

高等院校教材

微控制器原理与应用 实验教程

徐安陈耀 编著
陆杰李锐华
白英彩 主审



科学出版社
www.sciencep.com

高等院校教材

微控制器原理与应用实验教程

徐安 陈耀 编著
陆杰 李锐华

白英彩 主审

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书选择 MCS-51、HC08 和 PIC 这三种最有代表性的微控制器(单片机)系列为典型,从它们的集成开发环境与应用开始,提供了汇编语言和 C 语言的实验范例;介绍了多种扩展电路、外接器件、显示和输出控制等基础实验、数据传输实验及其相关模块;以贴近生活的智能家居为主题、嵌入式系统的设计调试为手段,给出了多个设计性、综合性系列实验的参考场景和流程,引导读者带着探索的愿望和激情,在提出问题、自己动手解决问题的过程中,用微控制器讲出你的创意,采摘到独出心裁、有声有色的实验成果。

本书可作为普通高等院校电子信息、自动化、电气工程、机电一体化等专业本科生的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

微控制器原理与应用实验教程/徐安等编著. —北京:科学出版社,2009
(高等院校教材)

ISBN 978-7-03-025271-5

I. 微… II. 徐… III. 微控制器-高等学校-教材 IV. TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 144086 号

责任编辑:匡 敏 余 江 潘继敏 / 责任校对:陈丽珠
责任印制:张克忠 / 封面设计:陈 敬

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 8 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2009 年 8 月第一次印刷 印张:18 1/2

印数:1—3 000 字数:360 000

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

作为最典型、最广泛和最普及的现代电子系统的基本核心，微控制器（单片机）已成为电气工程师和各行各业的技术人员实现检测和控制的有效工具。

对微控制器原理与应用来说，读书是学习，使用则是更重要的学习，边学边用是最好和最快捷的学习方法；只有理论和实践相结合，打下学以致用用的坚实基础，才能在飞速发展的 MCU 缤纷世界中，根据今后的各种不同需要继续深入学习与灵活应用，既不至于无所适从，又不拘泥于某一特定的机种。

本书选择 MCS-51、HC08 和 PIC 这三种最有代表性的微控制器系列为典型，从它们的集成开发环境与应用开始，提供了汇编语言和 C 语言的实验范例；介绍了多种扩展电路、外接器件、显示和输出控制等基础实验、数据传输实验及其相关模块；以贴近生活的智能家居为主题、嵌入式系统的设计调试为手段，给出了多个设计性、综合性系列实验的参考场景和流程。编者期望读者带着探索的愿望和激情，插上想象和创造的翅膀，在提出问题、自己动手解决问题的过程中，学会如何学习；用微控制器讲出你的创意，采摘到独出心裁、有声有色的实验成果；使自己沿着知识—思路—方法—能力—素质的层次不断提高，成为能够进行抽象思维和利用科学知识高水准解决问题的创新型工程师，成为我们国家依靠发明和创新来参与世界市场竞争的重要的、不可替代的人力资源，而不仅仅是具有理工科的基本知识来应付考试，却没有经验和能力利用这些知识解决复杂问题的文凭获得者。

多年来，周立功、张有德、马忠梅、李学海、白中英、何立民、胡汉才、金炯泰和刘慧银等教授在微控制器实验和实践的教育园地里辛勤耕耘，本书多处引用了他们的研究成果，谨在此表示衷心的感谢。

本书依托的 DP-01 多 MCU 实验平台由同济大学电子与信息工程学院和广州周立功单片机发展有限公司、微芯科技咨询（上海）有限公司、飞思卡尔半导体（中国）有限公司上海分公司和高拓微电子有限公司共同研发，曾成奇、刘晖、张明峰、魏敏、吴健、吴成刚、夏成君和张元南等各方人士提供了重要帮助，谨在此表示诚挚的谢意。

担任本书主审的上海交通大学白英彩教授认真审阅了全书，提出了指导性的建议和中肯的意见；研究生周凡、张振富、丁才云、郭凯杰、吴霄、朱臣一、孙人杰、王文佳、潘志铭、刘一飞、徐家君、马佳培和李先刚等为程序开发和图文

制作付出了辛勤的劳动，在此谨致以深切的谢意。

本书由徐安和陈耀共同编写，陆杰和李锐华根据多年的实践教学经验，对各章提出了重要的修改意见。

本书得到了同济大学实验教学改革专项基金的资助。

为便于教学，各项实验的例程和相关资料在 DP-01 多 MCU 实验平台的配套软件包中提供。

限于编者水平，书中错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。联系地址：xuanxujing@163.com。

编 者

2009 年 3 月

目 录

前言

第 1 章 DP-01 多 MCU 实验平台的功能与使用	1
1.1 DP-01 多 MCU 实验平台布局与模块	1
1.1.1 DP-01 多 MCU 实验平台布局	1
1.1.2 DP-01 多 MCU 实验平台功能模块	2
1.2 MCU 模块与接口模块	3
1.2.1 MCS-51 系列 MCU 模块 A1	3
1.2.2 HC08 系列 MCU 模块 E1	4
1.2.3 PIC 系列 MCU 模块 F1	8
1.2.4 接口模块 A2 与多种 MCU 的连接	11
第 2 章 多 MCU 实验平台开发环境	13
2.1 嵌入式开发和模块化程序结构设计	13
2.1.1 嵌入式开发的特点	13
2.1.2 模块化程序结构设计	14
2.2 Keil C51 集成开发环境	15
2.2.1 Keil C51 简介	15
2.2.2 创建一个 Keil C51 工程	16
2.2.3 工程文件的编译和链接	18
2.2.4 调试方法和技巧	20
2.2.5 程序的下载和运行	30
2.3 CodeWarrior 集成开发环境	32
2.3.1 CodeWarrior 简介	32
2.3.2 创建一个 CodeWarrior 工程	33
2.3.3 工程文件的编译和链接	36
2.3.4 调试方法和技巧	38
2.3.5 程序的下载和运行	43
2.4 MPLAB 集成开发环境	46
2.4.1 MPLAB 简介	46
2.4.2 创建一个 MPLAB 工程	46
2.4.3 工程文件的编译和链接	51
2.4.4 调试方法和技巧	53

2.4.5	程序的下载和运行	56
2.5	MCU 的 C 语言	57
2.5.1	MCU 使用 C 语言的共同点	57
2.5.2	MCU 使用 C 语言的不同点	60
2.5.3	C 语言开发实例	63
第 3 章	汇编语言实验	67
3.1	数据传送	67
3.1.1	内部存储器之间数据传送	68
3.1.2	程序存储器和内部 RAM 之间数据传送	73
3.1.3	外部存储器数据传送	76
3.2	算术运算	76
3.2.1	三字节十进制加法	76
3.2.2	双字节无符号数乘法	84
3.2.3	多字节无符号数除法	88
3.2.4	双字节压缩 BCD 码 (4 位十进制数) 转换成十六进制	94
3.2.5	双字节十六进制数转换成十进制数	98
3.3	逻辑运算	104
3.3.1	压缩 BCD 码转 ASCII 码	104
3.3.2	I/O 口逻辑运算	110
3.4	控制转移	112
3.4.1	数据排序	112
3.4.2	字符串比较	117
3.4.3	数据分类	121
3.5	MCU 初始化及中断	125
第 4 章	基础实验与相关模块	132
4.1	扩展电路	132
4.1.1	3-8 译码器 74HC138	132
4.1.2	串行-并行转换器 74HC164 和并行-串行转换器 74HC165	135
4.1.3	集成定时器 555	144
4.1.4	运算放大器 LM324	147
4.1.5	串行数模转换器 TLC5620 和串行模数转换器 TLC549	152
4.2	输出控制	164
4.2.1	LED 控制	164
4.2.2	音调控制	167
4.2.3	PWM 控制	175
4.3	显示	181

4.3.1	16×16 LED 点阵显示	181
4.3.2	字符型液晶显示	189
4.3.3	图形液晶显示	195
4.4	外接器件	202
4.4.1	继电器	202
4.4.2	直流电动机	204
4.4.3	步进电动机	207
4.4.4	接触式 IC 卡	211
4.4.5	非接触式 IC 卡	217
4.4.6	语音录放、存储和 SPI 接口	224
第 5 章	数据传输实验与相关模块	233
5.1	RS-232	233
5.2	RS-485	240
5.3	红外收发	244
5.4	射频收发与 STR-36 射频模块	248
5.5	单总线协议与数字温度传感器 DS18B20	250
5.6	I ² C	258
5.7	USB	268
5.7.1	USB1.1	268
5.7.2	USB2.0	269
5.8	CAN	270
5.9	TCP/IP	271
第 6 章	设计性综合性实验	273
6.1	顺序控制及其在门禁系统的应用	273
6.2	数字滤波及其在灯光子系统的应用	275
6.3	运动控制及其在调速子系统的应用	276
6.4	PID 控制及其在温度调节子系统的应用	278
6.5	模糊控制及其在智能终端子系统的应用	281
6.6	多种数据传输方式与总线在智能家居中的应用	283
6.7	网络与各子系统的整合在智能家居中的应用	284
参考文献	286

第 1 章 DP-01 多 MCU 实验平台的功能与使用

DP-01 多 MCU 实验平台配备了丰富的软硬件模块和外围器件设备，可选用多种 MCU 芯片，用 C 语言和汇编语言进行多种微控制器（单片机）原理与应用实验，还可以根据需要灵活组合，进行微型计算机控制技术和嵌入式系统的设计性、综合性实验，充分发挥使用者的积极性、主动性和创新性。

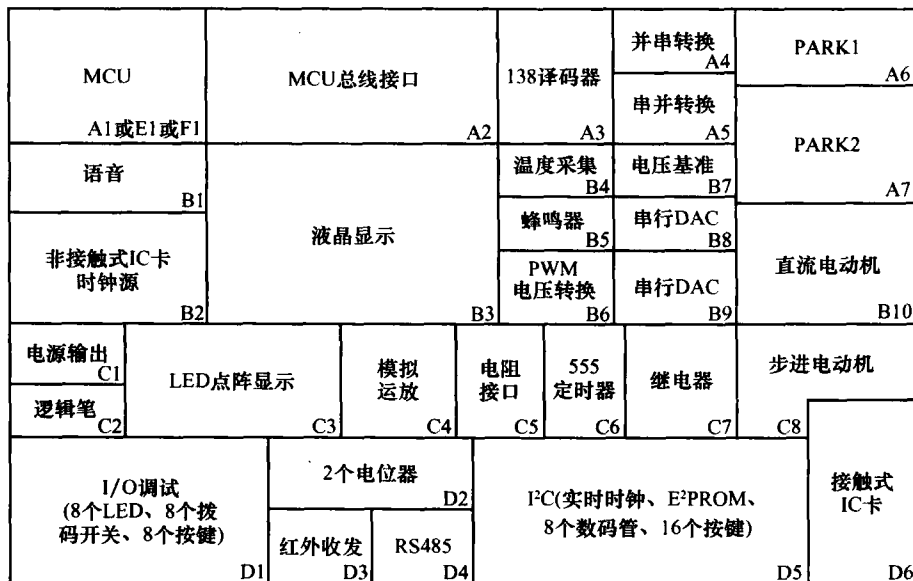
1.1 DP-01 多 MCU 实验平台布局与模块

1.1.1 DP-01 多 MCU 实验平台布局

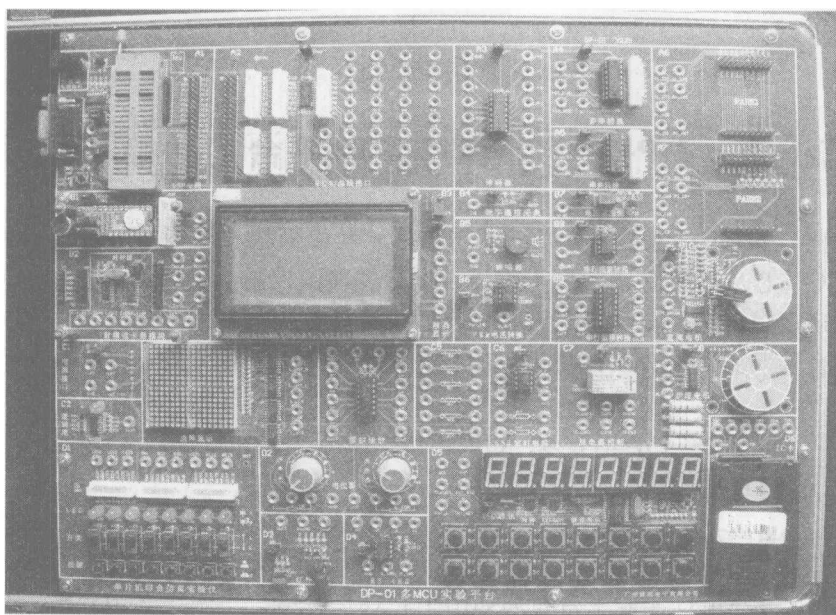
DP-01 多 MCU 实验平台布局如图 1-1 (a) 所示。

A1 是 51 内核系列 MCU 模块；Freescale 公司的 HC08 系列 MCU 模块 E1 或 Microchip 公司的 PIC16F87x 系列 MCU 模块 F1 可固定在 A1 上方。

DP-01 多 MCU 实验平台外观如图 1-1 (b) 所示。



(a) DP-01 多 MCU 实验平台布局



(b) DP-01 多 MCU 实验平台外观

图 1-1

1.1.2 DP-01 多 MCU 实验平台功能模块

DP-01 多 MCU 实验平台功能模块及首次用到该模块的实验如表 1-1 所示。

表 1-1 DP-01 多 MCU 实验平台功能模块

编号	模块名称	器件与功能说明	首次用到该模块的实验
A1	51 内核系列 MCU	程序调试、下载、通信	
E1	HC08 系列 MCU	程序调试、下载、通信	
F1	PIC16F87x 系列 MCU	程序调试、下载、通信	
A2	MCU 总线接口	引出 MCU 的各功能引脚；含 74HC573 锁存器	
A3	3-8 译码	74HC138 译码器	4.1.1 3-8 译码器 74HC138
A4	并串转换	74HC165 并行-串行转换器	4.1.2 串行-并行转换器 74HC164 和 并行-串行转换器 74HC165
A5	串并转换	74HC164 串行-并行转换器	
A6	PARK1	连接各种扩展 PARK 模块，例如，USB 接口、CAN-bus 接口、以太网接口等	5.7 USB
A7	PARK2		5.8 CAN 5.9 TCP/IP
B1	语音	ZY1730 语音模块、麦克风、扬声器	4.4.6 语音录放、存储和 SPI 接口
B2	非接触式 IC 卡 时钟源	ZLG500A 非接触式 IC 卡读卡模块与天线接口；时钟源与 8 路分频输出接口	4.4.5 非接触式 IC 卡 4.1.3 集成定时器 555

续表

编号	模块名称	器件与功能说明	首次用到该模块的实验
B3	液晶显示	128×64 图形点阵或 16×2 字符点阵	4.3.2 字符型液晶显示 4.3.3 图形液晶显示
B4	温度采集	DS18B20 单总线数字温度传感器	5.5 单总线协议与数字温度传感器 DS18B20
B5	蜂鸣器	交流蜂鸣器及其驱动电路	4.2.2 音调控制
B6	PWM 电压转换	将 PWM 信号转换为电压输出	4.2.3 PWM 控制
B7	电压基准	TL431 电压基准源	4.1.5 串行数模转换器 TLC5620 和 串行模数转换器 TLC549
B8	串行 ADC	TLC549 串行 8 位 A/D 转换器	
B9	串行 DAC	TLC5620 串行 8 位 4 通道 D/A 转换器	
B10	直流电动机	直流电动机及其驱动电路	4.4.2 直流电动机
C1	电源输出	+5V、±12V 电源接口	4.1.4 运算放大器 LM324
C2	逻辑笔	通过 LED 显示 TTL 逻辑电平高低	
C3	LED 点阵显示	16×16 LED 点阵及其驱动电路	4.3.1 16×16 LED 点阵显示
C4	模拟运算放大器	LM324 运算放大器	4.1.4 运算放大器 LM324
C5	电阻接口	为运算放大器提供电阻接口	
C6	555 定时器	555 定时器及相关电阻、电容接口	4.1.3 集成定时器 555
C7	继电器	继电器及其驱动电路	4.4.1 继电器
C8	步进电动机	步进电动机及其驱动电路	4.4.3 步进电动机
D1	I/O 调试	独立的 LED 发光二极管、拨动开关、 按键各 8 个	4.1.1 3-8 译码器 4.1.2 串行-并行转换器 74HC164 和 并行-串行转换器 74HC165 4.2.2 音调控制
D2	2 个电位器	10kΩ 和 1kΩ 可调电阻各 1 个	4.1.4 运算放大器 LM324
D3	红外收发	红外发射器和带解码红外接收器各 1 个	5.3 红外收发
D4	RS485	SP485 用于 RS485 的电平驱动和接收	5.2 RS-485
D5	I ² C	24WC02 E ² PROM、PCF8563 实时时钟 及其外围电路、ZLG7290 键盘 LED 驱 动芯片、8 段数码管 8 个、按键 16 个	5.6 I ² C
D6	接触式 IC 卡	读卡头可连接 SLE4442 卡	4.4.4 接触式 IC 卡

1.2 MCU 模块与接口模块

1.2.1 MCS-51 系列 MCU 模块 A1

使用 DP-01 进行 MCS-51 系列 MCU 实验时，可以将 40 引脚的双列直插 51 内核芯片（如 P89V51RB2/RC2/RD2 DIP40，如图 1-2 所示）直接装在 A1 模块的卡座内调试运行（支持 ISP 下载固化功能），也可以使用 TKSMonitor51 仿真

器进行仿真调试和运行。

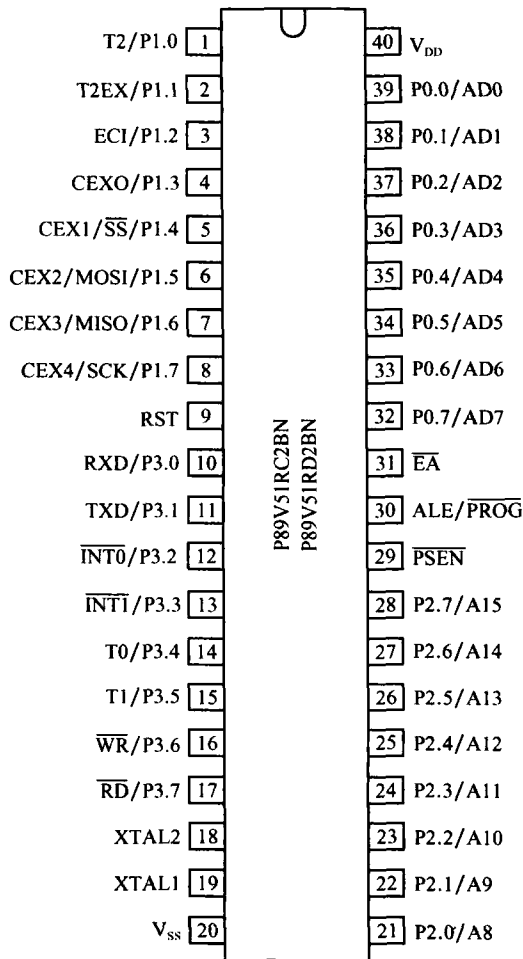


图 1-2 P89V51RB2/RC2/RD2 DIP40 引脚排列及功能

通过 40 芯并行线可以将 A1 模块的 J76 插座和总线接口模块 A2 的 J79 插座连接，J76 插座的插针排列与典型的 51 系列 MCU 引脚为左右镜像。

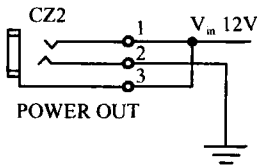


图 1-3 A1 模块中仿真器电源接口电路

A1 模块中，仿真器电源接口如图 1-3 所示。

1.2.2 HC08 系列 MCU 模块 E1

HC08 系列 MCU 模块 E1 (图 1-4) 以 Freescale 公司的 MC68HC908GP32 微控制器 (图 1-5) 为核心，是一个具有下载、调试功能的最小系统，模块也可以独立运行使用。

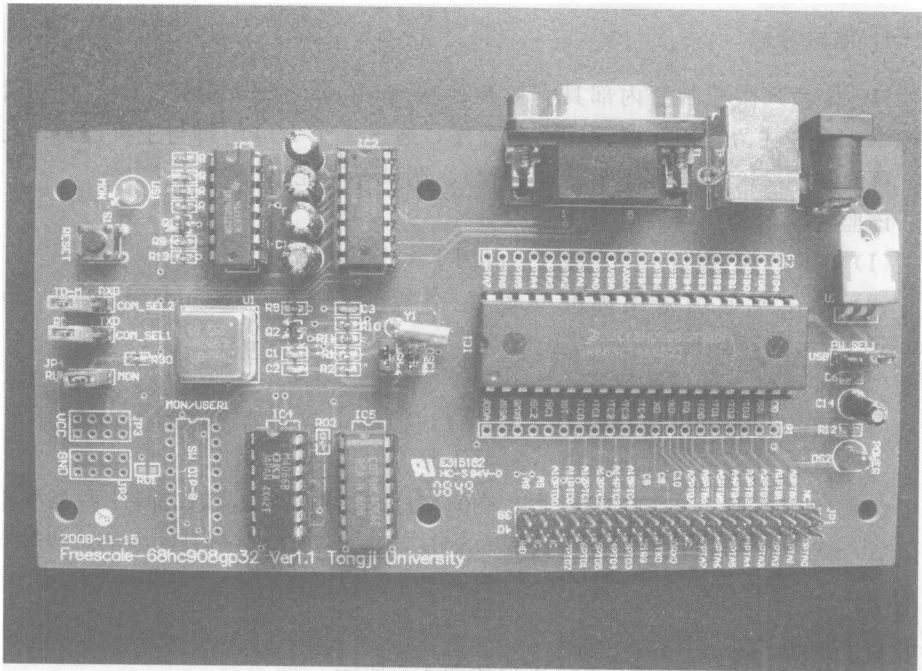


图 1-4 HC08 系列 MCU 模块 E1

$V_{DDA}(PLL)$	1	40	PTA7/ $\overline{KBD7}$
$V_{SSA}(PLL)$	2	39	PTA6/ $\overline{KBD6}$
CGMXFC(PLL)	3	38	PTA5/ $\overline{KBD5}$
OSC2	4	37	PTA4/ $\overline{KBD4}$
OSC1	5	36	PTA3/ $\overline{KBD3}$
\overline{RST}	6	35	PTA2/ $\overline{KBD2}$
$\overline{PTC0}$	7	34	PTA1/ $\overline{KBD1}$
$\overline{PTC1}$	8	33	PTA0/ $\overline{KBD0}$
$\overline{PTC2}$	9	32	$V_{SSAD}/V_{REFL}(ADC)$
$\overline{PTC3}$	10	31	$V_{DDAD}/V_{REFH}(ADC)$
$\overline{PTC4}$	11	30	PTB7/AD7
PTE0/TxD	12	29	PTB6/AD6
PTE1/RxD	13	28	PTB5/AD5
\overline{IRQ}/V_{PP}	14	27	PTB4/AD4
PTD0/ \overline{SS}	15	26	PTB3/AD3
PTD1/MISO	16	25	PTB2/AD2
PTD2/MOSI	17	24	PTB1/AD1
PTD3/SPSCK	18	23	PTB0/AD0
V_{SS}	19	22	PTD5/T1CH1
V_{DD}	20	21	PTD4/T1CH0

图 1-5 MC68HC908GP32 引脚排列及功能

1. 电路原理

HC08 系列微控制器内部具有监控模块 (Monitor Module), 出厂时芯片内监控 ROM 区驻留有用于监控功能的程序, 通过 1 个 I/O 引脚与主机进行串行通信, 可以进行 MCU 的程序下载 (编程)、调试等功能。

该监控模块的主要特性包括:

- (1) MCU 和主机的串行通信只占用 1 个 I/O 引脚。
- (2) 和主机通信采用标准的传号/空号非归零码 (Standard Mark/Space Non-Return-to-Zero)。
- (3) 采用标准通信波特率。
- (4) 可执行随机存取存储器 (RAM) 或 Flash 存储器区域的代码。
- (5) 具有 Flash 存储器编程、加密功能。
- (6) 使用外部 4.9152MHz 或 9.8304MHz 时钟产生 2.4576MHz 内部频率。
- (7) 增强 PLL 模块允许使用 32.768kHz 晶振产生 2.4576MHz 内部总线频率。
- (8) 当复位向量为空 ($\$FF$) 时, 无须编程电压 (V_{TST}) 即可进入监控模式; 复位向量非空时, 需在 \overline{IRQ} 引脚加编程电压 ($V_{TST} = V_{DD} + 2.5 \sim 9V$), 才能进入监控模式。进入监控模式的流程如图 1-6 所示。

监控 ROM 接收和执行来自主机的命令。在监控模式下, MCU 可以执行由主机下载的程序, 绝大多数 MCU 引脚仍能具有正常工作模式的功能。通过 RS-232 接口与主机进行通信的标准监控模式电路如图 1-7 所示。MCU 与主机之间通过 PTA0 引脚进行所有的通信, 在 PTA0 和主机之间需要电平转换和通路选择接口电路。PTA0 工作在线或 (Wired-OR) 方式, 需要外接一个上拉电阻。

2. 连线

1) 电源

模块右上角有方形 USB 插座和 6.5mm 内插针圆头电源插座 (外+/内-)。作为 DP-01 多 MCU 实验平台的 E1 模块使用时, 可将 DP-01 的仿真器电源输出 (CZ2) 提供的 12V 电源连接到圆头电源插座; 若与 DP-01 分别单独供电, 则须注意共地问题。模块独立使用时可利用 USB 电源供电。模块右下角的红色 LED 指示电源的状态。

2) 通信

模块上方的 RS-232 串行接口通过 RS-232 通信电缆和 PC 相连, 用于 MCU 与主机之间的通信。

3. 跳线设置

HC08 系列 MCU 模块 E1 利用跳线方式进行电源、工作模式和串行通信接

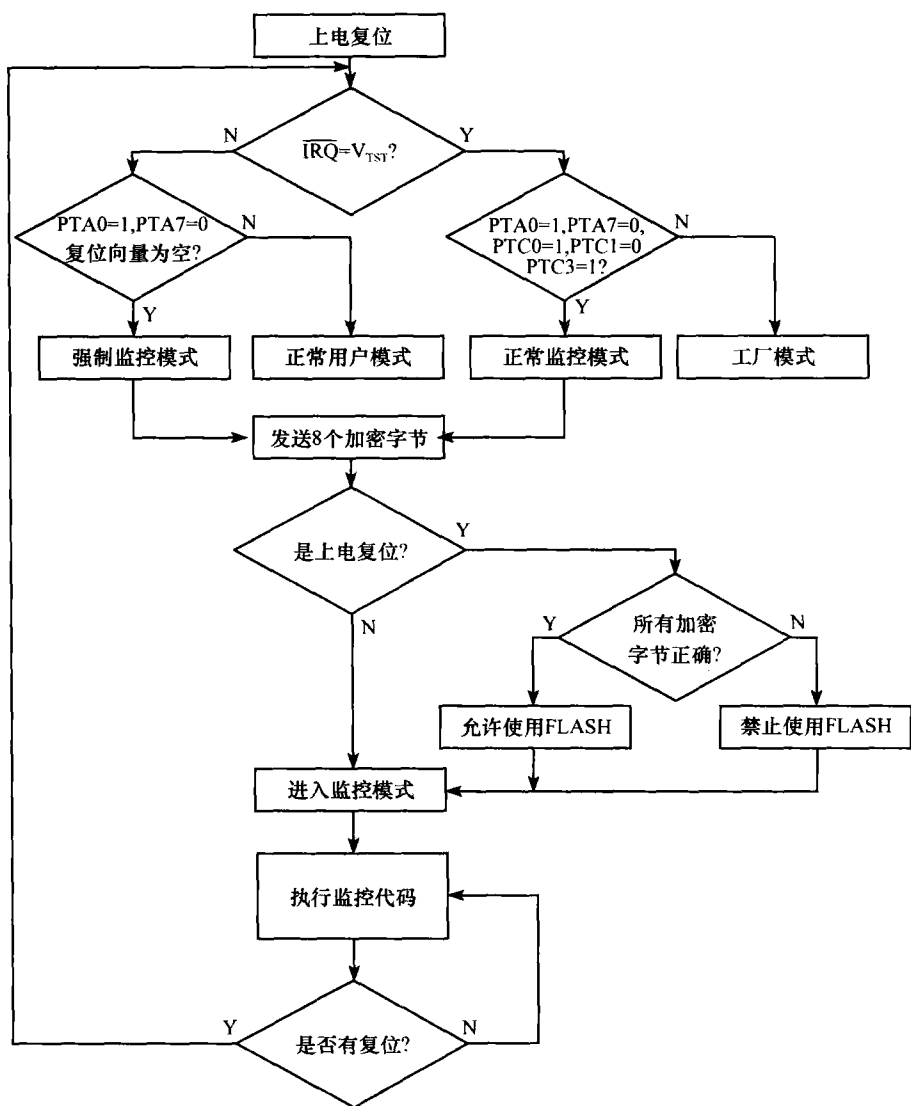


图 1-6 HC08 系列 MCU 进入监控模式流程

口等选择。

1) 电源选择

模块右边的 PW_SEL1 跳线用于电源输入方式选择：左边 USB 为 USB 接口电源输入，右边 EXT 为内插针圆头插座电源输入。

2) 工作模式选择

模块左边的 JP4 跳线用于模块工作方式选择：左边 RUN 为正常工作方式；右边 MON 为 Monitor 方式。在 Monitor 方式下，配合 Freescale CodeWarrior

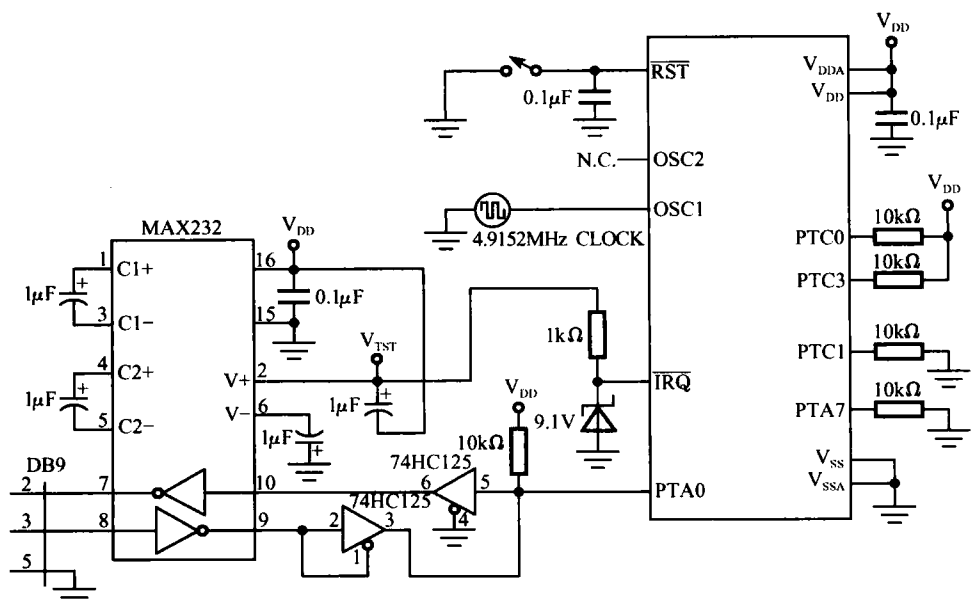


图 1-7 HC08 系列 MCU 标准监控模式电路

IDE “Mon08 Interface” 连接方式可以完成程序的下载、在线调试等功能，左上角的绿色 LED 指示模块是否进入 Monitor 方式。

在线调试方式占用了 PTA0、PTA7、PTC0、PTC1、PTC3、 \overline{IRQ} 等 I/O 口，如果与用户程序发生冲突，可能无法进行在线调试。

模块左上角 RESET 按钮用于系统异常或需要时的人工复位。

3) 串行通信接口选择

模块左边的 COM_SEL1 和 COM_SEL2 跳线用于串行通信接口工作方式选择：接到左边 RD-M、TD-M 时，通过 I/O 口 PTA0 为 MCU 的 Monitor 方式提供程序下载、调试的连接；接到右边 TXD、RXD 时，为 MCU 的常规串行通信提供连接。

4) 晶振选择

Monitor 方式下，模块使用 4.9152MHz 的外部有源晶振。

正常工作方式下，可由模块中间的 OSC1、OSC2 跳线选择使用外部晶振或外部时钟：短接时为外部晶振（32.768kHz）方式，通过对内部 PLL 电路的编程倍频产生所需的总线时钟；断开时则可根据需要接入相应的外部时钟信号。

1.2.3 PIC 系列 MCU 模块 F1

1. 电路原理

PIC 系列 MCU 模块 F1（图 1-8）包括仿真及程序下载控制电路和实验电路两部分。

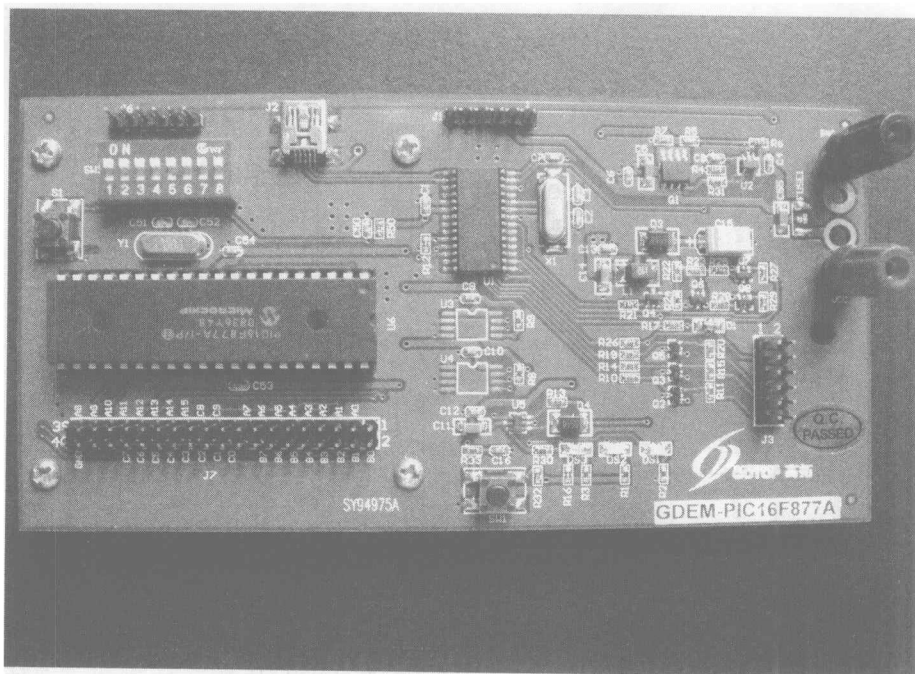


图 1-8 PIC 系列 MCU 模块 F1

(1) 仿真及程序下载控制电路采用了 PICKit 2 设计 (图 1-9), 由 PIC18F2550 控制; 用户通过微型 USB 接口 J2 与 PC 连接, 进行程序的调试和下载。

电源供电时绿色 LED 亮, 有数据通信 (如仿真运行) 时黄色 LED 闪烁。

下方的按钮 SW1 用于复位。

(2) 在实验电路 40 脚插座上插入 PIC 系列 MCU (如 PIC16F877A, 如图 1-10 所示), 采用 4MHz 外部晶振。

2. 接线

(1) 电源 VCC 和 GND 的接线柱位于模块右侧, 分别连接到 DP-01 实验平台的 C1 电源接口模块的 VCC (+5V) 和 GND。

(2) 将仿真及下载控制电路的 J6 和实验电路的 J3 (1 侧) 用 6 芯排线相连, 用于两部分数据交换, 注意接线顺序应使 J6 左侧第 1 个引脚与 J3 (1 侧) 顶端第 1 个引脚相连; 并将 SW2 拨动开关全部打到 “ON” 一侧。

(3) 将实验电路的 J7 双排线接口与 MCU 总线接口模块 A2 的 J79 插座用 40 芯排线相连, 以控制 DP-01 的外设模块。

(4) 仿真调试下载通信时, 将微型 USB 接口 J2 与 PC 机的 USB 接口相连。