

# 边练边学

## 51单片机

——基于STC15系列

李志远 刘小平 张南宾 冉涌 杨勇 编著



北京航空航天大学出版社  
BEIHANG UNIVERSITY PRESS

# 边练边学 51 单片机 ——基于 STC15 系列

李志远 刘小平 张南宾 编著  
冉涌 杨勇

北京航空航天大学出版社

## 内 容 简 介

本书通过无驱动多位数码器控制、无驱动 $8\times 8$ 点阵控制、迷你时钟、智能温控系统、手势遥控车、极光、12864液晶屏频谱显示这8个实践操作项目详细介绍了STC15系列单片机的I/O口、A/D转换器、UART串行口、PWM、EEPROM等方面的应用。

本书配套资料包括所有实践操作项目的完整C程序、原理图以及部分章节的视频教学资源，读者可以免费索取。

本书面向具有一定单片机基础的读者或单片机应用系统DIY制作爱好者，也可用作高校实训的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

边练边学51单片机：基于STC15系列 / 李志远等编  
著. -- 北京：北京航空航天大学出版社，2016.6

ISBN 978-7-5124-2158-5

I. ①边… II. ①李… III. ①单片微型计算机 IV.  
①TP368.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第126791号

版权所有，侵权必究。

### 边练边学51单片机——基于STC15系列

李志远 刘小平 张南宾 编著  
冉涌 杨勇  
责任编辑 董立娟

\*

北京航空航天大学出版社出版发行

北京市海淀区学院路37号(邮编100191) <http://www.buaapress.com.cn>

发行部电话:(010)82317024 传真:(010)82328026

读者信箱: [emsbook@buaacm.com.cn](mailto:emsbook@buaacm.com.cn) 邮购电话:(010)82316936

北京市同江印刷有限公司印装 各地书店经销

\*

开本:710×1000 1/16 印张:15.5 字数:330千字

2016年6月第1版 2016年6月第1次印刷 印数:3000册

ISBN 978-7-5124-2158-5 定价:39.00元

---

若本书有倒页、脱页、缺页等印装质量问题，请与本社发行部联系调换。联系电话:(010)82317024

# 前 言

---

本书面向具有一定单片机基础的读者或单片机应用系统 DIY 制作爱好者,内容与实际应用密切结合。书中以单片机实践操作项目为载体,让读者从复杂的理论知识、硬件结构中解放出来,在实物制作中学习单片机硬件、软件相关知识,从而提升动手能力、设计能力和编程能力。

本书第 1 章介绍 STC15 系列增强型单片机的实用功能,书中的项目设计都围绕这些功能来设计。第 2 章介绍 C 语言编程技巧。第 3 章介绍单片机中断系统及中断系统中数据的存储。第 4~11 章为实践操作项目,其中,第 4~7 章为经典应用项目,是传统 8051 单片机应用项目中的改进,使用 STC15 系列单片机增强功能对这些项目的硬件电路和程序进行了优化。第 8~11 章为 Chinked-out 工作室较为知名的作品,也陆续发布或被转载于 DIY 设计网站中,“手势遥控车”项目曾获得 2014 年极客米网站设计竞赛一等奖。本书对这些项目设计做出了改进和优化。

本书配套资料包括所有实践操作项目的完整 C 程序、原理图以及部分章节的视频教学资源,读者可以向作者免费索取,e-mail:136678431@qq.com。

本书第 2、6、7、8、9、10 章由李志远、刘小平编写,第 3、4 章由冉涌编写,第 1、5 章由张南宾、杨勇编写。李志远、刘小平、冉涌负责统稿。对于成书过程中所有提供过帮助的亲朋好友,这里一并表示感谢。

由于作者水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,恳请各位专家和读者不吝赐教。

作 者

2016 年 5 月

# 目 录

<b>第 1 章 认识增强型 8051 系列单片机</b> .....	1
1.1 STC15 单片机指令系统 .....	1
1.2 内置时钟、复位电路、软件复位 .....	3
1.3 可配置 I/O .....	4
1.4 A/D 转换器 .....	5
1.5 多组高速 UART 通信串口 .....	5
1.6 多路 CCP/PCA/PWM .....	6
1.7 大容量片内数据存储器(SRAM) .....	6
1.8 丰富的中断请求源 .....	6
1.9 EEPROM 功能 .....	7
1.10 STC15 系列单片机学习思路 .....	7
<b>第 2 章 C 语言编程技巧</b> .....	9
2.1 语句短小不代表高效 .....	10
2.1.1 $i=i+1$ 和 $i++$ .....	10
2.1.2 $i++$ 和 $++i$ .....	11
2.2 指 针 .....	18
2.2.1 指针与变量 .....	18
2.2.2 指针作用 .....	22
2.2.3 指针变量结构 .....	27
2.2.4 指针意义 .....	30
总 结 .....	32
<b>第 3 章 单片机中断系统</b> .....	33
3.1 概 念 .....	33

# 目 录

3.1.1	中断概念	33
3.1.2	单片机系统的中断概念	35
3.2	8051 单片机中断相关寄存器	35
3.2.1	中断允许寄存器 IE	35
3.2.2	中断优先级	37
3.3	定时器中断	40
3.3.1	定时器相关寄存器	40
3.3.2	定时器中断模式与初始化	43
3.4	外部中断	48
3.4.1	外部中断触发方式	48
3.4.2	外部中断与扫描式按键区别	50
3.5	UART 串口中断	55
3.5.1	串口波特率及初始化	55
3.5.2	串口收发示例程序	57
3.6	中断过程中的数据存储	60
<b>第 4 章</b>	<b>无驱动多位数码管控制</b>	<b>64</b>
4.1	硬件制作	64
4.2	硬件原理	69
4.2.1	单片机 I/O 口的电气特性	69
4.2.2	传统三极管驱动的数码管显示电路	69
4.2.3	无驱动点亮数码管原理	72
4.2.4	单片机 I/O 配置	72
4.3	程序详解	73
4.3.1	一位数码管的传统控制与动态控制	73
4.3.2	4 位数码管显示	76
4.3.3	完整显示输出程序(数码管显示部分)	78
4.3.4	按键功能	82
<b>第 5 章</b>	<b>无驱动 8×8 点阵控制</b>	<b>84</b>
5.1	硬件制作	84
5.2	硬件原理	88
5.2.1	单组 8×8 点阵工作原理	88
5.2.2	传统两组 8×8 点阵控制方案	92
5.3	程序详解	94
5.3.1	两组 8×8 点阵全亮程序	94

5.3.2	点阵编码原理	96
5.3.3	数据处理与显示缓存	100
5.3.4	完整功能程序	100
<b>第 6 章</b>	<b>迷你时钟</b>	<b>104</b>
6.1	硬件制作	104
6.2	硬件原理	109
6.2.1	LCD1602 液晶原理	109
6.2.2	DS1302 时钟芯片	116
6.3	程序详解	122
6.3.1	程序结构	122
6.3.2	显示缓存数组 Play_buf 功能	123
6.3.3	LCD1602 显示程序	124
6.3.4	按键程序	124
6.3.5	定时器 0 中断函数	125
6.3.6	闹钟部分	127
<b>第 7 章</b>	<b>智能温控系统</b>	<b>128</b>
7.1	硬件制作	128
7.2	硬件原理	132
7.2.1	继电器	132
7.2.2	温度传感器 DS18B20	133
7.2.3	单片机 EEPROM	137
7.3	程序详解	142
7.3.1	温度读取	142
7.3.2	温度数据处理	143
7.3.3	按键功能	144
7.3.4	数据处理	144
7.3.5	显示函数	145
7.3.6	EEPROM 程序	145
7.3.7	制冷功率控制(继电器控制)	147
<b>第 8 章</b>	<b>手势遥控车</b>	<b>148</b>
8.1	硬件制作	148
8.2	硬件原理	157
8.2.1	L239D 电机驱动芯片	157

# 目 录

8.2.2	ADXL345 加速度模块 .....	159
8.2.3	蓝牙 UART 串口模块 .....	161
8.2.4	锂电池与降压模块 .....	162
8.3	程序详解 .....	162
8.3.1	ADXL345 模块 3 轴数据读取 .....	162
8.3.2	3 轴数据处理 .....	163
8.3.3	串口初始化和串口发送程序 .....	163
8.3.4	3 轴数据分析 .....	165
8.3.5	控制指令 .....	167
8.3.6	小车制动命令接收程序 .....	169
8.3.7	小车控制程序 .....	169
<b>第 9 章</b>	<b>极 光</b> .....	<b>171</b>
9.1	硬件制作 .....	171
9.1.1	元件材料 .....	171
9.1.2	原理图及 PCB .....	172
9.2	硬件原理 .....	176
9.2.1	灯珠控制电路原理 .....	176
9.2.2	颜色变化原理(PWM 控制方案) .....	177
9.2.3	PWM 相关寄存器 .....	177
9.2.4	PWM 初始化设置 .....	181
9.3	程序详解 .....	181
9.3.1	灯珠控制程序 .....	181
9.3.2	颜色变化方案 .....	183
9.3.3	呼吸灯模式显示原理 .....	186
9.3.4	波浪式动画显示原理 .....	188
9.3.5	模式切换 .....	190
<b>第 10 章</b>	<b>12864 液晶屏频谱显示</b> .....	<b>192</b>
10.1	硬件制作 .....	192
10.2	硬件原理 .....	196
10.2.1	A/D 转换器 .....	196
10.2.2	与 A/D 转换相关的寄存器 .....	196
10.2.3	A/D 转换电路 .....	199
10.2.4	A/D 测试程序 .....	199
10.2.5	12864 液晶屏简介 .....	202



10.2.6	12864 液晶屏时序及指令 .....	203
10.2.7	12864 液晶屏显示原理 .....	206
10.2.8	频谱显示原理 .....	208
10.3	程序详解 .....	209
<b>第 11 章</b>	<b>8×8×8 光立方</b> .....	<b>211</b>
11.1	硬件制作 .....	211
11.2	硬件原理 .....	220
11.2.1	光立方灯珠控制原理 .....	220
11.2.2	UART 串口 .....	223
11.3	程序详解 .....	226
11.3.1	内置动画显示模式 .....	226
11.3.2	联机显示模式 .....	230
11.3.3	模式切换 .....	232
11.4	光立方动画设计 .....	233
<b>参考文献</b>	.....	<b>236</b>

# 第 1 章

## 认识增强型 8051 系列单片机

在工业控制、终端设备、教育教学、单片机 DIY 等领域,8051 单片机以其低廉的价格、较高的开发效率仍占据着重要地位。但随着各行各业的不断发展,传统型 8051 单片机在功能上难以满足设计需求。为弥补传统型单片机的不足,单片机设计公司推出各类增强型 8051 单片机。本书以宏晶科技有限公司生产的 STC15 系列增强型单片机为主控芯片,通过单片机项目制作介绍学习增强型单片机的主要功能。

STC15 系列单片机(包含 STC15F2K 系列和 STC15W4K 等系列)是 STC 公司的新一代 8051 单片机,与传统单片机相比,具有高速、低功耗、高可靠性等优点,自身集成了时钟电路、A/D 转换、PWM、多路串口通信等实用功能。下面将逐步解析 STC15 系列的主要新增功能。

### 1.1 STC15 单片机指令系统

STC15 系列单片机指令代码与传统 8051 单片机完全兼容,但其指令执行速度大幅度提升,最快指令提速 24 倍,最慢指令提速 4 倍,平均速度快 8~12 倍。以算数操作指令为例,在相同时钟频率下,传统 8051 单片机与 STC15 系列单片机指令所需时钟周期对比如表 1-1 所列。

表 1-1 传统单片机与增强型单片机指令执行所需时钟周期对照(算数操作类指令)

助记符	传统 8051 单片机	STC15 系列单片机	效率提升/倍
ADD A, Rn	12	1	12
ADD A, direct	12	2	6
ADD A, @Ri	12	2	6
ADD A, #data	12	2	6
ADDC A, Rn	12	1	12
ADDC A, direct	12	2	6
ADDC A, @Ri	12	2	6
ADDC A, #data	12	2	6

续表 1-1

助记符	传统 8051 单片机	STC15 系列单片机	效率提升/倍
SUBB A, Rn	12	1	6
SUBB A, direct	12	2	6
SUBB A, @Ri	12	2	6
SUBB A, #data	12	2	6
INC A	12	1	12
INC Rn	12	2	6
INC direct	12	3	4
INC @Ri	12	3	4
DEC A	12	1	12
DEC Rn	12	2	6
DEC direct	12	3	4
DEC @Ri	12	3	4
INC DPTR	24	1	24
MUL AB	48	2	24
DIV AB	48	6	8
DA A	12	3	4

由于指令的提速,增强型单片机替代传统 8051 单片机时,不管使用汇编或 C 语言,延时程序上都会与传统 8051 开发不兼容,如下面的延时函数:

```
void delay()
{
    unsigned char i,j;
    for(i = 0; i < 255; i++)
        for(j = 0; j < 255; j++);
}
```

传统 8051 单片机系统时钟频率为 12 MHz 时,此函数延时时间大约为 200 ms。若此程序在 STC15 系列单片机中执行,则延时时间约为 30 ms。相同的延时程序在不同内核单片机下执行的时间有着较大差异,涉及延时函数时必须调整延时函数参数。经测试,一般情况下,STC15 系列单片机在执行传统 8051 单片机下编写的延时函数时,延时时间会缩短为原来的 1/6~1/8。此倍数关系可作为经验值,根据倍数关系可较为方便地调整移植到增强型单片机后的延时函数。

为便于用户由传统 8051 单片机向增强型单片机移植程序,STC15 系列单片机

上电后,定时器部分默认工作在系统时钟的 1/12,因此在定时器部分仍兼容原始程序。同时,增强型单片机的定时器也可工作在不分频状态,以便开发其他功能。

## 1.2 内置时钟、复位电路、软件复位

传统的 8051 单片机需要外部晶振电路和复位电路,称为最小系统电路。STC15 系列单片机免去了外部复位电路和外部振荡电路,上电可自行复位,内部集成晶振电路,可设置振荡频率大小。传统 8051 单片机最小系统电路与增强型单片机最小系统电路原理图如图 1-1 及图 1-2 所示。

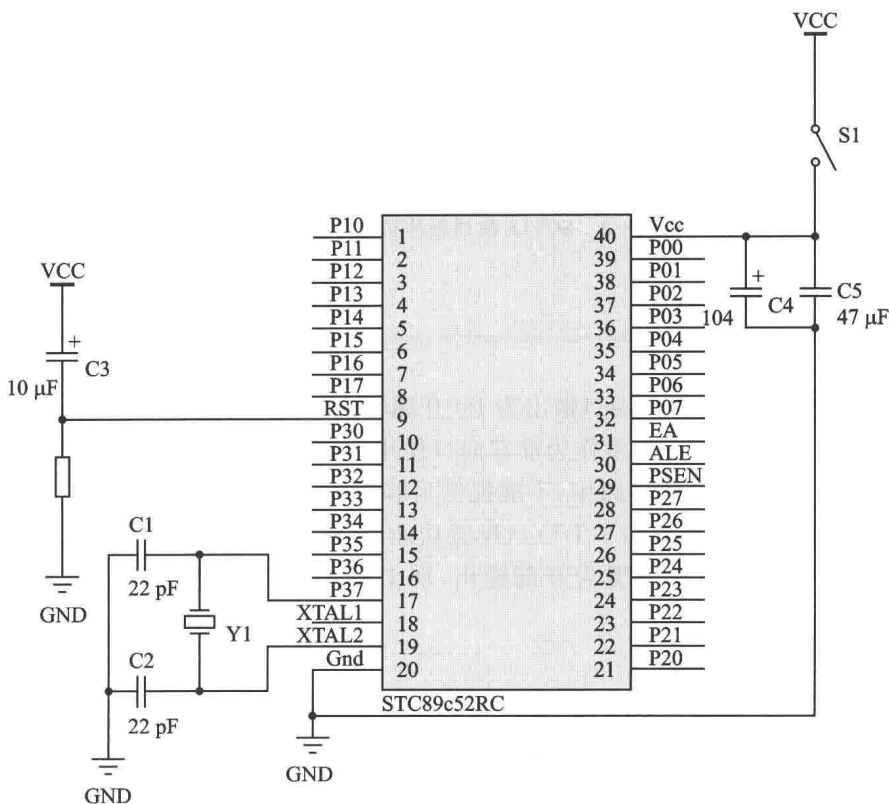


图 1-1 传统 8051 单片机最小系统电路

对比两种最小系统电路可知,增强型单片机在最小系统电路上大为简化。传统 8051 单片机最小系统电路中,不管是上电自动复位或是按键复位,原理是一样的;以 DIP40 封装为例,9 脚接收到持续一定时间的脉冲信号,此复位方式称为硬件复位。增强型单片机中保留了传统的硬件复位功能,复位脚改为 17 脚(P5.4)。同时,也加入了软件复位功能。用户通过程序也可以使单片机进行复位。

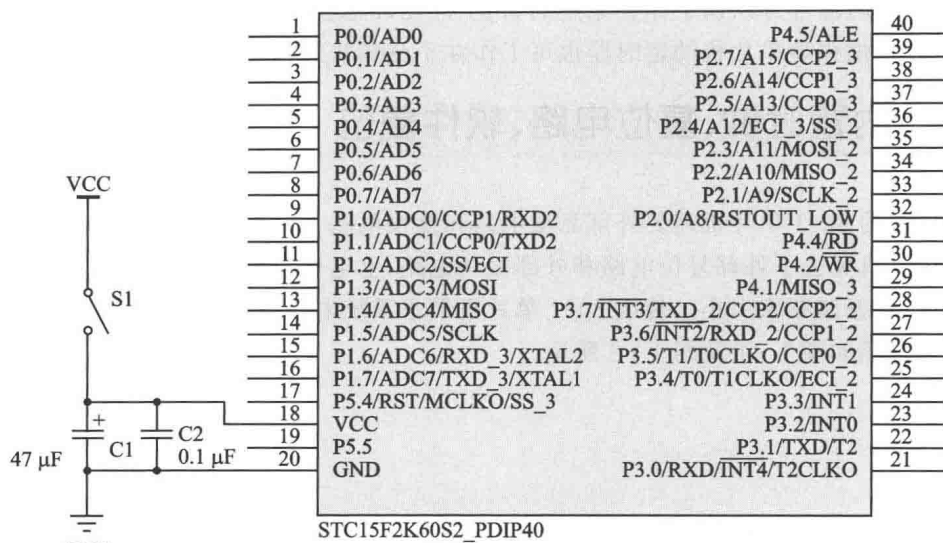


图 1-2 SCT15 系列单片机最小系统电路

## 1.3 可配置 I/O

传统 8051 单片机 I/O 端口输出为 P0 开漏输出, P1、P2、P3 弱上拉输出, 即准双向口。在实际应用中, P0 口常作为准双向口使用, 此时必须加外部上拉电阻; 其他端口在需要一定驱动电流的电路中, 不能提供足够驱动电流。

STC15 系列单片机增加了 I/O 口配置功能, 可通过软件设置改变 I/O 口的输出方式, 任意一组 I/O 口可设置为开漏输出、弱上拉输出、强推挽输出及高阻态 4 种模式。

### (1) 弱上拉输出模式

此模式下, 与传统 8051 单片机 P1、P2、P3 端口相同, 驱动电流为 200  $\mu\text{A}$  左右, 可读取外部高低电平变化。

### (2) 强推挽输出模式

可提供 20 mA 拉电流, 可驱动发光二极管, 但需要加限流电阻, 否则易烧毁元器件。控制数码管等发光电路时, 将端口设置为强推挽输出可以直接驱动发光元件, 免去了驱动芯片或驱动电路。

### (3) 高阻态模式

可以读取外部信号变化, 常用于模拟信号检测, 但不能对外输出高低电平。

### (4) 开漏输出模式

可读取外部高低电平, 但无法对外输出高电平, 与传统 8051 的 P0 口功能一致。开漏、弱上拉、推挽输出模式都支持 20 mA 灌电流输入, 因此大大提高了单片机

I/O 的驱动能力,在电路设计中可免去部分外围驱动电路和元件,节约设计成本。

## 1.4 A/D 转换器

在单片机应用中,A/D 转换占有很大比例,如电压测量、温湿度检测、气体检测等。这些模拟量的测量及应用涉及生产生活各个领域,如工业控制、农业灌溉养殖、智能家居、报警求生系统、有害气体检测等。传统 8051 单片机须借助外部 A/D 转换芯片进行数模转换,如 AD0809 芯片。STC15 系列单片机内置 8 路 10 位 A/D 转换通道,P1 口可通过软件切换为 A/D 输入通道,最大转换速度可达 30 万次/秒;并且模拟信号输入电路较为简单,无需复杂的外围电路,如图 1-3 所示。

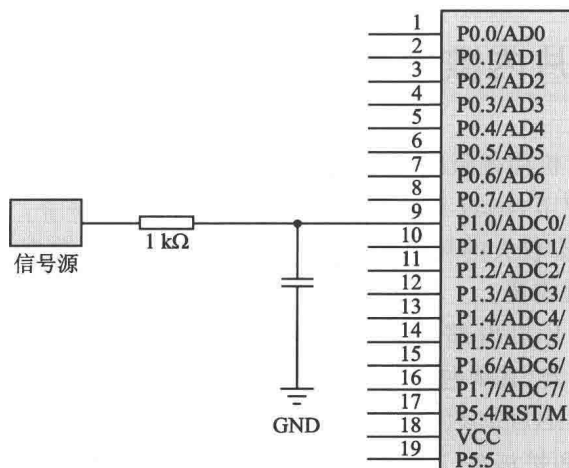


图 1-3 STC15 系列单片机的通信 A/D 输入方式

## 1.5 多组高速 UART 通信串口

传统 8051 单片机只有一组 UART,通信端口只能是 P3.0(RXD)和 P3.1(TXD),且受定时器限制,无法工作在较大比特率下。

STC15 系列单片机有 2~4 组 UART 通信串口(部分型号有 2 组的,部分型号有 4 组),可通过软件实现端口切换。以常用的串口 P3.0 和 P3.1 为例,STC15 系列单片机可由软件切换到 P3.6 和 P3.7 端口,避免程序运行时和其他模块产生端口冲突,极大地方便用户多机通信和端口复用。由于增强型单片机系统时钟为 1T 时钟,是传统 8051 单片机时钟的 12 倍,因此,定时器工作在 1T 模式下时,可设置更高速的波特率,最大支持 115 200 bps 波特率。

## 1.6 多路 CCP/PCA/PWM

PWM 在电机控制、数模转换(DAC)、测量和通信领域有着广泛的应用。传统 8051 单片机只能通过内部定时器模拟 PWM 输出或其他 DAC 电路模块实现,且精度较低、容易产生计算误差。STC15 系列内置的 3 路(CCP/PWM/PCA)模块(部分单片机大于 3 路)由硬件实现,不需要定时器和计算便可实现 PWM 输出,并可根据实际需要将 PWM 输出切换到其他 I/O 口。用户只须通过软件对寄存器赋值,便可改变脉宽占空比,从而实现电机转速调节、DAC 输出等功能。

STC15 系列单片机的 PWM 输出功能依靠可编程计数器阵列(CCP/PCA)实现,除用于 PWM 输出,还可用于软件定时器、外部脉冲捕获。

## 1.7 大容量片内数据存储器(SRAM)

由于 8051 单片机构架限制,单片机内部 RAM 只有 256 字节,传统 8051 单片机 RAM 只有低 128 字节,Intel 后面推出 8052 扩展了高 128 字节。在程序设计中,256 字节 RAM 仍然有着较大的局限性,尤其在数据采集、较大数据处理中,256 字节的 RAM 难以满足编程需要。

STC15 系列单片机内部集成了大容量数据存储器,STC15W4K 系列内部有 4 096 字节数据存储器,其中包含与传统单片机兼容的有 256 字节 RAM 及内部扩展的 3 840 字节 RAM;STC15F2K 系列单片机内部数据存储器为 2 048 字节,包含常规的 256 字节 RAM 和扩展的 1 792 字节 RAM。所有扩展的 RAM 可通过 xdata 访问。由于是片内集成,因此访问速度远远大于外部拓展 RAM 芯片。

## 1.8 丰富的中断请求源

传统 8051 单片机只有 5 个中断源,即外部中断 0、定时器 0、外部中断 1、定时器 1、串口中断,8052 开始增加了定时器 2。传统 8051 单片机中断请求源如表 1-2 所列。

表 1-2 传统单片机中断请求源

中断名称	中断向量地址	中断查询次序/中断查询号
外部中断 0	0003H	0
定时器 0	000BH	1
外部中断 1	0013H	2
定时器 1	001BH	3
串口中断	0023H	4
定时器 2	002BH	5

STC15 系列增强型单片机中,最多可有 21 个中断请求源,本书选用的 STC15F2K 系列有 14 个中断请求源,如表 1-3 所列。

表 1-3 STC15F2K 系列单片机中断请求源

中断名称	中断向量地址	中断查询次序/中断查询号
外部中断 0	0003H	0
定时器 0	000BH	1
外部中断 1	0013H	2
定时器 1	001BH	3
串口 1 中断	0023H	4
A/D 转换中断	002BH	5
低压检测中断(LVD)	0033H	6
CCP/PWM/PCA 中断	003BH	7
串口 2 中断	0043H	8
SPI 中断	004BH	9
外部中断 2	0053H	10
外部中断 3	005BH	11
定时器 2 中断	0063H	12
外部中断 4	0083H	13

## 1.9 EEPROM 功能

单片机进行数据处理的过程常常需要保存一些重要数据,以保证数据在系统断电后不消失。传统 8051 单片机须借助外部 EEPROM 芯片(如 AT24C02)进行数据存储,连接到外部 EEPROM 芯片时通常需要 I<sup>2</sup>C 或 SPI 通信协议,数据读取速度较慢且程序较为复杂。

STC15 系列单片机中内置快速可读/写的 EEPROM,与程序空间分开;利用 ISP/IAP 技术将内部程序存储器当作 EEPROM 使用,擦写次数在 10 万次以上。用户只需简单的编程指令即可实现重要数据的存储、读/写或数据擦除。

## 1.10 STC15 系列单片机学习思路

在传统的单片机书籍中,多以理论结合仿真的形式进行学习。而 STC15 系列单片机的增强功能无法通过仿真软件实现,为更好地学习这些增强功能,本书通过项目实践操作的方式介绍单片机功能。每个实践操作项目分为硬件制作、硬件讲解和程



序讲解 3 个板块。

### 1. 硬件制作

本书第 4~7 章均为经典制作,如时钟显示、温度显示等,第 8~11 章为近年网络流行作品,如遥控车、光立方等。通过 DIY 实物制作学习硬件电路构成、电路布局及电路调试,随着制作难度逐渐加大,逐步提升学习者水平。

不同章节的硬件中涉及单片机的不同功能,读者可以逐渐学习和掌握单片机典型功能在实际应用中的使用方法,如单片机 I/O 口驱动数码管、DS1302 时钟芯片、DS18B20 温度传感器、A/D 转换、I/O 口拓展等。

### 2. 硬件讲解

本书部分章节利用 STC15 系列单片机特有功能对传统电路做出优化改进,如传统动态数码管控制需要外部驱动电路;本书的数码管动态控制抛弃了外部电路驱动方案,改为单片机 I/O 直接驱动,电路简化的同时节省实践操作成本和制作周期。又如,在第 11 章光立方设计中,不同于互联网中流行的 8 个 74HC573(或 74HC595)和 ULN2803 控制方案,仅需要 4 个 74HC154 和一片单片机便可实现  $8 \times 8 \times 8$  光立方的控制,极大地节约了电路制作成本和电路,同时也降低了电路整体功耗。本书所有章节的硬件讲解部分会对电路的设计原理、设计构思和演变过程做出详细介绍,从而让读者充分理解硬件的原理部分。

### 3. 程序讲解

尽管 STC15 系列单片机是增强型单片机,提升了处理速度,增加了使用功能,但作为 MS-51 构架的单片机,其功能始终有着局限性,这就要求程序设计时不能像在其他开发环境一样更加自由,单片机有限的 RAM 空间和相对其他处理器较弱的指令速度要求程序设计时须更注重程序的易读性和高效性。

本书中的程序代码根据功能分为不同函数模块,函数与函数之间的数据交换通过数组或变量进行传递,尽量避免使用指针等难以理解的程序设计方案。本书程序讲解过程中,将对每个函数模块单独进行功能说明,通过介绍函数与函数之间参数的关联性来理解整体函数的功能。