



全国高职高专教育精品规划教材

单片机原理与应用

■ 主编 王效华 张咏梅



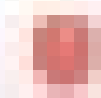
北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>



全国高等院校计算机专业规划教材

单片机原理与应用

第2版 王爱英 主编



清华大学出版社
TSINGHUA UNIVERSITY PRESS

全国高职高专教育精品规划教材

单片机原理与应用

主 编 王效华 张咏梅

副主编 吕 群 曹 伟

任艳艳 韩太东

刘长国

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以 80C51 单片机为核心,采用教、学、做相结合的教学模式,以理论够用、注重应用的原则,通过循序渐进、不断拓宽思路的方法讲述单片机应用技术所需的基础知识和基本技能。全面系统地介绍了单片机的系统结构、存储器结构、指令系统、汇编语言程序设计、定时器与中断、串行口通信、系统扩展、A/D 及 D/A 接口技术、系统设计与开发及实验实训。每章前有学习目标,后有本章小结,并配有多样性的习题。

本书阐述简洁透彻、清晰,可读性好,实例较多,程序翔实,实用性强。知识系统、全面,注重实验、实训及动手能力的培养。本书既可作为高职高专院校电子类和计算机类专业教材,也适宜于从事单片机应用的工程技术人员阅读。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

单片机原理与应用/王效华,张咏梅主编. —北京:北京交通大学出版社,2007.6
(全国高职高专教育精品规划教材)
ISBN 978-7-81123-011-6

I. 单… II. ①王… ②张… III. 单片微型计算机-高等学校:技术学校-教材
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 047882 号

责任编辑:史鸿飞

出版发行:北京交通大学出版社

电话:010-51686414

北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编:100044

印刷者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印张:21 字数:515 千字

版 次:2007 年 6 月第 1 版 2007 年 6 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-81123-011-6/TP·341

印 数:1~3 000 册 定价:31.00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。
投诉电话:010-51686043, 51686008; 传真:010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

全国高职高专教育精品 规划教材丛书编委会

主 任：曹 殊

副主任：朱光东（天津冶金职业技术学院）

何建乐（绍兴越秀外国语学院）

文晓璋（绵阳职业技术学院）

梅松华（丽水职业技术学院）

王 立（内蒙古建筑职业技术学院）

文振华（湖南现代物流职业技术学院）

叶深南（肇庆科技职业技术学院）

陈锡畴（郑州旅游职业学院）

王志平（河南经贸职业学院）

张子泉（潍坊科技职业学院）

王法能（西安外事学院）

邱曙熙（厦门华天涉外职业技术学院）

逯 侃（步长集团 陕西国际商贸职业学院）

委 员：黄盛兰（石家庄职业技术学院）

张小菊（石家庄职业技术学院）

邢金龙（太原大学）

孟益民（湖南现代物流职业技术学院）

周务农（湖南现代物流职业技术学院）

周新焕（郑州旅游职业学院）

成光琳（河南经贸职业学院）

高庆新（河南经贸职业学院）

李玉香（天津冶金职业技术学院）

邵淑华（山东德州科技职业学院）

宋立远（广东轻工职业技术学院）

孙法义（潍坊科技职业学院）

刘爱青（山东德州科技职业学院）

颜 海（武汉生物工程学院）

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分,其根本任务是培养生产、建设、管理和服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的应用型专门人才,所培养的学生在掌握必要的基础理论和专业知识的基础上,应重点掌握从事本专业领域实际工作的基础知识和职业技能,因此与其对应的教材也必须有自己的体系和特点。

为了适应我国高职高专教育发展及其对教育改革和教材建设的需要,在教育部的指导下,我们在全中国范围内组织并成立了“全国高职高专教育精品规划教材研究与编审委员会”(以下简称“教材研究与编审委员会”)。“教材研究与编审委员会”的成员所在单位皆为教学改革成效较大、办学实力强、办学特色鲜明的高等专科学校、成人高等学校、高等职业学校及高等院校主办的二级职业技术学院,其中一些学校是国家重点建设的示范性职业技术学院。

为了保证精品规划教材的出版质量,“教材研究与编审委员会”在全国范围内选聘“全国高职高专教育精品规划教材编审委员会”(以下简称“教材编审委员会”)成员和征集教材,并要求“教材编审委员会”成员和规划教材的编著者必须是从事高职高专教学第一线的优秀教师和专家。此外,“教材编审委员会”还组织各专业的专家、教授对所征集的教材进行评选,对所列选教材进行审定。

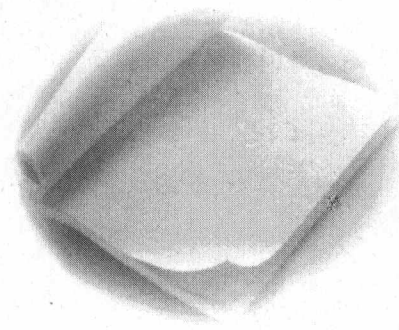
此次精品规划教材按照教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”而编写。该规划教材按照突出应用性、针对性和实践性的原则编写,并重组系列课程教材结构,力求反映高职高专课程和教学内容体系改革方向;反映当前教学的新内容,突出基础理论知识的应用和实践技能的培养;在兼顾理论和实践内容的同时,避免“全”而“深”的面面俱到,基础理论以应用为目的,以必需、够用为尺度;尽量体现新知识和新方法,以利于学生综合素质的形成和科学思维方式与创新能力的培养。

此外,为了使规划教材更具广泛性、科学性、先进性和代表性,我们真心希望全国从事高职高专教育的院校能够积极加入到“教材研究与编审委员会”中来,推荐有特色的、有创新的教材。同时,希望将教学实践的意见和建议,及时反馈给我们,以便对出版的教材不断修订、完善,不断提高教材质量,完善教材体系,为社会奉献更多更新的与高职高专教育配套的高质量教材。

此次所有精品规划教材由全国重点大学出版社——北京交通大学出版社出版,适应于各类高等专科学校、成人高等学校、高等职业学校及高等院校主办的二级技术学院使用。

全国高职高专教育精品规划教材研究与编审委员会

2007年5月



总 序

历史的年轮已经跨入了公元 2007 年,我国高等教育的规模已经是世界之最,2005 年毛入学率达到 21%,属于高等教育大众化教育的阶段。与此相对应的是促进了高等教育举办者和对人才培养的多样化。我国从 1999 年高校扩大招生规模以来,经过了 8 年的摸索和积累,当我们回头看时,发现在我国高等教育取得了可喜进步的同时,在毕业生就业方面,部分高职高专院校的毕业生依然稍显不足。近几年来,与本科毕业生相比较,就业率落后将近 20 个百分点,这不得不引起我们的思考与重视。

是什么导致高职高专院校的学生就业陷入困境?是什么破坏了高职高专院校的人才培养机制?是哪些因素使得社会给高职高专学生贴上了“压缩饼干”的标签?经过认真分析、比较,我们看到各个高职高专院校培养出来的毕业生水平参差不齐,能力飘忽不定,究其根源,不合理的课程设置、落后的教材建设、低效的教学方法可以说是造成上述状况的主导因素。在这种情况下,办学缺乏特色,毕业生缺少专长,就业率自然要落后于本科院校。

新设高职类型的院校是一种新型的专科教育模式,高职高专院校培养的人才应当是应用型、操作型人才,是高级蓝领。新型的教育模式需要我们改变原有的教育模式和教育方法,改变没有相应的专用教材和相应的新型师资队伍的现状。

为了使高职院校的办学有特色、毕业生有专长,需要建立“以就业为导向”的新型人才培养模式。为了达到这样的目标,我们提出“以就业为导向,要从教材差异化开始”的改革思路,打破高职高专院校使用教材的统一性,根据各高职高专院校专业和生源的差异性,因材施教。从高职高专教学最基本的基础课程,到各个专业的专业课程,着重编写出实用、适用于高职高专不同类型人才培养的教材,同时根据院校所在地经济条件的不同和学生兴趣的差异,编写出形式活泼、授课方式灵活、引领社会需求的教材。

培养的差异性是高等教育进入大众化教育阶段的客观规律,也是高等教育发展与社会发展相适应的必然结果。也只有使在校学生接受差异性的教育,才能充分调动学生浓厚的学习兴趣,才能保证不同层次的学生掌握不同的技能专长,避免毕业生被用人单位打上“批量产品”的标签。只有高等学校培养有差异性,毕业生才能够有特色,才会在就业市场具有竞争力,才会使高职高专毕业生的就业率大幅提高。

北京交通大学出版社出版的这套高职高专教材,是在教育部“十一五规划教材”所倡导的“创新独特”四字方针下产生的。教材本身融入了很多较新的理念,出现了一批独具匠心的教材,其中,扬州环境资源职业技术学院的李德才教授所编写的《分层数学》,教材立意很新,独具一格,提出以生源的质量决定教授数学课程的层次和级别。还有无锡南洋职业技术学院的杨鑫教授编写的一套《经营学概论》系列教材,将管理学、经济学等不同学科知识融为一体,具有很强的实用性。

此套系列教材是由长期工作在第一线、具有丰富教学经验的老师编写的，具有很好的指导作用，达到了我们所提倡的“以就业为导向培养高职高专学生”和因材施教的目标要求。

教育部全国高等学校学生信息咨询与就业指导中心择业指导处处长
中国高等教育学会毕业生就业指导分会秘书长
曹 殊 研究员

前 言

近年来,电子技术和计算机技术应用领域不断扩大,单片机技术已经成为电子技术领域中的一个新的亮点,使单片机技术成为电子类及计算机类工作者必须掌握的专业技术之一。

本书以 51 系列单片机中的 80C51 单片机为核心,采用教、学、做相结合的教学模式,以理论够用、注重应用的原则,通过循序渐进、不断拓宽思路的方法讲述单片机应用技术所需的基础知识和基本技能。全面系统地介绍了单片机的系统结构、存储器结构、指令系统、汇编语言程序设计、定时器与中断、串行口通信、系统扩展、A/D 及 D/A 接口技术、系统设计与开发及实验实训。每章前有学习目标,后有本章小结,并配有多多样性的习题。

考虑到高职高专教育的教学基本要求和教学规律,把本书编写立意放在:注重与高职高专学生的知识、能力结构相适应上;根据高职高专人才培养的特点和人才主要去向,确定本教材的内容,加强针对性和实用性;注重培养学生解决实际问题的能力,强化学生单片机技术综合运用能力;正确处理专科教材与本科教材、中专教材的区别。努力做到语言通俗易懂,并强化训练,增加了学习目标及本章小结,把习题做成各种类型,便于学生学习掌握;实验实训内容都经过实验验证,增加了上机操作指导,有助于学生动手能力的培养。

本书可作为高等职业技术学院、高等专科学校、成人高校、电大的电子类专业、计算机类专业教材,也适用于电气自动化专业、机电一体化专业及相关专业。

本书由福建武夷学院王效华、河南济源职业技术学院张咏梅任主编。王效华对本书的编写思路与编写大纲进行了总体规划,指导全书的编写,并对全书进行了统稿。张咏梅协助王效华完成上述工作。其中廊坊职业技术学院曹伟编写第 1、2 章,张咏梅编写第 3、4 章及附录和第 2 章的修改工作,王效华编写第 5、6 章,扬州职业大学吕群编写第 7、8 章。任艳艳编写实验实训内容。沈阳航空职业技术学院韩太东、四平职业大学刘长国对于本书的编写提供了重要的编写思路,在此一并致谢。

北京交通大学出版社的张新民主任为本书的编写和出版提供了很大的帮助,在此向张新民主任及其他为本书出版做出贡献的各位朋友表示深深的谢意。

由于时间紧迫和编者的水平有限,书中缺点和错误在所难免,真诚地欢迎各位读者对本书提出批评和建议。

使用本教材的读者,若有什么疑问和建议,内容请发邮件至:wxh321@163.com, zym98@163.com。在此对大家的支持表示感谢。

编 者

2007 年 5 月

目 录

第1章 概述	(1)
1.1 微型计算机基础	(1)
1.1.1 计算机的发展	(1)
1.1.2 微型计算机的基本结构	(4)
1.1.3 存储器的分类	(7)
1.1.4 数制及其相互转换	(9)
1.1.5 微机中数的表示及运算	(11)
1.2 单片机概述	(14)
1.2.1 单片机的发展历史	(14)
1.2.2 单片机的组成及特点	(15)
1.2.3 单片机的应用领域	(16)
1.2.4 单片机的发展趋势	(17)
1.3 单片机常用系列介绍	(18)
1.3.1 MCS-51 系列简介	(18)
1.3.2 80C51 系列简介	(19)
本章小结	(21)
习题1	(21)
第2章 80C51 系列单片机的结构	(23)
2.1 80C51 结构和引脚	(23)
2.1.1 标准型单片机的组成与结构	(23)
2.1.2 引脚定义及功能	(25)
2.2 存储器结构与位处理器	(28)
2.2.1 存储器结构和地址空间	(28)
2.2.2 程序存储器	(28)
2.2.3 数据存储器	(29)
2.2.4 特殊功能寄存器	(31)
2.2.5 位处理器	(34)
2.3 并行输入/输出端口	(34)
2.3.1 并行 I/O 口的结构	(34)
2.3.2 并行 I/O 口的操作	(35)
2.4 时钟电路与复位电路	(37)
2.4.1 时钟电路和时序	(37)
2.4.2 复位和复位电路	(39)

2.5 单片机的工作方式	(40)
2.5.1 程序执行方式	(40)
2.5.2 省电方式	(40)
2.5.3 EPROM 编程和校验方式	(42)
本章小结	(44)
习题 2	(45)
第 3 章 80C51 的指令系统	(47)
3.1 概述	(47)
3.1.1 机器语言、汇编语言和高级语言	(47)
3.1.2 指令的格式	(48)
3.1.3 常用符号	(49)
3.2 寻址方式	(49)
3.2.1 立即寻址	(50)
3.2.2 直接寻址	(50)
3.2.3 寄存器寻址	(51)
3.2.4 寄存器间接寻址	(51)
3.2.5 变址寻址	(52)
3.2.6 相对寻址	(52)
3.2.7 位寻址	(53)
3.3 寻址空间	(54)
3.4 80C51 的指令系统	(54)
3.4.1 数据传送指令	(55)
3.4.2 算术运算指令	(61)
3.4.3 逻辑运算指令	(65)
3.4.4 控制转移指令	(68)
3.4.5 位操作指令	(73)
3.5 伪指令	(75)
本章小结	(77)
习题 3	(79)
第 4 章 80C51 汇编语言程序设计	(84)
4.1 概述	(84)
4.1.1 汇编语言程序设计的步骤	(84)
4.1.2 汇编语言编程的注意事项	(85)
4.2 基本结构程序设计	(85)
4.2.1 顺序结构程序	(86)
4.2.2 分支结构程序	(87)
4.2.3 循环结构程序	(90)
4.3 子程序设计	(94)
4.3.1 子程序调用与返回	(95)

4.3.2	子程序设计时应注意的基本事项	(95)
4.3.3	子程序设计实例	(95)
	本章小结	(102)
	习题 4	(103)
第 5 章	中断系统、定时/计数器及串行通信	(106)
5.1	单片机的中断系统	(106)
5.1.1	中断的概念	(106)
5.1.2	中断源	(107)
5.1.3	中断的控制	(108)
5.1.4	中断的处理过程	(111)
5.1.5	中断系统的应用	(112)
5.1.6	80C51 外部中断源的扩展	(115)
5.2	定时器/计数器	(117)
5.2.1	定时器/计数器的结构和工作原理	(118)
5.2.2	定时器/计数器的控制	(119)
5.2.3	定时器/计数器的工作方式	(120)
5.2.4	定时器/计数器的初始化	(123)
5.2.5	定时器/计数器应用举例	(124)
5.3	串行通信技术	(131)
5.3.1	串行通信的基本概念	(132)
5.3.2	串行通信总线标准及其接口	(135)
5.3.3	串行口的结构与控制	(138)
5.3.4	串行口的工作方式及波特率计算	(140)
5.3.5	串行口应用举例	(142)
	本章小结	(154)
	习题 5	(154)
第 6 章	80C51 单片机的系统扩展	(159)
6.1	概述	(159)
6.1.1	存储器的有关概念	(159)
6.1.2	存储器的主要性能指标	(160)
6.1.3	扩展外部存储器的一般方法	(160)
6.1.4	输入/输出操作需要接口电路	(163)
6.1.5	接口电路的基本功能	(164)
6.1.6	数据总线隔离技术	(164)
6.2	程序存储器扩展技术	(165)
6.2.1	典型存储器芯片介绍	(165)
6.2.2	EPROM 程序存储器扩展实例	(169)
6.3	数据存储器扩展技术	(172)
6.3.1	典型芯片介绍	(172)

6.3.2	SRAM 扩展实例	(173)
6.4	并行 I/O 口扩展	(179)
6.4.1	并行 I/O 的简单扩展	(179)
6.4.2	采用 8255 扩展 I/O 口	(179)
6.4.3	可编程 RAM I/O 接口芯片 8155 及其扩展 I/O 口技术	(189)
6.5	串行 IO 端口的扩展	(195)
6.5.1	I ² C 总线器件的地址分配	(195)
6.5.2	I ² C 总线的数据传输	(195)
6.5.3	80C51 单片机与 AT24C 系列串行 EEPROM 扩展的接口设计	(196)
	本章小结	(200)
	习题 6	(201)
第 7 章	80C51 单片机接口技术	(203)
7.1	键盘接口技术	(203)
7.1.1	独立式键盘	(205)
7.1.2	行列式键盘	(208)
7.2	LED 显示器接口技术	(210)
7.2.1	LED 显示器的结构和原理	(210)
7.2.2	LED 静态显示方式	(211)
7.2.3	LED 动态显示方式	(213)
7.2.4	LED 点阵显示器的接口	(214)
7.3	液晶显示器的接口	(216)
7.3.1	液晶显示器的基本知识	(216)
7.3.2	使用单片机驱动笔段型液晶显示器件	(219)
7.3.3	点阵式液晶显示控制器 HD61830	(221)
7.4	模数 (A/D) 转换接口	(229)
7.4.1	A/D 转换器的主要技术指标	(231)
7.4.2	多通道 A/D 转换器 ADC0809 及其与单片机接口电路	(231)
7.4.3	A/D 转换应用举例	(233)
7.5	数模 (D/A) 转换接口	(234)
7.5.1	D/A 转换原理	(234)
7.5.2	D/A 转换器的主要技术指标	(236)
7.5.3	集成 D/A 转换器及接口电路	(236)
	本章小结	(238)
	习题 7	(239)
第 8 章	单片机应用系统的设计开发	(242)
8.1	系统开发的原则和步骤	(242)
8.1.1	单片机系统开发的基本原则	(242)
8.1.2	单片机系统开发的基本步骤	(243)
8.2	单片机系统的可靠性设计	(247)

8.3 实时时钟系统的设计	(248)
8.3.1 系统的功能与要求	(248)
8.3.2 设计方案	(248)
8.3.3 硬件设计	(249)
8.3.4 软件设计	(250)
8.4 单片机乐曲演奏控制器的设计	(257)
8.4.1 系统的功能与要求	(257)
8.4.2 设计方案	(258)
8.4.3 硬件设计	(258)
8.4.4 软件设计	(260)
本章小结	(265)
习题 8	(265)
实验 1 数据传送实验	(268)
实验 2 分支程序练习	(271)
实验 3 循环程序练习	(274)
实验 4 常用子程序练习	(278)
实验 5 系统认识实验	(281)
实验 6 定时器和中断实验	(284)
实验 7 可编程 I/O 接口 8155 实验	(287)
实验 8 LED 动态扫描显示实验	(290)
实验 9 查询式键盘实验	(292)
实验 10 ADC0809 模数转换实验	(296)
实验 11 DAC0832 数模转换实验	(299)
实验 12 综合应用实验	(301)
附录 A 使用 THDPJ-1/-2 实现 Keil C 的在线调试	(305)
附录 B 80C51 分类指令表	(311)
附录 C 指令编码表	(315)
附录 D 常用集成电路引脚图	(318)
附录 E ASCII (美国信息交换标准码) 表	(320)
参考文献	(321)

第1章 概述

学习目标

近几十年来,人类的生产和生活方式发生了巨大的变化,产生这一变化的重要原因就是微机技术的飞速发展。通过本章的学习,应该达到以下目标:

1. 了解计算机的发展及微型计算机的基本结构;
2. 了解单片机的发展历史及发展趋势,逐步了解单片机的应用领域;
3. 掌握单片机的组成及特点,了解其常用系列;
4. 掌握微机中的数制、数的表示及运算。

1.1 微型计算机基础

1.1.1 计算机的发展

1946年,第一台计算机在美国诞生,至今已有60多年的历史。60年来,计算机经历了迅猛的发展,得到了广泛的普及,对整个社会的进步和科学的发展产生了极其深远的影响。在此期间,计算机经历了电子管计算机时代、晶体管计算机时代、集成电路计算机时代、大规模及超大规模集成电路计算机时代。计算机的功能已经从早期的数值计算、数据处理发展到可以进行知识处理的人工智能阶段,不仅可以处理文字、字符、图形图像信息,而且可以处理音频、视频信息,形成了智能化的多媒体计算机。

在推动计算机技术发展的诸多因素中,除了计算机的系统结构和计算机软件技术发展起到了重要的作用之外,电子技术特别是微电子技术的发展也起到了决定性的作用。20世纪70年代初,随着大规模集成电路的出现,原来体积很大的中央处理器电路(CPU)集成为一个只有十几平方毫米的半导体芯片,称为微处理器。

微处理器的出现,开创了微型计算机的新时代。以微处理器为核心,再配上半导体存储器(RAM、ROM)、输入/输出接口电路(I/O接口电路)、系统总线及其他支持逻辑,这样组成的计算机称为微型计算机。微型计算机的出现,是计算机技术发展史上的一个新的里程碑,为计算机技术的发展和普及开辟了崭新的途径。

微型计算机具有体积小、重量轻、价格便宜、耗电少、可靠性高、通用性和灵活性好等特点,加上超大规模集成电路工艺技术的迅速发展和成熟,使得微型计算机技术得到了极其迅速的发展和广泛的应用。从1971年美国Intel公司首先研制成功世界上第一块微处理器芯片4004以来,在前10年中,差不多每隔2~3年就推出一代新的微处理器芯片,如今已经

推出了多代微处理器产品。微处理器是计算机的核心部件。它的性能在很大程度上决定了微型计算机的性能,因此,微型计算机的发展是以微处理器的发展来更新换代的。

第一代微处理器 (1971—1973 年)

在这一时期是微处理器发展的初级阶段,其产品均为 4 位或 8 位低档机。典型的产品有 Intel 4004、Intel 8008。其中 Intel 8008 是第一个 8 位通用微处理器,以 4004、8008 为 CPU 构成的微型计算机分别是 MCC-4 和 MCS-8。第一代微处理器的特点是:芯片采用 PMOS 工艺,集成度仅为 2 000 只晶体管/片,主时钟频率为 1 MHz,平均指令执行时间为 $10 \sim 20 \mu\text{s}$,指令系统简单,运算功能单一,只能进行串行十进制运算。采用机器语言编程,价格低廉,使用方便,主要应用于各种袖珍计算器、家电、交通灯控制等简单控制领域。

第二代微处理器 (1974—1978 年)

1974—1978 年是微处理器发展的第二阶段。这个时代的微处理器为 8 位中档和高档机。

1973 年 Intel 公司推出了性能更好的 8 位微处理器 8080。它的出现加速了微处理器和微型计算机的发展。这时,很多公司对微处理器产生了极大的兴趣,纷纷加入这一行业。从此,微处理器和微型计算机像雨后春笋般蓬勃发展起来,先后推出了一批性能优良的 8 位微处理器产品,如 Motorola 公司的 MC6800, Zilog 公司的 Z-80, Intel 公司的 8085 等。

这一时期,微处理器的设计和生产技术已经相当成熟,微处理器的生产普遍采用 NMOS 工艺,集成度已高达 9 000 管/片,性能有明显的改进,主时钟频率为 $2 \sim 4 \text{ MHz}$,平均指令执行时间为 $1 \sim 2 \mu\text{s}$,指令系统较为完善。这一时期推出的微型计算机在系统结构上已具有典型的计算机体系结构及中断、DMA 等控制功能,在系统设计上考虑了机器间的兼容性,接口的标准化和通用性;外围配套电路种类齐全,功能完善。在系统软件方面,除可使用汇编语言外,还配有高级语言和操作系统,广泛用于数据处理、工业控制智能仪器仪表及家电等各个领域。

第三代微处理器 (1978—1981 年)

20 世纪 70 年代后期,超大规模集成电路的成熟,进一步推动了微处理器和微型计算机生产技术向更高层次发展。1978 年,Intel 公司率先推出了新一代 16 位微处理器 8086。随后,Intel 公司的 8086/8088, Motorola 公司的 MC68000 和 Zilog 公司的 Z-8000,这些高性能的 16 位微处理器成为当时国内外市场上流行的典型产品,集成度高达 29 000 管/片。其中,MC68000 集成了 68 000 个元件,采用 HMOS 高密度制造工艺技术,时钟频率为 $5 \sim 10 \text{ MHz}$,平均指令执行时间为 $0.5 \mu\text{s}$,数据总线宽度为 16 位,地址线为 20 位,最大可寻址空间为 1 MB,具有丰富的指令系统,CPU 内部结构有很大改进,如 Intel 8086/8088 内部采用流水线结构,设置了指令预取队列,使处理速度大大提高。在软件方面使用多种高级语言,有完善的操作系统,支持构成多处理器系统。

总之,以这些高性能的 16 位微处理器为 CPU 构成的微型机的性能指标已达到和超过了当时的中档小型机的水平,传统的小型机受到严峻的挑战,激烈的竞争又促使微型计算机技术以更快的速度发展,特别是 1982 年,Intel 公司推出了 16 位微处理器中的高档芯片 80286,它具有多任务系统所必需的任务切换功能、存储器管理功能和多种保护功能,支持虚拟存储体系结构,地址总线从 20 位增加到 24 位,存储器直接寻址空间达到 16 MB,时钟频率提高到 $5 \sim 10 \text{ MHz}$ 。从 20 世纪 80 年代中、后期到 90 年代初,80286 一直是个人计算机 IBM PC/AT 机的主流型 CPU。同期的产品还有 Motorola 的 MC68010。

第四代微处理器 (1981—1992 年)

这一时期的典型产品有 Zilog 公司推出的 Z-80000, Motorola 公司推出的 MC68020, Intel 公司推出的 80386、80486, Motorola 公司推出的 68040 等。其中, Intel 公司推出的与 8086 向上兼容的 80386 具有 32 位数据总线和 32 位地址总线, 存储器寻址空间可达到 4 GB, 时钟频率达到 16~33 MHz, 平均指令执行时间 $<0.1 \mu\text{s}$, 运算速度达到 300~400 万条每秒, CPU 内部采用 6 级流水线结构, 使取指令、译码、内存管理、执行指令和总线访问并行操作。使用二级存储器管理方式, 支持带有存储器保护的虚拟存储机制, 虚拟存储空间高达 264 KB。随着集成电路工艺水平的进一步提高, 1989 年, Intel 公司又推出了性能更高的 32 位微处理器 80486, 其集成度约 120 万管/片, 是 80386 的 4 倍。80486 CPU 内除了含有一个 80386 体系结构的主处理器外, 还增加了一个与 80387 兼容的片内数字协处理器和一个 8 KB 容量的片内高速缓存 (即一级 Cache), 内部数据总线宽度可为 32 位、64 位和 128 位, 分别用于不同单元间的数据交换。80486 还采用了 RISC (即精简指令集计算机) 技术和突发 (Burst) 总线技术, 缩短了每条指令的执行时间, 在相同频率下, 80486 的处理速度一般要比 80386 快 2~3 倍。同期推出的高性能 32 位微处理器产品还有 MC68040 和 V80 等。由这些高性能 32 位微处理器为 CPU 构成的微型机的性能指标已达到或超过当时的高档小型机甚至大型机的水平, 被称为高档超级微型机。

第五代微处理器 (1992 年至今)

1992 年以来, 微处理器进入了第五个发展阶段, 即 64 位微处理器发展时代。代表产品是 Intel 推出的 Pentium 微处理器 (简称 P5 或 586), Pentium 微处理器的推出, 使微处理器的技术发展到了一个新的阶段, 标志着微处理器完成从 CISC 向 RISC 时代的过渡, 也标志着微处理器向工作站和超级小型机冲击的开始。作为 Intel 系列微处理器的新成员, Pentium 不仅继承了其前辈的所有优点, 而且许多方面都有新的突破。它采用亚微米 ($0.8 \mu\text{m}$) CMOS 工艺技术, 集成度为 310 万管/片, 数据总线 64 位, 地址总线 36 位, CPU 内部采用超标量流水线设计, 有 U、V 两条流水线并行工作, 使 Pentium 在单个时钟内执行两条整数指令; Pentium 片内采用双 Cache 结构 (指令 Cache 和数据 Cache), 每个 Cache 容量为 8 KB, 数据宽度为 32 位, 数据 Cache 采用回写技术, 大大节省了处理时间; Pentium 处理器为了提高浮点运算速度, 采用 8 级流水线和部分指令固化技术; 片内设置分支目标缓冲器 (BTB), 可动态预测分支程序的指令流向, 节省了 CPU 判断分支的时间, 大大提高了处理速度。Pentium 系列处理器有多种工作频率, 最低为 60 MHz, 工作在 60 MHz 和 66 MHz 时, 其速度分别可达 1 亿次/秒和 1.116 亿次/秒。尽管如此, 它已作为经典的 Pentium 被淘汰。

1996 年, Intel 公司正式公布其高档 Pentium 产品 Pentium PRO, 该处理器采用 $0.35 \mu\text{m}$ 工艺, 片内集成有 550 万个晶体管, 具有 8 KB 指令和 8 KB 数据的一级 Cache, 256 KB 的二级 Cache, 它在 CISC/RISC 中混合使用, 程序执行等方面都有新的特点, 时钟频率为 200 MHz, 运算速度高达 2 亿次/秒。同期的产品还有 AMD 公司的 K5, IBM、Apple、Motorola 三家联合推出的 Power PC。继 Pentium PRO 之后, Intel 公司又推出了 Pentium II、Pentium III、Pentium 4 等微处理器的极品, 成为 PC 机的主流 CPU。

随着 LSI 和 VLSI 技术的进一步发展, 微处理器的集成度越来越高, 芯片功能越来越强。从微型机总的发展情况看, 为了使微处理器获得高性能, 一方面提高集成度, 另一方面