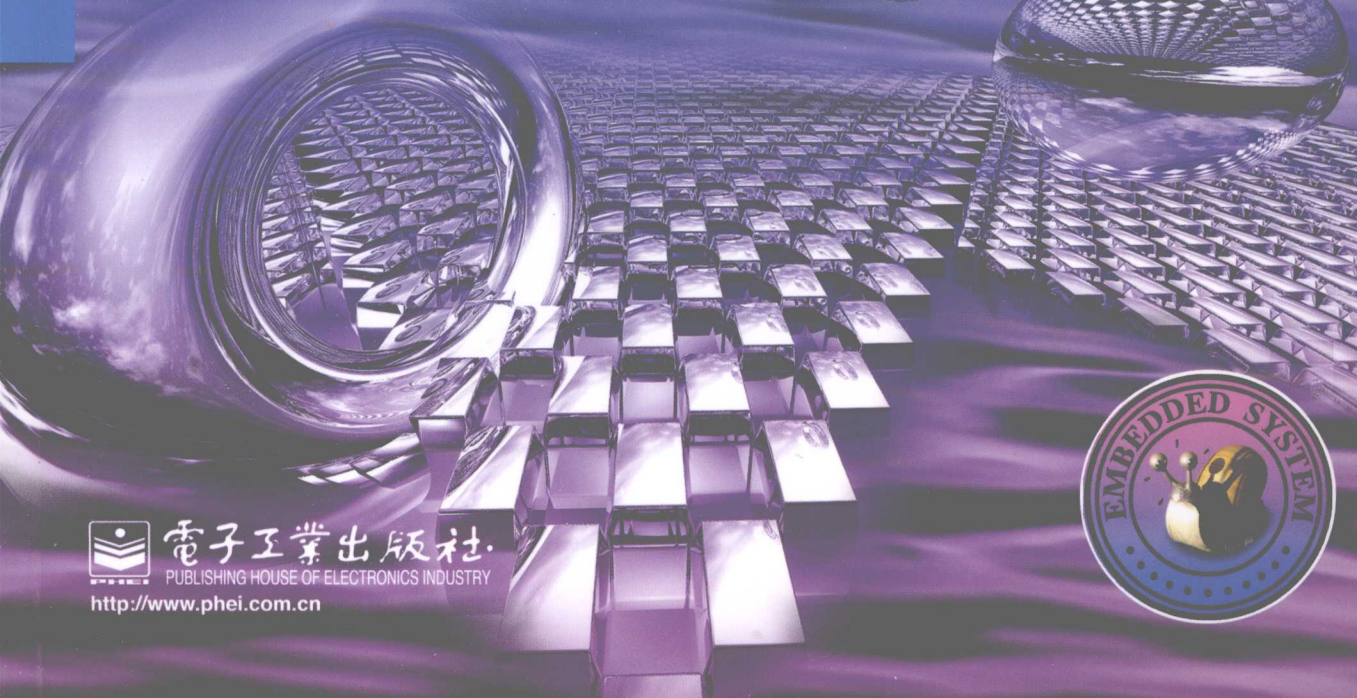
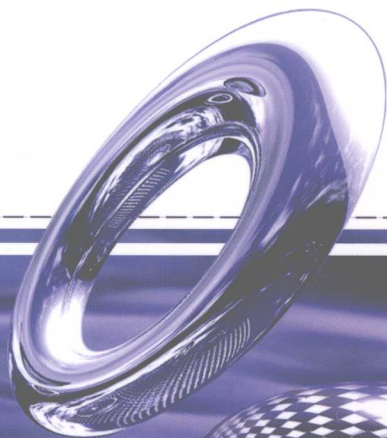


嵌入式技术与应用丛书

EMBEDDED
SYSTEM

基于单片机的 嵌入式工程开发详解

罗强 主编 陈丽雪 副主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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



TP368.1
349
1=

嵌入式技术与应用丛书

基于单片机的嵌入式工程开发详解

罗 强 主编

陈丽雪 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书通过 51 系列单片机芯片 W78E516B 开发信息采集终端的工程实例, 以详细的硬件电路开发流程和嵌入式软件系统的构建, 让读者清楚地了解工程开发的整个过程。

本书以工程实例的开发流程为线索, 涵盖了 51 系列单片机诸如存储器扩展、综合电源控制、时钟电路、定时器、I/O 控制、A/D 转换、液晶显示、串口通信、单片机中断等主要应用技术。同时详细地介绍了实时多任务操作系统 Small RTOS51 的工程应用。本书包含了大量实用程序代码, 并且都是基于 C 语言编写, 通过阅读这些程序代码, 读者可以深入理解 Keil C51 语言编程思想和技巧。

本书对于已初步了解单片机原理, 但缺乏实际工程经验的初学者来说是一本不可多得的参考资料, 也适合从事单片机应用开发的广大工程技术人员和大专院校相关专业教材参考之用。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

基于单片机的嵌入式工程开发详解 / 罗强主编. —北京: 电子工业出版社, 2009.1

(嵌入式技术与应用丛书)

ISBN 978-7-121-07019-8

I. 基… II. 罗 III. 单片微型计算机—系统设计 IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 096330 号

策划编辑: 高买花

责任编辑: 裴 杰

印 刷: 北京牛山世兴印刷厂
装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 20.75 字数: 531 千字

印 次: 2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 4000 册 定价: 43.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

作为一名硬件工程开发人员，回顾以往的学习、工作经历，有太多感慨。当初刚刚走出校门的时候是踌躇满志，对将要从事的硬件开发，自认为在学校已经学到了很多知识，比如：单片机原理、数电、模电、C 语言编程、电路板制作等，觉得自己可以大显身手了，可一到实际的工程中，情况就不一样了。有一种“纸上得来终觉浅”的感觉，觉得以往学习的知识在实际中不知该如何着手。因此，积累一定的工程经验也就相当重要了，而这是我们在学校的教材中所不能学到的。现在学习硬件工程开发的人员同样也面临相同的问题，为此我们就想把自己的一段工程开发经验写下来，以饗读者：“绝知此事要躬行。”

现在市面上有很多关于单片机的书籍，这些书大多先从单片机基本原理讲起，然后讲其开发环境，再讲外围电路硬件模块，最后讲软件实现，并且使用的多是汇编语言。若要学习单片机的原理，这些书籍相当不错，但要想通过学完这样的一本书就能开发产品，是很困难的。因此在本书中，编者没有按照教科书式的写法，而是以工程开发流程为线索，不是一开始就把单片机的基本原理和编程语言呈现给读者，而是在工程开发中遇到相关的问题时进行引用并且进行详细的补充讲解，这也符合工程开发中遇到一个问题解决一个问题思想。现在很多工程技术人员在工程开发中遇到问题，就会系统地把整个理论都从头学习一遍，这种方法对于知识的积累和总结来说，无可厚非，但工程开发是有时间限制的，不允许人们花很长的时间来系统学习。另外，本书中会把一些芯片资料详细地提供给大家，这也是为了让读者养成阅读厂家提供的芯片资料的习惯。另外，本书还有一大特点，所有的软件代码都用 C 语言编写，方便读者阅读和应用。

现在嵌入式系统的开发很热门，大量的书籍和宣传让初学者形成了一个误区，认为嵌入式开发就必须是在 ARM 级别或更高主频的芯片上才能实现，在单片机上是不可能实现嵌入式软件开发的。其实嵌入式技术只是一种开发应用程序的方法，适合任何硬件的开发，同样也适合单片机。市面上已经有许多介绍单片机实时多任务操作系统的书籍，但很少有关于实际工程应用的。本书基于一款嵌入式实时操作系统，详细地讲解嵌入式实时操作系统 Small RTOS51 在工程上的应用。

本书本着理论与实践相结合的原则，以通俗易懂的语言描述，应该适合以下几类读者：

- 初步了解单片机原理，但缺乏实际工程经验的初学者；
- 从事单片机应用开发的工程技术人员；
- 从事开发操作系统应用的技术人员；
- 用 C 语言编写应用程序的开发者。

本书内容涵盖广泛，总体分为三个部分。如果读者是初涉单片机的新手，那么应该首先阅读第一部分的基础篇即第 1 章；如果读者已经熟悉单片机的基本原理和编译环境，可以跳过第 1 章，从第二部分的工程硬件篇开始阅读，这部分从第 2 章至第 12 章；第三部分为工程软件篇，包括第 13 章、第 14 章。在学习完第二部分的各章节后再学习第三部分内容。第二部分以后的各章是循序渐进的，所以要依次阅读。

本书由罗强主编、陈丽雪副主编，冼进审校。同时参与本书工作的人员还有：王治国、冯强、曾德惠、许庆华、程亮、周聪、黄志平、胡松、邢永峰、邵军、边海龙、刘达因、赵婷、马鸿娟、侯桐、赵光明、李胜、李辉、侯杰、王红研、王磊、闫守红、康涌泉、李欢、蒋杼倩、王小东、张森、张正亮、宋利梅、何群芬、程瑶等，在此一并感谢。

感谢四川大学智能研究所给予的大力支持；感谢王标、赵剑萍给予的帮助；感谢在编写本书时陪伴着我的家人和朋友。

由于作者水平所限，加之网络技术发展迅速，本书的覆盖面广，书中错误和不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。联系方式：rongzht@163.com。

编者

于四川大学

目 录

第 1 部分：基础篇

第 1 章 单片机与编译环境	3
1.1 MCS-51 简介	3
1.2 “Winbond 78E516B” 芯片功能详解	4
1.2.1 芯片概述	4
1.2.2 引脚描述	5
1.2.3 功能框图	6
1.2.4 功能描述	7
1.2.5 时序波形图	11
1.2.6 电气特性	16
1.3 编译环境	16
1.3.1 “Keil μ Vision2” 主界面介绍	17
1.3.2 创建项目	21
1.3.3 编译与连接	21
1.3.4 程序调试	25
1.4 本章小结	26

第 2 部分：工程硬件篇

第 2 章 工程项目介绍	29
2.1 信息采集终端的工程背景	29
2.2 系统硬件方案设计	29
2.2.1 硬件设计框图	29
2.2.2 系统原理图	30
2.3 本章小结	34
第 3 章 单片机最小系统	35
3.1 最小系统功能介绍	35
3.2 电路设计	35
3.2.1 单片机最小系统电路图	35
3.2.2 电源模块	35
3.2.3 时钟电路	36
3.2.4 复位电路	37
3.3 软件设计——“hello,world!” 工程项目构建	38
3.4 本章小结	41

第4章 看门狗电路	42
4.1 看门狗原理介绍	42
4.1.1 软件看门狗采用纯软件程序来实现看门狗功能	42
4.1.2 硬件看门狗	43
4.2 电路设计	44
4.2.1 系统电路图	44
4.2.2 “MAX813L” 芯片介绍	44
4.2.3 看门狗电路	47
4.3 软件设计——清狗功能实现	48
4.4 本章小结	49
第5章 系统电源设计	50
5.1 工程实例背景及功能分析	50
5.2 电路设计	52
5.2.1 系统电源电路	52
5.2.2 双电源选择输入电路	54
5.2.3 “MAX1659” 芯片介绍	55
5.2.4 唤醒电源 V_{CI} 电路	56
5.2.5 主电源 V_{CC} 电路	57
5.2.6 液晶背光控制电源 “LED+”	57
5.2.7 “MODEM” 控制电源	58
5.2.8 传感器供电控制电路	58
5.3 软件设计——电源控制功能的实现	59
5.4 本章小结	60
第6章 外部数据存储扩展	61
6.1 工程实例背景及功能分析	61
6.1.1 系统总线结构	61
6.1.2 存储器扩展方式	62
6.1.3 工程实例应用	64
6.2 电路设计	64
6.2.1 系统电路图	64
6.2.2 “DS1230Y” 芯片介绍	64
6.2.3 “MC74HC573” 芯片介绍	71
6.2.4 片外 RAM 扩展电路及功能说明	71
6.3 软件设计	72
6.3.1 Keil C51 编译器环境下存储空间的访问	72
6.3.2 程序举例	74
6.4 本章小结	76

第7章 基本“I/O”功能及扩展	77
7.1 单片机基本“I/O”原理	77
7.1.1 四个输入/输出(I/O)口介绍	77
7.1.2 “I/O”口的设计	78
7.2 工程实例背景及功能分析	78
7.3 电路设计	79
7.3.1 系统电路图	79
7.3.2 报警电路图及功能说明	79
7.3.3 “74HC138”芯片介绍	82
7.3.4 “74HC02”和“74HC00”芯片介绍	83
7.3.5 基本“I/O”扩展电路	84
7.3.6 并口扩展电路	85
7.4 软件设计	86
7.4.1 基本“I/O”口的操作	86
7.4.2 报警功能实现	87
7.4.3 基本“I/O”扩展实现	88
7.5 本章小结	90
第8章 实时时钟电路	91
8.1 工程实例背景及功能分析	91
8.1.1 实时时钟概述	91
8.1.2 RTC的应用	92
8.2 单片机中断系统原理	92
8.2.1 中断和中断嵌套	92
8.2.2 “W78E516B”中断系统	93
8.2.3 中断响应过程	96
8.2.4 外部中断方式	97
8.3 电路设计	98
8.3.1 系统电路图	98
8.3.2 “DS12C887”芯片介绍	98
8.3.3 实时时钟电路及功能说明	106
8.3.4 片选信号DS_CS的产生	106
8.4 软件设计	107
8.4.1 设置时钟时间	107
8.4.2 读取时钟实现	110
8.4.3 Keil C51 环境下的中断编程	112
8.4.4 时钟定时启动单片机	112
8.5 本章小结	115

第 9 章 键盘输入和电源指示电路	116
9.1 工程实例背景及功能分析	116
9.1.1 键盘工作原理	116
9.1.2 独立式按键接口设计	117
9.1.3 工程实际应用	118
9.2 系统电路图	118
9.2.1 键盘输入电路及功能说明	118
9.2.2 键盘唤醒电路及功能说明	123
9.2.3 电源指示电路及功能说明	124
9.3 软件设计	124
9.3.1 键盘软件处理方式介绍	124
9.3.2 键盘驱动实现	125
9.4 本章小结	134
第 10 章 LCD 显示的实现	135
10.1 工程实例背景及功能分析	135
10.2 图形液晶模块“VPG19264”介绍	135
10.2.1 显示模块外部接口引脚	135
10.2.2 内部工作原理	136
10.2.3 指令系统	138
10.3 电路设计	139
10.3.1 系统电路图	139
10.3.2 LCD 接口电路及功能说明	143
10.4 软件设计	144
10.4.1 汉字显示原理	144
10.4.2 系统配置头文件“config.h”	145
10.4.3 LCD 显示驱动头文件“LCDControl.h”	146
10.4.4 字库头文件“ziku.h”	147
10.4.5 LCD 显示驱动实现	150
10.4.6 主函数实例	161
10.4.7 文件结构	162
10.5 本章小结	163
第 11 章 采样接口与 A/D 转换电路	164
11.1 工程实例背景及功能分析	164
11.1.1 传感器在工程中的应用	164
11.1.2 采样接口电路在工程中的应用	164
11.1.3 A/D 转换电路在工程中的应用	165
11.2 电路设计	166
11.2.1 系统电路图	166

11.2.2	“TLC2543”芯片说明	170
11.2.3	“MC1403”芯片说明	175
11.2.4	采样接口电路及功能说明	176
11.2.5	A/D 转换电路及功能说明	177
11.3	软件设计	178
11.3.1	文件结构	178
11.3.2	“ADControl.c”源文件功能说明	179
11.3.3	“ADControl.h”头文件	184
11.3.4	“config.h”头文件	185
11.3.5	“main.c”文件	187
11.4	本章小结	189
第 12 章	RS-232C 通信电路	190
12.1	工程实例背景及功能分析	190
12.1.1	串行通信基础知识	190
12.1.2	MCS-51 的串口结构	192
12.1.3	RS-232C 在工程实例中的应用	193
12.2	RS-232C 标准介绍	194
12.2.1	RS-232C 引脚定义	194
12.2.2	RS-232C 接口连接	194
12.2.3	RS-232C 电气特性	196
12.2.4	RS-232C 电平转换	196
12.3	电路设计	196
12.3.1	系统电路图	196
12.3.2	“TL16C550B”芯片介绍	200
12.3.3	“MAX235E”芯片介绍	210
12.3.4	RS-232C 接口电路图及功能说明	212
12.4	软件设计	214
12.4.1	软件实例功能说明	214
12.4.2	通信协议说明	214
12.4.3	文件结构	215
12.4.4	“UART.h”头文件说明	215
12.4.5	“UART.c”源文件功能说明	218
12.4.6	“config.h”头文件	221
12.4.7	“main.c”文件	223
12.5	本章小结	232

第3部分：工程软件篇

第13章 嵌入式实时操作系统 Small RTOS51	235
13.1 嵌入式实时操作系统基本概念	235
13.1.1 实时系统	235
13.1.2 实时操作系统	236
13.1.3 代码的临界区	236
13.1.4 任务	236
13.1.5 任务优先级	237
13.1.6 任务切换	237
13.1.7 占先式内核	237
13.1.8 信号量	238
13.1.9 消息队列	241
13.1.10 中断	242
13.1.11 时钟节拍	243
13.2 Small RTOS51 简介	243
13.2.1 Small RTOS51 的特点	243
13.2.2 运行条件	244
13.2.3 存储器需求	244
13.2.4 任务堆栈的计算	244
13.2.5 对 51 系列单片机寄存器段的要求	244
13.2.6 对局部变量的要求	245
13.3 Small RTOS51 内核原理	247
13.3.1 堆栈工作原理	247
13.3.2 信号量原理	248
13.3.3 消息队列原理	250
13.3.4 系统时钟节拍中断原理	253
13.4 Small RTOS51 使用方法	253
13.4.1 Small RTOS51 的安装及目录结构	253
13.4.2 头文件	254
13.4.3 初始化和启动	254
13.4.4 建立任务	255
13.4.5 编写用户任务	256
13.4.6 系统配置	256
13.4.7 信号量的使用方法	257
13.4.8 消息队列的使用方法	257
13.5 Small RTOS51 系统配置手册	259
13.6 Small RTOS51 函数快速查阅手册	261

13.7 本章小结.....	265
第 14 章 软件系统设计.....	266
14.1 软件设计的工程背景.....	266
14.2 软件功能设计.....	267
14.3 Small RTOS51 的移植.....	268
14.3.1 与系统相关的宏.....	268
14.3.2 与编译器无关的变量类型.....	269
14.3.3 OSStart().....	269
14.3.4 OSTickISR().....	271
14.3.5 OSIdle().....	272
14.3.6 OSIntCtxSw().....	273
14.3.7 OS_TASK_SW().....	273
14.4 工程文件结构.....	274
14.5 基于 RTOS51 的驱动程序组.....	274
14.5.1 LCD 驱动程序.....	275
14.5.2 时钟芯片“DS12C887”驱动程序.....	279
14.5.3 A/D 转换芯片“TLC2543”驱动程序.....	280
14.5.4 键盘操作驱动程序.....	282
14.5.5 异步收发器“TL16C550B”驱动程序.....	288
14.5.6 通信协议驱动程序.....	292
14.6 任务组.....	296
14.6.1 任务功能区分.....	296
14.6.2 任务优先级分配.....	297
14.6.3 任务间通信.....	299
14.7 任务功能分析.....	301
14.8 本章小结.....	317
参考文献.....	318

第1部分：基础篇



第1章 单片机与编译环境

第1章 单片机与编译环境

什么是单片机，单片机的内部结构是什么？许多单片机教材都做了很好的定义和说明，在这里就不再赘述。与同类书相比，本书是直接面向工程设计的。因此，在本章中，通过释义和讲解一款单片机芯片的资料，让大家初步了解单片机的内部结构和工作原理。当然，这些只是一些初步的知识，随着后面开发的深入，读者逐渐会更清楚、更深刻地理解单片机。

1.1 MCS-51 简介

单片机也被称为微控制器（Microcontroller），是因为它最早被用在工业控制领域。单片机由芯片内仅有的 CPU 专用处理器发展而来。

MCS-51 是指由“Intel”公司生产的系列单片机的总称，它的基本型产品是“8031”，“8051”和“8751”。其中“8051”是最早、最典型的产品，其他单片机都是在“8051”的基础上改制而来的，所以人们习惯于用“8051”来称呼 MCS-51 系列单片机。“Intel”公司将 MCS-51 的核心技术授权给了很多公司，所以很多公司在做以“8051”为核心的系列单片机，如“Winbond 78E516B”就是由台湾华邦电子公司开发生产的，本书所介绍的工程项目就是用“Winbond 78E516B”单片机来完成的。

值得一提的是，现在的计算机体系结构分成两类：冯·诺依曼结构和哈佛结构。常见的专用处理器（CPU）就是冯·诺依曼结构，它的最大的特点是整个存储器逻辑空间只有一个，可随意安排程序存储空间和数据存储空间，ARM 系列的 32 位芯片就是基于这种体系结构。而哈佛结构将程序存储器和数据存储器分开，并有各自的寻址机构和寻址方式，并且使用独立的两条总线，分别作为 CPU 与每个存储器之间的专用通信路径，而两条总线之间毫无关联。这种结构体系的处理器一般运用于需要较大的运算量和较高的运算速度的数字信号处理，比如“DSP”芯片，可以说哈佛结构比起冯·诺依曼结构有许多优势。8 位单片机就属于哈佛结构，想想这是多么的神奇啊，小小的单片机居然和“DSP”是同一个体系结构，所以学好单片机是学习其他微处理芯片的基础。

单片机比起专用处理器应用于嵌入式系统再合适不过了，因而它得到了充分应用。在人们生活和工作中，几乎都会有单片机的影子，如手机、电话、计算器、家用电器、电子玩具、掌上电脑以及鼠标等电脑配件中都配有 1~2 个单片机。如今大量的嵌入式操作系统已被广泛地应用于单片机系统，而作为掌上电脑和手机核心处理器的高端单片机甚至可以直接使用专用的“WinCE”和“ μ CLinux”操作系统。

1.2 “Winbond 78E516B” 芯片功能详解

本节按照“W78E516B”的芯片资料及结构给大家介绍单片机的原理，为了便于读者的阅读和理解，补充了一些额外的知识点。

如果你是第一次阅读芯片资料可能会觉得这种结构很凌乱，不好理解。的确是这样的，但芯片资料都是这种结构，所以请你多一点耐心把这部分看完，因为对于专业的电子工程师来说，阅读相关的芯片资料是基本功。

1.2.1 芯片概述

1. “W78E516B” 介绍

“W78E516B”是一款低功耗 8 位微控制器；片内具有带 ISP 功能的“Flash EPROM”；“ISP”功能的“Flash EPROM”可用于固件升级。其指令集同标准“8052”完全兼容。“W78E516B”包含 64KB 的主 ROM，4KB 的辅助 ROM（位于 4KB 辅助 ROM 中的装载(loader)程序，可以让用户更新位于 64KB 主 ROM 中的程序内容）。512B 片内 RAM；4 个 8 位双向、可位寻址的“I/O”口；一个附加的 4 位“I/O”口 P4；3 个 16 位定时/计数器及一个串行口。这些外围设备都由 8 个中断源和 2 级中断能力的中断系统的支持。

“W78E516B”内含的 ROM 允许电编程和电读写，这样用户就可以很方便地进行编程和验证。代码确定后，就可以对代码进行保护。“W78E516B”有两种节电模式：空闲模式和掉电模式，两种模式均可由软件来控制选择。空闲模式下，处理器时钟被关闭，但外设仍继续工作。在掉电模式下晶体振荡器停止工作，以将功耗降至最低。外部时钟可以在任何时间及状态下被关闭，而不影响处理器的运行。

2. 特性

- 全静态设计的“CMOS ” 8 位微处理器频率最高达 40MHz。
- 64KB 并带“ISP”功能的“Flash EPROM”，用来存储应用程序（APROM）。
- 4KB 的辅助 ROM，用来存储装载程序（LDROM）。
- 512B 片内暂存 RAM（包括 256B 的软件可选的“AUX-RAM”）。
- 64KB 程序存储器地址空间和 64KB 数据存储器地址空间。
- 4 个 8 位双向“I/O”口。
- 一个 4 位多功能可编程口。
- 3 个 16 位定时/计数器。
- 一个全双工串行口（UART）。
- 8 个中断源，2 级中断优先级嵌套能力。
- 内建电源管理。
- 代码保护机制。
- 封装：

--DIP40: W78E516B-40

--PLCC44: W78E516BP-40

3. 引脚配置

40PIN DIP (W78E516B), 如图 1-1 所示。

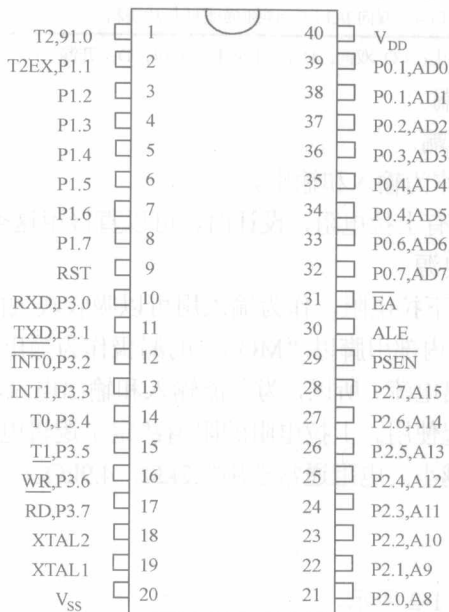


图 1-1 “W78E516B” 芯片引脚封装

1.2.2 引脚描述 (见表 1-1)

表 1-1 芯片引脚描述

符 号	类 型	描 述
$\overline{\text{EA}}$	I	外部程序存储选择线: 此引脚使能处理器访问外部 ROM。如果 EA 引脚为高电平, 程序计数器指向片内 ROM 空间, ROM 的地址和数据就不会出现在总线上
$\overline{\text{PSEN}}$	O H	片外程序存储选通使能: $\overline{\text{PSEN}}$ 允许外部 ROM 数据出现在 P0 口的地址/数据总线上。当访问内部 ROM 时, 此引脚上不输出 $\overline{\text{PSEN}}$ 的选通信号
ALE	O H	地址锁存使能: ALE 用于将 P0 口地址锁存, 使其和数据分离。ALE 以晶振 1/6 频率运行
RST	I L	复位: 振荡器运行时, 此引脚上出现两个机器周期的高电平将使器件复位
XTAL1	I	石英晶体 1: 晶体振荡器的输入。此引脚可由一个外部时钟驱动
XTAL2	O	石英晶体 2: 晶体振荡器的输出。XTAL2 是 XTAL1 的反相端
V _{SS}	I	地: 地电位
V _{DD}	I	电源: 电源工作电压
P0.0~P0.7	I/O D	端口 0: 与标准 8052 相同