



电气自动化技能型人才实训系列

DIANQIZIDONGHUA
JINENGXINGRENCAL
SHIXUNXILIE

单片机

应用技能实训

肖明耀 严成武 程 莉 刘 平 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

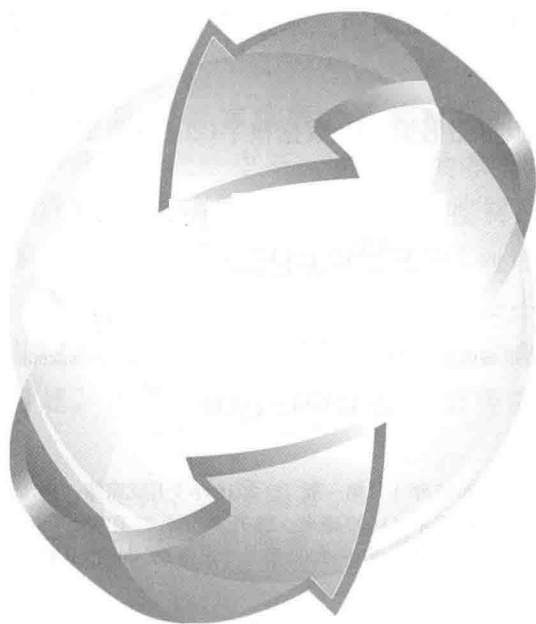


电气自动化技能型人才实训系列

单片机

应用技能实训

肖明耀 严成武 程 莉 刘 平 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书遵循“以能力培养为核心,以技能训练为主线,以理论知识为支撑”的编写思想,采用基于工作过程的任务驱动教学模式,以单片机的33个任务实训课题为载体,使读者掌握单片机的工作原理,学会C语言程序设计、编程工具及其操作方法,提高单片机工程应用技能。

本书内容包括认识单片机、学用C语言编程、单片机的输入/输出控制、定时器、计数器及应用、突发事件的处理—中断、单片机的串行通信、应用LCD模块、模拟量处理、应用串行总线接口、矩阵LED点阵控制、电机的控制、红外发射与接收、实时多任务操作系统及应用、模块化编程训练、创新设计。

本书贴近教学实际,由浅入深,注重应用,可作为大中专院校机、电类专业的理论与实训教材,也可作为高技能人才培养教材,还可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

单片机应用技能实训/肖明耀等编著. —北京:中国电力出版社,2016.1

(电气自动化技能型人才实训系列)

ISBN 978-7-5123-8563-4

I. ①单… II. ①肖… III. ①单片微型计算机 IV. ①TP368.1
②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 276993 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2016年1月第一版 2016年1月北京第一次印刷

787毫米×1092毫米 16开本 25.75印张 700千字

印数 0001—2000册 定价 59.00元(1CD)

•

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

《电气自动化技能型人才实训系列》为电气类高技能人才的培训教材，以培养学生实际综合动手能力为核心，采取以工作任务为载体的项目教学方式，淡化理论、强化应用方法和技能的培养。本书为《电气自动化技能型人才实训系列》之一。

目前，单片机已经广泛应用于人们的生活和生产领域，如飞机各种仪表控制，计算机网络通信，控制数据传输，工控过程的数据采集与处理，各种 IC 智能卡、电视、洗衣机、空调、汽车控制、电子玩具、医疗电子设备、智能仪表均使用了单片机。

单片机技术是从事工业自动化、机电一体化的技术人员应掌握的实用技术之一。本书采用以工作任务驱动为导向的项目训练模式，介绍了工作任务所需的单片机基础知识和完成任务的方法，通过完成工作任务的实际技能训练提高单片机综合应用的技巧和技能。

全书分为认识单片机、学用 C 语言编程、单片机的输入/输出控制、定时器、计数器及应用、突发事件的处理—中断、单片机的串行通信、应用 LCD 模块、模拟量处理、应用串行总线接口、矩阵 LED 点阵控制、电机的控制、红外发射与接收、实时多任务操作系统及应用、模块化编程训练、创新设计共十五个项目，每个项目设有一个或多个训练任务，通过工作任务驱动技能训练，使读者快速掌握单片机的基础知识，增强 C 语言编程技能、单片机程序设计方法与技巧。项目后面设有习题，用于技能提高训练，全面提高读者单片机的综合应用能力。

本书由肖明耀、严成武、程莉、刘平编著。

由于编写时间仓促，加上作者水平所限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。

作者

目 录

前言

项目一	认识单片机	1
任务 1	认识 STC 系列单片机	1
任务 2	学习单片机开发工具	14
项目二	学用 C 语言编程	31
任务 3	认识 C 语言程序	31
任务 4	单片机的数据操作	53
项目三	单片机的输入/输出控制	67
任务 5	LED 灯输出控制	67
任务 6	LED 数码管显示	71
任务 7	按键控制	81
项目四	定时器、计数器及应用	98
任务 8	单片机的定时控制	98
任务 9	单片机的计数控制	105
项目五	突发事件的处理-中断	111
任务 10	外部中断的应用	111
任务 11	定时器中断的应用	117
任务 12	简易可调时钟控制	121
任务 13	简易交通灯控制	132
项目六	单片机的串行通信	141
任务 14	单片机与 PC 间的串行通信	141
任务 15	单片机的双机通信	161
项目七	应用 LCD 模块	171
任务 16	字符型 LCD 的应用	171
任务 17	字符随动显示	181
任务 18	液晶 12864 显示控制	189
项目八	模拟量处理	200
任务 19	模数转换与数模转换	200
任务 20	简易多波形发生器	218
项目九	应用串行总线接口	227

任务 21	I ² C 串行总线及应用	227
任务 22	单总线数字温度计	243
项目十	矩阵 LED 点阵控制	262
任务 23	矩阵 LED 点阵驱动控制	262
任务 24	用 LED 点阵显示 “I LOVE YOU ”	270
项目十一	电机的控制	280
任务 25	交流电机的控制	280
任务 26	步进电动机的控制	294
项目十二	红外发射与接收	300
任务 27	红外遥控	300
项目十三	实时多任务操作系统及应用	315
任务 28	RTX51 Tiny 操作系统	315
任务 29	实时跑马灯控制	335
项目十四	模块化编程训练	339
任务 30	模块化彩灯控制	339
任务 31	基于系统定时器的时钟	357
项目十五	创新设计	376
任务 32	演讲限时器	376
任务 33	无线温度、湿度测试系统	389

项目一 认识单片机



学习目标

- (1) 了解单片机的基本结构。
- (2) 了解 STC 单片机的特点。
- (3) 学会使用单片机开发工具。

任务 1 认识 STC 系列单片机



基础知识

一、单片机

1. 概述

将运算器、控制器、存储器、内部和外部总线系统、I/O 输入输出接口电路等集成在一片芯片上组成的电子器件，构成了单芯片微型计算机，即单片机。它体积小、质量轻、价格便宜，为学习、应用和开发微型控制系统提供了便利。

单片机的外形如图 1-1 所示。

单片机是由单板机发展过来的，将 CPU 芯片、存储器芯片、I/O 接口芯片和简单的 I/O 设备（小键盘、LED 显示器）等组装在一块印制电路板上，再配上监控程序，就构成了一台单板微型计算机系统（简称单板机）。随着技术的



图 1-1 单片机

发展，人们设想将计算机 CPU 和大量的外围设备集成在一个芯片上，使微型计算机系统更小，更适应工作于复杂同时对体积要求严格的控制设备中，由此产生了单片机。

Intel 公司按照这样的理念开发设计出具有运算器、控制器、存储器、内部和外部总线系统、I/O 输入输出接口电路的单片机，其中最典型的是 Intel 的 8051 系列。

单片机经历了低性能初级探索阶段、高性能单片机阶段、16 位单片机升级阶段、微控制器的全面发展阶段等 4 个阶段的发展。

(1) 低性能初级探索阶段（1976~1978 年）。以 Intel 公司的 MCS-48 为代表，采用了单片结构，即在一块芯片内含有 8 位 CPU、定时/计数器、并行 I/O 口、RAM 和 ROM 等，主要用于工业领域。

(2) 高性能单片机阶段（1978~1982 年）。单片机带有串行 I/O 口，8 位数据线、16 位地址线可以寻址的范围达到 64K 字节、控制总线、较丰富的指令系统等，推动单片机的广泛应用，

并不断的改进和发展。

(3) 16 位单片机升级阶段 (1982~1990 年)。16 位单片机除 CPU 为 16 位外, 片内 RAM 和 ROM 容量进一步增大, 增加字处理指令, 实时处理能力更强, 体现了微控制器的特征。

(4) 微控制器的全面发展阶段 (1990 年至今)。微控制器的全面发展阶段, 各公司的产品在尽量兼容的同时, 向高速、强运算能力、寻址范围大、通信功能强以及小巧廉价方面发展。

2. 单片机的发展趋势

随着大规模集成电路及超大规模集成电路的发展, 单片机将向着更深层次发展。

(1) 高集成度。一片单片机内部集成的 ROM/RAM 容量增大, 增加了电闪存储器, 具有掉电保护功能, 并且集成了 A/D、D/A 转换器、定时器/计数器、系统故障监测和 DMA 电路等。

(2) 引脚多功能化。随着芯片内部功能的增强和资源的丰富, 一脚多用的设计方案日益显示出其重要地位。引脚多功能化随着芯片内部功能的增强和资源的丰富, 一脚多用的设计方案日益显示出其重要地位。

(3) 高性能。这是单片机发展所追求的一个目标, 更高的性能将会使单片机应用系统设计变得更加简单、可靠。

(4) 低功耗。这将是未来单片机发展所追求的一个目标, 随着单片机集成度的不断提高, 由单片机构成的系统体积越来越小, 低功耗将是设计单片机产品时首先考虑的指标。

3. 常用的单片机芯片

(1) 8051 单片机。8051 单片机是 Intel 公司推出 8051/31 类单片机, 也是世界上使用量最大的几种单片机之一。由于 Intel 公司将重点放在 186、386、奔腾等与 PC 类兼容的高档芯片开发上, 8051 类单片机主要有 Philips、三星、华邦等公司接手。他们在保持与 8051 单片机兼容基础改善了 8051 的许多特点, 提高了速度, 降低了时钟频率, 放宽了电源电压的动态范围。

目前增强型 8051 系列单片机一般采用 CMOS 工艺制作, 故称作 80C51 系列单片机。

增加计数器、中断数量, 扩展片内 RAM 空间的单片机为 8052 系列或 80C52 系列单片机。

(2) Philips 单片机。Philips 单片机是基于 8051 内核的单片机, 嵌入了掉电检测、RC 振荡器, 速度快, 具有较高集成度、低成本、低功耗的特点, 应用广泛。

(3) 三星单片机。三星单片机有 KS51 和 KS57 系列 4 位单片机, KS86 和 KS88 系列 8 位单片机, KS17 系列 16 位单片机和 KS32 系列 32 位单片机, 三星还为 ARM 公司生产 ARM 单片机, 三星 OTP 型单片机具有 ISP 在系统可编程功能。

(4) 华邦单片机。华邦单片机属于 8051 类单片机, 它们的 W78 系列与标准的 8051 兼容, W77 系列为增强型 51, 对 8051 的时序做了改进。同样时钟下, 速度快了不少。在 4 位机上华邦有 921 系列, 带 LCD 驱动的 741 系列。

(5) Motorola 单片机。Motorola 是世界上最大的单片机厂商, 品种全, 选择余地大, 新产品多, 在 8 位机方面有 68HC05 和升级产品 68HC08, 68HC05 有 30 多个系列 200 多个品种, 产量超过 20 亿片。8 位增强型单片机 68HC11 也有 30 多个品种, 年产量 1 亿片以上, 升级产品有 68HC12。16 位单片机 68HC16 也有十多个品种。32 位单片机 683XX 系列也有几十个品种。Motorola 单片机特点之一是在同样的速度下所用的时钟较 Intel 类单片机低的多, 因而使得高频噪声低, 抗干扰能力强, 更适合用于工控领域以及恶劣环境。

(6) Microchip 单片机。Microchip 单片机是市场份额增长最快的单片机。其主要产品是 16C 系列 8 位 PIC 单片机, CPU 采用 RISC 结构, 仅 33 条指令, 运行速度快, 且以低价位著称。

Microchip 单片机没有掩膜产品, 全部都是 OTP 器件 (现已推出 FLASH 型单片机)。Microchip 使用量大, 档次低, 强调节约成本的最优化设计, 适应价格敏感的产品。

(7) Scenix 单片机。Scenix 单片机的 I/O 模块最有创意。I/O 模块的集成与组合技术是单片机技术不可缺少的重要方面。除传统的 I/O 功能模块,如并行 I/O、UART、SPI、I2C、A/D、PWM、PLL、DTMF 等,新的 I/O 模块不断出现,如 USB、CAN、J1850,它集成了包括各种通信协议在内的 I/O 模块,通信功能强。

(8) NEC 单片机。NEC 单片机自成体系,以 8 位机 78K 系列产量最高,也有 16 位、32 位单片机。16 位单片机采用内部倍频技术,以降低外时钟频率,部分单片机芯片采用内置操作系统。

(9) 富士通单片机。富士通也有 8 位、16 位和 32 位单片机,但是 8 位机使用的是 16 位的 CPU 内核。也就是说 8 位机与 16 位机指令相同,使得开发比较容易。

(10) Zilog 单片机。Z8 单片机是该公司的产品,采用多累加器结构,有较强中断处理能力。产品为 OTP 型,Z8 单片机的开发工具可以说是物美价廉。Z8 单片机以低价位的优势面向低端应用。

(11) 美国 Atmel 单片机。Atmel 公司的单片机是目前世界上一种独具特色而性能卓越的单片机。它将 8051 内核与其 Flash 专利技术结合,具有较高的性价比。它有 AT89、AT90 两个系列。AT89 是 8 位的 FLASH 单片机,与 8051 兼容,其中 AT89S51 十分活跃。AT90 系列是增强型 RISC 内载 FLASH 单片机,通常称为 AVR 系列。

(12) 美国 TI 公司单片机。美国 TI 公司将 8051 内核与 ADC、DAC 结合起来,生产具有模拟量处理功能的单片机。

MSP430 系列单片机是由 TI 公司开发的 16 位单片机。其突出特点是超低功耗,非常适合于各种功率要求低的场合。有多个系列和型号,分别由一些基本功能模块按不同的应用目标组合而成。典型应用是流量计、智能仪表、医疗设备和保安系统等方面。由于其较高的性能价格比,应用已日趋广泛。

(13) 中国宏晶 STC 单片机。中国宏晶 STC 单片机是 2005 年推出中国本土的第一款具有全球竞争力的、且与 MCS-51 兼容的 STC 单片机。完全兼容 51 单片机,是新一代增强型单片机,它速度快、抗干扰性强、加密性强、带 ADC、PWM、超低功耗,可以远程升级,内部有专用复位电路,价格也较便宜,由于这些特点使得 STC 系列单片机的应用广泛。

(14) 凌阳单片机。中国台湾凌阳科技股份有限公司致力于 8 位和 16 位机的开发。SPMC65 系列单片机是凌阳主推产品,采用 8 位 SPMC65 CPU 内核,不同型号的芯片只是对片内资源进行删减,其最大的特点就是超强抗干扰。广泛应用于家用电器、工业控制、仪器仪表、安防报警、计算机外围等领域。SPMC75 系列单片机具有多功能 I/O 口、串行口、ADC、定时计数器等常硬件模块,以及能产生电动机驱动波形的 PWM 发生器,有很强的抗干扰能力,广泛应用于变频家电、变频器、工业控制等控制领域。

(15) SST 单片机。美国 SST 公司推出的 SST89 系列单片机为标准的 51 系列单片机,它与 8052 系列单片机兼容。提供系统在线编程 (ISP 功能),内部 Flash 擦写次数 1 万次以上,程序保存时间可达 100 年。

(16) 8051F 单片机。8051F 单片是 Silicon Labs 公司开发的片上系统单片机,改进了 8051 内核,具有 JTAG 接口,可实现在线下载和调试程序。

4. 单片机结构

(1) 内部结构框图。8051 单片机结构中包含运算器、控制器、片内存储器、4 个 I/O 口、串行口、定时器/计数器、中断系统、振荡器等功能部件,如图 1-2 所示。

图 1-2 中 SP 是堆栈指针寄存器,PC 是程序计数器,PSW 是程序状态字寄存器,DPTR 是数

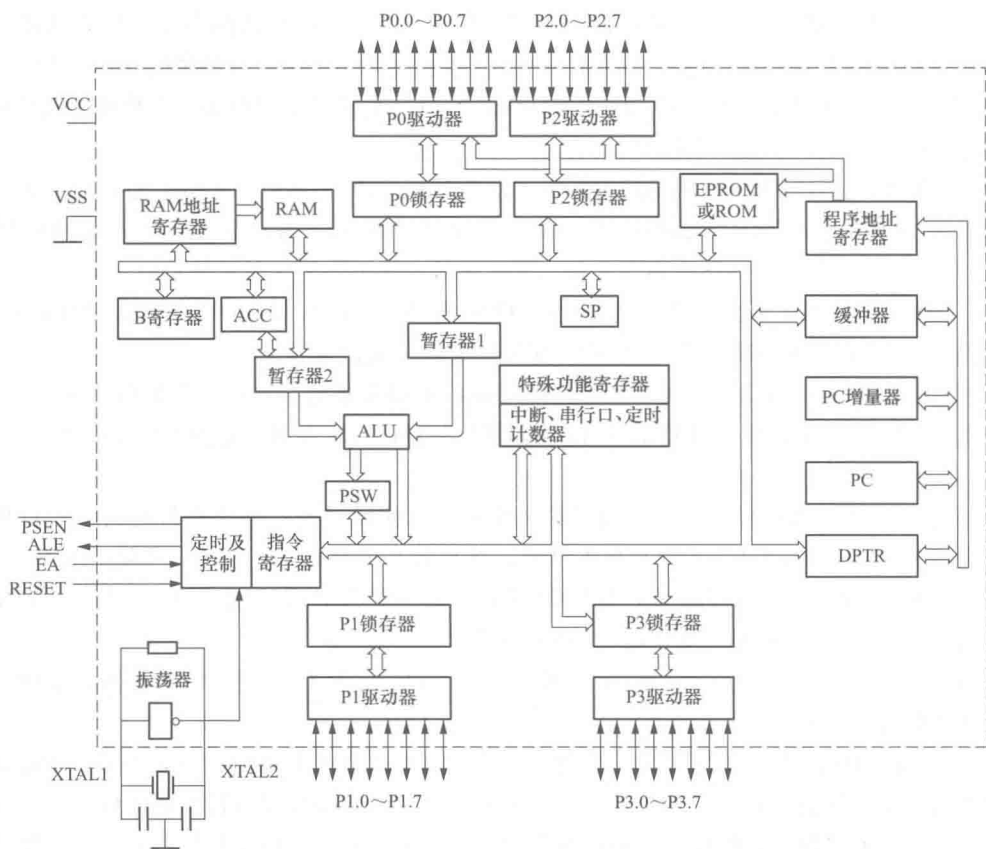


图 1-2 单片机内部结构图

据指针寄存器。

8051 单片机功能部件：

- 1) 微处理器（8 位 CPU）。
- 2) 4KB 的片内程序存储器（ROM、EPROM 或 Flash 等）。
- 3) 128B 数据存储器（RAM、EEPROM）。
- 4) 四个 8 位并行可编程 I/O 端口（P0、P1、P2、P3），共 32 根 I/O 口线。
- 5) 内部时钟电路。
- 6) 一个全双工串行通信口（UART）。
- 7) 两个 16 位定时器/计数器（T0/T1）。
- 8) 中断系统（含 5~8 个中断源、2 个优先级）。
- 9) 特殊功能寄存器（SFR）。

（2）单片机微处理器。单片机微处理器又称 CPU，是计算机的运算控制中心，由运算器和控制器及中断控制电路等几部分组成。CPU 字长有 4 位、8 位、16 位和 32 位之分，字长越长运算速度越快，数据处理能力也越强。8051 单片机的 CPU 字长为 8 位。

1) 运算器。运算器以算术逻辑单元 ALU 为核心，包括累加器 A、状态字寄存器 PSW、B 寄存器等部件。算术逻辑单元（ALU）在控制器的作用下，进行各种算术运算和逻辑运算，如加法、减法、加 1、减 1 等操作。

算术逻辑单元在控制器所发信号作用下进行各种算术和逻辑运算操作。

8051 单片机的算术逻辑单元可完成带进位加法、减法, 不带进位加法、加 1、减 1、逻辑与、逻辑或、逻辑异或、循环移位以及数据传送、程序转移等操作, 在 B 寄存器配合下, 还可完成乘法、除法运算。

在基本操作基础上, 通过程序控制, 可以进行数据交换、比较判断、程序跳转等。

单片机通过程序控制具有较强的位操作功能。

累加器 A 是最常用的专用寄存器, 进入算术逻辑单元的操作数很多来自累加器 A, 操作结果常送回累加器 A。

很多单操作指令都是针对累加器 A 的, 如加 1 指令 INC A, 清零指令 CLR A, 左移指令 RL A 等。

2) 控制器。控制器包括程序计数器 PC、指令寄存器、指令译码器、振荡器、定时电路及控制电路等部件, 能根据不同的指令产生相应的操作时序和控制信号, 控制单片机各部分的运行。

PC 是一个 16 位计数器, 具有自动加 1 功能。CPU 每执行一条指令则 PC 自动加 1, 并指向要执行的下一条指令的地址, 最大寻址范围为 64K。可以通过控制转移指令改变 PC 值, 实现程序的转移。

(3) 单片机的时钟与时序。单片机具有片内振荡器和时钟电路, 并以此作为单片机工作所需要的时钟信号。CPU 的时序是指各控制信号在时间上的相互联系与先后次序。单片机本身就如同一个复杂的同步时序电路, 为了确保同步工作方式的实现, 电路应在统一的时钟信号控制下按时序进行工作。

单片机内部有个高增益的反相放大器, 通过外引脚 XTAL1、XTAL2 连接外部石英晶体和电容组成晶体振荡器, 振荡器的频率主要由石英晶体确定, 外接电容有微调作用。

8051 型单片机时序的基本单位有节拍、状态、机器周期和指令周期。

节拍与状态振荡脉冲由单片机内部的振荡电路产生, 一个振荡周期称为一个节拍, 用 P 表示。振荡脉冲经二分频就是单片机的时钟周期。一个时钟周期称为一个状态, 用 S 表示。一个状态 S 包括 2 个节拍 P1 和 P2。

晶体振荡器输出的振荡脉冲经过 2 分频器形成内部时钟信号, 用作单片机内部各功能部件按时序协调工作的控制信号, 其周期称为时钟周期, 也称为状态周期。

机器周期是单片机的基本操作周期。一个机器周期为 12 个振荡周期, 即 6 个状态, 依次表示为 S1~S6。如果采用 6MHz 晶体振荡器, 则每个机器周期为 $2\mu\text{s}$; 如果采用 12MHz 晶体振荡器, 则每个机器周期为 $1\mu\text{s}$ 。

指令周期就是执行一条指令所需要的时间, 指令周期是时序中最大的时间单位。由于执行不同的指令所需要的时间长短不同, 因此通常以指令消耗的机器周期的多少为依据来确定指令周期。8051 单片机有单机器周期指令、双机器周期指令和四机器周期指令。四机器周期指令只有乘法和除法两条指令。

指令的执行速度由机器的时钟周期和指令周期决定。

单片机每条指令的执行均包括取指和执行两个阶段。在取指阶段, CPU 从程序存储器中取出指令的操作码, 在执行阶段把取出的操作码进行译码, 产生相应的控制信号完成指令操作。图 1-3 为 MOVX 指令的取指令和执行指令的外部时序图。

第一机器周期为取指周期, 第二机器周期为指令执行周期。

(4) 单片机存储器。8051 单片机片内只读存储器 (ROM) 用作程序存储器, 用于存放已编好的程序、数据表格等。片内读写存储器 (RAM) 又称随机存取存储器, 可用于存放输入、输出数据和中间计算结果, 同时还作为数据堆栈区。当存储器的容量不够时, 可以外部扩展。

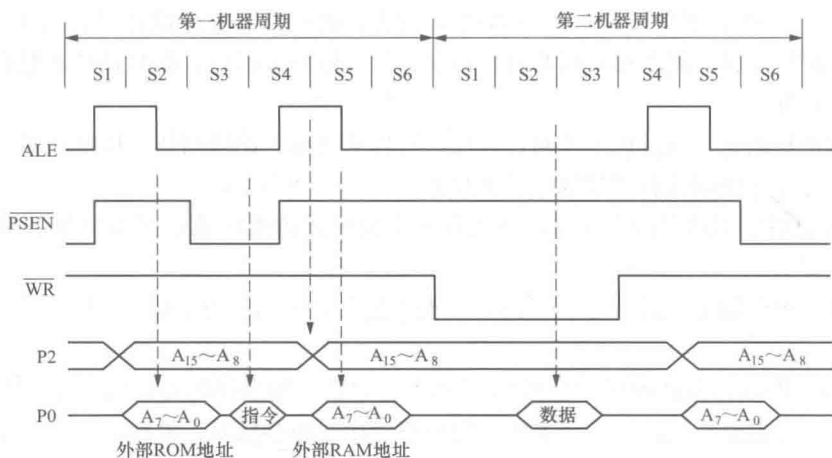


图 1-3 MOVX 指令的取指令和执行指令的外部时序图

8051 单片机的存储器在结构上分为程序存储器 (ROM) 和数据存储器 (RAM), 其内部采用程序存储器与数据存储器各自独立编址的结构形式。在物理结构上共有 4 个存储空间: 片内程序存储器、片外程序存储器以及片内数据存储器器和片外数据存储器。单片机的存储器结构如图 1-4 所示。

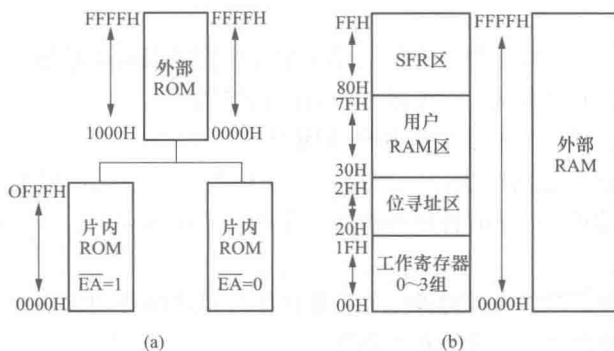


图 1-4 存储器结构

(a) 程序存储器地址分配; (b) 数据存储器地址分配

1) 程序存储器。程序存储器用于存放程序、表格以及常数等, 程序存储器的寻址范围可达 64K。

8051/8751 型单片机有 4KB 内部程序存储器, 编址为 0000H~0FFFH。当需要扩展程序存储器时, 通过引脚 EA 来选择内外程序存储器。单片机片内、片外程序存储单元统一编址, 外部程序存储器从 1000H 开始编址, 当 EA 引脚接高电平时, 按先片内、后片外的顺序。当 $PC > 0FFFH$ (对于 51 系列) 时, CPU 自动转去片外程序存储器取指令。

当 EA 引脚接低电平时, 单片机只执行片外程序存储器中的程序。此时外部程序存储器单元从 0000H 开始编址。

2) 外部数据存储器。在单片机系统内部 RAM 容量不够的情况下, 需要扩展外部数据存储器。扩展容量可根据需要确定, 最大扩展空间为 64K, 地址范围 0000H~FFFFH。8051 单片机系统扩展的 I/O 接口与外部存储器统一编址。

3) 内部数据存储器。内部数据存储器由 128B 的片内 RAM 及 21 个专用寄存器 (SFR) 构成, 地址范围为 00H~FFH。128B 的片内 RAM 又可划分为工作寄存器区、位寻址区和数据缓冲器区, 如图 1-4 (b) 所示。

4) 工作寄存器区。00H~1FH 单元为工作寄存器区, 又称通用寄存器区, 有 32 个单元, 分成 4 个组, 每组 8 个寄存器, 均用 R0~R7 来表示。当单片机系统复位后第 0 组为当前组, 可通过改变 PSW 中的 RS1 和 RS0 来设定当前工作寄存器组。

5) 位寻址区。片内 RAM 后面的 16 个寄存器具有位寻址功能, 字节地址为 20H~2FH, 该

区域的 16 个单元的每一位都可位寻址, 位地址依次编址为 00H~7FH, 共 128 个位地址。位寻址区的 16 个单元可以按字节操作, 也可以按位操作。

6) 数据缓冲区。数据缓冲区用于存放中间结果, 或设定为堆栈区。

7) 特殊功能寄存器 SFR。8051 系列单片机中有 21 个特殊功能寄存器 SFR, 它们离散地分布在 80H~FFH 的地址空间中。特殊功能寄存器 SFR 一览表见表 1-1。

表 1-1 特殊功能寄存器 SFR 一览表

特殊功能寄存器	符号	地址	特殊功能寄存器	符号	地址
P0 口	P0	80H	电源控制	PCON	97H
堆栈指针	SP	81H	串行控制	SCON	98H
数据指针低字节	DPL	82H	串行数据缓冲器	SBUF	99H
数据指针高字节	DPH	83H	P2 口	P2	A0H
定时器/计数器控制	TCON	88H	中断允许控制	IE	A8H
定时器/计数器方式控制	TMOD	89H	P3 口	P3	B0H
定时器/计数器 0 低字节	TL0	8AH	中断优先级控制	IP	B8H
定时器/计数器 0 高字节	TH0	8BH	程序状态字	PSW	D0H
定时器/计数器 1 低字节	TL1	8CH	累加器	A	E0H
定时器/计数器 1 高字节	TH1	8DH	工作寄存器	B	F0H
P1 口	P1	90H			

8) 累加器 A (E0H)。累加器 A 是最常用的专用寄存器, 用来进行算术逻辑运算和存放运算结果。

9) 程序状态字 PSW (D0H)。PSW 是程序状态字寄存器, 用于存放程序的状态信息。每一位均可用软件置位或清零。程序状态字寄存器位符号见表 1-2。

表 1-2 程序状态字寄存器位符号

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	—	P

程序状态字寄存器位信息含义见表 1-3。

表 1-3 程序状态字寄存器位信息含义

位	含 义
CY	进位标志位。执行加/减运算时, 表示运算结果是否有进/借位。1 表示有进/借位, 0 表示无进/借位。进行布尔操作时, CY 作为位累加器使用
AC	辅助进位标志位 (半进位标志)。执行加/减运算时, 低半字节向高半字节有进/借位, 则 AC 置 1, 否则清 0
F0	用户标志位。由用户定义的一个状态标志
RS1、RS2	工作寄存器组选择位
OV	溢出标志位。在做带符号数加/减运算时, 当运算结果超出 -128~+127 范围时, 产生溢出, 由硬件置 1, 否则清零
P	奇偶标志位。CPU 根据 A 中的内容对 P 自动置 1 或清 0。当累加器 A 中“1”的个数为奇数时, 则 P 置 1; 当 A 中“1”的个数为偶数时, 则 P 清 0

工作寄存器的选择见表 1-4。

表 1-4

工作寄存器的选择

RS1	RS0	寄存器区	地址
0	0	0	00H~07H
0	1	1	08H~0FH
1	0	2	10H~17H
1	1	3	18H~1FH

(5) 单片机并行接口。单片机并行 I/O 口有 32 条 I/O 口线，分为 4 个 8 位双向端口 P0、P1、P2、P3。每个端口均由锁存器、输出驱动电路和输入缓冲器组成，每一组 I/O 口线均能独立地进行输入输出操作，但 4 个端口的结构不尽相同，因此它们的功能和用途也不相同。

1) P0 口（见图 1-5）。由一个数据输出锁存器和两个三态数据输入缓冲器组成。

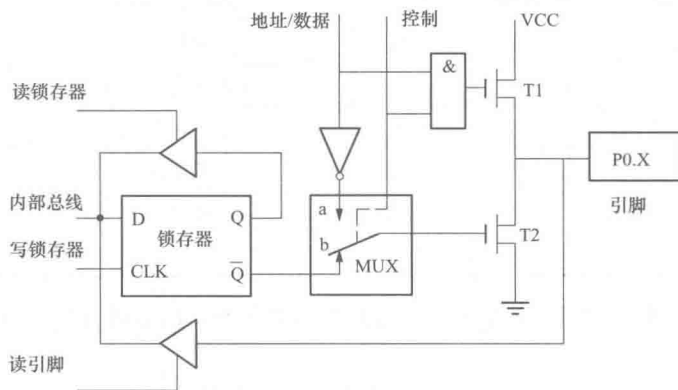


图 1-5 P0 口

一个多路转接电路 MUX 在控制信号的作用下，MUX 可以分别接通锁存器输出或地址/数据线。当作为通用的 I/O 口使用时，内部的控制信号为低电平，封锁与门，将输出驱动电路的上拉场效应管（FET）截止，同时使 MUX 接通锁存器 Q 端的输出通路。

2) P1 口（见图 1-6）。一般作通用 I/O 口使用，在电路结构上与 P0 口有一些不同之处。它不再需要多路转接电路 MUX，电路的内部有上拉电阻。与场效应管共同组成输出驱动电路。作为输出口使用时，能向外提供推拉电流负载，无需再外接上拉电阻。

3) P2 口（见图 1-7）。P2 口在电路上比 P1 口多了一个多路转换电路 MUX，与 P0 口一样，

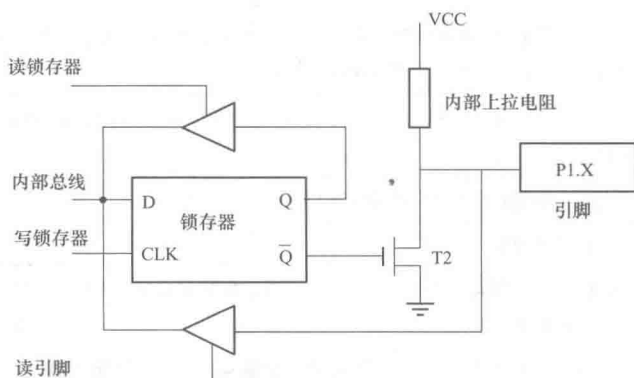


图 1-6 P1 口

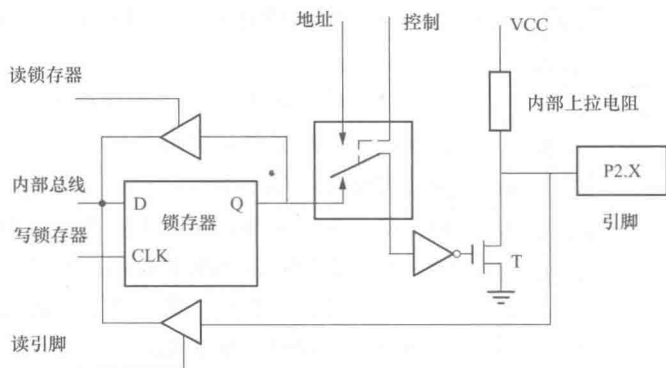


图 1-7 P2 口

P2 口也可以作为通用 I/O 口使用，这时多路转接开关倒向锁存器的 Q 端。通常应用情况下，P2 口是作为高位地址线使用，此时多路转接开关应倒向相反方向。

4) P3 口（见图 1-8）。P3 口为双功能复用口，既可以作 I/O 口，还可以作第二功能用。当作为 I/O 使用时，第二功能信号引线应保持高电平，与非门开通，以维持从锁存器到输出端数据输出通路的畅通。

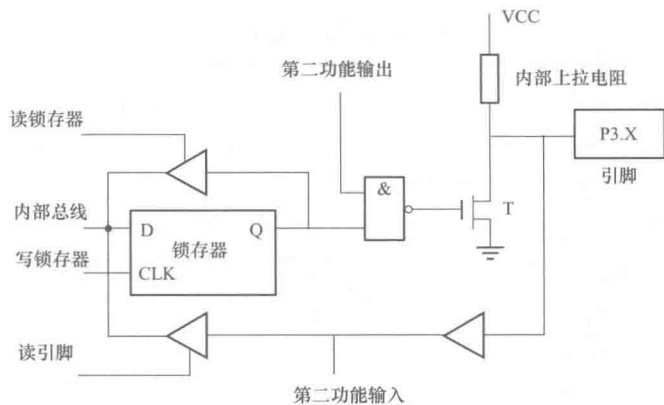


图 1-8 P3 口

当输出第二功能信号时，该位的锁存器应置“1”，使与非门对第二功能信号的输出是畅通的，从而实现第二功能信号的输出。

P3 口的第二功能如下：

P3.0 RXD（串行口输入）

P3.1 TXD（串行口输出）

P3.2 INT0（外部中断 0 输入）

P3.3 INT1（外部中断 1 输入）

P3.4 T0（定时器 0 的外部输入）

P3.5 T1（定时器 1 的外部输入）

P3.6 WR（片外数据存储器“写选通控制”输出）

P3.7 RD（片外数据存储器“读选通控制”输出）

(6) 单片机定时器/计数器。51 系列单片机至少有 2 个 16 位内部定时器/计数器，它们既可以作为定时器使用，也可作为计数器使用。作定时器使用时，对晶体振荡器产生的时钟信号计

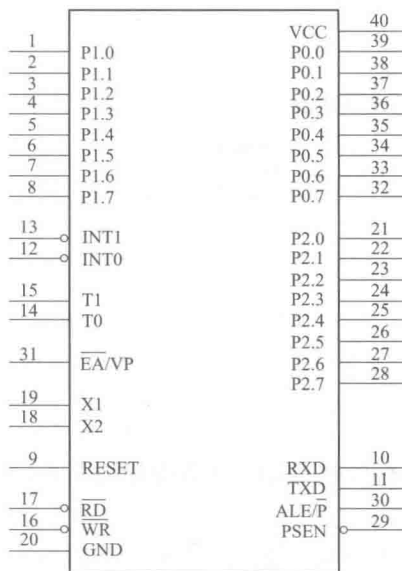


图 1-9 51 单片机外部引脚

数，作计数器使用时，对外部输入引脚送来的脉冲信号计数。

(7) 单片机串口。51 单片机串口用于单片机与其他外部串口设备的通信，串行收发存储器使用特殊功能寄存器串行数据缓冲器 SBUF，SBUF 地址为 99H。单片机内部用于收、发缓冲器，实际上有 2 个，即发送缓冲器和接收缓冲器，它们均以 SBUF 命名，只是根据对 SBUF 的读写操作，单片机会自动切换发送缓冲器或接收缓冲器。

(8) 单片机中断系统。51 单片机中断系统的功能有 5 个中断源，2 个中断优先级，由此实现二级中断嵌套，每一个中断源的优先级可以由程序设定。与中断系统工作有关的特殊功能寄存器有中断控制允许寄存器 IE、中断优先级控制寄存器 IP 及定时器/计数器控制寄存器 TCON 等。

(9) 51 单片机外部引脚（见图 1-9）。

51 单片机外部引脚功能见表 1-5。

表 1-5

51 单片机外部引脚功能

序号	功能	序号	功能
1	P1.0	21	P2.0
2	P1.1	22	P2.1
3	P1.2	23	P2.2
4	P1.3	24	P2.3
5	P1.4	25	P2.4
6	P1.5	26	P2.5
7	P1.6	27	P2.6
8	P1.7	28	P2.7
9	RST/VPD; RST 是复位信号，高电平有效。 VPD 为第二功能，即备用电源输入端	29	PSEN; 片外 ROM 选通信 号输出端，低电平有效
10	P3.0/RXD	30	ALE/PROG; ALE 为地址锁存允许信号输出引脚。 PROG 为编程信号，第二功能，低电平有效
11	P3.1/TXD	31	EA/VPP; EA 为内部和外部 ROM 控制端。 当 EA=1 时，从内 ROM 开始访问。当 EA=0 时， 只访问外部 ROM。VPP 是编程电源输入端
12	P3.2/INT0	32	P0.7
13	P3.3/INT1	33	P0.6
14	P3.4/T0	34	P0.5
15	P3.5/T1	35	P0.4
16	P3.6/WR	36	P0.3
17	P3.7/RD	37	P0.2
18	X2	38	P0.1
19	X1	39	P0.0
20	GND	40	VCC

P0.0~P0.7 称为 P0 口, P1.0~P1.7 称为 P1 口, P2.0~P2.7 称为 P2 口, P3.0~P3.7 称为 P3 口。

P3 口每一位可用作第二功能, 而且 P3 口的每一条引脚都可以独立设置为第一功能的 I/O 口功能和第二功能特殊功能。

5. 单片机开发流程

(1) 项目评估。根据用户需求, 确定待开发产品的功能、所实现的指标、成本, 进行可行性分析, 然后作出初步技术开发方案, 据此出预算, 包括可能的开发成本、样机成本、开发耗时、样机制造耗时、利润空间等, 然后根据开发项目的性质和细节评估风险, 以决定项目是否可做。

(2) 总体设计。

1) 机型选择。选择 8 位、16 位还是 32 位。

2) 外型设计、功耗、使用环境等。

3) 软、硬件任务划分, 方案确定。

(3) 项目实施。

1) 设计电原理图。根据功能确定显示 (液晶还是数码管)、存储 (空间大小)、定时器、中断、通信 (RS-232C、RS-485、USB)、打印、A/D、D/A 及其他 I/O 操作。

考虑单片机的资源分配和将来的软件框架、制定好各种通信协议, 尽量避免出现当板子做好后, 即使把软件优化到极限仍不能满足项目要求的情况, 还要计算各元件的参数、各芯片间的时序配合, 有时候还需要考虑外壳结构、元件供货、生产成本等因素, 还可能需要做必要的试验以验证一些具体的实现方法。设计中每一步骤出现的失误都会在下一步骤引起连锁反应, 所以对一些没有把握的技术难点应尽量去核实。

2) 设计印制电路板 (PCB) 图。完成电原理图设计后, 根据技术方案的需要设计 PCB 图, 这一步需要考虑机械结构、装配过程、外壳尺寸细节、所有要用到的元器件的精确三维尺寸、不同制版厂的加工精度、散热、电磁兼容性等, 修改完善电原理图、PCB 图。

3) 把 PCB 图发往制版厂做板。将加工要求尽可能详细的写下来与 PCB 图文件一起发电子邮件给 PCB 生产工厂, 并保持沟通, 及时解决加工中出现的一些相关问题。

4) 采购开发系统和元件。

5) 装配样机。PCB 板拿到后开始样机装配, 设计中的错漏会在装配过程开始显现, 尽量去补救。

6) 软件设计与仿真。根据项目需求建立数学模型, 确定算法及数据结构, 进行资源分配及结构设计, 绘制流程图, 设计、编制各子程序模块, 仿真、调试, 固化程序。

7) 样机调试。样机初步装好就可以开始硬件调试, 硬件初步检测完, 就可以开始软件调试。在样机调试中, 逐步完善硬件和软件设计。

进行软硬件测试, 进行老化实验, 高、低温试验, 振动试验。

8) 整理数据。将样机研发过程中得到的重要数据记录保存下来, 电原理图里的元件参数、PCB 元件库里的模型, 还要记录设计上的失误、分析失误的原因、采用的补救方案等。

9) 产品定型, 编写设备文档。编制使用说明书, 技术文件。制定生产工艺流程, 形成工艺, 进入小批量生产。

6. 单片机的特点

(1) 可靠性高。单片机采用三总线结构, 抗干扰能力强, 可靠性高。

(2) 功能强。单片机具有判断和处理能力, 可以直接对 I/O 口进行各种操作 (输入输出、位操作以及算术逻辑操作等), 运算速度快, 实时控制功能强。

(3) 体积小、功耗低。由于单片机包含了运算器等基本功能部件, 具有较高的集成度, 因此