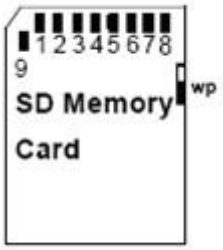
SD 卡在现在的日常生活与工作中使用非常广泛，时下已经成为最为通用的数据存储卡。在诸如 MP3、数码相机等设备上也都采用 SD 卡作为其存储设备。 SD 卡之所以得到如此广泛的使用，是因为它价格低廉、存储容量大、使用方便、通用性与安全性强等优点。既然它有着这么多优点，那么如果将它加入到单片机应 用开发系统中来，将使系统变得更加出色。这就要求对 SD 卡的硬件与读写时序进行研究。对于 SD 卡的硬件结构，在官方的文档上有很详细的介绍，如 SD 卡内的 存储器结构、存储单元组织方式等内容。要实现对它的读写，最核心的是它的时序，笔者在经过了实际的测试后，使用 51 单片机成功实现了对 SD 卡的扇区读写， 并对其读写速度进行了评估。下面先来讲解 SD 卡的读写时序。

（1） **SD 卡的引脚定义：**

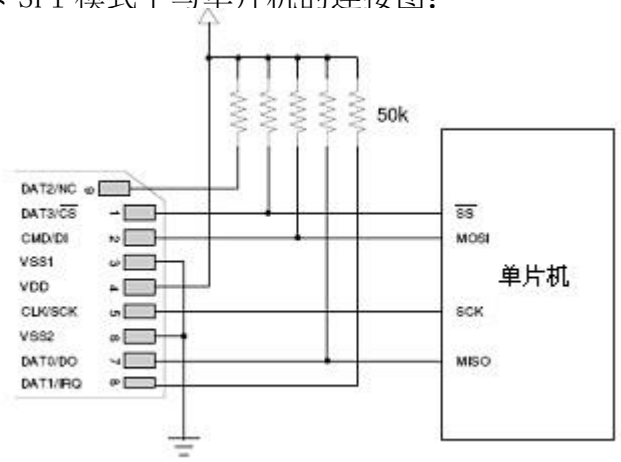


SD 卡引脚功能详述：

引脚	SD 模式			SPI 模式		
编号	名称	类型	描述	名称	类型	描述
1	CD/DAT3	IO 或 PP	卡检测/数据线 3	#CS	I	片选
2	CMD	PP	命令/回应	DI	I	数据输入
3	V_{SS1}	S	电源地	VSS	S	电源地
4	V_{DD}	S	电源	VDD	S	电源
5	CLK	I	时钟	SCLK	I	时钟
6	V_{SS2}	S	电源地	VSS2	S	电源地
7	DAT0	IO 或 PP	数据线 0	DO	0 或 PP	数据输出
8	DAT1	IO 或 PP	数据线 1	RSV		
9	DAT2	IO 或 PP	数据线 2	RSV		

注：S：电源供给 I：输入 O：采用推拉驱动的输出
PP：采用推拉驱动的输入输出

SD 卡 SPI 模式下与单片机的连接图：



SD 卡支持两种总线方式：SD 方式与 SPI 方式。其中 SD 方式采用 6 线制，使用 CLK、CMD、DAT0~DAT3 进行数据通信。而 SPI 方式采用 4 线 制，使用 CS、CLK、DataIn、DataOut 进行数据通信。SD 方式时的数据传输速度与 SPI 方式要快，采用单片机对 SD 卡进行读写时一般都采用 SPI 模式。采用不同的初始化方式可以使 SD 卡工作于 SD 方式或 SPI 方式。这里只对其 SPI 方式进行介绍。

（2） **SPI 方式驱动 SD 卡的方法**

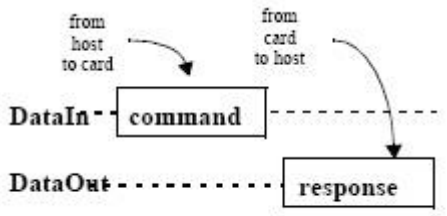
SD 卡的 SPI 通信接口使其可以通过 SPI 通道进行数据读写。从应用的角度来看，采用 SPI 接口的好处在于，很多单片机内部自带 SPI 控制器，不光给开发 上带来方便，同时也见降低了开发成本。然而，它也有不好的地方，如失去了 SD 卡的性能优势，要解决这一问题，就要用 SD 方式，因为它提供更大的总线数据带 宽。SPI 接口的选用是在上电初始时向其写入第一个命令时进行的。以下介绍 SD 卡的驱动方法，只实现简单的扇区读写。

1） 命令与数据传输

1. 命令传输

SD 卡自身有完备的命令系统，以实现各项操作。命令格式如下：

命令的传输过程采用发送应答机制，过程如下：



每一个命令都有自己命令应答格式。在 SPI 模式中定义了三种应答格式，如下表所示：

字节	位	含义
1	7	开始位，始终为 0
	6	参数错误
	5	地址错误
	4	擦除序列错误
	3	CRC 错误
	2	非法命令
	1	擦除复位
	0	闲置状态

字节	位	含义
1	7	开始位，始终为 0
	6	参数错误
	5	地址错误
	4	擦除序列错误
	3	CRC 错误
	2	非法命令
	1	擦除复位
	0	闲置状态
2	7	溢出，CSD 覆盖
	6	擦除参数
	5	写保护非法
	4	卡 ECC 失败
	3	卡控制器错误
	2	未知错误
	1	写保护擦除跳过，锁 / 解锁失败
	0	锁卡

字节	位	含义
	7	开始位，始终为 0
	6	参数错误
	5	地址错误

1	4	擦除序列错误
	3	CRC 错误
	2	非法命令
	1	擦除复位
	0	闲置状态
2～5	全部	操作条件寄存器，高位在前

写命令的例程：

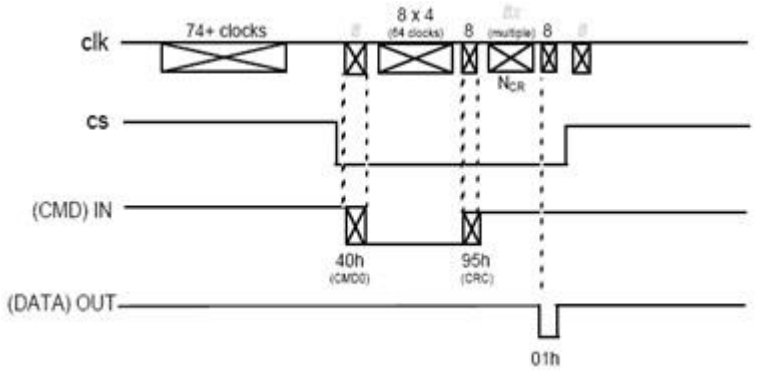
```
1. //-----------------------------------------------------------------
   ---------------------------
2.     向 SD 卡中写入命令，并返回回应的第二个字节
3. //-----------------------------------------------------------------
   ---------------------------
4. unsigned  char  Write_Command_SD(unsigned  char  *CMD)
5. {
6.       unsigned  char  tmp;
7.       unsigned  char  retry=0;
8.       unsigned  char  i;
9.
10.      //禁止 SD 卡片选
11.      SPI_CS=1;
12.      //发送 8 个时钟信号
13.      Write_Byte_SD(0xFF);
14.      //使能 SD 卡片选
15.      SPI_CS=0;
16.
17.      //向 SD 卡发送 6 字节命令
18.      for  (i=0;i<0x06;i++)
19.      {
20.            Write_Byte_SD(*CMD++);
21.      }
22.
23.      //获得 16 位的回应
24.      Read_Byte_SD();  //read  the  first  byte,ignore  it.
25.      do
26.      {    //读取后 8 位
27.            tmp  =  Read_Byte_SD();
28.            retry++;
29.      }
30.      while((tmp==0xff)&&(retry<100));
31.      return(tmp);
```

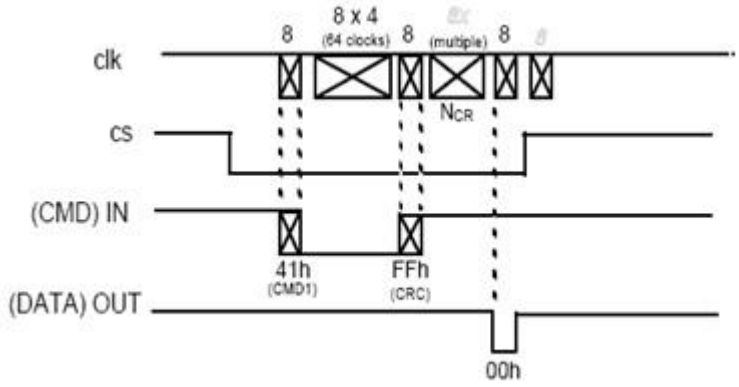
32.}

2） 初始化

SD 卡的初始化是非常重要的，只有进行了正确的初始化，才能进行后面的各项操作。在初始化过程中，SPI 的时钟不能太快，否则会造初始化失败。在初始化成 功后，应尽量提高 SPI 的速率。在刚开始要先发送至少 74 个时钟信号，这是必须的。在很多读者的实验中，很多是因为疏忽了这一点，而使初始化不成功。随后 就是写入两个命令 CMD0 与 CMD1，使 SD 卡进入 SPI 模式

初始化时序图：





初始化例程：

```
1. //-----------------------------------------------------------------
   -------
2.          初始化 SD 卡到 SPI 模式
3. //-----------------------------------------------------------------
   -------
4. unsigned  char  SD_Init()
5. {
6.       unsigned  char  retry,temp;
7.       unsigned  char  i;
8.       unsigned  char  CMD[]  =  {0x40,0x00,0x00,0x00,0x00,0x95};
9.       SD_Port_Init();  //初始化驱动端口
10.
```

```
    Init_Flag=1;  //将初始化标志置 1

    for  (i=0;i<0x0f;i++)
    {
          Write_Byte_SD(0xff);  //发送至少 74 个时钟信号
    }

    //向 SD 卡发送 CMD0
    retry=0;
    do
    {  //为了能够成功写入 CMD0,在这里写 200 次
        temp=Write_Command_SD(CMD);
        retry++;
        if(retry==200)
        {  //超过 200 次
            return(INIT_CMD0_ERROR);//CMD0  Error!
        }
    }
    while(temp!=1);     //回应 01h，停止写入

    //发送 CMD1 到 SD 卡
    CMD[0]  =  0x41;  //CMD1
    CMD[5]  =  0xFF;
    retry=0;
    do
    {  //为了能成功写入 CMD1,写 100 次
        temp=Write_Command_SD(CMD);
        retry++;
        if(retry==100)
        {  //超过 100 次
            return(INIT_CMD1_ERROR);//CMD1  Error!
        }
    }
    while(temp!=0);//回应 00h 停止写入

    Init_Flag=0;  //初始化完毕，初始化标志清零

    SPI_CS=1;     //片选无效
    return(0);  //初始化成功
}
```

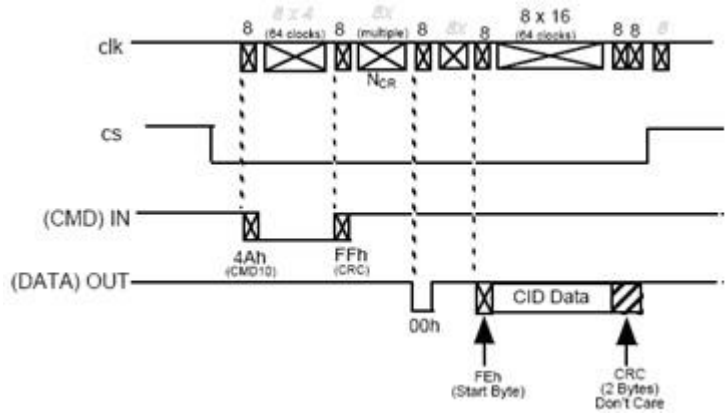
3）　读取 CID

CID 寄存器存储了 SD 卡的标识码。每一个卡都有唯一的标识码。

CID 寄存器长度为 128 位。它的寄存器结构如下：

名称	域	数据宽度	CID 划分
生产标识号	MID	8	[127:120]
OEM/应用标识	OID	16	[119:104]
产品名称	PNM	40	[103:64]
产品版本	PRV	8	[63:56]
产品序列号	PSN	32	[55:24]
保留	—	4	[23:20]
生产日期	MDT	12	[19:8]
CRC7 校验合	CRC	7	[7:1]
未使用，始终为 1	—	1	[0:0]

它的读取时序如下：



与此时序相对应的程序如下：

```
1. //-----------------------------------------------------------------
   -----------------
2.          读取 SD 卡的 CID 寄存器        16 字节        成功返回 0
3. //-----------------------------------------------------------------
   -----------------
4. unsigned  char  Read_CID_SD(unsigned  char  *Buffer)
5. {
6.       //读取 CID 寄存器的命令
7.       unsigned  char  CMD[]  =  {0x4A,0x00,0x00,0x00,0x00,0xFF};

8.       unsigned  char  temp;
9.       temp=SD_Read_Block(CMD,Buffer,16);  //read  16  bytes
10.      return(temp);
```

11.}

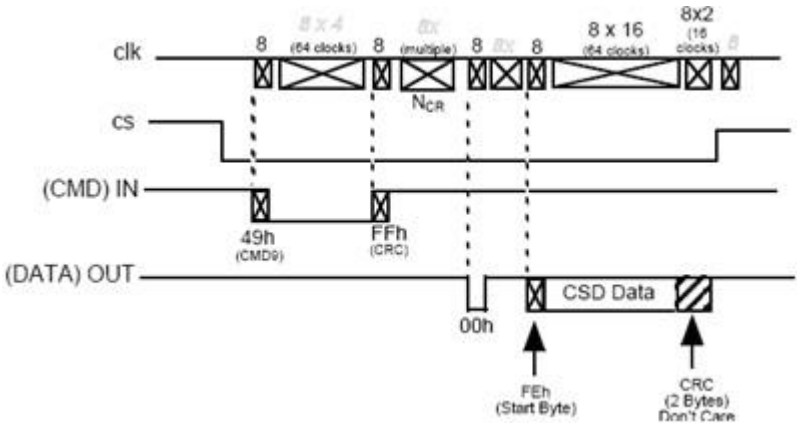
4）读取 CSD

CSD（Card-Specific Data）寄存器提供了读写 SD 卡的一些信息。其中的一些单元可以由用户重新编程。具体的 CSD 结构如下：

名称	域	数据宽度	单元类型	CSD 划分
CSD 结构	CSD_STRUCTURE	2	R	[127:126]
保留	-	6	R	[125:120]
数据读取时间 1	TAAC	8	R	[119:112]
数据在 CLK 周期内读取时间 2（NSAC*100）	NSAC	8	R	[111:104]
最大数据传输率	TRAN_SPEED	8	R	[103:96]
卡命令集合	CCC	12	R	[95:84]
最大读取数据块长	READ_BL_LEN	4	R	[83:80]
允许读的部分块	READ_BL_PARTIAL	1	R	[79:79]
非线写块	WRITE_BLK_MISALIGN	1	R	[78:78]
非线读块	READ_BLK_MISALIGN	1	R	[77:77]
DSR 条件	DSR_IMP	1	R	[76:76]
保留	-	2	R	[75:74]
设备容量	C_SIZE	12	R	[73:62]
最大读取电流 @V_{DD}min	VDD_R_CURR_MIN	3	R	[61:59]
最大读取电流 @V_{DD}max	VDD_R_CURR_MAX	3	R	[58:56]
最大写电流@V_{DD}min	VDD_W_CURR_MIN	3	R	[55:53]
最大写电流@V_{DD}max	VDD_W_CURR_MAX	3	R	[52:50]
设备容量乘子	C_SIZE_MULT	3	R	[49:47]
擦除单块使能	ERASE_BLK_EN	1	R	[46:46]
擦除扇区大小	SECTOR_SIZE	7	R	[45:39]
写保护群大小	WP_GRP_SIZE	7	R	[38:32]
写保护群使能	WP_GRP_ENABLE	1	R	[31:31]
保留	-	2	R	[30:29]
写速度因子	R2W_FACTOR	3	R	[28:26]
最大写数据块长度	WRITE_BL_LEN	4	R	[25:22]
允许写的部分部	WRITE_BL_PARTIAL	1	R	[21:21]
保留	-	5	R	[20:16]
文件系统群	FILE_OFRMAT_GRP	1	R/W	[15:15]
拷贝标志	COPY	1	R/W	[14:14]
永久写保护	PERM_WRITE_PROTECT	1	R/W	[13:13]
暂时写保护	TMP_WRITE_PROTECT	1	R/W	[12:12]

文件系统	FIL_FORMAT	2	R/W	[11:10]
保留	-	2	R/W	[9:8]
CRC	CRC	7	R/W	[7:1]
未用，始终为 1	-	1		[0:0]

读取 CSD 的时序：



相应的程序例程如下：

```
1. //-----------------------------------------------------------------------
2.          读 SD 卡的 CSD 寄存器        共 16 字节          返回 0 说明读取成功
3. //-----------------------------------------------------------------------
4. unsigned  char  Read_CSD_SD(unsigned  char  *Buffer)
5. {
6.       //读取 CSD 寄存器的命令
7.       unsigned  char  CMD[]  =  {0x49,0x00,0x00,0x00,0x00,0xFF};
8.       unsigned  char  temp;
9.       temp=SD_Read_Block(CMD,Buffer,16);  //read  16  bytes
10.      return(temp);
11.}
```

4） 读取 SD 卡信息

综合上面对 CID 与 CSD 寄存器的读取，可以知道很多关于 SD 卡的信息，以下程序可以获取这些信息。如下：

```
1. //-----------------------------------------------------------------------
2. //返回
3. //    SD 卡的容量，单位为 M
4. //    sector  count  and  multiplier  MB  are  in
5. u08  ==  C_SIZE  /  (2^(9-C_SIZE_MULT))
```

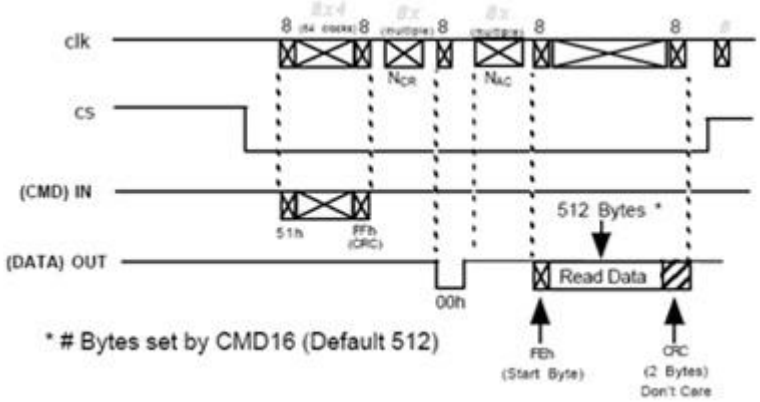
```
//    SD 卡的名称
//-------------------------------------------------------------------------
void  SD_get_volume_info()
{
        unsigned  char  i;
        unsigned  char  c_temp[5];
        VOLUME_INFO_TYPE  SD_volume_Info,*vinf;
        vinf=&SD_volume_Info;  //Init  the  pointoer;
/读取 CSD 寄存器
        Read_CSD_SD(sectorBuffer.dat);
//获取总扇区数
  vinf->sector_count  =  sectorBuffer.dat[6]  &  0x03;
  vinf->sector_count  <<=  8;
  vinf->sector_count  +=  sectorBuffer.dat[7];
  vinf->sector_count  <<=  2;
  vinf->sector_count  +=  (sectorBuffer.dat[8]  &  0xc0)  >>  6;
  //  获取 multiplier
  vinf->sector_multiply  =  sectorBuffer.dat[9]  &  0x03;
  vinf->sector_multiply  <<=  1;
  vinf->sector_multiply  +=  (sectorBuffer.dat[10]  &  0x80)  >>  7;

//获取 SD 卡的容量
  vinf->size_MB  =  vinf->sector_count  >>  (9-
vinf->sector_multiply);
  //  get  the  name  of  the  card
  Read_CID_SD(sectorBuffer.dat);
  vinf->name[0]  =  sectorBuffer.dat[3];
  vinf->name[1]  =  sectorBuffer.dat[4];
  vinf->name[2]  =  sectorBuffer.dat[5];
  vinf->name[3]  =  sectorBuffer.dat[6];
  vinf->name[4]  =  sectorBuffer.dat[7];
  vinf->name[5]  =  0x00;  //end  flag
}
                  以上程序将信息装载到一个结构体中，这个结构体的定义
如下：
typedef  struct  SD_VOLUME_INFO
{  //SD/SD  Card  info
    unsigned  int    size_MB;
    unsigned  char  sector_multiply;
    unsigned  int    sector_count;
    unsigned  char  name[6];
}  VOLUME_INFO_TYPE;
```

5） 扇区读

扇区读是对 SD 卡驱动的目的之一。SD 卡的每一个扇区中有 512 个字节，一次扇区读操作将把某一个扇区内的 512 个字节全部读出。过程很简单，先写入命令，在得到相应的回应后，开始数据读取。

扇区读的时序：



扇区读的程序例程：

```
1. unsigned char SD_Read_Sector(unsigned long sector,unsigned char
   *buffer)
2. {
3.       unsigned char retry;
4.       //命令 16
5.       unsigned char CMD[] = {0x51,0x00,0x00,0x00,0x00,0xFF};

6.       unsigned char temp;
7.
8.       //地址变换       由逻辑块地址转为字节地址
9.       sector = sector << 9; //sector = sector * 512
10.
11.      CMD[1] = ((sector & 0xFF000000) >>24 );
12.      CMD[2] = ((sector & 0x00FF0000) >>16 );
13.      CMD[3] = ((sector & 0x0000FF00) >>8 );
14.
15.      //将命令 16 写入 SD 卡
16.      retry=0;
17.      do
18.      {    //为了保证写入命令     一共写 100 次
19.           temp=Write_Command_MMC(CMD);
20.           retry++;
21.           if(retry==100)
22.           {
```

```
                return(READ_BLOCK_ERROR);  //block  write  Error!

            }
        }
        while(temp!=0);

        //Read  Start  Byte  form  MMC/SD-Card  (FEh/Start  Byte)
        //Now  data  is  ready,you  can  read  it  out.
        while  (Read_Byte_MMC()  !=  0xfe);
        readPos=0;
     SD_get_data(512,buffer)  ;    //512 字节被读出到 buffer 中
   return  0;
}
```

其中 SD_get_data 函数如下：

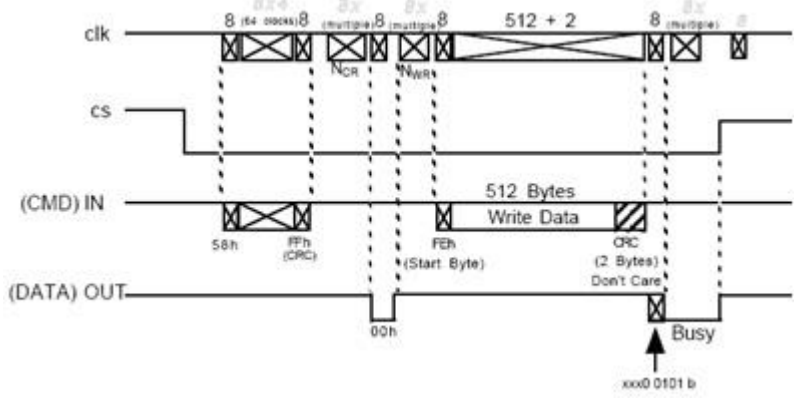
```
//-------------------------------------------------------------------------
---------
        获取数据到 buffer 中
//-------------------------------------------------------------------------
---------
void  SD_get_data(unsigned  int  Bytes,unsigned  char  *buffer)

{
        unsigned  int  j;
        for  (j=0;j<Bytes;j++)
             *buffer++  =  Read_Byte_SD();
}
```

6） 扇区写

扇区写是 SD 卡驱动的另一目的。每次扇区写操作将向 SD 卡的某个扇区中写入 512 个字节。过程与扇区读相似，只是数据的方向相反与写入命令不同而已。

扇区写的时序：



扇区写的程序例程：

```
1. //-------------------------------------------------------------------
   -------------------------
2.          写 512 个字节到 SD 卡的某一个扇区中去        返回 0 说明写入成
   功
3. //-------------------------------------------------------------------
   -------------------------
4. unsigned  char  SD_write_sector(unsigned  long  addr,unsigned  char
     *Buffer)
5. {
6.       unsigned  char  tmp,retry;
7.       unsigned  int  i;
8.       //命令 24
9.       unsigned  char  CMD[]  =  {0x58,0x00,0x00,0x00,0x00,0xFF};

10.      addr  =  addr  <<  9;  //addr  =  addr  *  512
11.
12.      CMD[1]  =  ((addr  &  0xFF000000)  >>24  );
13.      CMD[2]  =  ((addr  &  0x00FF0000)  >>16  );
14.      CMD[3]  =  ((addr  &  0x0000FF00)  >>8  );
15.
16.      //写命令 24 到 SD 卡中去
17.      retry=0;
18.      do
19.      {    //为了可靠写入，写 100 次
20.           tmp=Write_Command_SD(CMD);
21.           retry++;
22.           if(retry==100)
23.           {
24.               return(tmp);  //send  commamd  Error!
25.           }
26.      }
27.      while(tmp!=0);
28.
29.
30.      //在写之前先产生 100 个时钟信号
31.      for  (i=0;i<100;i++)
32.      {
33.           Read_Byte_SD();
34.      }
35.
36.      //写入开始字节
37.      Write_Byte_MMC(0xFE);
38.
39.      //现在可以写入 512 个字节
```

```
40.       for   (i=0;i<512;i++)
41.       {
42.             Write_Byte_MMC(*Buffer++);
43.       }
44.
45.       //CRC-Byte
46.       Write_Byte_MMC(0xFF);   //Dummy   CRC
47.       Write_Byte_MMC(0xFF);   //CRC   Code
48.
49.
50.       tmp=Read_Byte_MMC();        //   read   response
51.       if((tmp   &   0x1F)!=0x05)   //   写入的 512 个字节是未被接受
52.       {
53.           SPI_CS=1;
54.           return(WRITE_BLOCK_ERROR);   //Error!
55.       }
56.       //等到 SD 卡不忙为止
57.//因为数据被接受后，SD 卡在向储存阵列中编程数据
58.       while   (Read_Byte_MMC()!=0xff){};
59.
60.       //禁止 SD 卡
61.       SPI_CS=1;
62.       return(0);//写入成功
63.}
```

此上内容在笔者的实验中都已调试通过。单片机采用 STC89LE 单片机（SD 卡的初始化电压为 2.0V~3.6V，操作电压为 3.1V~3.5V， 因此不能用 5V 单片机，或进行分压处理），工作于 22.1184M 的时钟下，由于所采用的单片机中没硬件 SPI，采用软件模拟 SPI，因此读写速率都较 慢。如果要半 SD 卡应用于音频、视频等要求高速场合，则需要选用有硬件 SPI 的控制器，或使用 SD 模式，当然这就

需要各位读者对 SD 模式加以研究，有了 SPI 模式的基础，SD 模式应该不是什么难事。