



河海大学

# 计算机组成原理



河海大学

# 教学目录

计算机系统概述（第1章）

运算方法和运算器（第2章）

存储系统（第3章）

指令系统（第4章）

中央处理器（第5章）

总线系统（第6章）

输入/输出系统（第7-8章）

并行组织与结构（第9章）



# 河海大学

## 课程简介

- 课程特点
  - 技术概念、基本原理多
  - 内容分散、抽象、枯燥
- 教学目标
  - 理解计算机的组成结构和运行机理，“黑盒”变“白盒”，“玩具”变“工具”
  - 提升从计算机“**计算**”的专业角度去**理解、分析、解决问题**的能力
- 课程成绩
  - 平时成绩40%，期末考试60%



# 河海大学

## 课程简介

### • 主体教材

- 戴志涛、白中英主编，《计算机组成原理（第七版）》，科学出版社，2024.6

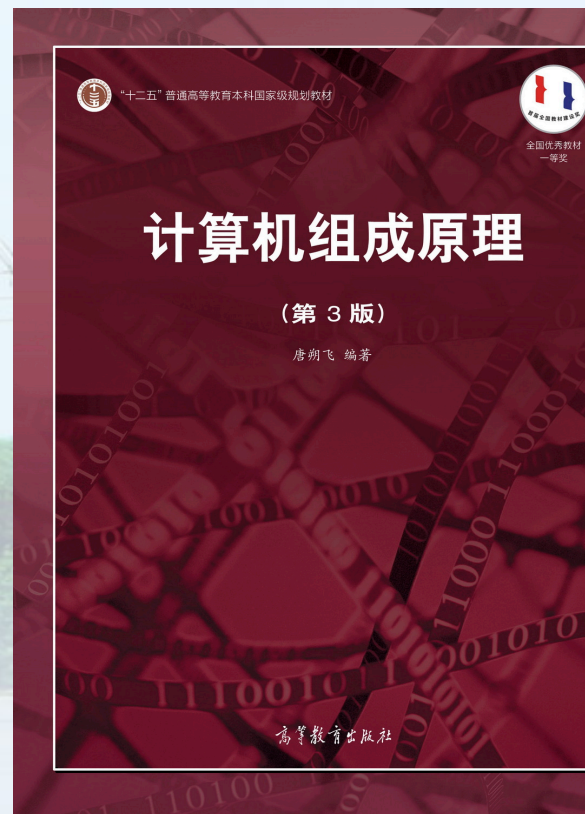
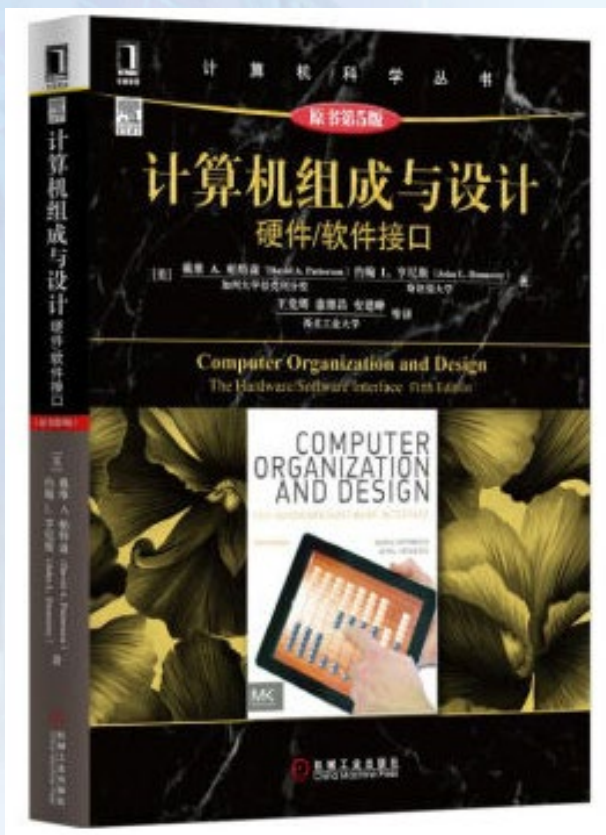




# 河海大学

## 课程简介

- 参考教材





# 河海大学

## 课程简介

### • 参考网站

- 华科大: <https://www.icourse163.org/course/HUST-1003159001>
- 国防科大: <https://www.icourse163.org/learn/NUDT-359002>
- <https://ocw.mit.edu/courses/electrical-engineering-and-computer-science/>



- CCF A类学术期刊与会议

- CCF分类说明

- A类指国际上极少数的顶级刊物和会议，鼓励我国学者去突破；B类指国际上著名和非常重要的会议、刊物，有重要的学术影响，鼓励国内同行投稿；C类指国际学术界所认可的重要会议和刊物

- A类期刊（体系结构/并行与分布计算/存储系统）

- ACM Transactions on Computer Systems
- IEEE Transactions on Computers
- IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems
- IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and System
- ACM Transactions on Storage



河海大学

# 课程简介

- CCF A类学术期刊与会议
  - A类会议（体系结构/并行与分布计算/存储系统）
    - Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems
    - Conference on File and Storage Technologies
    - High-Performance Computer Architecture
    - International Symposium on Computer Architecture
    - MICRO
    - International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage, and Analysis
    - USENIX Annual Technical Conference
    - Principles and Practice of Parallel Programming



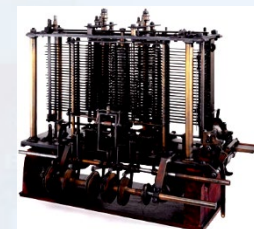
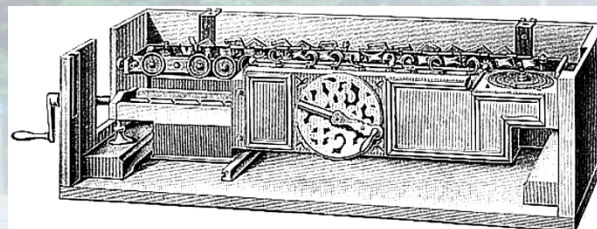
# 河海大学

## 预备知识

### • 计算技术发展史

#### – 计算工具的发展

- 公元前：算筹、算盘……
- 17世纪：计算尺、Pascal加法机、Leibniz乘法机……
- 18世纪：会下国际象棋的Turk
- 19世纪：Babbage差分机、Babbage分析机
- 20世纪：差分分析器、密码破译机、电子计算机……



## 由社会需求驱动



# 河海大学

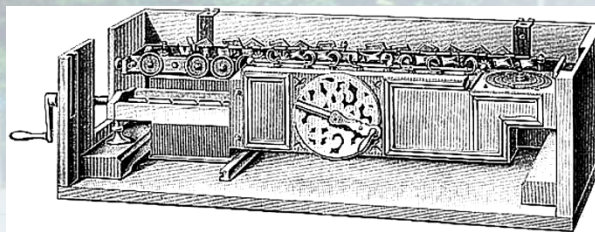
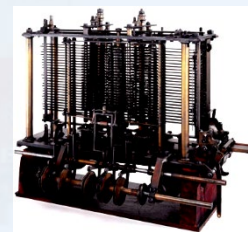
## 预备知识

- 计算技术发展史
  - 计算思维的发展

- 算法化：算筹的筹算规则、算盘的口诀……
- 机械化：Pascal加法机通过齿轮咬合实现10进制进位
- 自动化：Leibniz乘法机引入步进轮，解放了人力
- 数字化：1679年，Leibniz撰文建立二进制的表示及运算
- 智能化：1837年问世的Babbage分析机具有可编程性



拜伦之女Ada



### 与计算工具的发展相互促进



## 预备知识

### • 计算技术发展史

#### – 计算人才培养的发展

• 初创期：1956-1965年

- 周恩来总理主持制定《十二年科学技术发展规划》，把计算机列为发展科学技术的重点之一，并筹建中国科学院计算技术研究所
- 哈尔滨工业大学创办计算机专业，五年制
- 清华大学增设数学计算仪器与装置（电子计算机）专业，六年制
- 北京大学首次招收计算数学专业学生，六年制
- 中科院计算所与北京大学、清华大学合办第一届计算机训练班

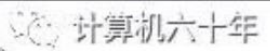
中国计算机事业的摇篮，研制了我国

- ✓ 第一台通用数字电子计算机
- ✓ 第一枚通用CPU芯片

部分高校 1956—1965 年计算机、程序设计专业入学人数

清华	京工	哈军工	哈工大	北航	交大	西军电	成电	科大
2601	510	581	499	405	214	490	497	306

说明：合计 6103 人，数字源自各校计算机专业纪念册或校史。





河海大学

# 预备知识

## • 计算技术发展史

### – 计算人才培养的发展

- 停滞期：1966-1976年
  - 文革逆境中，艰难前进
- 发展期：1977-1994年
  - “211工程” (1993)
- 扩张期：1995年-
  - 1994.4.20，中国作为第71个国家级网(64kb/s)正式加入Internet，5月在中国科学院高能物理研究所实现联网
  - 2020年中国互联网企业百强榜8强成立时间
    - » 阿里(1999.9)、腾讯(1998.11)、美团(2010.3)、百度(2000.1)、京东(1998.6)、网易(1997.6)、寻梦信息(2014.1)、小桔科技(2012.7)
  - “985工程” (1998)、“双一流”建设(2015)



河海大学

# 预备知识-数字逻辑电路

- 数学基础
  - 布尔代数：与/或/非逻辑、交/并运算
- 模拟电路
  - 半导体、二极管、三极管、场效应管等基本单元电路
- 程序设计基础
  - 语句格式、流程控制



# 河海大学

## 预备知识-数字逻辑电路

- 数制及转换

- 十进制、二进制、十六进制、八进制、BCD码

- 例:  $(20.59375)_{10} = (+10100.10011)_2$

- 码制、求法、范围

- 原码、补码、反码、移码

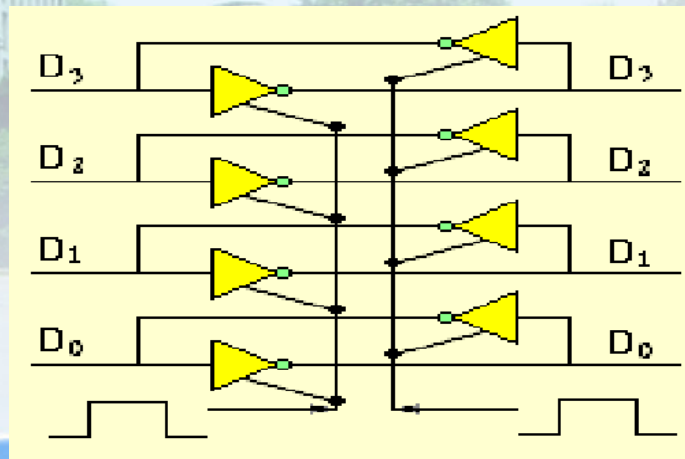
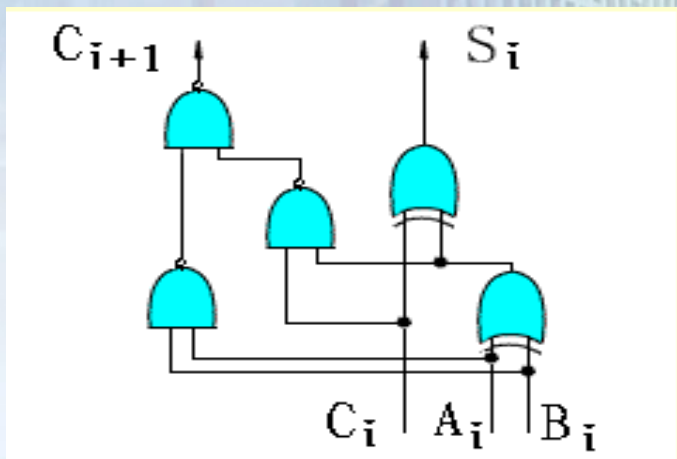
- 例: 8位编码

真值X (十进制)	[X] <sub>原</sub>	[X] <sub>反</sub>	[X] <sub>补</sub>	[X] <sub>移</sub>
-128			1 0000000	0 0000000
-127	1 1111111	1 0000000	1 0000001	0 0000001
-1	1 0000001	1 1111110	1 1111111	0 1111111
-0	1 0000000	1 1111111		
0			0 0000000	1 0000000
+0	0 0000000	0 0000000		
+1	0 0000001	0 0000001	0 0000001	1 0000001
+127	0 1111111	0 1111111	0 1111111	1 1111111



## 预备知识—数字逻辑电路

- 门电路、基本逻辑电路及表示
  - 与、或、非、异或
  - 触发器、寄存器、缓冲器、锁存器、计数器、编码器、译码器、半加器、全加器
  - 真值表、函数表达式、逻辑代数、逻辑结构图

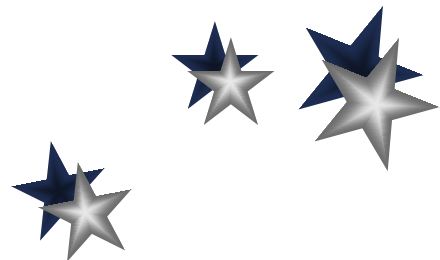


# 第1章 计算机系统概述

---

---

- 计算机的分类
- 计算机的发展简史（了解）
- 计算机的硬件（掌握）
- 计算机的软件
- 计算机系统性能评价（掌握）
- 计算机的层次结构（理解）

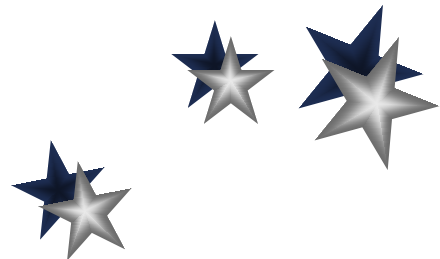


# 本章内容

---

---

- ▶ 从存储程序的概念入手，说明计算机的基本组成
- ▶ 从信息处理过程出发，说明一个完整的计算机系统是由哪些硬件和软件构成的，以及软硬件之间的关系
- ▶ 对各部分有一些粗浅的、整体的认识



# 1.1 计算机的分类



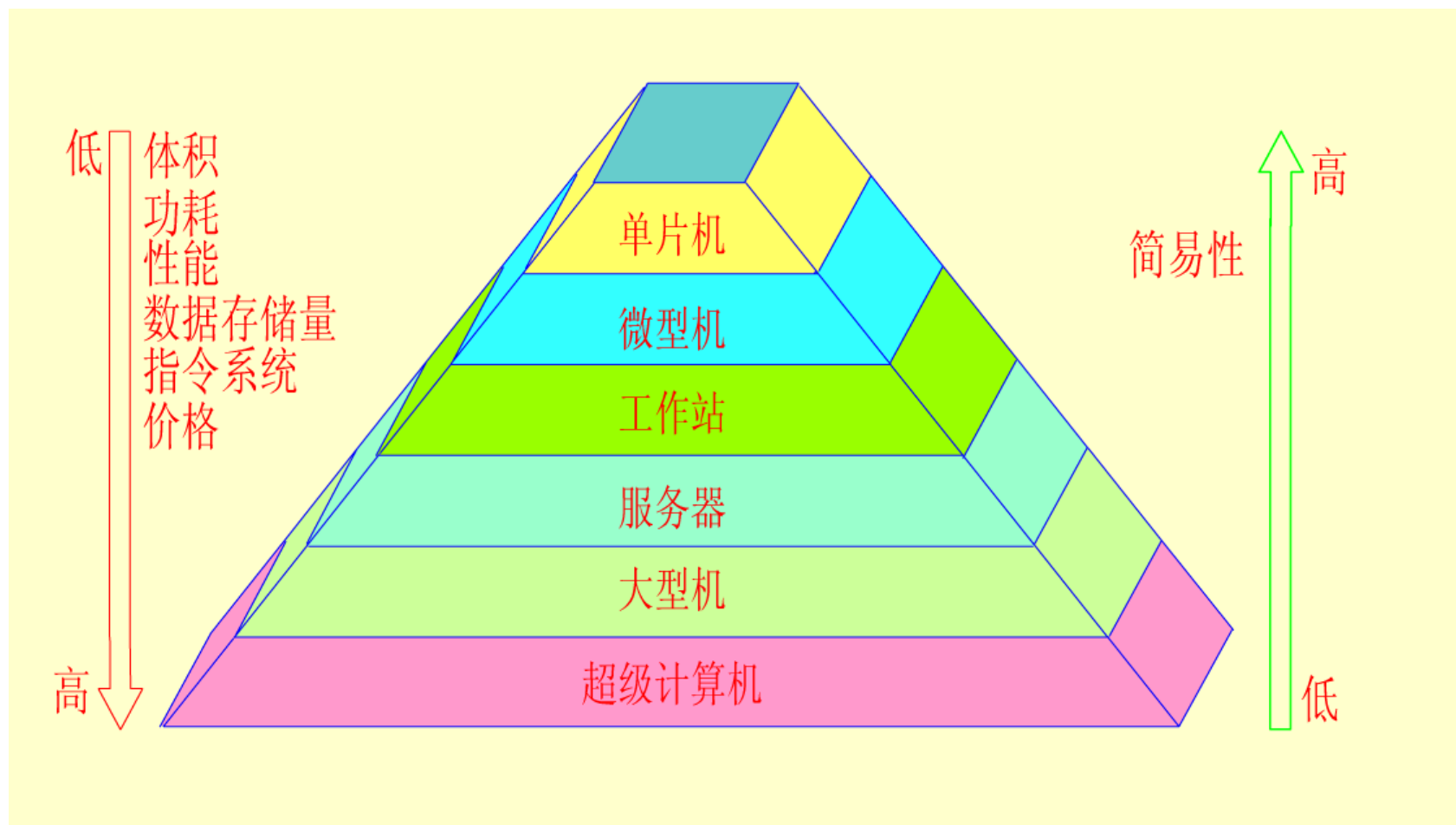
- 按照**输入输出信号的形式**分类
  - **模拟计算机**—数据由连续量表示，运算过程也是连续的
  - **数字计算机**—按位运算,不连续的跳动运算
    - **专用**—(效率高，适应性差)
    - **通用**—(效率相对低，适应性相对好)

# 数字计算机与模拟计算机的主要区别

比较内容	数字计算机	模拟计算机
数据表示方式	数字0和1	电压
计算方式	数字计算	电压组合和测量值
控制方式	程序控制	盘上连线
精度	高	低
数据存储量	大	小
逻辑判断能力	强	无

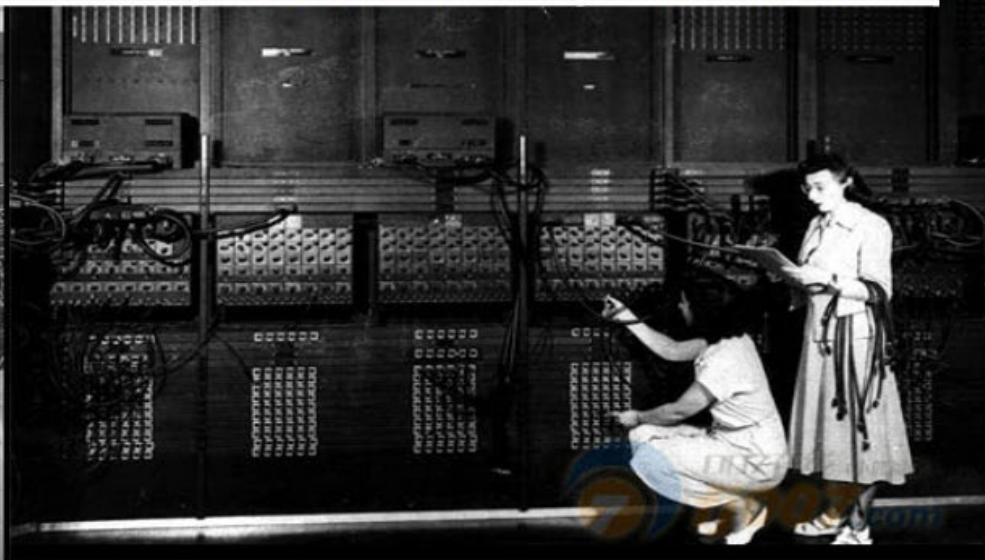
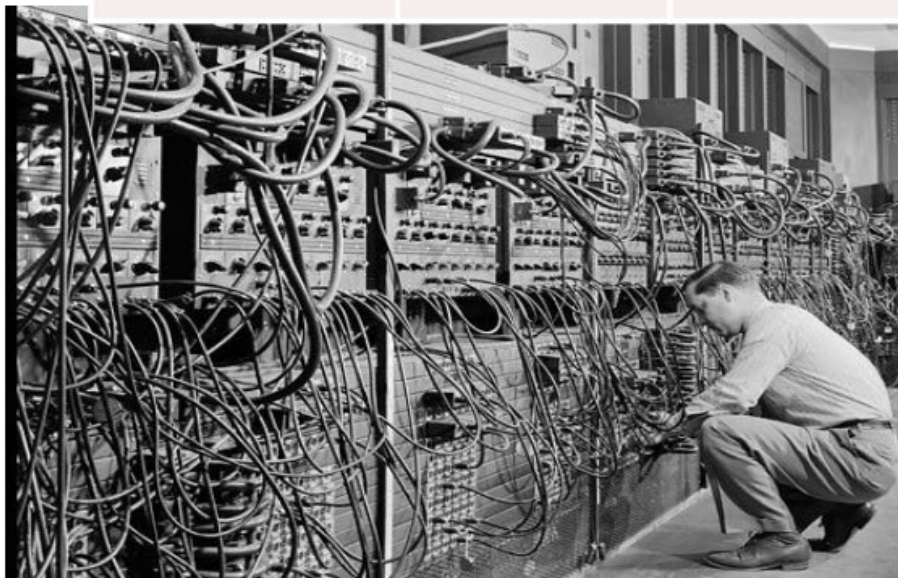


# 单片机、微型机、工作站、服务器、大型机、超级计算机之间的区别



# 1.2 计算机的发展简史

机器	器件	加法运算速度	程序指令	用途
ENIAC	电子管	5000次/秒	硬件互连(连接线)编制程序	专用(生产 火炮射表)



电子数字计算机ENIAC, 1946

# 1.2.1 计算机的五代变化



- 第一代**为1946—1957年**，**电子管计算机**：数据处理
- 第二代**为1958—1964年**，**晶体管计算机**：工业控制
- 第三代**为1965—1971年**，**中小规模集成电路计算机**：小型计算机
- 第四代**为1972—1990年**，**大规模和超大规模集成电路计算机**：微型计算机
- 第五代**为1991年开始**，**巨大规模集成电路计算机**：单片计算机



## 计算机发展简史

### • 第一代电子管计算机

– ABC @ Iowa State University, 1942

- 主要设计者：教授J. V. Atanasoff、研究生C. Berry
- 研发动机：解含有29个未知数的线性方程组
- 规模：使用约300个电子管
- 运算速度：不详

– ENIAC @ Pennsylvania University, 1946

- 主要设计者：教授J. Mauchly、工程师J. P. Eckert
- 研发动机：新武器研发
- 规模：使用约18000个电子管，占地约170 m<sup>2</sup>，重约30吨
- 运算速度：约5000次/秒



## 计算机发展简史

### • 第一代电子管计算机

– 103型通用数字电子计算机@中科院计算所，1958

- 意义：我国第一台通用电子管数字计算机
- 主要设计者：张梓昌（1921-2013），仿苏设计  
——CCF原副理事长

• 运算速度：约1500次/秒

– 104型通用数字电子计算机@中科院计算所，1959

- 意义：我国第一台大型通用电子管数字计算机
- 主要设计者：张效祥（1918-2015），仿苏设计  
——CCF原理事长

• 运算速度：约1万次/秒



## 计算机发展简史

### • 第一代电子管计算机

– 107型通用数字电子计算机@中科院计算所，1960

- 意义：我国第一台自主设计的计算机

- 主要设计者：夏培肃（1923-2014）

——中国计算机之母

- 运算速度：不如103型和104型

– 119型通用数字电子计算机@中科院计算所，1964

- 意义：我国自行设计的第一台大型通用数字电子计算机

- 主要设计者：吴几康（1918-2002）

——CCF原副理事长

- 运算速度：5万次/秒



河海大学

# 计算机发展简史

## • 第一代电子管计算机

### – 第一代电子管计算机总结

- 体积大、成本高、可靠性低
- 形成了计算机的基本体系，确定了程序设计的基本方法

### – 第一代计算机时间跨度

- 国际：1942-1955
- 我国：1958-1964



## 计算机发展简史

### • 第二代晶体管计算机

- 世界上第一个晶体管：贝尔实验室，1947
  - 发明者：John Bardeen、Walter Brattain和William Shockley  
获1956年诺贝尔物理学奖
- TX-0计算机@MIT林肯实验室, 1955
  - 意义：第一台晶体管计算机
- 441-B型计算机@哈军工, 1964
  - 意义：我国第一台全晶体管电子计算机
  - 主要设计者：慈云桂（1917-1990）  
——CCF原副理事长
  - 运算速度：1万次/秒



## 计算机发展简史

### • 第二代晶体管计算机

- 109乙型通用晶体管计算机@中科院计算所，1965
  - 意义：我国第一台大型晶体管计算机
  - 109丙机@1967：为第二机械工业部九院工作15年，为第一代核武器的研制、定型和发展作出了重要贡献
- 第二代晶体管计算机总结
  - 运算速度提高到每秒几万至几十万次
  - 体积缩小、成本降低、可靠性提高
- 第二代计算机时间跨度
  - 国际：1955-1965
  - 我国：1965-1972



## 计算机发展简史

### • 第三代集成电路计算机

- 世界上第一个集成电路：德州仪器，1958
- System/360型计算机@ IBM, 1964
  - 解决了与7094机器的兼容问题；支持多道程序
- PDP-11型计算机@ DEC, 1970
  - DEC由MIT林肯实验室的Kenneth Olsen创办
- 我国第一个集成电路：上海（仿制），1965
- 111型通用计算机@中科院计算所，1971
  - 意义：我国第一批集成电路计算机
- DJS150型通用计算机，1973
  - 意义：我国第一台百万次计算机



## 计算机发展简史

### • 第三代集成电路计算机

– 0520微型计算机，1984

- 意义：我国第一台微型计算机

- 南京：紫金电脑（南京有线电厂，1937）

– 第三代集成电路计算机总结

- 运算速度提高到每秒几十万至几千万次

- 体积进一步缩小、成本进一步降低、可靠性进一步提高

- 小型计算机、微型计算机开始出现

– 第三代计算机时间跨度

- 国际：1965-1980

- 我国：1973-20世纪80年代初



河海大学

# 计算机发展简史

## • 第四代超大规模集成电路计算机

### – 进入个人计算机（PC）时代

- Apple

- IBM

- IBM PC @ 1981，采用Intel 8088 CPU

- 公开了全部设计方案和电路图，希望其他公司生产IBM PC插件

- 克隆PC大量出现，不采用Intel CPU的PC大量消失

### – 便携式电脑

- 第一台便携式电脑：Osborne-1 @ 1981

- 公司创始人：Adam Osborne

- 倒闭时间：1984



河海大学

# 计算机发展简史

## • 第四代超大规模集成电路计算机

### – 第四代超大规模集成电路计算机总结

- 集成度、运算速度大幅提高
- 体积进一步缩小、成本进一步降低、可靠性进一步提高
- 单片机、多核机开始出现

### – 第四代计算机时间跨度

- 国际：1980至今
- 我国：20世纪80年代中期至今



## 计算机发展简史

### • 第五代计算机

- 日本：1981，元岡達：《知识信息处理系统的挑战：第五代计算机系统初步报告》
  - 六种先进体系结构：逻辑程序机、函数机、关系代数机、抽象数据类型机、数据流机、冯·诺伊曼机上的创新
  - 1988，失去聚焦；1994，五代机项目结束
- 美国：1982，MCC联盟
- 英国：1982，提出阿尔维计划；1987，放弃
- 欧洲大陆：1983，欧洲信息技术战略计划



河海大学

# 计算机发展简史

## • 第五代计算机

- 问题：没有在任何相关领域取得突破性进展，而一些不相关的领域却拼命在向五代机靠近
  - 1981年五代机会议记录页数：280+，包括元岡達报告89页
  - 1988年五代机会议记录页数：1300+
- 意义：促成了80年代中后期人工智能的繁荣



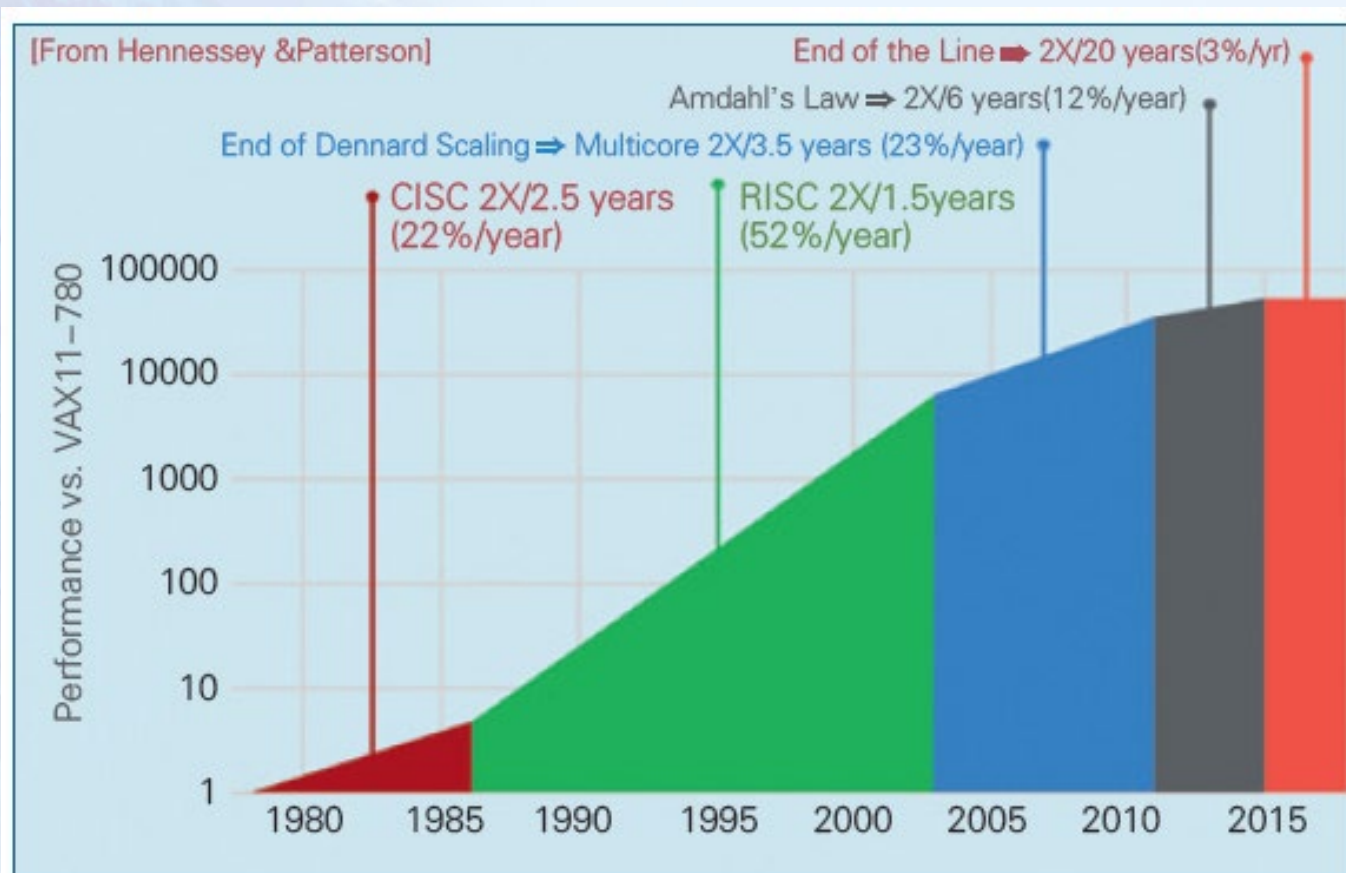
## 计算机发展史-摩尔定律

- **仙童半导体** (Fairchild Semiconductor)
  - 1955年William Shockley创办“Shockley半导体实验室”，次年N. Noyce、G. Moore等8人加盟
  - Shockley不善管理，1957年8人出走创办仙童半导体
  - 1965年G. Moore提出**摩尔定律**
    - 价格不变的情况下，芯片集成度每18个月翻一番
  - 危机：母公司转移利润引众怒
    - 核心员工离职创业：... Intel (1968), AMD (1969)...
    - 业绩下滑：先后被卖给斯伦贝谢、国民半导体.....



# 河海大学

## 摩尔定律的终结



图片来源：后摩尔时代高性能软件开发的挑战，中国计算机学会通讯第15卷第10期，2019年10月

# 中国的超级计算机



杨学军教授



“天河二号”超级计算机



神威·太湖之光超级计算机系统



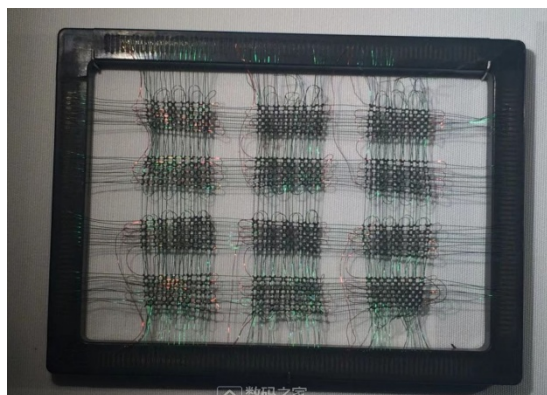
# 1.2.2/3 微处理器与半导体存储器的发展

微处理器芯片 1971年

存储器芯片 1970年

4位 (4004)  
8位  
16位  
32位  
64位

256位  
1KB  
4KB  
16KB  
64KB  
256KB  
1MB  
4MB  
16MB  
64MB



最早的磁芯存储器

微型计算机的发展以( B )技术为标志。

A、操作系统

B、微处理器

C、磁盘

D、软件

# 国产处理器技术的发展历程

- 中国国产处理器技术从 21 世纪初开始追赶国际领先水平
  - **龙芯处理器**面向高端嵌入式、个人计算机、服务器和高性能计算等应用场景，在政企、安全、金融、能源等应用场景得到了广泛应用。
  - **飞腾处理器**采用 Arm 指令集，集成全自主研发的处理器内核，并形成了覆盖桌面、服务器和嵌入式等领域的完整产品线。
  - **鲲鹏920处理器**片上系统集成最多64个自研处理器内核，在兼容 ARMv8-A 指令集的基础上，鲲鹏芯片集成了诸多革命性的改变，集高性能、高吞吐率、高集成度和高能效于一身。

# 华为鲲鹏920处理器片上系统

➤ 由一致性互连总线包围起来的处理器内核

□ 最多配置64个TaiShan V110处理器内核

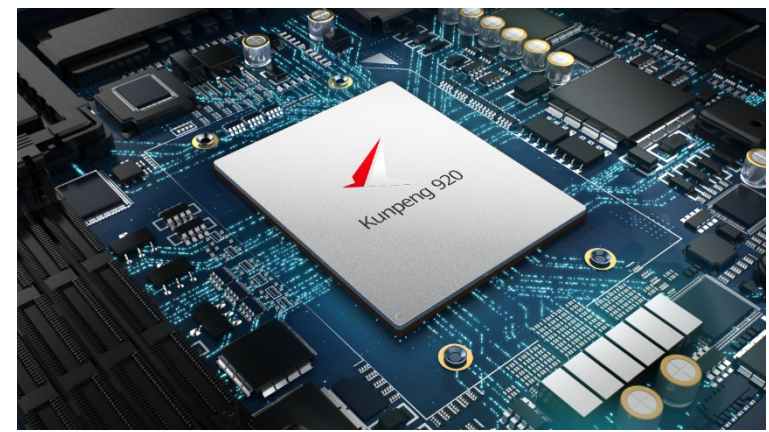
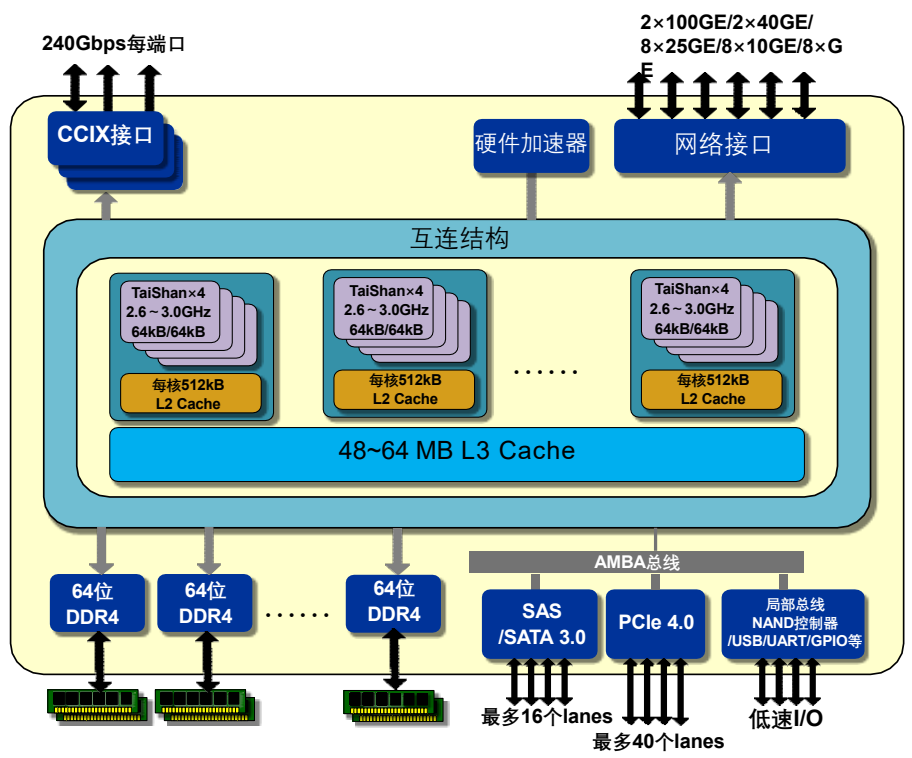
✉ 典型主频为2.6GHz

➤ 三级Cache结构

□ 64KB L1 ICache、64KB L1 DCache

□ 独享512KB L2 Cache

□ 系统级L3 Cache



# 1.3 计算机的硬件

图1.5 指令和数据在存储器中用二进制码存储

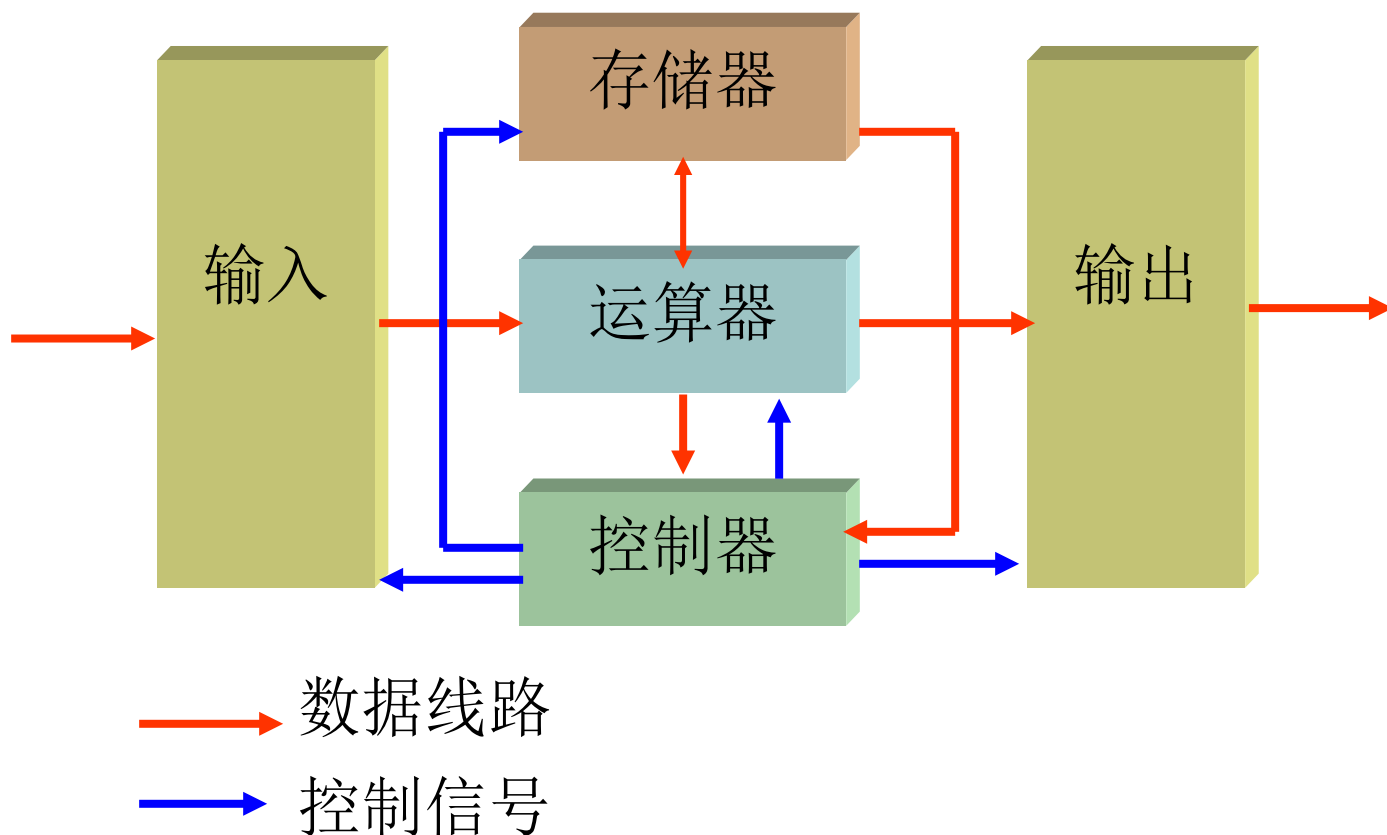
指令	操作码
加法	001
减法	010
乘法	011
除法	100
取数	101
存数	110
打印	111
停机	000

存储器	
地址1	101      1001
2	011      1100
3	001      1010
4	010      1011
5	110      1101
6	111      xxxx
7	000      xxxx
8	
9	a(二进制数)
10	b
11	c
12	x
13	y
:	
:	

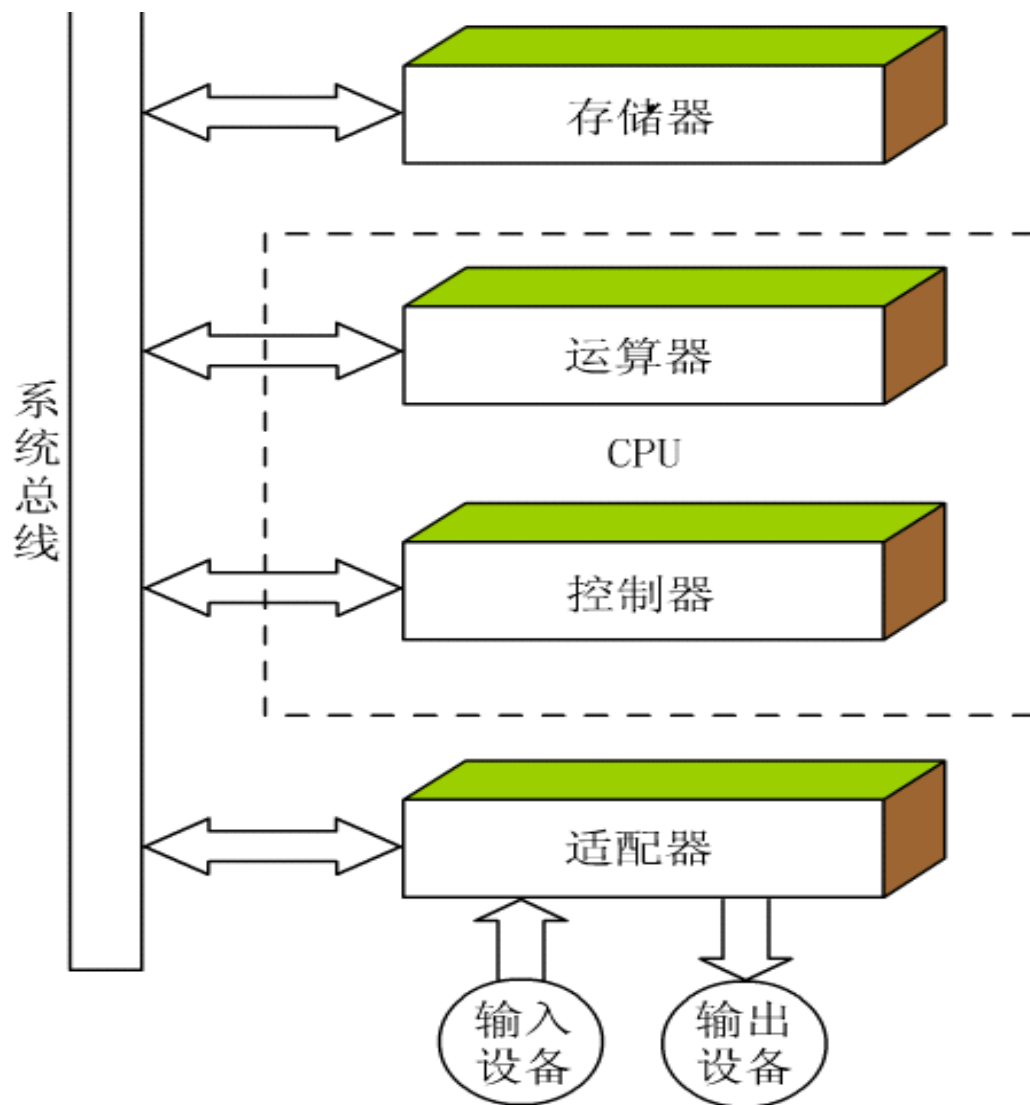
# 1.3 计算机的硬件

## 1.3.1 硬件组成要素

### 1、典型冯·诺依曼计算机结构

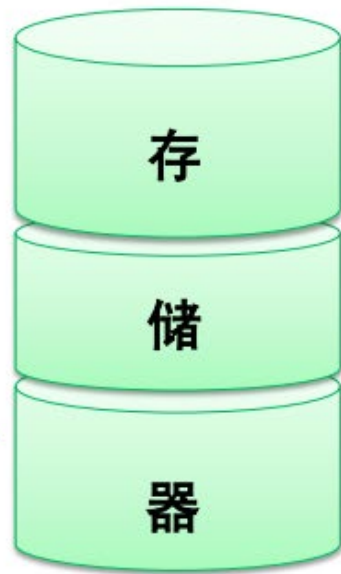


## 2、数字计算机主要组成结构

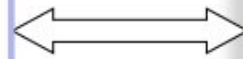
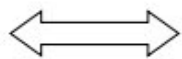


# 主机

中央处理器CPU



输入  
/  
输出  
设备

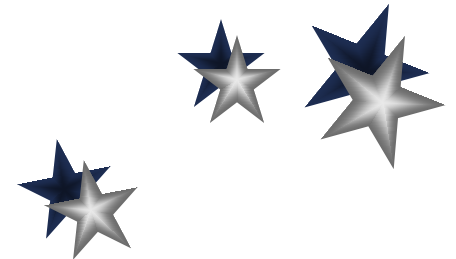


# 引例：用一个算盘，一张纸，一支笔来计算 $y=ax+b-c$ 这个题目

行数	解题步骤和数据	说明
1	取数 (9)→算盘	(9)表示第9行的数a, 下同
2	乘法 (12)→算盘	完成 $a*x$ , 结果在算盘上
3	加法 (10)→算盘	完成 $ax+b$ , 结果在算盘上
4	减法 (11)→算盘	完成 $ax+b-c$ , 结果在算盘上
5	存数 $y \rightarrow 13$	算盘上的 $y$ 值记到第13行
6	输出	把算盘上的 $y$ 值写出给人看
7	停止	运算完毕, 暂停
8		
9	a	数据
10	b	数据
11	c	数据
12	x	数据
13	y	数据

# 示例分析

- **纸**: 用于存储解题的原始信息—**存储器**
- **算盘**: 用于对数据进行加、减、乘、除等算术运算—**运算器**
- **笔**: 用于把原始数据和解题步骤记录到纸上, 及把运算结果写出—**读写操作**
- 我们人本身(主要是脑和手)用于控制解题步骤—**控制器**



## 1.3.2 运算器

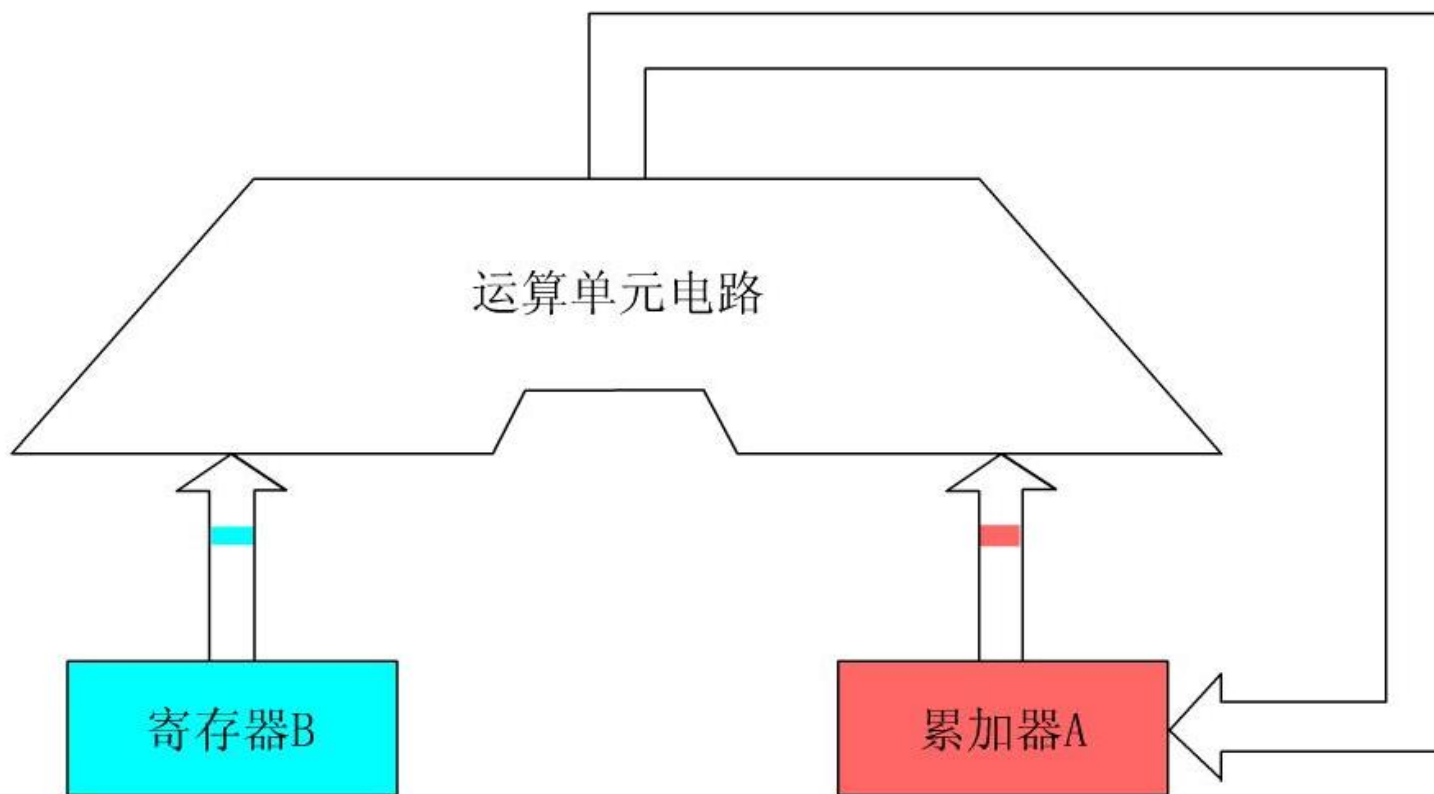
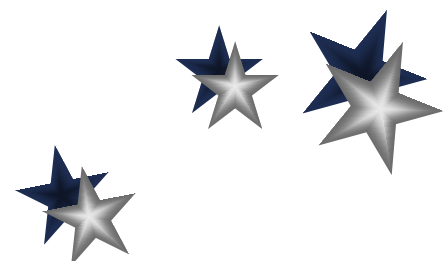
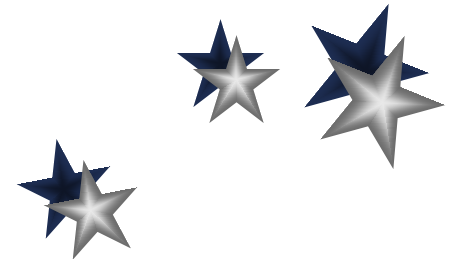
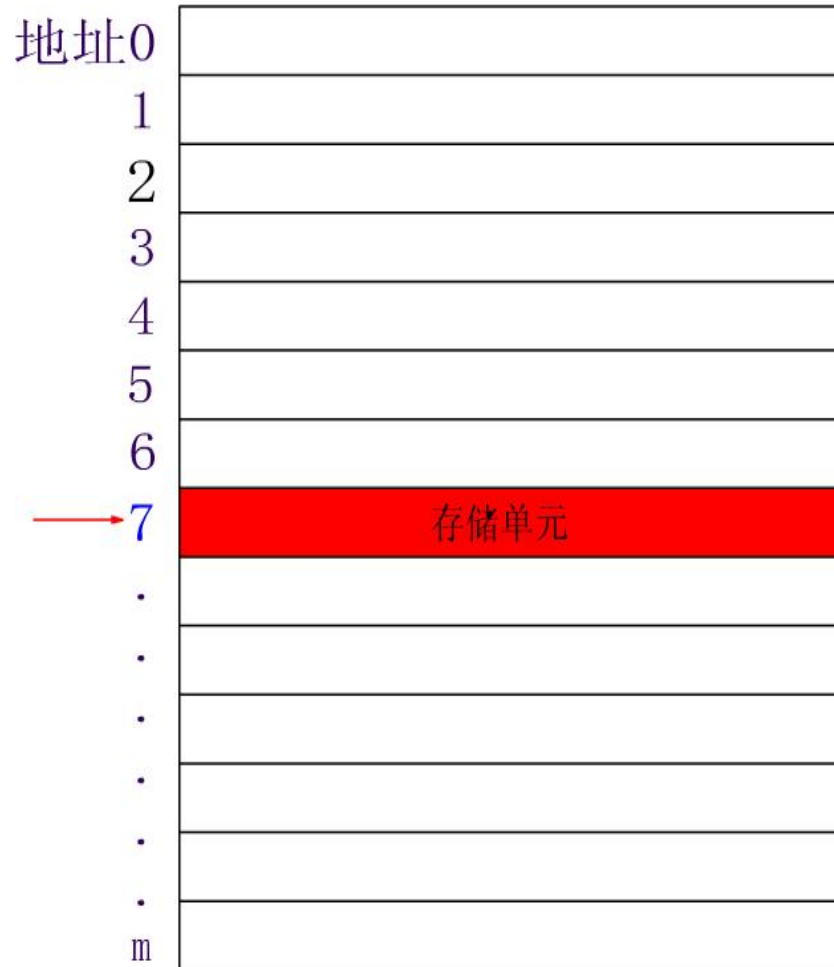


图1.3 运算器结构示意图



# 1.3.3 存储器

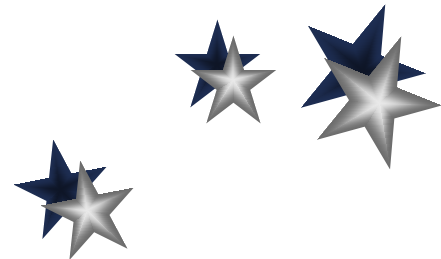


# 1.3.4 控制器

- 指令的形式



- **操作码**:指出指令所进行的操作,如加、减、乘、除、取数、存数等等;
- **地址码**:表示参加运算的数据应从存储器的哪个单元取,运算的结果应存到哪个单元。





## 硬件组成

### • 控制器

— 功能：从内存中取出解题步骤加以分析，然后执行某种操作

— 计算程序（程序）：解决某一问题的一串指令序列

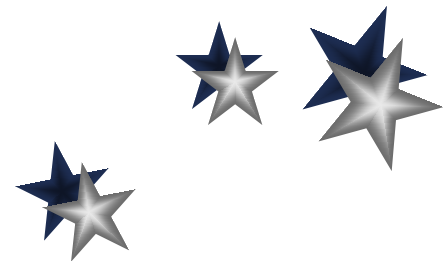
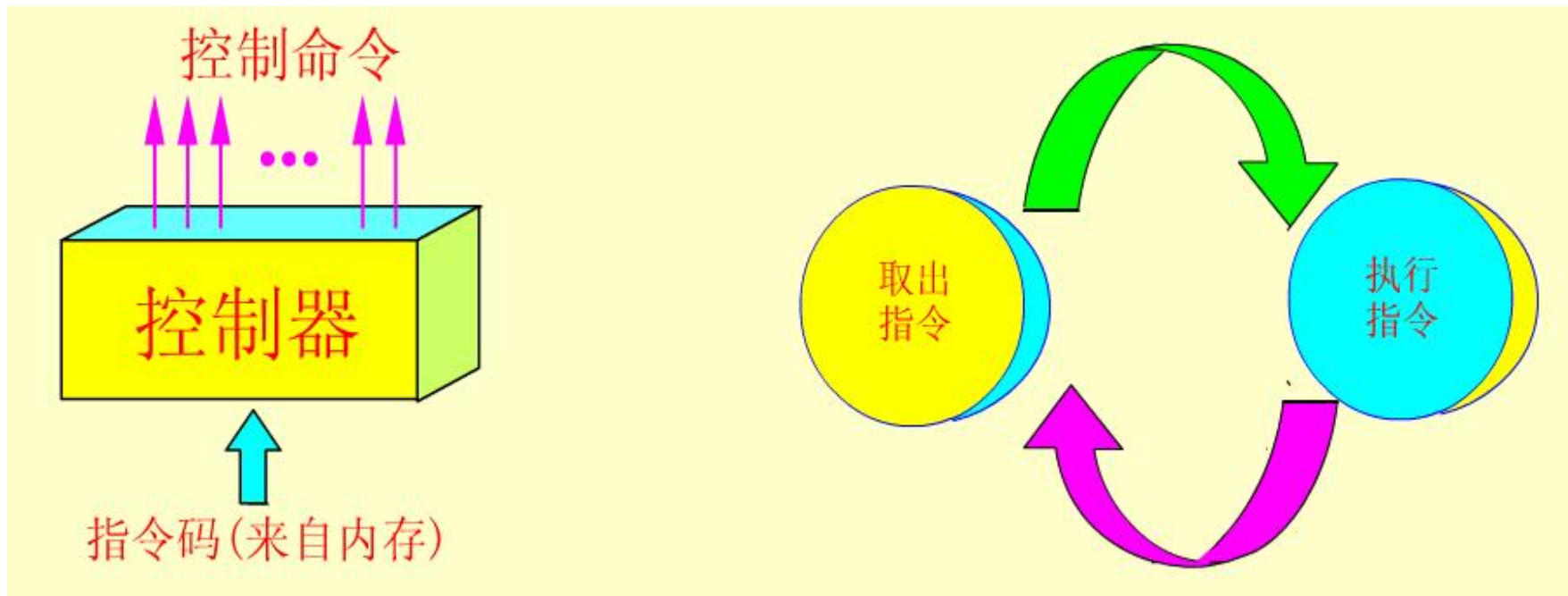
• “指令” VS. “程序”

指令	操作码
加法	001
减法	010
乘法	011
除法	100
取数	101
存数	110
打印	111
停机	000

行数	解题步骤和数据	说明
1	取数(9)→算盘	(9)表示第9行的数a,下同
2	乘法(12)→算盘	完成 $a \times x$ ,结果在算盘上
3	加法(10)→算盘	完成 $ax+b$ ,结果在算盘上
4	减法(11)→算盘	完成 $y=ax+b-c$ ,结果在算盘上
5	存数 $y \rightarrow 13$	把算盘上的 $y$ 值记到第13行
6	输出	把算盘上的 $y$ 值写出给人看
7	停止	运算完毕,暂停
9	a	数据
10	b	数据
11	c	数据
12	x	数据
13	y	数据

存储器	
地址1	101 1001
2	011 1100
3	001 1010
4	010 1011
5	110 1101
6	111 xxxx
7	000 xxxx
8	
9	a(二进制数)
10	b
11	c
12	x
13	y
:	

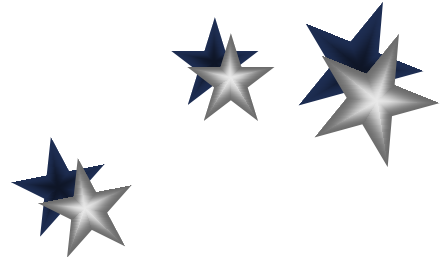
# 指令的基本任务



# 控制器

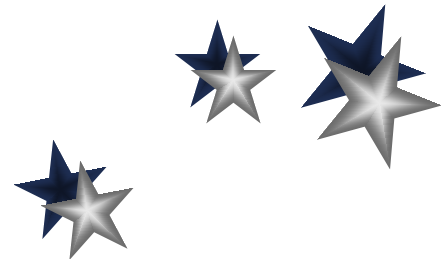
- 指令流和数据流

- 指令流：一般来讲，在取指周期中从内存读出的信息是指令流，它流向控制器。
- 数据流：执行周期中从内存读出的信息流是数据流，它由内存流向运算器。



# 1.3.5 适配器与输入输出设备

- **输入设备：**把人们所熟悉的某种信息形式变换为机器内部所能接收和识别的二进制信息形式
- **输出设备：**把计算机处理的结果变换为人或其他机器设备所能接收和识别的信息形式
- **适配器：**它使得被连接的外围设备通过系统总线与主机进行联系，以便使主机和外围设备并行协调地工作
- **系统总线：**构成计算机系统的骨架，是多个系统部件之间进行数据传送的公共通路。



# 1.4 计算机的软件

## 1.4.1 软件的组成与分类

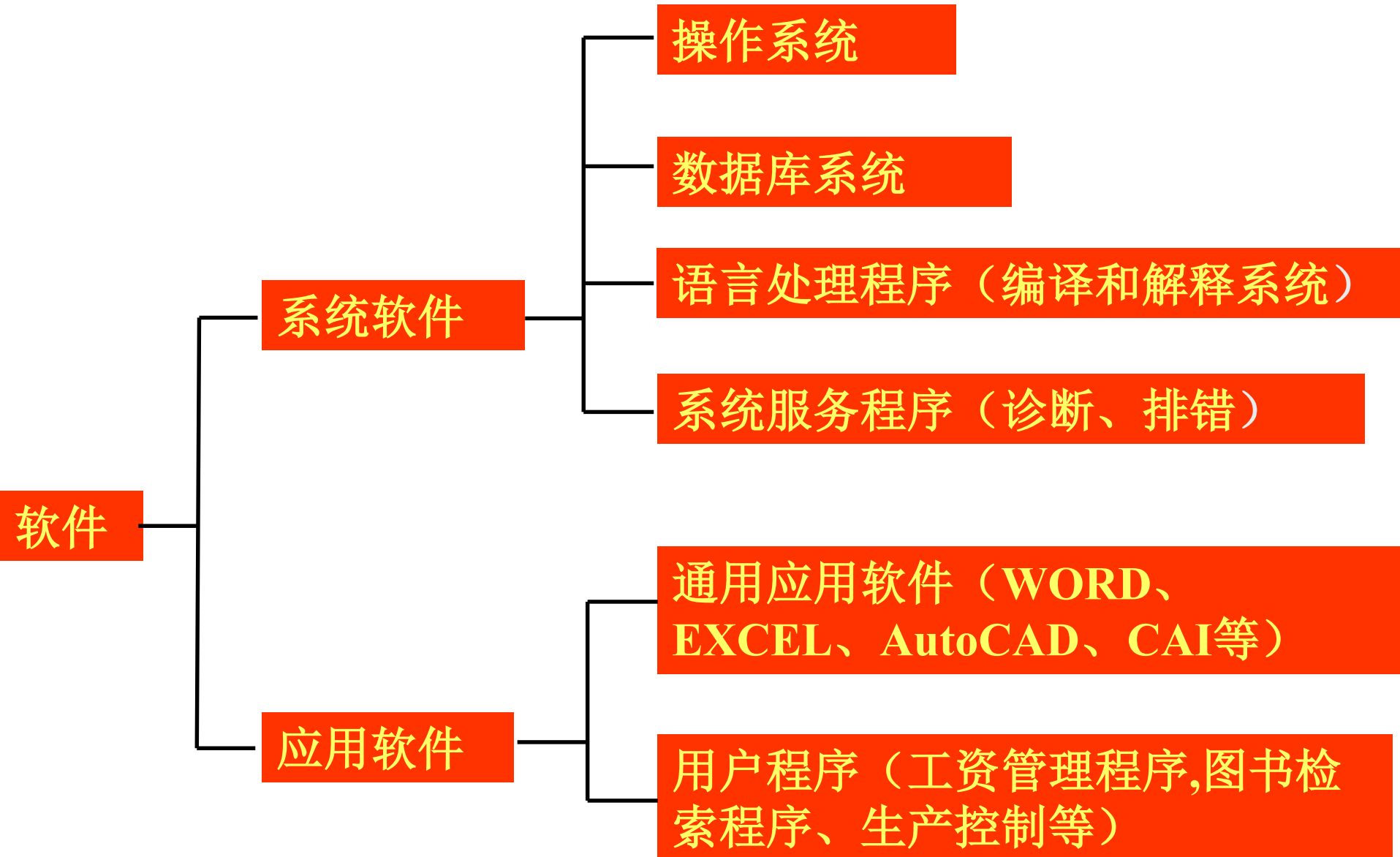
### 1. 软件的功能:

**软件=程序+文档+数据。**

软件是用户与计算机硬件的桥梁

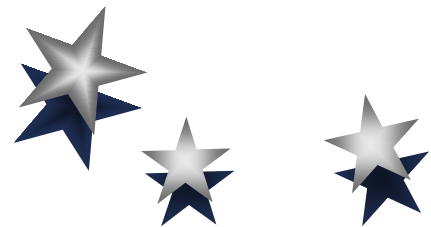
- 管理计算机各种软硬资源，提高效率
- 改善与扩充计算机的基本功能
- 提供友好用户界面、开发环境、软件工具
- 为用户完成特定信息处理任务

## 2、分类

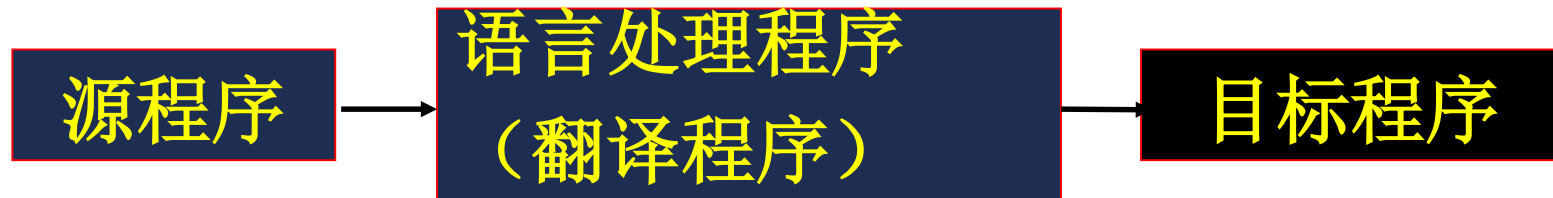


# 1.4.2 计算机软件的发展演变

- 机器语言(000 001 010)
- 汇编语言(ADD R1, R2)
- 高级语言(A=A+B)
- 应用语言



# 语言处理程序：



- **源程序：**用源语言（汇编或高级语言）写的有待翻译的程序
- **目标程序：**也称为结果程序，是源程序通过翻译程序加工以后所生成的程序
- **翻译程序：**是指一个把源程序翻译（编译、解释）成等价的目标程序的程序

## 三种语言处理程序

- **汇编程序**：把用汇编语言写的程序，翻译加工生成目标程序。
- **编译程序**：把用高级程序设计语言写的程序，经翻译加工生成目标程序。
- **解释程序**：也是一种翻译程序，它不产生目标程序，边翻译边执行，即输入一句翻译一句执行一句。

□计算机性能：响应时间(执行时间)的倒数！

$$\text{性能}_x = 1 / \text{执行时间}_x$$

“计算机X是计算机Y的n倍快”

$$\frac{\text{性能}_x}{\text{性能}_y} = \frac{\text{执行时间}_y}{\text{执行时间}_x} = n$$

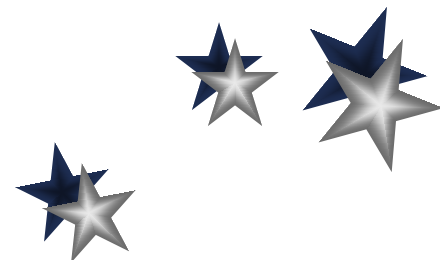
思考题：相对性能计算

如果计算机A运行一个程序只需要10秒，计算机B运行同样的程序需要15秒，那么计算机A的速度是计算机B的几倍？

解：A的速度是B的1.5倍。

# 1.5 计算机的性能指标

- 吞吐量
- 响应时间
- 处理机字长
- 总线宽度
- 存储器容量
- 存储器带宽
- 主频
- CPU时钟周期
- CPU执行时间
- CPI
- MIPS
- FLOPS





河海大学

# 计算机性能指标

- **吞吐量**：计算机在单位时间间隔内能够处理的信息量
- **响应时间**：从输入有效到系统产生响应之间的时间
- **总线宽度**：总线完成一次操作最大可传输的二进制位数
- **存储器容量**：存储器中所有存储单元的总数目
- **存储器带宽**：单位时间内从存储器读出的数据量
- **主频**：控制CPU工作节拍的主时钟频率
- **时钟周期**：主频的倒数
- **CPI**：执行一条指令所需要的平均时钟周期数
- **MIPS**：平均每秒执行多少百万条定点指令数
- **FLOPS**：平均每秒执行浮点操作的次数



## 计算机性能指标

【例1】对于一个给定的程序， $I_N$ 表示执行程序中的指令条数， $t_{CPU}$ 表示执行该程序所需的CPU时间， $T$ 为时钟周期， $f$ 为时钟频率（ $T$ 的倒数）， $N_C$ 为CPU时钟周期数。设CPI表示每条指令的平均时钟周期数，MIPS表示每秒钟执行的百万条指令数，请写出如下四种参数的表达式。

- (1)  $t_{CPU}$     (2) CPI    (3) MIPS    (4)  $N_C$

【解】

$$(1) t_{CPU} = N_C \times T = \frac{N_C}{f} = I_N \times CPI \times T = \left( \sum_{i=1}^n CPI_i \times I_i \right) \times T$$

$$(2) CPI = \frac{N_C}{I_N} = \sum_{i=1}^n \left( CPI_i \times \frac{I_i}{I_N} \right)$$

$$(3) MIPS = \frac{I_N}{t_{CPU} \times 10^6} = \frac{I_N}{N_C \times T \times 10^6} = \frac{f}{CPI \times 10^6}$$

$$(4) N_C = \sum_{i=1}^n (CPI_i \times I_i)$$

$I_i$ :  $i$ 种指令在程序中的条数

$CPI_i$ :  $i$ 种指令的平均时钟周期数

$n$ : 指令种类

$I_i/I_N$ :  $i$ 种指令在程序中所占比例



## 计算机性能指标

【例2】用一台50 MHz的处理机执行标准测试程序，它包含的混合指令数和相应所需的平均时钟周期数如下表所示，求有效CPI、MIPS速率、处理机程序执行时间 $t_{CPU}$ 。

【解】

指令类型	指令数目	CPI <sub>i</sub>
整数运算	45000	1
数据传送	32000	2
浮点运算	15000	2
控制传送	8000	2

$$CPI = \frac{N_C}{I_N} = \sum_{i=1}^n (CPI_i \times \frac{I_i}{I_N}) \text{ 其中 } \frac{I_i}{I_N} \text{ 表示 } i \text{ 指令在程序中的比例}$$

$$= \frac{45000 \times 1 + 32000 \times 2 + 15000 \times 2 + 8000 \times 2}{45000 + 32000 + 15000 + 8000} = 1.55 \text{ (周期/指令)}$$

$$MIPS = \frac{f}{CPI \times 10^6} = \frac{50 \times 10^6}{1.55 \times 10^6} = 32.26 \text{ (百万条指令/秒)}$$

$$t_{CPU} = \frac{N_C}{f} = \frac{45000 \times 1 + 32000 \times 2 + 15000 \times 2 + 8000 \times 2}{50 \times 10^6} = 31 \times 10^{-4} \text{ (秒)}$$

1. 假设基准程序A在某计算机上的运行时间为100s，其中90s为CPU时间，其余为I/O时间。若CPU速度提高50%，I/O速度不变，则运行基准程序A所耗费的时间是（ ）。

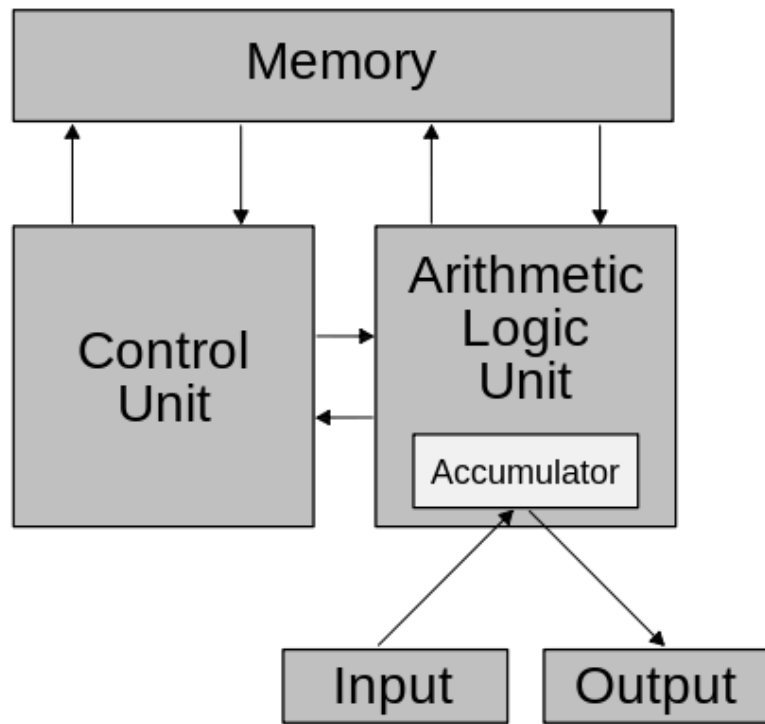
- A. 60s
- B. 70s

2. 程序P在机器M上的执行时间是20秒，编译优化后，P执行的指令数减少到原来的70%，而CPI增加到原来的1.2倍，则P在M上的执行时间是（ ）。

- A. 16.8秒
- B. 14.0秒

# 1.6 计算机系统的层次结构

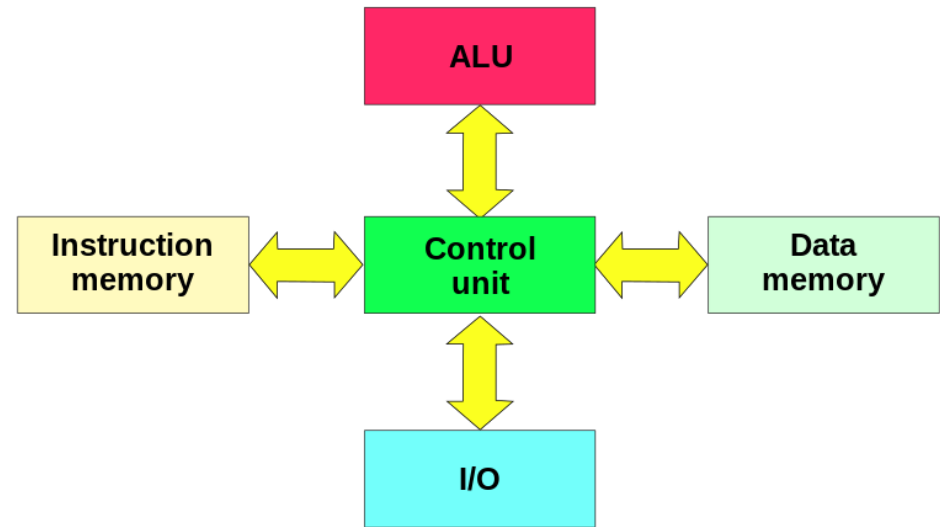
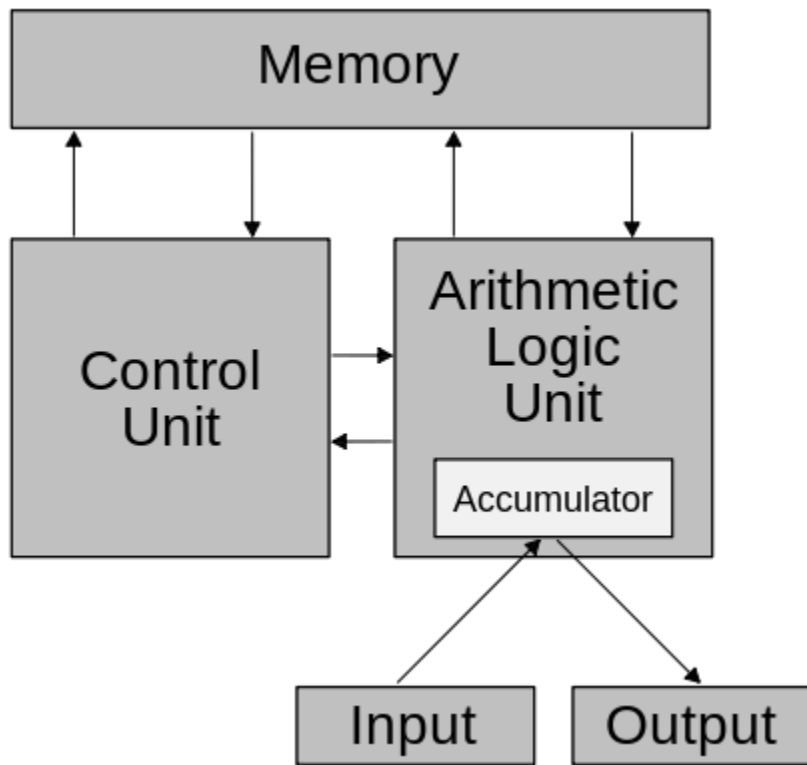
## 1.6.1 冯·诺依曼体系结构模型



现代电子计算机之父  
——冯·诺伊曼  
1903~1957

1946年7月，论文《电子计算工具逻辑设计初探》(Preliminary discussion of the the logical design of an electronic computing instrument)

# 1.6.2 哈佛体系结构 (Harvard architecture)

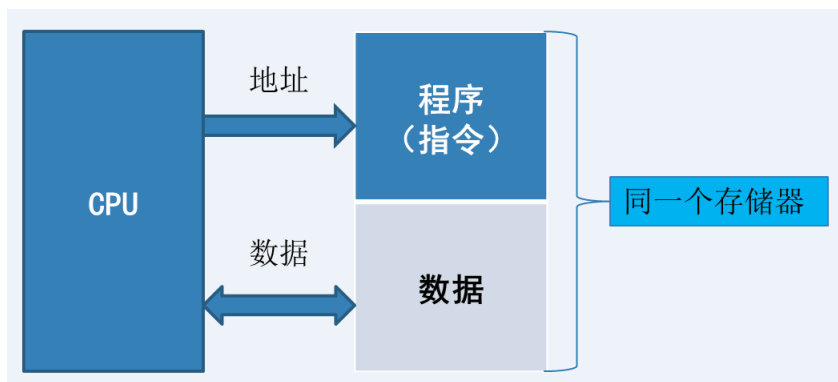


## 哈佛体系结构模型

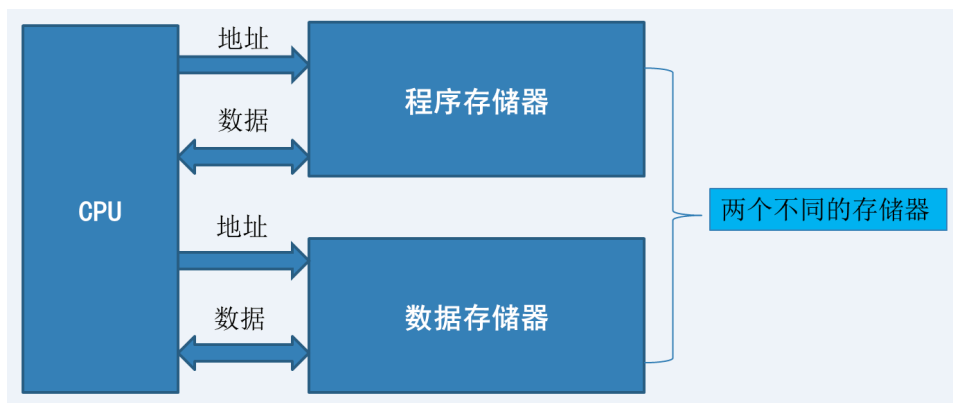
- 冯·诺依曼体系结构模型
- 指令存储器和数据存储器合并在同一存储器中

- 两个独立的存储器模块分别存储指令和数据
- 独立的两条总线

# 冯·诺依曼结构与哈佛体系结构



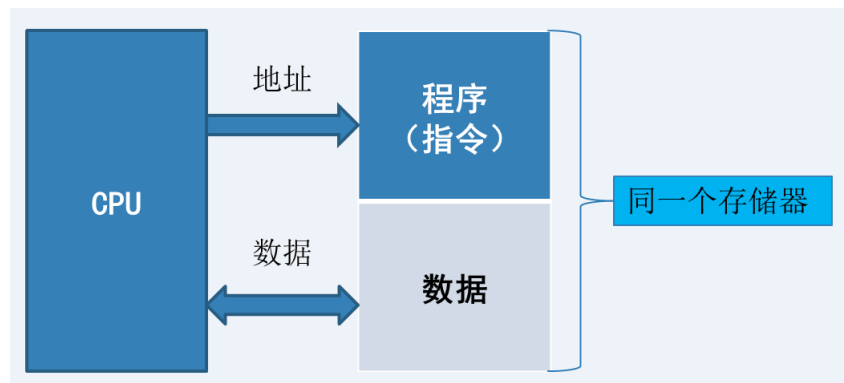
冯·诺依曼体系结构模型



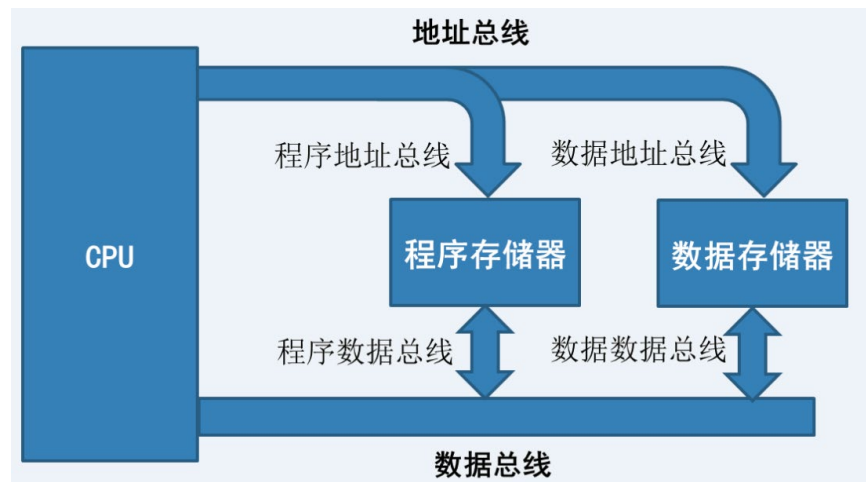
哈佛体系结构模型

- 冯诺依曼体系结构计算机：Intel 80X86、ARM7、MIPS.....
- 哈佛结构计算机：Motorola MC68、Zilog Z8、ARM9、ARM10、ARM11.....
- 现代高性能计算机典型结构：
  - ❑ Cache采用哈佛结构
  - ❑ 主存采用冯诺依曼结构

# 冯·诺依曼结构、哈佛体系结构、改进型哈佛结构



冯·诺依曼体系结构模型



改进哈佛体系结构模型

➤ 两条总线由程序存储器和数据存储器分时共用

- 公用地址总线访问程序存储模块和数据存储模块
- 公用数据总线完成程序存储模块或数据存储模块与CPU之间的数据传输



哈佛体系结构模型

## 1.6.3 非诺依曼化

### ➤ 传统的冯·诺依曼型计算机：

- ❑ 指令流驱动
- ❑ 串行顺序处理的工作机制：即使有关数据已经准备好，也必须逐条执行指令序列

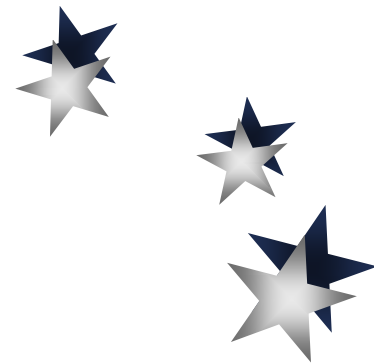
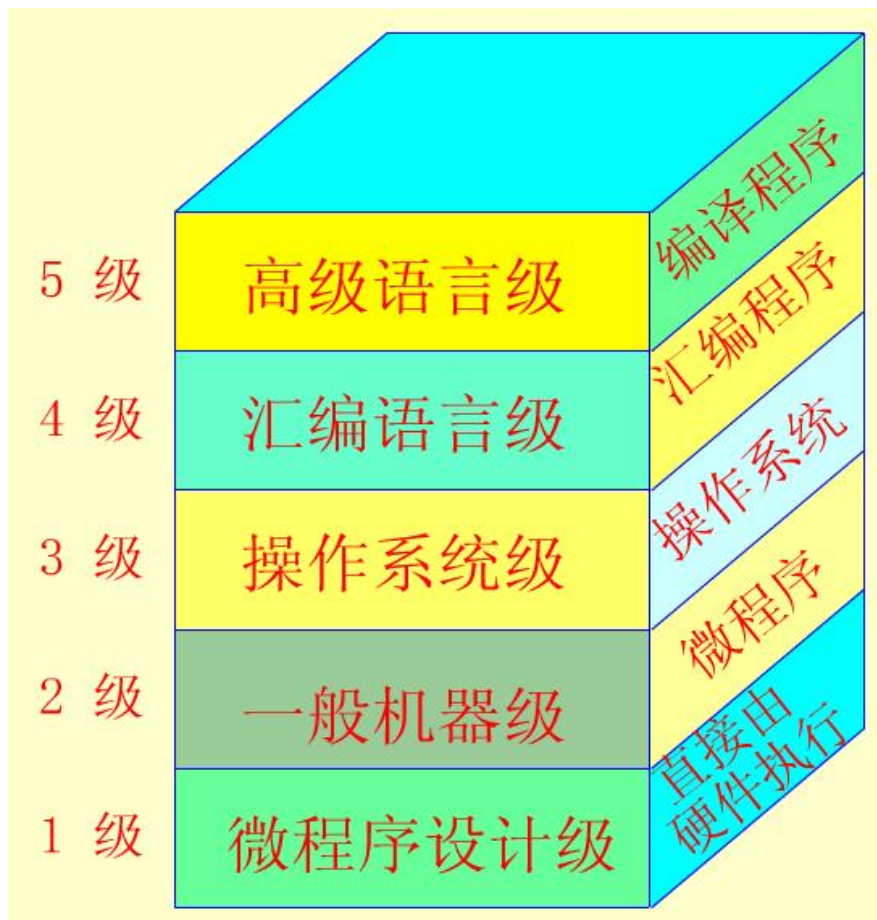
### ➤ 提高计算机性能的根本方向之一：并行处理

- ❑ 突破传统冯·诺依曼体制的束缚——非诺依曼化

### ➤ 非诺依曼化的主要表现

- ❑ 在冯·诺依曼体制范畴内进行改造：流水、阵列机
- ❑ 用多个冯·诺依曼机组成多机系统，支持并行算法结构
- ❑ 从根本上改变冯·诺依曼机的驱动方式：如数据流计算机

## 1.6.4 多级组成的计算机系统



## 1.6.5 软件与硬件的逻辑等价性



河海大学

# 计算机系统的层次结构

- 系统结构中的八个伟大思想
  - 面向摩尔定律的设计
  - 使用抽象简化设计
  - 加速大概率事件
  - 通过并行提高性能
  - 通过流水线提高性能
  - 通过预测提高性能
  - 存储系统分层
  - 通过冗余提高可靠性



河海大学

# 本章重点

- 基本概念
  - 硬件、软件、固件
  - 存储程序控制方式
  - 计算机系统层次结构
- 计算机的性能指标
- 计算机硬件系统的概念性结构，各个部分的作用。
- 指令流、数据流？计算机如何区分指令和数据？
- 冯·诺依曼计算机的技术特点



河海大学

# 第1章教材课后作业

P21

4. **冯·诺依曼型计算机**的主要设计思想是什么？它包括哪些主要组成部分？

7. 指令和数据均存放在内存中，计算机如何区分它们是**指令还是数据**？



## P21

16.某台主频为400MHz的计算机执行标准测试程序，程序中指令类型、指令执行数量和平均时钟周期数如表所示：求该计算机的(1)平均CPI；(2)MIPS；(3)程序执行时间。

指令类型	指令执行数量	平均时钟周期数
整数	45000	1
数据传送	75000	2
浮点	8000	4
分支	1500	2



河海大學

Q&A



河海大學  
HOHAI UNIVERSITY