



高等院校精品课程系列教材

省级优质课程配套教材, 省级精品资源共享课程配套教材
STC公司大学计划推荐教材, STC杯单片机系统设计大赛参考教材
STC公司推荐的全国大学生电子设计竞赛STC单片机参考教材

单片微机原理及接口技术

——基于STC15W4K32S4系列高性能8051单片机

朱兆优 姚永平等编著

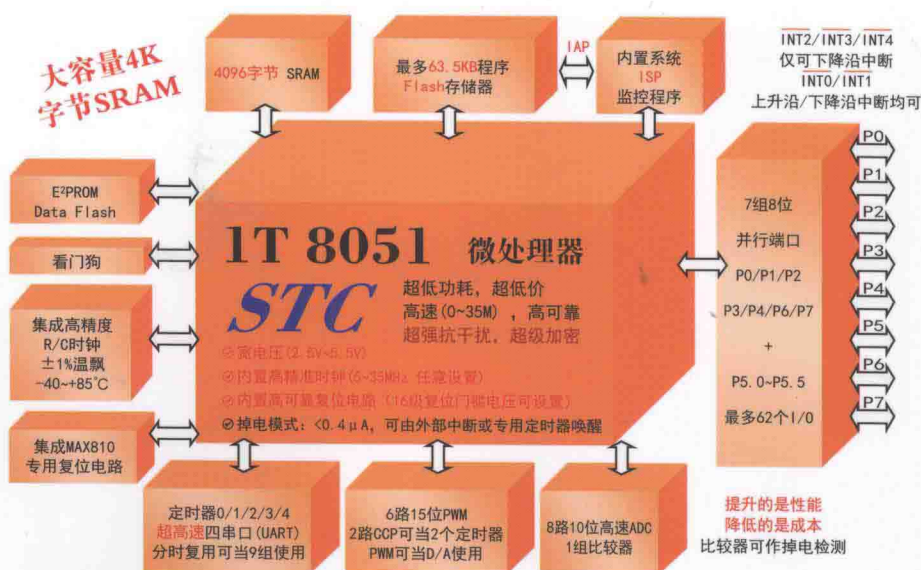


免费电子教案下载

www.cmpedu.com

送仿真器

一个芯片就是一个仿真器



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



高等院校精品课程系列教材

单片微机原理及接口技术

——基于 STC15W4K32S4 系列高性能 8051 单片机

朱兆优 姚永平 等编著



机械工业出版社

本书系统、全面地介绍了基于 STC15W4K32S4 系列高性能 8051 单片机的基本原理、硬件结构、指令系统和内部功能部件,并从应用的角度介绍了汇编语言程序设计、单片机外部电路的扩展,以及与键盘、LED 显示、LCD 显示、打印机等多种硬件接口的设计方法,对串行 A-D、D-A 和并行 A-D、D-A 转换器接口方法和典型应用作了详细介绍。本书结构完整,内容丰富,应用实例详实,示例内容精练,力求做到与市场接轨,与现实同步,既重视原理,又注重实效。

本书配有 PPT 电子课件、程序源代码、实验项目、课程设计指导书等教学资源。需要的读者可登录 www.cmpedu.com 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 3046009282, 电话: 010-88379753)。为便于实验环节的教学,STC 公司为任课教师免费提供 STC 单片机实验箱。

本书可作为高等院校相关专业单片机课程的教材,也可供电子技术、计算机应用方面的工程技术人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

单片微机原理及接口技术:基于 STC15W4K32S4 系列高性能 8051 单片机/
朱兆优等编著. —北京:机械工业出版社,2015.9

高等院校精品课程系列教材

ISBN 978-7-111-51881-5

I. ①单… II. ①朱… III. ①单片微型计算机-基础理论-高等学校-教材
②单片微型计算机-接口技术-高等学校-教材 IV. ①TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 247813 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:时 静

责任校对:张艳霞

责任印制:李 洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2015 年 11 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·25.75 印张·635 千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-51881-5

定价:59.80 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010)88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010)88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

序

21 世纪全球进入了计算机智能控制与物联网时代，而其中的一个重要方向就是以单片机为代表的嵌入式系统控制与计算。最有使用价值的 8051 单片机已有 30 多年的应用历史，绝大部分工科院校均有此课程，有几十万名对 8051 单片机十分熟悉的工程师可以相互交流、学习、开发心得，有大量的经典程序和电路可以直接借用，从而大幅降低了开发风险，极大地提高了开发效果，这也是 STC 宏晶科技/南通国芯微电子有限公司生产基于 8051 内核单片机产品的巨大优势。

Intel 8051 技术诞生于 20 世纪 70 年代，因此不可避免地面临着落伍境地。为此，STC 宏晶科技对其 8051 单片机进行了全面的技术升级与创新，经历了 STC89/90、STC10/11、STC12 以及 STC15 系列，累计发布上百种产品：全部产品均采用 Flash 和 ISP/IAP 技术；针对干扰问题进行了超强抗干扰和加密设计，使得 STC15 系列无法破解；对传统 8051 进行了全面提速，相同时钟频率下指令速度提高了 7 倍，最快提高了 24 倍，时钟从传统的 12 MHz 提高到最快 30 MHz；而且芯片集成度也大幅提高，内部集成了 A-D、CCP/PCA/PWM、高速同步串行通信口 SPI、4 个高速异步串行通信口 UART、5 个定时器/计数器、看门狗、内部高精度时钟、内部高可靠复位电路、大容量 SRAM、E²PROM 和 Flash 程序存储器等；对单片机的定时器/计数器改造为支持 16 位自动重载，串口通信波特率计算改造为 [系统时钟/4/(65536-重载数)]，极大地简化了教学；针对实时操作系统 RTOS 推出了不可屏蔽的 16 位自动重载定时器（定时器 0 的模式 3）。

STC 宏晶科技新近推出的 STC15W4K32S4 系列单片机，具有宽电压工作范围，无须任何转换芯片，可直接通过电脑 USB 接口进行 ISP 下载编程，内部集成有 4 KB SRAM、7 个定时器、4 个串口，还集成了比较器、带死区控制的 6 路 15 位专用 PWM 等高性能部件。

软件方面开发出功能强大的 STC-ISP 在线编程软件，并且在 STC-ISP 烧录软件中提供了大量的贴心工具，如范例程序、定时器计算器、软件延时计算器、波特率计算器、头文件、指令表和 Keil 仿真设置等。新推出的 IAP15W4K58S4 单片机，一个单芯片就是一个仿真器（OCD，ICE），是全球第一个实现单芯片可仿真的单片机，彻底抛弃了 J-Link/D-Link 通信接口。

STC 大学计划

STC 全力支持我国的单片机/嵌入式系统教育事业，STC 大学计划正如火如荼地进行中，陆续开展向普通高等学校电子信息、自动化、物联网等相关专业赠送可仿真的 STC 单片机实验箱，共建 STC 高性能单片机联合实验室，本教材为 STC 大学计划的合作教材，也是“STC 杯”单片机系统设计大赛的推荐教材。

与 STC 共建高性能单片机联合实验室的高校有：上海交通大学、西安交通大学、浙江大学、华中科技大学、山东大学、东华理工大学、哈尔滨工业大学、天津大学等国内著名 985/211 及电类本科高校 100 多所，以及广东轻工职业技术学院、深圳信息职业技术学院、深圳职业技术学院等 20 多所国内著名的职业院校。

为了进一步深入开展 STC 大学计划，在教育部教育管理信息中心的倡导下，我们设立了“STC 杯单片机系统设计大赛”。2014 年 12 月，在北京航空航天大学举行的第九届“STC

杯单片机系统设计大赛”吸引了全国数百所高校的近 1100 支队伍参加，很多高校在竞赛中能创造性地应用 STC 单片机，使 STC 单片机深受广大师生喜爱。同时，上海交通大学、西安交通大学、浙江大学、山东大学、哈尔滨工业大学、成都电子科技大学等著名高校的多位知名教授也正在创作编写基于 STC 1T 8051 单片机的全新教材。

对单片机教学的看法

近年来，围绕嵌入式系统的教学在企业界和教育界存在不同的看法：高校的学生到底应该先学 32 位的微控制器好，还是先学 8051 单片机好？我觉得应该是从 8 位的 8051 单片机入门比较合适。因为现在大学嵌入式课程一般为 60 个学时，有的只有 40 个学时，学生能把 8051 单片机学懂，真正能做出产品，工作以后就能触类旁通。但如果用 40 个学时去学 ARM，学生不仅学不懂，而且使学生今后有畏难情绪，嵌入式第一门课就将学生吓倒，可能他终生也不会再碰嵌入式开发。所以我们要培养学生的信心，而不是唱高调伤害了他们。所以，大一、大二还是应该先以 8 位单片机入门，大三时对学有余力的学生再选修 32 位的嵌入式课程。汇编是基础、C 语言是应用，它们应融合教学。

对大学工科非计算机专业 C 语言教学的看法

目前，我国工科非计算机专业介绍标准 C 语言的书籍大多不切实际，学生学完之后不知道干什么，而且上机编程操作时要从 Windows 返回到 DOS 下运行，使得所学的 C 语言不能在 PC 上完成设计，在单片机上也应用不了。因此，需要对单片机教学进行改革：建议在大一的第二学期开设 Windows 下的 C++ 程序设计，打好程序设计基础；在大二的第一学期开设单片机课程，将单片机汇编语言和 C 语言（嵌入式 C 语言、面向控制的 C 语言）集合在一起学习，学生学完后就能用单片机做实际应用。在学完模电、数电（FPGA）、数据结构、RTOS（实时操作系统）、传感器原理、自动控制原理、数字信号处理等后，在大三再开设一门综合电子系统设计课程，这样就能循序渐进地培养出真正能动手实践的应用型人才。另外，嵌入式 C 语言有多个版本，目前国内流行 Keil C 版本，现在我们也正在开发中国人自己的 C 编译器。

我们要推动中国工科非计算机专业高校教学的改革、研究成果的具体化，促进大量高校创新教材的推出。朱兆优老师的这本教材，就是我们高校教学改革研究成果的具体体现。朱老师在长期的单片机教学研究与实践中积累了丰富的经验，总结出很多单片机应用设计与编程技巧，以飨读者。希望能在我们这一代人的努力下，让我们中国的嵌入式单片机系统设计全球领先。

感谢 Intel 公司发明了经久不衰的 8051 体系结构，感谢朱兆优老师的新书，使得中国 30 年来的单片机教学与世界同步。

我们将本书确定为 STC 大学计划的推荐教材、STC 单片机系统设计大赛的推荐教材，对于采用本书作为教材的高校将优先免费获得宏晶科技提供的可仿真的 STC 实验箱（详见第 15 章）。

STC MCU Limited; Andy

www.STCMCU.com www.GXWMCU.com

前 言

自从1972年Intel公司推出第一颗单片机微处理器以来,计算机技术闪电般地经历了从8088/8086到286、386、486、586、奔腾(Pentium)、酷睿系列等众多CPU的飞跃,它已经深入到社会活动的任何领域,闯进了平常百姓的生活里,使人们进入了信息时代、数字时代。

单片机在国际上被称为MCU(微控制器),它是当今电子信息工程技术中最活跃的一个领域。STC15W4K32S4单片机是中国宏晶科技有限公司新近推出的一款高性能8051内核单片机系列,其片内资源丰富、引脚分类众多、引脚利用达到最大化(除电源正负极外,其他引脚都可用作I/O口),是名副其实的单片计算机。STC单片机通过创新研发、准确的市场定位以及正确的市场推广策略,正在引导单片机未来发展格局,并迅速占领了国内单片机的应用领域,其优秀的性能、丰富的内部资源和外部接口、稳定的供货以及优惠的价格,正在形成STC单片机的优势。如今,STC单片机在工业自动化控制、消费电子、手持便携式设备、汽车电子、通信、智能安防、智能化仪器仪表、船舶以及航空航天等众多领域都得到了广泛深入的应用。

STC15W4K32S4系列单片机中的IAP15W4K61S4单片机具有芯片级仿真器功能,具备ISP/IAP功能,只要在Keil C51编程调试软件下选择“Project”菜单项下的“Options for Target ‘Target1’”选项,在“USE”项的设置仿真器栏中选择“Keil Monitor - 51 Driver”作仿真对象,就可以实现计算机与目标单片机单步在线调试,从而实现硬件仿真器对用户目标板的在线仿真。

STC单片机率先开发的ISP在线下载式单片机颠覆了传统编程器。如今STC又领先研发出IAP在线应用可编程单片机,实现单芯片级仿真器功能,解决了工程技术人员需要依靠高昂的硬件仿真器、编程器进行系统调试的束缚,跨入了低价便捷单芯片仿真时代,使得工程技术人员、在校学生也能享受快捷、方便的单片机在线仿真调试的快乐。然而,在目前的高校教学中,还存在与实际脱节、与社会脱轨的情况,仍然以惯性思想套用传统MCS-51单片机作为教学、进行电子系统设计,致使市场中新推出的高性能单片机不能及时引入课堂,也导致许多学生毕业后进入社会不能很好地运用学校所学服务社会、解决实际问题,甚至有的感叹学无所用、学无所长。

事实上,MCS-51单片机是20世纪70年代Intel公司制造的一款经典单片机系列,是特指Intel公司的产品。如今,Intel公司生产的那些单片机早已淘汰,取而代之的是众多新型高新企业生产的高性能、衍生系列的8051单片机。这些高性能单片机作为主控制器已经完全占据了智能电子产品设计开发领域,并在其中扮演着十分重要的角色。

现今,炙手可热的“互联网+”、物联网科技已悄然兴起;在汽车控制系统、工业自动化控制、机器人、通信、军事科技等领域,单片机的应用也是大放异彩,可以说这些高性能单片机“无处不在,无所不能”。

单片机技术虽应用广泛,但也给人一种神秘莫测,难于入门之感。究其原因,很多初学者实践太少,没有将零散的实践经验上升到知识的理解层面。其实从应用的角度来看,单片机是一门实践性很强的课程,初学者应树立在学中“做”,在做中“学”的思想。如果从一

开始学习单片机就设计制作一块属于自己的单片机学习板（现在 STC 公司将为初学者提供一款实用性很强、功能充分优化，且便于携带的口袋化 STC 实验箱），边学习、边实验，循序渐进、举一反三，很快就会有“登堂入室”之感，逐步把实验转化为项目设计，就能将单片机应用于各种场合中以解决实际问题。

本书融入了作者多年从事单片机技术应用、科研开发和教学的经验，内容由浅入深，由内到外，从实际应用出发，通过大量的典型实例，引导学生掌握基础、追求新知，使学生对基本知识、基本理论、基本技能和软硬件设计方法融会贯通。在编写过程中，作者对传统的单片机教材做了比较大的改良，特别对那些在实际应用中很少见的、或已经淘汰的接口芯片不写入本书，而将实际应用中比较流行的技术吸收进来，形成具有特色鲜明、与市场接轨、与现实同步的新式教程。

全书共分 15 章。第 1 章是单片机概述，介绍了单片机的发展历程、高性能单片机的特点，重点介绍了国产 STC 系列单片机的选型；第 2 章介绍了 STC15 系列单片机的体系结构、内部主要功能部件以及存储器结构与编址范围；第 3 章介绍了单片机指令系统和指令的运用方法；第 4 章介绍了 STC15 系列单片机存储器地址范围和存储单元访问方法；第 5 章介绍了 STC 15 系列单片机汇编语言程序设计方法；第 6~8 章介绍了 STC15 系列单片机的中断系统结构、中断控制、编程和串行口使用方法；第 9~11 章介绍了 STC15W4K32S4 单片机的 SPI 串行通信接口、CCP/PCA 模块的使用、片上 A-D 转换器以及比较器的使用方法；第 12 章介绍了单片机应用系统的扩展，重点介绍了串行总线扩展技术，精简了并行总线扩展内容；第 13 章介绍了单片机人机对话接口，重点讲述了单片机与键盘、数码显示、液晶显示、打印机的接口设计和编程方法；第 14 章介绍了 A-D、D-A 转换器性能指标和芯片选型，着重介绍了单片机与外部并行、串行 A-D 和 D-A 转换器的接口使用方法；第 15 章介绍了如何根据需求进行系统设计、STC 单片机实验箱功能、ISP 和 IAP 应用操作，并精选了 4 个实验进行项目化设计，同时对 STC15W4K32S4 单片机在四旋翼飞行控制器中的应用设计进行了介绍，其体现了 STC15W4K32S4 系列单片机高速、卓越的控制性能。

本书选材新颖，内容丰富，结构完整，实例详实、精炼。全书由朱兆优、姚永平、朱日兴、胡文龙、刘琦共同编写，周程、涂序枝、刘杨、涂晓红参加对书稿的录入、插图、校对和程序调试等工作。朱兆优负责全书的策划、内容安排、文稿编写、修改和审定。

本书在编写过程中得到了作者家人的大力支持；并得到了周航慈教授、杨建教授的支持和鼓励，周航慈教授对本书的初稿进行了评审，并提出了宝贵意见；还得到了宏晶科技鼎力支持和帮助，在此对他们付出的辛勤工作一并表示衷心感谢！

全书参考教学 40~60 学时，实验 20 学时。教学时可以根据实际情况，对各章讲授的内容进行适当取舍。为配合教学，每章都配有适量的练习与思考题。

由于本书涉及的知识点较多，STC15W4K32S4 系列单片机最新推出的功能丰富、热点内容很多，尽管在编写中做了许多努力，但由于时间仓促，难免有不足和疏漏之处，欢迎广大读者提出宝贵意见和建议，以便进一步改进和提高，使之满足实际教学的需要。

作者

目 录

序

前言

第1章 单片机概述..... 1

1.1 什么叫单片机 1

1.2 单片机的特点 2

1.3 单片机的发展概况 2

1.4 单片机主要制造厂商 4

1.5 STC 系列单片机 5

1.5.1 STC89 系列单片机 5

1.5.2 STC15Fxx 系列单片机 6

1.5.3 STC15Wxx 系列单片机 7

1.6 其他系列单片机 9

1.7 单片机的发展趋势 9

1.8 单片机的应用领域 11

1.9 单片机技术主要网站 12

本章小结 12

练习与思考题 13

第2章 STC15 系列单片机体系

结构 14

2.1 STC15W4K32S4 单片机内部
结构 14

2.2 STC15W4K32S4 单片机芯片
引脚功能 17

2.3 STC15W4K32S4 单片机中央
处理器 20

2.3.1 运算器 20

2.3.2 控制器 21

2.3.3 单片机程序执行过程 23

2.4 STC15W4K32S4 单片机的
存储结构 24

2.4.1 单片机的存储器结构 24

2.4.2 程序存储器 24

2.4.3 内部数据存储器 25

2.4.4 特殊功能寄存器 29

2.4.5 外部数据存储器 31

2.5 STC15W4K32S4 单片机的
I/O 端口 31

2.5.1 I/O 口功能 31

2.5.2 I/O 口工作模式 32

2.5.3 通用 I/O 端口结构 33

2.5.4 并行三总线和复合功能端口
操作 35

2.5.5 I/O 口的外部驱动 37

2.6 STC 单片机的时钟与复位
操作 39

2.6.1 外部时钟源 39

2.6.2 内部 RC 时钟源 40

2.6.3 CPU 的时序 42

2.6.4 STC 单片机的复位 43

2.7 STC15 单片机的工作方式 46

本章小结 47

练习与思考题 47

第3章 STC15 系列单片机指令

系统 49

3.1 指令系统概述 49

3.2 指令格式 49

3.2.1 指令的构成 49

3.2.2 指令的标准格式 50

3.2.3 指令中常用的符号 50

3.3 指令系统的寻址方式 51

3.4 STC 单片机指令系统 55

3.4.1 数据传送类指令 55

3.4.2 算术操作类指令 60

3.4.3 逻辑运算与移位指令 66

3.4.4 控制转移类指令 70

3.4.5 位操作指令 75

本章小结	77	5.3.5 逻辑运算程序	114
练习与思考题	77	5.3.6 数制转换程序	116
第4章 STC15 系列单片机的		5.3.7 查表程序	118
存储器	81	5.3.8 关键字查找程序	120
4.1 STC15W4K32S4 单片机的		5.3.9 数据极值查找程序	121
内部 RAM	81	5.3.10 数据排序程序	122
4.1.1 STC15W4K32S4 单片机		本章小结	123
基本 RAM	81	练习与思考题	123
4.1.2 STC15W4K32S4 单片机		第6章 STC15 系列单片机的中断	
SFR 和扩充 RAM	84	系统	126
4.1.3 STC15W4K32S4 单片机		6.1 中断的概念	126
扩展 RAM	85	6.1.1 中断的功能作用	126
4.2 STC15W4K32S4 单片机的		6.1.2 中断技术	127
程序存储器	87	6.2 STC15W4K32S4 单片机中断	
4.2.1 中断入口地址	87	系统结构	127
4.2.2 程序存储器的访问	88	6.2.1 中断系统结构	127
4.3 单片机 ISP/IAP 技术	88	6.2.2 中断源	128
4.3.1 ISP/IAP 新技术	89	6.2.3 中断控制寄存器	129
4.3.2 内部 Flash 存储器空间分配	89	6.2.4 中断的控制	133
4.3.3 ISP/IAP 特殊功能寄存器	90	6.2.5 中断优先级控制	136
4.3.4 ISP/IAP 编程应用	92	6.3 中断响应处理过程	140
4.3.5 Data Flash 使用注意事项	97	6.3.1 中断响应条件	140
本章小结	98	6.3.2 外部中断响应时间	141
练习与思考题	98	6.3.3 中断响应与中断入口	141
第5章 STC15 系列单片机汇编语言		6.3.4 中断请求的撤销	142
程序设计	99	6.3.5 中断返回	143
5.1 汇编语言程序设计概述	99	6.3.6 中断服务程序设计	143
5.1.1 计算机编程语言	99	6.4 外部中断源的扩展方法	146
5.1.2 单片机源程序的汇编	100	6.4.1 中断和查询结合法	147
5.1.3 伪指令	100	6.4.2 矢量中断扩展法	147
5.1.4 汇编程序分段格式	103	6.5 中断系统软件设计	149
5.2 汇编语言程序设计	104	6.5.1 中断系统软件设计的任务	149
5.2.1 基本结构	104	6.5.2 中断系统软件的程序结构	149
5.2.2 汇编语言程序设计步骤	107	6.5.3 中断服务子程序流程	149
5.2.3 程序流程图	107	6.6 中断系统应用实例	150
5.3 汇编语言程序设计实例	108	本章小结	152
5.3.1 分支转移程序	108	练习与思考题	152
5.3.2 循环程序	111	第7章 STC15 系列单片机的定时器	
5.3.3 子程序	112	/计数器	154
5.3.4 算术运算程序	113		

7.1 STC15W4K32S4 单片机的基本 定时器/计数器.....	154	第 8 章 STC15 系列单片机的异步 串行口.....	180
7.1.1 工作方式控制寄存器 TMOD	155	8.1 计算机通信技术	180
7.1.2 定时器/计数器控制寄存器 TCON	156	8.1.1 通信结构	180
7.1.3 定时器/计数器辅助寄存器 AUXR	156	8.1.2 串行通信类别与帧格式	180
7.2 基本定时器/计数器的工作 方式	156	8.1.3 串行通信方向	182
7.2.1 工作方式 0	157	8.2 STC15W4K32S4 单片机的 串行口 1	183
7.2.2 工作方式 1	158	8.2.1 串口 1 的结构	183
7.2.3 工作方式 2	158	8.2.2 串口的辅助寄存器 AUXR	184
7.2.4 工作方式 3	159	8.2.3 串口控制寄存器 SCON	184
7.3 基本定时器/计数器程序 设计方法	160	8.2.4 特殊功能寄存器 PCON	185
7.3.1 定时器/计数器的初始化.....	160	8.3 STC15W4K32S4 单片机串口 1 的工作方式	186
7.3.2 定时器/计数器的编程实例.....	161	8.3.1 方式 0	186
7.4 基本定时器/计数器的运用.....	166	8.3.2 方式 1	187
7.4.1 门控位 GATE 的运用	166	8.3.3 方式 2 和方式 3	188
7.4.2 简易实时时钟设计	167	8.4 STC15W4K32S4 单片机串行 通信波特率	189
7.4.3 定时器/计数器数据的正确 读取	169	8.4.1 波特率的定义	189
7.4.4 定时器/计数器用作外部 中断	169	8.4.2 波特率的计算	189
7.5 STC15W4K32S4 的其他定时器 /计数器.....	170	8.5 STC15W4K32S4 单片机 串口 1 的应用	191
7.5.1 定时器/计数器 T2 的内部 逻辑结构	170	8.5.1 串口 1 用作串-并转换	191
7.5.2 与定时器/计数器 T2/T3/T4 有关的控制寄存器	170	8.5.2 串口 1 用作双机通信	192
7.5.3 定时器/计数器 T2/T3/T4 的使用	172	8.5.3 串口 1 用作多机通信	194
7.6 STC15W4K32S4 单片机可 编程时钟输出	173	8.6 STC15W4K32S4 单片机的其他 异步串口	195
7.6.1 外部中断允许与时钟输出寄存器 INT_CLKO	174	8.6.1 串口 S2/S3/S4 的控制 寄存器	195
7.6.2 控制寄存器 T4T3M	175	8.6.2 串口 S2/S3/S4 通信示例.....	199
7.6.3 时钟频率输出示例	176	8.7 STC15W4K32S4 单片机与 PC 的串行通信	204
本章小结.....	177	8.7.1 RS-232C 接口标准	204
练习与思考题.....	178	8.7.2 单片机与 RS-232C 的串行通信 接口	206
		8.8 STC15W4K32S4 单片机串口 1 的中继广播方式	207
		本章小结.....	208
		练习与思考题.....	208

第9章 STC15系列单片机的SPI	本章小结	255
串行通信	练习与思考题	255
9.1 STC15W4K32S4单片机的SPI	第11章 STC15系列单片机内部A-D转换器及比较器	256
串行通信接口	11.1 STC15W4K32S4单片机的片上A-D转换器	256
9.1.1 SPI通信接口的内部结构	11.1.1 A-D转换器内部结构与工作原理	256
9.1.2 SPI通信接口信号	11.1.2 A-D转换的控制寄存器	258
9.1.3 SPI接口的特殊功能寄存器	11.1.3 A-D转换器的使用	261
9.2 STC15W4K32S4单片机的SPI数据通信方式	11.1.4 A-D转换器的参考电压源	262
9.2.1 SPI接口的数据通信方式	11.1.5 A-D转换器作电容感应触摸按键设计	264
9.2.2 SPI接口信号配置	11.2 STC15W4K32S4单片机的片内比较器	266
9.2.3 SPI数据通信时序	11.2.1 比较器的控制寄存器	266
9.3 SPI数据通信应用示例	11.2.2 比较器使用示例	268
本章小结	本章小结	269
练习与思考题	练习与思考题	269
第10章 STC15系列单片机的CCP/PCA/PWM	第12章 STC15系列单片机应用系统扩展	270
10.1 STC15系列单片机的CCP/PCA/PWM模块	12.1 单片机系统扩展概述	270
10.1.1 CCP/PCA/PWM模块工作原理	12.2 STC15W4K32S4单片机并行总线的构造	271
10.1.2 CCP/PCA/PWM模块的控制寄存器	12.2.1 单片机系统的并行总线	271
10.2 STC15W4K32S4单片机CCP/PCA/PWM的工作模式	12.2.2 STC15W4K32S4单片机三总线的构造	272
10.2.1 捕获模式	12.3 STC15W4K32S4单片机的三总线接口应用	273
10.2.2 软件定时器模式	12.3.1 外部并行器件的扩展	273
10.2.3 高速输出模式	12.3.2 地址空间分配与编址	273
10.2.4 脉宽调制输出模式	12.3.3 单片机扩展外部存储器的接口设计	274
10.3 STC15W4K32S4单片机CCP/PCA/PWM的编程应用	12.4 STC15W4K32S4单片机扩展外部并行I/O端口	277
10.4 STC15W4K32S4单片机高精度带死区控制PWM	12.4.1 I/O接口概述	278
10.4.1 高精度带死区控制的PWM	12.4.2 TTL电路扩展并行I/O口	279
10.4.2 PWM波形发生的控制寄存器	12.5 串行总线技术	282
10.4.3 增强型PWM波形发生器的中断控制	12.5.1 I ² C总线结构与工作原理	282
10.5 STC15W4K32S4单片机带死区PWM应用示例	12.5.2 I ² C总线的时序	284

12.5.3	I ² C 总线上的数据传输格式	285	13.4.2	MP-D16 微型打印机的 使用	328
12.5.4	I ² C 总线的信号模拟与 编程技术	288	本章小结		330
12.6	STC15W4K32S4 单片机与 I ² C 总线器件接口	290	练习与思考题		330
12.6.1	串行 E ² PROM 存储器接口 应用	290	第 14 章 STC15 系列单片机与 A-D、 D-A 转换器接口设计		332
12.6.2	STC154K32S4 单片机模拟 I ² C 总线接口	293	14.1	STC15W4K32S4 单片机与 A-D 转换器的接口	332
12.7	STC15W4K32S4 单片机与 SPI 总线器件接口	296	14.1.1	A-D 转换器概述	332
本章小结		299	14.1.2	单片机与 AD574 并行 A-D 转换器的接口	335
练习与思考题		299	14.1.3	单片机与 MCP3202 串行 A-D 转换器的接口	340
第 13 章 STC15 系列单片机人机 对话接口设计		301	14.1.4	单片机与 $3\frac{1}{2}$ BCD 码转换器 的接口	344
13.1	STC15W4K32S4 单片机的 键盘接口设计	301	14.2	STC15W4K32S4 单片机与 D-A 转换器的接口	347
13.1.1	键盘的工作原理	301	14.2.1	D-A 转换器概述	347
13.1.2	键盘的接口方式	302	14.2.2	DAC0832 的功能特性	349
13.1.3	键盘扫描工作方式	309	14.2.3	单片机与 DAC0832 并行 D-A 转换器的接口	352
13.1.4	键盘接口及应用	309	14.2.4	单片机与 AD7543 串行 D-A 转换器的接口	355
13.2	STC15W4K32S4 单片机与 显示器接口设计	312	14.3	STC15W4K32S4 单片机与 V-F 转换器的接口	359
13.2.1	显示器结构与工作原理	312	14.3.1	V-F 转换器实现 A-D 转换 的原理	359
13.2.2	LED 数码显示方式与接口 电路设计	313	14.3.2	V-F 转换器的接口方法	359
13.2.3	专用显示驱动芯片接口 设计	317	14.3.3	单片机与 V-F 转换器的接口 设计	360
13.3	单片机与液晶显示器的 接口设计	319	本章小结		363
13.3.1	液晶显示器类型与工作 原理	319	练习与思考题		363
13.3.2	字符型液晶显示器接口 设计	320	第 15 章 STC15 系列单片机应用 系统设计		365
13.3.3	点阵图形液晶显示器接口 设计	324	15.1	单片机应用系统设计 的基本原则	365
13.4	单片机与微型打印机的 接口设计	327	15.2	单片机应用系统设计及 开发过程	365
13.4.1	MP-D16 微型打印机的接口 电路设计	327	15.3	单片机应用系统设计的	

基本结构.....	367	本章小结.....	388
15.4 STC15W4K32S4 单片机应用		练习与思考题.....	389
系统设计.....	368	附录.....	390
15.4.1 STC15W4K32S4 单片机		附录 A STC15W4K32S4 系列单片机	
实验学习板	368	各种封装引脚功能	
15.4.2 STC15W4K32S4 单片机学习		对照表.....	390
板实验例程	369	附录 B STC15 系列 8051 内核单片机	
15.4.3 STC 单片机实验调试与		指令表	392
仿真	383	附录 C ASCII 码与控制字符	
15.4.4 IAP15W4K61S4 单片机芯片级		功能	395
仿真器.....	386	参考文献.....	397
15.5 STC15W4K84S4 单片机四旋			
翼飞行器设计.....	387		

第1章 单片机概述

单片机自 20 世纪 70 年代产生以来，凭借其极高的性价比，得到了人们的重视和关注，并且应用广泛，发展迅速。单片机体积小，质量小，抗干扰能力强，对运行环境要求不高，价格低廉，可靠性高，灵活性好，开发比较容易，已广泛应用在工业自动化控制、通信、自动检测、智能仪器仪表、信息家电、汽车电子、电力电子、医疗仪器、航空航天以及机电一体化设备等各个方面，成为现代生产和生活中不可缺少的元素。

1.1 什么叫单片机

一台能够工作的个人计算机（PC）至少需要 CPU（中央处理器，负责运算与控制）、RAM（随机存储器，用于数据存储）、ROM（只读存储器，用于程序存储）、输入/输出设备（如键盘、鼠标、显示器和打印机）等部件。这些部件被分成若干个芯片，安装在一块印制电路板上，便组成了个人计算机。而在单片机中，是将计算机主板的一部分功能部件进行剪裁后，把其余功能部件集成到一块芯片上，因此这个芯片具有 PC 的属性，被称为单片微型计算机或单芯片计算机，简称为单片机。

单片机是在一块半导体硅片上集成了控制器、运算器、存储器和各种输入/输出接口的集成芯片，如图 1-1 所示。

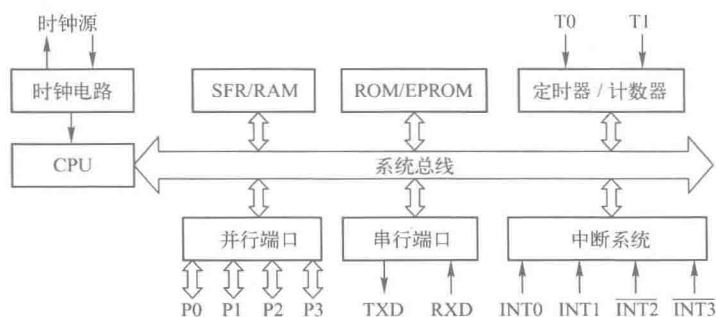


图 1-1 单片机结构框图

在 STC15 系列高性能单片机中，除了上述部件外，还集成了 A-D、D-A、PCA/PWM 等部件，另外增加了定时器/计数器、外部中断源以及异步串行口等资源，使 8051 成为名副其实的“单片机”。

单片机主要应用于测控领域，用于实现各种测量与控制。为了突出其控制特性，在国内外，大多数人把单片机称为微控制器（Micro Controller Unit, MCU）。由于单片机在各个系统应用中处于系统核心，并嵌入其中，因此，通常又把单片机称为嵌入式控制器（Embedded Micro Controller Unit, EMCU）。而国内的大多数工程技术人员则比较习惯地采用“单片机”这个名称。

单片机价格不高，体积也不大，封装形式也趋多样化，主要有 PDIP、LQFP、SOP 和 QFN 等。芯片引脚配置多样，功能多的多达几十或上百个引脚；功能少的有十几个引脚，最少的只有 8 个引脚。这面向实际应用的单片机非常有利，使得不同性能的产品可以根据

需要选择不同的单片机。比如，在实际应用中，人们都喜欢使用高性能的计算机，但如果设计一个只需检测控制温度的电冰箱时，就没必要用高性能的计算机，用一个8引脚的单片机就足够了。所以，实际应用的关键要视功能是否够用，是否有很好的性价比。这就是8051单片机推出30多年来依然没有被淘汰，仍有很强的生命力而且还在不断发展的重要原因。

1.2 单片机的特点

单片机以其卓越的性能得到广泛的应用，已深入到检测和控制等各个领域，并表现出显著特点：

1) 小巧灵活、成本低、易于产品化。可以方便地嵌入到各种测控设备和仪器仪表，使仪器设备智能化。

2) 可靠性好，抗干扰能力强，适应温度范围宽，在各种恶劣环境下都能可靠地工作。单片机是按工业测控环境设计的，分为民品（ $0 \sim +70^{\circ}\text{C}$ ）、工业用品（ $-40 \sim +85^{\circ}\text{C}$ ）和军品（ $-65 \sim +125^{\circ}\text{C}$ ）三类。其中工业用品和军品具有较强的抗恶劣环境适应能力，这是其他机型无法比拟的。

3) 实时控制功能强。单片机面向控制，可以直接通过I/O口进行各种操作，运行速度快，对实时事件的响应和处理速度快，能针对性地解决从简单到复杂的各类控制任务，因而可获得最佳性能价格比。

4) 易扩展，可以容易、灵活地构成各种智能型应用系统。

5) 具有通信接口，可方便地构成多机和分布式控制系统，使整个系统的效率和可靠性大为提高。

1.3 单片机的发展概况

单片机出现的历史并不长，它的产生与发展和PC微处理器的产生与发展大体同步，自1971年Intel公司首先研制出4位微处理器以来，就出现了单片机。单片机的发展历程大致可分为五个阶段：

第一阶段（1971~1976年）：单片机发展的初级阶段。

1971年底Intel公司首先研制出集成了2000只晶体管的4位微处理器Intel 4004，并配有RAM、ROM和移位寄存器，构成了世界上第一款微处理器。此后，又推出了8位微处理器Intel 8008。受生产工艺限制，当时的微处理器采用双片结构，功能简单，还不算是“单片机”，但从此拉开了研制单片机的序幕。

第二阶段（1976~1980年）：低性能单片机发展阶段。

1976年Intel公司研制出以8048为代表的MCS-48系列单片机（见表1-1），在一小块半导体芯片内集成了8位微处理器、8位并行I/O口、8位定时器/计数器、RAM和ROM等部件。在这个芯片中无串行接口，中断处理比较简单，RAM和ROM容量很小，寻址范围小于4KB，但在功能上可满足一般工业控制和智能化仪器仪表的需要。这种将微处理器和计算机外围设备集成在一个芯片上的技术，标志着真正的单片机技术的成熟。单片机在构建新型工业控制系统方面取得的成功，为今后单片机的发展开辟了成功之路。

第三阶段（1980~1983年）：高性能单片机发展阶段。

1980年Intel公司推出以8031为代表的MCS-51系列基本型单片机（见表1-1），形成了8051经典内核。至今，该内核还是国内外单片机产品的主流，众多芯片制造商还在对其

不断地改进和发展。这个阶段推出的 8 位单片机带有串行接口，有多级中断处理系统，含有多个 16 位定时器/计数器，片内 RAM 和 ROM 容量增大，寻址范围可达 64KB，个别片内带有 A-D 转换接口。其他 8 位单片机的代表产品有 Motorola 公司的 6801 和 Zilog 公司的 Z8 等。

表 1-1 Intel 公司单片机系列配置一览表

系列	片内存储器 (字节)				定时器/计数器	并行 I/O 口	UART	中断源	制造工艺
	ROM	ROM	EPROM	RAM					
MCS-48	8035 无	8048 1 KB	8748 1 KB	64	1 × 8 位	27 位	无	2	HMOS
MCS-51	8031 无	8051 4 KB	8751 4 KB	128	2 × 16 位	32 位	1	5	HMOS
	80C31 无	80C51 4 KB	87C51 4 KB	128	2 × 16 位	32 位	1	5	CMOS
MCS-52	8032 无	8052 8 KB	8752 8 KB	256	3 × 16 位	32 位	1	6	HMOS
	80C232 无	80C252 8 KB	87C252 8 KB	256	3 × 16 位	32 位	1	7	CMOS
MCS-96	8096BH 无	8396BH 8 KB	8796BH 8 KB	232	2 × 16 位	40 位	1	20	HMOS
	8098 无	8398 8 KB	8798 8 KB	232	2 × 16 位	24 位	1	20	HMOS
	80C196KA 无	83C196KB 8 KB	87C196KB 8 KB	232	4 × 16 位 软件 Timer	40 位	1	28	CMOS

在 8 位单片机中，MCS-51 系列历史最长，长盛不衰，不断更新，形成了既具有经典性又不乏生命力的系列单片机。它在以下几个方面奠定了单片机的经典体系结构：①完善的外部总线，MCS-51 设置了经典的 8 位单片机总线结构，包括 8 位数据总线、16 位地址总线、控制总线及具有多机通信功能的串行通信接口；②开创了 CPU 外围功能单元的集中管理模式；③开发出了具有工控特性的位地址空间及位操作方式；④指令系统趋于丰富和完善，并且增加了许多突出控制功能的指令。

第四阶段 (1983 ~ 1990 年)：8 位单片机的巩固发展和 16 位单片机推出阶段。

1983 年 Intel 公司又研制了 MCS-96 系列 16 位单片机 (见表 1-1)。它支持 16 位算术逻辑运算，具有 32 位除以 16 位的除法功能；片内 256 B RAM、8 KB ROM 容量进一步增大，除 2 个 16 位定时器/计数器外，还可设置 4 个软件定时器；具有 8 个中断源，中断系统更加完善；片内带有 8 通道高精度 10 位 A-D 和高速输入/输出 (HSIO) 部件，以及 Watch Dog、PWM 等部件。

MCS-96 系列单片机片内 CPU 为 16 位，运算速度和控制功能大幅提高，有很强的实时处理能力。采用 HMOS 或 CMOS 制造工艺，芯片集成度达 12 万个晶体管，使单片机的发展进入到一个新阶段。

第五阶段 (1990 年至今)：单片机全面发展阶段。

随着单片机在各个领域全面深入的发展和应，出现了高速、寻址范围大且运算能力强的通用型单片机，以及小型廉价的专用型单片机。单片机在集成度、功能、速度、可靠性和应用领域等方面向更高水平发展。CPU 的位数达到了 8 位、16 位、32 位。在结构上，更进一步采用了双 CPU 结构或内部流水线结构，提高了处理能力和运算速度；时钟频率高达 20 MHz，提供了新型串行总线结构，增加了 PWM 输出、WDT 监视定时器、PCA 可编程计

数器阵列、DMA 传输、调制解调器、通信控制器以及浮点运算单元等新的特殊功能部件。随着半导体制造工艺的不断改进，芯片逐渐向高集成化、低功耗方向发展。基于这些优势，单片机在大量数据实时处理、高性能通信、数字信号处理、复杂工业过程控制、机器人以及局域网络等方面扮演着越来越重要的角色。

1.4 单片机主要制造厂商

单片机系列是指同一芯片厂家生产的具有相同体系结构的微处理器。20 世纪 80 年代中期，Intel 公司把 8051 内核使用权以专利互换或出售形式转让给了 Atmel、Philips、NEC、AMD、Winbond、ADI、DALLAS 等 IC 制造厂商。这些公司在保持与 8051 单片机兼容的基础上改善了 8051 的许多特性，采用 CMOS 工艺对 8051 作了一些扩充，使产品特点更突出、功能更强、市场竞争力更好。因此，通常用 8051 系列来称谓所有具有 8051 指令系统的单片机。在众多 IC 制造厂商支持下，8051 内核单片机已经发展成为具有上百个品种的大家族，现在都统称为 8051 系列单片机。目前，一些世界著名的芯片制造厂商已推出很多单片机产品，如 Intel、STC、Atmel、Philips、Motorola、TI、NEC、SAMSUNG、AMD、Microchip 等公司都是著名的芯片制造厂商。就通用单片机而言，其主流产品有几十个系列，数百个品种。单片机主要制造厂家和型号见表 1-2。

表 1-2 单片机主要制造厂家和型号

制造厂家	单片机型号
美国 Intel 公司	MCS-48 和 MCS-51 系列（如 8048、8031、8051、8751 等基本型单片机）
中国 STC 宏晶科技公司	STC89Cxx 系列（如 STC89C51RC），STC12xx、STC15Fxx、STC15Wxx 系列高性能单片机
中国台湾 Winbond 公司	W78C52 和 W78C54 系列（如 W78C51C、W78C52C、W78E52 等）
中国台湾 Synomos 公司	SM8951AC25PP、SM59R、Slim-52、Tiny-51 系列
美国 Atmel 公司	AT89 和 AT90 系列（如 AT89S51、AT89S52、AT89C55、AT90S1200、AT90S4414 等）
荷兰 Philips 公司	NXP 半导体（如 5VLPC900、LPC9001、LPC900、LPC700 系列等）
日本 NEC 公司	μ COM87（ μ PD7800）系列（如 μ PD780208、 μ PD78F9222 等）
美国 SST 公司	SST89 系列（如 SST89C54/58、SST89E/V58RD2、SST89E/V516RD2 等）
美国 Cygnal 公司	C8051F 系列（如 C8051F120、C8051F130、C8051F206、C8051F330 等）
美国 Motorola 公司	6805 和 6808 系列（如 MC68HC05 和 MC68HC08 等）
美国 Microchip 公司	PIC16Cxx、PIC17Cxx、PIC18Cxxx（如 PIC16C70、PIC18C858 等）
韩国 SAMSUNG 公司	S3C9xxx 和 KS88Cxxx 系列
美国 TI 公司	MSP430 系列和 TMS320 系列
ARM 公司	ARM 系列（如 ARM7、ARM9、ARM10、ARM11 等）

尽管单片机制造厂家很多，品种各异，但在我国最早且最广泛使用的是 8051 及其兼容机型。由于 8051 单片机具有品种多、兼容性好、性价比高，且软硬件设计资料丰富等特点，所以成为我国广大工程技术人员最熟悉的机型。直至今日，8051 单片机及其衍生兼容机型仍然是单片机中的主流系列，预计在今后的若干年内仍将是现代工业检测和控制应用的重要机型。

8051 系列单片机按功能特性可分为基本型、增强型、低功耗型和专用型。目前，使用的 8051 单片机都是 MCS-51 系列单片机的低功耗增强型和扩展型的衍生机型，它们与 MCS-51 系列有很大的不同，内部结构有些区别，但指令系统完全兼容，典型产品有 STC、AVR 和 C8051F 等系列单片机。