

# 計算機科學導論



數據科學學院  
主講人：張琪

# 第二章 計算機硬件系統

本章學習要點：

- 計算機的基本結構
- 計算機的硬件組成

## 2.1 計算機的基本結構

計算機體系結構可以分為馮·諾依曼結構和哈佛結構。

### 2.1.1 馮·諾依曼體系結構

#### 1. 馮·諾依曼體系結構的特點

- 馮·諾依曼結構也稱普林斯頓結構或馮氏結構，如圖2-1所示

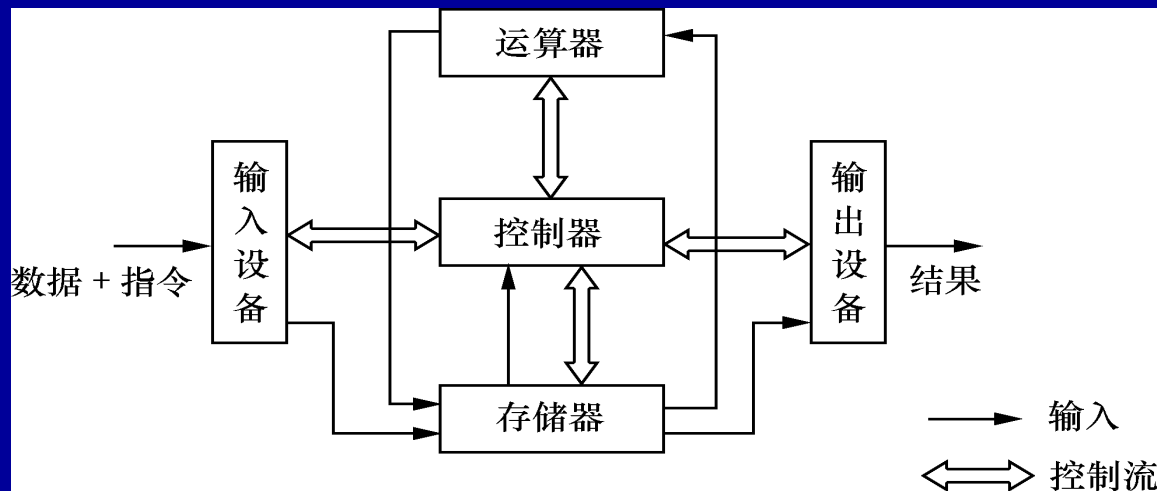


圖2-1 馮·諾依曼體系結構

- 其特點主要有以下一些：

- 必須有一個存儲器，用于存儲數據和指令
- 必須有一個控制器，用于控制程序的運行
- 必須有一個運算器，用于完成算術運算和邏輯運算
- 必須有輸入和輸出設備，用于進行人機相互

## 2. 馮•諾依曼體系結構的五大部件

### (1) 運算器

- 運算器是用二進制進行算術和邏輯運算的部件。它由算術邏輯單元（ALU）和若干通用寄存器組成。

- ALU由組合邏輯電路組成，其功能是實現算術（加減乘除等）和邏輯（與或非異或等）等運算，是計算機的運算中心。

## （2）控制器

- 控制器一般由指令寄存器、指令譯碼器、時序電路和控制電路組成。控制器實現計算機對整個運算過程有規律的控制，是計算機的指揮中心。

- 它的基本功能是控制從內存中取出指令、分析指令、發出由該指令規定的一系列操作命令并完成指令。

### (3) 存儲器

- 存儲器用來存放計算機運行中執行的指令和參與運算的各種數據。
- 存儲器分爲內存儲器和外存儲器（輔助存儲器），外存儲器也可以作爲輸入輸出設備。

### (4) 輸入設備

- 輸入設備用來將用戶輸入的原始數據（包括數字、聲音、圖形、圖像）和程序指令轉換爲計算機能識別的形式（即二進制代碼）存放在內存中。
- 常用的輸入設備有鍵盤、鼠標、掃描儀等。

## (5) 輸出設備

- 輸出設備用于將存儲在內存中由計算機處理的結果（即二進制數碼）轉換為人們所能識別的形式。
- 常用的輸出設備有顯示器、打印機、繪圖儀等。

輸入輸出設備是人機交互的設備，統稱為外圍設備，簡稱外設。

## 3. 五大部件的相互關係及工作過程

計算機的五大組成部分相互配合，協同工作，形成了高效的計算機硬件系統，具體過程如下。

- 首先由輸入設備輸入原始數據和程序指令，由控制器控制，將這些數據和指令送入存儲器。
- 然後在控制器的控制下，存儲器中的程序指令被逐條送入控制器中，經譯碼分析後將程序指令轉換為相應的控制命令。
- 接著在控制器的控制下，運算器完成規定操作并將結果送回存儲器。
- 最後在控制器的控制下，將結果由存儲器送入輸出設備進行輸出。



## 2.1.2 哈佛結構

● 哈佛結構，于20世紀70年代由哈佛大學的學者提出，是一種將程序指令存儲器和數據存儲器分開的存儲器結構，由于取指令和取操作數都經由不同總綫進行并行傳輸，因此它屬一種并行體系結構，如圖2-2所示。

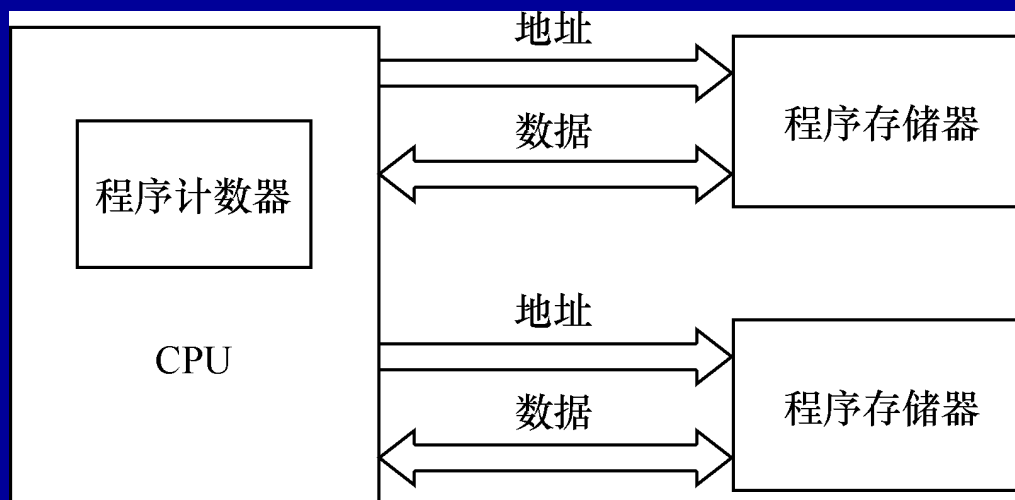


圖2-2 哈佛結構

- 哈佛結構兩個明顯的特點：一是使用兩個獨立的存儲器模塊，分別存儲指令和數據，二是使用兩條獨立的總綫，分別作為CPU與每個存儲器之間的專用通信路徑。

- 哈佛結構的優點是：可以同時讀取指令和數據，大大提高了數據吞吐量，具有更高的執行效率，缺點是結構複雜，對外圍設備的連接與處理要求高，十分不適合外圍存儲器的擴展。

- 馮·諾依曼結構簡單、易實現、成本低，但效率偏低。哈佛結構效率高但複雜，因而，目前絕大部分計算機仍采用馮·諾依曼結構。

## 思考題

- 還有那些設備屬輸入設備？請舉例。
- 還有那些設備屬輸出設備？請舉例。

## 2.2 計算機的硬件組成

**計算機硬件**，是指組成計算機的各種物理設備，是看得見，摸得著的。微型計算機的硬件通常由**主機**和**外設**兩部分組成，如圖2-3所示。



圖2-3 微型計算機

● **主機**，是指計算機除去輸入輸出設備以外的主要機體部分，主要包括：主板、CPU、內存條、I/O擴展槽、總綫和各種接口等。

● **外設**，是指連在計算機主機以外的硬件設備，主要對數據和信息起著傳輸、轉送和存儲的作用。主要包括：輸入設備（如鍵盤、鼠標）、輸出設備（如顯示器、打印機）、網絡設備（如路由器、交換機）等。

## 2.2.1 主板

- **主板**，又稱為**母板**，是位于主機箱內的一塊大型多層印刷電路板，如圖2-4所示。

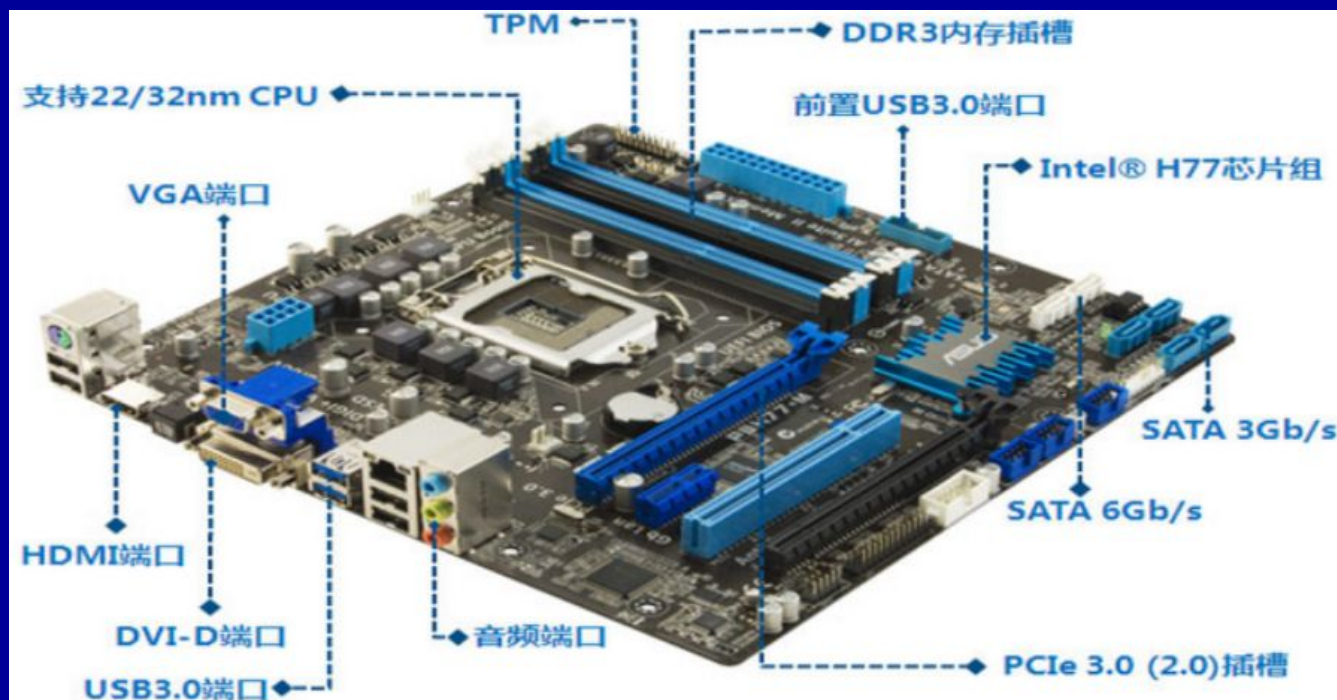


圖2-4 計算機主板

- 如果把CPU比作微機的心臟，那麼主板就是軀幹（內含血管、神經等循環系統），CPU、內存條、顯卡、網卡等均是需要安裝在主板上的硬件，其他的硬盤與電源等均必須用數據綫或電源綫與主板相連。

- 主板實質上就是一個載體或平臺，在上面搭載或連接CPU、硬盤、內存、顯卡等設備，和機箱、電源、顯示器、鍵盤、鼠標等構成一個完整的PC系統。計算機的整體運行速度和穩定性在很大程度上都取決于主板的性能。

## 2.2.2 中央處理器

### 1. 什麼是中央處理器（CPU）

CPU是主板上的一個重要的半導體芯片，采用超大規模集成電路工藝，其功能是執行算術和邏輯運算，并控制整個計算機自動、協調地完成各種操作，如圖2-5所示。

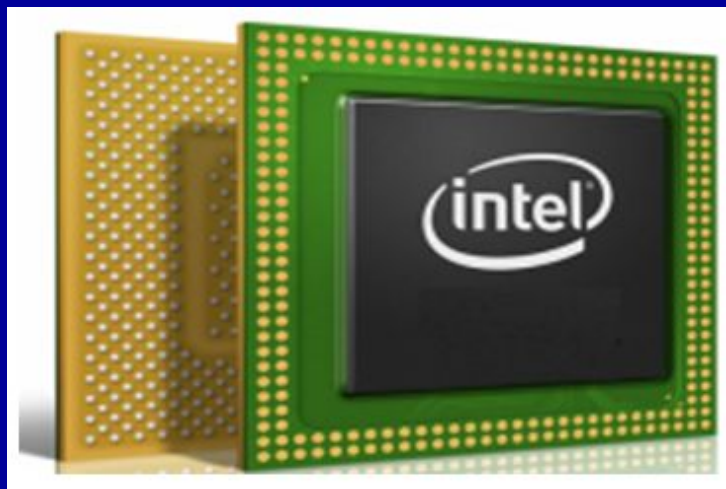


圖2-5 中央處理器

## 2. CPU的工作原理



- CPU的工作過程大致分爲4個階段：提取、譯碼、執行和寫回。
- CPU首先從存儲器或高速緩沖存儲器中取出指令，然後將指令放入指令寄存器，并對指令譯碼。再將指令分解成一系列的微操作，然後發出各種控制命令，執行微操作系列，從而完成一條指令的執行。

## 2. CPU的主要性能指標

計算機的性能在很大程度上由CPU的性能決定，而CPU的性能主要體現在其運行程序的速度上。影響運行速度的性能指標主要以下一些。

### (1) 內核和核心數

- 內核，即CPU的核心，是CPU最重要的組成部分，CPU所有的計算、接收/存儲命令、處理數據都由內核執行。
- CPU的內核通常分為單核、雙核或多核，雙核或多核CPU在性能上可以成倍地提高工作效。

## (2) 字長

- CPU在同一時間能一次傳輸或處理的二進制代碼的位數即為字長，字長直接反映了CPU的數據處理速率、計算精度和數據存取效率
- 常見的微處理器字長：8位、16位、32位、64位。目前，64位高性能處理器已在PC機中普及。

## (3) 主頻、外頻和倍頻

- **主頻**，主頻也叫時鐘頻率，單位是GHz，用來表示CPU的運算速度。
- **外頻**，外頻是CPU與主板上其他設備進行數據傳輸的物理工作頻率，也就是系統總綫的工作頻率，它代表著CPU與主板和內存等配件之間的數據傳輸速度，單位是MHz。
- **倍頻**，倍頻也稱倍頻係數，是CPU主頻與外頻之間的相對比例關係。在相同的外頻下，倍頻越高，CPU的主頻也越高。
- 三者間的關係為：**主頻=外頻×倍頻**

#### **(4) 前端總綫頻率**

前端總綫頻率，直接影響CPU與內存交換數據的速度。數據傳輸的最大帶寬取決于所有同時傳輸的數據寬度和傳輸頻率，它們之間的關係是：

$$\text{數據帶寬} = (\text{數據位寬} \times \text{前端總綫頻率}) / 8$$

## (5) 高速緩沖存儲器 (cache)

- 高速緩存，是指可以進行高速數據交換的存儲器，它先于內存與CPU交換數據，因此速度很快。緩存又可分為一級高速緩存L1、二級高速緩存L2。
- 一級高速緩存通常在CPU內部，其容量和結構對CPU的性能影響很大，但價格昂貴且結構較複雜。

- 二級高速緩存分內部和外部兩種芯片。內部的二級緩存運行速度與主頻相同，而外部的二級緩存則只有主頻的一半。高速緩存的容量也會影響CPU的性能，原則是越大越好。

## （6）擴展指令集

指令集是存儲在CPU內部，對CPU運算進行指導和優化的硬程序。擁有這些指令集，CPU就可以更高效地運行。

## （7）製造工藝

- 製造工藝是指在矽材料上生產CPU時內部晶體管與晶體管之間的距離，單位為“納米”（ns）。

- 納米數越小，相同空間內的晶體管就越多，這意味著在同樣面積的芯片中，晶體管的集成度就會更高，電路設計就可以更複雜，因此CPU的性能就越出色，功耗也越小，溫度也越低。
- 現在的CPU已經全面進入10nm時代（酷睿i3/i5/i7），而5nm將是下一代CPU的發展目標。

## （8）工作電壓

- 工作電壓是指CPU正常工作時所需的電壓。
- 低電壓能解決耗電過大和發熱過高的問題，所以一般是越低越好。

*CPU 樣本舉例*

# 思考題

- CPU常見的廠商有哪些？請舉例。
- 目前最流行的民用CPU型號有哪些？請舉例。
- 目前常見的民用高性能CPU字長是多少？
- 主頻越高，CPU性能越好嗎？
- 你自己的PC用的是什麼CPU，它的主要性能指標是多少，請列出。

休息一下  
**Take a break**



## 2.2.3 存儲器

存儲器是用來存儲程序和數據的部件。在微機系統中通常采用三級層次結構來構成存儲系統，主要由高速緩沖存儲器、主存儲器和輔助存儲器組成，如圖2-6所示。

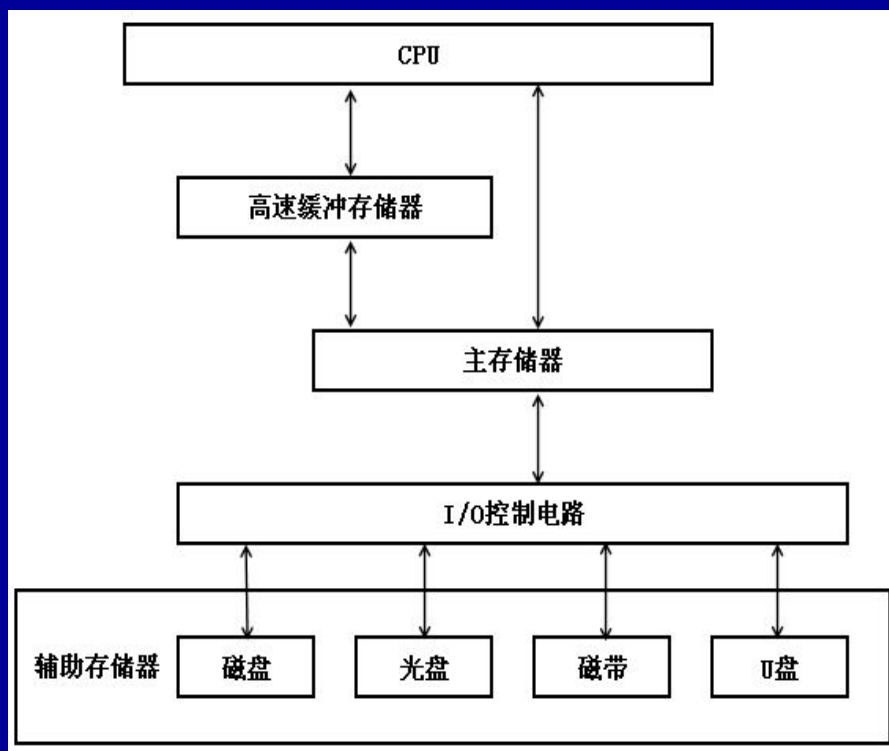


圖2-6 存儲器系統的多層次結構圖

# 1. 半導體存儲器

現代計算機中多采用半導體存儲器。按照信息存取原理的不同，可以將半導體存儲器分為只讀存儲器（ROM）和隨機存儲器（RAM）兩大類。

## （1）ROM（只讀存儲器）

- 采用非易失性器件製造，廠家在製造ROM過程中，信息（數據或程序）經特殊方式寫入并永久保存。這些信息只能讀出，一般不能再寫入，而且即使系統停止供電，這些數據也不會丟失。
  - 能舉出一些例子嗎？
- 按照工作原理的不同又細分為：可編程只讀存儲器（PROM）、可擦除可編程只讀存儲器（EPROM）、電子式可擦除可編程只讀存儲器（EEPROM）、快閃存儲器（Flash ROM）等。

## (2) RAM（隨機存儲器）

- 又稱為讀/寫存儲器或內存，表示既可以讀取數據，也可以寫入數據。RAM採用易失性器件製造，當機器電源關閉時，存于其中的數據就會丟失。
- 主板上的內存條，實際就是將多個RAM集成在一起的小塊電路板，通常所說的內存容量，通常就是指內存條上RAM的容量。如圖2-7所示。

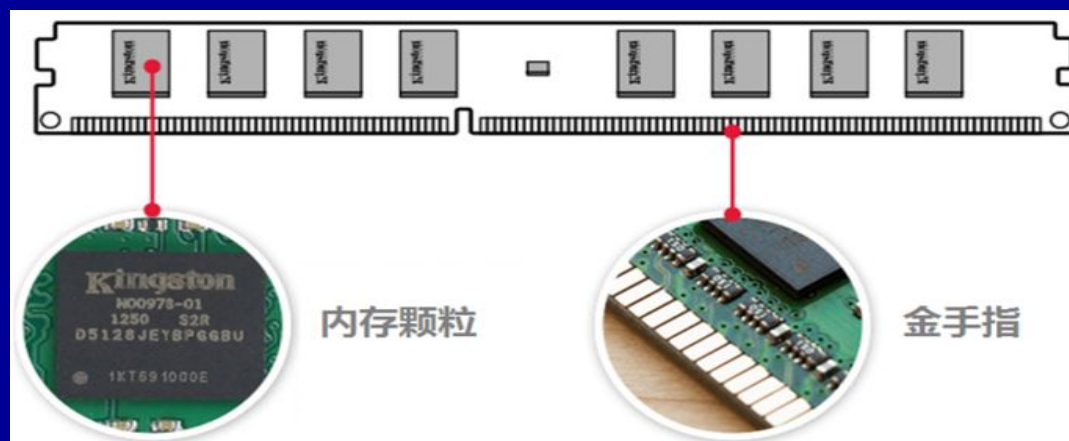


圖2-7 內存條

● RAM按照工作方式的不同又細分爲：**動態隨機存儲器（DRAM）**和**靜態隨機存儲器（SRAM）**兩大類。

● **動態隨機存儲器（DRAM）**

- 采用半導體器件中分布電容器上的電荷的有，無來表示所儲存的信息“1”和“0”
- 由于保存在分布電容器上的電荷會隨著電容器的漏電而逐漸消失，因此需要周期性的充電
- **DRAM**功耗低，集成度高，成本低，但存取速度較慢

● **靜態隨機存儲器（SRAM）**

- 通過雙穩態電路來保留儲存器中的信息
- 只要儲存器的供電不斷，存放在儲存器中的信息就不會丟失
- **SRAM**接口電路簡單，使用方便且速度比**DRAM**快，運行穩定
- 缺點是功率大，集成度低，成本高

## 2. 主存儲器

主存儲器也稱內存，是微機中的主要存儲部件，也是CPU能够直接尋址的存儲空間。因此，主存儲器的好壞直接影響微機的運行速度。目前，微機上主存儲器均採用DRAM

### (1) 內存發展所經歷的主要時代

- 同步動態隨機存儲器（SDRAM）時代
  - 帶寬64bit，時鐘頻率100MHz，133MHz，儲存容量128MB, 256MB等
- 頻率競備時代
  - AMD的DDR SDRAM 與Intel的Rambus
- DDR時代
  - DDR, DDR2, DDR3, DDR4...

## (2) 內存的主要性能指標

目前，衡量內存的性能指標主要包括以下一些：

### ● 內存類型

目前，微機上配置的主存儲器均為**DDR**內存條，隨著**CPU**性能不斷提高，又相繼出現了**DDR2**、**DDR3**、**DDR4** 和 **DDR5**。目前**DDR3**內存已在PC機上普及，如圖2-8所示。

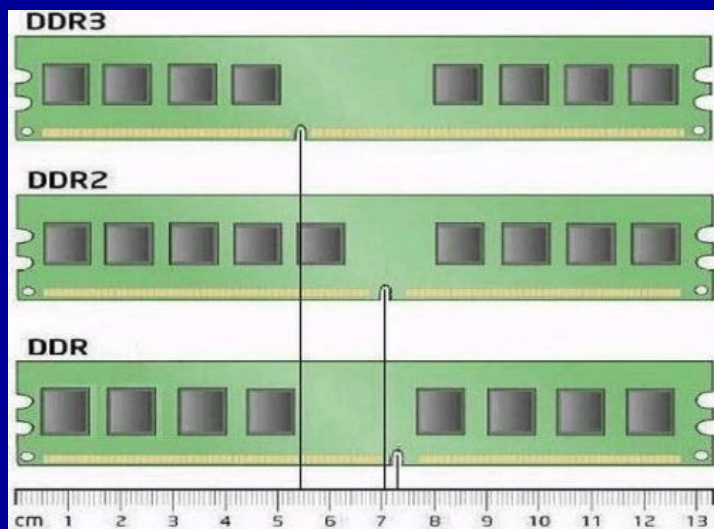


圖2-8 不同類型DDR內存條

## ● 內存容量

一般來說，內存容量越大，數據處理的速度就越快。但是在選購內存的時候也要根據PC機軟硬件的需求來選擇，以發揮內存的最大價值。4GB, 8GB, 16GB...（國產內存發展的現狀）

## ● 工作頻率

工作頻率越高代表速度越快，目前，DDR4-3600 8G/16G（工作頻率為 3600 MHz）已成為 PC 的主流標配。

## ● 工作電壓

通常情況下，工作電壓越小，能耗就越低。例如，DDR4 的工作電壓是 1.2 V、DDR5 的工作電壓是 1.1 V。

## ● 內存樣本舉例

### 3. 高速緩沖存儲器

即**高速緩存(Cache)**，其存儲內容為最近曾被CPU訪問過的程序或數據。由于在多數情況下，一段時間內程序的執行總是集中于程序代碼的某一較小範圍，因此如果將這段代碼一次性從內存調入高速緩存，則可以在一段時間內滿足CPU的需要，從而將CPU對內存的訪問變為對高速緩存的訪問，以提高CPU的訪問速度和整個系統的性能。目前，微機上配置的高速緩存基本上都采用SRAM。

#### ●Cache樣本舉例

### 4. 輔助存儲器

#### (1) 硬盤技術及工作原理

● 微機所用的硬盤都是采用溫切斯特技術，由IBM公司于上世紀70年代提出。它把磁盤、驅動電機、讀寫磁頭等組裝并封裝在一起，成為溫切斯特驅動器，簡稱溫盤，如圖2-9所示。



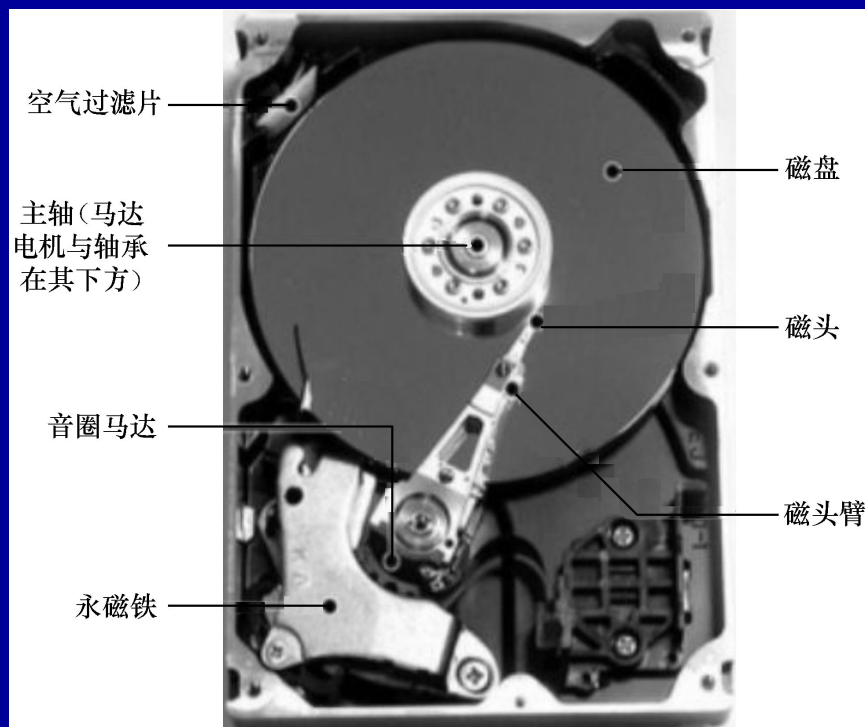


圖2-9 硬盤的內部結構

- 硬盤盤體密封，盤片固定并高速旋轉，高速旋轉產生浮力使**磁頭**飄浮在盤片上方而不與盤片接觸（懸浮距離為零點幾微米，約為人類頭髮直徑的千分之一），并沿盤片徑向移動。
- 磁盤是以“盤面—磁道—扇區”的方式來進行數據組織，如圖2-10所示。

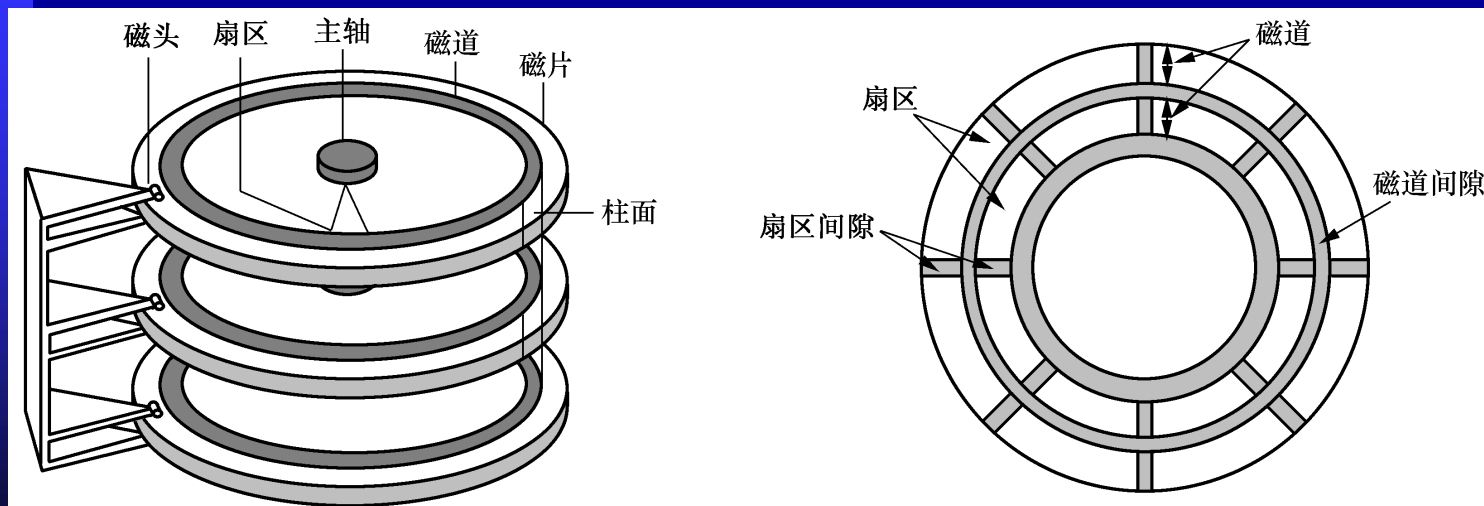


圖2-10 磁盤的數據結構示意圖

- 硬盤上信息的存儲是以同心圓的形式排列的，每一個圓環稱為一個**磁道**。當對磁盤進行讀寫時，磁頭定位在磁道上，為防止或減少由于磁頭未定位準確或磁域間的干擾所引起的錯誤，相鄰磁道間有一定的間隙。
- 每個盤片的磁道又進一步被分割成幾十到上百個等長的圓弧，每一段圓弧稱為一個**扇區**。相鄰扇區間同樣留有一定的間隙，一個扇區可以存儲若干位信息，它是磁盤與主機之間交換信息的基本單位。大多數系統所定義的扇區的大小為**512B~2KB**。

- 每個存儲表面的同一磁道組成一個圓柱面，稱為柱面。

## (2) 硬盤的主要性能指標

- 硬盤容量

- 容量是硬盤最主要的參數。硬盤的容量一般以吉字節（GB）或太字節（TB）為單位。

- 硬盤的容量 = 磁頭數（盤片數）× 柱面數（磁道數）× 每磁道扇區數 × 扇區字節數（一般為512B）

- 主軸轉速

主軸轉速是指磁盤每分鐘旋轉的圈數，單位為轉/每分（RPM）轉速越快，讀取硬盤數據的速度就越快，硬盤的整體性能也越好。

## ● 平均尋道時間

是指磁頭從當前磁道移動到目標數據所在磁道的平均時間。這個時間越短，讀取硬盤數據的速度就越快。

## ● 高速緩存

高速緩存是硬盤控制器上的一塊內存芯片，具有極快的存取速度。高速緩存也是硬盤非常重要的一個參數，其大小也直接影響到硬盤的整體性能。

## ● 數據傳輸率

數據傳輸率包括內部數據傳輸率和外部數據傳輸率。內部數據傳輸速率，是指從硬盤到緩存的傳輸速度；外部數據傳輸速率，是指從緩存到硬盤接口的傳輸速度。內部傳輸速率更能反應硬盤的實際表現，通常以每秒MB為單位。

## 思考題

某硬盤磁頭有15個，磁道數為8894個，每道有63個扇區，每個扇區為512B, 請計算該硬盤的儲存容量。

儲存容量=15\*8894\*63\*512B  
約等于4.1GB

## ●硬盤樣本舉例

## (2) Flash存儲器

Flash存儲器，簡稱**閃存**，其存取數據的速度比硬盤、光盤更快，而且具有抗震性強、體積小、功率低等優點。

### ● 優盤

全稱USB閃存盤。因使用USB接口與主機通信而得名。優盤是一種新型存儲產品，具有輕巧便攜、安全穩定、即插即用、支持系統引導、可重複擦寫、存儲容量大等優點。

### ● 優盤樣本舉例

### ● 固態硬盤（SSD）

從技術層面來看，固態硬盤本質上是**閃存集成**（可看做是一個大容量優盤），如圖2-11所示。由于不用磁頭，幾乎沒有尋道時間，因此其數據讀寫速度遠高于普通硬盤，而且內部沒有任何機械活動部件，不會發生機械故障，因而安全可靠，抗震性能極強。

### ● SSD樣本舉例

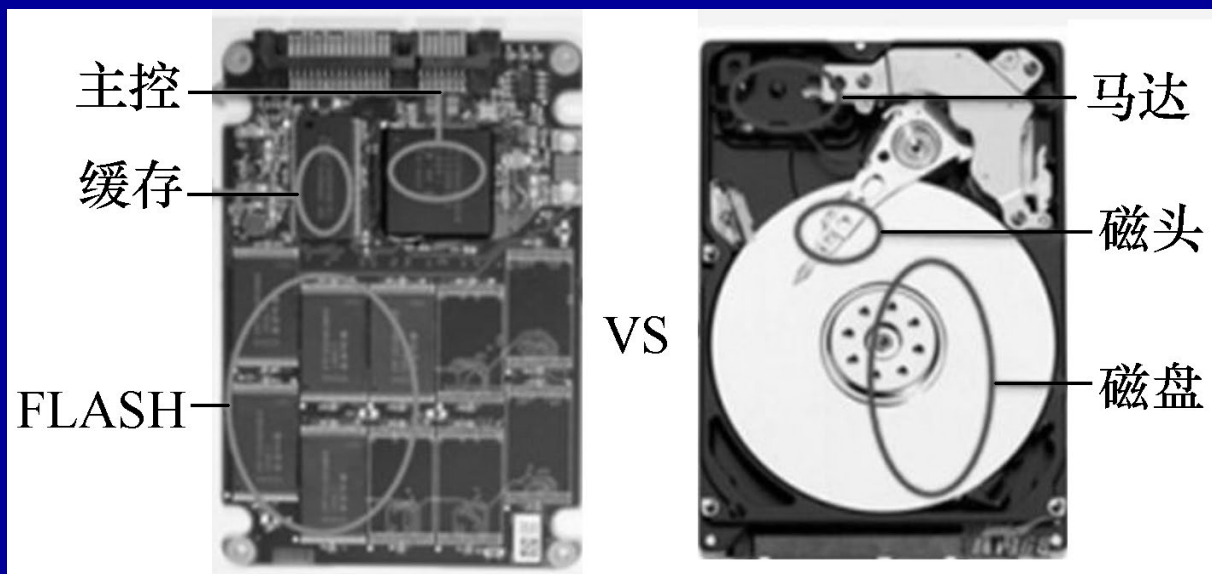


圖2-11 固態硬盤與機械硬盤內部構造對比

### (3) 激光存儲器

- 它是一種利用光學方式進行信息讀/寫的一種大容量、可移動存儲器。光盤的外形呈圓形，與磁盤利用表面磁化來表示信息不同，它利用介質表面的凹凸痕迹來存儲0，1二進制數據信息，如圖2-12所示。



圖2-12 光盤與介質表面的凹痕

- 根據光盤的使用特性不同，可分為只讀光盤、一次性寫入光盤、可重寫光盤三大類。
- 儲存容量從幾百MB到幾GB不等
- 光盤樣本舉例



## 思考題

- 硬盤常見的廠商有哪些？請舉例。
- 輔助儲存器有哪些種類？請列舉幾種。
- 目前常見的內存條的容量有多大？請舉例。

休息一下  
**Take a break**

## 2.2.4 總綫與接口

### 1. 總綫和接口的定義

#### (1) 什麼是總綫

- **總綫**是連接計算機內部各個硬件部分的公共信息通道。
- 總綫一般有**內部總綫**、**系統總綫**和**外部總綫**，如圖2-13所示。內部總綫是微機內部各外圍芯片與處理器之間的總綫，用于芯片一級的互連；而系統總綫是微機中各插件板與系統板之間的總綫，用于插件板一級的互連；外部總綫則是微機和外部設備之間的總綫。

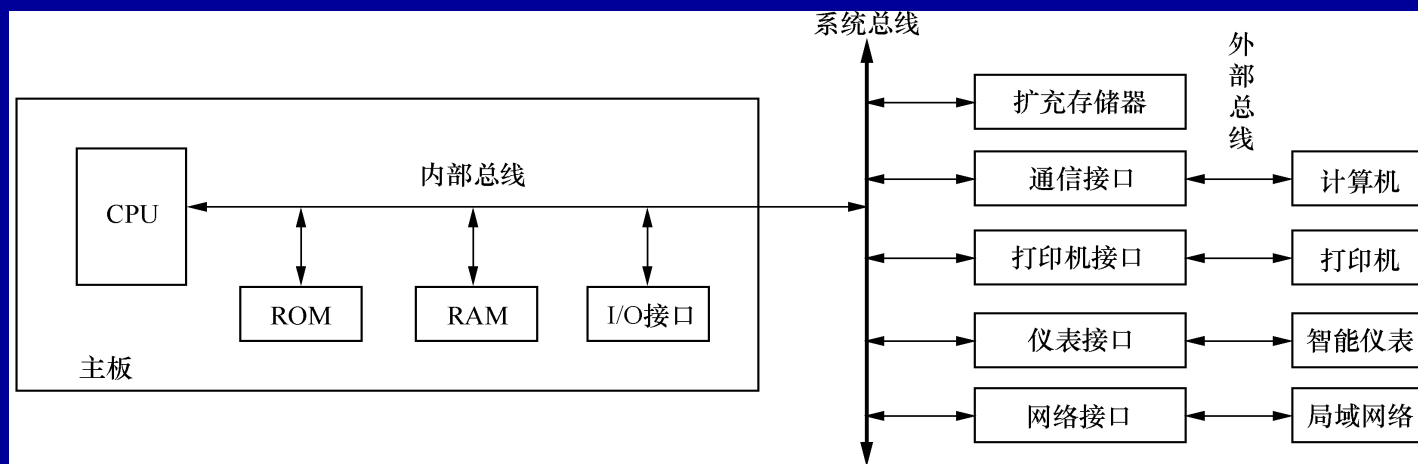


圖2-13 微機中的總綫示意圖

## (2) 什麼是接口

- **接口**，是主機與和外部設備之間信息交換的橋梁，主要用于連接輸入/輸出設備。
- 計算機中有些接口專門用于連接特定的設備，如：硬盤接口、顯卡接口、打印機并行接口等。而有些接口則具有通用性，它們可以連接各種各樣的外設，例如，**USB**接口等。

## 2. 常用的一些總綫和接口

- **ISA總綫**
  - 工業標準體系結構。樣本舉例
- **EISA總綫**
  - 擴充的工業標準體系結構。樣本舉例
- **PCI總綫**
  - 外部設備互聯。樣本舉例

- **AGP總綫**

- 圖像加速端口。樣本舉例

- **RS-232-C總綫**

- 串行物理總綫標準。樣本舉例

- **IEEE 488總綫**

- 并行總綫標準。樣本舉例

- **USB總綫**

- 基于通用連接技術。樣本舉例

## 2.2.5 輸入/輸出設備

### 1. 輸入設備

## (1) 鍵盤

鍵盤 (Keyboard) 是微機必備的輸入系統，用來向微機輸入命令、程序和數據。

- 主鍵盤區，功能鍵盤區，編輯鍵盤區，小鍵盤區
- 鍵盤樣本舉例

## (2) 鼠標

鼠標 (Mouse) 是微機必備的輸入設備，其主要功能是對光標進行快速移動、選中圖像或文字的對象、執行命令等。

- 光電式，半光電式，軌迹球，無線遙控式等
- 鼠標樣本舉例

## (3) 掃描儀

掃描儀 (Scanner) 是計算機用于輸入圖形和圖像的專用設備，利用它可以迅速地將圖形、圖像、照片、文本輸入到計算機中。

- 掃描儀樣本舉例

## 2. 輸出設備

### (1) 顯示器

- 其功能是：將主機輸出的電信號通過一系列處理後轉換成光信號，并最終將文字、圖形顯示出來，從而查看各種程序、數據、圖形等信息和經過計算機處理後的結果。
- 顯示器的**主要類型**包括以下一些，如圖2-13，2-14，2-15所示
  - CRT顯示器
  - LCD顯示器
  - LED顯示器
  - OLED顯示器



圖2-13 CRT顯示器



圖2-14 LCD顯示器



圖2-15 LED顯示器

## ●CRT顯示器

- CRT顯示器由于功耗高，體積大，重量重等缺點，現在已基本退出市場。

## ●LCD顯示器

- LCD采用液晶控制透光技術實現色彩的顯示，式目前最好的彩色顯示設備之一。
- 厚度薄，重量輕，耗電低等特點。
- 無閃爍，低輻射等優勢





圖2-13 CRT顯示器



圖2-14 LCD顯示器



圖2-15 LED顯示器

## ●LED顯示器

- 使用LED作為背光源，畫面更優質，壽命更長製作工藝環保等
- 本質上，仍屬LCD顯示器的一種。

## ●OLED顯示器

- 具有像素點自發光的特性。
- 被視為下一代顯示技術的最佳方案。

- 顯示器的主要性能指標有：

- 屏幕尺寸與可視面積

- 屏幕尺寸是指顯示屏的對角綫長度
- 可視面積是指顯示屏實際可以顯示圖像的最大範圍，用長與高的乘積表示

- 像素、點間距和分辨率

- 顯示器所顯示的圖形和文字式由許許多多的點組成的，稱為像素。
- 點間距是指屏幕上相鄰兩個像素點的距離
- 分辨率是指屏幕上每行每列有多少像素點，例如1024\*768

- 對比度

- 圖像最亮的白色區與次暗的黑色區域的比值
- 對比度越高，還原的畫面層次感越好

- 顯示器的主要性能指標有：

- 可視角度

- 可視角度是指站在始于屏幕法綫的某個角度位置時仍可看到屏幕圖像構成的最大角度
- 可視角度是LCD顯示器的天生缺陷

- 亮度

- 亮度越高，顯示器對周圍環境的抗干擾能力就越強

- 響應時間

- 響應時間是指LCD對於輸入信號的反應速度
- 進行一些高速度游戲時候，響應時間過長會出現圖像拖影的現象
- 目前主流的LCD響應時間為5ms

- LCD 樣本舉例

## (2) 顯示卡

- 顯示卡是顯示器與主機通信的控制電路和接口，如圖2-16所示，其核心是圖形處理芯片，在它周圍是顯示內存和BIOS芯片等。
- AI計算（深度學習）

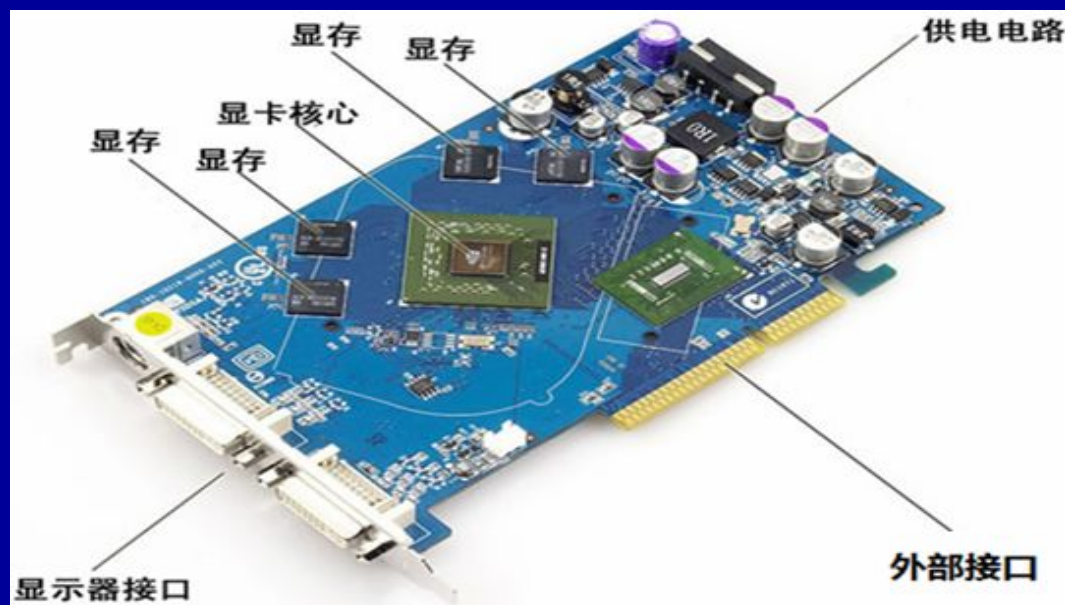


圖2-16 顯卡結構

- 顯卡的顏色有16色、256色、增強色（16位）和真彩色（24位）。一般微機出廠時都預置為16位色，即同時能顯示 $2^{16}=65536$ 種顏色，而真彩色24位模式則可同時顯示 $2^{24}\approx 1670$ 萬種顏色，這基本涵蓋了人眼所能識別的所有顏色，用戶可根據自身需要進行相應調整。

- 顯卡樣本舉例

### (3) 打印機

- 打印機，是計算機系統的標準輸出設備之一，用來打印程序結果、圖形和文字資料等。

- 打印機的種類很多，按打印方式可分為擊打式和非擊打式兩類，按打印機工作原理則可分為針式打印機、噴墨打印機和激光打印機，如圖2-17所示。



圖2-30 各種類型的打印機

- 針式打印機結構簡單、耗材省、維護費用低，但噪聲大、分辨率低、體積較大、速度。
- 噴墨打印機的打印質量較高、噪音小、速度快、色彩效果好，常用于家用，但耗材成本偏高。
- 激光打印機是利用電子成像技術進行打印打印質量高、速度快、噪音低，但成本普遍較高，常用于辦公環境。

## 思考題

- 顯卡常見的廠商有哪些？請舉例。
- 顯示器有哪些種類？請列舉。
- 目前常見的優盤的容量有多大？請舉例。
- 鼠標有哪些類型？請列舉幾類。
- 如果辦公室文字打印工作量大，質量要求高，選用哪種打印機合適，請說明。