

# 计算机组成原理

翁睿

哈尔滨工业大学

# 自我介绍

❖ 翁睿 @计算机科学技术研究所

❖ 13069701335

❖ [wengrui@hit.edu.cn](mailto:wengrui@hit.edu.cn)

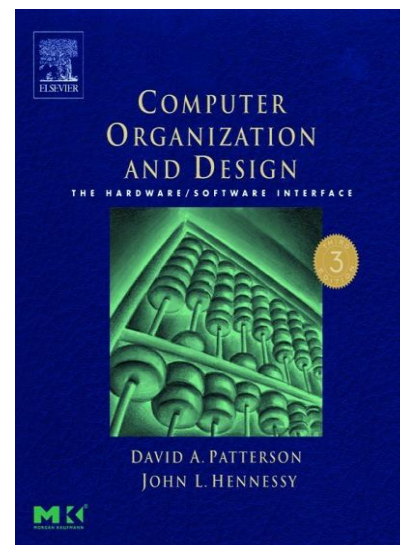
❖ 科学园 科创大厦K1328室

# 课程概貌

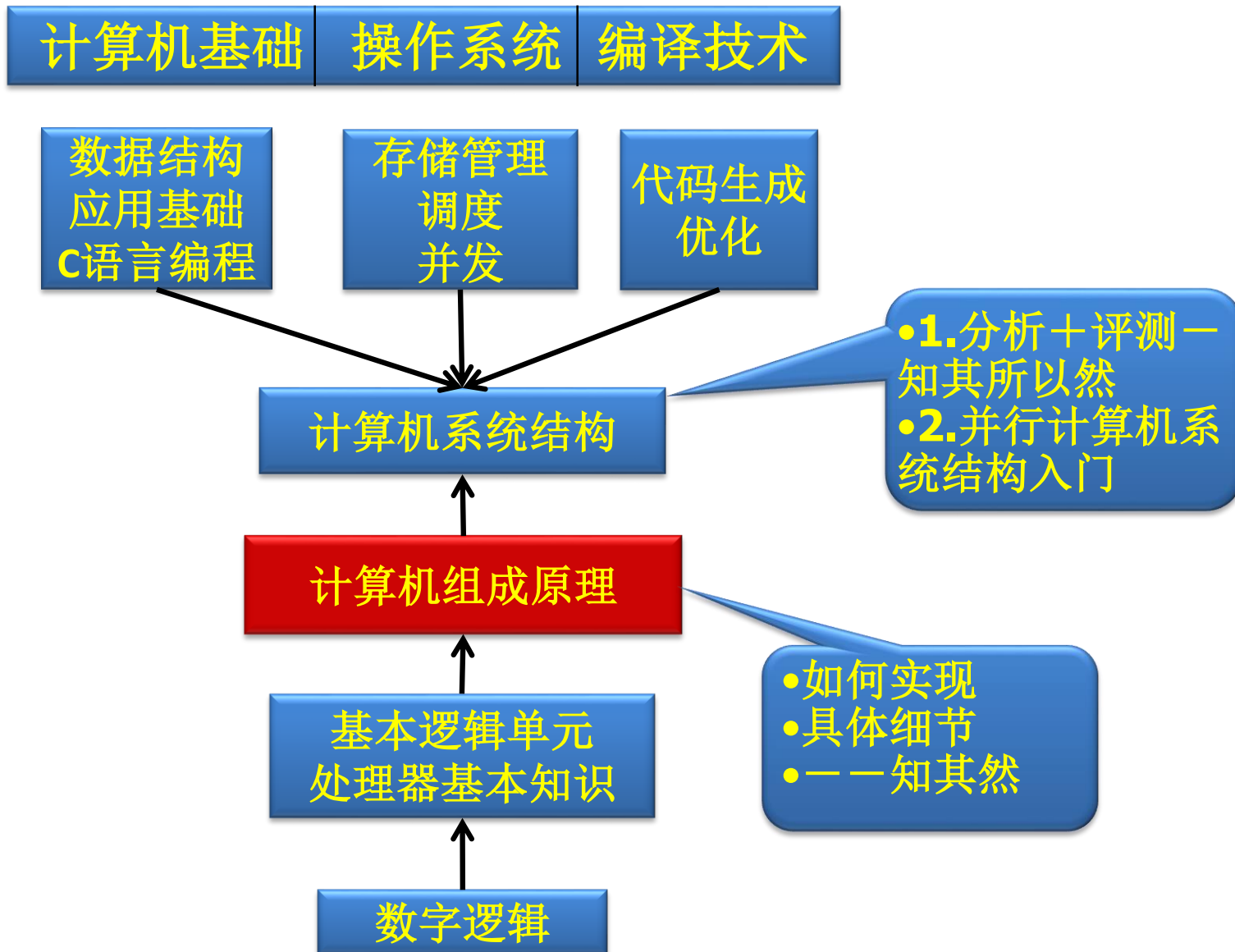
- 讲授内容
  - 基本部件的结构和组织方式
  - 基本运算的操作原理
  - 基本部件和单元的设计思想
- 特色
  - 计算机组成的一般原理，不以具体机型为依托
  - 采用自顶向下的方式、层层细化
- 教材
  - 唐朔飞. 计算机组成原理（第3版）. 高等教育出版社

# 参考教材

- David A.Patterson. John L.Hennessy. **Computer Organization & Design: A Hardware/Software Interface**
- David Harris, Sarah Harris. **Digital Design and Computer Architecture**. Morgan Kaufmann, 2007



# 本课程在课程体系中的地位



# 内容提纲

第 1 部分 计算机系统概论

第 2 部分 总线系统

第 3 部分 运算方法和运算器

第 4 部分 存储系统

第 5 部分 输入输出系统

第 6 部分 指令系统与**CPU**结构

第 7 部分 控制单元及其设计方法

# 授课形式

- 课堂教学
  - 框架梳理
  - 概念讲解
  - 应用举例
  - 知识拓展
  - 随堂互动
- 其他环节
  - 每章小作业
  - 设计型大作业
  - 四次硬件实验
  - 课间交流
  - 课后答疑@QQ群

# 课程QQ群二维码





# 课程QQ群二维码



# 考核方式

- 期末考试，**70%**
- 平时成绩，**30%**

构成：

- 课后作业，**10%**
- 硬件实验，**15%**
- 大作业，**5%**

# 第 1 章 计算机系统概论

## 1.1 计算机系统简介

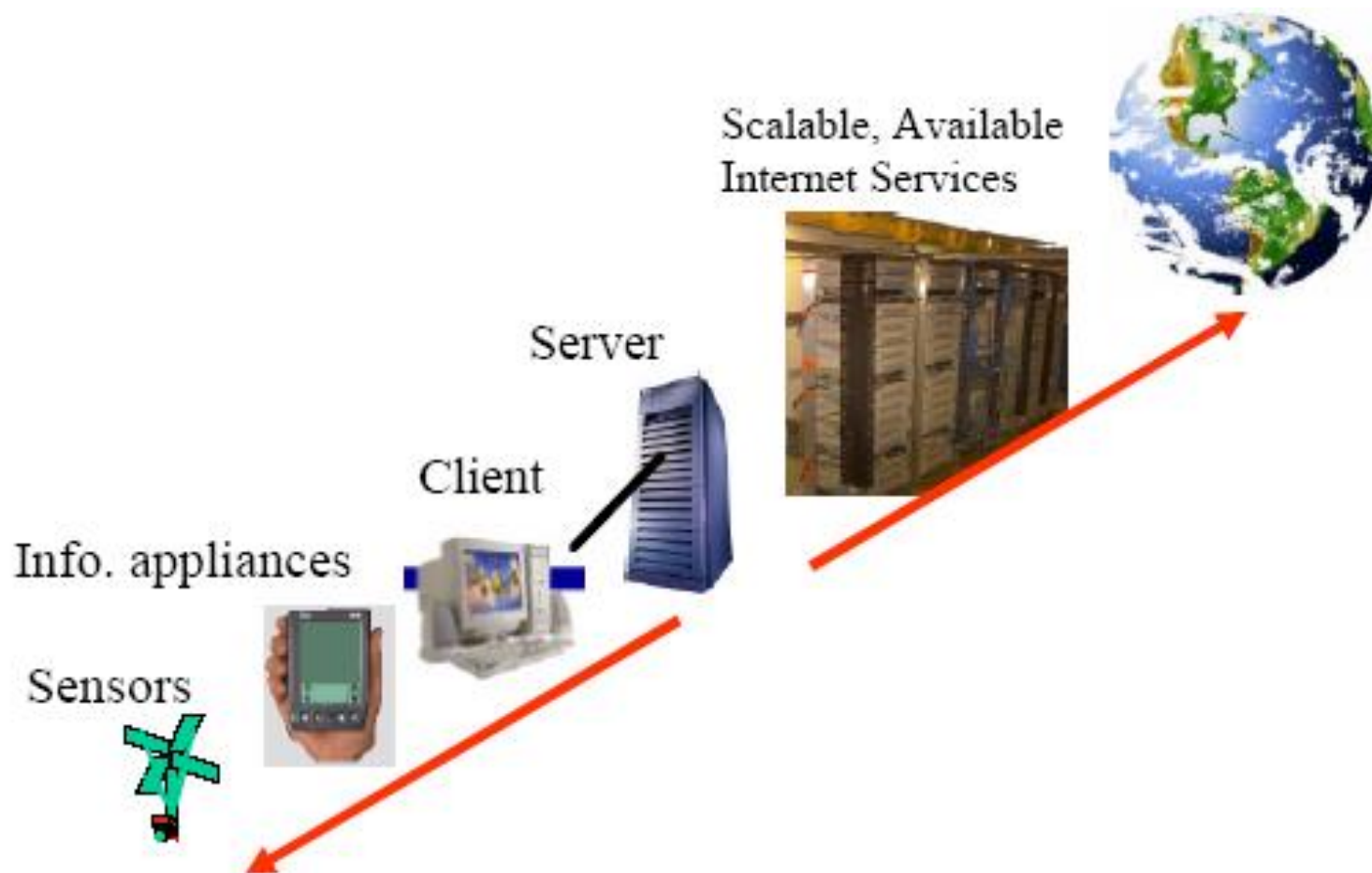
## 1.2 计算机的基本组成

## 1.3 计算机硬件的主要技术指标

## 1.4 教材结构

# 1.1 计算机系统简介

- 现代计算机的多态性



- 来自于国立台湾大学郭斯彦教授讲稿

# 跑得最快的计算机（截止2017年11月）

Rank	Site 国家	System 名称	Cores	Rmax (TFlop/s)	Rpeak (TFlop/s)
1	国家超级计算 无锡中心	神威·太湖之光 国家并行计算机工程技术研究中心	10,649,600	93,010	124,440
2	国家超级计算 广州中心	天河二号 中国国防科技大学	3,120,000	33,863	54,902
3	瑞士卢加诺国家 超级计算中心	Piz Daint 瑞士Cray/HPE	65,268	21,930	37,117
4	日本海洋地球科学 和技术机构	Gyokou ExaScaler	19,840,000	19,140	28,190
5	橡树岭美国国家 实验室	Titan Cray Co.	560,640	17,590	27,112

# “神威·太湖之光” 超级计算机



神威·太湖之光连续第四次领跑全球超级计算机TOP 500榜单，位于国家超级计算无锡中心，于2016年6月首次亮相。它没有加速器芯片，依靠的是40960个申威26010处理器，每个拥有260个核心，提供了93.01 petaflops的最大持续性能和125.44 petaflops的理论峰值性能。

# “天河2号” 超级计算机



天河2号



天河1号

天河二号超级计算机是全球第一台峰值性能突破5亿亿次(50PFlops)的超级计算机，与美国“泰坦”系统相比，占地面积是它的85%，性能却是它的两倍。天河二号超级计算机独创了新型“异构多态”的体系结构，实现了多类型计算资源、输入输出资源和服务资源的灵活配置，在系统管理软件方面采用了多层次的容错设计、机器管理机器的自治的故障管理技术等等，可以更方便的分析、诊断和处理故障，标志着中国已掌握了世界领先的超算体系架构和作业调度管理等这些核心技术。

# Titan- Cray XK7



“泰坦”是一套拥有200个机柜、18688个计算节点的Cray XK7超算系统，每个节点有一颗推土机架构的AMD Opteron 6200十六核心处理器、一块开普勒架构的NVIDIA Tesla K20 GPU加速计算卡，整体浮点性能超过20PFlops(每秒钟2亿亿次浮点计算)。系统的性能最高可以拓展超过50PFlops。



# 智能手机、PDA、平板电脑

## 嵌入式计算机



# 手表计算机





# 穿戴计算机(Wearable Computer)

## 嵌入式计算机



# 穿戴计算机(Wearable Computer)

Steve Mann's "wearable computer" and "reality mediator" inventions of the 1970s have evolved into what looks like ordinary eyeglasses.





# 1.1 计算机系统简介

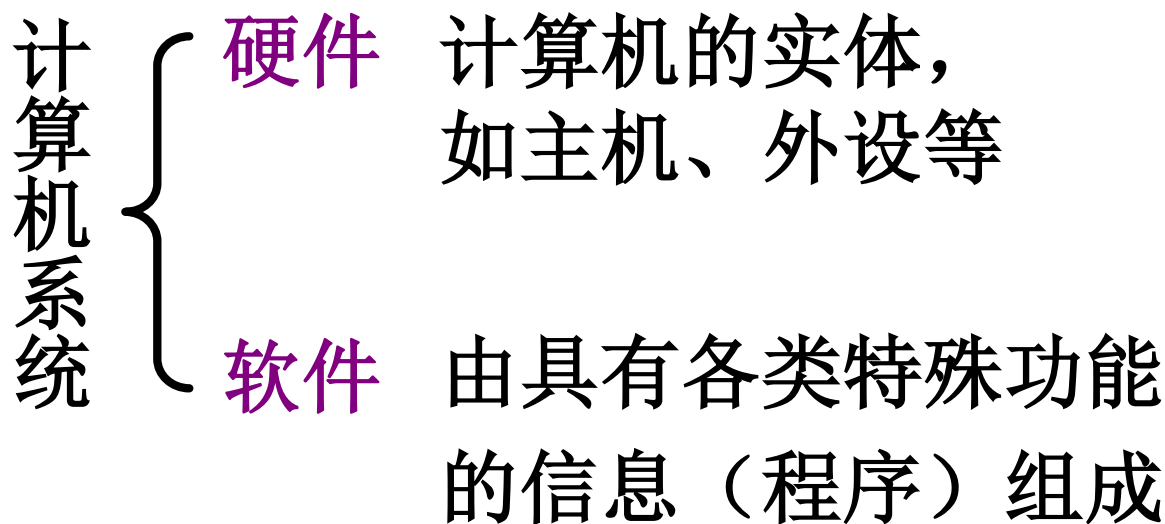


基本结构都具有共性特征

# 1.1 计算机系统简介

## 一、计算机的软硬件概念

### 1. 计算机系统



## 软件

### 系统软件

用来管理整个计算机系统

语言处理程序

操作系统

服务性程序

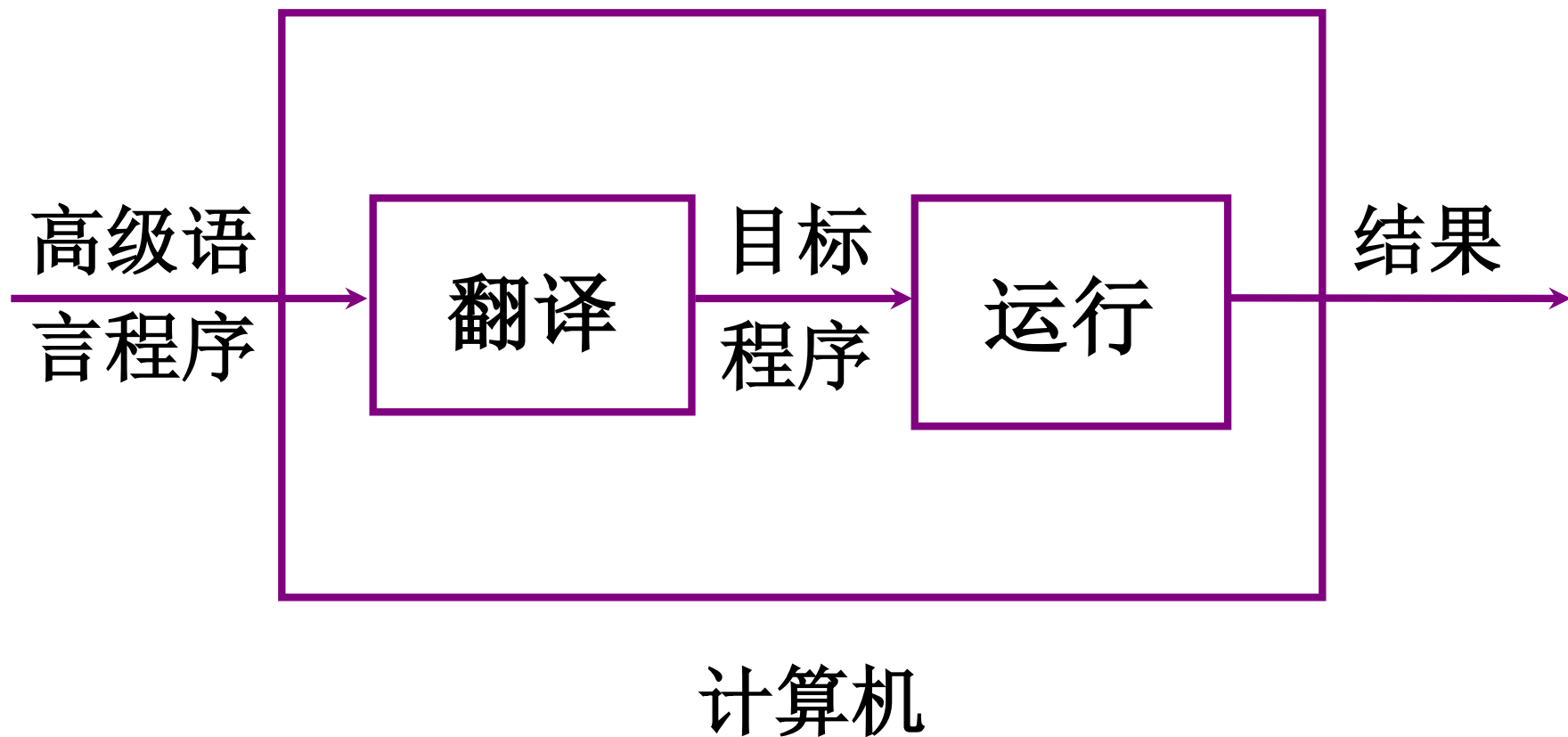
数据库管理系统

网络软件

### 应用软件

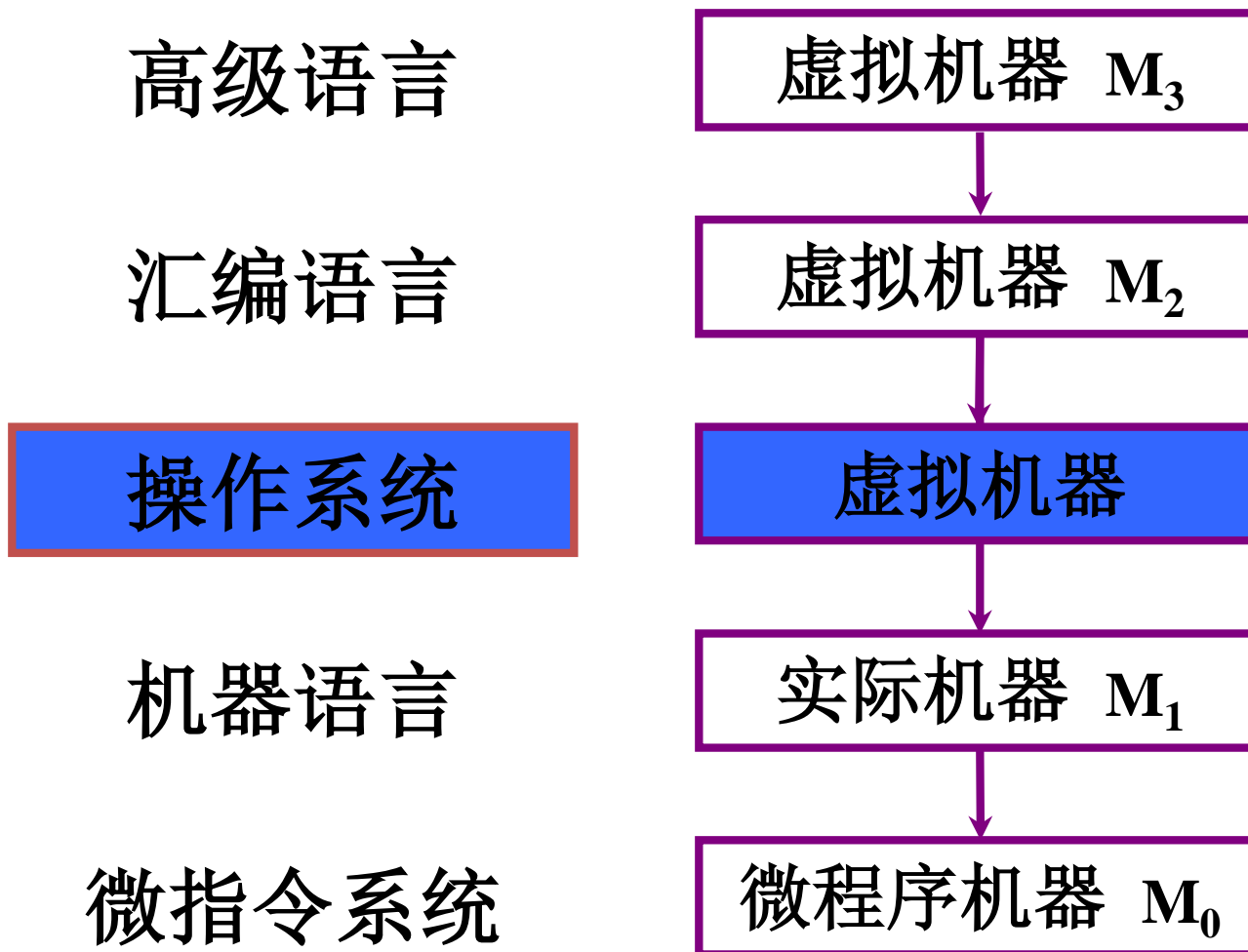
按任务需要编制成的各种程序

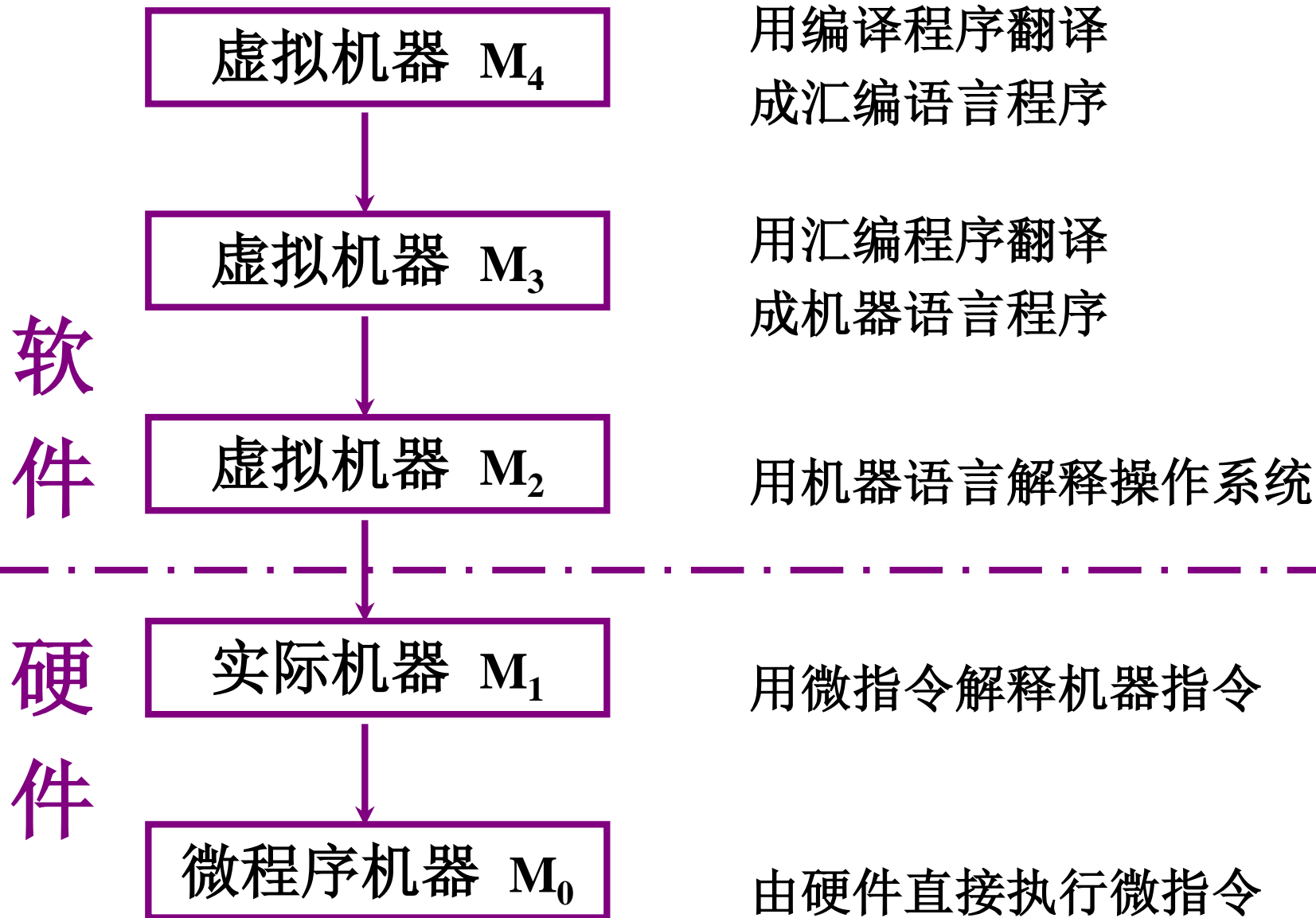
## 2. 计算机的解题过程





## 二、计算机系统的层次结构





# 三、计算机体系结构和计算机组成

1.1

有无乘法指令

计算机  
体系结构

程序员所见到的计算机系统的属性  
概念性的结构与功能特性

Architecture

(指令系统、数据类型、寻址技术、I/O机理)

计算机  
组成

实现计算机体系结构所体现的属性  
(具体指令的实现)

Organization

如何实现乘法指令

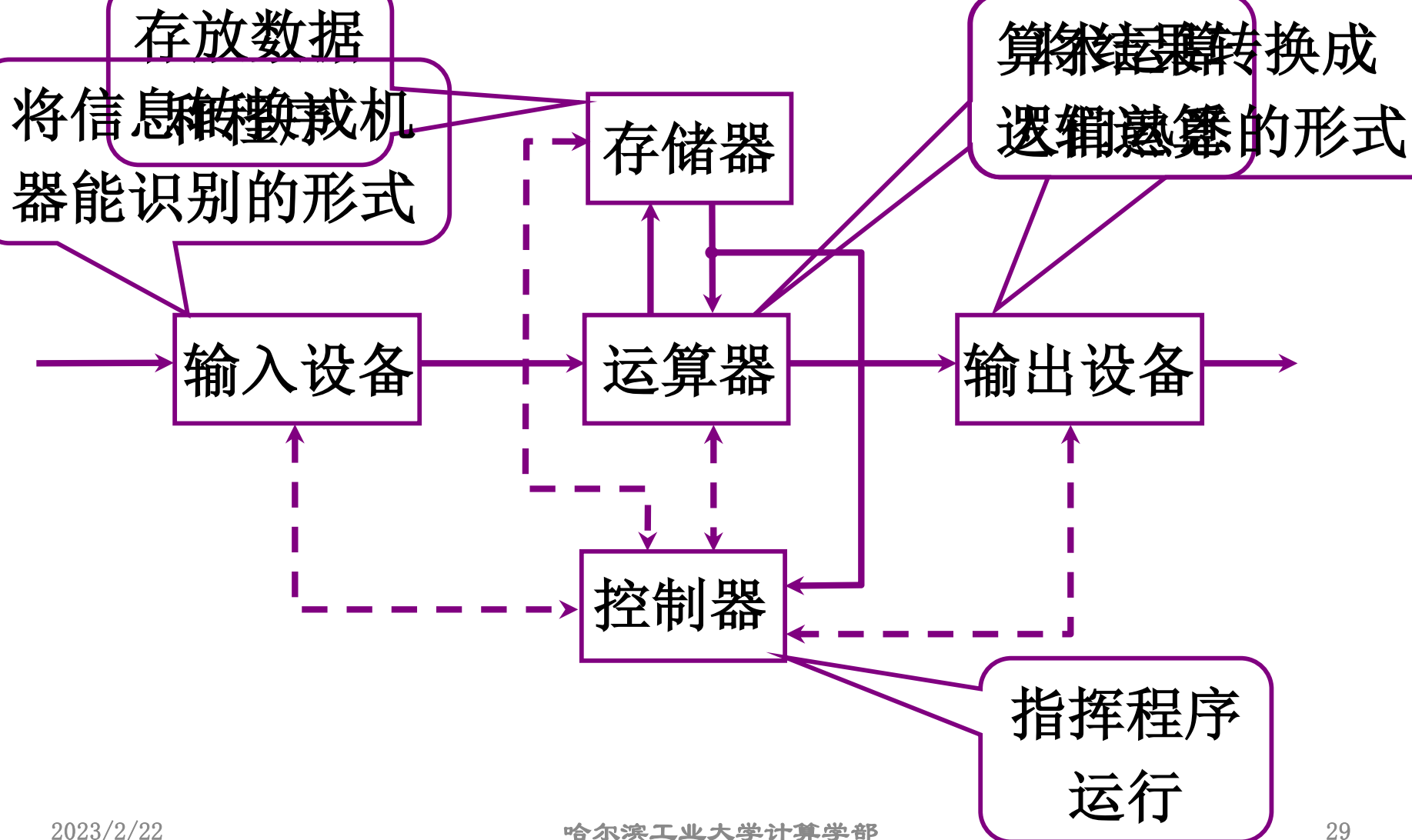
# 1.2 计算机的基本组成

## 一、冯·诺依曼计算机的特点

1. 计算机由五大部件组成
2. 指令和数据以同等地位存于存储器，可按地址寻访
3. 指令和数据用二进制表示
4. 指令由操作码和地址码组成
5. 存储程序
6. 以运算器为中心

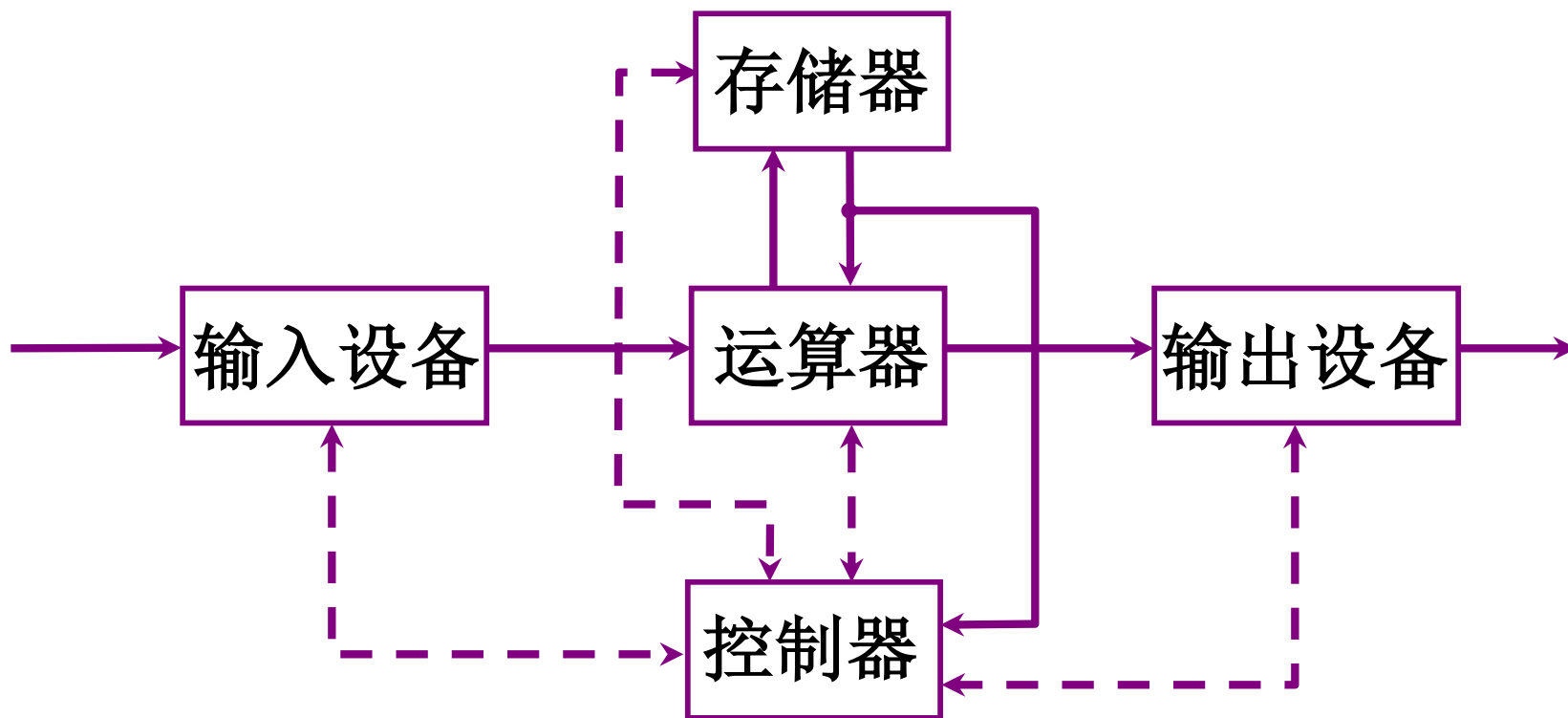
# 冯·诺依曼计算机硬件框图

## 1.2



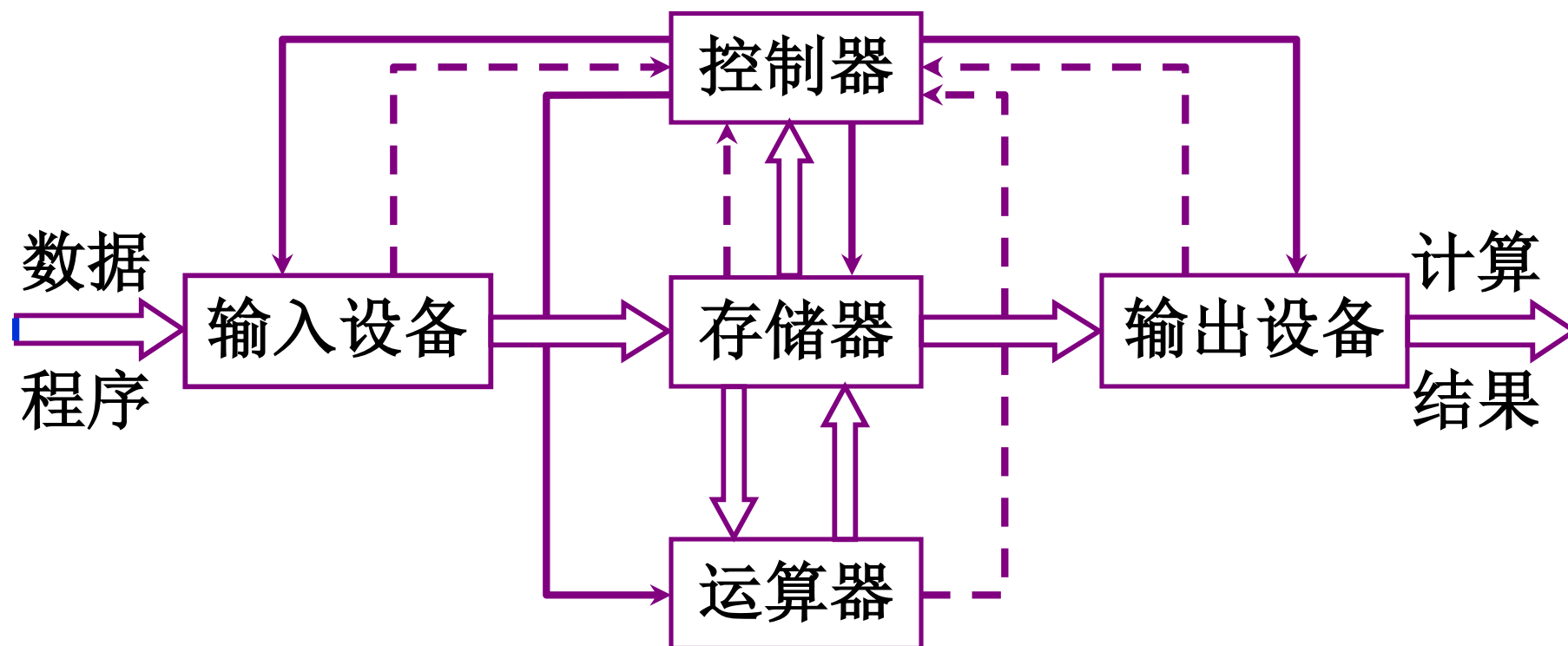
# 冯·诺依曼计算机硬件框图

## 1.2

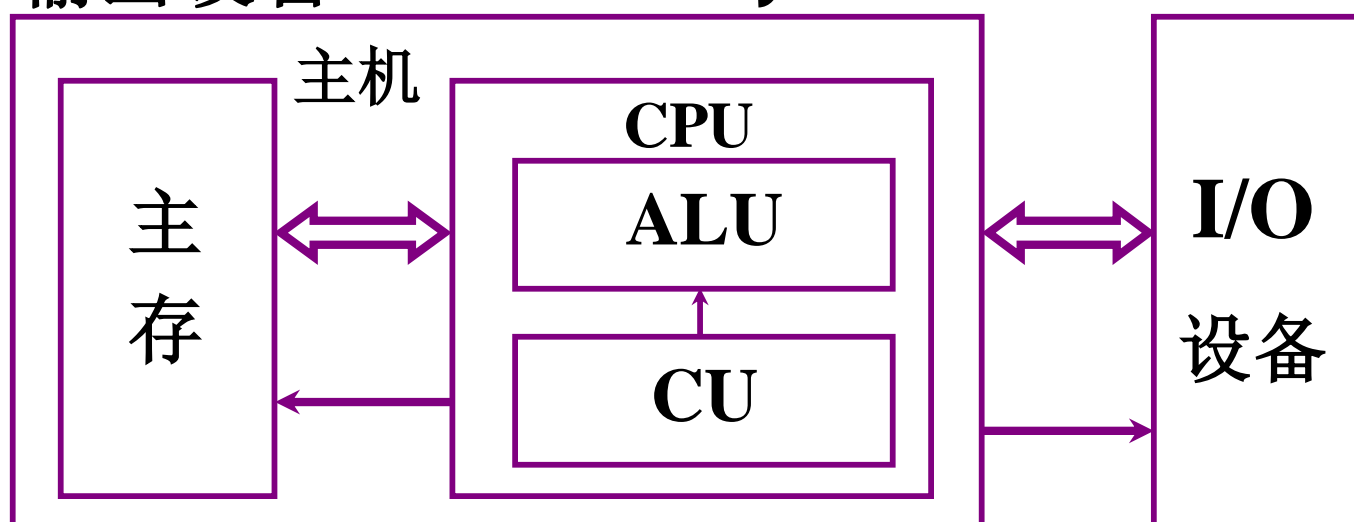
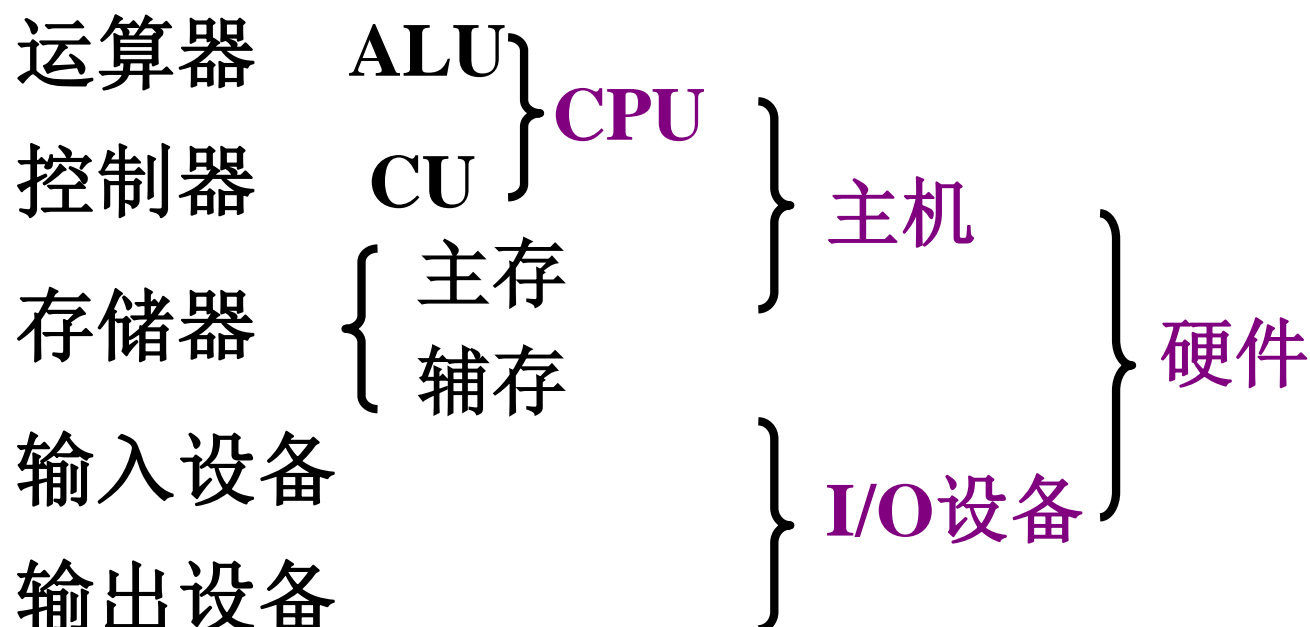


## 二、计算机硬件框图

### 1. 以存储器为中心的计算机硬件框图



## 2. 现代计算机硬件框图





# 三、计算机的工作步骤

## 1.2

### 1. 上机前的准备

- 建立数学模型
- 确定计算方法

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \frac{x^9}{9!} - \dots$$

$$y_{n+1} = \frac{1}{2} \left( y_n + \frac{x}{y_n} \right) \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

- 编制解题程序

程序 —— 运算的**全部步骤**

指令 —— **每一个步骤**



程序的优劣对计算机系统的效率有很大影响

计算  $ax^2 + bx + c = (ax + b)x + c$

解法1

取 $x$  至累加器中  
乘以 $x$  结果在累加器  
乘以 $a$  结果在累加器  
存 $ax^2$  至主存储器中  
取 $b$  至累加器中  
乘以 $x$  结果在累加器  
加 $ax^2$  结果在累加器  
加 $c$  结果在累加器

解法2

取 $x$  至累加器中  
乘以 $a$  结果在累加器  
加 $b$  结果在累加器  
乘以 $x$  结果在累加器  
加 $c$  结果在累加器

**解法2完胜！**

## 指令格式举例

操作码	地址码
-----	-----

取数	$\alpha$	$[\alpha] \rightarrow \text{ACC}$
000001	0000001000	
存数	$\beta$	$[\text{ACC}] \rightarrow \beta$
加	$\gamma$	$[\text{ACC}] + [\gamma] \rightarrow \text{ACC}$
乘	$\delta$	$[\text{ACC}] \times [\delta] \rightarrow \text{ACC}$
打印	$\sigma$	$[\sigma] \rightarrow \text{打印机}$
停机		

# 计算 $ax^2 + bx + c$ 程序清单

1.2

指令和数据存于主存单元的地址	指令		注释
	操作码	地址码	
0	000001	0000001000	取数 $x$ 至ACC
1	000100	0000001001	乘 $a$ 得 $ax$ ,存于ACC中
2	000011	0000001010	加 $b$ 得 $ax+b$ ,存于ACC中
3	000100	0000001000	乘 $x$ 得 $(ax+b)x$ ,存于ACC中
4	000011	0000001011	加 $c$ 得 $ax^2 + bx + c$ ,存于ACC
5	000010	0000001100	将 $ax^2 + bx + c$ ,存于主存单元
6	000101	0000001100	打印
7	000110		停机
8	$x$		原始数据 $x$
9	$a$		原始数据 $a$
10	$b$		原始数据 $b$
11	$c$		原始数据 $c$
12	存放结果		

## 2. 计算机的解题过程

## 1.2

### (1) 存储器的基本组成



存储体 – 存储单元 – 存储元件 (0/1)

宿舍楼 – 房间 – 床位 (无人/有人)

**存储单元** 存放一串二进制代码

**存储字** 存储单元中二进制代码的组合

**存储字长** 存储单元中二进制代码的位数

每个存储单元赋予一个地址号

**按地址寻访**

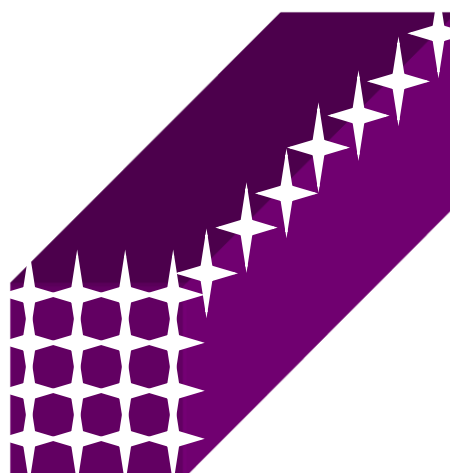
# (1) 存储器的基本组成



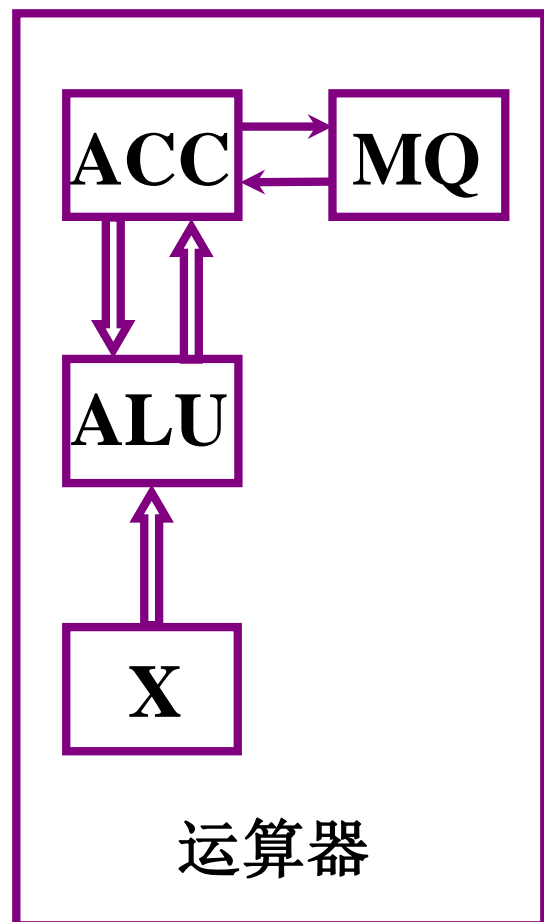
**MAR** 存储器地址寄存器  
反映存储单元的个数

**MDR** 存储器数据寄存器  
反映存储字长

设 **MAR** = 4 位  
**MDR** = 8 位  
存储单元个数 16  
存储字长 8

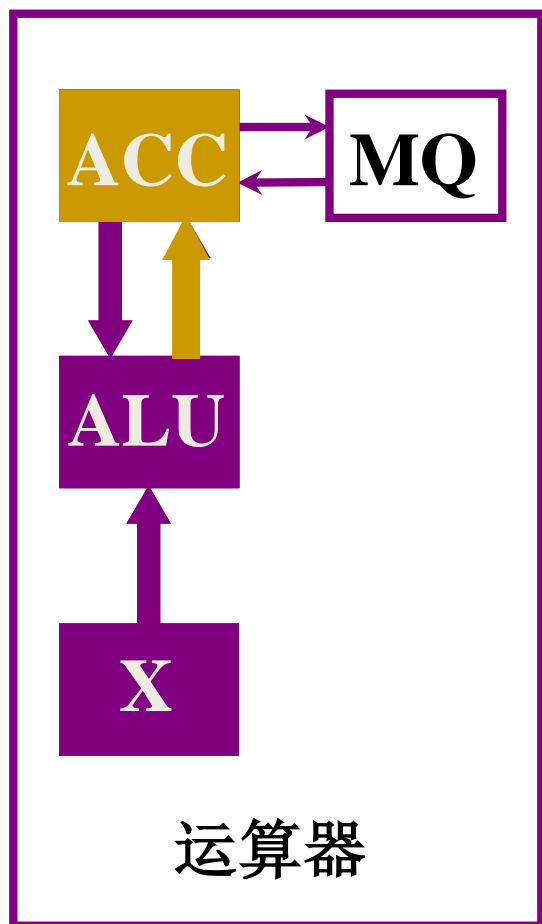


## (2)运算器的基本组成及操作过程



	ACC	MQ	X
加法	被加数 和		加数
减法	被减数 差		减数
乘法	乘积高位	乘数 乘积低位	被乘数
除法	被除数 余数	商	除数

# ① 加法操作过程



指令

加

M

初态

ACC

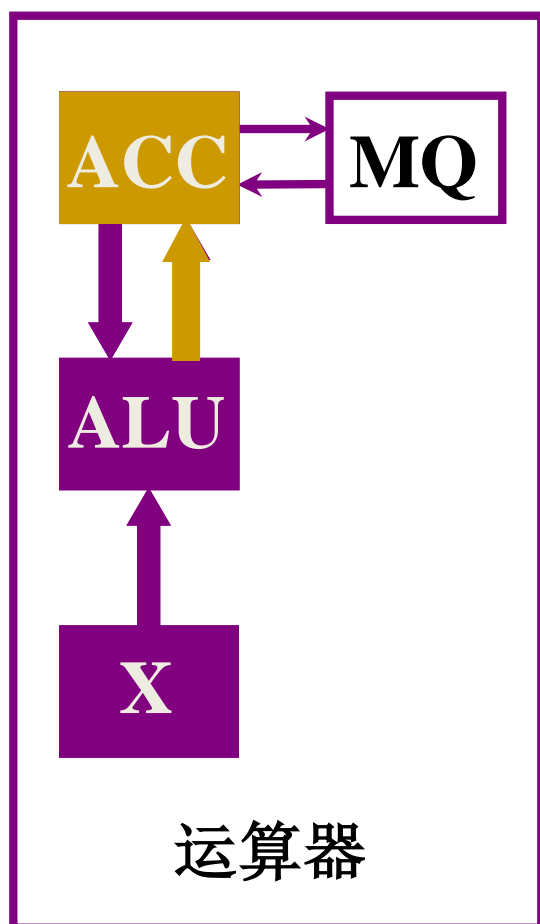
被加数

$[M] \longrightarrow X$

$[ACC] + [X] \longrightarrow ACC$



## ② 减法操作过程



指令

减

M

初态

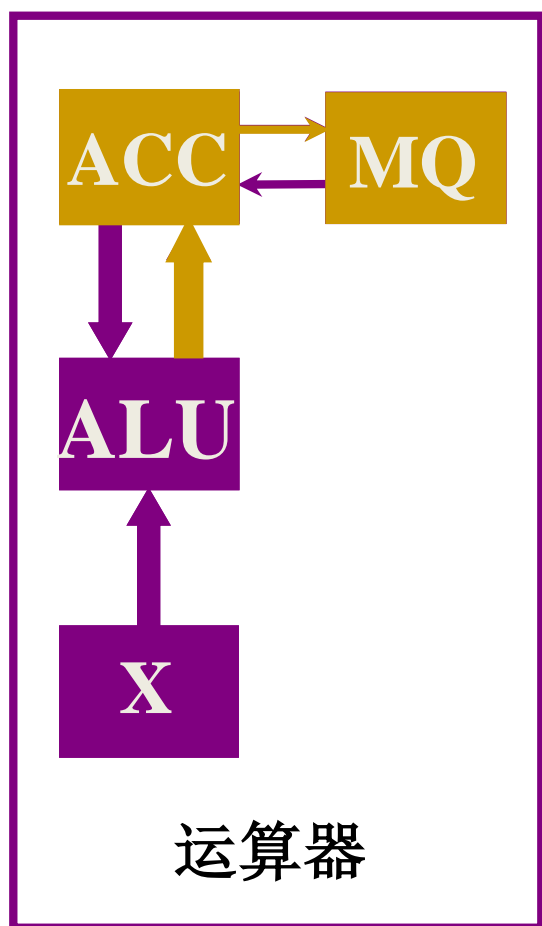
ACC

被减数

$[M] \longrightarrow X$

$[ACC] - [X] \longrightarrow ACC$

### ③ 乘法操作过程



指令

乘

M

初态

ACC

被乘数

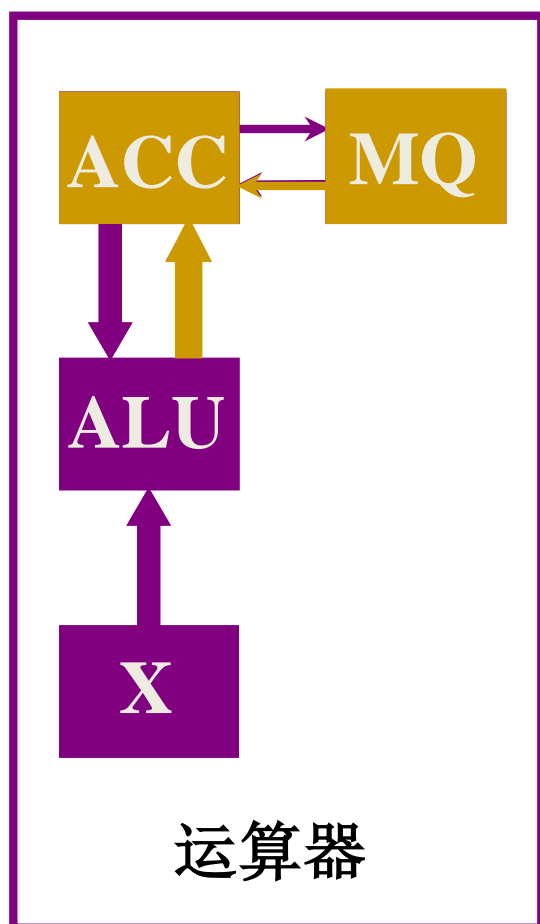
$[M] \longrightarrow MQ$

$[ACC] \longrightarrow X$

$0 \longrightarrow ACC$

$[X] \times [MQ] \longrightarrow ACC // MQ$

## ④ 除法操作过程



指令

除

M

初态

ACC

被除数

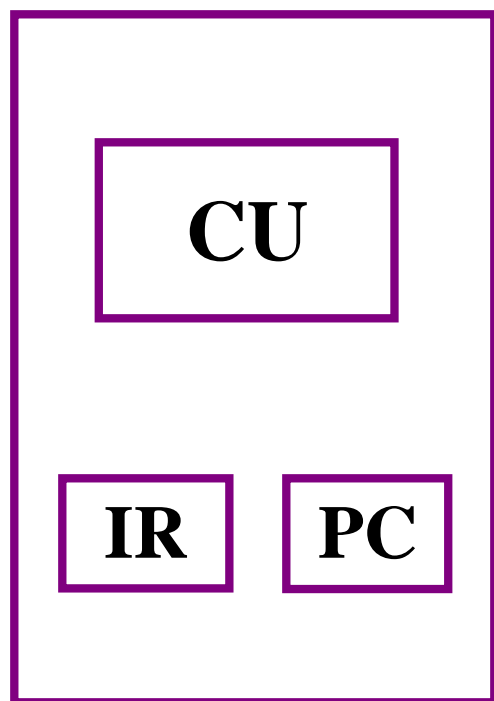
$[M] \longrightarrow X$

$[ACC] \div [X] \longrightarrow MQ$

余数在ACC中

### (3) 控制器的基本组成

## 1.2



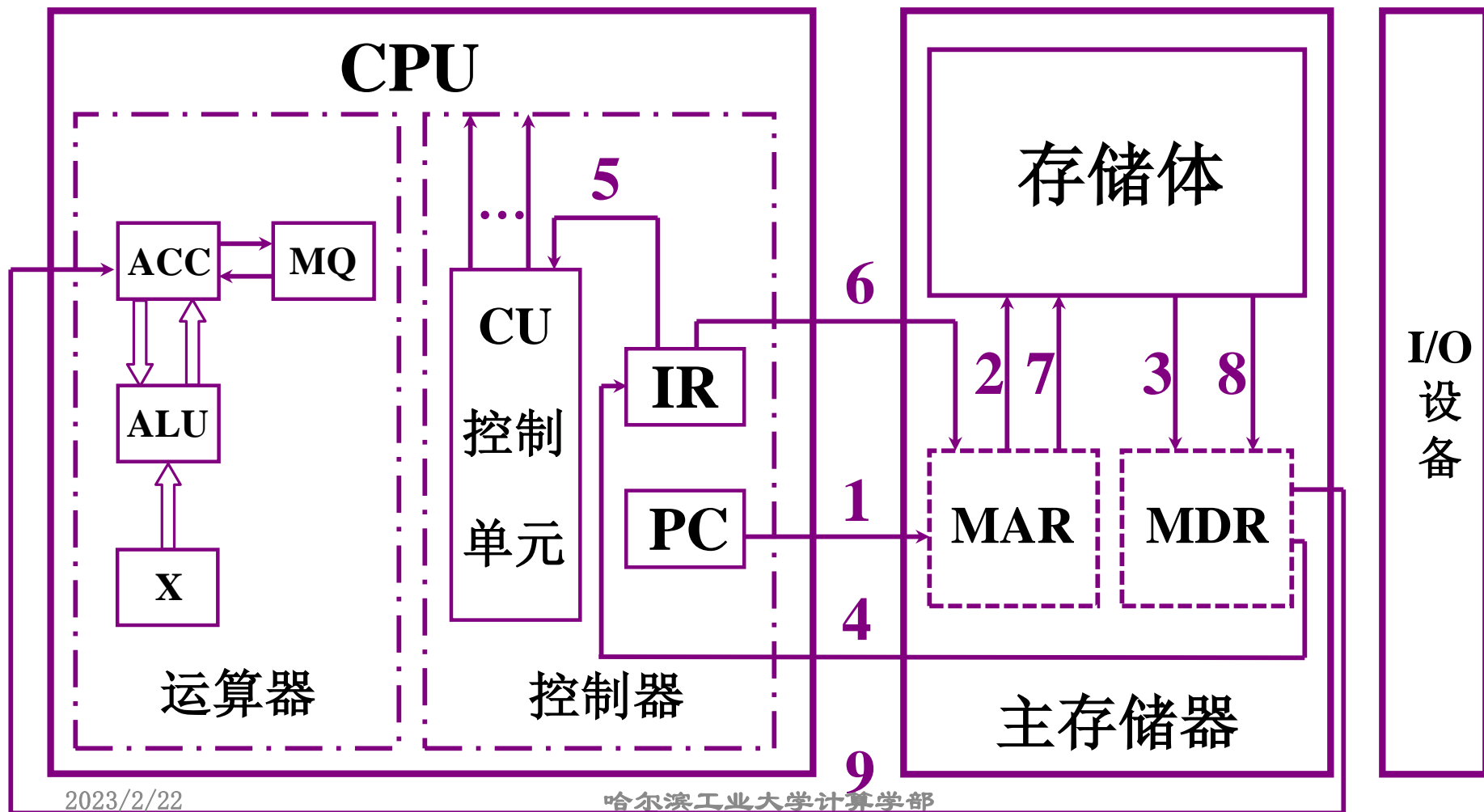
完成一条指令 { 取指令 PC  
分析指令 IR  
执行指令 CU

**PC** 存放当前欲执行指令的地址，  
具有计数功能  $(PC) + 1 \rightarrow PC$

**IR** 存放当前欲执行的指令

# (4) 主机完成一条指令的过程

## 以取数指令为例



# (4) 主机完成一条指令的过程

以存数指令为例

