

高等学校试用教材

微型机原理及其在 精密仪器中的应用

哈尔滨工业大学 车仁生 主编

机械工业出版社

全书共分十章。前六章以 Z80 为典型侧重讨论微型机(微型计算机)的基本原理,后四章侧重讨论微型机化精密仪器系统设计及实例。从微型机化精密仪器系统设计的角度讨论微型机原理及应用以实现仪器的智能化是本书的主要特点。

本书是全国高等工业院校精密仪器专业试用教材,也可供其它仪器仪表类专业或工程技术人员参考。

微型机原理及其在精密仪器中的应用

哈尔滨工业大学 车仁生 主编

*

责任编辑:贡克勤

*

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 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 16 · 字数 393 千字

1988年6月北京第一版·1988年6月北京第一次印刷

印数 0,001—2,700 · 定价:2.70 元

*

ISBN 7-111-00046-3/TP·4(课)

前 言

本书是根据 1984 年 4 月在天津召开的全国高校仪器仪表类精密仪器专业课程大纲制订会议通过的《微型机原理及其在精密仪器中的应用》课程大纲编写的。

微型机(微型计算机)近十多年来的迅速发展和应用已深入到国民经济的各个方面。在精密仪器领域的应用,正在深刻地改变着仪器的面貌,加速了仪器智能化的进程,同时还导致了某些新的测量技术的发展,如几何量多维测量技术就是典型的一例。以微型机为基础进行精密仪器测量与控制系统的设计正在取代传统的设计方法,并成为现代仪器设计人员必须掌握的一个重要工具。从微型机化仪器系统设计的角度讨论微型机的原理和应用,体现微型机和仪器的一体化、智能化以及软件和硬件的有机结合是本书的一大特点,也是从事仪器仪表设计和研制的工程技术人员学习微型机的目的所在。

本书共分十章。前六章侧重讨论微型机的基本原理。其中包括微型机及微型机化仪器的基本概念, Z 80 微处理器, 指令系统, 汇编语言程序设计, 半导体存储器及输入/输出等。后四章主要讨论微型机在精密仪器中的应用。其中包括输入/输出接口芯片 PIO、CTC、ADC、DAC, 微处理器与仪器接口技术, 微型机化仪器系统设计。最后分析了四种微型机化精密仪器系统的实例。

本书是高等院校精密仪器专业的试用教材, 也可供其他仪器仪表类专业或工程技术人员参考。

本书由哈尔滨工业大学车仁生副教授担任主编。参加编写的有上海机械学院郭本龙(六、七章)、天津大学岳润玲(四、九章)、南京工学院朱克(二、五章)、哈尔滨工业大学车仁生(一、三、八、十章)。上海交通大学李祥周担任主审。由于编者水平有限, 时间仓促, 疏漏、错误之处在所难免, 恳请读者给予指正。在审稿期间, 众多的兄弟院校老师对本书提供了十分宝贵的意见, 在此深表谢意。

编者

1986 年 11 月

目 录

第一章 绪论	1	§ 6-3 中断的概念	119
§ 1-1 微处理器和微型机定义、 组成及发展	1	§ 6-4 Z 80中断系统	123
§ 1-2 微型机化精密仪器结构、 功能及特点	5	第七章 I/O 接口芯片	130
§ 1-3 微型机中数的表示及运算基础	8	§ 7-1 Z 80-PIO接口芯片	130
第二章 Z 80-CPU	18	§ 7-2 Z 80-CTC接口芯片	139
§ 2-1 Z 80-CPU的内部结构	18	§ 7-3 数/模变换器 (DAC)	147
§ 2-2 Z 80-CPU 的引脚功能	23	§ 7-4 模/数变换器 (ADC)	153
§ 2-3 Z 80的时序分析	26	第八章 μ P 与仪器接口技术	166
第三章 Z 80指令系统	30	§ 8-1 传感器与 μ P 接口	166
§ 3-1 指令及其寻址方式	30	§ 8-2 执行单元与 μ P 接口	180
§ 3-2 Z 80指令系统分析	35	§ 8-3 仪器面板与 μ P 接口	189
第四章 Z 80汇编语言程序设计	56	第九章 微型机化仪器系统设计	201
§ 4-1 汇编语言	56	§ 9-1 微型机化仪器设计过程	201
§ 4-2 汇编语言源程序设计方法	63	§ 9-2 微型机化精仪系统设计实例	206
§ 4-3 程序设计实例	75	第十章 微型机化精仪实例	219
第五章 半导体存贮器	88	§ 10-1 表面轮廓仪	219
§ 5-1 半导体存贮器的类型	88	§ 10-2 齿轮测量仪	224
§ 5-2 常用存贮器芯片介绍	89	§ 10-3 坐标测量机	227
§ 5-3 存贮器与系统的连接及扩展	99	§ 10-4 商用计价电子秤	234
§ 5-4 静态 RAM 中信息的掉电保护	106	附录一	241
第六章 输入和输出	109	Z 80指令系统索引 (一)	241
§ 6-1 I/O 寻址方式及指令	109	Z 80指令系统索引 (二)	242
§ 6-2 I/O 的工作方式	111	附录二	251
		主要逻辑图例	251
		参考文献	252

第一章 绪 论

为使读者对微型机及其在精密仪器中的应用有一个概括的了解,在这一章里将首先从电子数字计算机的一般概念出发介绍微处理器及微型机定义、组成及发展,进而介绍如何以微型机为基础组成一台微型机化精密仪器,以及微型机给精密仪器的功能所带来的深刻变化。最后将介绍在微型机中常用的数的表示及运算方法,为以下各章的学习打下基础。

§ 1-1 微处理器和微型机定义、组成及发展

电子数字计算机是一种能自动地进行高速运算及逻辑判断功能的机器,因此它的别名又被称做电脑。一台电子数字计算机主要由三大部分所组成(见图 1-1)。

(1) 中央处理单元 (Centrol Processing Unit)。简记作 CPU。主要包括运算器(又称算逻单元 ALU), 控制器及各种寄存器。其中运算器进行各种基本算术运算及逻辑运算, 如加法、减法、逻辑“与”、“或”、“非”等。控制器用来统一指挥整个计算机的工作。寄存器用来存放操作数、中间结果及标志工作状态等。

(2) 存贮器 (Memory)。存贮大量的数据、程序和资料。存贮器包括读写存贮器 (RAM) 和只读存储器 (ROM), 前者既可以从存贮器读出数据, 又可以向存贮器写入数据。而后者只能从存贮器读出数据, 不能写入。

(3) 输入/输出接口 (In/Out Interfacing)。作为 CPU 和外围设备进行交换数据或信息的转运站。外围设备通常是指计算机的键盘, 显示器, 打印机及 $x-y$ 绘图仪等。

当人们使用计算机时, 必须事先把欲求解的问题分解为计算机能执行的各种基本运算和操纵, 即在上机之前, 应当把求解的问题按照机器能识别的一定的格式编好完整的计算步骤, 习惯上把这一工作叫做编制程序, 简称编程。程序是由一条一条的基本指令组成的。每一条指令规定了计算机应进行什么操作(如加、减、传送数据等)及操作需要的有关数据。当编好的程序和它需要的原始数据通过接口送入计算机并启动程序, 计算机就自动按程序编排的次序一步步地执行程序中的指令, 直到得出需要的结果。

自从 1946 年世界上第一台电子数字计算机问世以来, 近 40 年间, 计算机科学以惊人的速度向前发展, 现仅以组成电子计算机的电子器件为例, 至今就已经历了电子管、晶体管、集成电路和大规模集成电路 (LSI) 四代的演变, 特别是 LSI 技术引起了电子计算机更大的变

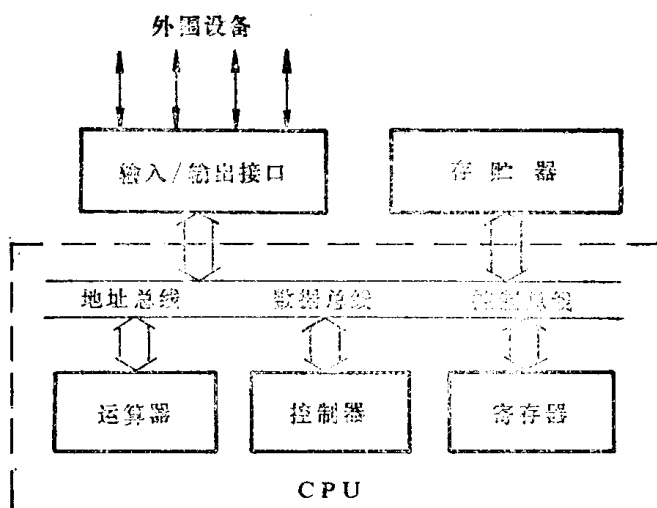


图1-1 计算机的组成

化。例如, 50 年代中期, 用来计算导弹轨迹的重达 30 t, 用电子管 18 000 个, 耗电 150kW 占地长度 25m 的“大型计算机”, 就其中央处理单元的处理数据能力来说, 现在已可用重 60g, 30 000 个晶体管、耗电 0.7W, 长达 5cm 的 LSI 芯片来完成。换句话说, 50 年代中期大型计算机所具有的“智能”, 已经可以用很小的微处理器芯片来实现。

一、 μP 、 μC 和 μCS 的定义

(1) 微处理器 (Microprocessor)。简记作 μP 。如果 CPU 是用 LSI 技术微型化, 制作在一个或几个芯片之中时, 此时的 CPU 就称之为单片 μP 或多片 μP 。如 Z80、8080、6800 等。

(2) 微型机 (Microcomputer)。简记作 μC 。如果电子计算机的三个基本部分用 LSI 技术微型化, 制做在一个或几个芯片之中时, 此时就称之为单片 μC 或多片 μC 。

(3) 微型机系统 (Microcomputer System)。简记作 μCS 。由 LSI 芯片所组成的 μC , 我们称为裸机, 裸机本身实际上并不能工作, 为使其工作还必须配上相应的电源、输入/输出外围设备。例如显示器 (LED 或 CRT)、打印机、磁带、磁盘 (外存贮器) 等, 以及指挥整个系统进行工作的系统软件 (如监控程序或操作系统), 才能形成一个有完整运行功能的 μCS 。

可见, μP 只是 μC 和 μCS 的一部分, 三者的区别及其相互关系如图 1-2 所示。

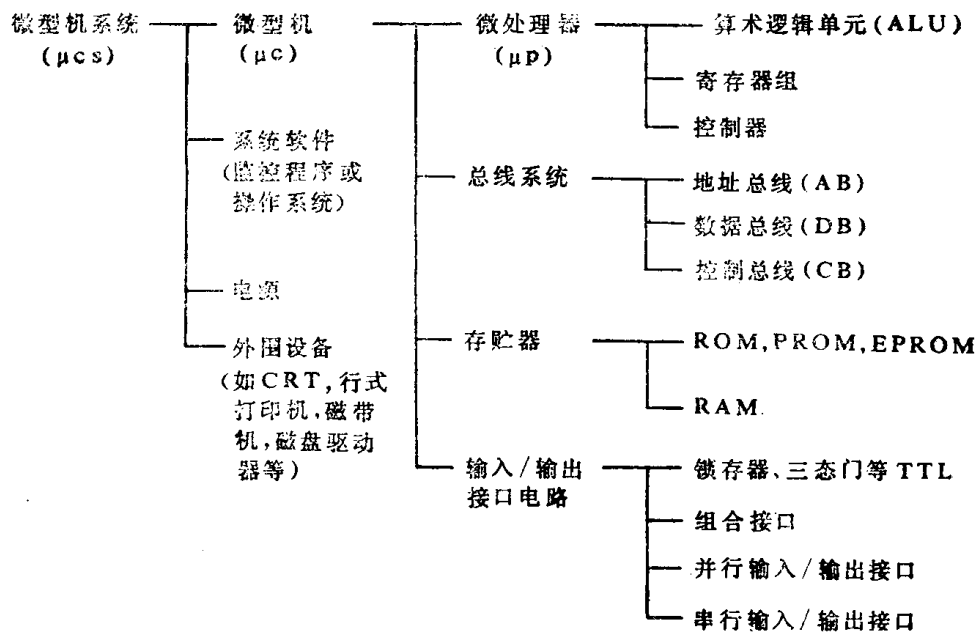


图1-2 μP 、 μC 和 μCS 之间的关系

二、系统的构成

微型机系统根据用途不同, 结构也不一样。基于深入追求经济性和工作特性的要求, 必须针对具体应用对象确定系统的最佳结构。目前, 在微型机化的精密仪器中, 广为应用的主要有四种形式:

(一) 专用系统

这种系统是为某种仪器的特定功能服务的, 系统中所用的 CPU、ROM、RAM、接口芯片及外围设备的性能和多少还是根据仪器的使用要求统一来考虑, 并装配成一个完整的仪器系统, 其系统软件和应用软件亦结合起来进行考虑, 并进行统一设计。这种系统实际是埋设

在仪器之中的，因此所用硬件可以最少，大量生产最便宜。但对设计人员的技术水平要求较高，研制的时间较长，一次性投资较大，只适于大批生产的场合。

(二) 单板(或多板)机

这种微型机系统是一个最小的多片微型机系统，它把 CPU、ROM、RAM、接口芯片(如并行输入/输出接口芯片 PIO，计数器/定时器 CTC)以及键盘、显示器等通通制做在一块印刷电路板上(或几块板上)，并由比较简单的系统软件(监控程序)进行管理，叫做单板(或多板)机。T_P801(见图 1-3)就是单板机一例，Z80-CPU 通过总线(包括数据总线、地址总线、控制总线)将存储器(ROM、RAM)及接口芯片(PIO、CTC 及其他 I/O 接口)连接起来，再通过 I/O 接口与外部设备进行连接，监控程序固化在 ROM 中，用来指挥整个系统的工作，这种系统最初是为微型机的初学者及支持初始设备厂(OEM)的应用而发展起来的，因为它结构简单、使用方便、功能完整、价格低廉，并且稍加扩展就可组成各种实用的应用系统，故倍受欢迎，尤其适用于过程控制或测试仪器等各种设备和仪器之中，要求使用者对微型机的软件、硬件有较好的了解，但并不象设计专用系统那样高，因此获得了极为广泛的应用。

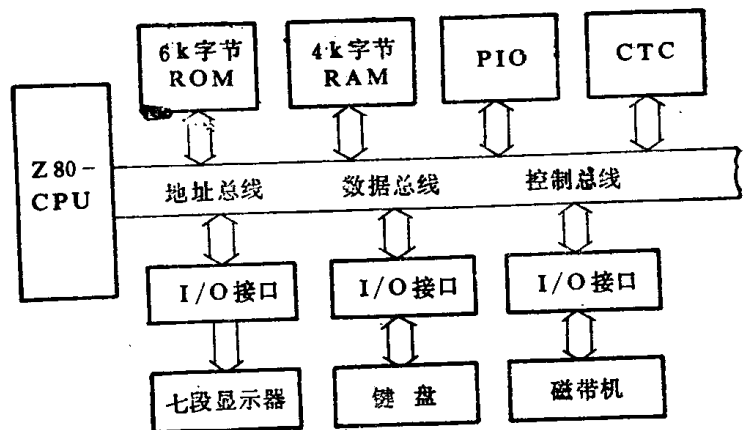


图1-3 单板机构成

(三) 单片机

单片机(Single-Chip Microcomputer)与单板机不同，它是在一块芯片上集成了 CPU、RAM、ROM(或外接 EPROM)、计数器/定时器和多种 I/O(如并行 I/O 和 A/D 转换器等)电路。一块单片机就是一个计算机，例如 INTEL 公司的 8048 单片机，在一个 40 脚双列直插式集成电路芯片中就包括了一个 8 位的 CPU，1k×8ROM——程序存储器，64×8RAM——数据存储器，27 根 I/O 接口引线，一个 8 位的定时/计数器。

单片机的问世，最初是为了适应工业控制器的需要而设计的。它由许多适用于控制的指令和硬件支持，因此又称为微控制器(Microcontroller)。随着 8 位和 16 位单片机性能不断提高和完善，能在很多场合取代现有的多片微型机，而其“性能价格比”就更高，体积、重量大为减小。因此单片机已成为某些微型机化仪表和控制器中的理想部件。但由于其片内 RAM 较少，因此限制了它在较大数据采集仪器中的应用。

(四) 个人用微型机

为了进一步扩展微型机的功能，增加其贮存量，减轻使用者设计硬件及软件的工作量，而发展了所谓个人用微型机(Personal Computer)，即单用户微型机。这种微型机通常把 CPU、存储器及 I/O 电路焊接在多块印刷电路板上，通过插座互联起来，并装在一个机箱里，而且带有较多的外设，配有较强的操作系统及各种常用高级语言(如 BASIC、FORTRAN、PASCAL 等)。CROMEMCO-Ⅱ系统(见图 1-4)就是一例，CPU 是 Z80A，在主机中有 64k 字节的 RAM。典型的外设是 2 个或 8 个 8" 软磁盘驱动器(Floppy Disk

Drive), 键盘显示终端 (CRT) 和点阵式行打印机, 图中 64KZ——读写存储器板、ZPU——中央处理器板、D+7A——数字及模拟通道板、PRI——打印机接口板、4FDC——磁盘控制器板。这些电路板均插在插座上, 通过 S-100 总线互相联系。个人用微型机的性能基本上与传统的小型机类似, 但是使用方便, 体积很小, 价格便宜得多。主要用在小型科学运算, 信息管理及分析方面, 也可以用在过程控制及大型精密仪器的数据处理及控制, 如三坐标测量机均采用这种微型机。对个人用微型机的使用, 一般只侧重于软件, 并不要求使用者对硬件有深入的了解。

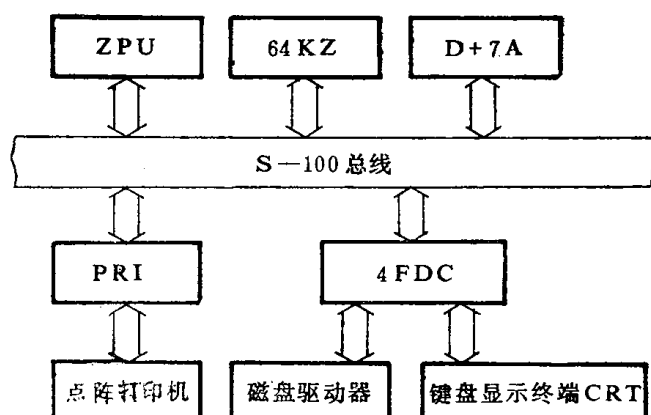


图1-4 CROMEMCO-1系统

三、 $\mu P/\mu C$ 的发展

$\mu P/\mu C$ 的诞生并不是偶然的, 它是大规模集成电路工艺技术的成熟 (可以做出 1k 的动态存储器) 和可编程序计算器已经普及的必然产物。1971 年美国 INTEL 公司的一个青年人 Ted Hoff 根据外面厂商的要求设计了一个通用性很强的可编程序计算器, 并为它取名为微处理器 (Microprocessor), 这就是对以后社会产生深刻影响的微处理器的由来。

因为微处理器具有体积小、功能强、功耗低、价格低廉等一系列优点, 因此十几年来获得了惊人的发展, 字长是微处理器性能的重要标志, 已从 4 位 $\rightarrow$ 8 位 $\rightarrow$ 16 位 $\rightarrow$ 32 位, 发展到了第 4 代, 每两年集成度翻一翻, 性能上更换一代。如果以 μP 和 μC 的产值来看, 其每年的递增速度是 40% 以上, 这已超过同期所有电子工业每年递增 10% 的平均速度。如以计算机的相对效能而言, 从 1955 年到 1964 年的十年中仅提高了 10 倍左右, 而自从 1971 年微处理器问世以来到 1980 年 9 年间计算机的相对效能就提高了将近 1000 倍。大大超过了它的前辈 (即电子管、晶体管、集成电路计算机) 的发展速度。

就微处理器电路芯片产量而言, 1983 年的产量已超过 2 亿片。其中 4 位 μP 的产量仍占多数, 约占 50%, 它主要用于计算器、小型控制设备、家用电器和娱乐用具, 8 位 μP 产量约占 40%, 其增长速度高于 4 位 μP , 主要应用于各种过程控制、智能化仪器及较简单的信号或数据处理方面, 其性能及结构上的发展也趋于稳定, 价格也在逐年下降。16 位机虽然目前绝对产量只占 9%, 但其增长速度最快, 每片功能很强, 其总产值已超过 4 位机。如果说 4 位、8 位机主要用于过程控制的话, 16 位机就完全着眼于信息的数据处理、解题能力和数据流的吞吐能力。以 16 位 μP 制成的个人用计算机, 体积小, 操作方便, 价格便宜 (与小型机比较), 机内的在线存储容量巨大 (256 k ~ 512 k 字节), 在性能上已接近或超过小型机。1980 年, Intel 公司首先宣布试制成功 32 位的微型巨型机 (Micromainframe) iAP $\times$ 432, 直接向 IBM370 等巨型机挑战。在此以后又有几个厂家相继宣布制成 32 位 μP , 这类 μP 的前景如何还有待进一步的发展。

目前应用最多的 8 位机主要有三种: ① Intel 公司的 8080 相当于国产 DJS-050 系列; Motorola 公司的 6800 相当于国产的 DJS-60 系列。Zilog 公司的 Z-80 相当于国产的 DJS-040 系列。其中属 Z-80 机功能最强, 而且与 8080 是向上兼容的。因此用量较大。据不完全统计, 近几年来我国有 60% 以上的过程控制及微型机化仪器类型的应用项目, 是用 Z80 单板机或

个人用计算机完成的。

目前国外涌入市场的新产品大部分是 16 位微型机, 典型代表是 INTEL 的 8088 和 8086, MOTOROLA 的 68000 和 ZILOG 的 Z 8000 微处理器做成的微型机系统。国外 1982 年发表的这三种 16 位机所占的市场销售的分额是: 8086 占 68%、M68000 占 25%、Z 8000 占 7%。8086 应用比较普遍, 其原因是投入市场最早、OEM 销售额大, 另外由于美国 IBM 公司生产的个人用计算机 IBM PC 采用了准 16 位机 8088, 很多公司也采用软件与其兼容的 8086。我国电子工业部也正在国内大力推广与 IBM PC 兼容的自己组装的各种微型机 (如 0520 微型机系统)。因此 8086 的大量应用将是很自然的。但 8086 的主要缺点是内存容量较小, 最大空间地址只有 1M 字节, 而且没有存贮管理和保护, 所以在较大系统中使用不合适。M68000 地址空间达 16 M 字节, 其具有存贮管理和保护, 指令系统功能很强, 主要用于大型科学计算、具备较大数据库的多用户系统。而 8086 则主要用在高级个人微型机, OEM、数据处理、控制等。Z 8000 的性能介于 68000 和 8086 之间, 其特点是数据处理能力较强, 具有直接乘法指令, 适合某些专用的系统。

§ 1-2 微型机化精密仪器结构、功能及特点

回顾精密仪器的发展历史, 从 30 年代至 80 年代, 大致经历了纯机械式仪器、精密机械光学仪器、气动仪器、电动测量仪器 (包括模拟式和数字式) 及微型机化仪器几个发展阶段。微型机化仪器实际上是现代精密机械、光学、微电子学及微型机技术有机结合的产物。新型传感技术和微型机的成功应用是近代精密仪器的重要标志。

一、微型机化精密仪器结构

近十余年来, 微型机在精密仪器中的广泛应用, 预示着精密仪器正在经历着一个更大、更深刻的变革, 这就是所谓微型机化仪器的出现。微型机化仪器 (Microcomputer Based Instrument), 也有叫智能仪器 (Intelligence Instrument) 的, 此概念是 70 年代中期当 μP 技术开始应用于测量仪器之中, 以代替一小部分人工智能 (如判断、分析、运算等) 的情况下提出来的。由于 4 位、8 位 μP 的硬件、软件及其支持芯片、外设已经成熟, 使得一些典型的智能仪器, 如坐标测量机, 表面形貌测量仪, 齿轮测量仪, 图形测量仪, 数据采集与分析仪器。自动称量仪器, 万能数字测量系统等逐渐趋于成熟并达到相当高的水平。

这类仪器尽管品种繁多, 但从以微型机为基础这一基本特点出发, 有其共性, 其基本结构如图 1-5 所示, 由图可见, 微型机化仪器的结构与其前辈仪器相比已有根本不同, 它的核心部分是微处理器及内存贮器, 通过总线系统及外围接口电路与外界进行连接。在输入端各种非电量经传感器变换成电信号, 这些电信号可能是模拟量或者是数字量, 模拟量还需要经过放大器和模拟/数字变换器 (A/D) 才能送给微型机, 在微型机内信号经过充分的处理, 其结果送给外设进行显示、打印、记录或者驱动执行机构动作, 如果执行机构的驱动信号是模拟量, 则由微型机输出的信号还需要进行数字/模拟 (D/A) 变换。磁盘驱动器及磁带机是一种外存贮器, 主要用来弥补内存贮器存贮容量的不足。仪器面板上的开关及键盘按钮是作为数据输入或功能控制用的。它们与微型机的联系需要使用专门的软件——监控程序。监控程序一般以固化件的形式 (PROM 或 EPROM) 预先埋放在仪器之中, 整个仪器的工作需要使用应用软件来指挥。应用软件可以固化于 PROM 或 EPROM 内存贮器中, 也可存于磁盘或磁带上, 使用

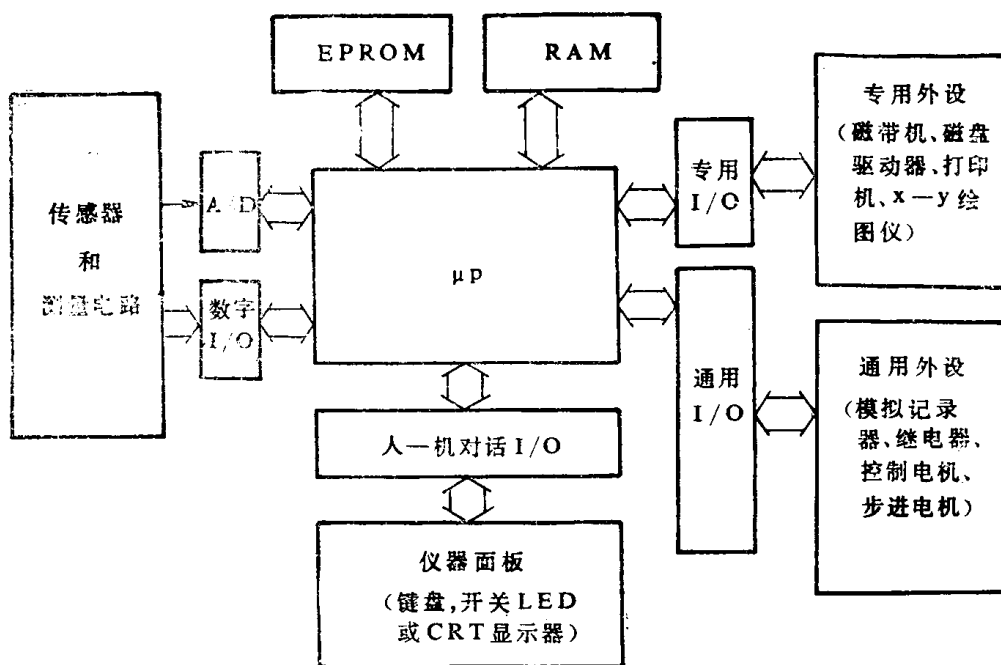


图1-5 微型机化仪器结构

时再调入仪器的内存贮器执行。

外围接口电路是 μP 与外部设备联络的中转站，对微型机化仪器来说是至关重要的。一般情况下， μP 与专用外设的接口电路均可由微型机制造厂来提供，并配备有专用的硬件和软件，而无需设计者自己研制。但当仪器系统是由设计者用散件进行组装时，这部分工作仍然需要仪器设计者来完成。另外一类是与传感器及通用外设的接口电路，由于传感器及执行机构的种类繁多，规格不一，由厂商提供的一些通用接口电路往往难于满足各种仪器系统的特殊要求及结构的紧凑和经济性的考虑，仪器设计者往往需要根据具体情况自行开发设计。

应用软件是指指挥仪器完成某些特定任务的程序，为了克服4位或8位微型机内存少，工作速度慢的缺点，一般均需采用汇编语言来编写程序。这就不仅需要对被测对象及其工作要求有深入的了解，而且要求对所使用的 μP 及其支持芯片从结构到原理以及相互之间的连接有相当的了解，才有可能把应用程序编好。

应该特别指出的是：输入部分的质量对于整个微型机化仪器质量好坏具有决定的意义，必须引起足够的重视。否则，传感器、放大器、A/D变换器等器件的精度、线性度及稳定性不高， μC 的存贮、运算、控制等功能再强也很难有太大的效果。为了充分发挥微型机的效能，进一步提高微型机化仪器的质量，对模拟器件的要求不是低了，而是更加提高了。

从上述微型机化仪器的基本结构可知，对一个微型机化仪器的设计者来说，除了要了解 μP 、 μC 及 μCS 本身以外，中心任务是要解决接口电路设计和应用软件设计问题，也就是如何把自己所熟悉的仪器与 $\mu P/\mu C$ 结合起来，完成一种新的、基于 $\mu P/\mu C$ 的测量仪器或测控系统，而得到更高质量的成果。 $\mu P/\mu C$ 发展的迅速令人感到惊异，使许多人不得不面临新的学习任务。微型机发展到今天，已经从计算机专业人员手里解放出来，成为各行各业技术人员必须掌握的一个重要工具。

二、微型机化仪器的功能

现以英国Taylor Hobson公司生产的Talysurf-5M多参数表面测量系统为例说明微型

机化仪器的功能。仪器的外貌如图 1-6 所示, 该仪器是用触计来检测工件表面粗糙度和波度的仪器, 仪器内装有 Trivector System 公司生产的多板型计算机, μP 为 8 位的 8080。内存容量: EPROM 为 10 k 字节, RAM 为 8 k 字节。仪器由传感器、驱动箱、电箱、工作台和立柱几部分组成。电箱有 4 位数字显示, 一位小数点, 一位符号显示, 同时还可显示测量单位, 仪器工作状态及故障代码。测量结果可由打印机打出或绘制轮廓图形。被测参数多达 41 个。系统精度 $\pm 2 \sim 4\%FS$ 。五种切除长度 0.08、0.25、0.8、2.5、8 mm, 水平放大比从 $\times 2$ 到 $\times 100$ 五档, 垂直放大比从 $\times 100$ 到 $\times 100000$ 共 10 档。仪器具有的功能如下:

- (1) 表面轮廓的采样和存贮。一次测量最多采样数据 3600 个, 并存入计算机。
- (2) 41 个参数的自动分析计算、显示和打印输出。
- (3) 量程和切除长度的选择。
- (4) 驱动箱的控制。
- (5) 参数按标定值的自校准。
- (6) 传感器测头位移的指示。
- (7) 表面实际轮廓和 t_p 曲线的自动记录。
- (8) 仪器工作状态和故障的识别。

从上述的典型实例, 我们可以看出, 微型机化仪器的功能可大致归结为:

- (1) 存贮功能。可以对大量的数据 (包括多次测量或采样数据, 各种标准量值, 备用参数, 仪器状态及运算结果) 进行存贮。
- (2) 分析运算功能。对被测数据进行各种运算 (如求平均值, 最大最小值, 各种定义参数, 如粗糙度、波度、形状、齿轮参数等) 及分析 (如统计分析、谐波分析等) 功能。
- (3) 补偿功能。对可分离的系统误差以及环境参数 (如温度、湿度、气压等) 进行自动补偿, 以提高仪器精度。
- (4) 自校准、自诊断功能。提高仪器的稳定性、可靠性和保养性。

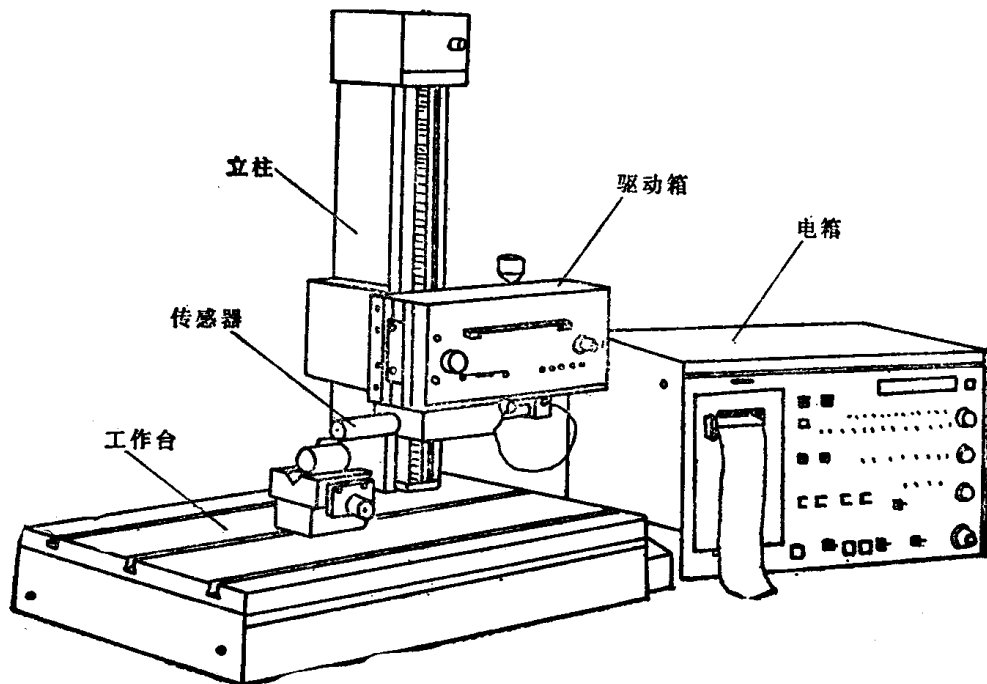


图1-6 Talysurf-5M外貌

这些功能的实现没有微型机的参与几乎是不可想象的,从而显示了微型机给仪器带来的深刻变革。

三、微型机化仪器的特点

在什么情况下选用 $\mu P/\mu C$ 并设计微型机化量仪是合理的? 微型机化量仪是否可以最终淘汰目前广泛使用的模拟式和数字式电动量仪? 这是目前在大力推广应用微型机技术中很值得探讨的一个问题。显然,并不是在什么情况下都有必要使用微型机,各种量仪均有自己的特点,而这些特点是无法相互取代的。

(1) 指针式量仪的特点是:

- ① 结构简单,价格便宜,易于检修。
- ② 仪表指示有连续性,方向性,便于观测和做极性判别。
- ③ 缺点是数据处理功能弱,准确度有限。

(2) 数字式量仪的特点是:

- ① 精度高,速度快。
- ② 显示直观,但方向性和做极性判断不如指针式仪表。
- ③ 缺点是使用硬件太多,可靠性难以提高、灵活性较差,但在 LSI 技术不断提高的情况下,元件的集成度日益提高,价格不断下降,检修也逐渐容易。

(3) 智能量仪特点是:

- ① 以软件代替硬件,可使复杂的数字式量仪简化,体积缩小,功耗降低,可靠性增强。
- ② 灵活性,复制性强,在不改变硬件的条件下只要改变软件就可改变量仪的功能。
- ③ 易实现大数量和高质量的信息加工,使仪器的可测参数极大扩展,而所用时间却少得多。
- ④ 缺点是在相同条件下,工作速度较数字式量仪的速度慢,研制的一次性投资较大。

因此,以微型机为基础的仪器主要用于高精度、多参数、自动化仪器及视觉传感—图形测量类仪器较为合理。

§ 1-3 微型机中数的表示及运算基础

微型机是由一些基本逻辑单元器件组成的,它所能识别的仅是用 1、0 表示的开关状态。因此微型机所处理的数值都要用二进制数字来表示,所处理的字母或符号亦必须用二进制编码来表示,然而人们通常使用的是十进制数,为了有效地与微型机交换信息(输入数据,获得结果),就要正确的表达和变换数据。在计算机内部为了实现正确的运算,亦必须对参加运算的二进制数的正、负号,数的整数、小数的格式做出相应的规定。

一、数和文字符号的表示及相互转换。

在微型机的应用中最常用到的数是十进制、二进制和十六进制。最常用到的编码是 ASCII 码和七段代码。

(一) 十进制数

在十进制数中有十个不同的数字符号: 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。同一个数字符号在不同的位置所代表的数值亦不同,例如 222 这个数中,最右边的 2 所代表的

数值是 2、中间的 2 所代表的数值为 20、最左边的 2 所代表的数值则是 200。而低位与高位之间的关系是逢“十”进一。

一般的讲，任何一个十进制数 $D_3D_2D_1D_0$ 都可以写成基数为 10 的各次幂的和的形式。

$$D_3D_2D_1D_0 = D_3 \times 10^3 + D_2 \times 10^2 + D_1 \times 10^1 + D_0 \times 10^0 \quad (1-1)$$

D_3, D_2, D_1, D_0 可以分别为 0 到 9 十个数字符号之一，而称 $10^3, 10^2, 10^1, 10^0$ 分别为数字符号 D_3, D_2, D_1, D_0 的权。式 (1-1) 又称为按权展开式。

(二) 二进制数

在二进制数中只有 0、1 两个数字符号。低位向高位是逢“二”进一。一个二进制数的按权展开式为：

$$B_3B_2B_1B_0 = B_3 \times 2^3 + B_2 \times 2^2 + B_1 \times 2^1 + B_0 \times 2^0 \quad (1-2)$$

其中 B_3, B_2, B_1, B_0 可取 0、1 之一。 $2^3, 2^2, 2^1, 2^0$ 分别表示 B_3, B_2, B_1, B_0 的权，或者说 4 位二进制数的权依次为 8、4、2、1。例如 1100 其数值不是一千一百，而是 12。

(三) 十六进制数

这种数制中有十六个不同的数字符号：0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F，其中 A、B、C、D、E、F 分别对应于十进制数中的 10、11、12、13、14、15。它们低位向高位的进位关系是逢“十六”进一。按权展开式为：

$$H_3H_2H_1H_0 = H_3 \times 16^3 + H_2 \times 16^2 + H_1 \times 16^1 + H_0 \times 16^0 \quad (1-3)$$

H_3, H_2, H_1, H_0 可以是 0 到 F 中的任何一个，所对应的权为 $16^3, 16^2, 16^1, 16^0$ 。

十六进制数的产生主要是由于二进制数书写太长，而且不便记忆。如果我们把二进制数每 4 位分为一组，我们会发现每组所代表的数值恰好等于十六进制数的数字符号 H，而且权即为 16 进制数所对应的权，例如：

二进制数	1101	0100	1100	1011
十六进制数	D	4	C	B

显然，D 4 C B 与 1101010011001011 比较既便于书写，又好记忆，而且二者的数值是等效的。因此在单板机中键盘的输入及数字显示都采用十六进制。

(四) 二-十进制 (BCD 码)

顾名思义，所谓二-十进制就是用二进制数来表示十进制数字。例如：

$$85(十) = 10000101(\text{BCD})$$

二-十进制又称为 BCD 码，BCD 是英文 Binary Coded Decimal 的缩写。

需提起注意的是，BCD 码与二进制不同，BCD 码是用 4 位二进制数表示 1 位十进制数。每 4 位二进制数的数值等于十进制的数字符号，而其权为十进制所对应的权，例如：

$$10000101(\text{BCD}) = (1 \times 2^3) \times 10^1 + (1 \times 2^2 + 1 \times 2^0) \times 10^0 = 85(十)$$

这种数制的优点是便于转换成 ASCII 码（主要用于打印输出）和七段代码（用于数字管显示）。通常，某些数字仪表，如可逆计数器，数字电压表，数字频率计，数字相位计等的数字输出均采用 BCD 码，如果仪器系统是通过这些数字仪表与微型机联接，直接输入到微型机的数据将是 BCD 码，如果运算比较简单，可用 BCD 码直接进行。因为现在的微型机大都具有 BCD 码运算的功能，但是 BCD 码的存贮效率不高，即占用存贮器较多，若运算较为复杂，则应将 BCD 码先换成二进制数，运算后再转换成 BCD 码，以便输出。

表 1-1 列出了以上四种数制之间的对应关系，通过对比可以看出相互之间的异同。

表1-1 几种进位制的对照表

十进制数	十六进制数	二进制数	二-十进制数	十进制数	十六进制数	二进制数	二-十进制数
0	0	0000	0000	9	9	1001	1001
1	1	0001	0001	10	A	1010	00010000
2	2	0010	0010	11	B	1011	00010001
3	3	0011	0011	12	C	1100	00010010
4	4	0100	0100	13	D	1101	00010011
5	5	0101	0101	14	E	1110	00010100
6	6	0110	0110	15	F	1111	00010101
7	7	0111	0111	16	10	10000	00010110
8	8	1000	1000				

为了避免各种数制互相混淆,通常在十进制数后加字符D(Decimal),在二进制数后加字符B(Binary),在十六进制数后加字符H(Hexadecimal),例如一个十进制数一千,可以有以下几种表示方法:

$$1000 = 1000 D = 3 E 8 H = 1111101000 B$$

通常为简化,十进制数后的“D”可以不写。

(五) ASCII 码

二进制数不仅可用来表示数值,也可以用来表示文字和符号。表1-2给出的ASCII(American standard code for information interchange)码称为美国信息交换标准码,在微型机中被广泛的使用。表中每一种文字或符号都是用7位二进制数表示(即 $b_6 \sim b_0$)。例如字母A是用1000001B或41H表示。表中靠左边两列符号是控制用的代码,其含义在表的下方注出。例如CR表示回车,LF表示换行等。ASCII码只占用7位,第八位可以做别的用途,例如用做奇偶校验等。ASCII码完全是人为的规定,没有十分严格的规律,它只用来表示确定的文字和符号,这一点与数的表示不同。

(六) 七段代码

七段代码是七段数字显示管(LED)的字符显示代码,在单板机中普遍使用。然而它不是一种标准代码,所以我们放在第八章微型机与仪器接口技术中介绍。

(七) 二到十进制互换

1. 二翻十

把二进制数换算成十进制数,只要利用二进制数的按权展开式(1-2),将二进制数逐位按权相加,就可得到等值的十进制数。

$$\begin{aligned} \text{例: } 00111101 B &= 0 + 0 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 0 + 1 \times 2^0 \\ &= 32 + 16 + 8 + 4 + 1 = 61 D \end{aligned}$$

2. 十翻二

把十进制数换算成二进制数,实际上就是要得到如下的形式:

$$\begin{aligned} \cdots D_3 D_2 D_1 D_0 &= \cdots B_3 B_2 B_1 B_0 = \cdots B_3 \times 2^3 + B_2 \times 2^2 + B_1 \times 2^1 + B_0 \times 2^0 \\ &= \cdots B_3 \times 2^3 + B_2 \times 2^2 + B_1 \times 2^1 + B_0 \end{aligned} \quad (1-4)$$

由式(1-4)可知: B_0 即为 $(D_3 D_2 D_1 D_0) \div 2$ 的余数

B_1 即为 $(D_3 D_2 D_1 D_0) \div 2 + 2$ 的余数

B_2 即为 $(D_3 D_2 D_1 D_0) \div 2 + 2 + 2$ 的余数

表1-2 七位ASCII码表

$b_6b_5b_4$	0	1	2	3	4	5	6	7
$b_3b_2b_1$								
0	NUL	DLE	SP	0	@	P	'	p
1	SOH	DC ₁	!	1	A	Q	a	q
2	STX	DC ₂	"	2	B	R	b	r
3	ETX	DC ₃	#	3	C	S	c	s
4	EOT	DC ₄	\$	4	D	T	d	t
5	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u
6	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v
7	BEL	ETB	,	7	G	W	g	w
8	BS	CAN	(	8	H	X	h	x
9	HT	EM	)	9	I	Y	i	y
A	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z
B	VT	ESC	+	;	K	[	k	{
C	FF	FS	,	<	L	\	l	
D	CR	GS	-	=	M	]	m	}
E	SO	RS	.	>	N	^	n	~
F	SI	US	/	?	O	_	o	DEL

NUL	空白	BS	退格	DLE	转义	CAN	作废
SOH	序始	HT	横表	DC ₁	机控 1	EM	载终
STX	文始	LF	换行	DC ₂	机控 2	SUB	取代
ETX	文终	VT	纵表	DC ₃	机控 3	ESC	扩展
EOT	送毕	FF	换页	DC ₄	机控 4	FS	卷隙
ENQ	询问	CR	回车	NAK	否认	GS	群隙
ACK	承认	SO	移出	SYN	同步	RS	录隙
BEL	告警	SI	移入	ETB	组终	US	无隙
DEL	抹掉	SP	空格				

B_3 即为 $(D_3D_2D_1D_0) \div 2 \div 2 \div 2 \div 2$ 的余数

例：求 15D 的二进制数

$$15 \div 2 = 7 \text{ 余 } 1 = B_0$$

$$7 \div 2 = 3 \text{ 余 } 1 = B_1$$

$$3 \div 2 = 1 \text{ 余 } 1 = B_2$$

$$1 \div 2 = 0 \text{ 余 } 1 = B_3$$

则 $15D = 1111B$

(八) 二到十六进制互换

1. 二翻十六

把一个二进制数换算成十六进制数，可首先把二进制数从右向左每 4 位作为一组，最后不足 4 位前面补 0，然后用相应的十六进制数代换即可得到十六进制数。

例：将 1101111100011B 转换成十六进制数

二进制数： 0001, 1011, 1110, 0011

十六进制数： 1 B E 3

则 $1101111100011B = 1BE3H$

2. 十六翻二

把一个十六进制数换算成二进制数实际上是二翻十六的逆变换。

例：将 4CBH 转换成二进制数

十六进制数	4	C	B	H
二进制数	0100	1100	1011	B

则 4CBH = 010011001011 B

(九) 十到十六进制的互换

十进制数与十六进制数之间的互换与十进制与二进制之间转换的原理和方法类似。

1. 十六翻十

十六进制数换算成十进制数只要按式 (1-3) 按权展开即可。

例：将 3ABH 转换成十进制数

$$3ABH = 3 \times 16^2 + A \times 16^1 + B \times 16^0 = 768 + 160 + 11 = 939 D$$

2. 十翻十六

其方法与十翻二类似，只要用 16 不断去除十进制数，每次所得余数即为十六进制数的数字符号 H_0 、 H_1 、 H_2 ……。

例：将 1256 D 转换成十六进制数

$$1256 \div 16 = 78 \text{ 余 } 8 = H_0$$

$$78 \div 16 = 4 \text{ 余 } 14 = H_1$$

$$4 \div 16 = 0 \text{ 余 } 4 = H_2$$

则 1256 D = 4E8H

十翻十六亦可用十翻二、二翻十六两步法进行，在使用单板机键盘输入数据时，这一转换是经常碰到的。

在微型机中还有一些最常遇到的代码之间转换，如 BCD 码与二进制数的互换，BCD 码到 ASCII 码和七段代码的转换，通常主要在机器内部进行，常用一些子程序完成这种变换，转换方法亦稍为繁琐一些，这些将在以后逐章中予以介绍。

二、数的符号表示——原码、补码

在上面的讨论中我们没有涉及数的符号，常称这种数为无符号的数，实际上一个数通常是有符号的，亦有正有负。在微型机中我们约定用 0 表示正，用 1 表示负，并放在一个数的最高位。

例如：

	D_7	D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1	D_0
$N_1 = +1011101$ 在机器中表示为	0	1	0	1	1	1	0	1
$N_2 = -1011101$ 在机器中表示为	1	1	0	1	1	1	0	1

	符号 数值部分							

称 01011101 和 11011101 分别为 +10111 和 -1011101 的机器数，而把它所代表的数值称为真值。

(一) 原码

上述这种表示带符号数的方法我们称为原码表示，原码的特点是一个机器数的最高位为

符号位, 0 表示正, 1 表示负, 其数值部分就等于该数的真值的绝对值。因此, 这种表示方法简单易懂, 而且与真值的换算方便, 其缺点是在机器中的运算较为复杂。例如, 在做加法运算时, 如果两个数同号, 则数值相加符号不变, 如果异号, 数值部分实际是相减, 而且要首先判断两个数的绝对值, 那个大, 然后用大数减小数, 符号等于大数的符号。为了简化这种算法, 而引入了补码的概念。

(二) 补码

一个带符号数的补码表示方法是: 如果数为正, 其补码与原码相同。例如:

$$N_1 = +1011101 \text{ 的补码表示为 } \boxed{0 \mid 1 \mid 0 \mid 1 \mid 1 \mid 0 \mid 1}$$

如果数为负, 其补码是将原码的数值部分逐位求反(称反码), 然后在最末位加 1, 符号位不变, 例如:

$$N_2 = -1011101 \text{ 的补码表示为 } \begin{array}{c} D_7 D_6 D_5 D_4 D_3 D_2 D_1 D_0 \\ \boxed{1 \mid 0 \mid 1 \mid 0 \mid 0 \mid 0 \mid 1 \mid 1} \end{array}$$

计算过程是:

$$N_2 \text{ 的原码: } 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1$$

$$N_2 \text{ 的反码: } 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0$$

$$N_2 \text{ 的补码: } 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1$$

采用补码的优点是减法运算可用加法来实现。例如: $6 - 4 = 2$

$$\begin{array}{rcl} 6 & 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 & + 6 \text{ 的二进制补码} \\ -) 4 & +) 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 & - 4 \text{ 的二进制补码} \\ \hline 2 & \boxed{1} \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 & + 2 \text{ 为计算结果} \\ & \downarrow & \\ & \text{丢掉} & \end{array}$$

也就是说当采用补码运算时, 可把 $6 - 4$ 用 $6 + (-4)$ 来实现。因此微型机中都是采用二进制补码进行运算的。

字长为 8 位的微型机, 一个字节(byte)用补码表示的带符号的二进制数如表 1-3 所示。

表 1-3 8 位字长所能表示的带符号的二进制数

十进制数	带符号的二进制数(补码)	十进制数	带符号的二进制数(补码)
+127	01111111	-1	11111111
+126	01111110	-2	11111110
⋮	⋮	-3	11111101
+3	00000011	⋮	⋮
+2	00000010	-127	10000001
+1	00000001	-128	10000000
0	00000000		

由表 1-3 可知, 用补码表示的二进制数的最高位为符号位, 当符号位为 0 时(即正数), 其余 7 位为此数的二进制值, 当符号位为 1 时(即负数), 其余 7 位不是该数的二进制值, 把它们按位求反, 且在最低位加 1, 才是它的二进制值。-1 的补码为 11111111, 我们可以这样来理解: 如果在 11111111 的最末一位加 1, 则变为 00000000, 这与二进制的运算规则及