而且还希望这种器件越小巧越好。

在社会需要的刺激下，那些早期来到硅谷开创电子工业的一批年轻的微电子工程师们，很自然地把研究方向瞄准到上述目标上。他们设想把一些晶体管及一些元件在新的形式下组合成一种更复杂的线路，而不是简单地拼凑在一起，这种线路称为集成电路。从外形来看，它们就是小小的硅片，因此人们也把它们称为芯片。至今，在各种计算机、计算器及各种电器设备中处处都可以看到这种芯片。早在第二次世界大战期间，有人就已设法把油墨状的电阻材料和镀银金属片印在陶瓷基片上，做成电阻和连接线的组合体；而印刷电路工艺的发展和晶体管的发明，都为集成电路的发明作了必要的技术准备。

现在人们认为，世界上最早的集成电路，是 1958 年由美国物理学家基尔比和诺伊斯两人各自独立地研究发明的，为了认定这项发明的专利权。他们两人所属的公司之间曾为此引发了一场为时不短的争执，因此，回顾一下他们各自的发明过程，是很有意思的。

基尔比于 1923 年生于美国密苏里州杰斐逊市。1947 年毕业于伊利诺大学，1950 年在威斯康星大学获硕士学位。

1958 年 5 月，那时基尔比进入得克萨斯仪器公司还只有三个月，他被安排去进行电子设备微型化的研究。当时电子设备应用了电子管，后来逐步使用晶体管，但体积庞大。

按照国防部的要求，基尔比的任务是研究如何通过采用较小的元件、更细密的接线，使电子设备体积缩小，更加紧凑灵巧。

在这一年夏天，当基尔比的同事都去度假时，他却在宁静的环境中，坐在办公桌前苦苦思索解决微型化问题的办法。他在想出新办法前，屡次碰壁，后来才想到，所需要的全部电路元件包括晶体管、电阻、电容在内，可以用同一种半导体材料制成；这些电路元件必须绝缘，因此能单独起作用，彼此没有干扰；而全部电路元件都焊接在半导体圆片的基片或附近，从而可以利用先进的半导体技术手段使电路相互连结，不必担心元件在连接的地方会出现短路。

当时基尔比把这种电路称为固体电路（现在有人称为微型电路）。1958 年 9 月，基尔比的第一个安置在半导体锗片上的电路——“相移振荡器”取得了成功。

诺伊斯于 1927 年出生于美国衣阿华州的一个小镇。他对现实世界了好奇心，在十二三岁时就同二哥先后制造过一架硕大的滑翔机，装配出一辆汽车。他在大学同时学习物理、数学两个专业，对晶体管及其应用也很感兴趣，在晶体管方面奠定了坚实的理论基础。在 1949 年考取博士研究生后，仍选修一些有助于晶体管基础研究的课程，而在学术活动中，又有机会见到晶体管领域著名的专家肖克莱等人。

诺伊斯在 1953 年取得博士学位后，宁愿到待遇低的小公司任职。他认为，“越是小地方，就越能得到多方面的锻炼，有利于发挥作用。这样既便于选择合适的课题进行研究，又能成为企业家。”

当 1955 年肖克莱在硅谷创建“肖克莱半导体公司”时，诺伊斯就是其中被聘请来的优秀科技人才之一。在肖克莱半导体实验室成立的第一年内，诺伊斯和他的同事们竭力鼓动肖克莱把研究重点转向硅晶体管。但肖克莱执意要搞四层二极管的研究，出于认识上的分歧，1957 年，诺伊斯和公司另外七名年轻人一起离开了肖克莱公司，自己成立了“仙童半导体公司”，成为硅

谷的第一家专门研制硅晶体管的公司。从这个意义上来说，诺伊斯早年想当企业家的愿望果真实现了。

当时，仙童公司在生产晶体管中首先使用一种“平面工艺”。主持技术工作的是赫尔尼，他是当时硅谷最有才干的科学家之一。他提出的平面工艺法，是通过各种措施把硅表面的氧化层尽量挤压，直到压成一张扁平的薄片为止，使器件的各电极在同一个平面上。因此，只要预先设计出晶体管的电极结构图，通过照相制版的方法，把它精缩成掩模板，就可使立体形状的晶体管制作成平面形状的晶体管。于是，结构无论怎样复杂和精密的晶体管，都可以用这种平面工艺压缩在一片小小的半导体硅片上。

平面工艺法的提出，使仙童公司科学家的思路豁然开朗，他们一下子看到了令人振奋的应用前景，他们意识到，不只是几个晶体管可以放置在一块硅片上，几十个、几百个甚至几百万个晶体管都可以放到一块硅片上。

平面工艺后来很快被应用到集成电路的制造上。仙童公司的科学家发现，运用照相平板印刷技术，可以在硅的表面上，把同样的晶体管按照一定的规律重复地排列，同时又使这些晶体管彼此相连。仙童公司的副经理诺伊斯与他人共同提出了制造集成电路的平面工艺法，并主持制造出世界上第一块用半导体硅制成的集成电路。

得克萨斯仪器公司的基尔比当然也认识到平面工艺法的重大价值。在诺伊斯之前半年就在制造“相移振荡器”时成功地实现了把电子线路安放在硅片上的设想。但诺伊斯制成的硅集成电路比锗集成电路更实用，更容易生产。

当后来回忆自己在32岁发明集成电路的情况时，诺伊斯风趣地说：“我发明集成电路，那是因为我是一个‘懒汉’。当时曾考虑，用导线连接电子元件太费事，我希望越简单越好。”而基尔比在得克萨斯仪器公司发明了后来称为集成电路的“固体电路”后，立即得到该公司负责人的重视，他们意识到这种新电子器件的重要性，并预计它将会得到广泛的应用，因此必须大力推广。

1959年2月，基尔比为他本人的“固体电路”申请了专利。不久之后，得克萨斯仪器公司宣布，他们已生产出一种比火柴头还小的半导体，固体电路。而仙童公司的诺伊斯，虽然在此之前已使用平面工艺制造出半导体硅片集成电路，但并没有及时申请专利，直到1959年7月，诺伊斯才想到要去办专利申请手续，但时间已比基尔比晚了半年。

此后上述两家公司为集成电路的发明权长期争执不休，就是因为基尔比比诺伊斯申请专利的时间要早一些。基尔比先取得专利，但他的设计思想未能实现；而诺伊斯的平面工艺技术后来成为微电子革命的基础，但他却是在基尔比之后才申请专利的，更何况这一项技术在仙童公司并不是由他一人独自发现并加以完善的。

最后经法庭裁决，集成电路的发明专利权属于基尔比，而关键的有关集成电路的内部连接技术专利权属于诺伊斯。从1961年起，两人的专利使各自所在的公司都得到很大的经济收益，而他们两人也都因此成为国内外知名的发明家及微电子学的创始人。两人还一起获得美国科技人员最渴望得到的“巴伦坦奖章”。

第十一章 第三代电子计算机

一、第三代——集成电路计算机时代

1958年制成的第一个单块集成电路，只包括一个晶体管，两个电阻和一个“电阻——电容”网络。随着集成电路工艺日趋完善，集成电路所包含的元件数量以每1—2年翻一番的速度增长。到70年代初期，大部分电路元件都已以集成电路的形式出现。至今，在拇指甲那样大（1平方厘米）的芯片上可以集成上百万个电子元件。集成电路从外表看来它们只是一块小小的硅片，因此人们常把它称为芯片。

集成电路的发展还促使计算机的更新换代，它在电子时代举足轻重，就像金属加工业在过去工业革命中所起的作用一样。

1965年4月，最早采用集成电路的通用计算机系列IBM—360问世，标志着计算机进入了第三代——集成电路计算机时代。

与晶体管相比，集成电路的体积更小、功率消耗更低，可靠性更高，成批生产的集成电路造价很低。集成电路的这些优点，使它在问世后迅速得到发展。1960年，第一块数字集成电路研制成功，1962、1963年又先后研制出DIL（二极管—晶体管逻辑）集成电路的TTL（晶体管—晶体管逻辑）集成电路，……。这些为集成电路计算机的问世创造了条件。

第三代计算机由于采用集成电路，计算速度进一步提高到几十万次到上千万次，内存容量达几百K（1K为1024位），可靠性也进一步提高，体积大大缩小，价格不断下降。机种多样化。磁芯存储器被速度更快、价格更低、体积更小、功耗更低的半导体存储器（大规模集成电路）取代。因而一台大型机构成为一个计算中心。就像下图所表示的那样，中间为中央处理机，左边为打印机，右边是内存存储器和外存存储器，桌上的终端设备对存储器的信息作检查或更改，并有控制整个计算机系统的功能。

在第三代，计算机出现了新的发展方向即计算机小型化。功能虽较少，但可靠、价低的小型机得到很大的发展。小型机的价格只及大型机的几分之一或几十分之一，但功能却与低档通用计算机不相上下，而且维修简便，于是计算机进入了一个空前的高速发展阶段，计算机开始普及到商业管理领域、自动控制行业、一般的科学单位等。

计算机事业出现上述兴旺的局面，都来源于集成电路的发明，而30—40年代印刷电路技术的发展，已经为集成电路的问世作了必要的技术准备。

二、通用的 IBM360 系统

在60年代，不同厂商提供各种型号的计算机，它们在设计上各有特点，但缺乏通用性。厂商和用户，按照计算机的用途，把计算机分成为供“科学计算”用与供“事务处理”用的，截然不同的两大类。各种计算机之间互不通用。例如，按某一种“程序语言”为某一型号计算机编的程序，在另一台计算机上就不一定能适用。甚至同一厂商所生产不同型号的产品，其程序也不能通用。

上述缺乏通用性的局面，到1964年才被打破。在当年的4月7日，IBM公司同时在14个国家、全美63个城市宣告IBM360系统研制成功。当时宣布

的 IBM360 系统，有大、中、小型计算机共六个型号。

这个系统兼顾了科学计算和事务处理两方面的应用，揭开了计算机在数据处理方面应用的新篇章。它的研制开发经费高达 50 亿美元，是研制第一颗原子弹的曼哈顿计划的 2.5 倍。

这个系统之所以取名为 360，是由于它的（后来包含十几种机型）各种机器全都相互“兼容”，适用于各方面的用户，具有全方位的特点，正如整个罗盘有 360 度刻度一样。

IBM360 系统是最早使用集成电路元件的通用计算机系列，它开创了民用计算机使用集成电路的先例。它的影响深远，计算机从此进入了集成电路时代——计算机的第三代。IBM360 系统作为第三代计算机的里程碑，被记入计算机发展的史册。它的出现，不仅对美国通用系列机的发展，而且对世界许多国家通用系列机的发展，都产生过重要的影响。

从 1954 年开始出现第二代晶体管计算机，到 1964 年第三代集成电路计算机的问世，只经过了短短 10 年时间，其发展速度之快真令人咋舌。

第十二章 第四代计算机

一、做在一块芯片上的计算机

20 世纪 70 年代初，人们开始采用大规模集成电路来制造计算机，标志着计算机进入了第四代。目前广泛使用的计算机，包括各个行业中广泛流行的微型计算机都属于第四代。

计算机进入第四代之后，最显著的特点是：向微型化和巨型化两个方向发展。70 年代，微型计算机的诞生和迅速普及，是计算机发展的重要阶段，有人把它称为计算机发展史上的第三次革命。在第四代，计算机的使用方式也发生了变化，开始把计算机联成网，计算机网络出现了。

70 年代中期问世的“苹果”（Apple）机是较早问世的一种微型计算机。从此开创了计算机设计和应用的新局面，“个人用”微型计算机工业蓬勃地发展起来了。促使这一局面到来的，是 1971 年霍夫研制成功的“做在一块芯片上的计算机”——微处理器。

二、微处理器芯片 4004

继贝尔实验室发明晶体管和诺伊斯与基尔比发明集成电路之后，微电子行业的另一项最重要的成就，是霍夫在 1971 年发明的微处理器。由于这一功绩，霍夫被著名的英国《经济学家》杂志推崇为“第二次世界大战以来最有影响的七位科学家之一”。

霍夫在 1937 年出生于美国纽约州罗彻斯特附近的农村。他的父亲是一位电气工程师。他的叔叔是个化学工程师，曾把一套化学试验设备赠送给年轻的霍夫，并为他订了《大众科学》杂志，使他从小就对科技书刊产生了浓厚的兴趣。后来他进入家乡附近的伦塞勒工学院学习电子工程，以优异的成绩毕业。他的毕业论文《晶体管中的电流转换方式》还获得了奖励。

他在大学二、三年级时先后研究出一种电子设备，在 1958 年得到了专利权。

在大学毕业后，霍夫到他早就向往的著名的斯坦福大学攻读硕士学位，并很快开始了对晶管理论的研究工作。在 1962 年取得博士学位后，他留在斯坦福大学继续从事学术研究。在潜心进行理论研究多年之后，他开始想到“要按某种具有潜在经济价值的思想进行开发工作。”

1968 年英特尔公司刚刚成立，需要吸收研究开发人员。一天，公司的创建人之一诺伊斯打电话给霍夫，聘请他到英特尔公司去工作，这正合霍夫的心意，因此他受聘进入了这家公司，担任应用开发部的经理。

当时有一家日本的生产计算机的公司，公司名称几经变更，最后取名为商事公司（至今此公司已不复存在）。这家公司在 1969 年请英特尔公司为他们设计和生产六种特殊的专用芯片，用来生产新颖的可程式计算器。

但是霍夫认为日本人提出的设计方案虽然很新颖，电路却很复杂，还要使用很多昂贵的芯片。按日本工程师的设想，每个计算器至少要用 6—8 个芯片，每个芯片分别承担控制键盘、打印或控制运算、存贮等功能。这样一来，就使这种计算器的成本比小型计算机还要昂贵。

在霍夫的书桌旁有一台 PDP—8 型小型计算机，他在进行研究时常使用

它。他凝视着面前的这台 PDP—8 型计算机，对日本人的设计方案大惑不解；他们的设计为什么要搞得这么复杂呢？霍夫以前曾经设计过小型计算机的电路。他记得，只要向计算机输入几条简单的指令，计算机就能在指令的操纵下进行非常复杂的工作。以往的实践经验使霍夫产生了联想，为什么不可以把计算机器的所有逻辑电路集成到一个芯片上，并按需要灵活地为芯片编制简单通用的程序，使集成电路具有复杂的功能呢？

当时有一位芯片设计专家费金，刚从另一家公司调到英特尔公司，他精通晶体管电路的工作原理。在 1969 年 8 月，费金提出了适用于台式计算机的微处理器的概念，提议把台式计算机中 11 片集成逻辑电路压缩为中央处理器、读写存贮器和只读存贮器 3 片集成电路。费金的这一想法对霍夫等人研制微处理器芯片 4004 奠定了基础。

听了费金的建议，霍夫大胆地联想起，计算的全部电路也可以分别做在几个通用的芯片上，例如中央处理器芯片、存储器芯片以及寄存器芯片上面。霍夫设计出一种微处理器，它是一块半导体芯片，它的功能是作为一台计算机（或计算器）的中央处理器（它是计算机的核心）。霍夫把中央处理器的全部功能都集中在这一块芯片上，而且还把两个存贮器芯片附在这个微处理器上，一个存贮数据，另一个存贮驱动中央处理器的程序。这样，霍夫就制造出了一种简易的通用计算机部件，它不仅可以用在日本商事公司的复杂的计算器上，还可以用来控制交通信号灯或其他电器设备，只要稍微改变一下程序，就能具有其他功能。

1969 年 10 月，霍夫向日方介绍了有关微处理器的设计思想，并向他们说明微处理器将会有广阔的应用前景。日方经理终于被说服了，于是签订了合同，让英特尔公司他们提供由霍夫设计的微处理器。

从此，霍夫和麦卓尔开始全力以赴地投入到这种微处理器的研制中去。公司的芯片专家费金，精通半导体电路，因此芯片的线路图就委托他来绘制。到 1971 年 1 月，霍夫与同事一起，终于制出了一个能实际使用的微处理器，这就是“4004 芯片”，它是世界上第一台真正的微处理器。据说第一个数字 4 表示芯片是以 4 位为单位进行设计的微处理器，也就是说，这种处理器一次可对 4 个二进制数进行运算；第二个 4 则表明是公司为客户制造的第 4 种芯片。

1971 年 11 月，英特尔公司在《电子新闻》杂志上刊登广告，宣称“4004”芯片不仅仅是一种新产品，而且它的问世还表明“一个集成电子学新纪元的到来——人们能把一个可编程程序控制计算器放在一块半导体芯片上了”。当时的公众一度曾对“一台计算机放在一块半导体的芯片上”的说法疑惑不解，但当他们了解到“4004”芯片的实际功能后，心中的疑云就立即被驱散了。

微处理器，是以往半导体厂家所生产的，能进行算术运算和逻辑运算的集成电路芯片的进一步发展。尽管它只是把更多的功能融合到一块芯片中去而已，但功能却大大扩展了。一块微处理器芯片的功能，几乎相当于一台 ENIAC 与 1950 年那时像房子那样大的电路板的功能也差不多。“4004”这个数字还等于这种芯片所能代替晶体管的大致数目。在 4.2×3.2 平方毫米的 4004 芯片上，集成了 2250 个晶体管。人们首次实现了用一块芯片承担中央处理器的功能。

英特尔公司把这块 4004 芯片再加上一块随机存取存贮器芯片、一块只读

存储器芯片和一块寄存器芯片，就构成了一个 4 位微型计算机 MCS—4，这是世界上第一台微型电子计算机，它在 1971 年问世，从此揭开了微型计算机发展的序幕。

1971 年 1 月“4004 芯片”的出现，标志着人类朝集成电子学新时代迈出了第一步，在两年后英特尔公司推出的“8008”芯片则是第二步。

霍夫对于他本人在发明微处理器方面所作的贡献是很谦虚的，他认为自己不过是兼有了天时和地利，“如果我们在 1971 年未能发明出 4004，那么在一两年里由他人发明出来。”由于霍夫的杰出贡献，人们把他称为研究微型电子计算机的先驱。

三、芯片 8008

早在“4004”芯片问世之前的 1969 年 10 月，另一家计算机公司也向英特尔公司定制过另一种芯片，供他们装配技术上更先进的计算机终端设备之用。霍夫提议制造大规模集成的产品，即用一个集成电路芯片来代替这种终端设备内的所有电子器件。于是霍夫和费金开始进行这种新颖芯片的研制工作。

不久之后，他们研制出了上面说到的 4004 芯片。费金在研究电子测试仪器时发现，对于测试仪器来说，4004 芯片也是一种很理想的控制器。但是当时这种芯片仅由商事公司独家使用，不能在市场上销售。于是霍夫就想到，不妨再研制与此类似的芯片这样不但可以用来打入市场，而且还能供测试仪器之用，因此就与同事抓紧这种新颖芯片的研制工作。这种芯片终于在 1972 年 4 月制造出来了，这就是英特尔 8008 型微处理器，它是世界上最早的 8 位微处理器，在 13.8 平方毫米的芯片上做出了能执行 45 种指令的中央处理器。这种微处理器采用工艺简单、运算速度较慢的 MOS（金属氧化物半导体）电路，就是通常所说的第一代微处理器。MOS 技术是一种用于制造大规模集成电路的微电子技术。

“8008 芯片”能同时对 8 个二进制数字进行传送和运算，而“4004 芯片”一次只能对 4 个二进制数进行运算。一个英文字母就需要用 8 位二进制数表示，“4004”一次还处理不了这个由 8 个二进制数表示的“数据”，而由“8000”就可以一次完成了。“8000”的计算能力和适应范围都优于“4004”，而且在数据处理或进行控制时更加方便。

与此同时，在 1972 年 3 月得克萨斯仪器公司也研制出了一种与“8000”相类似的芯片，但比英特尔公司的芯片“8000”体积大，成本高。这是由于英特尔公司预见到微处理器应用范围极为广泛，因此设计出体积小、用途广的芯片，而芯片越小，就可以在一块材料上造出更多的芯片，这样价格就相应地降低了。一些公司也陆续推出各种各样类似的微处理器，但由于英特尔公司的设计思想先进而保持了领先地位。

“8008 型”的运算速度较慢，操作也不大方便。霍夫和同事们继续为改进微处理器的功能而坚持不懈地努力。在 1973 年 8 月研制出英特尔“8008 型”微处理器，它的运算速度比“4004 型”要快 20 倍。研制“8008 型”芯片最初只是为了对“8008 型”芯片进行小的改进，但当时速度较快的新型 MOS 电路出现了，霍夫和费金决定把这种新 MOS 电路应用到“8008 型”中去，终于一举成功，这种微处理器就是人们所说的第二代微处理器。“8008 型”芯

片终于使人们把许多电子元件合在一块单独芯片上的设想变成了现实。

在此之前，仙童公司在用平面工艺生产晶体管取得成功的基础上，已把平面工艺用于集成电路的制造。由于平面工艺法日趋成熟，可以做到把许多元件放置在一块芯片上，使它们相互连接，因此新的芯片“8080”的性能，比芯片“8008型”又进一步提高了。

“8080型”芯片是有史以来最为成功的微处理器之一，在上市后销售量直线上升，同时由于英特尔公司在长期生产中积累的丰富经验，使销售价格很快地降低，增强了它在市场上的竞争能力。

在集成电路刚问世时，对于它的实际应用还很难预料。但是英特尔公司还是大力向社会广泛宣传，使公众认识到他们迫切需要这种产品。霍人和麦卓尔到各地演讲，并发表著作，使微处理器成为家喻户晓的产品。

但是要使微处理器为社会广泛接受并不是轻而易举的事。由于它的出现使半导体行业大多数公司产品的销路受到影响，因此不可避免地受到他们的抵制和非难。阻力还来自人们的传统观念，人们习惯上把计算机当作为一种大型的、昂贵的设备，因此以为一定要小心翼翼地保护它、高效率地使用它才觉得上算。以致形成这样的偏见，认为所有的计算机都应该这样来对待。在一次会议上，有人对计算机的维修感到担忧。针对这种顾虑，霍夫说：“灯泡坏了，你可以把它拧下来扔掉，再装上一个新的就是了，而对微型计算机来说也是一样。”与会者听了后面面相觑，觉得这样的事情简直难以想像。

但是微处理器作为超出常人想像力的一种发明有强大的生命力，在它出世后不久就引起社会的广泛关注和浓厚的兴趣。

70年代微处理器的问世，可以说是20世纪最后30年里一项具有划时代意义的发明，它使当今世界的面貌发生了日新月异的变化。从洗衣机、电子琴、电子表到洲际导弹的头部等等，在形形色色的电子设备的核心部分中，都可以见到它的踪迹。在早期的个人计算机中，就有英特尔“8008”和它的后代“8086”及“8088”。

正是由于微处理器的发明，为随后微型计算机（微电脑）的问世创造了条件，而微型计算机的畅销，又促使微处理器的市场进一步扩大。

由于发明微处理器取得成功，霍夫在1980年荣获美国富兰克林学会的奖励——巴化坦奖章。微处理器芯片，是现代电子产品最关键的部件，有人形象地把它比喻为电子时代的食粮和21世纪的原油。

微处理器已从刚问世时的4位，发展到8位、16位以至于32位。32位微处理器，每秒能执行100万条以上的指令。

芯片的尺寸越来越小，集成度越来越高，价格越来越低，性能越来越强。芯片的存贮密度，以几乎每3年提高3倍的速度增加。以一种随机存取存储器（能从任何存贮单元存取信息的存贮器）为例，1970年的容量为1K，1973年时为4K，1976年时为16K，到1982年，出现了256K的随机存贮器。与此同时芯片的价格却持续下降，如64K随机存贮器，1981年售价为15美元，1982年为6美元，到1983年只要3美元了。

诺伊斯和霍夫之子在1981年只要3美元了。

诺伊斯和霍夫之子在1981年的一本杂志中说：“微处理器使电子学迈入了一个新的纪元。它正在改变着我们社会的结构。”

四、个人计算机浪潮的掀起

在 70 年代中期，独立的微型机系统——个人计算机问世，计算机进入寻常百姓家，进入办公室，成为社会各界广泛使用的工具。从此跨入了个人计算机的新时代。

最早进入市场的个人计算机是美国 Apple(苹果)公司的 Apple 型个人计算机，它在 1977 年面世后，风靡世界，五年内这种计算机在市场的销售额，从 250 万美元猛增到 5 亿 8 千万美元，提高了 230 多倍，从而使苹果公司跨入美国 500 家大公司的行列。

Apple 公司是 1977 年正式成立的一家小公司，它能在第二次计算机革命中创造这样令人震惊的奇迹，主要由于当时大规模集成电路技术的迅猛发展，能为计算机提供性能越来越好、价钱越来越便宜的微处理器，而社会各方面人员又迫切需要操作方便、价格低廉的微型计算机来替代人的一部分脑力劳动。创办 Apple 公司的是两名年轻的计算机业余爱好者沃兹奈克与乔布斯，由于他们敏锐地觉察到人们对微型计算机的迫切需要，因此能适应时代发展的潮流，研制出社会需要的产品来，加快了计算机革命的步伐。他们能对人类社会进步产生这样重大的推动作用，与他们善于抓住时机，敢于创新的精神和坚持不懈的努力是分不开的。他们创办的 Apple 公司，被人称为微型机之王，在个人计算机的发展历程名垂史册，他们的首创精神激励着一代又一代的年轻人去开拓新的事业。

硅谷新秀结硕果

随着个人计算机的普及，人类进入了信息时代，这场新技术革命的浪潮来势之猛、影响之深远超过以往任何一次产业革命。

在这场浪潮中推波助澜的有两名年青的闯将，他们就是苹果计算机的研制者，沃北奈克（以后简称沃兹）和乔布斯。

在 70 年代中期，硅谷已经拥有许多高新技术的工厂和公司。然而使人感到奇怪的是，最初研制出个人计算机的，却并不是国际商用机器公司（IBM）那样的生产大型计算机的大公司，而是那些名不见经传的小公司。当时没有哪家大公司愿意去研制个人计算机。有些大公司的成员曾在 70 年代初期建议所在的公司生产个人计算机，但遇到拒绝。这是因为大公司对这种计算机是否有市场没有把握，而且由于它原来的产品在市场已遇到不少风险，因此不敢贸然涉足新的领域，以免损害自己的声誉。此外对大公司来说，研制和市场调查所需的费用也高，传统的销售方式又要改变，因此大公司对个人计算机的研制大都持怀疑态度，丧失了把计算机送到办公桌或家庭去的好机会。但对于像沃兹那些计算机迷，对此却饶有兴趣，虽然设计和手工制造计算机要进行大量细致繁琐的工作，他们也乐意去干，终于干出一番令人惊叹的事业来。

沃兹与乔布斯是硅谷土生土长的一代新人。沃兹生于 1950 年，他的父亲是一名电子工程师。由于家庭和环境的影响，使他从小就对电子技术发生了兴趣。沃兹聪明，干事认真，一旦对某一个感兴趣就会专心致志地去钻研，在研究问题时全神贯注，甚至当有人同他说话时，他竟然毫无反应。

在初中时，沃兹就已显示出他在技术方面的才干。1962 年，当时沃兹还是一名 13 岁的中学生。他向别人要了几个晶体管制作了一台能进行加减的计

算器，并在旧金山海湾地区的科学展览会上荣获一等奖。尽管在制作中，他父亲曾对计算器线路的逻辑设计作过指导，但沃兹在电子方面的才能已充分显露出来了。

电子学是他在中学阶段最感兴趣的一门学科，他完全被计算机吸引住了，成了一个计算机迷。但沃兹毕竟是个孩子，有时他还把自己的技术才智用于恶作剧，由于干得很巧妙，往往不易被人发现。

沃兹在电子学方面虽然具有杰出的才能，却无法在课堂上施展。他的物理老师了解他对计算机感兴趣，就与附近的公司联系，让他每周到这家公司去操作一台 PDP—8 型小型计算机。这项安排竟使沃兹激动不已，他全力以赴地投入到计算机的操作中去。他把这台计算机的操作手册从头到尾读了一遍，迅速熟悉了指令系统、寄存器，并掌握了二进制与布尔代数方面的知识。他还随时翻阅芯片手册，因此经过几周的努力，就能独立编制出计算机的程序来。

在计算机上操作取得的初次成功，使沃兹对计算机的兴趣更加浓厚了。在这家公司里，他看到了形形色色的计算机，他耐心地对这些计算机的线路结构一一进行分析、比较，并参照这些机器构思类似的计算机。他坚信，有朝一日自己一定独自设计出真正的计算机来，而且迫切希望这种愿望能很快实现。可以说，这时在他心中已经播下了个人计算机的种子。

当沃兹在中学读书的 60 年代，有人已经利用刚发明的晶体管来制造体积较小的计算机了。当时正是小型计算机的全盛时期。PDP—8 型就是其中最受欢迎的一种小型机。

但是，在 1969 年更受人们欢迎的，是通用数据公司生产的诺瓦计算机。这不仅是由于这种计算机外形美观大方，而且是由于它的设计科学合理，便于用户使用。沃兹对设计者把操作功能压缩成几条简明指令的做法赞赏不已。这样不仅可以使程序编得更加紧凑，而且使编写一个（能实现许多功能的）程序的工作变得轻而易举了。同时，这家公司推出的软件，还能为使用者提供更多的方便。当沃兹的同学正陶醉于摇滚歌星的表演时，他却沉醉在计算机的世界里，他的卧室墙上，挂满了诺瓦计算机的线路图和操作手册。他独立制作计算机的信念更坚定了，他的目标是，总有一天他必定会拥有自己设计制作的计算机。

在 1969 年，小型计算机的价格昂贵，只有研究所或实验室才买得起，个人拥有自己计算机的愿望在当时还只能是一种幻想而已。

1969 年，沃兹进入大学，上学后他对大学课程不大感兴趣，却化许多时间在纸上设计计算机线路图。

第二年沃兹转到另一所大学学习，但一年后就退学了。在这一年（1971 年）的夏天，他与中学同学费尔南德兹一起，利用当地工厂一些外形不佳的处理零件自己设计并组装出一台计算机。费尔南德兹除了帮助他组装计算机外，还把自己的朋友乔布斯介绍给沃兹。虽然乔布斯比沃兹小五岁，在中学比沃兹低几班，但是在电子学方面的共同爱好，使他们一见如故，成为亲密的朋友。

他们两人各有所长，沃兹的钻劲足，遇到难题无论如何都要设法解决。而乔布斯对事业的成功，也具有必胜的信心和坚忍不拔的毅力。他在电子领域上的动手能力，比不上沃兹，但他却具有企业家的才干，善于随机应变，在同外界打交道时，能言善辩，鼓动能力和推销能力都很强。

后来有人说，是乔布斯鼓动全世界投入到个人计算机的革命中去的。乔布斯的经营和推销方面的才能，在少年时代就显示出来了。他在中学读书时就曾为改善自己的经济条件去推销过电子器件。在 13 岁时，他制作频率计数器时，因为缺少一些零件，曾直接打电话给惠普公司的一位创始人，请求他们的帮助。

以后沃兹与乔布斯两人在共同的事业中配合默契，把各自的特长都充分发挥出来，因此在个人计算机领域中取得了卓越的成就。

当 1972 年沃兹从加利福尼亚大学退学时，乔布斯刚刚考入大学学习东方宗教，第一学期还未结束，他也退了学，远涉重洋到印度教圣地去顶礼膜拜，不久之后回到硅谷，在一家公司供职，于是沃兹与乔布斯又见面了，从此之后他们共同跨进计算机研制者的行列中去，他们的合作成果，就是后来举世闻名的“苹果机”。

2、苹果公司

1973 年夏天，沃兹在惠普公司计算器部找到一份暑期的临时工作。他发现在那里可以学到许多东西，因此决定再次停止大学的学业。但沃兹还是很重视学历的，后来他又回到大学学习，并取得计算机科学理学士学位的学位，这已是他功成名就的 1983 年了。

1973 年，惠普公司正在制造一种“可编程序计算器”，沃兹对此很感兴趣，他发现“这种计算器不是也有小芯片、寄存器和指令系统吗？如果不考虑输入输出设备的话，它不就是一台计算机吗？这可是我一生中钟爱的东西啊！”于是沃兹就决定在惠普公司工作。

在 70 年代，美国市场上到处可见被淘汰下来的计算机旧设备。电子爱好者把它们买来后重新组装，这就为计算机革命造就了一批年轻有为的计算机迷。在 1975 年，只要花几十美元就能买到一个微处理器，并能自编程序或配备输入输出设备来进行操作了。

1975 年 1 月，美国微型仪器遥测系统公司（以下简称微型系统公司）推出了阿尔泰（意为牛郎星 8800）微型计算机，它的主要部件是 1973 年英特尔公司推出的第一代 8 位微处理器 8080。它本身不带键盘及屏幕显示器，用户还得配备一套外围设备才能使用。阿尔泰是世界上第一种微型计算机，但它主要供业余爱好者使用。

美国的计算机迷，在各地召开会议，成立计算机俱乐部来交流知识，或交换计算机程序。很快，这些微处理器已不能满足他们的需要。一些聪明伶俐（也是最缺乏经费）的计算机迷，开始用当时最新的英特尔 8080 这一类微处理器，以及各种芯片来研制自己的新机型。沃兹与乔布斯需要一台阿尔泰计算机，但无钱购买，因此就想自己来制造。

在这些业余计算机俱乐部中，“自制计算机俱乐部”是一个成员多达 500 人、影响广泛的一个组织，这些成员在斯坦福大学的一幢大楼里，每隔几周活动一次。19 岁时创办“微软公司”的奇才盖茨，以及沃兹、乔布斯等人都是其中的成员。

每当在俱乐部进行活动时，计算机迷就把自己冥思苦想考虑出来的电路或程序提出来与伙伴们交流。

沃兹在俱乐部中看到别人自制的计算机，与自己在 1971 年装过的计算机

很相似，于是就想到对以前的设计加以改进。

为了节省费用，沃兹用 20 美元买了一片 6502 型微处理器芯片。他在设计计算机之前，先花几个星期编出了程序，他是最先用 BASIC 语言使 6502 芯片工作的一个人。BASIC 是目前广泛使用的，便于初学者学习使用的一种程序设计语言。

在编制出程序后，沃兹就开始制作计算机了，他设计了一块电路板，上面有芯片 6502 和一些接口，这些接口把这片芯片与一个键盘和一个屏幕显示器连接在一起，就构成了一台完整的计算机，他把试制的计算机带到自制计算机俱乐部去，给别人留下了深刻的印象。惠普公司看到沃兹的设计以后，认为性能不错，造价也便宜；但又认为像这样的计算机未免太简单了，惠普可不是生产这号产品的公司，而没有接受。

富有经济头脑的乔布斯，在自制计算机俱乐部中看到沃兹试制的这种样机，受到俱乐部成员的青睐，敏锐地看出，正是由于它结构简单、成本低廉，又具有良好的性能，适合个人使用，预期它将具有潜在的巨大经济效益，就亲自并鼓励别人说服沃兹一起，自己集资创办一家公司来制造、销售这种计算机。

沃兹终于被乔布斯说服了，为了筹办公司，乔布斯卖掉了自己的大众牌小汽车，沃兹卖掉了自己的两个可编程序计算器，总共筹集了 1300 美元。他们请人绘制了一块印刷线路板，这样在装配计算机时就不用花费很多时间去接线了。

后来这种计算机被命名为苹果机，关于这个名称的由来，说法不一，但选用这样一个使人感到亲切、可爱又好记的名字，对这种计算机日后在全球的流行起了一定的促进作用。

他们最初在自制计算机俱乐部里出售这种印刷线路板，还想方设法使一些零售商对苹果机感到兴趣。1976 年 7 月，沃兹在俱乐部中用苹果机（I 型）进行了示范演示。一些零售商意识到这种计算机的商业价值，要求为他们提供组装好的计算机。

1976 年夏末，沃兹又开始研制另一种后来称为苹果 II 型机的计算机。这种计算机的优点，首先是具有体积小、性能良好的电源装置，它散热快而且十分安全，一旦发生故障就会自动断电。此外，1978 年苹果公司首先推出软盘驱动器，这样给用户带来了方便。以往把程序输入微型计算机的方法是利用一台盒式录音机和磁带，输入速度很慢。采用磁盘驱动器后，存贮程序及把程序输入计算机速度快而且方便。以往的磁盘控制装置采用 30—60 块集成电路，沃兹经过简化只要用 8 块集成电路就可以了，沃兹为设计磁盘控制装置，花了一年的时间。但研制苹果 II 型机所费的时间，比苹果 I 型机要短得多。苹果 II 型机于 1977 年进入市场，成为最早的以整机形式供出售的个人计算机。苹果机的问世，使个人计算机的市场兴旺起来，沃兹与乔布斯成了个人计算机革命中的闯将。

与苹果 I 型机相比，苹果 II 型机的性能更好，它使用盖茨和艾伦研制出的微型计算机语言 BASIC—8，并巧妙地实现了使计算机能显示出彩色图像，整台计算机被安装在一个造型美观、像英文打字机那样大的、装璜漂亮的机壳里，能用键盘方便地操作，即使对计算机一点不懂的人见了也会喜爱。这种设计恰如其分地反映出个人计算机应有的模样。苹果机很快成了计算机市场上的抢手货。

开始他们在乔布斯家中汽车房里组装计算机，并且电话同外界联系，请公关公司设计广告，请律师咨询。1977年他们正式创办了苹果计算机公司。经过8年的时间，他们这个由1300美元起家的公司，居然发展成为拥有10亿美元资产的国际公司。当1985年时年龄不到30岁的乔布斯，个人就拥有资产3亿美元，成为当年美国最富有的400人中，年纪最轻的一个“富翁”。

人们一致公认，苹果机公司创造了奇迹。他们的成功，使曾经持怀疑态度的人也相信，个人计算机并不是风行一时的产品，个人计算机行业又成为人们不可忽视的一个重要领域。苹果机公司的崛起，揭开个人计算机发展史中的重要一页。

在成套销售、造型各异的个人计算机中，苹果机的销路最好。乔布斯与沃兹的成功，主要是由于他们能敏锐地察觉出计算机市场的新变化，去适应社会的需要，大胆地推出受人们欢迎的个人计算机来。

沃兹和乔布斯为人们提供了一种容易编写程序的、惹人喜爱的计算机。但苹果机的成功不能全部归功于他们两人。功劳还属于美国各地成千上万名程序编制人员，他们为操作苹果机编写了形形色色很有用的程序。苹果机公司分文不花，就能迅速为计算机用户提供各种程序，因而使苹果机的使用价值比它的一些主要竞争对手要大得多。

80年代苹果机公司开始利用先进的软件技术来组装一些价廉的个人计算机，1983年推出“信息时代的工具”——“利萨”计算机。乔布斯说：“我们设计了制造一种计算机的机器。苹果型机是在汽车房中设计制造的，而这种计算机从设计之日起就是高度自动化的。”1984年1月，乔布斯所说的这种个人用户能买得起的、轻便的32位新型计算机问世了，它就是“利萨”机的改型、著名的“麦金托什”（意为蜜柑，苹果的一个品种）计算机，它一经问世就立即在美国迅速流行，至今不衰。“蜜柑”成为苹果机公司与IBM公司在个人计算机品种上相抗衡的拳头产品。

80年代开始，形成了一种新的“多媒体技术”。所谓多媒体技术，是指可以采用声音、图形、图像多种形式作为与计算机进行信息交换的媒介。应用这种技术就能使用户在运用计算机时更加直观，更加方便。

苹果机公司最早开发多媒体技术，在麦金托什计算机上使用多媒体技术，取得了巨大的成功。

3、文字处理领域显身手

王安发明的磁芯存贮，给计算机工业的发展带来革命性的变化。王安公司在从事办公室自动化和经营管理自动化的研究开发方面，也取得突出的成就，曾一度在文字处理系统领域居于世界首位。

“文字处理”是一种形成、修改和编排文稿的技术。在60年代末期，当时美国工厂的每个工人有价值上万美元的机器和工具来协助其提高生产效率，但办公室里除了打字机外别无它物，王安感到如果设法使计算机进入办公室，让它来提高办公效率，是大有可为的，因此正确地作出开发计算机文字处理系统的决定。

在此之前，王安公司于1962年开发出第一套LINASEC电子排字系统，1964年研制成台式电子计算机（又称LOCI台式电脑），这是第一台能形成对数函数，并用对数相加实现乘法的电子计算机。王安公司的文字处理系统

正是在台式计算机的基础上进行研制的。1971年王安公司首次推出文字处理设备，1976年又开发出第二代文字处理机，它具有编辑、检索功能，由于配备了高速打印机，产品一问世就受到用户的欢迎，在美国市场狮中鳌头。王安在许多文字处理系统的关键元件制造技术上有许多开创性的发明，一共拥有40项专利。

80年代初期，王安公司进入全盛时期，一度雇员多达3万1千人，大有赶超IBM的势头。但是IBM公司当时的目标瞄准了一个比办公室更广阔的市场——家庭，开发出适合个人使用的个人电脑，迅速占领了广阔的计算机市场。

可是，在这关键时刻，王安公司未能适应电脑工业发展的新趋势，错失转向开发个人电脑市场的大好机会。

在当时，计算机厂商和用户对计算系统之间的兼容问题都很重视。但王安本人不顾助手的反对，在1985年作出致命的错误决策。他不同意开发价格低廉的与IBM电脑兼容的个人计算机，却坚持开发价格昂贵的，与IBM电脑不兼容的产品。这不但与电脑硬、软件的标准化趋势、电脑联网化趋势背道而驰，还由于独立开发成本太高，而使用户难以承受，这就使得王安公司在80年代中期以后逐渐丧失了竞争的优势。后来王安公司只好把希望寄托在“自由式计算机”，即把计算机、电话、传真机、复印机合于一体的信息系统上，来满足办公自动化的需要。1992年8月18日，王安公司正式向美国联邦法院申请破产保护，但它的这一举动并不意味公司破产倒闭，公司仍然在继续为用户进行“不间断的服务”，并在发展办公自动化设备上继续努力。

一度曾为电脑业骄子的王安公司由盛转衰。它的主要教训是，王安没有觉察到功能更强、价格更低的个人电脑正在迅速取代本公司所生产的单功能文字处理机和体积较大的微电脑。王安公司在开发产品时采用封闭方式，大都只能使用本公司设计的软件，以致掌握它的人越来越少，使用的面越来越窄，这就不符合“开放式”开发的新潮流。它告诫人们：产品一定要适应公众的需求，而且应符合统一的国际规格、标准，切不可给用户的使用带来不便。

说起文字处理，不能不提到汉字处理。历来被人们认为难学、难认、难写的由象形文字演变而来的汉字，与西方的拼音文字（例如由26个字母表达的英文）完全不同，实现机械化处理或电脑处理是一个困难的问题。中国科技人员采用20世纪后半叶的各种高科技手段，成功实现了汉字的电脑处理，使汉字这种形音结合文字的优越性被充分发挥出来了，给使用汉字的人们带来了极大的方便。汉字虽然数量多、字形复杂、但正是由于这些特点，使汉字的计算机自动识别、输入易于进行。

我国的科技人员已提出了许多种电脑汉字输入技术，“汉字输入难”的问题得到了有效的解决，而“五笔字型”与“超想自然码”则是其中的代表。外国人用26个字母键处理文字，而“五笔字型输入法”用25个字根键就可以处理汉字。这样，使用汉字的人可以用比其他文字更快的速度来处理文字信息。

围绕汉字输入的各种编码方式，我国开发出了各种计算机系统所用的汉卡，现在又完成了汉字系统从汉卡时代跨入（汉字）芯片时代的飞跃，具有中国特色的汉字处理系统，成为我国在国际计算机市场上具有很强竞争力的拳头产品。

1986年，第一台国产中外文文字处理机问世，这是中国文化史上的一个创举。我国科技人员正在为开发具有中文特色的中文电脑，开发中文、日文、简繁体字兼容的文处理系统而努力。研制多文种文字处理芯片已取得重大进展。目前中文、日文兼容的芯片已研制成功，中文、韩文兼容的芯片正在研制之中。以发明活字印刷闻名于世的炎黄子孙，正在汉字处理系统方面为世界作出新的贡献。

在印刷业中使用的照排技术，与计算机结合后，不仅提高了照相排版自动化的程度，而且操作人员能方便地对版面制作的全过程加以控制。汉字由于字体、字号多、字形变化复杂，因此实现汉字文稿的计算机照排，所需计算机的存贮容量，比拉丁字母文稿照排要大得多。我国科学家发挥聪明才智创造出“汉字字型信息压缩技术”，成功地研制出汉字计算机照排系统，解决了用计算机实现汉字排版的难题，使中文图书报刊的印刷方式发生了革命性的变革，印刷业告别铅字作业的日子不会很遥远了。

以汉字处理技术为核心的各种办公自动化系统接连不断地开发出来，“无纸办公室”、“在家上班”的理想不久将成为现实。

4、盖茨与 IBM 公司的 PC 机

在微型计算机革命的浪潮中出名的闯将除了沃兹和乔布斯之外，就要算是比尔·盖茨了。十几年间，他从一个大学二年级学生，一跃成为靠个人创业致富的全美首富，1992年年仅35岁的盖茨个人财产达到80亿美元。

在70年代，美国计算机工业发展神速，计算机硬件的功能越来越强，但相比之下，软件的发展却显得缓慢。1975年，年仅19岁的盖茨和他的伙伴保罗·艾伦独具慧眼，创办了美国第一家软件公司，在微型计算机革命的浪潮中，推波助澜，难怪有人出言不逊地说：“如果有谁开车把比尔·盖茨撞死的话，那么微型计算机工业的发展，就会推迟好几年。”

盖茨生于1957年，从小聪明好学。在14岁读中学时就与比他高两个年級的伙伴艾伦迷上了计算机。他们在最初操作计算机的第一周，就用去了价值为3000美元，这相当于一学年所需的全部费用。

盖茨在中学时就投身于计算机行业，他从事的第一件差使，是替一家计算机公司所出售的计算机挑毛病，他得到的报酬是公司允许他免费使用计算机。他还在课余为计算机公司编程序，曾发现过公司程序员在工作中出现的一些错误。他还与三个对电子学感兴趣的朋友建立了一个小组。他们开发出一个中学工资计算机结算系统。这个小组成立了Fraf—O—Data公司，盖茨自任经理，并把上述结算系统出售给当地的政府官员。不到一年，公司就积累了2万美元。然而当顾客探听到这家公司原来是由一个十几岁的孩子和管理时，就决定中止与它的来往，公司无奈只得停办了。但盖茨敏锐地看出，随着计算机工业的发展，计算机的价格将直莱越便宜，它们在各行各业中将发挥出越来越重要的作用。他还意识到为微电脑编写通用程序的重要价值。

1973年微处理器8008问世，艾伦准备用这种微处理器装出一台计算机，并鼓动盖茨一起来搞。艾伦提议开发一种BASIC解释程序（把BASIC输入语句变为8088微处理器一系列指令的一种翻译程序），从而使任何人都能用BASIC语言编制程序来控制微处理器。

他们两人在一家大公司一起工作过一年多时间后，1974年秋，盖茨进入

哈佛大学法律预科学习，努力钻研数学、物理学、心理学等课程，而艾伦则到另一家公司去工作，周末两人就在一起钻研微型计算机。

1975年初，艾伦看到一本介绍阿尔泰计算机的杂志，了解到这种计算机结构很简单，而且微型系统公司尚未为用户的机器提供任何软件，用户在机器组装好后必须自己去编制程序。艾伦把这一情况告诉盖茨后，他们一致认为，这正是大显身手的极好时机。于是马上给微型系统公司打电话，毛遂自荐地要为公司提供阿尔泰机适用的简易 BASIC 语言，立刻引起了这家公司的兴趣。

BASIC 语言在 1964 年问世后，就受到普遍的欢迎的，因为它与当时广泛使用的 FORTRAN 语言相比，能更迅速、方便地编制程序，又很适于少年儿童学习使用。在阿尔泰机刚问世时，有人就想开发一种简易的 BASIC 语言，以激发孩子们学习计算机的兴趣。

微型系统公司请他们几周后到公司去演示所编制出的程序。为此，他们两人按照这种计算机的说明书，全力以赴地苦战了几个星期。他们每天工作到深刻，有时甚至通宵达旦，干得累了就打个盹，醒过来再接着干，甚至在睡梦中也想着编程序。由于当时还没有为 BASIC 语言或其他软件建立起统一的标准，盖茨与艾伦就按自己所确定的要求，对未来软件开发的模式作出了规定。他们把编好的程序拿到公司去演示，结果一举成功。

此后艾伦被这家公司聘用从事软件开发。不久之后，盖茨感到软件产业的标准急待建立，当时（1976 年）正是发展软件产业的大好时机，于是当机立断地从哈佛大学二年级退学，与从华盛顿大学退学的艾伦一起为微型系统公司工作。很快他们意识到，除了阿尔泰机之外，还有一个更广阔的软件市场，因此他们决心在计算机软件方面干出一番大事业，他们组建了微型软件公司，销售用 BASIC 语言编制的程序。

1977 年，苹果 II 型机一问世，就立即用盖茨和艾伦开发的简明语言 BASIC—8 去编制程序。用这种 BASIC 语言编写程序，就使苹果机如虎添翼，迅速打开了销路。反过来，苹果机的流行，又使 BASIC 语言更加普及，与此同时软件市场也空前活跃起来了。至今，已开发出专门用于苹果机的程序，其数量超过了 16,000 种。

在许多人都能买得起计算机的情况下，为了使计算机（硬件）能发挥应有的作用，同时使微型计算机真正成为名副其实个人用的计算机，无疑必须设计出切实有用的、用户能买得起的软件，而且应该拥有生产计算机软件的有效手段。随着微型计算机工业的发展，软件产业应运而生。为阿尔泰计算机设计 BASIC 软件的盖茨与艾伦，正是这一产业的先行者。由于盖茨和艾伦等人的努力，使计算机的使用方式发生了根本的变化，于是让个人拥有（微型）计算机，人人都能使用计算机的理想最终成为了现实。

许多大公司要求盖茨等人为他们用 BASIC 语言编制程序，随着业务的发展，盖茨组建了一支软件开发的队伍。到 1978 年，在微型计算机软件市场上，微型软件公司处于主导地位，它的 BASIC 软件，几乎成为各种计算机和不同操作系统采用的标准组成部分。到 1978 年底，公司赢利超过了 100 万美元，而公司的全部工作人员却只有 13 人，其中大部分是程序编制人员。

1980 年夏天，微型软件公司打算向所有微型计算机厂商提供软件，使本公司的软件成为计算机行业中的标准产品，这样就能一劳永逸地避免了从事“软件翻译”所带来的麻烦。

1980年，IBM公司对个人计算机的生产发生了兴趣，决定在一年内完成机器的设计工作。但公司的主管人员估计，如果由本公司独立来开发这种产品，至少要用4年的时间，因此决定寻找合作伙伴。在软件方面，首先想到了微型软件公司。而当时盖茨也盼望IBM这一家大公司能采用自己的BASIC软件。1980年11月，这两家公司签订了合同，其中一方是计算机行业的巨头；而另一方是由25岁的小伙子领导的、雇员只有几十名的小公司。合同确定由微型软件公司把一种8086机所用的操作系统SCP—DOS改为能在IBMPC机上使用的操作系统。为了如期履行合同，盖茨花5万美元从西雅图的一个程序员沃什那里买来一个不完善的操作系统，微型软件公司的人员夜以继日地努力，对它的程序进行加工修改并命名为MS—DOS系统，提供给IBM公司，成为IBM公司微型计算机的标准磁盘操作系统。盖茨当时的打算是使软件能跟上个人计算机硬件的最新发展。

1981年8月12日，IBM公司推出了它的第一种个人计算机IBMPC（P、C是个计算机英文单词前面两个词首），后来人们通常简称为PC机。它是IBM公司成立以来售价最低的一种产品，而且破天荒地宣布要在百货公司出售，这引起美国新闻界的广泛注意。

世界最大的计算机公司IBM推出PC机，这一事实本身表明，个人计算机是一个很有前途的领域。PC机的问世，对微型计算机的制造与销售、软件编制等方面，都产生了重大的影响。

IBM公司一反常规，改用其他公司出品的通用器件来生产PC机。例如其中所用的16位微处理器是一种新的芯片8088，虽然它的性能不算最强，但对个人计算机来说已经够用，从而使IBMPC的功能，比当时市场上任何一种个人计算机都要强些，而比陈旧的苹果型机更胜一筹。IBM公司还为用户提供一些应用程序，尽管它们并不是由IBM公司独立编制的。

苹果机公司认为IBMPC机的问世，对他们也是有益的，因为由于IBM公司的宣传，将会扩大个人计算机的销路，因此硬着头皮作出“欢迎IBM公司进入个人计算机市场”的状态，情况确实不出苹果机公司所料，由于IBM公司的投入，个人计算机的市场迅速扩大。在1981年的后五个月内，PC机机一共销出了1.3万台，而1982年一年的销售量就超过了20万台。相当大的一部分个人计算机的市场，很快就被IBM公司占领了。

PC机的成功，促使程序设计者为PC机的软盘操作系统MS—DOS编出了大量软件，MS—DOS很快成为整个计算机行业16位微型计算机的标准操作系统。到80年代末，投入市场的MS—DOS系统软件，已超过了3千万套。

许多计算机制造公司纷纷推出了与IBM公司兼容的个人计算机，它们可以直接利用PC机所用的程序，价格比PC机还要便宜些。其中有些计算机与PC机相似；有些差别不大；有些甚至比PC机的性能还好；存贮量更大、图象更清晰、更轻便等。

但是在1983年，计算机市场出现了重大的转折，许多计算机公司在与IBM公司的竞争中失败了，IBM公司的PC机和1983年推出的功能更强的PC/XT控制了个人计算机市场，PC/XT是第一种装入硬盘的个人计算机，能存10兆（1兆约为一百万）位信息。

苹果机公司在与IBM公司的竞争中也受到了挫折。但是仍然采取了一些重要对策，研制出了几种能与PC机相抗衡的产品，其中之一就是他们在1984年推出的麦金托什计算机。乔布斯直接组织了这种计算机的研制工作。为IBM

公司 PC 机的软件编制出过力的微型软件公司,在麦金托什计算机的软件设计中,也作出了重要贡献。

由于激烈的竞争,IBM 公司逐渐失去了对计算机市场的垄断地位。以往依附于 IBM 公司而发迹的微型软件公司与英特尔公司,一个抓走了微电脑的头脑——软件,另一个抓走了心脏——微处理器。从此微型软件公司一跃成为垄断微型计算机软件市场的“软件大王”。

IBM 以往的优势正在消失。尽管在 80 年代初期 IBM 推出 PC 机取得成功,但是就在那时这家公司由于为了尽快推出个人计算机硬件,而把软件的核心——操作系统的研制委托给了微型软件公司,结果等于把聚宝盆拱手让给了对手。因为操作系统是控制计算机操作和其中信息流动的神经系统,至关重要。由于 IBM 公司的这一失策,使微型软件公司从中得利。目前世界上所使用的 1.4 亿台微电脑中,约有 80—90%的用户使用了微型软件公司的软件。为了争夺和维护计算机市场,各家计算机厂商接连不断地进行剧烈的价格大战,而微型软件公司却轻而易举地坐收专利使用费。

直到 80 年代中期,IBM 公司才发现自己当时的失误,于是提出了要与盖茨共同开发 DOS—2 新操作系统软件的要求,但老谋深算的盖茨,一方面表示同意合作,另一方面却抢先推出比 MS—DOS 系统更好的 Windows (窗口) 软件。这种软件在全世界畅销不衰,总共售出了 1500 万套。作为按照 IBM—PC 计算机设计运行的操作系统,MS—DOS 已显得阿旧。为了普及微电脑,要求操作系统简单、易学、形象直观,DOS 已难负重任。功能强、性能全面的 Windows 技术,极大地扩展了 DOS 的功能,能更好地适应微电脑软件、硬件发展的需求,成了引导微电脑软件发展潮流中的先锋。

当 1985 年 Windows 操作系统刚问世时,人们觉得它还不够快且难于运行。但到 1990 年 5 月它的第三版本刚一投市场就立即受到用户的欢迎。由于性能改进,使 PC 计算机能直接用鼠标或用手接触在屏幕上显示的专门图形符号来进行操作,从而摆脱了以往的键盘操作。全世界几乎一半以上的微电脑都配备了 Windows 操作系统。在 1992 年,虽然 IBM 公司亏损高达 50 亿美元,但微型软件公司却赢利十几亿美元。IBM 公司虽然庞大,但由于缺乏灵活的应变手段,难于适应市场瞬息万变的市场需要,以致原来所拥有的市场也难免被灵活的中小型电脑公司占领。

五、设计巨型机的魔术师

翻开巨型计算机的历史,就不能不提到西摩·克雷,他是当代杰出的计算机科学家、巨型计算机的设计专家。60 年代他主持设计的超大型计算机 CDC6600 达到世界先进水平,70—80 年代又相继主持研制出以他名字命名的巨型计算机“克雷—1 号”、“克雷—2 号”,独占巨型计算机世界的鳌头。

号称“美国民族智多星”的克雷不仅博学多才,富于独创精神,而且还具有百折不挠,埋头苦干的精神,长期坚持不懈的努力使他成为众所周知的巨型计算机世界的风云人物。

克雷在 1929 年生于威斯康星州,毕业于明尼苏达大学。1950 年他开始投身到计算机事业中去,1957 年他创办了控制数据公司(CDC 公司)。虽然公司一开始惨淡经营,但他深信迟早会出现奇迹——小公司能造出大型计算机来。1960 年他设计出第一台计算机,充分显示出他卓越的才能,以后创汇

断研制出各种巨型计算机，与其他同类产品相比，由于结构合理，运算能力强而成为市场上的佼佼者。

1960年，年仅31岁的克雷担任公司副董事长，承担设计名为CDC—6600R超大型计算机的重任，这台高性能的大型计算机是受美国原子能委员会的秘密委托而研制的，克雷组成了一个三十几个人的设计小组，虽然其中有一半人的资历比较浅，但由于克雷领导有方，大家同心协力，使运算速度达到每秒300万次的CDC6600的研制于1964年取得成功，这台计算机的运算速度在当时是世界上最快的。

克雷在研制这台计算机时发挥出超人的才干和大胆的创新精神，由于在科学计算中数据量极为浩繁，这样就要求计算机具有复杂的处理功能，他采取并行处理方式来解决研制大型机出现的新问题。

克雷的处理方式是将要处理的功能分散到中央处理机和10台外围处理机上，使计算机同时进行10种不同的运算操作。中央处理机在处理数据的同时，各外围设备也在与中央处理机作数据交换，这样极大地提高了整个计算机的效率，由克雷首创的这种并行处理方式以后在计算机，尤其是在大型计算机上得到了极为普遍的应用。CDC6600自从一诞生起就深受欢迎，1965年开始大批生产，总共售出了400台，达到了惊人的地步。

克雷并不满足于所取得的成绩，又开始为实现下一个奋斗目标而拼搏，不久克雷又设计出一台更大型的计算机，由于与公司意见不合，1972年克雷离开了CDC公司，自己组建了克雷开发公司。在极其艰苦的条件下，克雷设计出了当时世界上最大最快的巨型机，这就是每秒能运算几亿次的“克雷—1号”巨型计算机，揭开了与其他公司竞争的序幕。1976年便装配出第一台，它一经问世便获得极大的成功，克雷—1号受到许多重要研究单位和军事部门的重视，但是有谁会想到这一台世界上最大的计算机竟然是在一个小厂房里由四十多个工人装配出来的呢！

克雷公司在1982年又推出了另一种计算机克雷X—MP，它是由史蒂夫·S·陈领导研制的，它是一种并行处理的通用巨型电子计算机。

克雷公司在1985年、1987年先后研制出了另二种存储容量更大的计算机“克雷—2号”、“克雷—3号”。“克雷—2号”的运算速度每秒可达12亿次。

设计“克雷—2号”的任务十分繁重，克雷一个人独自拿着一本书，使用着一架台式计算机，在他的小小工作室里度过了许多不眠之夜，他首先要解决的是密集电路的散热问题，“克雷—1号”采用氟里昂冷却法，让氟里昂沿着计算机的冷却通道来回流动以达到冷却的目的。为了完成“克雷—2号”的任务，必须采用更有效的办法，克雷后来回忆这段经历时说：“人们会在错误的道路上走半年或一年，却不知错在哪里，我在‘克雷—2’上就走了三次弯路。”

最后他想出了把整个计算机的外壳充满液化氟化碳的办法，取得了理想的冷却效果。“克雷—2”的冷却系统设计得很巧妙，但在组装计算机时，他要用的仍是十年前年的技术，把快速操作的电子元件组成老式的处理机芯片，能在尽量小的体积内装入尽量多的元件，在计算机速度不断增加的同时，计算机的体积却不断减少。由于这种独特的组装技术，他被人称为是一位计算机的魔术师。

巨型机由于具有特殊的用途，设法不断提高它的功能和运算能力，仍是

当今世界上许多制造厂商的研究重点。1991年11月，克雷开发公司开始出售的 Y—MP·C90 巨型机，速度为 240 亿次 / 秒。1992 年，克雷又宣布将在 1995 年推出使用 32 个处理器、运算速度将达到 640 亿次 / 秒的巨型机。

高性能大型计算机的问世，随之而来的是使克雷的名声大振，克雷虽已成为一个蜚声世界的计算机设计专家，然而他仍然保持了谦虚谨慎、平易近人的态度，他的眼光永远向着前方，追求永无止境！

比克雷公司生产的巨型机速度更快的计算机也已问世。1992 年 9 月，日本富士通公司研制出每秒能进行 3552 亿次浮点运算的 VPP500 系列超级计算机。这种系列计算机融合了两种不同类型的计算机技术，它既能对数据进行分批处理，同时又能对数据进行高速并行处理，功能最强的一种甚至可并行连接 222 个微处理器，所以能达到如此快的速度。这种计算机应用范围很广，是石油勘探、模拟风洞的理想工具。

1983 年 12 月，我国研制成功第 1 台亿次巨型计算机——银河— 型计算机。1992 年 11 月又研制成功每秒进行 10 亿次运算的巨型机——银河— 型机。使我国成为世界上掌握研制巨型机技术的少数几个国家之一。

第十三章 第五代计算机

按照计算机前四代发展情况推测，人们对第五代计算机有不同的说法。

一种是认为第五代计算机将是超大规模集成电路计算机，它使用的集成电路，将在 5×5 平方毫米的芯片上，容纳几千万个甚至上亿个器件，它的存贮量，可达 64000K，1K 等于 1024 位，也就是说，可以达到 65536000 位。

更多的人则认为，第五代计算机将是智能型计算机。这种计算机将具有人的一部分智能，这就是说它不仅推理、分析、联想和回忆，还能听懂人的话，能讲、有翻译各种语言，并且能识别和处理声音、图像等信息，还具有一定的学习能力。由于它具有一定的智能，将成为人人都能方便地使用的工具。前四代计算机的换代，都是着重在速度、存贮容量和可靠性方面的提高，而第五代计算机不仅在量的方面有发展与提高，而且在质的方面也应有一次飞跃。

前四代计算机，都是按照冯·诺伊曼等人提出的设想制成的。计算机只能按一条一条顺序串连的指令进行运算，中央处理机与内存贮器只有唯一的道路，在同一时刻只能执行一条指令，即按照所谓“冯·诺伊曼方式”进行工作。

1982 年 4 月，日本开始了一项十年计划，采取“非冯·诺伊曼方式”来研制新颖的第五代计算机。这种计算机在运算时，不向内存贮器存取数据，而是使用上百万个微处理器，按照同时执行若干指令的“并行方式”进行运算，从而使运算速度达到上百亿次，比第一台超级计算机“克雷一号”还要快 70 倍，存贮量是“克雷一号”的几千倍，而且还能使得所用的软件变得很简单。预期第五代计算机每秒能完成 1 亿甚至 10 亿次逻辑推理，比目前的计算机快 1 千到 1 万倍。1983 年 11 月，日本电气公司最早制成了这种超高速的“非冯·诺伊曼计算机”。

第五代计算机的特点，是从数据信息的处理转为“知识信息的处理”；从数据的运算和存贮转为知识的获得、提供和积累，成为丰富的知识源泉。它不仅会算，还会思考推理，并能进行预测、规划。在解决问题时，会向人们提示应该采取什么方法等。因此第五代计算机能在信息化社会的各个领域发挥日益重要的作用，预计在 90 年代将会有新一代“知识信息处理系统”问世。

第五代计算机的原理和结构，与前四代有根本的差别，而且它还具有某些与人的智能相类似的功能，因此这种计算机将能实现多种语言的互译，翻译准确率高达 90% 以上，这是以往任何计算机难以达到的，在人们学外语时，还能用它来纠正初学者的发音。

1991 年 6 月 19 日，日本的一个研究机构向人们展示了它们所研制的第五代计算机原型样机。同年 5 月，美国加州理工学院研制出巨型机系统，它用 528 台处理器进行并行处理，浮点运算速度高达每秒 320 亿次。此外，多媒体技术也取得重大进展。美国“GO”公司研究出一种无键盘手写式计算机，能识别手写文字。惠普公司推出一种“新浪潮”的智能型办公室计算机系统，可识别办公室中的打印机及文件、抽屉等图形。

十年来，第五代计算机的研究取得不少进展，但成绩还不十分理想，在某些方面还期待取得新的突破。科学家们预计，到 20 世纪末，第五代计算机的技术将趋于成熟。

结语 未来的计算机

至今为止的所有计算机，都只能像人的左脑一样进行逻辑思维，而未来的第六代计算机，却能模拟人的右脑进行形象思维，计算机将成为名副其实的、接近于人脑思维方式的“电脑”。

很多人认为，新一代的计算机，将是光计算机、超导计算机与生物计算机。这些计算机所采用的核心元件，不再是传统的电子元件，而分别是光电子元件、超导电子元件或生物电子元件，因此能大大提高计算机的运算速度和存贮容量，而且能在“知识库”的基础上处理不完整的模糊化的信息，如利用破损、陈旧的照片来识别照片所对应的人像。

人获得的信息，大部分是以光信号的形式由眼睛接收，然后由大脑来处理的。光计算机就是根据类似的原理设想出来的。

利用光信号来对信息进行运算或处理，与利用电信号进行运算处理，原理是相同的。但不同之处在于，光信号可以同时进行多路传送，而且互相不会干扰。

单路光信号的传送速度为光速，而即使一个相当简单的光学系统，也能提供大约 50 万条同时传送信息的通道。如果电信号用单路传送，电子计算机的运算速度每秒不超过 13 亿次，而光计算机的运算速度，却可达到每秒 1 千亿至 10 万亿次，存贮容量可达 1 亿亿位。因此，在对大量信息进行高速处理时，光计算机是一种比电子计算机更理想的工具。

1992 年 10 月，日本、美国、德国、英国、加拿大和其他一些欧亚国家开始联合研制光计算机，来处理声音和图像等信息。

20 世纪 70 年代，科学家发现，大脑中蛋白质分子具有开关功能，因此触发研制生物计算机的念头。

由蛋白质构成的生物集成电路（生物芯片），优点与光电子元件类似：集成度高、尺寸小（是现有硅材料集成电路的 10 万分之一）、开关速度高（可达到每秒 1 千亿次）、发热少、功耗低、无干扰。特别是它还能同生物的神经一样，具有自我修复的功能。

许多国家在生物计算机方面取得了一些进展。英国研制出一种生物芯片，芯片上元件之间相距不到 1 毫微米（10 亿分之 1 米），在计算机上要用 X 光或激光来驱动。1990 年，日本三菱公司开发出世界上第一块光神经原芯片，它具有记忆、联想和判断功能。生物计算机，作为高速处理大量信息的又一种工具，它的问世不会很遥远了。

研制超导计算机，也能使计算机的运算速度大大提高，使信号传送的时间大大缩短。

超导，是指有些物质在接近绝对零度（大约—269）时，电流可以无阻碍地流动。

1962 年，英国物理学家约瑟夫逊在剑桥大学攻读博士学位时，提出了超导效应原理。这个原理是：由“超导体——绝缘体——超导体”组成的器件，当在两端施加电压时，电子便会像通过隧道一样无阻挡地从绝缘介质中穿过去，形成微小电流，而在这种器件的两端却无电压。这种现象称为约瑟夫逊效应。上述理论在一年后才被证实是正确的。

1973 年，约瑟夫逊因发现上述效应而荣获诺贝尔奖。

用约瑟逊器件制成的计算机，称为约瑟逊计算机，亦称为超导计算机。

虽然在研究超导计算机时，遇到了很多困难（如需要超低温的工作环境等），但由于超导计算机有许多特殊的优点：超导晶体管耗电仅是半导体元件的几千分之一；执行一条指令只需 10 亿分之一秒，比半导体元件快 10 倍。所以许多国家争相研究这种计算机。

日本电气技术研究所制成了世界上第一台完善的超导计算机，它采用了 4 个约瑟逊大规模集成电路，每个集成电路芯片体积只有 3—5 立方毫米，但是每个芯片上却有上千个约瑟逊器件，这台超导计算机，已接近实用化的水平。

第六代计算机是一种专门用来处理模糊信息的计算机，因此也可以称为模糊计算机。

对世界上的一些事物，有时只能作出一些彼此界限不十分明确的，也就是模糊的判断。例如对一个苹果，只能用大、较大、中等、较小、小等概念来描述它大小的程度。人们在生活和实践中经常要对模糊的情况进行模糊的逻辑判断。

数字电子计算机的理论基础是二进制逻辑运算，而模糊计算机的基础是“模糊从属函数”的运算，与它相应的集成电路就是模糊集成电路。这种集成电路已由日本熊本大学的山川烈教授首先研制出来。由于制造技术得到进一步的改进，现在已能投入大规模生产。

按计算机科学家的设想，第六代计算机应该在某种程度上像人脑一样，具有能处理模糊信息的功能。一个人的大脑大约有 200 亿个脑细胞。如果一个电子元件的功能相当于一个脑细胞，则为了达到人脑同样的功能，如果以电子管为元件装配这样一台计算机，那么，它的占地面积就将相当于一个大城市。幸而现代微电子技术已经得到充分的发展，集成电路将做得越来越小。现在已经生产出一百万比特的集成电路，而芯片面积却只有几个平方毫米。因此，电脑工程师们设想，在人脑那样大的容积里，只要安放 1000 块这样的集成电路，就能存贮 10 亿比特的信息，这虽然仅只相当于一个人脑细胞数的 20 分之 1，不过它的“智力”功能仍是很引人注目的。

1989 年，日本就成立了一个由政府、工业界和大学联合组成的信息处理委员会，制订了一项研制第六代计算机的宏伟计划。1992 年 10 月，日本联合欧美的企业已开始实施这一项计划。按计划的预期要求，到 2001 年，可望研制出具有人的右脑或小脑一部分功能的计算机，那时它就能凭“眼睛”和“直觉”来处理信息了。

第 6 代计算机的问世，将使人们进一步从重复繁琐的脑力劳动中解放出来，去从事高度创造性的脑力活动。

从 1945 年开始的计算机革命，至今已有四十多年了。以下引用 ENIAC 的研制者之一勃克斯的一段话作为本书的结束语。1985 年勃克斯在上海访问时曾对这场革命的发展和前景发表了如下的精辟的谈话：“回顾以往的历史，可以看到情况的变化越来越快。从技术发展的角度看，古代社会是一个手工劳动的社会，人们主要靠手艺进行生产。这种社会大约持续了 2 千年之久。工业革命为人类提供了蒸气动力，代替了人力畜力。这场革命持续了 200—300 年。而这一场计算机革命，在头 20 年中就取得了巨大的进展。这场革命未来面临的情景是严峻的，因为人们习惯做的事不要人去做了，而许多人们原来做不到的事却要计算机去实现，例如登月、宇宙航行，以及探索火星等。完全自动化的工厂、机器人工厂正在出现。如果没有计算机，所有这些事情，

都是根本不可能实现的。”

在勃克斯发表上述谈话后，八年过去了。在这八年间信息革命的发展证实了勃克斯预见的正确性，许多原来根本不可能实现的事接连不断地由计算机来承担，世界面貌日新月异地发生着变化，人类正沿着科学革命先驱者的足迹，为创造更美好的明天而坚持不懈地努力向前！