

第3章 存储系统

3.1 存储器的构成

3.2 存储系统的构成

3.3 Cache

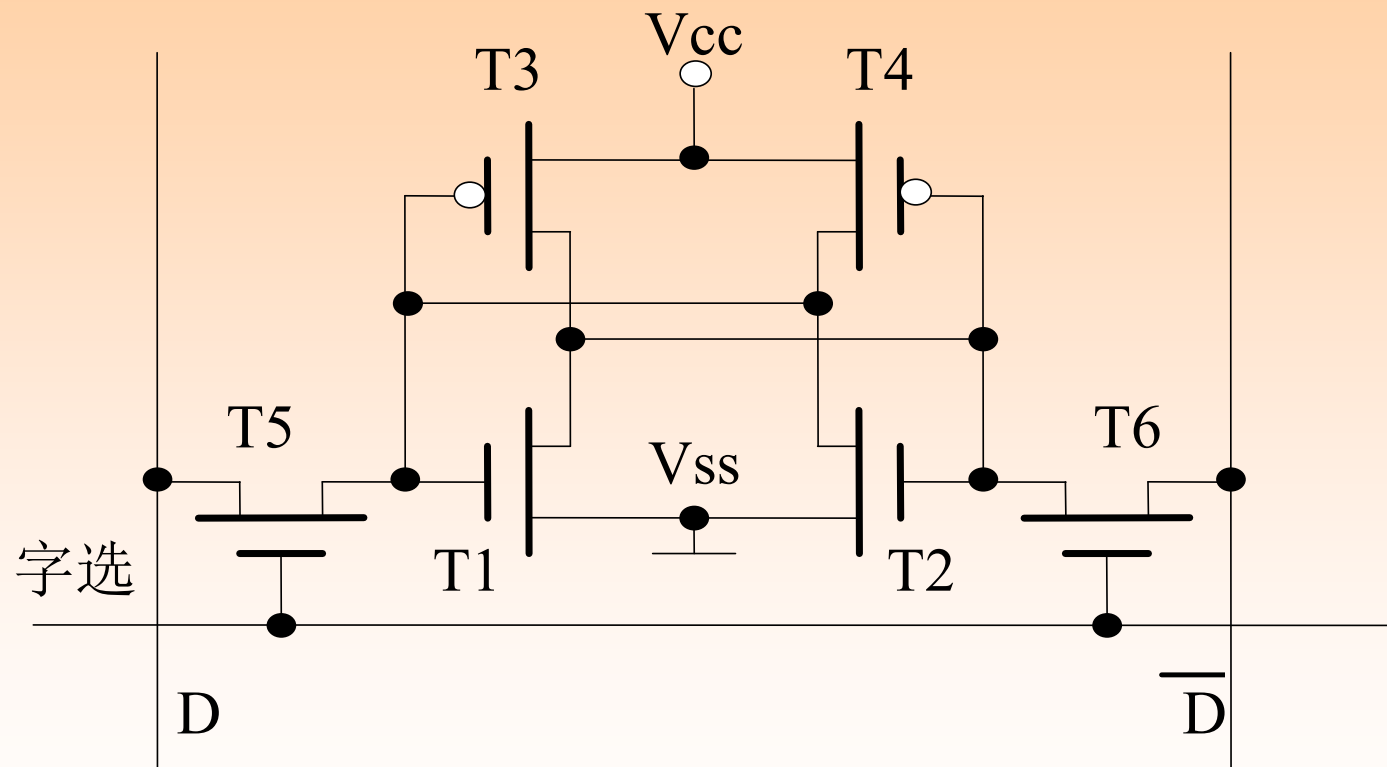
3.4 虚拟存储器



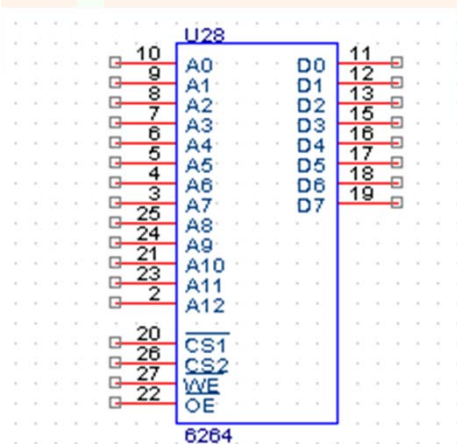
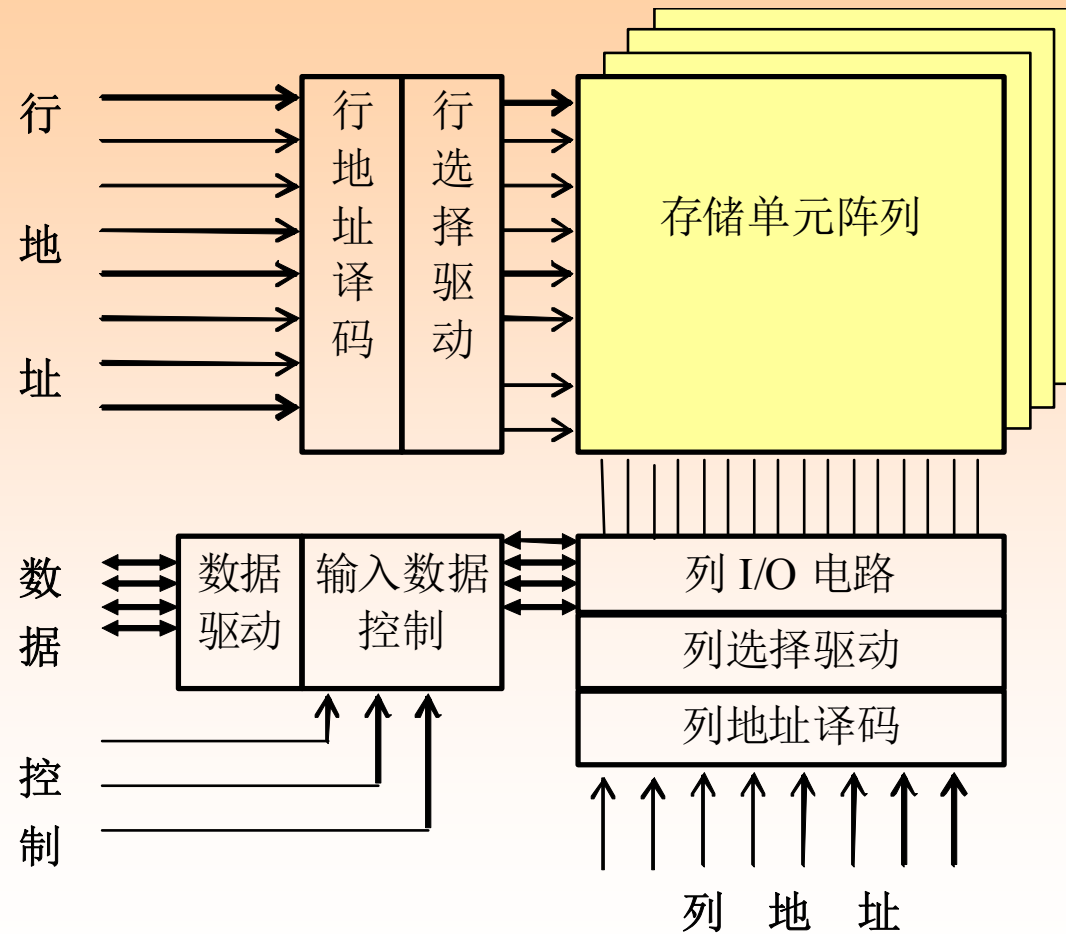
存储器芯片分类

- **RAM: 随机访问存储器**
 - **SRAM: 静态存储器**
 - Static random access memory
 - **DRAM: 动态存储器**
 - Dynamic random access memory
- **ROM: 只读存储器**
 - Read only memory

1. SRAM存储器芯片结构



SRAM存储器芯片结构



SRAM芯片的引脚信号

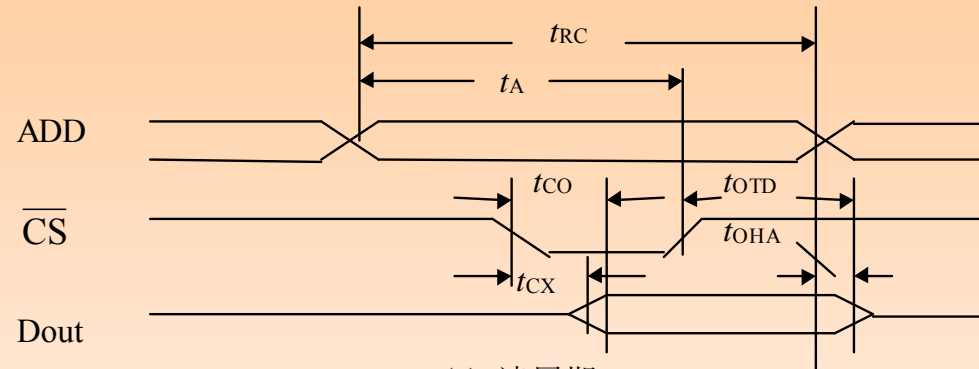
SRAM芯片的控制信号：

- **ADD**
 - 地址信号，在芯片手册中通常表示为**A0**，**A1**，**A2**， ...。
- **CS**
 - 芯片选择，低电平时表示该芯片被选中。
- **WE**
 - 写允许，低电平表示写操作，高电平表示读操作。
- **Dout**
 - 数据输出信号，在芯片手册中通常表示为**D0**，**D1**，**D2**， ...。
- **Din**
 - 数据输入信号。
- **OE**
 - 数据输出允许信号。

SRAM时序

- 读周期:

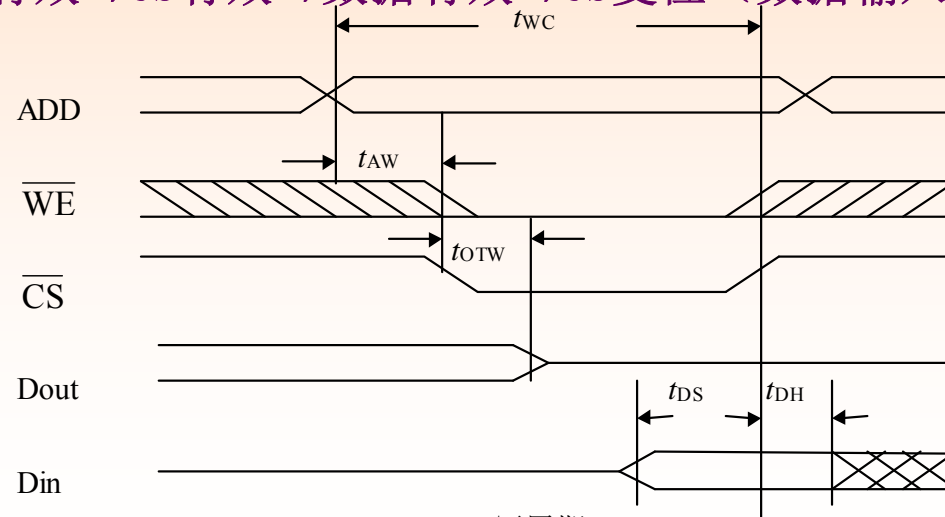
- 地址有效→CS有效→数据输出→CS复位→地址撤销



(a) 读周期

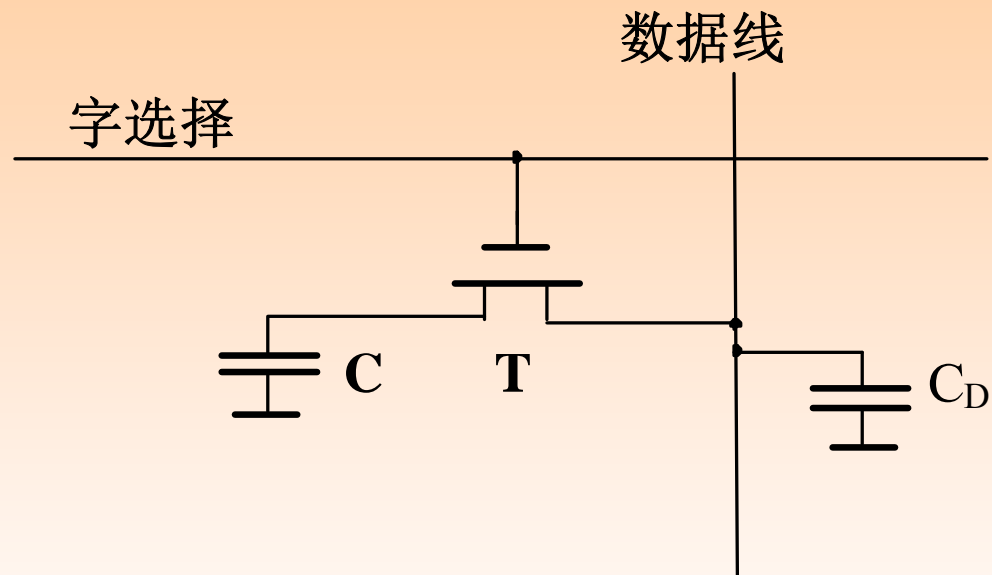
- 写周期:

- 地址有效→CS有效→数据有效→CS复位（数据输入）→地址撤销

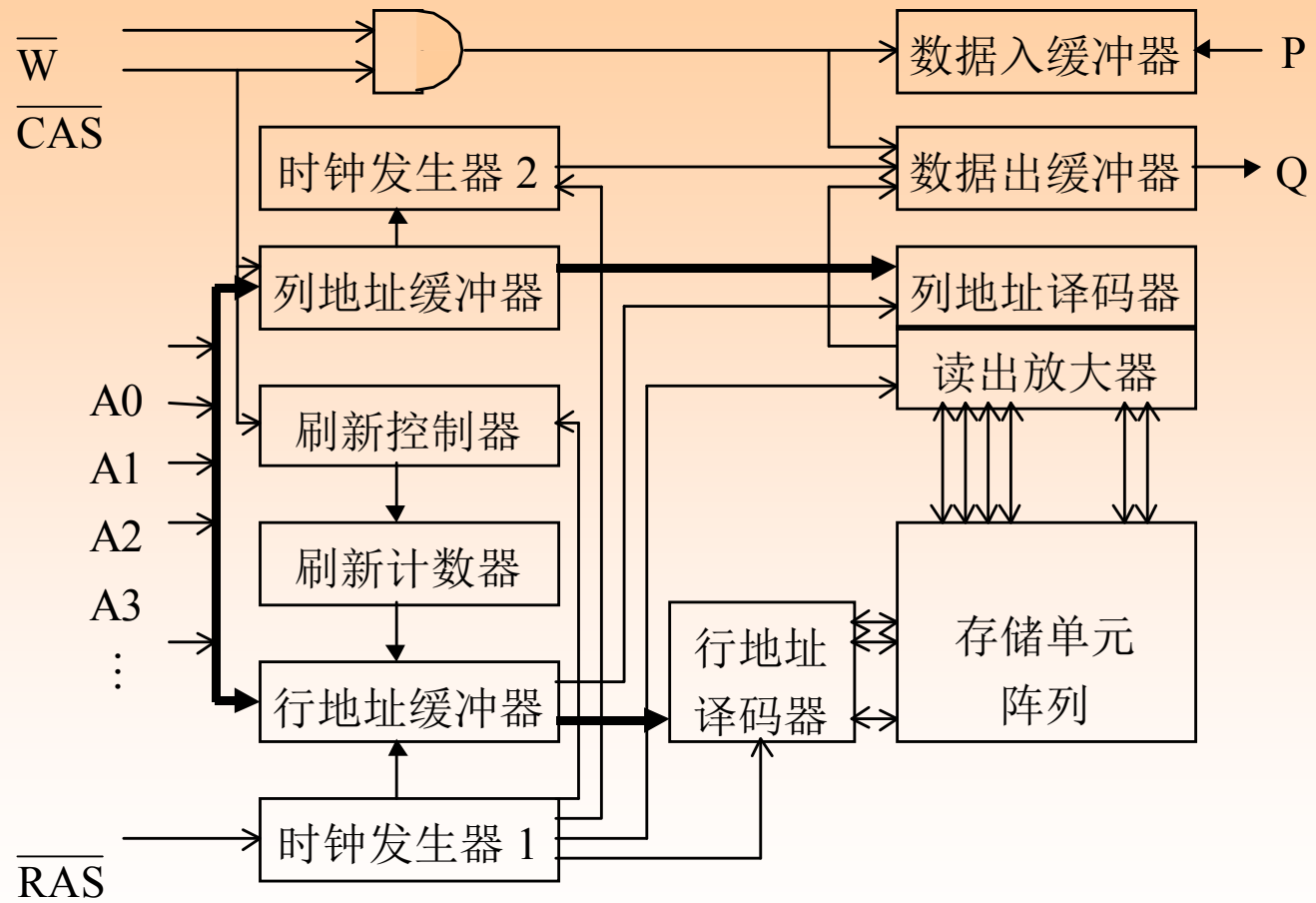


(b) 写周期

2. DRAM存储器芯片结构



DRAM存储器芯片结构



DRAM芯片的引脚信号

SRAM 芯片的控制信号：

ADD 地址信号，在芯片手册中通常表示为 A0, A1, A2, …。

$\overline{\text{CS}}$ 芯片选择，低电平时表示该芯片被选中。

$\overline{\text{WE}}$ 写允许，低电平表示写操作，高电平表示读操作。

Dout 数据输出信号，在芯片手册中通常表示为 D0, D1, D2, …。

Din 数据输入信号。

$\overline{\text{OE}}$ 数据输出允许信号。

DRAM 芯片增加的控制信号：

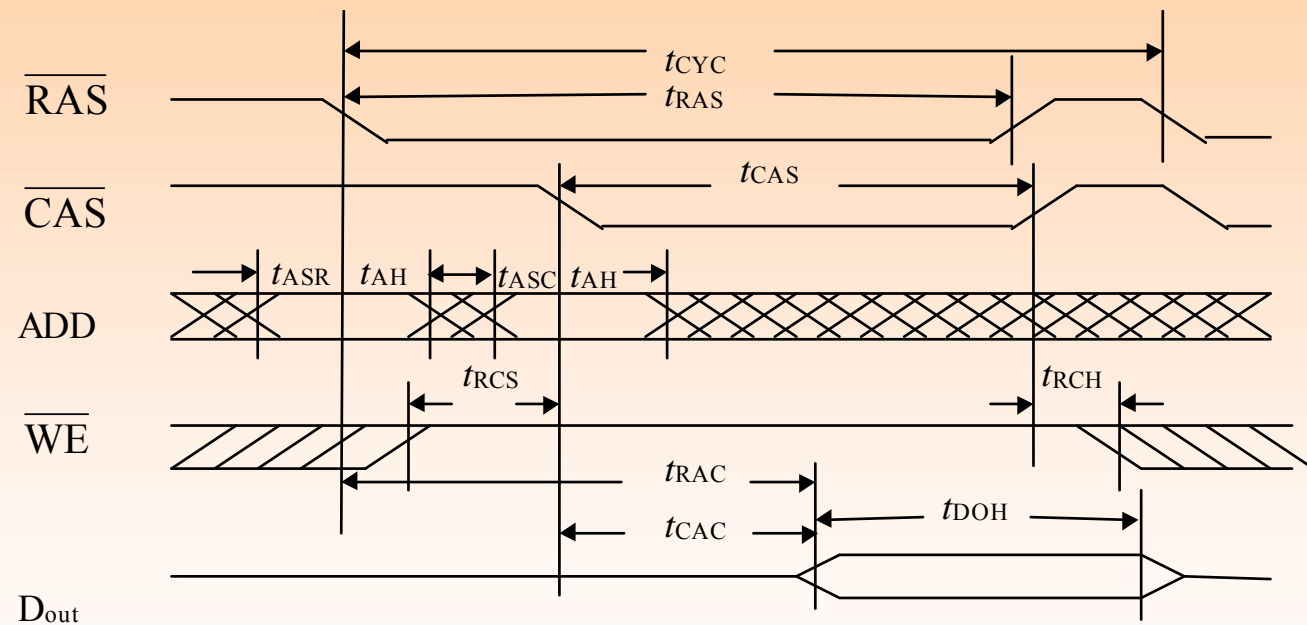
RAS* 行地址选通信号

CAS* 列地址选通信号

DRAM时序 (一)

- 读周期:

- 行地址有效→行地址选通→列地址有效→列地址选通→数据输出→行选通、列选通及地址撤销

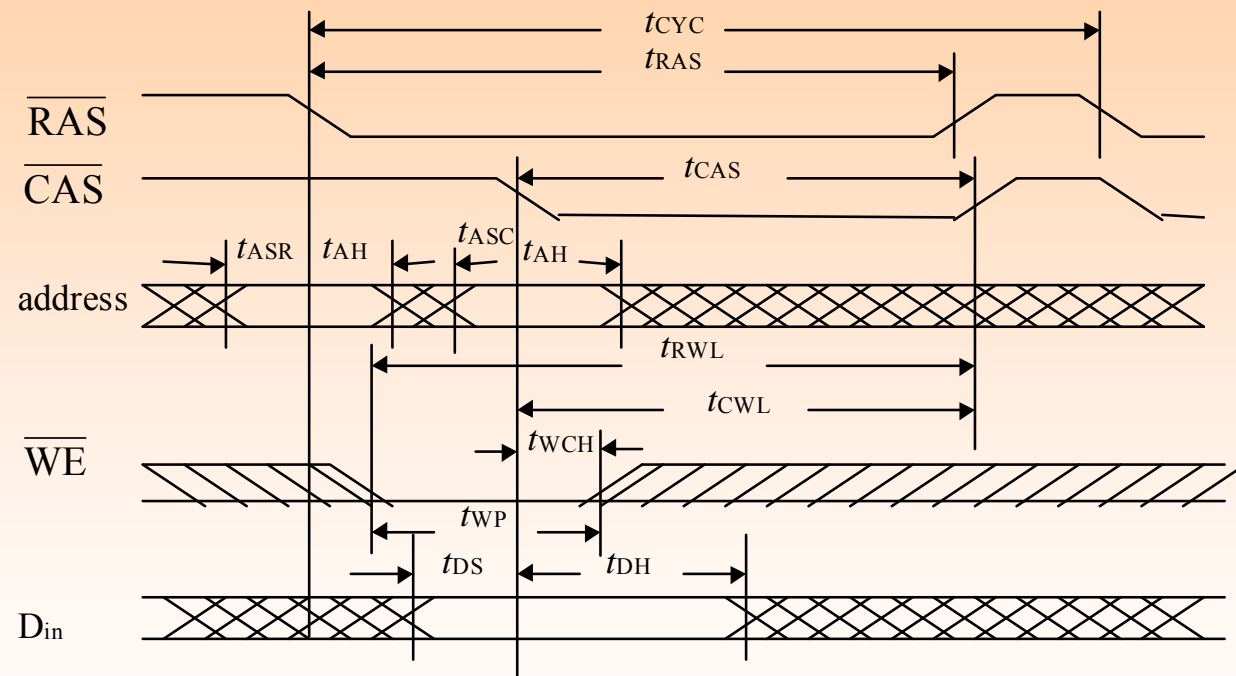


(a) 读周期

DRAM时序（二）

- 写周期:

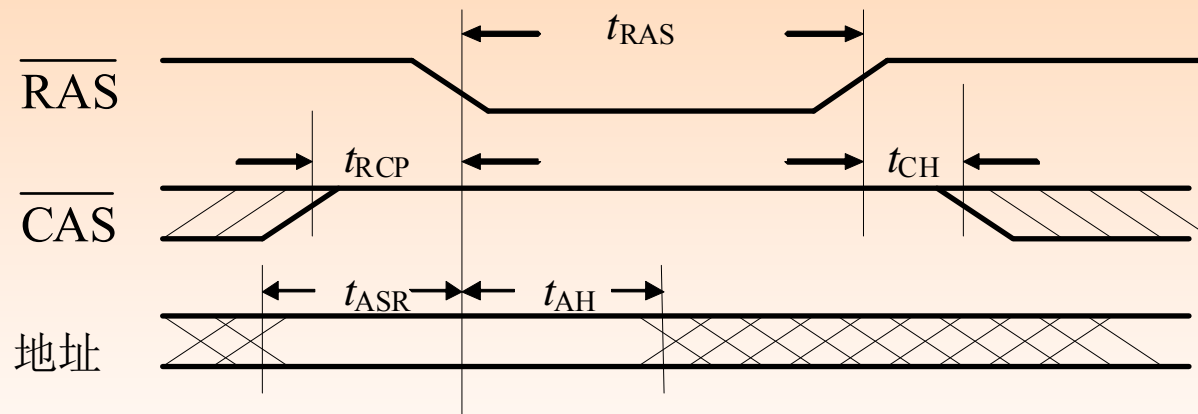
- 行地址有效→行地址选通→列地址、数据有效→列地址选通→数据输入→行选通、列选通及地址撤销



(b) 写周期

DRAM时序（三）

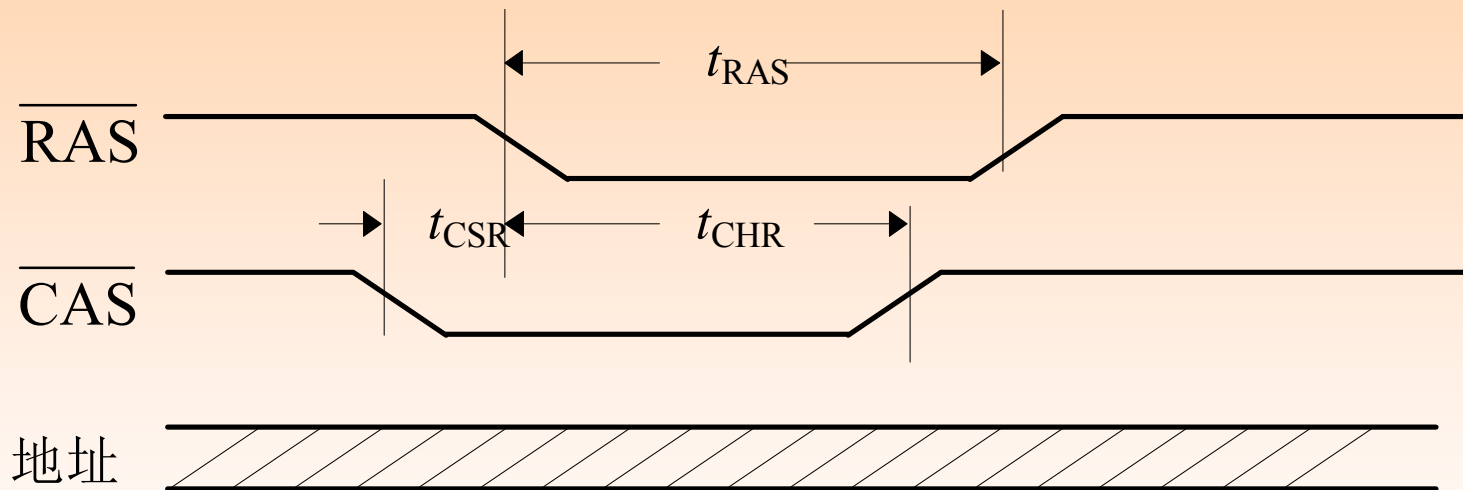
- 刷新周期：
 - RAS only: 刷新行地址有效→RAS有效→刷新行地址和RAS撤销
 - CAS before RAS: CAS有效→RAS有效→CAS撤销→RAS撤销
 - hidden: （在访存周期中）RAS撤销→RAS有效



(a) 只用 RAS*的刷新

DRAM时序（四）

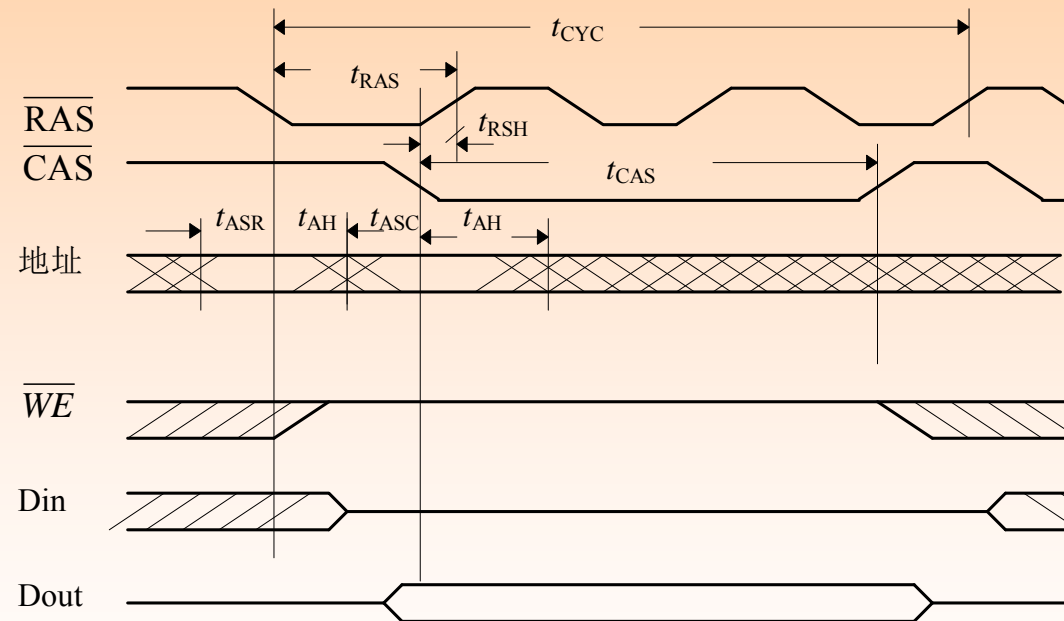
- 刷新周期：
 - RAS only: 刷新行地址有效→RAS有效→刷新行地址和RAS撤销
 - CAS before RAS: CAS有效→RAS有效→CAS撤销→RAS撤销
 - hidden: (在访存周期中) RAS撤销→RAS有效



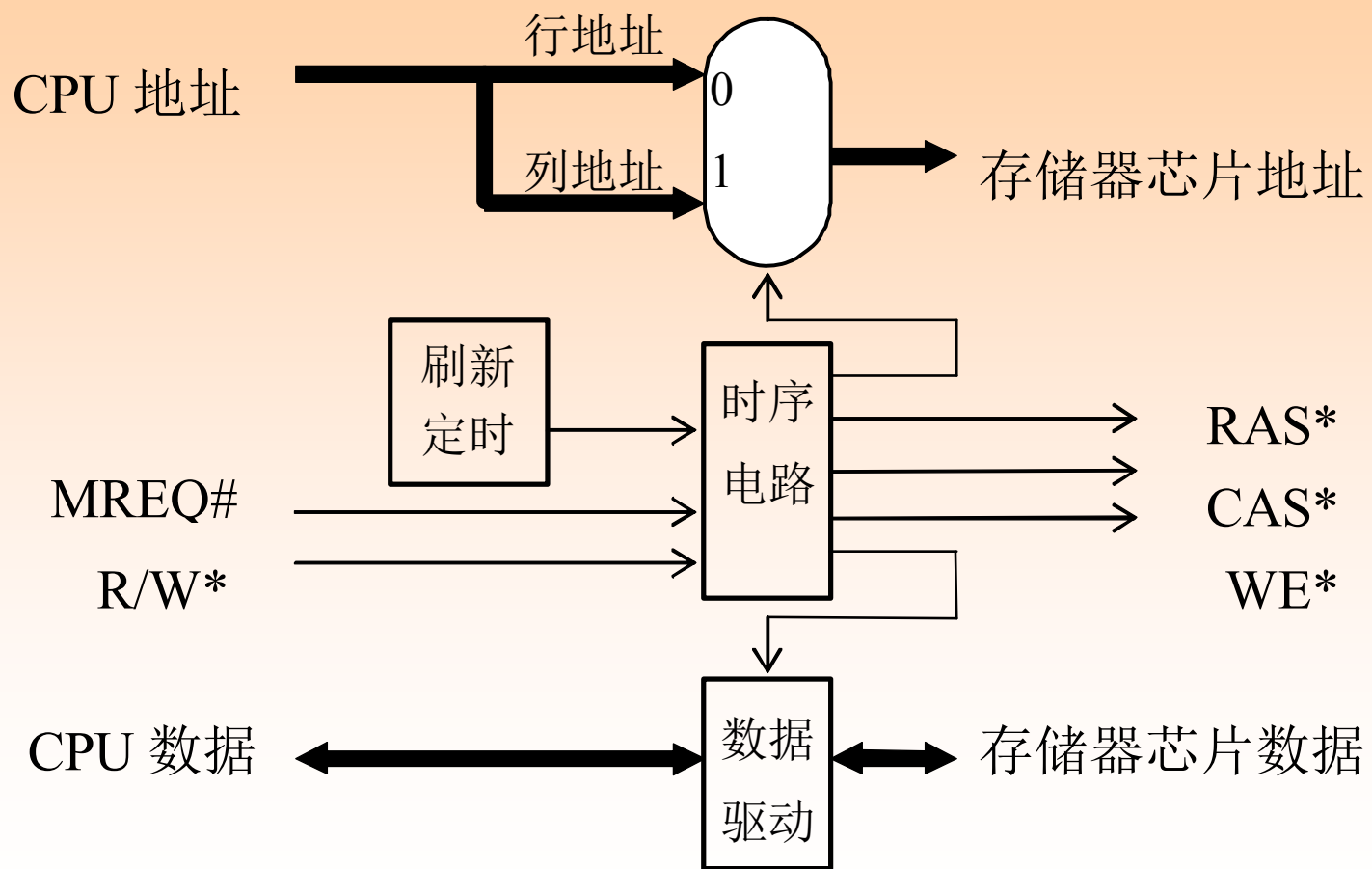
(b) CAS*在 RAS*之前的刷新

DRAM时序（五）

- 刷新周期：
 - RAS only: 刷新行地址有效→RAS有效→刷新行地址和RAS撤销
 - CAS before RAS: CAS有效→RAS有效→CAS撤销→RAS撤销
 - hidden: （在访存周期中）RAS撤销→RAS有效



DRAM接口电路



RAM芯片技术



- 快速页式DRAM（页：单元行）
- EDO DRAM
- EDRAM
 - 缓存型
 - 四位元型
- SDRAM——采用统一时钟，重叠访问
- Rambus DRAM
 - 采用新的接口，用消息传递的异步通信协议

SDRAM标准的接口命令

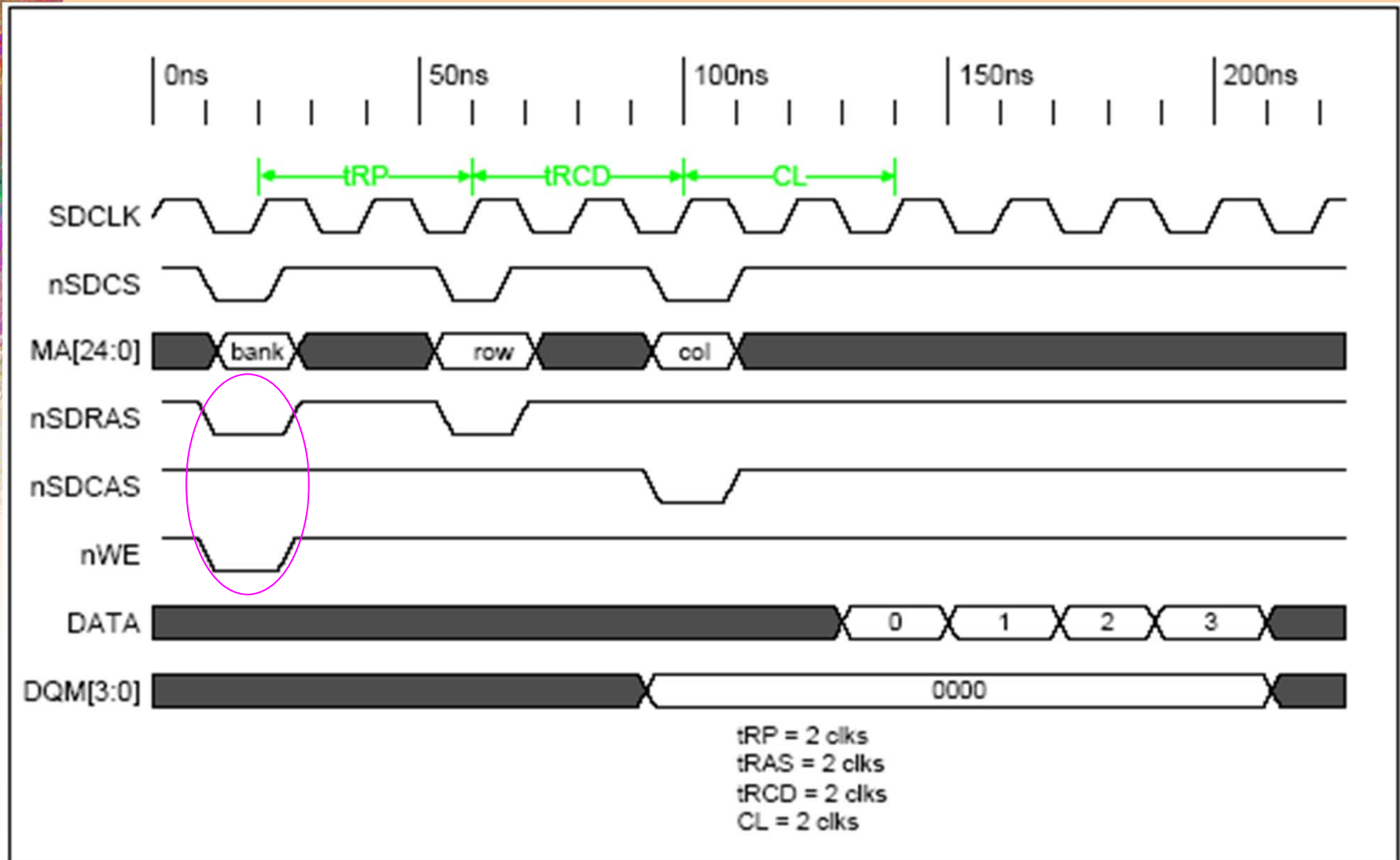
表示为**CKE**、**nCS**、**nRAS**、**nCAS**、**nWE**信号的组合

- 模式寄存器设置 (**MRS**)
 - 地址线上传输设置命令
- 存储器激活 (**ACT**)
 - 传送行地址
- 读 (**READ**) 或写 (**WRITE**)
 - 传送列地址和体地址
- 预充电所有存储体 (**PALL**)
- 预充电一个存储体 (**PRE**)
- 自动刷新 (**CBR**)
- 关电 (**PWRDN**)
- 自我刷新 (**SLFRSH**)
 - 睡眠时的刷新
- 退出关电 (**PWRDNX**)
- 无操作 (**NOP**)

SDRAM接口命令的编码

| Command | Pins | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------------------|------------------------|--------------|--------|--------|-----|------------|------------|-------|----|-------|---|
| | SDCKE (at clk n-1) | SDCKE (at clk n) | nSDCS 3:0 | nSDRAS | nSDCAS | nWE | DQM 3:0 | MA <24:10> | | | | |
| | | | | | | | | 24:23 | 22:21 | 20 | 19:10 | |
| PWRDN | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | x | | | | |
| PWRDNX | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | x | | | | |
| SLFRSH | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | x | | | | |
| CBR | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | x | x | | | | |
| MRS | 1 | x | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | OP code | | | | |
| ACT | 1 | x | 0 | 0 | 1 | 1 | x | bank | row | | | |
| READ | 1 | x | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | bank | col | 0 | col | |
| WRITE | 1 | x | 0 | 1 | 0 | 0 | mask | bank | col | 0 | col | |
| PALL PRE | All | 1 | x | 0 | 0 | 1 | 0 | x | x | x | 1 | x |
| | Bank | | | | | | | | bank | | 0 | |
| NOP | 1 | x | 1 | x | x | x | x | x | | | | |
| | | | 0 | 1 | 1 | 1 | | | | | | |

SDRAM的时序



预充电

激活

读

数据猝发

DDR 与 DDR2

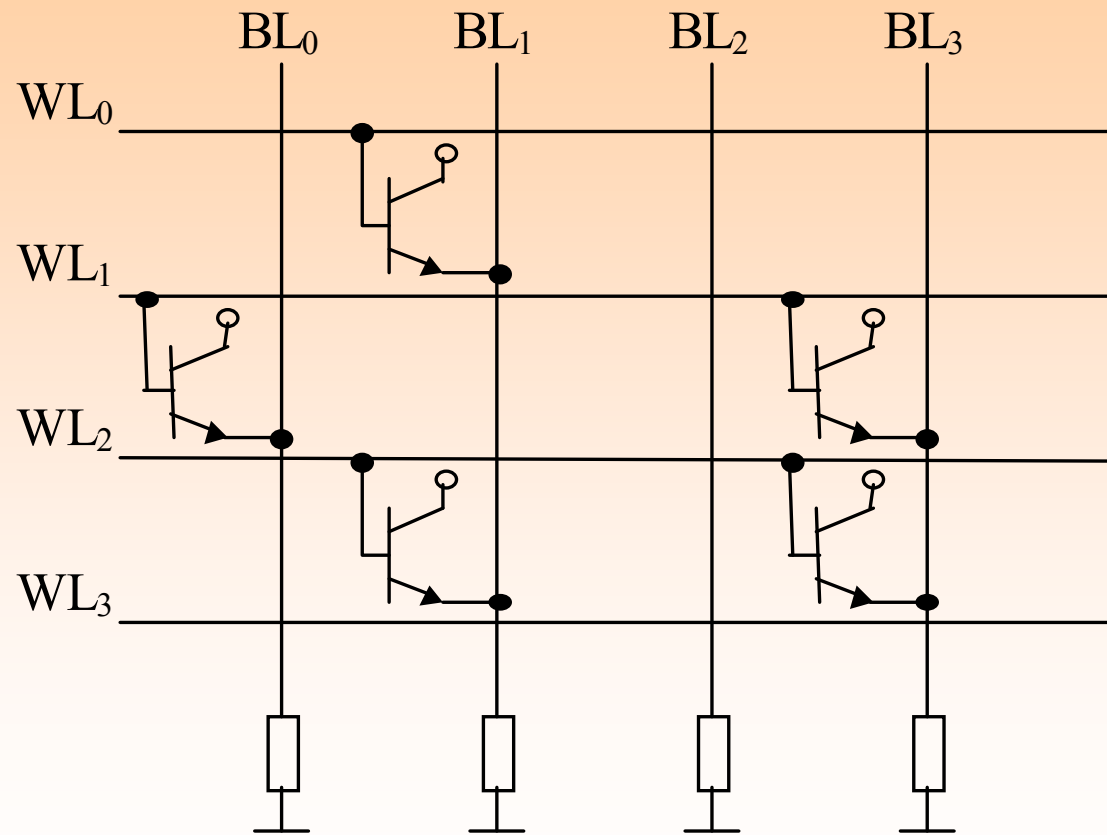
| | DDR | DDR II |
|--------------------|---------------------|-------------------------|
| 数据传输率 | 200/266/333/400 MHz | 400/533/667 MHz |
| 总线频率 | 100/133/166/200 MHz | 200/266/333 MHz |
| 内存频率 | 100/133/166/200 MHz | 100/133/166 MHz |
| Batch reading size | 2/4/8 | 4/8 |
| Data Strobe | Single DQS | Differential Strobe:DQS |
| CAS Latency | 1.5, 2, 2.5 | 3+, 4, 5 |
| Write Latency | 1T | Read Latency-1 |
| 封装 | TSOP | FBGA |
| 发热量 | 大 | 小 |
| 引脚模组 | 184PIN | 240PIN |

3. ROM存储器芯片结构

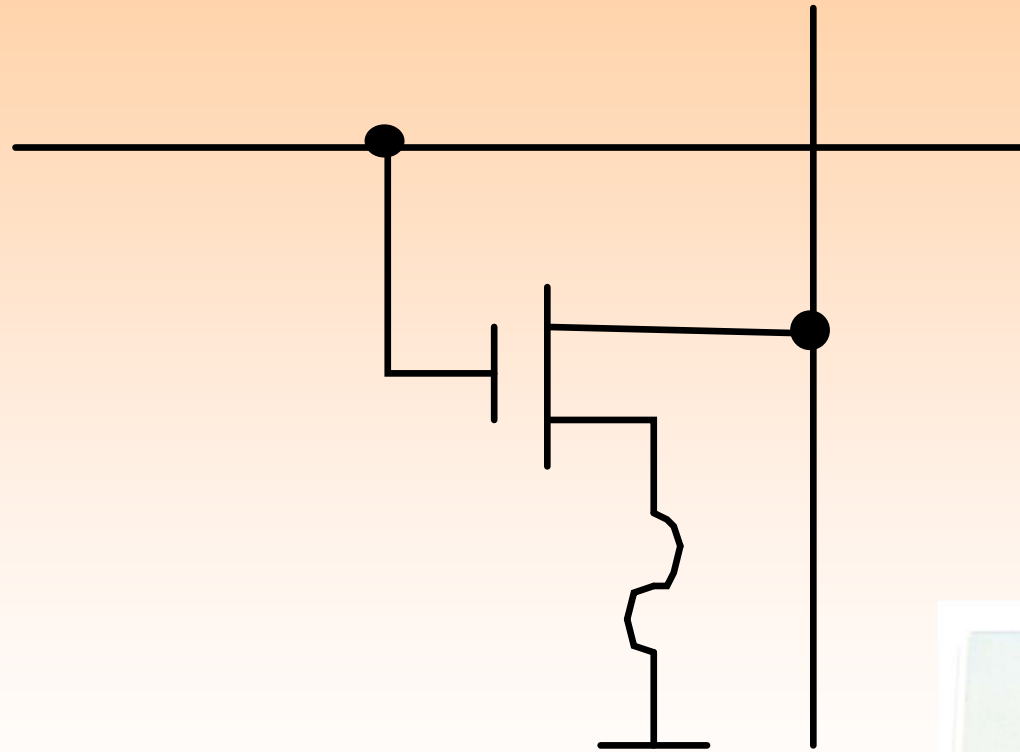
掩膜式：

| | 二极管 ROM | 双极型 ROM | MOS ROM |
|---------|---------|---------|---------|
| 1 单元 | | | |
| 0 单元 | | | |

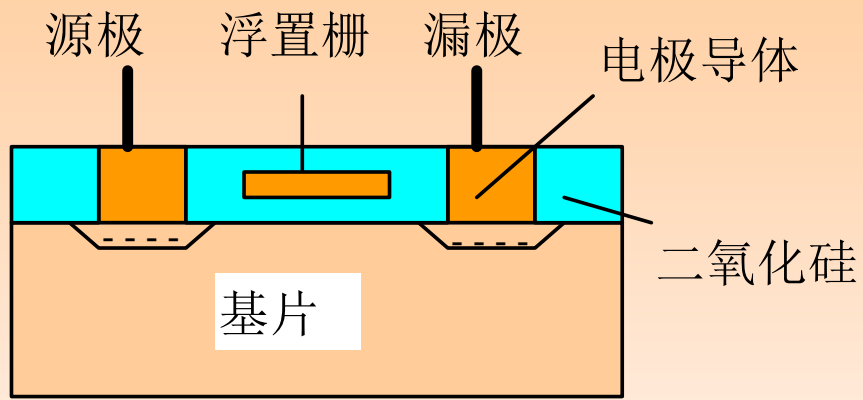
ROM存储器芯片结构



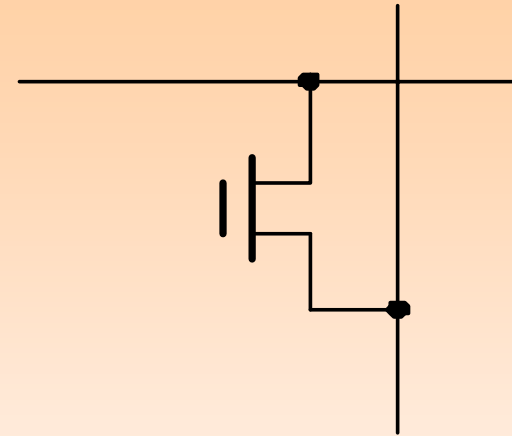
熔丝式ROM —— PROM



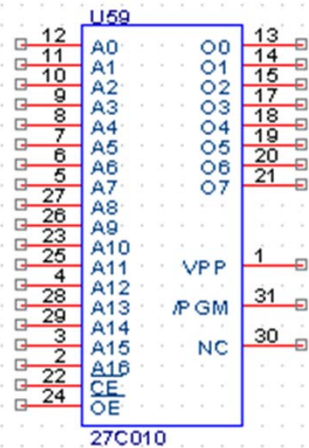
可擦写ROM——EPROM



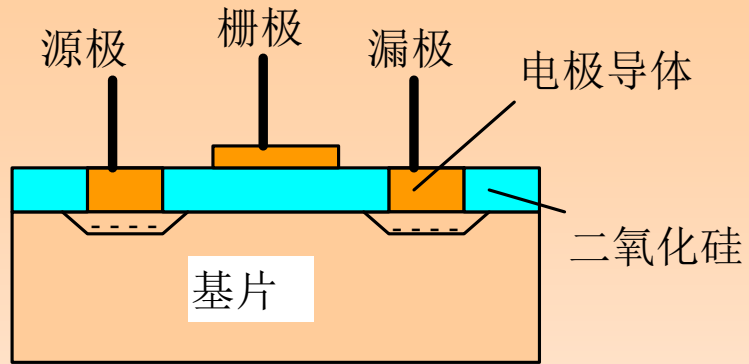
(a) 单元结构



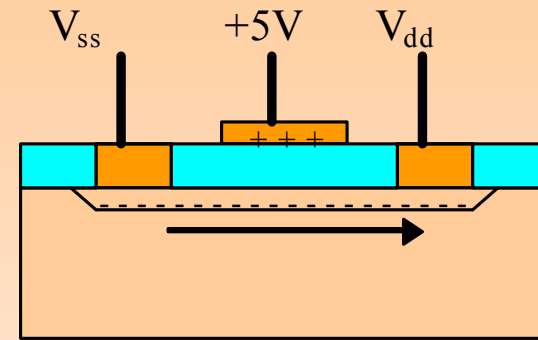
(b) 电路结构



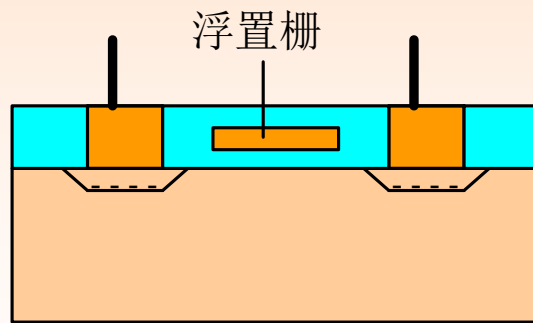
MOS晶体管与EPROM单元的两种工作状态



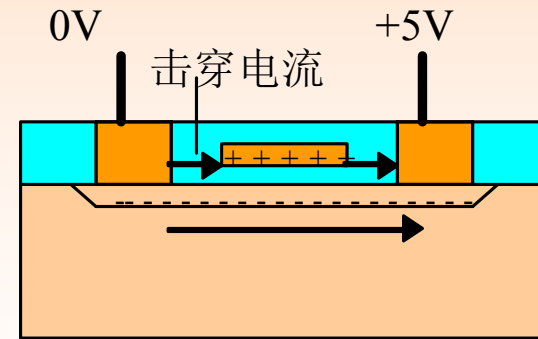
(a) MOS 晶体管结构



(b) MOS 晶体管导通状态

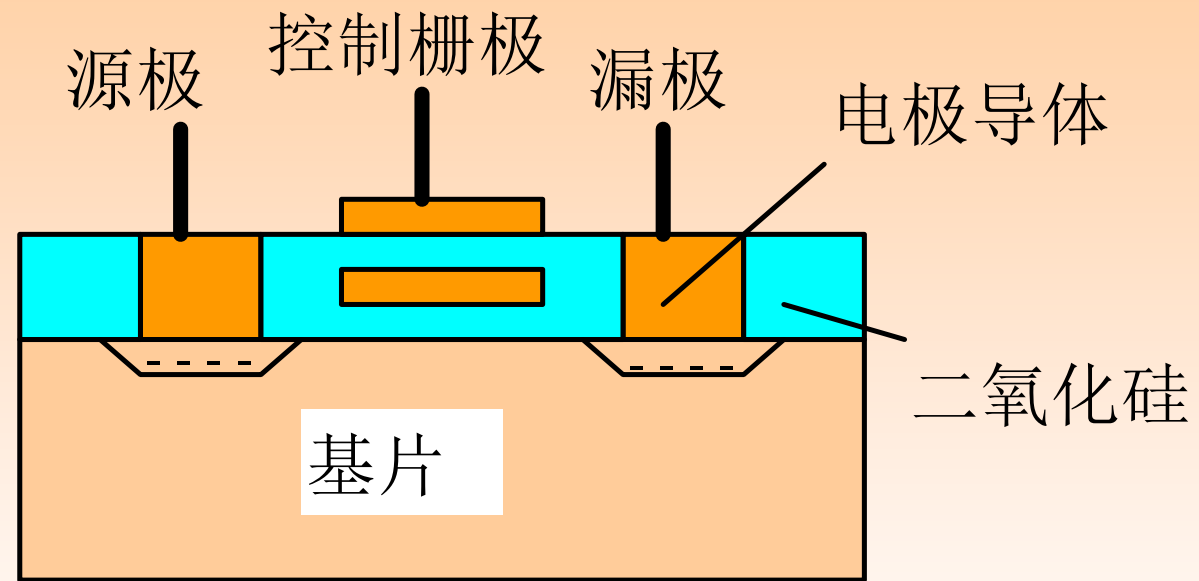


(c) EPROM 晶体管结构



(d) EPROM 晶体管导通状态

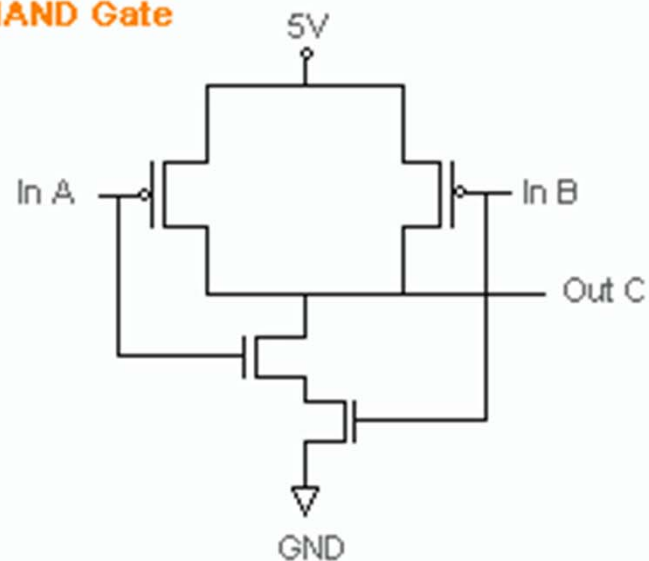
电可擦写ROM——EEPROM及Flash存储器



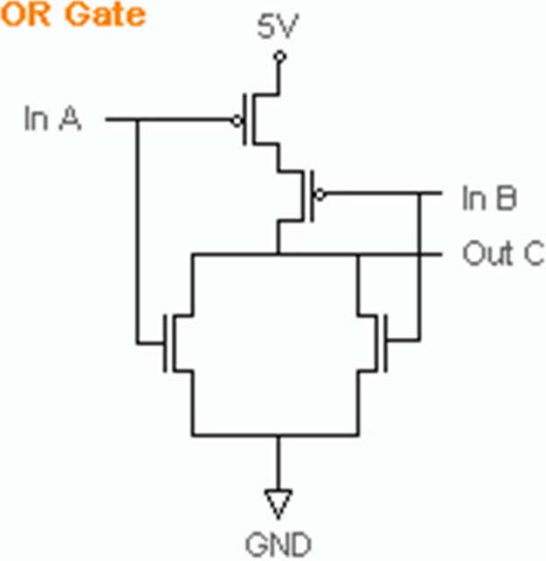
Flash存储器

- 1 transistor per cell
- NOR type
 - Word read
 - Word program (10us)
 - Block erase (0.5s)
- NAND type
 - Page read (10us)
 - Page program (200us)
 - Block erase (2ms)

NAND Gate



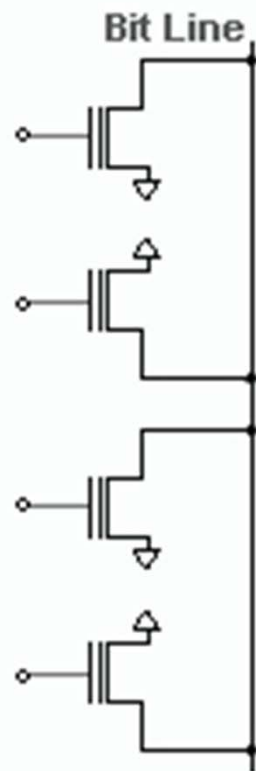
NOR Gate



NOR and NAND type Flash

Nor Type

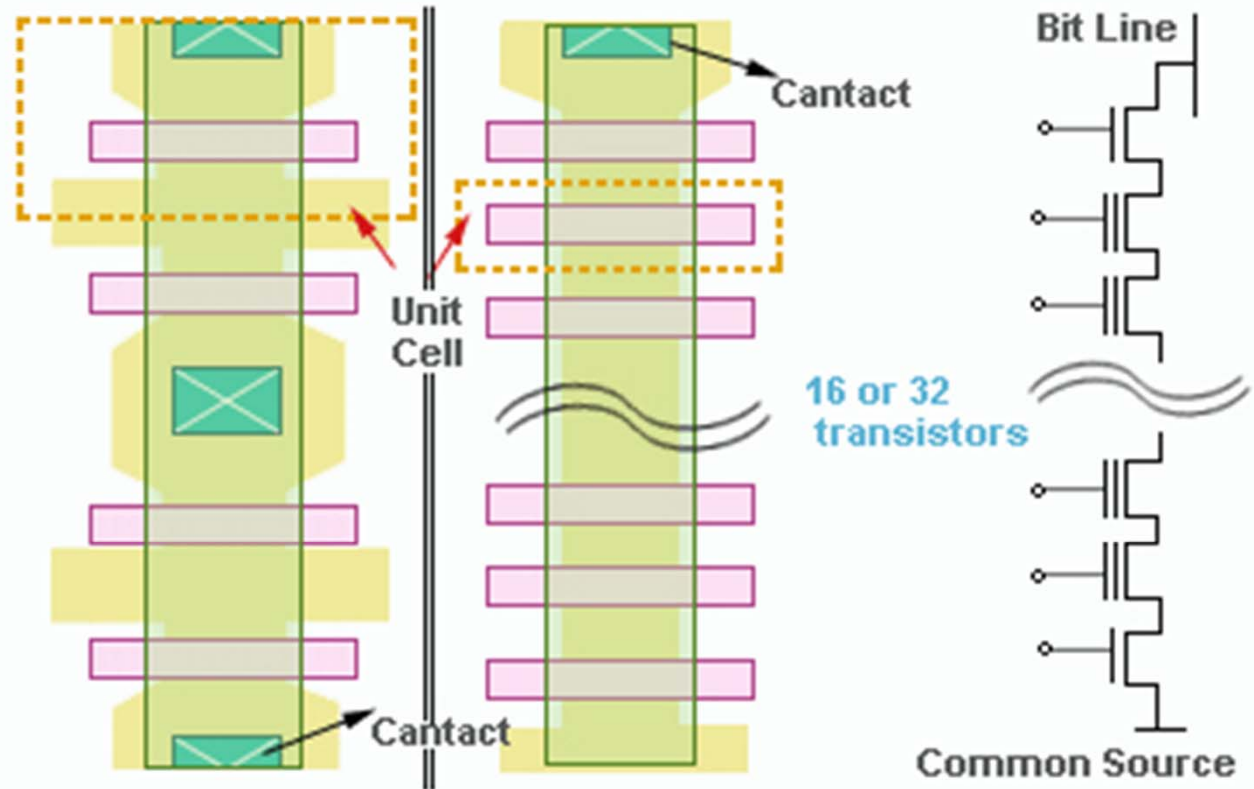
Large cell and fast random access



- Contact is the Limiting factor for scale-down

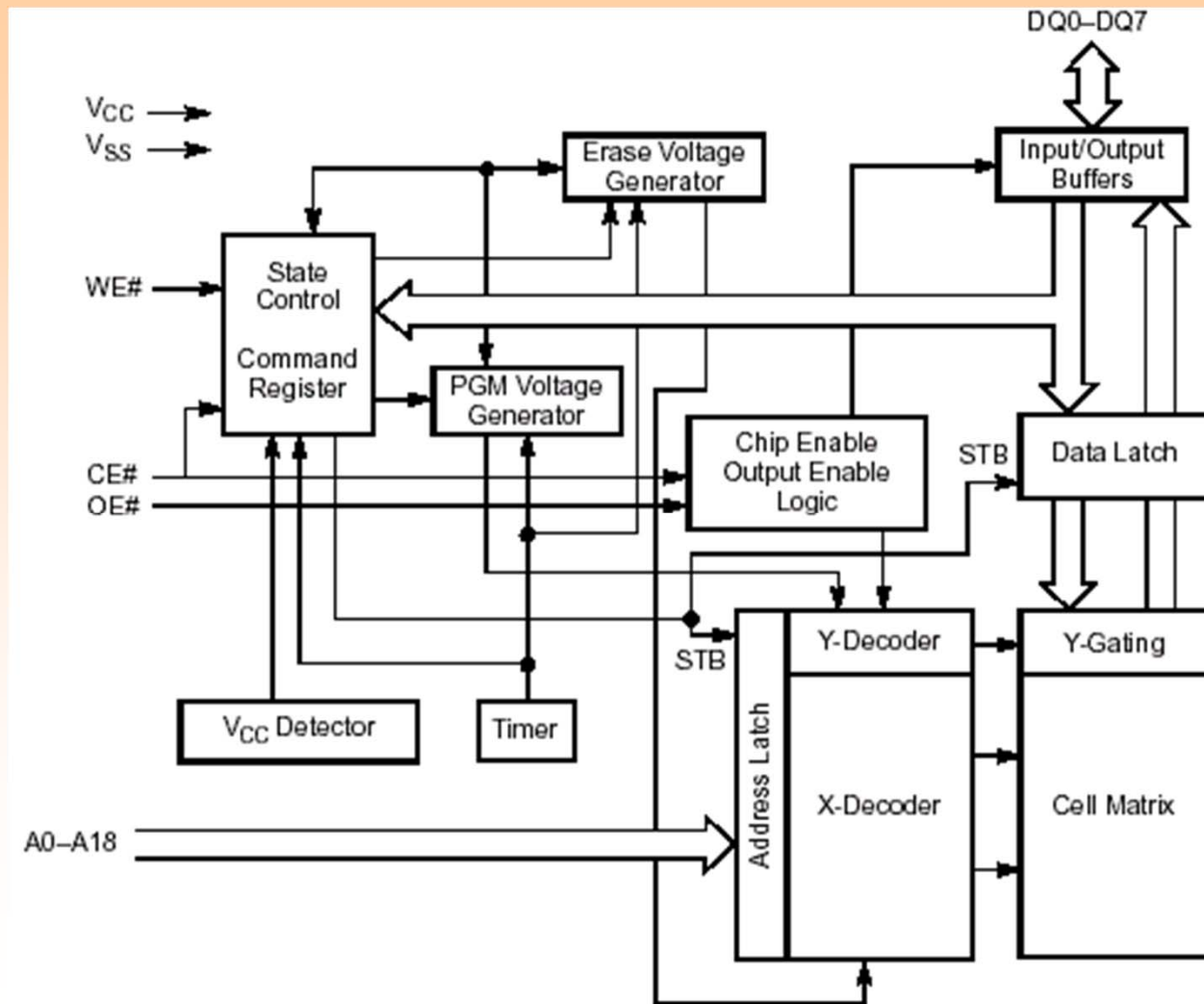
Nand Type

Small cell, but fast burst access

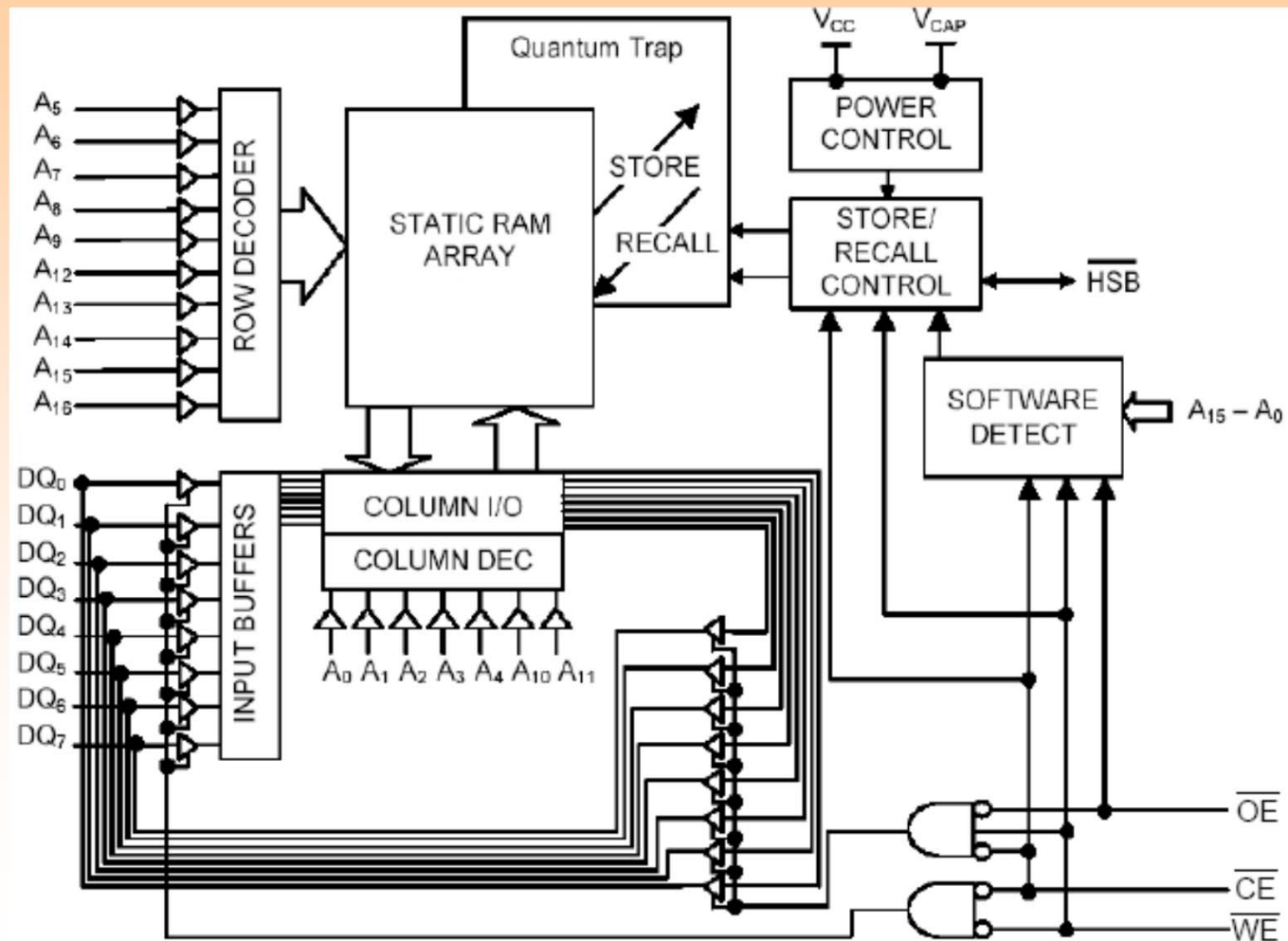


- Easy to Scale Down

Flash芯片结构

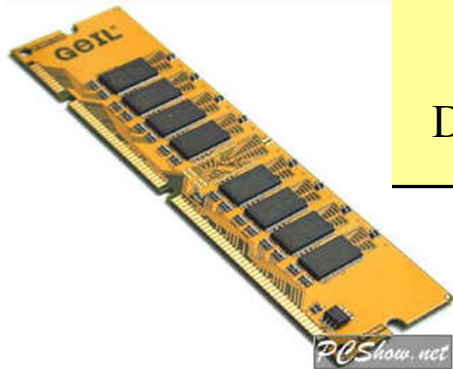
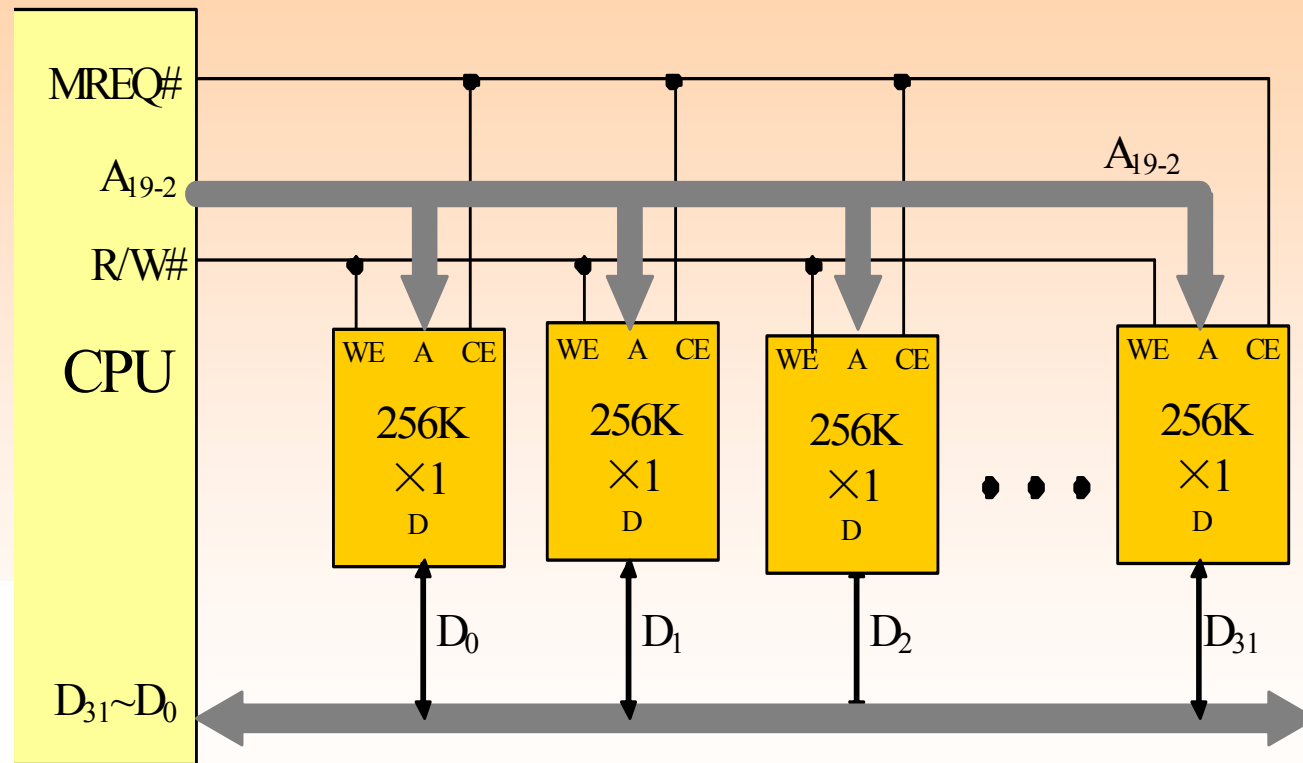


NVRAM



5.2 存储器的构成

位扩展



位扩展

芯片的地址线数：18

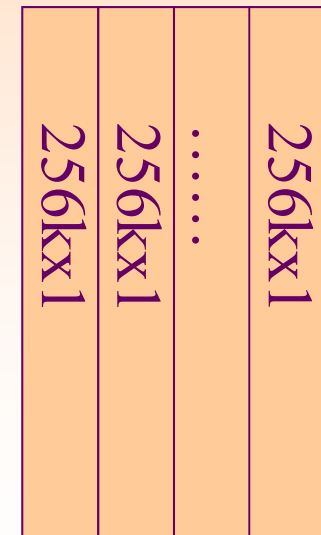
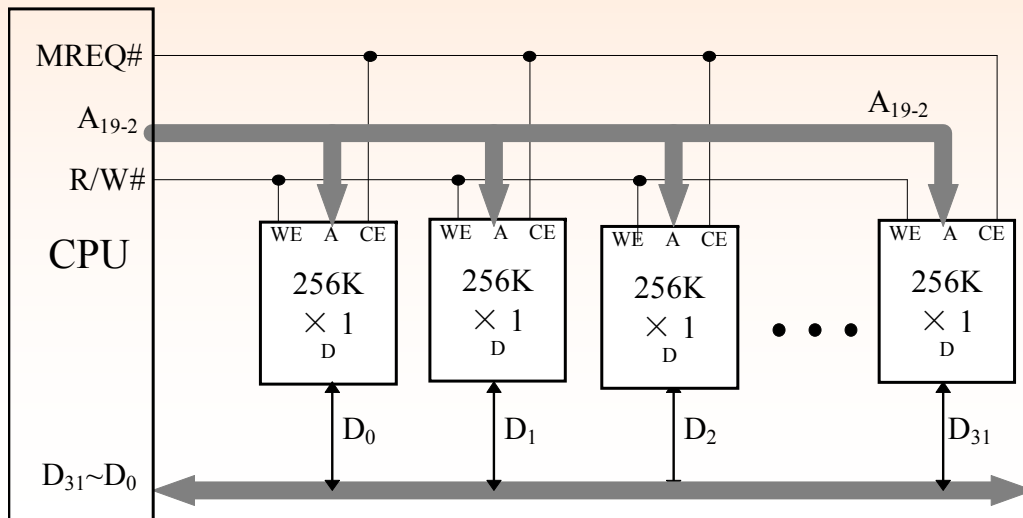
存储器的结构256Kx32

容量：1MB

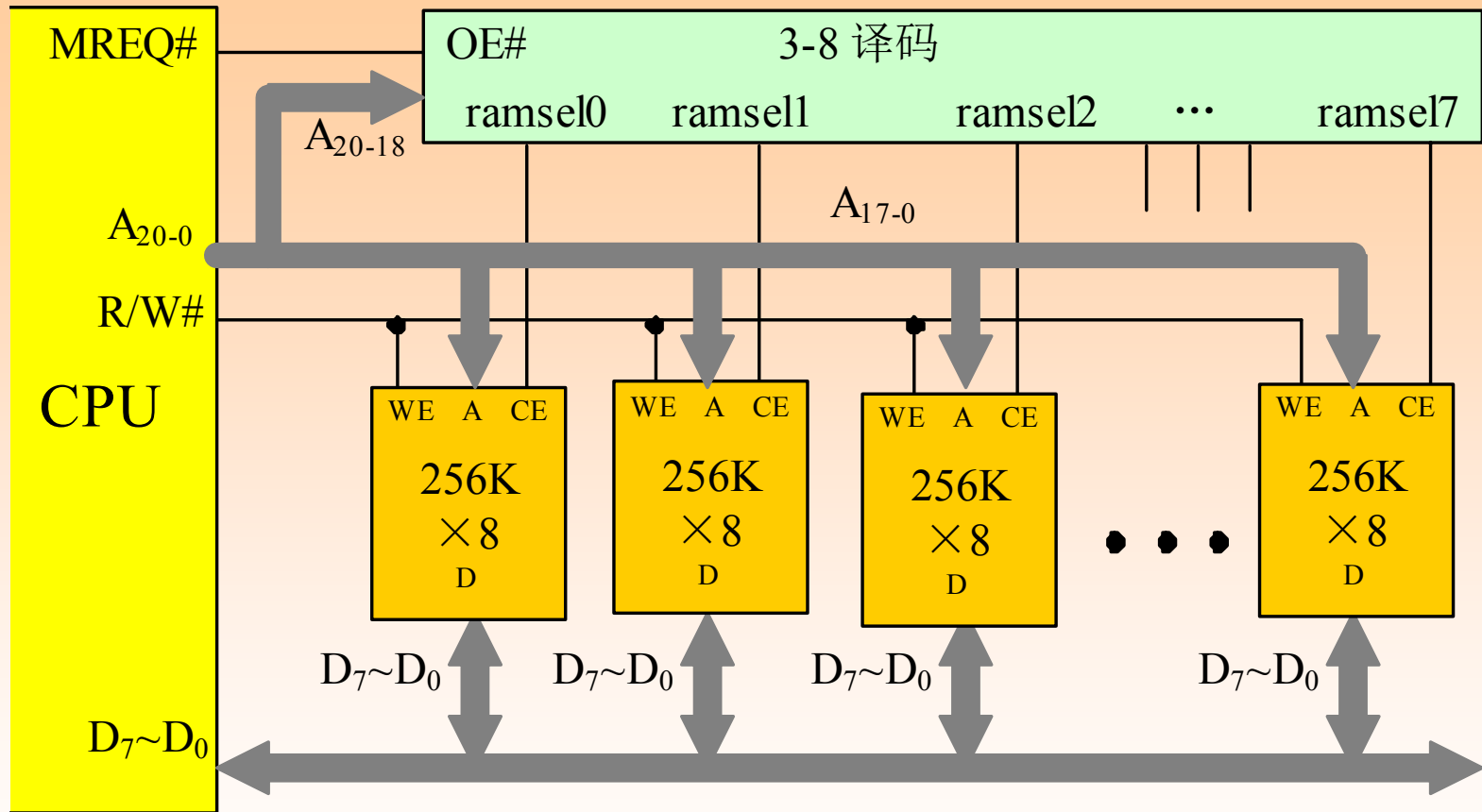
CPU的有效地址位数：20位字节地址

每个芯片的地址范围相同
位扩展

| | | | | |
|---|----|----|---|---|
| 0 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| 1 | 7 | 6 | 5 | 4 |
| 2 | 11 | 10 | 9 | 8 |
| | | | | |
| | | | | |



字扩展



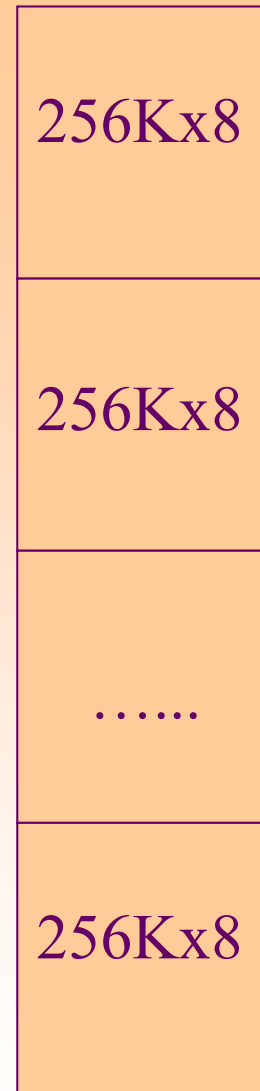
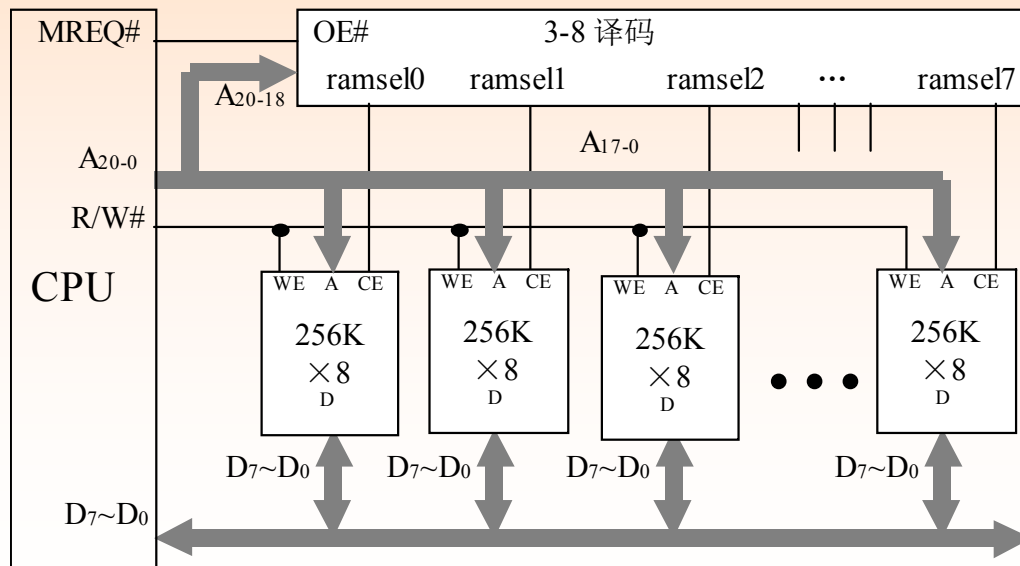
字扩展

存储器芯片引脚数：18

存储器结构：2Mx8

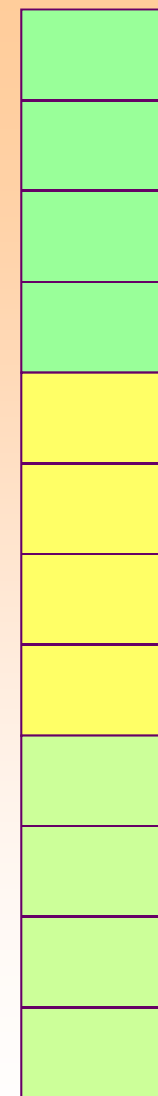
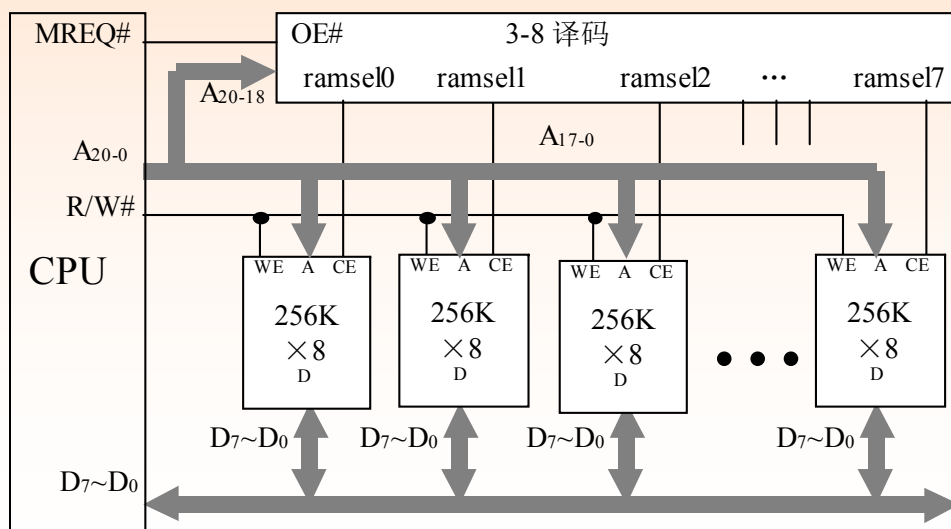
CPU有效地址线数：21

每个芯片的地址范围不同

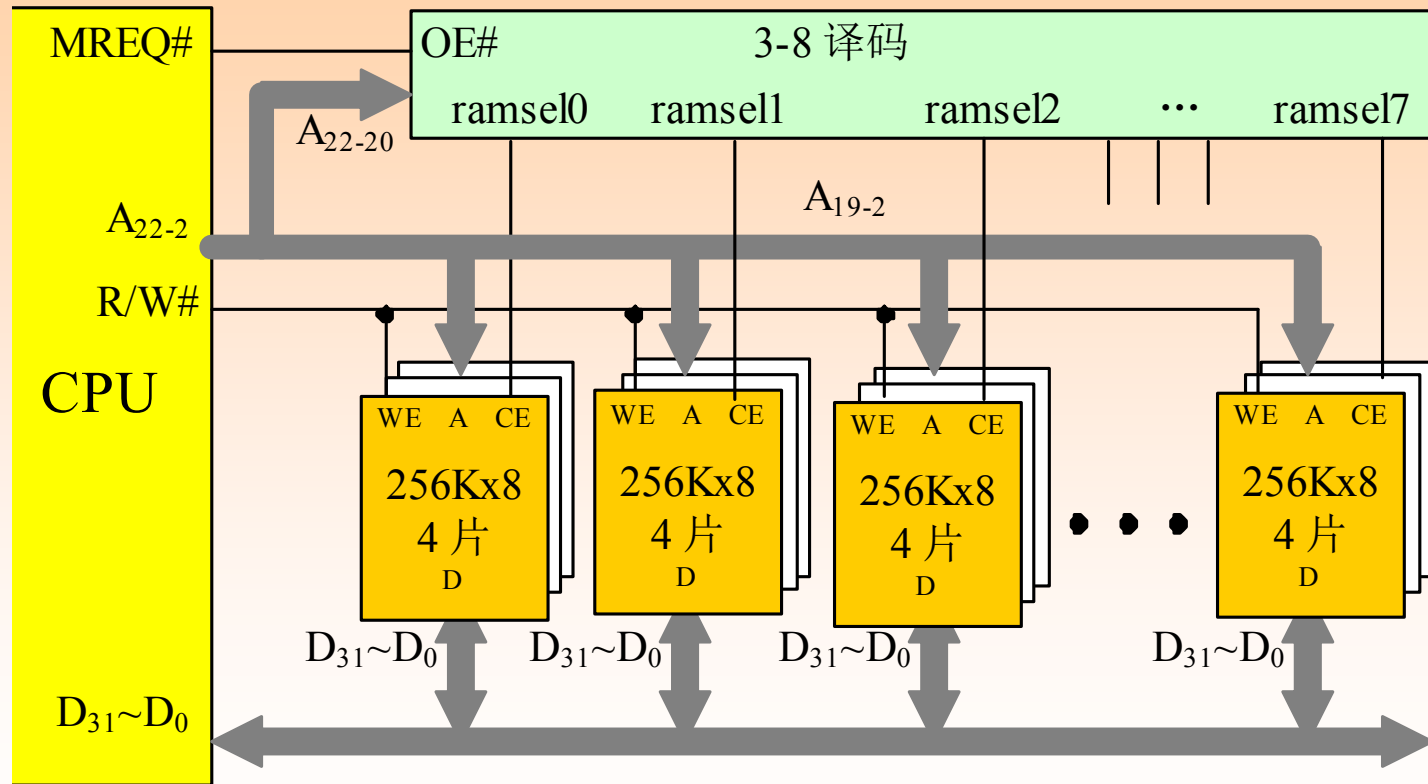


问题

- 字扩展中，求每个芯片的地址范围
- 字扩展中，求整个存储器的地址范围
- 如果用超出存储器地址范围的地址访存，会出现什么情况？



字位扩展



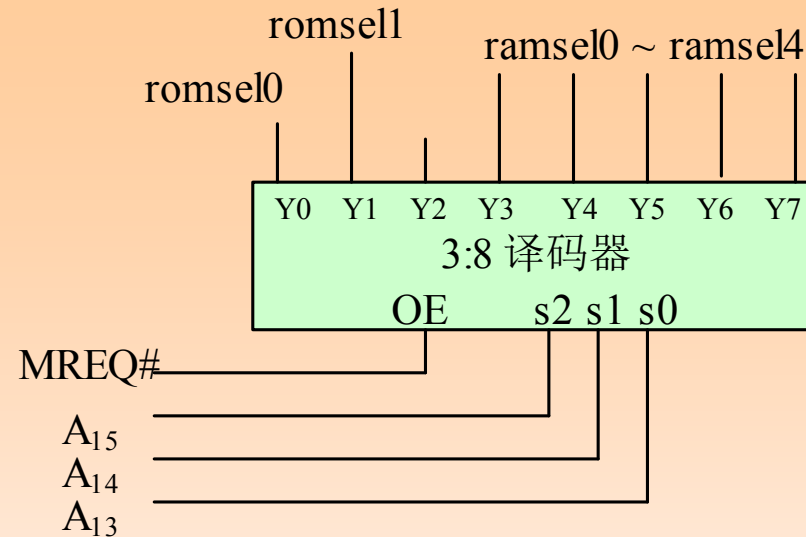
例1 某计算机的主存地址空间中，从地址 0000_{16} 到 $3FFF_{16}$ 为ROM存储区域，从 4000_{16} 到 $5FFF_{16}$ 为保留地址区域，暂时不用，从 6000_{16} 到 $FFFF_{16}$ 为RAM地址区域。RAM的控制信号为CS#和WE#，CPU的地址线为A15~A0，数据线为8位的线路D7~D0，控制信号有读写控制R/W#和访存请求MREQ#，要求：

- (1) 画出地址译码方案。
- (2) 如果ROM和RAM存储器芯片都采用 $8K \times 1$ 的芯片，试画出存储器与CPU的连接图。
- (3) 如果ROM存储器芯片采用 $8K \times 8$ 的芯片，RAM存储器芯片采用 $4K \times 8$ 的芯片，试画出存储器与CPU的连接图。
- (4) 如果ROM存储器芯片采用 $16K \times 8$ 的芯片，RAM存储器芯片采用 $8K \times 8$ 的芯片，试画出存储器与CPU的连接图。



(1) 画出地址译码方案

- 解：(1)



译码器的输出信号逻辑表达式为：

$$\text{romsel0} = \overline{A_{15}} * \overline{A_{14}} * \overline{A_{13}} * \overline{MREQ\#}$$

$$\text{romsel1} = \overline{A_{15}} * \overline{A_{14}} * A_{13} * \overline{MREQ\#}$$

$$\text{ramsel0} = \overline{A_{15}} * A_{14} * \overline{A_{13}} * \overline{MREQ\#}$$

$$\text{ramsel1} = A_{15} * \overline{A_{14}} * \overline{A_{13}} * \overline{MREQ\#}$$

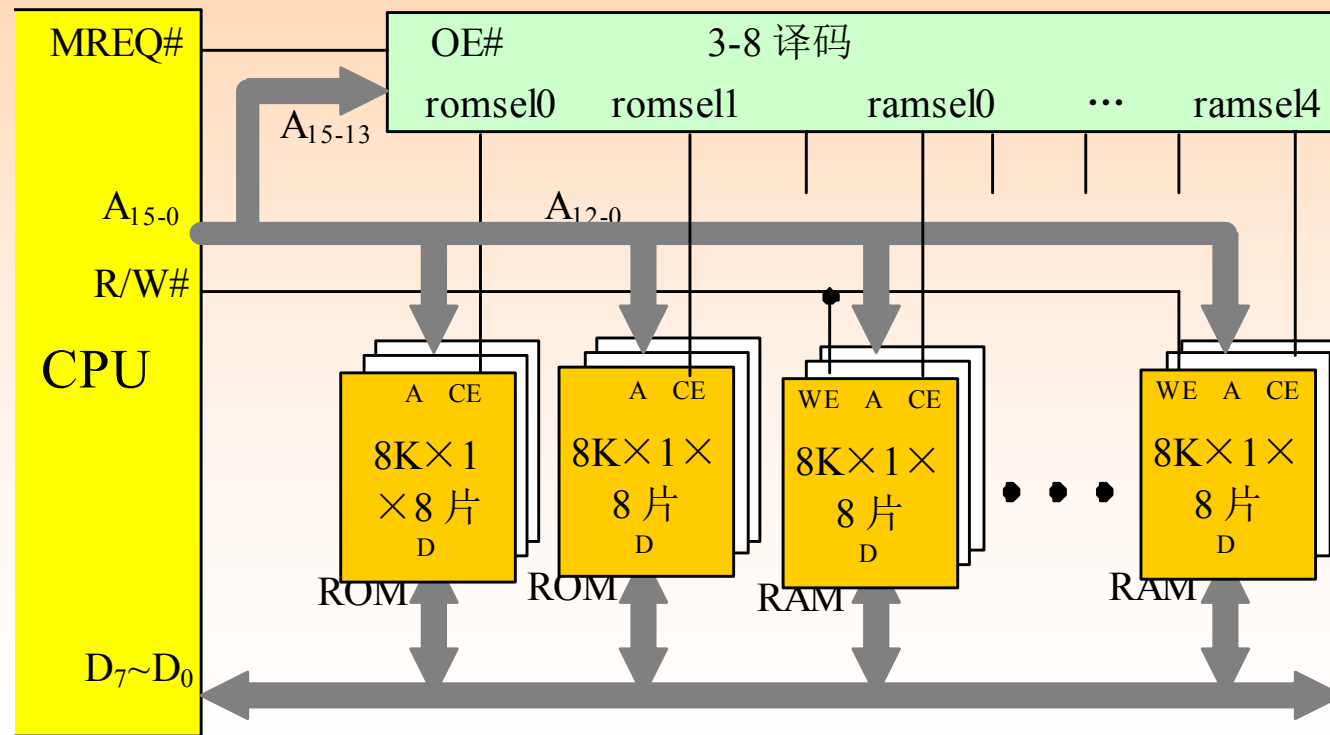
$$\text{ramsel2} = A_{15} * \overline{A_{14}} * A_{13} * \overline{MREQ\#}$$

$$\text{ramsel3} = A_{15} * A_{14} * \overline{A_{13}} * \overline{MREQ\#}$$

$$\text{ramsel4} = A_{15} * A_{14} * A_{13} * \overline{MREQ\#}$$

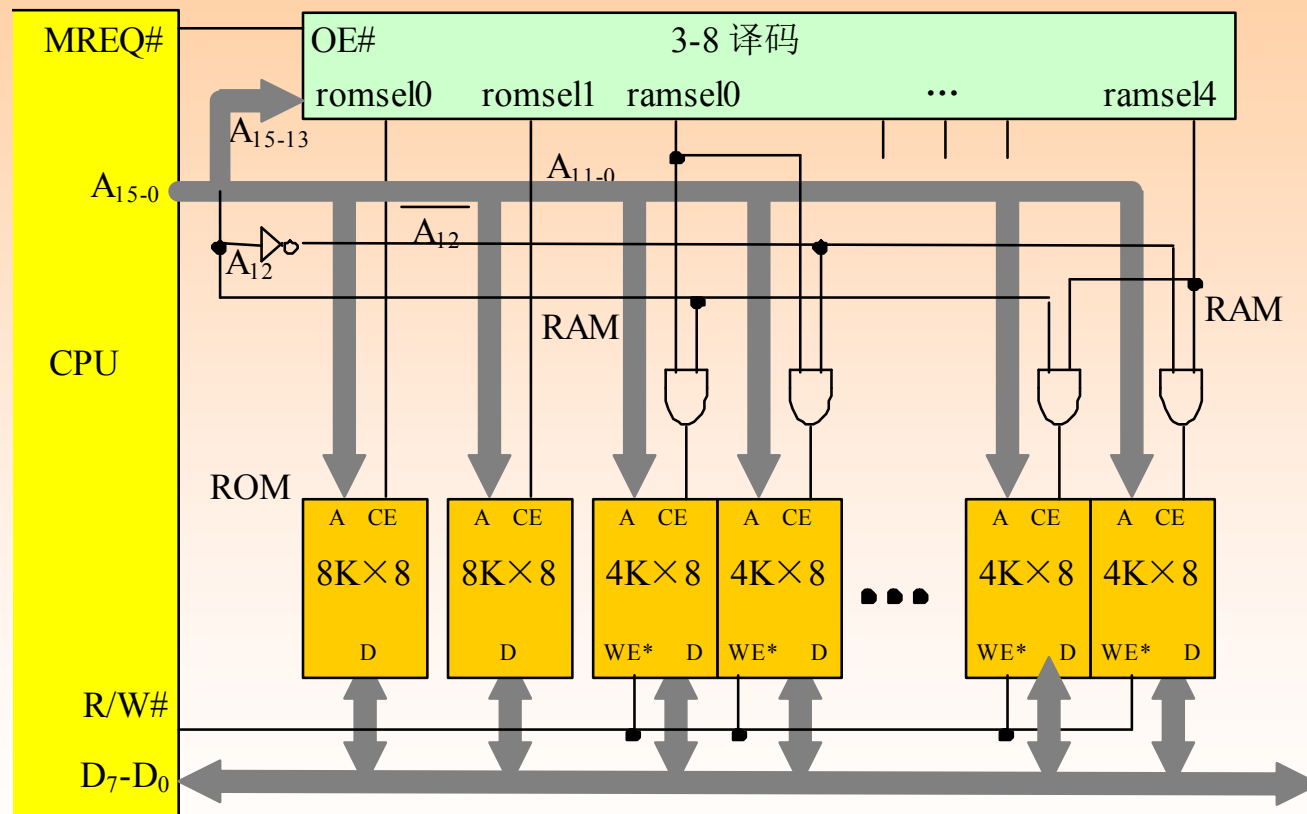
(2) 如果ROM和RAM存储器芯片都采用 $8K \times 1$ 的芯片，试画出存储器与CPU的连接图。

解：(2) $8KB$ 的存储区域可以用8片存储器芯片构成一组实现。 $8K \times 1$ 的存储器芯片的地址线需要13条，即 $A_{12} \sim A_0$ 。



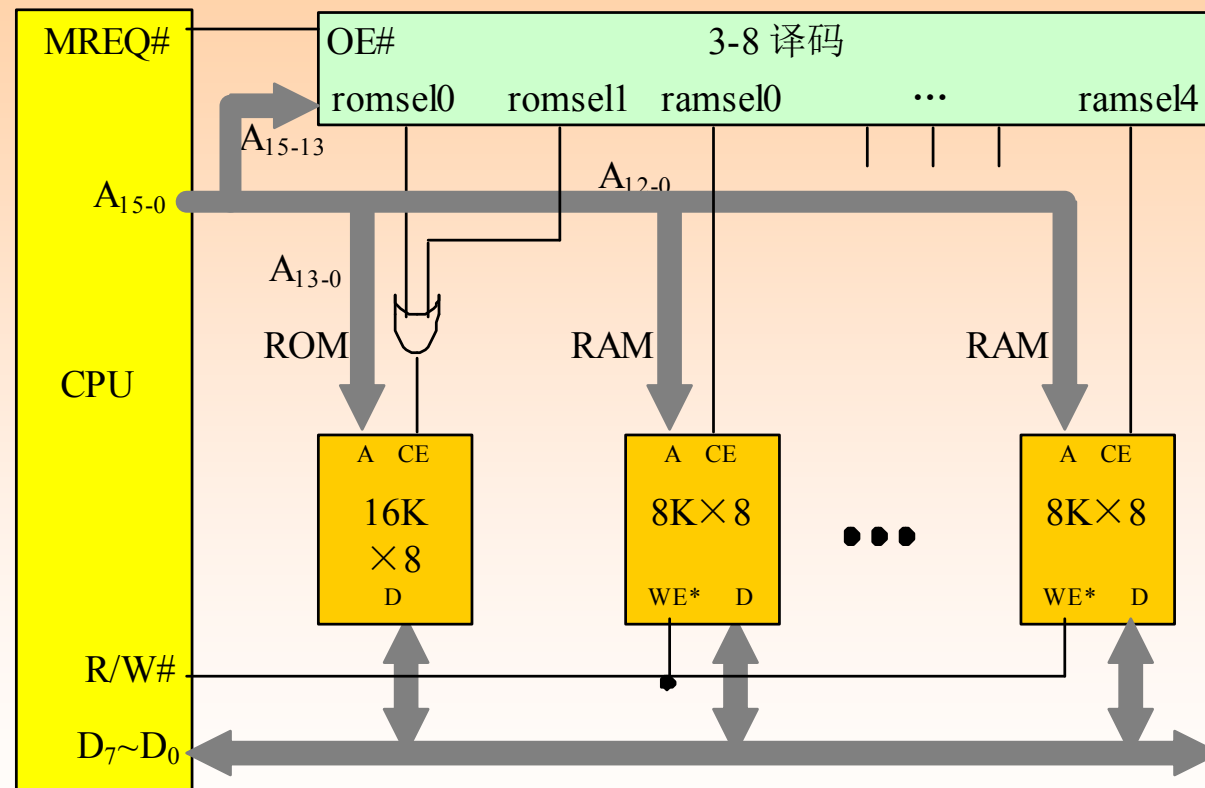
(3) 如果ROM存储器芯片采用 $8K \times 8$ 的芯片，RAM存储器芯片采用 $4K \times 8$ 的芯片，试画出存储器与CPU的连接图。

解：(3)



(4) 如果ROM存储器芯片采用 $16K \times 8$ 的芯片，RAM存储器芯片采用 $8K \times 8$ 的芯片，试画出存储器与CPU的连接图。

解：(4)



例2 某计算机系统的主存采用32位字节地址空间和64位数据线访问存储器，若使用64M位的DRAM芯片组成该机所允许的最大主存空间，并采用内存条的形式，问：

- (1) 若每个内存条为64M×32位，共需多少内存条？
- (2) 每个内存条内共有多少片DRAM芯片？
- (3) 主存共需多少DRAM芯片？
- (4) CPU如何有选择地访问各内存条？

解：(1) 主存最大空间为 $2^{32}=4\text{GB}$ ，每个内存条的容量为 $64 \times 4\text{B} = 256\text{MB}$ ，主存需要的内存条数量为 $4\text{GB}/256\text{MB}=16$ 条。

(2) 每个芯片的容量为8MB，内存条需要的芯片数量为 $256\text{MB}/8\text{MB} = 32$ 片。

(3) 整个主存需要的内存芯片数量是 $16 \times 32=512$ 片。

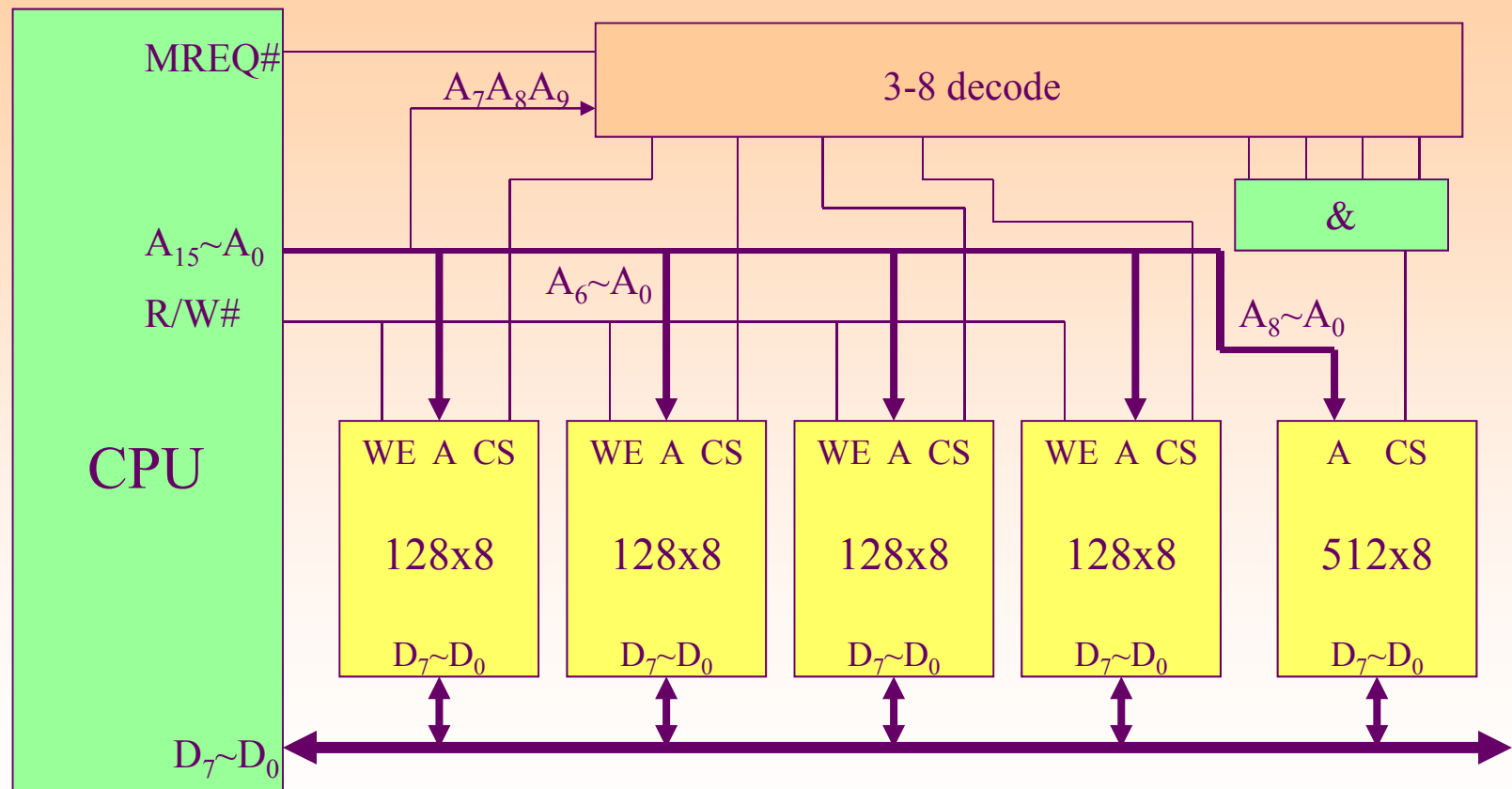
(4) 由于CPU字长为64位，内存条需要进行位扩展，即2个32位的内存条构成一组64位的存储单元组，16个内存条构成8组，为选择这8组内存条，CPU地址中需要用最高3位地址作为产生选择信号的地址码。

例3 假定计算机系统需要512字节RAM和512字节ROM容量。使用的RAM芯片是128字×8位，ROM芯片为512字×8位。RAM芯片有CS*及WE*控制端，ROM芯片有CS*控制端，CPU有地址线A15~A0、数据线D7~D0、读写控制线RW*等，试确定各存储器芯片的地址区间，指出存储器以及各存储器芯片需要的地址线数量，并画出存储器与CPU的连接图。

解：各存储器芯片的地址区间：

| 元件 | 16 进制地址范围 | 二进制地址值 |
|------|-----------|---------------------|
| RAM1 | 0000~007F | 0 0 0 x x x x x x x |
| RAM2 | 0080~00FF | 0 0 1 x x x x x x x |
| RAM3 | 0100~017F | 0 1 0 x x x x x x x |
| RAM4 | 0180~01FF | 0 1 1 x x x x x x x |
| ROM | 0200~03FF | 1 x x x x x x x x x |

- 存储器的总容量为1KB，需要10条地址线。
- RAM芯片需要7条信号线($2^7=128$)，ROM芯片需要9条地址线($2^9=512$)。
- 存储器与CPU的连接图



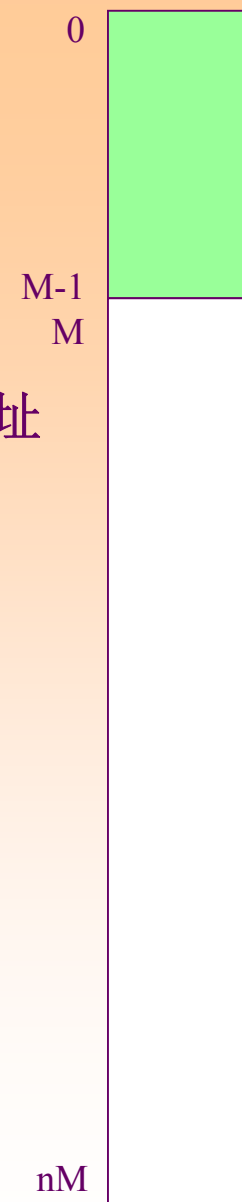
全译码与部分译码

- 全译码

- 所有**CPU**高位地址线均参与对存储单元的译码寻址
- 低位地址线对芯片内各存储单元的译码寻址
 - 片内译码
- 高位地址线对存储芯片的译码寻址
 - 片选译码
- 每个存储单元的地址都是唯一的
 - 不存在地址重复

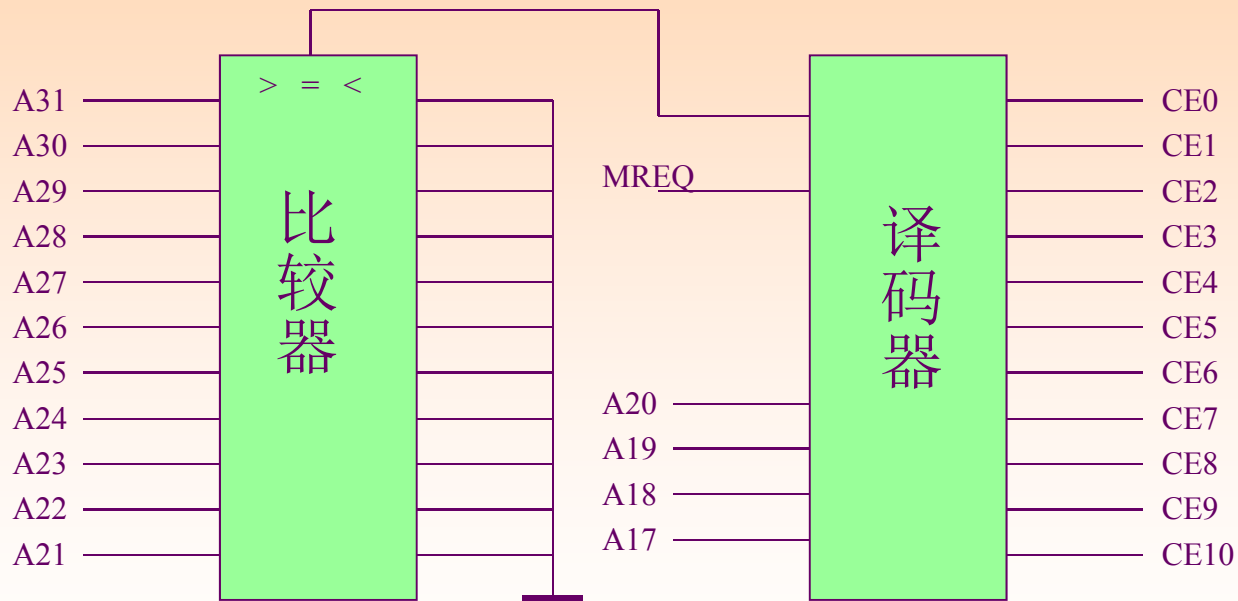
- 部分译码

- 部分高位地址线参与对存储单元的译码寻址
- 存在地址段内容重叠
 - 每个单元有多个地址



全译码的实现

- 与门（常用）
- 地址比较器



字选择与字节选择

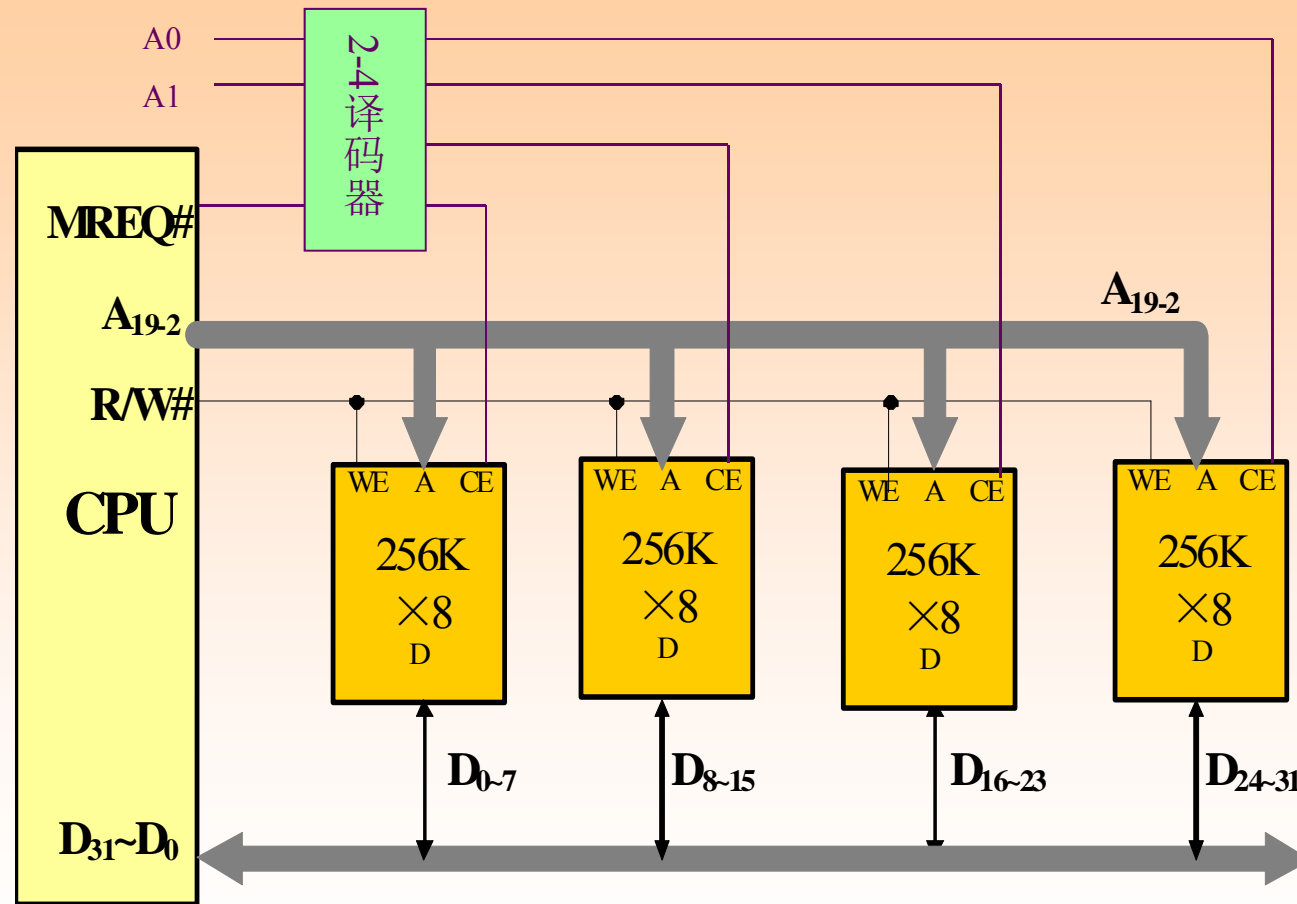
- 字选择

- 以字为单位访问存储器
- 位数等于存储器的字长
- 低位地址不需要

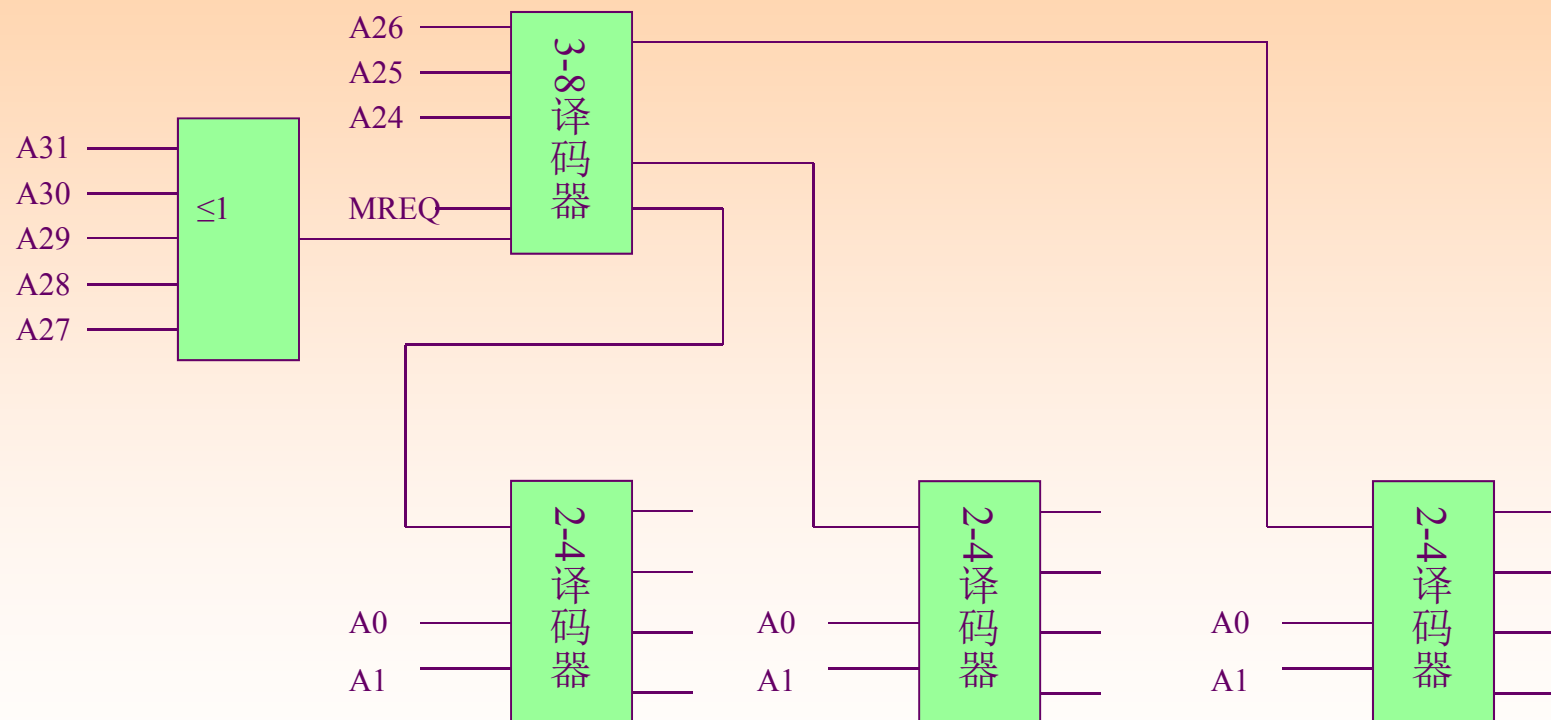
- 字节选择

- 可以以字节为单位访问存储器
- 低位地址用于选择字节

字节选择的实现



字位扩展中的字节选择

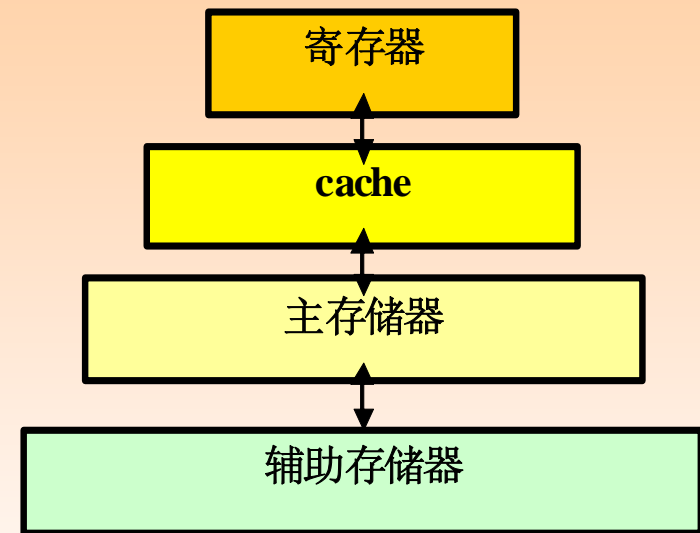


3.3 高速缓冲存储器-Cache

- 在实际的计算机系统中，**CPU**的工作速度很快，对于存储器的速度和容量要求较高。
- 需要采用提高存储器工作速度的技术，或者采用层次化的存储器系统结构。
- **访存局部性规律**：程序对存储空间**90%**的访问局限于存储空间**10%**的区域内；而另外**10%**的访问则分布在存储空间的其余**90%**的区域中。
 - **时间局部性**：如果一个存储单元被访问，则可能这个存储单元会很快被再次访问。
 - **空间局部性**：如果一个存储单元被访问，则它邻近的单元可能被很快访问。
 - 形成此规律的原因包括程序的顺序执行和程序的循环等。

Cache

- 根据访存局部性规律优化设计存储系统，就是要求将计算机中频繁访问的数据存放在速度较高的存储器中，而将不频繁访问的数据存放在速度较慢但价格较低的存储器件中。
- 采用层次化结构
 - Cache的作用是弥补CPU与主存储器在速度上的差异。
 - Cache是一个高速小容量的临时存储器，可以用高速的SRAM芯片实现，或者集成到CPU芯片的内部。



层次化结构

Cache的基本概念

- 在带有**Cache**的计算机中，**Cache**中开始时是没有数据或程序代码的。当**CPU**访问存储器时，从主存中读取的数据或代码在写入寄存器的同时还写入**Cache**中。
- 在以后的访问中，如果访问的数据或代码已经存在于**Cache**中，就可以直接从**Cache**中访问到数据或代码，而不必再到主存中访问了。这个情形称为**Cache命中**。
- **Cache**命中的统计概率称为**Cache**的命中率。
- 反之，访问主存的数据或代码不存在于**Cache**中的情形称为不命中或失效，不命中的统计概率称为失效率。
- 为了提高**Cache**的命中率，在将主存的数据或代码写入**Cache**时，一般把该数据的前后相邻的数据或代码也一起写入**Cache**。即从主存到**Cache**的数据传送是以块为单位进行的，这样符合访存的局部性规律。
- 在**Cache**命中时所需要的访问时间称为命中访问时间。不命中时因访问主存而增加的访问时间称为**Cache**的失效访问时间。
- 命中时， $\text{访问时间} = \text{Cache的访问时间} = \text{命中时间}$ 。
- 失效时， $\text{访问时间} = \text{命中时间} + \text{失效访问时间}$ 。
- 无论**Cache**是否命中，**Cache**都是必须访问的。

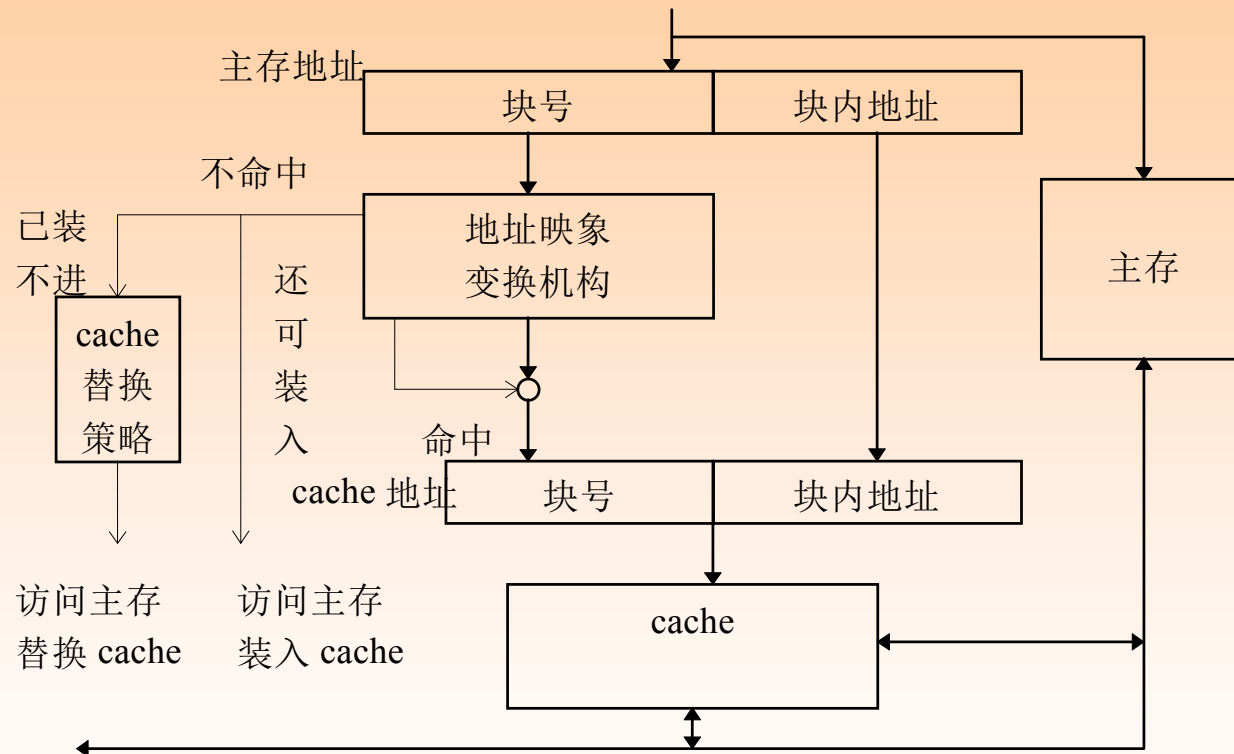
Cache设计中需考虑的问题

- 地址映象
 - 主存中的块放入**Cache**中的什么地方？
 - 这是一个将主存地址映像到**Cache**地址的问题。主存地址到**Cache**地址的映像以块为单位。
- 替换策略
 - **Cache**放满时怎么办？
 - 需要有一个算法将**Cache**中的某一块替换出去。
- 更新策略
 - 写**Cache**时是否写主存？
 - 它决定在写操作时，何时将数据写入**Cache**？何时写入主存？
- 容量
 - **Cache**的容量比主存低很多，数据块怎么分配？

Cache与内存的地址映像

- 直接映像
 - 一个主存块只能映像到**Cache**中的**唯一位置**的地址映像方式
- 全相联映像
 - 每个主存块都可映像到任何**Cache**块的地址映像方式。
- 组相联映像
 - 将存储空间分成若干组，每个组包含若干个数据块。
 - 主存中 的一个数据块可以装入**Cache**中同一组的任何一个块框架。
 - 即各组之间**直接映像**，组内各块之间则是**全相联映像**。

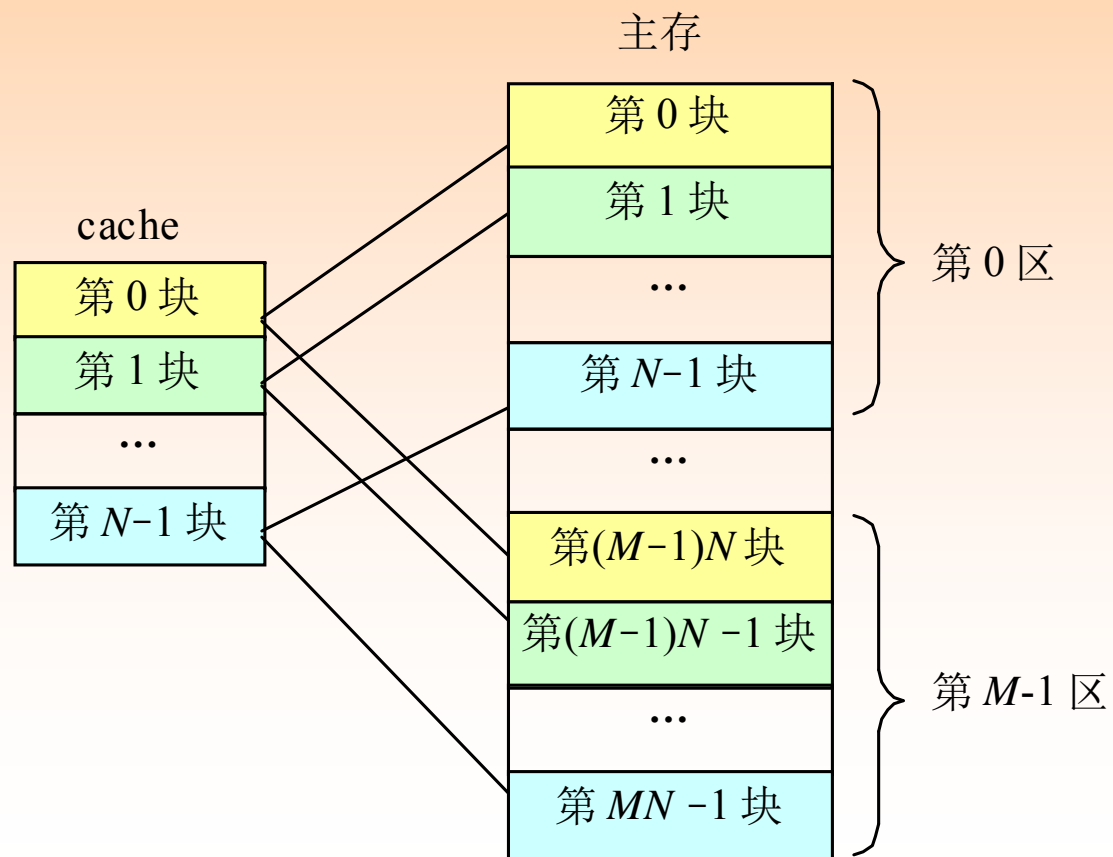
Cache的结构原理



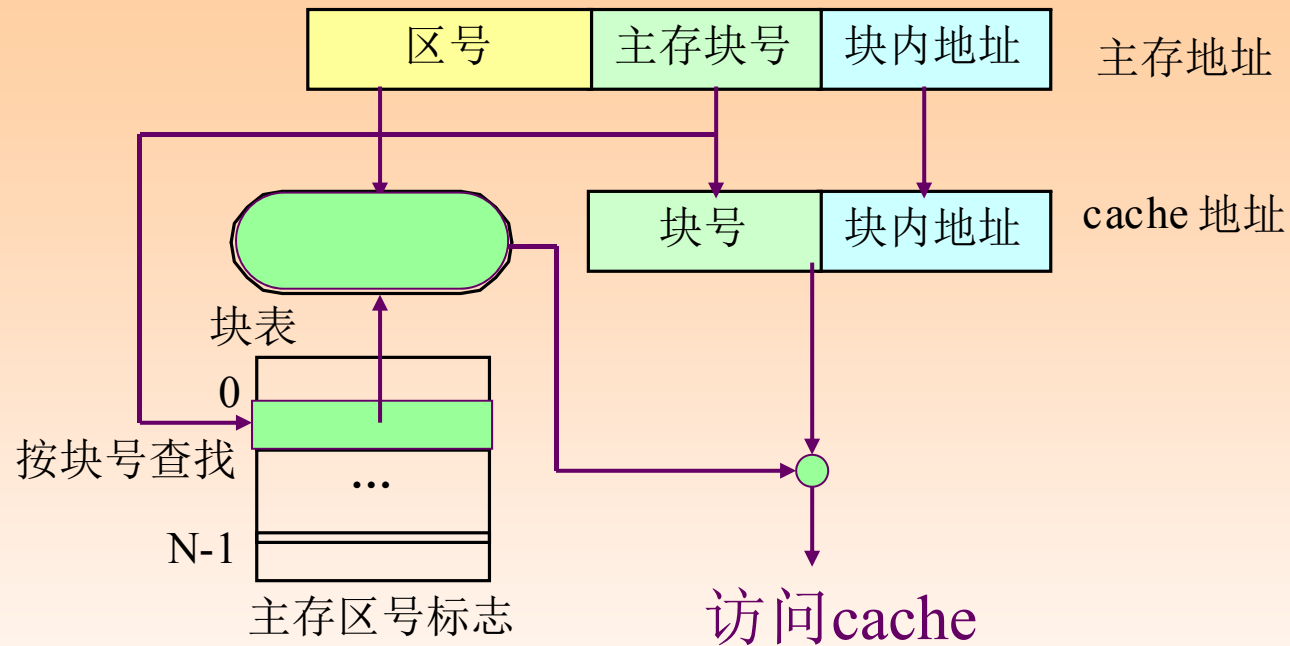
地址映像与变换

1. 直接映像

- 一个主存块只能映像到**Cache**中的**唯一位置**的地址映像方式



1. 直接映像



块地址的概念

存储容量、块数、块容量与地址格式中区号、块号、块内地址位数的关系。

**根据主存块号在由块表中查询出区号，与主存区号相比较，如相符，则命中，可直接访问Cache；如不同，则不命中。

1. 直接映象

- 以读操作为例，假定Cache中有8个块的容量，访问的块地址序列为：10110、11010、10110、11010、10000、00100、10000、10010
- 因此，地址的低3位作为Cache的块号，高2位作为区号标志位识别Cache的命中情况。

| 访问顺序 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 块地址 | 22 | 26 | 22 | 26 | 16 | 4 | 16 | 18 |
| 块分配情况 | - | - | - | - | 16 | 16 | 16 | 16 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | - | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 18 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | 4 | 4 | 4 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 操作状态 | 调进 | 调进 | 命中 | 命中 | 调进 | 调进 | 命中 | 替换 |

例 设有一个cache的容量为2K字，每个块为16字，求

- (1) 该cache可容纳多少个块？
- (2) 如果主存的容量是256K字，则有多少个块？
- (3) 主存的地址有多少位？ cache地址有多少位？
- (4) 在直接映像方式下，主存中的第*i*块映像到cache中哪一个块中？
- (5) 进行地址映像时，存储器的地址分成哪几段？各段分别有多少位？

解：(1) cache中有 $2048/16=128$ 个块。

(2) 主存有 $256K/16=16384$ 个块。

(3) 主存容量为 $256K=2^{18}$ 字，字地址有18位。

cache容量为 $2K=2^{11}$ 字，字地址为11位。

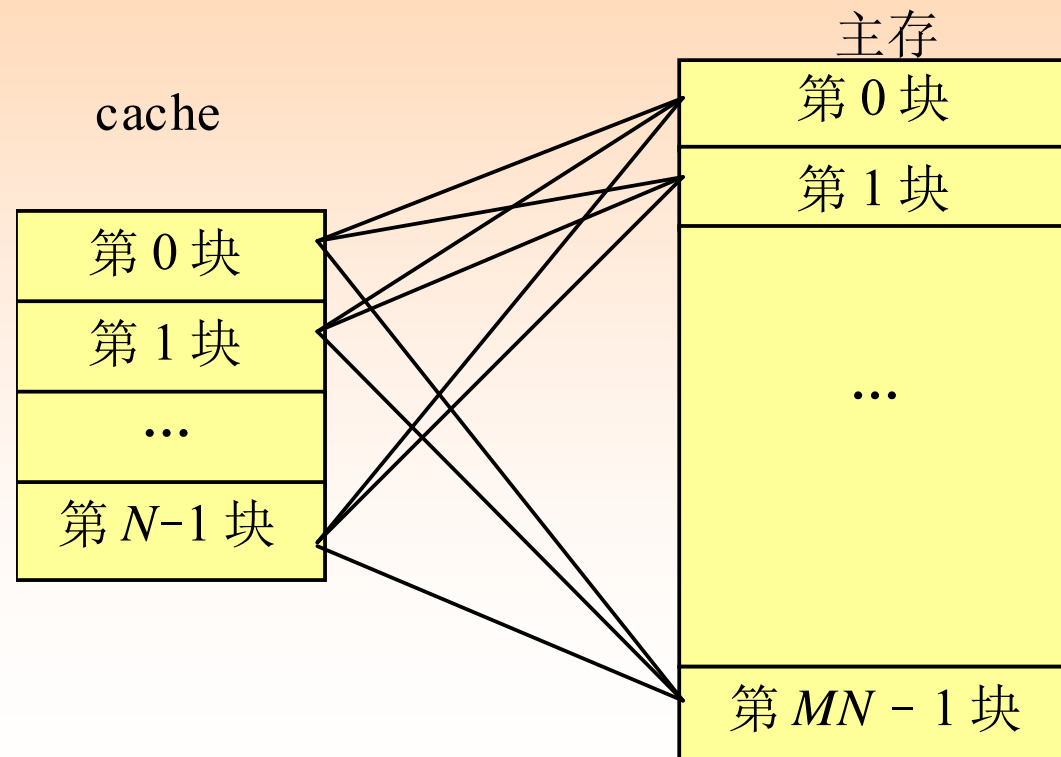
(4) 在直接映像方式下，主存中的第*i*块映像到cache中第 $i \bmod 128$ 个块中。

(5) 区号7位，块号为7位，块内字地址为4位。

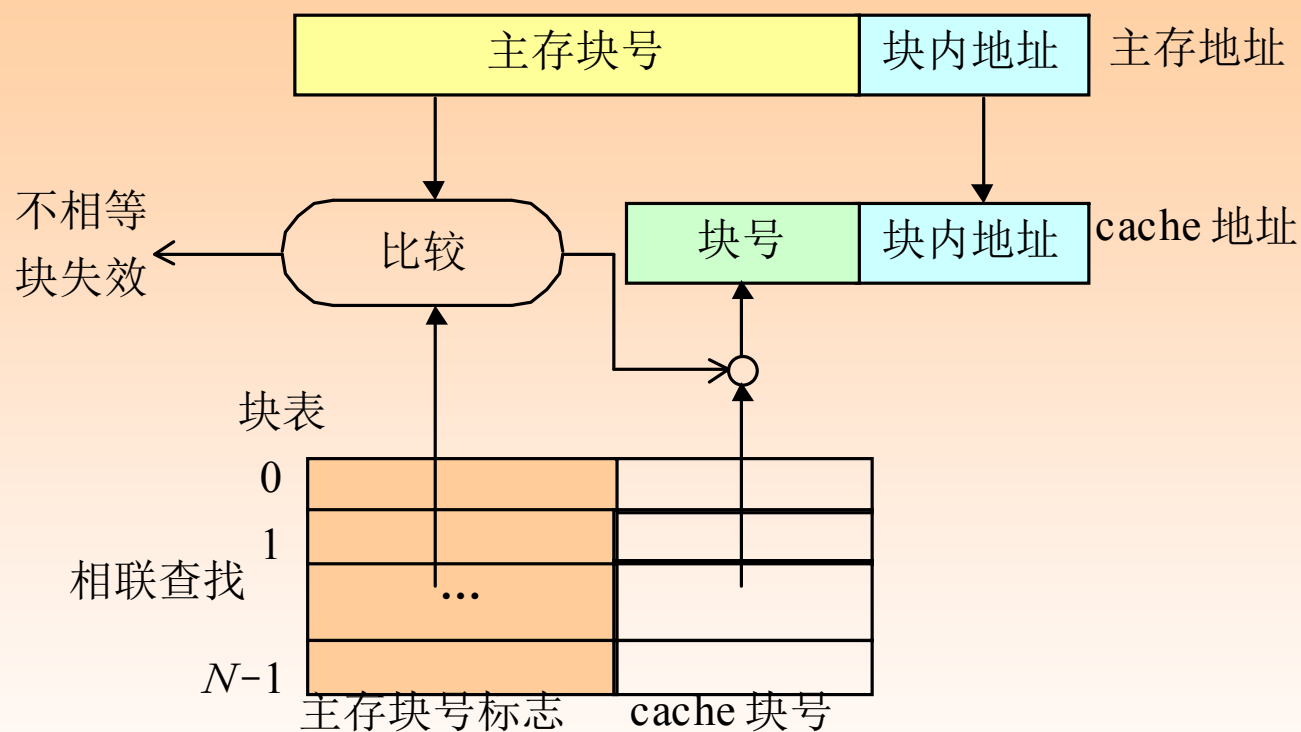


2. 全相联映像

- 每个主存块都可映像到任何**Cache**块的地址映像方式。



2. 全相联映像



N = 区内块数，阴影区表示查找范围

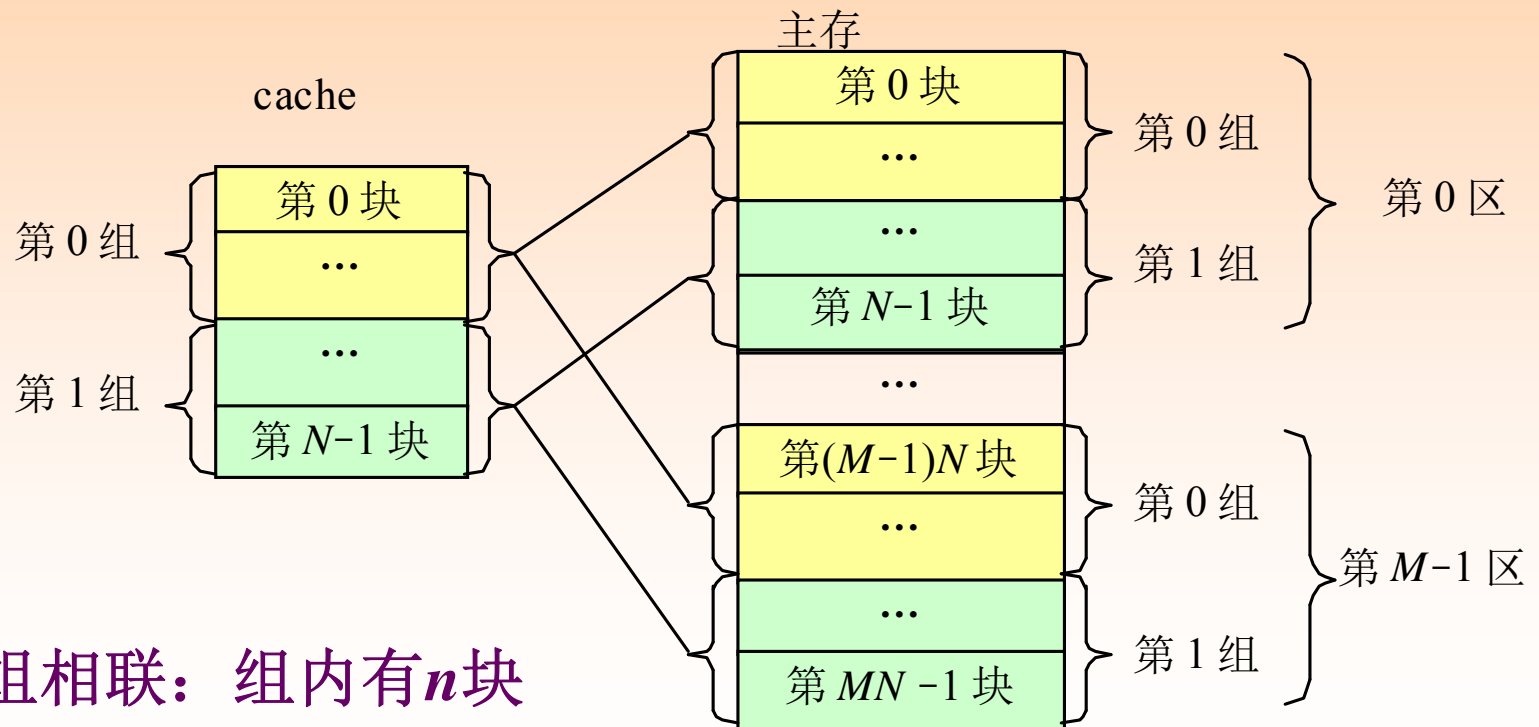
根据主存块号在块表中检索，如存在，则命中，根据块表查出对应的块号作为Cache块号，和块内地址拼装成Cache地址。

2. 全相联映像

| 访问顺序 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|----|----|----|----|----|----|----|---|--|----|----|---|---|---|---|---|---|--|----|----|---|---|---|---|---|---|--|----|----|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|--|----|----|----|---|---|---|---|----|--|----|----|----|---|----|---|---|---|
| 地址 | 22 | 26 | 22 | 26 | 16 | 4 | 16 | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 块分配情况 | <table border="1"><tr><td>22</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 22 | - | - | - | - | - | - | - | <table border="1"><tr><td>22</td></tr><tr><td>26</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 22 | 26 | - | - | - | - | - | - | <table border="1"><tr><td>22</td></tr><tr><td>26</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 22 | 26 | - | - | - | - | - | - | <table border="1"><tr><td>22</td></tr><tr><td>26</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 22 | 26 | - | - | - | - | - | - | <table border="1"><tr><td>22</td></tr><tr><td>26</td></tr><tr><td>16</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 22 | 26 | 16 | - | - | - | - | - | <table border="1"><tr><td>22</td></tr><tr><td>26</td></tr><tr><td>16</td></tr><tr><td>4</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 22 | 26 | 16 | 4 | - | - | - | - | <table border="1"><tr><td>22</td></tr><tr><td>26</td></tr><tr><td>16</td></tr><tr><td>4</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>18</td></tr></table> | 22 | 26 | 16 | 4 | - | - | - | 18 | <table border="1"><tr><td>22</td></tr><tr><td>26</td></tr><tr><td>16</td></tr><tr><td>4</td></tr><tr><td>18</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 22 | 26 | 16 | 4 | 18 | - | - | - |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 操作状态 | 调进 | 调进 | 命中 | 命中 | 调进 | 调进 | 命中 | 调进 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

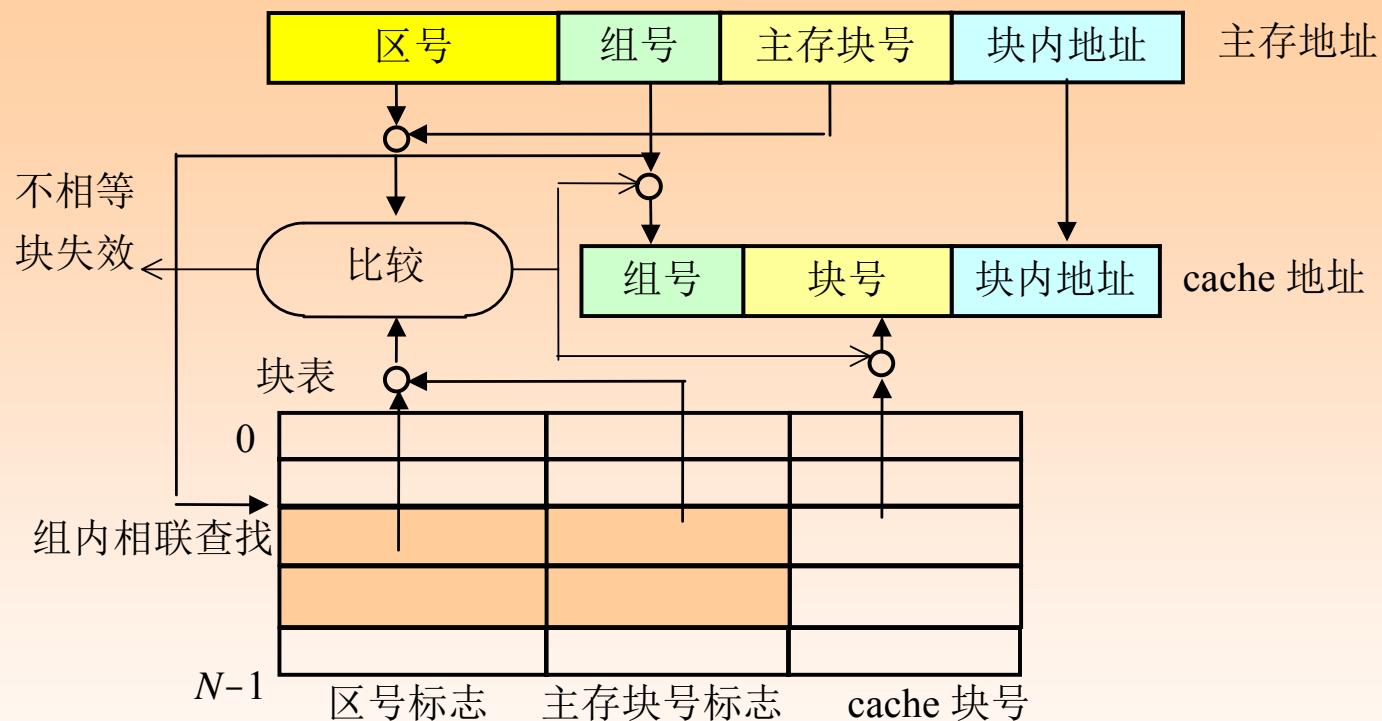
3. 组相联映像

- 将存储空间分成若干组，每个组包含若干个数据块。
- 主存中的一个数据块可以装入Cache中同一组的任何一个块框架。
- 即各组之间直接映像，组内各块之间则是全相联映像。



n 路组相联：组内有 n 块

3. 组相联映像



N = 区内块数，阴影区表示查找范围，根据组号在块表中寻找组，组内相联查找。

**命中的检索方法是直接映像和全相联映像的综合，块表比较复杂。

3. 组相联映像

- 例：设有8个块，分成2个组

| 访问顺序 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 地址 | 22 | 26 | 22 | 26 | 16 | 4 | 16 | 18 |
| 块分配情况 | - | 26 | 26 | 26 | 26 | 26 | 22 | 22 |
| | - | - | - | - | 16 | 16 | 16 | 16 |
| | - | - | - | - | - | - | - | 18 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 | 22 |
| | - | - | - | - | - | 4 | 4 | 4 |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 操作状态 | 调进 | 调进 | 命中 | 命中 | 调进 | 调进 | 命中 | 调进 |

替换策略及更新策略

- 替换策略

- 随机法

- 由随机数产生电路产生一个随机替代块号，不符合访存局部性规则。

- 先进先出法（FIFO）

- 不符合访存局部性规则。

- 近期最少使用法：较好地利用了访存局部性原理。

- 近期最久未使用法

替换策略及更新策略

先进先出替换策略

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--|----|----|----|----|---|----|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|----|---|---|--|---|---|---|---|--|---|---|---|---|
| 访问顺序 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 地址块号 | 2 | 11 | 2 | 9 | 7 | 6 | 4 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 块分配情况 | <table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 2 | - | - | - | <table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>11</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 2 | 11 | - | - | <table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>11</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 2 | 11 | - | - | <table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>11</td></tr><tr><td>9</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 2 | 11 | 9 | - | <table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>11</td></tr><tr><td>9</td></tr><tr><td>7</td></tr></table> | 2 | 11 | 9 | 7 | <table border="1"><tr><td>6</td></tr><tr><td>11</td></tr><tr><td>9</td></tr><tr><td>7</td></tr></table> | 6 | 11 | 9 | 7 | <table border="1"><tr><td>6</td></tr><tr><td>4</td></tr><tr><td>9</td></tr><tr><td>7</td></tr></table> | 6 | 4 | 9 | 7 | <table border="1"><tr><td>6</td></tr><tr><td>4</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>7</td></tr></table> | 6 | 4 | 3 | 7 |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 操作状态 | 调进 | 调进 | 命中 | 调进 | 调进 | 替换 | 替换 | 替换 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

替换策略及更新策略

近期最久未使用替换策略

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|---|----|----|----|----|--|----|----|---|---|--|---|-----|---|---|--|---|-----|---|---|--|---|-----|---|---|---|----|---|---|---|---|---|---|----|---|--|---|---|---|---|
| 访问顺序 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 地址块号 | 2 | 11 | 2 | 9 | 7 | 6 | 4 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 块分配情况 | <table border="1"><tr><td>2*</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 2* | - | - | - | <table border="1"><tr><td>2*</td></tr><tr><td>11</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 2* | 11 | - | - | <table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>11*</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 2 | 11* | - | - | <table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>11*</td></tr><tr><td>9</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 2 | 11* | 9 | - | <table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>11*</td></tr><tr><td>9</td></tr><tr><td>7</td></tr></table> | 2 | 11* | 9 | 7 | <table border="1"><tr><td>2*</td></tr><tr><td>6</td></tr><tr><td>9</td></tr><tr><td>7</td></tr></table> | 2* | 6 | 9 | 7 | <table border="1"><tr><td>4</td></tr><tr><td>6</td></tr><tr><td>9*</td></tr><tr><td>7</td></tr></table> | 4 | 6 | 9* | 7 | <table border="1"><tr><td>4</td></tr><tr><td>6</td></tr><tr><td>3</td></tr><tr><td>7</td></tr></table> | 4 | 6 | 3 | 7 |
| 2* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9* | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 操作状态 | 调进 | 调进 | 命中 | 调进 | 调进 | 替换 | 替换 | 替换 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

替换策略及更新策略

颠簸现象

Cache QoS

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------|--|----|----|----|----|---|----|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|----|---|---|---|---|----|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|---|---|----|---|
| 访问顺序 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 地址块号 | 2 | 11 | 9 | 7 | 6 | 2 | 11 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 块分配情况 | <table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 2 | - | - | - | <table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>11</td></tr><tr><td>-</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 2 | 11 | - | - | <table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>11</td></tr><tr><td>9</td></tr><tr><td>-</td></tr></table> | 2 | 11 | 9 | - | <table border="1"><tr><td>2</td></tr><tr><td>11</td></tr><tr><td>9</td></tr><tr><td>7</td></tr></table> | 2 | 11 | 9 | 7 | <table border="1"><tr><td>6</td></tr><tr><td>11</td></tr><tr><td>9</td></tr><tr><td>7</td></tr></table> | 6 | 11 | 9 | 7 | <table border="1"><tr><td>6</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>9</td></tr><tr><td>7</td></tr></table> | 6 | 2 | 9 | 7 | <table border="1"><tr><td>6</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>11</td></tr><tr><td>7</td></tr></table> | 6 | 2 | 11 | 7 | <table border="1"><tr><td>6</td></tr><tr><td>2</td></tr><tr><td>11</td></tr><tr><td>9</td></tr></table> | 6 | 2 | 11 | 9 |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 操作状态 | 调进 | 调进 | 调进 | 调进 | 替换 | 替换 | 替换 | 替换 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

替换策略及更新策略

3. 更新策略

- **cache命中时**
 - 写直达法
 - 写回法
- **cache失效时**
 - 按写分配法
 - 不按写分配法

3.4 虚拟存储器

- 虚拟存储器是存储器组织中的一个重要概念。
- 采用虚拟存储器后，实际上计算机在访问存储器时都不是直接根据程序员指定的地址进行的。
- 存储系统能够将程序员指定的地址转换成可在存储器中访问的地址。
 - 程序指令生成的地址是虚拟地址（逻辑地址）
 - 经过转换后的地址是实际地址（物理地址）
 - 这种虚拟地址与实际地址的映射关系可在运行过程中根据系统的要求动态改变。
- 虚拟地址不仅能映像到内存的存储空间（物理地址），也能映像到外存（磁盘）的存储空间。

虚拟存储器的作用

- 分隔地址空间
 - 通过将不同用户的程序的逻辑地址空间转换成不同的物理地址空间，系统可将用户程序的存储空间相互隔离，从而保护存储空间。
 - 使得每个用户进程之间可以实现存储空间的互相隔离和有限制的共享。
- 解决主存的容量问题
 - 要求在不明显降低平均访问速度的前提下增加程序的访存空间。
 - 使用磁盘（硬盘）等外存来构成运行中所需要的程序和数据存储空间，使得虚拟地址能够映像到磁盘的存储空间。
 - 在将磁盘的存储区域移到内存中后，就使得程序能像访问内存一样访问外存。
- 程序的重定位
 - 程序使用的虚拟地址可映射到不同的物理地址，使得程序能够装入到主存中的任意位置。

虚拟存储器

- 为了不明显降低访存速度
 - 将虚拟地址空间中访问最频繁的一小部分地址范围映射到主存储器。
 - 其余的地址空间映射到外存储器。
 - 这样，从程序员的角度看，存储空间扩大了。
- 虚拟存储器使存储系统具有外存的容量又接近于内存的访问速度。
 - 当程序要访问的存储单元映射到主存中的空间时，存储系统将虚拟地址转换成主存的实际地址。
 - 如果虚地址对应的存储单元不在主存中（在外存中），则不能直接形成物理地址。
 - 存储系统先将要访问的空间映射到主存，并将该存储单元从外存调入内存，然后改变虚拟地址与实际地址的映射关系，进行地址转换后对数据进行访问。

虚拟存储器与Cache的区别

- 虚拟存储器主要是由软件进行管理的，而**Cache**是由**硬件**管理的。
 - **Cache**的**替换策略**是由**硬件**实现的，而虚拟存储器的替换策略主要是由**操作系统**实现的。
 - 虚拟存储器中一般使用全相联地址映射方式以提高命中率。
 - **Cache**的存在及其所有的操作对程序员一般是**透明**的，虚拟存储器中数据在主存与外存之间的传输对系统程序员是**不透明**的，而对应用程序员和用户是透明的。
 - 虚拟存储器的存储空间大小受到计算机地址空间的**限制**；而**Cache**的容量以及主存的容量一般远小于**CPU**的地址空间，因而**不存在这种限制**。

3.4 虚拟存储器

- 分类
 - 页式
 - 段式
 - 段页式