

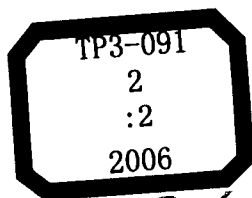
胡守仁 编著

计算机技术 发展史[二]

晶体管、集成电路计算机



国防科技大学出版社



计算机技术发展史(二)

——晶体管、集成电路计算机

胡守仁 编著

国防科技大学出版社

·长沙·

内 容 提 要

本书是继《计算机技术发展史(一)》之后,叙述 20 世纪 60 年代至 80 年代计算机技术的发展历史,重点论述晶体管计算机、中小规模集成电路计算机、微处理器与个人计算机以及计算机网络的诞生与发展,其中包括这一时期中国研究与开发计算机技术的成果。书中论述与分析了这个时期计算机技术发展的背景、技术基础与计算机的性能以及为这一时期计算机技术的发展做出贡献的人们情况。

图书在版编目(CIP)数据

计算机技术发展史(二)——晶体管、集成电路计算机/胡守仁编著. —长沙:国防科技大学出版社,2006.11

ISBN 7-81099-271-6

I. 计… II. 胡… III. 电子计算机—发展史—1960~1989
IV. TP3-09

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 004914 号

国防科技大学出版社出版发行
电话:(0731)4572640 邮政编码:410073

<http://www.gfkdcbs.com>

责任编辑:徐 飞 责任校对:唐卫葳

新华书店总店北京发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本:787×960 1/16 印张:23.25 字数:347 千
2006 年 11 月第 1 版第 1 次印刷 印数:1-1500 册

ISBN 7-81099-271-6/TP·26

定价:32.00 元

前 言

20 世纪已经过去了, 在这个世纪中, 发展最快、影响最大的科学和技术莫过于计算机了。1946 年研制成功可运行的电子管计算机 ENIAC, 加法运算速度为每秒 5 000 次, 乘法为每秒 300 多次, 存储容量只有 20 个字。虽然它是一个庞然大物, 占地面积 100 多平方米, 重 30 吨, 耗电量 140 千瓦, 程序指令靠外部接插线实现, 使用起来既费力、又费时, 非常笨拙, 但是它的研制成功, 引起了计算工具的革命, 开创了一个新的时代, 即计算机时代, 并进而迈入了信息化社会的时代。经过短短的五十多年时间, 计算机技术突飞猛进, 现代计算机建立在超巨大规模集成电路的基础上, 微处理器芯片已集成以亿计的晶体管, 采用 $0.065\mu\text{m}$ 生产工艺, 工作频率高达 3.6GHz, 存储芯片的容量已达每片 10 亿位 (2004 年推出的奔腾 4 采用 $0.09\mu\text{m}$ 集成工艺, 集成了 1.8 亿个晶体管, 时钟频率达 3.2GHz)。微型计算机的运算速度也以每秒十亿次计, 主存储器容量达 512 ~ 2 048 兆字节, 而体积非常小, 如笔记本机的体积只有几分之一立方米, 重量只有 2kg 左右, 甚至更轻一些, 耗电量以瓦计。而掌上计算机则更小了, 可以放在口袋里。

过去计算机的价格非常昂贵, ENIAC 的研制费就花了近五十万美元, 赛其系统所用的计算机 A/N FSQ-7, 每台价以千万美元计。因此, 当时使用计算机的单位主要是国家实验室、军事部门、政府机关和大公司。而现在一台性能相当高的台式计算机只需人民币四千元左右, 所以现在计算机的使用非常普及, 已渗透到各个领域、各个部门、各个学校, 甚至家庭。特别是计算机技术和通信技术相结合, 形成了计算机网络。互联网已

遍及全球,现在已进入网络计算的时代,计算机网络具有信息共享、文件传输、电子邮件、远程计算、远程教育和电子商务等功能。据 2005 年 7 月 21 日统计,中国联网计算机数达 4 560 万台,上网人数达 1.03 亿。计算机技术的迅速发展,极大地推动了科学技术的发展与社会进步,带来了难以估量的经济效益和社会效益,使人们面临信息化的社会。

既然计算机技术已发展到如此复杂、高级和先进,为什么还要了解简单、初级和原始的计算机技术的发展历史呢?其目的可归纳如下:

1. 通过计算机技术发展史的介绍,更好地了解计算机技术的发展历程,从历史的观点,看它如何从简单到复杂、从低级到高级、从原始到先进,从中发现计算机技术发展的规律,结合当前科学技术和信息技术的现状,探讨和展望今后计算机技术的发展趋势。

2. 了解每一时期计算机技术发展的背景和动力。认识到社会的需求是推动计算机技术发展的动力,而其它科学技术的进展,为发展计算机技术创造了条件。如 18 世纪需要精确的数学表,凭人工计算制表,工作量大又难免错误,促使巴贝奇为解决这个问题而奋斗终身。那时机器制造业已有所发展,有了各种机械零件,巴贝奇为了试图解决函数表的自动计算和排版印刷问题,提出了差分机和分析机的思想,其中就蕴含着现代计算机结构的雏形。又如第二次世界大战爆发后,美军迫切需要解决火炮的射表问题,而当时真空电子管已得到应用,从而有人提出将真空管用于计算机,即研究与开发电子数字计算机的思想,研制成功了 ABC 和 ENIAC 等电子管计算机,开创了电子计算机的新纪元。随后又研究与开发了晶体管计算机、集成电路计算机、单片微处理器芯片和个人计算机以及计算机网络等等。通过历史可更好地了解需求牵引和技术推动的辩证关系,在社会主义市场经济的条件下,更好地把握机遇,立足于可能采用的技术与发明创新,推进我国计算机技术的更大发展,为人类做出贡献。

3. 了解计算机技术的先驱们为发展计算机技术所取得的功绩。不论什么技术的发明与开发,要依靠科学家、学者、工程师、技术人员和工人

的通力合作，才能取得成果，但是也不能忽视骨干的作用。从计算机技术的发展历史可以看到，正是有一些能够高瞻远瞩、敢于创新、勇于实践、不畏艰险的人们，以对科学执著的精神，提出新思想、新技术和新方法，他们和群众相结合，将计算机技术不断推向前进。发展科学技术，创新是关键，因此培养和造就具有创新精神的人才 是学校教育改革、加强素质教育的重点之一，也是发展科学技术与高技术产业要解决的关键问题。通过计算机技术发展史的学习，可以给人们以启示，这些前辈们是以什么样的科学精神和严谨学风对待新事物、新问题，经过长期的不懈努力和艰苦奋斗，克服重重困难，终于有所发明和创造，为人类的科学技术事业做出了不朽的贡献。通过计算机技术发展史，也可了解一些消极的教训，当一个科学家有着对科学的追求与远大的理想，并能与他人合作共事，他就能取得成就，否则将一事无成。如美国著名半导体科学家肖克莱和布喇顿、巴丁合作，开展对半导体技术的研究与开发，布喇顿和巴丁先发明了点接触晶体管，而肖克莱因对科学执著和不断进取的精神，在他坚持的努力下，发明了结型晶体管，他们因发明晶体管而对计算机技术的发展做出了重大贡献，曾获得诺贝尔物理学奖。随后肖克莱在他的家乡创办了“肖克莱半导体实验室”，吸收了八位半导体精英参加工作，后来因肖克莱管理不善，未能创造业绩，这八位“叛逆者”离他而去，另闯自己的天地。可见奉献精神与团结关系的重要性。不过对后人来说，不论是在科学研究中的成功经验或者失败教训，都有正反两方面的教育意义。

4. 通过对计算机技术发展史的了解，可以看到计算机技术与其它科学技术的密切关系。没有真空电子管，就不会有电子管计算机；没有半导体的发展，就不会有晶体管计算机；没有微电子技术的发展，就没有今天高性能微处理器芯片。这说明计算机技术的发展离不开其它科学技术的支持，同样的，计算机技术的进步与需求，也大力推动了其它科学技术的发展。这就表明计算机技术与其它科学技术是相辅相成、互相促进的。当其它科学技术有新的成就时，可能带来计算机技术新的飞跃。为此计算机技

术工作者,应关心其它科学技术的发展与最新成就,探索它们与计算机技术的关系及其影响,可能给计算机技术的发展带来新的突破。

5. 科学技术总是在继承的基础上改进、提高和创新,不断地向前推进的。在一般情况下,事物的变化是缓慢的,表现为量变。在一定条件下,事物可能发生突变,表现为质变,使其向着更高级的方向发展。计算机技术的发展也不例外。如 ENIAC 研制成功后,进入电子管计算机时代,在以后的十年中,处于量变的过程。采用的技术可能有所不同,如对数的处理是串行操作还是并行操作;存储器是采用汞延迟线还是阴极射线管存储器;指令系统的格式是单地址、二地址、三地址还是四地址;机器是同步控制还是异步控制等等。虽然计算机的性能会有差别,但都属于量变。由于器件的变化,由继电器计算机发展为电子管计算机;进一步发展为晶体管计算机、集成电路计算机;又发明了微处理器芯片与个人计算机;直到现代计算机与因特网的发展。每一次变化都使计算机的性能有数量级的提高,这可以说是质变。所谓质变,就是在计算机原有技术的基础上,有所发现、有所发明,创造了新的计算机技术。可见不了解历史,要谈创新和发明,将是无源之水,无本之木,是不可能实现的。因此,要在计算机技术上有所创新和发明,就需要学习和了解计算机技术发展史,通过分析、鉴别和批判,从中发现问题,在一定前提下研究解决问题的方法,才能提出创造性的思想。

由此可见,学习计算机技术发展史,不仅仅是简单的了解过去,更重要的是着眼于未来,使计算机技术能得到更大的发展。通过学习历史,只要认真分析与仔细捉摸,可从中得到启发,进而萌发创新的思想。所以对从事计算机技术研究、开发和生产的人们来说,具有重要的现实意义。其历史经验对从事其它科学技术事业的人们同样有益。本书更适合高等院校计算机、电子技术、自动控制等专业的研究生和本科生阅读。

撰写本书的指导思想是:书中的内容要根据已有资料,实事求是,力求反映客观实际;既要考虑系统性,又要强调突出重点;既要叙述历史,

又要有归纳、分析和评论，能给人以有益的启示；文字简明，通俗易懂。

在本书撰写过程中，得到了中国科学院张效祥院士和中国工程院卢锡城院士的积极支持；刘明业教授、王志英教授和杨学军教授等十分关心本书的写作与出版，做了许多有意义的工作；参加繁多具体工作的还有耿惠民、金芝、戴葵、李宗伯等同志。在此一并向他们表示感谢。

由于本人水平所限，难免有遗漏、错误或不恰当之处，希望读者批评指正。

胡守仁

2006年6月

目 录

第一章 晶体管计算机的诞生

1.1 晶体管的诞生	(2)
1.1.1 电子管计算机存在的主要问题	(2)
1.1.2 半导体电子器件的诞生	(4)
1.1.3 晶体管的优点	(13)
1.2 早期英国发展晶体管计算机的情况	(14)
1.3 美国发展晶体管计算机的情况	(16)
1.3.1 早期美国发展晶体管计算机的情况	(16)
1.3.2 IBM 7000 系列晶体管计算机	(20)
1.3.3 IBM 1401 与 IBM 1410 晶体管计算机	(22)
1.3.4 CDC 1604 晶体管大型科学计算机	(28)
1.4 小型计算机 PDP	(29)
1.4.1 奥尔森	(29)
1.4.2 PDP 系列小型计算机	(35)
1.5 中国发展晶体管计算机的情况	(42)
1.5.1 441B 晶体管计算机	(42)
1.5.2 中国研制的其他晶体管计算机	(46)
1.6 另一种尝试——UNIVAC 固体计算机	(49)
1.7 计算机技术进入晶体管计算机时代	(54)

第二章 早期超级计算机系统

2.1 IBM Stretch 超级计算机	(56)
2.1.1 设计和研制 Stretch 的背景	(56)
2.1.2 Stretch 的诞生与应用	(57)
2.1.3 对 Stretch 的评价	(65)
2.2 利弗莫尔原子研究计算机 LARC	(68)
2.3 弗伦梯 Atlas	(69)
2.3.1 基尔蓬	(69)
2.3.2 弗伦梯 Atlas	(76)
2.4 CDC 6600	(82)
2.4.1 克雷	(82)
2.4.2 CDC 6600 科学计算机	(90)

第三章 IBM 360 系列计算机系统

3.1 引 言	(98)
3.2 布鲁克斯、伊万斯和阿姆达尔	(106)
3.2.1 布鲁克斯和伊万斯	(106)
3.2.2 阿姆达尔	(111)
3.3 IBM System/360 的体系结构	(118)
3.3.1 设计目标	(118)
3.3.2 设计决策	(124)
3.4 流水线技术	(132)
3.4.1 IBM System/360-91 流水线处理机	(132)
3.4.2 IBM System/360-91 浮点运算器	(136)
3.4.3 IBM System/360-91 缓冲器的设置	(140)
3.4.4 流水线机中的指令相关性	(141)

3.4.5 程序分支对流水线性能的影响	(144)
3.4.6 IBM System/360-91 机的中断处理	(145)
3.5 微程序设计	(146)
3.5.1 概述	(146)
3.5.2 微程序设计的历史	(152)
3.5.3 IBM System/360 采用的微程序设计技术	(153)
3.6 IBM System/360 系统使用的元件	(160)
3.6.1 晶体管—二极管—电阻模块	(160)
3.6.2 电抗元件	(163)
3.6.3 具有电抗元件的模块	(164)
3.6.4 提高封装元件的密度	(166)
3.6.5 结论	(168)
3.7 对于 IBM System/360 服务能力特性的设计	(168)
3.7.1 IBM System/360 主要服务能力的目标	(169)
3.7.2 减小服务请求的中值和平均持续时间	(170)
3.7.3 减小长服务请求的持续时间	(174)
3.8 IBM System/360 系列计算机的设计自动化	(177)
3.9 晶体管计算机时期的成就及其发展	(183)

第四章 中小规模集成电路计算机

4.1 摩尔、诺依斯与基尔比	(190)
4.1.1 摩尔和诺依斯	(190)
4.1.2 基尔比	(196)
4.2 早期的中小规模集成电路计算机	(199)
4.3 中国国防科技大学开发的集成电路计算机	(201)
4.4 中国研究与开发的其它集成电路计算机系统	(209)
4.5 中小规模集成电路计算机时期突破的技术	(213)

第五章 巨型计算机系统

5.1 并行计算机系统	(215)
5.1.1 SOLOMON 处理机阵列	(215)
5.1.2 ILLIAC IV 阵列计算机系统	(216)
5.2 STAR-100 向量计算机系统	(221)
5.3 TI-ASC 巨型计算机	(225)
5.4 CRAY-1 巨型向量计算机系统	(227)
5.5 “银河-I”(YH-1)亿次巨型计算机	(233)
5.5.1 研究与开发“银河-I”的背景	(233)
5.5.2 “银河-I”巨型计算机系统的研制过程	(234)
5.5.3 “银河-I”的总体结构和主要性能指标	(242)
5.6 “银河-II”10亿次并行计算机	(247)
5.6.1 “银河-II”任务的由来	(247)
5.6.2 “银河-II”的研制过程	(248)
5.6.3 “银河-II”在性能指标与技术上的突破和创新	(251)
5.6.4 “银河-II”的国家鉴定结论	(253)

第六章 微处理器与个人计算机

6.1 微处理器的诞生	(255)
6.1.1 Intel 公司的成立	(255)
6.1.2 微处理器的诞生	(257)
6.2 早期的个人计算机 LINC	(266)
6.3 个人计算机的诞生	(269)
6.3.1 微处理器开发系统	(269)
6.3.2 比尔·盖茨	(270)
6.3.3 微型计算机的诞生	(273)
6.3.4 IBM 个人计算机	(280)

第七章 分时计算机系统与计算机网络

7.1 分时计算机系统	(288)
7.1.1 概述	(288)
7.1.2 考巴脱	(290)
7.1.3 计算机分时系统的研究和开发	(292)
7.2 ARPAnet 的建立	(301)
7.2.1 建立 ARPAnet 的背景	(302)
7.2.2 利克利德备忘录《星系际计算机网络的构件和机构》	(312)
7.2.3 ARPAnet 思想的萌生	(316)
7.2.4 ARPAnet 的诞生	(319)
7.3 Internet 的建立	(323)
7.3.1 ARPAnet 在计算机通信的国际会议上第一次露面	(323)
7.3.2 ALOHAnet 和 SATnet	(325)
7.3.3 三类网络相连接——Internet 的建立	(326)
7.3.4 Internet 建立过程中相关技术的进展	(329)
7.4 互联网的发展	(339)
7.4.1 引言	(339)
7.4.2 第一个多用户城堡 MUD	(341)
7.4.3 Usenet 和 BITnet 的建立	(342)
7.4.4 DARPA 建立因特网配置控制站	(345)
7.4.5 纳尔逊完成集中式超文本数据库 Xanadu 的设计	(345)
7.4.6 个人计算机联网	(346)
参考文献	(348)

第一章

晶体管计算机的诞生

自从阿塔纳索夫和贝利设计和研制了ABC电子管计算机，莫奇利、埃克特和他们的研究小组设计和研制成功了可工作的电子管计算机ENIAC，使计算机的发展进入了电子管计算机的时代。电子管计算机的性能与继电器计算机相比，约提高了三个数量级，显示出了它的优越性。特别是存储程序原理的提出以及磁芯存储器的研制成功，使计算机真正成为能自动运行的机器，先后推出了一批存储程序电子管计算机，并开始建立了计算机企业，生产和销售了多种型号的电子管计算机，还逐步提高了机器的性能，方便了使用，扩大了应用，产生了明显的社会效益和经济效益，初步显现了电子计算机的巨大作用与重要意义，引起了人们的重视。

但是电子管存在着许多内在的缺点，主要是可靠性低、功耗高、体积大、坚固性差，限制了电子管计算机的发展。而各个领域、各个行业对电子计算机的需求日益增长，迫切要求有可靠性高、性能更强的电子计算机。20世纪50年代，在固体物理研究成果的基础上，开始出现了新的电子器件，即半导体晶体管。晶体管与电子管相比具有一系列优点，因此，人们就想到采用半导体晶体管作为计算机的器件，设计和研制成功了晶体管计算机，从而进入了第二代电子计算机，即晶体管计算机的时代。下面先讨论产生晶体管计算机的背景和晶体管的诞生，进而介绍一些典型晶体管计算机的设计和研制情况。

1.1 晶体管的诞生

1.1.1 电子管计算机存在的主要问题

通过电子管计算机研制与使用的实践,表明其存在的主要问题简要归纳如下:

(1) 真空电子管寿命短,一般约为1 000~10 000小时,可靠性低。而且在计算机运行过程中,要求计算机不停顿地连续工作,如果时停时开,由于机器温度急剧变化,很容易损坏电子管,使计算机更不稳定、更不可靠,这样既增加了维护机器的负担,降低了机器的使用效率,又浪费了电量。正因为电子管的寿命短、可靠性低,成为在计算机系统中增加电子器件数量的障碍,阻碍了进一步提高计算机的计算能力。

(2) 真空电子管在高电压(一般约为200~300伏直流高压)、大电流状态下工作,功耗很大,要求相应的大功率电源,不但对供电电源系统有较高的要求,而且机器会产生很高的热量,对计算机的机械结构设计和散热都带来了很大的困难。

(3) 真空电子管体积大,使机器的体积非常庞大,要求机房具有较大的面积,更重要的是插件内、插件间和机柜之间的连线很长,对机器的电性能有较大影响。特别是武器装备的体积有限(如飞机、坦克等),不可能安装体积较大的机器,因此影响了电子管计算机在军事上的应用。

(4) 真空电子管结构脆弱,经不起振动与冲击,也影响它在武器系统中的应用。

(5) 开发存储程序电子管计算机的初期,采用汞延迟线存储器和阴极射线管存储器,前者非随机存取,适用于串行计算机,后者可随机存取,串行计算机和并行计算机均可采用,但由于体积大、可靠性低,能制成的存储器的容量都较小。所以一般电子管计算机的存储容量都较小,存取速度较低,影响了计算机的性

能及其应用，难以处理规模较大或较复杂的问题。直到1958年，“旋风”计算机初次采用了磁芯存储器，情况才有所改变。

(6) 由于电子管计算机的产生和发展的时间不长，建立计算机企业不久，大多采用非标准元件、部件和设备，影响了大规模生产和降低生产成本以及设备的维护和修理。

(7) 大部分电子管计算机的体系结构是以运算器为中心的，除运算器频繁访问存储器外，输入和输出等操作都要通过运算器与存储器联系，而且以单道程序运行，显著影响了系统的效率。

(8) 在电子管计算机时期，汇编语言和高级语言及其编译程序很少在机器中采用，一般采用机器语言，编制程序和调试程序非常困难，遇到程序有错，检查错误比较麻烦。往往要经过编程、运行、检错、修改程序等多次反复才能通过，得到最后运算结果，使用效率很低。

电子管计算机存在的上述主要问题影响了计算机的发展及其应用，迫切需要有新型计算机系统，克服以上存在的问题。因此，产生了晶体管计算机。晶体管计算机的产生背景主要有：

(1) 和过去的任何计算工具相比，电子管计算机具有运算速度快，能存储程序指令和数据，有逻辑运算与判断能力，完全实现了自动执行程序等特性，显现出其无比的优越性，解决了许多过去难以解决的问题，如火炮射表的制作，原子弹、氢弹的设计与计算等等。计算机的应用已从科学计算逐步扩展到数据处理，并日益提出更多的需求。除要进一步提高计算机的性能外，还要求提高机器的稳定性和可靠性，降低价格。特别是将电子计算机应用于武器系统，必将显著提高武器系统的性能，加强其作战能力，为此，计算机的军事应用需求不断增长。但由于武器系统的使用环境恶劣，安装机器的空间有限，对计算机的高可靠性、体积小、重量轻、功耗低、环境适应性强等等有更高的要求。

(2) 存储程序计算机的体系结构已基本形成，并在许多电子计算机中实现，取得了初步经验，为其今后进一步发展奠定了良好的基础。

(3) 在电子管计算机发展的后期，研究与开发的磁芯存储器，为增大存储器的容量、提高存取速度、加强可靠性，创造了



条件。

(4) 为了便于用户使用电子计算机,有人开始研究与开发了子程序库、汇编语言、高级语言及其编译器等,装入在某些电子管计算机中,对于计算机的应用取得了明显的效果。

(5) 20世纪30年代至50年代,提出了固体物理理论,发明了固体电子器件,即半导体晶体管。随着晶体管生产工艺的不断提高,晶体管的优越性日益显露出来,主要是体积小、重量轻、功耗低、可靠性高、耐振动和耐冲击能力强,存在着代替真空电子管的潜在可能性。

1.1.2 半导体电子器件的诞生

利用固体内部电子运动变化原理制成的、具有一定功能的电子器件,叫做固态电子器件。而半导体的电子性能很容易受各种因素控制,用半导体材料制成的固态电子器件,就叫做半导体电子器件或简称晶体管。

从固体的导电机构来看,半导体中可移动的带电粒子可以是电子、空穴或离子。电子是带负电荷的粒子,空穴是带正电荷的准粒子,离子可以带正电荷或带负电荷。

电子导电的半导体称为电子型半导体,简称N型半导体;空穴导电的半导体称为空穴型半导体,简称P型半导体;如果半导体中同时存在等量的电子和空穴,则称为本征半导体。N型半导体和P型半导体连接在一起,就成为一个PN结。PN结是半导体电子器件的基本单元结构,具有整流特性。

20世纪30年代,固体能带理论已比较成熟。当时英国的莫特、前苏联的达维多夫和德国的肖特基同时发展了金属和半导体接触的整流理论。1935年,海尔建议用一个控制电极来控制一层半导体薄膜中的电流,用以构成一个固态放大器。

美国最早开始这方面研究的是贝尔实验室。在电话通信系统中,由于早期的纵横制电话交换机的控制元件是继电器式步进寻线器,这种器件控制电流大、开关时间长、工作不可靠,人们早就希望能有一种电子器件代替这种机电器件,以改善电话交换机

