

微处理器与微计算机

清华大学 李三立 编

国防工业出版社

内 容 简 介

全书共分十一章。其内容主要包括：微处理器的结构和指令系统；汇编程序和汇编语言程序设计；微计算机的组成与系统部件连接；微计算机的存储器、输入/输出、接口技术。本书除了以Intel 8080为背景阐述上列内容外，还详细介绍了Z-80微处理器，简要介绍了Intel 8086、Zilog 8000、Morotola 68000等三种新型十六位的微处理器的主要特点。最后，介绍了微计算机系统的研制技术。书末，附有书中所涉及的几种机型的指令系统，以及S-100总线。

本书在内容上既立足于微计算机的当前一般水平，又注意了今后发展趋向；既力图将基本原理阐述清楚，又尽量使其与实践紧密结合。本书试图改变以往将硬件与软件分开的框框，尽可能做到将硬件与软件结合起来。

本书是作为高等院校工科电子计算机专业教材编写的。但也可作为社会上其他有关人员参考。

微处理器与微计算机

清华大学 李三立 编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092¹/₁₆ 印张 16¹/₂ 381千字

1981年1月第一版 1981年1月第一次印刷 印数：00,001—13,000册

统一书号：15034·2157 定价：1.70元

目 录

第一章 微处理器与微计算机概论	1
1.1 微处理器与微计算机的发展历史	1
1.2 微处理器与微计算机的定义	2
1.3 微处理器和大规模集成电路工艺	3
1.4 微计算机的分类及其特性	4
1.5 微计算机和其它类型计算机的比较	6
第二章 微处理器的结构	9
2.1 微计算机的工作过程	9
2.2 微处理器的结构	11
2.2.1 算术逻辑部件	11
2.2.2 寄存器	13
2.2.3 堆栈	15
2.2.4 控制部件	17
2.3 总线结构	19
2.3.1 总线电路	19
2.3.2 外部总线	21
2.3.3 内部总线	22
2.4 微处理器实例分析	24
2.4.1 Intel 8080	24
2.4.2 Motorola 6800	27
第三章 微处理器的指令系统	30
3.1 计算机指令的基本格式	30
3.2 微处理器指令寻址方式	32
3.2.1 直接寻址	33
3.2.2 间接寻址	34
3.2.3 立即型寻址	35
3.2.4 变址方式	35
3.2.5 相对寻址	36
3.2.6 寄存器直接寻址	37
3.2.7 寄存器间接寻址	38
3.3 微处理器指令种类	39
3.4 微处理器指令系统	40
3.4.1 数据处理指令	41
3.4.2 数据传送指令	45
3.4.3 程序控制指令	47
3.4.4 状态管理指令	48
第四章 汇编程序与汇编语言程序设计	49
4.1 微计算机的程序设计	49
4.1.1 机器语言、汇编语言和高级语言的比较	49
4.1.2 手工汇编	52
4.2 汇编程序	54
4.2.1 汇编语言程序的语句结构	55
4.2.2 汇编程序控制译码指令	57
4.2.3 宏指令	62
4.2.4 汇编程序的类型	64
4.3 汇编语言程序设计	66

4.3.1	循环程序设计	66
4.3.2	算术运算	69
4.3.3	字符处理	71
4.3.4	子程序	73
第五章	微计算机的存贮器	77
5.1	引言	77
5.2	随机存取存贮器	78
5.2.1	动态 RAM 和静态 RAM	78
5.2.2	动态 RAM 的刷新	79
5.2.3	RAM 工作信号波形	82
5.2.4	存贮器框图	83
5.2.5	微处理器和存贮器的连接	83
5.3	只读存贮器	86
5.3.1	只读存贮器单元和基本原理	86
5.3.2	PROM 存贮器工作过程	89
5.3.3	PROM 写入设备原理	90
5.4	软磁盘存贮器	92
5.4.1	软磁盘存贮器工作原理	92
5.4.2	软磁盘驱动器与微计算机之间的连接信号	93
5.4.3	软磁盘记录信息的格式	95
第六章	输入与输出	97
6.1	输入与输出的工作方式	97
6.1.1	输入/输出指令方式	97
6.1.2	同步与非同步定时方式	101
6.1.3	程序查询、中断和 DMA 控制方式	102
6.2	串行和并行的输入/输出端口	111
6.2.1	串行数据端口	112
6.2.2	并行数据端口	119
6.3	中断和中断电路	126
6.3.1	中断的种类和处理方法	126
6.3.2	中断管理电路实例	130
第七章	微计算机的组成与系统部件连接	133
7.1	8080 微计算机组成和工作过程	133
7.1.1	8080 中央处理器模块的组成	133
7.1.2	8080 的定时	137
7.1.3	8080 的机器周期和状态信息	138
7.1.4	8080 工作状态变化流程和基本指令周期	140
7.1.5	8080 指令执行中的信号和波形	143
7.2	8080 微计算机系统	147
7.2.1	8080 微计算机系统部件的连接	147
7.2.2	8080 微计算机的中断系统	147
7.2.3	8080 微计算机的 DMA 系统	151
7.3	8085 微计算机系统	157
7.3.1	8085 微计算机的特点	157
7.3.2	基本的 8085 微计算机系统	159
第八章	微计算机的接口技术	161
8.1	微计算机和外围设备接口	161
8.1.1	微计算机和开关的接口	161
8.1.2	微计算机和七段发光管显示器的接口	163
8.1.3	微计算机和键盘的接口	164
8.1.4	微计算机和电传打字机的接口	168

8.2 模拟电路的接口	174
8.2.1 数字/模拟转换	174
8.2.2 模拟/数字转换	176
8.3 标准总线	181
8.3.1 并行的标准总线	181
8.3.2 串行的标准总线	183
8.4 简单微计算机系统应用实例——数字式计时仪	184
8.4.1 设计目的	184
8.4.2 硬件设计	184
8.4.3 软件设计	185
第九章 Z-80微处理器	195
9.1 Z-80的结构特点	195
9.1.1 Z-80 CPU 的主要特点	195
9.1.2 Z-80 CPU 的结构	196
9.1.3 Z-80和8080 信号的对比	200
9.2 Z-80的定时和指令执行	201
9.2.1 取指令操作码操作	201
9.2.2 存储器读或写周期	203
9.2.3 输入或输出周期	203
9.2.4 中断请求/响应周期	205
9.2.5 暂停指令周期	207
9.3 Z-80 指令系统	207
9.3.1 寻址方式和状态标志	207
9.3.2 Z-80的指令分类	208
第十章 三种新型十六位微处理器简介	213
10.1 Intel 8086 介绍	213
10.1.1 8086结构的特点	213
10.1.2 8086指令系统的特点	217
10.2 Zilog 8000 介绍	218
10.2.1 Z-8000信号线的功能	218
10.2.2 Z-8000的寄存器结构	220
10.2.3 地址表示和存储器管理	220
10.3 Motorola 68000 介绍	223
10.3.1 M68000 CPU 寄存器结构	223
10.3.2 M68000 信号线的功能	224
第十一章 微计算机系统的研制技术	228
11.1 研制微计算机系统的步骤	228
11.1.1 研制微计算机系统的主要步骤	228
11.1.2 系统设计任务的确定	230
11.1.3 程序设计的流程	232
11.2 研制微计算机的辅助工具	233
11.3 微计算机研制系统介绍	236
参考文献	241
附录	242
附录一 Intel 8080 基本指令表	242
附录二 M6800 指令系统	244
附录三 Z-80 指令系统	245
附录四 Intel 8086 指令系统	248
附录五 Z-8000 指令系统介绍	250
附录六 M68000 指令系统	254
附录七 S-100 总线	255

第一章 微处理器与微计算机概论

1.1 微处理器与微计算机的发展历史

自从 1971 年第一台微处理器 Intel 4004 问世以来,其发展速度极其迅速。微处理器的性能和集成度几乎每两年增加一倍,而微处理器与微计算机的各种产品和它们的应用则发展更快。实际上,整个计算机工业本身进展就很快:第一台电子管计算机在 1946 年设计成功并投入运行;第一批商业晶体管计算机在 50 年代后期开始成批供应;集成电路计算机在 60 年代中、后期便大量生产。然而,自微处理器和微计算机出现以来,由于其体积小、价格便宜和应用广泛,故它的发展速度和影响远远超过了它的前代。现在一小片微计算机的功能,超过了 50 年代初期占地上百平方米,功耗上百千瓦的庞大的电子管计算机。

微处理器与微计算机的发展历史,是和大规模集成电路 (LSI) 的发展分不开的。60 年代初期的硅平面管工艺和二极管-晶体管逻辑电路的发展,促使小规模集成电路 (SSI) 在 1963~1964 年出现。半导体工艺的研究以及精密半导体工艺设备的发展,使集成电路工艺有了进一步的改进。金属氧化物半导体 (MOS) 晶体管工艺又使集成度显著提高。到了 60 年代后期,由于在一小片几个平方毫米的硅片上已有可能容纳几千个晶体管的电路,于是便出现了大规模集成电路。由于大规模集成电路计算机部件体积小、功耗少、可靠性高,因此,引起了民用和军用部门的重视。1970 年前,已经可以生产 1K 位的存贮器和可编程序的袖珍计算器。这些技术和工艺为设计和生产微处理器打下了基础。

1971 年,出现了第一台微处理器,这就是 Intel 公司的 4004。Intel 4004 本来是作为高级袖珍计算器设计的,但等到它生产出来以后,却取得了出人意外的成功。然而,由于其设计考虑毕竟比较局限,故作为通用计算来说,其功能还是太低。于是 Intel 公司把它作了改进,从而生产了 4 位的 4040 型微处理器。

这时,许多机构都对微处理器产生了很大的兴趣。Intel 公司趁此形势,在 1972 年马上生产出 8 位的微处理器 Intel 8008。以上这些就是现在所谓的第一代微处理器。此后,生产微处理器的厂家剧增。这样一来,仅在 1973~1974 年,就生产出了多种型号的 8 位微处理器,如 Intel 8080、Motorola 6800、Signetics 2650 和 Rockwell PPS 8 等等。人们把这些微处理器称之为第二代微处理器。当时,微处理器的设计和生产技术已经相当成熟,并且,配成微计算机系统的其它部件也愈来愈齐全。此后,微处理器朝着以下这些方向迅速发展:提高集成度;提高功能和速度;减少组成微计算机系统所需的电路片数目;增加外围配套电路的种类并增强其性能;把中央处理器 (CPU)、存贮器和输入/输出电路做在一片硅片上;等等。于是,在 1975~1976 年,出现了集成度更高和性能更强的 Z-80 和 Intel 8085 等微处理器,以及一系列单片微计算机。人们把它们称为第三代微处理器。1977 年左右,超大规模集成电路 (VLSI) 工艺已经成功。此时,一片硅片上可以容纳一万个以上的晶体管,16K 位和 64K 位存贮器已生产出来。在此基础上,从 1978 年开始便生产了可与过去中档小型计算机相比拟的 16 位微处理器,如 Intel 的 8086, Zilog 公司的 Z-8000 以及 Motorola 公司的 M68000。这些微处理器被称为是第一代超大规模集成电路的微处理

器。据估计,到 80 年代前期,在单片硅片上可以做出几十万个晶体管的集成电路。因此,32 位的微处理器,以及包含有几十 K 字节存贮器的单片微计算机都将出现。与此同时,价格便宜的个人用微计算机将广泛应用在家庭生活中。可以预料,微计算机对人类生活将愈来愈显示出不可忽视的影响和作用。

1.2 微处理器与微计算机的定义

首先我们区分一下微处理器(简称 μP)和微计算机(简称 μC)的定义,以避免以后内容中两者之间用词上的混淆不清。微处理器本身不是计算机,但它是小型计算机或微计算机的控制和处理部分;而微计算机则是具有完整运行功能的计算机,它除了包括微处理器(作为它的中央处理器 CPU)之外,还应包括存贮器、输入/输出电路,以及其它配套电路。图 1.1 是一台微计算机的基本结构框图。

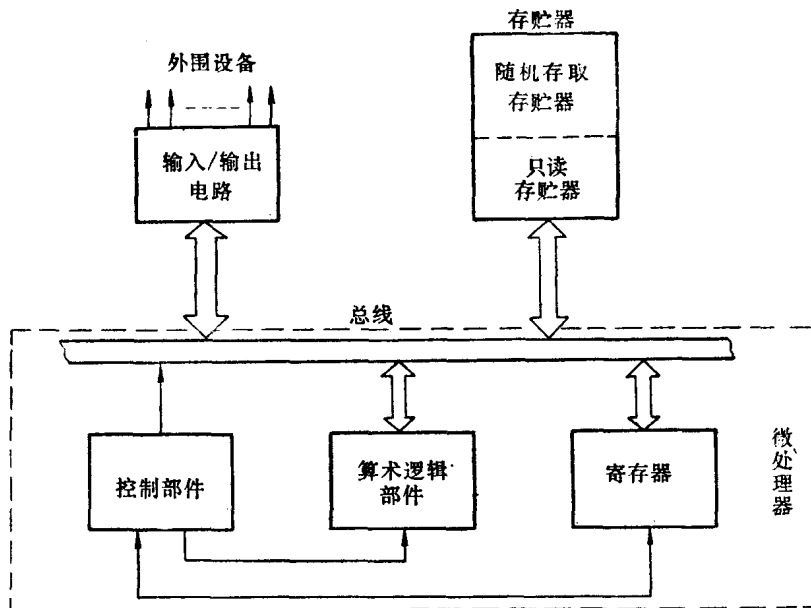


图 1.1 微计算机基本结构框图

虚线框内是微处理器,它包括三个基本部分:

1. 算术逻辑部件 (ALU)

它既能执行算术运算(如加法和减法等),又能执行逻辑操作[如逻辑“与”(AND)和逻辑“或”(OR)等]。

2. 寄存器

每个微处理器中都有多个寄存器,它用来存放操作数、中间结果以及标志工作状态的信息等。

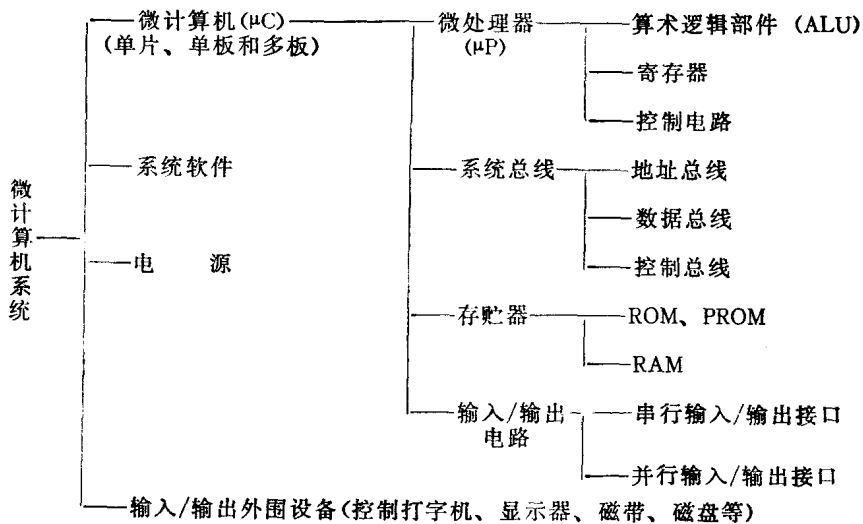
3. 控制部件

它包括用于定时的时钟脉冲发生器以及其它控制操作的电路。

这三个部分在微处理器内通过内部总线互相联系以外,还通过外部总线与外部的存贮

器和输入/输出电路联系。外部总线一般分数据总线、地址总线和控制总线，统称为系统总线。存贮器包括随机存取存贮器（RAM）和只读存贮器（ROM）。微计算机通过输入/输出电路可与各种外围设备连接。从图 1.1 可知，微处理器和存贮器、输入/输出电路组合在一起，才能构成微计算机。有的微处理器本身就是微计算机的中央处理器（CPU），有的微处理器要外加时钟发生器和系统控制电路才构成微计算机的 CPU。有的微计算机是把 CPU、存贮器和输入/输出电路都做在一片硅片上的，这叫单片微计算机，有的是把这三者放在一块或多块印制电路板上的，这叫做单板或多板的微计算机。一台（或一片）微计算机，再配上系统软件、电源以及各种输入/输出设备，才构成微计算机系统。表 1.1 概括了微处理器、微计算机和微计算机系统三者的相互关系。

表 1.1 微处理器、微计算机和微计算机系统



1.3 微处理器和大规模集成电路工艺

前面已经提到，微处理器的发展是和大规模集成电路（LSI）工艺的发展分不开的。而不同类型的 LSI 工艺又对微处理器的特性有很大影响。

制造微处理器的 LSI 工艺主要有两种类型：一种为金属氧化物半导体晶体管工艺（简称 MOS 工艺）；另一种为双极型晶体管工艺。相对而言，MOS 工艺比较简单，集成度比较高。目前市场上大部分微处理器是采用 MOS 工艺。双极型晶体管工艺的集成度较低，但其电路工作速度快。因此，目前主要用于所谓“位片式”的微处理器。位片式微处理器是把两位和四位数位的算术逻辑部件做在一片电路（叫做位片）上，微处理器则由多片位片再加上一些带有微程序控制的控制电路片连接起来组成。

早期的 MOS 是采用 P 型沟道的工艺，即其中晶体管导电沟道是 P 型（空穴载流子）沟道，人们把用这种工艺制成的 MOS 电路简称为 P M O S。这种电路的工艺实现起来比较容易，但所用电源电压较高，其工作速度比较慢，PMOS 微处理器的时钟频率一般在 1MHz 以下。Intel 公司的 4004、4040 和 8008 这些第一代的微处理器都是采用 PMOS 工艺制成的。第二代的微处理器，如 Intel 8080、Motorola 6800，是采用 N 型沟道的工艺制成的，它

们所用的电路简称 $NMOS$ 。 $NMOS$ 的导电沟道是 N 型(电子载流子)。用多晶硅做栅极的硅栅 $NMOS$ 、耗尽型负载工艺的晶体管电路开启电压较低, 电源电压用 $5V$, 其电路逻辑电平可与晶体管-晶体管逻辑电路 (TTL) 匹配。 $NMOS$ 微处理器的时钟频率一般为 $2\sim 4MHz$ 。在七十年代后期, 研制出一种高性能的、沟道非常短的 $NMOS$ 产品, 这就是 $HMOS$ 工艺电路。由于其沟道只有 $2\sim 3\mu m$, 所以可使晶体管面积大大缩小, 使集成度大大提高。由于可以在一片硅片上做几万个晶体管的电路, 因此, 它便成为超大规模集成电路中一种很重要的工艺。这种 $HMOS$ 电路的工作速度很快, 电路片内的门电路延迟时间只有 $2\sim 3ns$ 。这种 $HMOS$ 微处理器的时钟频率可达 $5\sim 8MHz$ 。Intel 公司的新型 16 位微处理器产品 8086 就是采用这种工艺制成的。

在 MOS 工艺中, 还有一种叫 $CMOS$ 的工艺, 它是用 P 型沟道和 N 型沟道晶体管组合起来的一种互补电路的工艺。 $CMOS$ 电路的主要优点是功耗很小、抗干扰性能好。所以, 它主要用在宇航和航空工业中。若 $CMOS$ 电路是做在兰宝石基片上的, 则称其为 SOS 工艺。在 SOS 工艺中, 各个单元电路是象小岛那样隔开的。这样一来, 由于其寄生电容很小, 故可使 MOS 电路在沟道不是太短的情况下, 将其速度大大提高。目前, 美国和日本一些公司对 SOS 工艺给予很大重视, 认为它是发展微处理器的一种很有前途的工艺。日本有一种新型 16 位高性能微处理器 $PULCE$ 就是用 SOS 工艺制成的。据称, 在沟道长度为 $6\mu m$ 的情况下, 这种工艺也可使片上门延迟到 $2\sim 3ns$ 。

采用双极型工艺做成的微处理器电路主要有三种类型, 即: 晶体管晶体管逻辑电路 (TTL)、射极耦合逻辑电路 (ECL), 以及集成注入逻辑电路 (I^2L)。其中, TTL 又分成低功耗肖特基 TTL ($LPSTTL$) 和一般肖特基 TTL ($STTL$) 两种。前者功耗较小, 后者速度较快。一般用 TTL 工艺所制成的微处理器的工作时钟频率范围为 $5\sim 10MHz$ 。典型例子有 Intel 公司的两位片微处理器 3000 系列和 AMD 公司的四位片微处理器 2900 系列。工作速度最快的是 ECL 工艺的位片微处理器, 典型例子有 Motorola 公司的四位片 10800 系列。其工作时钟频率可达 $20MHz$; 门电路延迟时间只有 $1ns$ 左右。最近 Fairchild 公司把 ECL 工艺微处理器的集成度大大提高了一步, 做出了 $ECL100K$ 系列的八位片微处理器。

集成注入逻辑 I^2L 工艺也属于双极型工艺, 但人们往往把它专门分开讨论。它的工艺的简便程度可与 MOS 工艺相比拟, 其集成度较高、功耗较低, 但是它的工作速度却比 TTL 和 ECL 都要低得多。采用 I^2L 工艺制作的微处理器的典型例子有 Texas Instruments 公司的 $SBP0400$ (4 位) 和 $SBP9900$ (16 位)。 I^2L 工艺的主要缺点是速度较慢。最近出现了一种平面隔离型的 I^2L 工艺, 称为 I^3L 。 I^3L 工艺的电路工作速度较快, 但它失去了原来 I^2L 工艺的简便性。有代表性的用 I^3L 工艺制作的微处理器是 Fairchild 公司的 16 位的 9940。其指令系统与小型机 $NOVA$ 相同; 其工作时钟频率可达 $10MHz$ 。

1.4 微计算机的分类及其特性

微计算机既可以分成 4 位、8 位和 16 位的, 也可分成单片的和多片的, 还可以分成单板的和多板的。但是, 各厂家所设计的各种微计算机产品, 主要是按照其应用范围来划分的。下面我们按照微计算机的用途对其进行分类, 如表 1.2 所列。

表1.2 微计算机的分类及其特点

	控 制		数 据 处 理	
	(1) 专用4位 单片机; 大量生产; 价格极低	(2) 通用8~16位 单片机; 中等生产量; 低价格	(3) 分布式8~16位 多片机; 中等生产量; 中等价格	(4) 集中式16位 多片机; 生产量较少; 较高价格
应用范围	面向消费品: • 电视机调谐器 • 家庭用器械 • 娱乐游戏用品 • 计算器	面向工业应用: • 汽车 • 仪器仪表 • 外围设备控制器 • 机器控制	商业和实时控制: • 智能终端 • 工业生产控制 • 过程控制 • 小型和个人计算工具	实时数据处理: • 数据库 • 大型商业公司业务 • 科学计算 • 多机处理系统
特点与性能	有限的电路功能: • 4位数据操作 • 一般是固定的程序; • 很小的ROM容量; 很小的RAM容量(有时只用寄存器堆代替) • 有限的I/O • 不可扩展性	有一定扩展的电路功能: • 8位或16位的数据处理 • 2K字节的程序存储器ROM, 而且一般是固定的程序; 128字节的RAM可存放数据 • 扩大的I/O结构 • 一般具有可扩展性	有相当大的电路功能: • 8位或16位的数据处理 • 64K字节的ROM • 64K字节的RAM • 扩大的I/O能力, 一般要求有中断、DMA等功能 • 不受限制的可扩展性	有非常强的电路功能: • 16位到32位的数据处理能力 • 至少64K字节的ROM • 至少64K字节的RAM • 很强的I/O能力, 能带多种外围设备, 可有多重处理能力 • 不受限制的可扩展性
广泛使用的产品和近年新产例	• American Microsystem的S2000系列 • Intel的MCS40系列 • National Semiconductors的MM5799系列 • Rockwell PPS4/1, PPS4/2 • Texas Instrument TMS1000系列	• Fairchild的3850(F8) • Intel的8048, 8049, 8021, 8022 • MOSTEK的3870, 3872 • General Instruments的PIG1650 • Texas Instruments的9940 • Zilog的Z8	• Intel的MCS80/85 • Motorola的M6800系列 • Rockwell的MCS 650X系列 • Signetics的2650系列 • Zilog的Z-80系列	• Data General的micro NOVA系列 • DEC的LSI-11, LSI-11/2系列 • Fairchild的9940系列 • Intel的8086系列 • Zilog的Z-8000系列 • Motorola的M68000系列 • Texas Instruments的TMS9900系列

表中, 从左到右的四种类型, 表示微计算机的功能从低档向高档的变化。最低档微计算机是4位的, 一般是为专门用途而定做的, 而且主要是面向消费产品(如带计算器的电子手表、微波电炉、照相机的快门控制装置)而设计的。这些产品的程序都是固定的, 而且不需外加扩充的存储器。它们不接外围设备, 但有时要求较大的电流输出能力, 以直接驱动被控制的机构或者显示器件。这种微计算机的每种用途的产品生产批量很大(如电子手表), 一般都在10000以上。所以, 其结构设计和程序设计都力求简单、经济、高效率。

比上述最简单的微计算机较高一档的, 是近年来大力发展的8位(少数是16位)单片微计算机。这种单片微计算机主要是为控制用的。尽管其规模不大, 但按前节的定义来说, 它是完全独立的微计算机。在单片电路中, 它包括中央处理器(CPU)、只读存储器(ROM)、随机存取存储器(RAM), 以及输入/输出接口电路。在这种单片微计算机中, ROM的容量约为1~2K字节、用来存放专用程序; RAM容量为128~256字节, 主要用来存放数据。它的存储量不大, 但对于一些专门用途(如局部生产过程的仪表控制、简单机器动作的控制等), 这些存储容量是足够的。然而, 由于这种微计算机的设计要考虑向上扩充功能的能力, 所以往往可以具备外接扩充存储器、扩充输入/输出(I/O)的能力。在软件上也往往与比其高一档的多片机系列相兼容。这样, 就有扩大应用范围的余地。近年来, 这种单片微计算机发展很快, 其性能更新也很快。其性能的改进朝着两个方向: 一是在单片上扩大存储容量, 即ROM提高到2K字, RAM提高到256字; 二是增强I/O的能力, 如增加I/O端口的数目, 增设按位、按组和按字节处理输入/输出数据的功能。

表1.2中第(3)类是多片的8位和16位的微计算机, 主要用于分布式数据处理和实时控制。如最常见的Intel公司的8080/8085系统、Zilog公司的Z-80系统, 以及Motorola公司的M6800系统等。由于其指令系统已为大家所熟悉和广泛使用, 故其软件系统经过逐

年的积累充实，已经比较丰富和成熟。由于很多系统已配有操作系统和高级语言，用户使用起来比较方便，所以，世界上各国都仿制这些产品。尽管这些产品的结构和指令系统不会轻易变化，但由于集成电路工艺的进展，故它们的集成度和运算速度仍在提高。例如，Intel 公司把 8080(CPU)、8224(时钟脉冲)和 8228(系统控制器)三片电路合成一片，制成了 8085 系统。又如，Intel 公司还把 8080 版图缩小，使之沟道变短，并且把其时钟频率提高到 3~4MHz；也有厂家把 Intel 8080 用 SOS 工艺制造，从而提高了工作速度。这就说明，这些产品的结构和指令系统仍有相当强的生命力。此外，这种系列的微计算机的外围配套电路还在不断完善和多样化。

表中，功能最强的是第(4)类集中式 16 位数据处理的微计算机。对于这类微计算机的功能，有的已经和过去小型计算机中的中档机型相当。但是在设计时，还增设了多机处理的功能。这样，便可以适应微计算机系统向多机系统发展的趋向。这种高性能微计算机来自下述两条不同的途径。一条是把过去已经流行的小型计算机微型化。例如 PDP-11 系列中的 11/20 机已经微型化，发展成为 LSI-11 微处理器；最近，PDP-11 系列的中档机 11/34 型也将微型化，发展成为 LSI-23 微处理器。又如，NOVA 计算机也已微型化，发展成为 micro NOVA 微处理器；最近又发展成为 MP/100 和 MP/200。另一条途径则是微计算机厂家在自己的 8 位机的基础上，发展成为 16 位高性能微计算机。例如：Intel 的 8086 的软件是和 8080/8085 兼容的，但其功能却大为增强；Zilog 公司在 Z-80 以后生产了 Z-8000，据称，其性能可超过小型机 PDP-11/45。现在，Motorola 68000 的内部寄存器已经是 32 位的了。看来，这一类微计算机将在过去小型计算机的很多应用领域取代小型计算机。

1.5 微计算机和其它类型计算机的比较

微计算机有什么特点？它与其它类型计算机（如小型计算机和大型计算机）有什么共同之处？又有什么不同之处？我们将在以下几个方面对它们加以比较：字长；存贮容量；指令执行时间；输入/输出数据最高传送率；通用寄存器数目；所配备的软件。通过这些方面的比较，便可以使我们了解不同计算机的不同应用范围。

1. 字长

计算机字长影响到计算机的精度、功能和速度。大型机的字长为 32~64 位；小型机一般为 16~32 位；微计算机为 4~16 位，目前典型的是 8 位。若要算一个 32 位字长的加法，则微计算机要算 4 次且要处理每次的进位，因而比较麻烦。由于字长比较长的计算机可以执行比较复杂的运算，所以大型计算机比较适宜于计算天气预报或飞行物轨迹这些计算量很大而精度要求比较高的任务。至于小型与微型计算机，则比较适于控制任务。例如控制一些机器动作的计算机，在操作过程中，它所接受的数据来自按钮、开关，或传感器，所得的计算结果被送至显示器、执行机构和控制马达等等。对于这种场合的应用，采用较短字长的机器已经足够了。此外，短字长的微计算机可以用于大型机的前沿数据处理。在这种场合下，它可以逐段处理输入数据，加以编辑或纠错，等到全字长都处理完毕，它便向大型机发出“准备就绪”信号，再把这个完整的字送到大型计算机。如图 1.2 所示。在这种系统中，大型计算机用来执行计算任务，而微计算机则用来收集数据和整理数据。这样，便可以减轻大型计算机在输入处理方面的负担，从而大大提高大型机的吞吐率。当然，在一

些精度要求不高的场合，微计算机也可用做独立的数据处理系统。

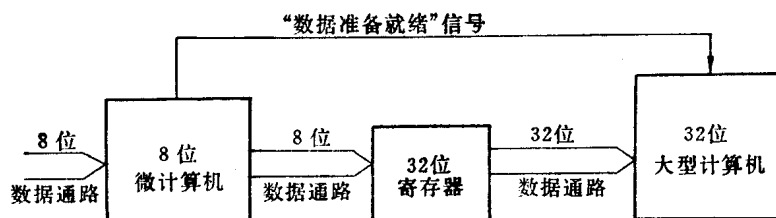


图1.2 用于前沿处理的微计算机

2. 存储容量

存储容量决定计算机可以处理的数据量和程序的大小。如果主存储器容量不够容纳计算的数据和程序，则必须用第二级存储器（如磁盘或磁带）。但是，第二级存储器速度比主存储器要慢。一般情况下，第二级存储器用来存放大量的文件、各种记录，等等。

微计算机的主存容量一般最大为 64K（字节）。小型计算机为 64~256K（字节）。大型计算机在 1 兆字节以上。因此，大型计算机可以处理较多的数据和较大的程序。此外，大型机有足够的存储容量存放复杂的操作系统和多种高级语言的编译程序。

由于功能较强的小型计算机具有相当大的存储容量，因此，它可以用来计算较大的题目。此外，它还具有较高级的系统软件。但是，对于功能较低的小型机和微计算机来说，由于它们的主存容量很小，因此，操作系统、高级语言编译程序或其它软件必须力求紧凑，只能占用较少的存储容量，或者必须采用第二级存储器。实际上，在应用微计算机时，由于还要内设一些监控程序等，因此，所能使用的主存容量要小于 64K。

3. 指令执行时间

指令执行时间是衡量计算机功能的一项很重要的指标。大型计算机执行一条加法指令大约只需十分之几微秒，而微计算机的典型加法时间则为 2 μ s，这两者相差十几倍。然而，在比较执行指令的速度时要考虑的因素并不仅仅是这一点。由于大型机的字长比微计算机长几倍，因此，若要完成同样精度的加法，则微计算机要进行多次；此外，由于微计算机字长较短，因此，为了表示一个真正的存储器地址，实际上要花较长的时间。再者，对于有些复杂指令（如浮点乘、除法），大型机是用硬件实现的，而微计算机则要靠软件来实现，这要花费几十条、甚至上百条基本指令才能完成。对于高性能的小型机，不仅其指令功能比微计算机要丰富，而且有时它还配有浮点运算的硬件。

4. 输入/输出数据最高传送率

I/O 传送速率不仅决定计算机究竟可用什么外围设备，而且也决定与外界对象交换数据的速度。由于大型计算机有功能较强的 I/O 处理指令，有专门的硬件处理 I/O 数据，所以它的 I/O 传送速率远比微计算机高。因此，大型机可使用高速外围设备（如快速磁盘、快速打印机、快速通信传输线）；而微计算机一般只能用一些简单的外围设备（如键盘、显示器、电传打字机），有时也可能用些软磁盘。

微计算机和低功能的小型机只能用在速度较慢的场合，即外界和计算机之间的响应时间为十分之一或百分之一秒的情况。例如，对于外界温度的变化、压力的变化等等较慢变量的控制，采用微计算机是比较适宜的。如果所要求的外界响应时间是微秒数量级的，则应采用高性能小型机，甚至要采用大型机。

5. 通用寄存器数目

通用寄存器在 CPU 中是直接和 ALU 打交道的，它可以看作是小型快速存储器。在通用寄存器中所保存的是常用数据或中间结果。由于所采用的通用寄存器的个数较多，故一般可以减少 CPU 访问存储器所要花费的时间。大型机的通用寄存器一般有几个。微计算机的通用寄存器一般为 8 个左右。但高性能的微计算机通用寄存器也很多。小型机一般为 4~16 个。

6. 配备的软件

大型计算机通用性很强，它不仅有较大容量的主存和各种外围设备，而且也配备了比较齐全的软件。有时，大型机具备几种高级操作系统和较丰富的应用软件（如工程计算、商业计算、文件管理、信息检索等方面的应用软件）。此外，还配备了多种高级语言，如 FORTRAN、COBOL、PL/I、APL 等等。较大的小型机一般至少有一种较完善的操作系统和几种最常用的语言（如 FORTRAN 和 BASIC 等）。

由于功能较低的小型计算机的存储容量较小，故一般只有简单的操作系统或监控程序，以及一个汇编程序和简单的编译程序。其用户程序（诸如标准数学函数、很小的用户程序库等等）是很有限的。

微计算机的专用性较强。专用微计算机的存储量很小，一般很少提供操作系统或编译程序，大都只配备 BASIC 语言。但是，近年来通用的微计算机系统发展很快，配备的软件（如操作系统、高级语言和用户程序）愈来愈丰富。如果微计算机是为控制用的，那末，其程序就要专门设计。

表 1.3 列出了微计算机和其它类型计算机在这几个主要特性方面的比较。其中所采用的典型机型分别是：微计算机——Intel 8080 作中央处理器的 MCS-80；低功能小型机——NAKED MINI；中等功能小型机——PDP 11/45。大型机——IBM 370/168。

表1.3 微计算机和其它类型计算机的特性比较

	大型机	小型机		微计算机
		中等功能	低功能	
字长 (位)	32	16	16	8
存储容量 (字节)	8.4M	256K	64K	64K
加法执行时间 (微秒)	0.13	0.9	3.2	2.0
I/O 传送数据最高速率 (字节/秒)	16M	4M	1.4M	500K
通用寄存器个数	64	16	3	7
外围设备	各种类型	相当广泛	磁盘、磁带； 宽行打印机； CRT 显示器； 操作系统；	电传打字机； CRT 显示器； 软磁盘；
软件			汇编程序； FORTRAN； BASIC	汇编程序； PL/M； BASIC

必须指出，由于近年来微计算机技术的迅速发展，故表 1.3 中所列出的微计算机与小型机之间的差别正在趋向消失。1.4 节中提到的第一代超大规模集成电路的 16 位微处理器，有些性能已经超过中档的小型机。Intel 公司在 1980 年已宣布生产 32 位微处理器，其字长、存储容量、指令执行时间和 I/O 传送数据速率等都已超过现在的一般小型机。由此可见，随着科学技术的进展，读者必须看到，微计算机与小型机的概念将会发生深刻的变化。

第二章 微处理器的结构

2.1 微计算机的工作过程

在讨论微处理器的内部结构以前，最好先了解微计算机工作的简要过程，这样便于我们弄清微处理器中每个部件在整个微计算机工作中所起的作用。

微计算机的结构见图 2.1。微处理器是微计算机的中央处理器 (CPU)。为了组成一个微计算机系统，微处理器要通过外部总线 (数据总线、地址总线和控制总线) 与外面的存储器 and 输入/输出接口电路联系。其中数据总线是双向的 (既可从 CPU 发出数据，也可由 CPU 接收数据)。输入/输出接口电路通过各个端口与各种外围设备交换数据。

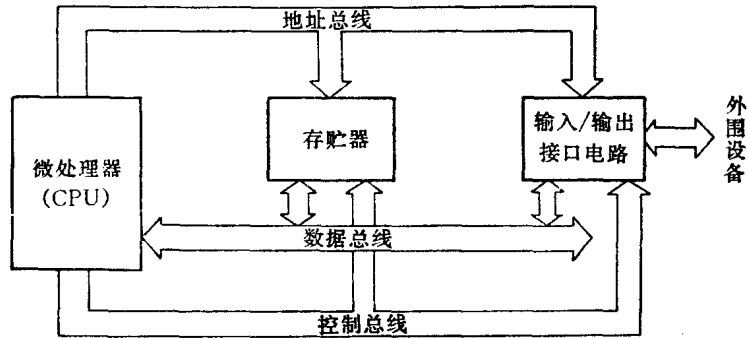


图2.1 微计算机结构图

下面简要介绍一下微计算机的工作过程。为了使微计算机完成某项任务，用户通过外围设备把程序和操作数据送入输入/输出电路 (以后简称 I/O 电路)，I/O 电路通过数据总线送入存储器。

程序由一系列指令组成 (见图 2.2)。指令包括两部分，操作码和地址码。指令周期分成两个阶段。第一阶段是，先从存储器把指令取出 (这叫取指的动作)，然后进行指令

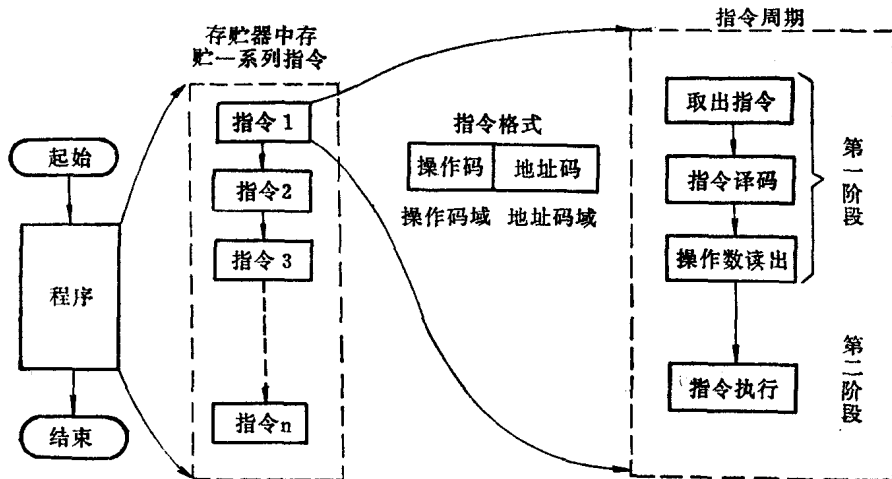


图2.2 微计算机工作过程

译码，即对指令的操作码和地址码进行译码，说明该指令是执行什么类型的操作，以及指出参加操作的操作数的地址；接着，再根据这个地址取出操作数；第二阶段就是，按照操作码所指明的操作类型，对操作数进行操作。这是执行指令的阶段。

图 2.3 是微计算机 CPU 的结构图。由图可以了解微处理器的组成，以及微计算机取指令和执行指令的工作过程。

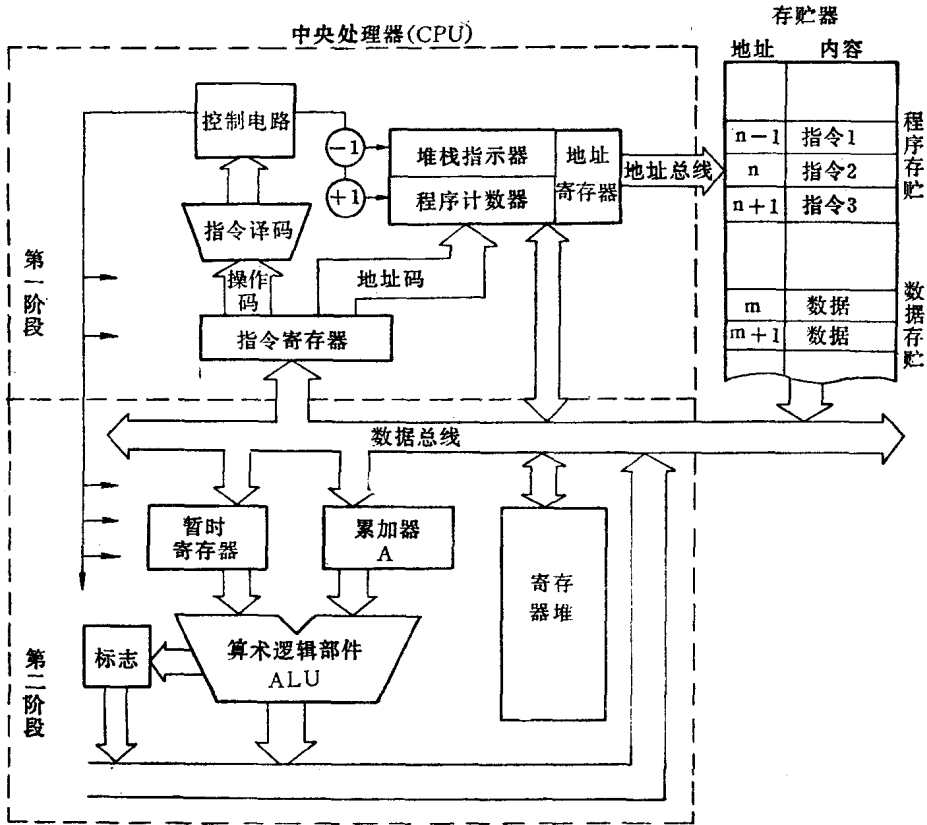


图 2.3 微处理器取指令和执行指令的结构

程序计数器指出当前指令地址。根据该地址从存储器中取出的指令，经过数据总线进入指令寄存器。指令的操作码部分经过指令译码器译码之后，便对控制电路为完成此指令所应发出的各种控制信号加以选择。指令的地址码部分直接被送入地址寄存器，或者经过修改后再将其送入地址寄存器，然后，通过地址总线向存储器指出操作数的地址（存储器中存放指令的区域为程序存储区域；存放数据的区域为数据存储区域。这两者往往是分开的）。CPU 按操作数地址从数据存储区域中取出操作数，再经过数据总线将操作数送入暂时寄存器。暂时寄存器中的数被送到算术逻辑部件 ALU 的一个输入端（ALU 另一个输入端接到累加器 A）。在 ALU 中，对其两个输入端引进来的数执行算术运算或者逻辑操作。其操作结果再通过数据总线送回累加器。至此，执行一条指令的工作过程便告结束。此时，程序计数器加 1，并指出下一条指令的地址，以便从存储器的程序存储区域，取出下一条指令，完成下一个指令周期。

应该补充说明的是，ALU 在执行算术运算或逻辑操作时，还把与操作结果有关的一些特殊信息，送入标志寄存器，这些标志寄存器将对下一条指令如何执行产生影响。

此外，在以上讨论中，其操作数是从存储器中取出的。但是，在一般微处理器中，往往设置了由多个通用数据寄存器所组成的寄存器堆，这样，有些操作数便可以从寄存器取出，然后在 ALU 中与累加器中的数一起参加操作。这样就比从存储器去取操作数要节省时间，从而可以缩短整个指令执行时间。

分析以上微计算机执行指令的工作过程之后，就可以将微处理器所做的动作归纳如下：

- (1) 把指令地址放在地址总线上；
- (2) 通过数据总线从存储器取出指令，并对指令译码；
- (3) 取出指令所需的操作数的地址和数据（这些地址和数据可以在存储器中，也可以在寄存器中）；
- (4) 执行指令码所规定的操作（这些操作可以是算术运算或逻辑操作，也可以是数据传送、管理操作）；
- (5) 在执行下一条指令之前，要检查有无其它控制信号（如中断信号等），并作出响应；
- (6) 提供表示状态的标志信号、控制信号和定时信号（这些信号供给整个微计算机系统使用）。

了解微计算机的典型工作过程，以及微处理器在其中所起的作用，有助于下面讨论微处理器的结构以及组成微处理器的各个部件的功能。

2.2 微处理器的结构

现在通常把有些微处理器称为面向寄存器的处理器，或面向堆栈的处理器。这就说明，用来存放和传送数据的寄存器和堆栈是微处理器中非常重要的部件。除了寄存器和堆栈之外，微处理器中还有算术逻辑部件和控制部件。算术逻辑部件是用来对数据进行算术运算和逻辑操作的执行部件，控制部件则发出一系列控制信号，以执行所规定的指令操作。下面介绍这些构成微处理器的主要部件。至于内部总线和外部总线，将放在 2.3 节专门讨论。

2.2.1 算术逻辑部件

ALU 的结构框图如图 2.4 所示。它有两个输入端：一个与累加器 A 相连；另一个与暂时寄存器相连。暂时寄存器通过数据总线从其它数据寄存器或存储单元接受操作数。此外，ALU 还接受控制电路来的控制信号。ALU 有两个输出端：一个用来输出操作结果；另一个用来输出表示操作结果特殊信息的标志位。

ALU 执行的典型操作有：

- (1) 加法；
- (2) 减法；
- (3) 逻辑“与”；
- (4) 逻辑“或”；
- (5) 逻辑“异或”；
- (6) 求补；
- (7) 增量（加 1）；

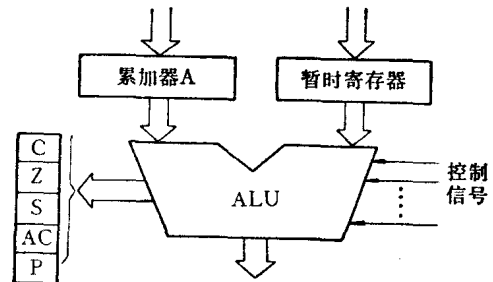


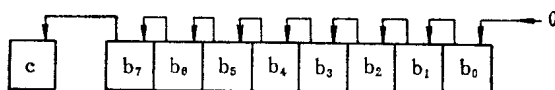
图 2.4 算术逻辑部件

(8) 减量 (减 1);

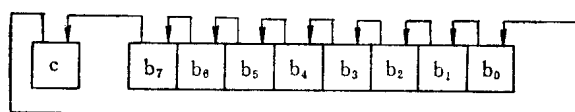
(9) 清零。

以上这些操作将在第三章讨论算术逻辑指令时详细叙述。此外, ALU 还应能执行移位和循环移位操作。移位操作是把一个字节内容向左或向右移动一位。图 2.5(a) 表示了这种向左移位的操作。如果这是对累加器的内容移位, 则其最高位被移入进位位 c , 而从右端送入最低位的是零。在循环左

移 (见图 2.5 b) 时, 最高位移入进位位 c , 而进入右端最低位的是原来的 c 值。这相当于一个首尾相接的九位移位寄存器 (右移和循环右移的原理是相同的, 只是方向不同, 这里不另作图)。移位操作可以用来检验某个数据中的某一位 (首先把该位移动几次使其进入进位位, 然后检验这个进位位究竟是“1”或是“0”)。



(a)



(b)

图 2.5 左移和循环左移

(a) 左移; (b) 循环左移。

ALU 的左边有标志位寄存器, 或称状态寄存器。其作用是存贮 ALU 操作结果的特殊状态, 这种状态将作为一种条件, 用于判断是否控制程序转移。

一般微计算机的标志有以下几种:

1. 进位 (C) 标志位

当两个 8 位数在 ALU 中相加时, 若其结果产生进位, 则将这个进位存贮在这个进位标志位中。该进位标志位 C , 可以由计算机来检验, 并据此来判断程序转移的条件是否满足。

2. 零 (Z) 标志位

当 ALU 操作结果为零, 则在零标志位 Z 中置“1”。这对于算术运算 (如加法、减法) 或逻辑操作都可适用。 Z 标志位还可用于检查输入/输出数据在传送中是否出错。此时, 只要把这个传送后的数据与原来的数据在 ALU 中进行“异或”逻辑操作, 就可以完成这种检查。如两者完全相同, 则结果为零; 只要其中有一位相异, 则结果将不为零。

3. 符号 (S) 标志位

符号标志位 S 有时又称负数标志位 N 。在 2 的补码表示法中, 累加器的最高位 (即图 2.5 中的 b_7), 表示数的符号。若这位是“1”, 则表示是负数, 同时使符号标志位置成“1”。检验标志位 S , 就可以知道操作结果究竟是正还是负。

4. 辅助进位 (AC) 标志位

AC 标志位用在二进制 (BCD) 操作中。一个 8 位字节 (第 0 位~第 7 位) 可表示两个 BCD 数字。当两个数相加时, 其结果的低位 BCD 的数字可能有进位 (即在 $b_3 \sim b_4$ 之间可能有进位), 这个中间的进位, 使辅助进位标志位 AC 置“1”。AC 标志位主要用在十进制的运算中。

5. 奇偶校验 (P) 标志位

P 标志位用来检查数据传送是否有错。奇偶校验分偶数校验和奇数校验两种。偶数校