



教育部高职高专规划教材

# 单片机应用技术

● 耿长清 主编  
俞 宁 主审



化学工业出版社  
教材出版中心

教育部高职高专规划教材

# 单片机应用技术

耿长清 主 编  
丘寄帆 副主编  
俞 宁 主 审

化学工业出版社  
教材出版中心  
·北 京·

(京)新登字 039 号

**图书在版编目 (CIP) 数据**

单片机应用技术/耿长清主编. —北京:化学工业出版社, 2002.7

教育部高职高专规划教材

ISBN 7-5025-3940-9

I. 单… II. 耿… 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 (2002) 第 045744 号

---

教育部高职高专规划教材

**单片机应用技术**

耿长清 主 编

丘寄帆 副主编

俞 宁 主 审

责任编辑: 张建茹

责任校对: 郑 捷

封面设计: 郑小红

\*

化学工业出版社  
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销  
北京市管庄永胜印刷厂印刷  
三河市延风装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 15 字数 373 千字

2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3940-9/G·1091

定 价: 24.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 出版说明

高职高专教材建设工作是整个高职高专教学工作中的重要组成部分。改革开放以来,在各级教育行政部门、有关学校和出版社的共同努力下,各地先后出版了一些高职高专教育教材。但从整体上看,具有高职高专教育特色的教材极其匮乏,不少院校尚在借用本科或中专教材,教材建设落后于高职高专教育的发展需要。为此,1999年教育部组织制定了《高职高专教育专门课课程基本要求》(以下简称《基本要求》)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(以下简称《培养规格》),通过推荐、招标及遴选,组织了一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师,成立了“教育部高职高专规划教材”编写队伍,并在有关出版社的积极配合下,推出一批“教育部高职高专规划教材”。

“教育部高职高专规划教材”计划出版500种,用5年左右时间完成。这500种教材中,专门课(专业基础课、专业理论与专业能力课)教材将占很高的比例。专门课教材建设在很大程度上影响着高职高专教学质量。专门课教材是按照《培养规格》的要求,在对有关专业的人才培养模式和教学内容体系改革进行充分调查研究和论证的基础上,充分吸取高职、高专和成人高等学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验和教学成果编写而成的。这套教材充分体现了高等职业教育的应用特色和能力本位,调整了新世纪人才必须具备的文化基础和技术基础,突出了人才的创新素质和创新能力的培养。在有关课程开发委员会组织下,专门课教材建设得到了举办高职高专教育的广大院校的积极支持。我们计划先用2~3年的时间,在继承原有高职高专和成人高等学校教材建设成果的基础上,充分汲取近几年来各类学校在探索培养技术应用性专门人才方面取得的成功经验,解决新形势下高职高专教育教材的有无问题;然后再用2~3年的时间,在《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,通过研究、改革和建设,推出一大批教育部高职高专规划教材,从而形成优化配套的高职高专教育教材体系。

本套教材适用于各级各类举办高职高专教育的院校使用。希望各用书学校积极选用这批经过系统论证、严格审查、正式出版的规划教材,并组织本校教师以对事业的责任感对教材教学开展研究工作,不断推动规划教材建设工作的发展与提高。

教育部高等教育司

2001年4月3日

# 前 言

为贯彻《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》(教高[2002]2号)有关精神,积极支持教育部面向21世纪高职高专教材建设,在教育部领导直接关怀下,全国高等职业教育院校协作会专门课开发指导委员会确定了编写电子类专业的10门主干课程(《电路分析》、《模拟电子技术》、《数字电子技术》、《电子技术实训》、《高频电子线路》、《电子测量与仪器》、《电视接收技术》、《电子设计自动化(EDA)技术》、《单片机应用技术》和《C语言》)供电子技术应用、应用电子技术、电子工程、通信、电子设备制造与维修等相关专业使用。

本套教材紧密结合高职高专教育特点,主动适应社会实际需要,突出应用性、针对性,加强实践能力的培养。内容叙述力求深入浅出,将知识点与能力点有机结合,注重培养学生的工程应用能力和解决现场实际问题的能力;内容编排力求简洁明快、形式新颖、目标明确,利于促进学生的求知欲和学习主动性。

根据高职人才培养规格的具体要求,“单片机应用技术”课程是目前高等职业技术学院电类、机电类、计算机及其相关专业的一门相当重要的课程。本教材编写者均是长期从事高等职业教育、担任单片机课程讲授的第一线教学人员和长期从事单片机应用和开发的工程设计人员。编者以多年单片机教学和开发经验为基础,结合高职人才培养规格的要求,编写了这本教材。

本书共分十章,每章后都配有一定量的思考题与习题,在书后以附录的形式给出了实验指导书,供教师在开设实验时选择。

本教材参考教学时数为90学时,本教材注重实践和应用。在第十章安排了5个单片机应用实例,后两个实例没有给出完整的程序,留给学生自己选择完成。各学校可根据专业设置要求及学校和学生的实际情况,适当调整教学时数,灵活安排授课、实验和实训内容。

本教材由耿长清任主编,负责全书的统稿,并与肖辽亮共同编写第三章、与陆旭明共同编写第八章;丘寄帆任副主编,并编写第六章,第九章和第十章的第三节;张文明编写第一章,第二章,第十章的第一节和第四节;吴政江编写第四章;陈享成编写第五章和附录;苏海滨编写第七章;薛波编写第十章的第二、五、六节。本书由俞宁主审。

由于编者水平有限,书中存在的错误和不足之处,殷切希望读者批评指正。

编者

2002年4月

# 目 录

|                                    |    |                                   |     |
|------------------------------------|----|-----------------------------------|-----|
| <b>第一章 单片机概述</b> .....             | 1  | <b>第一节 定时器/计数器概述</b> .....        | 75  |
| 第一节 概论 .....                       | 1  | <b>第二节 定时器/计数器的 4 种工作方式</b> ..... | 78  |
| 第二节 单片机的发展及主流产品 .....              | 1  | <b>第三节 定时器应用举例</b> .....          | 81  |
| 第三节 单片机的应用 .....                   | 2  | <b>第四节 中断系统概述</b> .....           | 85  |
| 第四节 MCS-51 单片机系列 .....             | 3  | <b>第五节 MCS-51 的中断系统</b> .....     | 88  |
| 本章小结 .....                         | 5  | <b>第六节 中断处理过程</b> .....           | 92  |
| 思考题与习题 .....                       | 5  | <b>第七节 中断系统的应用</b> .....          | 95  |
| <b>第二章 MCS-51 单片机结构和原理</b> .....   | 6  | 本章小结 .....                        | 97  |
| 第一节 MCS-51 单片机的基本组成及信号<br>端子 ..... | 6  | 思考题与习题 .....                      | 97  |
| 第二节 8051 内部存储器 .....               | 10 | <b>第六章 存储器及其扩展</b> .....          | 99  |
| 第三节 并行输入/输出端口 .....                | 16 | 第一节 半导体存储器 .....                  | 99  |
| 第四节 时钟、复位电路、电源与时序 .....            | 20 | 第二节 单片机存储器的扩展 .....               | 103 |
| 本章小结 .....                         | 23 | 本章小结 .....                        | 108 |
| 思考题与习题 .....                       | 23 | 思考题与习题 .....                      | 109 |
| <b>第三章 MCS-51 指令系统</b> .....       | 25 | <b>第七章 并行 I/O 口及其应用</b> .....     | 110 |
| 第一节 指令系统简介 .....                   | 25 | 第一节 键盘接口 .....                    | 110 |
| 第二节 MCS-51 的寻址方式 .....             | 28 | 第二节 发光二极管显示器接口 .....              | 114 |
| 第三节 数据传送类指令 .....                  | 31 | 第三节 8255 可编程芯片扩展 I/O 端口 .....     | 120 |
| 第四节 算术运算类指令 .....                  | 35 | 第四节 TTL 芯片扩展 I/O 接口 .....         | 134 |
| 第五节 逻辑运算类指令 .....                  | 40 | 第五节 打印机接口 .....                   | 137 |
| 第六节 控制转移类指令 .....                  | 44 | 本章小结 .....                        | 141 |
| 第七节 布尔变量操作类指令 .....                | 48 | 思考题与习题 .....                      | 142 |
| 本章小结 .....                         | 50 | <b>第八章 串行数据通信口及应用</b> .....       | 143 |
| 思考题与习题 .....                       | 50 | 第一节 串行通信基础 .....                  | 143 |
| <b>第四章 汇编语言程序设计</b> .....          | 52 | 第二节 MCS-51 串行口及工作方式 .....         | 145 |
| 第一节 汇编语言的构成 .....                  | 52 | 第三节 串行口的应用与编程 .....               | 148 |
| 第二节 汇编语言程序设计和汇编 .....              | 55 | 第四节 串行通信总线标准及其接口 .....            | 158 |
| 第三节 顺序程序设计 .....                   | 57 | 第五节 PC 机与 8051 间的通信 .....         | 161 |
| 第四节 分支程序设计 .....                   | 58 | 本章小结 .....                        | 164 |
| 第五节 循环程序设计 .....                   | 61 | 思考题与习题 .....                      | 164 |
| 第六节 子程序设计 .....                    | 65 | <b>第九章 数/模和模/数转换器接口</b> .....     | 165 |
| 第七节 查表程序设计 .....                   | 67 | 第一节 概述 .....                      | 165 |
| 第八节 数据检索程序设计 .....                 | 70 | 第二节 A/D 转换器与单片机的连接 .....          | 165 |
| 第九节 运算程序设计 .....                   | 70 | 第三节 D/A 转换器与单片机的连接 .....          | 169 |
| 本章小结 .....                         | 73 | 本章小结 .....                        | 172 |
| 思考题与习题 .....                       | 73 | 思考题与习题 .....                      | 172 |
| <b>第五章 定时与中断</b> .....             | 75 | <b>第十章 单片机应用系统实例</b> .....        | 173 |
|                                    |    | 第一节 单片机应用系统开发设计方法 .....           | 173 |

|     |                |     |
|-----|----------------|-----|
| 第二节 | 水塔水位控制 .....   | 177 |
| 第三节 | 数字温度计 .....    | 180 |
| 第四节 | 红外线防盗报警器 ..... | 189 |
| 第五节 | 作息时间控制钟 .....  | 191 |
| 第六节 | 步进电机控制 .....   | 199 |

|      |                       |     |
|------|-----------------------|-----|
| 附录 1 | 参考实验方案 .....          | 213 |
| 附录 2 | MCS-51 系列单片机指令表 ..... | 227 |
| 附录 3 | 实验使用的芯片引线端子图 .....    | 230 |
| 参考文献 | .....                 | 233 |

## 第一章 单片机概述



**目的与要求** 本章讲解单片机的发展过程和应用领域,通过本章的学习了解单片机的发展和应用,掌握单片机主流产品 MCS-51 的特点。了解微控制技术的概念。

### 第一节 概 论

计算机的发展经历了从电子管、晶体管、集成电路到大规模集成电路四个发展阶段,即所谓的第一代计算机、第二代计算机、第三代计算机和第四代计算机。

微型计算机是大规模集成技术发展的直接产物,因此它属于第四代计算机。自从 1971 年微型机问世以来,随着大规模集成技术的不断发展,导致微型机向两个主要方向发展;一个是向高速度、高性能的高档方向发展;另一个是向稳定可靠、小而廉的单片机方向发展。

单片机,就是把中央处理器 CPU (Central Processing Unit)、随机存取存储器 RAM (Random Access Memory)、只读存储器 ROM (Read Only Memory)、定时器/计数器以及 I/O (Input/Output) 接口电路等主要计算机部件,集成在一块集成电路芯片上的微型计算机。虽然单片机只是一个芯片,但从组成和功能上看,它已具有了微型系统的含义。

计算机技术中,通用微处理器 (CPU) 的发展是计算机技术发展更新的决定性因素,但通用微处理器发展到一定阶段很难兼顾通用计算机系统和工业微处理器的不同发展要求。因而产生了独自发展的单片机 (Single Chip Microcontroller)。单片机问世后,与通用微处理器形成了两个分支,各有自己的技术特征、发展道路和应用环境。

### 第二节 单片机的发展及主流产品

随着 1971 年微处理器的研制成功,不久就出现了单片的微型计算机 (简称单片机)。下面列举单片机在发展过程中的一些重要事件,以对单片机的发展情况作概要说明。

自从 1974 年世界上出现第一块单片机开始,许多半导体公司和计算机公司竞相研制和发展自己的单片机系列。到目前为止,世界各地厂商已相继研制出大约 50 个系列 300 多个品种的单片机产品,其中有 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 6801、6802, Zilog 公司的 Z-80 系列, Rockwell 公司的 6501、6502 等。此外日本的 NEC 公司、日立公司等也都推出了各自具有特色的单片机品种。

尽管目前单片机的品种很多,但其中最具典型性的当属 Intel 公司的 MCS-51 单片机及其兼容系列。MCS-51 是在 MCS-48 的基础之上于 20 世纪 80 年代初发展起来的,虽然它仍然是 8 位的单片机,但其功能较 MCS-48 有很大的增强。此外它还具有品种全、兼容性强、软硬件资料丰富等特点。因此应用非常广泛,成为继 MCS-48 之后最重要的单片机品种。直到现在 MCS-51 仍不失为单片机中的主流机型。

主流的形成具有多方面因素。客观因素取决于技术发展是否符合测、控对象的发展规

律, 厂家能否投入巨大精力、财力, 坚持不断地开发兼容条件下的新产品; 主观因素则主要是地区的习惯性, 以及应用技术、资料、开发环境、芯片货源及质量保障体系。主流状况的形成需要一个时间历程。形成主流状况使技术向高层次发展带来极大的好处, 特别是当客观因素与主观因素相一致时, 会取得最佳的技术和最好的社会效益与经济效益。

在单片机系列方面, 中国已形成 8 位机 MCS-51 的主流局面。世界市场上西门子、飞利浦、Atmel 等大电气商的介入, 与 Intel 公司一道在 MCS-51 基础上发展了新一代 80C51 系列, 国内微电子技术部门也参与新一代 80C51 系列产品的研究, 将使中国 8 位机的使用较长期地稳定在 80C51 系列上。

### 第三节 单片机的应用

由于单片机是应工业控制系统智能化的迫切要求而产生的, 因此它必然以革命性的姿态应用于工业测控系统。同时, 家用电器、机电一体化以及仪器仪表行业也都是单片机大量应用的领域。如今, 单片机已经形成自己的总线形式, 如 I<sup>2</sup>C 总线, CAN 总线, Bitbus 总线等等, 使得多个单片机能方便地以一定的拓朴结构构成多种系统, 适应单片机系统在工业控制网络中的应用。

#### 1. 单片机在家用电器中的应用

家用电器诸如电视机、录像机、洗衣机、电风扇和空调机等已普遍采用了单片机或者专用单片机集成电路控制器。在日本, 家用电器的单片机控制率已达到 90%。随着家用功能的日趋复杂化和节能化发展势头, 不使用单片机控制的家用电器已无竞争能力。

在空调器中采用模糊控制比以往用常规 PID 控制方式及经典控制方式更为有效, 并且节省硬件开销。在洗衣机中应用模糊控制算法可以简化人的选择性操作, 由洗衣机自动判别选择最佳控制程序, 目前已能实现 1300 种全自动洗衣操作。单片机还能对其所控制的家用电器以直观的数字显示, 并对各关键环节进行自检和运行中监视, 发生故障立即报警。

#### 2. 单片机在机电一体化中的应用

机电一体化最先由日本学者在 1979 年东京第九届国际机器人会议上提出。它综合计算机、微电子、光电通信、机械设计与制造、信息论和控制论等于一体, 以最大限度挖掘机电设备的潜力为目的, 形成了一项综合性并且融合多种技术的有机体。

以机电一体化技术最主要的应用领域——制造业为例, 许多新的概念被提出。如智能制造系统, 它将智能控制技术(如模糊控制等)引入制造系统中, 使整个系统的柔性及适应性大大提高。作为智能控制系统的硬件支持, 多微机并行处理系统往往是必须的。英国 INMOS 公司开发的 transputer 单片机芯片的设计思想就是使并行处理通过硬件来实现。同时, 这种芯片还提供了与其相适应的并行高级语言 OCCAM, 使 transputer 包含有专门的指令和硬件, 以保证提供优良的并行方式和通信联络。它的造价不但大大低于 Intel80836、80486 等通用微机芯片所构成的多机并行处理系统, 而且也是这些通用微机芯片难以配置完成的。

在机电一体化的数控技术中, 对于未来的数控系统的设计, 国外学者提出了所谓的“开放式结构”, 即以工作站或微机配一种适当的标准实时工业总线(如 VME, Mutbus)构成开发平台, 并在此基础上建立起用于集成开发的系统软件模块库和系统硬件模块库, 并不断对软、硬件模块进行开发, 丰富系统模块内容。当需要某一类型的数控系统时, 可以直接从软、硬件库中进行模块选取, 并在平台环境下对软、硬件模块进行优化组合配置, 最终集成

出所需的数控系统。而采用高性能的单片机芯片开发硬件模块直接完成实时控制任务，是最合理的并且切实可行的。

### 3. 单片机在仪器仪表中的应用

仪器仪表是单片机广泛应用的领域。目前常将具有单片机的仪器仪表称为智能仪表。智能仪器仪表最主要的特点是提高了测量精度和测量速度，改善了人-机界面，简化了操作。许多智能仪器仪表还能自动完成校正、补偿、测量值的误差分析和处理、对测量值进行各种数学运算、标准变换等等，使输出的数据与被测量值直接对应。有的还可以存储、联网等等。

中国在智能仪器仪表方面进展较快，在历届单片机年会上这方面的论文较多，涉及理、工、农、医等各行各业，有的成果达到了国际先进水平。

智能仪器仪表主要采用 CMOS 工艺的单片机，因为它的功耗低并且适应电压范围较宽。4 位单片机主要用于便携式仪器仪表，其主要厂家有 NS、NBC、Philips、OKI 等公司。8 位单片机以 Intel8048、8051 和 Motorola 的 6805 为主流，尤其是 8051 系列的单片机，已有数十个品种，是智能仪器仪表中使用最多的单片机。16 位单片机适合于中、高级的复杂控制，在智能仪器仪表中用量不大。

中国目前的单片机年用量还不到世界当年产量的 1%，而中国遍布城乡的大量的中小型企业是单片机应用的巨大领域。单片机在各行各业中大量成功地应用，将产生出巨大的经济效益。

此外应当认识到，单片机应用的意义绝不仅限于它的广阔范围以及所带来的经济效益上。更重要的意义还在于，单片机的应用正从根本上改变着传统的控制系统设计思想和设计方法。从前继电接触器控制，模拟电路、数字电路实现的大部分控制功能，现在已能使用单片机通过软件方法实现了。这种以软件取代硬件并能提高系统性能的控制技术，称之为微控制技术。微控制技术标志着一种全新概念的出现，是针对传统控制技术的一次革命。随着单片机应用的推广普及，微控制技术必将不断发展，日益完善，更加充实，因此，了解单片机掌握其应用技术，具有划时代的意义。

## 第四节 MCS-51 单片机系列

MCS-51 单片机系列如表 1-1 所列。

表 1-1 (a) MCS-51 系列单片机主要特性

| 型 号   | 片内存储器 (字节) |         | I/O 线 | 定时器/计数器  | 片外寻址空间 (字节) |       | 串行通信 |
|-------|------------|---------|-------|----------|-------------|-------|------|
|       | 程序存储器      | 数据存储器   |       |          | 程序存储器       | 数据存储器 |      |
| 8051  | 4K ROM     | 128 RAM | 32    | 2 个 16 位 | 64K         | 64K   | UTAR |
| 8751  | 4K EPROM   | 128 RAM | 32    | 2 个 15 位 | 64K         | 64K   | UTAR |
| 8031  | 无          | 128 RAM | 32    | 2 个 16 位 | 64K         | 64K   | UTAR |
| 80C51 | 4K ROM     | 128 RAM | 32    | 2 个 16 位 | 64K         | 64K   | UTAR |
| 80C31 | 无          | 128 RAM | 32    | 2 个 16 位 | 64K         | 64K   | UTAR |
| 8052  | 8K ROM     | 256 RAM | 32    | 2 个 16 位 | 64K         | 64K   | UTAR |
| 8032  | 无          | 256 RAM | 32    | 2 个 16 位 | 64K         | 64    | UTAR |
| 8044  | 4K ROM     | 192 RAM | 32    | 2 个 16 位 | 64K         | 64K   | SDLC |
| 8744  | 4K EPROM   | 192 RAM | 32    | 2 个 16 位 | 64K         | 64K   | SDLC |
| 8344  | 无          | 192 RAM | 32    | 2 个 16 位 | 64K         | 64K   | SDLC |

表 1-1 (b) 常用 MCS-51 系列单片机主要特性

| 公司      | 型号          | 片内 ROM              | 片内 RAM | I/O 口线 | 中断 | A/D       |
|---------|-------------|---------------------|--------|--------|----|-----------|
| Intel   | 80C5/GA     | 4K                  | 128    | 32     | 7  | 4 × 8 bit |
|         | 80C5/GB     | 8K                  | 265    | 32     | 7  | 4 × 8 bit |
| Atmel   | 89LV51      | FLASH 4K            | 128    | 32     | 6  |           |
|         | 89LV52      | FLASH 8K            | 258    | 32     | 8  |           |
| SIEMENS | SAB80512    | 4K                  | 128    | 56     | 6  | 8 × 8 bit |
|         | SAB80515    | 8K                  | 156    | 48     | 12 | 8 × 8 bit |
| AMD     | 80C525/325  | 8K                  | 256    | 42     | 2  | 8 × 8 bit |
|         | 80C525/535  | 8K                  | 256    | 32     | 4  |           |
| PHILIPS | 83C552      | 8K                  | 256    | 40     | 15 | 8 × 8 bit |
|         | 83C752      | 2K                  | 64     | 19     | 6  | 4 × 8 bit |
| WINBOND | W78E54      | 16K 可擦写             | 256    | 32     | 7  |           |
|         | W78E58      | 32K 可擦写             | 256    | 32     |    |           |
|         | W78E51      | 4K 可擦写              | 128    | 32     |    |           |
|         | W78E52      | 8K                  | 256    | 32     |    |           |
| LG      | GMS97C1051  | 1K                  | 64     | 15     | 7  |           |
|         | GMS97C2051  | 2K                  | 128    | 15     |    |           |
|         | GMS97L51    | 4K                  | 128    | 32     |    |           |
|         | GMS97L52    | 8K                  | 256    | 32     |    |           |
| DALLAS  | DS5000/5001 | (8~12) K<br>非易失 RAM |        | 32     | 7  |           |

MCS-51 系列单片机以其卓越的积木式结构设计, 完善的布尔处理器配置, 成为第二代高档八位单片机的佼佼者。国内科研、生产和教育部门, 在推广 MCS-51 系列单片机上所做的工作。特别是越来越多的各个领域的热心单片微机开发与应用的专业技术人员, 更使 Intel 公司的 MCS-51 单片机热不断升温。

荷兰飞利浦公司采用 CMOS 工艺, 在积木式结构的 MCS-51 单片机基础上, 推出新一代的 80C51 系列单片机。由于硬件核心是 Intel 公司的 80C51 (80C31、80C51 和 87C51), 相同的 CPU 使飞利浦的 80C51 与 Intel 公司的 MCS-51 具有完全相同的指令系统。在保留了 MCS-51 单片机的全部功能的基础上, 除增加了片内 A/D 转换器、脉冲宽度调制输出外, 还扩充了片内存储器空间及 I/O 接口。而且, 为满足单片机用户的不同需要, 飞利浦的 80C51 系列单片机中, 包括有十余种不同配置、不同性能的单片微机, 以便使不同领域不同需求的开发者, 都能从该系列中找到自己满意的机型。有的用户还可能从中找到不需片外扩充的单片微机, 实现应用系统的单片化。

除此之外, 飞利浦公司还为其新一代的 80C51 系列单片机配置了自行研制的 I<sup>2</sup>C 总线接口。I<sup>2</sup>C 总线是器件 (IC) 间的串行总线, 该总线只需两根通讯线 (一根时钟线、一根数据线) 即可实现单片机之间及单片机与外围电路之间的串行通讯。通讯使用的波特率由发送器件控制, 可以在很宽的范围内实现正常通讯。为支持 I<sup>2</sup>C 总线, 飞利浦公司还提供不少带有 I<sup>2</sup>C 总线接口的外围芯片 (RAM、I/O 接口片、A/D 和 D/A 转换器等)。

由于新一代 80C51 扩充了片内的 A/D 转换器及 I/O 接口数量, 单片机封装形式和引线端子数目随之有所改变。83C552 是该系列功能最强的、最有代表性的一种, 它共有 68 个端

子采用 PLCC 封装。

新一代 80C51、89C51 系列与 MCS-51 的全兼容性，会继续作为中国 8 位机的主流芯片。新一代 80C51、89C51 包含 Intel 公司 MCS-51 系列中的新型号单片机，西门子公司、飞利浦公司发展的 80C51 系列单片机，winbond 华邦 W78 系列，以及 Atmel 公司推出片内具有 2KEPROM 的 89C51、89C52、89C2051、89C1051 单片机。

新一代 80C51 单片机具有以下主要技术特点。

- ① 普遍采用 CMOS 工艺，通常都能满足 CMOS 与 TTL 兼容；
- ② 不断扩展的存储器容量；
- ③ 提供不同类型的存储器。有 EPROM 程序存储器（4K，89C51），外加的 E<sup>2</sup>PROM 数据存储器（256 字节 8XC851），未来发展的 flash E<sup>2</sup>PROM（89CXXX）。Philips 公司在 80C51 系列中普遍推出了实现一次编程的程序存储器 OTP 型供货状态；
- ④ 大力提高的运行速度；
- ⑤ 低功耗、低电压专用系列，满足低功耗应用系统需要；
- ⑥ 功能增强的接口；
- ⑦ 定时器/计数器数量及功能扩展；
- ⑧ 芯片及组成系统可靠性高、抗干扰能力强；
- ⑨ 提供多种封装形式。

可以预见，飞利浦新一代 80C51 系列单片机，将使熟悉掌握 MCS-51 应用系统设计的科技人员进一步拓宽自己的应用领域，也使 8 位单片微机在今后的发展中站稳脚跟，继续保持蓬勃发展的气势。

## 本章小结

目前，单片机已成为工业控制、仪器仪表、家用电器领域使用最广泛的一种计算机。本章介绍了单片机的概念、单片机的发展和单片机的主流产品。MCS-51 系列单片机是目前应用最广的一种主流芯片，所以对于 MCS-51 系列的单片机，本章作了重点介绍。



### 思考题与习题

- 1-1 什么是单片机？包括哪几个部分？
- 1-2 单片机的发展趋势如何？主流产品是什么？
- 1-3 除了 Intel 公司生产 MCS-51 系列外，还有哪些公司生产与 MCS-51 兼容的单片机？
- 1-4 在你生活中应用单片机的例子有哪些？
- 1-5 举例说明单片机推广应用对中国经济发展、科技进步的重大意义。
- 1-6 为什么说单片机技术是对传统控制技术的一次革命？
- 1-7 单片机和一般微机相比较有何特点？

## 第二章 MCS-51 单片机结构和原理



**目的与要求** 本章介绍了 MCS-51 单片机的基本组成和结构，通过本章的学习，可以了解单片机的基本组成，掌握单片机的存储结构以及存储结构的特点，了解信号端子的排列位置和作用，了解并行口的原理和作用，为后续章节的学习打下基础。

### 第一节 MCS-51 单片机的基本组成及信号端子

MCS-51 是 Intel 公司一种单片机系列的名称，属于这一系列的单片机的典型芯片有 8051、8751、8031、80C51、80C31、89C51、89C2051 等型号，它们的结构基本相同，其主要差别反映在内部存储器的配置上有所不同。8051 是 ROM 型单片机，内部有 4 K 字节的掩膜 ROM 程序存储器；8751 是 EPROM 型单片机，内部有 4K 字节可编程的 EPROM 程序存储器；89C51 内部有 2K Flash 程序存储器，89C52 内部有 4K Flash 程序存储器。8031 是无 ROM 型单片机，它必须外接 EPROM 程序存储器。本章主要讨论 MCS-51 单片机的系统结构和工作原理，对于其特殊功能部件（如定时器、串行口、中断系统等）的特性和编程方法，将在其他章节予以介绍。

MCS-51 单片机的典型芯片是 8051，因此以 8051 为例，说明本系列单片机的内部组成及引线端子。

#### 一、8051 单片机的基本组成

8051 单片机的基本组成请参见图 2-1。

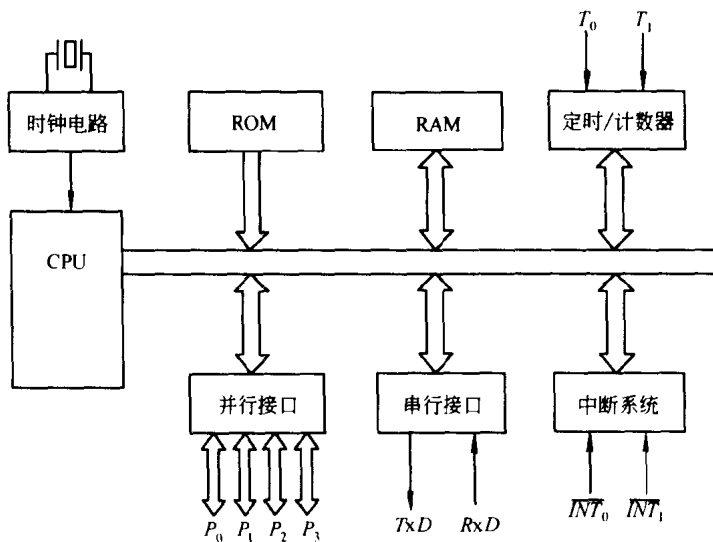


图 2-1 MCS-51 单片机结构框图

各部分情况介绍如下。

### (一) 中央处理器 (CPU)

中央处理器是单片机的核心, 完成运算和控制功能。MCS-51 的 CPU 能处理 8 位二进制数和代码。

### (二) 内部数据存储器 (内部 RAM)

8051 芯片中共有 256 个 RAM 单元, 但其中后 128 单元被特殊功能寄存器占用, 能作为存储器供用户使用的只是前 128 单元, 用于存放可读写的数。因此通常所说的内部数据存储器就是指前 128 单元, 简称内部 RAM。

### (三) 内部程序存储器 (内部 ROM)

8051 共有 4KB 掩膜 ROM, 用于存放程序, 原始数据或表格, 因此称之为程序存储器, 简称内部 ROM。

### (四) 定时器/计数器

8051 共有 2 个 16 位的定时器/计数器, 以实现定时或计数功能, 并以其定时或计数结果对计算机进行控制。

### (五) 并行 I/O 口

MCS-51 共有四个 8 位的 I/O 口 ( $P_0$ 、 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$ ), 以实现数据的并行输入输出。

### (六) 串行口

MCS-51 单片机有一个全双工的串行口, 以实现单片机和其他设备之间的串行数据传送, 该串行口功能较强, 既可作为全双工异步通信收发器使用, 也可作为同步移位器使用。

### (七) 中断控制系统

MCS-51 单片机的中断功能较强, 以满足控制应用的需要。8051 共有 5 个中断源: 外中断 2 个, 定时/计数中断 2 个, 串行中断 1 个。全部中断分为高级和低级共两个优先级。

### (八) 时钟电路

MCS-51 芯片的内部有时钟电路, 但石英晶体和微调电容需外接。时钟电路为单片机产生时钟脉冲序列, 系统允许的最高晶振频率为 12MHz。

### (九) 三总线

将微处理器、存储器和输入/输出接口等相对独立的功能部件连接起来进行信息交换的公共通道称为系统总线。系统总线实质上是一组信号传输线的集合, 利用它可以减少信息传输线的数量, 提高单片机系统工作的可靠性与灵活性。系统总线按其传递的信息类型可分为下面几类。

(1) 数据总线 (DB) 用来实现微处理器、存储器、输入/输出接口之间的数据双向传送。这里所指的数据可以是程序的指令代码, 也可以是参与运算的数据。数据总线的宽度 (条数) 与单片机的位数相同, 如 8 位微机的数据总线有 8 条。

(2) 地址总线 (AB) 用来传送由微处理器单向发出的存储器或输入/输出接口的地址码, 以选择相应的存储单元和输入/输出接口。地址总线的宽度 (根数) 决定了微处理器所能寻找的存储单元数量 (即寻址范围)。对于 8 位微机, 地址总线一般有 16 条, 可以寻址  $2^{16} = 65536$  个存储单元 (即 64KB 存储单元, 其中 1KB = 1024 个存储单元)。

(3) 控制总线 (CB) 它给出单片机中各个部分协调进行工作的定时信号和控制信号, 保证正确执行程序指令时所要求的各种操作。控制总线传送的信号中, 有微处理器发出的存

储器和输入/输出接口的读写操作控制信号以及对外设的应答信号，也有其他部件输入给微处理器的复位、中断请求、总线请求等信号。控制总线的宽度（条数）因机型而异。

## 二、MCS-51 信号端子

MCS-51 系列中各类型单片机芯片的端子是互相兼容的，用 HMOS 工艺制造的单片机大多采用 40 端子双列直插封装（DIP）方式。当然，在不同芯片之间端子功能仍略有差异，用户在使用时应当注意这些差异。

MCS-51 是高档 8 位单片机，但由于受端子数量的限制，不少端子都具有第二功能，其中有些功能为 8051 所专有。

图 2-2 (a) 所示为 MCS-51 的端子排列，图 2-2 (b) 所示为 MCS-51 的端子逻辑符号。

MCS-51 的 40 个端子大致可以分为电源、时钟、I/O 口、数据总线、地址总线、控制总线几个部分，它们的功能如下。

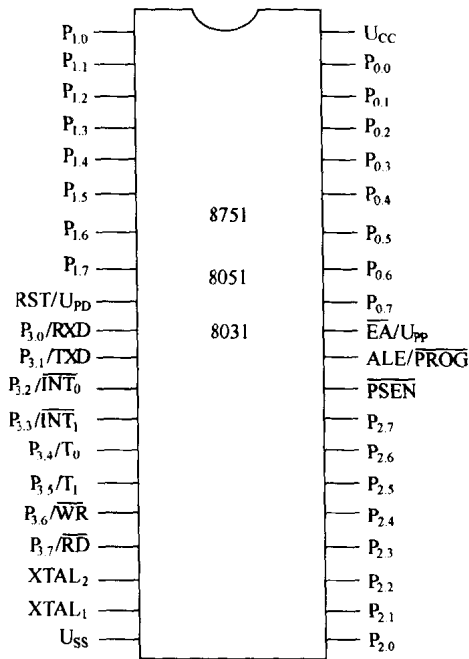


图 2-2 (a) MCS-51 单片机端子图

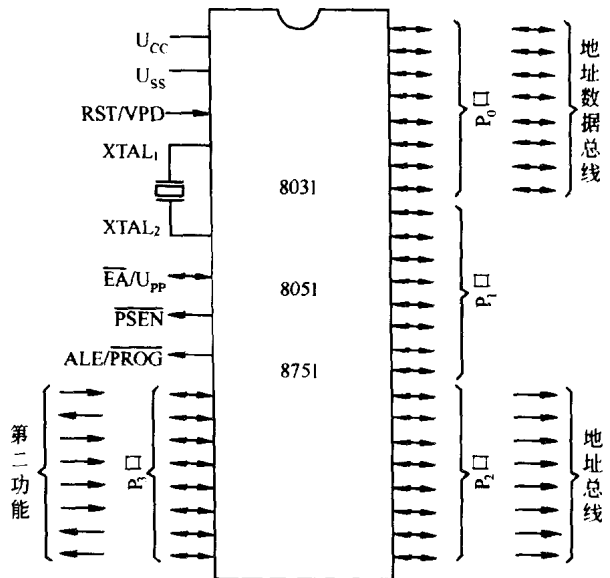


图 2-2 (b) MCS-51 端子逻辑图

### (一) 电源

$U_{CC}$  (40 端子) 芯片工作电源，+5 V

$U_{SS}$  (20 端子) 电源接地端

### (二) 时钟

$XTAL_1$  (19 端子) 接外部石英晶体和微调电容的一端，也是 MCS-51 内部振荡电路反相放大器的输入端。在采用外部时钟时，该端子应接地。

$XTAL_2$  (18 端子) 接外部石英晶体和微调电容的另一端，也是内部振荡电路反相放大器的输出端。振荡电路的频率就是外部石英晶体的固有频率。当采用外部时钟电路时，该端子输入外部时钟脉冲，用示波器观察此端子是否有脉冲信号输出，即可判断 MCS-51 的振荡电路是否正常工作。

### (三) 控制总线

$\overline{ALE}/\overline{PROG}$  (30 端子) 地址锁存允许信号。在 MCS-51 上电正常工作后, 该端子不断以晶体振荡器 1/6 的频率向外输出正脉冲信号。当 MCS-51 访问片外存储器时,  $\overline{ALE}$  用来锁存扩展地址的低 8 位 ( $P_0$  口) 的地址信号, 在不访问外部存储器时  $\overline{ALE}$  也以振荡器 1/6 的频率固定输出正脉冲, 可用作对外输出的时钟信号或用于定时。同样, 可用示波器检查  $\overline{ALE}$  端子是否有脉冲信号输出来判断 MCS-51 芯片的好坏。在 MCS-51 访问外部数据存储时, 将少一个  $\overline{ALE}$  脉冲。 $\overline{ALE}$  端可以驱动 (吸收或输出电流) 8 个 LSTTL。在 8751 单片机 EPROM 编程期间, 此端子接编程脉冲, 实现其第二功能  $\overline{PROG}$ 。

$\overline{PSEN}$  (29 端子) 外部程序存储器读选通信号。在访问外部程序存储器时, 此端子定时输出负脉冲作为读取外部存储器的选通信号。在从外部程序存储器取命令 (或数据) 期间,  $\overline{RSEN}$  在每个机器周期 (12 个时钟周期) 内两次有效。 $\overline{PSEN}$  可以驱动 8 个 LSTTL。

$RST/U_{PD}$  (9 端子) 复位信号输入端。在该端子上保持两个机器周期的高电平时, 可对 MCS-51 实现复位操作。该端子的第二功能  $U_{PD}$  是作为备用电源的输入端, 在  $U_{CC}$  掉电或电压降至低电平规定值时, 由  $U_{PD}$  向内部数据存储器提供电源, 以保持存放其中的数据。

$\overline{EA}/U_{PP}$  (31 端子) 外部程序存储器地址允许输入端。在 MCS-51 内、外程序存储器都具备时,  $\overline{EA}$  为高电平, 从内部程序存储器开始访问;  $\overline{EA}$  为低电平时, 则跳过内部程序存储器, 从外部程序存储器开始访问。

对 8751 单片机, 在其内部 EPROM 编程期间, 此端子为 +21V 编程电源输入端。对 8031 单片机, 由于其内部无程序存储器, 故其  $\overline{EA}$  端子一般接地。

### (四) 并行 I/O 口

$P_0$  口 (32~39 端子) 它除可以作为一般 I/O 口外, 还可作为 MCS-51 单片机的 8 位准双向数据总线和低 8 位地址总线。在 MCS-51 访问外部存储器时, 它分别先输出要访问存储单元的低 8 位地址, 然后作为可进行输入/输出的数据总线。所谓“准双向”, 是指  $P_0$  口在作输入口使用时应先进行写“1”操作。 $P_0$  口中每位能驱动 8 个 LSTTL 负载。

$P_1$  口 (1~8 端子) 它是一个带内部上拉电阻 8 位准双向 I/O 端口。 $P_1$  口的每位能驱动 4 个 LSTTL 负载。

$P_2$  口 (21~28 端子) 它是一个带内部上拉电阻的 8 位准双向口。在访问外部存储器时, 它输出高 8 位地址, 和  $P_0$  口输出的低 8 位地址共同作为 16 位地址总线。 $P_2$  口的每位能驱动 4 个 LSTTL 负载。

$P_3$  口 (10~17 端子)  $P_3$  口是一个带内部上拉电阻的准双向 I/O 口, 它的每位能驱动 4 个 LSTTL 负载。

### (五) 信号端子的第二功能

由于工艺及标准化等原因, 芯片的端子数目是有限制的。例如 MCS-51 系列把芯片引线端子数目限定为 40 个, 但单片机为实现其功能所需要的信号数目却远远超过此数, 因此就出现了需要与可能的矛盾。如何解决这个矛盾?“兼职”是惟一可行的办法, 即给一些信号端子赋予双重功能。如果把前述信号定义为端子第一功能的话, 则根据需要再定义的信号就是它的第二功能。下面介绍某些信号端子的第二功能。

#### 1. $P_3$ 口的第二功能

$P_3$  的 8 条口线都定义有第二功能, 详见表 2-1。

表 2-1  $P_3$  口线的第二功能

| 口线        | 第二功能               | 信号名称      | 口线        | 第二功能            | 信号名称           |
|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------------|----------------|
| $P_{3.0}$ | RXD                | 串行数据接收    | $P_{3.4}$ | $T_0$           | 定时器/计数器 0 计数输入 |
| $P_{3.1}$ | TXD                | 串行数据发送    | $P_{3.5}$ | $T_1$           | 定时器/计数器 1 计数输入 |
| $P_{3.2}$ | $\overline{INT_0}$ | 外部中断 0 申请 | $P_{3.6}$ | $\overline{WR}$ | 外部 RAM 写选通     |
| $P_{3.3}$ | $\overline{INT_1}$ | 外部中断 1 申请 | $P_{3.7}$ | $\overline{RD}$ | 外部 RAM 读选通     |

## 2. EPROM 存储器程序固化所需要的信号

有内部 EPROM 的单片机芯片（例如 8751），为写入程序需要提供专门的编程脉冲编程电源，这些信号也是由信号端子以第二功能的形式提供的，即

编程脉冲 30 端子（ $ALE/\overline{PROG}$ ）

编程电压（25V） 31 端子（ $\overline{EA}/U_{PP}$ ）

## 3. 备用电源引入

MCS-51 单片机的备用电源也是以第二功能的方式由 9 端子（ $RST/U_{PD}$ ）引入的。当电源发生故障电压降低到下限值时，备用电源经此端引入，内部 RAM 中的信息不丢失。

以上把 MCS-51 单片机的全部信号，分别以第一功能和第二功能的形式列出。对于各种型号的芯片，其端子的第一功能信号是相同的，所不同的只在端子的第二功能信号。

对于 9、30 和 31 各端子，由于第一功能信号与第二功能信号是单片机在不同工作方式下的信号，因此不会发生使用上的矛盾。但是  $P_3$  口的情况却有所不同，它的第二功能信号都是单片机的重要控制信号。因此在实际使用时，都是先按照需要选用第二功能信号，剩下的口线才以第一功能的身份作数据位的输入输出使用。

# 第二节 8051 内部存储器

8051 单片机的芯片内部有 RAM 和 ROM 两类存储器，即所谓的内部 RAM 和内部 ROM。

## 一、内部数据存储器低 128 单元

数据存储器主要用来存放运算的中间结果，数据缓冲、数据暂存以及设置特征位标志等。

8051 的内部 RAM 共有 256 个单元，通常把这 256 个单元按其功能划分为两部分：低 128 单元（单元地址 00H~7FH）和高 128 单元（单元地址 80H~FFH）。如图 2-3 所示。

低 128 单元是单片机的真正 RAM 存储器，按其用途划分为三个区域。

### （一）通用寄存器

共有四组寄存器，每组 8 个寄存器单元（8 位），各组都以  $R_0 \sim R_7$  为寄存器单元编号。寄存器常用于存放操作数及中间结果等，由于它们的功能及使用不作预先规定，因此称之为通用寄存器，有时也叫工作寄存器。四组通用寄存器占据内部 RAM 的 00H~1FH 单元地址。

在任一时刻，CPU 只能使用其中的一组寄存器，并且把正在使用的那组寄存器称之为当前寄存器组，到底是哪一组，由程序状态字寄存器 PSW 中  $RS_1$ 、 $RS_0$  位的状态组合来决定。