

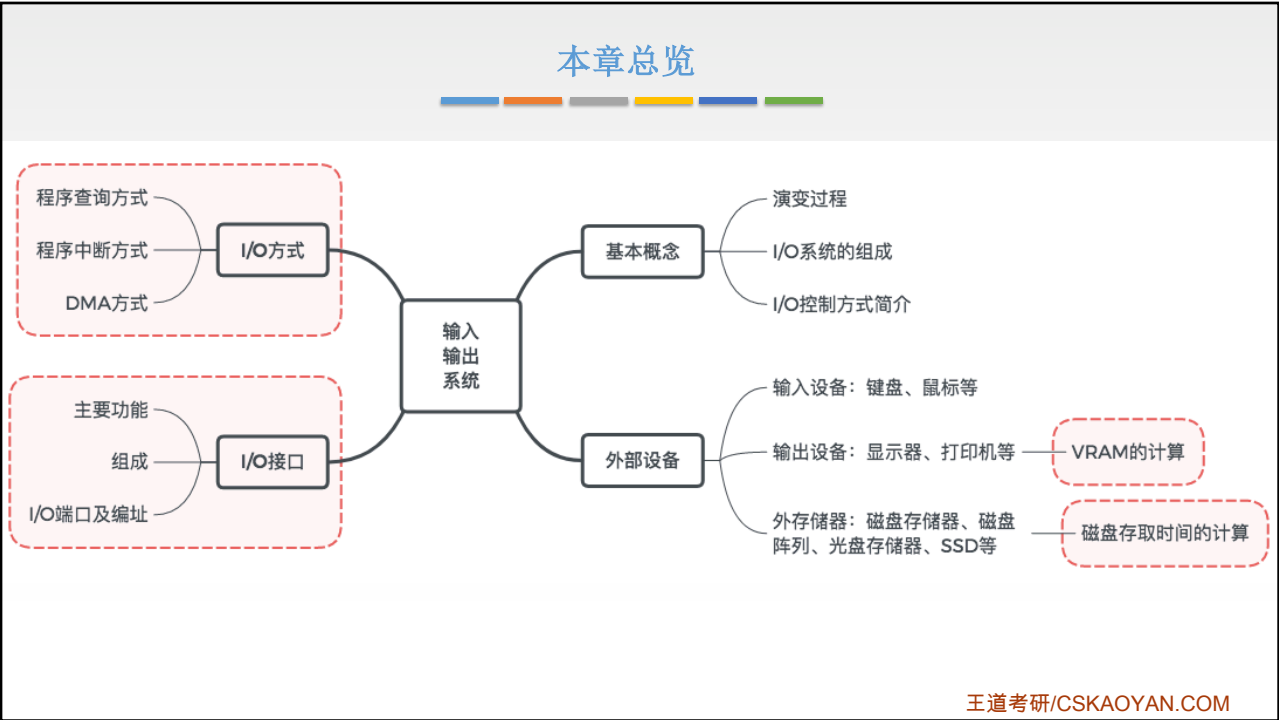
本节内容

输入/输出系统

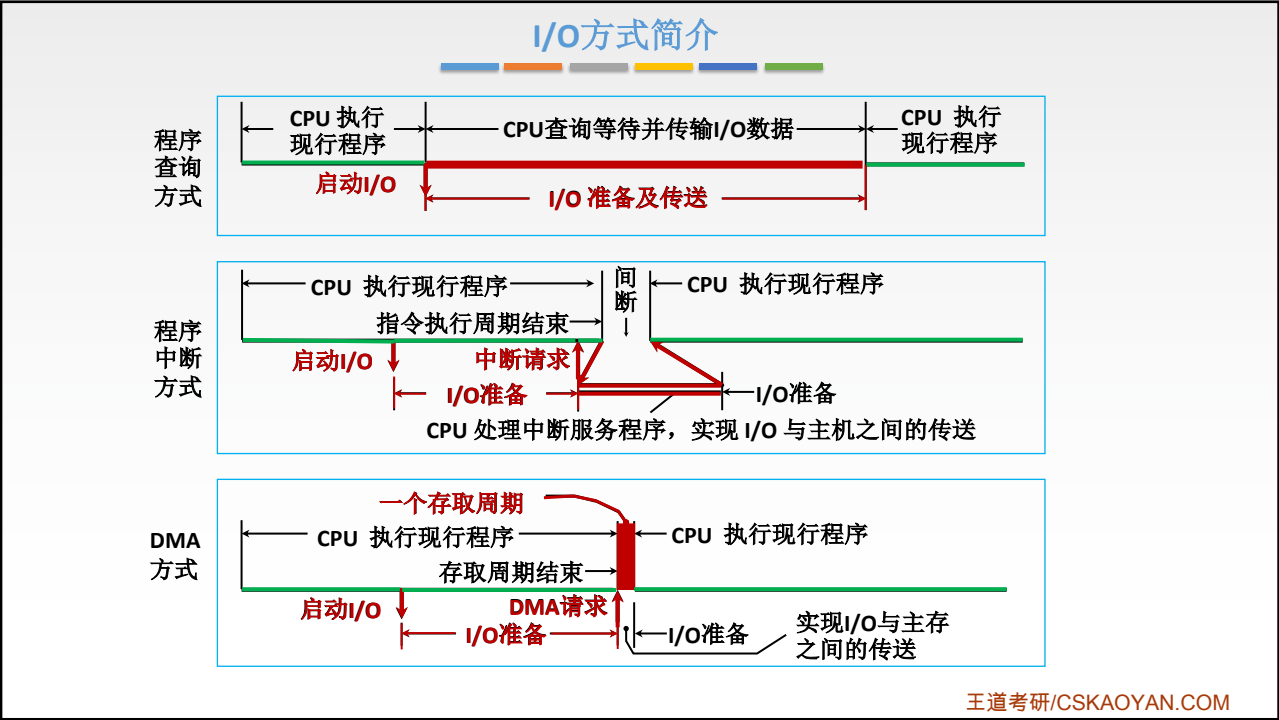
I/O方式1  
程序查询方式

王道考研/CSKAOYAN.COM

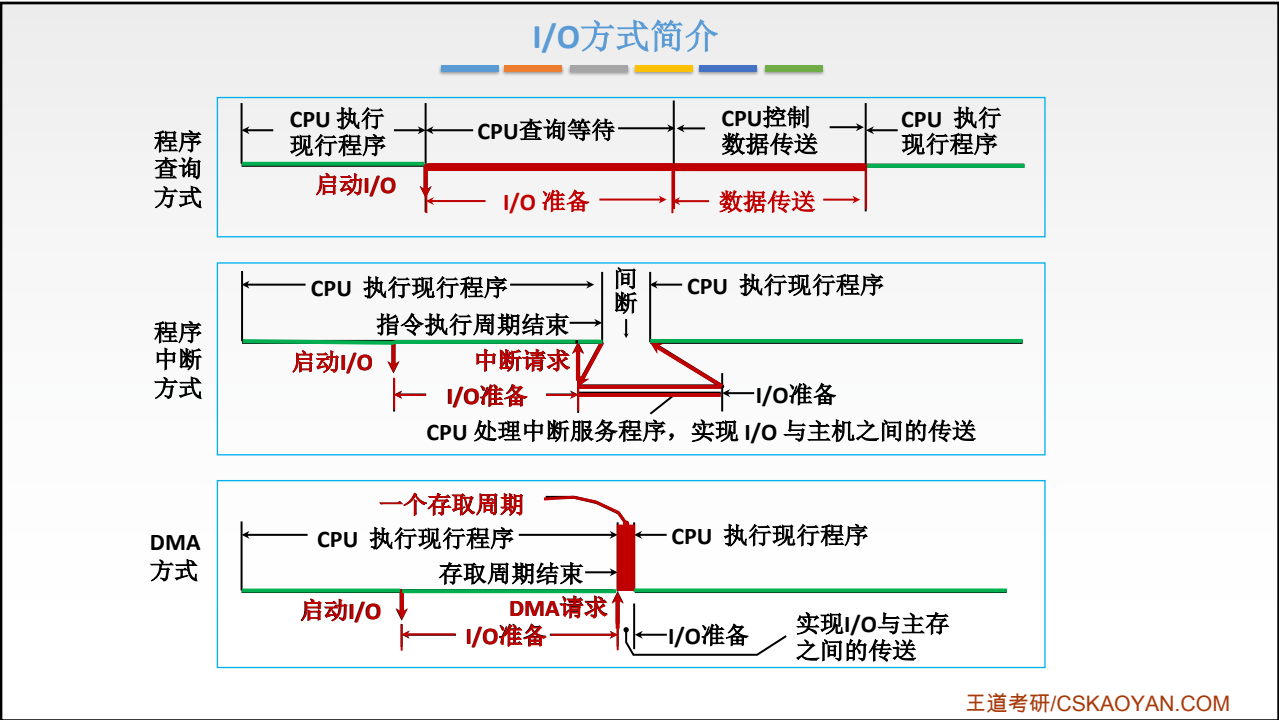
1



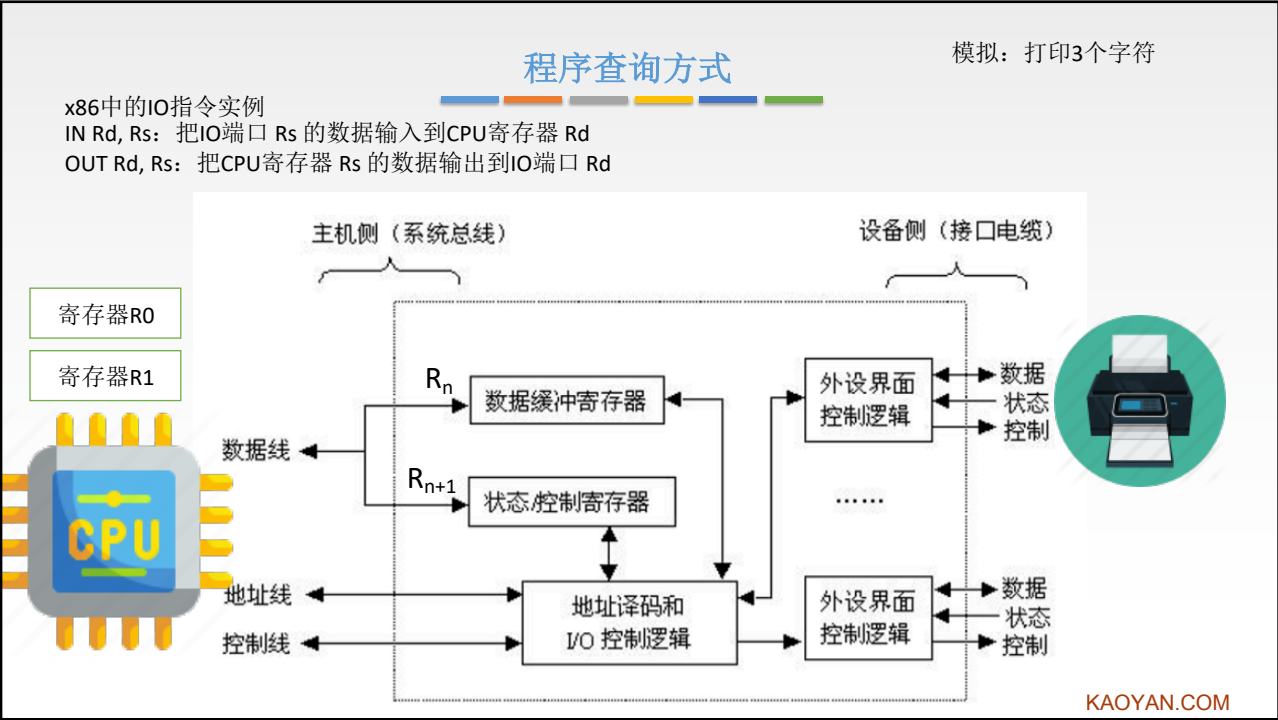
2



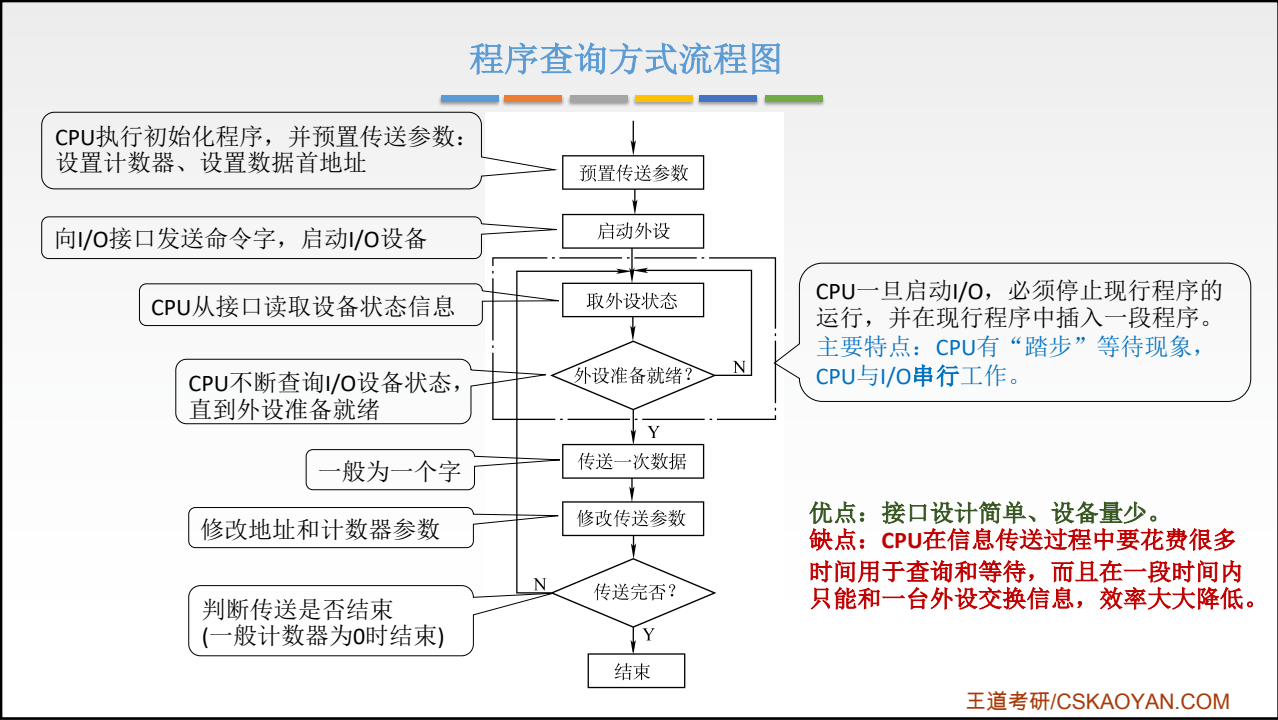
3



4



5



6



我怀疑你在骗我  
但是我没有证据

不是说CPU会一直查询吗???

### 程序查询方式-例题

在程序查询方式的输入/输出系统中，假设不考虑处理时间，每一个查询操作需要100个时钟周期，CPU的时钟频率为50MHz。现有鼠标和硬盘两个设备，而且CPU必须每秒对鼠标进行30次查询，硬盘以32位字长为单位传输数据，即每32位被CPU查询一次，传输率为 $2 \times 2^{20}$ B/s。求CPU对这两个设备查询所花费的时间比率，由此可得出什么结论？

时间的角度：

一个时钟周期为  $1/50\text{MHz} = 20\text{ns}$

一个查询操作耗时  $100 \times 20\text{ns} = 2000\text{ns}$

1)鼠标

每秒查询鼠标耗时  $30 \times 2000\text{ns} = 60000\text{ns}$

查询鼠标所花费的时间比率 =  $60000\text{ns}/1\text{s} = 0.006\%$

对鼠标的查询基本不影响CPU的性能

2)硬盘

每32位需要查询一次，每秒传送  $2 \times 2^{20}\text{B}$

每秒需要查询  $(2 \times 2^{20}\text{B})/4\text{B} = 2^{19}$ 次

查询硬盘耗时  $2^{19} \times 2000\text{ns} = 512 \times 1024 \times 2000\text{ns}$   
 $\approx 1.05 \times 10^9\text{ns}$

查询硬盘所花费的时间比率 =  $(1.05 \times 10^9\text{ns})/1\text{s}$   
 $= 105\%$

CPU将全部时间都用于对硬盘的查询也不能满足磁盘传输的要求

频率的角度：

CPU的时钟频率为50MHz，即每秒  $50 \times 10^6$ 个时钟周期

1)鼠标

每秒查询鼠标占用的时钟周期数  $30 \times 100 = 3000$

查询鼠标所花费的时间比率 =  $3000/(50 \times 10^6) = 0.006\%$

对鼠标的查询基本不影响CPU的性能

2)硬盘

每秒需要查询  $(2 \times 2^{20}\text{B})/4\text{B} = 2^{19}$ 次

每秒查询硬盘占用的时钟周期数  $2^{19} \times 100 \approx 5.24 \times 10^7$

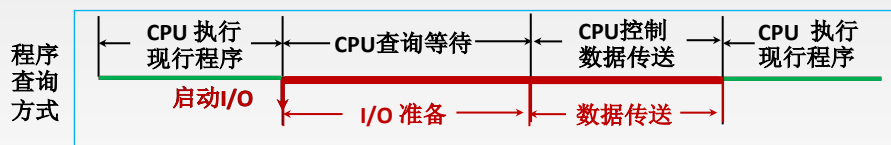
查询硬盘所花费的时间比率 =  $(5.24 \times 10^7)/(50 \times 10^6)$   
 $\approx 105\%$

CPU将全部时间都用于对硬盘的查询也不能满足磁盘传输的要求

王道考研/CSKAOYAN.COM

7

### 本节回顾



CPU一旦启动I/O，必须停止现行程序的运行，并在现行程序中插入一段程序。

主要特点：CPU有“踏步”等待现象，CPU与I/O串行工作。

优点：接口设计简单、设备量少。

缺点：CPU在信息传送过程中要花费很多时间用于查询和等待，而且如果采用独占查询，则在一段时间内只能和一台外设交换信息，效率大大降低。

**独占查询：**CPU 100%的时间都在查询I/O状态，完全串行

**定时查询：**在保证数据不丢失的情况下，每隔一段时间CPU就查询一次I/O状态。查询的间隔内CPU可以执行其他程序



我怎么会骗你呢

王道考研/CSKAOYAN.COM

8

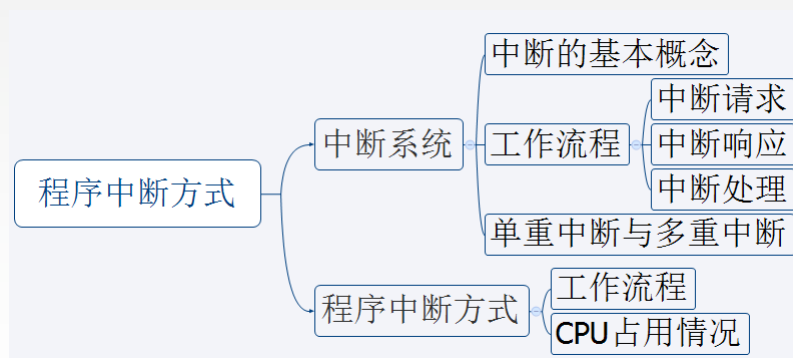
## 本节内容

输入/输出  
系统I/O方式2  
程序中断方式

王道考研/CSKAOYAN.COM

9

## 本节总览



王道考研/CSKAOYAN.COM

10

### 中断的基本概念

程序中中断是指在计算机执行现行程序的过程中，出现某些急需处理的异常情况或特殊请求，CPU暂时中止现行程序，而转去对这些异常情况或特殊请求进行处理，在处理完毕后CPU又自动返回到现行程序的断点处，继续执行原程序。

键盘敲击产生的中断

入口1

中断服务程序 1

入口2

中断服务程序 2

打印机输出完成产生的中断

工作流程：

1. 中断请求  
中断源向CPU发送中断请求信号。
2. 中断响应  
响应中断的条件。  
中断判优：多个中断源同时提出请求时通过中断判优逻辑响应一个中断源。
3. 中断处理  
中断隐指令。  
中断服务程序。

11

### 中断请求的分类

信号的来源：CPU内部  
与当前执行的指令有关

内中断（也称异常、例外、陷入）

自愿中断——指令中断  
如：系统调用时使用的访管指令（又叫陷入指令、trap指令）

强迫中断  
硬件故障  
如：缺页  
软件中断  
如：整数除0

信号的来源：CPU外部  
与当前执行的指令无关

外中断（中断）

外设请求  
如：I/O操作完成发出的中断信号

人工干预  
如：用户强行终止一个进程

广义的中断

中断

狭义的中断

关中断的作用：实现原子操作

非屏蔽中断：关中断时也会被响应（如：掉电）

可屏蔽中断：关中断时不会被响应

IF=1表示开中断（允许中断）

IF=0表示关中断（不允许中断）

IF: Interrupt Flag, 存在PSW中, 8086芯片的PSW如下

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
				OF	DF	IF	TF	SF	ZF		AF		PF		CF

12

王道考 研,cskaoyan.com

6

配套课程请加微信：tt19222222，关注微信公众号（研者荣耀）获取更多考研资源

### 中断请求标记

如何判断是哪个设备发来的中断信号？

每个中断源向CPU发出中断请求的时间是随机的。  
为了记录中断事件并区分不同的中断源，中断系统需对每个中断源设置**中断请求标记触发器INTR**，当其状态为“1”时，表示中断源有请求。  
这些触发器可组成中断请求标记寄存器，该寄存器可集中在CPU中，也可分散在各个中断源中。

中断请求标记寄存器	INTR <sub>1</sub>	INTR <sub>2</sub>	INTR <sub>3</sub>	INTR <sub>4</sub>	...		INTR <sub>n-1</sub>	INTR <sub>n</sub>
	0	0	0	1			0	1
	掉电	过热	鼠标	键盘			扫描仪	打印机

对于**外中断**，CPU是在统一的时刻即**每条指令执行阶段结束前**向接口发出**中断查询信号**，以获取I/O的中断请求，也就是说，CPU**响应中断的时间是在每条指令执行阶段的结束时刻**。

CPU响应中断必须满足以下3个条件：

- ① 中断源有中断请求。
- ② CPU允许中断即开中断。
- ③ 一条指令执行完毕，且没有更紧迫的任务。

王道考研/CSKAOYAN.COM

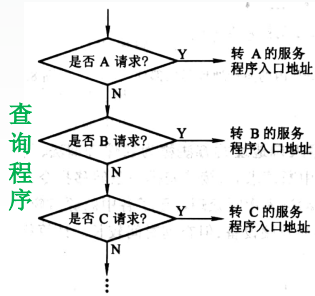
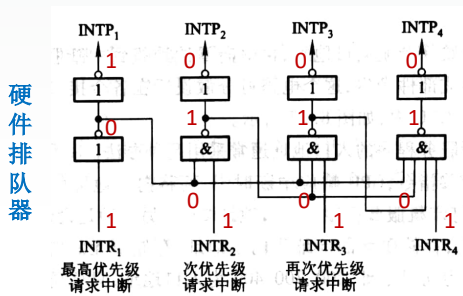
13

### 中断判优-实现

有多个中断信号同时到来，先处理哪个？

**中断判优**既可以用**硬件实现**，也可用**软件实现**：  
硬件实现是通过**硬件排队器**实现的，它既可以设置在CPU中，也可以分散在各个中断源中；  
软件实现是通过**查询程序**实现的。

INTR <sub>1</sub>	INTR <sub>2</sub>	INTR <sub>3</sub>	INTR <sub>4</sub>	...		INTR <sub>n-1</sub>	INTR <sub>n</sub>
0	0	0	1			0	1
掉电	过热	鼠标	键盘			扫描仪	打印机



王道考研/CSKAOYAN.COM

14

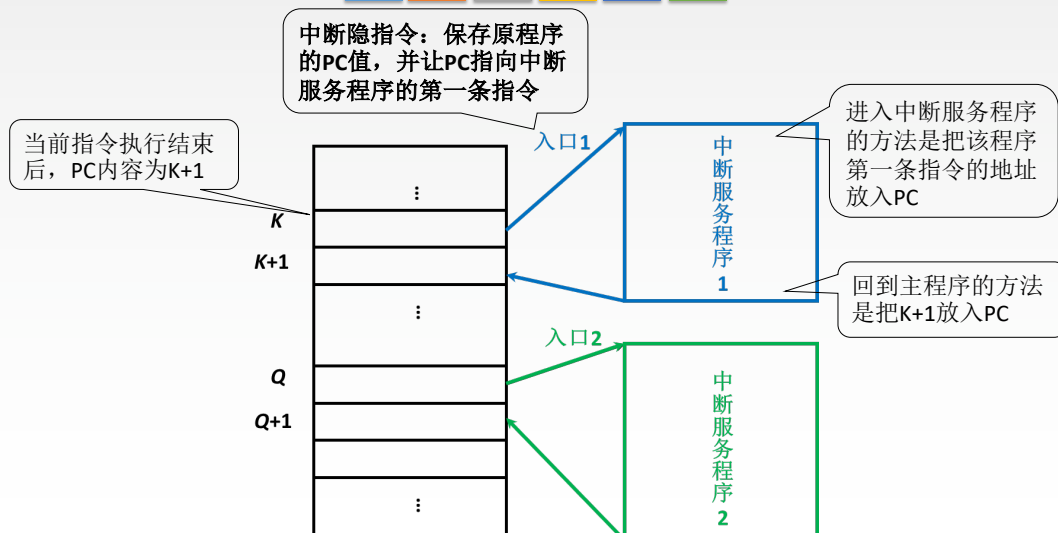
## 中断判优-优先级设置

1. 硬件故障中断属于最高级，其次是软件中断；
2. 非屏蔽中断优于可屏蔽中断；
3. DMA请求优于I/O设备传送的中断请求
4. 高速设备优于低速设备；
5. 输入设备优于输出设备；
6. 实时设备优于普通设备。

王道考研/CSKAOYAN.COM

15

## 中断处理过程



王道考研/CSKAOYAN.COM

16



### 中断处理过程-中断隐指令

并不是一条具体的指令，而是CPU在检测到中断请求时自动完成的一系列动作

中断隐指令的主要任务：

- ① **关中断**。在中断服务程序中，为了保护中断现场（即CPU主要寄存器中的内容）期间不被新的中断所打断，必须关中断，从而保证被中断的程序在中断服务程序执行完毕之后能接着正确地执行下去。
- ② **保存断点**。为了保证在中断服务程序执行完毕后能正确地返回到原来的程序，必须将原来程序的断点（即程序计数器（PC）的内容）保存起来。可以存入堆栈，也可以存入指定单元。
- ③ **引出中断服务程序**。引出中断服务程序的实质就是取出中断服务程序的入口地址并传送给程序计数器（PC）。

软件查询法

硬件向量法

王道考研/CSKAOYAN.COM

17

### 中断处理过程-硬件向量法

由 硬件 产生 向量地址  
再由 向量地址 找到 入口地址

向量地址 (中断类型号)  
00010010  
...

中断向量地址形成部件

排队器输出  
1 1 0 ... 0

向量地址

12H	JMP	200
13H	JMP	300
14H	JMP	400
...		

入口地址 200 打印机服务程序

入口地址 300 显示器服务程序

中断向量

主存

中断隐指令的主要任务：

- ① **关中断**。在中断服务程序中，为了保护中断现场（即CPU主要寄存器中的内容）期间不被新的中断所打断，必须关中断，从而保证被中断的程序在中断服务程序执行完毕之后能接着正确地执行下去。
- ② **保存断点**。为了保证在中断服务程序执行完毕后能正确地返回到原来的程序，必须将原来程序的断点（即程序计数器（PC）的内容）保存起来。可以存入堆栈，也可以存入指定单元。
- ③ **引出中断服务程序**。引出中断服务程序的实质就是取出中断服务程序的入口地址并传送给程序计数器（PC）。

软件查询法

硬件向量法

王道考研/CSKAOYAN.COM

18

### 中断处理过程-中断服务程序

入口1

中断服务程序 1

入口2

中断服务程序 2

中断服务程序的主要任务：

- ① **保护现场**  
保存通用寄存器和状态寄存器的内容（eg：保存ACC寄存器的值），以便返回原程序后可以恢复CPU环境。可使用堆栈，也可以使用特定存储单元。
- ② **中断服务(设备服务)**  
主体部分，如通过程序控制需打印的字符代码送入打印机的缓冲存储器中（eg：中断服务的过程中有可能修改ACC寄存器的值）
- ③ **恢复现场**  
通过出栈指令或取数指令把之前保存的信息送回寄存器中（eg：把原程序算到一般的ACC值恢复原样）
- ④ **中断返回**  
通过中断返回指令回到原程序断点处。

王道考研/CSKAOYAN.COM

20

### 总结：中断处理过程

入口1

中断服务程序 1

入口2

中断服务程序 2

单重中断：执行中断服务程序时不响应新的中断请求。

取指令

执行指令

中断否?

中断处理过程

中断响应

程序断点进栈

关中断

向量地址→PC

保护现场

设备服务

恢复现场

开中断

中断返回

中断周期

中断隐指令

王道考研/CSKAOYAN.COM

21

本节内容

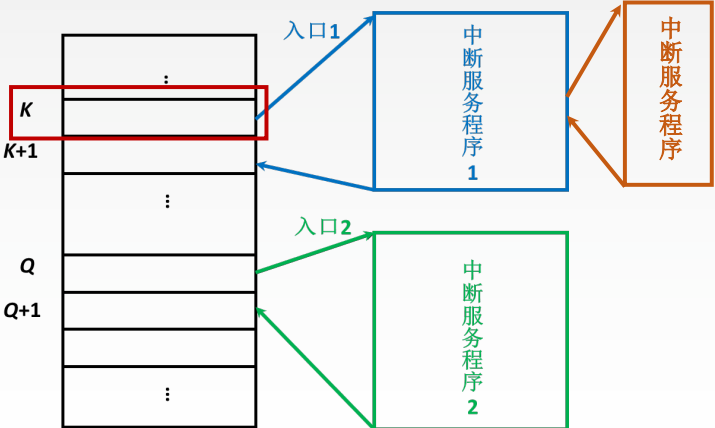
多重中断  
(套娃警告)



王道考研/CSKAOYAN.COM

22

多重中断 (套娃警告)



入口1

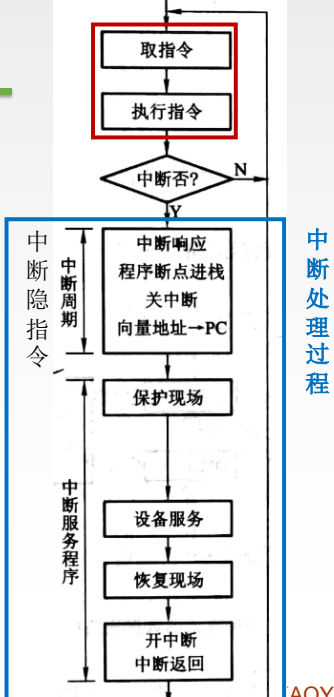
中断服务程序 1

入口2

中断服务程序 2

单重中断：执行中断服务程序时不响应新的中断请求。

多重中断：又称中断嵌套，执行中断服务程序时可响应新的中断请求。



取指令

执行指令

中断否?

中断处理过程

中断响应

程序断点进栈

关中断

向量地址->PC

保护现场

设备服务

恢复现场

开中断

中断返回

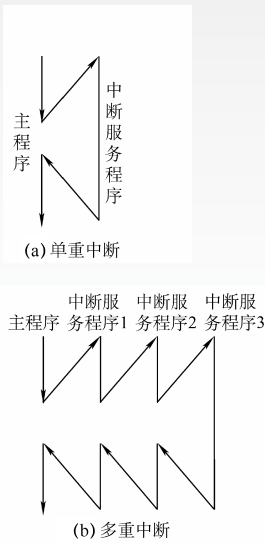
中断周期

中断服务程序

AOYAN.COM

23

单重中断与多重中断



	单重中断	多重中断
中断隐指令	关中断	关中断
	保存断点 (PC)	保存断点 (PC)
	送中断向量	送中断向量
中断服务程序	保护现场	保护现场和屏蔽字
	-	开中断
	执行中断服务程序	执行中断服务程序
	-	关中断
	恢复现场	恢复现场和屏蔽字
	开中断	开中断
	中断返回	中断返回

王道考研/CSKAOYAN.COM

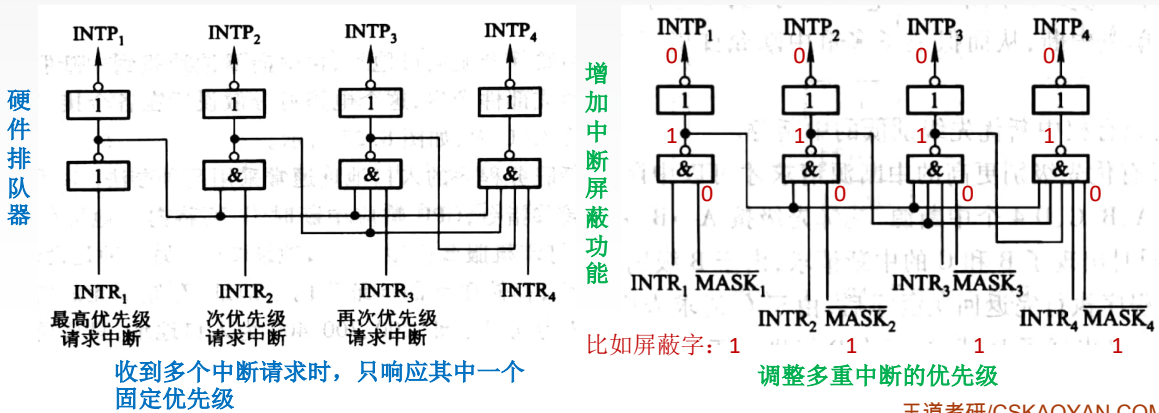
24

中断屏蔽技术

中断屏蔽技术主要用于多重中断，CPU要具备多重中断的功能，须满足下列条件。

- ① 在中断服务程序中提前设置开中断指令。
- ② 优先级高的中断源有权中断优先级低的中断源。

每个中断源都有一个屏蔽触发器，1表示屏蔽该中断源的申请，0表示可以正常申请，所有屏蔽触发器组合在一起，便构成一个屏蔽字寄存器，屏蔽字寄存器的内容称为屏蔽字。



王道考研/CSKAOYAN.COM

25

中断屏蔽技术

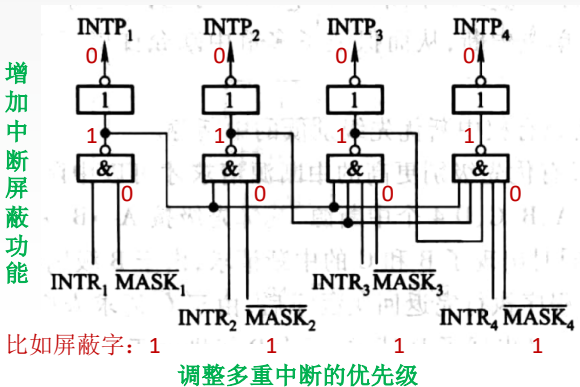
中断屏蔽技术主要用于多重中断，CPU要具备多重中断的功能，须满足下列条件。

- ① 在中断服务程序中提前设置开中断指令。
- ② 优先级高的中断源有权中断优先级低的中断源。

每个中断源都有一个屏蔽触发器，1表示屏蔽该中断源请求，0表示可以正常申请，所有屏蔽触发器组合在一起，便构成一个屏蔽字寄存器，屏蔽字寄存器的内容称为屏蔽字。

屏蔽字设置的规律：

- 1. 一般用‘1’表示屏蔽，‘0’表示正常申请。
- 2. 每个中断源对应一个屏蔽字(在处理该中断源的中断服务程序时，屏蔽寄存器中的内容为该中断源对应的屏蔽字)。
- 3. 屏蔽字中‘1’越多，优先级越高。每个屏蔽字中至少有一个‘1’(至少要能屏蔽自身的中断)。



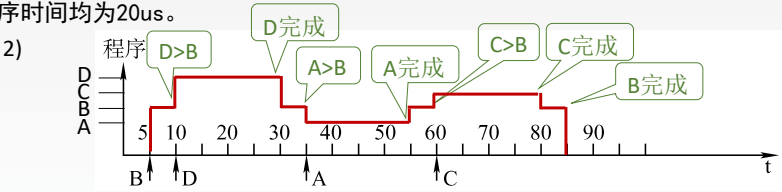
王道考研/CSKAOYAN.COM

26

中断屏蔽技术

设某机有4个中断源A、B、C、D，其硬件排队优先次序为A>B>C>D，现要求将中断处理次序改为D>A>C>B。

- 1) 写出每个中断源对应的屏蔽字。
- 2) 按下图所示的时间轴给出的4个中断源请求时刻，画出CPU执行程序轨迹。设每个中断源的中断服务程序时间均为20us。



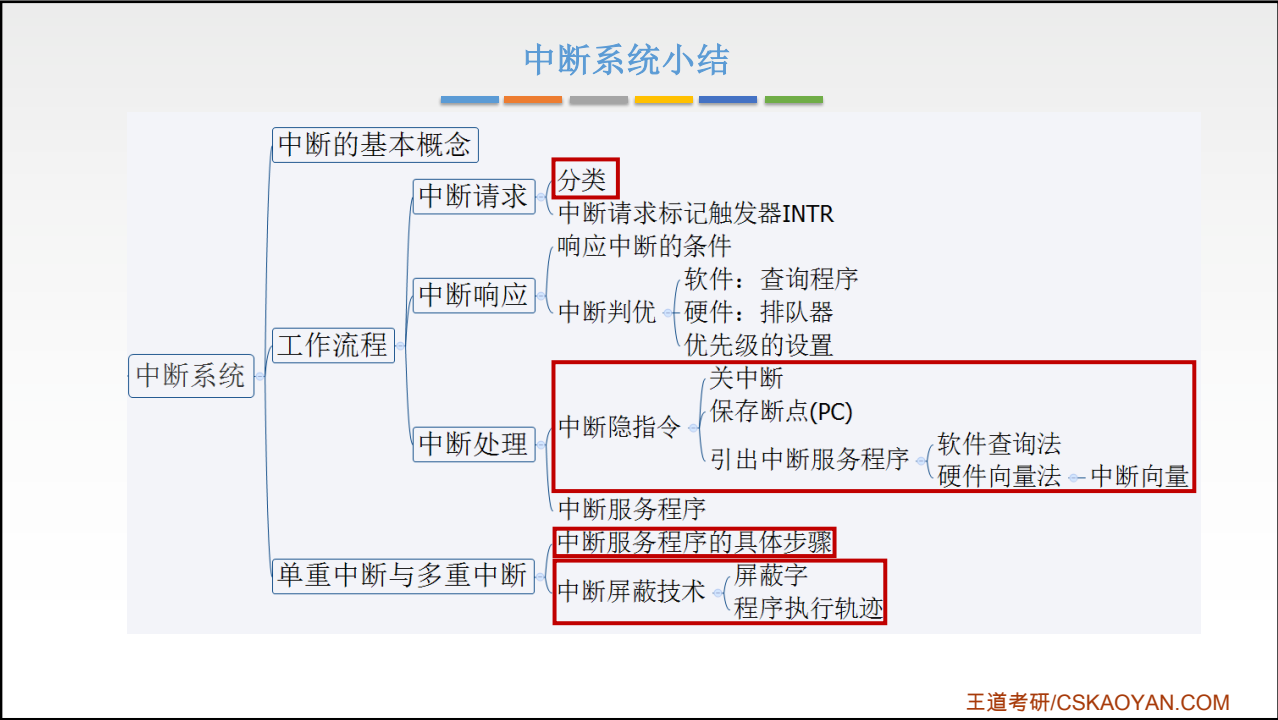
1)

中断源	屏蔽字			
	A	B	C	D
A	1	1	1	0
B	0	1	0	0
C	0	1	1	0
D	1	1	1	1

中断源A的屏蔽字为1110  
中断源B的屏蔽字为0100  
中断源C的屏蔽字为0110  
中断源D的屏蔽字为1111

王道考研/CSKAOYAN.COM

27



28

### 扩展（了解一哈）

**IF (Interrupt Flag)** 开/关中断标志。当IF=1时，表示开中断，当IF=0时表示关中断

**INTR:** 可屏蔽中断请求 (interrupt request) 信号，输入，用来申请一个硬件中断。当 IF=1 时，若 INTR 保持高电平，则在当前指令执行完毕后就进入中断响应周期

**NMI:** 非屏蔽中断 (non-maskable interrupt) 输入信号。与 INTR 信号类似，但 NMI 中断不必检查 IF 标志位是否为 1。常用于处理电源掉电紧急情况。

**INTA:** 中断响应 (interrupt acknowledge) 信号，输出。响应 INTR 输入。该引脚常用来选通中断向量码以响应中断请求。

IF: Interrupt Flag, 存在PSW中, 8086芯片的PSW如下

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
				OF	DF	IF	TF	SF	ZF		AF		PF		CF

王道考研/CSKAOYAN.COM

29

### 扩展（了解一哈）

8259A芯片——中断控制器

8086 CPU

王道考研/CSKAOYAN.COM

30

### 扩展（了解一哈）

➤ 条件码：

- OF (Overflow Flag) 溢出标志。溢出时为1,否则置0.
- SF (Sign Flag) 符号标志。结果为负时置1,否则置0.
- ZF (Zero Flag) 零标志, 运算结果为0时ZF位置1,否则置0.
- CF (Carry Flag) 进位标志, 进位时置1,否则置0.
- AF (Auxiliary carry Flag) 辅助进位标志, 记录运算时第3位（半个字节）产生的进位。有进位时1,否则置0.
- PF (Parity Flag) 奇偶标志。结果操作数中1的个数为偶数时置1,否则置0.

➤ 控制标志位：

- DF (Direction Flag) 方向标志, 在串处理指令中控制信息的方向。
- IF (Interrupt Flag) 中断标志。
- TF (Trap Flag) 陷阱标志。

15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
				OF	DF	IF	TF	SF	ZF		AF		PF		CF

8086 CPU

- NMI:不可屏蔽中断请求信号。常用于处理电源掉电紧急情况。
- INTR:可屏蔽中断请求信号。

王道考研/CSKAOYAN.COM

31

本节内容

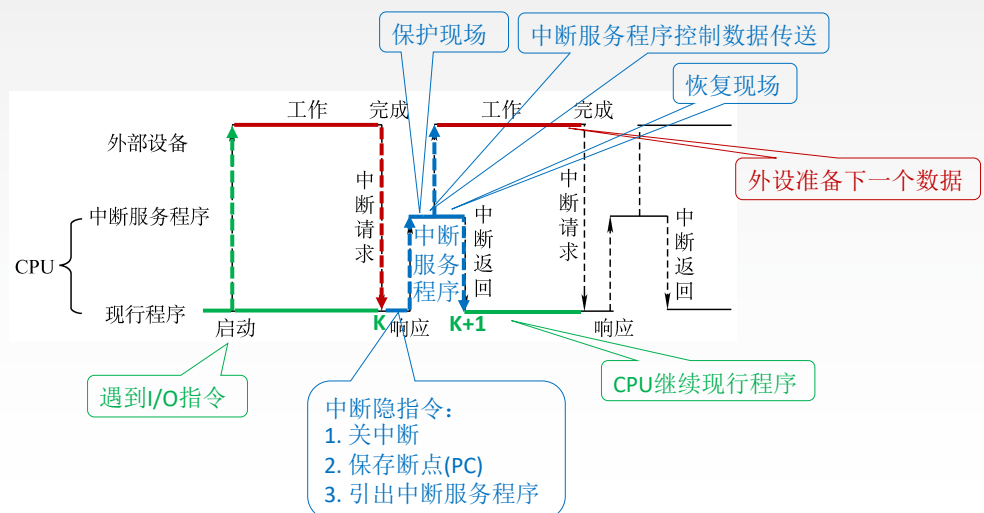
# 输入/输出系统

## I/O方式2 程序中断方式续

王道考研/CSKAOYAN.COM

32

### 程序中断方式



王道考研/CSKAOYAN.COM

33

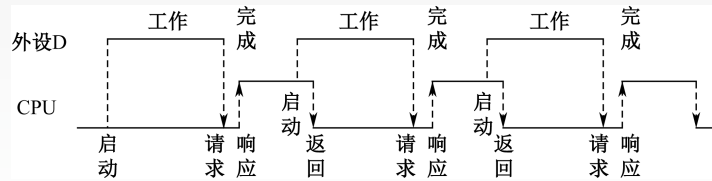


程序中中断方式

假定CPU主频为50MHz，CPI为4。设备D采用异步串行通信方式向主机传送7位ASCII字符，通信规程中有1位奇校验位和1位停止位，从D接收启动命令到字符送入I/O端口需要0.5ms。请回答下列问题，要求说明理由。

1) 每传送一个字符，在异步串行通信线上共需传输多少位？在设备D持续工作过程中，每秒钟最多可向I/O端口送入多少个字符？

2) 设备D采用中断方式进行输入/输出，示意图如下：



I/O端口每收到一个字符申请一次中断，中断响应需10个时钟周期，中断服务程序共有20条指令，其中第15条指令启动D工作。若CPU需从D读取1000个字符，则完成这一任务所需时间大约是多少个时钟周期？CPU用于完成这一任务的时间大约是多少个时钟周期？在中断响应阶段CPU进行了哪些操作？

王道考研/CSKAOYAN.COM

34

程序中中断方式

假定CPU主频为50MHz，CPI为4。设备D采用异步串行通信方式向主机传送7位ASCII字符，通信规程中有1位奇校验位和1位停止位，从D接收启动命令到字符送入I/O端口需要0.5ms。请回答下列问题，要求说明理由。

1) 每传送一个字符，在异步串行通信线上共需传输多少位？在设备D持续工作过程中，每秒钟最多可向I/O端口送入多少个字符？



至少包含1位起始位和1位停止位，停止位可能有多位。

每传送一个字符需要传送1位起始位、7位数据位、1位校验位、1位停止位，共需传送10位。

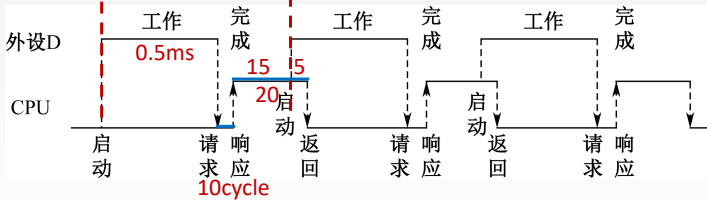
每0.5ms可送入1个字符  
每秒可送入  $1s/0.5ms = 2000$  个字符

王道考研/CSKAOYAN.COM

35

程序中断方式

假定CPU主频为50MHz，CPI为4。设备D采用异步串行通信方式向主机传送7位ASCII字符，通信规程中有1位奇校验位和1位停止位，从D接收启动命令到字符送入I/O端口需要0.5ms。请回答下列问题，要求说明理由。  
2) 设备D采用中断方式进行输入/输出，示意图如下：



I/O端口每收到一个字符申请一次中断，中断响应需10个时钟周期，中断服务程序共有20条指令，其中第15条指令启动D工作。若CPU需从D读取1000个字符，则完成这一任务所需时间大约是多少个时钟周期？CPU用于完成这一任务的时间大约是多少个时钟周期？在中断响应阶段CPU进行了哪些操作？

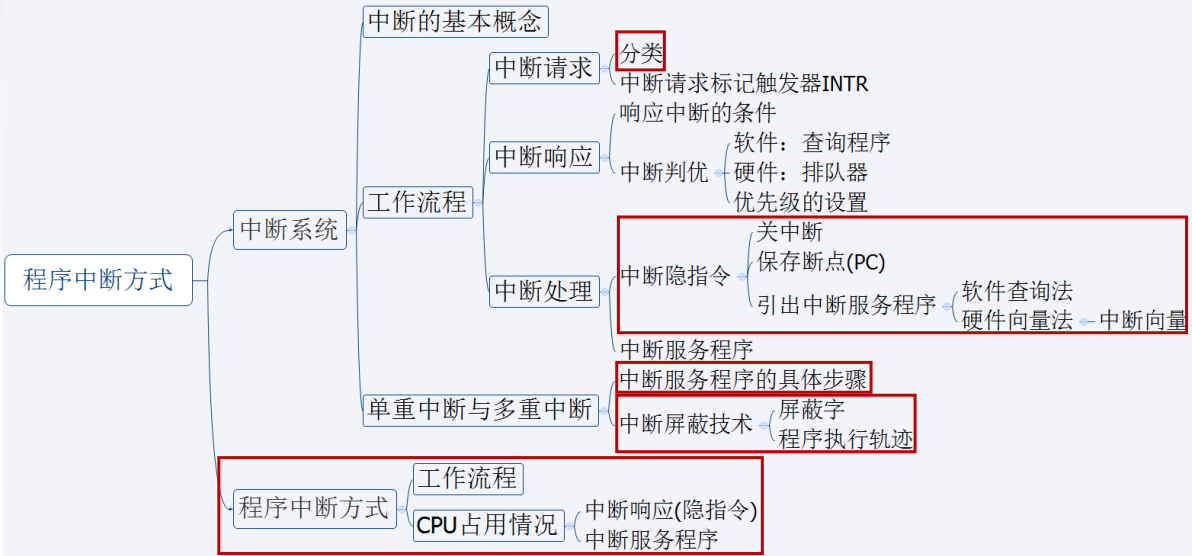
主频50MHz，时钟周期为  $1/50\text{MHz} = 20\text{ns}$   
0.5ms对应时钟周期数为  $0.5\text{ms}/20\text{ns} = 25000$   
传送1个字符需要的时钟周期数为  $25000 + 10 + 15 \times 4 = 25070$   
传送1000个字符需要的时钟周期数为  $25070 \times 1000 = 25070000$   
CPU用于该任务的时间大约为  $1000 \times (10 + 20 \times 4) = 9 \times 10^4$  个时钟周期

中断隐指令：  
1. 关中断  
2. 保存断点(PC)  
3. 引出中断服务程序

王道考研/CSKAOYAN.COM

36

本节回顾



王道考研/CSKAOYAN.COM

37

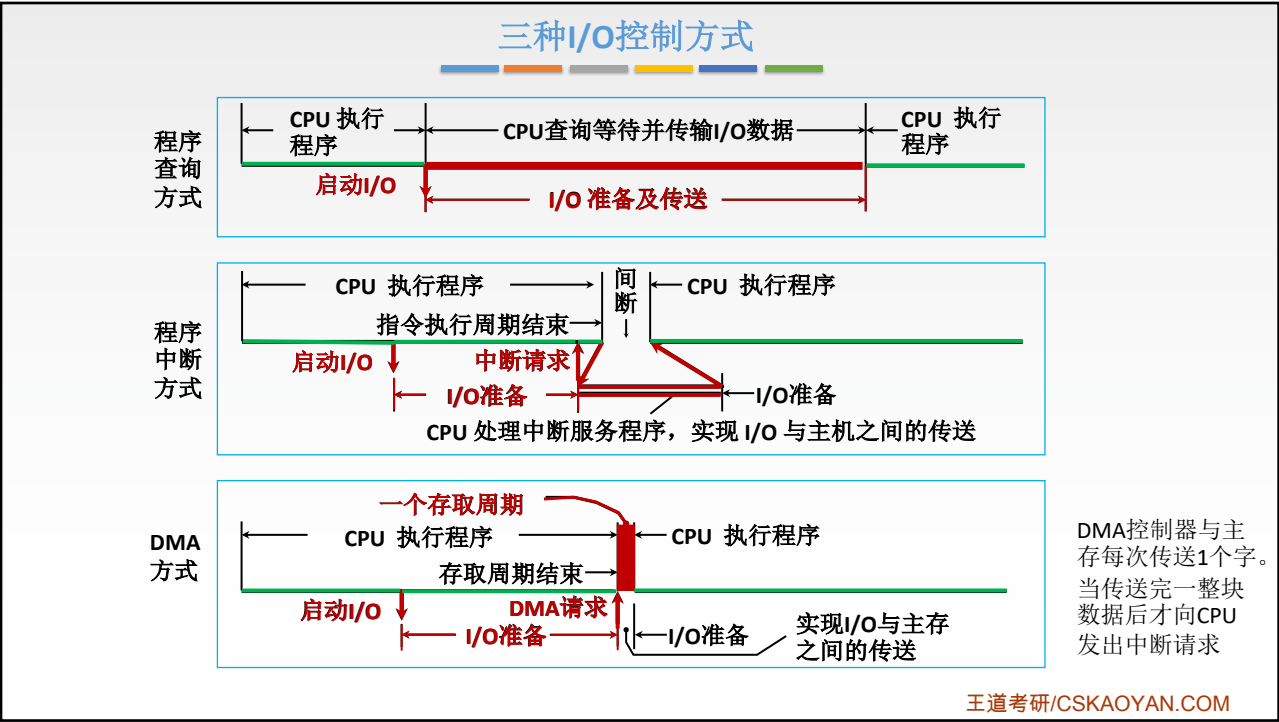
本节内容

输入/输出系统

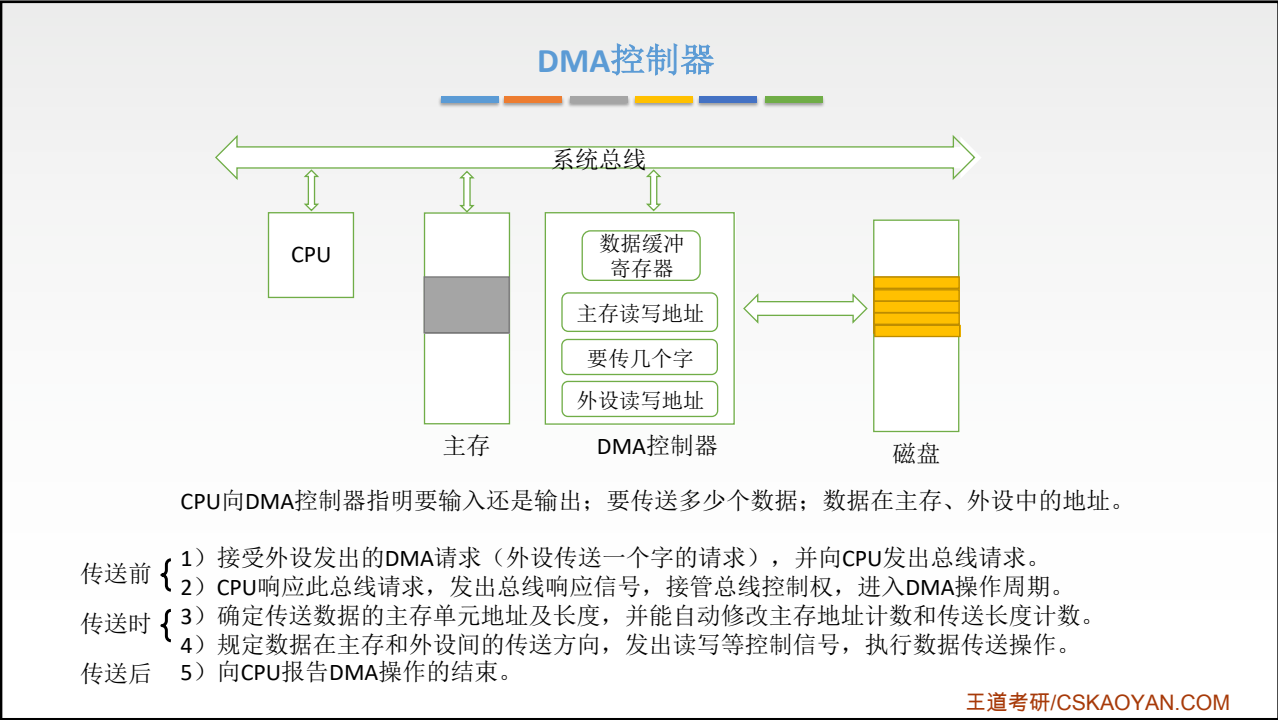
I/O方式3  
DMA方式

王道考研/CSKAOYAN.COM

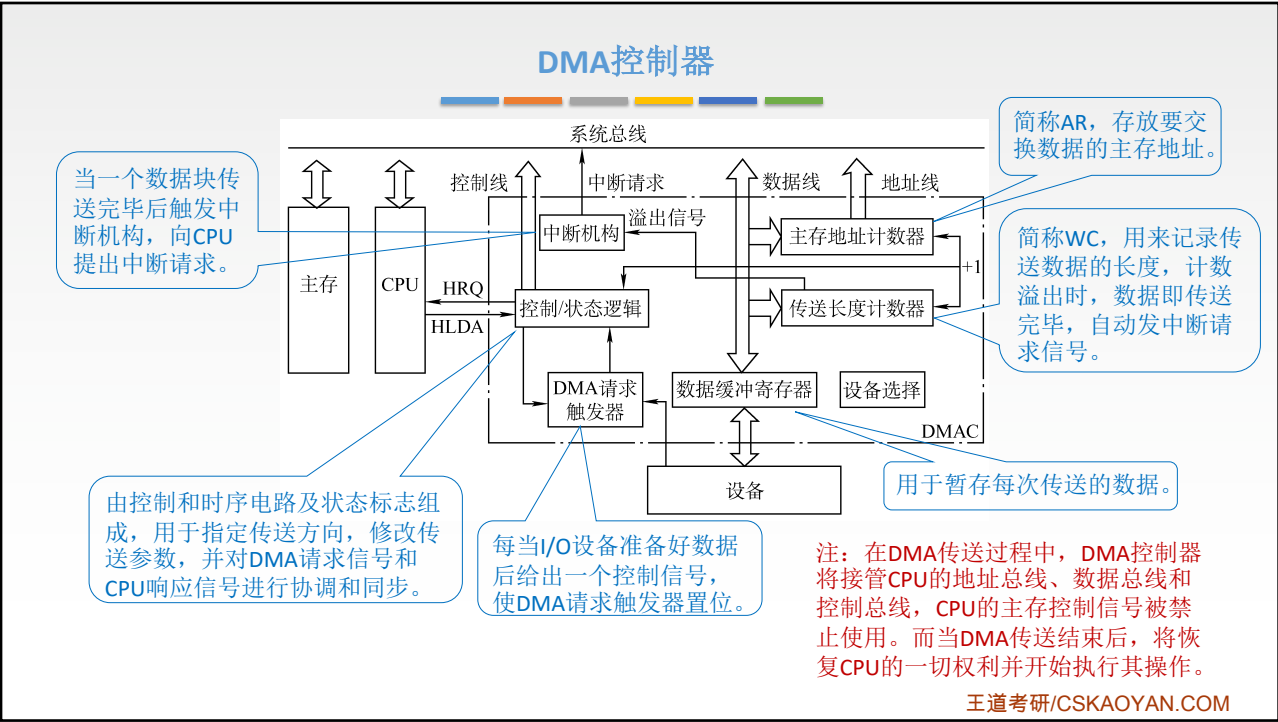
38



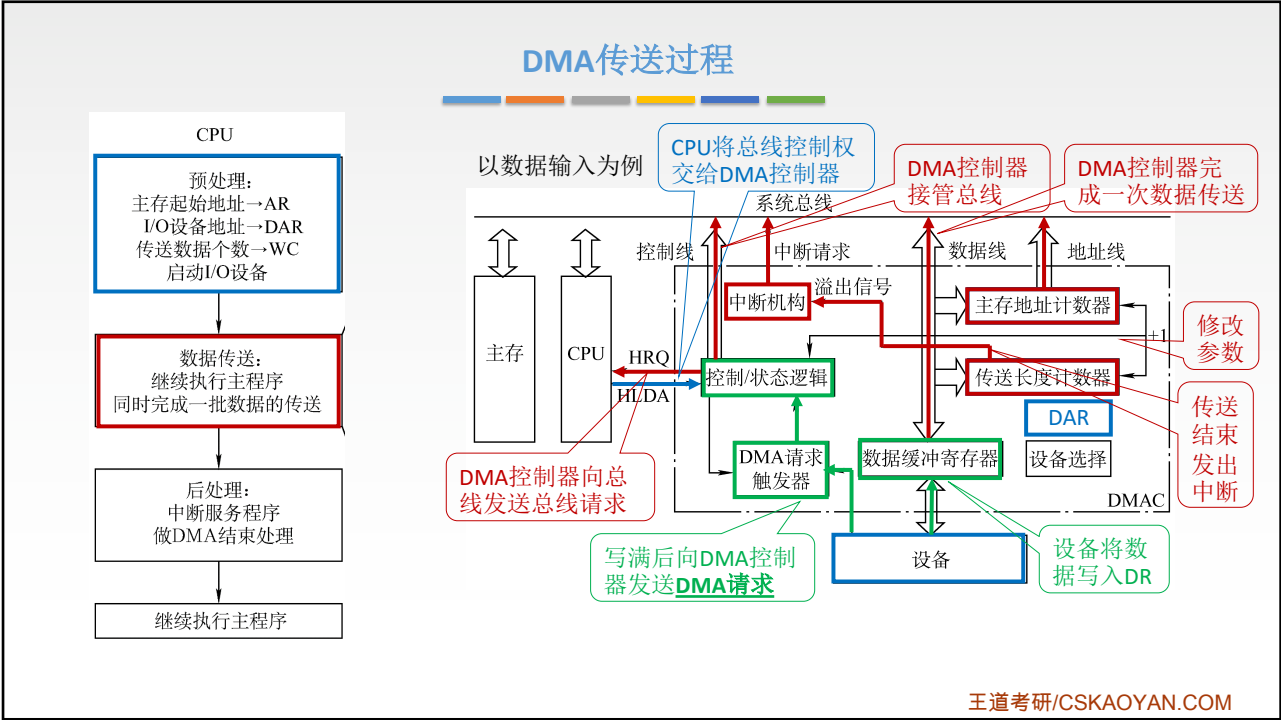
39



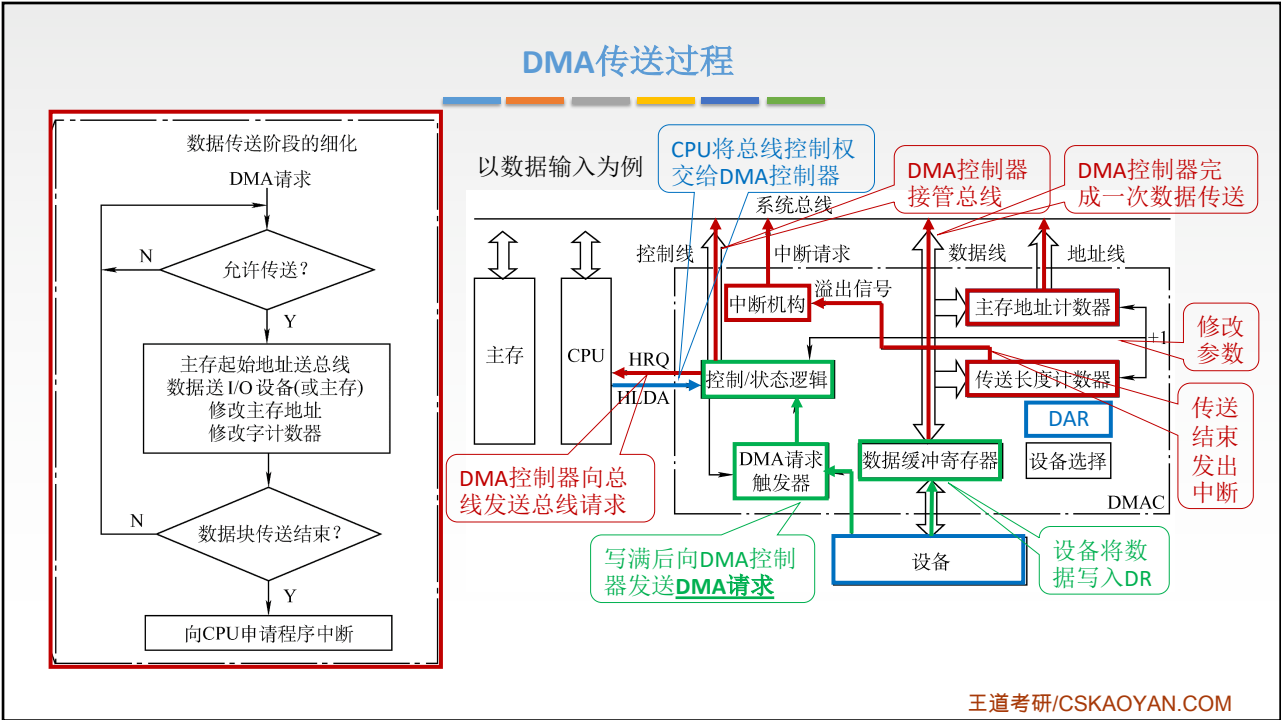
40



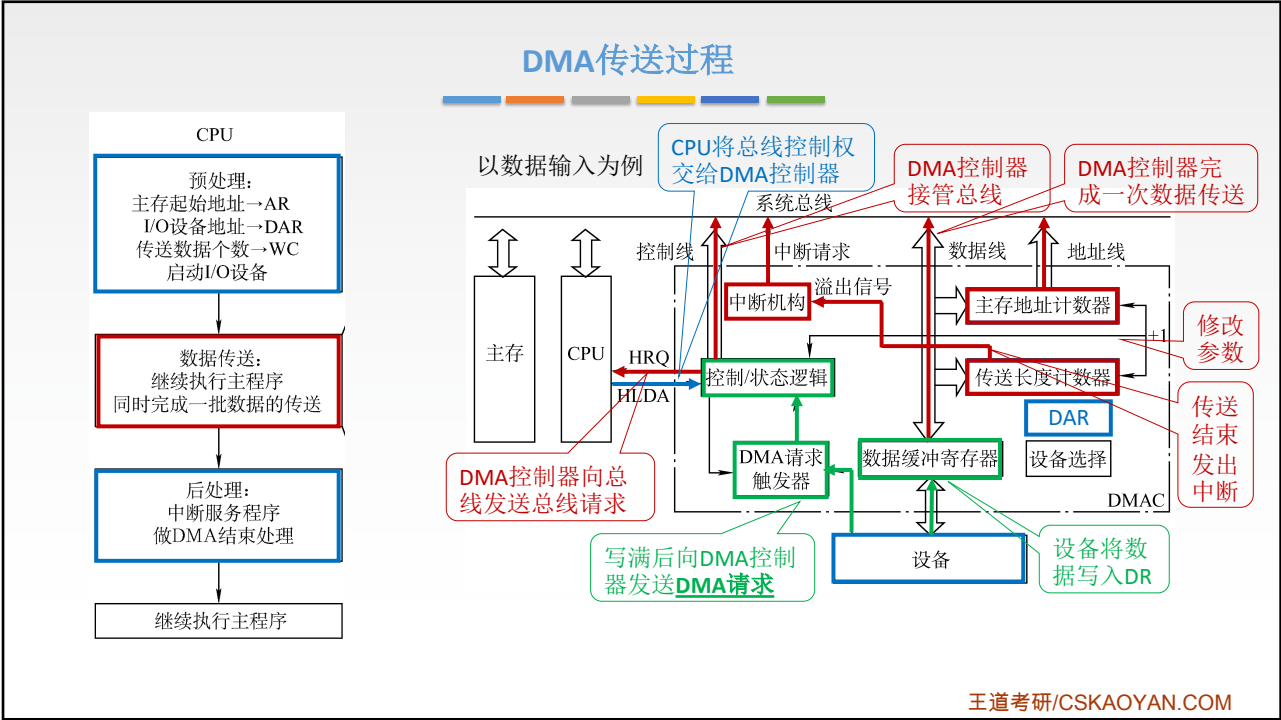
41



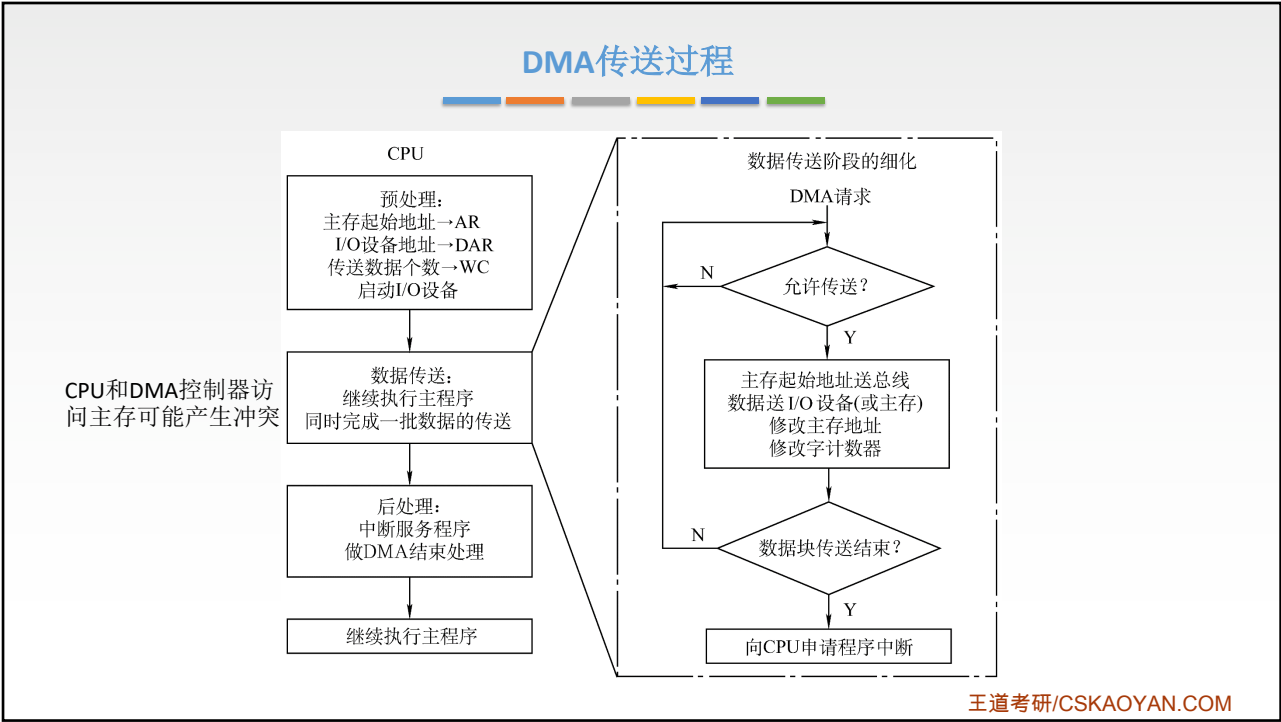
42



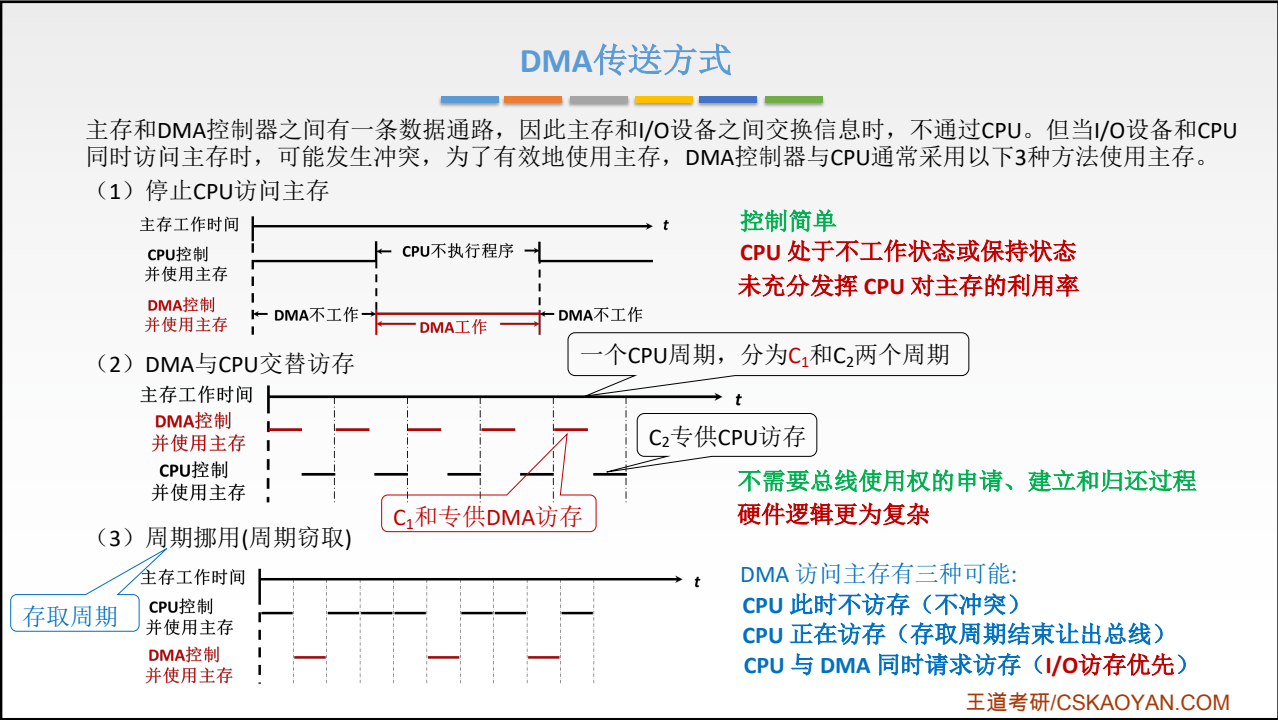
43



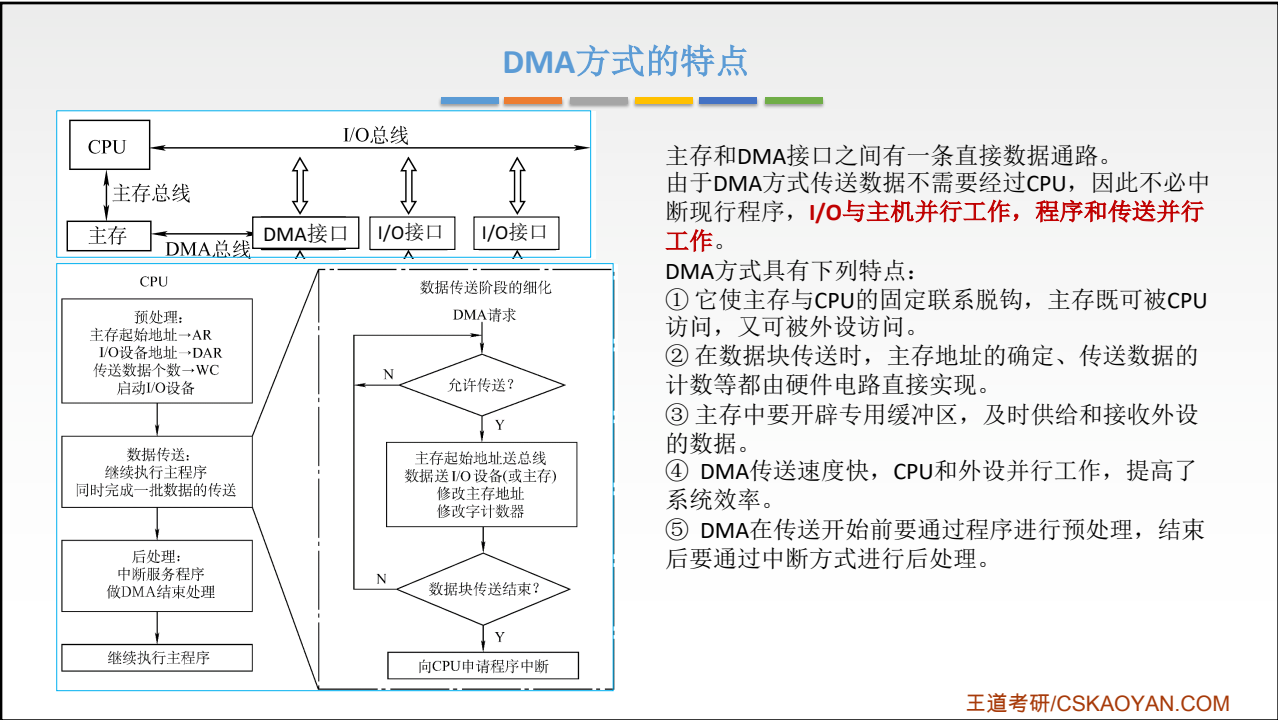
44



45



46



47

### DMA方式与中断方式

	中断	DMA
数据传送	程序控制 程序的切换 → 保存和恢复现场	硬件控制 CPU只需进行预处理和后处理
中断请求	传送数据	后处理
响应	指令执行周期结束后响应中断	每个机器周期结束均可，总线空闲时即可响应DMA请求
场景	CPU控制，低速设备	DMA控制器控制，高速设备
优先级	优先级低于DMA	优先级高于中断
异常处理	能处理异常事件	仅传送数据

王道考研/CSKAOYAN.COM

48

### 本节回顾

DMA方式

DMA控制器

主要功能

- 传送前：接受外设的DMA请求，向CPU发出总线请求；接管总线控制权
- 传送时：管理总线，控制数据传送；确定主存单元地址及长度，能自动修改对应参数
- 传送后：向CPU报告DMA操作的结束

组成

- 主存地址计数器：存放要交换数据的主存地址
- 传送长度计数器：记录传送数据的长度
- 数据缓冲寄存器：暂存每次传送的数据
- DMA请求触发器：设备准备好数据后将其置位
- 控制/状态逻辑：由控制和时序电路及状态标志组成
- 中断机构：数据传送完毕后触发中断机构，提出中断请求

传送过程

预处理：CPU完成寄存器初值设置等准备工作

数据传送：CPU继续执行主程序，DMA控制器完成数据传送

后处理：CPU执行中断服务程序做DMA结束处理

传送方式

停止CPU访存：需要数据传送时，停止CPU访存，总线控制权交给DMA控制器

交替访存：将CPU周期分为DMA访存和CPU访存两个部分

周期挪用(周期窃取)：I/O设备需要访存时，挪用一个或几个存取周期

特点

与中断方式的区别

CPU占用情况

王道考研/CSKAOYAN.COM

49