

MCS—51单片微 型计算机原理与应用

上 册

复旦大学计算机系微机开发应用研究室编

复旦大学科教仪器厂

八 六 年 二 月

MCS-51 单片微型计算机原理与应用

上 册

复旦大学计算机系微机开发应用研究室编

一九八六年二月

前 言

80年代初, INTEL公司在MCS-48系列单片微机的基础上, 又推出了新的MCS-51系列单片微型计算机, 和MCS-48系列相比, MCS-51单片机无论在片内RAM、I/O口的功能、种类和数量上, 还是在系统扩展功能、指令系统和CPU处理能力等方面都大大地得到了加强。该系列的典型产品是8051, 在一个大规模集成电路芯片上, 集成了4K字节ROM、128个字节RAM、二个十六位的定时器/计数器, 4个8位平行口, 一个全双工的串行口, 一个功能很强的中央处理器CPU, 同时可对外部64K字节的程序存储器 and 64K字节的RAM/I/O口寻址, 特别适合于各种控制型应用领域, 构成专用微机系统。

为了有助于MCS-51单片微机在国内的推广应用, 我们于84年编印了《MCS-51用户手册》, 在85年研制成了MCS-51单片机开发工具——DSG51仿真器, 在实践基础上编印了《MCS-51专辑》, 受到了MCS-51用户的欢迎。应有关单位和读者的要求, 我们在现有资料的基础上, 进一步总结经验, 就MCS-51单片机的功能特性、片内定时器、串行口、中断系统的编程和应用, 扩展存储器和接口电路设计, 模拟电路和输入输出设备的接口技术, 程序设计, 开发工具和应用系统设计和调试方法等方面, 作系统的详细的论述, 汇编成《MCS-51单片微型计算机原理与应用》上册和下册。书中列举的硬件电路和程序例子都是从实际研制的产品中提取的, 具有实用价值。本书可作为从事微机应用科技人员的参考书, 也可作为大中专院校微机应用专业的教材。由于时间和水平的限制, 错误难免, 欢迎读者指教。本书由徐君毅、张友德、王小勇同志编写, 编写过程中得到室领导和同事的热情帮助和鼓励。

编 者 85年2月

上册 目 录

第一章	单片微型计算机概述	1
第二章	MCS-51 结构分析	5
第三章	存储器结构及数据操作	15
第四章	MCS-51 指令系统分析	41
第五章	定时器、计数器	80
第六章	串行接口	94
第七章	中断系统	120
第八章	扩展存储器设计	134
第九章	扩展接口设计	162

下册 目 录

第十章	程序设计技巧	
第十一章	A/D、D/A 接口技术	
第十二章	输入输出	
第十三章	MCS-51 单片机的应用	
第十四章	MCS-51 单片机开发工具	
第十五章	8031 应用系统设计和调试	
第十六章	MCS-51 实验和习题	

第一章 单片微型计算机概述

众所周知，近十年来微型计算机的发展速度是十分迅速的，其发展方向有二个方面：其一是不断推出高性能的通用微型计算机系统。这类通用微机系统，其中央处理机为一块大规模的集成电路，称为微处理器，配上数量不等的外围接口电路和存储器电路，组成主机，加接终端、打印机、磁盘等I/O设备，构成微机系统。如Z80系列的TRS-80，Cromemco，6502的Apple，8088的IBMPC，8086 550等。还有各种个人计算机和单板机，它们正取代原中小型的甚至大型的计算机的作用，并使计算机普及到各个行业以至家庭。通用微型机主要用于科学计算和管理。随着大规模集成电路技术的发展，微处理器的功能不断得到加强：

- 字长：从8位、16位，到32位；
- 提高CPU的处理能力和处理速度；
- 采用先进的系统结构，适合于组成微机网络；

其二是面向控制型应用领域的单片微型计算机（亦称微控制器）的大量生产和广泛的应用。世界上著名的器件公司如INTEL、Zilog、NEC等大公司都生产单片微型计算机系列。由于单片微机具有高可靠性、超小型、价格低、容易产品化等特点，单片机在智能仪器仪表、实时工业控制、智能终端、通信设备、导航系统、家用电器等控制型应用领域具有广泛的用途，正取代各种类型的专用计算机系统。各种产品用上一个单片微机就起到使产品升级换代的功效，特别是美国INTEL公司的单片机。由于问世早，产品系列齐，兼容性强，在世界各地得到最广泛的应用。我们国内应用的单片机大多是INTEL公司的产品。MCS-48系列单片机中的8035的应用已取得相当大的成绩。随着MCS-51芯片在国内市场上的出现，单片微机的推广应用将达到一个新的水平。单片微机随大规模集成电路技术的发展而迅速发展，各公司不断推出新产品，INTEL公司已推出了个系列：MCS-48，MCS-51和MCS-96，功能越来越强：

- 字长从8位发展到16位；

- 提高了 CPU 的处理功能和处理速度；

- 增大片内 RAM 和 ROM 容量：RAM 从 64 个字节扩大到 256 个字节，ROM 从 1 K 扩大到 8 k；

- 增加片内 I/O 口种类和数量，从单纯的并行口，发展到具有 5 个 8 位并行口，4 个 16 位定时器，8 路 10 位 A/D 转换器，一个全双工串行口等；

- 对外部 RAM/IO 口和程序存储器寻址能力扩展到二个 64 k 字节；

因此，单片微机已能适合于十分复杂的应用领域，适合于多机系统和计算机网络的特殊应用场合。

§ 1-1 MCS-51 单片微机特性

MCS-51 系列单片微机是美国 INTEL 公司在 MCS-48 单片机基础上于 80 年代初推出的产品，从应用的角度看，MCS-51 单片机具有如下一些特性：

① 集成度高：MCS-51 单片机的代表产品为 8051，单片 8051 内部包含了 4 k 字节的 ROM、128 个字节的 RAM、4 个 8 位平行口，一个全双工串行口，二个十六位的定时器计数器，以及一个处理功能很强中央处理器；

② 系统结构简单

MCS-51 芯片内部采用模块式结构，增加或更换一个模块，就能得到指令系统和引脚兼容的新产品，如已有的 MCS-52 单片微机，其结构是增加了 128 个字节的 RAM 和一个十六位定时器，据说该公司将生产包括模拟电路接口的产品，另一方面，MCS-51 具有 64k 字节的外部程序存储器寻址能力和 64k 字节的外部 RAM 和 I/O 口寻址能力，INTEL 公司标准的 I/O 接口电路和存储器电路都可以直接连到 MCS-51 单片机上以扩展系统功能，结构简单，应用灵活；

③ 可靠性高：微机产品如其他产品一样，出厂指标有军用品、工业品和商用品之分，其中军用品要求绝对可靠，在任何恶劣环境下都能工作，主要用于武器系统，航空器等方面。Z80 等微处理器属

于商用品，一般要求在温湿度恒定的机房内工作，单片微机介于军用品和商用品之间，属工业品，能在常温下工作。由于单片机总线大多在芯片内部不易受干扰，而且单片机应用系统体积小容易采取屏蔽等措施，因此单片微机的可靠性比较高。

④ 处理功能强，速度高，MCS-51单片微机指令系统中具有加、减、乘、除指令，具有各种逻辑运算和转移指令，还具有位操作功能，CPU时钟高达12MHZ，单字节乘法和除法仅需4 μ s，而且具有特殊的多机通讯功能，可作为多机系统中的一个子系统。

⑤ 容易产品化，由于MCS-51单片微机应用系统具有体积小，可靠性高、功能强，价格低等特点，因此容易形成产品，可以把它组装到各种产品之中。MCS-51单片机被誉为“到目前为止最佳的8位单片微机”。

§ 1-2 8051、8751、8031的应用特性

MCS-51系列单片微机包含三个产品：8051、8751和8031，这三个产品具有不同的应用特性：

• 8051：含有一个8位的处理器，128个字节的RAM、21个特殊功能寄存器，4k字节ROM，4个8位平行口，一个全双工串行口，二个十六位定时器计数器，单片8051相当于280CPU，二片280PIO，280CTC，280SIO一片RAM和一片2732，硬件功能高于TP801单板机，是一个完整的微型计算机。

8751：是以4K字节EPROM代替4k字节ROM的8051。

8031：是内部无ROM的8051。单片8031不构成完整计算机，必须外接EPROM作为程序存储器，一片8031相当于280CPU，280PIO，280CTC，280SIO和一片RAM。

8051中ROM内的程序是INTEL公司制作芯片时代为用户烧制的，因此出厂的8051是含有特殊用途程序的专用微型机，用户把专用的工作程序清单交给厂商，厂方提供特殊的8051芯片，因此在我国国内，目前很难采用8051的形式。

8751具有4k字节EPROM，用户可以将程序固化在EPROM

之中，但8751价格昂贵，为8051的10~15倍，只能作为研制样机，不宜用到产品之中。

8031内部没有ROM，但外接一片2732，就相当于8051，它具有价格低，使用灵活，类似于48系列单片机中的8035，适合于在我国推广应用，而且8751，8051都可以作为8031使用，某些厂商生产了过多的8051，作为8031处理，价格十分低廉。

因此我们研讨的重点是8031单片微机，重点掌握8031应用系统的设计和调试方法。包括以下几个方面：

- ① 8031的引脚功能和口特性以及相应的硬件逻辑设计；
- ② 8031指令系统和程序设计方法；
- ③ 8031内部定时器、串行口、中断系统的操作方式，应用和编程方法；
- ④ 8031外部存贮器，I/O口、模拟接口和输入输出部件的设计方法；
- ⑤ 8031应用系统的软件、硬件设计方法，了解应用系统软件，硬件的故障诊断和排除方法，以及有关的开发工具、操作方法。

在下面几章的论述中，常用MCS-51或8031这二个名词，前者的含义包括了8051、8751和8031三个产品，后者指特定的8031。
参考书：MCS-51微计算机用户手册。

通过对本章的学习，使读者对 MCS-51 单片机有一个总的了解。我们从用户的角度，从 MCS-51 单片机应用系统设计的角度分析 MCS-51 的结构，其目的是为了理解和掌握它的外特性。

无论什么类型的微型计算机都由微处理器 μP ，存储器电路 M 以及 I/O 部件组成，将这三个功能部件集成在一个大规模电路芯片上构成的微型机称之为单片微型计算机（亦称微控制器）。

MCS-51 结构框图如图 2-1 所示: (见下页)

图中的微处理器、存储器 and I/O 接口由内部总线紧密地联系在一起。框图中去掉 ROM/EPROM 部分即为 8031 的框图。8031 可用下面的逻辑符号表示：（见下页）

8031 有 4 个 8 位平行口，6 位控制信号线，二根电源线，它为 40 引脚的双列直插式器件。

我们根据 MCS—51 结构中的功能模块和有关引脚联系起来加以讨论。

§ 1 微处理器：微处理器由运算器和控制器逻辑组成：

· 运算器：这个功能部件包含算术逻辑运算部件ALU、累加器ACC、寄存器B、暂存器TMP1、TMP2，程序状态字标志寄存器PSW，以及位处理机。运算器的功能是实现数据的算术逻辑运算和位数据操作——布尔处理。

• 控制器包括以下几个部分:

<一> 定时控制逻辑，这个功能部件是产生 CPU 操作时序的，与此相联系有 6 位控制信号线，我们分别讨论它们的功能和相应的硬件逻辑设计：

(D) XTAL1: 芯片内部振荡电路(单级反相放大器)输入端

X TAL2: " " B "

8031 的时钟可以由二种方式产生：以内部方式，利用芯片内部的振荡电路，在 XTAL₁，XTAL₂ 引脚上外接定时元件，内部的振荡电

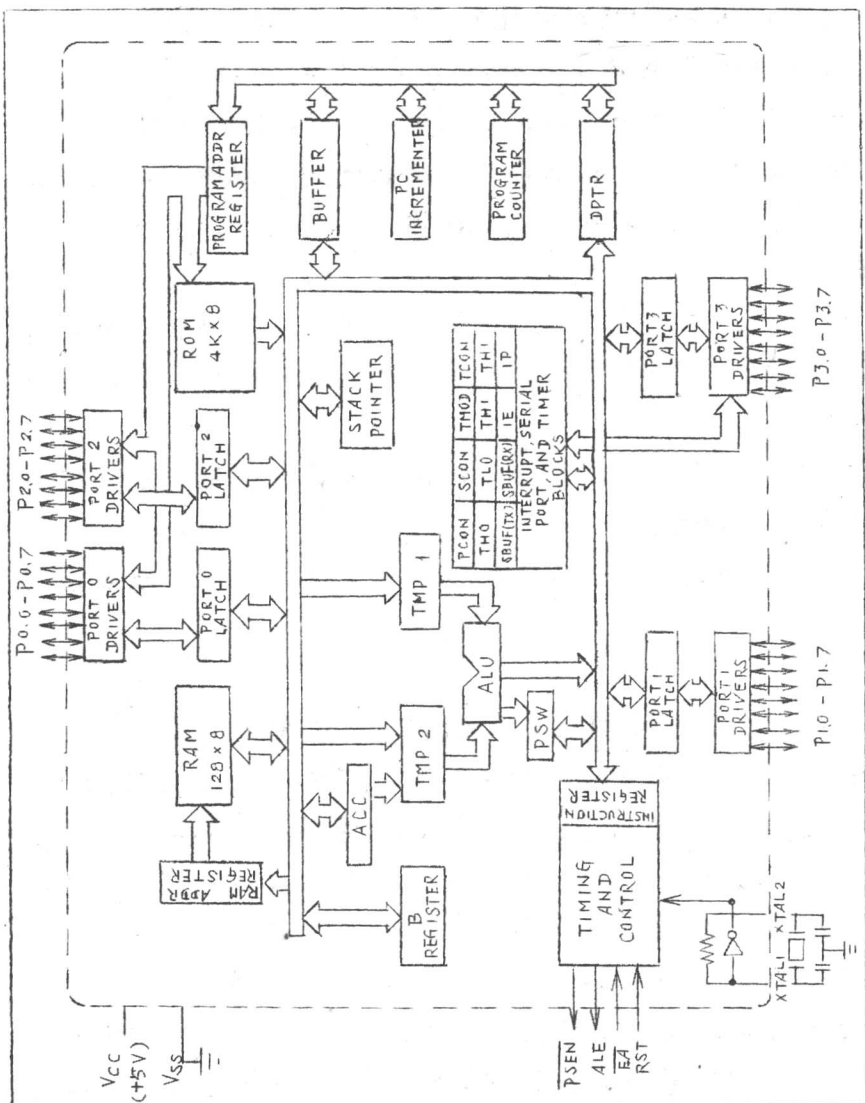


图 2-1 MCS-51 结构框图

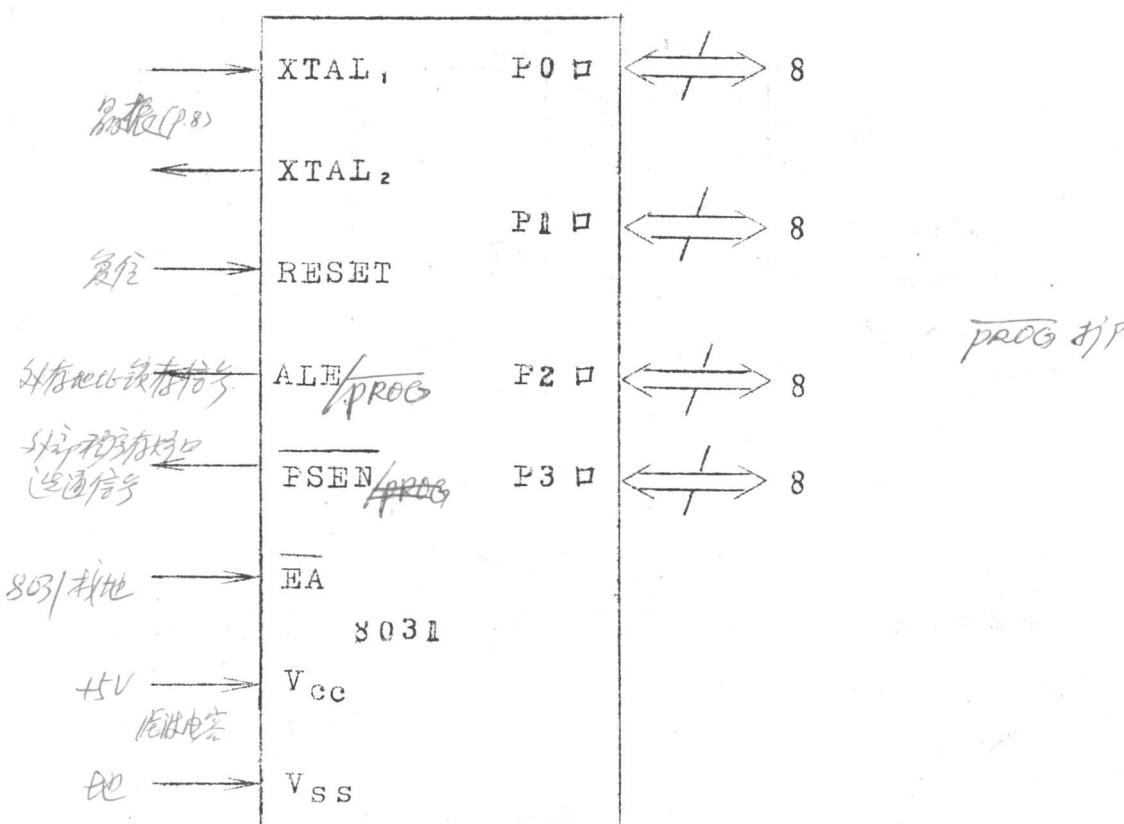


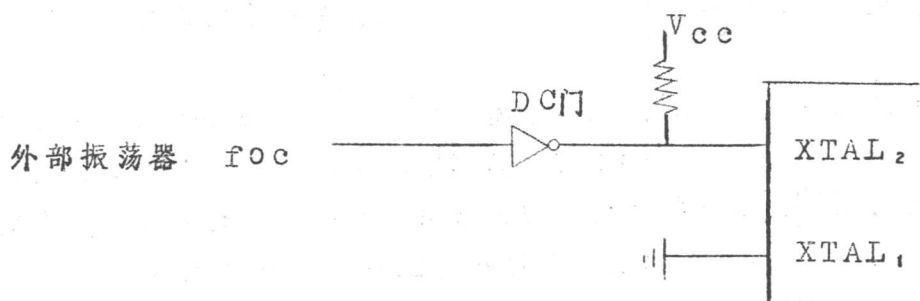
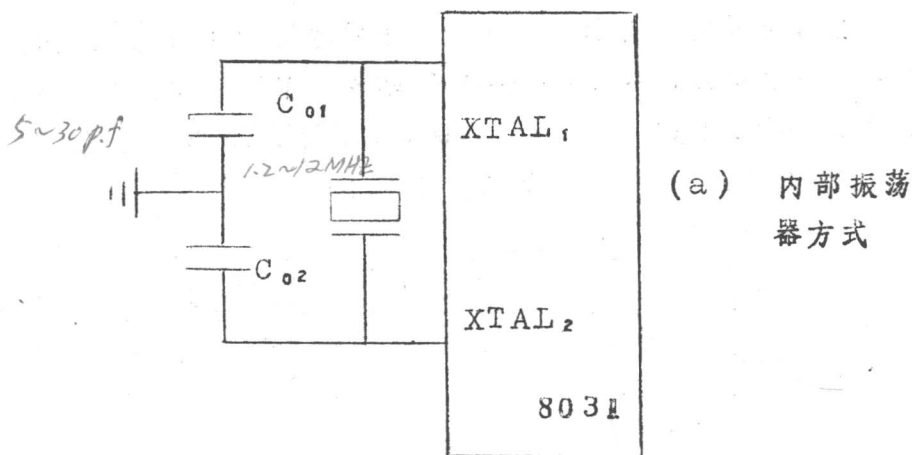
图 2-2 8031 逻辑符号

路便自激振荡，我们可以用示波器观察到 XTAL₂ 输出的正弦波。定时元件可以用晶体和电容组成并联谐振回路，接线方法如下：

(见下页)

晶体可以在 1.2MHz ~ 12MHz 之间任选，电容 C₀₁、C₀₂ 在 5pF ~ 30pF 之间选择，对时钟频率有微调的作用。

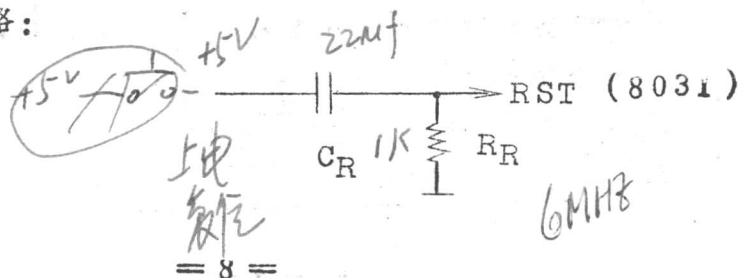
以另一种方式为外部时钟方式，XTAL₁ 接地，XTAL₂ 接外部时钟源。接线方法如下：



• RESET：复位信号输入端

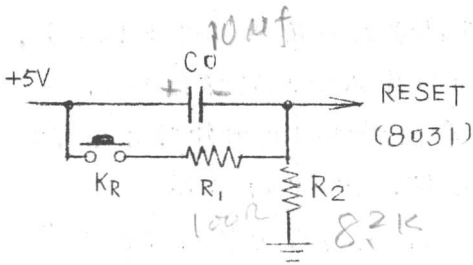
在8031的时钟电路工作以后，RESET引脚上出现24个时钟周期以上的高电平，8031芯片内部初始复位，复位以后，P0口~P3口输出高电平，初值07H写入栈指针sp，清“0”其余的特殊功能寄存器*和程序计数器pc，只要RESET保持高电平，8031循环复位，RESET从高电平变为低电平以后，8031从0地址开始执行程序。8031初始复位不影响内部RAM的状态，包括工作寄存器R₀~R₇。8031复位电路有二种方式：

① 上电复位电路：

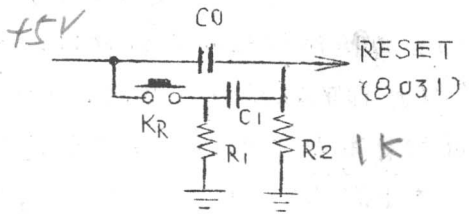


在通电瞬间，由于RC充电过程中在RST端出现正脉冲使8031加电后自动复位， C_R 、 R_R 随CPU时钟频率而变化，可由实验调整，当采用6MHz时钟时 C_R 为22 μ F， R_R 为1K时，便能可靠复位。

② 上电复位和开关复位组合电路：



A：电平方式开关复位



B：脉冲方式开关复位

复位电路中的电阻、电容参数和CPU采用的时钟频率有关，由实验调整，在实际的8031应用系统中，外部扩展的I/O口电路也需初始复位，如果和8031的复位端相连也将影响复位电路中的RC参数。也可以采用独立的外围接口上电自动复位电路。

* *

MCS-51 复位后内部寄存器初态

特殊功能寄存器	初始状态	特殊功能寄存器	初始状态
ACC	00H	TCON	00H
B	00H	TH0	00H
PSW	00H	TLO	00H
SP	07H	TH1	00H
DPL	00H	TL1	00H
DPH	00H	SCON	00H
P0~P3	0FFH	SBUF	不定
IP	XXX00000B	PCON	0XXX XXXXB
IE	0XX00000B		
TMod	00H		

• ALE 地址锁存信号输出端，8031 访问外部存储器时，P0 口输出的低 8 位地址由 ALE 端输出的信号 ($\overline{\text{ALE}}$) 锁存到外部的地址寄存器，使 P0 口输出地址以后，能和外部存储器之间传送指令或数据信息。

• PSEN：8031 外部程序存储器读选通信号输出端 ($\overline{\text{PSEN}}$)，当 8031 访问外部程序存储器时，将 P0 口的十六位地址输出到 P2 口和 P0 口外部的地址寄存器后，PSEN 产生负脉冲选通外部程序存储器，相应的存储器单元的指令字节送到 P0 口，供 8031 读取。

* PSEN、 $\overline{\text{ALE}}$ 和 XTAL₂ 输出端是否有信号输出可以判断出 8031 是否在工作。造成 8031 不工作的原因有以下几种：电源故障、晶振电路故障或芯片不好。

• EA：内部和外部程序存储器选择线。

对于 8051 和 8751 来说，内部有 4 k 字节的程序存储器，当 EA 为高电平时，CPU 访问程序存储器有二种情况：①地址小于 4k 时访问内部的程序存储器，②地址大于 4k 时访问外部的程序存储器。若 EA 接地，则不用内部的程序存储器，不管地址大小，取指令时总是访问外部的程序存储器。对于 8031 来说，EA 必须接地。

• V_{CC}：8031 电源输入端，接 +5 V，V_{SS} 接地端，V_{CC} 和 V_{SS} 之间应有高频和低频滤波电容。

<二> 指令寄存器译码器，8031 CPU 从程序存储器取出的指令字节存放在指令寄存器中，译码产生控制信号，控制指令的执行。（数据传送、数据运算、输入输出等）

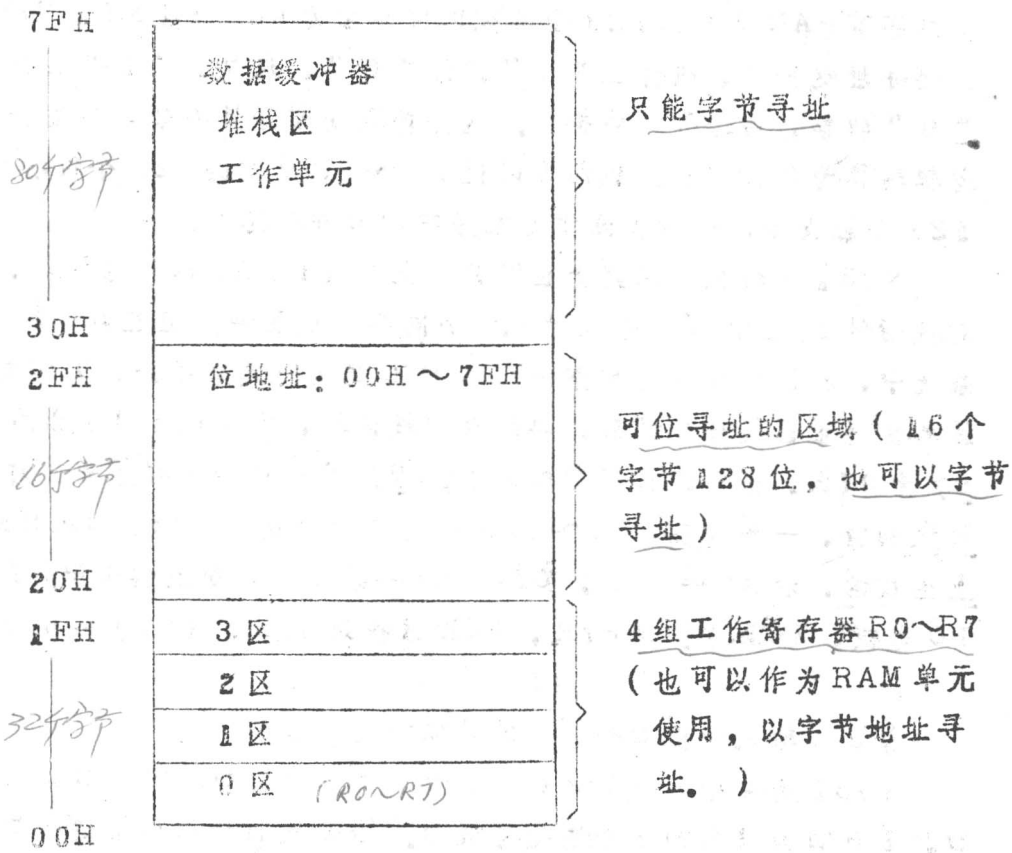
<三> 地址指针 DPTR：8031 访问外部数据存储器或 I/O 时可以用 16 位的指针 DPTR 作为地址指针。程序计数器 PC 指出下一条指令字节所在的程序存储器地址。还有 RAM 地址寄存器，16 位的地址缓冲器，堆栈指针 SP 等都是属于控制器部分的。

§ 2 存储器

对于 8051 来说内部有 4 k 字节 ROM，对于 8751 来说内部有 4 k 字节的 EPROM，它们作为内部的程序存储器。8031 内部没有

程序存储器，必须外接程序存储器。

MCS-51系列的单片微机内部有128个字节的随机存取存储器RAM，CPU对内部的RAM具有丰富的操作指令。RAM分配如下：



单片机的特点之一是内部工作寄存器以RAM形式组成，8031要有4组工作寄存器R0~R7，占据RAM存储器的00~1FH区域，切换CPU的工作寄存器区，只要CPU执行一条单周期指令改变程序状态字PSW的第3、4位：

PSW.4	PSW.3	CPU工作寄存器区R0~R7
0	0	0区
0	1	1区
1	0	2区
1	1	3区

8031工作寄存器的这个特性，提供了快速保护现场的功能，提高了CPU实时响应速度，也提高程序的效率。

为了适应控制型应用领域的需要，RAM的20H~2FH这十六个单元，CPU对它们不仅具有字节寻址功能，而且具有位寻址能力，这十六字节RAM单元的128个位赋以位地址为00H~7FH，CPU能直接寻址这些位，执行置“1”，清“0”，求反，“1”转移，“0”转移，传送和逻辑操作。这些功能使程序员有效地将组合随机逻辑转换为软件形式。我们可以把20~2F单元的128个位看成是128个触发器，用这些位作为程序中的软件标志位。

8031的堆栈区原则上由用户分配在内部RAM的任意区域，只要对栈指针sp赋以不同初值就指定不同的堆栈区域。但在具体的应用系统中，栈区的设置应和整个RAM的分配统一起来考虑，工作寄存器区和位寻址区域分配好后，再指定堆栈区域，因8031复位以后，sp为07H，指向工作寄存器区1，因此用户初始化程序都应对sp设置初值，一般设在30H~7FH的范围内为宜。8031的堆栈是向上生成的，若sp=60H，CPU执行一条调用指令或响应中断后，PC进栈，PCL保护到61H，PCH保护到62H，(sp)=62H。

§ 3 输入输出和相应的特殊功能寄存器

8031有4个8位I/O口。P1口、P2口和P3口为准双向口，P0口为双向的三态数据总线口。下面我们分别介绍这些口的特性和操作。

<一> P1口：P1口为8位准双向口，每一位可独立地定义为输入或输出，当由输出方式改变为输入方式时，该位的锁存器必须写入“1”，CPU对P1口的操作可以是字节操作也可以位操作。字节地址为90H，位地址p1.0~p1.7为90H~97H。

• 字节操作（输出）

```
MOV P1, A
MOV P1, #data
ANL P1, #data
```

（输入）

```
MOV direct, p1
MOV A, p1
ANL A, p1
```

ORL P1, #data

ORL A, p1

MOV P1, direct

• 位操作

SETB p1.i

CLR p1.i

ANL c, p1.i

MOV p1.i, c

ORL c, p1.i

MOV c, p1.i

ORL c, p1.i

JB p1.i, rel

等 (i = 0 ~ 7)

JNB p1.i, rel

JBC p1.i, rel

<二> P3口: 8031的p3口也是准双向口, 在框图中P3口的输入输出和P3口锁存器以及中断, 定时器/计数器, 串行口特殊功能寄存器的模块相关, 使8031的p3口为双功能口, 第一功能和P1口一样作为输入输出口, 也有字节操作和位操作二种方式, 每一位可分别定义为输入或输出。P3口第二功能的定义如下:

p3.0 RXD 串行输入口

p3.1 TXD 串行输出口

p3.2 INT₀ 外部中断请求输入线0;

p3.3 INT₁ 外部中断请求输入线1;

p3.4 T₀ 定时器/计数器T₀外部计数脉冲输入线;

p3.5 T₁ 定时器/计数器T₁外部计数脉冲输入线;

p3.6 WR 外部数据存储器写脉冲输出线;

p3.7 RD 外部数据存储器读脉冲输出线;

串行口的操作方式和数据传送与特殊功能寄存器PCON、SCON、SBUF等有关, 定时器/计数器操作和特殊功能寄存器TCON, TMod, TH₀, TL₀, TH₁, TL₁有关; 8031有五个中断请求源, 它们是外部中断请求源INT₀、INT₁、定时器0和定时器1的溢出中断以及串行口的发送接收中断, 8031具有二个中断优先级, 可实现二级中断服务程序的嵌套。中断系统结构和特殊功能寄存器