



21世纪普通高等教育规划教材

单片机 原理及应用

丁元杰 主编

第3版



21 世纪普通高等教育规划教材

单片微机原理及应用

第 3 版

上海市教育委员会 组编

主编 丁元杰

参编 吴大伟 陈瀛清

主审 金国斌



机械工业出版社

本书前五章以当前应用广泛的 MCS-51 系列单片微机为对象介绍微型计算机的硬件、软件及其应用。第一章是微型计算机的基本概念；第二章至第五章分别详细阐述了 MCS-51 系列单片微机的硬件结构、指令系统、汇编语言程序、系统扩展、接口与应用；第六章讲述 MCS-96 系列单片微机，也简单介绍了先进的 196 系列，可供读者自学。

在单片微机的基础上，考虑到广大读者除专用微机外，对 PC（通用微机）也有要求，自第 3 版起特增添了第七章 8086CPU 和 PC，介绍 8086CPU 的基本内容，也扼要陈述了最新的奔腾 CPU 和 PC 的技术进展。

本书可供高等院校作技术基础课“微机原理及应用”或后续课“单片微机原理”的教材。单片微机部分内容具体、实用，尤其对接口、应用、组成系统、编制应用程序等内容给予适当加强；编写时并特别注意使本书也适合于工矿企业科技人员使用。由于增添了第七章，更扩大了作为教材的适用面，也必将提高工矿企业读者对本书的兴趣。

图书在版编目（CIP）数据

单片微机原理及应用/丁元杰主编.—3 版.—北京：机械工业出版社，2005.7（2011.6 重印）

21 世纪普通高等教育规划教材
ISBN 978-7-111-04220-4

I. 单... II. 丁... III. 单片微型计算机—高等学校—教材
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 008874 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
责任编辑：贡克勤 版式设计：冉晓华 责任校对：王欣
封面设计：王伟光 责任印制：乔宇
北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）
2011 年 6 月第 3 版第 13 次印刷
184mm×260mm·25 印张·616 千字
标准书号：ISBN 978-7-111-04220-4
定价：43.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页、由本社发行部调换
电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

销售二部：(010) 88379649

教材网：<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

本书在机械工业出版社已出版了两版。连同本书的前身——上海版的“单片微机原理”在内，已有了3版。正式出版12年来，得到许多院校、特别是设置电气（原名电气技术，现名电气工程）专业院校的欢迎、关怀、支持和采用，虽一再重印，均很快售缺。为了适应单片微机应用和单片微机教学迅猛发展的形势，也为了更好地符合与改进“微机原理及应用”课程的教学，使本书进一步满足各种不同性质、不同层次院校的不同需要，推进教学改革和课程体系改革，决定对机工第2版再作整理和重大修订，续出第3版。

本书曾率先提出微机原理课程不再讲Z80，而直接以单片微机作主讲内容，达到减少讲课时数、更新教学内容、提高教学效率的倡议。多年来，这一教改设想已为越来越多院校的同行们接受。因此，本版仍以前六章为主体。我们认为单片微机是微机原理的基础，必须讲清讲透，学好学扎实。其中前五章可在课堂上讲授（部分内容可选讲），第六章或留给学生自学。

对于以单片微机作为“微机原理及应用”课程主讲内容的许多专业、系、学院、学校，本书可用作这一技术基础课的教材。也有些工科院校的专业和系以8086、8088作为微机原理课程的主讲内容，则本书可作为后续课“单片微机原理”的教材，使用时只需跳过第一章，并在讲述时适当加快讲述进度。

但是我们建议：尝试先讲单片微机，再讲8086，符合先易后难的原则。学生有了单片微机的基础，再学8086，将事半功倍。于是，单片微机和8086、专用微机和通用微机都可集中和提早在微机原理一门课程中学习，课时可以紧缩，并有利于学生早日参与科研项目，理论、实践结合，提高教学质量。

为此，第3版特增添了第七章：8086CPU与PC，在其前三节讲述8086，作为PC的基础，后三节讲述PC的存储器、接口芯片和奔腾微处理器；力图使需兼学专用机与通用机的专业也能采用本书为微机原理课程的教材，却不再开设“单片微机原理”课程。我们期望本书第3版有利于推动教改和促进课程体系改革。

与前几版相同，本书的编写原则仍强调：

1. 对于非计算机专业，讲清原理的目的是为了应用。内容应具体实用，接口、应用、组成系统、编制实用程序等方面应适当加强。这样也符合广大科技人员学习的需要。

2. 新接触微机的读者，要接受许多这方面的基本概念需有一个过程，如过早结合具体机型学习，效果往往不很理想。故先设一章，集中介绍微型计算机的基本概念，使开始学习具体单片微机前对微机已有较完整的轮廓认识。

3. 多考虑“有利于读者接受”。对系统性和主要内容的引出都经仔细推敲。注意分散难点和枯燥处，并努力顾及内容间的沟通与联系。因此，有些内容宁可稍有重复，另有些内容则在系统讲述前有意识使其提早出现。

4. 要符合教材特点。语句必须深入浅出，说理力求完整清晰；内容应该精练，篇幅不宜庞大。同时，也顾到可供科技人员自学或参考。

IV

本书单片微机部分由丁元杰、陈瀛清编写和整理、增删，8086与PC部分由吴大伟、丁元杰编写，全书最后由丁元杰统稿。本书第3版请上海大学机电工程与自动化学院副院长金国斌教授担任主审。

对于本书这一次再版，上海大学自领导到各有关部门都给予了高度重视和关怀、支持、编写时涉及的经费由上海大学教材建设基金拨供。

在历次编写、成书、出版、修订过程中，本书曾得到过方方面面、许许多多同志的参与和帮助，这里难以一一罗列齐全，谨在此一并表示最衷心的感谢。

我们也衷心感谢关心以及使用、推广本书的各校同行。许多同行还协助校审、勘误，参加讨论，提供素材，提出宝贵意见与建议；广义地看，他们也是本书的参编人员。他们对本书的完善、提高作出了巨大贡献。

我们希望继续得到大家的支持。众人拾柴火焰高。编者的水平有限，本版也肯定还会有许多错误或不当的地方，敬请各界学长、各校师生、广大读者惠予指出，给予匡正。

编 者

2004年12月

目 录

前言	
绪论	1
第一章 微型计算机的基本概念	4
第一节 概述	4
一、微型计算机的组成	4
二、微型计算机软件	7
三、计算机中的数	10
第二节 微处理器	22
一、运算器	22
二、控制器	23
三、工作寄存器	23
四、程序计数器	23
第三节 存储器	24
一、概述	24
二、读写存储器 RAM	26
三、只读存储器 ROM	28
四、堆栈	30
第四节 输入/输出接口电路	32
一、概述	32
二、数据传送方式	34
第二章 MCS-51 系列单片机的硬件结构	39
第一节 总体概况	39
一、主要功能	39
二、内部结构框图	39
三、外部引脚说明	40
第二节 微处理器	42
一、运算器	42
二、控制器	44
三、振荡器和 CPU 时序	44
第三节 存储器	45
一、程序存储器	45
二、数据存储器	46
第四节 定时器/计数器	51
一、主要特性	51
二、定时器/计数器 0、1 的结构	52
三、定时器/计数器 0、1 的 4 种工作方式	53
四、定时器/计数器 2	56
第五节 并行输入/输出接口	59
一、P1 口	59
二、P2 口	60
三、P3 口	61
四、P0 口	61
第六节 单行输入/输出接口	62
一、基本概念	62
二、串行接口的功能与结构	63
三、串行接口的工作方式	65
四、多机通信	68
五、波特率	68
第七节 中断系统	69
一、中断源	69
二、中断控制	70
三、中断响应	73
四、中断请求的撤除	73
第八节 特殊工作方式	74
一、复位方式	74
二、节电方式	75
第三章 MCS-51 系列单片机的指令系统和汇编语言程序示例	78
第一节 汇编语言与指令系统	78
一、汇编语言程序设计的重要性	78
二、MCS-51 系列单片机的指令系统	79
第二节 寻址方式	79
一、立即寻址	79
二、寄存器寻址	79
三、寄存器间接寻址	80
四、直接寻址	80
五、基址寄存器加变址寄存器间接寻址	81
六、相对寻址	81
第三节 数据传送类指令	82
一、以累加器 A 为一方的传送指令	82
二、不以累加器 A 为一方的传送指令	83
三、用立即数置数的指令	84

四、访问片外 RAM 的传送指令	84	三、用 EEPROM 的程序存储器扩展	138
五、基址寄存器加变址寄存器间址指令	85	第二节 数据存储器的扩展	140
六、交换指令	86	一、用静态 RAM 的数据存储器扩展	140
七、进栈出栈指令	86	二、用 EEPROM 的数据存储器扩展	145
八、数据传送类指令汇总一览表	87	三、用动态 RAM 的数据存储器扩展	145
第四节 算术操作类指令	88	第三节 输入/输出口的扩展	146
一、加法指令	88	一、用多功能芯片的扩展	146
二、减法指令	89	二、用 TTL 芯片的扩展	158
三、加 1 指令	90	三、用 8243 的扩展	161
四、减 1 指令	91	四、用串行接口的扩展	163
五、其他算术操作指令	91	第五章 MCS-51 系列单片机的	
六、算术操作类指令汇总一览表	92	接口与应用	166
第五节 逻辑操作类指令	93	第一节 扳键开关、拨盘开关、按钮、键	
一、与指令	93	盘与单片机的接口	166
二、或指令	94	一、扳键开关与单片机的接口	166
三、异或指令	95	二、拨盘开关与单片机的接口	167
四、A 操作指令	96	三、按钮与单片机的接口	168
五、逻辑操作类指令汇总一览表	97	四、键盘与单片机的接口	168
第六节 程序转移类指令	98	第二节 显示器与单片机的接口	171
一、无条件转移指令	98	一、LED 与单片机的接口	171
二、条件转移指令	100	二、LED 数码管与单片机的接口	171
三、调子指令	102	三、8279 芯片	175
四、程序转移类指令汇总一览表	104	四、CRT 与单片机的接口	179
第七节 位操作类指令	104	第三节 行程开关、继电器、晶闸管元件	
一、位传送指令	104	与单片机的接口	180
二、位逻辑操作指令	105	一、行程开关、继电器触点与单片机	
三、位条件转移指令	106	的接口	180
四、位操作类指令汇总一览表	107	二、继电器线圈与单片机的接口	181
第八节 汇编语言源程序的格式		三、晶闸管元件与单片机的接口	181
和伪指令	108	第四节 打印机与单片机的接口	181
一、汇编语言源程序的格式	108	一、GP16 与单片机的接口	181
二、伪指令	109	二、PP40 与单片机的接口	185
第九节 算术逻辑处理程序	110	第五节 A/D、D/A 转换芯片与单片机的	
第十节 数制转换程序	118	接口	189
第十一节 多分支转移(散转)程序	120	一、A/D 转换芯片与单片机的接口	190
第十二节 延时程序	122	二、D/A 转换芯片与单片机的接口	195
第十三节 定时器/计数器应用程序	123	第六节 应用实例一	199
第十四节 外部中断应用程序	125	一、系统的要求	199
第十五节 串行接口应用程序	129	二、硬件安排	200
第四章 MCS-51 系列单片机的扩展	131	三、程序与说明	201
第一节 最小系统与程序存储器的扩展	131	第七节 应用实例二	204
一、最小系统	132	一、系统的要求	204
二、用 EPROM 的程序存储器扩展	135	二、硬件安排	204

三、程序与说明	206	第二节 8086 的指令系统	257
四、报表打印	210	一、8086 的寻址方式	257
第八节 应用实例三	214	二、8086 指令系统	259
一、系统的要求	214	第三节 8086 汇编语言程序	272
二、硬件安排	214	一、基本概念	272
三、程序与说明	214	二、8086 汇编语言程序示例	276
第六章 MCS-96 系列单片机	221	三、DOS 系统功能调用	297
第一节 概述	221	四、宏指令简介	300
一、主要性能特点	221	五、汇编语言程序上机调试和运行	302
二、型号、封装与引脚定义	222	第四节 存储器	304
三、内部结构框图	225	一、存储器芯片与 CPU 的连接	304
第二节 微处理器与时钟信号	225	二、存储系统的层次结构	306
一、微处理器	225	三、虚拟存储器	308
二、时钟信号	227	四、PC 内存系统实例	308
第三节 存储器空间	227	五、外存储器	309
第四节 I/O 接口与定时器	231	第五节 常用接口芯片	311
一、并行输入输出接口	231	一、8086 中断系统	311
二、高速输入输出接口	231	二、8259A 芯片	314
三、模拟量接口	235	三、DMA 传送	323
四、串行接口	236	四、8237A 芯片	324
五、监视定时器 WDT	237	五、8253 芯片	329
第五节 中断系统	238	六、8255A 芯片	340
一、中断源	238	七、8251A 芯片	340
二、中断控制	238	第六节 Pentium 微处理器简介	348
第六节 指令系统	240	一、Pentium 的技术特点	348
一、操作数类型	240	二、4 种工作模式	351
二、寻址方式	241	三、Pentium 的内部结构	352
三、指令表	242	四、描述符表与段描述符	358
四、指令与程序示例	242	五、保护模式下的存储器管理	360
第七节 196 系列单片机简介	246	六、任务切换与程序转移	363
第七章 8086CPU 与 PC	249	附录	366
第一节 8086CPU	249	附录 A ASCII (美国标准信息交换	
一、结构框图	249	码) 表	366
二、标志寄存器	250	附录 B MCS-51 指令速查表	367
三、段地址和段寄存器组	250	附录 C MCS-96 指令系统(含 196 增添指	
四、总线周期	251	令)	369
五、最小模式、最大模式和引脚说明	252	参考文献	390

绪 论

当今，计算机技术带来了科研和生产的许多重大飞跃，微型计算机的应用已渗透到生产、生活的各个方面。其中单片微型计算机虽然问世不久，然而体积小、价廉、功能强、其销售额以每年近 80% 的速率增长。它的性能不断提高，适用范围愈来愈宽，在计算机应用领域已占有日益重要的地位。

单片微型计算机简称单片微机或单片机，又称微控制器。它是在一块半导体芯片上，集成了 CPU、ROM、RAM、I/O 接口、定时器/计数器、中断系统等功能部件，构成了一台完整的数字电子计算机。由于集成电路技术的进步，片内甚至还可包含 HSO、HSI、A/D 转换器、PWM 等称为“片内外设”的特殊功能部件。随着单片机功能的增强，由单片机构成的计算机应用系统的功能也日益增强，它一样可以配用打印机、绘图仪、CRT 等外围设备，一样可以联网。特别是 1987 年 Intel 公司在 MCS-96 的基础上继续推出了 MCS-196，又陆续出现了许多新趋向，例如 HSO、HSI 发展为 EPA；数据传送有了 PTS；配合大功率晶体管的应用，有了波形发生器，拓展了在电气传动领域的应用等等。这进一步深化了单片机在工业控制、自动检测、智能仪器仪表、家用电器等领域的突出地位，并使它不断拓宽应用范围，增添了新的活力。

单片机的应用结束了计算机专业人员“垄断”计算机系统开发与应用的时期，它既给各种专业人员、特别是许多工程技术人员带来了学习和掌握计算机技术（不单操作使用）的紧迫性，同时也带来了可能性，因为组成计算机应用系统变得容易、“平凡”，增强了人们进入这一领域的自信心。

一、单片机的发展历史

单片机的历史非常短暂，然而发展十分迅猛。自 1971 年美国 Intel 公司首先研制出 4 位单片机 4004 以来，它的发展可粗略划分为四个阶段：

第一阶段 1971 ~ 1976 年，属萌芽阶段。发展了各种 4 位单片机，多用于家用电器、计算器、高级玩具。

第二阶段 1976 ~ 1980 年，为初级 8 位机阶段，发展了各种中、低档 8 位单片机，典型的如 MCS-48 系列单片机，片内含多个 8 位并行 I/O 接口、一个 8 位定时器/计数器，不带串行 I/O 接口，其功能可满足一般工业控制和智能化仪器仪表等的需要。

第三阶段 1980 ~ 1983 年，高级 8 位机阶段，发展了高性能的 8 位单片机，例如 MCS-51 系列单片机，它带有串行 I/O 接口和多个 16 位定时器/计数器，具有多级中断功能。这一阶段进一步拓宽了单片机的应用范围，使之能用于智能终端、局部网络的接口，并挤入了个人计算机领域。

第四阶段 1983 年以后，16 位单片机阶段。发展了 MCS-96 系列等 16 位单片机。功能很强，价格却迅速下降。片内有 A/D 转换器；可快速输入、输出；可用于电机控制；网络通信能力有显著提高。

在国际市场上，单片机产品的类型很多。其中 Intel 公司的产品比较领先和占有较大销

售份额。在我国，Intel 公司 MCS-48 系列、MCS-51 系列、MCS-96 系列的各种机型用得最多，占有主流地位。

随着大规模集成电路技术的演进，单片机的性能仍在快速提高。其生产工艺经历了 PMOS、NMOS、HMOS、CMOS 等各个阶段，正朝 CHMOS（高速型 CMOS）工艺的方向发展；并继续提高集成度；增大 RAM、ROM 容量；增多功能模块；提高速度；降低功耗。

二、单片机的特点

单片机芯片的集成度很高，它将微型计算机的主要部件都集成在一块芯片上，具有下列特点：

- 1) 体积小、重量轻、价格便宜、耗电少。
- 2) 根据工控环境要求设计，且许多功能部件集成在芯片内部，其信号通道受外界影响小，故可靠性高，抗干扰性能优于采用一般的 CPU。
- 3) 控制功能强，运行速度快。其结构组成与指令系统都着重满足工控要求。有极丰富的条件分支转移指令，有很强的位处理功能和 I/O 口逻辑操作功能。
- 4) 片内存储器的容量不可能很大；引脚也嫌少，I/O 引脚常不够用，且兼第二功能以至第三功能。但存储器和 I/O 接口都易于扩展。

三、单片机的应用

由上述单片机特点，可推知其应用最多的领域为

- 1) 因它具有“小、轻、廉、省”的特点，尤其耗电少，又可使供电电源的体积小、重量轻，所以特别适用于“电脑型产品”，在家用电器、玩具、游戏机、声像设备、电子秤、收银机、办公设备、厨房设备等许多产品上得到应用。
- 2) 适用于仪器、仪表。不仅能完成测量，还具有处理（运算、误差修正、线性化、零漂处理）、监控等功能，易于实现数字化和智能化。
- 3) 有利于“机电一体化”技术的发展，多用于数控机械、缝纫机械、医疗设备、汽车等。
- 4) 广泛应用于打印机、绘图仪等许多计算机外围设备，特别是用于智能终端，可大大减轻主机负担。
- 5) 用于各种工业控制，如温度控制、液面控制、生产线顺序控制等。
- 6) 宜于多机应用。例如机床加工中心，其各种功能可分散由各个单片机组子系统分别完成，上级主机则负责统管、协调。又如要求较高的数据检测采集系统，每一采集通道如是一个单片机组子系统，可实现多点同时快速采集和预处理，然后再由主机进行集中处理和控制在构成大型的实时测控系统。

上面的归纳还不够完整，但已可知单片机的应用已渗透到国民经济的各个领域，极大地推动了计算机技术的普及，而且可以预期，随着单片机性能的进一步提高，它的应用将更趋广泛。它对我国许多产品的升级换代、工厂企业的设备更新都将起着十分巨大的作用。

四、单片机的学习

电子技术基础是本课程的先修课。有了一定的电子技术理论和实践经验，将有助于本课程的学习和进一步深入。

学习本课程应硬件、软件兼顾并重，既要注意单片机的结构、原理，也要注意其汇编语言指令和程序，做到两者结合渗透、融会贯通。

对于非计算机专业的读者，学习本课程的目的是应用。学习原理也是为应用打下基础。

有人说，单片机的出现使分列式微机进展为集成式微机，整个微机已经汇集于一个芯片。可见，单片机的学习不单在于微机内部，更需关注组成系统。因此，学习时对单片机的扩展，用到的芯片、接口，以及各种应用实例与环节，须给予足够重视。

学习本课程时，宜配合习题、实验、课程设计，以提高学习质量，巩固和扩大学习收获，对如何组成系统和试编程序应有比较充分的练习机会。

单片机规整易学、便于入门，宜视为微机原理课程的基础。而且单片机实用性强，易于硬件、软件结合，学用结合，学生应切实学好。对于需兼学 8086 的专业，在单片机基础上再学 8086，将事半功倍，比较合理。

第一章 微型计算机的基本概念

第一节 概 述

电子计算机是 20 世纪的重大科学技术成就之一，它的应用已进入了社会生活的各个领域，有力地推动了社会的发展。

电子计算机之所以能在现代社会中起着极其重要的作用，是由它的卓越特性决定的：

(1) 高速度 电子计算机被广泛应用的最重要原因是它能以人所无法比拟的高速度进行信息处理。计算机的运算速度大于每秒几十万次，有些巨型机已达每秒十几亿次。

(2) 高度自动化 电子计算机能在程序的控制下，无需人的介入，自动地处理信息。

(3) 具有记忆能力 电子计算机能保存大量的信息，一般电子计算机能在机内存储几万、几十万、几百万甚至几千万字符的信息。

(4) 具有逻辑判断能力 电子计算机可进行各处逻辑判断，并根据判断的结果自动决定下一步的工作。

(5) 高精度和高可靠性 用电子计算机处理得到的结果，数据的有效位数可达十几位，甚至上百位。计算机的可靠性高，可无故障地连续运行数万小时。

自 1946 年出现了世界上第一台电子计算机以来，电子计算机经历了电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路四代。20 世纪 70 年代出现的由大规模集成电路组成的微型电子计算机，不但保持了电子计算机的特点，而且体积小，价格低，不需要严格的环境条件，从而开拓了计算机普及的新时代。近年来逐步普及的单片微型计算机，已在一片芯片上集成一台微型计算机，更加充分地发展了微型计算机的特点。

一般来说，电子计算机有以下几个方面的应用：

(1) 科学计算 利用计算机高速、高精度地进行大量的复杂的数学运算，如导弹飞行轨迹计算、天气数值预报等。

(2) 数据与信息处理 利用计算机对大批量数据进行排序、插入、修改、删除、检索等基本操作，如资料的统计分析、计划的编制、企业的成本核算、情报的检索等。

(3) 实时控制、计算机实时采集生产、交通等现场的信息并加以处理，然后输出命令控制现场。使现场达到较佳的状态。如数控机床、化工自动控制、交通自动控制、自动灭火系统、智能仪器等。

(4) 计算机辅助设计 利用计算机部分代替人工进行机械、电路、房屋、服装等设计。

(5) 人工智能的应用 人工智能就是用计算机模拟人类的智能，使计算机具有听、看、说和“思维”的能力。人工智能包括的内容有：图形与语言的识别、语言的翻译、专家系统、机器人、自动程序设计等。

本书侧重于计算机的实时控制应用。

一、微型计算机的组成

1. 计算机的基本结构

电子计算机的结构框图见图 1-1。它由运算器、控制器、存储器、输入设备及输出设备五大部分组成。

运算器是计算机处理信息的主要部件。控制器产生一系列控制命令，控制计算机各部件自动地、协调一致地工作。存储器是存放数据与程序的部件。输入设备用来输入数据与程序，常用的输入设备有键盘、光电输入机等。输出设备将计算机的处理结果用数字、图形等形式表示出来。常用的输出设备有显示终端、数码管、打印机、绘图仪等。

通常把运算器、控制器、存储器这三部分合称为计算机主机，而输入、输出设备则称为计算机的外围设备（简称“外设”）。由于运算器、控制器是计算机处理信息的关键部件，所以常将它们合称为中央处理单元 CPU（Central Processing Unit）。

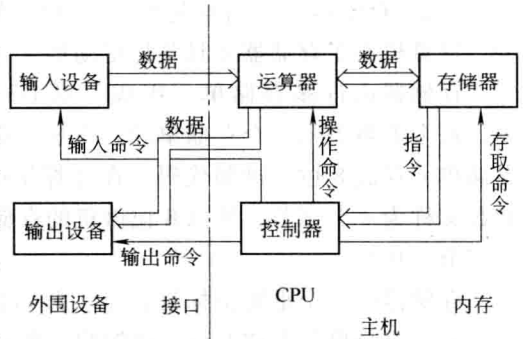


图 1-1 计算机结构

2. 字长

计算机内所有的信息都是以二进制代码的形式表示的。一台计算机所用的二进制代码的位数称为该计算机的字长。从需要来讲，计算机的字长越长，它能代表的数值就越大，能表示的数值的有效位数也越多，计算的精度就越高。但是，位数越多，用来表示二进制代码的逻辑电路也越多，使得计算机的结构变得庞大，电路变得复杂，造价也越昂贵。用户通常要根据不同的任务选择不同字长的计算机。

微型计算机的字长有 1 位、4 位、8 位、16 位、32 位等。目前国内应用最多的是 8 位微机、16 位微机和 32 位微机。

3. 微型计算机结构

随着大规模集成电路技术的发展，已经把 CPU 集成在一块硅片上，成为独立的器件。该芯片称为微处理器或微处理机（Microprocessor）。存储器（Memory）也已经集成为一块块独立的芯片。

微处理器芯片、存储器芯片与输入/输出接口电路芯片（简称 I/O 接口）构成了微型计算机（Micro-Computer），芯片之间用总线（Bus）连接，见图 1-2。

(1) 微处理器 微处理器是微型计算机的核心，它通常包括三个基本部分：

1) 算术逻辑部件 ALU（Arithmetic Logic Unit）。ALU 是对传送到微处理器的数据进行算术运算或逻辑运算的电路，如执行加法、减法运算，逻辑与、逻辑或运算等。

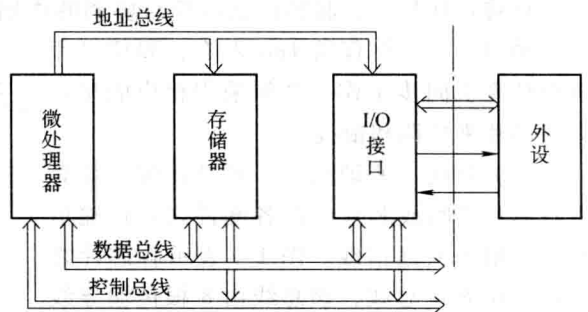


图 1-2 微型计算机结构

2) 工作寄存器组。CPU 中有多个工作

寄存器，用来存放操作数及运算的中间结果等。

3) 控制部件。控制部件包括时钟电路和控制电路。时钟电路产生时钟脉冲，用于计算机各部分电路的同步定时。控制电路产生完成各种操作所需的控制信号。

(2) 存储器 存储器是微型计算机的重要组成部分，计算机有了存储器才具备记忆功能。

存储器由许多存储单元组成，图 1-3 是它的示意图，每个方格表示一个存储单元。在 8 位微机中，每个存储单元存放 8 位二进制代码。在计算机中，8 位二进制数又称为一个字节，所以 8 位微机的存储单元存放一个字节 (Byte)。

存储器的一个重要指标是容量。假如存储器有 256 个单元，每个单元存放 8 位二进制数，那么该存储器容量为 256 字节，或 256×8 位。在容量较大的存储器中，存储容量都以“KB”为单位，1KB 容量实际上是 $2^{10} = 1024$ 个存储单元。

计算机工作时，CPU 将数码存入存储器的过程称为“写”操作，CPU 从存储器中取数码的过程为“读”操作。写入存储单元的数码取代了原有的数码，而且在下一个新的数码写入之前一直保留着，即存储器具有记忆数码的功能。在执行读操作后，存储单元中原有的内容不变，即存储器的读出是非破坏性的。

为了便于读、写操作，要对存储器所有单元按顺序编号，这种编号就是存储单元的地址。每个单元都拥有相应的唯一的地址，见图 1-3。地址用二进制数表示，地址的二进制位数 N 与存储容量 Q 的关系是： $Q = 2^N$ 。表 1-1 为这种关系的例子。

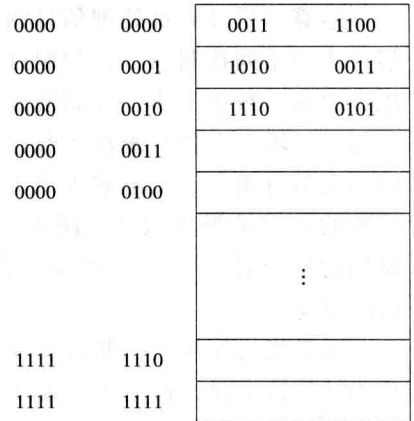


图 1-3 存储器示意图

表 1-1

二进制位数 N	存储容量 Q/B
8	256
10	1K
11	2K
12	4K
16	64K

注：对于 Q 来说，习惯上称 $2^{10} = 1024$ 为 1K，注意这里 $1K \neq 1000!$ 因此： $2^{11} = 2K = 2048 \neq 2000$ ； $2^{16} = 64K = 65536 \neq 64000$ 。

(3) 输入/输出接口电路 I/O 接口是沟通 CPU 与外围设备的不可缺少的重要部件。外围设备种类繁多，其运行速度、数据形式、电平等各不相同，常常与 CPU 不一致，所以要用 I/O 接口作桥梁，起到信息转换与协调的作用。例如打印机打印一行字符约需 1s，而计算机输出一行字符仅需 1ms 左右，要使打印机与计算机同步工作，必须采用相应的接口电路芯片来协调和衔接。

(4) 总线 所谓总线，就是在微型计算机各芯片之间或芯片内部各部件之间传输信息的一组公共通信线。图 1-4 表示各芯片之间的一组 8 位总线，该总线由 8 根传输导线组成，可以在芯片 1、2、…、N 之间并行传送 8 位二进制数构成的信息。

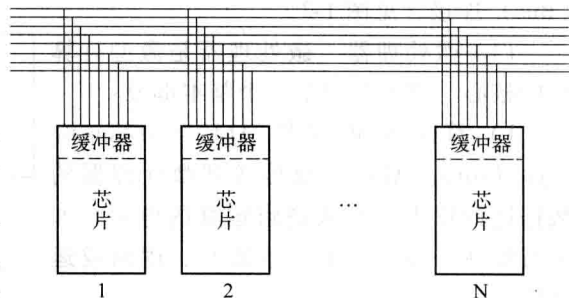


图 1-4 8 位总线

微型计算机采用总线结构后，芯片之间不需单独走线，这就大大减少了连接线的数量。但是，挂在总线上的芯片不能同时发送信息，否则多个信息同时出现在总线上将发生冲突而造成出错。这就是说，如果有几块芯片需要输出信息，就必须分时传送。为了实现这个要求，挂在总线上的各芯片必须通过缓冲器与总线相连。

三态门是常用缓冲器的一种。单向三态门电路及其真值表见图 1-5，控制端 C 为高电平“1”时三态门导通，信息从 A 传送到 B。控制端 C 为低电平“0”时三态门截止，A、B 之间呈现高阻隔离状态。双向三态门电路见图 1-6。控制端 $C_1 = 0$ 、 $C_2 = 0$ 时三态门截止，A、B 之间呈现高阻状态。 $C_1 = 1$ 、 $C_2 = 0$ 时门 1 导通、门 2 截止，信息从 A 传送到 B。 $C_1 = 0$ 、 $C_2 = 1$ 时门 1 截止、门 2 导通，信息从 B 传送到 A。

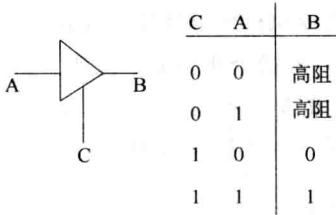


图 1-5 单向三态门

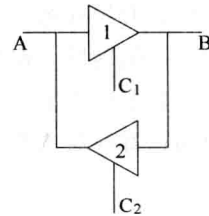


图 1-6 双向三态门

单向总线的缓冲器由单向三态门构成，双向总线的缓冲器由双向三态门构成。8 位总线的缓冲器由 8 个三态门组成，每个三态门控制芯片的一根传输线。

在每一瞬间，由 CPU 发出的控制信号只接通一个发送信息芯片的缓冲器，同时还接通接收信息芯片的缓冲器，其他缓冲器都处在高阻断开状态，这就保证了信息传送的正确性。

微型计算机采用总线结构后，还可以提高计算机扩展存储器芯片及 I/O 芯片的灵活性。因为挂在总线上的芯片数量原则上是没有限制的，需要增加芯片时，只需通过缓冲器挂到总线上就行了。但是，总线一次只能传送一个数据，使计算机的工作速度受到了影响。

很多计算机采用三总线结构：数据总线 DB (Data Bus) 在芯片之间传送数据信息；地址总线 AB (Address Bus) 传送地址信息；控制总线 CB (Control Bus) 传送控制命令。有的计算机用一组总线分时传送地址和数据信息，称为地址/数据分时复用总线。在微处理器内部往往只使用一组总线，称为单总线结构。

将微处理器、存储器、I/O 接口电路以及简单的输入、输出设备组装在一块印制电路板上，称为单板微型计算机，简称单板机。将微处理器、存储器和 I/O 接口电路集成在一块芯片上，称为单片微型计算机。

微型计算机与外围设备、电源、系统软件一起构成应用系统，称为微型计算机系统。图 1-7 概括了微处理器、微型计算机、微型计算机系统三者的关系。

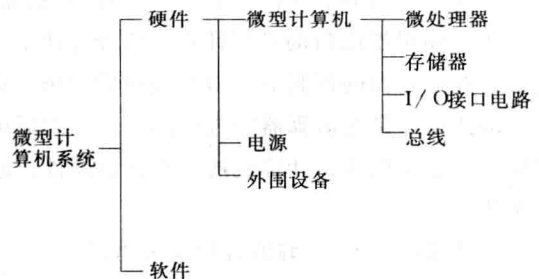


图 1-7 微型计算机系统

二、微型计算机软件

上面所述的微型计算机设备称为硬件。计算机要能够脱离人的直接控制而自动地操作与运算，还必须要有软件。软件是指使用和管理计算机的各种程序 (Program)，而程序是由一

条条指令 (Instruction) 组成的。

1. 指令

控制计算机进行各种操作的命令称为指令。

例如, 将数 29 传送 (Move) 到寄存器 A 的指令称为传送指令, 书写形式为

MOV A, #29; (A) ← 29

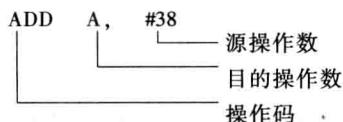
其中“(A) ← 29”是用符号表示的该指令功能。

将寄存器 A 的内容与数 38 相加的指令称为加法 (Additive) 指令, 书写形式为

ADD A, #38; (A) ← (A) + 38

该指令将运算结果送回 A 保存。

指令分成操作码和操作数两大部分。操作码表示该指令执行何种操作, 操作数表示参加运算的数据或数据所在的地址。在指令中, 操作码 ADD 表示该指令执行加法操作。操作数 #38 表示参加运算的一个数据是其本身, #38 称为立即数。操作数 A 表示指令提供了另一个数据所在的地址, 即该数据在寄存器 A 中。而且规定, 运算结果放入目的操作数单元, 即和放入 A 中。



2. 程序

为了计算一个数学式, 或者要控制一个生产过程, 需要事先制定计算机的计算步骤或操作步骤。计算步骤或操作步骤是由一条条指令来实现的。这种一系列指令的有序集合称为程序。编制程序的过程称为程序设计。

例如, 计算 $63 + 56 + 36 + 14 = ?$ 编制的程序如下:

MOV A, #63; 数 63 送入寄存器 A。

ADD A, #56; A 的内容 63 与数 56 相加, 其和 119 送回 A。

ADD A, #36; A 的内容 119 与数 36 相加, 其和 155 送回 A。

ADD A, #14; A 的内容 155 与数 14 相加, 运算结果 169 保存在 A 中。

为了使机器能自动进行计算, 要预先用输入设备将上述程序输入到存储器存放。计算机启动后, 在控制器的控制下, CPU 按照顺序依次取出程序的一条条指令, 加以译码和执行。程序中的加法操作是在运算器中进行的。运算结果可以保存在 A 中, 也可以通过输出设备从计算机中输出。如上所述, 计算机的工作是由硬件、软件紧密结合、共同完成的, 这与一般的数字电路系统不同。

3. 机器语言、汇编语言和高级语言

编制程序可使用汇编语言或高级语言。

上面介绍的用助记符 (通常是指令功能的英文缩写) 表示操作码、用字符 (字母、数字、符号) 表示操作数的指令称为汇编指令。用汇编指令编制的程序称为汇编语言程序。这种程序占用存储器单元较少, 执行速度较快, 能够准确掌握执行时间, 可实现精细控制, 因此特别适用于实时控制。然而汇编语言是面向机器的语言, 各种计算机的汇编语言是不同的, 必须对所用机器的结构、原理和指令系统比较清楚才能编写出它的各种汇编语言程序, 而且不能通用于

其他机器，这是汇编语言的不足之处。

高级语言是面向过程的语言，常用的高级语言有 BASIC、FORTRAN、ALGOL、PASCAL、COBOL 等等。用高级语言编写程序时主要着眼于算法，而不必了解计算机的硬件结构和指令系统，因此易学易用。高级语言是独立于机器的，一般地说，同一个程序可在任何种类的机器中使用。高级语言适用于科学计算、数据处理等方面。

计算机中只能存放和处理二进制信息，所以，无论高级语言程序还是汇编语言程序，都必须转换成二进制代码形式后才能送入计算机。这种二进制代码形式的程序就是机器语言程序。二进制代码形式的指令又称机器指令或机器码。汇编指令与机器指令具有一一对应的关系，表 1-2 是用这两种指令编写的同一段程序。

表 1-2

汇编语言	机器语言
MOV A, #63	0111 0100
	0011 1111
ADD A, #56	0010 0100
	0011 1000
ADD A, #36	0010 0100
	0010 0100
ADD A, #14	0010 0100
	0000 1110

汇编语言程序与高级语言程序又统称为源程序，而机器语言程序又称为目标程序。

机器语言只有 0、1 两个符号，用它来直接编写程序十分困难。因此，往往先用汇编语言或高级语言编写程序，然后再转换成目标程序。将汇编语言程序翻译成目标程序的过程称为汇编。实现汇编有两种方法。由编程人员对照指令表，一条一条查找、翻译的称为人工汇编。由计算机自动完成汇编语言转换为机器语言的称为机器汇编。机器汇编时用到的软件称为汇编程序。高级语言转换成机器语言的工作只能由计算机完成，转换时所用的软件为编译程序或解释程序。这两种程序都远比汇编程序复杂，占用存储器单元多，这是应用高级语言的缺点。

若把表 1-2 所示的目标程序存入容量为 256 个单元的存储器，且从地址为 0000 0000 的单元开始存放，见图 1-8。指令机器码第一个字节所在单元的地址（0000 0000、0000 0010、0000 0100、0000 0110）称为指令地址。第一条指令的地址（0000 0000）称为该程序的首地址，又称程序的入口地址，带有二进制地址和机器码的程序示例如下：

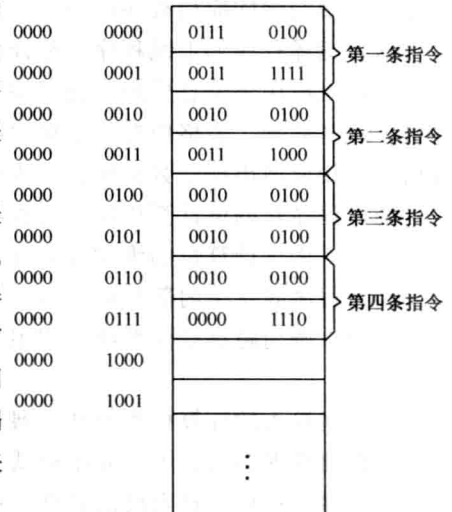


图 1-8 存储器中的程序

地址	机器码	汇编指令
0000 0000	0111 0100 0011 1111	MOV A, #63
0000 0010	0010 0100 0011 1000	ADD A, #56
0000 0100	0010 0100 0010 0100	ADD A, #36
0000 0110	0010 0100 0000 1110	ADD A, #14
⋮	⋮	⋮