



第二部分 交换网络

计算机学院

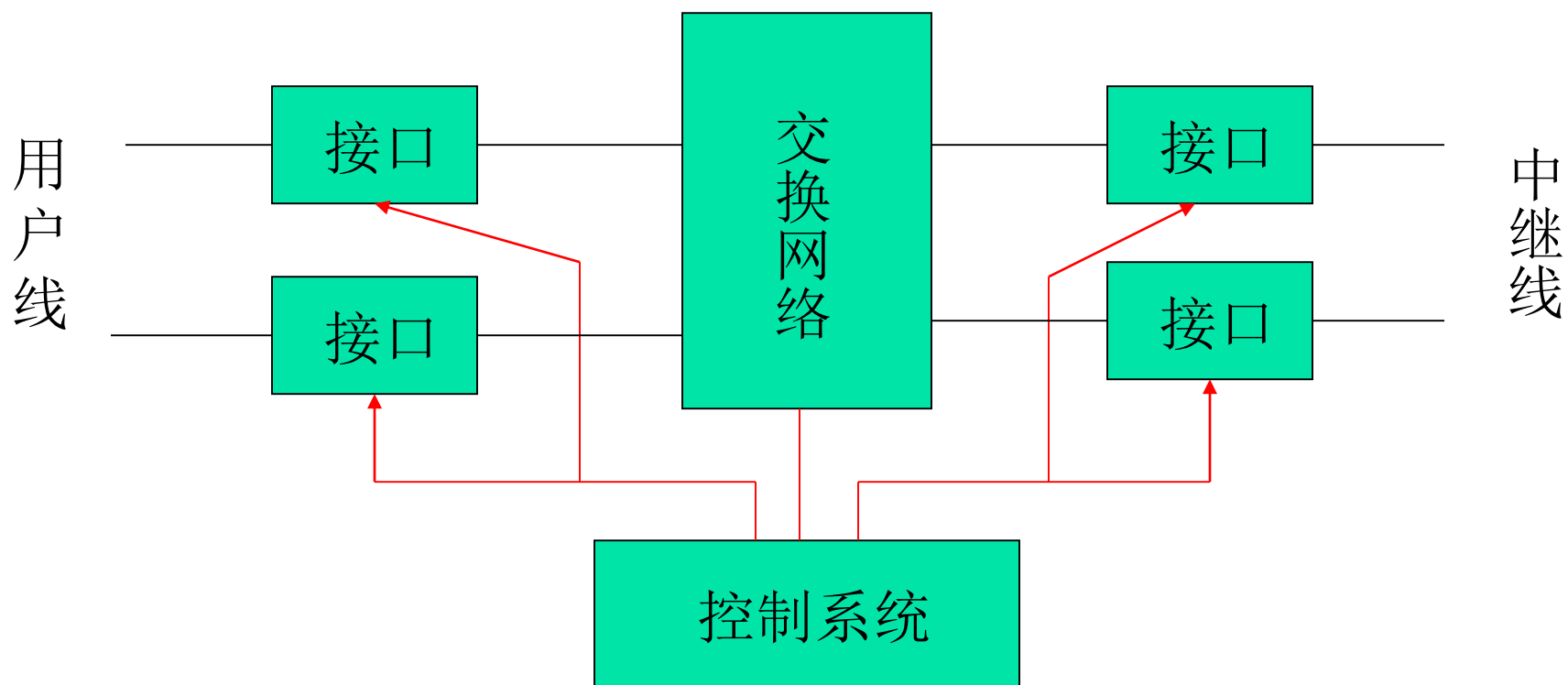
段鹏瑞



主要内容

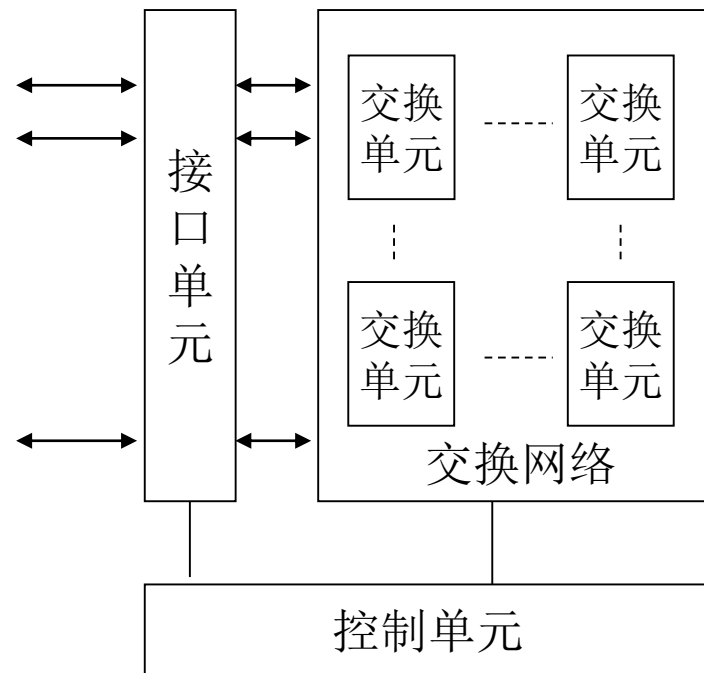
- **1 交换单元的基本概念和数学模型**
- **2 各类交换单元**
 - 基本开关阵列、共享存储器、总线型
- **3 交换网络**
 - **CLOS BENES TST BANYAN DSN**

电信交换系统的基本结构



交换设备的结构

- 交换单元
 - 在入线和出线间建立连接，将入线上的信息发送到出线上
- 控制单元
 - 对信号进行译码，控制交换单元的动作
- 接口单元
 - 外部线路信号与交换单元信号的转换

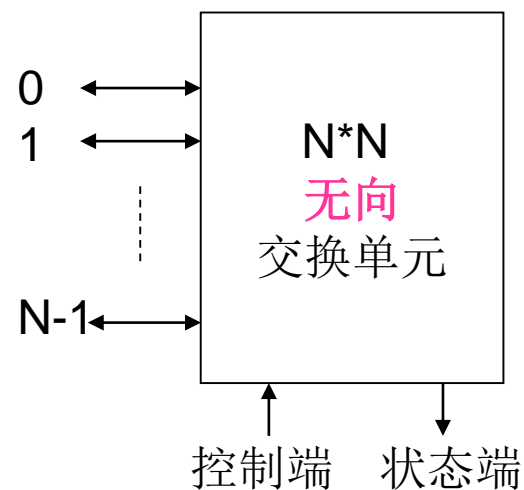
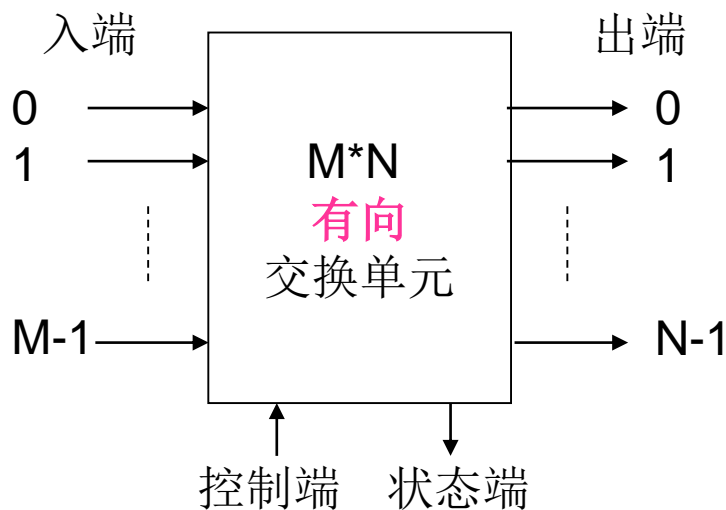


1 交换单元

- 交换单元

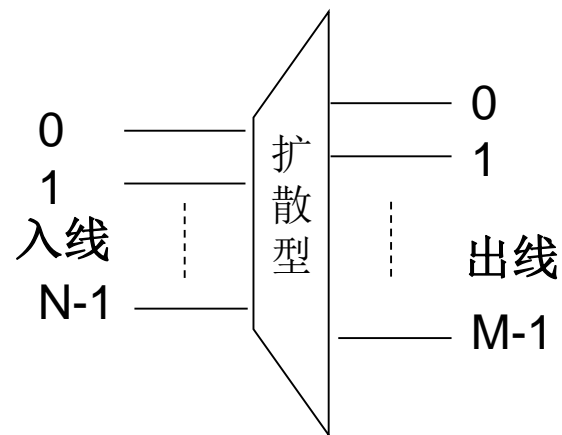
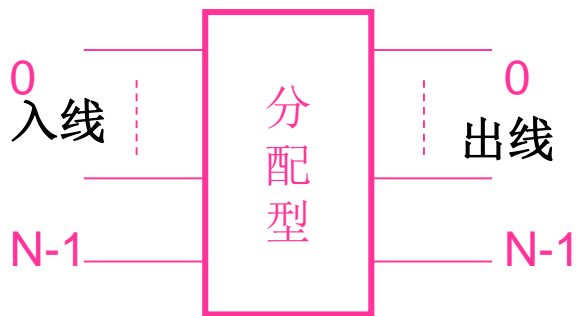
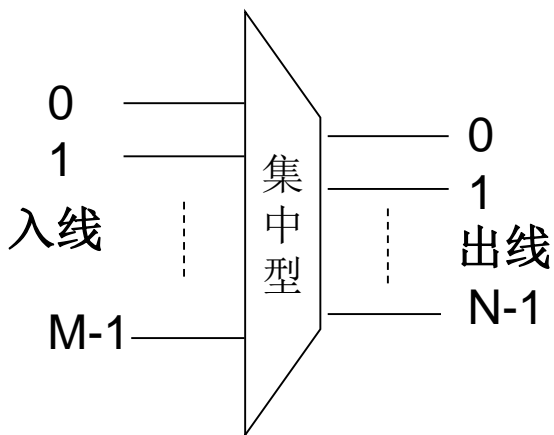
- 完成交换功能的基本部件，能按照一定的要求，将入线上的信息发送到指定的出线

- 按照信息流向分类



1 交换单元

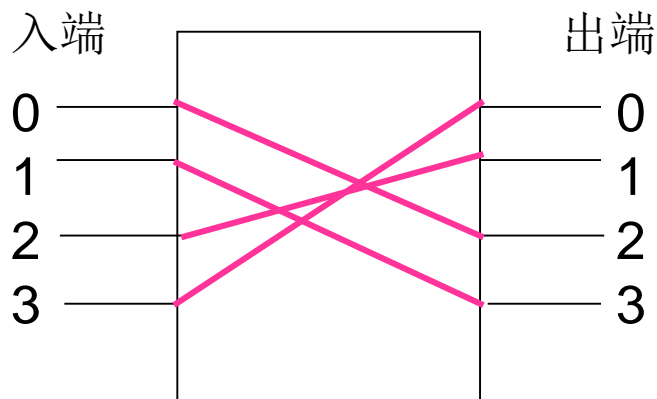
- 按照使用需求分类



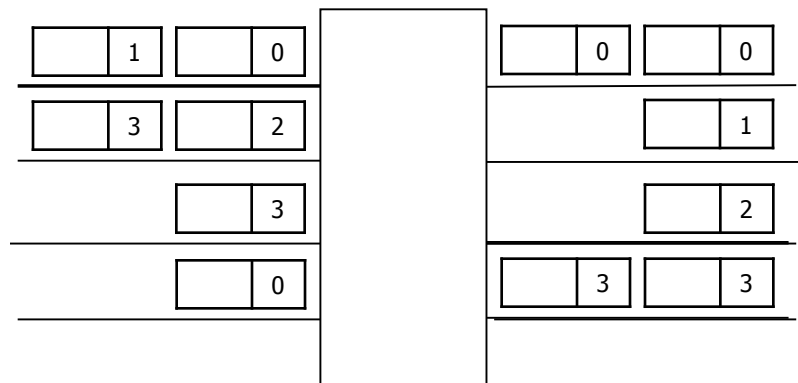
1 交换单元

■ 交换过程

- 建立内部通道，完成入线与出线上的信息交换
- 在完成信息交换后，拆除内部通道



同步时分复用信号的交换



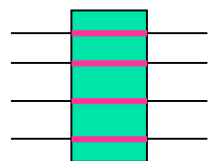
统计复用信号的交换

1 交换单元---连接

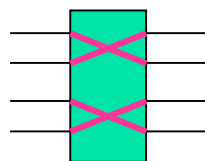
- **M*N**交换单元的入线集合与出线集合分别为
入线集合 $T = \{ 0, 1, 2 \dots M-1 \}$ 出线集合 $R = \{ 0, 1, 2 \dots N-1 \}$
- 连接的定义
对于一个入端 t ($t \in T$) 和一组出端 R_t ($R_t \subseteq R$) , $c = \{ t, R_t \}$ 称为一个
连
接。
其中 t 称连接的起点, $r \in R_t$ 称连接的终点
若 $r \in R_t$, R_t 中只含有一个元素, 则称该连接是一对一 (点对点) 连接
若 $r \in R_t$, R_t 中含有多个元素, 则称该连接是一对多 (点对多点) 连接
- 同发与广播
一个交换单元中, 若允许点对多点的连接, 则称具有同发功能;
若允许一个入端对全体出端的连接 (即 $R_t = R$) , 则称具有广播功能。
- 交换单元中不允许多对多或多对一连接, 该种情况称出线冲突。

1 交换单元---连接方式

- 交换单元的连接方式： $C = \{ c_1, c_2, \dots \}$ 为由若干个连接组成的集合。
连接方式对应于某一时刻



T_0 时刻



T_1 时刻

- 起点集：** $T_c = \{ t; t \in c_i, c_i \in C \}$ 为该连接方式中所有连接的起点组成的集合。
- 终点集：** $R_c = \{ r; r \in R_t, R_t \in c_i, c_i \in C \}$ 为该连接方式中所有连接的终点组成的集合。
- 若入端 $t \in T_c$ ，称其处于**占用**状态；否则称其处于**空闲**状态。
若出端 $r \in R_c$ ，称其处于**占用**状态；否则称其处于**空闲**状态。



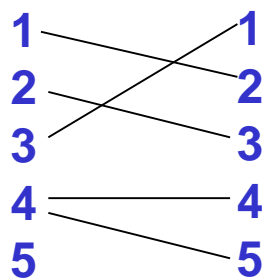
1 交换单元---连接函数

- 连接函数
入线集合与出线集合的映射关系
- $M \times N$ 交换单元的连接函数表示
排列表示法

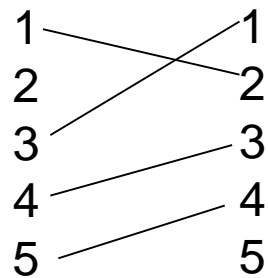
$$\left[\begin{array}{cccc} r_1 & r_2 & \dots & r_n \\ t_1 & t_2 & \dots & t_n \end{array} \right] \quad (n \leq N) \text{ 表示}$$

1 交换单元---连接函数

■ 排列表示法举例



$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 3 & 1 & 2 & 4 & 4 \end{bmatrix}$$



$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ 3 & 1 & 4 & 5 & \emptyset \end{bmatrix}$$

1 交换单元---连接函数

- 连接函数

入线集合与出线集合的映射关系

- M*N交换单元的连接函数表示

排列表示法

$$\begin{bmatrix} \mathbf{r_1} & r_2 & \dots & r_n \\ \mathbf{t_1} & t_2 & \dots & t_n \end{bmatrix} \quad (n \leq N) \text{ 表示}$$

当不存在同发时，上式可写作

$$\begin{bmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{2} & \dots & \mathbf{n} \\ \mathbf{t_1} & \mathbf{t_2} & \dots & \mathbf{t_n} \end{bmatrix}$$

简写作 (t_1, t_2, \dots, t_n) ，称**入端重排表示**

1 交换单元---连接函数

■ 入端重排表达式举例

1 ——— 1
2 ——— 2
3 ——— 3
4 ——— 4
5 ——— 5
6 ——— 6

(1, 2, 3, 4, 5, 6)

1 ——— 2
2 ——— 1
3 ——— 4
4 ——— 3
5 ——— 6
6 ——— 5

(2, 1, 4, 3, 6, 5)

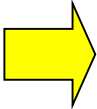


1 交换单元---连接函数

- 当不存在同发时，上式可写作

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & \dots & n \\ t_1 & t_2 & \dots & t_n \end{bmatrix}$$

简写作 (t_1, t_2, \dots, t_n) ，称**入端重排表示**

- 
- 若满足：

- 交换单元的入端数M等于出端数N；
- 没有空闲的入端和出端；
- 没有点对多点的连接。

一个N*N的交换单元有 N! 种不同的点对点连接方式。



1 交换单元---连接函数

函数表示法举例----直线连接:

函数表示法: $I(x_{n-1}x_{n-2}\cdots x_1x_0) = x_{n-1}x_{n-2}\cdots x_1x_0$

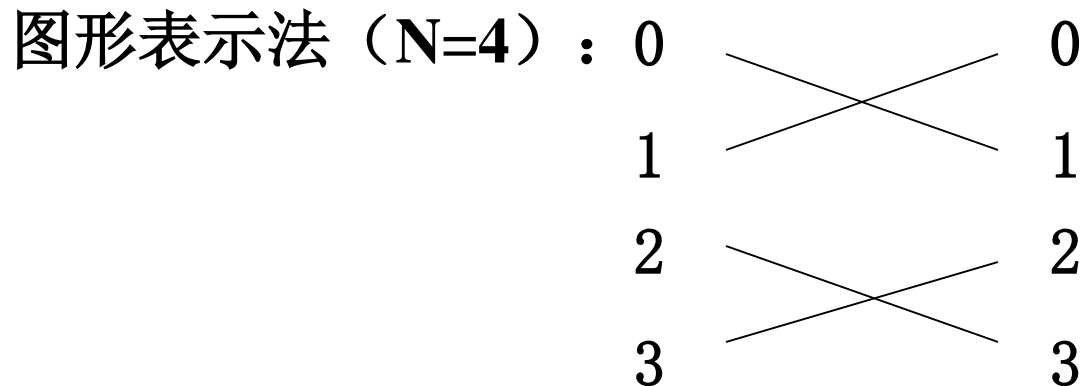
图形表示法 (N=4) :

0	————	0
1	————	1
2	————	2
3	————	3

1 交换单元---连接函数

函数表示法举例----交叉连接:

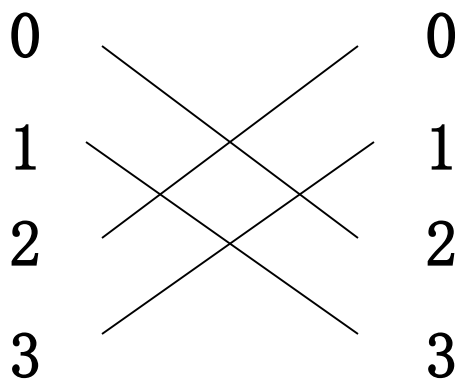
函数表示法: $E(x_{n-1}x_{n-2}\cdots x_1x_0) = x_{n-1}x_{n-2}\cdots x_1\overline{x_0}$



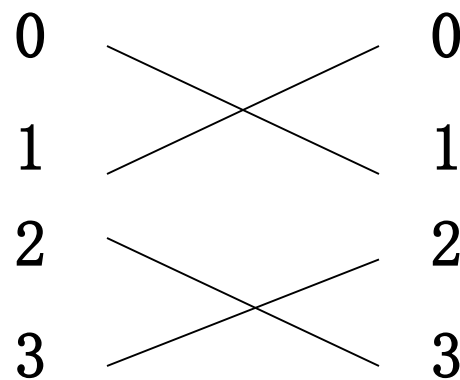
1 交换单元---连接函数

函数表示法举例----间隔交叉连接:

$$C_k(x_{n-1}x_{n-2}\dots x_k \dots x_1x_0) = x_{n-1}x_{n-2}\dots \overline{x_k} \dots x_1x_0$$



N=4 k=1



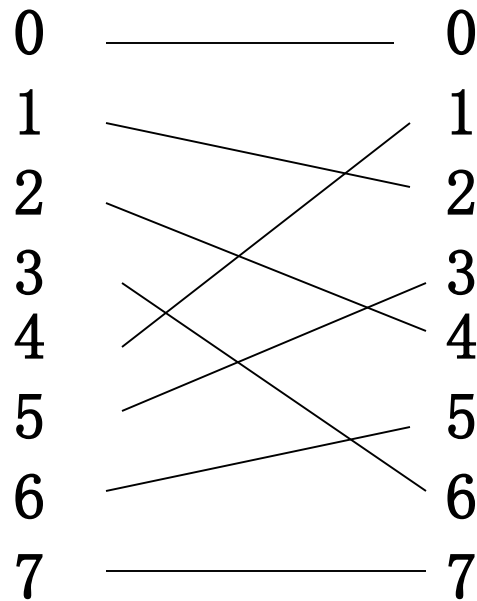
N=4 k=0

1 交换单元---连接函数

函数表示法举例----均匀洗牌连接:

$$\sigma(x_{n-1}x_{n-2}\dots x_k \dots x_1x_0) = x_{n-2}\dots x_k \dots x_1x_0x_{n-1}$$

N=8

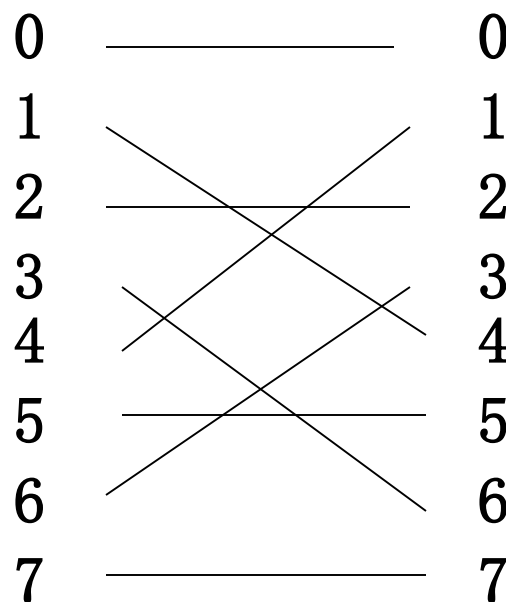


1 交换单元---连接函数

函数表示法举例----蝶式连接:

$$\beta(x_{n-1} x_{n-2} \dots x_k \dots x_1 x_0) = x_0 x_{n-2} \dots x_k \dots x_1 x_{n-1}$$

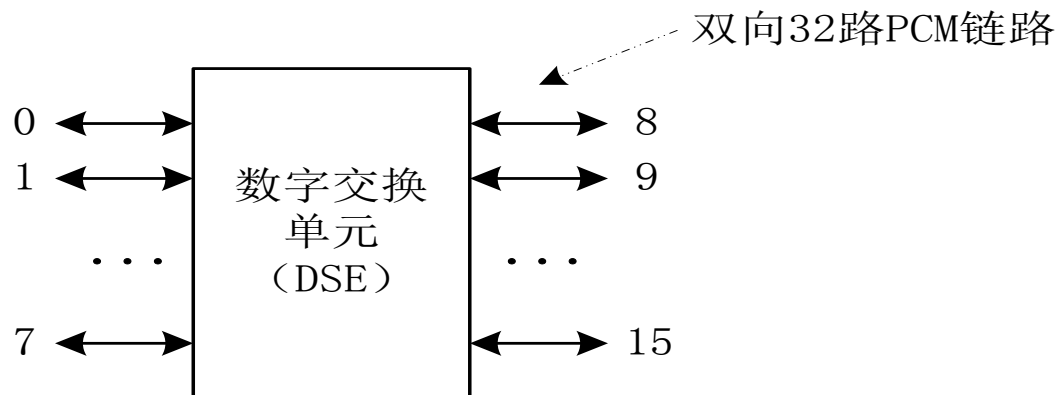
N=8



2 各类交换单元

■ 性能指标

- 容量——可交换的信息量，或出入线数量
- 接口——单向/双向，数字/模拟
- 交换功能——点到点，同发，广播
- 质量——时延，内部阻塞

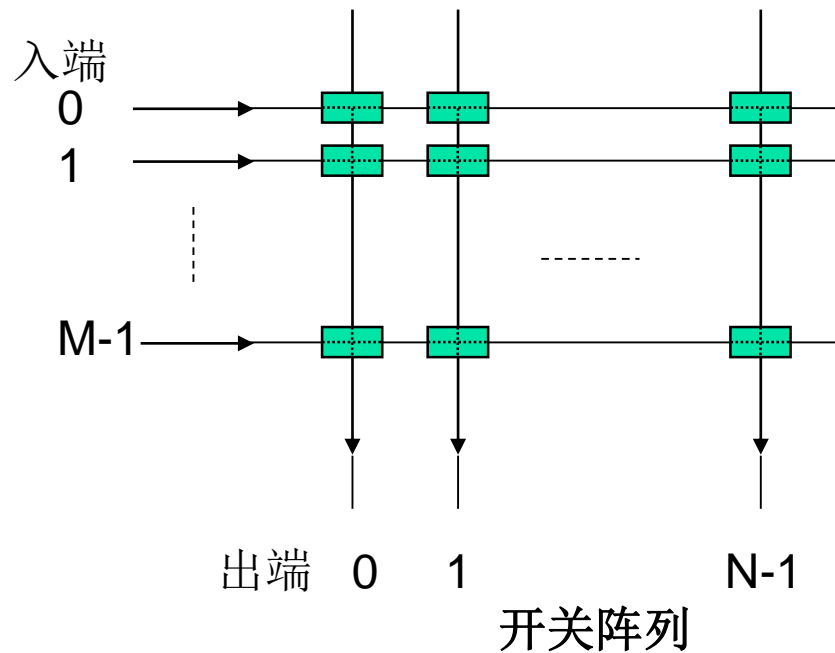
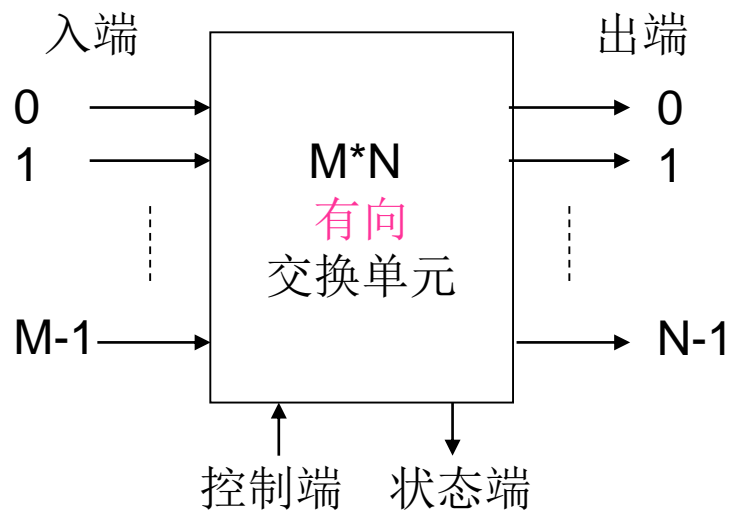




2 各类交换单元

- 种类
 - 基本开关阵列——空分交换
 - 共享存储器结构
 - 共享总线型结构

2 各类交换单元---基本开关阵列



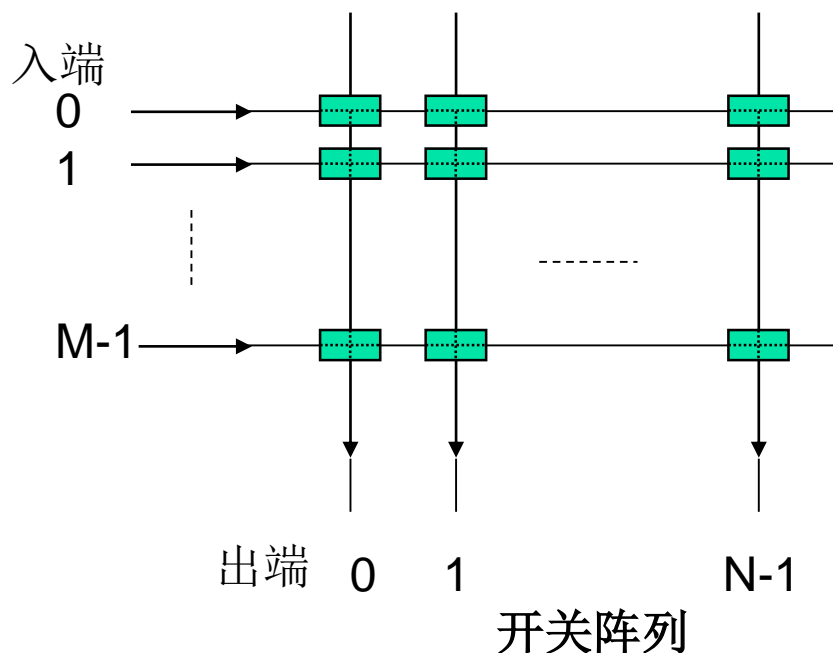
2 各类交换单元---基本开关阵列

工作原理

- 开关有 **接通**、**断开** 两种状态。开关接通则对应的入线和出线连接；否则入线和出线就不连接。
- 每个开关都有一个控制端和一个状态端，分别用于控制和表示开关的通断状态。
- 开关阵列的控制端构成控制方阵

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

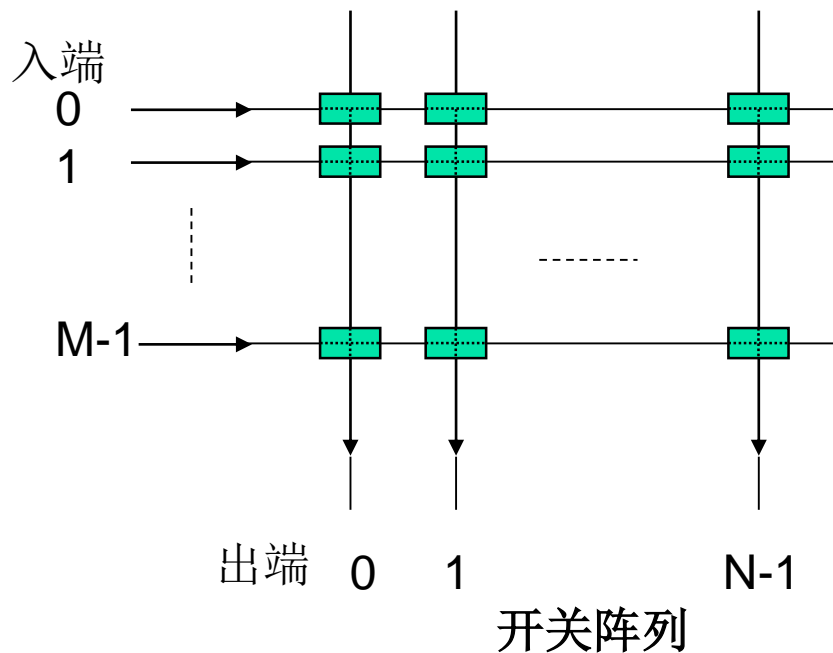
- 开关阵列的状态端构成状态方阵



2 各类交换单元---基本开关阵列

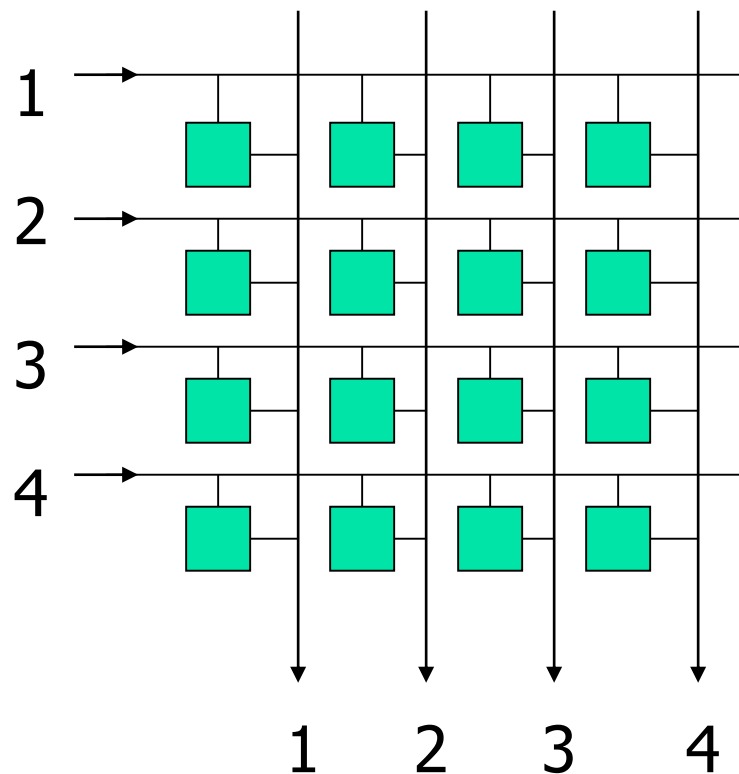
■ 特性

- 由空间上分离的多个开关部件构成，是一种空分交换单元。
- 交换动作控制简单，具有均匀的单位延迟时间
- 交叉点（开关）数为入线数与出线数的乘积。适合构造小的交换单元
- 同发与广播易于实现
- 无内部阻塞



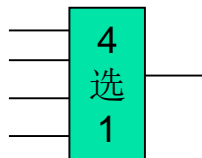
2 各类交换单元---基本开关阵列

- 实际开关阵列
 - 继电器
 - 噪声大、动作慢
 - 模拟电子开关
 - 衰耗和延时大
 - 数字电子开关
 - 逻辑门，动作迅速



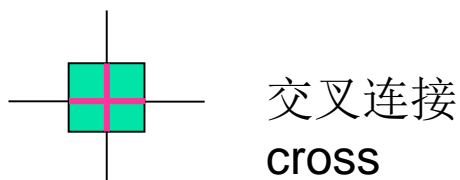
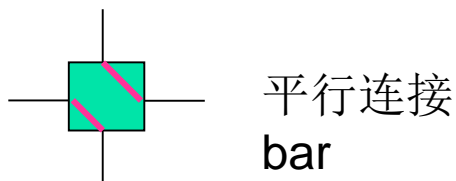
2 各类交换单元---基本开关阵列

- 实际开关阵列
 - 继电器
 - 噪声大、动作慢
 - 模拟电子开关
 - 衰耗和延时大
 - 数字电子开关
 - 逻辑门，动作迅速
 - 多路选择器
 - 可有效避免冲突



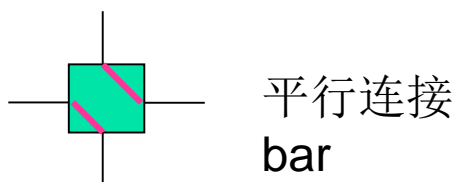
2 各类交换单元---基本开关阵列

- 实际开关阵列
 - 继电器
 - 模拟电子开关
 - 数字电子开关
 - 多路选择器
 - **2*2交叉连接单元**
 - 可以避免出线冲突，不支持同发

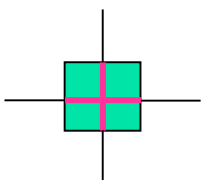


2 各类交换单元---基本开关阵列

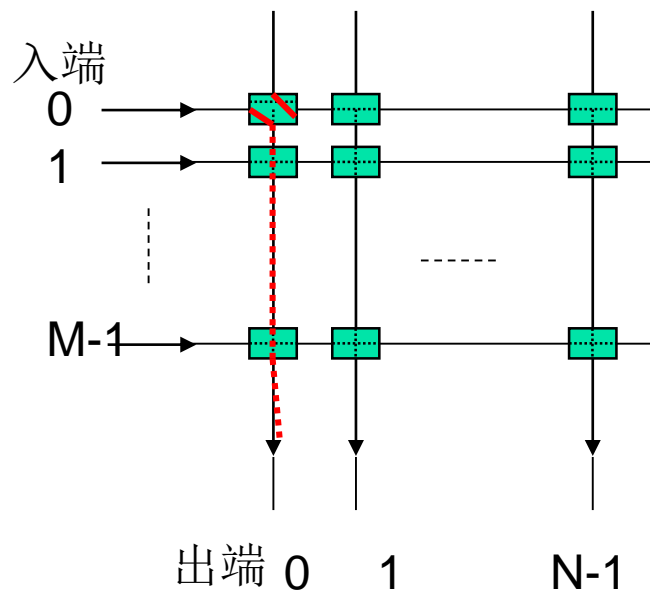
- 实际开关阵列
 - 继电器
 - 模拟电子开关
 - 数字电子开关
 - 多路选择器
 - **2*2交叉连接单元**
 - 可以避免出线冲突，不支持同发



平行连接
bar



交叉连接
cross





2 各类交换单元---基本开关阵列

- 实际开关阵列
 - 继电器
 - 模拟电子开关
 - 数字电子开关
 - 多路选择器
 - **2*2交叉连接单元**
 - 可以避免出线冲突，不支持同发
 - 带缓冲器的开关
 - 没有呼损，有排队时延

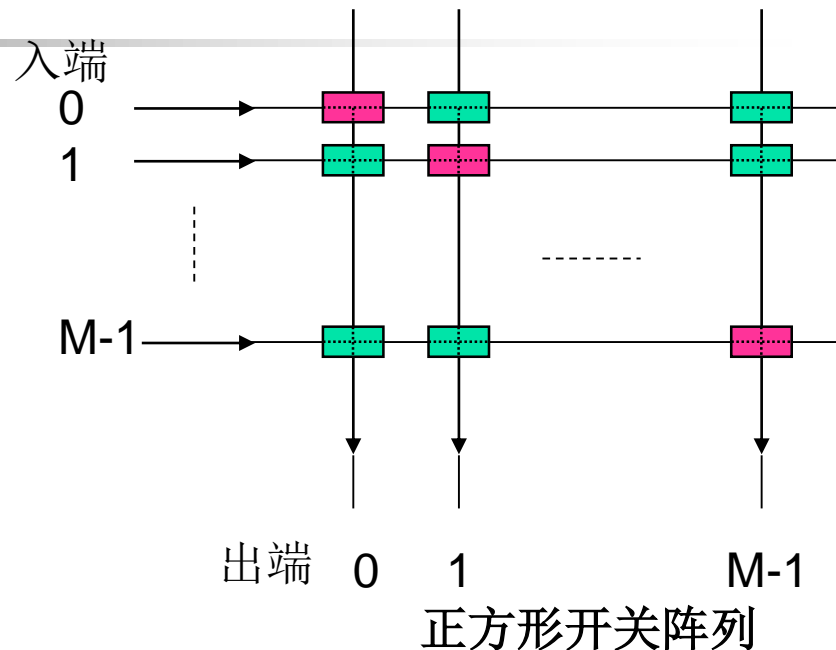
2 各类交换单元---基本开关阵列

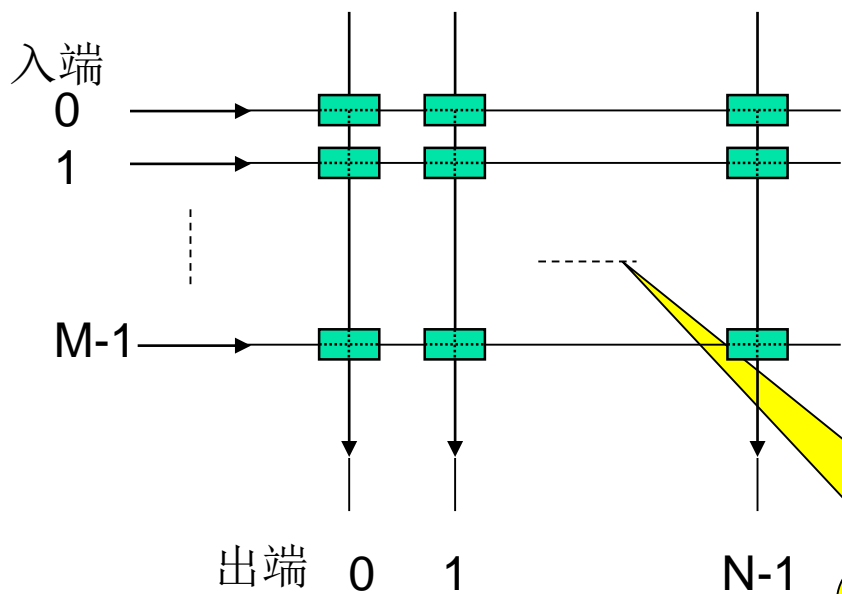
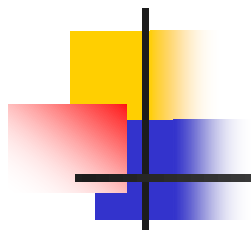
- 缺点

- 交叉接点开关数量巨大
- 交叉接点开关利用率低

- 克服缺点的方法

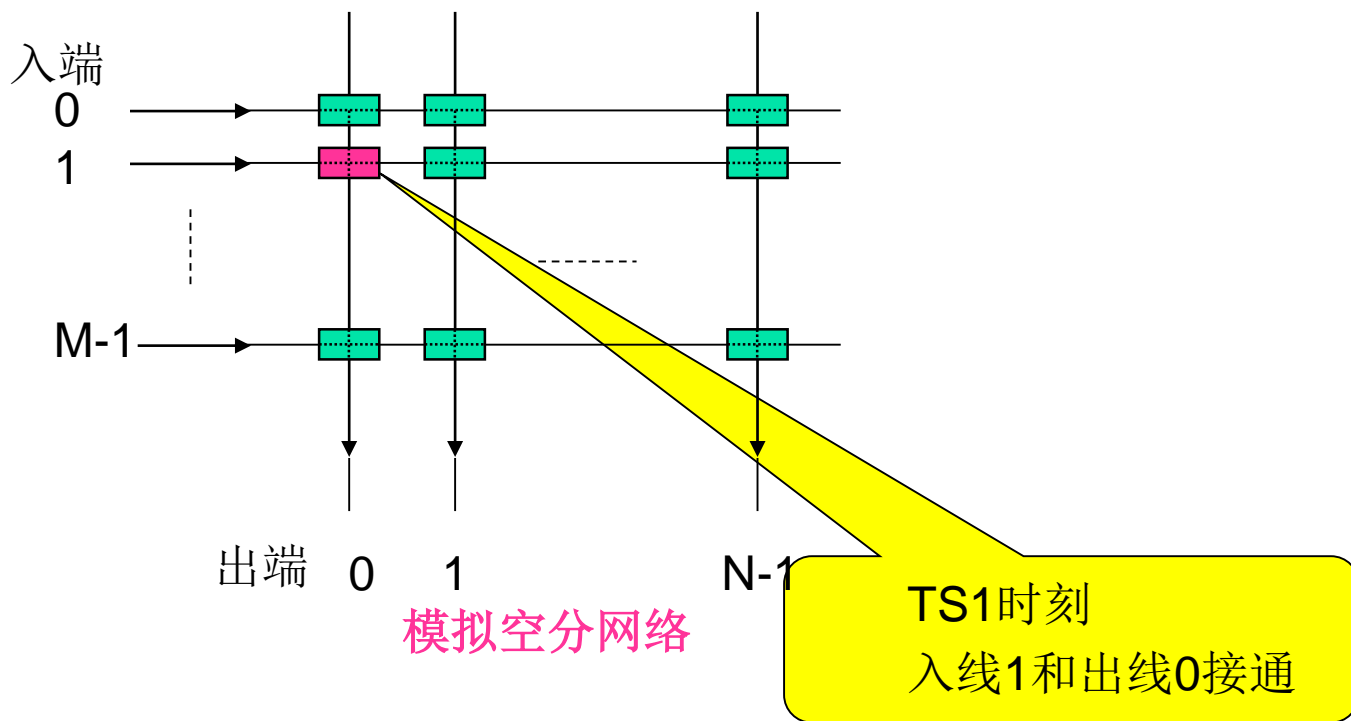
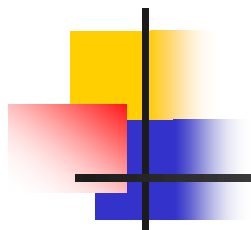
- 时分交换
- 多级网络

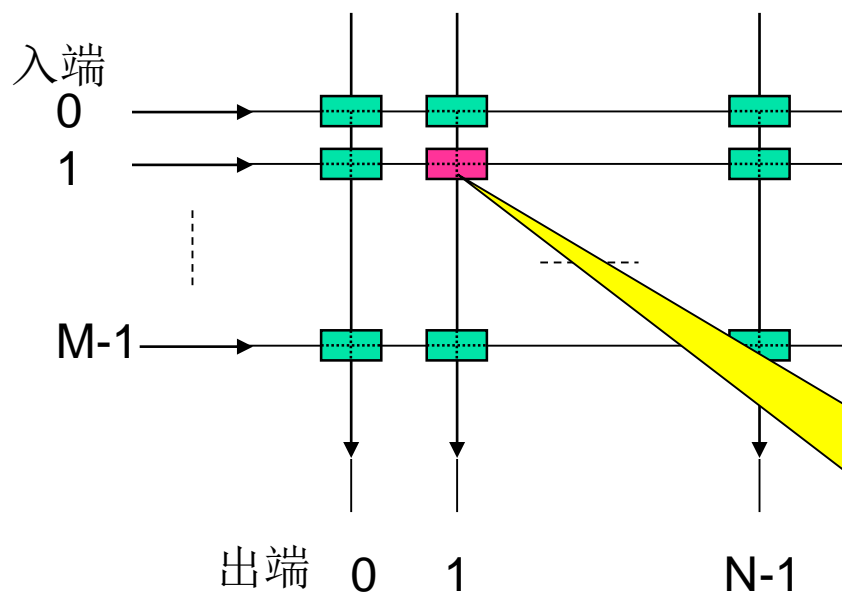
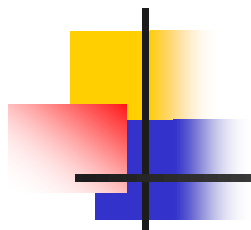




模拟空分网络

模拟空分网络能不能通过数字信号？





模拟空分网络

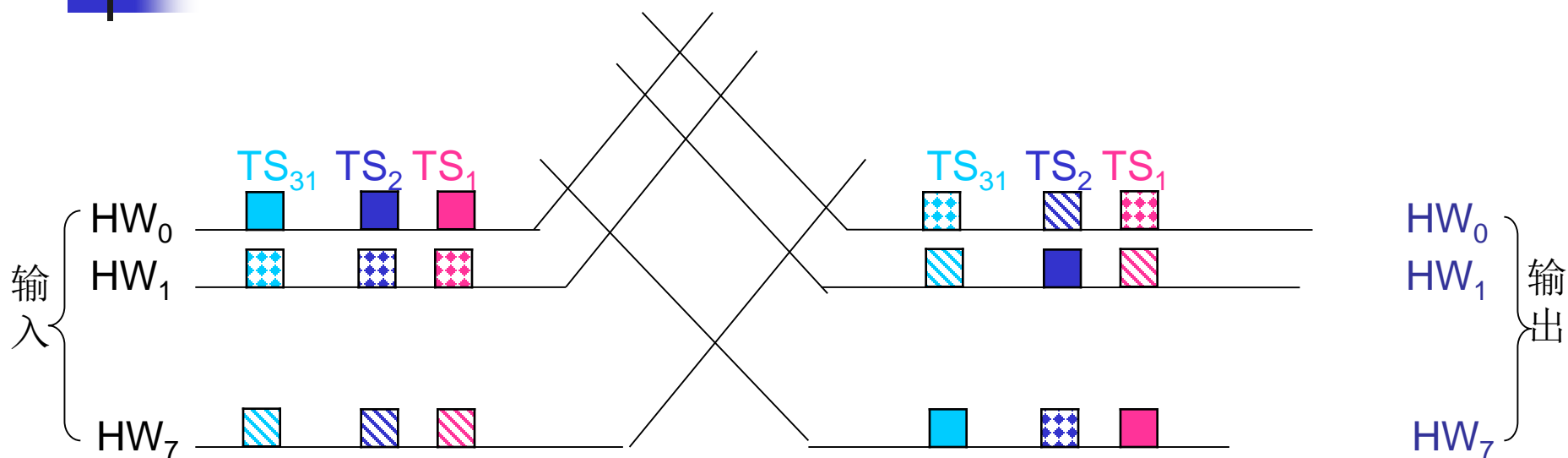
TS2时刻
入线1和出线1接通



2 各类交换单元---基本开关阵列

- 空间(S)接线器
 - 实现一个时隙内任意母线间的交换。
 - 由电子交叉点矩阵、控制存贮器CM和控制电路组成。
 - 控制方式分为：输入控制和输出控制

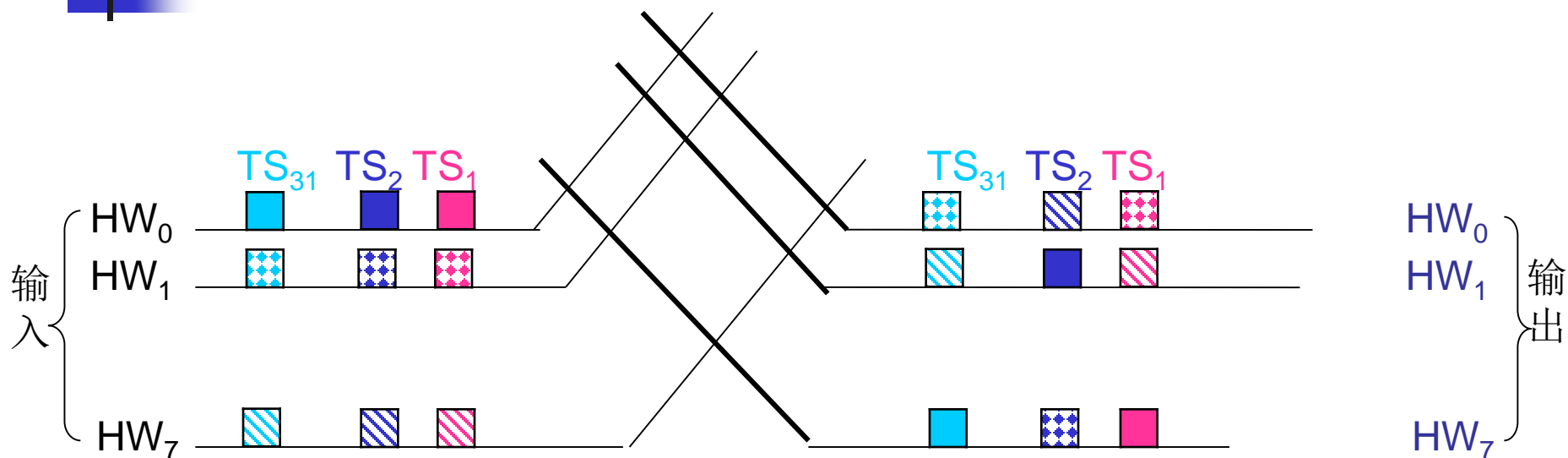
空间(S)接线器—输出控制方式



	0	1		7
0				
1	1	7		0
2	7	0		1
31	1	7		0

控存填写的内容为‘线号’

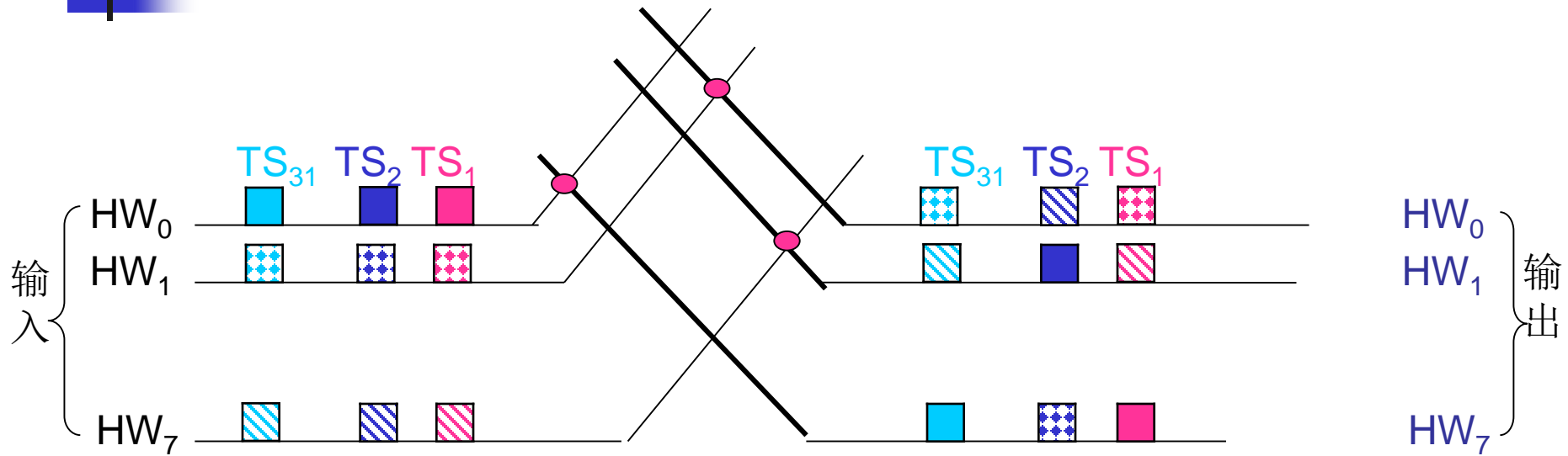
空间(S)接线器—输出控制方式



	0	1		7
0				
1	1	7		0
2	7	0		1
31	1	7		0

控存填写的内容为‘线号’

空间(S)接线器—输出控制方式



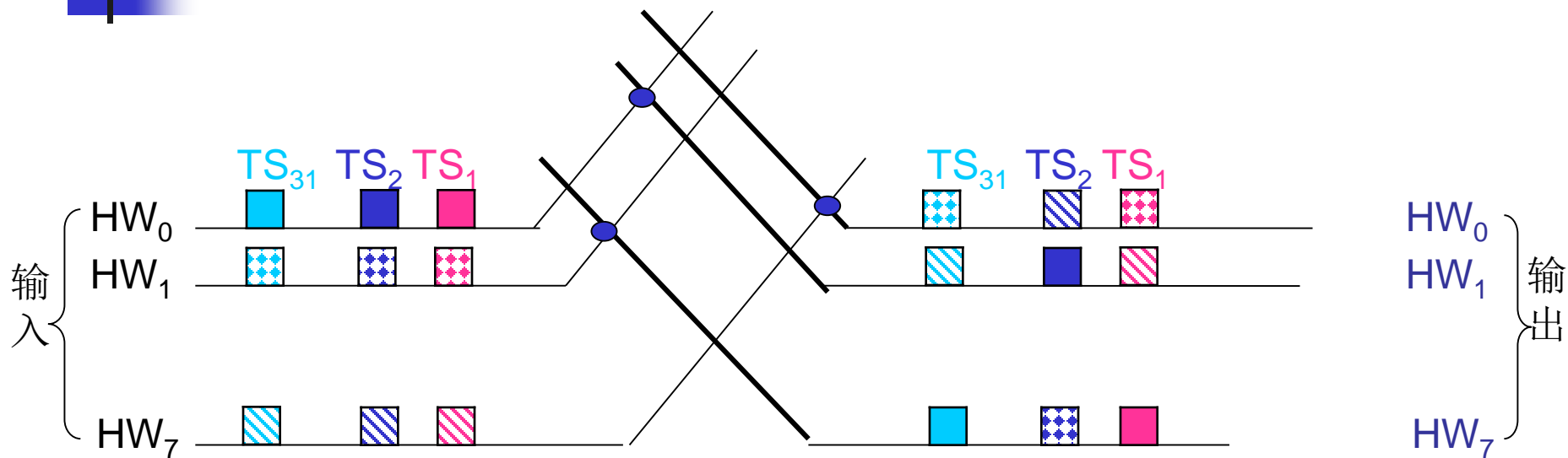
	0	1	7	
0				
1	1	7		0
2	7	0		1
31	1	7		0

出线

入线

控存填写的内容为‘线号’

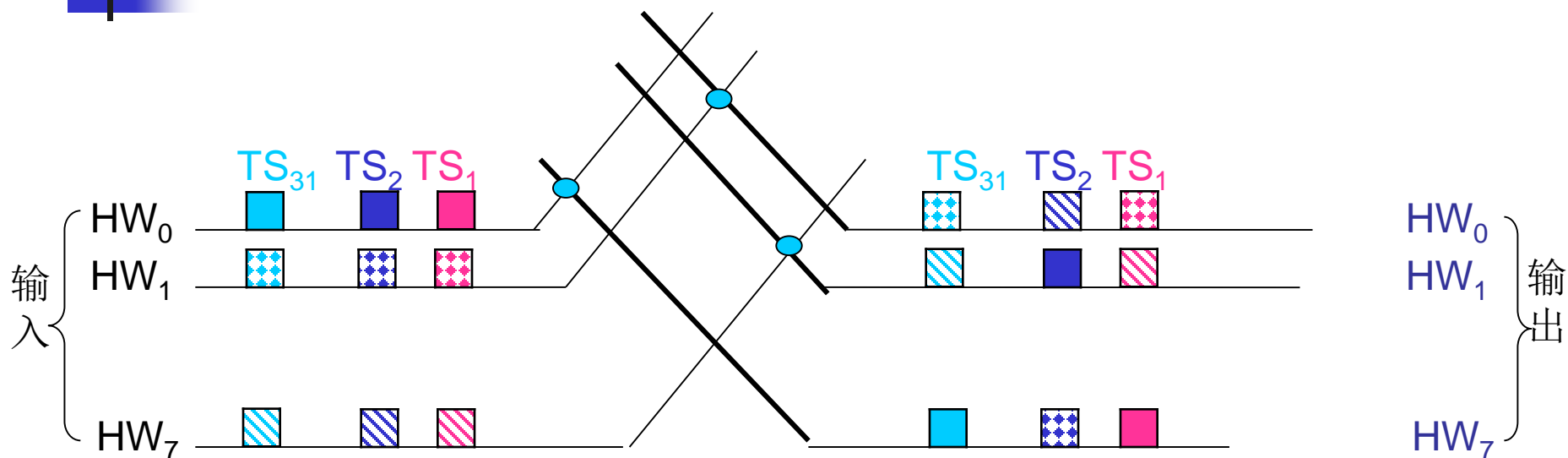
空间(S)接线器—输出控制方式



	0	1		7
0				
1	1	7		0
2	7	0		1
31	1	7		0

控存填写的内容为‘线号’

空间(S)接线器—输出控制方式

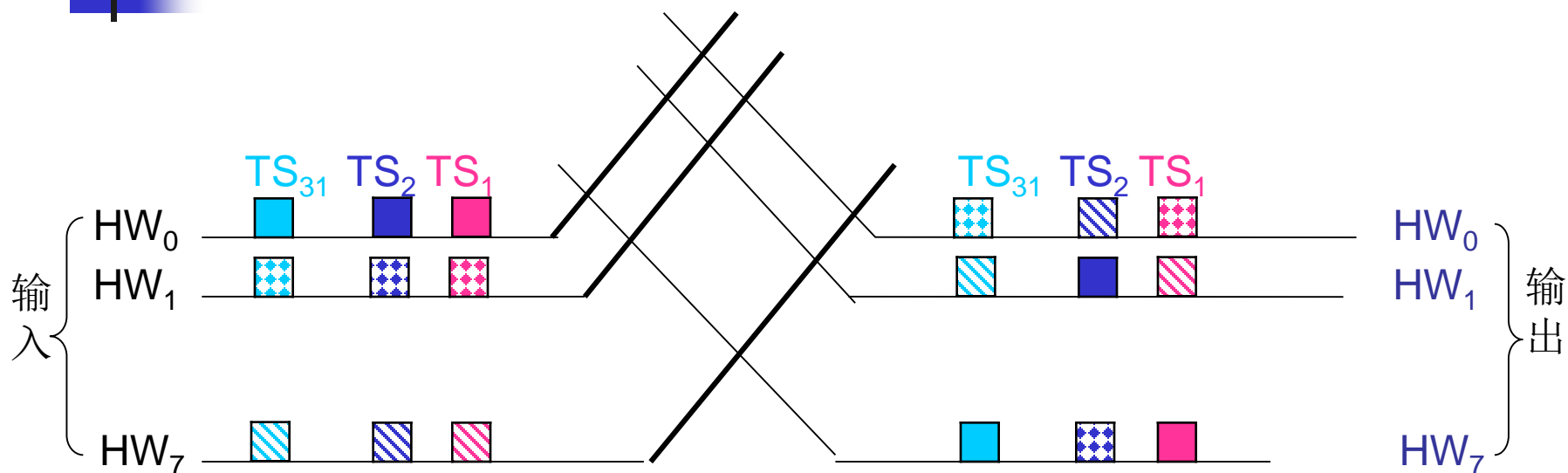


0 1 7

0			
1	1	7	0
2	7	0	1
31	1	7	0

控存填写的内容为‘线号’

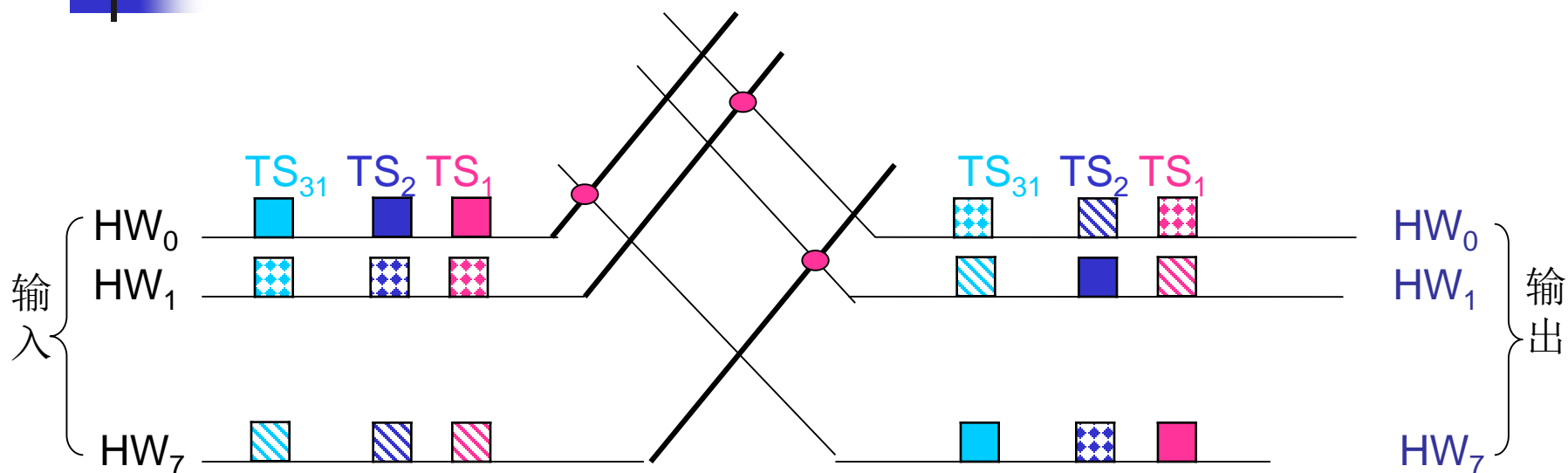
空间(S)接线器—输入控制方式



	0	1		7
0				
1				
2				
31				

控存填写的内容为‘线号’

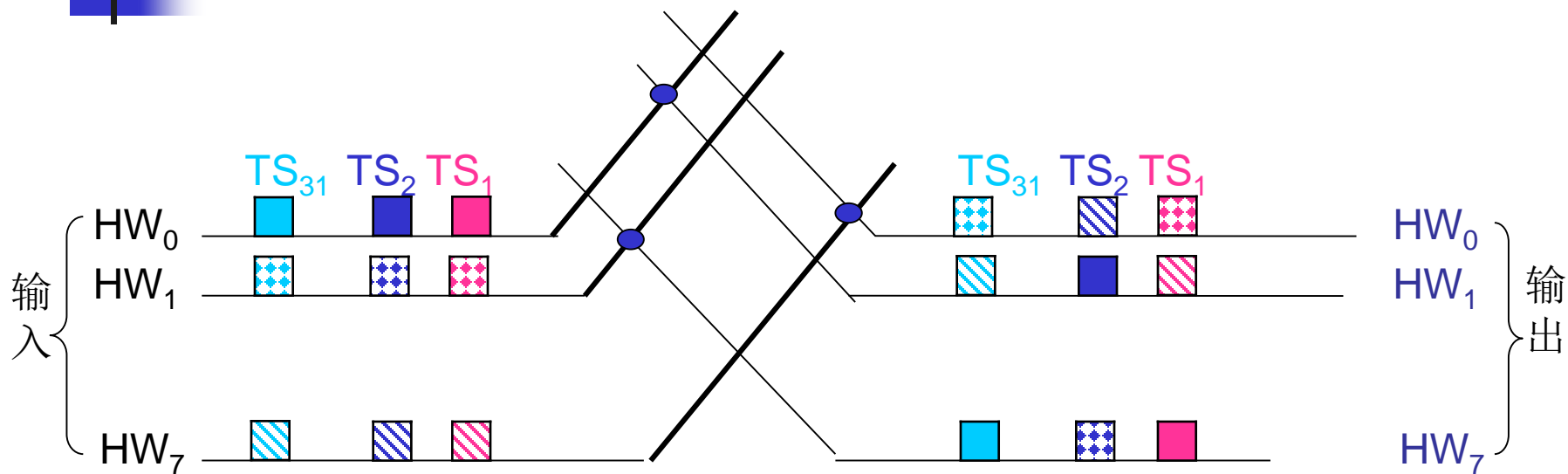
空间(S)接线器—输入控制方式



	0	1		7
0				
1	7	0		1
2				
31				

控存填写的内容为‘线号’

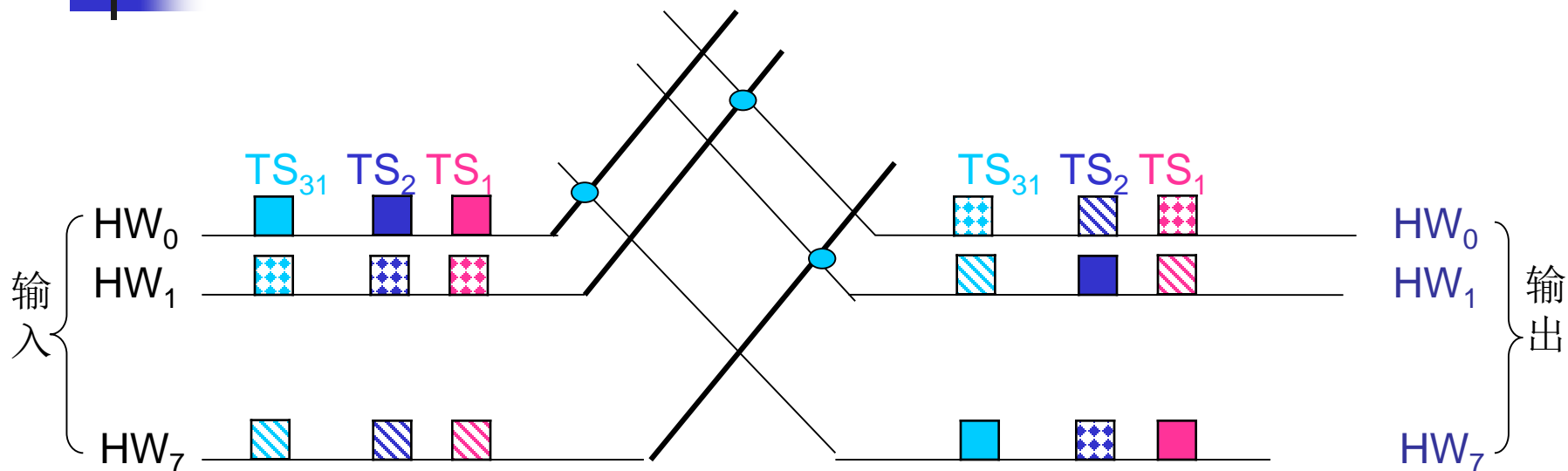
空间(S)接线器—输入控制方式



	0	1		7
0				
1	7	0		1
2	1	7		0
31				

控存填写的内容为‘线号’

空间(S)接线器—输入控制方式



	0	1		7
0				
1	7	0		1
2	1	7		0
31	7	0		1

控存填写的内容为‘线号’

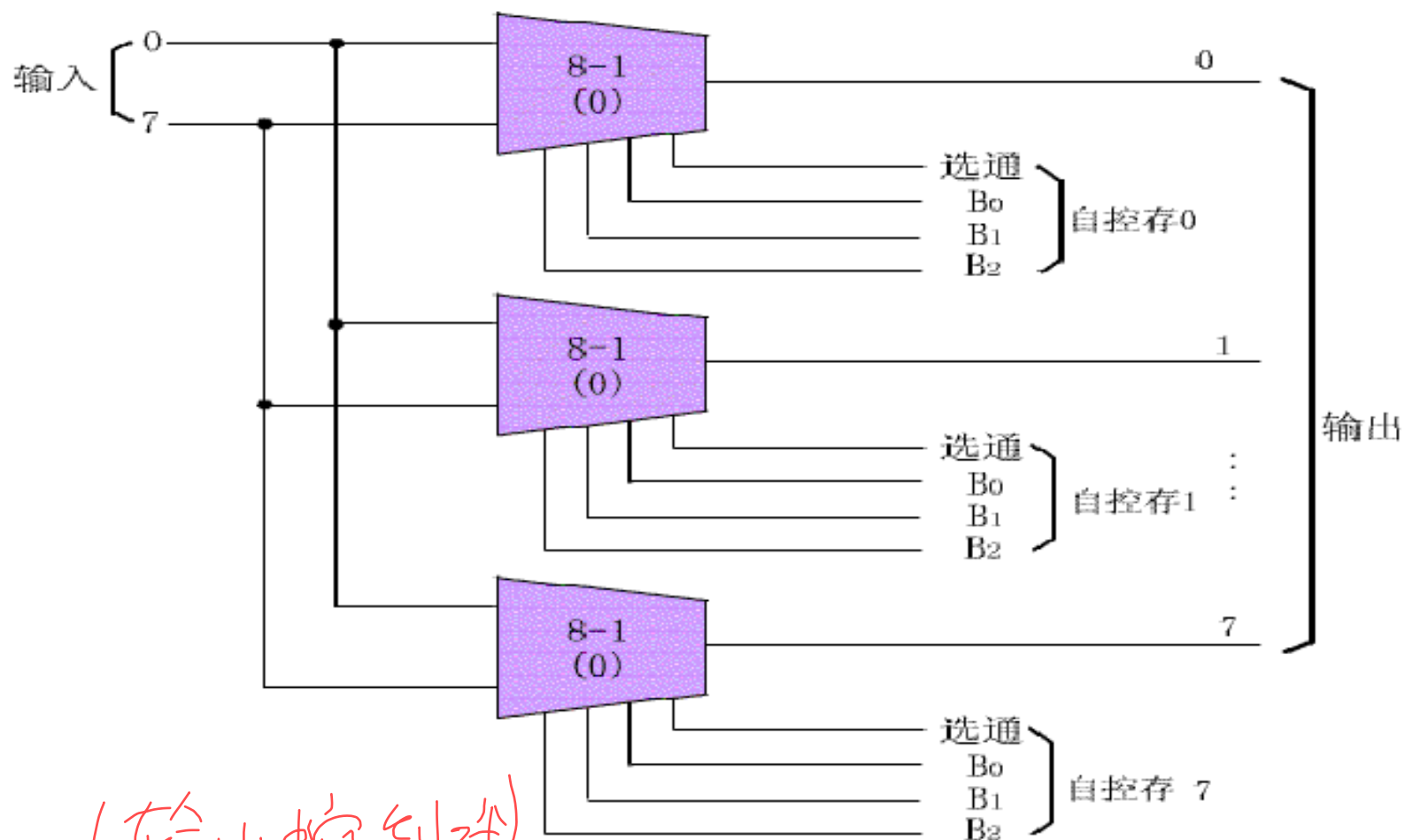
2 各类交换单元---基本开关阵列

■ 空间(S)接线器的特点

- 以时分方式完成复用线之间的空间交换。
- 每个交叉点仅接通一个时隙。
- 交换的控制过程由硬件**CM**实现，速度快。
- 交换时延小，且稳定。
- 严格无阻塞。
- 可避免出线冲突。
- 易于实现同发和广播。(输出控制方式)

■ 空间(S)接线器的工作原理

空间交换单元的工作原理



(输出控制线)

电子交叉接点矩阵的组成



主要内容

- **1 交换单元的基本概念和数学模型**
- **2 各类交换单元**
 - 基本开关阵列、共享存储器、总线型
- **3 交换网络**
 - **CLOS BENES TST BANYAN DSN**

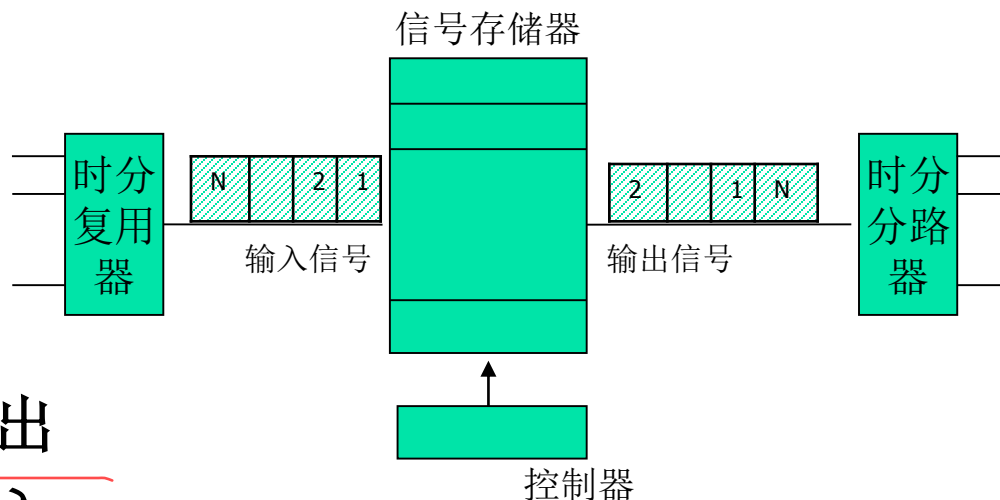
2 各类交换单元--共享存储器结构

- 基本结构

- 信号存储器
- 控制器

- 工作方式

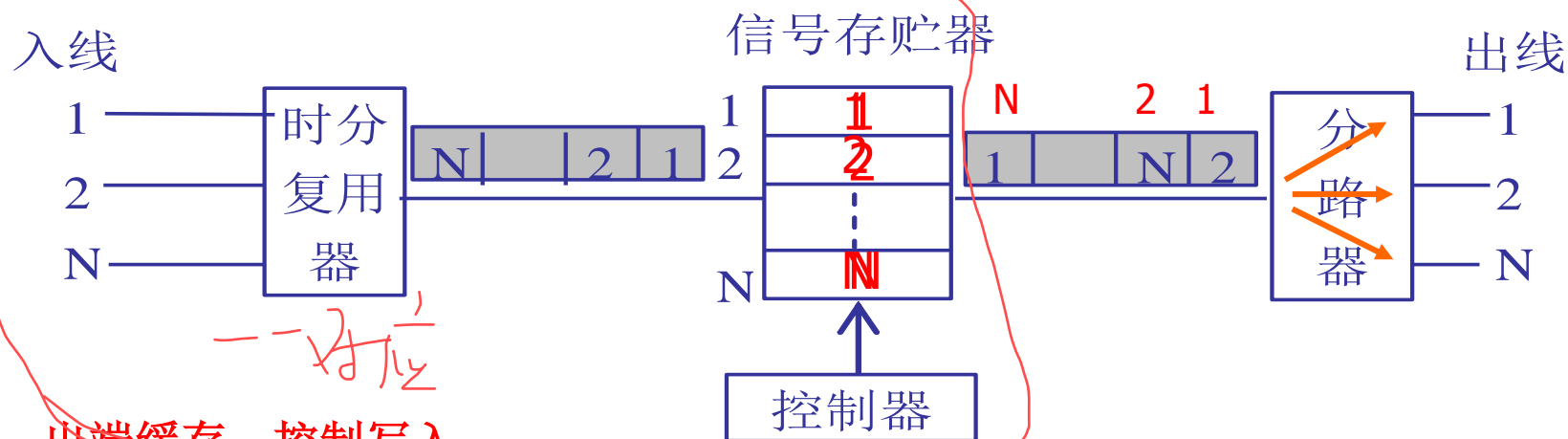
- 入线缓冲，控制读出
- 出线缓冲，控制写入



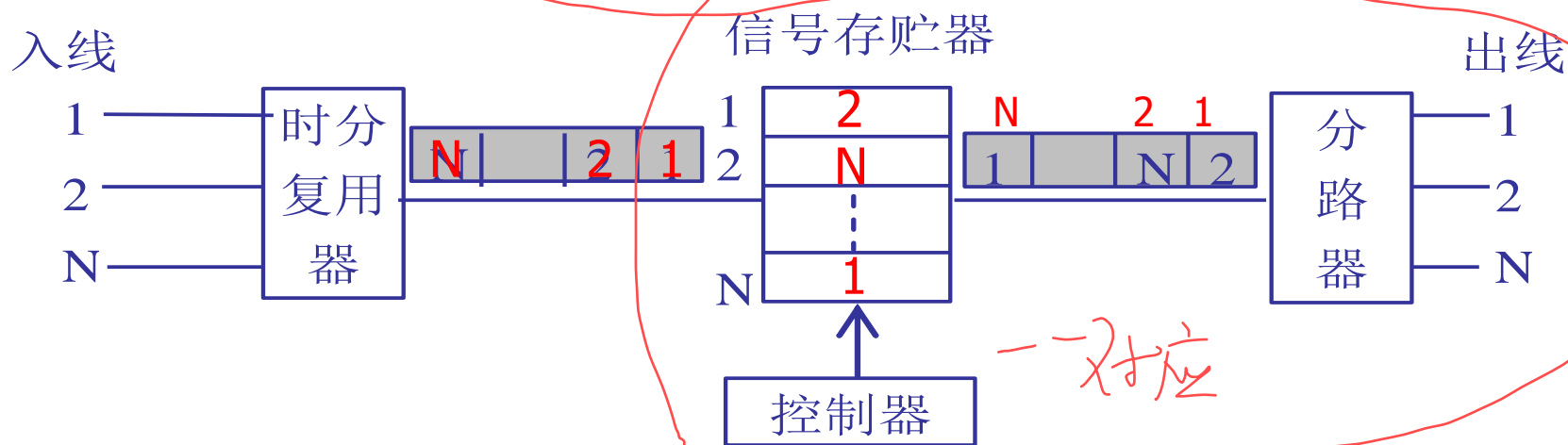
共享存储器结构——工作方式

交换要求: $1 \rightarrow N, 2 \rightarrow 1, N \rightarrow 2$

- 入端缓存, 控制读出



- 出端缓存, 控制写入



2 各类交换单元--共享存储器结构

■ 基本结构

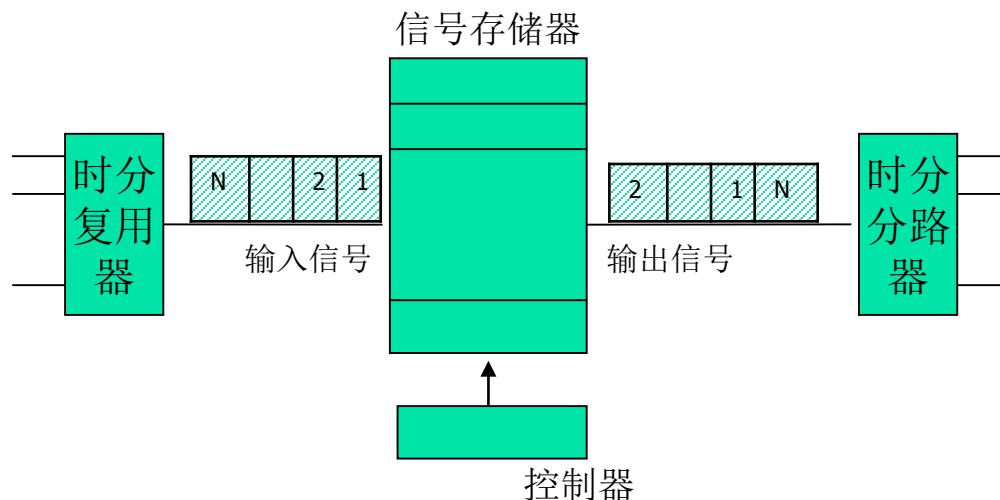
- 信号存储器
- 控制器

■ 工作方式

- 入线缓冲，控制读出
- 出线缓冲，控制写入

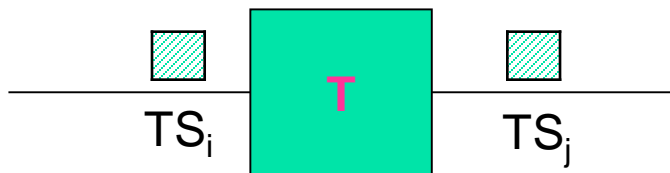
■ 特性

- 时分交换单元，适用于三类时分复用信号
- 延迟时间不均匀
- 可以实现同发与广播
- 存储容量足够大时，无内部阻塞
- 容量受到信号存储器工作速度和控制器工作速度的限制

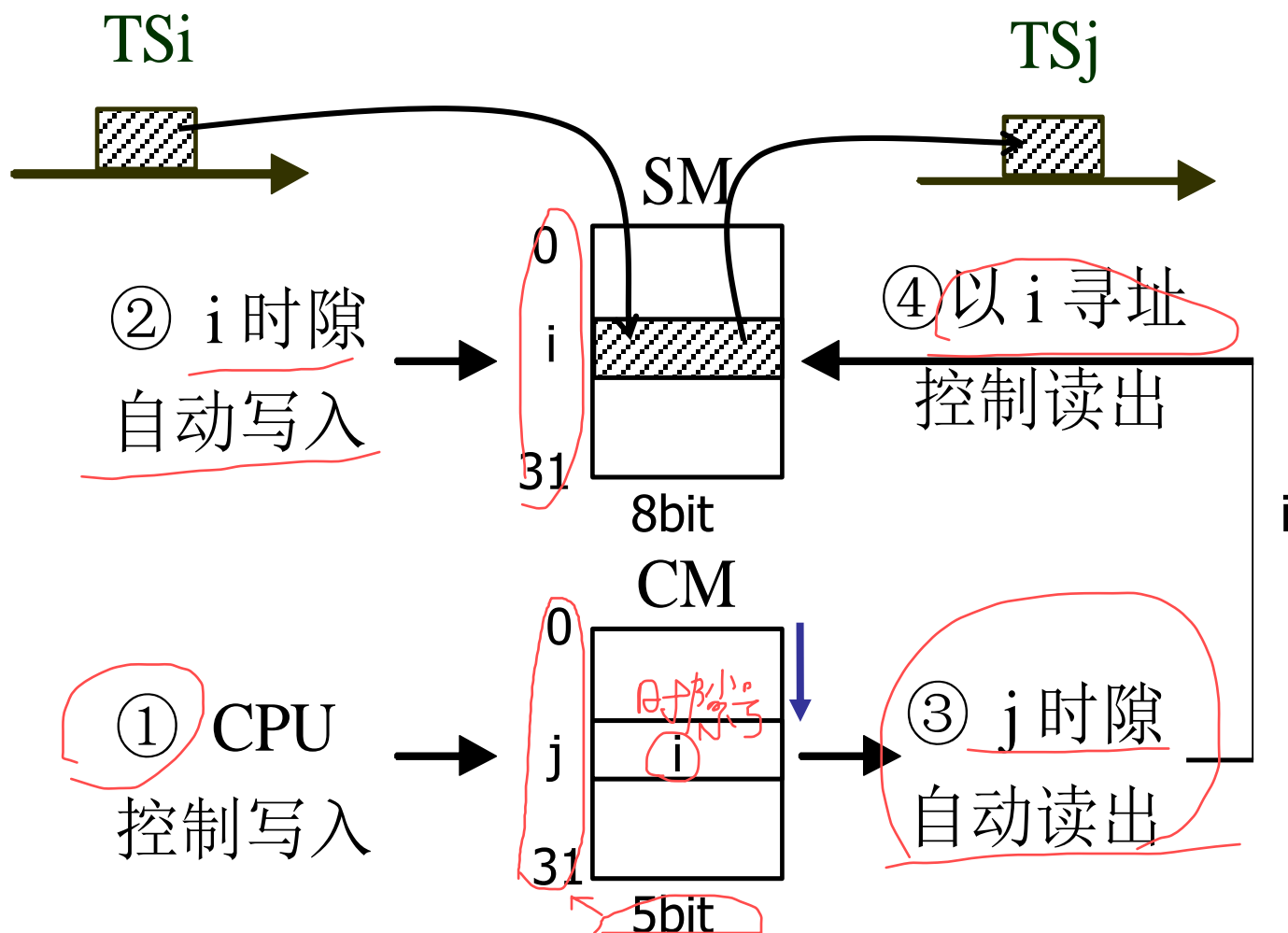


2 各类交换单元--共享存储器结构—同步时分复用

- 时间(T)接线器
 - 实现一条母线上的时隙交换
 - 由话音存储器、控制存储器和控制电路组成
 - 控制方式分为：输出控制和输入控制



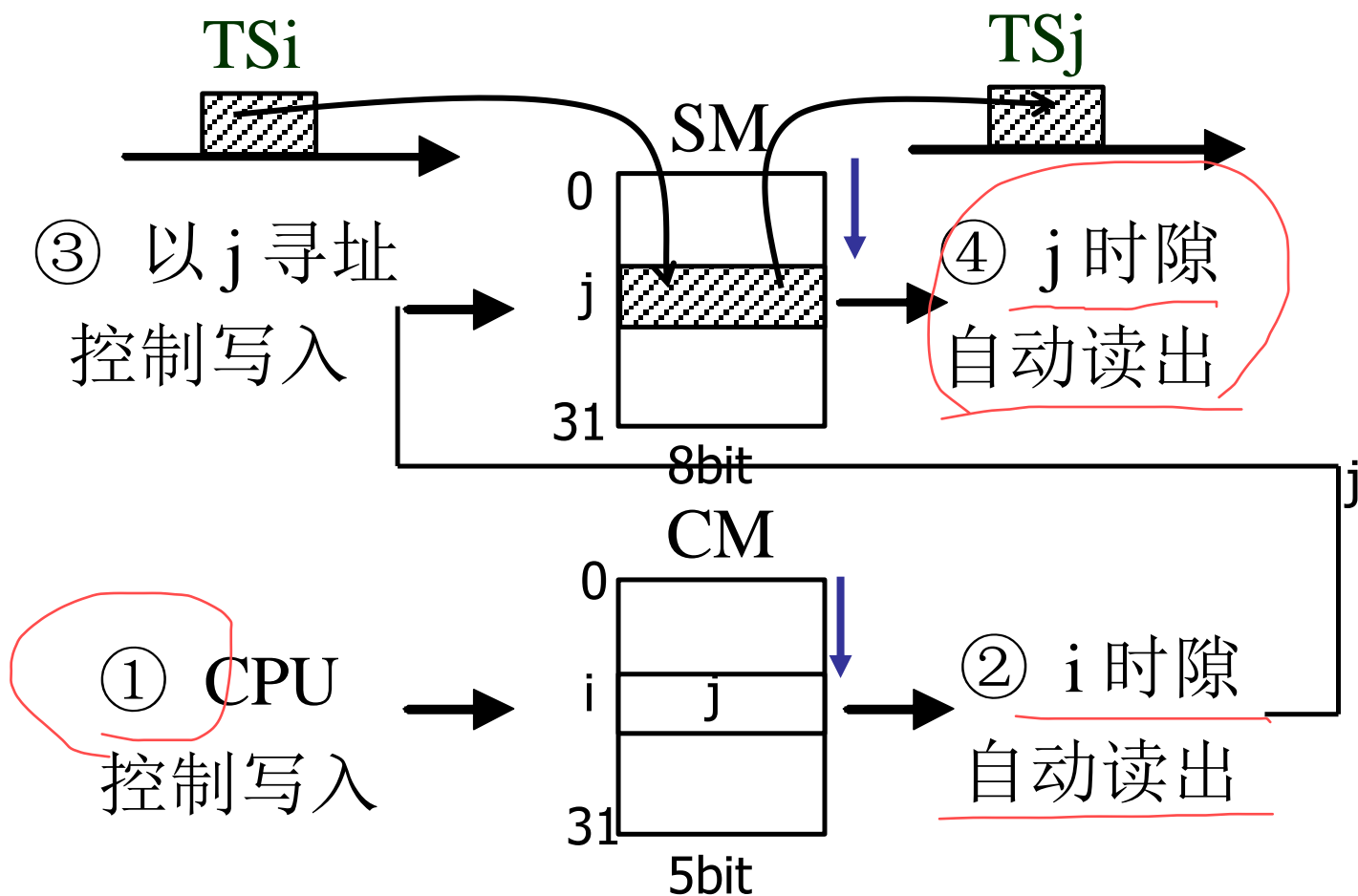
- 时间(T)接线器—输出控制
 - 话音存储器SM 顺序写入, 控制读出
 - 控制存储器CM 控制写入, 顺序读出



■ 时间(T)接线器—输入控制

- 话音存储器SM 控制写入，顺序读出
- 控制存储器CM 控制写入，顺序读出

相同点：都是j时隙自动读出





2 各类交换单元--共享存储器结构—同步时分复用

- 时间(T)接线器
 - 上一帧的信息会来不及取走，丢失吗？

2 各类交换单元--共享存储器结构—同步时分复用

■ 时间(T)接线器的特点

- 以空间位置的划分实现时隙交换
- **SM**划分为**N**个区域，每个区域一个字节，存放一个话音数据。各个区域间不共享，各个区域内无排队缓冲。
- 交换的控制过程由硬件**CM**实现，速度快。
- 交换时延小，且稳定。
- 严格无阻塞。
- 可避免出线冲突。
- 易于实现同发和广播。
- 带宽（速率）固定为**64kb/s**。

2 各类交换单元--共享存储器结构—同步时分复用

- 时间(T)接线器的工作原理
 - 建立连接
 - 前半周期写入 后半周期读出 写控存持续**125μS**
 - 拆除连接
 - 接静音
 - 如果**TS1** 和**TS2** 用户通话一分钟，交换次数**48**万次？

$$\frac{8000}{1} \times 60 \times 60 = 2880000$$

14秒

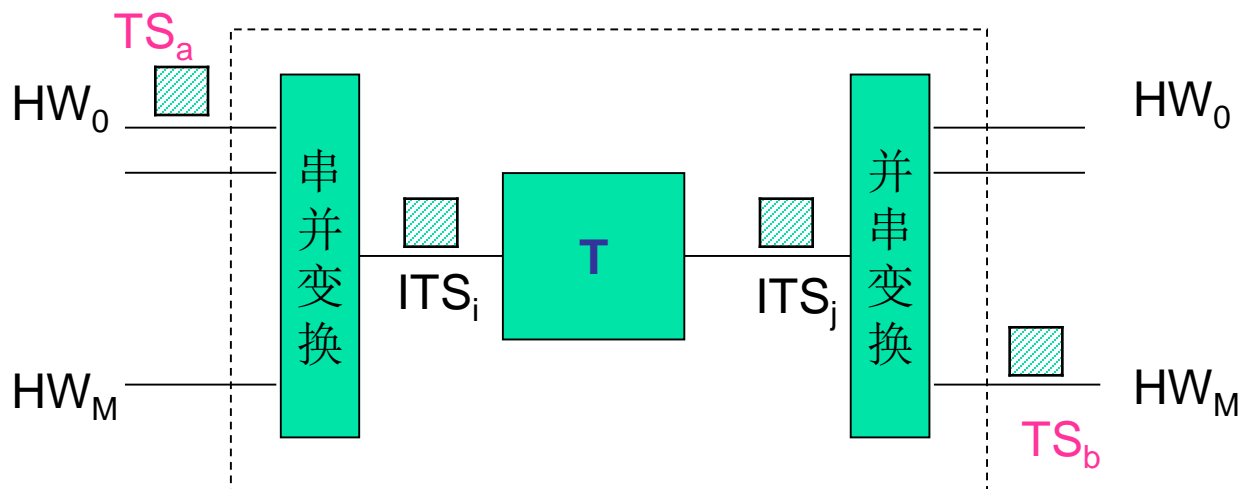


2 各类交换单元--共享存储器结构—同步时分复用

- 时间(T)接线器的工作原理
 - 建立连接
 - 前半周期写入 后半周期读出 写控存持续**125μS**
 - 拆除连接
 - 接静音
 - 如果**TS1** 和**TS2** 用户通话一分钟，交换次数 **48 万次**?

2 各类交换单元--共享存储器结构—同步时分复用

- 时间(T)接线器的扩展
 - 多个PCM基群
 - 内部时隙号与外部时隙号的换算
 - HW_i TS_j 的ITS号 = TS号_j * HW线总数 m + HW号 i





2 各类交换单元--共享存储器结构

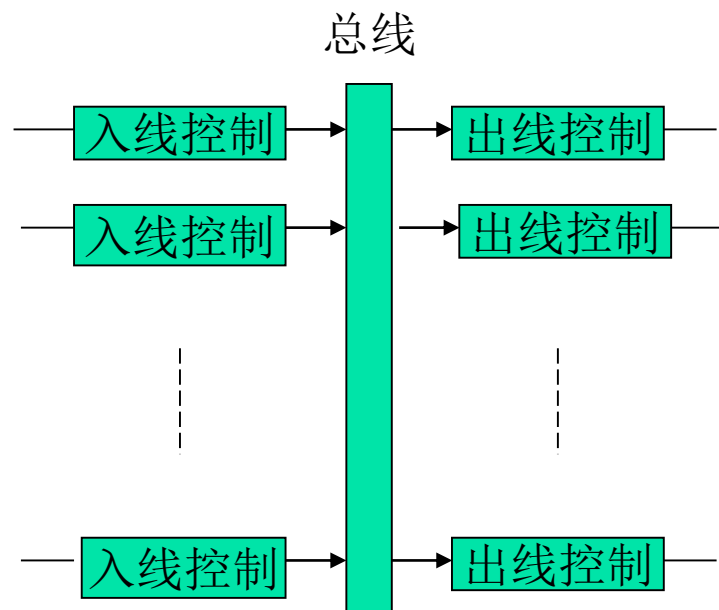
统计时分复用

异步时分复用

ATM

2 各类交换单元—总线型

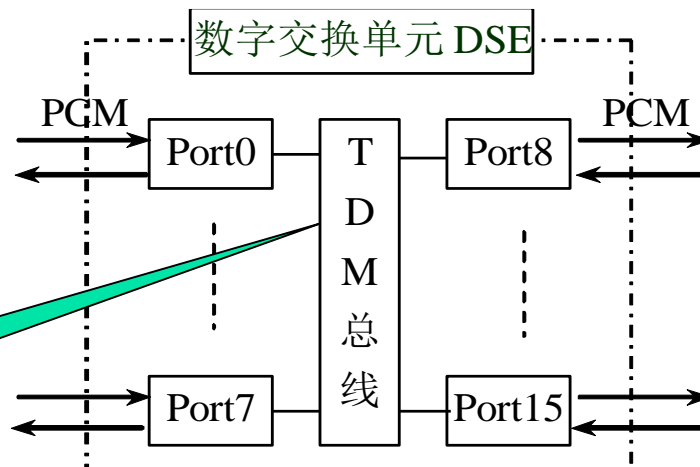
- 基本结构
 - 总线、入线控制部分、出线控制部分
- 工作方式（总线控制权的分配）
 - 时隙分配
 - 固定时隙分配
 - 按需时隙分配
 - 令牌法
 - 冲突检测
- 特性
 - 易于实现广播
 - 有时延，不同工作方式时延有差别
 - 交换速度与总线宽度有关
 - 受总线上速率的限制，不能构造大规模的交换单元



2 各类交换单元—总线型

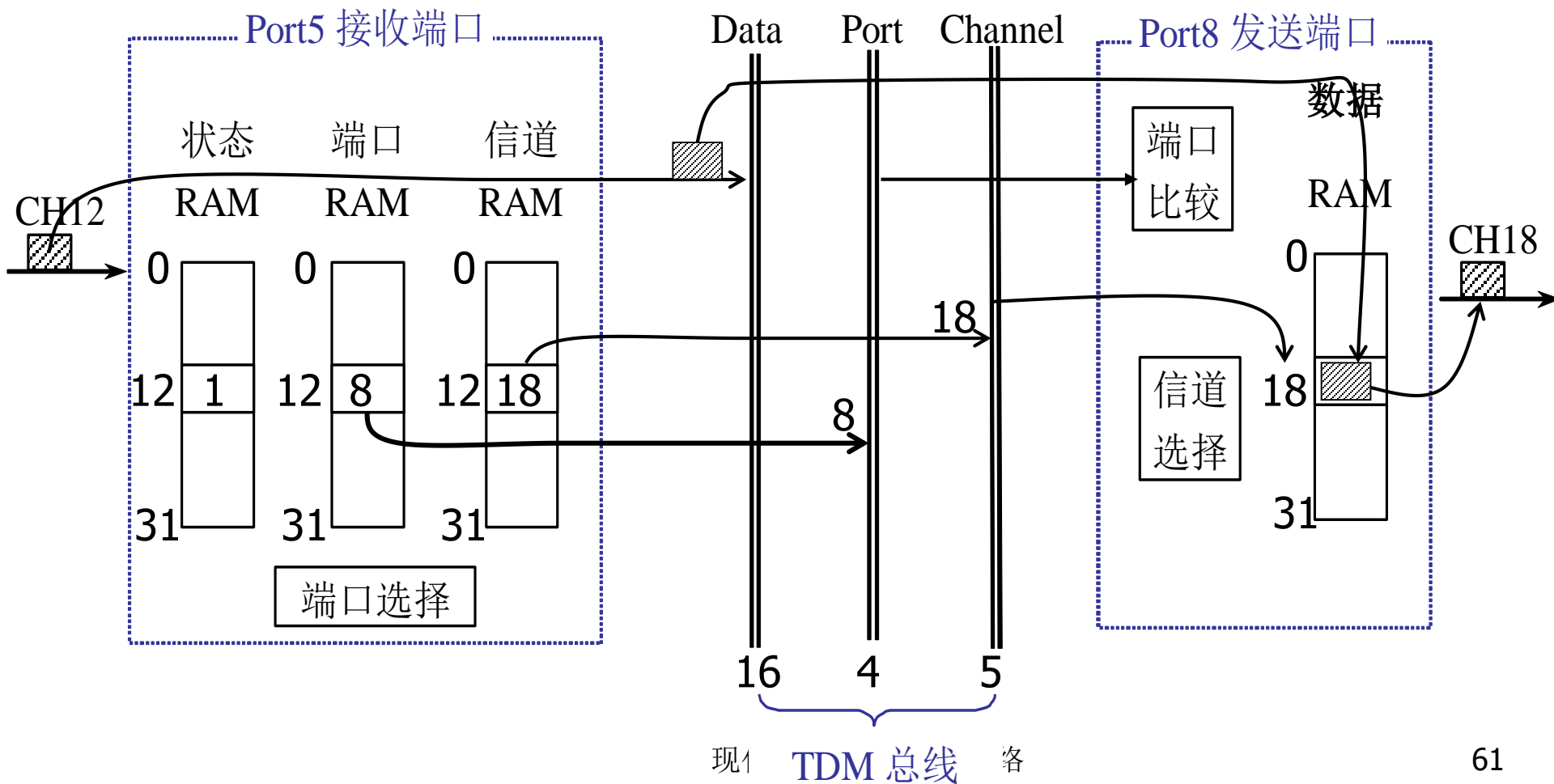
- 数字交换单元DSE
 - 16个端口 $16 \times 32 = 512$ 512×512 交换单元。
 - 时钟 $4\text{Mb/s} \times 16$
 - 16个端口时分复用TDM总线，即在每个信道时隙Chi内（ $3.9\mu\text{s}$ ）16个端口分时占用1/16的时间。
 - 总线宽度39
 - 数据总线16
 - 端口地址总线4
 - 信道地址总线5
 - 控制总线14

固定时间片
分配



125us/帧
32CHs/帧
16bits/CH

数字交换单元DSE 交换过程





2 各类交换单元----比较

- 基本开关阵列
 - 共享存储器结构
 - 总线型
- } 空分交换
- } 时分交换

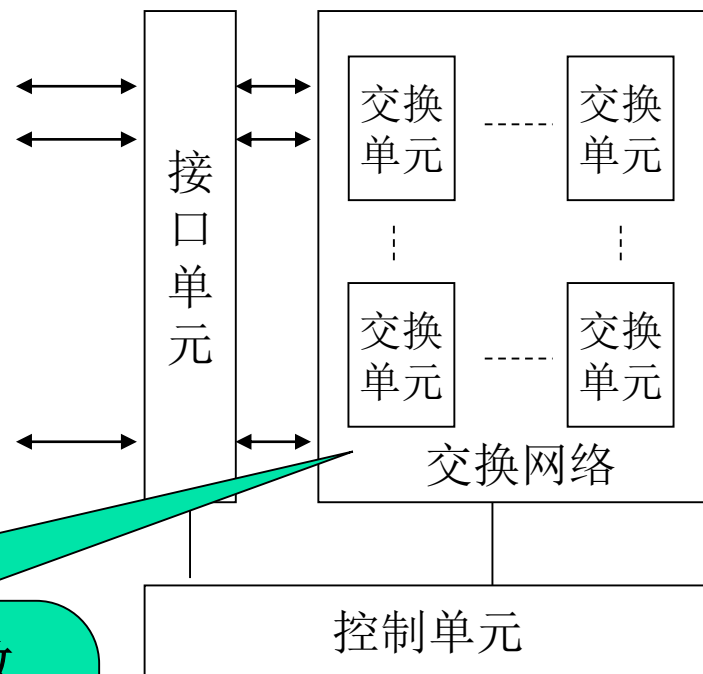


2 各类交换单元---课后思考题

- 对于共享存贮器结构的交换单元，当采用不同的时分复用技术时，信号存贮器在设计上有何不同？会影响到交换单元的哪些特性？
- 对于共享总线结构的交换单元，三种总线控制权分配方法会影响到交换单元的哪些特性？
- 比较基本开关阵列、共享存储器结构、总线型这三类交换单元的工作原理和特性，并搜集使用不同交换单元实现的交换设备实例。

3 交换网络

- 交换网络
 - CLOS网络
 - BENES
 - TST
 - BANYAN网络
 - DSN



多级交换网络的拓扑结构可用三个参数来说明：

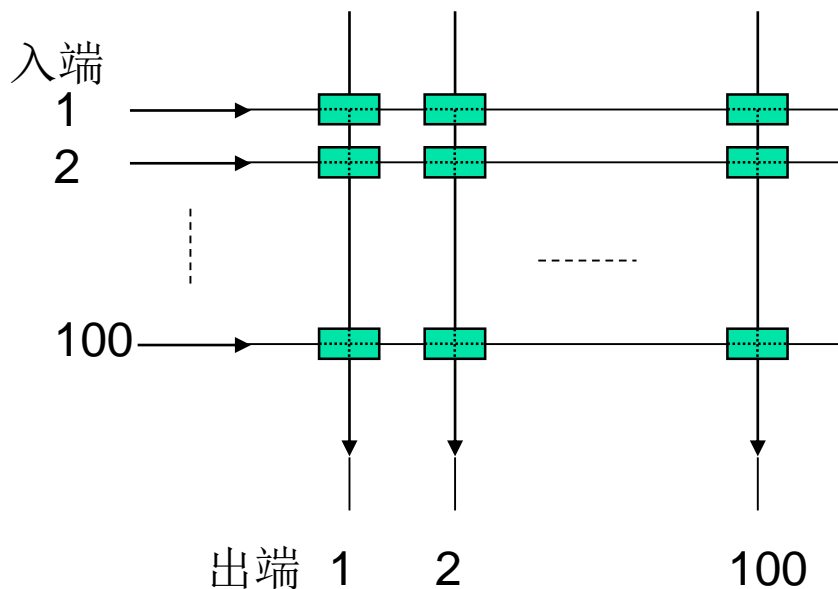
每个交换单元的容量
交换单元的级数
交换单元间的连接通路（链路）

3 交换网络

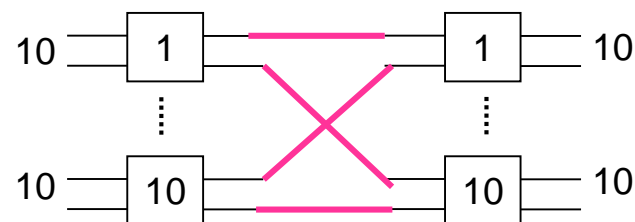
- 交换网络

- 多级网络

- 相同容量的多级网络比单级网络的交叉点数量减少



上图为采用基本开关阵列构造的100*100 交换网络



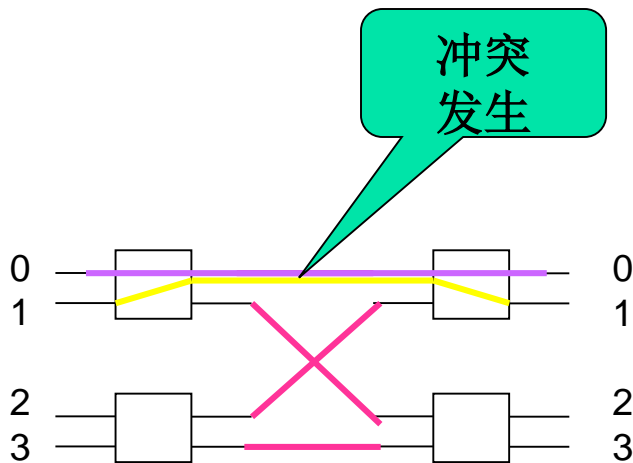
上图为采用二级级连方式构造的100*100 交换网络

3 交换网络

- 交换网络

- 多级网络

- 相同容量的多级网络比单级网络的交叉点数量减少



内部阻塞!

由于入线找不到交换网络的空闲内部通道而不能到达空闲的出线，叫做交换网络的‘内部阻塞’



3 交换网络

- 交换网络

- 多级网络

- 相同容量的多级网络比单级网络的交叉点数量减少

- 无阻塞网络

- 严格无阻塞网络

- 只要入端与出端空闲时，就可以通过交换网络建立一个连接

- 可重排无阻塞网络

- 只要入端与出端空闲时，通过对已有连接的重排，就可以通过交换网络建立一个连接

- 广义无阻塞网络

- 一个给定的网络存在着固有的阻塞可能，但又可能存在着一一种精巧的选路方法，使得所有的阻塞均可避免，而不必重新安排网络中已建立起来的连接

3 交换网络

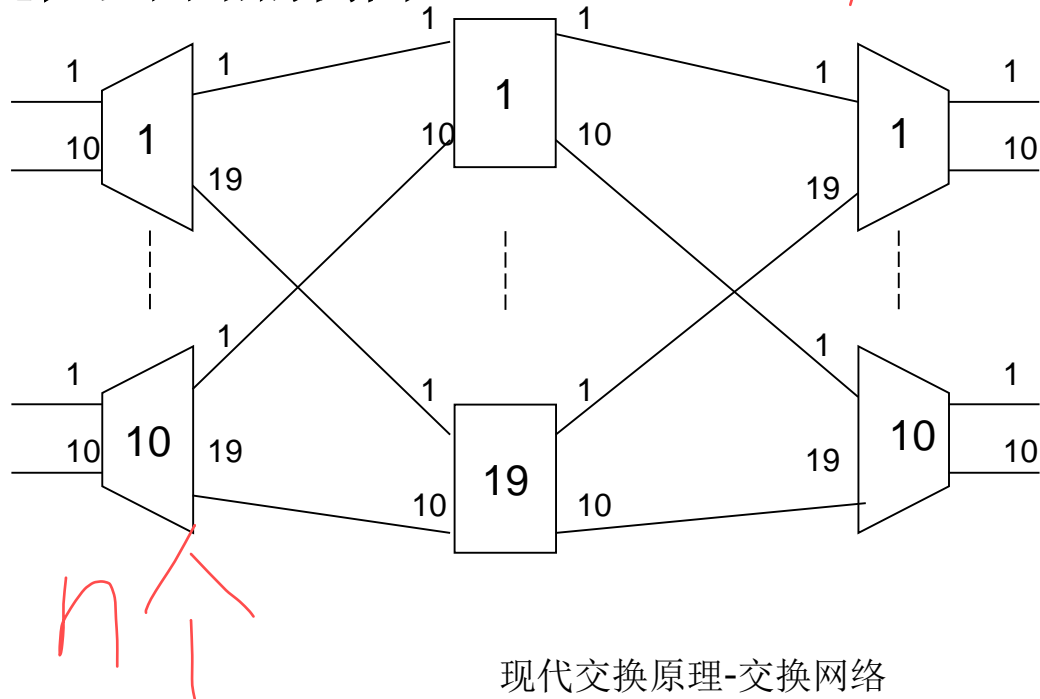
- 交换网络

- 多级网络

- 相同容量的多级网络比单级网络的交叉点数量减少

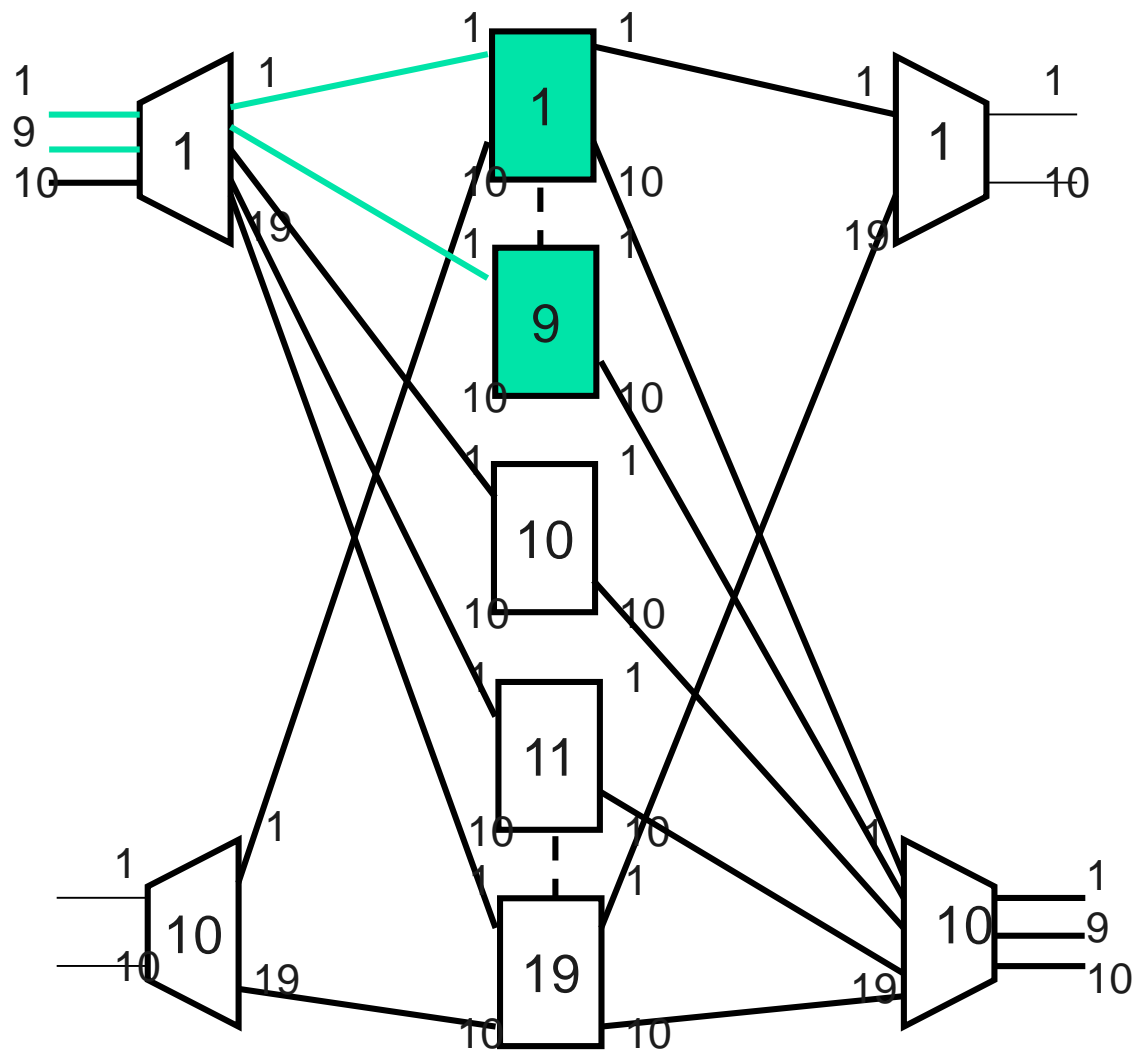
- 无阻塞网络

- 无阻塞网络的例图



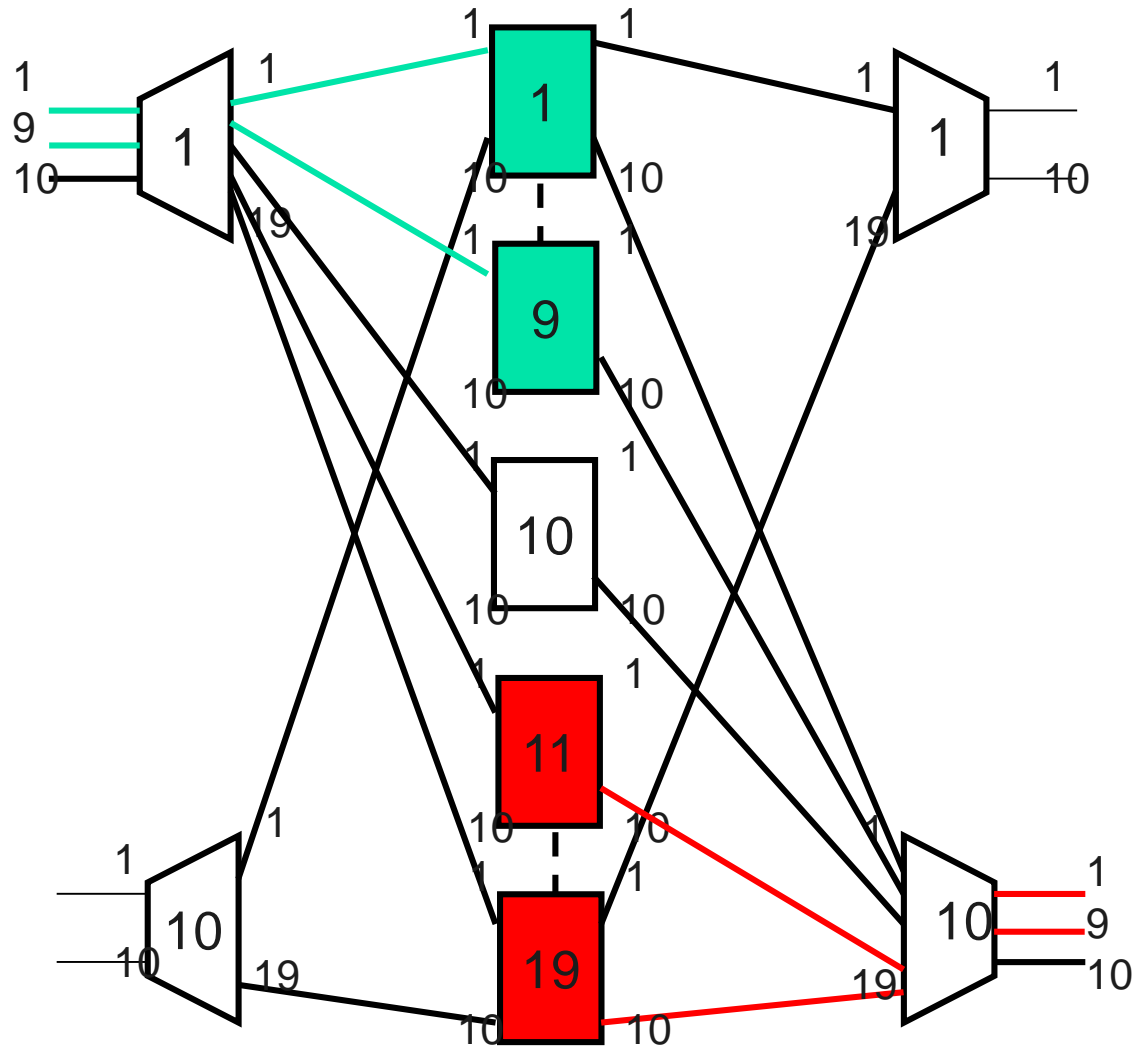
极限情况

- 入口级I的**9**条入线都连接，占用**9**个中间级的**9**条入线I



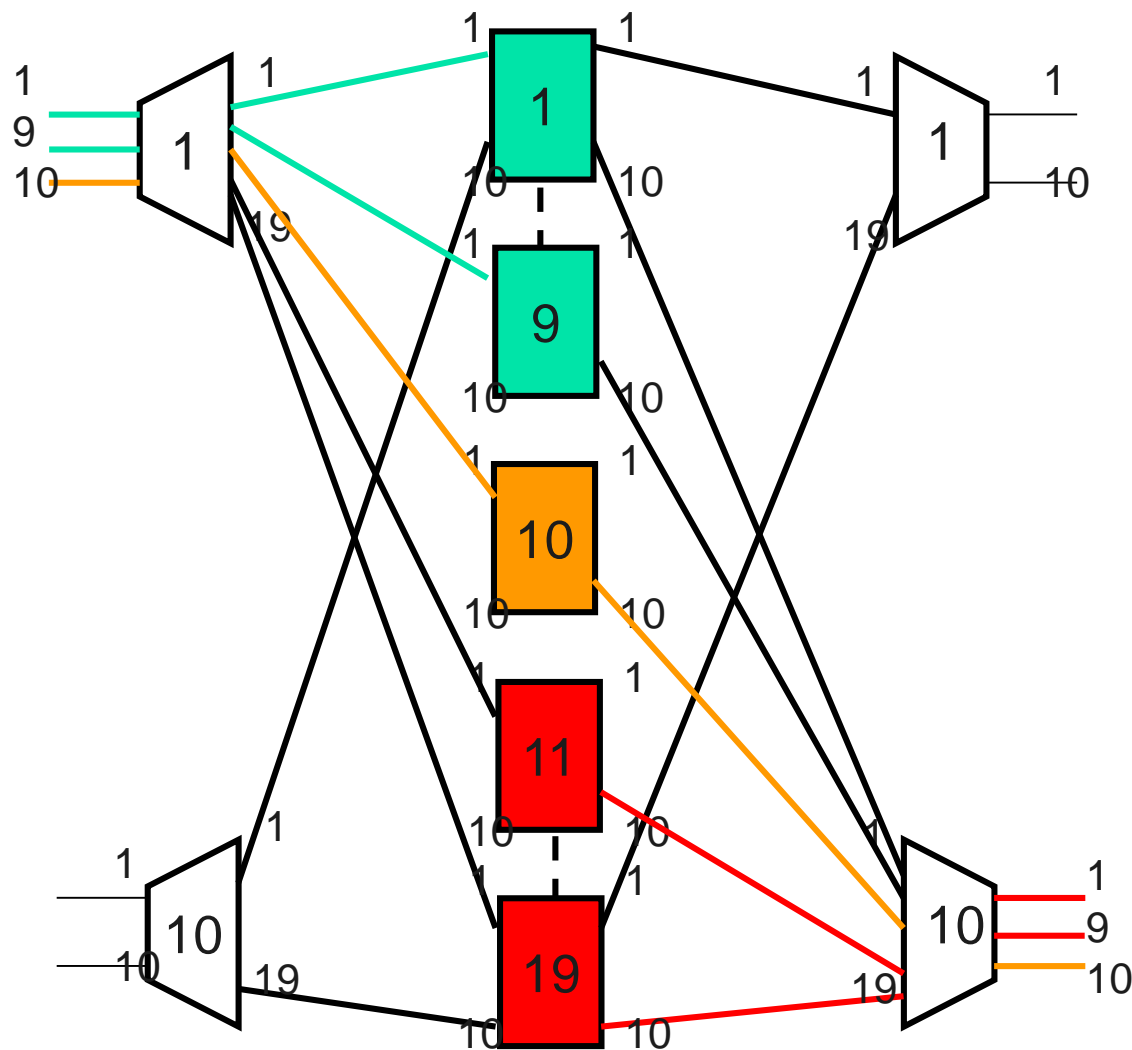
极限情况

- 入口级**I**的**9**条入线都连接，占用**9**个中间级的**9**条入线**I**
- 出口级**J**的**9**条出线都连接，占用**另9**个中间级的**9**条出线**J**

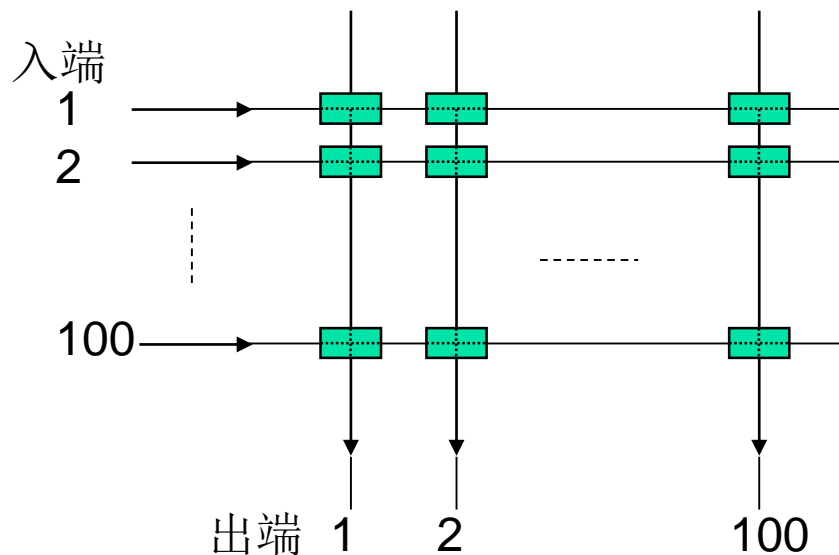


极限情况

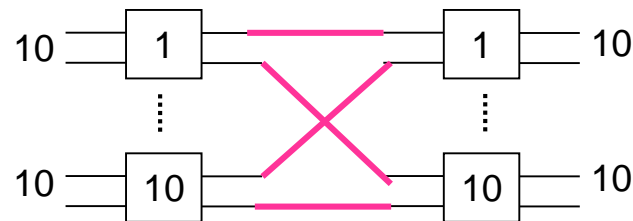
- 入口级**I**的**9**条入线都连接，占用**9**个中间级的**9**条入线**I**
- 出口级**J**的**9**条出线都连接，占用**另9**个中间级的**9**条出线**J**
- 入口级**I**的**10**号入线<->出口级**J**的**10**号出线



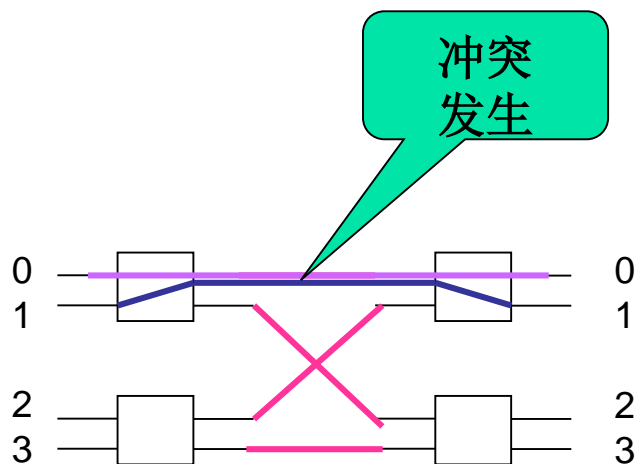
结论：增加级数，可以消除阻塞



采用基本开关阵列构造的100*100 交换网络

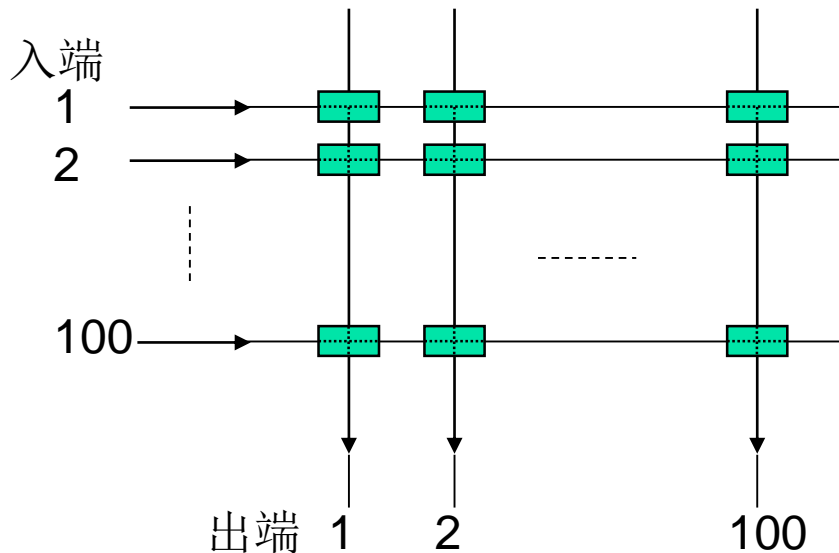


采用二级级连方式构造的100*100 交换网络

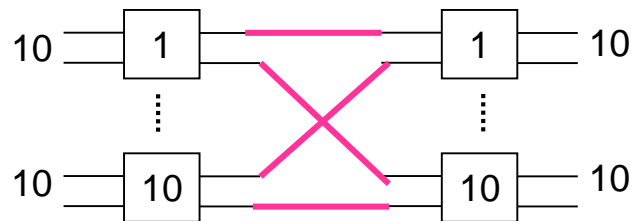


内部阻塞！

由于入线找不到交换网络的空闲内部通道而不能到达空闲的出线，叫做交换网络的‘内部阻塞’



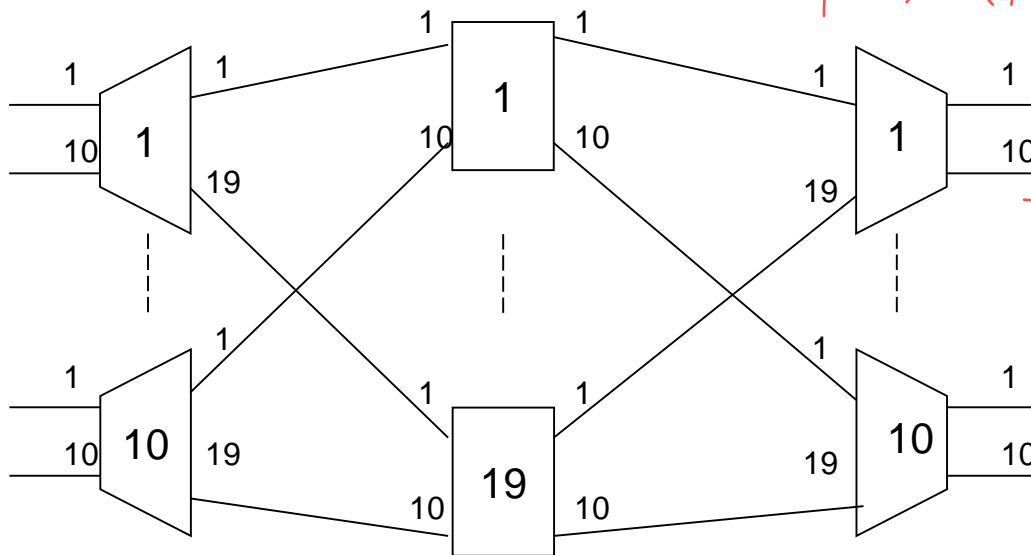
采用基本开关阵列构造的100*100 交换网络
需要开关个数10000，无内部阻塞



采用二级级连方式构造的100*100 交换网络
需要开关个数2000，有内部阻塞

20根连线需要4个开关，10000
根连线需要2000个开关

10x19x10x



采用三级级连方式构造的100*100 交换网络
需要开关个数5700，无内部阻塞

3 交换网络---CLOS网络

- K级互连网络

- 第k级 ($1 \leq k \leq K$) 有 r_k 个交换节点, 第j个节点表示为S (j, k), 假设同一级的各个交换节点具有相同的入线数和出线数, 则S (j, k)的入线数可记为 m_k 。出线数可记为 n_k 。

如果一个多级互连网络的每个交换节点都与下一级的 r_{k+1} 个交换节点有且只有一条连线, 则 $n_k = r_{k+1}$, $m_k = r_{k-1}$ 。

- CLOS网络

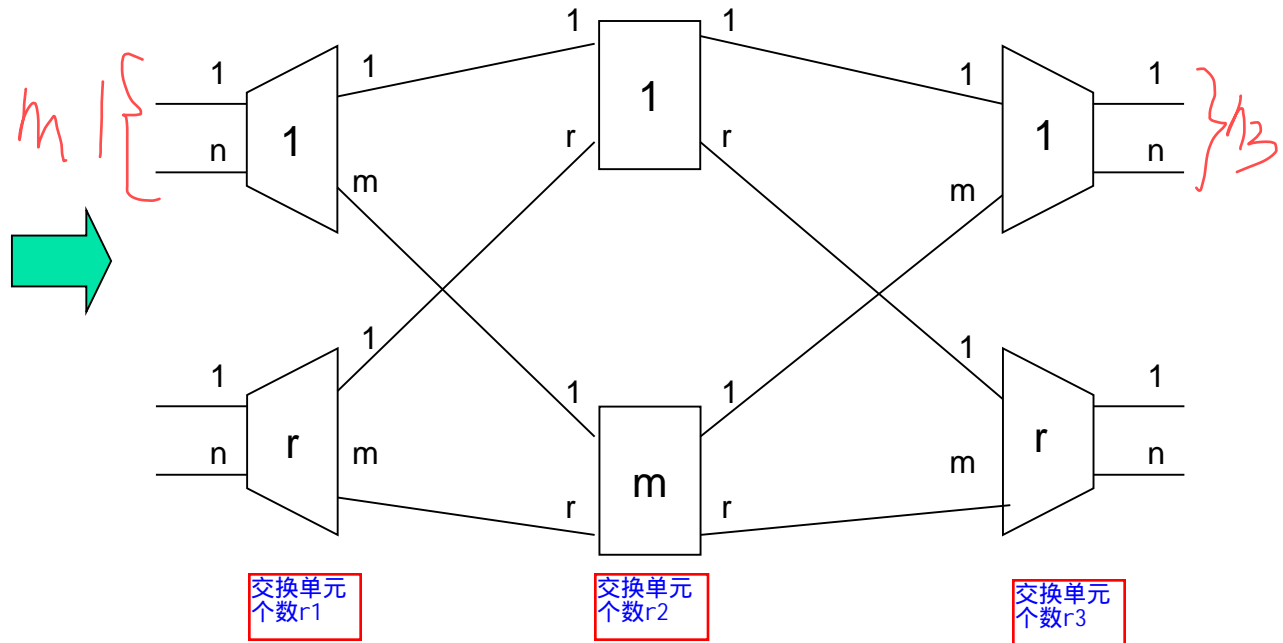
- 一个三级互连网络, 若满足: 三级交换节点数为 r_1 、 r_2 、 r_3 , 且 $n_1 = r_2$, $m_2 = r_1$, $n_2 = r_3$, $m_3 = r_2$, 则称为三级CLOS网络, 用五元组 $(m_1, n_3, r_1, r_2, r_3)$ 表示
- 既减少交叉开关数,又要做到无阻塞

3 交换网络---CLOS网络

■ CLOS网络

- 一个三级互连网络，若满足：三级交换节点数为 r_1 、 r_2 、 r_3 ，且 $n_1 = r_2$ ， $m_2 = r_1$ ， $n_2 = r_3$ ， $m_3 = r_2$ ，则称为三级CLOS网络，用五元组 $(m_1, n_3, r_1, r_2, r_3)$ 表示

$m_1 = n_3 = n$
 $r_1 = r_3$
对称CLOS网络



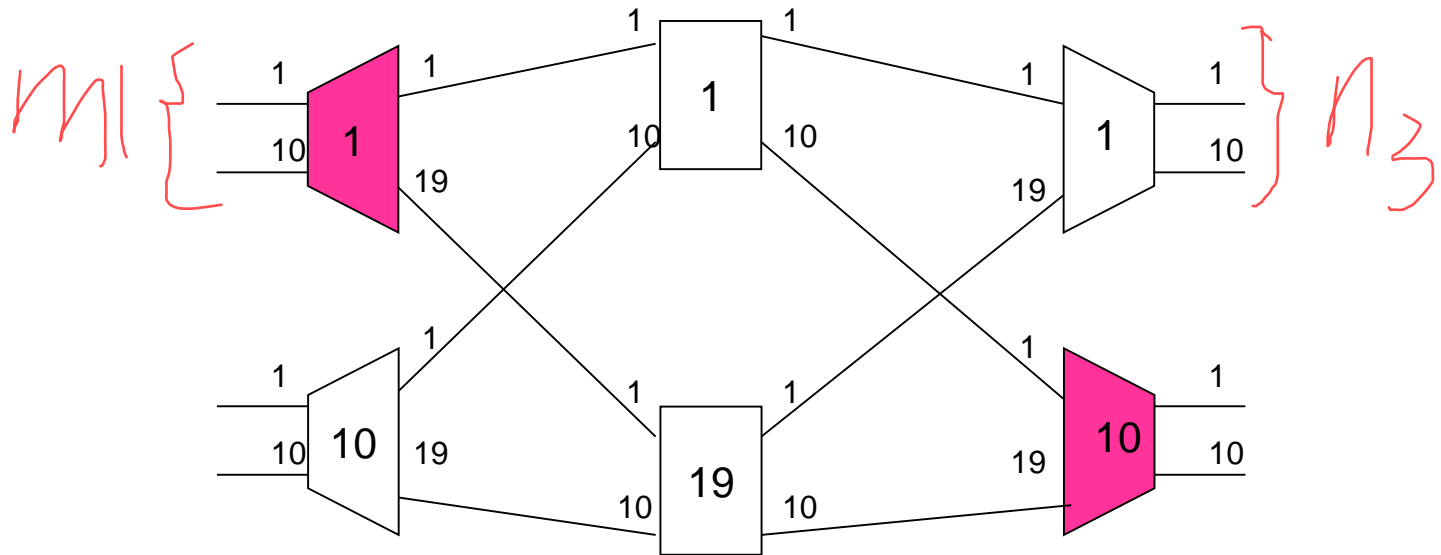
3 交换网络---CLOS网络

- CLOS网络 无阻塞条件

- ~~严格无阻塞条件~~

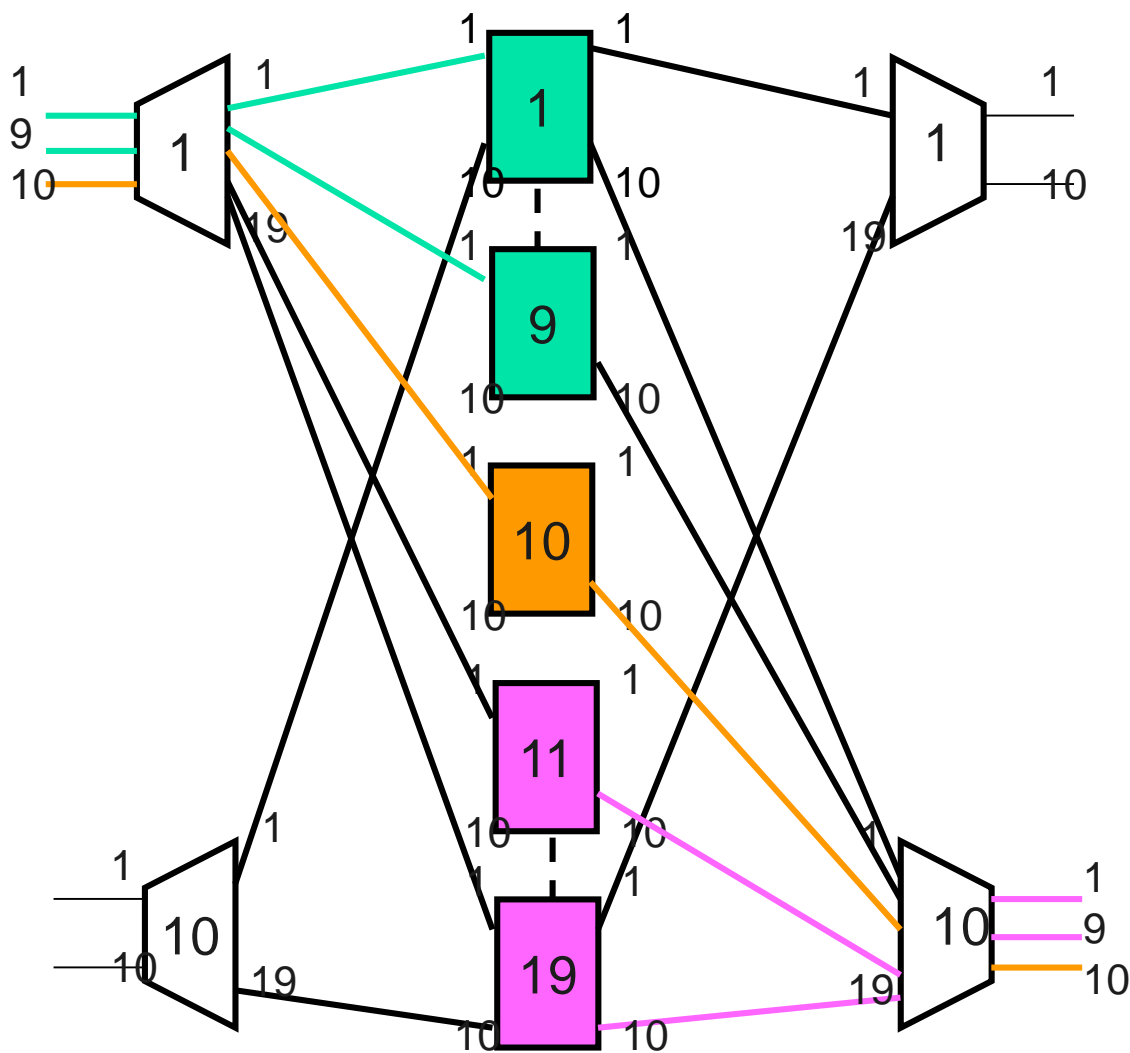
- 充要条件是: $r_2 \geq m_1 + n_3 - 1$

当网络对称, 即 $m_1 = n_3 = n$ 时, $r_2 \geq 2n - 1$



极限情况($r_2 \geq m_1 - 1 + n_3 - 1 + 1$)

- 入口级**I**的**9**条入线都连接，占用**9**个中间级的**9**条入线**I**
- 出口级**J**的**9**条出线都连接，占用**另9**个中间级的**9**条出线**J**
- 入口级**I**的**10**号入线<->出口级**J**的**10**号出线



3 交换网络---CLOS网络

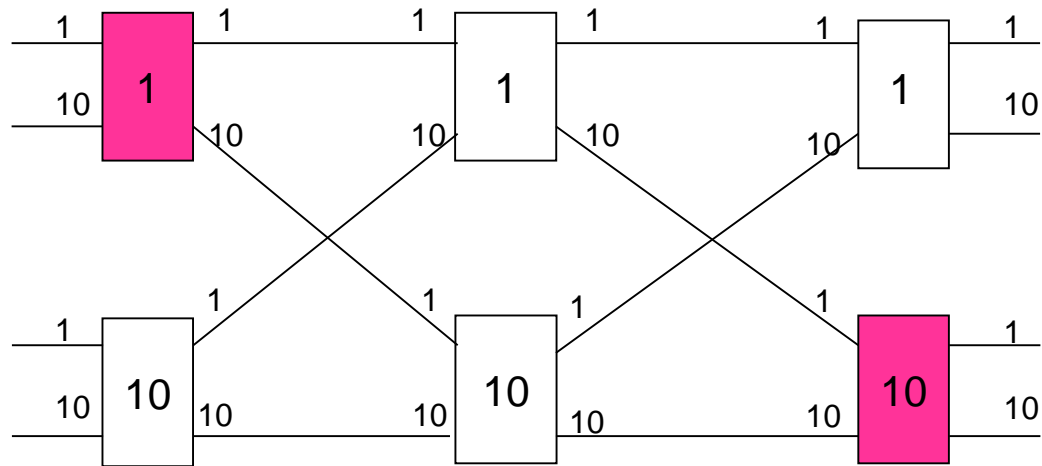
- CLOS网络 无阻塞条件

- 可重排无阻塞条件

- 充要条件是: $r_2 \geq \text{Max}(m_1, n_3)$

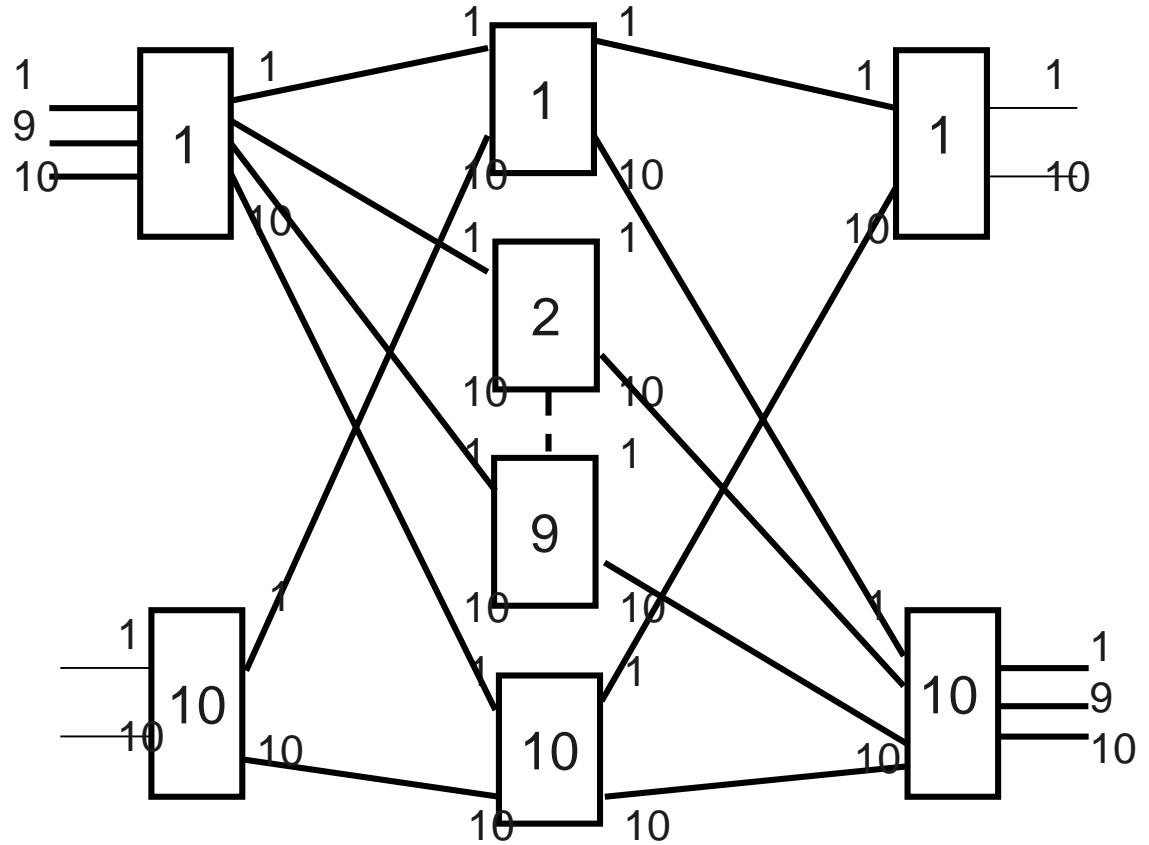
当网络对称, 即 $m_1 = n_3 = n$ 时, $r_2 \geq n$ 。

重排次数 $\leq r_1 + r_3 - 2$



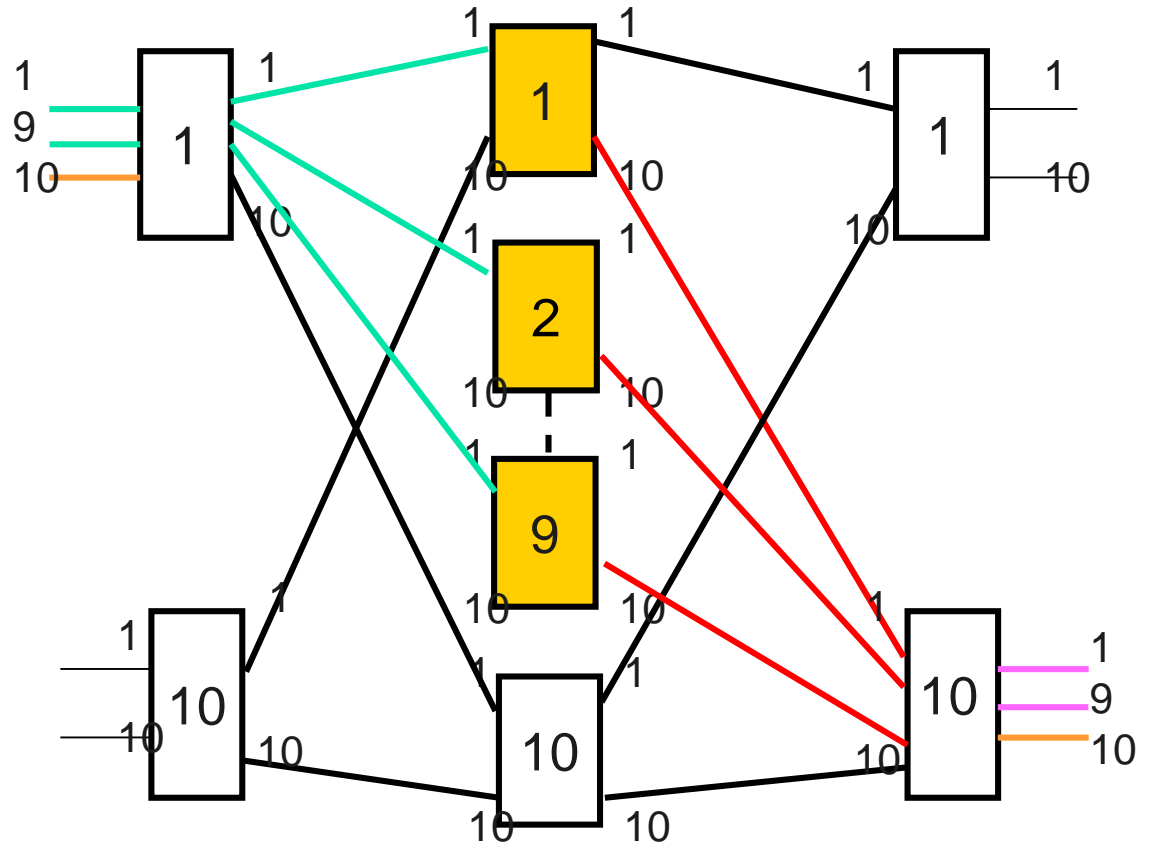
极限情况($r_2 \geq \text{Max}(m_1, n_3)$)

- 入口级I的**9**条入线都连接，占用**9**个中间级的**9**条入线I
- 出口级J的**9**条出线都连接，占用**同9**个中间级的**9**条出线J
- 入口级I的**10**号入线 \leftrightarrow 出口级J的**10**号出线



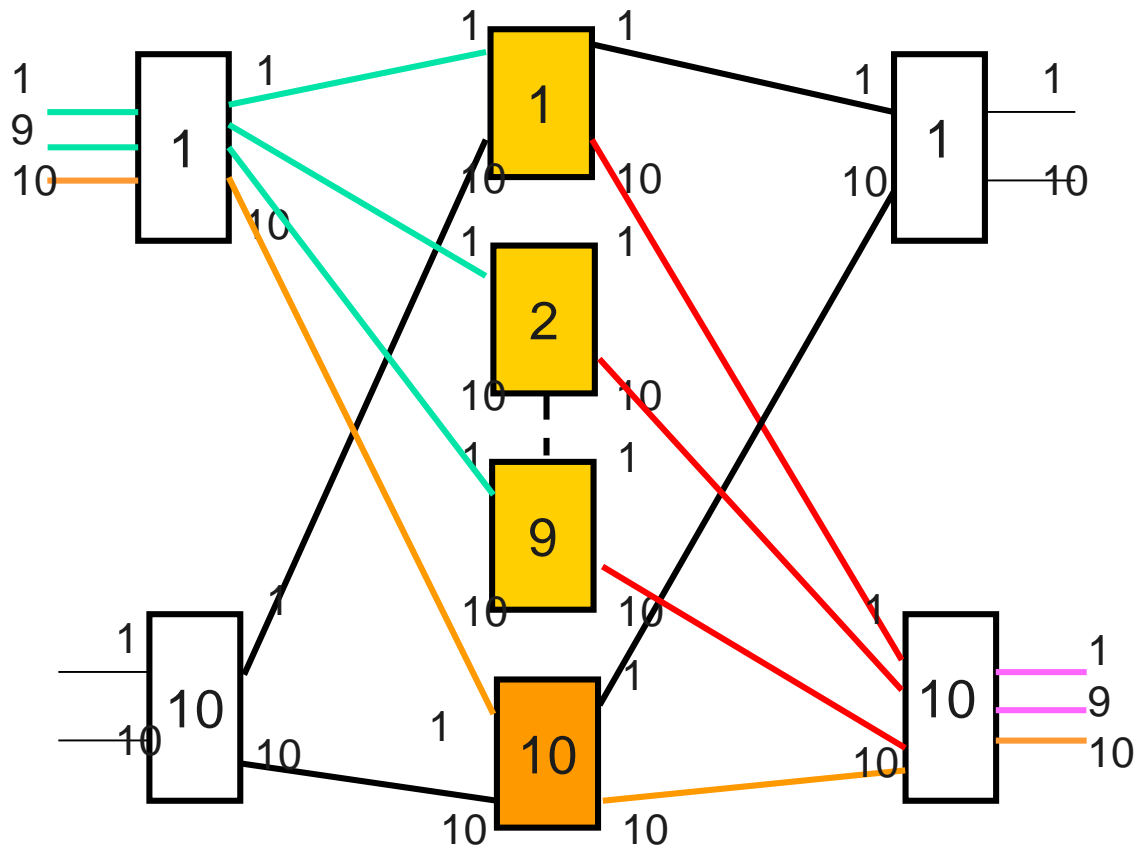
极限情况($r_2 \geq \text{Max}(m_1, n_3)$)

- 入口级I的**9**条入线都连接, 占用**9**个中间级的**9**条入线I
- 出口级J的**9**条出线都连接, 占用**同9**个中间级的**9**条出线J
- 入口级I的**10**号入线<->出口级J的**10**号出线



极限情况($r_2 \geq \text{Max}(m_1, n_3)$)

- 入口级I的**9**条入线都连接, 占用**9**个中间级的**9**条入线**I**
- 出口级J的**9**条出线都连接, 占用**同9**个中间级的**9**条出线**J**
- 入口级I的**10**号入线<->出口级J的**10**号出线





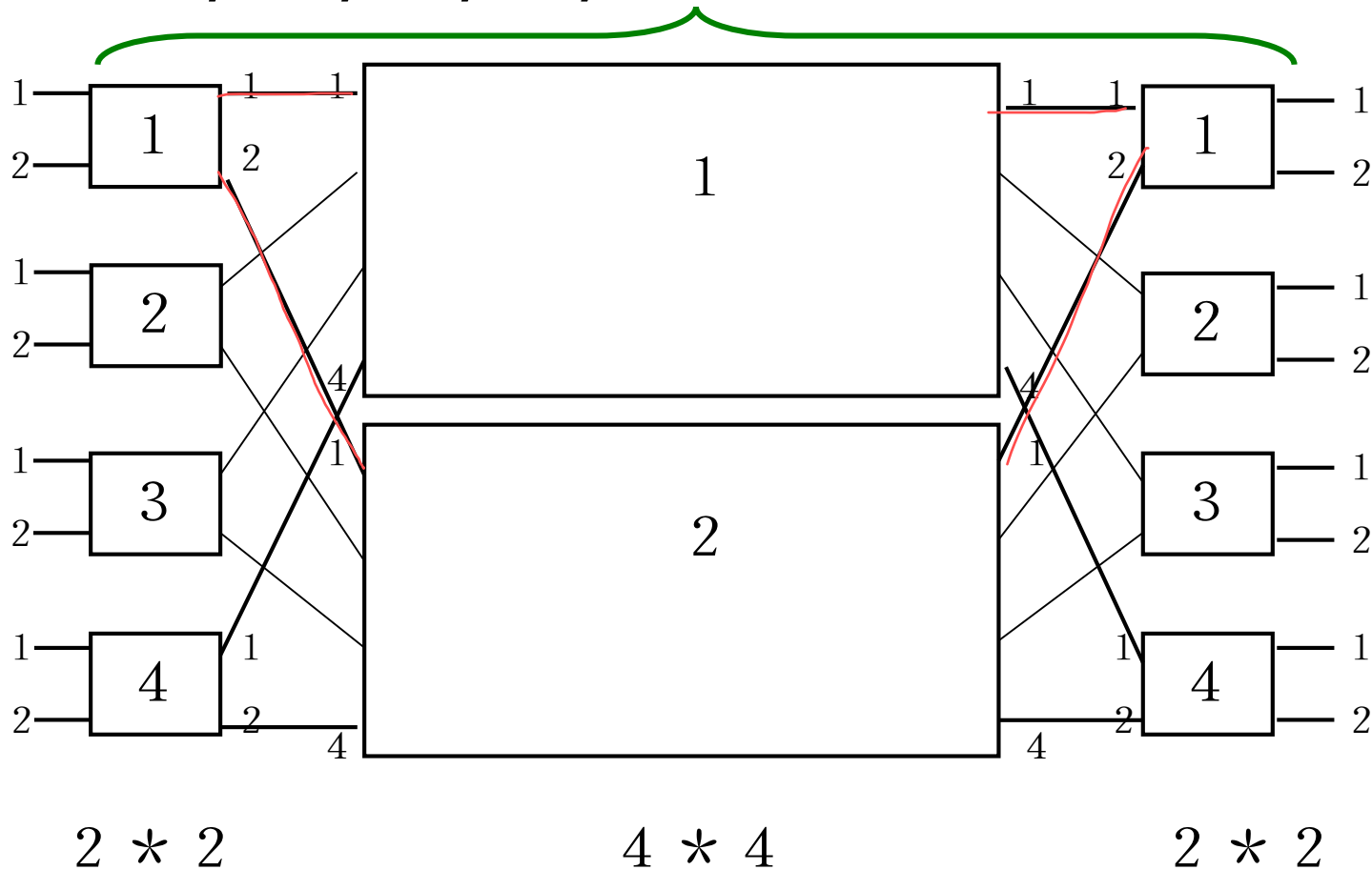
CLOS网络——递归构造

- 按照CLOS网络原则，可以构造3级无阻塞网络
 - 网络中的每一个交换单元又可以用CLOS网络实现
 - 举例：构造8*8的可重排无阻塞CLOS网络
-

8 * 8 可重排无阻塞网络的构造

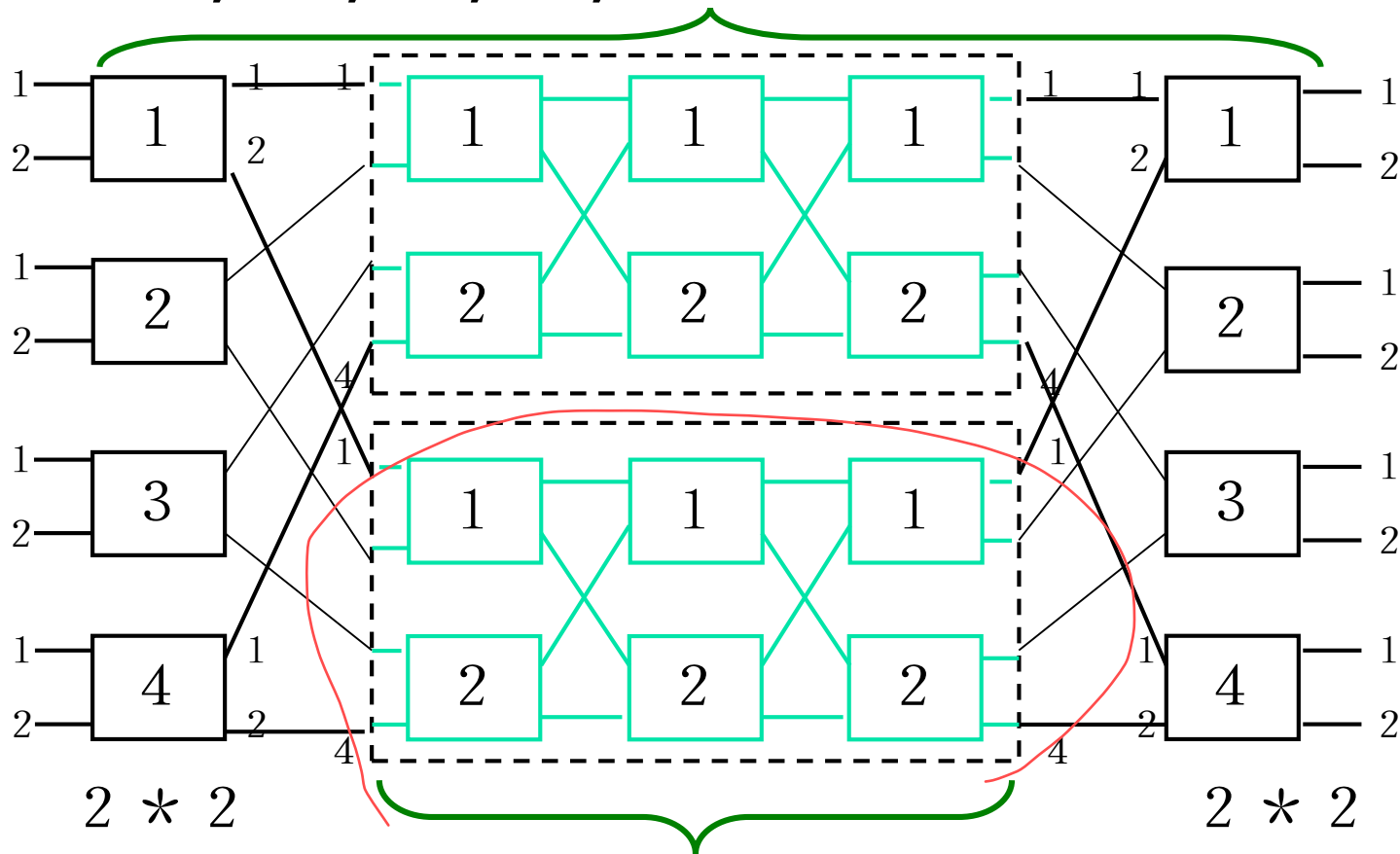
$$r_2 \rightarrow \max(m_1, n_3)$$

$$(m_1, n_3, r_1, r_2, r_3) = (2, 2, 4, 2, 4)$$



8 * 8 可重排无阻塞网络的构造

$$(m_1, n_3, r_1, r_2, r_3) = (2, 2, 4, 2, 4)$$



$$(m_1, n_3, r_1, r_2, r_3) = (2, 2, 2, 2, 2)$$

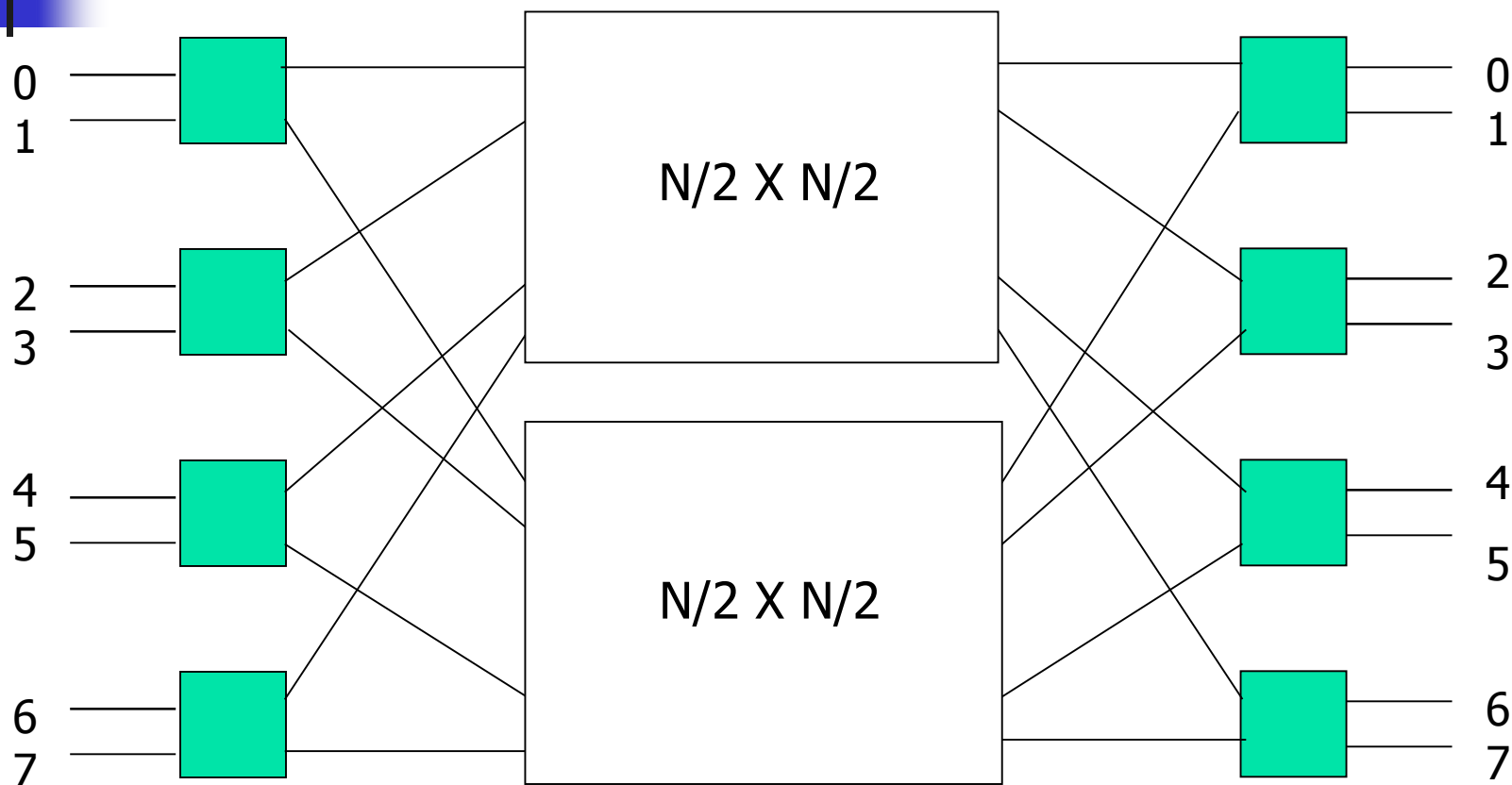
Benes 网络

3 交换网络---BENES网络

- benes网络是多通路网络，具有可重排无阻塞的特点。
- benes网络的构成有一定的规律。使用 2×2 交换单元来构成的 $N \times N$ benes网络的方法为：
 - 两侧各有 $N/2$ 个 2×2 交换单元，中间为两个 $N/2 \times N/2$ 的子网络，每个交换单元以一条链路连到每个子网络；再将中间子网络按上述方法继续分解，直到中间子网络就是 2×2 交换单元为止。

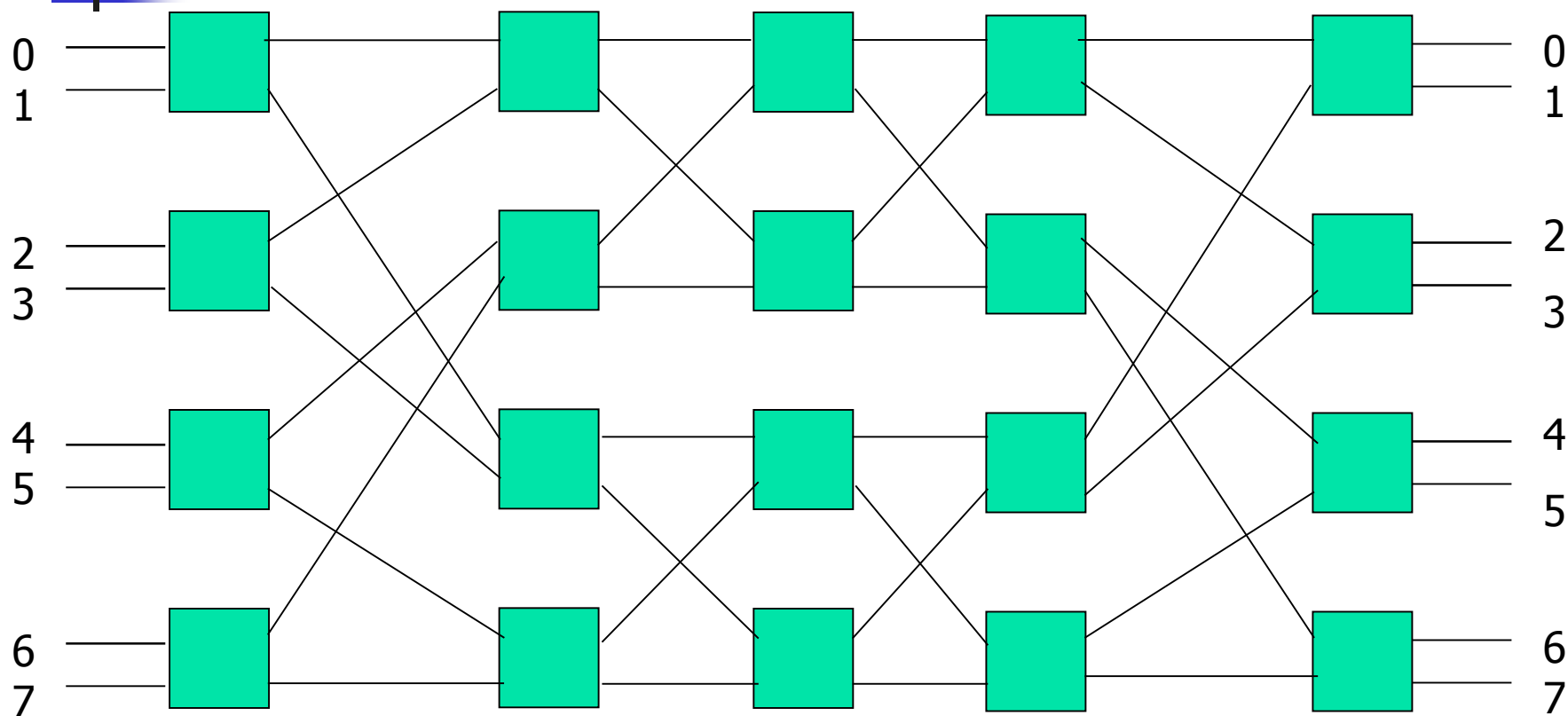
$$(2 \log_2 N) - 1$$

BENES 网络构成方法

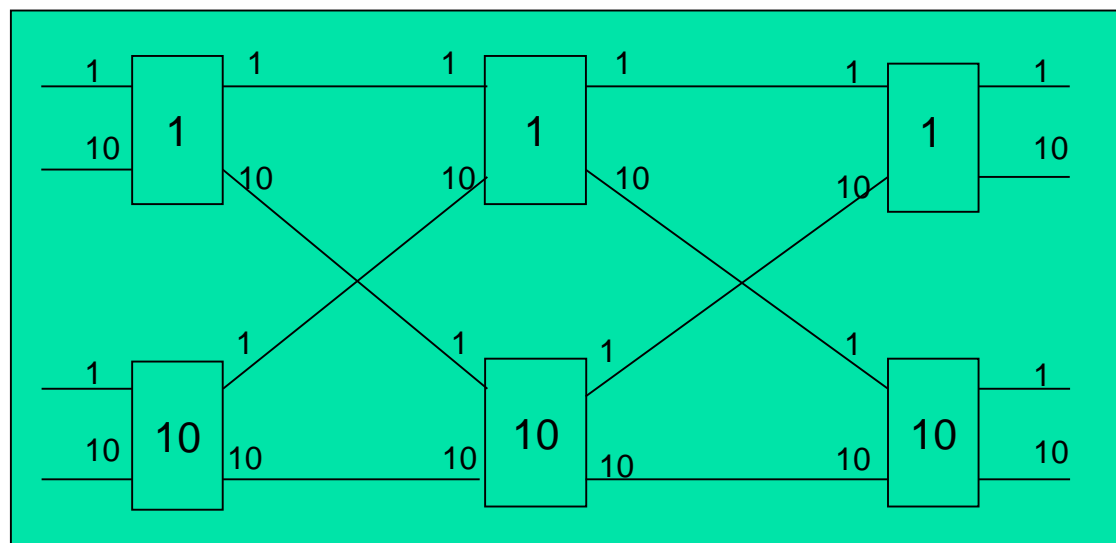
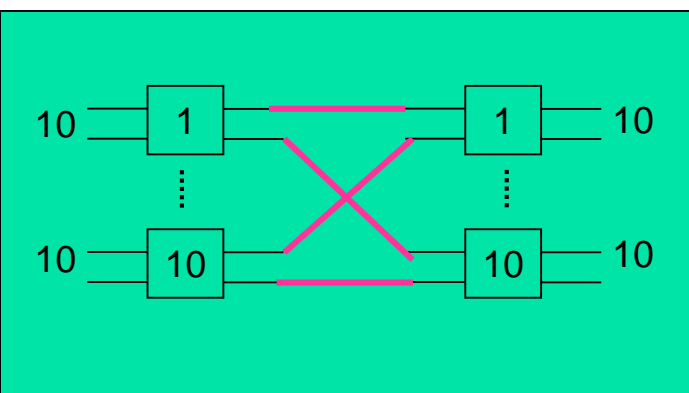
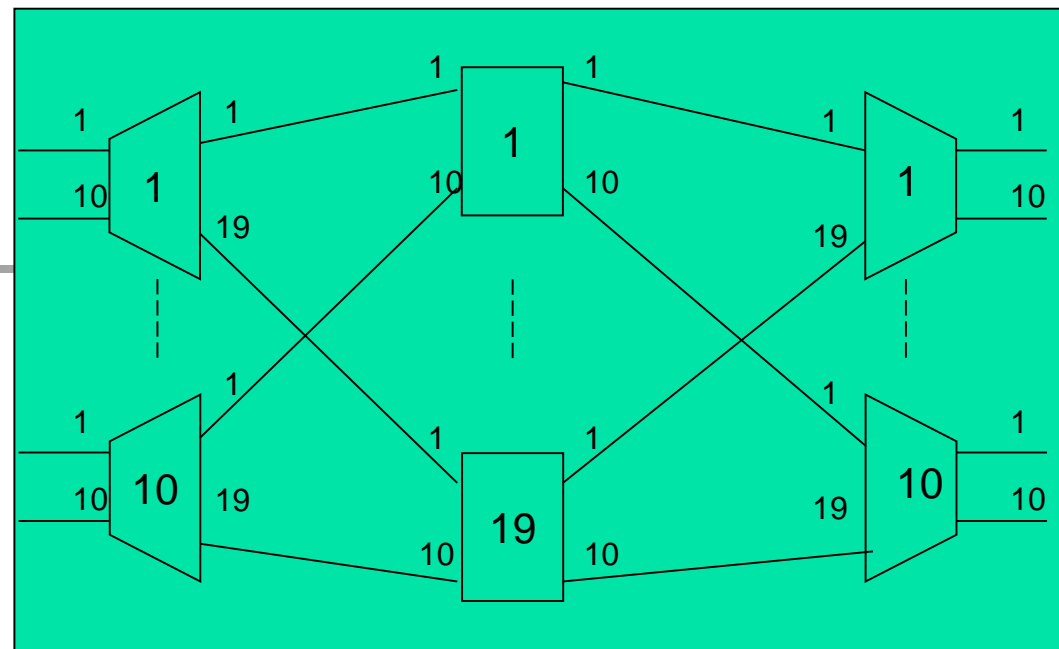
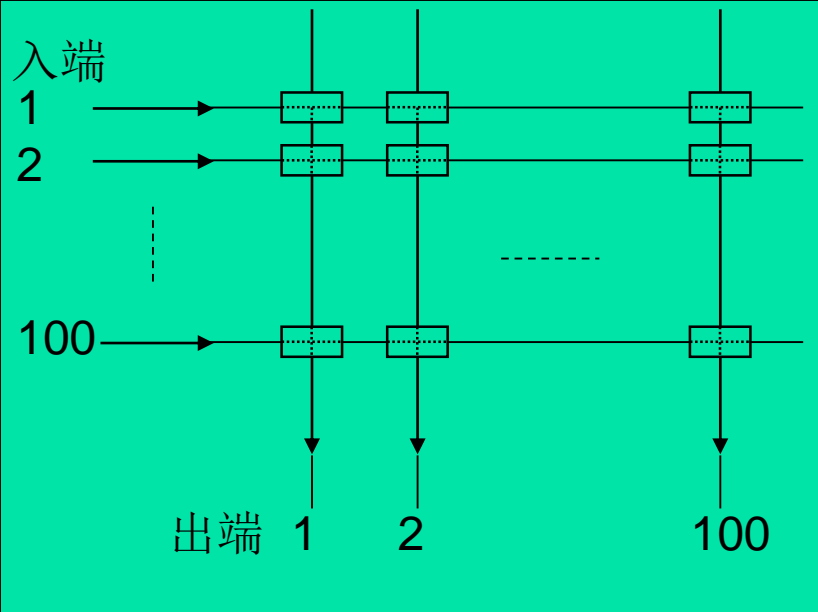


benes网络构成方法

8 X 8 BENES 网络



8 X 8 benes网络





作业

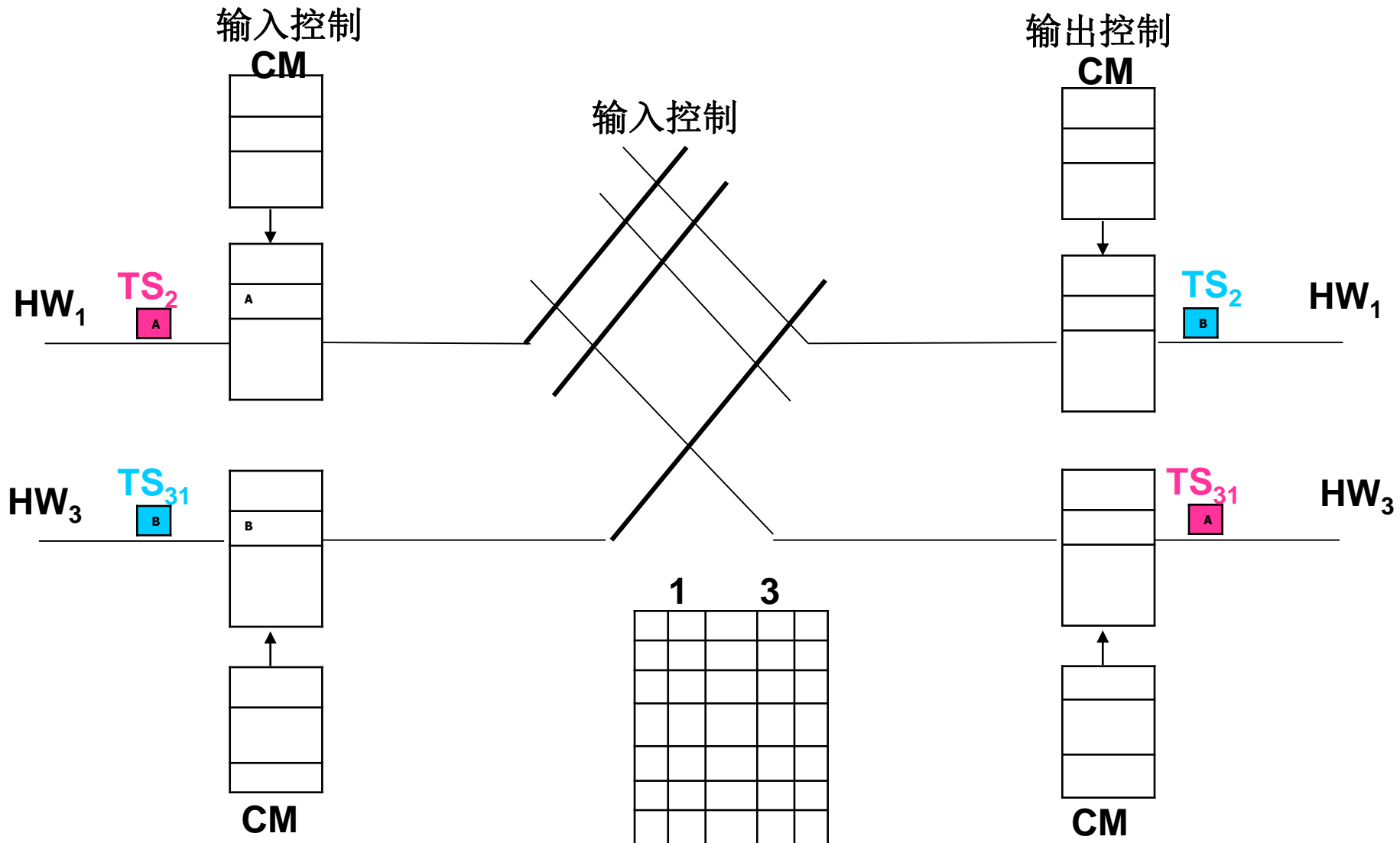
- 构造 256×256 的三级严格无阻塞CLOS网络。要求：入口级选择8入线的交换单元，出口级选择8出线的交换单元。画出该网络连接示意图（标出各级交换单元的个数，入出线）



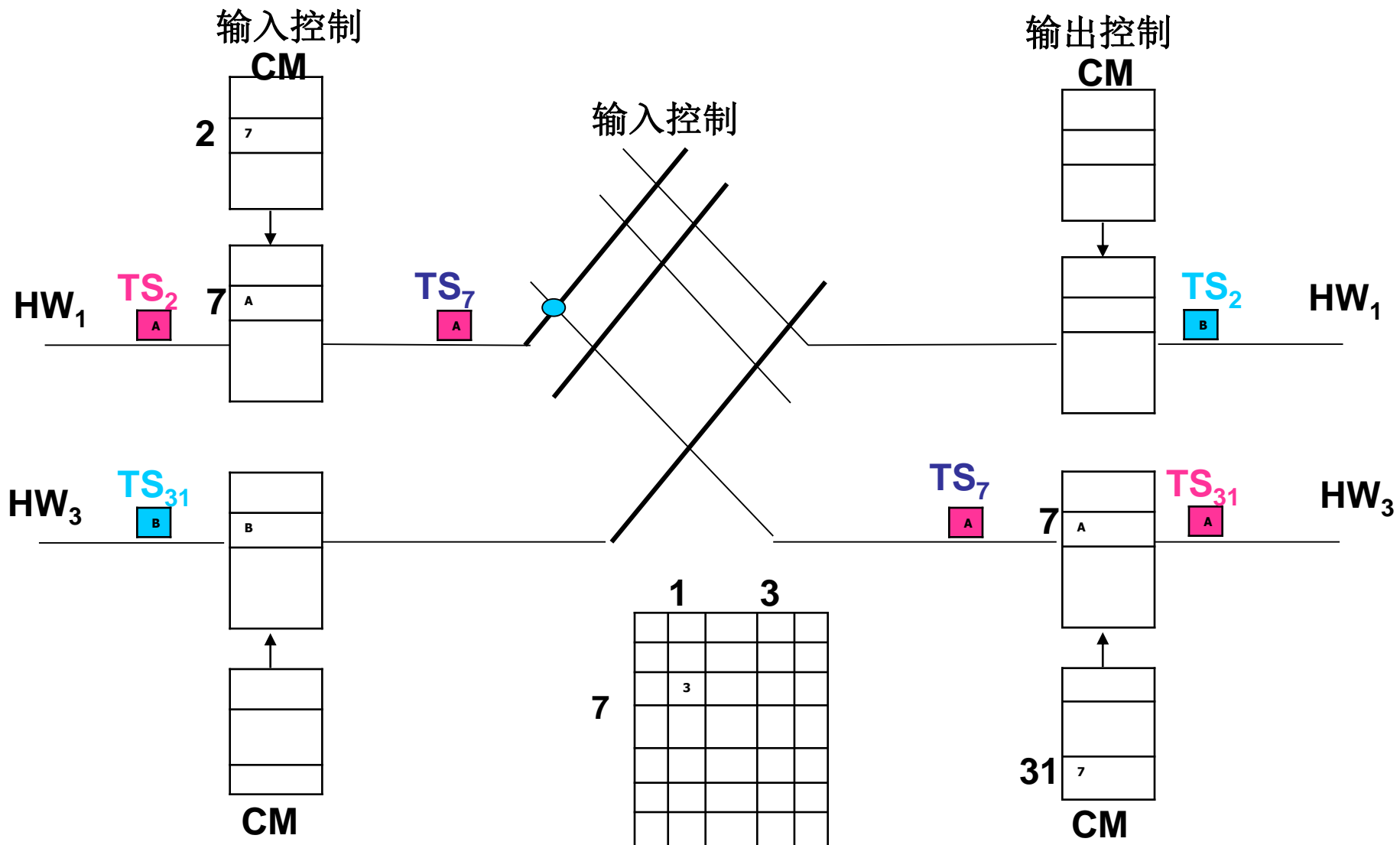
3 交换网络---TST网络

- T-S-T组合交换网络
 - 由时间(T)接线器和空间(S)接线器组成
 - TST结构
 - 反向路由的半帧选择
 - 控制存储器的合用
 - 阻塞

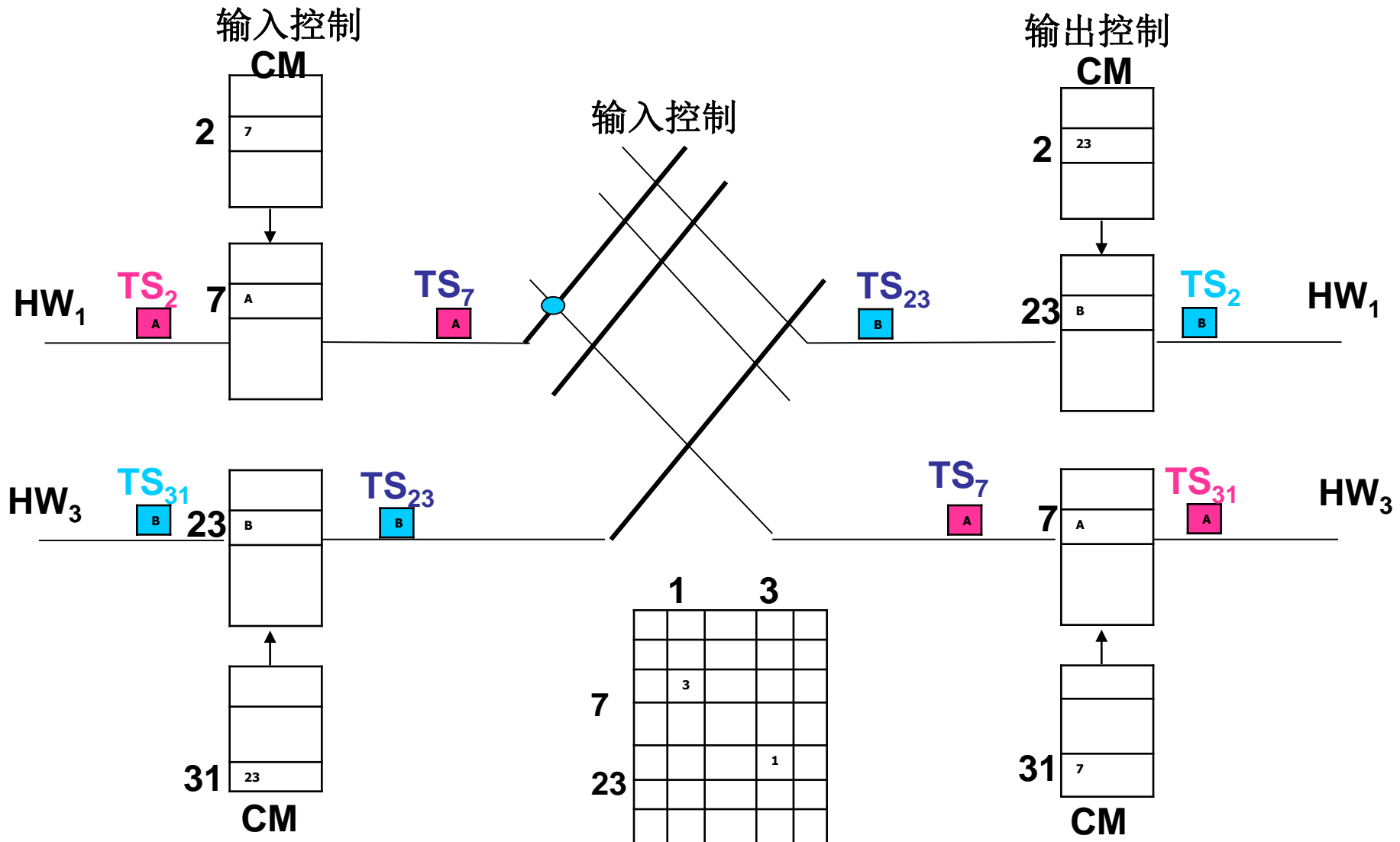
TST



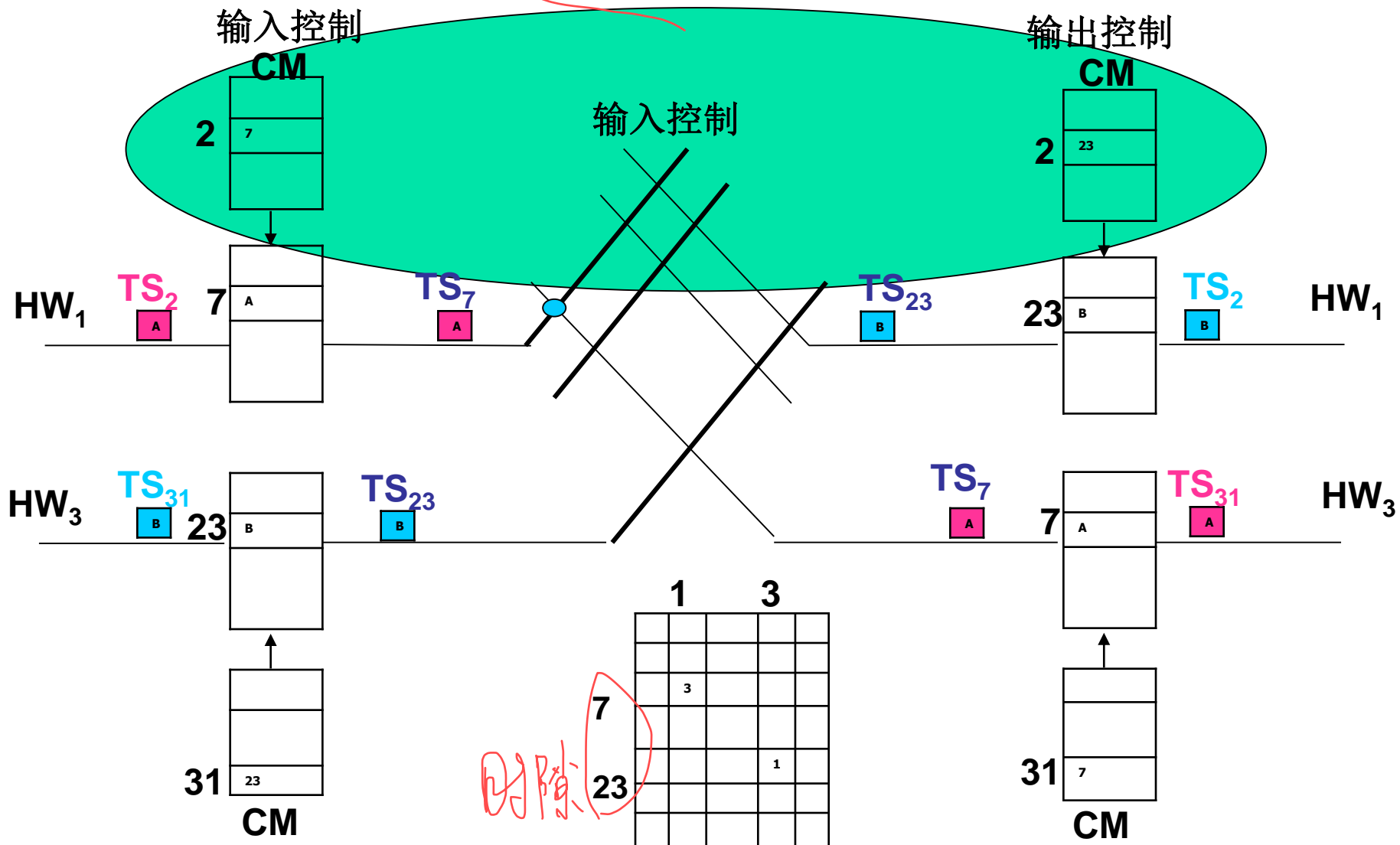
TST



TST



不可以广播
TST



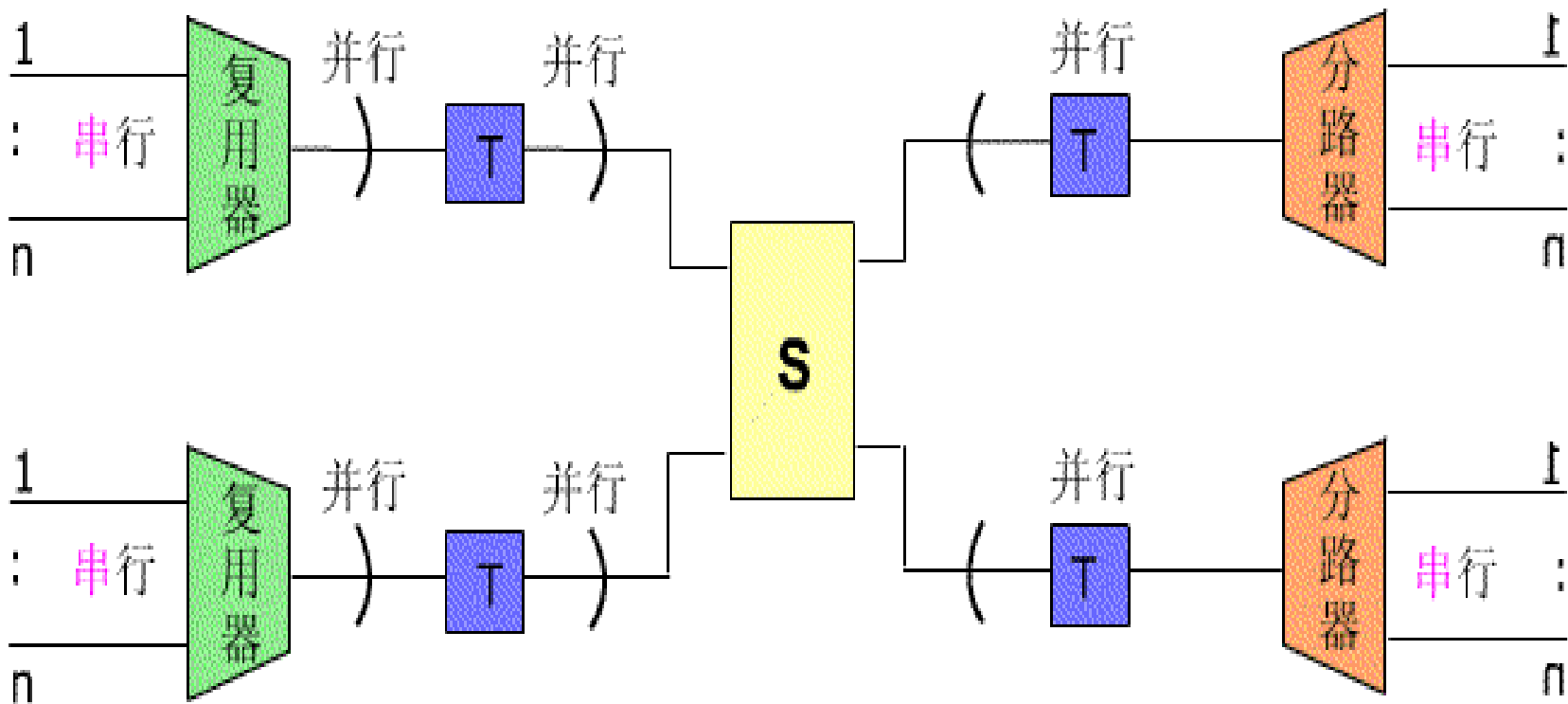
同发



3 交换网络---TST网络

- T-S-T组合交换网络
 - TST结构
 - 反向路由的半帧选择
 - 控制存储器的合用
 - 阻塞

复用和分路

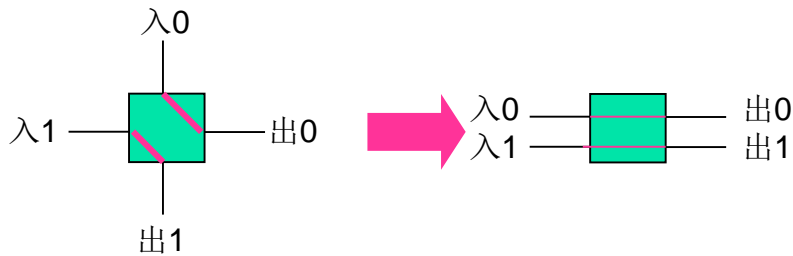


复用器分路器与T-S-T网络的连接

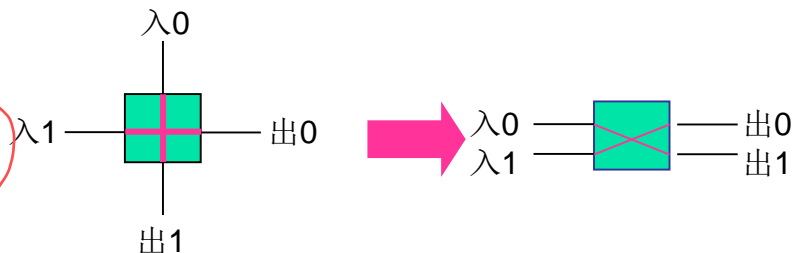
3 交换网络---BANYAN网络

- BANYAN网络的结构
 - 基本单元
 - 2*2交叉连接单元

平行连接
Bar状态



交叉连接
Cross状态



3 交换网络---BANYAN网络

- BANYAN网络的结构

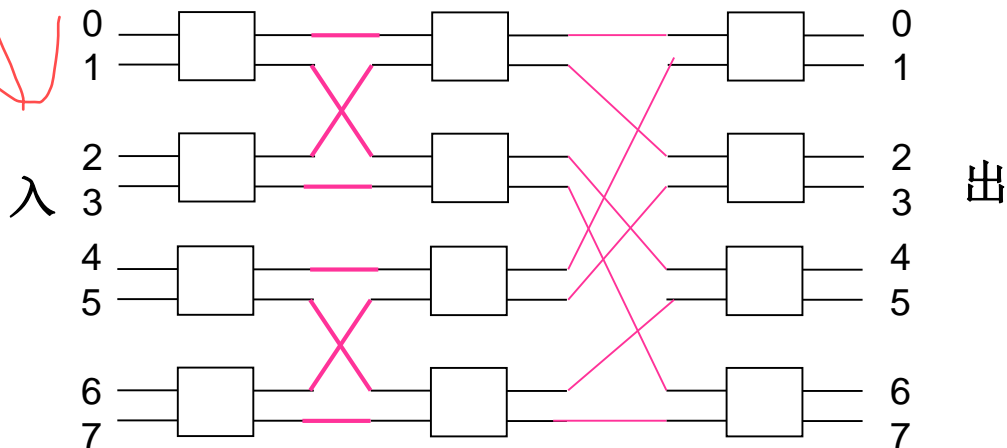
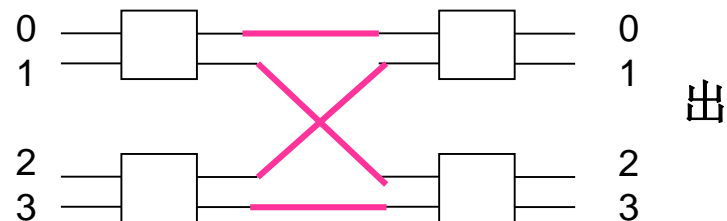
- 基本单元

- 2*2交叉连接单元

- 4*4交换网络

- 8*8交换网络

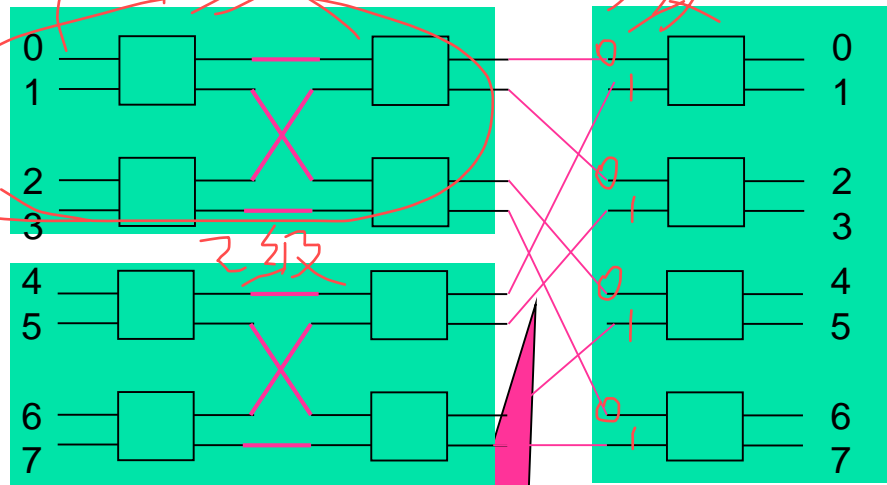
- 16*16交换网络?



3 交换网络---BANYAN网络

BANYAN网络的构造方法

- 构造 $2N \times 2N$ 的BANYAN网络，可以用两个 $N \times N$ 的BANYAN网络和 N 个 2×2 交换单元组成
- 前一级 $N \times N$ BANYAN网络的出线分别连接最后 N 个 2×2 交换单元的相同序号的入线
- $N \times N$ 的BANYAN网络，级数为 $\log_2 N$ ；每一级需要 $N/2$ 个 2×2 交换单元。共需要 $(N/2) * \log_2 N$ 个交换单元



从BANYAN的任一入线引出的一组通路形成了2叉树

3 交换网络---BANYAN网络

■ BANYAN网络的特性

■ 树型结构特性

- 从任一输入端口引出的一组通道形成了2叉树

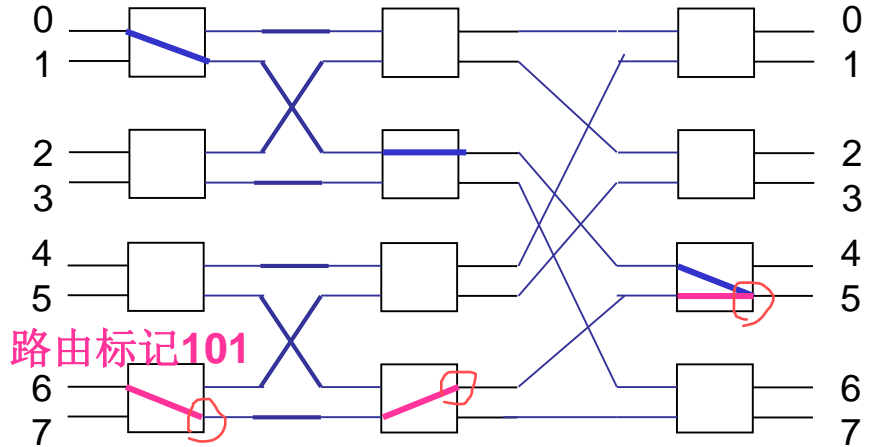
■ 唯一路径

- 每个入线与出线之间有且只有一条路径

■ 自动选路

- 适用于统计时分复用信号的交换

路由标记101

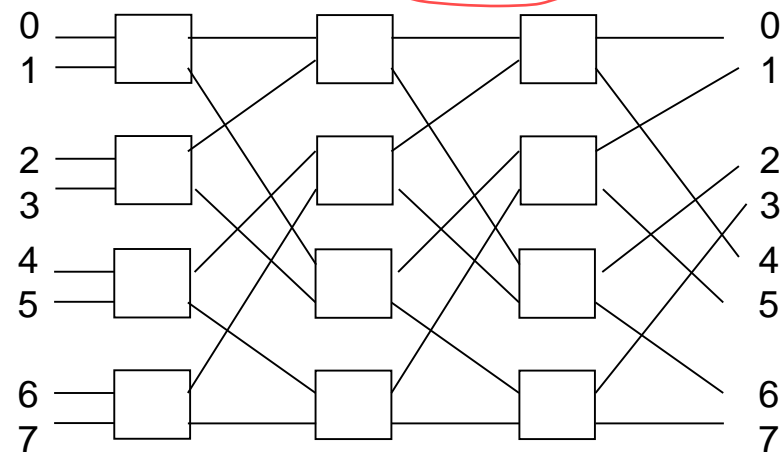
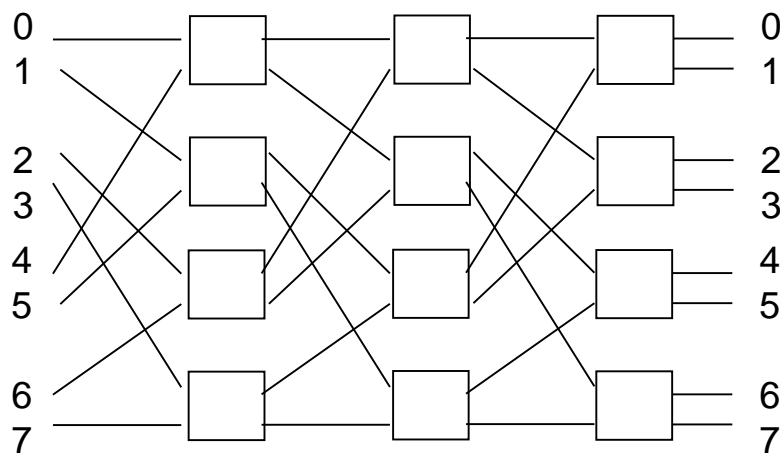
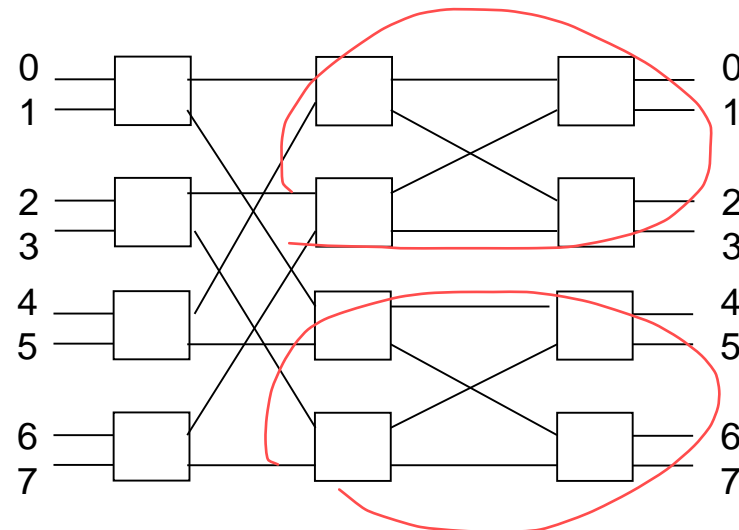
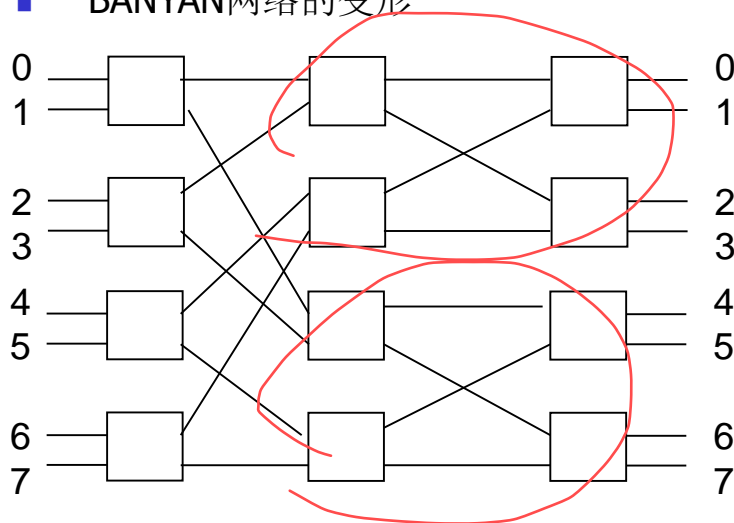


路由标记101

8*8交换网络

3 交换网络---BANYAN网络

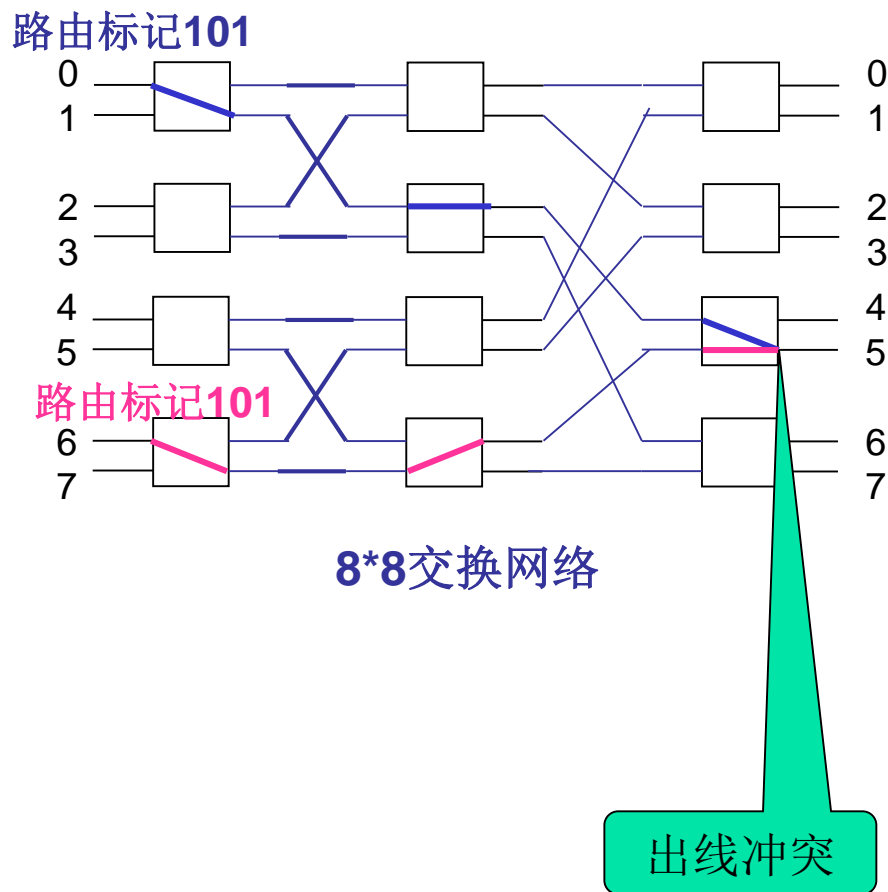
■ BANYAN网络的变形



3 交换网络---BANYAN网络

- **BANYAN网络的阻塞**

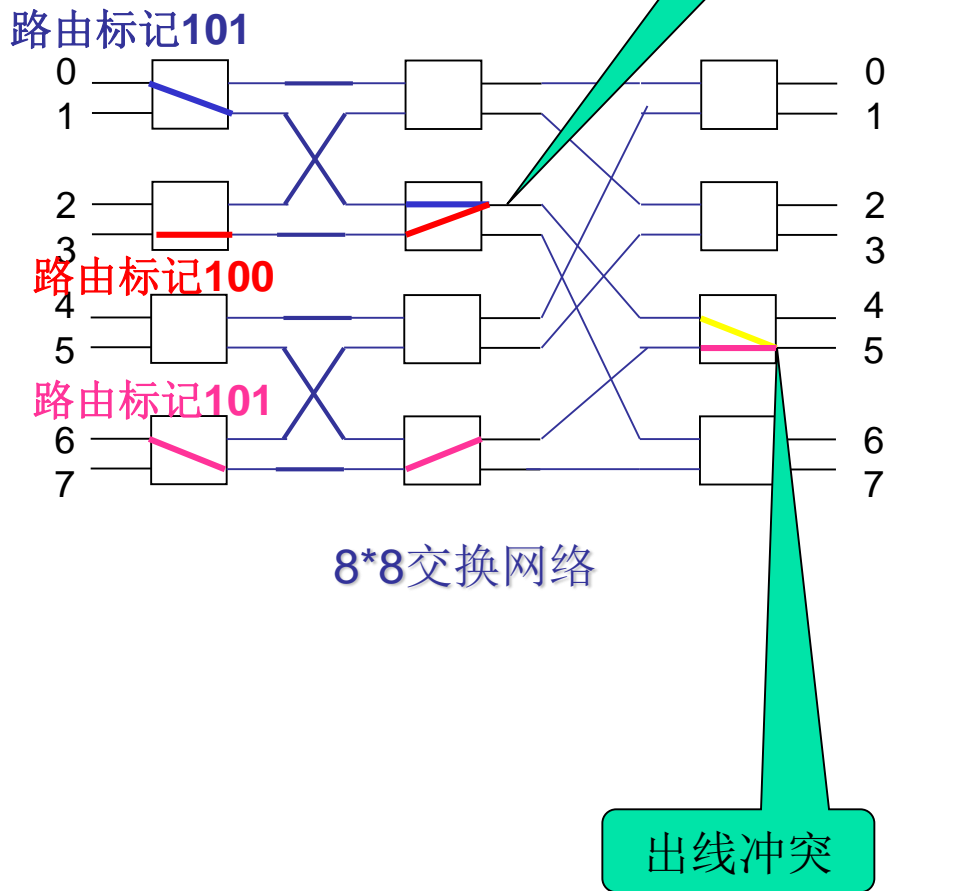
- 出线冲突
- 内部阻塞



3 交换网络---BANYAN网络

- **BANYAN网络的阻塞**

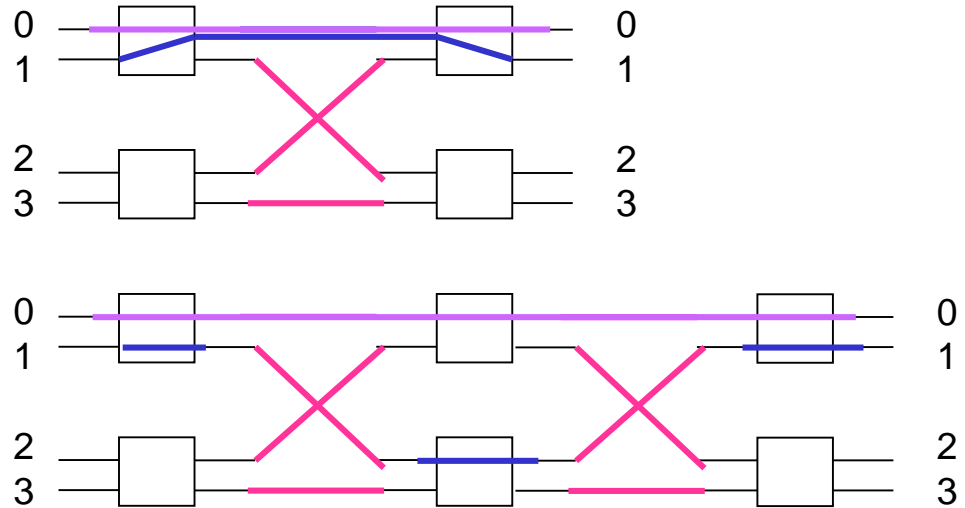
- 出线冲突
- 内部阻塞



3 交换网络---BANYAN网络

- 降低 **BANYAN**网络的内部阻塞概率的方法

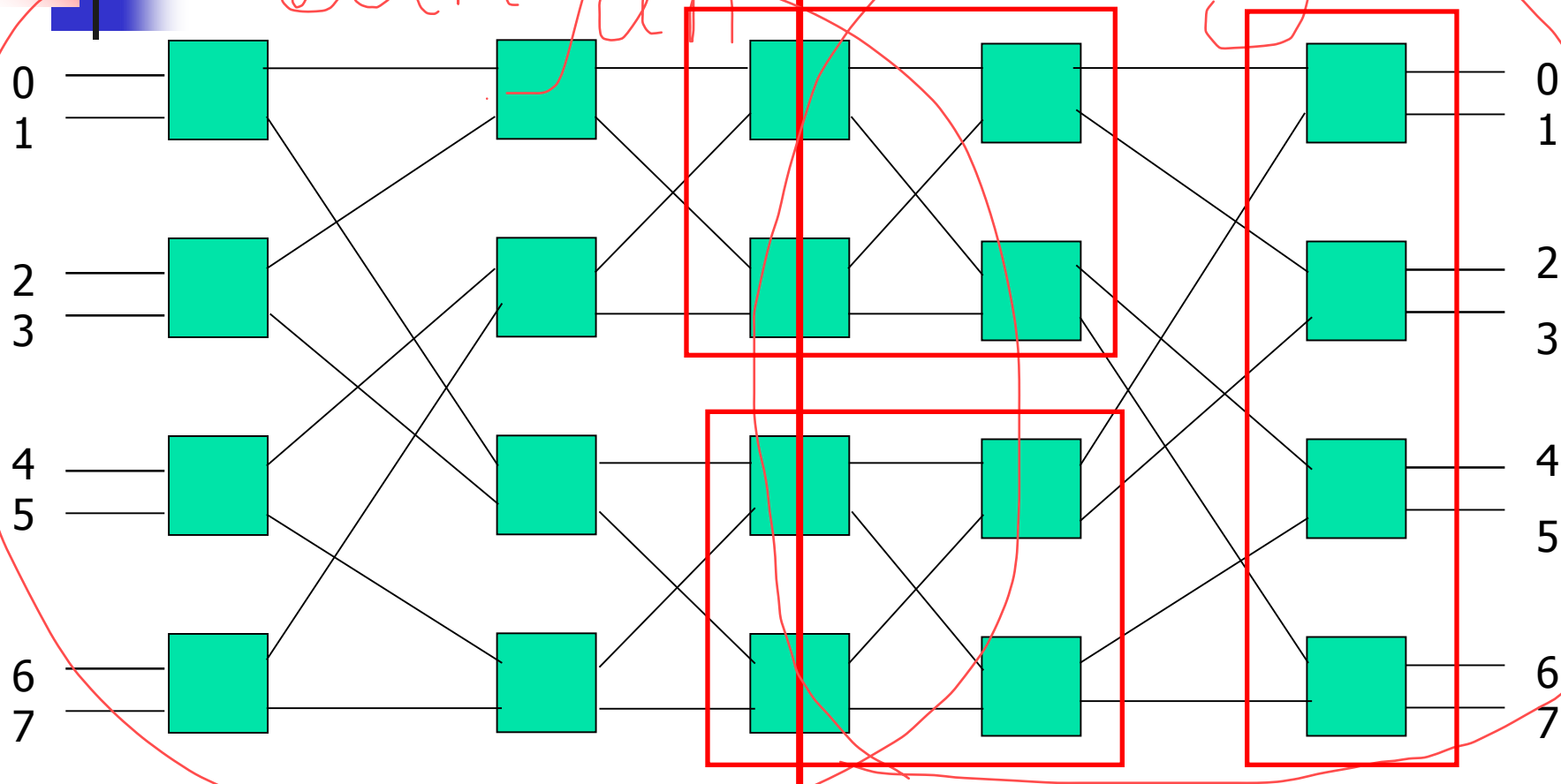
- 增加级数



8 X 8 BENES 网络

ban yan

ben yan



8 X 8 benes网络

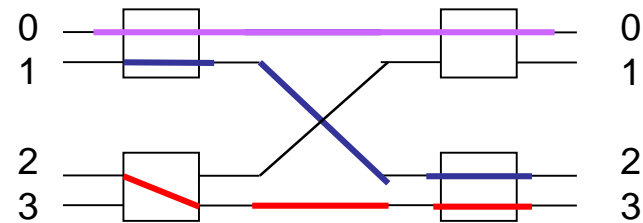
3 交换网络---BANYAN网络

- 降低 **BANYAN**网络的内部阻塞概率的方法

- 增加级数
- 引入排序网络

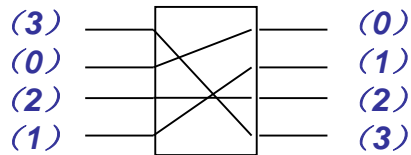
- **BANYAN**网络在那种输入下不会产生内部阻塞？

- 设交换网络的入线和出线各按自上而下的顺序编号，入线 a 到出线 b 的连接称为连接 $a \rightarrow b$ 。若网络中有两个连接 $a \rightarrow b$ 和 $a' \rightarrow b'$ ，并且编号满足条件： $a' > a, b' > b, b' - b \geq a' - a$ ，则这两个连接的路径是**完全不重叠**的。



3 交换网络---BANYAN网络

- 降低 **BANYAN**网络的内部阻塞概率的方法
 - 增加级数
 - 引入排序网络
 - **BANYAN**网络在那种输入下不会产生内部阻塞？
 - 设交换网络的入线和出线各按自上而下的顺序编号，入线 a 到出线 b 的连接称为连接 $a \rightarrow b$ 。若网络中有两个连接 $a \rightarrow b$ 和 $a' \rightarrow b'$ ，并且编号满足条件： $a' > a, b' > b, b' - b \geq a' - a$ ，则这两个连接的路径是完全不重叠的。
 - 排序网络
 - 一个具有 $N \times N$ 的交换网络，对于任意给定的 N 个输入，交换网络可以按照目的地址进行交换，最后可以得到一个有序的排列。

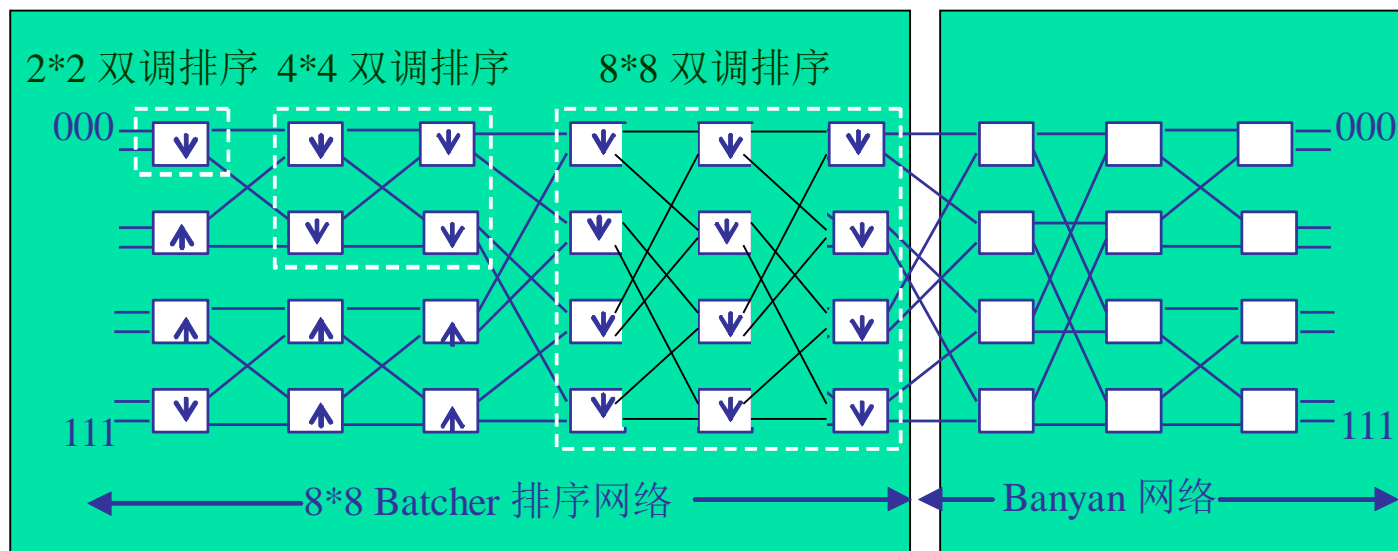


3 交换网络---BANYAN网络

BATCHER --- BANYAN网络

■ BATCHER网络

根据连接的目的地址将其按升序排列，每个节点比较两个连接目的地址，并将高地址连接送到高端，低地址连接送到低端。仅有一个连接时，送到低端。



▼ 2*2 排序，大值向下

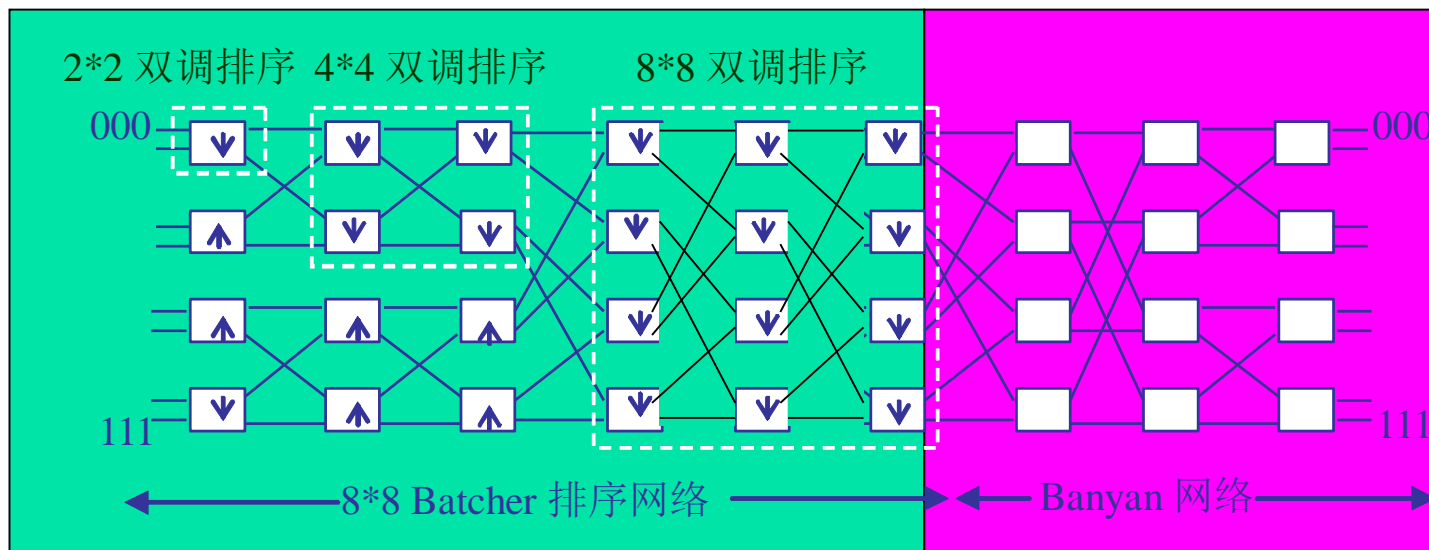
▲ 2*2 排序，大值向上

3 交换网络---BANYAN网络

BATCHER --- BANYAN网络

■ BATCHER网络

根据连接的目的地址将其按升序排列，每个节点比较两个连接目的地址，并将高地址连接送到高端，低地址连接送到低端。仅有一个连接时，送到低端。



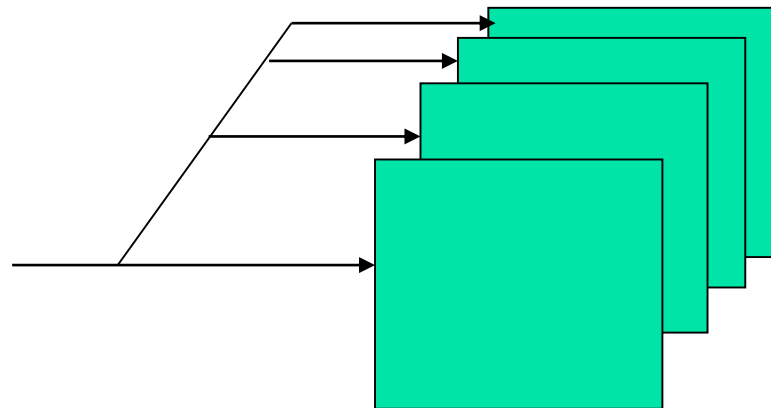
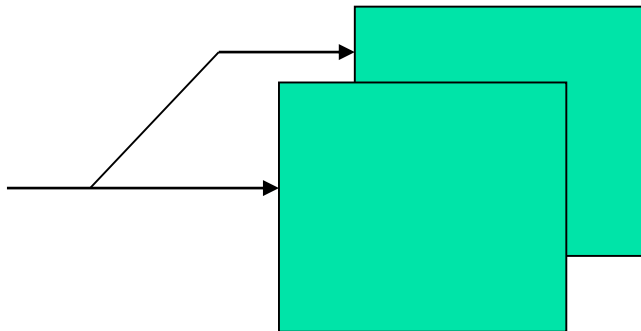
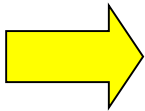
▼ 2*2 排序，大值向下

▲ 2*2 排序，大值向上

3 交换网络---BANYAN网络

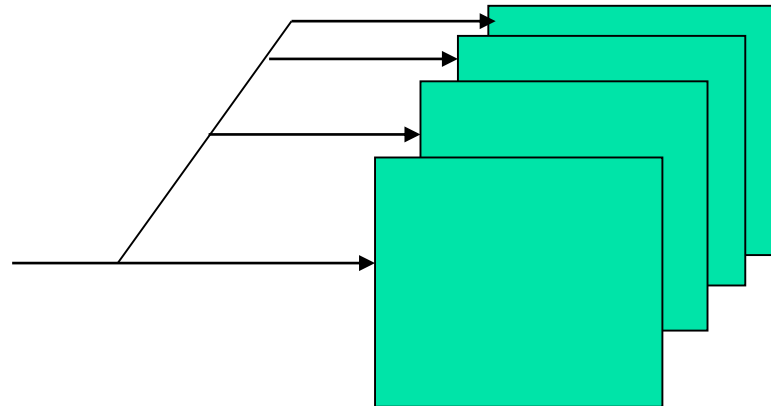
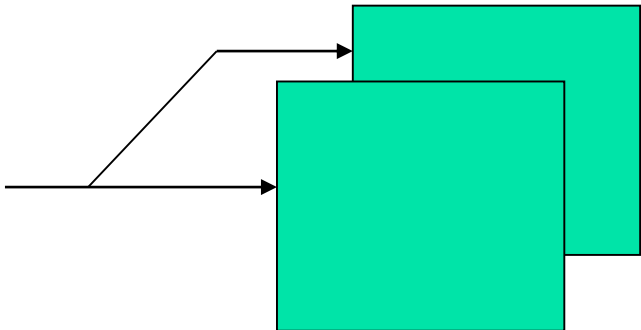
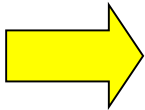
- 降低 **BANYAN**网络的内部阻塞概率的方法

- 增加级数
- 引入排序网络
- 限制入线上的信息量，加大缓冲存储器
- 增加BANYAN网络的平面数，构成多通道交换网络



3 交换网络---BANYAN网络

- 降低 **BANYAN**网络的内部阻塞概率的方法
 - 增加级数
 - 引入排序网络
 - 限制入线上的信息量，加大缓冲存储器
 - 增加**BANYAN**网络的平面数，构成多通道交换网络





作业

- 构造**16*16**的交换单元：采用基本开关阵列时，需要多少个开关？
- 用**2*2**交叉单元构造**16*16**的可重排无阻塞**benes**网络；用**2*2**交叉单元构造**16*16**的**BANYAN**网络,画出这两个网络,并比较两者的异同和相关性.



3 交换网络---DSN网络

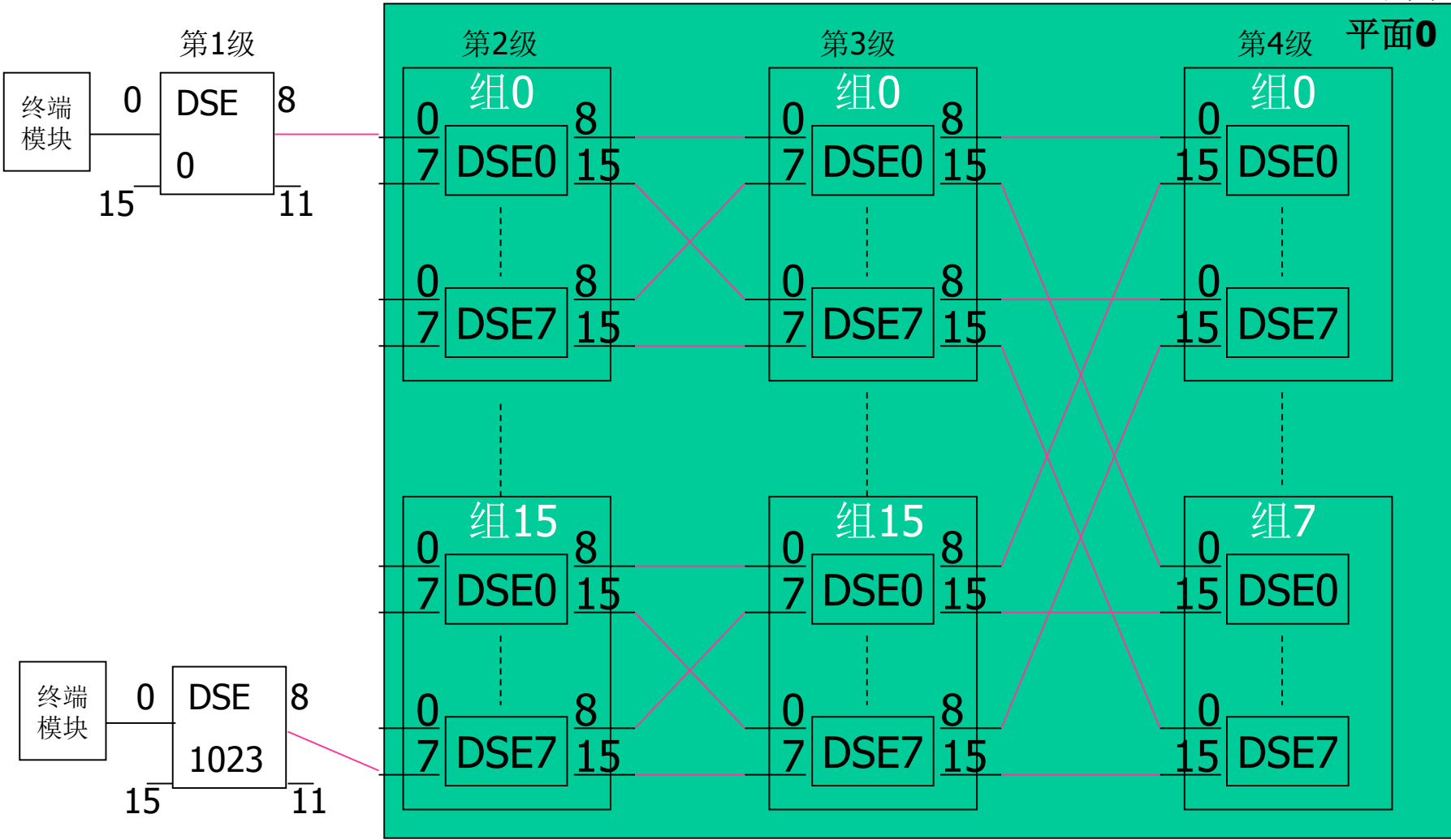
总线单元级连交换网络

平面3

平面2

平面1

平面0



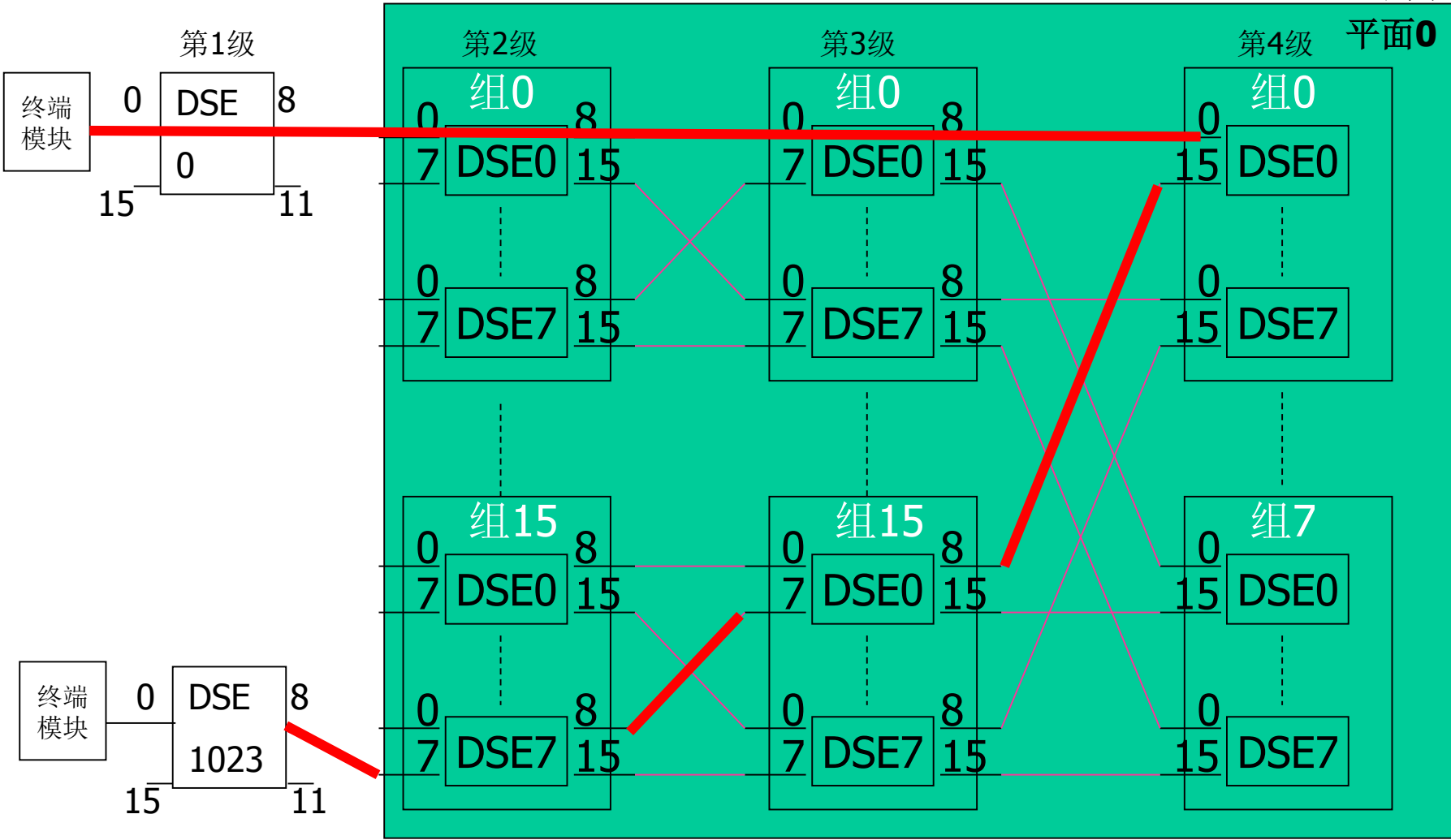
总线单元级连交换网络

平面3

平面2

平面1

平面0



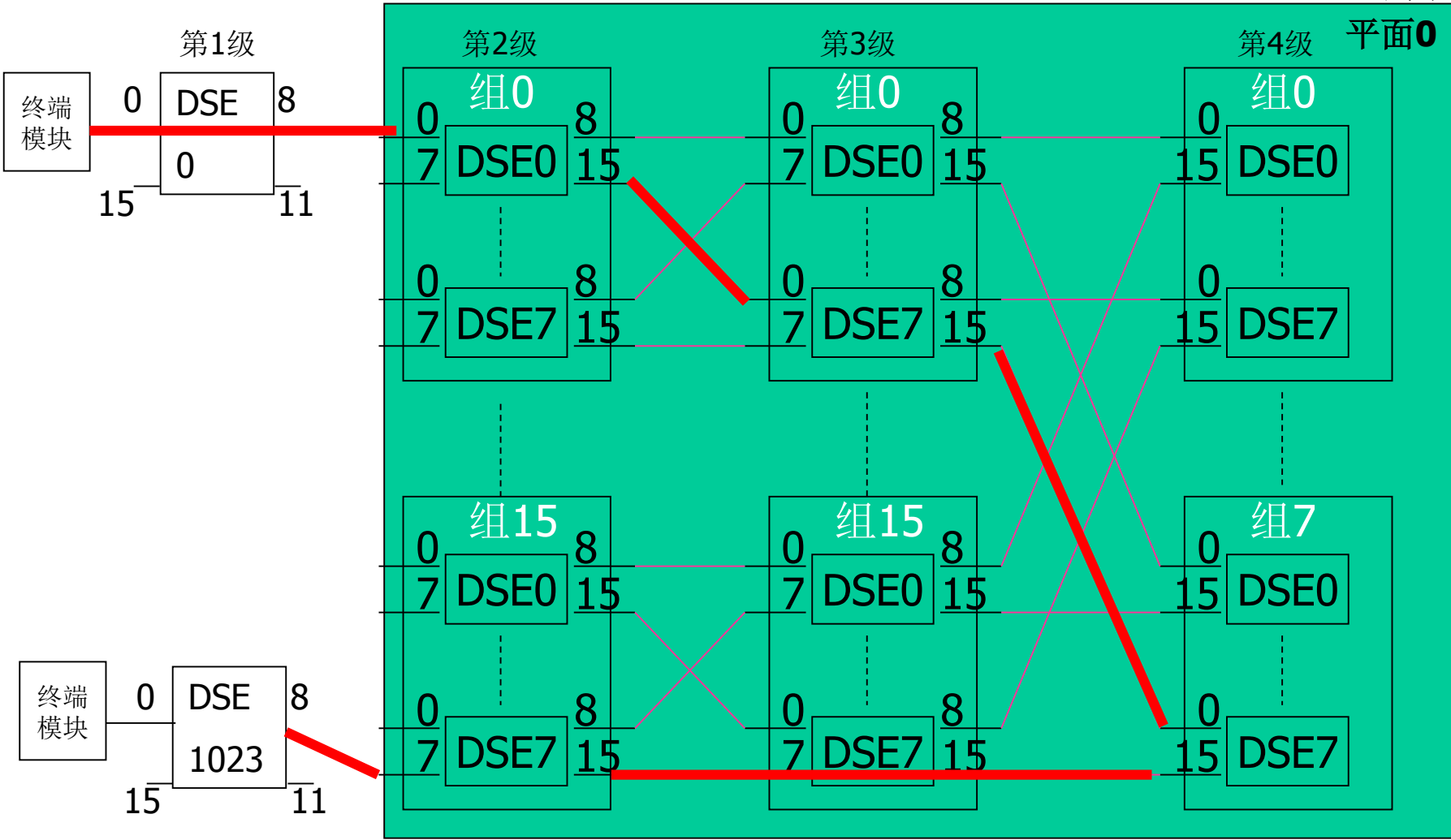
总线单元级连交换网络

平面3

平面2

平面1

平面0



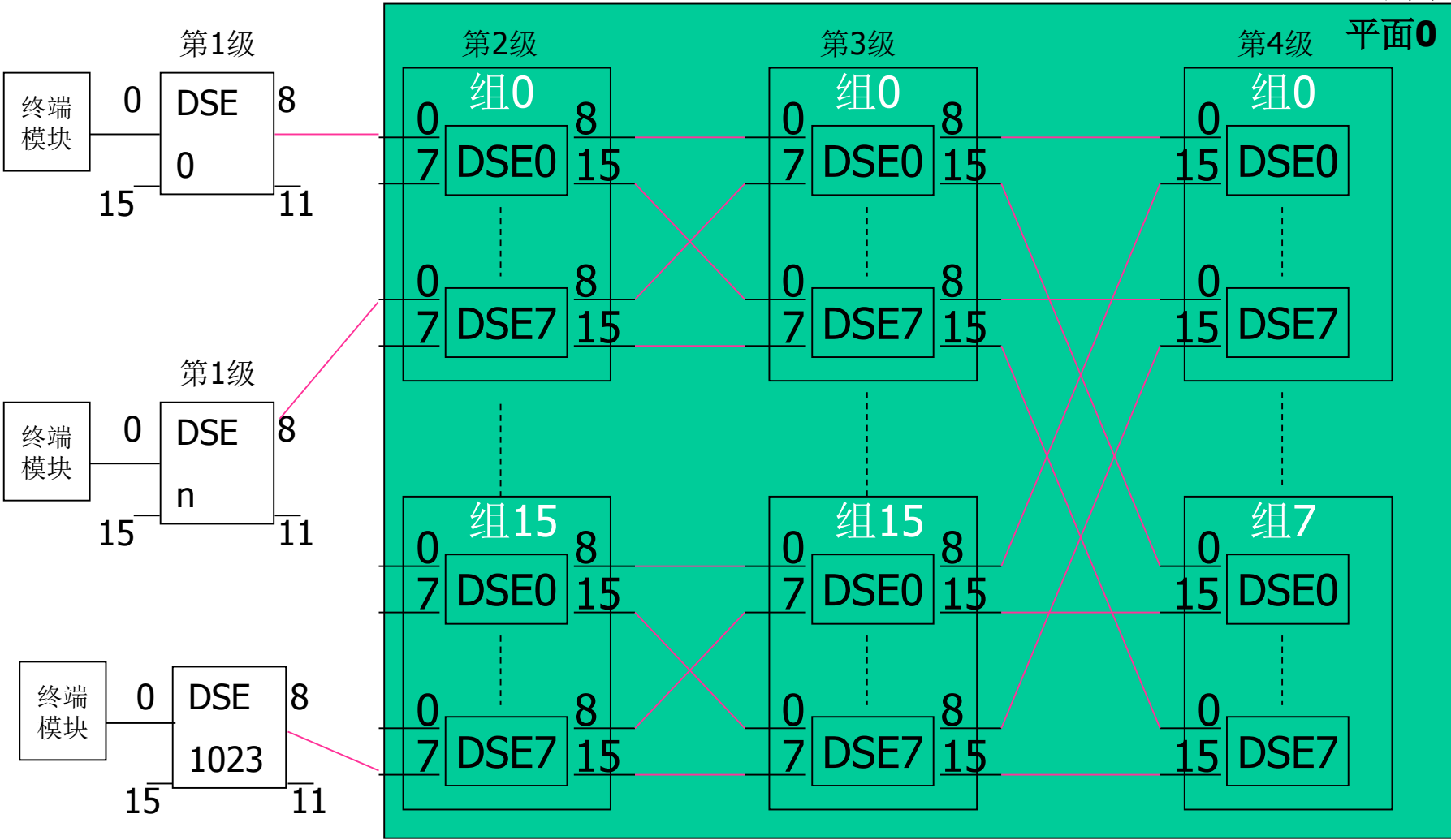
总线单元级连交换网络

平面3

平面2

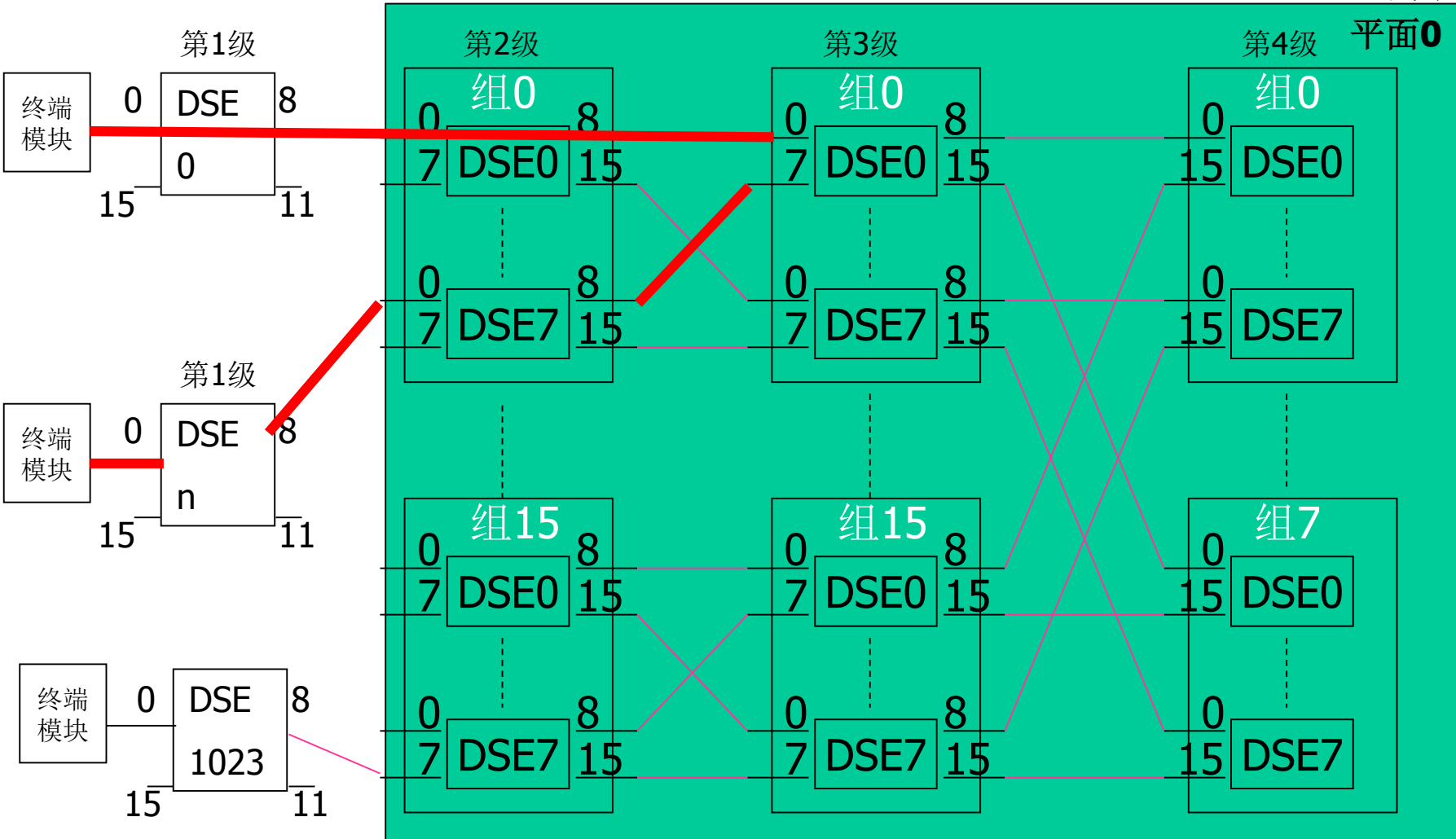
平面1

平面0



总线单元级连交换网络

平面3
平面2
平面1
平面0



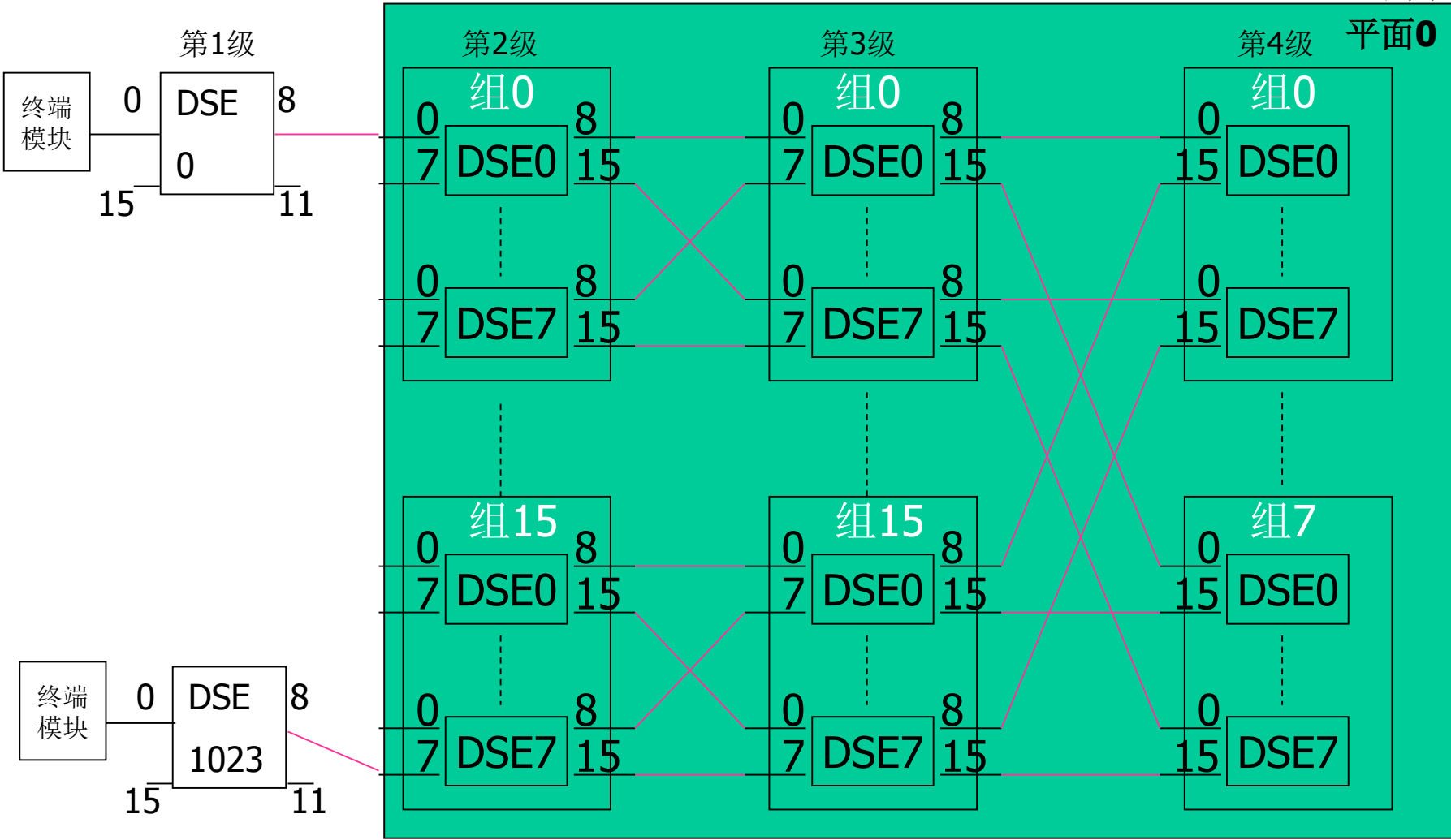
总线单元级连交换网络

平面3

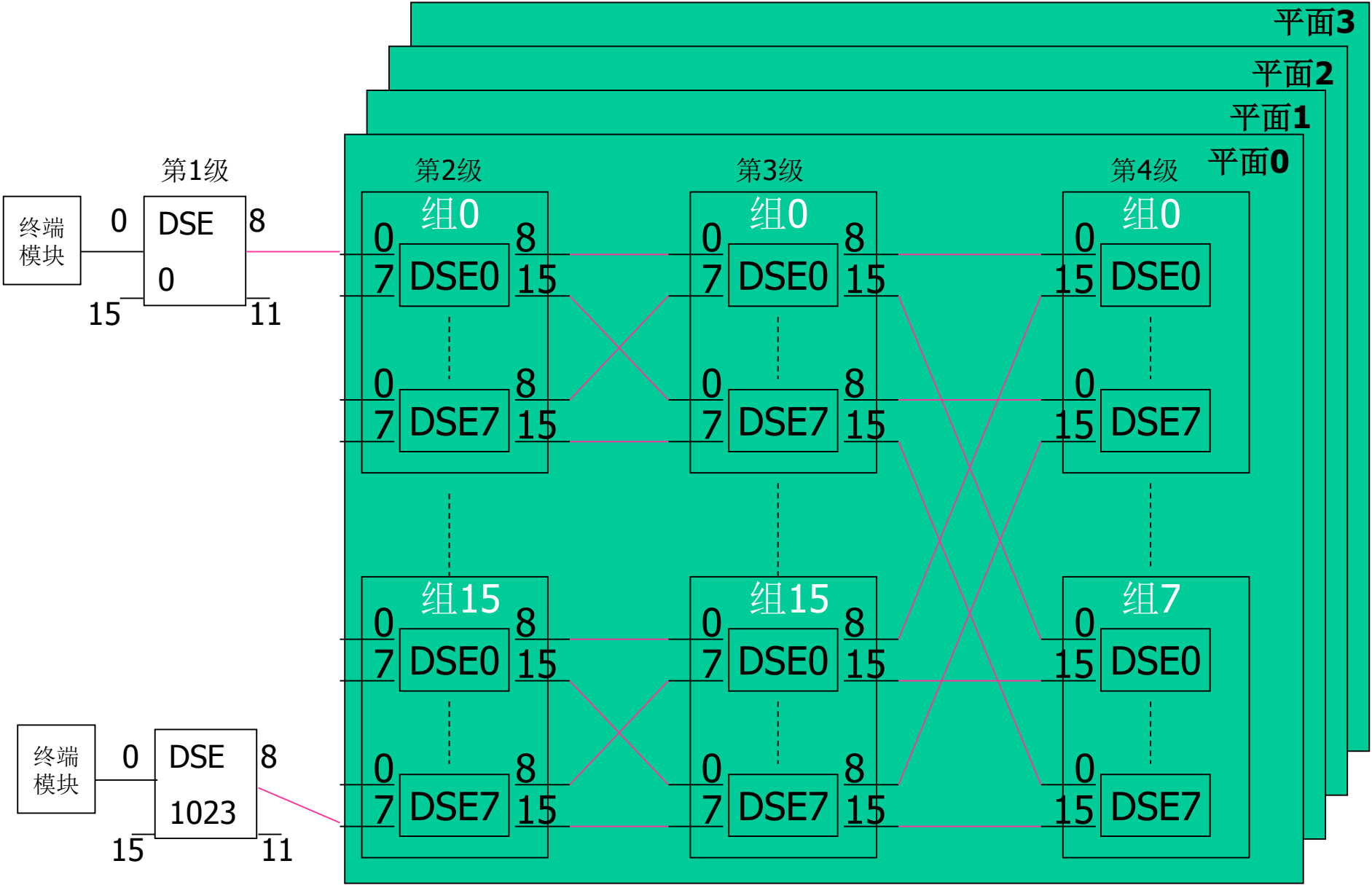
平面2

平面1

平面0



总线单元级连交换网络





交换设备---性能评价

- 支持业务的广泛性
 - 多速率交换方面
 - 多点交换方面
 - 多媒体业务方面
- 交换系统的容量
 - 主要体现在交换单元的容量上。交换单元的容量等于所有入线可同时送入的总信息量。
- 交换时延
 - 基本传输时延
 - 附加时延：排队时延，处理时延等



交换设备---性能评价

- 交换差错率
 - 丢失信息的概率
 - 错误交换的概率
 - 信息被损伤的概率
- 连接阻塞及呼损
 - 内部阻塞
 - 出线冲突



交换设备性能评价

- 接口单元
- 交换单元
- 控制单元
- 支持业务的广泛性
- 交换系统的容量
- 交换时延
- 连接阻塞
- 交换差错率
- 系统可靠性
- 处理能力



小结

- 交换设备、交换网络、交换单元
- 交换单元的描述方法
- 三种基本交换单元的结构、特性、工作原理
- **Banyan, CLOS, TST**交换网络的构造方法和特点
- 几个概念
 - 连接、连接方式
 - 点对点、同发、广播
 - 空分交换、时分交换
 - 出线冲突、内部阻塞
 - 严格无阻塞、可重排无阻塞、广义无阻塞