

高等学校计算机类课程应用型人才培养规划教材

计算机组成与结构

Computer Architecture and Organization

张瑜 编著



高等学校计算机类课程应用型人才培养规划教材

计算机组成与结构

张 瑜 编著
孙德文 主审

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

“计算机组成”是计算机科学与技术专业的核心课程。本书全面、系统地介绍了计算机的组成与结构,以及当代计算机新技术。具体内容包括计算机系统概论、运算方法和运算部件、指令系统、控制器部件、存储系统、输入/输出(I/O)设备、输入/输出(I/O)系统、流水线技术、多核技术、并行计算机体系结构等。

本书可作为计算机及相关专业本科生“计算机组成”或“计算机体系结构”课程的教科书,也可作为计算机学科及相关领域工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机组成与结构 / 张瑜编著. --北京: 中国铁道出版社, 2011. 8
高等学校计算机类课程应用型人才培养规划教材
ISBN 978-7-113-12691-9

I. ①计… II. ①张… III. ①计算机体系结构—高等学校—教材 IV. ①TP303

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第053125号

书 名: 计算机组成与结构

作 者: 张 瑜 编著

策划编辑: 严晓舟

责任编辑: 周海燕

特邀编辑: 王 惠

封面设计: 付 巍

版式设计: 李 路

读者热线电话: 400-668-0820

编辑助理: 包 宁

封面制作: 白 雪

责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(北京市宣武区右安门西街8号 邮政编码: 100054)

印 刷: 三河市华丰印刷厂

版 次: 2011年8月第1版 2011年8月第1次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 13.25 字数: 310千

印 数: 3000册

书 号: ISBN 978-7-113-12691-9

定 价: 22.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材研发中心批销部联系调换。

编 审 委 员 会

主 任：何新贵 教授、中国工程院院士 (北京大学)

副主任：(按姓氏笔画排序)

刘瑞挺 教授 (南开大学)
罗晓沛 教授 (中国科学院研究生院)
岳丽华 教授 (中国科学技术大学)
周广声 教授 (上海海事大学)
徐洁磐 教授 (南京大学)

委 员：(按姓氏笔画排序)

王 浩 教授 (合肥工业大学)
王晓峰 教授 (上海海事大学)
史九林 教授 (南京大学)
白晓颖 教授 (清华大学)
刘 强 副教授 (清华大学)
许 勇 教授 (安徽师范大学)
孙志挥 教授 (东南大学)
李龙澍 教授 (安徽大学)
李银胜 副教授 (复旦大学)
李盛恩 教授 (山东建筑大学)
李敬兆 教授 (安徽理工大学)
杨吉江 教授 (清华大学)
何守才 教授 (上海第二工业大学)
余 粟 副教授 (上海工程技术大学)
张 莉 教授 (北京航空航天大学)
张 瑜 教授 (上海工程技术大学)
张燕平 教授 (安徽大学)
陈世福 教授 (南京大学)
陈涵生 研究员 (上海华东计算技术研究所)
迟洪钦 副教授 (上海师范大学)
林钧海 教授 (南京航空航天大学)
金志权 教授 (南京大学)
周鸣争 教授 (安徽工程科技学院)
周根林 教授级高级工程师 (中电集团)
郑人杰 教授 (清华大学)
胡学钢 教授 (合肥工业大学)
姜同强 副教授 (北京工商大学)
徐永森 教授 (南京大学)
殷人昆 教授 (清华大学)
郭学俊 教授 (河海大学)
黄上腾 教授 (上海交通大学)
董继润 教授 (山东大学)
蔡瑞英 教授 (南京工业大学)

当前，世界格局深刻变化，科技进步日新月异，人才竞争日趋激烈。我国经济建设、政治建设、文化建设、社会建设以及生态文明建设全面推进，工业化、信息化、城镇化和国际化深入发展，人口、资源、环境压力日益加大，调整经济结构、转变发展方式的要求更加迫切。国际金融危机进一步凸显了提高国民素质、培养创新人才的重要性和紧迫性。我国未来发展关键靠人才，根本在教育。

高等教育承担着培养高级专门人才、发展科学技术与文化、促进现代化建设的重大任务。近年来，我国的高等教育获得了前所未有的发展，大学数量从1950年的220余所已上升到2008年的2200余所。但目前诸如学生适应社会以及就业和创业能力不强，创新型、实用型、复合型人才紧缺等高等教育与社会经济发展不相适应的问题越来越凸显。2010年7月发布的《国家中长期教育改革和发展规划纲要（2010—2020年）》提出了高等教育要“建立动态调整机制，不断优化高等教育结构，重点扩大应用型、复合型、技能型人才培养规模”的要求。因此，新一轮高等教育类型结构调整成为必然，许多高校特别是地方本科院校面临转型和准确定位的问题。这些高校立足于自身发展和社会需要，选择了应用型发展道路。应用型本科教育虽早已存在，但近几年才开始大力发展，并根据社会对人才的需求，扩充了新的教育理念，现已成为我国高等教育的一支重要力量。发展应用型本科教育，也已成为中国高等教育改革与发展的重要方向。

应用型本科教育既不同于传统的研究型本科教育，又区别于高职高专教育。研究型本科培养的人才将承担国家基础型、原创型和前瞻型的科学研究，它应培养理论型、学术型和创新型的研究人才。高职高专教育培养的是面向具体行业岗位的高素质、技能型人才，通俗地说，就是高级技术“蓝领”。而应用型本科培养的是面向生产一线的本科层次的应用型人才。由于长期受“精英”教育理念的支配，脱离实际、盲目攀比，高等教育普遍存在重视理论型和学术型人才培养的偏向，忽视或轻视应用型、实践型人才的培养。在教学内容和教学方法上过多地强调理论教育、学术教育而忽视实践能力的培养，造成我国“学术型”人才相对过剩，而应用型人才严重不足的被动局面。

应用型本科教育不是低层次的高等教育，而是高等教育大众化阶段的一种新型教育层次。计算机应用型本科的培养目标是：面对现代社会，培养掌握计算机学科领域的软硬件专业知识和专业技术，在生产、建设、管理、生活服务等第一线岗位，直接从事计算机应用系统的分析、设计、开发和维护等实际工作，维持生产、生活正常运转的应用型本科人才。计算机应用型本科人才有较强的技术思维能力和技术应用能力，是现代计算机软、硬件技术的应用者、实施者、实现者和组织者。应用型本科教育强调理论知识和实践知识并重，相应地其教材更强调“用、新、精、适”。所谓“用”，是指教材的“可用性”、“实用性”和“易用性”，即教材内容要反映本学科基本原理、思想、技术和方法在相关现实领域的典型应用，介绍应用的具体环境、条件、方法和效果，培养学生根据现实问题选择合适的科学思想、理论、技术和方法去分析、解决实际问题的能力。所谓“新”，是指教材内容应及时反映本学科的最新发展和最新技术成就，以及这些新知识和新成就在行业、生产、管理、服务等方面的最新应用，从而有效地保证学生“学

以致用”。所谓“精”，不是一般意义的“少而精”。事实常常告诉我们“少”与“精”是有矛盾的，数量的减少并不能直接导致质量的提高。而且，“精”又是对“宽与厚”的直接“背叛”。因此，教材要做到“精”，教材的编写者要在“用”和“新”的基础上对教材的内容进行去伪存真的精练工作，精选学生终身受益的基础知识和基本技能，力求把含金量最高的知识传承给学生。“精”是最难掌握的原则，是对编写者能力和智慧的考验。所谓“适”，是指各部分内容的知识深度、难度和知识量要适合应用型本科的教育层次、适合培养目标的既定方向、适合应用型本科学生的理解程度和接受能力。教材文字叙述应贯彻启发式、深入浅出、理论联系实际、适合教学实践，使学生能够形成对专业知识的整体认识。以上四个方面不是孤立的，而是相互依存的，并具有某种优先顺序。“用”是教材建设的唯一目的和出发点，“用”是“新”、“精”、“适”的最后归宿。“精”是“用”和“新”的进一步升华。“适”是教材与计算机应用型本科培养目标符合度的检验，是教材与计算机应用型本科人才培养规格适应度的检验。

中国铁道出版社同高等学校计算机类课程应用型人才培养规划教材编审委员会经过近两年的前期调研，专门为应用型本科计算机专业学生策划出版了理论深入、内容充实、材料新颖、范围较广、叙述简洁、条理清晰的系列教材。本系列教材在以往教材的基础上大胆创新，在内容编排上努力将理论与实践相结合，尽可能反映计算机专业的最新发展；在内容表达上力求由浅入深、通俗易懂；编写的内容主要包括计算机专业基础课和计算机专业课；在内容和形式体例上力求科学、合理、严密和完整，具有较强的系统性和实用性。

本系列教材是针对应用型本科层次的计算机专业编写的，是作者在教学层次上采纳了众多教学理论和实践的经验及总结，不但适合计算机等专业本科生使用，也可供从事IT行业或有关科学研究工作的人员参考，适合对该新领域感兴趣的读者阅读。

在本系列教材出版过程中，得到了计算机界很多院士和专家的支持和指导，中国铁道出版社多位编辑为本系列教材的出版做出了很大贡献，本系列教材的完成不但依靠了全体作者的共同努力，同时也参考了许多中外有关研究者的文献和著作，在此一并致谢。

应用型本科是一个日新月异的领域，许多问题尚在发展和探讨之中，观点的不同、体系的差异在所难免，本系列教材如有不当之处，恳请专家及读者批评指正。

“高等学校计算机类课程应用型人才培养规划教材”编审委员会
2011年1月

“计算机组成”是计算机科学与技术专业的核心课程，从课程的地位来说，它在先导课和后继课之间起着承上启下的作用。本课程对学生在本科一、二年级学到的知识和技能进行综合并予以提升，帮助学生完善专业基础理论体系，培养学生对计算机软硬件系统结构进行系统、完整、深入的思考，为学习后续的专业课程（如“嵌入式系统”、“计算机网络”等）奠定扎实的理论基础。本书根据 2006 年教育部高等学校计算机科学与技术教学指导委员会制定的《高等学校计算机科学与技术专业发展战略研究报告暨专业规范（试行）》编写，考虑到 2009 年开始将“计算机组成原理”作为全国硕士研究生统一入学考试计算机学科专业基础综合考试中的重要科目，本书力求涵盖计算机科学与技术专业教学指导委员制定的计算机科学与技术本科专业规范中对“计算机组成基础”知识体系的要求，以及全国硕士研究生统一入学考试计算机学科专业基础综合考试中“计算机组成原理”考试大纲的内容，同时把计算机组成与计算机体系结构两部分的内容有机结合，加以精简提炼，反映计算机发展最新技术，体现应用型本科教材的“用、新、精、适”原则。

本书有如下特色：

（1）结构优化、内容完整精练、重点突出。前 7 章的内容保留了传统《计算机组成原理》教材的有关运算部件、控制器、指令系统、存储系统、输入/输出设备和输入/输出系统等内容框架，并去繁从简。后 3 章介绍了流水线技术、多核技术、UEFI 等新技术。内容丰富。特别适合应用型大学学生学习《计算机组成与结构》课程的需要。

（2）先导课和后继课的衔接处理得当，避免知识点的重复。考虑到计算机中的逻辑部件在《计算机组成与结构》的先导课《数字逻辑》中已经涉及，本书不再重复。同时通过介绍汇编语言编程基础和操作系统对多核处理器的支持使读者体会到本课程与后继课程的关系，为进一步学习后续课程打下良好的基础。

（3）内容新颖，既有深度又有广度。例如在第 10 章，不仅介绍了现代计算机的体系结构，包括阵列处理机、向量处理机、多处理机的体系结构和互连结构，还介绍了并行计算机访存模型与并行计算模型。

（4）系统性强。通过本教材的学习，读者能从部件和整机的不同途径了解计算机的性能；能从计算机系统中硬件和软件的功能划分和相互关系了解计算机系统的设计；能从层次的观点来理解计算机系统的组成与结构。

全书共 10 章，内容如下：

第 1 章 主要介绍计算机发展历程、计算机硬件和软件的组成，以及计算机性能指标。

第 2 章 主要介绍运算部件，以及定点数和浮点数的加减乘除运算方法。

第 3 章 主要介绍指令系统的发展、指令格式、寻址方式、CISC 与 RISC、子程序调用和返回机制，以及汇编语言编程基础。

第 4 章 主要介绍控制器的主要功能和组成、微程序控制计算机与硬布线控制计算机及相关技术。

第 5 章 主要介绍主存储器、并行存储器、高速缓冲存储器（cache）、虚拟存储器的基

本概念和工作原理。

第6章 主要介绍输入设备、输出设备,以及硬磁盘存储器、光盘存储器、Flash Memory等辅助存储器。

第7章 主要介绍程序查询方式、程序中断输入/输出方式、DMA输入/输出方式、通道控制方式和外围处理机方式及总线结构。

第8章 主要介绍流水线基本工作原理、流水线的性能指标、流水线冲突及一些流水线技术。

第9章 主要介绍多核技术的基本概念、多核技术的架构、UEFI和操作系统对多核处理器的支持及并发多线程技术。

第10章 主要介绍SIMD计算机和MIMD计算机、网络互连,以及并行计算机访存模型与并行计算模型。

本书由上海工程技术大学张瑜编著,上海交通大学孙德文审定。在本书的编写过程中,得到了上海工程技术大学、上海交通大学、上海海事大学、南京大学等单位领导和老师的支持及本套教材编审委员会专家的指导,并得到了上海工程技术大学夏永祥老师的大力协助,上海海事大学的周广声教授为本书的出版做了大量组织工作,孙德文教授对本书进行了认真细致地审查并提出了宝贵的建议,南京大学徐洁磐教授给予作者很多启发和指导,在此一并表示衷心的感谢。

本书编者虽然多年从事“计算机组成与结构”课程的教学,但由于水平有限,加之时间仓促,书中难免有疏漏和不足之处,敬请读者和同行批评指正。

编者
2011年4月

第 1 章 计算机系统概论	1
1.1 计算机的发展历程	1
1.2 计算机的硬件	4
1.2.1 计算机硬件的组成	4
1.2.2 计算机的工作过程	7
1.3 计算机的软件	8
1.3.1 计算机系统软件	8
1.3.2 计算机应用软件	11
1.4 计算机系统的层次结构	11
1.4.1 从硬件角度划分计算机系统	11
1.4.2 从软件角度划分计算机系统	12
1.5 计算机的性能指标	12
1.5.1 吞吐量和响应时间	13
1.5.2 CPU 时钟周期和主频	13
1.5.3 每条指令平均时钟周期数 CPI 和 CPU 执行时间	13
1.5.4 MIPS 和 MFLOPS	13
1.5.5 性能评测	14
本章小结	16
习题	16
第 2 章 运算方法和运算部件	17
2.1 运算器部件	17
2.1.1 加法器	17
2.1.2 串行加法器与并行加法器	18
2.1.3 算术逻辑单元	20
2.2 定点数加减运算	21
2.2.1 定点数的表示方法	21
2.2.2 补码加减法	22
2.2.3 溢出及判别方法	24
2.3 二进制乘法运算	25
2.3.1 原码一位乘法	25
2.3.2 补码一位乘法	28
2.3.3 补码二位乘法	30
2.4 二进制除法运算	31
2.4.1 原码一位除法	31
2.4.2 补码一位除法	35

2 计算机组成与结构

2.5 浮点数的运算方法.....	36
2.5.1 浮点数的表示方法.....	36
2.5.2 浮点加减法运算.....	37
2.5.3 浮点乘除法运算.....	38
本章小结.....	40
习题.....	40
第3章 指令系统	42
3.1 指令系统概述.....	42
3.1.1 指令系统的发展.....	42
3.1.2 完善的指令系统应达到的要求.....	43
3.2 指令格式概述.....	44
3.2.1 指令格式.....	44
3.2.2 指令操作码的扩展技术.....	45
3.2.3 指令长度与字长的关系.....	47
3.3 数据表示.....	48
3.4 寻址方式.....	48
3.4.1 隐含寻址.....	49
3.4.2 立即数寻址方式.....	49
3.4.3 直接寻址方式.....	49
3.4.4 寄存器寻址方式.....	49
3.4.5 间接寻址方式.....	50
3.4.6 变址寻址方式.....	51
3.4.7 相对寻址方式.....	51
3.4.8 基址寻址.....	51
3.5 指令的分类.....	52
3.5.1 数据传送指令.....	52
3.5.2 算术逻辑运算指令.....	52
3.5.3 移位指令.....	53
3.5.4 字符串处理指令.....	53
3.5.5 转移类指令.....	53
3.5.6 堆栈及堆栈操作指令.....	54
3.5.7 输入/输出 (I/O) 指令.....	55
3.5.8 浮点运算指令.....	56
3.5.9 向量与多处理机指令.....	56
3.5.10 控制指令.....	56
3.6 精简指令系统计算机.....	56
3.6.1 CISC 与 RISC.....	56
3.6.2 RISC 的特点.....	57
3.7 汇编语言编程基础.....	59

3.7.1	汇编语言语句行的构成	59
3.7.2	汇编语言源程序的结构	61
3.7.3	汇编语言程序设计的方法	62
	本章小结	63
	习题	63
第 4 章	控制器部件	65
4.1	计算机中的控制器	65
4.1.1	控制器的功能	65
4.1.2	控制器的组成	66
4.2	硬布线控制的计算机	67
4.2.1	组合逻辑控制信号的产生	67
4.2.2	操作控制信号产生的一般方法	68
4.2.3	硬布线控制逻辑设计过程	69
4.3	微程序控制计算机	70
4.3.1	微程序控制的基本概念	70
4.3.2	实现微程序控制的基本原理	71
4.3.3	微程序设计技术	72
4.3.4	硬布线控制与微程序控制的比较	76
4.4	Pentium 微处理器	76
4.5	控制器的控制方式	79
	本章小结	80
	习题	80
第 5 章	存储系统	83
5.1	存储器与存储系统概述	83
5.1.1	存储器分类	83
5.1.2	存储系统的层次结构	84
5.2	主存储器	85
5.2.1	主存储器的主要技术指标	85
5.2.2	读/写存储器	86
5.2.3	非易失性半导体存储器	88
5.2.4	半导体存储器的组成与控制	89
5.3	并行存储器	91
5.3.1	单体多字并行存储器	91
5.3.2	多体交叉存储器	92
5.4	高速缓冲存储器	93
5.4.1	cache 工作原理	93
5.4.2	cache 的一致性问题的	95
5.4.3	cache 组织	96
5.5	虚拟存储器	100

4 计算机组成与结构

5.5.1	虚拟存储器概述	100
5.5.2	段式虚拟存储器	100
5.5.3	页式虚拟存储器	100
5.5.4	段页式虚拟存储器	102
5.6	存储保护	103
	本章小结	104
	习题	105
第6章	输入/输出(I/O)设备	106
6.1	外部设备概述	106
6.2	常用输入设备	107
6.2.1	键盘	107
6.2.2	图形板	107
6.2.3	鼠标	107
6.2.4	触摸屏	108
6.2.5	图像输入设备(摄像机和数码照相机)	108
6.2.6	手写输入	108
6.3	显示器设备	108
6.3.1	显示设备种类	108
6.3.2	显示技术中的有关术语	110
6.4	打印设备	111
6.4.1	点阵针式打印机	111
6.4.2	激光打印机	112
6.4.3	喷墨打印机	113
6.4.4	热转印打字机	113
6.4.5	打印机的发展趋势	114
6.5	辅助存储器	114
6.5.1	磁表面存储器技术指标	115
6.5.2	磁记录原理与记录方式	116
6.5.3	硬磁盘存储器	121
6.5.4	光盘存储器	124
	本章小结	127
	习题	127
第7章	输入/输出(I/O)系统	129
7.1	输入/输出(I/O)系统概述	129
7.1.1	输入/输出设备的编址	129
7.1.2	I/O接口基本功能	130
7.2	程序直接控制输入/输出方式	130
7.3	程序中断输入/输出方式	131
7.3.1	有关中断的一些概念	131

7.3.2	中断处理	133
7.4	DMA 输入/输出方式	137
7.4.1	DMA3 种工作方式	137
7.4.2	DMA 控制器组成	137
7.4.3	DMA 的数据传送过程	138
7.5	通道控制方式和外围处理机	138
7.5.1	I/O 通道的种类	139
7.5.2	通道型 I/O 处理机 (IOP) 和外围处理机	140
7.6	总线结构	141
7.6.1	总线的分类	141
7.6.2	总线的结构	142
7.6.3	总线组成	143
7.6.4	总线标准	146
7.6.5	外设接口	148
	本章小结	151
	习题	151
第 8 章	流水线技术	152
8.1	流水线的概念	152
8.1.1	流水线基本工作原理	153
8.1.2	流水线的性能指标	154
8.2	流水线冲突	157
8.2.1	数据冲突	157
8.2.2	结构冲突	157
8.2.3	控制冲突	158
8.3	流水线技术简介	158
8.3.1	指令级并行技术	159
8.3.2	超标量流水线技术	160
8.3.3	超级流水线技术	161
8.3.4	VLIW 流水线技术	161
8.3.5	EPIC 技术	163
8.3.6	循环级并行技术	163
	本章小结	164
	习题	164
第 9 章	多核技术	165
9.1	多核技术的基本概念	165
9.2	多核处理器的架构	166
9.2.1	PWRficient 处理器的架构	166
9.2.2	Sun 公司的 UltraSPARC T1	167
9.2.3	IBM Cell 的架构	169

6 计算机组成与结构

9.2.4	Many Core X86 处理器架构	169
9.2.5	HyperTransport 协处理器系统架构	171
9.3	对多核处理器的支持	174
9.3.1	固件	174
9.3.2	EFI 对多核处理器的支持	174
9.3.3	操作系统对多核处理器的支持	175
9.4	并发多线程技术	176
9.4.1	进程	176
9.4.2	线程	177
9.4.3	并发多线程技术	177
	本章小结	180
	习题	180
第 10 章	并行计算机体系结构	181
10.1	SIMD 计算机和 MIMD 计算机	181
10.1.1	计算机体系结构分类	181
10.1.2	SIMD 并行处理机系统（阵列处理机系统）	182
10.1.3	多处理机系统（MIMD 计算机）	183
10.2	互连网络	186
10.2.1	互连网络的基本概念	186
10.2.2	静态网络	187
10.2.3	动态网络	187
10.2.4	网络的互连函数	187
10.3	并行计算机访存模型与并行计算模型	191
10.3.1	并行计算机访存模型	191
10.3.2	并行计算模型	191
10.3.3	存储一致性模型	193
	本章小结	196
	习题	196
	参考文献	198

第 1 章 计算机系统概论

本章导读

本章重点介绍计算机的发展历程和发展方向,计算机硬件和软件的组成,计算机系统的层次结构,以及计算机的一些性能指标。

本章内容要点:

- 计算机的发展历程;
- 计算机的硬件;
- 计算机的软件;
- 计算机系统的层次结构;
- 计算机的性能指标。

学习目标

一般只要求对本章内容作认识性了解,通过学习,读者应该能够:

- 对整个计算机系统有初步了解;
- 能从层次的观点来认识计算机系统。

1.1 计算机的发展历程

现代计算机问世之前,计算机的发展经历了机械式计算机、机电式计算机和萌芽期的电子计算机 3 个阶段。早在 17 世纪,欧洲一批数学家就已开始设计和制造以数字形式进行基本运算的数字计算机。1642 年,法国数学家帕斯卡采用与钟表类似的齿轮传动装置,制成了最早的十进制加法器。1678 年,德国数学家莱布尼兹制成的计算机进一步解决了十进制数的乘、除运算。英国数学家巴贝奇在 1822 年制作差分机模型时提出一个设想,每次完成一次算术运算,将发展为自动完成某个特定的完整运算过程。1884 年,巴贝奇设计了一种程序控制的通用分析机,这台分析机虽然已经描绘出有关程序控制方式计算机的雏形,但限于当时的技术条件而未能实现。巴贝奇在 1941 年制成的全自动继电器计算机 Z-3,已具备浮点计数、二进制运算、数字存储地址的指令形式等现代计算机的特征。在美国,1940—1947 年期间,也相继推出了继电器计算机 MARK-1、MARK-2、Model-1、Model-5 等。不过,继电器的开关速度大约为百分之一秒,使计算机的运算速度受到很大限制。

2 计算机组成与结构

按所用的器件不同，现代计算机的发展经历了电子管时代、晶体管时代、集成电路时代、大规模集成电路时代等几个不同的发展阶段。

1. 第一代电子管计算机（1946—1957年）

1946年2月14日，标志现代计算机诞生的ENIAC（Electronic Numerical Integrator and Computer）在费城公诸于世，ENIAC是计算机发展史上的里程碑。ENIAC由美国政府和宾夕法尼亚大学合作开发，使用了近18 000个电子管，70 000个电阻器，有5百万个焊接点，功耗为174 kW，其运算速度为每秒5 000次加法运算或每秒400次乘法运算。第一代计算机的特点是操作指令是为特定任务而编制的，每种机器有各自不同的机器语言，功能受到限制，速度也慢；其另一个明显特征是使用真空电子管和磁鼓存储数据。

在研制ENIAC计算机的同时，冯·诺依曼（von Neumann）与莫尔小组合作研制EDVAC（Electronic Discrete Variable Automatic Computer），它使用机器语言编程，可以存储程序和数据并自动处理数据，存储和处理信息的方法开始发生革命性变化，其后开发的计算机都采用这种方式，称为冯·诺依曼计算机。一般认为冯·诺依曼机具有如下基本特点：

- ① 计算机由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备5部分组成。
- ② 采用存储程序的方式，程序和数据放在同一个存储器中，指令和数据一样可以送到运算器运算，即由指令组成的程序是可以修改的。
- ③ 数据以二进制码表示。
- ④ 指令由操作码和地址码组成。
- ⑤ 指令在存储器中按执行顺序存放，由指令计数器（即程序计数器PC）指明要执行的指令所在的单元地址，指令一般按顺序执行，但可按运算结果或外界条件而改变。
- ⑥ 计算机以运算器为中心，输入/输出设备与存储器间的数据传送都通过运算器。

第一代计算机以1946年ENIAC的研制成功为标志。典型的计算机除了EDVAC外，还有1951年问世的UNIVAC，它因准确预测了1952年美国大选艾森豪威尔的获胜，得到社会各阶层的认识和欢迎；1953年，IBM公司生产了第一台商业化的计算机IBM701，使计算机向商业化迈进。

2. 第二代晶体管计算机（1958—1964年）

1948年，晶体管的发明使其代替了体积庞大的电子管，电子设备的体积不断减小。1956年，晶体管运用于计算机中，晶体管和磁心存储器导致了第二代计算机的产生。第二代计算机体积小，速度快，功耗低，性能比第一代计算机更稳定，打印机、磁带、磁盘开始使用。1960年，出现了一些成功用于商业领域、大学和政府部门的第二代计算机。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。这一时期的高级语言有COBOL、FORTRAN等，它们使人们更容易编制计算机程序。新的职业（程序员、分析员和计算机系统专家）和整个软件产业由此诞生。

这个时期典型的计算机有IBM公司生产的IBM7094和CDC（Control Data Corporation，控制数据公司）生产的CDC1640等。但是，第二代计算机的输入/输出设备很慢，无法与主机的计算速度相匹配。这个问题在第三代计算机中得到了解决。

3. 第三代中小规模集成电路计算机（1965—1971年）

1958年德州仪器的工程师Jack Kilby发明了集成电路（IC），将3种电子元件结合到一片小的硅片上。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。这一时期的计算机发展还包括出现了操作系统，使得计算机在操作系统的控制协调下可以同时运行许多不同的程序。

第三代计算机以 IBM 公司研制成功的 360 系列计算机为标志。这一时期的内存储器使用半导体存储器，淘汰了磁心存储器，使存储容量和存取速度有了大幅度的提高；出现了键盘作为输入设备，使用户可以直接访问计算机；出现了显示器作为输出设备，可以向用户提供即时响应。

为了满足中小企业与政府机构日益增多的计算机应用，第三代计算机出现了小型计算机。1965 年，DEC (Digital Equipment Corporation, 数字设备公司) 推出了第一台商业化的以集成电路为主要器件的小型计算机 PDP-8。

4. 第四代大规模和超大规模集成电路计算机 (1972 年到现在)

第四代计算机以 Intel 公司研制的第一代微处理器 Intel 4004 为标志。这一时期的计算机最为显著的特征是使用了大规模集成电路和超大规模集成电路。大规模集成电路 (Large Scale Integrated Circuits, LSI), 在一个芯片上可以容纳几百个元件；超大规模集成电路 (Very Large Scale Integrated Circuits, VLSI), 在一个芯片上可以容纳几十万个元件，后来的甚大规模集成电路 (Ultra Large Scale Integrated Circuits, ULSI) 将数字扩充到百万级。可以在一个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。20 世纪 70 年代中期，计算机制造商开始将计算机带给普通消费者，这时的小型计算机带有界面友好的软件包，包括供非专业人员使用的程序和最受欢迎的字处理和电子表格程序。1977 年，苹果计算机公司成立，并先后成功开发了 Apple-I 型和 Apple-II 型微型计算机。1980 年，IBM 公司与微软公司合作，为微型计算机 IBM PC 配置了专门的操作系统。从 1981 年开始，IBM 连续推出 IBM PC、PC/XT、PC/AT 等机型。时至今日，奔腾系列的微处理器应运而生，使得现在的微型计算机体积越来越小，性能越来越强，可靠性越来越高，价格越来越低。与 IBM PC 竞争的是 Apple Macintosh，Apple 公司提出了研制第五代计算机即智能计算机的设想，于 1984 年推出的 Macintosh 提供了友好的图形界面，用户可以用鼠标方便地操作计算机。

5. 第五代计算机

对于第五代计算机，日本在 1981 年 10 月首先提出知识信息处理系统 (Knowledge Information Processing System, KIPS)，即第五代计算机发展计划，在世界上引起了极大反响。日本提出的这项发展计划之所以能让人们如此重视，而且形成了各发达国家互相竞争的局面，主要是因为第五代计算机的研究将是对前 4 代计算机的彻底变革，第五代计算机不仅要用到人工智能的有关理论和技术，而且还将涉及通信技术、仿生学等多种高科技学科，对它的研究将会促进这些学科的发展，推动整个新技术革命的进程。谁能在这场竞争中取胜，谁就有可能引领技术进步的新潮流。因此它不仅在科技进步方面具有重要意义，而且对政治、经济、军事等都会产生深远的影响。然而日本人低估了人工智能的难度，日本发起的为期 10 年的第五代计算机研制计划，在投入 10 亿美元后不了了之。不过，西方发达国家和一些发展中国家把人工智能作为重中之重。

智能计算机技术还很不成熟，现主要在做模式识别、知识处理及开发智能应用等方面的工作。目前的智能计算研究水平暂时还很难使“智能机器”真正具备人类的常识，如分辨人们的音容笑貌，当然也就更谈不上产生属于机器自身的“自我意识”。不仅可以实现目标，而且可以自行制定目标的智能机器何时诞生，取决于智能计算的进一步发展。尽管目前取得的成果离