

高 级 技 工 学 校 教 材



劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会
组织编写

中央广播电视大学出版社

单片机

原理与接口

高级技工学校教材

单片机原理与接口

劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心 组织编写
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会

中央广播电视大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

单片机原理与接口/劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心,全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会组织编写. -北京:中央广播电视大学出版社,2004.11

高级技工学校教材

ISBN 7-304-02850-5

I. 单… II. ①劳…②全… III. ①单片微型计算机-基础理论-技工学校-教材②单片微型计算机-接口-技工学校-教材 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 099593 号

版权所有,翻印必究。

单片机原理与接口

劳动和社会保障部中国就业培训技术指导中心
全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会 组织编写

出版·发行:中央广播电视大学出版社

电话:发行部:010-68519502 62529338 总编室:010-68182524

网址:<http://www.crtvup.com.cn>

地址:北京市海淀区西四环中路 45 号

邮编:100039

经销:新华书店北京发行所

策划编辑:苏 醒

封面设计:王 容

责任编辑:谷春林

版式设计:张 彦

责任印制:赵联生

责任校对:刘 仙

印刷:北京宏伟双华印刷有限公司 印数:0001-3000 册

版本:2004 年 11 月第 1 版 2004 年 11 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:15

字数:340 千字

书号:ISBN 7-304-02850-5/TP·230

定价:28.00 元

(如有缺页或倒装,本社负责退换)

高级技工学校教材

机电类专业编审工作委员会

主任：陈 宇 郝广发

副主任：孙长庆 张永麟 杨黎明

委员：（按姓氏笔画排序）

于 平	王 军	王兆山	王洪琳	王晓君
付志达	付元胜	冯振君	刘大力	刘亚琴
许炳鑫	孙国庆	李 涛	李长江	李木杰
李鸿仁	李超群	杨耀双	杨君伟	杨柳青
何阳春	张 斌	张仲民	张跃英	陈 蕾
林 青	林爱平	周学奎	单渭水	郝晶卉
赵杰士	贾恒旦	董桂桥	甄国令	

《单片机原理与接口》编写人员

主 编：林 琳

主 审：姚永乐

编 者：林 琳 孙 玲

序

为实施人才强国战略，加快高技能人才培养，劳动和社会保障部组织实施了国家高技能人才培养工程。为配合这项工程实施，我部委托中国就业培训技术指导中心、全国职业培训教学工作指导委员会机电专业委员会，组织专家编写了高级技工学校机床切削加工、机械设备维修、模具制造与维修、数控机床加工、电气维修 5 个专业的配套教材。

高级技工学校是我国培养高技能人才的重要基地。这次编写的 5 个专业的配套教材，是高级技工学校多年教学实践经验的积累和总结。教材依据《国家职业标准》和《高级技工学校专业教学计划》，瞄准经济发展对技能人才的要求，以职业技能为核心，注重教学内容的科学性、先进性和规范性，突出实践创新能力的培养。本套教材在编写中，特别注意了中、高级技能人才培养的衔接，教材的适用范围为具备中级职业资格水平的读者对象。本套教材同时可作为相关职业（工种）高级工、技师等企业职工培训教材，也可作为相关专业高职院校的课程教材，并且还可为相关专业技术人员作为参考。

本套教材的编写得到了学校、企业等有关方面的大力支持，30 多所高级技工学校 and 企业的专家参加了教材的编审工作，付出了辛勤的劳动，在此向所有参与教材编审工作的同志和给予大力支持的学校、企业表示感谢。

劳动和社会保障部培训就业司

2004 年 10 月

前言

当前,随着计算机技术的飞速发展,单片机技术也在不断发展,它不仅广泛地应用于工业控制、家电、仪器仪表、机电控制单元等领域,而且成为越来越多的各类各级学校相关专业的必修课程。确实,单片机已成为电子系统智能化的最好工具,单片机应用的广泛性、工具性、基础性以及要求单片机教育的普及性,已成为技术人员的重要技术知识层面。

本书系统地介绍了 MCS-51 单片机的结构原理、扩展和应用技术,全书共分 10 章,第一章介绍单片机的发展过程、组成和特点以及单片机的主要产品系列等;第二章介绍 MCS-51 单片机系统结构,包括总体结构、MCS-51 单片机的存储器结构、输入/输出端口结构、时钟电路、复位电路等;第三章介绍 MCS-51 单片机指令系统,包括指令系统概述、寻址方式、指令系统等;第四章介绍 MCS-51 单片机汇编语言程序设计,包括汇编语言程序设计概述、程序设计基础、MCS-51 汇编语言程序设计实例等;第五章介绍 MCS-51 单片机系统扩展技术,包括 MCS-51 扩展系统的组成、存储器扩展与编址技术、程序存储器的扩展、数据存储器的扩展、I/O 端口的扩展等;第六章介绍了中断系统与定时器/计数器及应用,包括中断技术概述、MCS-51 单片机的中断结构及处理、外部中断源的扩充、MCS-51 单片机的定时器/计数器等;第七章介绍单片机的串行接口及应用,包括串行通信的有关知识、MCS-51 单片机串行口的构成、MCS-51 单片机串行口的工作方式、串行口应用举例等;第八章介绍数/模转换器接口、模/数转换器接口等;第九章介绍单片机控制系统的设计与开发,包括单片机控制系统的开发过程、系统开发工具和方法;第十章介绍 17 个课程实验,其中 5 个软件实验和 12 个硬件实验。

本书内容精练、表述通俗易懂、实例丰富,每章后均附有习题。本书在编写过程中注重理论与实践的结合,力求做到用理论知识指导实际应用,又能运用理论解决实际问题;既掌握一定的先进技术,又着眼于为当前的应用服务。

本书由林琳主编并编写全书,姚永乐主审,孙玲承担了本书文稿和图稿的录制工作。由于时间紧迫、编者水平有限,书中难免有不足或疏漏之处,恳请读者给予批评指正。

编者
2004 年 10 月

目 录

第一章 概 述.....	1
第一节 单片机的发展.....	1
第二节 单片机的组成及特点	2
第三节 单片机主要产品及系列简介.....	4
第二章 MCS-51 单片机系统结构	7
第一节 总体结构.....	7
第二节 MCS-51 单片机的存储器结构	14
第三节 输入/输出端口结构	21
第四节 时钟电路.....	27
第五节 复位电路.....	30
第三章 MCS-51 单片机指令系统	34
第一节 指令系统概述.....	34
第二节 寻址方式.....	36
第三节 指令系统.....	39
第四章 MCS-51 汇编语言程序设计	59
第一节 汇编语言程序设计概述.....	59
第二节 程序设计基础.....	62
第三节 MCS-51 汇编语言程序设计举例.....	71

第五章 MCS-51 系统扩展技术	84
第一节 MCS-51 扩展系统的组成.....	84
第二节 存储器扩展与编址技术.....	86
第三节 程序存储器的扩展.....	89
第四节 数据存储器的扩展.....	93
第五节 程序存储器 EEPROM 的扩展方法.....	98
第六节 并行 I/O 端口的扩展.....	102
第六章 中断系统与定时器/计数器及应用	113
第一节 中断技术概述.....	113
第二节 MCS-51 单片机的中断源.....	115
第三节 中断控制.....	116
第四节 中断响应.....	118
第五节 中断应用举例.....	120
第六节 MCS-51 单片机的定时器/计数器.....	121
第七章 串行接口及其应用	131
第一节 串行通信的有关知识.....	131
第二节 MCS-51 单片机串行口的构成.....	136
第三节 MCS-51 单片机串行口的工作方式.....	139
第四节 串行口应用举例.....	146
第八章 模拟量输入输出接口	154
第一节 数/模转换器接口技术.....	154
第二节 模/数转换器接口技术.....	159

第九章 单片机控制系统的设计与开发	166
第一节 单片机控制系统的开发过程	166
第二节 系统开发工具和方法	168
第三节 控制系统举例	172
第十章 MCS-51 单片机实验课题	182
第一节 软件部分实验课题	182
第二节 硬件部分实验课题	189
附 录	225

第一章 概述

自从 1946 年世界上第一台电子计算机问世到现在, 计算机经历了 50 多年的发展, 从电子管、晶体管、集成电路、大规模集成电路等经历了 4 个发展时代。当前, 计算机正在朝着微型化、人工智能和神经网络方面发展。计算机的发展速度之快、变化之大, 是任何一项技术都无法比拟的。

计算机的发展趋势是: 一方面朝着超高速、超大容量、智能化的巨型机方向发展, 另一方面朝着高性能、低成本的微型机的方向发展。微型计算机是大规模集成电路的产物, 而单片机属于微型计算机的一个重要分支。单片机是把中央处理器 CPU、随机存取存储器 RAM、只读存储器、定时器 / 计数器以及 I / O 接口电路等部件集成在一块集成电路芯片上的微型计算机。单片机的应用导致了控制领域的一场革命, 使控制技术逐步取代了传统的硬件控制。

第一节 单片机的发展

自从 1971 年 Intel 公司推出 4 位单片机 4004 后, 单片机以惊人的速度发展, 涌现出各种各样高性能的单片机。迄今为止, 单片机的发展大致经历了 3 个发展阶段:

第一阶段 (1971~1978): 以 Intel 公司为代表的 MCS-48 系列单片机。这个阶段的单片机内集成有 8 位 CPU、并行 I / O 口、8 位定时器 / 计数器, 寻址范围不大于 4KB, 且无串行口, 只有加法指令。这一阶段属初级单片机阶段。

第二阶段 (1978~1983): 这一阶段的单片机和前阶段相比, 不仅存储容量和寻址范围大, 而且中断源、并行 I / O 口和定时器 / 计数器的个数有了增加, 集成了全双工串行通信接口。在指令系统方面, 大多数的单片机普遍增设了乘除和比较指令。这类单片机代表产品有 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 MC6801 系列、Zilog 公司的 Z8 系列、TI 公司的 TMS7000 系列单片机等。这一阶段属高性能单片机阶段。由于这类单片机应用领域极其广泛, 各大公司都大力改进其结构与性能, 所以这个系列的各类产品目前仍是国内外产品的主流。其中, MCS-51 系列产品由于其优良的性能价格比, 有可能在相当一段时间内处于主流产品地位。

第三阶段 (1983~至今): 这一阶段属 8 位单片机稳定发展及 16 位单片机推出阶段。16 位单片机增设了高速数据通道、16 位的监视定时器等, 工艺先进、集成度高、内部功能强, 加法运算速度可达 $1\mu\text{s}$ 以上, 而且允许用户采用面向工业控制的专用语言。这一阶段的代表产品有 Intel 公司的 MCS-96 系列、TI 公司的 TMS9900、NEC 公司的 783 $\times\times$ 系列和 NS 公司的 HPC16040 等。

继 16 位单片机出现后不久, 一些大公司先后推出了代表当前最高性能和技术水平的 32

位单片微机系列。32 位单片机具有极高的集成度，内部采用新颖的 RISC（精简指令系统计算机）结构，CPU 可与其他微控制器兼容，主频可达 33MHz 以上，指令系统进一步优化，运算速度可动态改变，设有高级语言编译器，具有性能强大的中断控制系统、定时 / 事件控制系统和同步 / 异步通信控制系统。这类单片机主要应用于汽车、航空航天、机器人和军事装备等方面。它代表着单片机发展中的高、新技术水平。

第二节 单片机的组成及特点

一、单片机的组成

1. 硬件系统

单片机是微型计算机的一个分支，它在结构上的最大特点是将 CPU、存储器、输入/输出、定时器 / 计数器等电路集成在一块超大规模集成电路芯片上。就其功能和组成而言，一个单片机芯片就是一台微型计算机。图 1-1 所示为单片机的组成框图。

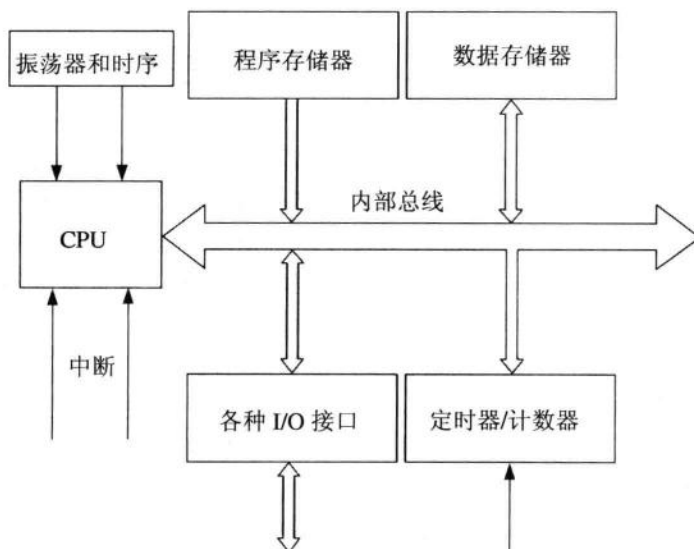


图 1-1 单片机结构图

由图可见，单片机主要由中央处理器 CPU、程序存储器、数据存储器、定时器 / 计数器、I / O 并行接口电路、串行接口等组成，这些部件通过内部总线连接起来。与其他计算机不同的是，单片机的程序存储器 ROM 和数据存储器 RAM 各自独立，用于存放程序和数据。I / O 并行接口用于与外设的连接、数据采集、数据传送。

2. 软件系统

计算机系统工作是在硬件系统基础上用软件系统实现的，计算机软件系统包括系统

软件、应用软件、程序设计语言 3 部分。单片机由于硬件支持和需要有限，其软件系统比较简单。用监控程序作为系统管理的操作系统程序，比微型计算机的操作系统程序简单得多。用汇编语言作为程序设计语言，可在微机上编制用户应用程序，并通过交叉汇编方法得到二进制目标码传送至单片机系统。

二、单片机的特点

- 单片机具有体积小、功耗低、可靠性高、功能强等特点，可以方便地组装各种智能设备和仪表，使机电一体化
- 面向对象，能有针对性地解决控制类简单与复杂的问题
- 功能扩展性强，系列齐全。单片机有内部掩膜 ROM、EPROM、外接 ROM 等形式，并可方便地扩展外部 ROM、RAM 及 I/O 接口，可与许多通用的微机接口芯片兼容，为应用系统的设计和生产带来极大方便
- 可以方便地实现多机和分布式控制，从而使整个控制系统的效率和可靠性大为提高

三、单片机的分类

单片机作为计算机发展的一个重要领域，应有一个较科学的分类方法。根据目前发展情况，单片机大致可以从不同角度分为通用型 / 专用型、总线型 / 非总线型及工控型 / 家电型。

1. 通用型 / 专用型

按适用范围来区分。例如，8051 是通用型单片机，它不是为某种专门用途设计的；专用型单片机是针对某一类产品甚至某一个产品设计生产的，例如，为了满足电子体温计的要求，在片内集成有 ADC 接口等功能的温度测量控制电路。

2. 总线型 / 非总线型

在总线方式应用系统中的单片机，设置有并行地址总线、数据总线、控制总线，这些引脚用以扩展并行外围器件；非总线方式是指将需要的外围器件及外设接口集成到片内，因此在许多情况下可以不要并行扩展总线，外围器件通过串行口与单片机连接，大大减少封装成本和芯片体积。

3. 工控型 / 家电型

一般而言，工控型寻址范围大，运算能力强；用于家电的单片机多为专用型，通常是小封装、低价格，外围器件和外设接口集成度高。

四、单片机的应用

单片机主要用于控制系统中，有着广阔的应用范围和巨大的经济效益，更重要的是单片机的应用从根本上改变了传统控制系统的设计思想和方法，对传统行业的技术改造和产

品的更新换代起到重要的推动作用，它带来了一场对控制技术的革命。单片机的应用日益广泛，遍及各个领域，主要表现在以下几个方面：

1. 智能仪表

单片机广泛地用于各种仪器仪表，使仪器仪表智能化，并可以提高测量的自动化程度和精度，简化仪器仪表的硬件结构，提高其性能价格比。

2. 工业自动化

工业过程控制、过程监测、工业控制器及机电一体化控制系统，在这些系统中，大多数都是采用以单片机为核心的单片机或多机的网络系统。单片机的实时数据处理能力和控制能力可以使系统保持在最佳工作状态，提高系统的工作效率和产品质量。

3. 机电一体化

机电一体化是机械工业发展的方向。机电一体化产品是指集机械技术、微电子技术、计算机技术于一体，具有智能化特征的机电产品。例如，微机控制的车床、钻床等。单片机作为产品中的控制器，能充分发挥它的体积小、可靠性高、功能强等优点，可大大提高机器的自动化和智能化程度。

4. 办公自动化

现代化办公室中所使用的大量通信、信息产品多数都是采用单片机技术，如通用计算机系统键盘译码、磁盘驱动、打印机、绘图仪、复印机、电话机、传真机及考勤机等。

5. 家用电器

目前许多家用电器已经普遍采用单片机控制技术取代传统的控制电路，如洗衣机、电冰箱、空调机、微波炉、电饭煲、电视机、录像机、摄像机以及视频音像设备的控制。

第三节 单片机主要产品及系列简介

一、CPU 的字长

在对单片机进行分类时，通常以 CPU 的字长划分，如 4 位单片机、8 位单片机、16 位单片机、32 位单片机等。

1. 4 位单片机

4 位单片机的字长为 4 位，一次可以并行处理 4 位二进制数据。4 位单片机价格便宜、结构简单、功能灵活，既有相对的数字处理能力，又有较强的控制能力。主要应用于家用电器及高档电子玩具。

2. 8 位单片机

8 位单片机是目前的主流机型，在 8 位单片机中，通常将无串行 I/O 接口和寻址空间小于 8KB 的单片机称为低档 8 位单片机，如 Intel 公司的 MCS-48 系列；将带有串行 I/O 接口或 A/D 转换器以及可进行 8KB 以上寻址的单片机称为高档 8 位单片机，如 Intel 公司的 MCS-51 系列。近年来，出现了为了发展和提高 8 位机的性能，把 16 位以上机型的性

能移植到 8 位机上,使 8 位机的字长不变而又增设功能的发展模式。如 Intel 公司的 83C152 / 154、83C51 / FA / FB / FC, Zilog 公司的新 Z8 等都在各自原有 8 位机的基础上扩充了许多功能,其中最具有代表性的是 MC68HC11 系列,增强了 16 位变址寄存器、16 位堆栈指针,2 个 8 位累加器可联成一个 16 位累加器,因而可实现内部 16 位运算。另设有 4~7 组并行 I / O 口, 2 个串行通信口多功能定时系统。8 位 8 路 A / D 转换, 实时中断及多种监控系统,既可单片工作又可外部扩展。有的机型还设有 4~6 个 PWM、4 个 DMA, 协处理器寻址空间可达 1MB, 片内存储器和运算速度均提高了许多倍。

3. 16 位单片机

目前主要的 16 位单片机有 Intel 公司的 MCS-96 系列, NS 公司的 HPC16040 系列, NEC 公司的 783××系列。其中, MCS-96 系列是最具有代表性的产品。该系列分为 48 引脚双列直插式和 68 引脚扁平式两种封装形式, 内含 16 位的 CPU、8KB 的 ROM、232B 的 RAM, 5 个 8 位并行 I / O 口, 4 个全双工串行通信口, 4 个 16 位定时器 / 计数器, 8 个通道的 10 位 A / D 转换器(48 脚封装的只有 4 个通道)及 8 级中断处理系统。8096 的硬件设置使它具有多种 I / O 功能, 高速输入输出子系统(HISO)、脉冲宽度调制 PWM 输出、特殊用途监视定时器等。

二、主要产品系列

目前,许多单片机生产厂商推出了各自的系列产品,品种繁多,特别是 Intel 公司自首创 8048 单片机以来发展迅速,该公司的产品已发展为 3 大系列,即 MCS-48 系列、MCS-51 系列、MCS-96 系列, 这些产品目前国内最具代表性, 本书以 8051 为例介绍单片机的原理与应用。表 1-1 为 Intel 公司 MCS 系列单片机部分主要产品一览表。

表1-1 常用MCS-48系列8位单片机性能表

系列	CPU	片内存储器		片外存储器		并行口	串行口	定时器 计数器	中 断	其 他
		ROM	RAM	EPROM	RAM					
MCS-48	8048	ROM 1KB	64	256	4KB	27 位	无	1×8	2	
	8035	无	64	256	4KB	27 位	无	1×8	2	
	8049	ROM 2KB	128	256	4KB	27 位	无	1×8	2	
	8050	ROM 4KB	256	256	4KB	27 位	无	1×8	2	
MCS-51	8051	ROM 4KB	128	64KB	64KB	32 位	URTA	2×16	5	
	8751	EPROM 4KB	128	64KB	64KB	32 位	URTA	2×16	5	
	8031	无	128	64KB	64KB	32 位	URTA	2×16	5	
	8052	ROM 8KB	256	64KB	64KB	32 位	URTA	3×16	6	
	8032	无	256	64KB	64KB	32 位	URTA	3×16	6	

续表

系列	CPU	片内存储器		片外存储器		并行口	串行口	定时器 计数器	中 断	其他
		ROM	RAM	EPROM	RAM					
MCS-96	8094	无	232	64KB	64KB	32 位	URTA	4×16	8	
	8095	无	232	64KB	64KB	32 位	URTA	4×16	8	4×10 位 A/D
	8096	无	232	64KB	64KB	48 位	URTA	4×16	8	
	8097	无	232	64KB	64KB	32 位	URTA	4×16	8	8×10 位 A/D
	8394	无	232	64KB	64KB	32 位	URTA	4×16	8	
	8395	ROM8KB	232	64KB	64KB	32 位	URTA	4×16	8	4×10 位 A/D
	8396	ROM 8KB	232	64KB	64KB	48 位	URTA	4×16	8	
	8098	无	232	64KB	64KB	32 位	URTA	4×16	8	4×10 位 A/D

复 习 题

1. 何谓单片机？单片机内部有哪些主要功能部件？
2. 单片机有哪几个发展阶段？各个阶段的单片机各具有什么功能特点？
3. 单片机发展趋势是什么？目前有哪些种类？
4. 一个完整的单片机至少具备哪些部件？
5. 单片机主要应用在哪些方面？

第二章 MCS—51 单片机系统结构

本章以 MCS—51 单片机为例,从应用的角度出发讨论单片机的硬件结构、工作原理、存储器结构、I/O 端口结构、时钟及复位电路等内容,其中将涉及到与软件设计、总线扩展相关的硬件资源和其使用方法。

第一节 总体结构

一、MCS—51 单片机的内部结构

Intel 公司生产的 MCS—51 系列单片机的典型产品有 8051、8031、8751 三种。其中,8051 是 ROM 型的单片机,其片内有 4KB 掩膜编程 ROM;8031 片内无 ROM,所以属无 ROM 型;8751 是 EPROM 型的单片机,片内有 4KB 的 EPROM。因此,它们的差别仅在程序存储器方面必须外接 EPROM 程序存储器。除此之外,这 3 种单片机的内部结构及引脚功能完全相同,都具有以下基本特征:

- 8 位 CPU
- 4KB 片内程序存储器 (ROM 型或 EPROM 型)
- 128KB / 256KB 片内数据存储器 (RAM)
- 一组片内特殊功能寄存器 SFR
- 可寻址外部程序存储器和数据存储器空间各 64KB
- 片内时钟振荡器
- 4 个 8 位并行 I/O 口,1 个全双工串行口
- 2 个 16 位定时器 / 计数器
- 5 个中断源,2 个中断优先级
- 一个可进行位寻址的布尔处理机

8051 单片机的内部由 CPU、4KB 的 ROM、256KB 的 RAM、两个 16 位的定时/计数器 T0 和 T1,4 个 8 位的 I/O 端口 P₀、P₁、P₂、P₃、1 个串行口等组成。图 2-1 和图 2-2 分别为 MCS—51 系列单片机的功能方框图和内部结构图。