

计算机组成原理

第六讲

张展

哈尔滨工业大学计算学部
容错与移动计算研究中心

第4章 存储器

4.1 概述

4.2 主存储器

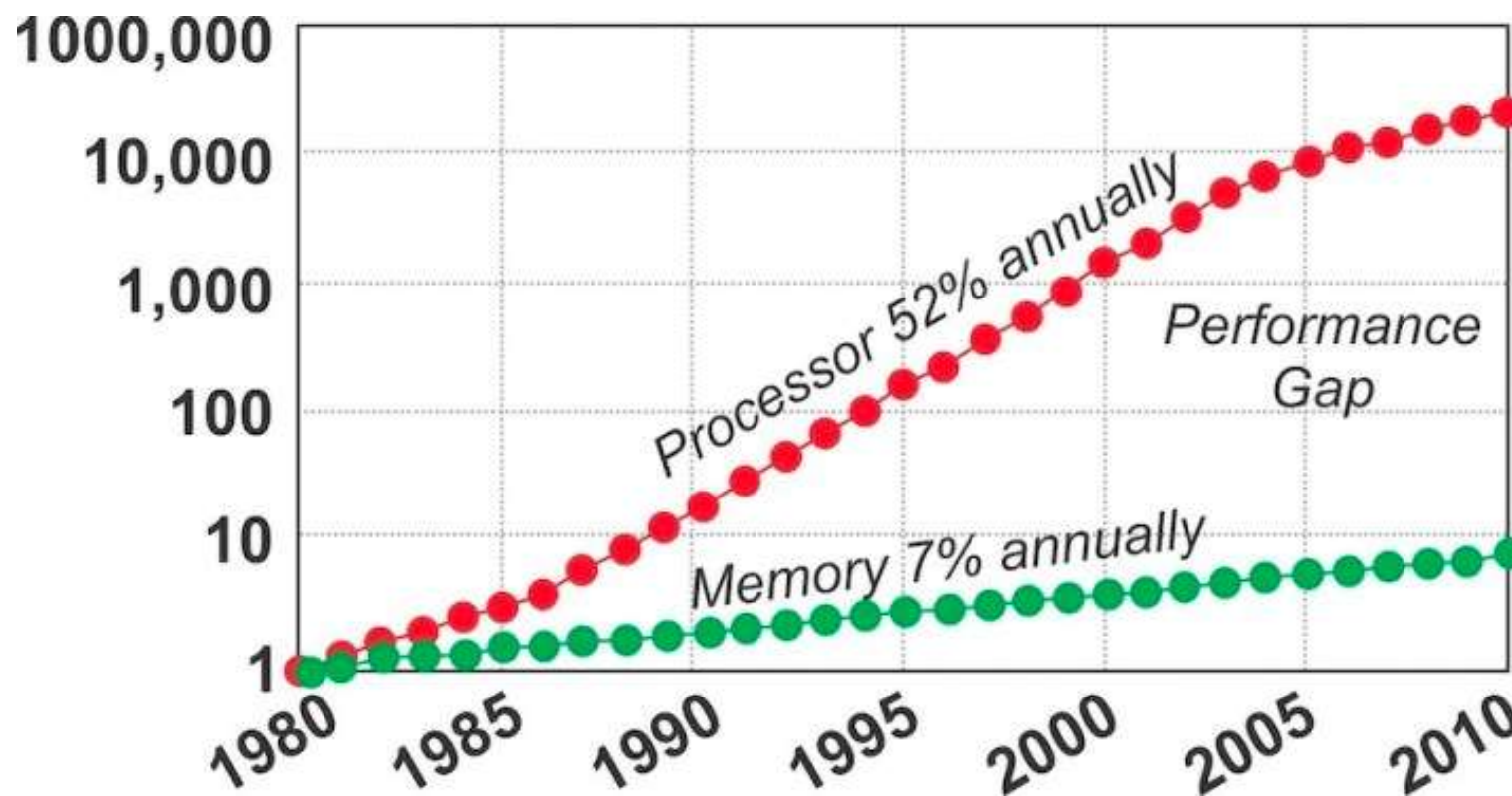
4.3 高速缓冲存储器

4.4 辅助存储器

存储墙

- 从1980-2010，处理器性能增长速率远超主存储器
- 主存储器的性能已经成为计算机系统的性能瓶颈了

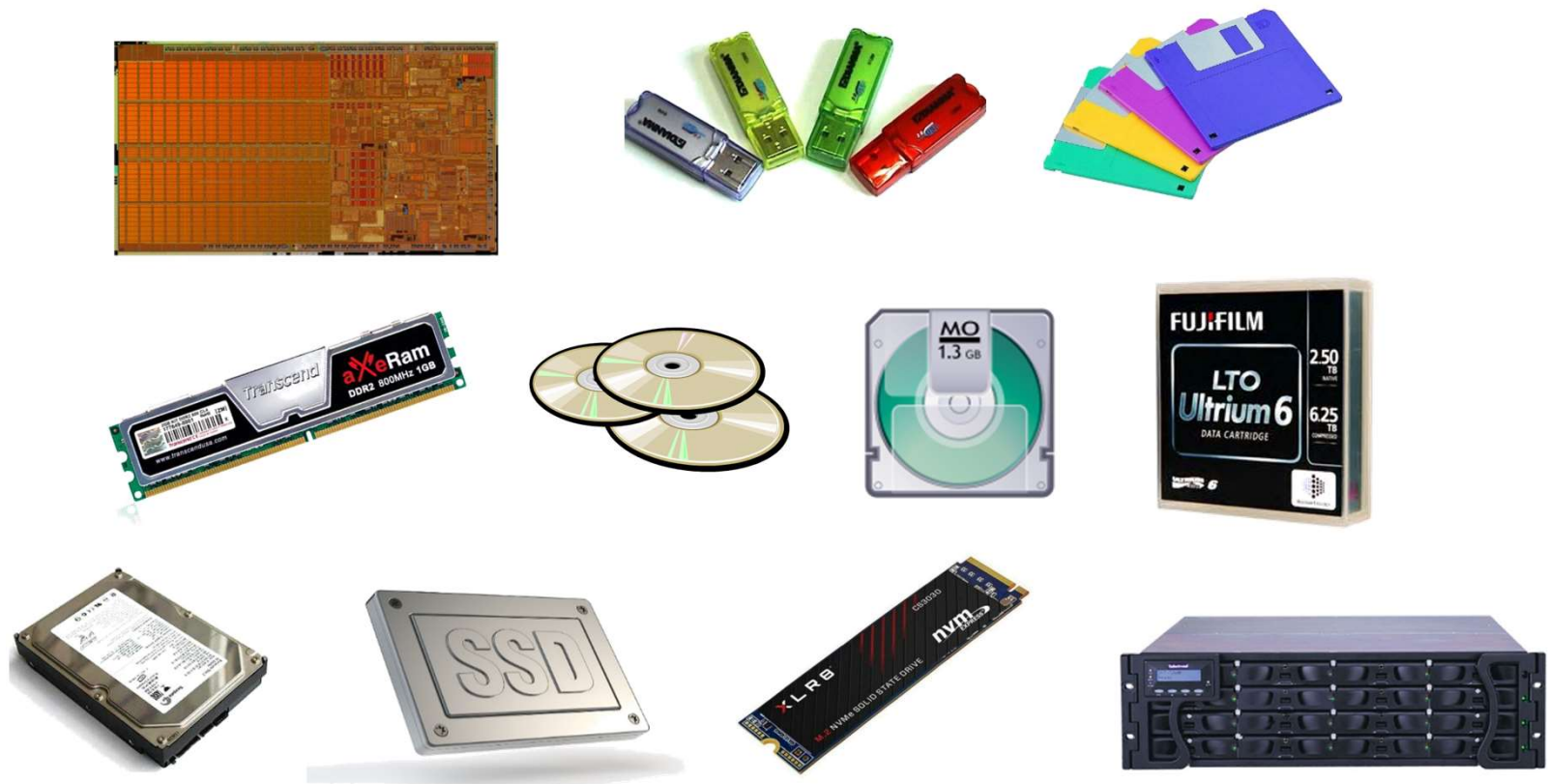
※存储墙 (Memory Wall)：意指处理器与主存储墙之间的巨大性能差距



图片资料来源: <https://www.rankred.com/worlds-fastest-optical-ram/>

4.1 概 述

花样繁多的存储器



4.1 概 述

一、存储器分类

1. 按存储介质分类

(1) 半导体存储器

- 双极型存储器、MOS存储器、FLASH闪存
- 速度快、功耗低

(2) 磁存储器

- 磁芯、磁带、磁盘
- 容量大，速度慢、体积大

(3) 激光存储器

- CD-ROM CD-RW CD-R
- DVD-ROM DVD-RW DVD-R
- 便于携带，廉价，易于保存

2. 按存取方式分类

(1) 随机存储器

- 存取时间与物理位置无关
- 磁芯、半导体存储器

(2) 顺序存储器

- 存取时间与物理位置有关
- 磁带

(3) 直接存储器

- 磁盘、激光存储器

3. 按读/写功能分类

(1) 只读存储器 (ROM)

- 存储器内容是预置的，固定的，无法改写

(2) 读/写存储器

- 既能读出也能写入的存储器
- 随机存储器RAM

4. 按信息的可保存性分类

(1) 易失性存储器 *Volatile Memories*

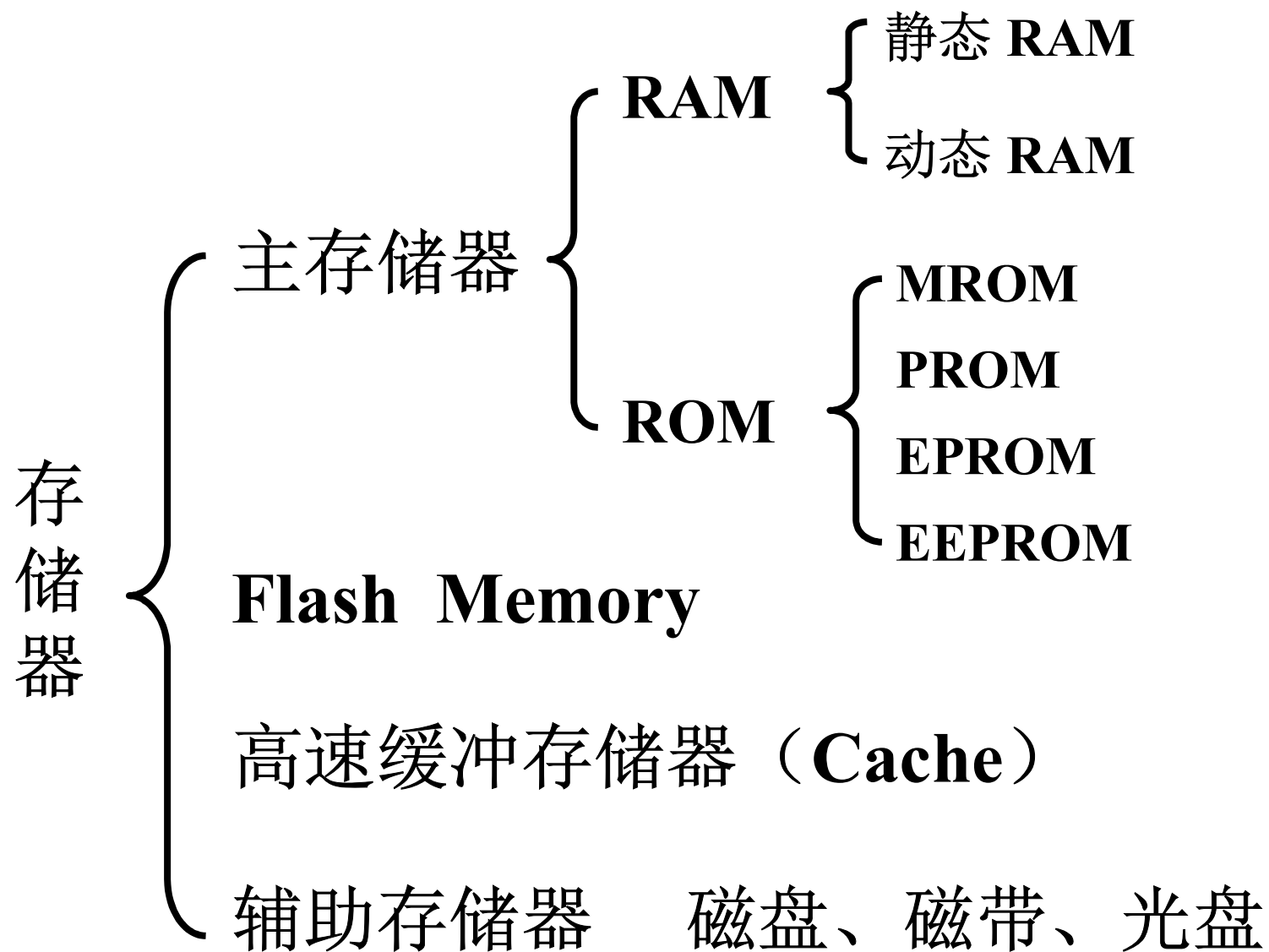
- 断电后信息消失
- SRAM
- DRAM

(2) 非易失性存储器 *Non-Volatile Memories*

- 断电后仍能保存信息
- 磁存储器、激光存储器、FLASH闪存、NVRAM

5. 按在计算机中的作用分类

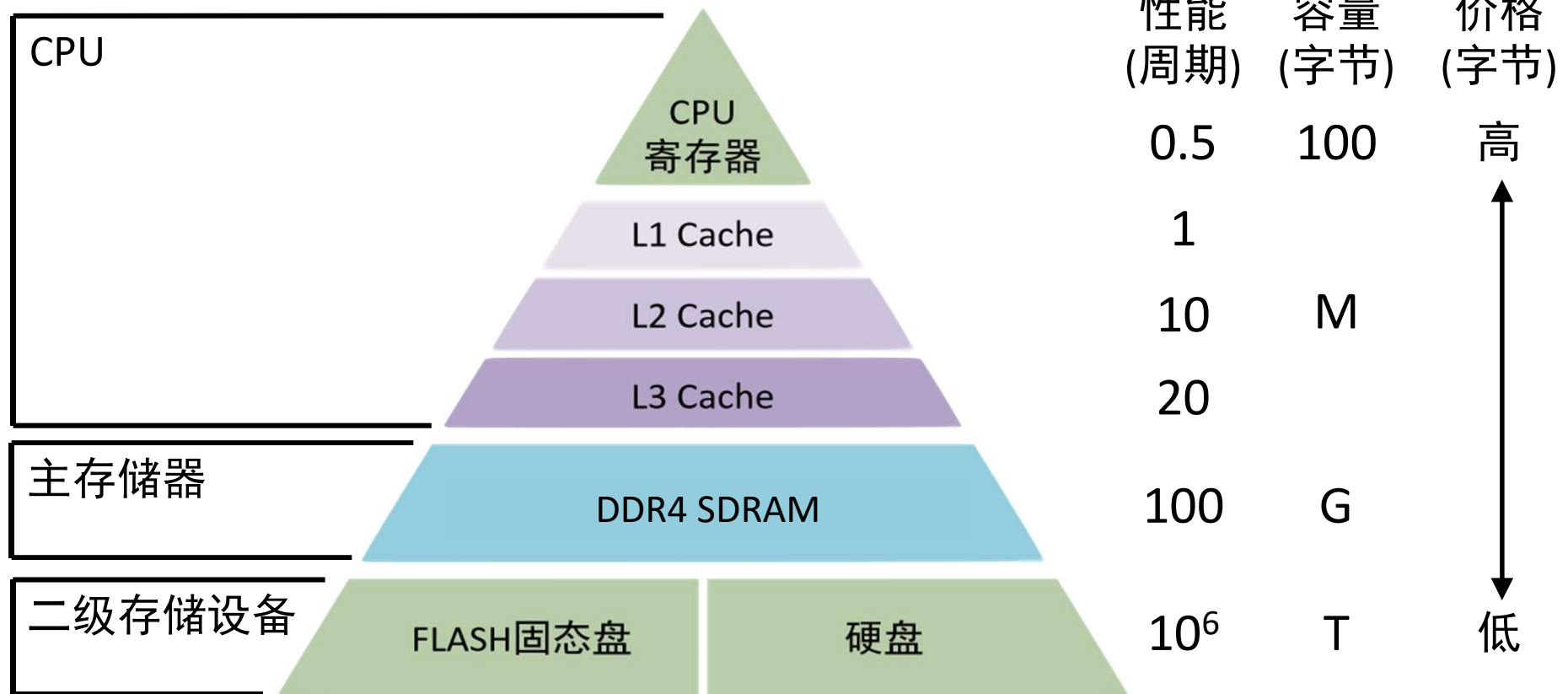
4.1



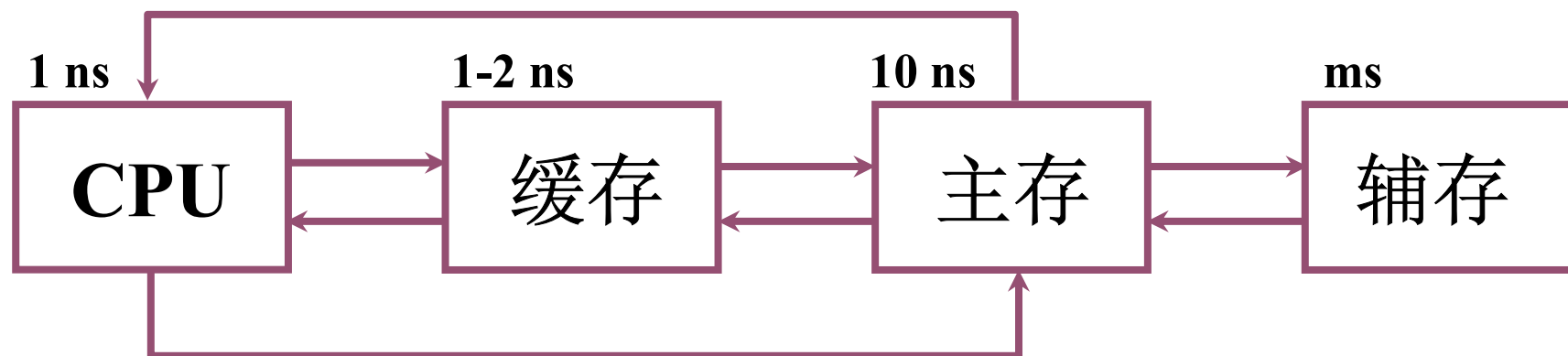
4.1

二、存储器的层次结构

目标：整体性能接近寄存器，成本接近硬盘
特点：性能、容量、成本具有数量级差距



2. 缓存—主存层次和主存—辅存层次



(速度)

(容量)

缓存—主存

主存—辅存

主存储器

虚拟存储器

实地址

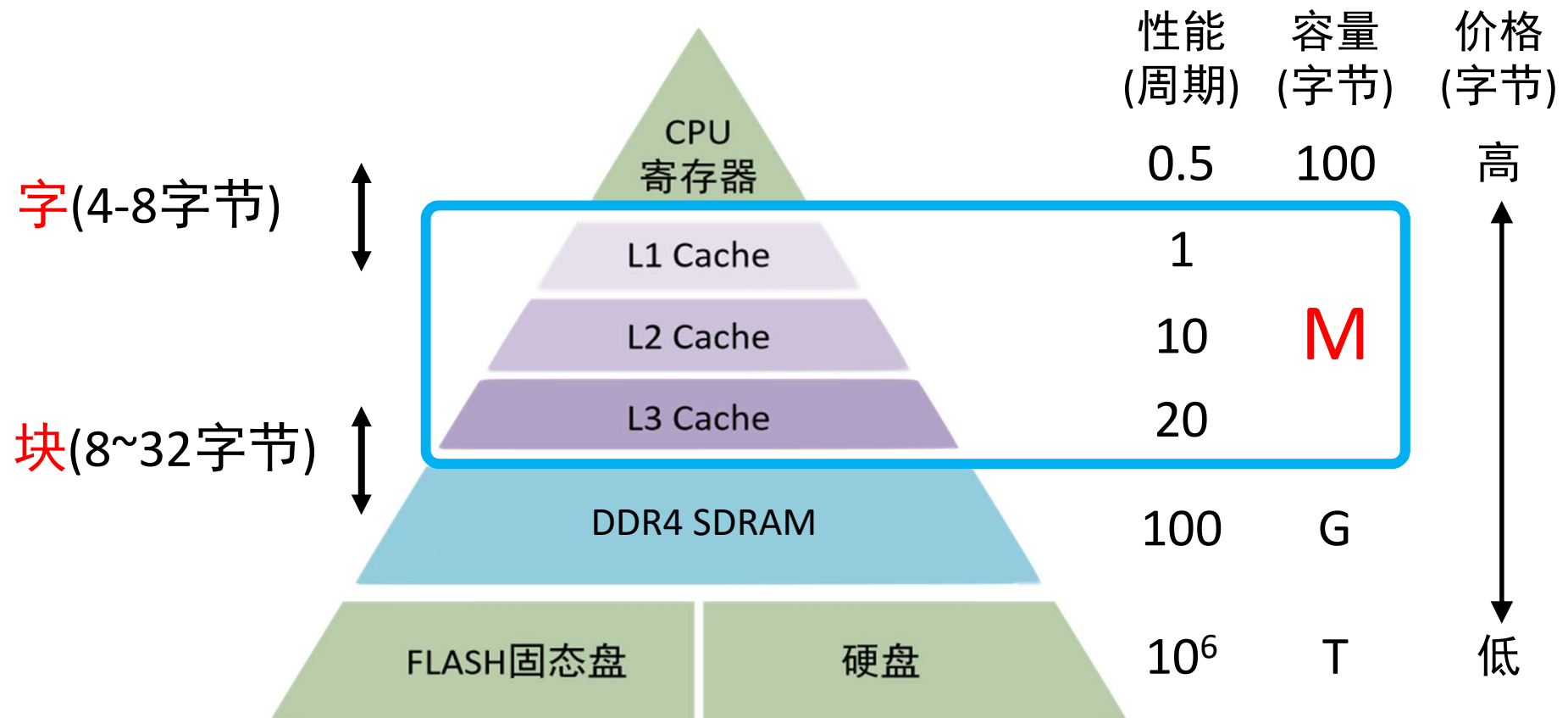
虚地址

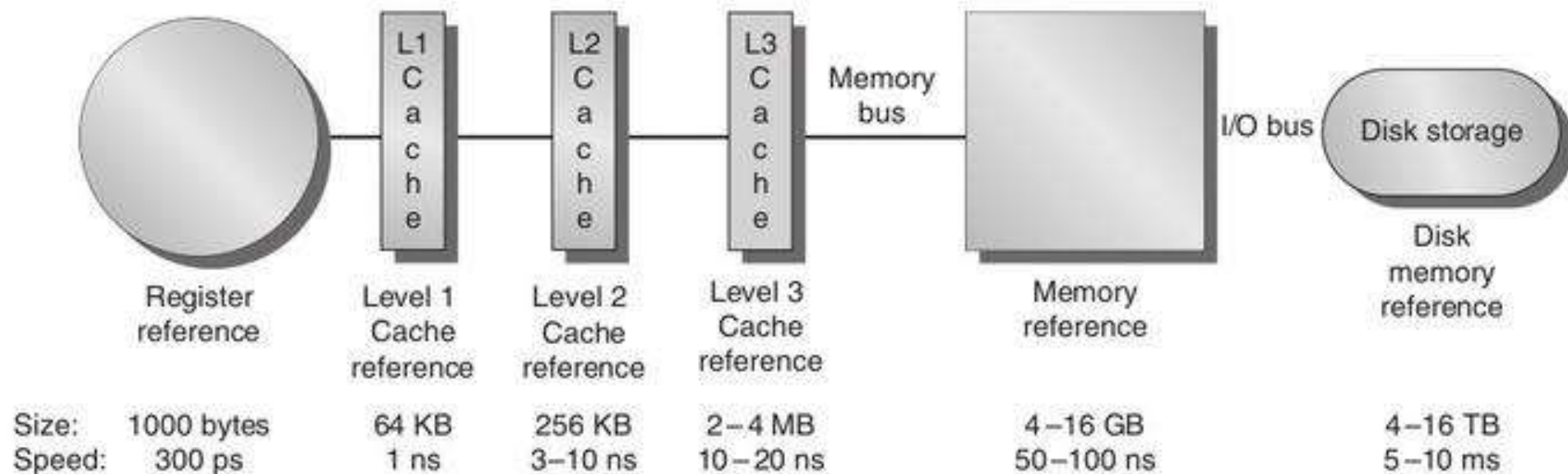
物理地址

逻辑地址

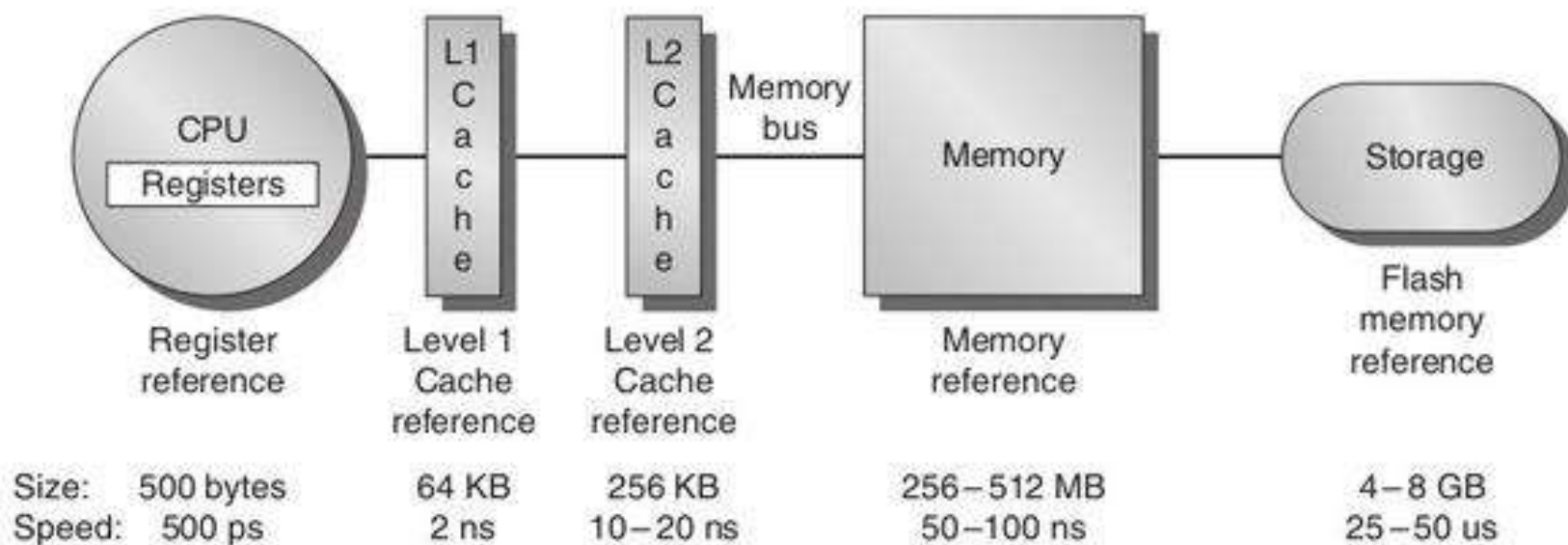
二、存储器的层次结构

Cache是解决CPU-主存性能匹配的关键
小容量、高性能
充分利用了局部性原理



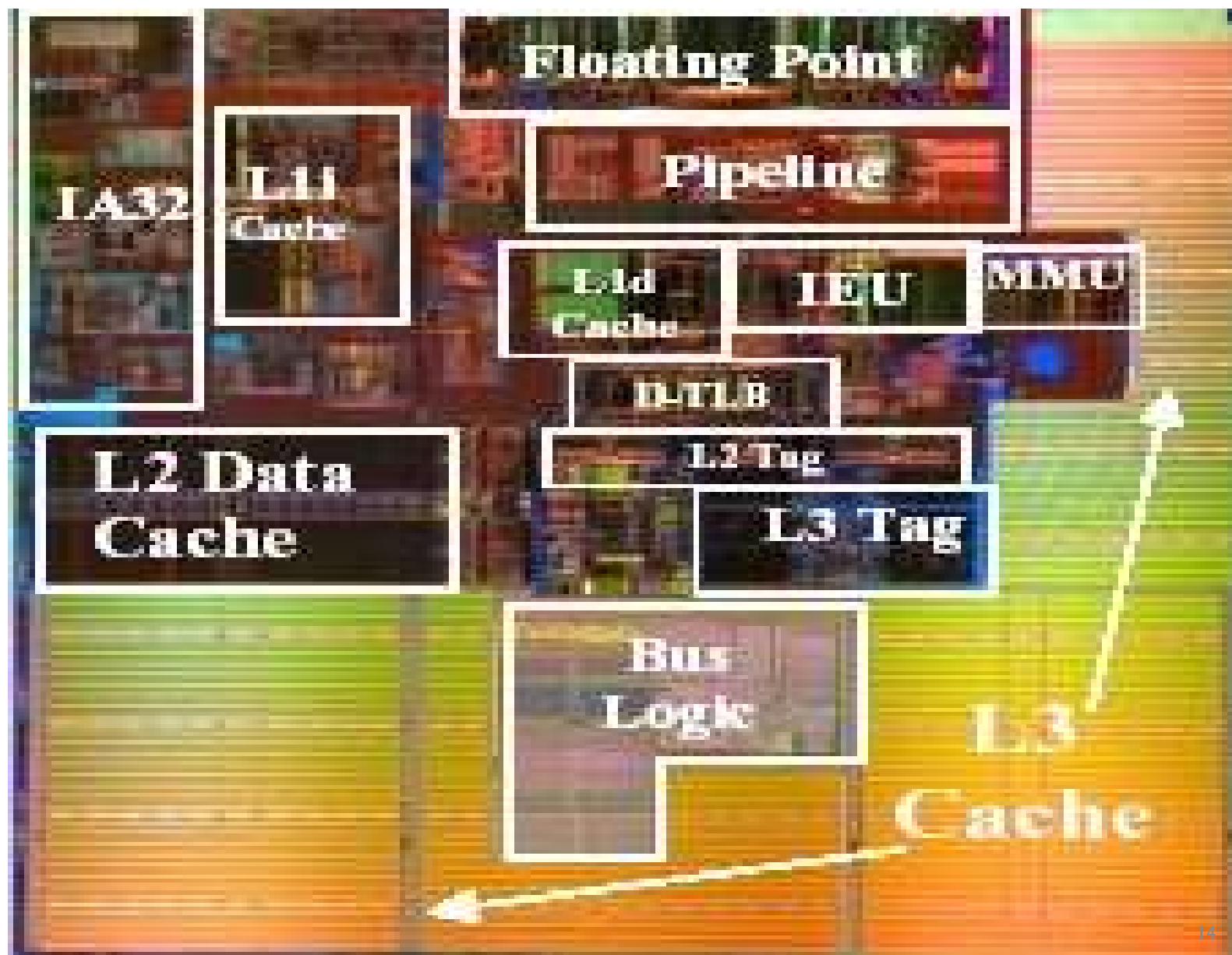


(a) Memory hierarchy for server



(b) Memory hierarchy for a personal mobile device

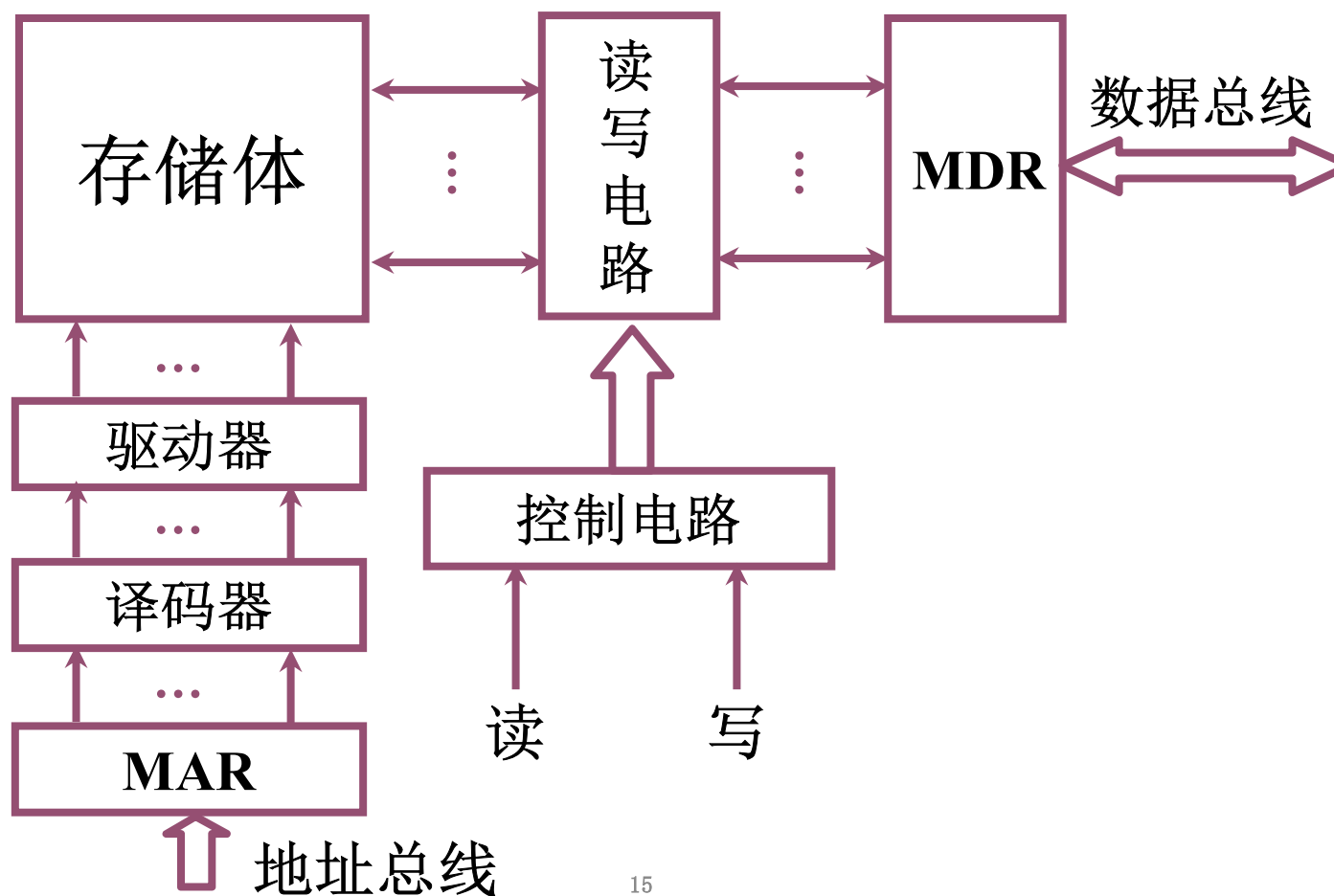
Intel Itanium2 (版图布局)



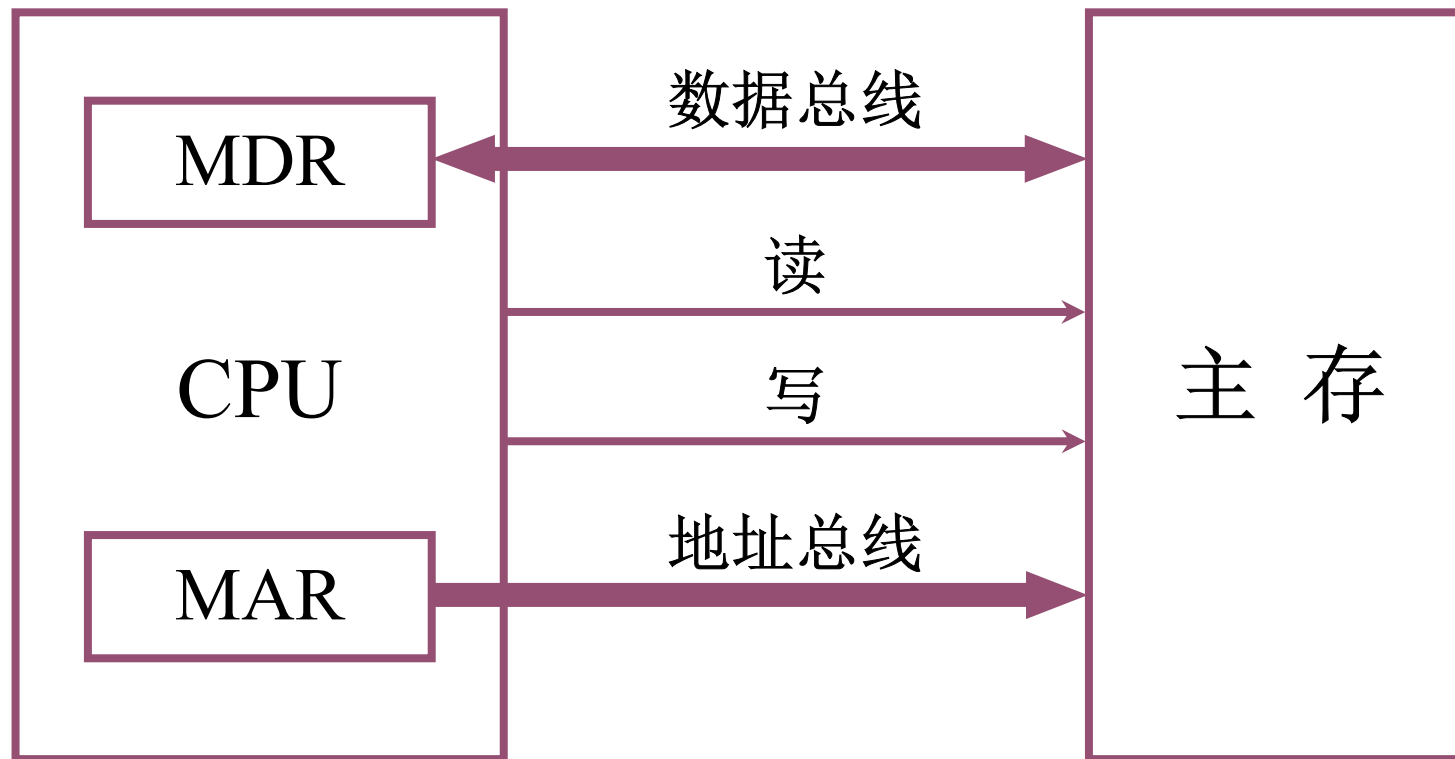
4.2 主存储器

一、概述

1. 主存的基本组成



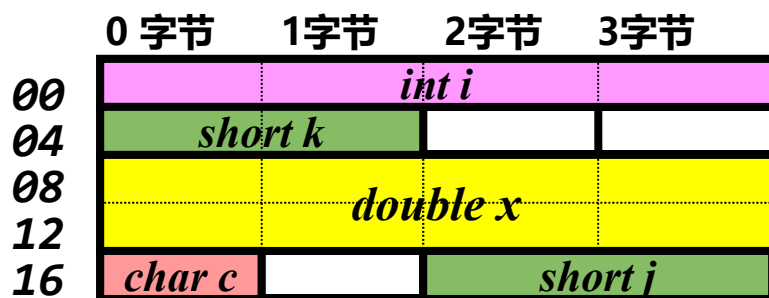
2. 主存和 CPU 的联系



3. 主存中的数据组织

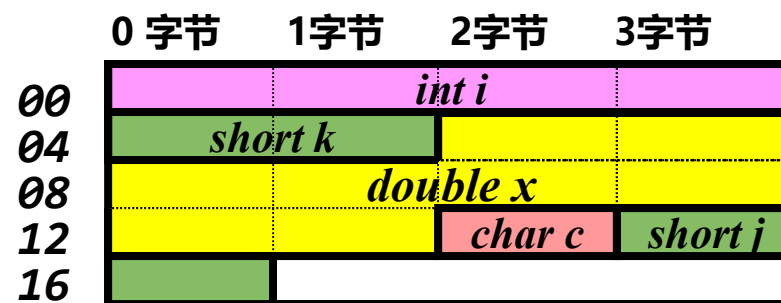
- 按**边界对齐**方式**存储数据**
- *int i, short k, double x, char c, short j*
 - int (4字节) short (2字节) double (8字节) char (1字节)
 - short按16位对齐, int按32位对齐, double按32位对齐, 64位机按64位对齐

对齐：访问速度快



对齐存放

不对齐：节约存储空间



未对齐存放

4.2

4. 主存中存储单元地址的分配

设地址线 **24** 根 按 **字节** 寻址 **$2^{24} = 16 \text{ MB}$**

若字长为 **16** 位 按 **字** 寻址 **8 MW**

若字长为 **32** 位 按 **字** 寻址 **4 MW**

short/long/quad words 在内存中用连续的2/4/8 字节存储
哪个字节是最高/低位?

在不同机器之间交换顺序，会有问题。

大端序 (Big Endian)

最高有效位在低地址，如Sun工作站所使用的SPARC

小端序 (Little Endian)

最低有效位在低地址，如PC机所使用的x86、amd64

双端序 (Bi Endian)

可配置成大/小端序，如ARM、MIPS

4.2

例：假设从内存地址**0x00000001**处开始存储十六进制数**0x12345678**，那么

- **大端顺序** 存放(按原顺序存储)

| | | | | |
|------------|-------|----|----|--------|
| 0x00000001 | (低地址) | -- | 12 | (高位字节) |
| 0x00000002 | | -- | 34 | |
| 0x00000003 | | -- | 56 | |
| 0x00000004 | | -- | 78 | |

- **小端顺序** 存放(颠倒顺序储存)

| | | | | |
|------------|-------|----|----|--------|
| 0x00000001 | (低地址) | -- | 78 | (低位字节) |
| 0x00000002 | | -- | 56 | |
| 0x00000003 | | -- | 34 | |
| 0x00000004 | | -- | 12 | |

5. 主存的技术指标

(1) 存储容量 主存 存放二进制代码的总位数

(2) 存储速度

- 存取时间 存储器的 访问时间

读出时间 写入时间

- 存取周期 连续两次独立的存储器操作

(读或写) 所需的 最小间隔时间

读周期 写周期

(3) 存储器的带宽 单位时间内存储器存取的信息量
位/秒

主板和总线

4.2



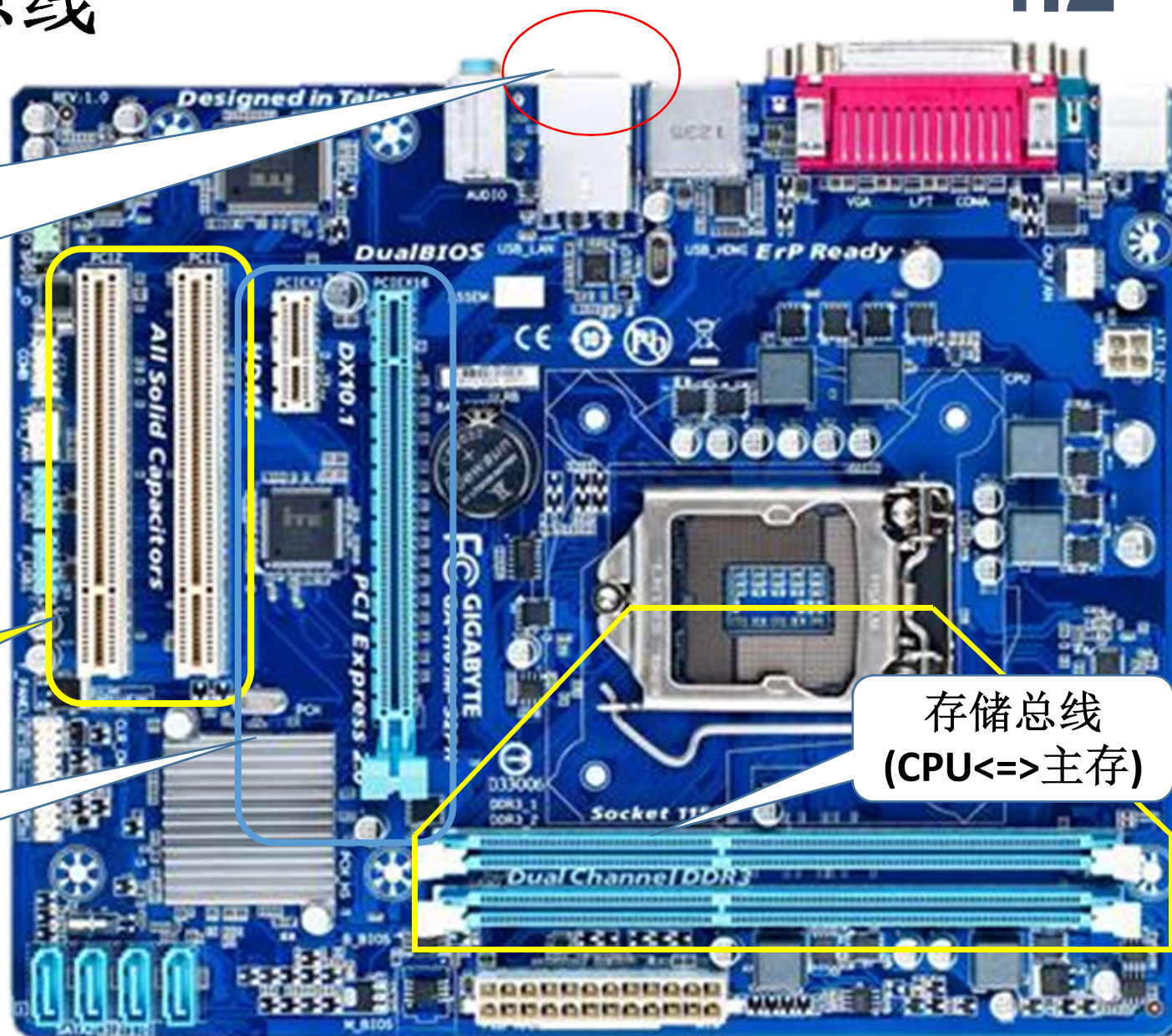
USB*

* USB应归为
通信总线

PCI

系统总线

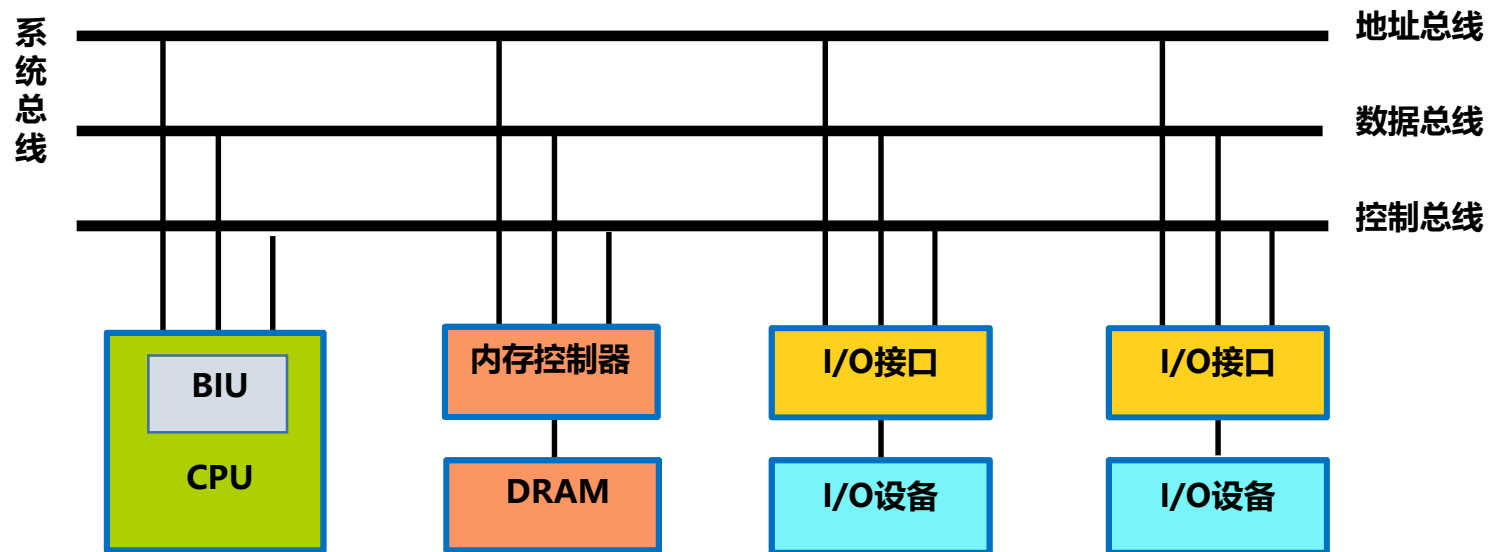
PCI-Express
(PCI-E)



存储总线
(CPU \rightleftharpoons 主存)

总线组成（示例）

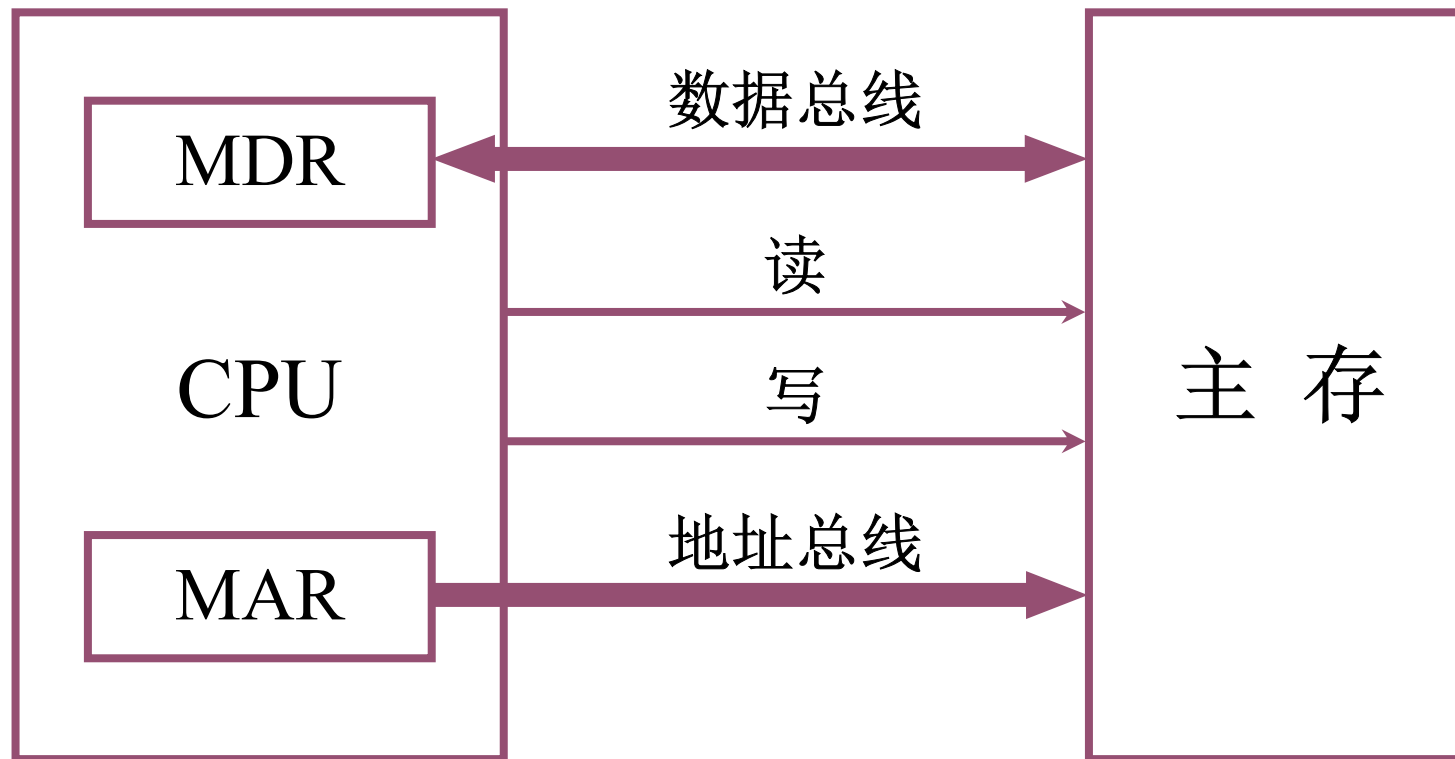
4.2



- 数据总线
 - 传送数据信息，双向传输
- 地址总线
 - 传送地址，单向传输
- 控制总线
 - 传送控制信号和时序信号
- 电源、地线

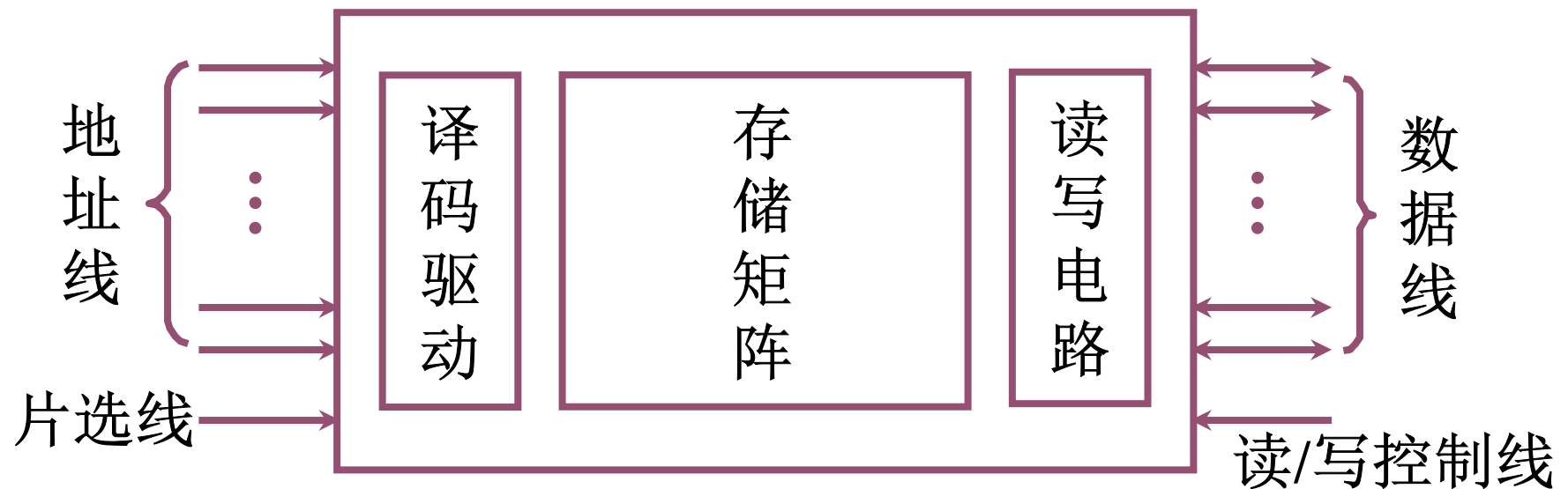
4.2

主存和 CPU 的联系



二、半导体存储芯片简介

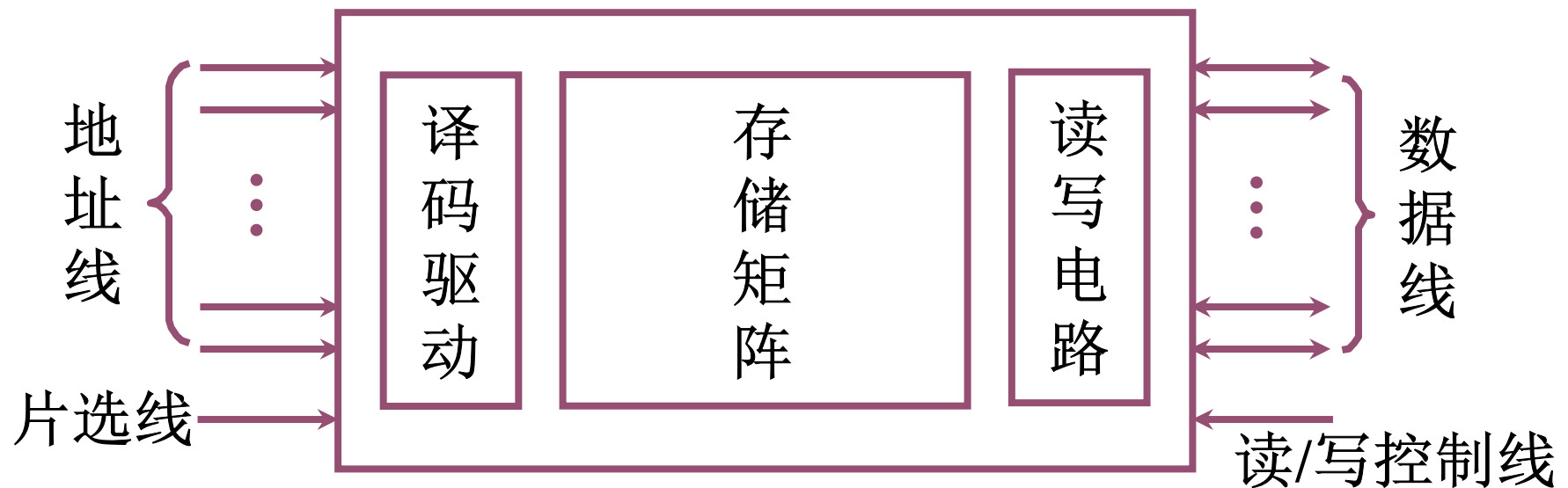
1. 半导体存储芯片的基本结构



| 地址线（单向） | 数据线（双向） | 芯片容量 |
|---------|---------|--------|
| 10 | 4 | 1K×4位 |
| 14 | 1 | 16K×1位 |
| 13 | 8 | 8K×8位 |

二、半导体存储芯片简介

1. 半导体存储芯片的基本结构



片选线 $\overline{\text{CS}}$ $\overline{\text{CE}}$

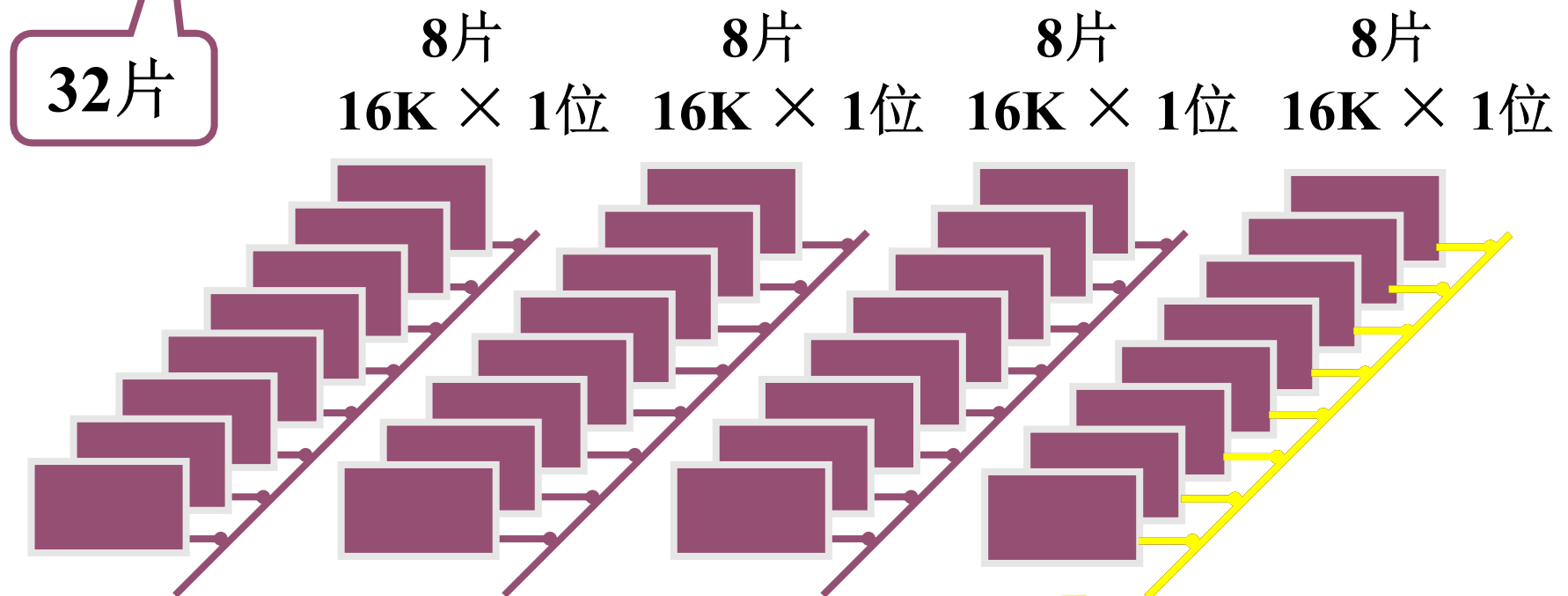
读/写控制线 $\overline{\text{WE}}$ (低电平写 高电平读)

$\overline{\text{OE}}$ (允许读) $\overline{\text{WE}}$ (允许写)

4.2

存储芯片片选线的作用

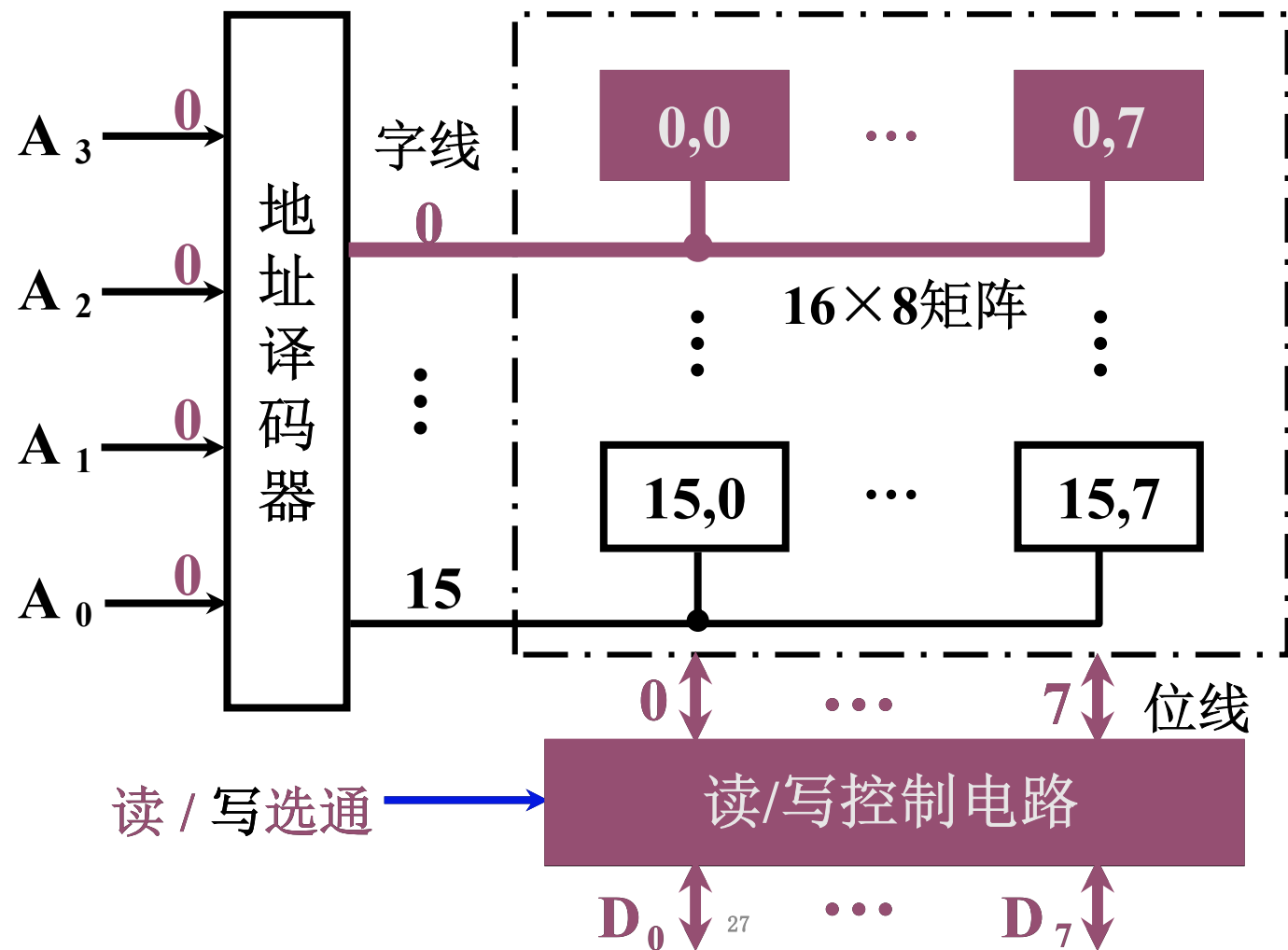
用 $16\text{K} \times 1$ 位的存储芯片组成 $64\text{K} \times 8$ 位的存储器



当地址为 65 535 时，此 8 片的片选有效

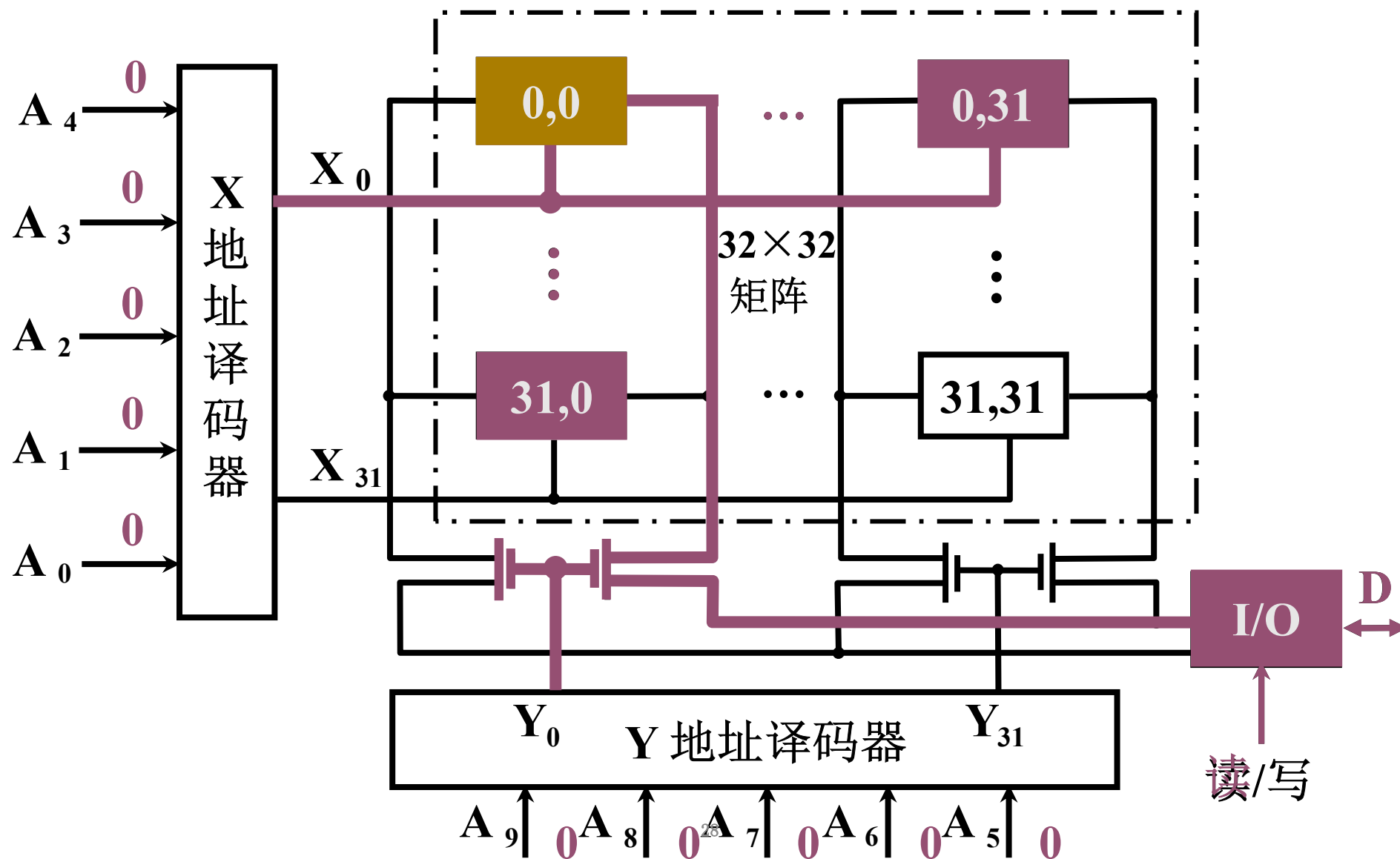
2. 半导体存储芯片的译码驱动方式 4.2

(1) 线选法



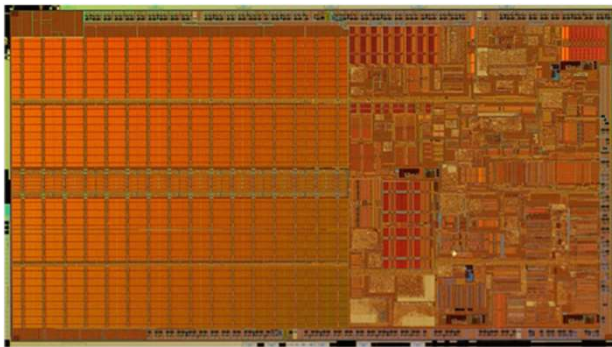
(2) 重合法

4.2



4.2

半导体存储器如何存储数据？



SRAM (CPU缓存)



DRAM 内存条

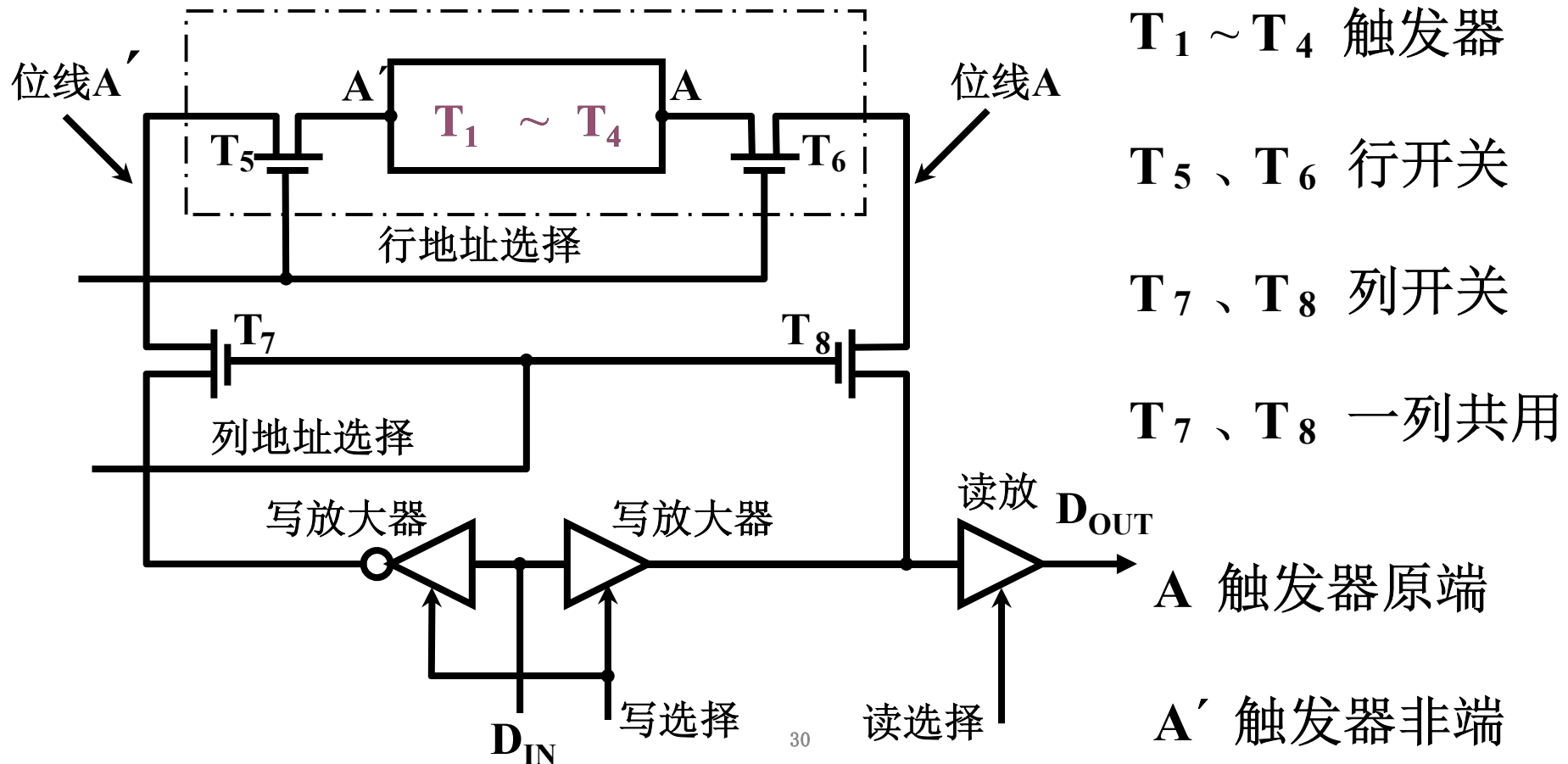
二者为什么存在性能、容量、价格差异？

三、随机存取存储器 (RAM)

4.2

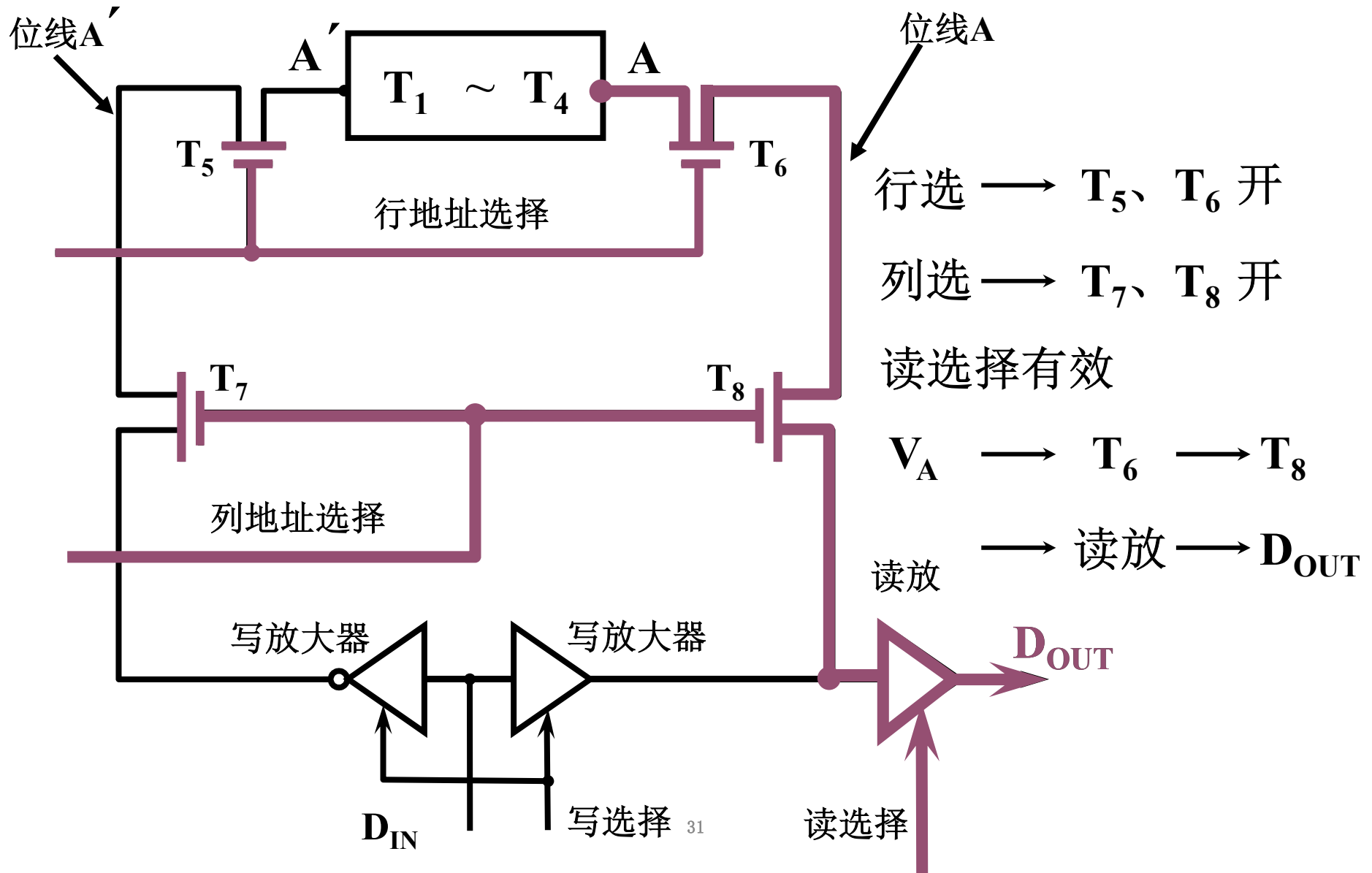
1. 静态 RAM (SRAM)

(1) 静态 RAM 基本电路



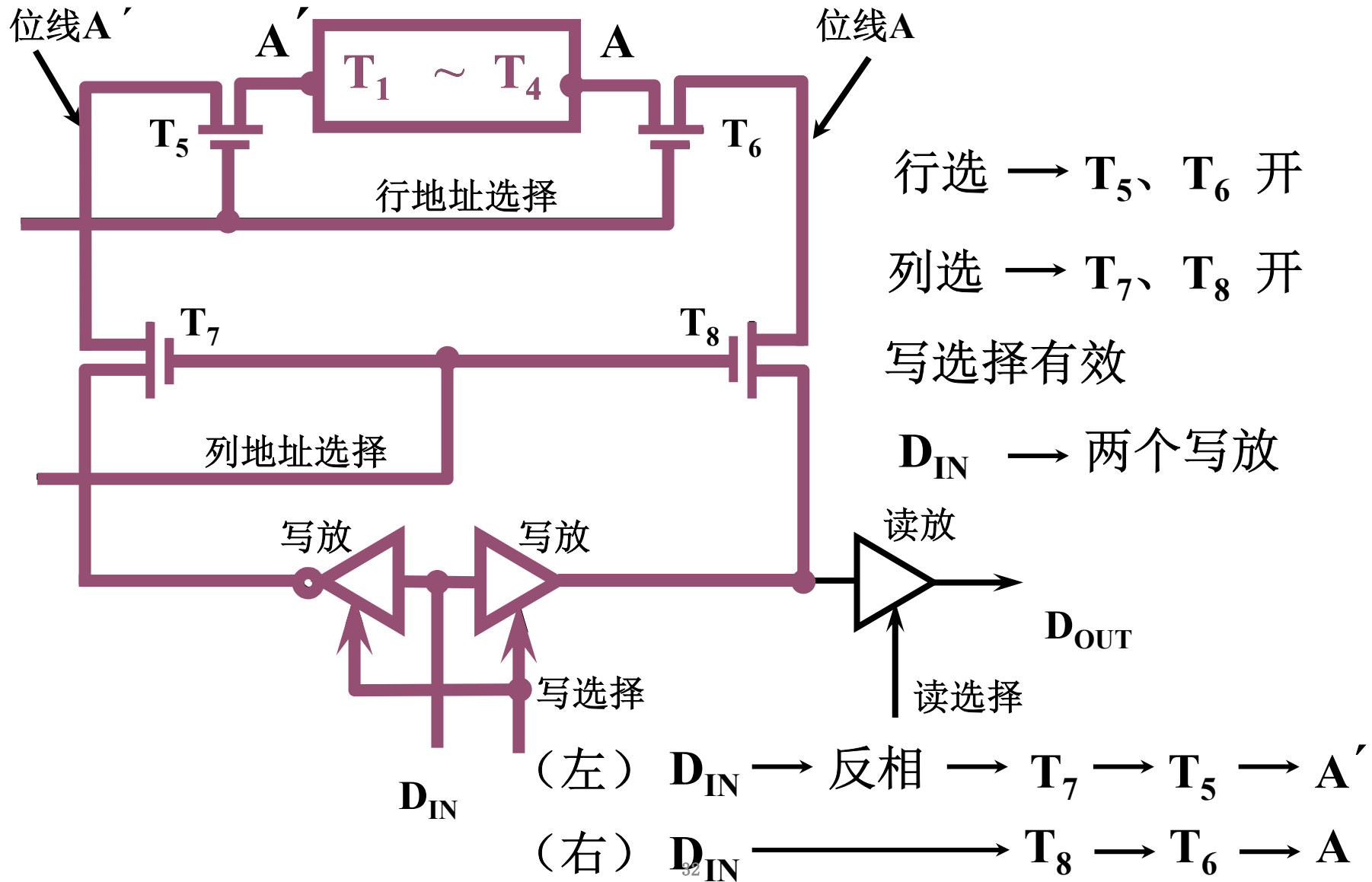
4.2

① 静态 RAM 基本电路的 读 操作



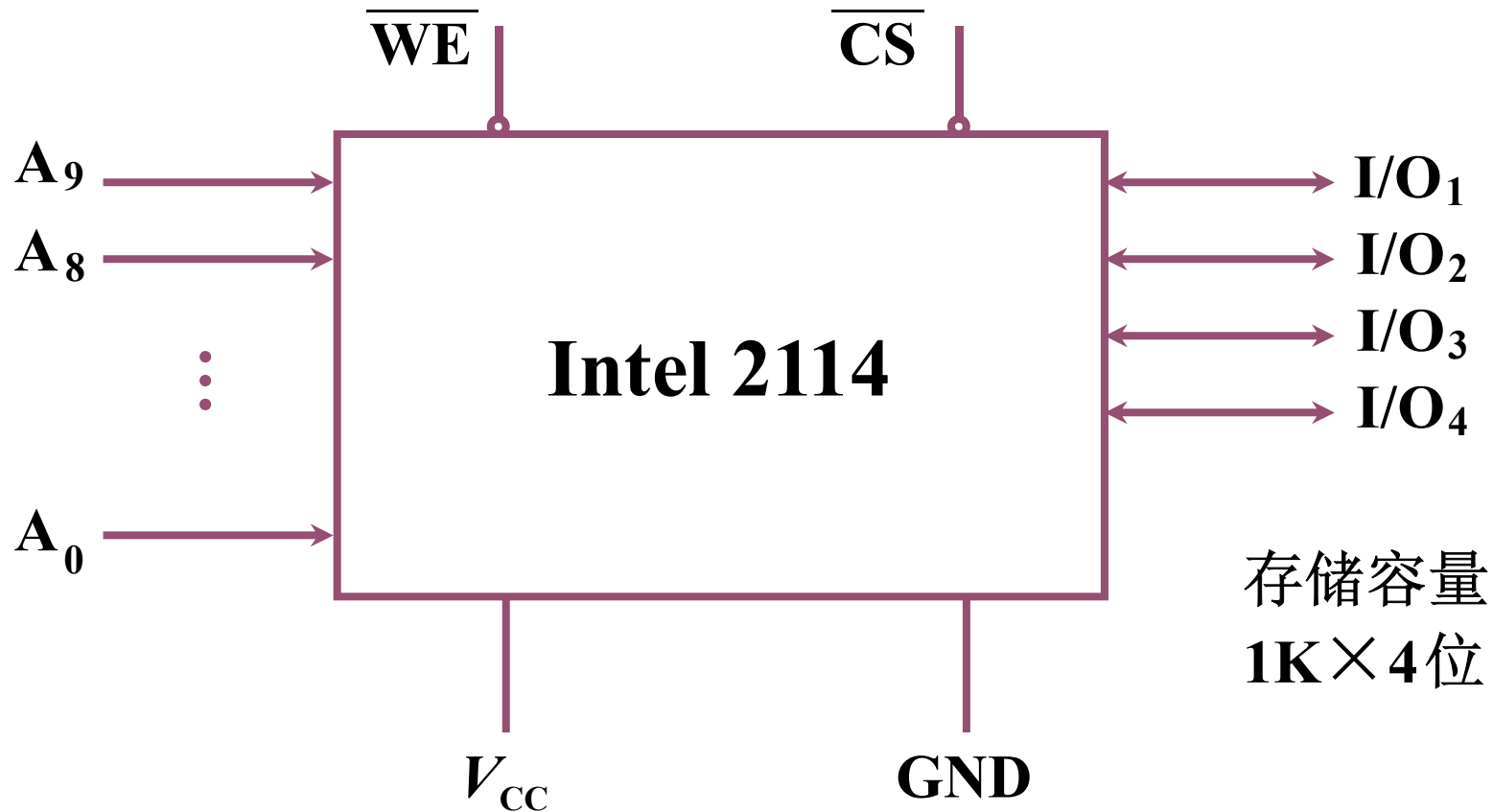
4.2

② 静态 RAM 基本电路的 写 操作

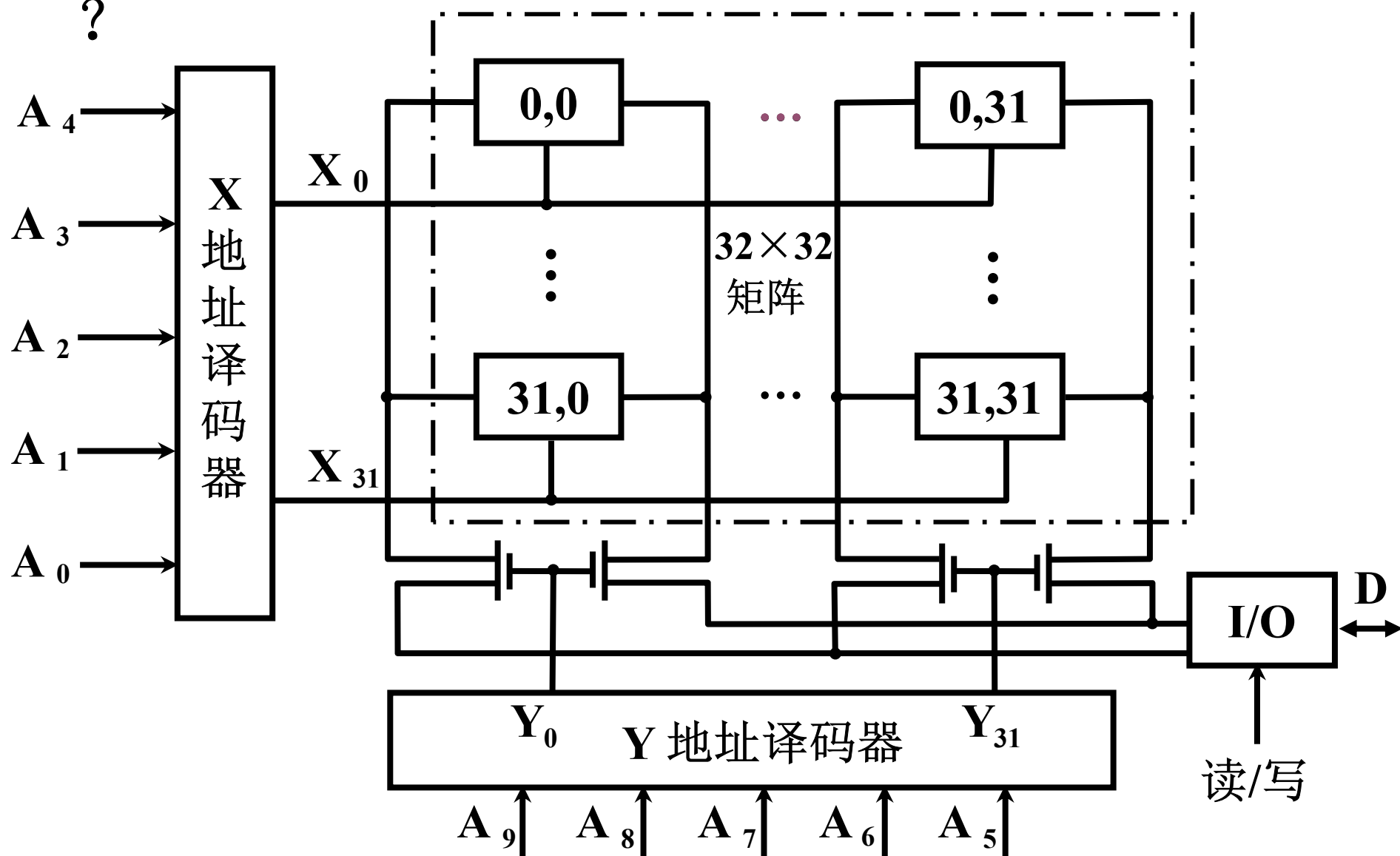


(2) 静态 RAM 芯片举例

① Intel 2114 外特性



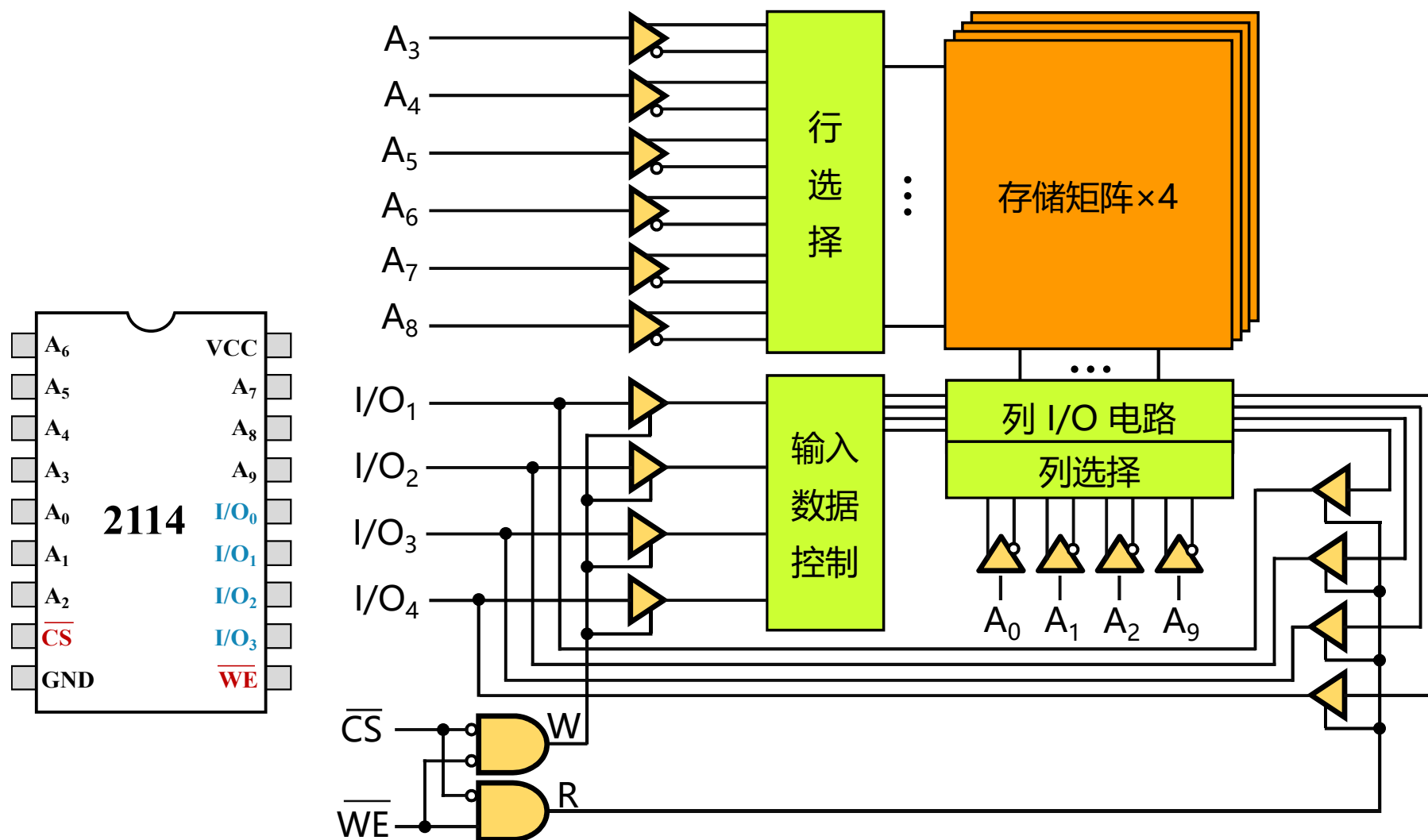
曾经讲到过的重合法，怎么实现选一次四列？



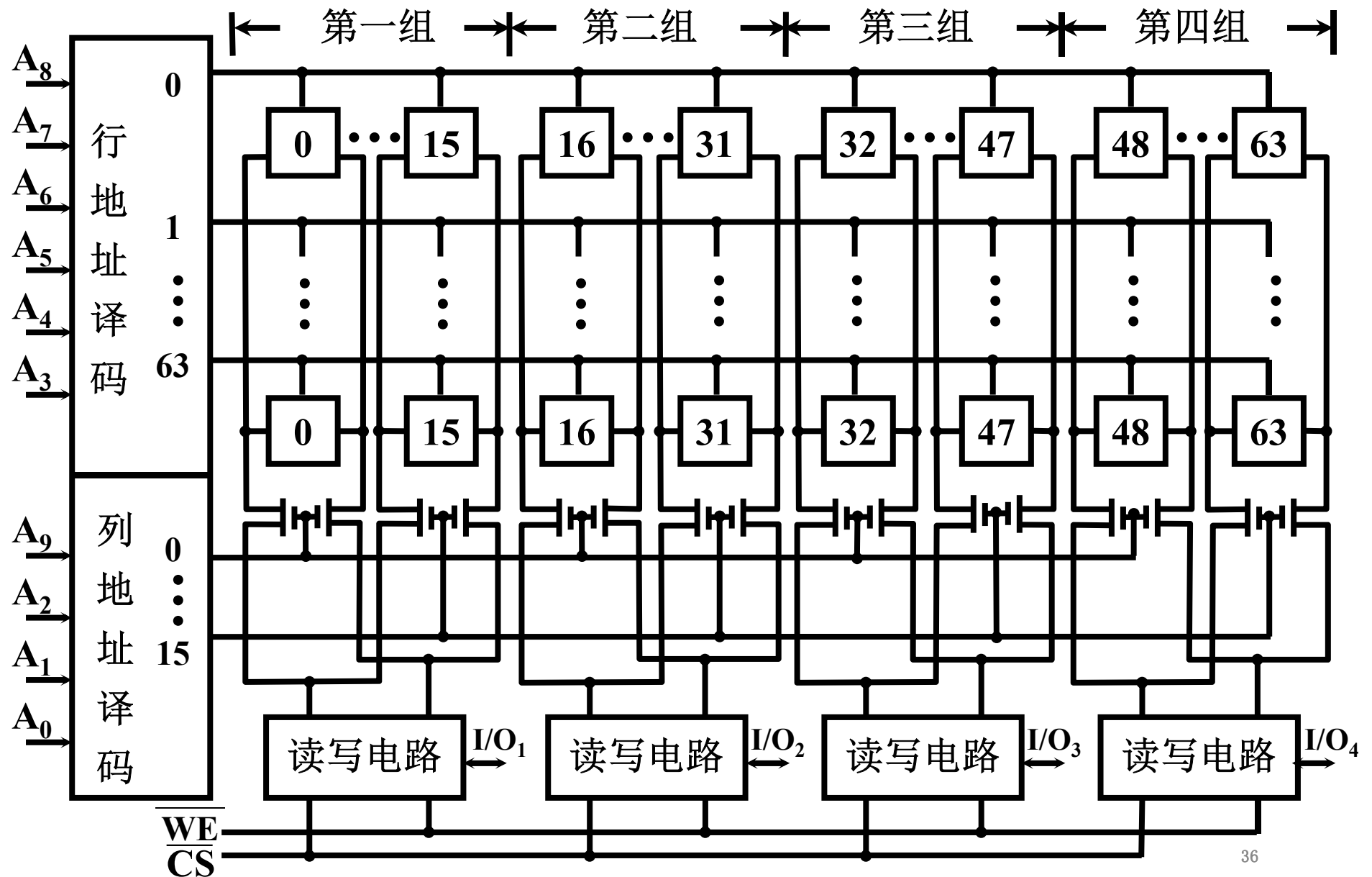
(2) 静态 RAM 芯片举例

4.2

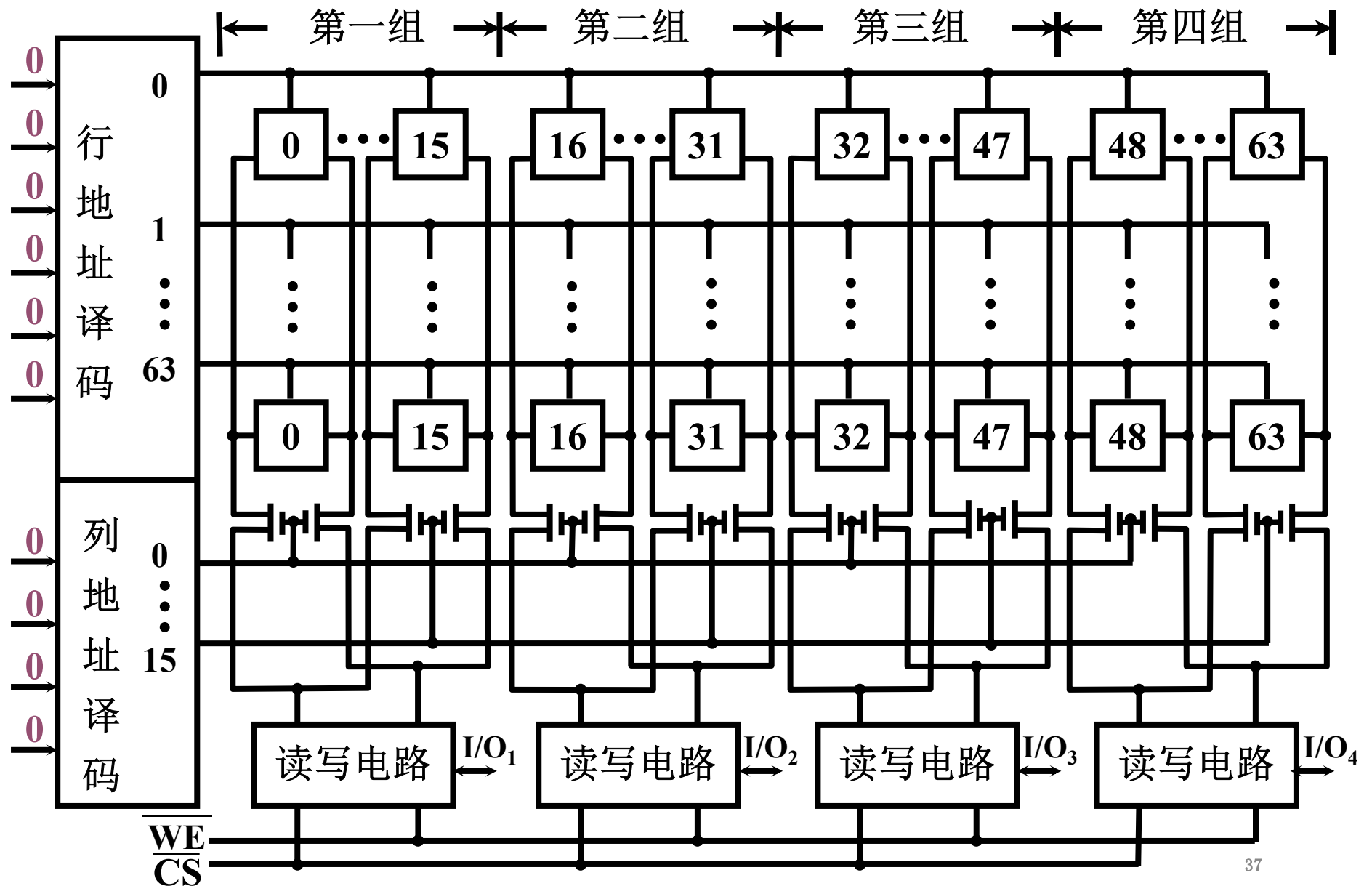
① Intel 2114



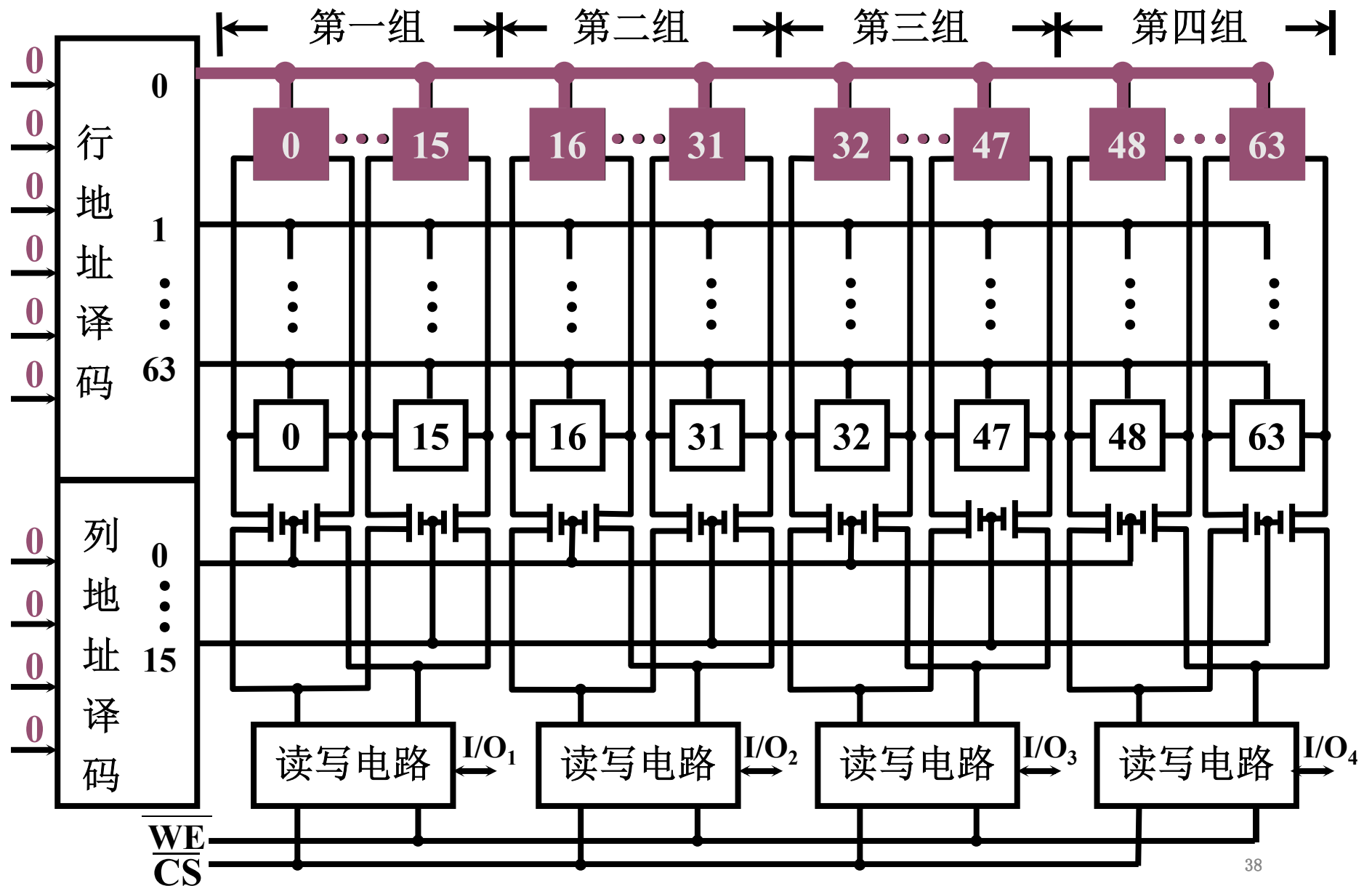
② Intel 2114 RAM 矩阵 (64 × 64) 读 4.2



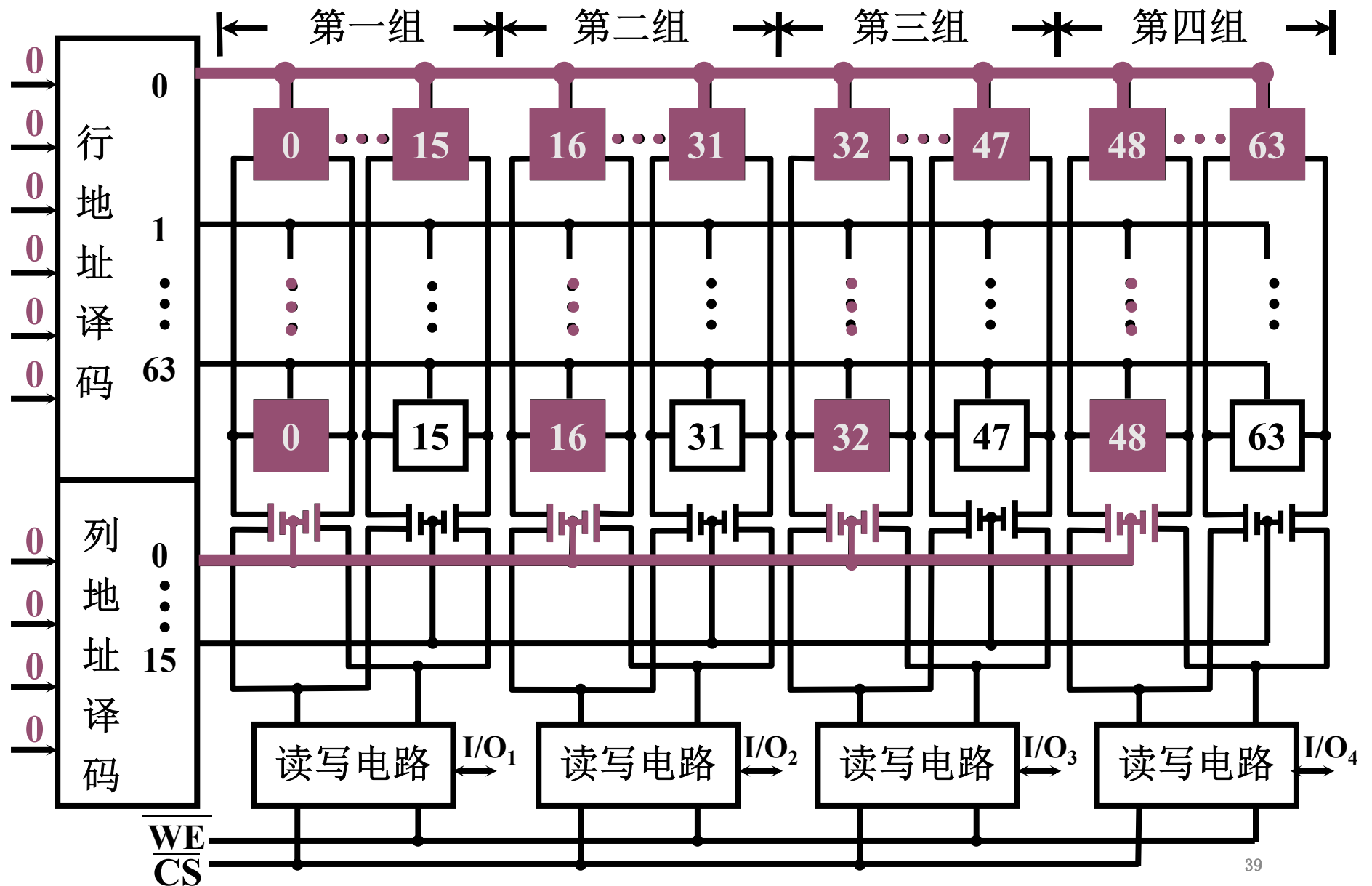
② Intel 2114 RAM 矩阵 (64×64) 读 4.2



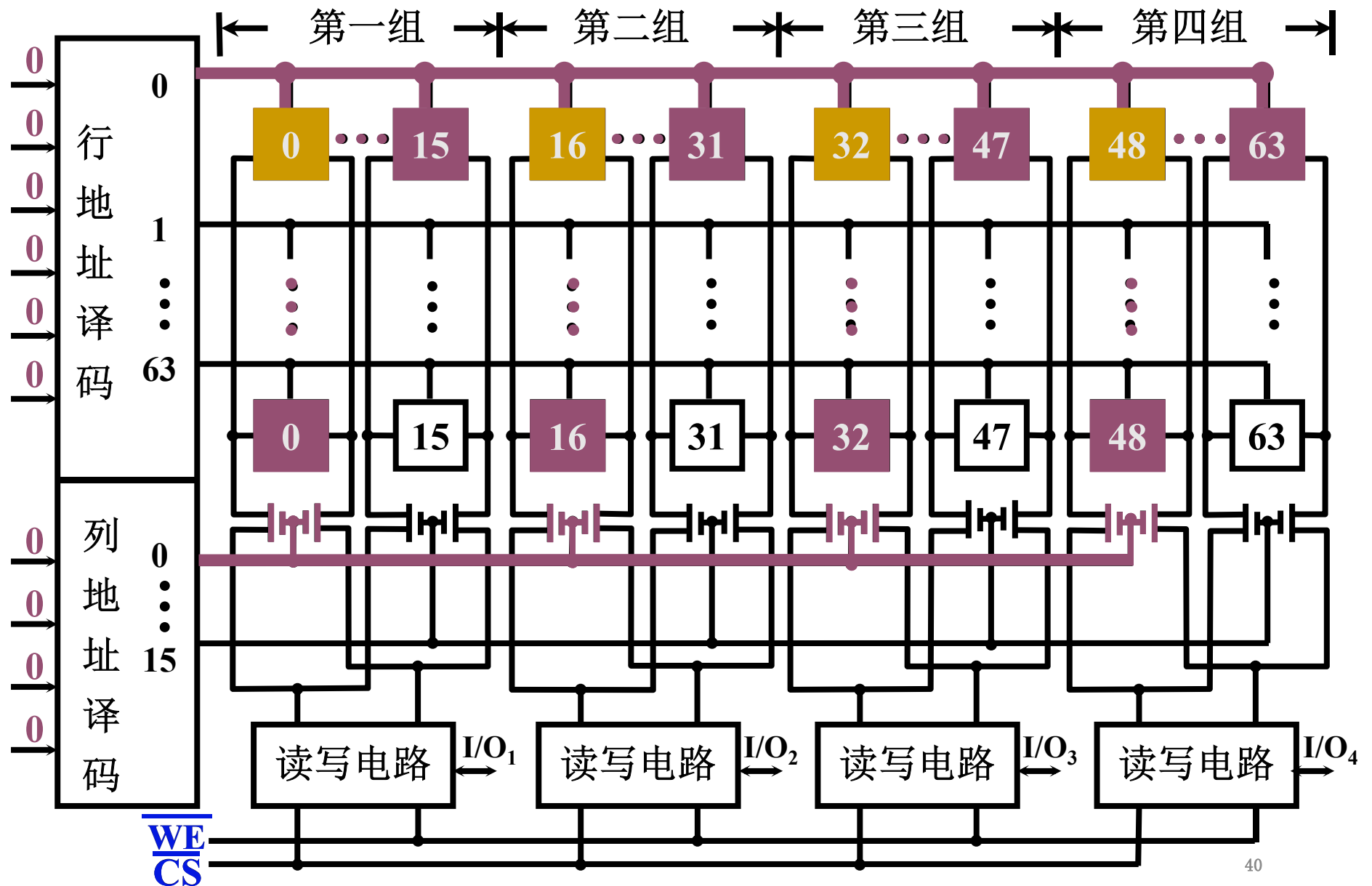
② Intel 2114 RAM 矩阵 (64 × 64) 读 4.2



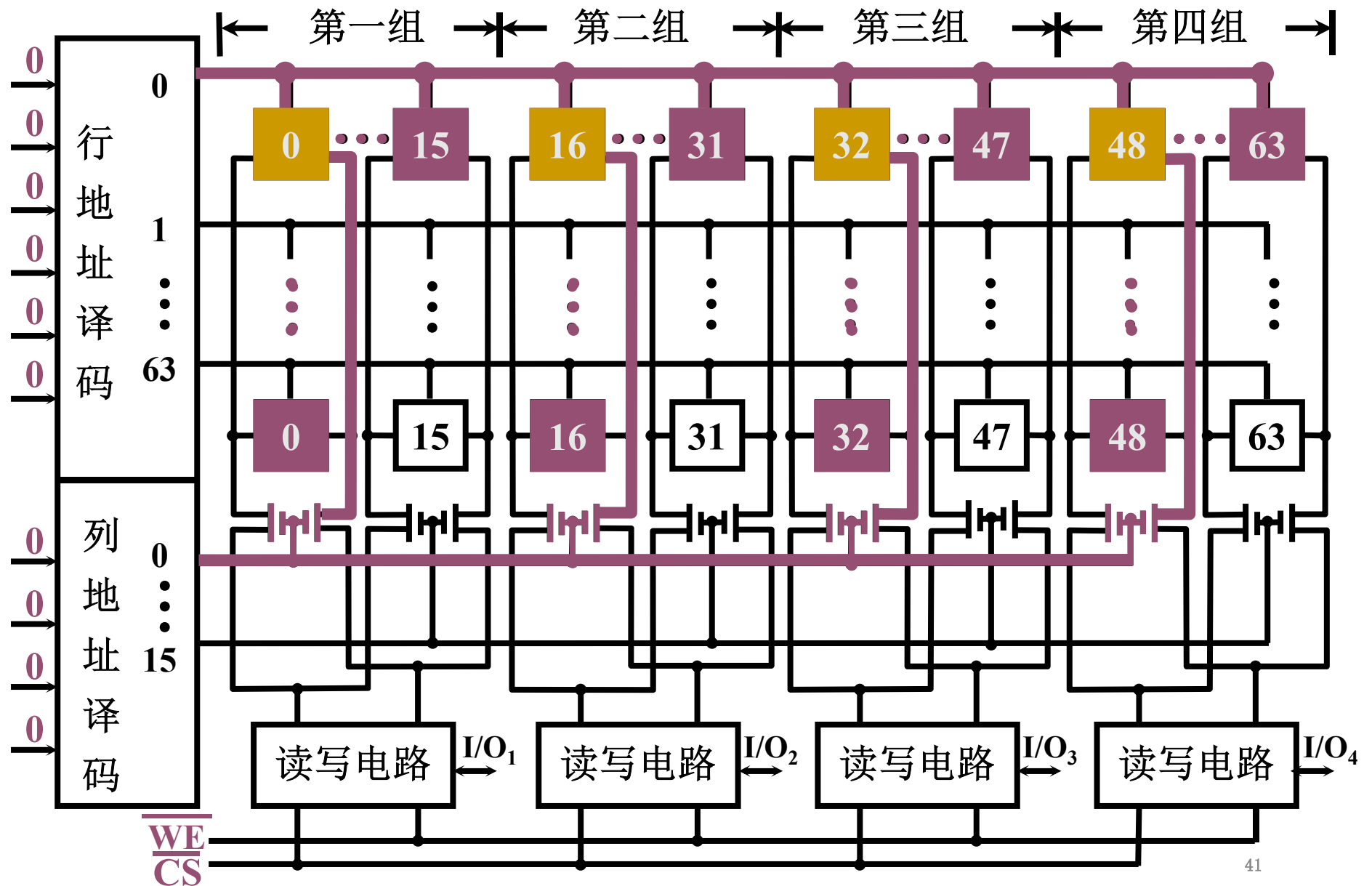
② Intel 2114 RAM 矩阵 (64 × 64) 读 4.2



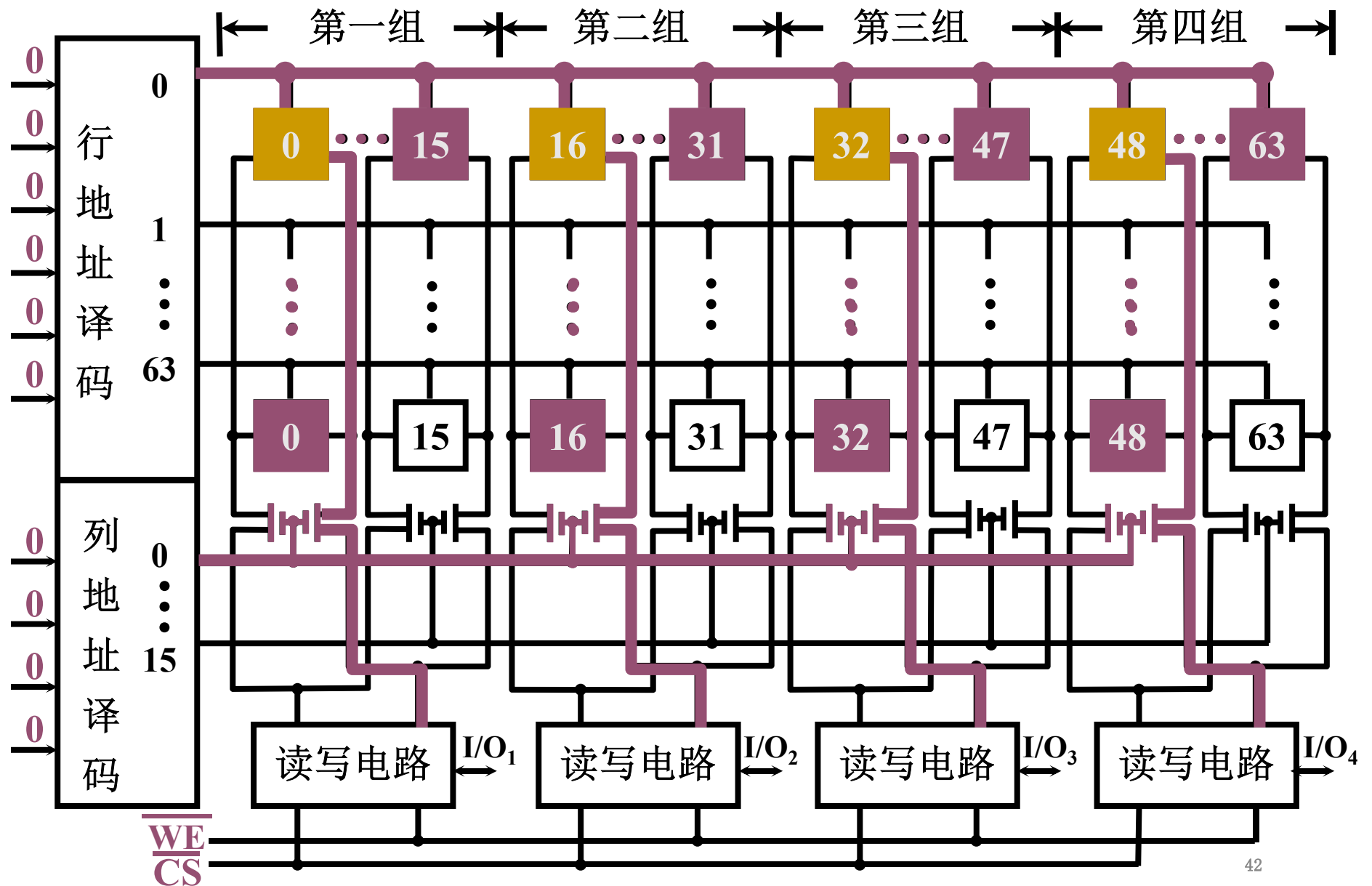
② Intel 2114 RAM 矩阵 (64 × 64) 读 4.2



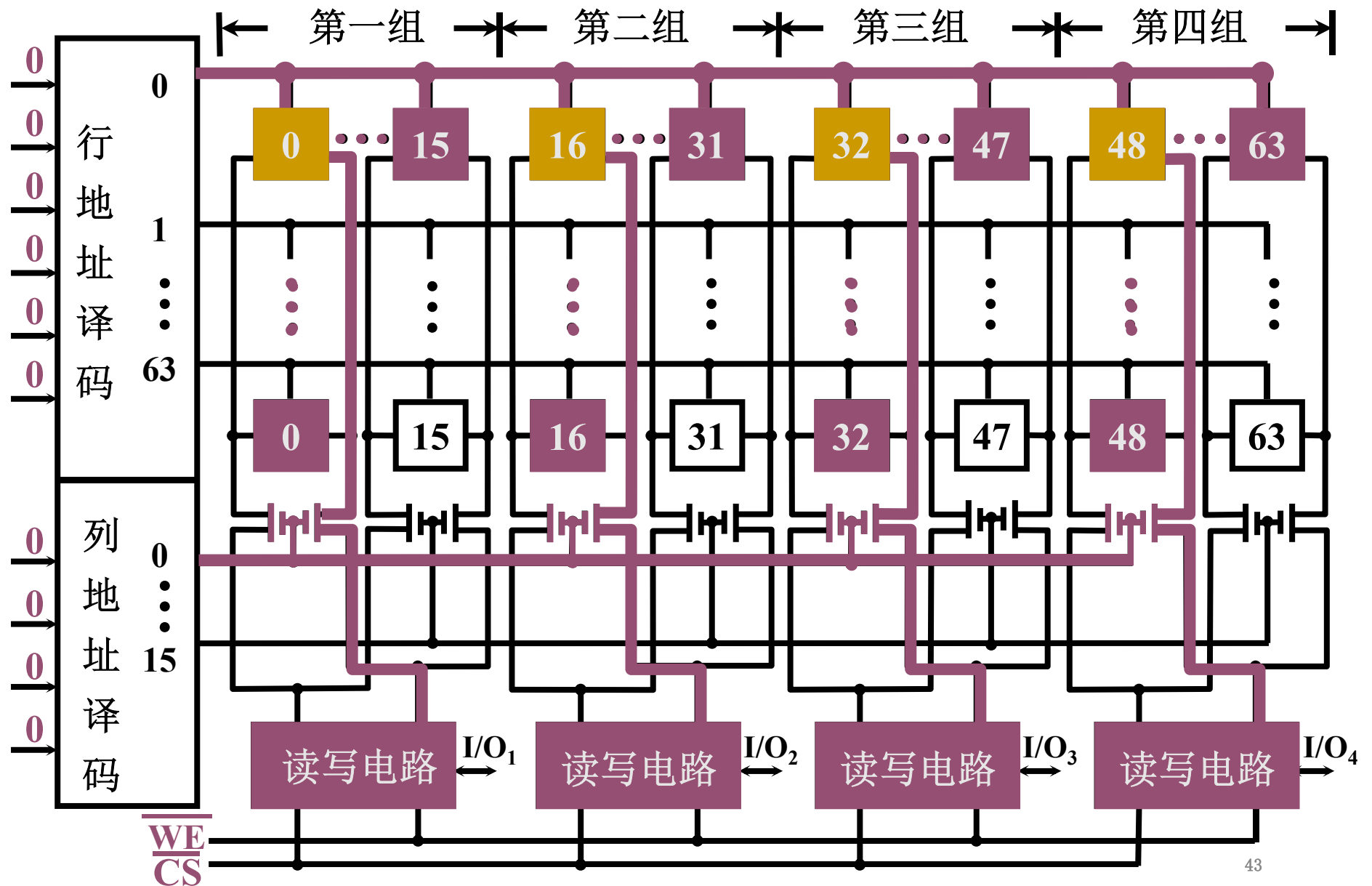
② Intel 2114 RAM 矩阵 (64 × 64) 读 4.2



② Intel 2114 RAM 矩阵 (64 × 64) 读 4.2



② Intel 2114 RAM 矩阵 (64 × 64) 读 4.2



② Intel 2114 RAM 矩阵 (64 × 64) 读 4.2

