



工程教育系列教材

教育部CDIO工程教育试点教材

单片微型计算机原理 及接口技术

■ 主 编 郑郁正

■ 副主编 孟 芳 文 斌



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

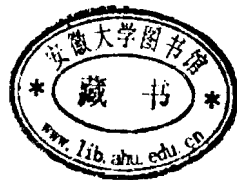


工程教育系列教材
教育部CDIO工程教育试点教材

单片微型计算机原理 及接口技术

Danpian Weixing Jisuanji Yuanli ji Jiekou Jishu

■ 主 编 郑郁正
■ 副主编 孟 芳 文 斌
■ 参 编 赵 建 彭海涛 马尚昌 余 勇



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书主要讲述了单片微型计算机原理及其接口技术, 主要内容包括单片微型计算机的硬件组成及工作原理、单片微型计算机的组成结构、汇编语言编程方法、单片微型计算机接口的应用技术以及 8086 微型计算机体系结构。

本书以能力培养为导向, 以实际单片微型计算机的应用问题为导引叙述其应用原理、基本理论和基本方法, 使读者带着问题学习知识, 在解决问题的过程中掌握编程控制接口电路的方法, 提高知识的应用能力, 并使创造性精神潜移默化在问题答案的寻求过程中, 使读者充分体会到发现的乐趣。

本书可作为电子信息类、自动化类和计算机类等有关专业的本科生教材或教学参考书, 也可供有关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

单片微型计算机原理及接口技术 / 郑郁正主编. --
北京 : 高等教育出版社, 2012.7
ISBN 978-7-04-034586-5

I. ①单… II. ①郑… III. ①单片微型计算机-理论
- 高等学校-教材②单片微型计算机-接口技术-高等学校-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字 (2012) 第096253号

策划编辑	欧阳舟	责任编辑	高云峰	封面设计	李卫青	版式设计	马敬茹
责任校对	胡美萍	责任印制	尤 静				

出版发行	高等教育出版社	咨询电话	400-810-0598
社 址	北京市西城区德外大街4号	网 址	http://www.hep.edu.cn
邮政编码	100120		http://www.hep.com.cn
印 刷	北京铭成印刷有限公司	网上订购	http://www.landraco.com
开 本	787 mm × 1092 mm 1/16		http://www.landraco.com.cn
印 张	19	版 次	2012年7月第1版
字 数	460千字	印 次	2012年7月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	29.80元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究
物 料 号 34586-00

工 程 教 育 系 列 教 材

——教育部 CDIO 工程教育试点教材

编审委员会

顾 问 李茂国 顾佩华

主 任 委 员 周定文

副主任委员 谢明元 陆小华

委员(按姓氏笔画)

王天宝	王建波	巨 辉	包能胜
朱 明	何 晋	何建新	吴四九
杨 玲	杨明欣	赵永生	熊光晶

总序

近年来,针对工程教育与产业需求严重脱节等问题,我国各高等学校积极探索工程教育的新模式,力争从教育观念、目标、内容到方法对工程教育进行整体改革。教育部推进的“卓越工程师教育培养计划”和 CDIO 工程教育模式试点,旨在“面向工业界、面向未来、面向世界”培养造就一大批创新能力强、适应经济社会发展需要的后备工程师,引导各高等学校积极探索工程人才培养的规律,为建设创新型国家、实现工业化和现代化奠定坚实的人力资源基础。

CDIO(Conceive, Design, Implement, Operate)工程教育模式是由美国麻省理工学院会同瑞典三所著名大学倡导,与工业界共同合作创建的工程教育模式,并获得 2011 年度美国国家工程院(NAE)颁布的“戈登奖”。这种模式强调工程教育必须回归工程,坚持工程人才“知识、能力、素质”的协调发展,着重基础知识、个人能力、人际团队能力和工程系统能力等四个层面的能力培养,突破了传统的以学科知识传授为主的人才培养模式,更加适应产业界对工程人才的需求。CDIO 模式与工程专业认证的华盛顿协议(EC2000)具有高度的一致性。

我们在长期的 CDIO 工程教育改革过程中,组织编写了一批适应 CDIO 模式的教材,通过试用与修订,拟在统一规划的基础上正式出版。本系列教材在编写过程中,贯彻实施工程教育一体化改革的思路,将理论与实践有机结合、课内与课外有机结合、知识传授与能力培养有机结合、学习习惯与创新思维培养有机结合,实现知识、能力、素质的一体化培养,提高学生综合应用系统知识的能力。在注重学科知识体系完整的同时,特别强调知识的应用和工程问题分析,力求做到将理论学习和工程应用集成于同一学习空间,通过基于案例的、基于问题的和基于工程项目的驱动,使学生提高学科知识学习的目的性和应用能力。教材采用基本原理结合典型工程应用实例的结构,以学生理解与应用知识为目标,精选内容、引入新技术,将配套实验与能力培养统筹考虑,突出工程应用能力的培养。每章有贯穿始终的典型工程应用案例,有目标设定、目标测评、思考题、实践与提高、工程训练项目和习题,并有小结和英文术语表。

根据试用情况,我们首先出版《电路分析基础》、《模拟电子技术基础》、《数字逻辑设计基础》、《信号与系统》、《单片微型计算机原理及接口技术》五本教材。因为编写中突破了原有教材的模式,编写者感到具有很大的挑战,我们欢迎使用这套教材的读者及时向我们提出意见与建议,以便我们今后对教材进行修订和完善。

CDIO 系列教材的编写,始终得到教育部高等教育司理工处和教育部 CDIO 试点工作组的关注与支持,并得到高等教育出版社的大力帮助,我们在此表示衷心的感谢。

“工程教育系列教材——教育部 CDIO 工程教育试点教材”编审委员会

2011 年 12 月于成都

前言

微型计算机是当代发展最快的技术领域,“微型计算机原理”课程的教学经历了以 Z80 及 8086/8088 作为课程主讲芯片的不同阶段。由于技术的发展,8086/8088 现在已没有太大实用价值,同时作为应用性很强的课程,以 8086 作为主讲机型的课程存在实验教学和实际应用脱节以及教学效果不理想的问题。实际工程应用中,更注重对主流应用 CPU(如单片机、ARM、DSP)的掌握程度,这要求高校高质量开设单片机课程,由此也造成当前普遍存在的单片机系列课程课时偏重,学习效果不佳等弊端。鉴于此,编者认为有必要对“微型计算机原理”、“微型计算机接口与应用”、“单片机原理与应用”课程内容进行整合,并合并相关课程,达到在有限学时条件下,理解微型计算机原理及结构,熟悉一款有应用价值、带有普遍性 CPU 原理及应用的教學目的。

本书内容安排上以 51 单片机为主讲机型,保证学生对单片机技术的熟练应用,并安排一定内容介绍基于 8086/8088 微型计算机架构等相关的 PC 概念(不讲 8086 汇编)知识。这种安排的合理性在于,51 系列单片机有完整的三总线结构,同时,51 系列单片机和 8086/8088 系列单片机均为 Intel 公司的芯片,体系结构及总线方式相近,常用接口芯片的应用相同,均可以构成完整的计算机系统。同时,51 系列单片机不断有新型兼容芯片面世,实用性强,易于做到软硬结合、学用结合。

本书作为 CDIO 工程教育改革系列教材之一,参考了教育部“卓越工程师教育培养计划”的实施原则,突出基本理论与实际应用的结合。教材主要特点有:(1)适应了微型计算机原理、微型计算机接口、单片机课程合并的教学改革要求;(2)引入 Proteus 仿真软件及 Keil 编译软件,拓展了学习的空间,提高了学习效果;(3)强调具体工程案例分析,应用实例力求完整,做到和实际工程应用无缝连接;(4)所有的实例均用 C51 和 51 汇编并列编程,通过汇编熟悉 CPU 内部结构原理,通过 C51 促进工程应用,也方便了读者的对照学习。

本书由郑郁正主编,第一、二章由孟芳编写,第三章由赵建编写,第四、五章由马尚昌编写,第六、七章由文斌编写,第八章由郑郁正编写,第九章由彭海涛编写,第十章由余勇编写。杨明欣老师在编写过程中提出了大量的修改意见。本书的统稿、审校由郑郁正和孟芳负责完成。

本书将微型计算机原理、汇编语言程序设计、接口技术、单片机原理与应用等内容整合在一起,可作为本科及专科院校“微机原理及接口技术”、“汇编语言程序设计”、“单片机原理及其应用”、“单片机原理与接口技术”等相关课程的教材和参考资料。

本书编写中得到了学校教务处的大力支持和帮助,也征求了部分 CDIO 试点学校相关专业老师的意见,在此表示衷心感谢。本书虽经多次讨论、试用并反复修改,但因时间仓促及作者水平有限,不当之处在所难免,敬请广大读者批评指正。请将您在阅读本书过程中的意见和建议反馈至 mengf@cuit.edu.cn。

编者

2011 年 10 月于成都

目录

第一章 微型计算机的基础知识	1
本章目标	1
引言	1
1.1 微型计算机概述	1
1.1.1 微型计算机的发展史	1
1.1.2 微型计算机的分类	5
1.1.3 微型计算机的应用	6
目标测评 1	7
1.2 微型计算机系统模型	7
1.2.1 微型计算机系统的三个层次	7
1.2.2 微型计算机模型结构	9
1.2.3 微型计算机的工作过程	14
1.2.4 微型计算机的性能指标	16
目标测评 2	18
1.3 计算机中的数和编码	18
1.3.1 计算机中数的表示及运算	18
1.3.2 计算机中常用的编码	21
目标测评 3	22
本章小结	23
习题	23
第二章 MCS-51 单片机的组成结构	24
本章目标	24
引言	24
2.1 MCS-51 单片机概述	24
2.1.1 单片机的发展史	24
2.1.2 单片机系统与嵌入式	25
2.1.3 主流单片机	26
目标测评 1	27
2.2 MCS-51 系列单片机	27
2.2.1 MCS-51 单片机的基本结构	27
2.2.2 单片机芯片引脚的定义及功能	28
目标测评 2	30

2.3 MCS-51 单片机的存储器组织	30
2.3.1 程序存储器	31
2.3.2 数据存储器	32
2.3.3 地址分配及寻址区	39
目标测评 3	42
2.4 单片机的时序和复位电路	43
2.4.1 时钟(时序)	43
2.4.2 复位	47
2.4.3 节电方式	48
目标测评 4	49
2.5 单片机的最小系统	49
目标测评 5	51
本章小结	52
习题	52
第三章 开发与仿真工具	53
本章目标	53
引言	53
3.1 Keil C51 操作入门	53
3.1.1 Keil C51 简介	53
3.1.2 Keil C51 的安装	53
3.1.3 建立第一个 Keil C51 程序	53
3.1.4 Keil C51 软件调试方法	57
3.1.5 实例	60
3.2 Proteus 软件入门	61
3.2.1 软件概述	61
3.2.2 软件界面介绍	61
3.2.3 操作简介	64
3.2.4 实例	64
目标测评	69
本章小结	69
习题	69
第四章 MCS-51 系列单片机的指令系统与汇编语言程序设计	70
本章目标	70
引言	70
4.1 概述	70
4.1.1 汇编语言的指令格式	71
4.1.2 指令中的常用符号	71
目标测评 1	72

4.2 寻址方式	72
目标测评 2	74
4.3 指令系统	74
4.3.1 数据传送指令	75
4.3.2 算术运算指令	78
4.3.3 逻辑运算指令	81
4.3.4 控制转移类指令	82
4.3.5 布尔变量操作类指令	86
目标测评 3	88
4.4 MCS-51 汇编语言伪指令	88
目标测评 4	90
4.5 汇编语言程序设计	90
4.5.1 顺序程序设计	91
4.5.2 分支程序设计	92
4.5.3 循环程序设计	95
4.5.4 查表程序设计	98
4.5.5 子程序设计	98
目标测评 5	101
本章小结	101
习题	102
第五章 MCS-51 单片机的基本 I/O 功能及应用	104
本章目标	104
引言	104
5.1 I/O 接口的输入输出特性	104
5.1.1 P1 口	105
5.1.2 P3 口	106
5.1.3 P0 口	107
5.1.4 P2 口	109
目标测评 1	110
5.2 I/O 接口的应用	110
5.2.1 BCD 拨码盘接口	111
5.2.2 流水灯控制	113
5.2.3 数码管显示器与单片机的接口	114
5.2.4 键盘与单片机的接口	120
5.2.5 I ² C 总线的应用	123
目标测评 2	130
本章小结	131
习题	131

第六章 中断系统及应用	133
本章目标	133
引言	133
6.1 概述	133
6.1.1 中断的基本概念	134
6.1.2 中断嵌套与优先级	134
6.1.3 中断的作用	135
目标测评 1	135
6.2 中断系统的结构原理与控制寄存器	136
6.2.1 中断系统的结构原理	136
6.2.2 中断系统的控制寄存器	136
目标测评 2	140
6.3 中断处理	140
6.3.1 响应中断的条件	140
6.3.2 中断响应所需的时间	140
6.3.3 中断请求标志位的清除方式	141
6.3.4 中断处理的过程	141
6.3.5 中断矢量	142
目标测评 3	144
6.4 中断服务程序与子程序	144
6.4.1 中断服务程序	144
6.4.2 子程序	145
6.4.3 中断服务程序与子程序的区别	145
6.5 外部中断的编程及应用 (INT0、INT1)	145
6.5.1 外部中断 0 的编程及应用	145
6.5.2 外部中断 1 的编程及应用	147
6.6 外部中断源的扩展	149
6.6.1 利用查询加中断的方式进行扩展	149
6.6.2 利用定时器/计数器进行扩展	150
本章小结	151
习题	151
第七章 定时器/计数器的原理和应用	153
本章目标	153
引言	153
7.1 定时器/计数器概述	153
7.1.1 定时器/计数器的结构	153
7.1.2 定时器/计数器的工作方式	154
目标测评 1	154

7.2 定时器/计数器的特殊功能控制寄存器	154
7.2.1 定时器/计数器(T0、T1)的方式控制寄存器	154
7.2.2 定时器/计数器(T0、T1)的控制寄存器	155
7.2.3 定时器/计数器 T2 的特殊功能寄存器 T2CON	156
7.2.4 定时器/计数器 T2 的控制寄存器 T2MOD	156
目标测评 2	157
7.3 定时器/计数器的各种工作模式及应用	157
7.3.1 定时器/计数器 T0、T1	157
7.3.2 门控位 GATE 的应用	172
7.3.3 综合应用举例	176
本章小结	178
习题	179
第八章 串行接口与应用	180
本章目标	180
引言	180
8.1 串行通信的基本知识	182
目标测评 1	184
8.2 MCS-51 单片机串行接口的结构与工作方式	184
8.2.1 串行接口的结构	184
8.2.2 串行接口寄存器 SCON 和电源寄存器 PCON	184
8.2.3 波特率设计	186
目标测评 2	188
8.3 串行接口的通信应用	189
8.3.1 同步移位方式(方式 0)	189
8.3.2 10 位异步方式(方式 1)	192
8.3.3 11 位异步方式(方式 2 和方式 3)	199
目标测评 3	205
8.4 PC 机的 RS-232 通信接口	206
8.4.1 RS-232 接口的电气特性	206
8.4.2 RS-232 接口的连接方式	207
8.4.3 RS-232 通信接口测试	208
本章小结	209
习题	210
第九章 单片机系统总线与资源扩展	212
本章目标	212
引言	212
9.1 单片机系统扩展原理	212
目标测评 1	213

9.2 单片机的最小应用系统	213
9.3 单片机系统扩展的方法	214
目标测评 2	216
9.4 数据存储器的扩展	216
9.4.1 数据存储器同单片机的连接	216
9.4.2 实际的数据存储器扩展电路	217
目标测评 3	222
9.5 程序存储器的扩展	222
目标测评 4	225
9.6 I/O 接口的使用与扩展	225
9.6.1 数据的传送方式	225
9.6.2 用 74LS × × 系列 TTL 芯片扩展简单的 I/O 接口	226
9.6.3 用可编程接口芯片扩展 I/O 接口	229
9.6.4 非总线方式扩展 I/O 接口	235
目标测评 5	237
9.7 数模和模数转换接口	237
9.7.1 数模转换接口	237
9.7.2 模数转换接口	242
目标测评 6	247
本章小结	248
习题	248
第十章 8086 CPU 原理与 PC 体系结构	250
本章目标	250
引言	250
10.1 8086 的 CPU	250
10.1.1 CPU 的结构	250
10.1.2 寄存器的结构	252
10.1.3 分段式存储器管理	254
10.1.4 8086 的工作模式	256
目标测评 1	257
10.2 现代 PC 机的存储器体系结构	257
10.2.1 8086 的存储器系统	257
10.2.2 现代 PC 机的存储器系统	258
10.2.3 IA - 32 结构微处理器的工作模式	259
10.2.4 保护模式下的虚拟存储器管理	260
10.2.5 外存储器	262
目标测评 2	266
10.3 8086 的系统扩展	266

10.3.1 8086 的中断系统及其扩展	266
10.3.2 8086 的 DMA 扩展	271
10.3.3 基于 8253/8254 的 PC 定时器扩展	273
目标测评 3	274
10.4 现代总线与接口	275
10.4.1 总线的基本概念	275
10.4.2 PCI 总线	279
10.4.3 USB 总线	281
目标测评 4	284
本章小结	284
习题	285
参考文献	286

第一章 微型计算机的基础知识

本章目标

通过对本章的学习，读者可以具备下述能力：

1. 了解微型计算机技术的发展历史、微型计算机的分类以及应用。
2. 掌握微型计算机系统模型及计算机工作过程。
3. 掌握计算机中数的表示及运算、计算机中的常用编码。

引言

电子计算机是 20 世纪最新的科技成就之一，而大规模集成电路的发展，为计算机的微型化提供了物质基础。微型计算机由于结构简单、通用性强、价格便宜，已成为现代计算机领域中一个极为重要的分支。微型计算机的换代，通常是按其 CPU 字长（计算机能同时处理的二进制数的位数）和典型的微处理器芯片作为各阶段的标志。本章介绍微型计算机技术的发展历史及分类、微型计算机的模型结构、微型计算机的工作原理及过程等微型计算机的基本概念，重点介绍微型计算机的系统模型，包含运算器、控制器、寄存器等部分功能介绍以及取指、译码、执行工作过程的介绍。

1.1 微型计算机概述

1.1.1 微型计算机的发展史

1945 年秋，世界上第一台全数字电子计算机（ENIAC）问世于美国宾夕法尼亚大学，于 1946 年 2 月正式向公众展示。ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator) 全称为“电子数值积分和计算机”。ENIAC 的主要构思者是宾夕法尼亚大学的约翰·W·毛赫利，ENIAC 的实现则是由研究生普雷斯珀·艾克特主持，他们两人申请并获得了专利。但在 1973 年的一场划时代的法律裁决——霍尼韦尔诉斯佩里·兰德一案中，艾克特和毛赫利的专利被判决无效，衣阿华大学的约翰·文森特·阿塔纳索夫和研究生克利夫·贝里才是真正发明者，理由是阿塔纳索夫早在 1941 年就将他对计算机的初步构想告诉给毛赫利，他们设计和实现的“阿塔纳索夫-贝利计算机”（Atanasoff-Berry Computer, 简称 ABC）才是真正的“鼻祖”。另外，在英国公开的二战期间秘密档案中，英国于 1944 年 6 月也研制成专门用于破译德军密码的电子计算机 Colossus（巨人）。

ABC 是模拟电子计算机到数字电子计算机的过渡品, 算不上“全数字”电子计算机。Colossus 则是一台专用电子计算机, 只用于破译秘密情报, 而且数十年后才向公众公布。ENIAC 由 18 000 多个电子管组成, 占地约 170 m^2 , 总重量为 30 t, 耗电 140 kW, 运算速度达到每秒能进行 5 000 次加法和 300 次乘法, 具备通用性, 能够实际解决许多复杂的计算问题, 所以 ENIAC 是计算机发展历史上的一个重要里程碑。从 ABC 开始, 人类的计算从模拟向数字迈进, 而 ENIAC 标志着计算机正式进入数字时代。

匈牙利数学家冯·诺依曼在 ENIAC 小组工作时采用了英国数学家阿伦·图灵的一些理论思想, 首先提出存储程序的概念并推广了二元逻辑, 并给出了通用电子计算机的基本架构, 这些思想被称为“冯·诺依曼结构”。六十年来, 计算机虽然经历了巨大的发展, 但仍然没有脱离冯·诺依曼结构。

此后在短短的数十年里, 随着计算机逻辑元件的不断更新, 电子计算机经历了电子管、晶体管、集成电路以及大规模、超大规模集成电路 VLSI 这 4 个阶段发展, 使计算机的体积越来越小、功能越来越强、价格越来越低、应用越来越广泛, 目前正朝智能化(第五代)计算机的方向发展。

第一代计算机(1946—1958 年)体积较大、运算速度较低、存储容量不大而且价格昂贵, 应用时所编程序的复杂程度太高, 使用极为不方便, 这一代计算机主要用于科学计算, 仅在重要部门或科学研究部门使用。

第二代计算机(1958—1965 年)全部采用晶体管作为电子器件, 其运算速度比第一代计算机提高了近百倍, 体积缩小为原来的几十分之一。在软件方面开始使用计算机算法语言。这一代计算机不仅用于科学计算, 还用于数据处理和事务处理及工业控制。

第三代计算机(1965—1970 年)的主要特征是以中、小规模集成电路为电子器件, 并且出现了操作系统, 使计算机的功能越来越强, 应用范围越来越广。这一代计算机不仅用于科学计算, 还用于文字处理、企业管理、自动控制等领域, 出现了计算机技术与通信技术相结合的信息管理系统, 可用于生产管理、交通管理、情报检索等领域。

第四代计算机是(1970 年以后)采用大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)为主要电子器件制成的计算机。例如 80386 微处理器, 在面积约为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的单个芯片上, 可以集成大约 32 万个晶体管, 运算速度为每秒几千亿次到几万亿次, 处于从数值计算和数据处理到目前进行知识处理的人工智能阶段。这一代计算机不仅可以处理文字、字符、图形图像信息, 而且可以处理音频、视频等多媒体信息。

第五代计算机将把信息采集、存储、处理、通信和人工智能结合在一起, 具有形式推理、联想、学习和解释能力。它的系统结构将突破传统的冯·诺依曼机器的概念, 实现高度的并行处理。

20 世纪 70 年代, 微处理器和微型计算机的生产和发展, 一方面是由于军事工业、空间技术、电子技术和工业自动化技术的迅速发展, 日益要求生产出体积小、可靠性高和功耗低的计算机, 这种社会的直接需求是促进微处理器和微型计算机产生和发展的强大动力; 另一方面, 由于大规模集成电路技术和计算机技术的飞速发展, 1970 年已经可以生产 1 KB 的存储器和通用异步收发器(UART)等大规模集成电路产品并且计算机的设计日益完善, 总线结构、模块结构、堆栈结构、微处理器结构、有效的中断系统及灵活的寻址方式等功能越来越强, 这为研制

微处理器和微型计算机打下了坚实的物质基础和技术基础。

大规模集成电路的发展为计算机的微型化提供了物质基础,微型计算机由于结构简单、通用性强、价格便宜,已成为现代计算机领域中一个极为重要的分支,并正以难以想象的速度向前发展。CPU 是 Central Processing Unit(中央微处理器)的缩写,是微型计算机的核心部件,其性能在很大程度上决定了微型计算机的性能,所以微型计算机的发展以微处理器的发展为标志。所谓“微型计算机”是指把大规模、超大规模集成电路为主要部件的微处理器作为核心,配以存储器、输入/输出接口电路及系统总线所制造出的计算机系统。

1971 年 1 月,美国 Intel 公司研究并制造了世界上第一块 4 位微处理器芯片 Intel 4004,标志着第一代微处理器问世,微处理器和微型计算机的时代从此开始。该芯片能同时处理 4 位二进制数,集成了 2 300 个晶体管,每秒可进行 6 万次运算,成本约为 200 美元。同年 11 月,Intel 推出了以 Intel 4004 为核心组成的 MCS-4 计算机(包括 4001 ROM 芯片、4002 RAM 芯片、4003 移位寄存器芯片和 4004 微处理器),标志了世界第一台微型计算机的诞生。此后,微型计算机大约每隔 2~4 年就更新换代一次。短短 20 多年的时间,微型计算机的发展经历了 5 代。微型计算机的换代通常是按其 CPU 字长(计算机能同时处理的二进制数的位数)和典型的微处理器芯片作为各阶段的标志。

第一代(1971—1973)是 4 位或低档 8 位微处理器和微型计算机,其代表产品是 4004 微处理器和 MCS-4 微型计算机、8 位微处理器 8008 及由它组成的 MCS-8 微型计算机。第一代微处理器芯片采用了 PMOS 工艺,字长为 4 位或 8 位,时钟频率为 1 MHz,基本指令时间约为 10~20 μs ,指令系统比较简单、运算功能较差、运算速度较慢,软件主要采用机器语言或简单的汇编语言。

第二代(1973—1978)是中档的 8 位微处理器和微型计算机,这个阶段也是微型计算机的发展和改进阶段。其间又分为两个阶段。1973—1976 年为典型的第二代,是以美国 Intel 公司的 8080 微处理器和 Motorola 公司的 MC6800 微处理器为代表,主频为 2 MHz 的 8080 微处理器的运算速度比 8008 微处理器快 10 倍,可存取 64 KB 存储器,使用了基于 6 μm 技术的 6 000 个晶体管,处理速度为 0.64 MIPS。8080 微处理器开始作为代替电子逻辑电路的器件被用于各种应用电路和设备中。1976—1978 年为高档的 8 位微型计算机和 8 位单片微型计算机阶段,被称为二代半。这一阶段高档 8 位微处理器以美国 Zilog 公司的 Z-80 和 Intel 公司的 8085 为代表,集成度和速度都比典型的第二代提高了一倍以上(Intel 8085 的集成度为 9 000 管/片)。此外,Mos 公司推出了 Mos 6502,它是 IBM PC 机问世之前世界上最流行的微型计算机 Apple2(苹果机)的 CPU。

第二代微处理器芯片采用 NMOS 工艺,集成度达到 5 000~9 000 管/片,时钟频率 2~4 MHz,平均指令执行时间为 1~2 μs ,具有多种寻址方式,指令系统完善,基本指令有 100 多条。此外,第二代微处理器芯片具有典型的计算机系统结构以及中断、DMA 等控制功能,也考虑了兼容性、接口标准化和通用性,配套的外围电路功能和种类也比较齐全。在软件方面,除了采用汇编语言外,还配有 BASIC、FORTRAN、PL/M 等高级语言及其相应的解释程序和编译程序,并在后期配上了操作系统。

第三代(1978—1981)是 16 位微处理器和微型计算机。在 70 年代后期,VLSI 技术日渐成熟,Intel 公司于 1978 年推出了主频为 4.77 MHz 的 16 位的微处理器 Intel 8086,标志着第三代

微处理器问世。8086 微处理器采用 16 位寄存器、16 位数据总线和 29 000 个 $3\text{ }\mu\text{m}$ 技术的晶体管, 数据总线宽度为 16 位, 地址总线为 20 位, 可寻址内存空间达 1 MB, 运算速度比 8 位机快 2~5 倍。同时, Intel 还生产出与 8086 微处理器相配合的数字协处理器 i8087, 这两种芯片使用相互兼容的指令集, 但 i8087 指令集中增加了一些专门用于对数、指数和三角函数等数学计算的指令, 人们将这些指令集统一称之为 x86 指令集。一年之后, Intel 公司很快又推出了内部结构与 8086 微处理器相同, 外部总线只有 8 位的准 16 位微处理器 8088, 并随后成为 16 位个人计算机的主流 CPU。8088 微处理器采用 40 针的 DIP 封装, 工作频率为 6.66 MHz、7.16 MHz 或 8 MHz, 采用现有的 8 位设备控制芯片, 包含 29 000 个 $3\text{ }\mu\text{m}$ 技术的晶体管, 可访问 1 MB 内存地址, 速度为 0.33 MIPS。同年 9 月, Motorola 推出 M68000 16 位微处理器, 它因采用了 68 000 个晶体管而得名。在 1981 年, 美国 IBM 公司将 8088 微处理器用于其研制的 PC 机中, 从而开创了全新的微型计算机时代, 其推出的个人计算机 IBM PC 和 PC/XT 形成了使用 16 位个人计算机的高潮。也正是从 8088 开始, 个人电脑(PC)的概念开始在全世界范围内发展起来。除了 8086/8088 外, Zilog 公司的 Z8000(集成度为 17 500 管/片)和 Motorola 公司的 MC68000 都是当时的高性能 16 位机。

第三代微处理器芯片采用 HMOS 高密度集成工艺技术, 集成度 2 万~7 万管/片, 时钟频率 4~8 MHz, 基本指令执行时间约为 $0.5\text{ }\mu\text{s}$, 其各个性能指标, 都比第二代微型计算机提高了一个数量级。这类 16 位微型机通常都具有丰富的指令系统, 采用多级中断系统、多重寻址方式、多种数据处理形式、段式寄存器结构及乘除运算硬件, 电路功能大为增强, 并都配备了强有力的系统软件。

1982 年, Intel 公司研制出 80286 微处理器。它是 16 位处理器中的高档产品, 在 4 个方面有显著的改进: 支持更大的内存、能够模拟内存空间、能同时运行多个任务以及提高了处理速度。80286 微处理器的最大主频为 20 MHz, 内、外部数据传输均为 16 位, 使用 24 位内存存储器的寻址, 内存寻址能力为 16 MB。80286 微处理器可工作于两种方式, 一种是实模式, 另一种是保护方式。80286 微处理器的封装是一种被称为 PGA 的正方形包装。PGA 是源于 PLCC 的便宜封装, 它有一块内部和外部固体插脚, 在这个封装中, 80286 微处理器集成了大约 130 000 个晶体管。80286 微处理器已经具备多任务系统的转换功能、存储器管理功能和多种保护机制, 并支持虚拟存储体系结构, 在当时能满足多用户和多任务系统的需要。本阶段的顶峰产品是 APPLE 公司的 Macintosh(1984 年)和 IBM 公司的 PC/AT286(1986 年)微型计算机。

第四代(1981—1992 年)是 32 位高档微处理器, 由以 Intel 公司为代表的一些世界著名半导体生产商先后推出, 其典型的产品有 Intel 公司推出的 Intel 80386、Zilog 公司推出的 Z-80 000、Motorola 公司推出的 MC68020 以及 NEC 公司的 V70 等。第三代微处理器采用高速度高集成的 CHMOS 工艺, 集成度为 1 万~50 万管/片, 时钟频率 16~33 MHz, 平均指令执行时间约 $0.01\text{ }\mu\text{s}$ 。80386 微处理器采用 6 级流水线, 使取指令、译码、内存管理、执行指令和总线访问并行操作, 具有 32 位数据总线和 32 位地址总线, 直接寻址 4 GB。此外, 第四代微处理器具有了存储保护和虚拟存储功能, 虚拟空间可达 64 TB。运算速度每秒 300 万~400 万条指令, 即 3~4 MIPS(每秒百万条指令)。由于 32 位微处理器的强大运算能力, 使 PC 的应用扩展到很多的领域, 如商业办公和计算、工程设计和计算、数据中心、个人娱乐等。80386 微处