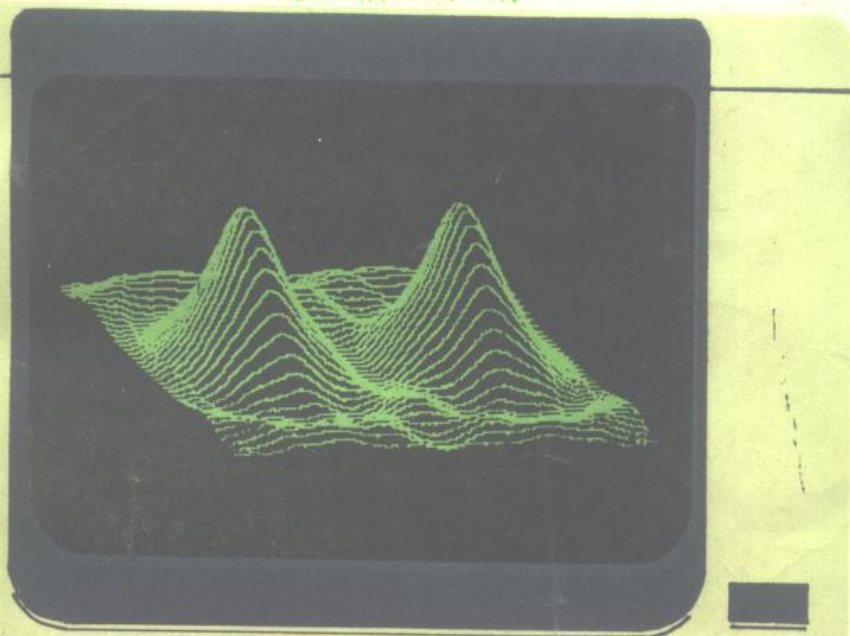


微型计算机应用丛书

# 单片微型计算机 原理及应用

侯伯文 编



机械工业出版社

微型计算机应用丛书

# 单片微型计算机原理及应用

侯伯文 编



机械工业出版社

## 内 容 简 介

本书详细介绍单片机的结构、原理、应用和设计实例。单片机是微处理器的最新产品，在一个小小的硅片上已包括了中央处理单元（CPU）、输入/输出接口（I/O）及一定数量的只读存储器（ROM）、随机存储器（RAM）。它是一个完整的微型计算机系统。单片机的体积小、价格低，可以说是当前机电一体化的重要核心。它能使自动控制系统、仪器仪表和各种智能产品得到前所未有的发展。

本书着重介绍美国 Intel 公司生产的 MCS-48 及 MCS-51 系列单片机，并介绍国产 TP-801MCS 单片机开发系统及多种应用实例。

本书供从事计算机应用的工程技术人员参考。

JS452/108

## 单片微型计算机原理及应用

侯博文 编

\*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 850×1168<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·印张 9·插页 1·字数 242 千字

1987年2月北京第一版·1987年2月北京第一次印刷

印数 0,001—6,060·定价 2.35 元

\*

统一书号：15033·6428

## 出版者的话

计算机是现代化建设中不可缺少的先进工具，其应用正在向各个领域渗透，并以日新月异的面貌迅猛发展。

为了迅速普及计算机先进科学知识，大力推广计算机应用技术，积极提高技术管理干部的现代化管理水平和工程技术人员应用计算机的水平，中国机械工程学会自动化分会和机械工业出版社根据目前急需情况，先组织出版一套《微型计算机应用丛书》，分编著和翻译两个独立部分，均以应用为重点，内容反映微型计算机在机械、电气自动化、仪器仪表、办公自动化等方面的应用，供使用计算机的工程技术人员参考。

本丛书的出版得到机械工业部计算机领导小组的大力支持，机械工业部计算机与集成电路办公室、北京机械工业自动化研究所等单位的有关同志给予了具体指导和帮助，其他兄弟单位提供了方便，对此一并表示感谢。

机械工业出版社

## 编委会名单

**主任：**沈烈初

**副主任：**蔡福元 罗命钧 郑仁贵

**委员（按笔划排）：**

朱逸芬 李襄筠 严蕊琪

张长生 周斌 季瑞芝

郑学坚 龚为廷 谢志良

葛林根

## 前 言

电子计算机的发展，在近三十年的时间内经历了从电子管到大规模集成电路这样四代产品。在前二十年中，电子计算机向着规模大、速度高的方向不断前进。而在后十年中，微型计算机开始迅速发展和普及。单片微型计算机的产生进一步推动了这一发展趋势，使计算机的应用达到前所未有的普遍程度。产生了由微电子技术为先导，带动了包括新材料技术，生物工程，……等多种学科的新技术革命。在整个计算机产品应用“树”中，很多属于单片微型计算机化的产品。而目前我国在这方面所作的工作是远远不够的。为了推动这项工作的发展，北京工业大学自动化系微型计算机研究室研制了用于 MCS-48 单片机产品的 TP801MCS 开发系统，为国内工程技术人员提供了一种廉价而实用的单片机化产品的开发工具。

本书是为设计研制单片机化产品的工程技术人员编写的。因为考虑到技术人员水平不一，故在第一章的第二节中，由浅入深地讲述了计算机的基本原理及有关的基础知识。并逐步引出有关计算机软、硬件方面的各种常用术语和概念，作为后续章节的基础部分，对已有一定基础的读者可以跳过。

本书的第二、三章较详细地讲述了 8048/8049 单片机的原理。第四和第五章则从硬件和程序设计两个方面进行了较详细的讲述。以上四章为技术人员应用 MCS-48 单片机进行产品设计打下了基础。然而欲进行产品设计，还必须有一个研制手段，即单片机开发系统。因此第六章较为详细地介绍了 TP801MCS 开发系统的原理和使用方法，并绘出了系统的原理框图，供那些对开发系统设计有兴趣的读者参考。最后在第七章中，介绍三个型的单片机化产品实例，特别是 TPMP 微型打印机设计实例供读者从事产品设计时参考。

为了便于编程设计，本书还提供了 MCS-48指令汇编的速查表，作为附录一。

本书重点介绍 Intel 公司 MCS-48 单片机的原理和应用设计，为了使读者对其它 8 位单片机有一个简要的了解，本书第一章中还扼要介绍了几种目前国内产量较大或功能较先进的单片机，供读者参考。

在编写本书时，得到刘虹工程师及吴定荣、梁瑞恒、靳彤和程玮等同志的帮助；在本书出版前，特请北京工业大学龚为珽副教授及周斌同志审阅。在此，向上述同志表示感谢。

# 目 录

<b>第一章</b>	<b>单片计算机基础</b> .....	<b>1</b>
§ 1-1	概述 .....	1
§ 1-2	微型计算机基础 .....	4
§ 1-3	产品的开发和开发系统 .....	29
§ 1-4	主要 8 位单片机产品要览 .....	32
§ 1-5	16位单片机 .....	41
<b>第二章</b>	<b>MCS-48单片机的结构和原理</b> .....	<b>43</b>
§ 2-1	MCS 单片机结构特点.....	43
§ 2-2	内部结构框图 .....	45
§ 2-3	内部结构原理 .....	48
§ 2-4	管脚配置和外部信号 .....	76
§ 2-5	单片机工作方式和定时 .....	80
<b>第三章</b>	<b>指令系统</b> .....	<b>97</b>
§ 3-1	指令系统概况 .....	97
§ 3-2	数据转移类指令 .....	99
§ 3-3	算术与逻辑运算类指令.....	103
§ 3-4	移位和交换类指令.....	109
§ 3-5	输入/输出类指令 .....	110
§ 3-6	程序转移类指令.....	114
§ 3-7	定时器/事件计数器控制类指令 .....	119
§ 3-8	其它控制类指令.....	119
<b>第四章</b>	<b>系统扩展与硬件设计</b> .....	<b>121</b>
§ 4-1	单片机系统扩展.....	121
§ 4-2	单片机化产品硬件设计举例.....	135
<b>第五章</b>	<b>编程</b> .....	<b>157</b>
§ 5-1	单字节减法和比较程序.....	157
§ 5-2	双字节数据操作子程序.....	160



## VI

§ 5-3	单精度二进制乘法子程序	163
§ 5-4	程序的多分枝转移	165
§ 5-5	定时器操作程序	175
§ 5-6	中断服务程序	180
第六章	TP801MCS单片机开发系统	183
§ 6-1	开发系统的组成	183
§ 6-2	TP80MCS开发模板	187
§ 6-3	TPMCSA监督程序与键盘命令	198
§ 6-4	TPBUG监控程序功能的支援	215
第七章	单片机应用及产品设计实例	218
§ 7-1	单片机化产品应用概述	218
§ 7-2	微型可编程序控制器	220
§ 7-3	远距离数据采集及控制系统	228
§ 7-4	TP $\mu$ P微型点阵式打印机	239
附录 1	MCS-48 单片机指令系统表格汇总	256
附录 2	8048H/8049H指令定时表(20条指令)	277
附录 3	MCS-48单片机逻辑电路图	279
附录 4	MCS-48与MCS-51单片机功能对比表	279

# 第一章 单片计算机基础

## § 1-1 概 述

一个典型的数字计算机系统，包括以下几个基本部分：

- (1) 中央处理器，简称 CPU。包括了算术/逻辑运算单元和控制器；
- (2) 程序存储器；
- (3) 数据存储器；
- (4) 输入/输出接口 (I/O 接口)。

微型计算机是由多片大规模集成电路芯片组成的多片系统，因这些芯片都布置在一块印刷电路板上。随着大规模集成电路生产技术的发展及应用的需要，生产了这样一种集成电路元件，即：在一片晶体芯片上，就可包括上述一个数字计算机的四个基本组成：CPU，ROM (或 EPROM)，RAM 和 I/O 接口。这种元件被称为单晶片微型电脑或单片微型计算机 (或称微控制器)，以下简称单片计算机。

例如，Intel 公司研制出产的 8048H，单片微型计算机，在一个 40 脚双列直插式集成电路元件中就包括了：

- (1) 8 位 CPU
- (2)  $1k \times 8$  ROM——程序存储器
- (3)  $64 \times 8$  RAM——数据存储器
- (4) 27 根 I/O 接口引线
- (5) 一个 8 位的定时器/计数器

因单片计算机的资源 (存储器容量，I/O 接口引线)，可满足很多场合的应用，加之在体积，功耗，价格和操作性能等方面的特点，所以单片计算机的应用日益广泛，品种也日趋增多。这些产品按

照其基本操作处理的数据位数分类,可分为4位、8位和16位单片机。就8位单片机而言,自Intel公司于1976年推出MCS-48系列产品后,已涌现出不少型号的8位单片机,其中产量较大的有以下品种:

Intel公司的MCS-48和MCS-51系列(8035, 8039, 8048, 8049, 8748, 8749, 8020, 8021, 8022, 8043, 8031, 8051, 8751等);

Motorola公司的6801和6805系列(6801, 68701, 6803, 6805等);

General Instrument公司的PIC1650系列(PIC1650 A, 1654, 1655 A, 1656, 1670等);

Mostek公司的3870系列(3870, 38 E 70, 3871, 3873, 3875等);

Rockwell公司的6500/1系列(6500/1, 6500/11, 6500/12, 6500/13, 6500/14, 6500/41, 6500/42, 6500/43);

NEC公司的 $\mu$ COM-87系列( $\mu$ PD7800, 7801, 7802, 78C06, 7811等);

Zilog公司的Z8系列(Z8601, Z8603, Z8611, Z8612, Z8613, Z8671, Z8681/82);

Texas Instrument公司的7000系列;

National公司的8073。

有关这些产品的主要参数在§1-4节中介绍。

尽管单片机品种日益增多,但是Intel公司的MCS-48系列还是单片机的主导产品,该系列的产品被誉为单片机的行业标准。目前,该系列产品的供应厂家以NEC和National两家最为积极。其它的厂家按目前产量排列,富士通,东芝,Signetic/Philips, AMD, 西门子, OKI, SSS, Huges, 三菱, Harris……等。有的次供应厂家还发展了一些超出原厂家的新产品,例如带有LED驱动的MCS-48产品,或者使用“猪背”(Piggyback)式结构的IC封装,把ROM或EPROM集成电路重叠在单片机封装之上。

MCS-48 系列产品在设计上的最大特点是适合于作为控制处理器使用。例如通过指令使 I/O 的某一根线复位为 0 或置位为 1, 对累加器的某一位测试, 为数众多的条件分枝指令, 等等, 加上片内定时器/计数器和某些产品带有 A/D 转换器, 使 MCS-48 系列提供了有效的控制功能。难怪 Intel 公司自称 MCS-48 系列为“微型控制器”(Microcontroller)。

近年来, CMOS 技术大量用于单片机产品之中, 使 8 位单片机的标准功耗降到 25mW, 待机方式为 5 $\mu$ W。加上 CMOS 的温度稳定性和抗干扰能力, 使单片机应用范围更加扩大, 特别是研制了各种智能化的、便携式的产品, 扩大了单片机的应用领域。

对于应用单片机产品的设计者来说, 第一个面临的问题是开发工具问题。通常的单片机开发系统的价格昂贵。然而, 北京工业大学设计了 TP801MCS 单片计算机开发系统。该系统的基本组成是:

- (1) TP801 单板微型计算机
- (2) TP801I 接口板或 TPZCPU 驱动板
- (3) TP80MCS 单片机开发板
- (4) TPMCSU 用户样机板

这样一个开发系统所具有的功能是:

(1) 对使用 8035/8048/8748/8039/8049/8749 等型号 MCS-48 系列单片微型计算机产品进行研制开发。

(2) 用户可以十分方便地在 TP MCSU “用户样机板”上组成样机电路板。

(3) 可以通过单片机仿真电路及仿真插头实现用户样机单片机的实时仿真调试。

(4) 使用硬件比较器电路实现实时仿真运行断点。

(5) 使用静态 RAM 进行单片机程序存储器仿真, 便于进行程序的诊断和调试。

(6) 可以对单片机片内全部 RAM 存储单元, 以及 PC, ACC, PSW, SP 和寄存器进行检查和更换。

(7) 可以单步跟踪用户程序的流程, 了解每条指令的执行效果。

(8) 仿真/调试诊断中, 完全不占用单片机的用户可用资源: 程序和数据存储器的任何单元, 全部 I/O 引线等。

(9) 在板 8748/8749 片内 EPROM 编程写入/校验。

(10) 对 8048/8049/8748/8749 片内 ROM 存储器程序的读出校验。

TP801MCS 单片机开发系统所能开发的单片机型号是:

8035 外部程序存储器版本

8048 内部掩膜 ROM 程序存储器版本

8748 内部 EPROM 程序存储器版本

8039 同8035, 但存储器加倍

8049 同8048, 但存储器加倍

8749 同8748, 但存储器加倍

以上六个产品全部是 40 脚 DIP 封装, 管脚信号完全相同。实际上, 本书重点讨论的是 MCS-48 单片机的原理和产品开发, 因此本书下文中没有特殊说明时, 凡用到“MCS 单片计算机”或“单片机”时, 均指上述六种产品, 而“MCS-48”则指前三种, “MCS-49”则指后三种。须要说明的是, Intel 公司的“MCS-48 系列”除包括上述六种外, 还包括了 2021 等几种单片机产品, 这些产品所用指令系统基本相同, 只有少数例外。MCS-96 为 16 位单片机产品, 于 1983 年推出, 目前仅有 8 个型号可选用。

## § 1-2 微型计算机基础

单片机的出现, 推动了仪器仪表智能化的进程, 并广泛应用于生产和社会的各个领域。因此, 各种产品的设计者都开始研究如何将单片机应用于自己所在领域的产品设计中。自然, 大部分设计人员没有接触过计算机的原理和设计知识。考虑到这一情况, 本节将就计算机的基础知识和概念作一些讲述, 作为后续章节的背景知识。已经熟悉的微型计算机原理读者可跳过本节直接阅读

下一节内容。

### 一、典型的计算机结构

数字计算机，是对数据进行处理（计算）的装置。它包括数据的获取和处理这样两大部分。

数据的获取有两个：其一，来自输入/输出（I/O）设备，例如键盘、光电输入机、模拟量/数字量（A/D）转换器；一些处理结果也要输出到外部设备，例如发光二极管（LED）显示器、CRT 显示屏幕、打印机、绘图机、数字量/模拟量（D/A）转换器。外部设备通过计算机的 I/O 接口电路来传送数据。其二，数据来自称为存储器的设备。存储器中存有被计算机所处理的数据（数值和程序）。程序是由指令组成，即为了指定计算机实施某种操作而由一组指令按照正确逻辑的组合。计算机每读一条指令，就执行一种基本操作。

有了数据（包括指令），还必须有其处理逻辑（电路）。如果所处理的是指令，还必须有一个根据指令实施控制操作的逻辑。计算机的处理（控制）逻辑就在称为中央处理器之中。不论那种计算机，它们的基本结构如图 1-1 所示。

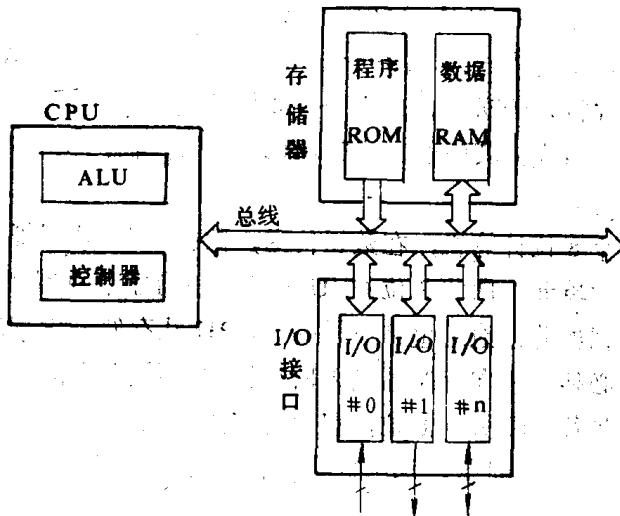


图1-1 计算机结构

既然计算机是数据处理设备，那么电子计算机中的数据是一个什么形式呢？

电子计算机的基本电路结构是逻辑电路，逻辑电路的输入/输出是逻辑1或0，逻辑1即高电平，逻辑0即低电平，以TTL电路而言，大于2.4V电压为逻辑1，低于0.8V电压为逻辑0，而0.8~2.4V间的电压是无效的，可能产生误码。当某逻辑电路输入（输出）高电平时，说输入（输出）1。当某导线上出现高（低）电平时，说正传送1（0）。既然计算机的结构是逻辑电路，计算机处理的数据也就只能是1/0这样两个数字符号来计数，而不能象十进制那样用0~9这样十个符号来记数。因此当数值为多位数时，用这样两个符号来计数就只能是逢二进一。如果是一个2位的二进制数，可以表示00, 01, 10, 11这样四个相当于十进制0, 1, 2, 3的数值。显然，与十进制一样，有着“位、进位、低位、高位”的相同概念，仅进制不同。通常每一位记作“B”，最低有效位记作LSB，最高有效位记作MSB，进位记作C（或CY）。

实际上，一个n位二进制数代表了 $2^n$ 个数。因此一个8位二进制数为0~255（ $2^8 = 256$ ）。MCS-48系列单片机是8位计算机，从数据的传送来看，一个8位数据是通过8根导线（管脚）同时（并行）传送的。这样一个8位数据称为一个字节，由 $b_7 \sim b_0$ ，共8位组成，其中低四位又叫低半字节，高四位又叫高半字节（图1-2）。

一个8位计算机，在数据传送，数据寄存，处理等都以8位，即字节为单元，因此8位CPU的计算机有字节机器之称。

数据如此，地址也是一样的。CPU从存储器中读取一个字节时，必须先向存储器输入所要读取的数据存储单元的地址，这个地址往往是大于8位，但也是二进制的。如果通过10根导线/管脚输入地址数，那么此存储器的存储单元有 $2^{10}$ ，即1024个地址单元。每个地址单元存储着一个字节。此存储器称为1kB（一千字节）存储量。计算机中的“1k”实际是1024的简称。

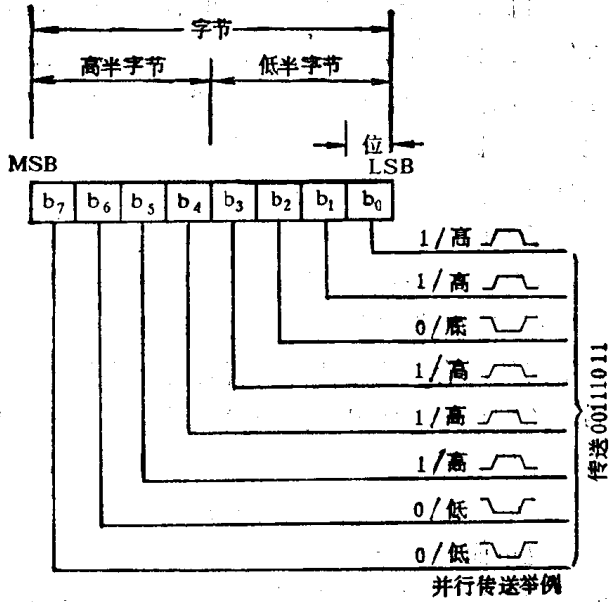


图1-2 数据及传送示意

自然，11 位地址的 8 位数据存储器为 2kB 存储量，而 12 位地址则为 4kB。

欲从存储器中读或写入（存入）一个数据，必须首先向存储器输入要访问（读/写）单元的二进制地址，并发出控制信号脉冲（存储器读/写），这样，存储器的控制逻辑电路将控制把数据线上的二进制数据送入指定地址单元中存储（写时），或者把指定地址单元中所存的数据输送到数据线上（读时）。在计算机中，存储器的读/写操作是在 CPU 控制下进行的，因此，CPU 和存储器之间，必定有传送二进制地址和数据的通道，以及传送控制信号的控制线。

CPU 不仅从存储器，还要从 I/O 接口交换数据。由于计算机的 I/O 接口不止一个，因此每个端口都有该端口的二进制“口地址”。所以，CPU 和每个端口之间，也必定有传送地址和数据的通道，以及传送控制信号的控制线。由于 CPU 只有一个，不会同时访问存储器和端口。因此，CPU 与存储器及接口间地址和



数据传送通道可以而且实际上也正是共用的。CPU 在执行某指令时访问存储器，只是在另一条指令时才访问某端口，因此是分时使用传送通道的。所以，CPU、存储器和端口间的通道称为总线。当地址与数据通道分开时，分别称为地址总线和数据总线。由于地址总是由 CPU 输出的，所以地址总线是单向的，这种单向性显示了 CPU 的控制中心性。数据总线却是双向的，即某一刻是输入 CPU，而另一刻可以是 CPU 输出。

存储器中存储的数据虽然都是二进制代码，但是所代表的信息含义却是不同的，有一些是计算机所要处理的数据：数值，字符图符代码，图型点阵，而另一些是代表了某种要求 CPU 执行的操作——操作码。

例如，同是 00010111，对 MCS-48 而言，可能代表了一个数：(十进制)23。也可能是一条指令：“将 CPU 内一个叫做 A 的寄存器中所存的数加 1”。那么，存储器中所存数据字节是一个数还是一个操作命令代码呢？这要看 CPU 读到这个字节后如何处理。

实际上，任何 CPU 中都包括了两个最基本的数据处理逻辑单元：

(1) 算术/逻辑运算单元，简称 ALU。

(2) 指令译码器。

凡是输入 CPU 后，被 CPU 控制送入指令寄存器，并通过指令译码器进行处理的数据，都是指令的操作码字节。指令译码器的输出送入“定时/控制器”，简称控制器。控制器根据指令译码的结果发出各种控制信号脉冲，这些脉冲或送到 CPU 以外，或 CPU 以内，控制整个系统的运行。因此，CPU 是中央处理单元，也是“中央控制”单元。由此可见 CPU 是根据指令（程序）控制整个系统工作的。

虽然 CPU 是按照存储器中的程序指令来工作的，但是计算机的设计者又考虑了一种打断计算机（正运行中的）程序的办法，即中断。

中断是 CPU 与接口间一种十分重要的联络方式。通过接口