苏州大学实验报告

院、系	计算机学院	年级专业	21 计科	姓名	赵鹏	学号	2127405037
课程名称	计算机组成及系统结构					成绩	
指导教师	张春生	同组实验者	无	实验日期	2023.4.12		

实 验 名 称　　实验三、微控器实验

一、实验目的

1. 掌握微程序控制器的组成原理；
2. 掌握微程序的编制、写入，观察微程序的运行过程。

二、实验设备

1. PC 机一台，TD-CMA 实验系统一套。
2. 排线：8 芯 7 根、6 芯 1 根、4 芯 3 根、2 芯 10 根。

三、实验内容

对微控制器进行读写操作，观察机器指令对应的参考微程序流程图的微程序运行过程。

四、实验原理

1. 微程序控制器原理

微程序控制器的基本任务是完成当前指令的翻译和执行，即将当前指令的功能转换成可以控制的硬件逻辑部件工作的微命令序列，完成数据传送和各种处理操作。它的执行方法就是将控制各部件动作的微命令的集合进行编码，即将微命令的集合仿照机器指令一样，用数字代码的形式表示，这种表示称为微指令。这样就可以用一个微指令序列表示一条机器指令，这种微指令序列称为微程序。微程序存储在一种专用的存储器中，称为控制存储器，其原理图如图 1 所示。

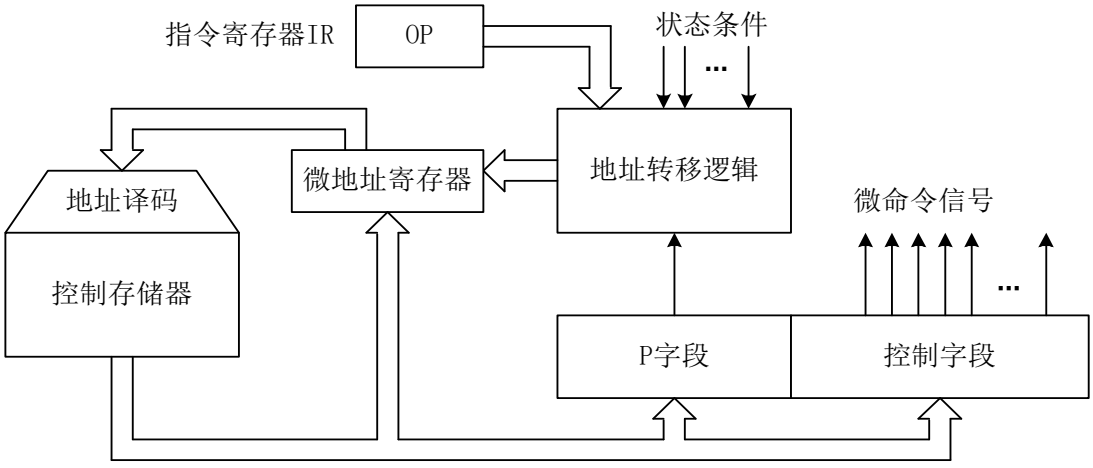


图 1　微程序控制器组成原理框图

控制器是严格按照系统时序来工作的，本实验所用的时序由时序单元来提供，分为四拍

教务处制

TS1、TS2、TS3、TS4。

微程序控制器的组成如图 2 所示，其中控制存储器采用 3 片 2816 的 E^2PROM，具有掉电保护功能，微命令寄存器 18 位，用两片 8D 触发器（273）和一片 4D（175）触发器组成。

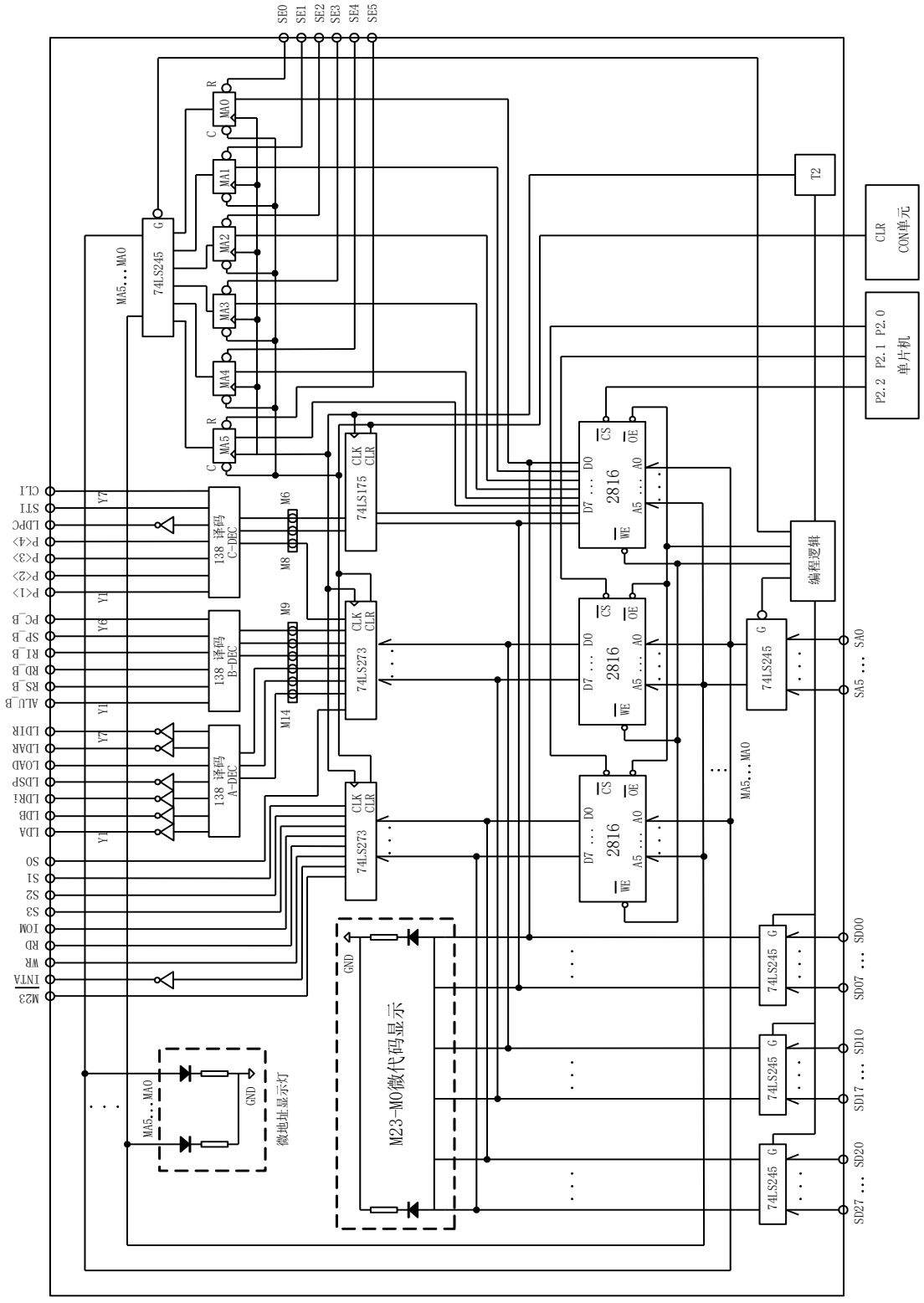


图 2　微程序控制器原理图

微地址寄存器 6 位，用三片正沿触发的双 D 触发器（74）组成，它们带有清“0”端和预

置端。在不判别测试的情况下，T2 时刻打入微地址寄存器的内容即为下一条微指令地址。当 T4 时刻进行测试判别时，转移逻辑满足条件后输出的负脉冲通过强置端将某一触发器置为“1”状态，完成地址修改。

2. 微指令

微指令字长共 24 位，控制位顺序如表 1 所示。

表 1　微指令格式

23	22	21	20	19	18~15	14~12	11~9	8~6	5~0
M23	M22	WR	RD	IOM	S3~S0	A	B	C	MA5~MA0

其中 M23，M22 保留，在复杂模型机中 M23 保留，M22=CN。

本实验中 S3~S0 为运算器控制信号，其功能表如表 2 所示。

表 2　运算器控制信号功能表

运算类型	S3 S2 S1 S0	CN	功能
逻辑运算	0000	X	F=A（直通）
	0001	X	F=B（直通）
	0010	X	F=AB （FZ）
	0011	X	F=A+B （FZ）
	0100	X	F=/A （FZ）
移位运算	0101	X	F=A 不带进位循环右移 B（取低 3 位）位 （FZ）
	0110	0	F=A 逻辑右移一位 （FZ）
		1	F=A 带进位循环右移一位 （FC，FZ）
	0111	0	F=A 逻辑左移一位 （FZ）
		1	F=A 带进位循环左移一位 （FC，FZ）
算术运算	1000	X	置 FC=CN （FC）
	1001	X	F=A 加 B （FC，FZ）
	1010	X	F=A 加 B 加 FC （FC，FZ）
	1011	X	F=A 减 B （FC，FZ）
	1100	X	F=A 减 1 （FC，FZ）
	1101	X	F=A 加 1 （FC，FZ）
	1110	X	（保留）
	1111	X	（保留）

微指令中 MA5~MA0 为 6 位的后续微地址；A、B、C 为三个译码字段，分别由三个控制位译码出多位。C 字段中的 P<1>为测试字位。其功能是根据机器指令及相应微代码进行译码，使微程序转入相应的微地址入口，从而实现完成对指令的识别，并实现微程序的分支。

表 3　微指令 ABC 各字段解释

A 字段				B 字段				C 字段			
14	13	12	选　择	11	10	9	选　择	8	7	6	选　择
0	0	0	NOP	0	0	0	NOP	0	0	0	NOP
0	0	1	LDA	0	0	1	ALU-B	0	0	1	P<1>
0	1	0	LDB	0	1	0	R0-B	0	1	0	保留
0	1	1	LDR0	0	1	1	保留	0	1	1	保留
1	0	0	保留	1	0	0	保留	1	0	0	保留
1	0	1	LOAD	1	0	1	保留	1	0	1	LDPC
1	1	0	LDAR	1	1	0	PC-B	1	1	0	保留

1	1	1	LDIR	1	1	1	保留	1	1	1	保留

如表 3 所示。A 字段中：LDA 是运算单元的第一操作数存储单元 A，接收总线数据；LDB 是运算单元的第二操作数存储单元 B，接收数据总线数据；LDR0，R0 接收数据总线数据；LDAR 是地址总线送地址到地址寄存器 AR；LDIR 是指令寄存器接收总线数据。B 字段中，ALU-B 是 ALU 送数据到数据总线；R0-B 送数据到数据总线；PC-B 是 74LS161 送数据到数据总线。C 字段中：P<1>将 I7 I6 I5 I4(操作码)加入微地址；LDPC 为 PC+1；LDPC+LOAD 将总线的数据送 PC (A 字段＝101)。

本系统中的指令译码原理如图 3 所示，图中 I7~I2 为指令寄存器的第 7~2 位输出，SE5~SE0 为微控器单元微地址锁存器的强置端输出，指令译码逻辑在 IR 单元的 INS_DEC（GAL20V8）中实现。

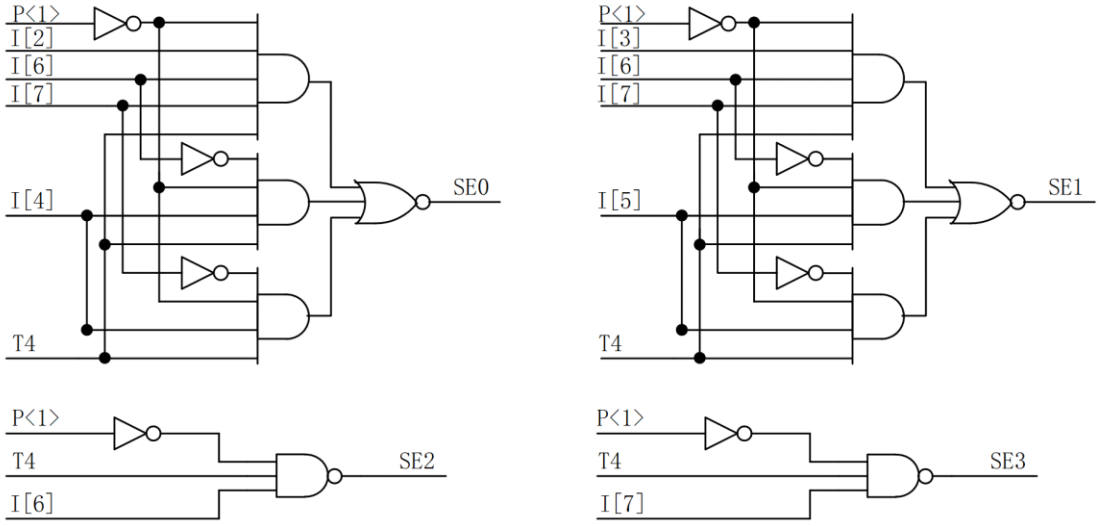


图 3　指令译码原理图

从图 2 中也可以看出，微控器产生的控制信号比表 3 中的要多，这是因为实验的不同，所需的控制信号也不一样，本实验只用了部分的控制信号。

本实验除了用到指令寄存器（IR）和通用寄存器 R0 外，还要用到 IN 和 OUT 单元。

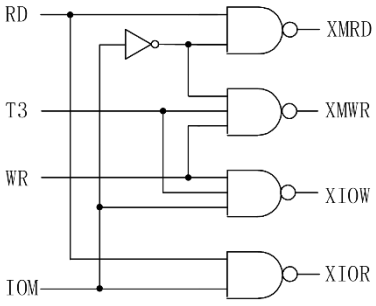


图 4　读写控制逻辑

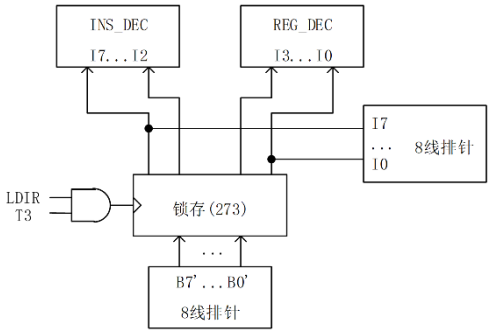


图 5　IR 单元原理图

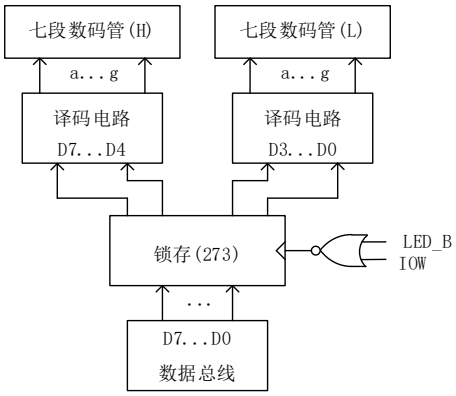


图 6　OUT 单元原理图

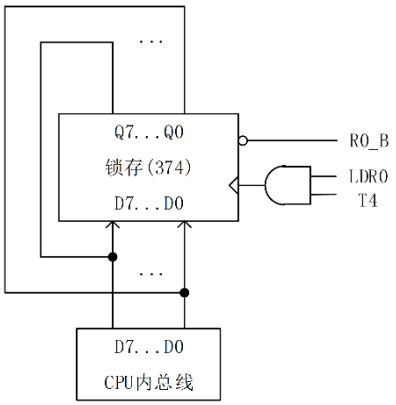


图 7　R0 原理图

从微控器出来的信号中只有 IOM、WR 和 RD 三个信号，所以对这两个单元的读写信号还应先经过译码，其译码原理如图 4 所示。IOM 用来选择是对 I/O 还是对 MEM 进行读写操作，IOM=0 时对 MEM 进行读写操作，IOM=1 时对 I/O 设备进行读写操作，RD=1 时为读，WR=1 时为写。

IR 单元的原理图如图 5 所示，R0 单元原理如图 7 所示，IN 单元的原理图见图 8 所示，OUT 单元的原理图见图 6 所示。

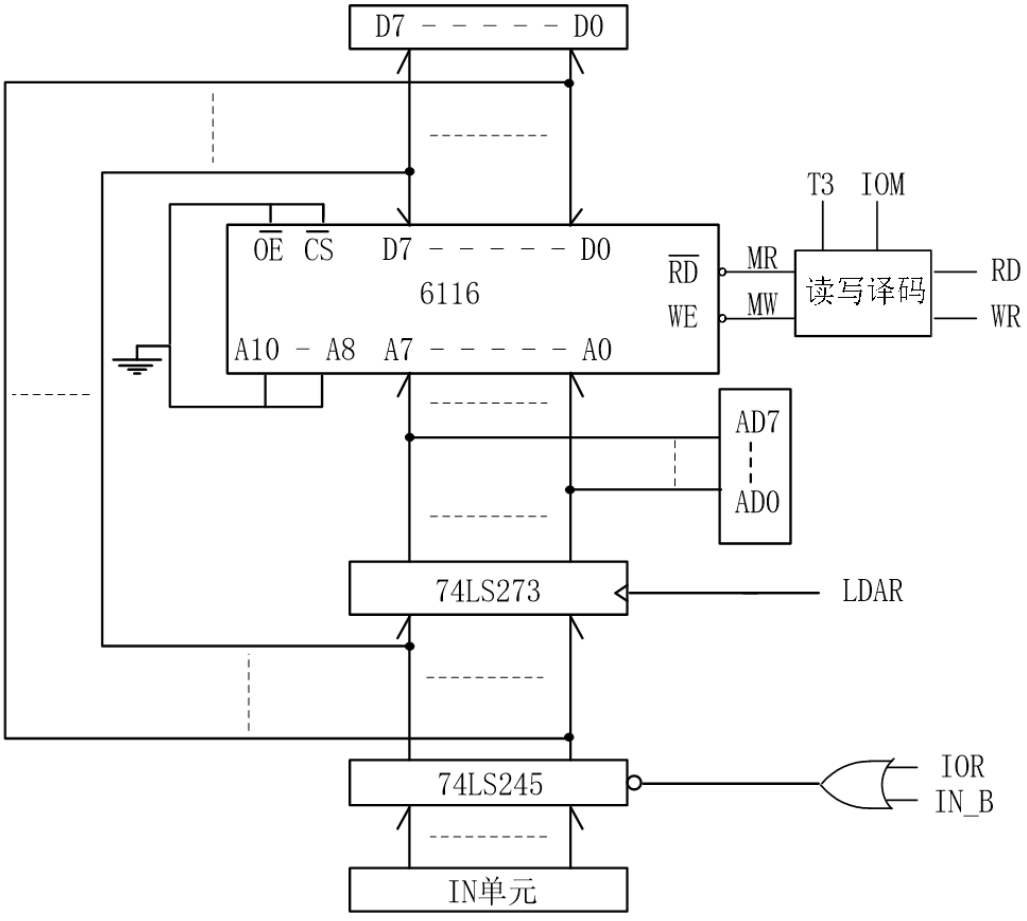


图 8　IN 单元原理图

本实验安排了四条机器指令，分别为 ADD（0000 0000）、IN（0010 0000）、OUT（0011 0000）和 HLT（0101 0000），括号中为各指令的二进制代码，指令格式如表 4 所示。

表 4　指令格式

助记符	机器指令码	说明

IN	0000 0000	IN -> R0
ADD	0010 0000	R0 + R0 -> R0
OUT	0011 0000	R0 -> OUT
HLT	0101 0000	停机

实验中机器指令由 CON 单元的二进制开关手动给出，其余单元的控制信号均由微程序控制器自动产生，为此可以设计出相应的数据通路图，见图 9 所示。

几条机器指令对应的参考微程序流程图如图 10 所示。图中一个矩形方框表示一条微指令，方框中的内容为该指令执行的微操作，右上角的数字是该条指令的微地址，右下角的数字是该条指令的后续微地址，所有微地址均用 16 进制表示。向下的箭头指出了下一条要执行的指令。P<1>为测试字，根据条件使微程序产生分支。

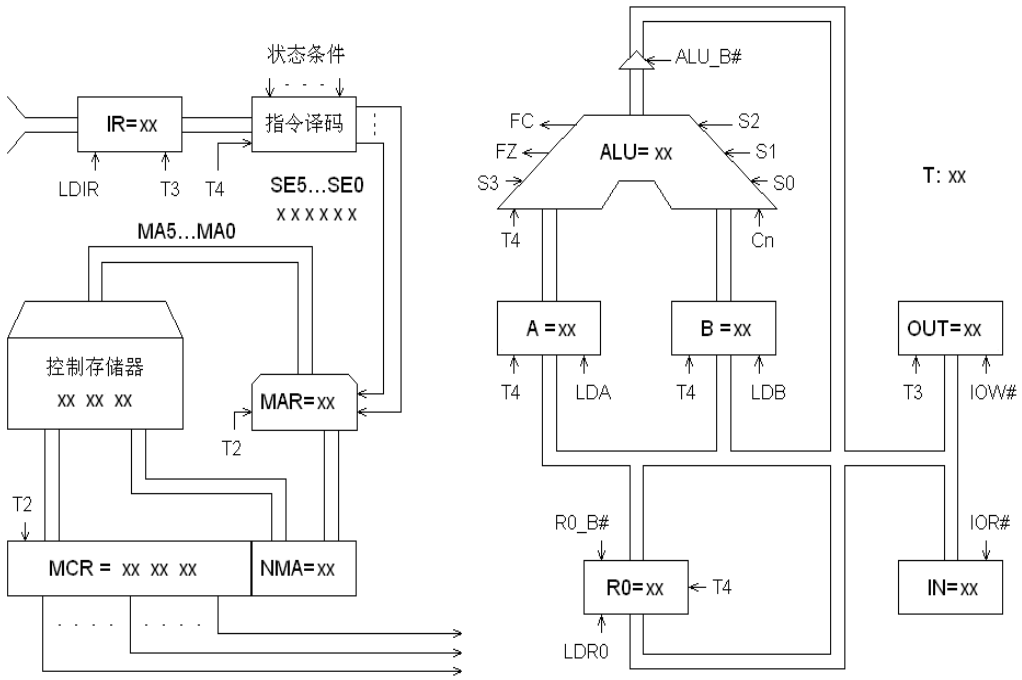


图 9　数据通路图

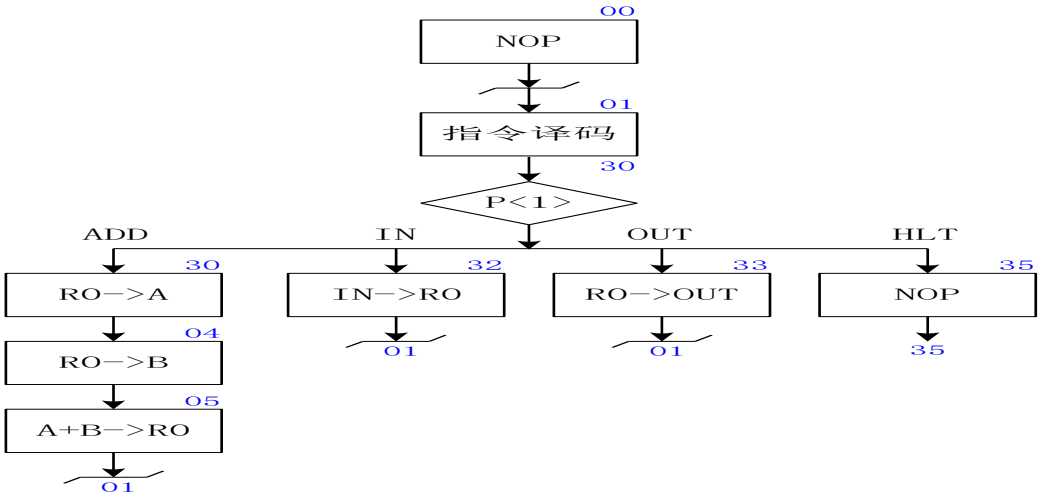


图 10　微程序流程图

将全部微程序按微指令格式变成二进制微代码，可得到表 5 的二进制代码表。

表 5　二进制微代码表

地址	*十六进制*	高五位	S3-S0	A 字段	B 字段	C 字段	MA5-MA0
00	00 00 01	00000	000**0**	**000**	**000**	**0**00	000001

01	00 70 70	00000	000**0**	**111**	**000**	**0**01	110000
04	00 24 05	00000	000**0**	**010**	**010**	**0**00	000101
05	04 B2 01	00000	100**1**	**011**	**001**	**0**00	000001
30	00 14 04	00000	000**0**	**001**	**010**	**0**00	000100
32	18 30 01	00011	000**0**	**011**	**000**	**0**00	000001
33	28 04 01	00101	000**0**	**000**	**010**	**0**00	000001
35	00 00 35	00000	000**0**	**000**	**000**	**0**00	110101

五、实验步骤

1. 按图 11 所示连接实验线路，仔细查线无误后接通电源。

如果有报警声，说明总线有竞争现象，应关闭电源，检查接线，直到错误排除。

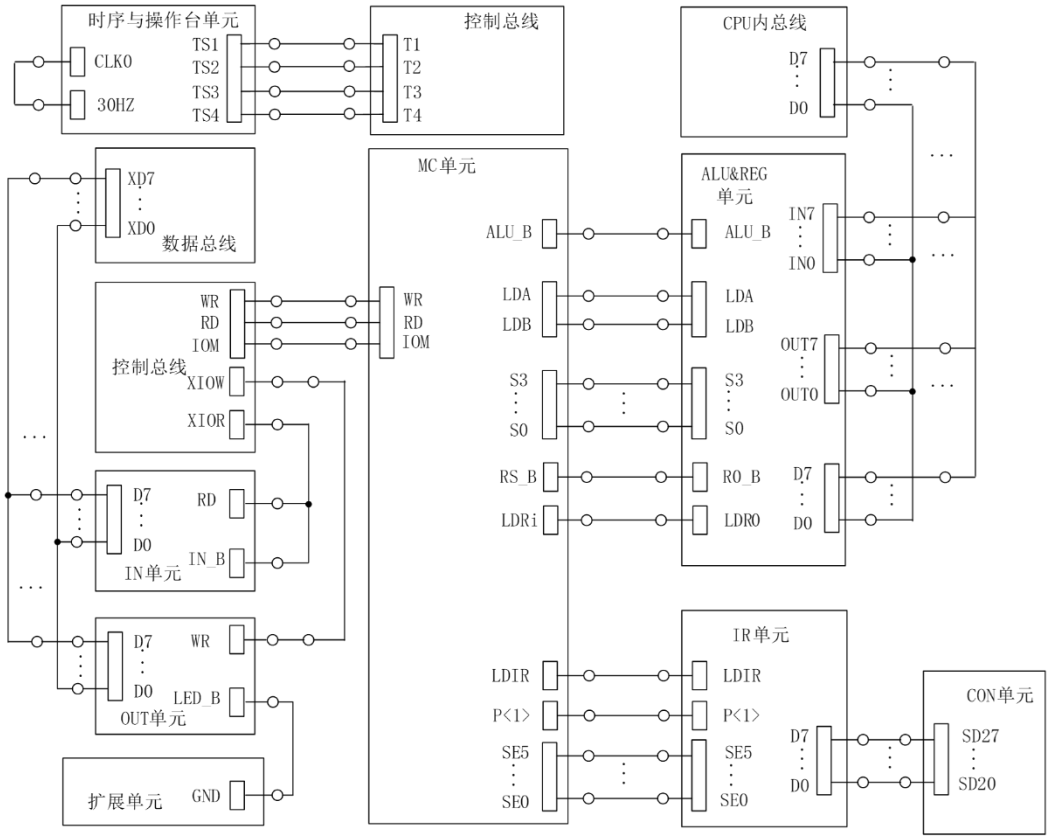


图 11　实验接线图

2. 对微控器进行读写操作，分两种情况：手动读写和联机读写。

手动读写

(1) 手动对微控器进行编程（写），如图所示

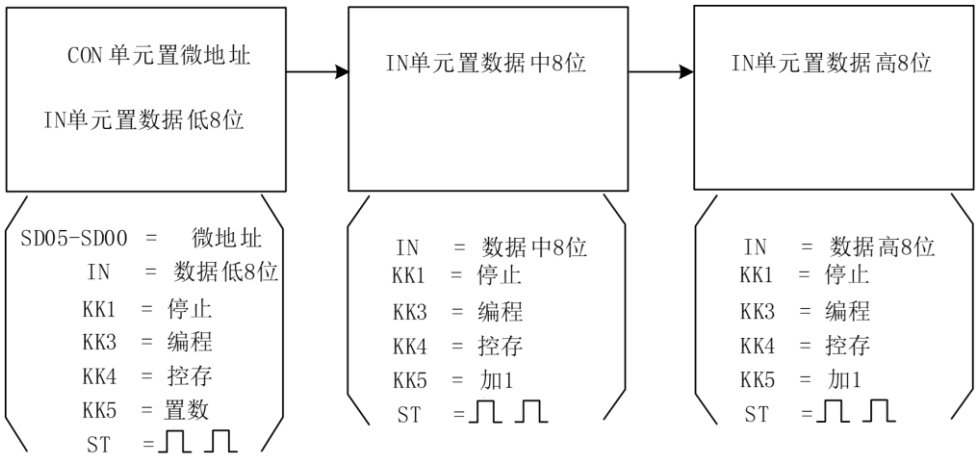


图 12　手动编程（写）

① 将时序与操作台单元的开关 KK1 置为“停止”档，KK3 置为“编程”档，KK4 置为“控存”档，KK5 置为“置数”档。

② 使用 CON 单元的 SD05~SD00 给出微地址，IN 单元给出低 8 位应写入的数据，连续两次按动时序与操作台的开关 ST，将 IN 单元的数据写到该单元的低 8 位。观察 MC 单元的 M7~M0 与 MC0（低位）。

③ 将时序与操作台单元的开关 KK5 置为“加 1”档。

④ IN 单元给出中 8 位应写入的数据，连续两次按动时序与操作台的开关 ST，将 IN 单元的数据写到该单元的中 8 位。观察 MC 单元的 M15~M8 与 MC1（中位）。IN 单元给出高 8 位应写入的数据，连续两次按动时序与操作台的开关 ST，将 IN 单元的数据写到该单元的高 8 位。观察 MC 单元的 M23~M16 与 MC2（高位）。

⑤ 重复①、②、③、④四步，将表 5 的微代码写入 2816 芯片中。

(2) 手动对微控器进行校验（读），如图 13 所示。

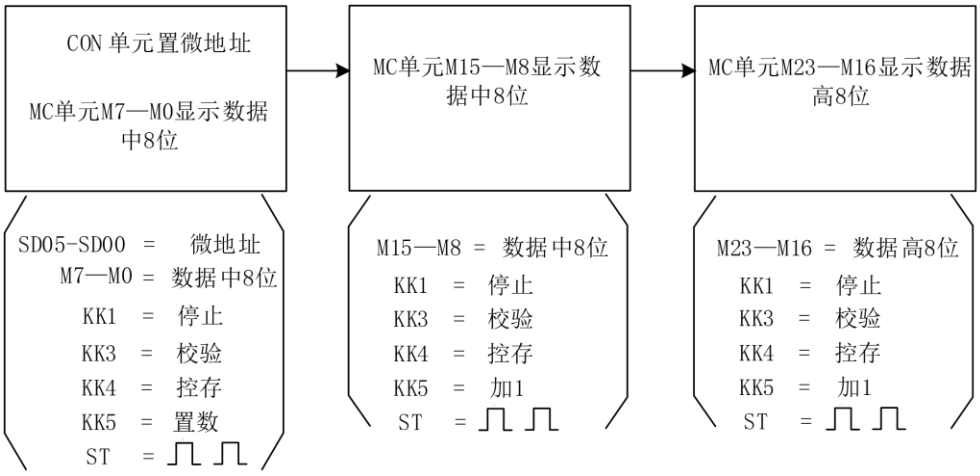


图 13　手动校验（读）

① 将时序与操作台单元的开关 KK1 置为“停止”档，KK3 置为“校验”档，KK4 置为“控存”档，KK5 置为“置数”档。

② 使用 CON 单元的 SD05~SD00 给出微地址，连续两次按动时序与操作台的开关 ST，MC 单元的指数据指示灯 M7~M0 显示该单元的低 8 位。

③ 将时序与操作台单元的开关 KK5 置为“加 1”档。

④ 连续两次按动时序与操作台的开关 ST，MC 单元的指数据指示灯 M15~M8 显示该单元的中 8 位。连续两次按动时序与操作台的开关 ST，MC 单元的指数据指示灯 M23~M16 显示该单元的高 8 位。

⑤ 重复①、②、③、④四步，完成对微代码的校验。如果校验出微代码写入错误，重新写入、校验，直至确认微指令的输入无误为止。

联机读写

联机软件中微程序的格式如图 14 所示，其中分号“;”为注释符，分号后面的内容在下载时将被忽略掉。

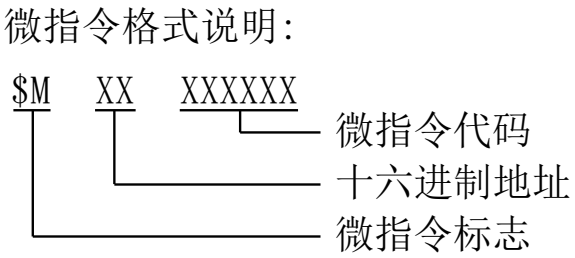


图 14 微指令格式说明

(1) 写入微程序

本次实验的微程序如下：

```
$M 00 000001    ; NOP
$M 01 007070    ; CON(INS)->IR, P<1>
$M 04 002405    ; R0->B
$M 05 04B201    ; A 加 B->R0
$M 30 001404    ; R0->A
$M 32 183001    ; IN->R0
$M 33 280401    ; R0->OUT
$M 35 000035    ; NOP
```

用联机软件的“【转储】—【装载 TangDu/CMA/CMA/Sample/微程序控制实验.txt】”功能将该文件装载入实验系统。装入过程中，在软件的输出区的“结果”栏会显示装载信息，如当前正在装载的是机器指令还是微指令，还剩多少条指令等。

(2) 校验微程序

选择联机软件的“【转储】—【刷新指令区】”可以读出下位机所有的机器指令和微指令，并在指令区显示。检查微控器相应地址单元的数据是否和表 5 中的十六进制数据相同。如果不同，则说明写入操作失败，应重新写入。可以通过联机软件单独修改某个单元的微指令，先用鼠标左键单击指令区的“微存”，然后再单击需修改单元的数据，此时该单元变为编辑框，输入 6 位修改数据并回车。

3. 运行微程序，分两种情况：本机运行和联机运行。

(1) 本机运行

① 将时序与操作台单元的开关 KK1、KK3 置为“运行”档，按动 CON 单元的 CLR 按钮，将微地址寄存器（MAR）清零，同时也将指令寄存器（IR）、ALU 单元的暂存器 A 和暂存器 B 清零。

② 将时序与操作台单元的开关 KK2 置为“单拍”档，然后按动 ST 按钮，体会系统在 T1、T2、T3、T4 节拍中各做的工作。T2 节拍微控器将后续微地址（下条执行的微指令的地址）打入微地址寄存器，当前微指令打入微指令寄存器，并产生执行部件相应的控制信号；T3、T4 节拍根据 T2 节拍产生的控制信号做出相应的执行动作，如果测试位有效，还要根据机器指令及当前微地址寄存器中的内容进行译码，使微程序转入相应的微地址入口，实现微程序的分支。

③ 按动 CON 单元的 CLR 按钮，清微地址寄存器（MAR）等，并将时序与单元的开关 KK2 置为“单步”档。

④ 置 IN 单元数据为 00100011，按动 ST 按钮，当 MC 单元后续微地址显示为 000001 时，

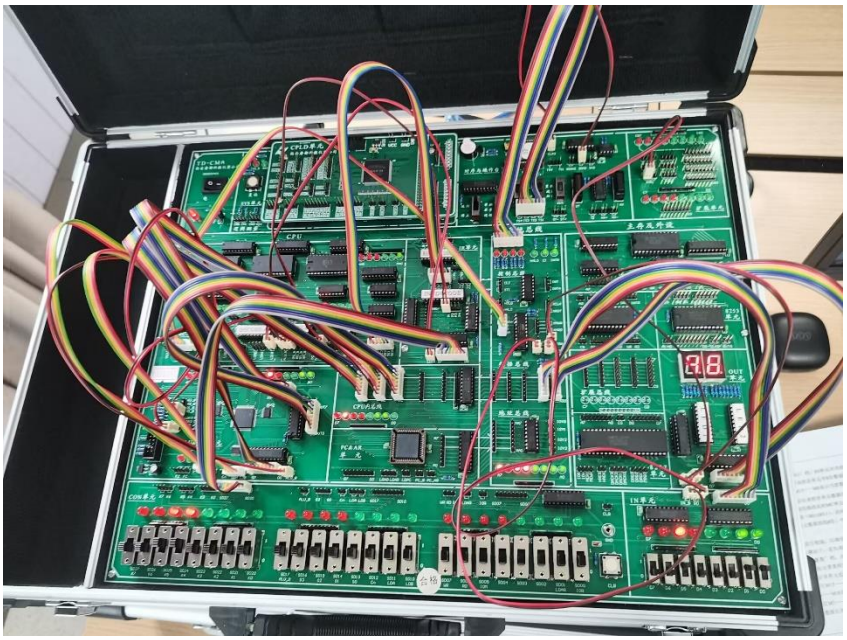
在 CON 单元的 SD27~SD20 模拟给出 IN 指令 00100000 并继续单步执行，当 MC 单元后续微地址显示为 000001 时，说明当前指令已执行完；在 CON 单元的 SD27~SD20 给出 ADD 指令 00000000，该指令将会在下个 T3 被打入指令寄存器（IR），它将 R0 中的数据和其自身相加后送 R0；接下来在 CON 单元的 SD27~SD20 给出 OUT 指令 00110000 并继续单步执行，在 MC 单元后续微地址显示为 000001 时，观查 OUT 单元的显示值是否为 01000110。

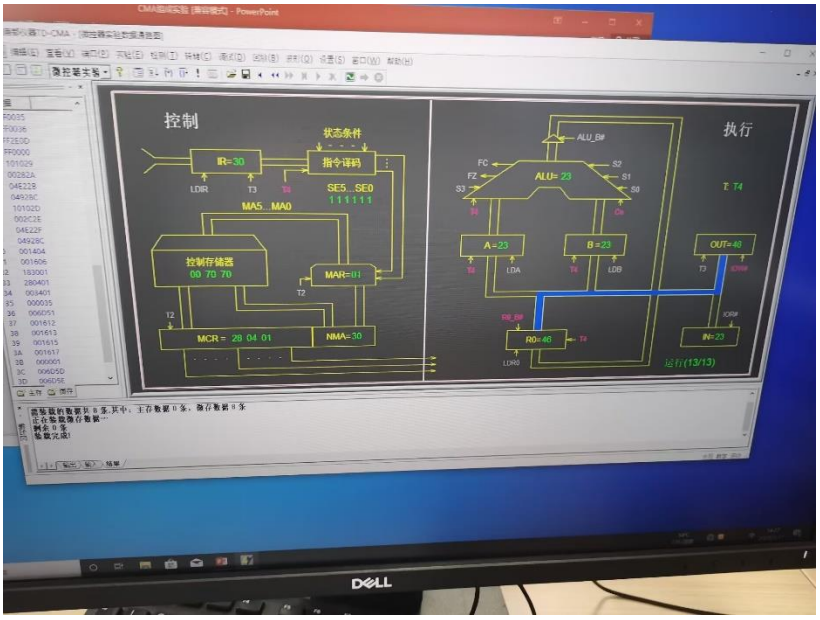
(2) 联机运行

联机运行时，进入软件界面，在菜单上选择【实验】－【微控器实验】，打开本实验的数据通路图，数据通路图如图 9 所示。

将时序与操作台单元的开关 KK1、KK3 置为“运行”档，按动 CON 单元的总清开关后，按动软件中单节拍按钮，当后续微地址（通路图中的 MAR）为 000001 时，置 CON 单元 SD27~SD20，产生相应的机器指令，该指令将会在下个 T3 被打入指令寄存器（IR），在后面的节拍中将执行这条机器指令。仔细观察每条机器指令的执行过程。打开微程序流程图，跟踪显示每条机器指令的执行过程。按本机运行的顺序给出数据和指令，观查最后的运算结果是否正确。

六、实验结果





七、实验总结

通过此次实验，我能够对微控制器进行读写操作，观察机器指令对应的参考微程序流程图的微程序运行过程，对微程序控制器的组成原理、微程序的编制、写入方法也都有了更加深刻的理解。