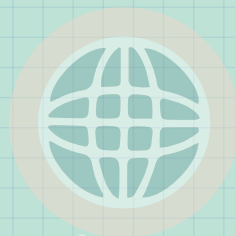
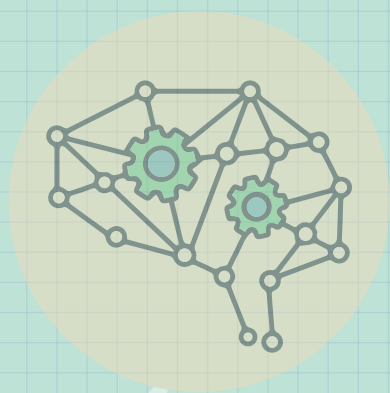


计算机基础教育系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

信息技术与人工智能概论

主编◎蔡 虔 吴华荣 王华金

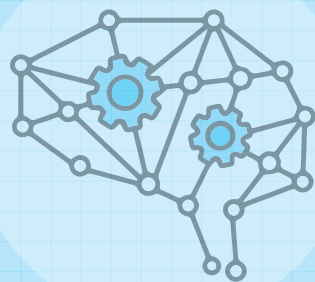


航空工业出版社

计算机基础教育系列教材
“互联网+”新形态一体化教材

信息技术与人工智能概论

主编◎蔡 虔 吴华荣 王华金



航空工业出版社
北京

内 容 提 要

本书遵循信息素养的形成规律,依据高等院校相关课程培养目标,设计总体框架,编写具体内容,在总结信息技术理论的基础上,梳理人工智能的基本概念,将计算机基础知识、新一代信息技术、人工智能的发展历史、智能算法的应用思路及数字经济的内涵成果展现于人前,使读者既能了解现代社会信息技术的现状与趋势,又能初步认识人工智能对当前智能时代的作用和意义。本书可以作为高等院校非计算机专业学生的计算机通识课程教材,也可作为各类型学校学生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

信息技术与人工智能概论 / 蔡虔, 吴华荣, 王华金

主编. — 北京: 航空工业出版社, 2023.9

ISBN 978-7-5165-3461-8

I. ①信… II. ①蔡… ②吴… ③王… III. ①信息技术—高等学校—教材 ②人工智能—高等学校—教材 IV. ①TP3 ②TP18

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 154732 号

信息技术与人工智能概论 Xinxi Jishu yu Rengong Zhineng Gailun

航空工业出版社出版发行

(北京市朝阳区京顺路 5 号曙光大厦 C 座四层 100028)

发行部电话: 010-85672663 010-85672683

北京荣玉印刷有限公司印刷

2023 年 9 月第 1 版

开本: 889 毫米 × 1194 毫米 1/16

印张: 13.5

全国各地新华书店经售

2023 年 9 月第 1 次印刷

字数: 361 千字

定价: 48.00 元



本书落实立德树人的根本任务，深入贯彻党的二十大精神，落实教育部《关于进一步加强高等学校计算机基础教学的意见暨计算机基础课程教学基本要求（试行）》及《高等学校人工智能创新行动计划》的通知要求，针对各高等院校在本科教学阶段将人工智能教育融入大学基础教育中的迫切需要，在总结多年计算机通识课程教学情况的基础上，整合计算机基础知识、人工智能、数字经济等内容，并结合当前高校的实际情况编写而成。

本书介绍信息技术理论和人工智能的基本概念，将计算机基础知识、新一代信息技术、人工智能的发展历史、智能算法的应用思路和数字经济的内涵及成果展现给读者。读者既能从中了解到现代社会信息技术的发展现状与未来趋势，又能对人工智能技术于当前时代的作用和意义有初步认识。

通过对本书的学习，读者可以夯实信息技术的基本理论，了解我国新兴产业的发展目标和新一代信息技术的前沿技术，理解人工智能的基本概念和研究内容，掌握相关领域的典型算法，并对人工智能的应用、数字经济的内涵和发展方向有进一步的认知。同时，本书可提高读者的计算思维能力、适应智能时代快速发展的应变能力和不断学习的能力，为后续专业课程与人工智能的交叉融合打下坚实的基础，满足智能时代对复合型人才的培养要求。

本书为江西理工大学教材建设项目。全书由蔡虔主持编写及统稿，共5章。其中，第1章、第2章由蔡虔编写，第3章由吴华荣编写，第4章由杜翔编写，第5章由王华金编写。杨书新为全书的编写提出了很多建设性意见，许春冬对全书的内容进行了最后审校。本书在编写时遵循通俗易懂、循序渐进的原则，既突出应用，又兼顾知识的系统性。每章后面都设置了习题，旨在帮助学生巩固知识、培养应用知识的能力。此外，本书还配有教学课件、课后习题答案等配套资源，有需要者可致电13810412048或发邮件至2393867076@qq.com领取。

由于本书涉及的知识面较广，加之人工智能技术发展迅速，要将众多的理论有效地贯穿于本书，难度较大，若存在不足之处，也为便于以后教材的修订，恳请专家、教师及读者提出宝贵意见。

编 者

2023年4月



第1章 信息技术基础 / 1

1.1 计算机的产生与发展	2	1.5.2 不同进制间的转换	27
1.2 计算机的分类及应用	6	1.5.3 数值在计算机中的表示	31
1.2.1 计算机的分类	6	1.5.4 字符在计算机中的表示	34
1.2.2 计算机的应用	8	1.6 计算机网络	37
1.3 计算机的发展趋势	9	1.6.1 计算机网络的类型	37
1.3.1 计算机的发展方向	9	1.6.2 计算机网络的拓扑结构	38
1.3.2 新一代计算机	10	1.6.3 常用网络设备和传输介质	40
1.4 计算机系统概述	12	1.6.4 互联网基础	45
1.4.1 计算机硬件	13	1.6.5 互联网的主要功能	45
1.4.2 计算机软件	20	1.6.6 互联网的物理结构与工作模式	46
1.4.3 计算机的主要性能指标	23	1.6.7 IP 地址与域名	47
1.4.4 计算机的工作原理	24	1.7 信息技术	53
1.5 计算机中数据的表示	26	1.7.1 数据和信息	53
1.5.1 进位计数制	26	1.7.2 信息技术的内容	54



第2章 新一代信息技术 / 59

2.1 人工智能	60	2.3 云计算	66
2.1.1 人工智能的主要技术	60	2.3.1 云计算的发展历史	66
2.1.2 人工智能的特点	61	2.3.2 云计算的服务类型	67
2.1.3 人工智能的影响	61	2.3.3 云计算的核心技术	68
2.2 大数据	62	2.3.4 云计算的优势与应用	69
2.2.1 大数据主要分析技术	63	2.4 移动互联网	70
2.2.2 大数据的特点	63	2.4.1 移动互联网的主要技术	71
2.2.3 大数据的未来趋势	64	2.4.2 移动互联网的特点	72

2.4.3 移动互联的意义	73	2.6 区块链	76
2.5 物联网	74	2.6.1 区块链技术的发展历史	77
2.5.1 物联网的主要技术	75	2.6.2 区块链与新一代信息技术	80
2.5.2 物联网的主要特点	76	2.6.3 区块链典型应用及展望	82
2.5.3 物联网的发展前景	76		



第3章 人工智能概述 / 89

3.1 人工智能的概念	90	3.3 人工智能的相关研究	99
3.1.1 什么是智能?	90	3.3.1 人工智能的研究目标	99
3.1.2 人工智能的定义	91	3.3.2 人工智能的研究领域	100
3.1.3 人工智能的要素	91	3.3.3 人工智能的学派	102
3.2 人工智能发展简史	93	3.4 人工智能的核心技术	104
3.2.1 孕育期(1956年以前)	93	3.4.1 机器学习	104
3.2.2 形成期(1956—1970年)	94	3.4.2 神经网络	108
3.2.3 反思发展期(1971年—20世纪 80年代中期)	95	3.4.3 深度学习	111
3.2.4 应用发展期(20世纪80年代中期— 20世纪90年代中期)	95	3.4.4 卷积神经网络	112
3.2.5 平稳发展期(20世纪90年代中期— 2010年)	96	3.5 人工智能的未来	115
3.2.6 蓬勃发展期(大数据驱动)(2011年 至今)	97	3.5.1 人工智能的发展趋势	115
		3.5.2 安全、隐私与伦理问题	117



第4章 人工智能算法应用 / 125

4.1 《三国演义》词频分析	126	4.3.2 遗传算法介绍	135
4.2 鸢尾花分类问题	129	4.3.3 遗传算法求解 TSP 问题	136
4.2.1 鸢尾花分类问题描述	129	4.3.4 基于 Python 的具体实现	137
4.2.2 K-近邻算法介绍	130	4.4 糖尿病疾病进展预测问题	142
4.2.3 K-近邻算法求解鸢尾花分类问题	132	4.4.1 糖尿病疾病进展预测问题描述	142
4.2.4 基于 Python 的具体实现	133	4.4.2 线性回归算法介绍	143
4.3 旅行商问题	134	4.4.3 线性回归预测一年后糖尿病疾病进展	145
4.3.1 旅行商问题描述	134	4.4.4 基于 Python 的具体实现	145

4.5 手写数字识别问题	148	4.5.3 卷积神经网络实现手写数字识别	154
4.5.1 手写数字识别问题	148	4.5.4 基于 Python 的具体实现	155
4.5.2 卷积神经网络介绍	149		



第 5 章 数字经济 / 161

5.1 数字经济的概念与内涵	162	5.6 中国数字经济发展现状与趋势	183
5.2 数字经济的发展历程	164	5.6.1 中国数字经济发展现状	183
5.3 数字经济的特征	166	5.6.2 中国数字经济发展存在的问题及推动 部署	186
5.4 数字经济的数字基础设施	168	5.6.3 中国数字经济发展的未来趋势	188
5.4.1 5G	169	5.7 数字经济时代的政府治理	191
5.4.2 Wi-Fi 6	172	5.7.1 政府数字化转型的背景	191
5.4.3 工业互联网	174	5.7.2 数字技术重塑政府治理	193
5.4.4 数据中心	178	5.7.3 我国数字政府建设进程	195
5.5 数字经济的核心技术	182	5.7.4 数字经济时代的智慧政务	197



参考文献 / 204

第 1 章

信息技术基础

学习目标

知识目标	(1) 了解计算机的发展、特点、分类、性能和应用领域，以及微型计算机系统的基本组成 (2) 熟悉计算机硬件系统的构成和各部件的功能、计算机软件系统的分类和软件层次关系 (3) 熟悉计算机的算术运算和逻辑运算，以及计算机中常用的数制和数据的基本单位 (4) 掌握计算机的基本操作及常用应用软件的使用 (5) 理解计算机网络及互联网的基本概念和其他基础知识
能力目标	(1) 能够使用信息工具获取、吸收、处理本专业领域的相关信息 (2) 具有使用应用软件组织、利用、规划信息资源解决本专业领域相关问题的能力
素质目标	(1) 培养使用工具自主探索本专业知识的学习意识 (2) 增强团队精神，提高利用互联网相互协作解决问题的能力 (3) 树立自觉遵循信息社会道德规范的意识，并自觉承担相应的社会责任

本章导读

计算机是一种能自动、高速完成信息处理与科学计算的电子设备，是 20 世纪最先进的科学技术发明之一。从人类最初的口耳相传、结绳记事到如今无处不在的信息终端，计算机对人类的生产和社会活动产生了极其重要的影响，并以强大的生命力飞速发展。从各类高速巨型机到微型计算机，再到现在无处不见的可穿戴式电子设备，计算机的功能和形态发生了巨大变化。例如，智能手机、平板电脑都是微型计算机，其功能作用也从最初的军事科研应用扩展到社会生活的各个领域，已形成规模巨大的信息产业，带动了全球范围的技术进步，由此引发了深刻的社会变革。

当前，计算机已遍及学校、企事业单位，进入寻常百姓家，成为信息社会中必不可少的工具。随着计算机技术及通信技术的快速发展，互联网的应用变得多种多样，并深入工作生活的各个角落。网络技术与应用互相促进，飞速发展。计算机网络成为信息化社会经济的核心支撑，决定着国家、企业在未来的核心竞争力，也决定着个人潜能的发掘与人才培养的战略方向。

改革开放以后，我国计算机用户的数量不断攀升，应用水平不断提高，特别是移动互联网、通信、多媒体等领域的应用取得了不错的成绩。截至 2022 年 12 月，我国网民规模达 10.67 亿，互联网普及率达 75.6%，位列全球第一（数据来源于《数字中国发展报告（2022 年）》）。

1.1 计算机的产生与发展

1. 计算机的产生

可以说，从人类诞生于这个世界开始，人类的发展史便是一部不断与数值计算打交道的历史。从最古老的“结绳记事”到今天将人类带入信息时代的电子计算，人类发展的脚步在飞速向前。

提到“三下五除二”“二一添作五”，我们很容易联想到耳熟能详的计算工具——算盘。算盘凝聚了我国古代劳动人民的智慧，是全世界公认的最早使用的计算工具之一，曾先后流传到世界各国。它采用了最早的体系化算法——十进制数，并有与之相适应的计算口诀，可谓当代计算机软件的雏形。

拓展阅读

中国珠算列入人类非物质文化遗产名录

算盘是我国东汉时期被称为“算圣”的天文学家和数学家刘洪发明的一种简便计算工具，如图 1-1 所示。珠算是以算法为基础，运用口诀通过手指拨动算珠进行加、减、乘、除和开方等数学运算的计算技术。珠算始于汉代，至宋走向成熟，元明达于兴盛，清代以来在全国范围内普遍流传。明代以后，中国珠算传到日本、朝鲜、东南亚各国，后又逐渐流行于美洲，对这些地区的经济、文化和科学技术的发展起到了推动作用。

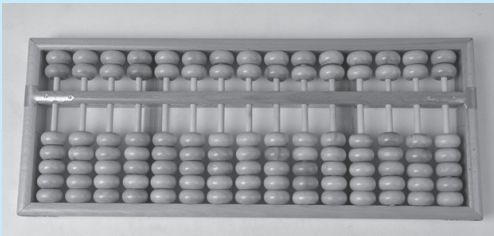


图 1-1 算盘

2013 年 12 月，联合国教科文组织将中国珠算列入人类非物质文化遗产代表作名录，称其“为世界提供了另一种知识体系”。算盘，不仅仅是计算的工具，更是一种文化和精神，珠算中蕴藏的朴素的计算方法和思维，作为人类文明的瑰宝而被列入人类非物质文化遗产目录，获得了世界的肯定和赞誉。读者可通过网络查询算盘的用法，进一步体会算盘作为计算工具所蕴含的计算机思维。

外国的计算工具也历经了很长的发展历程。19 世纪初，英国数学家查尔斯·巴贝奇（Charles Babbage, 1792—1871）率先在计算工具结构上采用了三个具有现代化意义的装置：存储装置、运算装置和控制装置。由于技术落后，这部以齿轮为元件、以蒸汽为动力的差分机虽未能制成，但其超越时代的先进设计思想仍带给后人很大的启示。1944 年，美国哈佛大学应用数学教授霍华德·艾肯（Howard Aiken）以机电的方法代替纯机械的方法，使用继电器成功研制出机电式计算机 Mark-I，将巴贝奇的远见卓识变成现实，使得制作现实意义上的高速计算机成为可能。

19 世纪 50 年代，英国数学家乔治·布尔（George Boole, 1815—1864）创立了逻辑代数，奠

定了计算机的数学理论基础；1936年英国科学家图灵（Turing，1912—1954）首次提出逻辑机的模型——“图灵机”，并建立了算法理论。两位科学巨匠的研究为计算机的诞生提供了重要的理论依据。第二次世界大战时期，由于军事的需要，在1946年2月15日，世界上第一台计算机——电子数字积分式计算机（electronic numerical integrator and computer）诞生了，名叫ENIAC（埃尼阿克）。如图1-2所示。

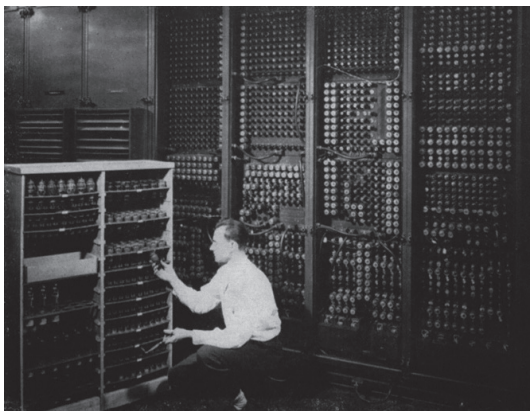


图1-2 ENIAC（埃尼阿克）

ENIAC 是一台真正可以自动运行的计算机，它的诞生标志着计算机时代的到来。这台计算机内部主要采用电子器件代替早期的机械齿轮或电动机械来实现算术运算、逻辑运算和信息存储等功能，共使用了18 000多个电子管，5 000多个继电器，占地约170平方米，重达30吨，功耗达到150千瓦每小时。当时它的身价达到了40万美元，每秒可以进行5 000次加法运算，比当时最快的继电器式计算机快了1 000多倍。虽然它的运算速度还比不上今天最普通的一台微型计算机，但在当时它已是运算速度的绝对冠军，并且其运算的精确度和准确度也是史无前例的。以圆周率（ π ）的计算为例，中国古代科学家祖冲之利用算筹，耗费15年心血，才把圆周率计算到小数点后7位数。一千多年后，英国人香克斯以毕生精力计算圆周率，才计算到小数点后707位。而使用ENIAC进行计算，仅用了40秒就达到了这个纪录。而且它对科学研究方面做出了巨大贡献，可以将需要20多个小时才能完成的弹道计算缩短到30秒，使科学家从机械般的枯燥计算中解放出来，投入设计更好算法的工作中去。

ENIAC 奠定了电子计算机的发展基础，在计算机发展史上具有划时代的意义，它的问世标志着电子计算机时代的到来。美籍匈牙利科学家冯·诺依曼（John von Neumann，1903—1957，见图1-3）在他的学术报告《电子计算机结构的基本框架初探》中首次提出了通用存储程序的通用计算机方案，奠定了计算机结构的基本框架。冯·诺依曼就电子计算机应该以二进制为运算基础、电子计算机应采用“存储程序”方式工作两方面提出了重大的改进理论，并进一步明确指出整个计算机的结构应由五个部分组成——运算器、控制器、存储器、输入装置和输出装置。冯·诺依曼提出的这些理论对后来计算机的发展起到了决定性的作用。以“存储程序”概念为基础的各类计算机统称为冯·诺依曼机。这些理论对人类计算机具有划时代的意义，很多年来，虽然计算机系统在性能指标、运算速度、工作方式、应用领域等方面都发生了很大变化，但基本结构没有改变，都属于冯·诺依曼计算机。



图1-3 冯·诺依曼

在 ENIAC 之后，计算机以惊人的速度发展。首先是晶体管取代了电子管；继而是微电子技术的发展，使得计算机处理器和存储器上的元件越做越小，数量越来越多，计算机的运算速度和存储容量迅速增加。1994 年 12 月，美国 Intel 公司宣布成功研制出世界上最快的超级计算机，它每秒可进行 3 280 亿次加法运算（是第一台电子计算机的 6 600 万倍）。如果让人完成它一秒钟进行的运算量，需要一个人昼夜不停地计算一万多年。2017 年 6 月 19 日全球超级计算机 500 强榜单出炉，中国“神威·太湖之光”夺得冠军，其峰值性能为 12.5 亿亿次 / 秒，持续性能为 9.3 亿亿次 / 秒，刷新全球最快的计算机纪录。2022 年 10 月 9 日，“天河”新一代超级计算机系统双精度浮点峰值计算性能达 200 pFLOPS（每秒浮点操作数），相当于每秒进行 20 亿亿次计算。

2. 计算机的发展历程

世界上第一台电子计算机采用电子管作为基本电子元件，在以后的 40 多年里，计算机技术取得了异常迅速的发展。根据计算机所采用的物理器件的不同，计算机的发展历程可分为四个阶段，各阶段的主要特点如表 1-1 所示，下面介绍各阶段计算机的发展情况。

表 1-1 计算机的发展历程

发展阶段	计算机名	时间段	特 点
第一代	电子管计算机	1946—1958 年	体积大、耗电大、可靠性差、价格昂贵、维修复杂、速度慢、存储量小
第二代	晶体管计算机	1958—1964 年	计算机的体积大大缩小，耗电减少，可靠性提高，性能比起第一代计算机有很大的提高
第三代	中小规模集成电路计算机	1965—1970 年	计算机变得更小，功耗更低，速度更快
第四代	大、超大规模集成电路计算机	1971 年至今	计算机的逻辑元件为大规模或超大规模集成电路，主存储器为半导体存储器，性价比更高，体积更小

（1）第一代：电子管计算机（1946—1958 年）。第一代计算机的一个明显特征是操作指令是为特定任务而编制的，不同机器有各自不同的机器语言，功能受到限制，速度慢；另一个明显特征是使用真空电子管和磁鼓存储数据。电子管计算机在结构上以中央处理器（central processing unit，CPU）为中心，逻辑元件使用电子管，主存储器使用水银延迟线、磁鼓、磁芯，外存储器使用磁带，软件主要使用机器语言、汇编语言，主要用于数值计算。其特点是体积大、耗电大、可靠性差、价格昂贵、维修复杂、速度慢、存储量小，但它是以后计算机技术发展的基础。

（2）第二代：晶体管计算机（1958—1964 年）。晶体管的发明大大促进了计算机的发展，晶体管代替了体积庞大的电子管，电子设备的体积不断减小。1958 年，晶体管在计算机中使用，晶体管和磁芯存储器促成了第二代计算机的产生。晶体管计算机在结构上以存储器为中心。其逻辑元件采用了晶体管后，计算机的体积大大缩小，耗电减少，可靠性提高，性能比起第一代计算机有很大的提升。其主存储器采用磁芯，外存储器已开始使用更先进的磁盘，同时在软件方面也有了很大发展，不仅出现了各种各样的高级语言及其编译程序，还出现了以批处理为主的操作系统，应用方面以科学计算和各种事务处理为主，并开始用于工业控制。第二代计算机除用晶体管代替电子管外，还有了现代计算机

的一些部件,如打印机、磁带、磁盘、内存、操作系统等。计算机中存储的程序使得计算机有很好的适应性,可以更有效地用于商业用途。这一时期出现了更高级的 COBOL (common business-oriented language) 和 FORTRAN (formula translator) 等语言,以单词、语句和数学公式代替了二进制机器码,使计算机编程更容易。新的职业(如程序员、分析员和计算机系统专家)与整个软件产业由此诞生。

(3) 第三代:中小规模集成电路计算机(1965—1970年)。虽然晶体管比起电子管是一个明显的进步,但晶体管产生大量的热量,这会损害计算机内部的精细部分。1958年科学家发明了集成电路(integrated circuit, IC),即将三种电子元件集成到一片小小的硅片上。随后科学家使更多的元件集成到单一的半导体芯片上,计算机变得更小,功耗更低,速度更快。这一时期计算机的发展还包括应用操作系统使得计算机在中心程序的控制协调下可以同时运行许多不同的程序。1965年美国 IBM 公司推出的 IBM360 系列计算机标志着计算机发展进入中小规模集成电路计算机时代。中小规模集成电路计算机在结构上仍以存储器为中心,逻辑元件改进为集成电路,主存储器仍以磁心存储器为主,软件中的操作系统进一步发展且又出现了多种高级程序设计语言,比如 BASIC 等语言。其主要应用领域为科学计算、数据处理及过程控制等。

(4) 第四代:大、超大规模集成电路计算机(1971年至今)。随着科学的不断发展,中小规模集成电路计算机已远远不能满足科学计算等各方面的需求,这时大规模甚至超大规模集成电路计算机的出现使各种复杂应用得以发展。这类计算机的逻辑元件为大规模或超大规模集成电路,主存储器为半导体存储器,软件方面有了分布式操作系统、数据库系统及软件工程标准化等,其应用领域遍及人类社会活动的各个方面,几乎达到无孔不入的程度。

计算机发展进入大规模集成电路的时代,大规模集成电路(large scale integrated circuit, LSI)可以在一个芯片上容纳几百个元件。到了20世纪80年代,甚大规模集成电路(very large scale integrated circuit, VLSI)在芯片上可容纳几十万个元件,后来的超大规模集成电路(ultra large scale integrated circuit, ULSI)将数字扩充到百万级。可以在硬币大小的芯片上容纳如此数量的元件使得计算机的体积和价格不断下降,而功能和可靠性不断增强。随着科学技术的不断发展,科学家已经能在几平方毫米的半导体芯片上集成10万个以上电子元件,而且用集成度很高的半导体存储器替换了磁芯存储器,使计算机的体积更小、功耗更低,运算速度、可靠性、性能价格比等又大幅度提高。计算机的运算速度达到每秒几百万次至几千万次,甚至亿次、几十亿次,同时出现了以微处理器为核心的价格低廉的微型计算机(微机)。微型计算机的出现到在全球范围内普及只用了约20年时间,20世纪90年代全球进入了以计算机网络为中心的新时代。

虽然第四代计算机是我们日常使用的主流,但为了提升计算机各方面的性能,从20世纪80年代开始,美国、德国、日本等国家便投入了大量的人力、物力研制新一代的计算机,即第五代计算机。第五代计算机的目标是突破冯·诺依曼理论体系,使计算机像人一样具有听、看、读、说和思考的能力。第五代计算机具有知识储存和知识管理功能,能利用已有的知识对问题进行推理、判断、联想和学习。它涉及很多领域,如微电子学、计算机体系结构、高级信息处理、软件工程、知识工程与知识库、人工智能与人机界面(能理解自然语言,可进行声、光像的交互处理)等。

3. 我国的电子计算机发展历程

我国于1956年开始发展计算机事业,经过60多年的发展,我国计算机事业在很多方面已经走在了世界最前沿。

我国从1957年开始研制通用数字电子计算机,1958年8月1日我国第一台电子计算机诞生。

1964 年我国第一台自行设计的大型通用数字电子管计算机研制成功，平均浮点运算速度为每秒 5 万次，参加研制的科研人员约有 250 人，十几个单位参与协作。到 1970 年初期我国陆续推出大、中、小型采用集成电路的第三代计算机。1974 年，清华大学等单位联合设计、研制出采用集成电路的 DJS-130 小型计算机，运算速度达每秒 100 万次。进入 80 年代，高速计算机，特别是向量计算机又有新的发展。1983 年国防科技大学研发的银河 I 巨型机以每秒 1 亿次的计算速度成为我国高速计算机研制的一个里程碑。1995 年，曙光公司推出了国内第一台具有大规模并行处理机（MPP）结构的并行机曙光 1000（含 36 个处理机），峰值浮点运算速度为每秒 25 亿次，实际运算速度达到每秒 10 亿次。2003 年，百万亿次数据处理超级服务器曙光 4000L 通过国家验收，再一次刷新国产超级服务器的历史纪录，使得国产高性能产业再上新台阶。2017 年，中国超级计算机“神威·太湖之光”和“天河二号”连续第四次分列世界超级计算机冠亚军。在 2022 年 11 月 14 日公布的全球超级计算机 500 强榜单中，中国共有 162 台计算机入围，数量稳居世界第一，充分体现了我国的科技实力。

1.2 计算机的分类及应用

1.2.1 计算机的分类

计算机的发展十分迅速，其种类繁多，我们可以利用不同的方法对其进行分类，以加深对计算机的理解。传统计算机可以从用途、规模或工作原理等方面进行分类，如图 1-4 所示。

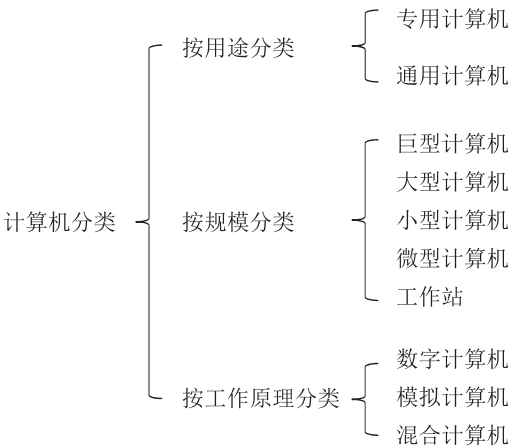


图 1-4 计算机分类

1. 按用途分类

（1）专用计算机。专用计算机是为解决某一类问题而设计的计算机。它的硬件和软件配置是依据解决特定问题的需要而设计的。专用计算机功能单一，配有解决特定问题的程序，可以高速、可靠地解决特定问题，但只能作为专用。这类计算机虽然使用面窄，但是具有高速度、高效率、高精密度等优点，可以解决一个或者一类问题，适应某种特殊的需求，一般用在过程控制当中。例如，导弹弹道计算、飞机的自动驾驶仪、坦克上的火控系统所使用的计算机就是专用计算机。

（2）通用计算机。通用计算机是为解决各类事情、各种问题而设计的计算机，应用广泛，适应性

强。它具有较高的运算速度、较大的存储容量、配备较齐全的外部设备及软件。通用计算机一般用于科学运算、学术研究、工程设计和数据处理等方面的精密计算，平常我们见到的计算机大部分都是通用计算机。

2. 按规模分类

按规模分类是一种非常常规的分类方法。计算机可根据体积、功耗、性能、数据存储能力、指令系统规模、价格、软件配置、字长、运算速度、储存容量、外部设备、输入输出能力等方面的综合性能指标进行分类。按这种分类方法可以将计算机分为巨型计算机、大型计算机、小型计算机、微型计算机、工作站等几种。这种分类标准不是固定不变的，它会随着时间的变化而产生一定的变化。例如现在的大型计算机，过了若干年后可能成了小型计算机。

(1) 巨型计算机。巨型计算机 (supercomputer) 也称为高性能计算机或超级计算机，是目前功能最强、运算速度最快、价格最贵的计算机，号称国家级资源，同时也是一个国家的计算机水平、综合国力和国防实力的重要标准，它的研制水平标志着一个国家科学技术和工业发展的程度，体现着国家的经济实力。

(2) 大型计算机。大型计算机 (mainframe) 具有很高的运算速度和很大的存储容量，可允许众多用户同时使用，但其在量级上不及巨型计算机，价格也相对便宜。这类计算机通常用于大型企业商业管理或大型数据库管理系统中，也可作为大型计算机网络中的主机。

(3) 小型计算机。小型计算机 (minicomputer) 规模小、结构简单、设计周期短、便于采用先进工艺，用户不必经过长期培训就可以使用和维护，非常适合中小型企业使用。小型机应用范围很广，如工业自动控制、医疗设备中的数据采集和分析计算、企业管理等。也可以作为大型机、巨型机的辅助机。

(4) 微型计算机。微型计算机 (microcomputer) 又称个人计算机 (personal computer, PC)，通常称为微机，俗称电脑。这类计算机具有体积小、价格便宜，携带方便等特点，只能由一个用户使用。微型计算机按字长可以分为 16 位机、32 位机、64 位机三种，按结构可以分为单片机、单板机、多芯片机和多板机四种，按 CPU 芯片可以分为 586 机、Pentium、酷睿机等几种。

(5) 工作站。工作站 (workstation) 与功能较强的高档微型计算机之间的差别不是十分明显，通常比微型机有更大的存储空间和更快的运算速度，且配备大屏幕显示器，主要用于图像处理 and 计算机辅助设计等领域。

3. 按照工作原理分类

(1) 数字计算机。数字计算机处理的对象主要是 0 和 1 构成的二进制数字，其基本运算部件是数字逻辑电路，具有精度高且便于存储大量信息的特点。它处理的数据是离散的，处理以后仍然要以数字的形式输出到屏幕上或者打印到打印纸上。目前常用的计算机都是数字计算机。

(2) 模拟计算机。模拟计算机处理的对象是连续变化的模拟量 (如电压、电流等)，其基本部件是由运算放大器构成的各类运算电路。模拟计算机能够接收模拟数据，处理后仍然要以连续的数据输出。模拟计算机解题速度快，但是运算精度不高，通用性不强，主要用在控制电路中，常以绘图或量表的形式输出。

(3) 混合计算机。混合计算机结合了前两者的优点，可以接收模拟量和数字量，最后以模拟量或数字量的形式输出结果。

1.2.2 计算机的应用

计算机自出现以来,被广泛应用于各个领域,遍及社会的各个方面(小到个人用户,大到航天航空),并且仍然呈上升和扩展趋势。它改变着人们传统的工作、生活及学习方式,推动着社会不断向前发展。计算机的应用领域如下。

(1) 科学计算。科学计算也称为数值计算,通常指用于完成科学研究和解决工程技术中提出的数学问题而进行的计算。科学计算是计算机最早的应用领域。随着科学技术的发展,各领域中的计算模型日趋复杂,人工计算已无法解决这些复杂的计算问题。例如,在天文学、量子化学、空气动力学、核物理学等领域中,都需要依靠计算机进行复杂的运算。科学计算的特点是计算工作量大、数值变化范围大。

(2) 数据处理。数据处理也称为非数值计算,是指对大量的数据进行加工处理,如统计分析、合并、分类等。数据处理是计算机的一个重要应用方面。计算机具有海量存储功能,可将大量的数据输入计算机中进行存储、整理、分类、统计、加工、利用、传播等一系列活动,因此它被广泛用于气象预报、资料管理、银行业务、交通调度等大工作量岗位。各种办公自动化(office automation, OA)、信息管理系统(management information system, MIS)等就是计算机在数据处理方面的典型应用。

(3) 电子商务。电子商务是指利用计算机和网络进行的新型商务活动。在因特网开放的网络环境下,基于浏览器/服务器应用方式,买卖双方不谋面地进行各种商贸活动,实现消费者的网上购物、商户之间的网上交易和在线电子支付以及各种商务活动、交易活动、金融活动和相关的综合服务活动。电子商务分为 ABC、B2B、B2C、C2C、B2M、M2C、B2A(即 B2G)、C2A(即 C2G)、O2O 等多种。

(4) 过程控制。过程控制指用计算机实时采集检测数据,按最佳值迅速地对控制对象进行自动控制或自动调节,从而大大提高自动化控制水平并保证控制的及时性和准确性。现代工业,由于生产规模不断扩大,技术和工艺日趋复杂,从而对实现生产过程自动化的控制系统要求也日益增高。利用计算机进行过程控制,不仅可以大大提高控制的自动化水平,而且可以提高控制的及时性和准确性,从而改善劳动条件,提高质量,节约能源,降低成本。计算机过程控制已在冶金、石油、化工、纺织、水电、机械、航天等部门得到广泛的应用。

(5) 计算机辅助系统。计算机辅助设计(computer aided design, CAD)指用计算机及其图形设备帮助设计人员进行设计工作,如飞机或船舶设计、建筑设计、机械设计、大规模集成电路设计等。计算机辅助制造(computer aided manufacturing, CAM)指用计算机进行生产设备的管理、控制和操作。例如,在产品的制造过程中,用计算机控制机器的运行、处理生产过程中所需的数据、控制和处理材料的流动以及对产品进行检验等。计算机辅助教学(computer aided instruction, CAI)指在计算机辅助下进行各种教学活动,以对话方式与学生讨论教学内容、安排教学进程、进行教学训练,使学生通过交互教育、个别指导轻松自如地从可见内容中获取所需要的知识。计算机辅助系统还有计算机辅助工艺规划(computer aided process planning, CAPP)、计算机辅助工程(computer aided engineering, CAE)、计算机辅助教育(computer based education, CBE)等。

(6) 多媒体技术。多媒体技术是以计算机技术为核心,将现代声像技术和通信技术融为一体,能够对文本、图形、图像、声音、视频等多种媒体信息进行存储、传送和处理的综合性技术,使人们不仅可以在计算机上听音乐、看电视、收听广播,甚至还可以进行各种逼真的 3D 游戏。它的应用领域

十分广泛,不仅覆盖了计算机的绝大部分应用领域,同时还拓展了新的应用领域,如可视电话、视频会议系统等。

(7) 虚拟现实。虚拟现实技术是一种可以创建和体验虚拟世界的计算机仿真系统,它利用计算机生成一种模拟环境,如模拟环境、感知、自然技能和传感设备等方面。模拟环境是由计算机生成的、实时动态的三维立体逼真图像。感知是指理想的VR应该具有一切人所具有的感知,除计算机图形技术所生成的视觉感知外,还有听觉、触觉等感知,甚至还包括嗅觉和味觉等,也称为多感知。自然技能是指对于人的头部转动,眼睛、手势或其他人体行为动作,由计算机来处理 and 参与者的动作相适应的数据,并对用户的输入作出实时响应,分别反馈到用户的五官。

(8) 网络应用。计算机技术与现代通信技术的结合构成了计算机网络。计算机网络不仅能处理本机事务,而且还可以通过各种各样的网络,在浩如烟海的互联网中获取和发布信息,与他人实现资源共享,进行廉价、高效、实时的通信。计算机网络的建立,不仅解决了一个单位、一个地区、一个国家中计算机与计算机之间的通信和各种软、硬件资源的共享问题,也大大促进了国际间的文字、图像、视频和声音等各类数据的传输与处理。现在人们所使用的互联网就是利用计算机实现的最大的网络应用。

(9) 人工智能。人工智能是指用计算机来模拟人类的智能,使计算机具有诸如感知、判断、理解的功能。这项技术利用计算机来模拟人类的智力活动,将人脑进行演绎推理的思维过程、规则和采取的策略等编程成计算机程序。虽然计算机的能力在许多方面远远超过了人类,如计算速度,但是真正要达到人的智能还是非常遥远的事情。目前一些智能系统已经能够替代人的部分脑力劳动,获得了实际的应用,尤其是在机器人、专家系统、模式识别等方面。

1.3 计算机的发展趋势

1.3.1 计算机的发展方向

进入21世纪后,世界计算机技术的发展更为迅速,产品不断升级换代。未来的计算机将朝着“巨”(巨型化)“微”(微型化)“网”(网络化)“多”(多媒体化)“智”(智能化)的方向发展。

(1) 巨型化。巨型化是指发展高速的、大存储容量的和强功能的计算机,虽然它的价格高昂,但是其运算能力一般在每秒亿亿次以上、内存容量在千吉字节以上。我国推出的“神威·太湖之光”“天河二号”等就是代表世界先进水平的巨型计算机,其主要用于解决尖端科学研究和战略武器中的复杂计算,承担重大科学研究和国防尖端技术的数据处理任务。工业发达的国家都十分重视计算机巨型化的发展。

(2) 微型化。微型化已成为计算机发展的重要方向,它利用微电子技术和超大规模集成电路技术,把计算机的体型进一步缩小、价格进一步降低。微型化计算机占据了计算机总数的绝大部分,而且价格低廉、功能齐全,被广泛应用于机关、学校、企业和家庭中。随着微电子技术的进一步发展,微型计算机发展将更加迅速。各种便携式计算机和智能手机的广泛使用,是计算机微型化的一个标志。

(3) 网络化。计算机网络化是计算机发展的又一趋势。网络化是指利用通信技术和计算机技术,

把分布在不同地点的计算机互联起来,按照网络协议相互通信,组成一个所有用户都可共享软件、硬件和数据资源的网络结构。计算机网络是信息社会的重要技术基础,它在政府办公、文化教育、金融、交通等行业中得到了广泛的应用。计算机网络逐步成为人们工作和生活不可或缺的事物,让人们足不出户便可以共享大量的计算机资源、获得大量的信息、与世界各地的亲友进行通信、网上贸易等。

(4) 多媒体化。多媒体技术是当前计算机领域最受关注的技术之一,即利用计算机技术、通信技术和大众传播技术综合处理包括文本、视频、音频等多种媒体信息并使之集成为一个具有交互性的系统,真正改善人机交流的界面。随着多媒体计算机应用越来越广泛,其在办公自动化、计算机辅助工作、多媒体开发和教育宣传等领域都发挥了重要作用。

(5) 智能化。智能化使计算机突破了“计算”这一初级的含意,从本质上扩充了计算机的能力,使其可以越来越多地代替人类脑力劳动。智能化的研究领域包括模拟识别、物型分析、博弈和智能机器人等。目前已研制出多种具有人的部分智能的“机器人”,可以代替人在诸如水下等一些危险的工作岗位上工作。计算机智能化的快速发展是计算机发展的必然趋势。

1.3.2 新一代计算机

目前,各类新型计算机的研究如火如荼、进展快速,这些研究将深刻影响和改变计算机的未来。新一代计算机又称为第五代计算机,其目标是使计算机具有某些智能,如听、说、读、写,能识别文字、图片和不同的物体,并且具备一定的学习和推导能力。新一代计算机列举如下。

(1) 光子计算机。光子计算机以光子作为信息的载体,以光互连代替导线互连,以光硬件代替电子硬件,以光运算代替电运算。它利用激光来传递信号,并由光导纤维与各种化学原件等构成集成光路,利用光子取代电子进行数据运算、传输和存储。与传统的硅芯片计算机相比,光子计算机有下列优点:超高的运算速度、强大的并行处理能力、大存储量、非常强的抗干扰能力、与人脑相似的容错性等。光子计算机将使计算机的运算速度呈指数的形式上升,具有广阔的发展前景。1990年,美国的贝尔实验室推出了一台由激光器、透镜、反射镜等组成的计算机,这就是光子计算机的雏形。随后,英、法、比、德、意等国的70多名科学家成功研制了一台光子计算机,其运算速度比普通的电子计算机快1 000倍。

(2) 生物计算机。生物计算机又称仿生计算机,是以生物芯片取代集成电路制成的计算机,其最大的特点是采用了生物芯片。生物芯片由生物工程技术产生的蛋白质分子构成,利用了蛋白质的开关特性。在这种芯片中,信息以波的形式传播,运算速度比当今最新一代计算机快10万倍,能量消耗仅相当于普通计算机的十分之一,并且拥有巨大的存储能力。生物计算机是人类期望在21世纪完成的伟大工程,是计算机世界中最年轻的分支之一。它具有体积小、功效高、芯片永久性与高可靠性、存储与并行处理能力强、无信号干扰、数据错误率低等优点。

(3) 量子计算机。量子计算机是一种可以实现量子计算的机器,它通过量子力学规律实现数学和逻辑运算、处理和存储信息。它以量子态为记忆单元和信息存储形式,从量子动力学演化为作为信息传递与加工的基础的量子通信与量子计算。在量子计算机中其硬件的各种元件的尺寸达到原子或分子的量级。它能存储和处理用量子比特表示的信息。其运算速度比目前主流商业芯片快10亿倍。在理论上,量子计算机的性能能够超过任何可以想象的标准计算机。因为量子计算机提供了全新的解决问

题的方式，所以它成为世界各国重视且投入最多的一个科技领域。在量子计算机领域我国处于世界领先水平。2021年2月8日，中科院量子信息重点实验室的科技成果转化平台合肥本源量子科技公司，发布具有自主知识产权的量子计算机操作系统“本源司南”。2022年8月25日，百度发布集量子硬件、量子软件、量子应用于一体的产业级超导量子计算机“乾始”。

(4) 超导计算机。超导计算机是利用超导技术生产的计算机及其部件。超导计算机的开关速度可以达到微微秒的级别，运算速度比现在的电子计算机快，电能消耗量少。电流在超导体中流过时，电阻为零，介质不发热。芯片的集成度可以更高，计算机的体积能够更小，且不会因信号传输而降低整机速度。与传统的半导体计算机相比，超导计算机的耗电量仅为其几千分之一，而执行一条指令所需的时间却要快100倍。但是，现在这种组件计算机的电路还需要在低温下工作，若将来发明了常温超导材料，计算机的整个世界将改变。超导计算机对人类文明的发展可以起到极大作用。

(5) DNA 计算机。DNA 计算机是利用 DNA 碱基对序列在酶催化下的反应，经过特殊的技术进行处理，来实现信息的传递、储存与运算。在生物医学应用上，DNA 计算机能够探测和监控基因突变等细胞内一切活动的特征信息，确定癌细胞等病变细胞以及自动激发微小剂量的治疗。用 DNA 碱基对序列作为信息编码的载体，在试管内控制酶的作用下，使 DNA 碱基对序列发生反应，以此实现数据运算。如果可以利用不同的碱基对来记录数据，那么一条 DNA 链可储存的数据是相当可观的，这说明 DNA 计算机会有很好的发展前景。我国在 DNA 计算机上也取得了一定的成果。2004 年，中国第一台 DNA 计算机在上海交通大学问世。

(6) 模糊计算机。模糊计算机是建立在模糊数学基础上的计算机。依照模糊理论，判断问题不是以是、非两种绝对的结果（或 0 与 1 两种数码）来表示，而是取许多值，如接近、几乎、差不多、差得远等模糊值来表示。用这种模糊的、不确切的判断进行工程处理的计算机，就是模糊计算机。这种计算机除了具有一般计算机的功能之外，还具有学习、思考、判断和对话的能力，它可以立即辨别外界物体的形状和特征，甚至可帮助人从事复杂的脑力劳动。我国也研制成功一台模糊推理机——分立元件样机，它的推理速度为 1 500 万次每秒。这表明我国在突破模糊信息处理难关方面迈出了重要的一步。

(7) 神经计算机。神经计算机又称第六代计算机，是模仿人的大脑判断能力和适应能力，并具有可并行处理多种数据功能的神经网络计算机。与以逻辑处理为主的第五代计算机不同，它本身可以判断对象的性质与状态，并能采取相应的行动，而且它可同时并行处理实时变化的大量数据，并引出结论。以往的信息处理系统只能处理条理清晰，经络分明的数据，而人的大脑却具有能处理支离破碎、含糊不清的信息的灵活性，第六代电子计算机将类似人脑的智慧和灵活性。人脑约有 1 000 亿神经元及 1 000 万亿神经键，每个神经元都与数千个神经元交叉相连，它的作用相当于一台微型电脑，人脑总体运行速度相当于每秒 1 000 万亿次的电脑功能。用许多微处理机模仿人脑的神经元结构，采用大量的并行分布式网络就构成了神经电脑。模仿人类大脑功能的神经计算机开发成功，标志着电子计算机的发展进入第六代。

1.4 计算机系统概述

一个完整的计算机系统，应当包括两大部分，即硬件系统和软件系统，如图 1-5 所示。

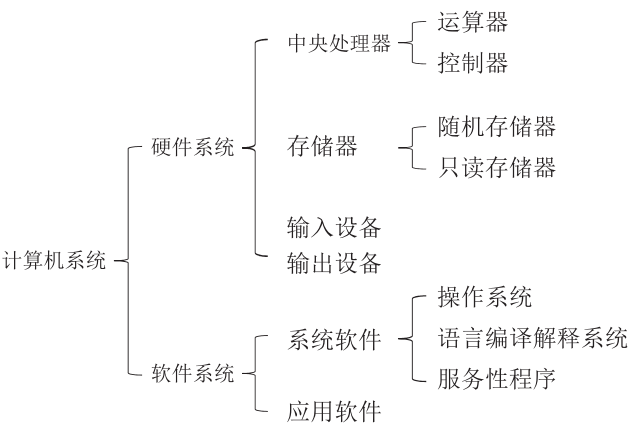


图 1-5 计算机系统

硬件系统是由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备构成的，是指构成计算机的物理设备，即由机械、光、电、磁器件构成的具有计算、控制、存储、输入和输出功能的实体部件，如中央处理器、存储器、软盘驱动器、硬盘驱动器、光盘驱动器、主机板及整机中的显示器、打印机、绘图仪、调制解调器等。整机硬件也称“硬设备”。硬件系统又称为裸机，裸机只能识别由 0 和 1 组成的机器代码。没有软件系统的计算机除了能发出热量外几乎是没有什么用的。

软件系统是指管理计算机硬件资源和控制计算机运行的程序、命令、指令、数据等。软件系统就是程序系统，也称为“软设备”。软件系统可以分为系统软件和应用软件两大类。系统软件是为使用者能方便地使用、维护、管理计算机而编制的程序的集合，它与计算机硬件相配套。系统软件主要包括对计算机系统资源进行管理的操作系统（operating system，OS）软件、对各种汇编语言和高级语言程序进行编译的语言处理（language processor，LP）软件和对计算机进行日常维护的系统服务程序（system support program，SPP）或工具软件等。应用软件则主要面向各种专业应用和某一特定问题的解决，一般指操作者在各自的专业领域中为解决各类实际问题而编制的程序，如文字处理软件、仓库管理软件、辅助设计软件等。

在计算机系统中，对于软件和硬件的功能没有一个明确的分界线。软件实现的功能可以用硬件来实现，称为固化。在微型计算机的 ROM（只读存储器）芯片中就固化了系统的引导程序。硬件实现的功能也可以用软件来实现，称为硬件软化。在多媒体计算机中，视频卡用于对视频信息的处理（包括获取、编码、压缩、存储、解压缩和回放等），现在的计算机大多没有视频卡，通过播放软件也能实现。

软件和硬件系统看似是相当不同的两个概念，但是它们却又有着密不可分的联系。在计算机系统中，硬件系统是软件系统运行的物质基础，软件系统是硬件系统功能的扩充与完善，没有软件系统的支持，硬件系统的功能不可能得到充分的发挥，因此软件系统是使用者与计算机之间的桥梁。计算机硬件系统相当于人类的身躯，而计算机软件系统相当于人类的大脑，它们共同构成一个完整的计算机系统，二者相辅相成，缺一不可。

1.4.1 计算机硬件

继第一台计算机（ENIAC）问世之后，冯·诺依曼和他的同事研制出了人类历史上的第二台离散变量自动电子计算机 EDVAC，为计算机的体系结构和工作原理奠定了非常重要的基础。虽然之后计算机硬件的结构和制造技术都有很大的发展，但是都没有脱离冯·诺伊曼型计算机的基本思想，即计算机系统的硬件主要是由运算器、控制器、存储器、输入设备、输出设备五个部分构成。运算器、控制器、存储器三个部分是信息加工、处理的主要部件，所以把它们合称为“主机”，输入设备、输出设备则合称为“外部设备”。

1. 运算器

计算机中的运算器是一个用于信息加工的部件，运算器由算术逻辑单元（arithmetic and logic unit, ALU）、累加器、状态寄存器、通用寄存器组等组成，主要由它对二进制的数据进行算术运算和逻辑运算，所以它也叫做“算术逻辑运算单元”。计算机运行时，运算器的操作数和操作类型由控制器决定。算术逻辑运算单元的基本功能为加、减、乘、除四则运算，与、或、非、异或等逻辑操作，以及移位、求补等操作。运算器处理的数据来自存储器；处理后的结果数据通常送回存储器，或暂时寄存在运算器中。它与控制器共同组成了中央处理器的核心部分。由于运算器和控制器两者的联系非常密切，数据交换也极为频繁，因此，在制作计算机时，将两者与高速缓存（cache）结合在一起，焊接在一块超大规模的集成电路上，称为中央处理器。运算器的核心部分是加法器。因为四则运算加、减、乘、除等算法都归结为加法与移位操作，所以加法器的设计是算术逻辑线路设计的关键。

运算器的处理对象是数据，所以数据长度和计算机数据的表示方法对运算器的性能影响极大。按照数据的不同表示方法，有二进制运算器、十进制运算器、十六进制运算器、定点整数运算器、定点小数运算器、浮点数运算器等几种。按照数据的性质，有地址运算器和字符运算器等几种。

2. 控制器

控制器由程序计数器（program counter, PC）、指令寄存器（instruction register, IR）、操作控制器（operation controller, OC）、时序控制电路以及微操作控制电路等组成。控制器产生各种控制信号，是计算机的神经中枢和指挥中心，只有在它的控制之下整个计算机才能有条不紊地工作，自动执行程序。控制器和运算器合在一起被称为中央处理器，即 CPU，它是计算机的核心。

控制器的主要功能是根据人们预先编制好的程序控制与协调计算机各部件自动工作。控制器按一定的顺序从主存储器中取出每一条指令并通过发出相应的控制命令串来执行。因此，控制器的工作过程就是按预先编好的程序，不断地从主存储器取出指令、分析指令和执行指令。

（1）取出指令。控制器的程序计数器中存放有当前指令的地址，执行一条指令的第一步就是把该地址送到存储器的地址驱动器，按地址取出指令，送到指令寄存器中。同时 PC 自动加 1，准备取下一条指令。

（2）分析指令。一条指令由两部分组成，一部分称为操作码，指出该指令要进行什么操作；另一部分称为数据地址码，用于指出要对存放在哪个地址中的数据进行操作。在分析指令阶段，要将数据地址码送到存储器中并取出需要的操作数送到运算器。同时把操作码送到指令译码部件，指明要对哪些部件进行哪些操作，再通过操作控制逻辑，将指定的信号送到指定的部件。

（3）执行指令。指挥并控制运算器、内存、输入设备和输出设备之间的数据流动，将有关操作控制信号按照时序安排发送到相关部件，使有关部件在规定的节拍中完成规定的操作。

3. 存储器

存储器是用来存放指令和数据的部件，分为内存储器（内存）和外存储器（外存）两种。内存储器又称主存储器，一般由半导体器件构成，通过电路和 CPU 相连，它的存取速度快，但容量相对较小。计算机工作时，将用户需要的程序与数据装入内存，CPU 到内存中读取指令与数据，并将在运算过程中产生的结果写入内存。一旦切断电源，这种可读写内存中的信息将全部丢失。微型计算机的内存储器一般有只读存储器（read-only memory, ROM）和随机存储器（random access memory, RAM）。外存储器又称辅助存储器，一般为磁盘存储器，它的存储速度慢，但容量很大。外存一般安装在主板以外，通过数据电缆与内存连接。外存储器用来放置需要长期保存的数据，它解决了内存断电后不能保存数据的问题。但是 CPU 并不能够直接读取外存的数据，在需要读取外存数据时控制器会先把外存数据调入内存，然后送入 CPU 进行处理。其性质和输入输出设备相同，所以外存储器也可归为外部设备。微型计算机的外存储器种类很多，如硬盘、磁盘、光盘、U 盘等。

计算机的运算器、控制器和存储器合在一起称为计算机的主机。存储器的性能可以从存储容量、存取周期两个方面来衡量。存储容量是存储器所能容纳的二进制信息量的总和，存储容量的大小决定了计算机能存放信息的多少，对计算机执行程序的速度有较大的影响。

存取周期是计算机从存储器读出数据或写入数据所需要的时间，它表明了存储器存取速度的快慢，存取周期越短，速度越快，计算机的整体性能就越高。

4. 输入设备、输出设备

输入设备、输出设备是实现人与计算机之间相互联系的部件。其主要功能是实现人机对话、输入与输出以及各种形式的数据变换。

输入设备用于接收用户输入的原始数据和程序，并将它们转换为计算机可以识别的形式（二进制代码）存放在内存中。输入设备是计算机与用户或其他设备通信的桥梁，是用户和计算机系统之间进行信息交换的主要装置之一。键盘、鼠标、摄像头、扫描仪、手写输入板、游戏杆、语音输入装置等都属于输入设备。计算机能够接收各种各样的数据，既可以是数值型的数据，也可以是各种非数值型的数据，如图形、图像、声音等都可以通过不同类型的输入设备输入到计算机中，进行存储、处理和输出。

输出设备是将计算机中的二进制信息转换为用户所需要的数据形式的设备。它将计算机中的信息以十进制、字符、图形或表格等形式显示或打印出来，也可记录在磁盘或光盘上。常用的输出设备有打印机、显示器、绘图仪等。

5. 常见的计算机系统硬件设备

（1）主板（motherboard）。主板又称主机板、系统板、逻辑板、母板、底板等，是复杂电子系统的主电路板。主板是计算机最重要的一个组成部分，是连接其他硬件设备的平台。典型的主板能提供一系列接合点，供处理器、显卡、声卡、硬盘、存储器、对外设备等设备接合。它们通常直接插入有关插槽，或用线路连接。

主板上最重要的构成组件是芯片组（chipset）。芯片组通常由北桥和南桥组成，有些以单片机设计从而增强其性能。这些芯片组为主板提供一个供不同设备连接的通用平台以控制和不同设备的沟通。它包含对不同扩充插槽的支持，如处理器、PCI、ISA、AGP 和 PCI Express。芯片组亦为主板提供额外功能，如集成显核（也称内置显卡）和集成声卡（也称内置声卡）。一些高价主板集成了红外通信技

术、蓝牙和 802.11 (Wi-Fi) 等功能。主板的主要组件包括互补金属氧化物半导体芯片 (complementary metal oxide semiconductor, CMOS)、基本输入输出系统 (basic input output system, BIOS)、高速缓冲存储器、内存插槽、CPU 插槽、键盘接口、软盘驱动器接口、硬盘驱动器接口、总线扩展插槽、串行接口 (COM1, COM2)、并行接口 (打印机接口 LPT1) 等, 主板如图 1-6 所示。

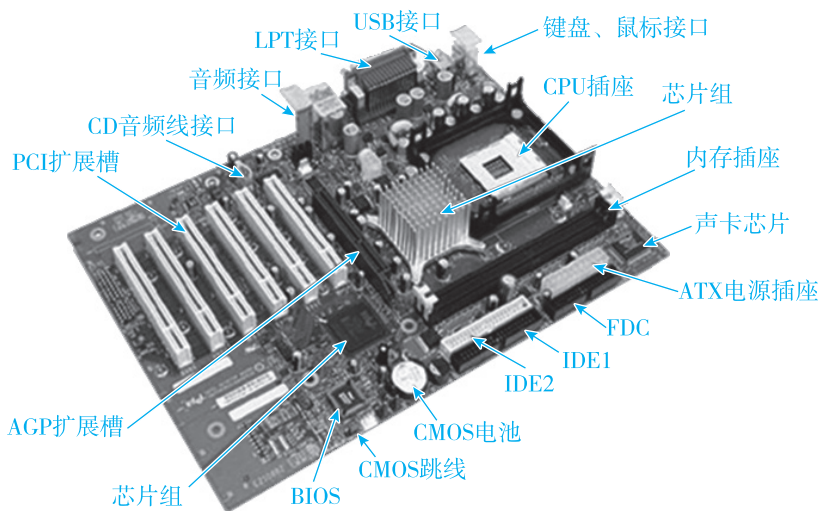


图 1-6 主板

计算机的主板对总体性能影响重大。有人将主板比喻成建筑物的地基, 其质量好坏决定了建筑物坚固耐用与否; 也有人形象地将主板比作高架桥, 其好坏关系着交通是否畅通与流速大小。

(2) 中央处理器 (central processing unit, CPU)。中央处理器是一个体积不大而集成度非常高且功能强大的芯片, 也称为微处理器 (micro processor unit, MPU), 是微型机的核心。中央处理器主要包括运算器和控制器两大部件。计算机的所有操作都受 CPU 控制, 所以它的品质直接影响着整个计算机系统的性能。CPU 有通用型和嵌入式两种类型。它们的区别主要在于应用模式的不同。一般来说, 通用型 CPU 追求高性能, 功能比较强, 能运行复杂的操作系统和大型应用软件。嵌入式 CPU 则强调处理特定应用问题时的性能, 主要用于运行面向特定领域的专用程序, 配备轻量级操作系统, 在功能和性能上有很大的变化范围。龙芯 3 号中央处理器如图 1-7 所示。



图 1-7 龙芯 3 号中央处理器

CPU 依靠指令来控制系统, 每款 CPU 在设计时就规定了一系列与其硬件电路相配合的指令集。指令的强弱也是 CPU 性能好坏的重要指标。指令集是提高微处理器效率的最有效工具之一。从现阶段的主流体系结构来说, 指令集可分为复杂指令集和精简指令集两种类型。

复杂指令集 (complex instruction set computer, CISC)。CISC 程序的各项指令是按顺序串行执行

的，每条指令中的各个操作也是按顺序串行执行的。顺序执行的优点是控制简单。随着 CPU 技术的不断发展，Intel 陆续研制出新型的 CPU 系列，如今天的酷睿 2 系列、至强系列，仍然使用 X86 指令集，仍属于 X86 系列。由于 Intel X86 系列及其兼容 CPU（如 AMD Athlon MP）都使用 X86 指令集，所以就形成了今天庞大的 X86 系列及兼容 CPU 阵容。X86CPU 主要有 Intel 的服务器 CPU 和 AMD 的服务器 CPU 两类。

精简指令集（reduced instruction set computer, RISC）。RISC 指令集是高性能 CPU 的发展方向。与传统的 CISC 相比，RISC 的指令格式统一，种类比较少，寻址方式也比复杂指令集少，处理速度提高很多。中高档服务器普遍采用实行这一指令系统的 CPU，特别是高档服务器全都采用实行 RISC 指令系统的 CPU。RISC 指令系统更加适合高档服务器的操作系统 Windows，Linux 也属于类似 Windows OS（UNIX）的操作系统。RISC 型 CPU 与 Intel 和 AMD 的 CPU 在软件和硬件上都不兼容。在中高档服务器中采用 RISC 指令的 CPU 主要有以下几类：PowerPC 处理器、SPARC 处理器、PA-RISC 处理器、MIPS 处理器、Alpha 处理器等。



拓展案例

龙芯 3 号研制成功摆脱西方芯片垄断

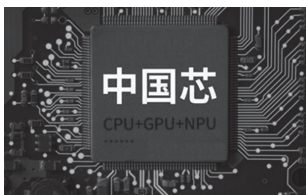


图 1-8 龙芯 3 号中国芯

2022 年 11 月，龙芯中科（龙芯研发团队）宣布，龙芯 3 号最新一代中央处理器（见图 1-8）将于 2023 年上半年做出样片。该芯片采用完全自研的核心架构，以成熟工艺生产，达到了主流 PC 处理器的水平，这对于美国垄断的中央处理器行业无疑是相当大的冲击，美国在芯片行业的垄断也将因此被打破。

龙芯 3 号采用 14nm 的制造工艺，应用最新设计，其仿真跑分比上一代提升了 30%，浮点性能跑分提升 60%，芯片面积缩小 20%，性能大幅提升。这款中央处理器的 IPC 将达到 AMD zen3 或者英特尔酷睿 11 代的水平，是名副其实的高性能芯片，能满足大多数用户的日常需求。值得关注的是，龙芯 3 号并没有采用英特尔的 X86 和 ARM 架构，而是龙芯中科自主研发的“loongArch”架构。在芯片制造方面，中芯国际、上海华虹两大晶圆厂已有能力生产 14nm 工艺芯片，所以这款高性能芯片可以做到 100% 的独立研发。全球从事芯片研发的企业多如牛毛，但几乎全在西方技术的基础上进行研发，能 100% 独立研发芯片的企业屈指可数，而中国的龙芯中科却做到了“纯国产中国芯”。

龙芯中科的前身是中科院成立的龙芯课题组，2001 年由课题组转型成立公司，企业成立之初团队立下两大原则：一是不接受海外资本参与，二是核心技术必须独立研发。这是一支名副其实的“国家队”。

十多年前，当龙芯团队尝试推广龙芯 CPU 应用时，很少人相信龙芯能大规模应用起来。业界普遍认为，自主芯片逊在性能，输在生态。主流生态平台太过强势，另建生态无异于痴人说梦。经过多年探索，围绕龙芯形成了包括近千家企业的产业链，基于龙芯的信息产业体系慢慢形成。目前，已有数万人在龙芯的软硬件生态上做开发，龙芯不仅应用于政企办公设备，在工业控制、石油勘探等领域也能见到它的身影。

(3) 内存储器 (memory)。内存储器也被称为内存,是由内存芯片、电路板、“金手指”(内存条的金黄色导电触片,因其排列如手指状,故称为“金手指”)等部分组成的。其作用是暂时存放 CPU 中的运算数据,以及与硬盘等外部存储器交换的数据。只要计算机在运行中, CPU 就会把需要运算的数据调到内存中进行运算,当运算完成后 CPU 再将结果传送出来。内存的稳定运行也决定了计算机的稳定运行。它是与 CPU 进行沟通的桥梁,是电脑的主要部件。内存的技术指标主要有存储容量、存取周期、读写时间等。

我们平常使用的程序,如 Windows 操作系统、打字软件、游戏软件等,一般都是安装在硬盘等外存上的,但仅此不能使用其功能,必须把它们调入内存中运行,才能真正使用其功能。我们平时输入一段文字或玩一个游戏,其实都是在内存中进行的。通常我们把要永久保存的、大量的数据存储在外存中,而把一些临时的或少量的数据和程序存储在内存中。内存的好坏会直接影响电脑的运行速度。在微型机系统中,内存通常指主存储器,就是常说的内存条,位于系统主板上。双数据率同步动态随机存储器(double data rate SDRAM, DDRSDRAM)是目前主流的内存规范。按内存条的技术标准(接口类型)可将内存条分为 DDR SDRAM 内存条、DDR2 SDRAM 内存条和 DDR3 SDRAM 内存条三种。常见的内存如图 1-9 所示。

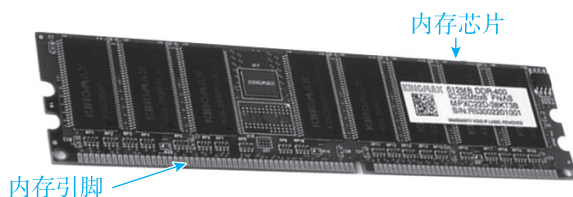


图 1-9 内存

按照内存的工作原理可将其分为只读存储器 (ROM)、随机存储器 (RAM)、高速缓存 (cache) 三种。

只读存储器的特点是 CPU 对它只取不存,它里面存放的信息一般由计算机制造厂写入并经固化处理,用户是无法修改的。即使断电,ROM 中的信息也不会丢失。因此,ROM 中一般存放计算机系统管理程序。在主板上的 ROM 里面固化了一个基本输入/输出系统 (basic input/output system, BIOS),其主要作用是完成对系统的加电自检、系统中各功能模块的初始化、系统的基本输入/输出驱动程序的加载及引导操作系统,并反馈诸如设备类型、系统环境等信息。

随机存储器是与 CPU 直接交换数据的内部存储器,也叫主存 (内存)。它可以随时读写,而且速度很快,通常作为操作系统或其他正在运行中的程序的临时数据存储媒介。随机存储器可以进行任意的读或写的操作,且存取的速度与存储单元的位置无关。它主要用来存放操作系统、各种应用程序、数据等。数据、程序在使用时从外存读入内存中,使用完毕后在关机前再存回外存中。由于 RAM 是由半导体器件构成,因此断电时信息会丢失。

高速缓存也是计算机中经常使用的存储器,也就是平常看到的一级缓存 (L1 cache)、二级缓存 (L2 cache)、三级缓存 (L3 cache) 等,逻辑上它位于 CPU 与内存之间,物理上它封装在 CPU 内,是一个读写速度比内存更快的存储器。cache 高速缓冲存储器是一种特殊的存储器子系统,其中复制了频繁使用的数据以便快速访问。它存储了频繁访问的 RAM 位置的内容及这些数据项的存储地址。随着 CPU 主频的不断提高,它的处理速度越来越快,其他设备跟不上 CPU 的速度,没办法及时将需要处理的数据交给 CPU, cache 的出现就成为必然。当 CPU 向内存中写入或读出数据时,这个数据也被存储进高速缓冲存储器中。当 CPU 再次需要这些数据时, CPU 就从高速缓冲存储器读取数据,而不

是访问较慢的内存，如需要的数据在 cache 中没有，CPU 会再去读取内存中的数据。

(4) 外存储设备。在计算机系统中，除了有主存外，一般还有外存储器，用于存储暂时不用的程序和数据。外存与 CPU 不能直接进行信息交换，必须通过接口电路才能进行。外存存储容量大，速度相对内存慢得多，用来存放需要长期保存的数据。常用的外存有软盘、硬盘、光盘和磁带存储器。它们和内存一样，存储容量也是以字节为基本单位。外存储器与内存之间频繁交换信息，但不能被计算机系统的其它部件直接访问。软磁盘存储器是过去常见的外存储设备，现已基本淘汰，当前流行的外存储设备主要有以下几种。

①硬盘。传统硬盘采用的存储介质是磁介质，是由涂有磁性材料的铝合金圆盘制成。目前常用的硬盘为 3.5 英寸。这些硬盘通常采用温彻斯特技术，即把磁头、盘片和其他部件都密封为一个整体，与外界隔绝，这种硬盘也称为温彻斯特盘。硬盘片、硬盘驱动电机和读写磁头等组装并封装在一起成为温彻斯特驱动器。圆盘的每个面都能记录信息，各个面依次编号为 0 面、1 面……由于每个盘面对应 1 个读/写磁头，所以也常用磁头号来代替盘面。各个盘面上相同编号的磁道构成一个柱面，柱面数等同于每个盘面上的磁道数。根据硬盘的磁头数，柱面数和扇区数，就可计算出硬盘容量。硬盘工作时，固定在同一个转轴上的数张盘片以每分钟 7 200 转甚至更高的速度旋转，磁头在驱动马达的带动下在磁盘上做径向移动，寻找定位点，完成写入或读出数据工作，如图 1-10 所示。

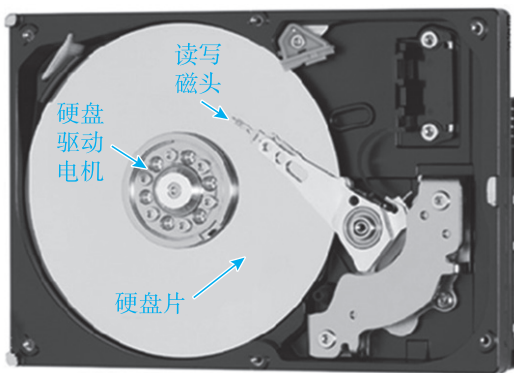


图 1-10 硬盘

新型的硬盘即固态硬盘 (solid-state disk, SSD) 采用半导体存储技术。三星电子、TDK、SanDisk、PQI、A-Data 等公司采用 flash 芯片制造了 32 GB、64 GB、128 GB 等容量的固态硬盘。使用 IDE、SATA 接口的固态硬盘主要用于小型笔记本电脑、平板电脑等。硬盘使用前要经过低级格式化、分区及高级格式化等流程。硬盘的低级格式化出厂前已完成。目前已有 500 GB、1 TB 和 2 TB 等存储容量的硬盘。

②光盘。光盘是利用激光原理进行读写的设备。根据光盘的存储技术的不同，可将光盘分为 CD-ROM (只读光盘)、CD-R (可写光盘)、CD-RW (可重写光盘)、DVD-ROM (DVD 只读光盘)、DVD (DVD-R/RW、DVD+R/RW、DVD-RAM, 可反复擦写 DVD 光盘存储器) 等几种。根据光盘驱动器是否放在机箱内部，可将光盘驱动器分为内置式光盘驱动器和外置式光盘驱动器两种。根据光盘驱动器的速度的不同，可分为 56 倍速读、52 倍速写、24 倍速擦写等光盘驱动器。CD-ROM 的接口有 IDE 口、SCSI 口、IEEE 1394 口、USB 口等不同的类型。

③闪存盘。便携存储器，也称为 U 盘 (USB flash disk)，是采用通用串行总线 (universal serial bus, USB) 接口和非易失随机访问存储器技术的方便携带的移动存储器。其特点是断电后数据不消

失，因此可以作为外部存储器使用。它具有可多次擦写、速度快而且防磁、防震、防潮的优点。U 盘无须外接电源，即插即用，从而实现不同电脑之间的文件交流。U 盘存储容量从 16 MB~1 TB 不等。U 盘接口标准目前以 USB 2.0 和 USB 3.0 较为流行。USB 3.2 规范在 2017 年 9 月 25 日由 USB Implementers Forum (USB-IF) 宣布正式推出，属于增量更新，即在现有基础上对 USB 3.1 进行补充，保留 USB 3.1 (Gen2) 物理层和编码技术，利用双通道技术，在使用经过 SuperSpeed+ 认证的 USB Type-C 数据线后可实现最高 20 Gbps 的传输速率，且 Type-C 成为 USB 3.2 的御用接口。U 盘如图 1-11 所示。



图 1-11 U 盘

以上存储器的读取速度由快到慢排列是 cache、内存、硬盘、U 盘、DVD 光盘、CD-ROM。

(5) 总线系统。微机各功能部件相互传输数据时，需要有连接它们的通道，这些公共通道就称为总线 (bus)。CPU 本身也由若干个部件组成，这些部件之间也是通过总线连接。通常把 CPU 芯片内部的总线称为内部总线，而连接系统各部件间的总线称为外部总线或系统总线。一次传输信息的位数称为总线宽度。总线按功能不同可分为数据总线 (data bus, DB)、地址总线 (address bus, AB)、控制总线 (control bus, CB) 三种。

①数据总线 (DB)。用于传输数据信息，主要实现 CPU 与内存或输入 / 输出 (input/output, I/O) 设备之间、内存与 I/O 设备或外存储器之间的数据传送。它是 CPU 同各部件交换信息的通道。数据总线是双向三态形式的总线，即它既可以把 CPU 的数据传送到存储器或输入 / 输出接口等其它部件，也可以将其他部件的数据传送到 CPU。数据总线的位数是微型计算机的一个重要指标，通常与微处理机的字长一致。如字长 16 位的计算机数据总线也是 16 位。常见的数据总线标准有工业标准体系结构 (industry standard architecture, ISA)、扩展 ISA (extended ISA, EISA)、视频电子标准协会 (Video Electronics Standards Association, VESA)、外设部件互联标准 (peripheral component interconnect, PCI) 等。

②地址总线。地址总线是专门用来传送地址的，由于地址只能从 CPU 传向外部存储器或输入 / 输出端口，所以地址总线总是单向三态的，这与数据总线不同。地址总线的位数决定了 CPU 可直接寻址的内存空间大小，比如 8 位微机的地址总线为 16 位，则其最大可寻址空间为 $2^{16}=64\text{ kB}$ ；16 位微机的地址总线为 20 位，其可寻址空间为 $2^{20}=1\text{ MB}$ 。一般来说，若地址总线为 n 位，则其可寻址空间为 2^n 字节。

③控制总线。控制总线用来传输控制信号以协调各部件的操作。控制信号包括 CPU 对内存或接口电路的读写信息、中断响应信号等。控制总线的传送方向由具体控制信号决定，一般是双向的。控制总线的位数要根据系统的实际控制需要决定。实际上控制总线的具体情况主要取决于 CPU。

为了产品的互换性，各计算机厂商和国际标准化组织统一把数据总线、地址总线和控制总线组织起来形成产品的技术规范，并称为总线标准。目前，在通用微机系统中常用的总线标准有 ISA、EISA、VESA、PCI 等。

(6) 接口。两个部件之间的交接部件称为接口或界面。这里的部件既可以指硬件，也可以指软件。主机实际上是通过系统总线连接到接口，再通过接口与外部设备相连接。微机的强大功能是通过其连接的外围设备以及处理信息的过程表现出来的。输入 / 输出接口电路是微机的微处理器连接外部设备的部件，在硬件电路和软件实现上都有其特定的要求和方法。例如磁盘接口位于磁盘驱动器和系

统总线之间，显示器通过显示接口（俗称显卡）和系统总线连接。这些接口常以插件形式插在系统总线的插槽上。各设备公用的接口逻辑如中断控制器、DMA 控制器等往往集成在主板上。

1.4.2 计算机软件

广义地讲，软件是指系统中的程序以及开发、使用和维护程序所需要的所有文档的集合。通常，把没有安装任何软件的计算机称为硬件计算机或者裸机（bare machine）。只有装了软件系统的计算机系统才能称为完整的计算机系统。在计算机系统中，硬件是软件运行的物质基础，软件是硬件功能的扩充与完善，没有软件的支持，硬件的功能不可能得到充分的发挥，因此软件是使用者与计算机之间的桥梁。计算机软件按用途可分为系统软件和应用软件两种。

1. 系统软件

系统软件（system software）是指所有能支持用户运行自己的应用软件的基础软件，是管理、监控和维护计算机资源的软件。系统软件可以控制和协调计算机及外部设备，支持应用软件开发和运行，是无需用户干预的各种程序的集合。系统软件使得计算机使用者和其他软件将计算机当作一个整体而不需要顾及底层每个硬件是如何工作的。系统软件的任务是控制和维护计算机的正常运行，管理计算机的各种资源，以满足应用软件的需要。它扩大了计算机的功能，提高了计算机的工作效率，方便用户使用计算机。任何用户都要用到系统软件，其他程序都要在系统软件的支持下运行。系统软件主要分为操作系统软件、各种语言处理程序和各種数据库管理系统三类。

（1）操作系统（operating system, OS）。操作系统是管理、控制和监督计算机软件、硬件资源协调运行的程序系统，由一系列具有不同控制和管理功能的程序组成，它是直接运行在计算机硬件上的、最基本的系统软件，是系统软件的核心，其他软件都必须在操作系统的支持下才能运行。它的主要目的有两个：一是方便用户使用计算机，是用户和计算机的接口，同时也是计算机硬件和其他软件的接口；二是统一管理计算机系统的全部资源，合理组织计算机工作流程，以便充分、合理地发挥计算机的功能。

操作系统是一个庞大的管理控制程序，它大致包括进程与处理机调度、作业管理、存储管理、设备管理、文件管理五个管理功能。

为了能够满足用户的需求，操作系统提供了各种形式的用户界面，使用户有一个好的工作环境，同时为其他应用软件提供支持，为其他软件的开发提供必要的服务和相应的接口。操作系统管理着计算机硬件资源，同时按着应用程序的资源请求，为其分配资源，如划分 CPU 时间、开辟内存空间、调用打印机等。操作系统的种类有很多，目前主流的大概有 Windows 操作系统、Unix 操作系统、Linux 操作系统、Mac 操作系统四种。其中 Windows 操作系统应该是我们最为熟悉的，在世界范围内占据了桌面操作系统的大部分市场。它问世于 1985 年，是美国微软公司研发的一套操作系统，起初仅仅是 Microsoft-DOS 模拟环境，后续的系统版本由于微软不断地更新升级采用了图形化模式 GUI，比起从前的 DOS 需要键入指令使用的方式更为人性化。随着电脑硬件和软件的不斷升级，微软的 Windows 操作系统也在不断升级，从架构的 16 位、32 位再到 64 位，系统版本从最初的 Windows 1.0 到大家熟知的 Windows 98、Windows 2000、Windows XP、Windows 7、Windows 8、Windows 10、Windows 11，不断更新，微软一直致力于 Windows 操作系统的开发和完善。

（2）语言处理系统。计算机语言又称程序设计语言，是计算机与用户之间进行交流的介质，也是

开发计算机软件的重要工具。程序设计语言处理系统随被处理的语言及其处理方法和处理过程的不同而不同。任何一种语言处理系统通常都包含一个翻译程序，它把一种语言的程序翻译成等价的另一种语言的程序。被翻译的语言和程序分别称为源语言和源程序，翻译生成的语言和程序分别称为目标语言和目标程序。一般来说，计算机语言分为三类，即机器语言、汇编语言和高级语言。其中，机器语言和汇编语言又称低级语言。

①机器语言 (machine language)。机器语言是计算机能够直接识别和执行的机器指令的集合，每一条语句（机器指令）实际上是一条二进制形式的指令代码，由操作码和操作数组成。它具有直接执行、执行速度快等优点。但用机器语言编写程序首先得熟记计算机的指令代码以及各自的含义，不仅难读、难编，而且直观性差、易出错。

②汇编语言 (assembly language)。汇编语言是一种利用助记符来表示的面向机器的程序设计语言，它是由一组与机器语言指令一一对应的符号指令和简单语法组成，亦称符号语言。用汇编语言编写的程序称为汇编语言源程序，翻译后得到的机器语言程序称为目标程序。这个翻译过程称为汇编，负责翻译的程序称为汇编程序，用汇编语言编写的程序称为汇编语言程序，并经预先放入计算机的汇编程序翻译成能够被计算机识别和处理的机器语言。任何一种计算机都配有只适用于自己的汇编程序。汇编语言适用于编写直接控制机器操作的底层程序，它与机器密切相关。用汇编语言编译的软件，其目标程序占用内存空间小，运行速度快，有着高级语言不可替代的优点。

③高级语言 (high level language)。高级语言是一种与人类自然语言相接近、对机器依赖性低、面向用户的计算机语言。用高级语言编写的程序称为源程序，并经编译和解释两种方式将其翻译成机器语言。编译方式是将源程序整个编译成目标程序，然后通过链接程序将目标程序链接成可执行程序，如 Pascal 语言、C 语言及 C++ 语言等采用这种方式。解释方式是将源程序逐句翻译，翻译一句执行一句，边翻译边执行，不产生目标程序，由计算机执行解释程序自动完成，如 Python 采用这种方式。高级语言种类多样，下面介绍常用的几种。

C。C 语言是一种通用编程语言，兼有高级语言和汇编语言的特点，具有很高的灵活性，适用于系统软件、数值计算、数据处理等多个方面。

Java。Java 是一种由 Sun Microsystems 公司于 1995 年 5 月推出的 Java 程序设计语言（以下简称 Java 语言）和 Java 平台的总称。它是一种简单的、面向对象的、分布式的、解释型的、可移植的多线程动态语言。

JavaScript。这是一种由 Netscape 的 LiveScript 发展而来的脚本语言，主要是为了解决服务器终端语言比如 Perl 遗留的速度问题。当时服务端需要对数据进行验证，由于网络速度相当缓慢，只有 28.8 kb/s (kilobits per second)，故验证步骤浪费的时间太多。于是 Netscape 的浏览器 Navigator 加入了 JavaScript，为其提供了数据验证的基本功能。

C#。该语言是微软公司发布的一种面向对象的、运行于 NET Framework 之上的高级程序设计语言，并定于在微软职业开发者论坛 (Professional Developers Conference, PDC) 上登台亮相。C# 是微软公司研究员 Anders Hejlsberg 的最新成果。C# 看起来与 Java 有着惊人的相似，它包括了诸如单一继承、界面、与 Java 几乎同样的语法和编译成中间代码再运行的过程。但是 C# 与 Java 有着明显的不同，它借鉴了 Delphi (Windows 平台下著名的快速应用程序开发工具) 的一个特点——与组件对象模型 (component object model, COM) 直接集成，而且它是微软公司 .NET Windows 网络框架的主角。

Python。这是一种面向对象的解释性的计算机程序设计语言，也是一种功能强大而完善的通用型

语言，已经具有十多年的发展历史，成熟且稳定。Python 具有脚本语言中最丰富和强大的类库，足以支持绝大多数日常应用。这种语言具有非常简捷而清晰的语法，适合完成各种高层任务，几乎可以在所有的操作系统中运行。目前，基于这种语言的相关技术正在飞速发展，用户数量急速扩大，相关的资源非常多，本书第四章所使用的算法实现语言就是 Python。

(3) 数据库管理系统 (database management system, DBMS)。数据库是以一定的组织方式存储起来的、具有相关性的数据的集合。数据库管理系统是一种操作和管理数据库的大型软件，用于建立、使用和维护数据库。数据库管理系统的层次结构包括应用层、语言翻译处理层、数据存取层、数据存储层、操作系统。它对数据库进行统一的管理和控制以保证数据库的安全和完整。用户通过 DBMS 访问数据库中的数据，数据库管理员也通过 DBMS 进行数据库的维护工作。它可使多个应用程序和用户用不同的方法同时或不同时去建立、修改和询问数据库。大部分 DBMS 提供数据定义语言 (data definition language, DDL) 和数据操作语言 (data manipulation language, DML) 供用户定义数据库的模式结构与权限约束，实现数据的增加、删除等操作。

数据库管理系统是数据库系统的核心，是管理数据库的软件。数据库管理系统就是把用户意义下抽象的逻辑数据处理转换成计算机中具体的物理数据处理的软件。有了数据库管理系统，用户就可以在抽象意义下处理数据，而不必顾及这些数据在计算机中的布局 and 物理位置。目前，微机系统常用的单机数据库管理系统有 FoxBase 和 Visual FoxPro 等，适合于网络环境的大型数据库管理系统有 Sybase、Oracle、DB2、SQL Server 和 Informix 等。

2. 应用软件

应用软件 (aplication software) 是为用户的某种应用目的所撰写的软件。常见的应用软件有用户程序、杀毒软件、计算机辅助软件、实时控制软件、数据压缩软件、数据备份与恢复软件等。

(1) 用户程序。用户程序是用户为了解决特定的问题而开发的软件。编制用户程序应充分利用计算机系统的种种现成软件，在系统软件和应用软件包的支持下可以更加方便、有效地研制用户专用程序，如火车站或汽车站的票务管理系统、人事管理部门的人事管理系统和财务部门的财务管理系统等。

(2) 杀毒软件。国内早先称为杀毒软件，后来由于和世界反病毒业接轨统称为“反病毒软件” (anti-virus software, AVS) 或“安全防护软件” (safe-defend software, SDS)。近年来陆续出现了集成防火墙的“互联网安全套装”、“全功能安全套装”等。国内著名的杀毒软件有瑞星杀毒软件、金山毒霸、360 安全卫士等，国外的有卡巴斯基、诺顿、NOD32 等。

(3) 计算机辅助软件。利用计算机的某些特点为人类从事的工作提供辅助的软件称为计算机辅助软件，如计算机辅助设计 (CAD)、计算机辅助工程 (CAE)、计算机辅助制造 (CAM)、计算机辅助教学 (CAI) 等。其中计算机辅助设计技术为近 20 年来最具成效的工程技术之一。由于计算机有快速的数值计数、较强的数据处理以及模拟能力，因此目前在汽车、飞机、船舶、超大规模集成电路等设计制造过程中，CAD 占据着越来越重要的地位。计算机辅助设计软件能高效率地绘制、修改和输出工程图纸，设计中的常规计算可帮助设计人员寻找较好的方案，设计周期大幅度缩短而设计质量却大为提高。

(4) 实时控制软件。实时控制系统是指能对受控对象的状态保持连续监控，对状态的变化趋势迅速作出判断，并在这种变化尚未超越正常范围的情况下实时控制响应的系统。实时控制系统可以用于随时收集被控制对象的运行状态信息，并能自动的实施控制，安全准确地完成任务。

1.4.3 计算机的主要性能指标

计算机的性能指标反映着计算机的能力，但是一台个人计算机功能的强弱或性能的好坏，不是由某个单项指标来决定，而是由它的指令系统、硬件型号、软件配置等多方面的因素综合决定的。对于不同用途的计算机，其对不同部件的性能指标要求有所不同。对于用作科学计算的计算机，其对主机的运算速度要求很高；对于用作大型数据库处理的计算机，其对主机的内存容量、存取速度和外存储器的读写速度要求较高；对于用作网络传输的计算机，则要求其有很高的输入/输出（input/output, I/O）速度，因此应当有高速的 I/O 总线和相应的 I/O 接口。虽然不同用途的计算机对于各指标的要求有所不同，但是字长、运算速度、主频、外频、倍频、主存容量、外存储器的容量等计算机指标是大多数用户可以参考的，了解这些概念是非常有必要的。

1. 字长

字长指 CPU 在一个时间单元内一次性能直接处理的二进制数据位数。在其他指标相同时，字长越大计算机处理数据的速度就越快，它直接关系到计算机处理数据的能力。字长由微处理器对外数据通路的数据总线条数决定。字长直接反映了一台计算机的计算精度，为适应不同的要求及协调运算精度和硬件造价间的关系，大多数计算机均支持变字长运算，即机内可实现半字长、全字长（或单字长）和双倍字长运算。常见的微机字长有 8 位、16 位、32 位，早期的微型计算机的字长一般是 8 位和 16 位。前几年使用的 Intel 奔腾系列的处理器的微机大多数是 32 位。现在个人电脑已经进入 64 位时代。

2. 运算速度

运算速度是衡量计算机性能的一项重要指标，它是指计算机每秒所能执行的指令条数，一般用单字长定点指令平均执行速度（million instructions per second, MIPS）为单位，读作“百万条指令每秒”。由于计算机执行不同的指令所需的时间不同，因此运算速度有不同的计算方法。过去常用每秒可完成多少次加法运算来表示，现在则用每秒执行多少百万条指令来表示。2013 年 6 月 17 日，国际 TOP500 组织公布最新全球超级计算机 500 强排行榜榜单，中国国防科学技术大学研制的“天河二号”以每秒 33.86 千万亿次的浮点运算速度成为全球最快的超级计算机。2016 年 6 月问世的“神威·太湖之光”系统峰值性能为每秒 12.5 亿亿次，持续性能每秒 9.3 亿亿次，超越了“天河二号”。2022 年 10 月 9 日，“天河”新一代超级计算机系统双精度浮点峰值计算性能达 200 pFLOPS，相当于每秒进行 20 亿亿次计算。

3. 主频

主频是指微型计算机 CPU 在单位时间（1 秒）内所产生的脉冲个数，又称为 CPU 时钟频率，单位是 GHz。很多人认为 CPU 的主频就是其运行速度，其实不然。CPU 的主频表示在 CPU 内数字脉冲信号震荡的速度，与 CPU 实际的运算能力并没有直接关系。由于主频并不直接代表运算速度，所以在一定情况下，很可能会出现主频较高的 CPU 实际运算速度较低的现象。主频的大小在一定程度上反映了计算机的性能，提高 CPU 工作主频主要受到生产工艺的限制。由于 CPU 是在半导体硅片上制造的，硅片上的元件需要导线进行连接，高频状态下要求导线越细越短越好，这样才能减小导线分布以及电容等杂散干扰以保证 CPU 运算正确，因此制造工艺的限制，是 CPU 主频发展的最大障碍之一。

4. 外频

外频是指系统总线的工作频率，也是各种外部设备如主板、硬盘、显卡等的工作频率。由于内存

速度、主板速度大大低于 CPU 的运行速度，为了能够与内存、主板等保持一致，CPU 在与外部设备通信时只好降低自己的速度，这就是外频。外频是由主板为 CPU 提供的基准时钟频率。正常情况下 CPU 总线频率与内存总线频率相同，所以当 CPU 外频提高后，与内存之间的交换速度也相应提高，这对提高计算机整体运行速度影响较大。

5. 倍频

倍频是 CPU 的主频与外频之间的一个比值，即主频 = 外频 × 倍频。在倍频一定的情况下，要提高 CPU 的速度可通过提高 CPU 的外频来实现；在外频一定的情况下，提高倍频也可实现。有些 CPU 的主频可以超过它的标准工作频率，通过提高外频和倍频来提高系统的性能，这就是习惯上称的“超频”。但是超频会导致 CPU 的功耗增加，使 CPU 工作温度升高，甚至损坏 CPU。

6. 主存容量

主存容量简称内存。主存容量是指主存储器能够存储信息的总字节数，它反映了内存储器存储数据的能力，存储容量越大，其处理数据的范围就越广，能处理的数据量就越庞大，系统功能就越强。内存是 CPU 可以直接访问的存储器，需要执行的程序与需要处理的数据就存放在内存中。内存储器容量的大小反映了计算机即时存储信息的能力，一般以 MB、GB 为单位。随着操作系统的升级、应用软件不断丰富及其功能的不断扩展，人们对计算机内存容量的需求也不断提高。目前，运行 Windows 11 至少需要 4 GB 的 RAM，并且建议用户至少拥有 8 GB 的 RAM 和 512 GB 的硬盘。

7. 外存储器的容量

外存储器容量通常是指硬盘容量（包括内置硬盘和移动硬盘）。外存储器是内存储器的扩充，它的存储容量大、价格低，但存储速度慢，一般用来存放大量暂时不用的程序、数据和中间结果，需要时可成批的与内存进行信息交换。外存只能与内存交换信息，不能被计算机系统的其他部件直接访问。外存储器容量越大，可存储的信息就越多，可安装的应用软件就越丰富。目前，硬盘容量一般为 500 GB 至 2 TB。

以上只是一些主要性能指标，除了这些，微型计算机还有一些其他指标，如所配置外围设备的性能指标以及所配置系统软件的情况等。另外，各项指标之间也不是彼此孤立的，在实际应用时应该把它们综合起来考虑，而且要遵循“性能价格比”原则。

1.4.4 计算机的工作原理

1946 年冯·诺依曼提出了存储程序原理，奠定了计算机的基本结构和工作原理，按此原理设计的计算机称为冯·诺依曼结构计算机。尽管计算机经历了多次更新换代，但到目前为止人们使用的计算机不管是巨型机、小型机，还是微型计算机、掌上计算机，都属于冯·诺依曼结构计算机。冯·诺依曼结构计算机具有以下基本特征。

- (1) 用二进制数表示程序和数据。
- (2) 能存储程序和数据，并能自动控制程序的执行。
- (3) 指令在存储器中按执行顺序存放，由指令计数器指明要执行的指令所在的单元。
- (4) 具备运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备 5 个基本部分。

在这 5 个部分中运算器发挥着巨大作用，冯·诺依曼结构计算机以运算器为核心，在运算器周围

连接着其他部件，经由导线在各部件之间传送信息。这些信息可分为两大类：数据信息和控制信息。数据信息包括数据、地址、指令等，可存放在存储器中；控制信息由控制器根据指令译码结果即时产生，并按一定的时间次序发送给各个部件，用以控制各部件的操作或接收各部件的反馈信号。

随着计算机技术的发展，我们追求性能更加完美的计算机，以冯·诺依曼原理设计的计算机逐渐不能满足我们的要求，我们将突破这种结构去研发新型的计算机，其性能大幅度提高，满足更多人的要求。虽然在这个方面我们才刚刚起步，但是它的前景是非常广阔的。

现代计算机的基本工作原理即“存储程序”“程序控制”原理。计算机系统预先将编好的程序和原始数据通过输入设备输送到计算机内存储器中，在执行程序时，计算机按照程序编写的要求，一步一步取出指令加以分析并在控制器的指挥下自动地进行数据的快速计算，如此循环下去直到遇到程序结束指令时才停止工作。上面的执行过程可以归结为以下几步。

- (1) 控制器控制输入设备将数据和程序从输入设备输入到内部存储器中。
- (2) 在控制器指挥下，从存储器中取出指令送入指令寄存器。
- (3) 控制器对指令寄存器中的指令进行分析，指挥运算器、存储器执行指令规定的操作。
- (4) 由操作控制线路发出完成该操作所需要的一系列控制信息，去完成该指令所要求的操作。程序计数器加 1 或将转移地址送入程序计数器，然后回到步骤 2，如此反复，直到程序结束。

总的来说计算机的自动运行和处理实际上是执行预先储存在机器内存中的程序的过程。而计算机程序是人用程序语言编写的，其实质是指令的有序序列，程序的执行过程实际上是依次执行其中各条指令的过程。指令的执行是通过计算机硬件实现的，硬件提供的机制是对每一条指令都能进行取出指令、分析指令、执行指令的操作，并为取出下一条指令做好准备，直到该程序的指令全部执行完毕。

计算机系统的各个部件能够有条不紊地协调工作，全部是在控制器的控制下完成的。冯·诺依曼计算机的工作原理如图 1-12 所示。

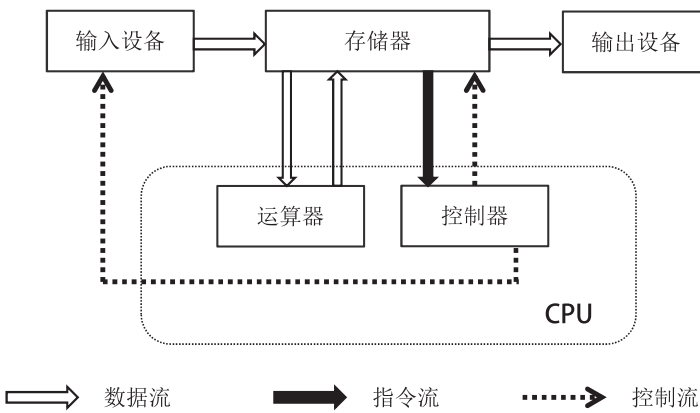


图 1-12 冯·诺依曼计算机的工作原理