

ENCYCLOPEDIA
OF COMPUTER
SCIENCE AND TECHNOLOGY

计算机
科学技术
百科全书

(第三版)



清华大学出版社



计算机 科学技术 百科全书

(第三版)

主编 张效祥 / 执行主编 徐家福

清华大学出版社
北京

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

计算机科学技术百科全书/张效祥主编.—3版.—北京:清华大学出版社,2018
ISBN 978-7-302-49572-7

I. ①计… II. ①张… III. ①计算机技术—百科全书 IV. ①TP3-61

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第027518号

责任编辑:薛慧 张兆琪

封面设计:傅瑞学

责任校对:王淑云

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京雅昌艺术印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:94.25 彩 插:1 字 数:2918千字

版 次:1998年8月第1版 2018年5月第3版 印 次:2018年5月第1次印刷

定 价:498.00元

产品编号:035279-01



本书第一版获第十二届中国图书奖

《计算机科学技术百科全书》(第三版)

主编、副主编及各分支主编、编委名单

主 编 张效祥

执行主编 徐家福

副 主 编 杨芙清 董韫美 李三立 李国杰 赵沁平

1. 计算机科学理论

主 编 殷建平

编 委 李 祥 李 廉 李舟军 莫则尧 朱大铭 祝 恩

2. 计算机体系结构

主 编 郑纬民

编 委 钱德沛 刘志勇 金 海 过敏意 陈文光

3. 计算机软件

主 编 梅 宏

编 委 朱三元 郑国梁 施伯乐 王 珊

王立福 王怀民 张 健 周兴社

4. 计算机硬件

主 编 韩承德

编 委 唐志敏 舒继武 冯 丹 谢长生 肖利民 苏振泽

5. 计算机网络

主 编 李 星

编 委 李忠诚 张 蓓 龚 俭 汪为农 张 凌 马 严 徐明伟

6. 计算机应用技术

主 编 张福炎

编 委 彭群生 徐光佑 蔡莲红 吴泉源 孙志挥 黄宜华

肖田元 俞士汶 徐晓飞

7. 人工智能

主 编 石纯一

编 委 王 珏 刘大有 史忠植 黄厚宽 俞士汶 周志华

张长水 刘椿年

第三版前言

《计算机科学技术百科全书》(以下简称《全书》)第二版出版至今已 10 年有余,在这十多年的时间里,计算机科学技术迅速发展,又涌现出许多新的内容。为适应广大读者获得计算机科学技术领域更新的知识的需求,我们从 2010 年开始筹划、组织《全书》第三版的编撰工作。

进入 21 世纪后,由于计算机科学技术的快速迭代和市场的迅猛成长,计算机产业已经步入成熟期。计算机、计算机网络、计算机的应用成为绝大多数人生活的基本工具和重要组成部分。因而,计算机科学技术的内容也成为人们必须学习的基础知识,作为“百科全书”理应承担“无围墙大学”的教学责任,为此,在本次修订中着重对有关计算机最基本、最重要的概念再次进行了审改,力求完善、准确。在“总论”中的“基本概念”和“基本内容”部分,分别对“计算机”“计算机科学”“计算机技术”“计算机科学技术”“计算机体系工程”“计算机产业”“计算机科学理论”“计算机体系结构”“计算机软件”“计算机硬件”“计算机网络”“计算机应用技术”“人工智能”的定义均做了完整、严谨的论述。“总论”中还增加了近十年“计算机科学技术”和“计算机产业”发展的新内容。

在本次修订中,对二级框架未做大的改动,仍为“计算机科学理论”“计算机体系结构”“计算机软件”“计算机硬件”“计算机网络”“计算机应用技术”“人工智能”七个分支。与二版比较,只将“计算机组织与体系结构”更改为“计算机体系结构”,并撰写了释文。为使各分支更准确涵盖本学科领域知识,在分支之间有个别部分的调整。例如,将“管理信息系统”“电子商务系统”等计算机应用软件的条目调入“计算机软件”二级框架内,新建立了“计算机应用软件”四级框架。在各分支中,又删除了已现陈旧的条目;进一步归并了一些较细的条目;增加了反映新技术应用的如“计算机学科交叉新技术”“网络存储”“数据库应用技术”等系统条目。对反映新技术、新理论且已成熟形成固定概念的新知识主题则列为新的条目,如“云计算”“服务计算”等。网络安全问题日益突出,也增加了相关的条目。

修订后,全书共有 1509 条,其中,“计算机科学理论”179 条,“计算机体系结构”158 条,“计算机软件”394 条,“计算机硬件”181 条,“计算机网络”204 条,“计算机应用技术”267 条,“人工智能”126 条。

计算机科学技术发展迅猛,虽然我们不断在做《全书》的修订工作,力求跟上其发展

步伐,使《全书》的内容能展现和记录计算机科学的状况,但总有遗憾。不足之处望广大读者不吝赐教。

衷心感谢上百位作者在第三版修订中付出的心血以及清华大学出版社对出版本书的大力支持。

《计算机科学技术百科全书》编撰委员会

2015.12

第二版前言

《计算机科学技术百科全书》(以下简称《全书》)第一版自1998年出版以来颇受各界关注。它已成为我国计算机学术、教育、产业与应用等诸领域工作者和广大计算机爱好者常用的、得力的工具书。由于计算机科技发展迅猛,自第一版发行至今6年多的时间里,又有了许多新内容涌现。为适应广大读者及时获得计算机科技领域更新知识的需求,从2000年开始筹划,在第一版的基础上进行了增、删与改写,并对《全书》框架作了适当调整,历时4载有余,方完成了《全书》第二版的编撰出版工作。

计算机网络在推进我国国民经济发展与社会信息化的过程中有着十分重要的作用。近年来计算机网络技术发展十分迅速,内涵丰富,为此,在《全书》第二版中将其列为独立分支。在原有的“计算机科学理论”、“计算机组织与体系结构”(第二版改名“计算机组成与体系结构”)、“计算机软件”、“计算机硬件”、“计算机应用技术”和“人工智能”6大分支基础上增加了“计算机网络”分支。第二版在各个分支中除了适当增加新条目外,还对第一版框架中一些过于细小条目进行了合并、改写与删节,对一些已现陈旧的条目则予删除,以使整个框架更加合理,更能反映计算机科技的新近发展。第二版对“计算机科学技术总论”也做了一些修改与补充。全书共收录条目1381条,比第一版略有增加。其中,“计算机科学理论”172条、“计算机组成与体系结构”133条、“计算机软件”320条、“计算机硬件”162条、“计算机网络”245条、“计算机应用技术”244条、“人工智能”105条。

《全书》第二版力求对每个条目赋予简明而确切的定义以及较为明确而完整的内涵,取材于肯定成熟的知识,言必有据,确切可信。

《全书》第二版广大作者撰写条目备极艰辛,清华大学出版社各位编辑精心校勘,于此均表感谢。

对《全书》第二版不足之处,欢迎广大读者不吝赐教。

《计算机科学技术百科全书》编撰委员会
2004年12月

第一版前言

半个世纪以来,计算机科学技术以磅礴之势迅猛发展,它以非凡的渗透力与亲和力,深入人类活动的各个领域,对人类社会的进步与发展产生了巨大的影响。计算机应用于科学研究,大大增强了人类认识自然与开发、改造和利用自然的能力,促进了现代科学技术的发展;计算机应用于生产,大大提高了人类物质生产水平和社会生产率,促进了经济的发展;计算机应用于社会服务,大大扩大和改善了服务范围与质量,提高了工作效率,推动了社会进步;计算机应用于社会文化,为人类创造文化提供了现代化工具,改变了人们创造和传播文化的方式、方法和性质,大大扩展了人类文化活动的领域,丰富了文化的内容,提高了质量;计算机进入办公室、家庭和为个人所拥有,正改变着人们的工作方式和生活方式。计算机科学技术对一个国家在政治、经济、科技、文化、军事、国防等方面发展的催化作用和强化作用,都具有难以估量的意义。它已在世界范围内形成一种现代文化。计算机科学技术在即将来临的新世纪中,必然会成为人类的重要基础文化知识之一。《计算机科学技术百科全书》(以下简称《全书》)就是迎接时代的需要,为推动我国计算机教育的普及与深入,为提高全民族计算机科学技术文化素质,为促进计算机学术研究与产业发展而撰写的。

50年来,计算机已发展为范畴宽广、内涵丰富的科学技术和规模恢宏的新兴产业。计算机与通信的融合和全球性联网,更赋予它未可限量的发展前景。《全书》力求涵盖计算机科学技术发展50年来的主要成就,广收博取,深入浅出,以通俗精练的文体,比较系统全面地介绍学科的基本知识,既适于各行各业广大读者查询,也可供计算机专业人员参阅,并作为向深广发展的桥梁与阶梯。

《全书》根据计算机学科的内在联系、相关程度与性质特点,划分为“计算机科学理论”、“计算机组织与体系结构”、“计算机软件”、“计算机硬件”、“计算机应用技术”和“人工智能”6大分支,按4级框架,共设置1293个条目200多万字。由于中文信息处理是我国及全球汉字通用地区计算机应用中的重要技术,特在“计算机应用技术”分支中,设置有关中文信息处理条目80余条,以供读者查阅。《全书》按照不同层次与内容涉及范围,将条目释文分为大、中、小3类。在释文中有一定释义的常用名词术语还择要列作“主题词”者共约1031个,与条目一起编入内容索引中,以利查阅。《全书》“总论”全面总览了计算机科学技术的内涵与对人类社会发展的巨大作用与深远意义,以引导读者全面、科学地认识计算机科学技术。《全书》设附录3种。

《全书》的撰写,着意于以简练、概括的笔触给每个条目以确切的定义和明确、完整的内容,取材于肯定成熟的知识,言必有据,确切可信。

《全书》在中国计算机学会、我国多所著名院校和计算技术研究所以及清华大学出版社等的支持和直接参与下,于1993年6月着手开展工作,至1996年12月完成全部编审,历时3年有余。有分布于全国的约400名专家、教授参与了撰写和审稿。《全书》是我国计算机学术界一部集体智慧的巨著,实现了大家多年来的共同愿望。

对《全书》不足之处,欢迎广大读者不吝赐教。

《计算机科学技术百科全书》编撰委员会

1997年2月

凡 例

1. 本书是全面、系统、科学地介绍计算机科学技术知识的专业性百科全书。全书按7个学科分支(计算机科学理论、计算机组成与体系结构、计算机软件、计算机硬件、计算机网络、计算机应用技术、人工智能),4级框架的层次设置了1381个条目。它们构成了计算机科学技术完整的知识主题系统。

2. 条目分类目录由条目的题名组成,它们按学科分支的框架层次编排,体现了计算机科学技术所涵盖知识的内在联系、相关程度和性质特点。可以说,它是全部条目的系统表。

目录中有的条题名没有注明页码,表明该条题没有释文。设置这些条题的目的是为了完整地表示一个学科分支的科学体系。例如,计算机硬件分支中的“计算机逻辑部件”条题名。

目录中有的条题名会在两个分支内出现,说明它在两个学科分支体系中都有其作用。例如“自然语言处理”条题名在计算机应用技术分支和人工智能分支中均存在。

3. 本书条目按条题名汉语拼音字母顺序排列。第一字同音时,按其音调的四声顺序排列;同音同调时依次按笔画多少和笔顺排列;如完全相同,则按第二字,余类推。非汉字开头的条题名排在汉字条题名之后。依次为英文字母、希腊字母和阿拉伯数字开头的条题名,它们分别按字母顺序和数的顺序排列。

4. 全书的“参见”体系有两类情况:一类是两个条目释文内容相同但有两种条题名,则在一个条题下有释文,对另一个条题则注明“参见×××”。例如,“静止图像的压缩编码标准”条题内注明了“参见**图像的压缩编码**”。另一类是在一个条目的释文中阐述的部分内容另有专条论述或与其有关,则以“参见”方式表示。若参见的条题名在释文中出现,则该条题名用黑体字排出;若条题名在释文中不出现,则加括号,并在括号里注明参见的条题名,同时用黑体字排出。

5. 释文内用魏碑字体排出的主题词(如**微程序**)是未被本书列为条目而在文中有定性叙述或较多阐释的知识主题。

6. 本书的检索系统有:条目汉语音序索引、条目外文索引和内容索引。

内容索引中包含了全部条题名和释文内的主题词。这些主题词用魏碑字体标示,有的层次标题又是主题词,则其字体不变。

7. 书末有3个附录。附录I为书中出现的部分英文科技名词的缩略语。附录II为计算机及相关学科科技期刊名录,包括中国期刊和外国期刊。附录III为计算机及相关学科学术团体名录。

8. 书中科学技术名词采用全国科学技术名词审定委员会公布的名称。尚未公布的则采用本专业中惯用的名称。

书中采用由国家技术监督局发布的《量和单位》中所规定的物理量及其单位。对一些非法定计量单位则依惯例全书统一,并给出与法定计量单位的换算关系。对计算机技术中常用的单位做到全书统一,如用 B 表示 byte, b 表示 bit, KB 表示 1 024 byte。

外国人名已有通用中文译名者,如牛顿、傅里叶,按译名写出;其余的在文中第一次出现时加括号写出原文。对专业性较强的条目,其中外国人名不予翻译。

计算机科学技术总论

本文包含基本概念、巨大作用、发展历程、基本内容、计算机产业,以及发展展望六部分。

基本概念

计算机科学技术是以计算机为研究对象的科学技术。

计算机是一种现代化的信息处理工具。信息是对数据所赋予的含义,数据是对象的表示,无含义。处理可理解为变换。可用之物为器具,作用鲜明且可导致可用结果的器具为工具。现代化可理解为反映现代科技水平。联系到计算机,可理解为 20 世纪 30 年代以前为近代,20 世纪 30 年代起为现代。计算机对信息进行处理,并提供处理结果。

科学是旨在观察现象、发现规律、探求真理的系统化知识。知识可理解为可信的一组事实与一组规则,有人将知识定义为一个三元组(事实集,规则集,置信度),其中置信度为含于 $[0,1]$ 区间中的某一实数,它反映相应事实集与规则集的可信程度。系统化则指内容可以构成系统。计算机科学是以计算机为研究对象的科学。

技术有两层含义。一为实体含义,意指科学之理论、原则、方法在某一领域中的应用。二为学科含义,意指以实体含义之技术为研究对象的学科。计算机技术是以计算机为研究对象的技术。

计算机科学技术是计算机科学与计算机技术的统称,它是研究计算机的设计、制造,以及利用计算机进行信息获取、表示、储存、处理、控制等的理论、原则、方法和技术(这里技术英文为 technique,科学技术中之技术为 technology,二者含义有别,前者反映个体,后者反映总体,汉语未加区别,其理解须视上下文而定)的一门学科。

为了深入理解计算机科学技术,除了上述之计算机、计算机科学、计算机技术外,尚须了解与之密切相关之“计算机工程”与“计算机产业”。

工程亦有两层含义。一为实体含义,二为学科含义。前者意指科学技术之理论、原则、方法、技术(techniques)在某一项目上的应用。后者则指以实体含义之工程为研究对象的学科。计算机工程则是以计算机为研究对象的工程。

产业是关于产品的设计、制造、生产、销售,以及售后服务的所有机构的总称。计算机产业是以计算机为产品的产业。

计算机、计算机科学技术、计算机工程、计算机产业之关系是:

计算机是计算机科学技术、计算机工程的研究对象,是计算机产业的产品。

计算机科学技术、计算机工程是计算机和计算机产业的发展源泉,计算机产业是计算机、计算机科学技术、计算机工程的发展依托。四者又同时限定和制约于社会发展、经济发展,以及相关学科的发展。

巨大作用

计算机是 20 世纪 40 年代人类的伟大创造。它对人类社会的进步与发展作用巨大,影响深远。

1. 开拓了人类认识自然、改造自然的新资源

人类最早认识和开发的是物质资源,把它转化成材料,制作出简单的工具,从事个体、家庭或小作坊的生产,这种生产方式导致生产率低下,以致社会经济发展缓慢,形成几千年的农业社会自给自足的自然经济。18 世纪以蒸汽机发明为标志的产业革命兴起,开启了能量资源的开发和利用,把它转化为动力,制造出各种自动的机器作为生产工具,有效延伸了人的体能,劳动生产率显著提高,使人类进入大规模生产的工业化时代,形成以商品生产与交换为标志的市场经济。工业化对人类创造了巨大的财富,促进了社会经济的繁荣与发展,改变了社会的结构,但同时也带来了非再生物质资源和能量资源的大量消耗与浪费。人类发现信息这一战略资源,还是近几十年的事。现代科学技术的进步,特别是计算机的出现,使人类从此有了自动化、信息化和一定智能化的强大工具,以开发利用信息资源,把它转化为知识产品,促使物质生产水平和社会劳动生产率空前提高,开创了信息时代的新纪元。以计算机为核心对信息资源的开发和利用,使物质资源和能量资源的效益得以更加充分、高效地发挥,人们能以合适的物质和能量创造出高质量产品,其增值来源于信息和知识。计算机与通信的融合,建立大量信息网络和大规模高速互联网,必将深刻影响人类的生产方式与生活方式,形成以信息和知识产品为特征的“信息经济”和“知识经济”。计算机的出现,使人们在物质和能量两大战略资源外,开发和利用了“信息”这一新的战略资源,开拓了人类认识自然、改造自然的新资源。

2. 增添了人类发展科学技术的新手段

长期以来,人类发展科学技术依靠两大传统手段,即理论与实验。这两种手段起过并继续起着基本作用。而计算机的出现,由于其自动、高速进行大量运算的能力和计算的精确性,致使过去科学家穷毕生精力无法办到的事,如今在短短几小时,甚至几分钟内即可变成现实,并能获得单纯依靠理论与实验难以得到的结果。从而,一方面,使传统物理学、化学、生物学等基础科学的研究进入了新的境界,出现了计算物理学、计算化学、计算生物学、计算力学等新兴学科;另一方面,在诸如电机工程、土木工程、建筑工程、化学工程、航空工程、材料工程等工程性学科的研究中,由于利用了计算机这一现代化信息处理工具以及计算机科学技术的研究成果,更新了研究手段,加速了它们的发展。同时,由于计算机科学技术与其他学科的融合,出现了人工智能、计算机图形学、虚拟现实等交叉性学科。此外,计算机用于自然资源开发、重大工程建设与环境保护等方面,正在起着越来越大的

作用。计算机已在航空航天、资源勘探、大范围中长期天气预报、材料、遗传工程、核能利用、尖端武器设计等众多领域,取得了重大经济效益和社会效益。随着计算机应用的不断拓广与深入,以及计算机科学技术的不断发展,必将出现更多新兴交叉性学科。计算机和计算机科学技术的出现,在理论与实验两大传统手段外,又增添了一种人类发展科学技术的新手段,即计算手段。

3. 提供了人类创造文化的新工具

文化是人的行为以及体现在思想、言语、行动、制作中的成果的总汇,是人类创造的社会精神财富和物质财富的总和。计算机用于辅助教育,丰富了教育手段与方法。计算机辅助教育以生动的画面和动画图形来描述数学、物理、化学、历史、地理与语文等学科内容,寓教育于娱乐,以形象补充文字,提高了学习者的积极性。计算机辅助教育通过学习者与计算机之间的交互活动,使学习者能自主探索,按需学习,从而培养了学习者的创造思维 and 学习的主动性,收到传统教育方法难以收到的效果。以计算机为核心的电子照排系统,从文稿起草、编辑、版面编排,到制版印刷,连续完成一系列工序流程,大大提高了文化传播的能力与水平。随着电子印刷的推广,大量图文资料进入计算机硬盘、光盘等存储媒体,自然地引发了电子图书和数字图书馆的出现,几十卷的巨著存入光盘,既便于携带、查阅,又大幅度降低了出版成本。多媒体技术和超文本结构的引入,更将使电子图书、电子报章成为文化传播的手段。计算机进入美术、影视等领域已成现实。用计算机创作的编织、刺绣、服装、地毯、壁纸、工业造型与动画等已进入市场。在计算机上直接完成乐谱制作,用计算机设计舞蹈表演和人体动作等,已引起音乐家、舞蹈家和体操教练等的重视。机器翻译与语言文字识别等技术的进展,将在国际合作和科技文化交流等方面发挥重大作用。在各类学校中,计算机都列为必修课程。社会上各行各业的工作人员由于学会使用计算机,其工作成果的数量、质量与工作效率均大大提高。从而,计算机及其使用已成为人类必需的文化内容,计算机已成为与语文和数学同等重要的基础知识。计算机的出现,为人类创造文化提供了新的现代化工具。它改变了人们创造文化的活动方式、方法和性质;拓宽了文化活动的领域;丰富了文化的内容;提高了质量;革新了传播手段;改善了学习条件;增强了传播能力,使之达到前所未有的水平。

4. 引起了人类的工作方式与生活方式的变化

计算机进入办公室、家庭和个人之手,使人类的工作方式与生活方式经历着巨大变化。社会与经济的发展使各类社会组织如政府机关、企业事业部门、金融商业机构、社会团体等的业务信息急剧增长,决策处理科学化和时效性要求大大提高,传统的工作方式与方法已难以保证质量要求和决策水平。计算机技术、通信技术与各种办公设备相结合,使人类的工作方式与方法产生了巨大变革。人们用计算机进行文字处理;用电子报表、图形、图像、声音等多种媒体来表示工作中复杂、生动的实际情况;用电子邮件保证部门间信息传递的及时、方便与可靠;电子会议改进了会议方式,减少了会务工作,提高了会议效率。计算机、通信网络与各种计算机信息系统相结合,大大增强了人们掌握工作全局情况和综合分析判断的能力,有效地提高了决策、经营和管理水平。计算机进入家庭给家庭生

活带来巨大变化。人们借助计算机管理家庭日常事务;对家用设备如照明、煤气、空调、电源,以及门户、烟火安全等进行监控;计算机及其网络技术应用于商务活动,实现电子商务;应用于政务活动,实现电子政务;应用于医疗业务,实现远程医疗;应用于教育培训,实现远程教学;计算机与电视、电话相结合,可获得电视游戏、电视点播等服务;通过计算机网络,实现在家办公。笔记本计算机与智能手机的发展更使计算机成为易于携带的便携式计算工具,并通过通信网络为实现不拘地域、空间均能开展工作提供了条件。总之,计算机、计算机网络等给人类的工作方式与生活方式带来深刻变化,并由此步入信息化社会。

发展历程

1. 国际

(1) **电子计算机的诞生** 用于计算的机器可追溯到 17 世纪,那时欧洲的一些数学家就设计制造出纯机械式的数字运算机器。著名的有 1642 年法国数学家 B. Pascal 制成的十进制加法器,1673 年德国数学家 C. N. Leibniz 研制的进行十进制数乘、除运算的计算器。在此基础上英国数学家 C. Babbage 于 1822 年研制成可以运转的差分机模型,1834 年他又设计了一种程序控制的通用分析机,但限于当时的技术条件,未能实现。在 Babbage 分析机之后的几十年中,数字式计算机的研究出现了停滞,但有一批物理学家用物理方法探求计算工具的新途径,兴起了模拟计算机的研制。模拟计算机借助连续物理量运算解算问题,用物理过程来模拟数学方程的解算过程。直到 20 世纪 30 年代模拟计算机仍受重视,但其专用性、低精度、可靠性与稳定性较差等弱点限制了它的推广。另有一类计算机曾在电子计算机出现之前起过重要作用,即 19 世纪末叶由统计工作者 H. Hollerith 等人创造的高级分类统计机。它以机电相结合的结构,采用穿孔卡片作为数据载体,完成分类、统计、制表等一系列计算操作过程。这类机器在 20 世纪 40 年代后逐渐被淘汰。最早采用电气元件研制计算机的是德国工程师 K. Zuse,他于 1941 年完成全继电器式通用计算机 Z-3。其他著名的继电器式计算机尚有由 H. Aiken 于 1944 年完成的 MARK-I 及 1947 年完成的 MARK-II。科学技术的进步,特别是电子学的迅速发展和第二次世界大战对先进计算工具的迫切需求,为现代电子计算机的诞生奠定了社会与技术基础。首先采用电子技术实现的数字计算机为 1946 年 2 月美国宾夕法尼亚大学莫尔学院制成的 ENIAC(Electronic Numerical Integrator and Calculator),它含有 18000 个真空管,运算速度达到当时继电器式计算机的 1000 倍,但它没有采用二进制操作和存储程序控制,未具备现代电子计算机的主要特征。1945 年 3 月,J. von Neumann 领导的小组发表了二进制的程序储存式的电子离散变量自动计算机 EDVAC(Electronic Discrete Variable Automatic Computer)方案,1945 年 7 月,J. von Neumann 等人又提出更为完善的设计报告,宣告了现代计算机结构思想的诞生。但由于种种原因,直到 1951 年 EDVAC 才告完成。而英国剑桥大学的 M. V. Wilkes 在 EDVAC 方案的启发下于 1949 年制成的 EDSAC(Electronic Delay Storage Automatic Calculator)成为世界上第一台程序储存式的现代电子计算机。

(2) **器件更新作为计算机划代的标志** 计算机硬件的发展受到电子开关器件的极大影响。为此,器件更新被作为计算机技术进步划代的标志。第一代为电子管计算机(从20世纪40年代中期到50年代末期)。除了前述的ENIAC和EDSAC外,最具代表性的计算机尚有1951年的UNIVAC-I和1956年的IBM 704等。1951年由J. P. Eckert和J. Mauchly主持设计的UNIVAC-II是美国批量生产的第一台电子管商用计算机。为军事需要而研制的大型计算机则有1954年的NORC等。电子管计算机体积大、功耗大、故障率高,运算速度只在每秒一两万次左右。第二代为晶体管计算机(从20世纪50年代中后期到60年代中期),其主要特征是采用晶体管作为开关元件。和第一代的电子管计算机相比,第二代晶体管计算机具有体积小、可靠性高、功耗低、运算速度快(可达每秒执行百万条指令)等优点。最初出现的晶体管计算机为1956年美国军用的Leprechan,而美国麻省理工学院于1957年完成的TX-2对晶体管计算机的发展起了重要作用。这一代计算机的产品主要有IBM 7040、IBM 7070、IBM 7090等。小型计算机则有IBM 1401。主要的大型计算机有UNIVAC-LARC、IBM Stretch以及CDC 6600等。第三代计算机(从20世纪60年代中后期到70年代初中期)以小、中规模集成电路作为基础器件,这是微电子与计算机技术相结合的一大突破,致使可以廉价构成运算速度快、容量大、可靠性高、体积小、功耗小的各类计算机,其中有代表性的是IBM 360系列与PDP-11。第四代计算机(20世纪70年代中后期以来)的主要特征是普遍采用大规模与超大规模集成电路(LSI与VLSI)技术,从而导致计算机硬件价格急剧下降,机器的性能价格比迅速提高。

(3) **计算机应用方式的发展** 在计算机出现初期,所处理的大都是科学计算和工程计算问题,计算量大而数据量相对较少,主要采用批量处理方式。20世纪50年代后期,企业应用逐渐开展,数据处理问题日益增多,这类问题的数据量大,输入输出频繁,计算量相对较小,致使运算部件经常处于空闲状态。为使价格昂贵的计算机资源得以充分利用,以提高计算机系统的实际使用功效,出现了分时处理方式与交互作用方式。70年代微处理器的出现与80年代微型计算机(又称个人计算机PC)的大发展,使计算机得以进入各行各业、家庭和个人之手,大大加速了计算机的普及应用,出现了所谓个人计算方式。90年代以来,计算机网络蓬勃发展,大量计算机联入不同规模的网中,大大扩展和加速了信息的流通,增强了社会的协调与合作能力,使计算机的应用方式向分布式和网络式发展。

(4) **计算机产品的发展** 计算机发展初期,主要针对具体应用需求研制机器,因此,型号多而产量少。有一定批量的工业生产始于20世纪50年代前期。随着应用和计算机工业的发展,人们注意到计算机产品继承性的重要性。50年代后期出现了具有一定兼容关系的计算机系族,IBM 700、IBM 7000系族为其代表。在这一时期还因为工业、商业、金融业等对数据处理应用的需求,促使小型计算机如IBM 1401及PDP-8等的发展。1964年4月IBM公司发布IBM 360系列,对计算机的普及和大规模工业生产产生了重大影响。IBM 360以统一的体系结构、操作系统、输入输出接口,以及科学计算、数据处理、实时控制等广阔的应用方面,达到大、中、小型计算机之间的兼容,实现了系统的通用化、系列化与标准化,成为计算机发展中的重要策略。CDC、UNIVAC、Burrough等公司也都相继推出了系列化产品。系列机大量节约了后继机种的开发成本,缩短了开发周期。尤为重要的是,保护了用户的软件资源积累。20世纪70年代初,Intel 4004芯片研制成功,为80年代