

计算机系统

【学习目标】

- 理解计算机系统的组成
- 掌握图灵机的结构
- 理解图灵机的工作过程
- 掌握冯·诺依曼体系结构的组成和各部分的功能
- 掌握中央处理器的工作过程
- 理解存储系统的层次结构
- 了解总线的作用和分类
- 了解微型计算机各部分硬件的功能和性能参数
- 理解操作系统的功能
- 熟练使用 Windows 10 操作系统

本章将追本溯源,从图灵机模型出发,解析现代计算机的基本结构和工作原理,探索计算机进行信息处理的核心装置——计算机系统,即计算机软硬件平台。

计算机系统由硬件系统和软件系统组成,如图 3-1 所示。硬件系统是构成计算机系

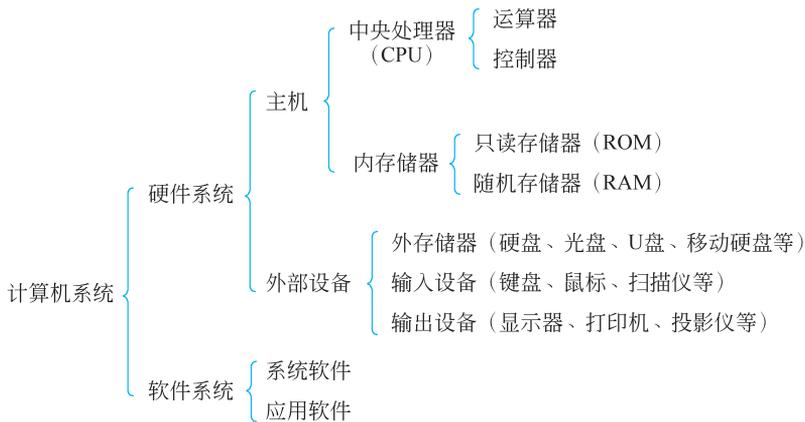


图 3-1 计算机系统组成

统的电子机械装置的总称,是整个系统运行的物理平台。软件系统是实现运行、管理和维护计算机系统或为完成一定任务而编写的各种程序、要处理的数据及其相关资料(文档)的总称。

3.1 图灵机模型和冯·诺依曼计算机

3.1.1 图灵机模型

1. 图灵简介

艾伦·图灵(Alan Turing,1912—1954),英国科学家,1912年出生于英国帕丁顿,19岁进入剑桥皇家学院,22岁当选为皇家学会会员,1938年在美国普林斯顿大学获得数学博士学位。“二战”爆发后,曾协助军方破解德国著名的密码系统——恩尼格玛(Enigma)密码机,是著名的数学家和密码学家。

图灵于1936年提出图灵机的概念。作为一名数学家,他当时正在研究可计算性问题,即研究如何区分问题的可计算性和不可计算性。可计算就是指能够按照一定的步骤机械化地完成任务。图灵研究的可计算性是在机器中实现的。1936年,图灵在其论文《论可计算数以及在确定性问题上的应用》中描述了一类计算装置——图灵机,这是一个抽象的计算模型。

2. 图灵机思想

图灵机的基本思想是用机器模拟人用纸笔进行数学运算的过程,并把这个过程看作由下列两个简单动作构成:

- 在纸上写下或擦除某个符号;
 - 注意力从纸的一个位置移动到另一个位置;
- 每个阶段,决定下一步动作依赖于:
- 当前关注的纸上某个位置的符号;
 - 当前思维的状态。

以 4231×77 为例,人用纸和笔进行数学运算的过程如下:

- ① 去掉不相干因素;
- ② 写下数字和符号;
- ③ 关注当前的符号,在脑中思考相应的计算方法;
- ④ 用笔在纸上写下或擦去一些符号;
- ⑤ 改变自己的视线,转到③继续;
- ⑥ 直到结束。

在此过程中,人用到了纸、笔、眼睛和大脑。纸用来存储写下的数字和符号,笔用来实现数字和符号的写入,眼睛关注当前的数字和符号,大脑用来对当前的数字和符号进行计算。

3. 图灵机结构

为了模拟人的运算过程,图灵将该思想表达为一种理论模型,构造出了一台假想的机器——图灵机。图灵机由以下 4 个部分组成,如图 3-2 所示。

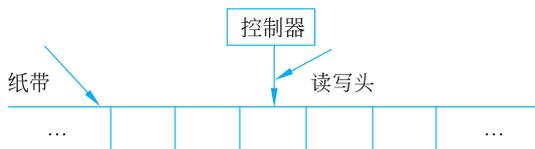


图 3-2 图灵机结构

- 一条可无限延伸的纸带,用于保存要处理的数据。
- 一个读写头,可以在纸带上左右移动,用于读取或者改写纸带当前位置上的符号,包括读、改写、左移和右移操作。
- 一个状态寄存器,用于保存图灵机当前所处的状态(包括停机状态)。图灵机所有可能状态的数目是有限的,并且有一个特殊状态,称为停机状态。
- 一套控制规则,它根据当前机器所处的状态以及当前读写头获取的符号确定读写头下一步的操作,并改变状态寄存器的值,令机器进入一个新的状态。

其中,状态寄存器和控制规则构成了控制器,因为状态寄存器的可能状态数目是有限的,所以控制器也称为有限状态转换器。

在图灵机中,控制器实现了人运算时大脑的功能,纸带实现了纸的功能,读写头实现了眼和笔的功能。

控制规则(状态转换规则)是五元组 $\langle q, X, Y, R(\text{或 } L \text{ 或 } N), p \rangle$ 形式的指令集。其含义是当图灵机处于 q 状态时,读写头读取到纸带格子里的符号为 X ,在该方格写入的符号为 Y , R 表示读写头向右移动一格(L 表示向左移动一格; N 表示不移动),然后状态寄存器中的状态转换为 p 状态。

在五元组中,可以把当前状态 q 和读取到的纸带格子符号 X 看作条件, Y 、 $R(\text{或 } L \text{ 或 } N)$ 和 p 看作图灵机要执行的动作。

4. 图灵机工作过程

图灵机的工作过程为:控制器根据当前的状态和读取到的字符查找控制规则并决定图灵机的动作。动作包括 3 个方面:

- 读写头在当前格写新的字符;
- 读写头向左或向右移动一格或不移动;
- 状态寄存器转换状态;

重复以上过程直到状态寄存器为停机状态,停机状态意味着计算完毕,表示当前纸带上保留的是最终计算结果。

例 1 设无限延伸的纸带上的初始值为 82,读写头的初始位置为数字 8 的位置,请

问图 3-3 所示的图灵机在停机时,纸带上的值为多少?

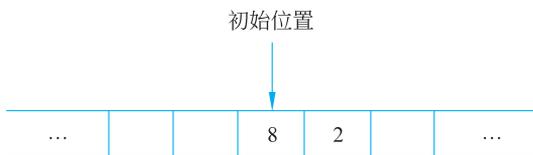


图 3-3 纸带初始值和读写头初始位置

解: 该图灵机的控制规则为

- 读写头读到当前符号为 0~9,则右移一位;
- 读写头读到当前符号为空格,则写入符号 0,停机。

根据控制规则,第一步,读写头读取到的符号为 8,读写头右移;第二步,读写头读取到的符号为 2,读写头右移;第三步,读写头读取到的符号为空格,写入符号 0,然后处于停机状态,此时纸带上的值为 820。

例 2 图灵机控制规则如表 3-1 所示, q_4 为停机状态。纸带初始值和读写头初始位置如图 3-4 所示,初始状态为 q_1 ,请写出图灵机停机时纸带上的值和整个工作过程所执行的规则序列。

表 3-1 图灵机控制规则表

输入		响应		
当前状态	当前符号	新符号	读写头	新状态
q_1	0	1	L	q_2
q_1	1	0	L	q_3
q_1	*	*	N	q_4
q_2	0	0	L	q_2
q_2	1	1	L	q_2
q_2	*	*	N	q_4
q_3	0	1	L	q_2
q_3	1	0	L	q_3
q_3	*	*	N	q_4

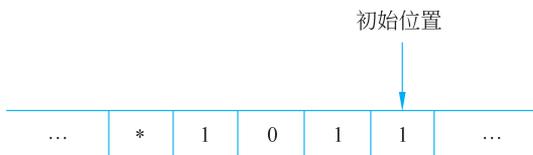


图 3-4 纸带初始值和读写头初始位置

解: 该图灵机工作过程为: 根据初始状态为 q_1 、初始位置符号为 1,对照图灵机控制规则表,图灵机的响应是将符号变为 0,读写头左移一位,图灵机的新状态为 q_3 ,此过程执行的规则为 $\langle q_1, 1, 0, L, q_3 \rangle$,依次继续运行下去,直到状态为 q_4 ,图灵机停止工作。

该图灵机的整个工作过程执行的规则序列及纸带值的变化如表 3-2 所示。

表 3-2 执行的规则序列和纸带值的变化

序号	控制规则	纸带上的值
第一步	q1,1,0,L,q3	1010
第二步	q3,1,0,L,q3	1000
第三步	q3,0,1,L,q2	1100
第四步	q2,1,1,L,q2	1100
第五步	q2,* , * ,N,q4	1100

图灵机停机时,纸带上的值为 1100,由此可见其实现了二进制数加 1 的功能。

将图灵机中的控制规则的集合看作程序,每条控制规则看作指令,则图灵机的自动计算过程是通过程序控制机器执行指令实现的。若让图灵机实现不同的功能,则需要构造不同的控制规则表。

5. 图灵机意义

① 图灵给出了计算的定义。所谓计算,就是计算者(人或机器)对一条两端可无限延长的纸带上的一串 0 或 1 执行指令,一步一步地改变纸带上的 0 或 1,经过有限步骤,最后得到一个满足预先规定的符号串的变换过程。

② 图灵认为,凡是能用算法解决的问题,也一定能用图灵机解决;凡是图灵机解决不了的问题,任何算法也解决不了,即所谓的图灵可计算性问题。

③ 利用图灵机进行问题求解,可以通过构造其控制规则解决。

④ 图灵机给出了指令、程序及通过程序控制机器执行指令以完成不同功能的基本思想。

图灵机理论模型奠定了计算理论的基础,这是图灵一生中最大的贡献。也正是因为图灵机理论模型为计算机的设计指明了方向,才得以发明出人类有史以来最伟大的科学工具——计算机,因此图灵被称为“计算机科学之父”。

美国计算机协会(ACM)为了纪念图灵在计算机领域的卓越贡献,专门设立了“图灵奖”作为计算机科学领域的最高奖项。图灵奖有“计算机界诺贝尔奖”之称,以奖励那些为推动计算机技术发展做出重要贡献的人。

1950 年,图灵发表了划时代的文章《机器能思考吗?》,他将图灵机这个数学模型建立在人们计算过程的行为上,并将这些行为抽象到实际的机器模型中,成为人工智能的开山之作,他也由此摘得“人工智能之父”的桂冠。

3.1.2 冯·诺依曼计算机

1. 冯·诺依曼体系结构

历史上的第一台电子计算机是在宾夕法尼亚大学的莫尔学院诞生的 ENIAC。一个

偶然的的机会,美籍匈牙利数学家冯·诺依曼和 ENIAC 工程师一起针对 ENIAC 出现的问题进行了深入的探讨研究,改进了 ENIAC 计算机没有存储器和采用十进制的问题,正式提出了“存储程序”的思想,发表了题为《电子计算机装置逻辑结构初探》的论文,论述了具有存储功能的计算机的结构和工作原理,称为冯·诺依曼体系结构。

遵循冯·诺依曼体系结构的计算机称为冯·诺依曼计算机,成为主流的单机计算机体系结构。由于冯·诺依曼的设计思想对现代计算机的发展产生了重要的影响,因此冯·诺依曼被称为“现代计算机之父”。冯·诺依曼设计出的第一台“存储程序”的离散变量自动电子计算机(Electronic Discrete Variable Automatic Computer, EDVAC)于 1952 年投入运行,运行速度是 ENIAC 的数百倍。

冯·诺依曼提出的“存储程序”思想,即“将程序和数据以同等地位事先存储于存储器中;机器可以按照地址从存储器中读取指令和数据,连续和自动地执行程序”。该思想包含程序的存储和自动执行两个过程。

如何实现冯·诺依曼的“存储程序”思想呢?冯·诺依曼体系结构是对“存储程序”思想及概念的具体化。具有冯·诺依曼体系结构的计算机由 5 部分组成:存储器、运算器、控制器、输入设备和输出设备,如图 3-5 所示,五个部分各司其职,并有效连接以实现整体功能。各部分的功能如下。

- 存储器:存储需要执行的程序及其要处理的数据。
- 控制器:计算机的指挥控制中心,从存储器中读取一条指令,经过分析、译码产生一串操作命令,发送给各个部件,例如控制运算器进行运算、输入设备读入数据、输出设备输出数据等,以使计算机各个部件有条不紊地工作,完成预设的功能。
- 运算器:负责执行逻辑运算和算术运算。
- 输入设备:负责将程序和数据输入计算机。
- 输出设备:负责将计算机的处理结果显示或者打印等。

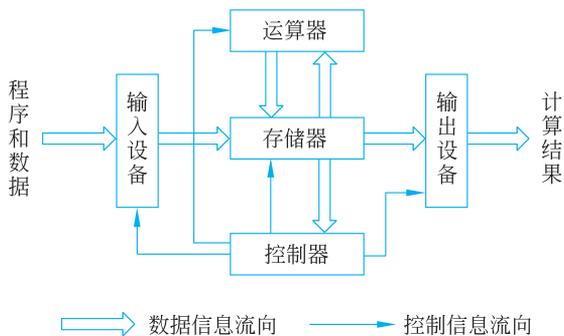


图 3-5 冯·诺依曼体系结构

冯·诺依曼体系结构的要点如下。

- 由存储器、运算器、控制器、输入设备和输出设备 5 部分构成。
- 程序和数据都以二进制形式表示。

- 程序和数据共同存储在存储器中。
- 自动化和序列化地执行程序。

将不同功能对应的程序和数据同时存放在存储器中,只需要在存储器中找到对应功能的程序,机器就会自动执行程序以实现不同的功能,使计算机成为一种可编程的通用性机器。冯·诺依曼的“存储程序”思想对于计算机的自动化和通用性起到了至关重要的作用。

2. 冯·诺依曼计算机工作过程

冯·诺依曼计算机的工作过程如下。

- ① 根据要完成的功能编写程序,通过输入设备将程序和数据送到存储器,实现程序存储;
- ② 自动执行程序,自动执行程序的过程即逐条执行指令。

3.2 计算机硬件系统

典型的计算机硬件系统结构如图 3-6 所示,中央处理器(Central Processing Unit, CPU)对应冯·诺依曼体系结构中的控制器和运算器,输入/输出(Input/Output, I/O)设备对应冯·诺依曼体系结构中的输入/输出设备,各种总线(图 3-6 中的空心箭头)对应于冯·诺依曼体系结构中的互联线,用于传输指令、数据和控制信号。

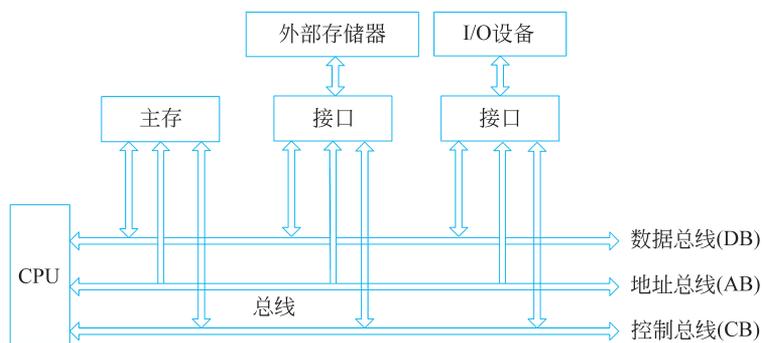


图 3-6 典型计算机硬件结构

3.2.1 CPU

CPU 是计算机系统的核心,计算机的运行是通过控制器执行一条条的指令完成的,那么指令是什么?如何实现控制器执行指令的过程呢?

1. 指令与指令系统

(1) 指令

指令是指计算机硬件能够直接实现的基本操作,例如“取数”“存数”“加”“减”等。指

令由操作码和操作数两部分组成,如图 3-7 所示。操作码表示指令的功能,即执行什么动作,操作数表示操作的对象。其中,操作数可以是操作数的值本身,也可以是操作数在存储器中的地址。指令长度通常为字节的整数倍,长度不固定,多数指令为短指令,少数复杂指令为长指令。程序是指计算机完成某个任务的指令序列。



图 3-7 指令组成

计算机能够直接识别的指令是由 0 和 1 构成的字符串,称为机器指令。

因为计算机只能执行机器指令,所以使用汇编语言和高级程序语言编写的程序需要编译或解释成机器指令才能执行。

(2) 指令系统

一个 CPU 所能处理的所有指令的集合称为指令系统。不同的指令系统拥有的指令种类和数目是不同的。指令中,操作码的位数取决于计算机指令系统的规模,较大的指令系统需要更多的操作码的位数表示每条特定的指令。

例如,一个指令系统若有 16 条指令,则需要 4 位操作码($2^4=16$),如果有 64 条指令,则需要 6 位操作码,一个包含 n 位操作码的指令系统最多能够表示 2^n 条指令。

指令系统是表征一台计算机性能的重要指标,它的格式与功能不仅影响到机器的硬件结构,而且还影响到系统软件和机器的适用范围。所以,指令系统在很大程度上决定着计算机的处理能力。指令系统功能越强,用户使用越方便,但实现指令功能的机器结构越复杂。

2. CPU 构成和工作过程

(1) CPU 的构成

CPU 简称处理器,一般由算术逻辑单元(Arithmetic and Logic Unit, ALU)、寄存器组和控制单元(Control Unit, CU)构成,并通过 CPU 内部总线将多个部件连接成一个有机整体,如图 3-8 所示。

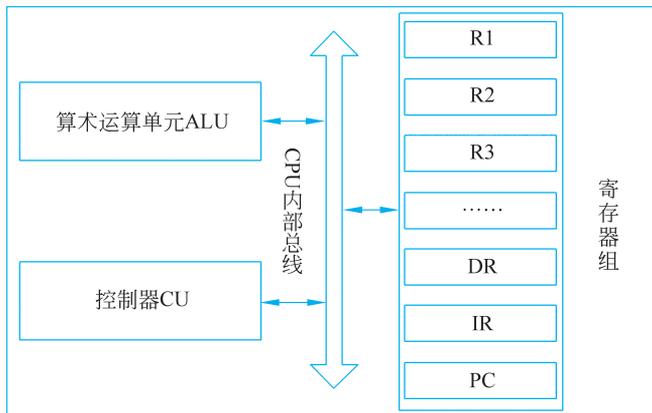


图 3-8 CPU 内部结构

① 算术逻辑单元

ALU 也称为运算器,对应冯·诺依曼体系结构中的运算器,主要功能是实现数据的算术运算和逻辑运算。

② 寄存器组

寄存器组主要由一组寄存器构成,用于临时保存各种信息,如操作数、结果、指令、指令地址和机器状态等。根据功能的不同,寄存器组可分为数据寄存器、指令寄存器和指令计数器(又称为程序计数器或指令地址寄存器)。

数据寄存器(Data Registers, DR)主要用来暂存数据,例如存放复杂计算过程的中间数据,接收来自存储器或将写入存储器的数据。正因为有数据寄存器的存在,CPU 才可以在数据寄存器中存取数据,减少与存储器反复交换数据,从而提高 CPU 的工作效率。

指令寄存器(Instruction Register, IR)用于存放当前 CPU 从存储器中取出来的指令。那么如何获取要执行的指令的存储地址呢? 指令计数器(Program Counter, PC)是一个具有计数功能的寄存器,用来存放当前 CPU 下一步要执行的指令在存储器中的地址。指令计数器中的地址自动加 1 即可得出下一条指令的地址。

③ 控制单元

CU 也称为控制器,对应冯·诺依曼体系结构中的控制器。控制单元的主要功能包括指令和操作数的传送、分析指令(译码)、产生并发送各种控制信号到相应的部件,协调整个 CPU 在时序电路的控制下有序工作等。控制单元中的指令译码器可以完成译码功能。

(2) CPU 的工作过程

指令是 CPU 执行的最小单位,CPU 的工作过程是循环执行指令的过程。当程序开始执行时,程序中第一条指令的存储地址将被放置在指令计数器中,指令的执行过程是在控制器的控制下完成的,一条指令的执行过程如下。

- 取指令: CPU 根据指令计数器的地址从主存中读取指令,并将其保存在指令寄存器中,同时指令计数器自动加 1,使之指向下一条要执行的指令的存储地址。
- 分析指令: 也称为译码,由指令译码器对指令进行译码,分析出指令的操作码类别和所需操作数的获取方法。
- 执行指令: 向各个部件发出响应的控制信号,完成指令规定的操作,例如从存储器中读取数据并传送到数据寄存器、ALU 进行算术或逻辑运算等。

重复进行“取指令-分析指令-执行指令”,直到遇到停机指令为止,即可实现程序自动执行的过程。

3.2.2 存储系统

在冯·诺依曼计算机中,存储器的作用无疑是实现计算机自动化的基本保障,因为它实现了“存储程序”的思想。在一个实际计算机系统中,存储器主要分成主存储器和辅助存储器两大类。

1. 存储基本概念

① 位(bit): 计算机中的最小存储单位, 一个“位”能存储 1 位二进制数 0 或 1, 称为 1bit。在串行通信中, 就是以“位”为单位进行数据交换的。

② 字节(Byte, 简称 B): 将 8 个相邻的“位”组成一组, 称为 1 字节(B) 或者存储单元。字节为计算机度量存储容量的基本单位。

③ 存储容量: 描述计算机存储能力的指标, 通常以字节作为计量单位, 即用 B 表示, 例如一个存储器的存储容量为 256B。

为了方便度量, 还引入了千字节(KB)、兆字节(MB)、吉字节(GB)和太字节(TB)等度量单位。

$$1\text{B}=8\text{b}$$

$$1\text{KB}=1024\text{B}=2^{10}\text{B}$$

$$1\text{MB}=1024\text{KB}=2^{20}\text{B}$$

$$1\text{GB}=1024\text{MB}=2^{30}\text{B}$$

$$1\text{TB}=1024\text{GB}=2^{40}\text{B}$$

2. 主存储器

(1) 主存储器的分类

主存储器又称为主存、内存储器或内存, 它直接通过总线和 CPU 相连, CPU 可以直接访问主存以完成程序的运行, 所以主存储器的存取速度直接影响着计算机的整体运行速度。

按信息的存取方式, 主存可以分为以下两种类型。

① ROM(Read Only Memory, 只读存储器)是一种对其内容只可读取、不可写入的存储器, 通常用于存放固定不变的程序和数据。计算机主板上的 BIOS(Basic Input Output System, 基本输入/输出系统)芯片就是一种 ROM, 主要作用是完成计算机的启动、自检、各功能模块的初始化、系统引导等重要功能。

② RAM(Random Access Memory, 随机访问存储器)是指 CPU 可以直接读写的存储器, 用来存放正在执行的程序和数据, 是主存储器的主体部分。当计算机工作时, RAM 能保存数据, 但一旦切断电源, 数据将完全消失。计算机中的内存条就是一种 RAM, 通常所说的计算机主存即指计算机的内存条。

(2) 主存储器的存储原理

要运行的程序和数据都需要存储在主存中, 那么 CPU 如何实现对主存的“存”和“取”呢? 对主存进行“编址”是一个有效的解决方案。

在计算机中, 主存通常是按存储单元组织的, 给予每个存储单元(字节)一个固定位数的编号, 这个编号就是主存地址。首先要知道一个存储单元的地址, 然后才能访问对应的存储单元以进行数据的存或取, 按照地址找到某个存储单元的过程叫作寻址。

主存地址用二进制表示, 如果表示地址的二进制数有 m 位, 则主存地址最大可编码

到 $2^m - 1$ (从 0 开始编码), 也就是说, 最多可以有 2^m 个主存单元, 即存储容量为 2^mB 。

主存储器的一般结构如图 3-9 所示, 包括用于存储数据的存储体和外围电路。外围电路用于数据交换和存储访问控制, 与 CPU 或 Cache 相连接。外围电路有两个非常重要的寄存器, 分别为数据寄存器和地址寄存器。前者用于临时保存读出或写入的数据, 后者用于临时保存要访问的存储地址。

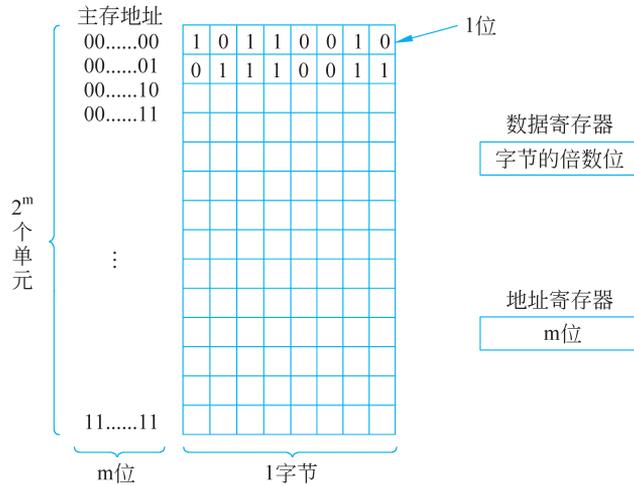


图 3-9 主存结构

3. 辅助存储器

从计算机系统的实用角度看, 为弥补主存的容量空间不大且断电后数据消失的不足, 永久性存储且大容量的存储器称为辅助存储器, 也称为外部存储器, 简称辅存或外存, 采用的是非易失性材料。

辅助存储器包含常见的硬盘、U 盘、光盘等存储设备, 用来存放暂时不用但又需要长期保存的程序或数据。辅助存储器的读写速度与主存相比慢得多, 所以它不能和 CPU 直接进行数据交流, 辅存中的程序和数据需要调入主存才能被 CPU 执行。

4. 多级存储体系

虽然主存的读写速度比辅存速度快, 但与 CPU 的处理速度相比还是慢很多, 而 CPU 处理的指令和数据均来自主存, 只有高速地向 CPU 提供指令和数据, 才能充分发挥 CPU 的性能。那么如何解决 CPU 和主存速度不匹配的问题呢?

CPU 中具有通用寄存器, 很多运算可直接在 CPU 的通用寄存器中进行, 减少了 CPU 与主存的数据交换, 很好地解决了速度匹配的问题。但通用寄存器的数量是有限的, 一般在几到几百字节之间。

高速缓冲存储器 (Cache, 也称为高速缓存, 简称缓存) 可以解决主存与 CPU 的速度匹配问题。Cache 是设置在 CPU 和主存之间的高速、小容量存储器, 一般由高速静态存储器 (Static RAM, SRAM) 组成, 可以集成在 CPU 内部, 也可以放于 CPU 外部。Cache

分为一级缓存(L1 Cache)、二级缓存(L2 Cache)和三级缓存(L3 Cache),根据访问速度: $L1\ Cache > L2\ Cache > L3\ Cache$,根据容量: $L3\ Cache > L2\ Cache > L1\ Cache$ 。

L1 Cache 的容量通常为几十 KB,其访问速度几乎与 CPU 中的寄存器组一样快。L2 Cache 的容量通常为几 MB 或十几 MB,其访问速度要比 L1 Cache 慢几倍,比访问主存的时间快 10 倍。L3 Cache 的容量已经达到十几 MB 或几十 MB,目前大部分 Cache 都在 CPU 内部。

当 CPU 要访问主存时,CPU 会把访问请求同时发送给主存和 Cache。由于 Cache 速度快,如果在 Cache 中查询到待访问的数据,则由 Cache 把数据传送给 CPU,并结束本次访问;如果 Cache 中没有待访问的数据,则主存会把数据传送给 CPU。

Cache 的理论基础是局部性原理,即 CPU 对主存的访问总是局限在整个主存的某个部分。基于该原理,在访问主存的某个单元后,将该单元及其相邻的多个单元的内容读入 Cache,当 CPU 下次访问主存时,有很大的概率会在 Cache 中查询到待访问的数据。Cache 还会根据一定的替换算法淘汰其中的部分原有数据,以便存储新数据。

用户对存储器的追求目标是高速度、大容量、低成本,但是这几个目标是相互矛盾、相互制约的。Cache 速度快,但是价格贵、容量小;硬盘等辅存容量大,但是速度慢,所以计算机系统的存储器构成了一个多级层次结构,即寄存器—Cache—主存—辅存,称为存储体系,如图 3-10 所示。

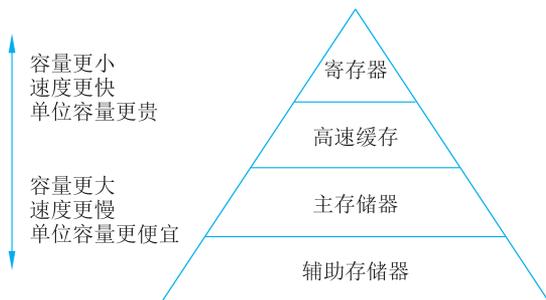


图 3-10 存储器的层次结构

在此存储体系中,从上往下存储容量越来越大,存取速度越来越慢,每位存储单位的成本越来越低。多级存储体系实际上是对存储器的容量、速度和价格这 3 个基本性能指标寻求的平衡。

3.2.3 总线系统

1. 总线的定义

如果要将计算机系统中的各部件分别用一组线路直接相连,那么连线将会错综复杂,甚至难以实现。为了简化硬件电路设计和系统结构,总线提供了一组公共通道,再配置适当的接口电路,提供了各部件之间的信息传输和功能拓展的通道。总线是连接计算机各部件的一组电子管道,负责在各个部件之间传递信息。采用总线结构便于部件和设备的

扩充和更换,统一的总线标准易于实现不同设备的互联。

2. 总线的分类

(1) 按位置和连接设备分类

内部总线主要指 CPU 内部器件之间的总线,例如连接 CPU 内部的控制单元、运算器和寄存器之间的总线。

系统总线主要指 CPU 与主存、各接口部件等之间的总线。可以认为,计算机是以 CPU 为核心,其他部件“挂接”在与 CPU 相连接的系统总线上。常见的系统总线标准有 PCI(Peripheral Component Interconnect,外部设备互联)、PCI-E(PCI-Express)等。

外部总线主要指计算机系统之间或者计算机与外部设备之间的总线,也称为扩展总线,实际上它是一种外部设备的接口标准,用来规范计算机与外部设备的连接和通信,例如用于计算机与硬盘、U 盘、打印机、显示器等外部设备之间的连接。常见的接口标准有连接 U 盘的 USB(Universal Serial Bus,通用串行总线)、连接硬盘的 SATA(Serial Advanced Technology Attachment,串行高级技术附件接口协议)和 IDE(Integrated Drive Electronics,集成电子设备部件)等。

(2) 按传输内容分类

数据总线(Data Bus,DB)用于传送数据信息。数据总线是双向传输,例如 CPU 使用数据总线实现与存储器之间的数据双向传输。数据总线的根数决定了一次可以传送的二进制位数,与字长是一致的。

地址总线(Address Bus,AB)用于传送地址信息。地址总线是单向传输,通常由 CPU 传向内存和各种接口,以实现对内存的读写操作等。地址总线的根数决定了可以寻址的范围,或者计算机可以配置的最大内存容量。假设有 m 根地址总线,则存储器的地址寄存器的位数也为 m 位,可以访问的内存地址为从“00...00”(m 个 0)到“11...11”(m 个 1),共 2^m 个主存单元,存储容量超过 2^m B 的内存会有部分存储单元不能被访问。

控制总线(Control Bus,CB)用于传送 CPU 发出的各种控制信号以及各部件的响应信号。

(3) 按传输方式分类

串行总线是指二进制数据逐位通过一根数据线发送到目的器件。

并行总线是指多位二进制数据同时传送,通常系统总线采用并行传输方式。

3. 总线的性能

评价总线性能的 3 个参数如下:

- 总线宽度是指同时传输数据的二进制位数;
- 总线频率是指每秒传输数据的次数;
- 总线带宽是指总线能达到的最高传输速率。

$$\text{总线带宽(MB/s)} = \text{总线频率(MHz)} \times \text{总线宽度(b)}/8$$

3.2.4 接口

为了解决 CPU 与外部设备(外存和输入/输出设备)处理速度相差太大的问题,外部设备通过接口实现与计算机的物理连接,接口用来实现数据缓冲、速度匹配和信息转换表示等功能。

3.3 微型计算机

计算机按照规模和处理能力可分为高性能计算机、大型计算机、小型计算机、工作站和微型计算机。其中,工作站的性能比微型计算机的性能要好,主要用于专门的图形设计等对信息处理要求比较高的应用场合,在外形上和微型计算机相似,也被称为“高档微机”。微型计算机简称微机,又称个人计算机(PC, Person Computer),俗称电脑,主要面向个人用户,普及程度与应用领域非常广泛。

3.3.1 微型计算机硬件

一台完整的裸机由主机和外围设备构成。主机包括中央处理器(CPU)、内存等,外围设备包括硬盘、U 盘等外存及显卡、声卡、网卡、电源、光驱、键盘、鼠标和显示器等设备,其中,主机箱的内部结构如图 3-11 所示。



图 3-11 主机箱内部结构

1. 主板

主板是包含计算机系统主要组件的主电路板,提供了 CPU、主存、支持电路和总线控制器等接口和插槽,如图 3-12 所示。

在计算机中,总线的物理结构就是主板。如果将 CPU 看作计算机的大脑,那么总线可以看作计算机的神经,主板可以看作计算机的骨架。

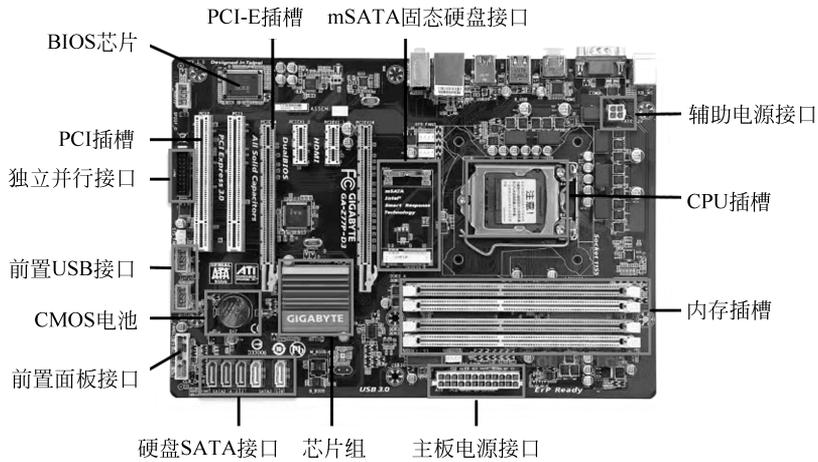


图 3-12 主板上各部件的分布

主板上的主要部件包括 CPU 插槽、内存插槽、扩展槽、接口和芯片组。其中,CPU 插槽和内存插槽将在后续内容中介绍。

(1) 扩展槽

扩展槽用来安装声卡、网卡、多功能卡等,以扩展计算机的功能,在主板中的位置为图 3-12中的 PCI 插槽和 PCI-E 插槽。如图 3-13 所示,PCI 的颜色通常为乳白色,可以安装声卡、网卡、内置 Modem、视频采集卡等种类繁多的扩展卡,外形不同的 PCI 的位宽不同。PCI-E 是最新的总线标准,按照数据通道可分为 PCI-E X1 到 PCI-E X16 多种规格。PCI-EX1 插槽通常用来安装相匹配的声卡、网卡等,PCI-EX16 通常用来安装独立显卡,按照传输协议可分为 PCI-E 1.0、PCI-E 2.0 和 PCI-E 3.0。其中,PCI-E 插槽将逐步取代 PCI 成为统一标准。

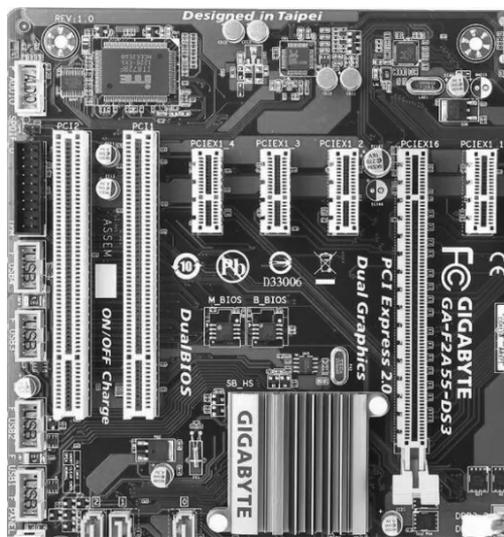


图 3-13 扩展槽

PCI-E 分别支持 X1、X2、X4、X8、X16 等,目前大部分主板都具有 PCI-E X16 插槽,但是还需要进一步确认支持的是 PCI-E 1.0、PCI-E 2.0 还是 PCI-E 3.0。如果支持 PCI-E 2.0,就可以购买 PCI-E 2.0 X16 插槽类型的独立显卡。

(2) 接口

主板上的硬盘接口将在后续展开介绍,在此主要介绍主机箱背板上提供的外设接口,如图 3-14 所示。

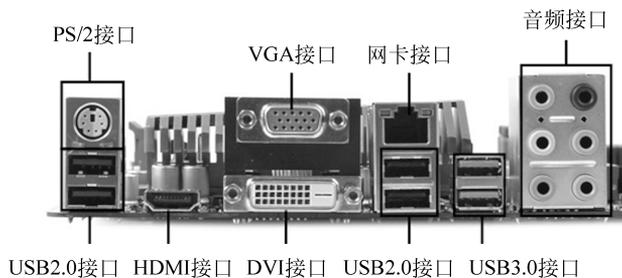


图 3-14 外设接口

其中,PS/2 接口通常为键盘和鼠标接口,不支持热插拔,即不能在开机状态拔插,否则容易烧坏主板,目前大部分已经被 USB 接口代替。

USB(Universal Serial Bus,通用串行总线)接口分为 USB 2.0、USB 3.0 和 USB 4.0 版本,速度越来越快。USB 接口已成为计算机的标准扩展接口,可以连接键盘、鼠标、大容量存储设备等多种外设。

VGA(Video Graphics Array,视频图形阵列)接口是和显示器相连的接口,传输的是模拟信号,是目前应用最为广泛的一种显示接口类型。

DVI(Digital Video Interface,数字视频接口)是一种视频接口标准,用来传输未经压缩的数字化视频,广泛应用于液晶显示器、数字投影机等显示设备。

HDMI(High Definition Multimedia Interface,高清多媒体接口)是一种全数字化视频和声音发送接口,可以发送未压缩的音频及视频信号。HDMI 可用于机顶盒、DVD 播放机、个人计算机、电视、游戏主机、综合扩大机、数字音响与电视机等设备。

DP(Display Port,显示端口)是一种高清数字显示接口标准,与 HDMI 相比,相同分辨率下 DP 的响应速度更快;DP 支持的分辨率更高,可以将其理解为 HDMI 的加强版。

其中,VGA、DVI、HDMI 和 DP 都是显示接口,性能优先级为 DP > HDMI > DVI > VGA。

(3) 芯片组

芯片组是固化在主板上的一组大规模集成电路芯片的总称。芯片组是主板的灵魂,决定了主板能够支持的功能,从一定意义上讲,它决定了主板的级别和档次。主板的生产厂家主要有 Intel、技嘉、华硕等,但芯片组主要来自 Intel 和 AMD 两家公司。

主要的芯片组如下。

- 北桥芯片：通常位于 CPU 附近，负责 CPU 和内存之间的数据交换。因数据流量大，工作频率高，故发热量大，需要在芯片上加装散热片。
- 南桥芯片：通常位于扩展插槽附近，负责 I/O 接口的数据传输和控制。

随着芯片组技术的发展，北桥芯片的功能集成在 CPU 中。在 CPU 中，北桥芯片也不再是一个基本独立的部分，而是分为 PCI-E 控制器、内存控制器等。随着北桥芯片和 CPU 整合技术的发展，南桥芯片的功能越来越少。

2. CPU

CPU 安装在主板中的 CPU 插槽中，如图 3-12 和图 3-15 所示。CPU 的接口类型要与主板的 CPU 插槽类型相匹配。

CPU 的主要参数如下。

- 主频：CPU 内核工作的时钟频率。计算机的操作在时钟信号的控制下分步执行，每个时钟信号周期完成一步操作，时钟频率的高低在很大程度上反映了 CPU 速度的快慢，最基本的单位为 Hz。
- 制作工艺：线路宽度和晶体管尺寸。
- 字长：CPU 一次能够完成的二进制数运算的位数，如 32 位、64 位。字长是表达计算机处理能力的重要指标，通常所说的 32 位计算机是指字长为 32 位。计算机处理数据、完成运算的速率和字长密切相关。如果一台计算机的字长是另一台计算机的两倍，即使两台计算机的频率相同，那么在相同的时间内，前者能做的工作几乎是后者的两倍。可见，在其他指标相同的情况下，字长越大，则计算机处理数据的速度就越快。
- 多核：一个处理器中集成两个或多个完整的计算引擎，采用了并行处理思想。

CPU 的两大厂商为 Intel 和 AMD，如图 3-16 所示。其中，Intel 以稳定著称，对多媒体有较好的支持，比较适合一些多媒体爱好者、办公室装机，以及一些不太懂计算机的家庭装机。而 AMD 则具有良好的超频性能和低廉的价格，适合 DIY 高手，能花费较少的钱获得更好的性能。同主频的 AMD 与 Intel CPU，前者的价格只有后者的一半左右。

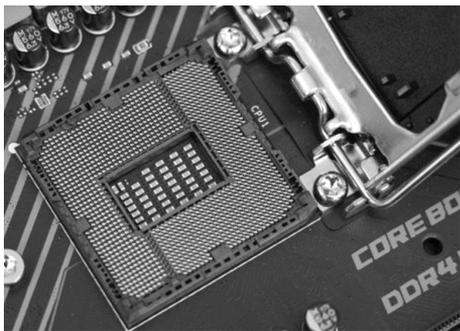


图 3-15 主板上的 CPU 插槽

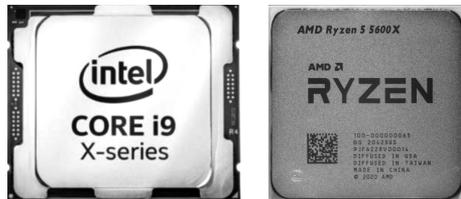


图 3-16 Intel 和 AMD CPU 图片

选择 CPU 时,除了对比 CPU 的核心数量、主频、缓存容量、字长等参数,CPU 接口类型还要和主板上的 CPU 插槽类型相匹配。

Intel 和 AMD 的几款 CPU 的参数列表如表 3-3 所示。

表 3-3 Intel 和 AMD CPU 主要参数

品牌	型号	主频/GHz	三级缓存/MB	插槽类型	核心数量	价格/元
Intel	酷睿 i9 10900K	3.7	20	LGA 1200	十核	4299
AMD	Ryzen 93900X	3.8	64	Socket AM4	十二核	3689
Intel	酷睿 i5 10400F	2.9	12	LGA 1200	六核	1399
AMD	Ryzen 7 1700	3	16	Socket AM4	八核	789

3. 主存储器

(1) 内存

内存也称为内存条,是一种 RAM,安装在主板的内存插槽中,如图 3-17 所示。相同颜色的内存插槽可以同时使用,构成双通道;构成双通道的两根内存的品牌、型号、容量最好一致。

双通道是指在北桥芯片组里设计两个内存控制器,这两个内存控制器可以相互独立工作,每个控制器控制一个内存通道。在这两个内存中,CPU 可分别寻址、读取数据,从而使内存的带宽增加一倍,数据存取速度也相应增加一倍(理论上)。如果把内存比作仓库,则单通道就好比该仓库只有一个出口,而双通道就好比该仓库有两个出口。



图 3-17 内存插槽

内存主要由动态随机存储器(Dynamic Random-Access Memory, DRAM)构成,DRAM 用 MOS 电路和电容作为存储元件,根据电容充电原理存储信息。由于电容会漏电,所以必须对里面的信息进行定期更新,才不会丢失信息,这个过程称为动态存储刷新。

同步动态存储器(Synchronous DRAM, SDRAM)是一种改善结构的增强型 DRAM,它在 DRAM 中加入了同步控制逻辑。

双倍速率 SDRAM(Double Data Rate SDRAM, DDRSDRAM)是在 SDRAM 的基础上发展起来的,它可以在相同时间内使数据传输的速度翻倍,DDRSDRAM 简称 DDR。

内存的主要类型为 SDRAM、DDR、DDR2、DDR3、DDR4 等,不同类型内存的对比如图 3-18 所示。

内存的主要参数包括容量、存取速度、引脚数量等,其中,引脚数量也称为金手指个数。金手指的个数越多,工作频率越高,存取速度越快,如表 3-4 所示。选购的内存条的类型要和主板支持的内存插槽类型相匹配。

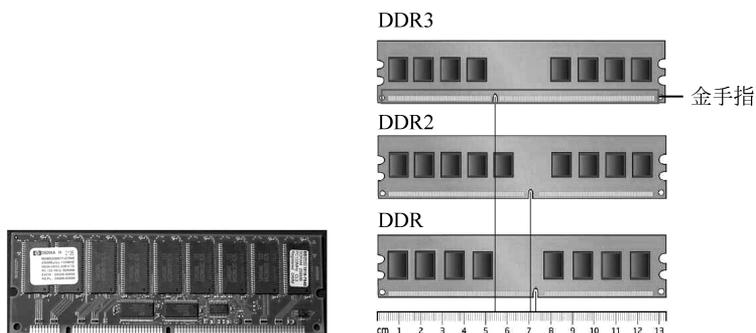


图 3-18 不同类型内存的对比

表 3-4 DDR-DDR4 的参数对比

类型	金手指/个	工作电压/V	工作频率/MHz
DDR	184	2.25	400
DDR2	240	1.8	800/1066
DDR3	240	1.5	1333/1600
DDR4	284	1.2	2133/2400/2677

(2) BIOS 芯片

BIOS 是固化在主板的一个 ROM 芯片上的程序,此 ROM 芯片称为 BIOS 芯片, BIOS 芯片在主板上的位置如图 3-12 所示。BIOS 中保存着计算机最重要的基本输入/输出程序、系统设置程序、开机自检程序和自启动程序。当计算机启动时,先执行 BIOS 程序,唤醒硬件,确保它们正常运行,然后加载运行存储在硬盘中的操作系统。

目前, BIOS 一般都采用 Flash ROM(快速擦写只读存储器),可以通过程序对它进行重新升级。

(3) CMOS 芯片

CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor, 互补金属氧化物半导体)芯片是集成在主板上的一种 RAM,由专门的电池供电,如图 3-12 所示,用来存储系统运行所必需的配置信息,如存储器、显示器、磁盘驱动器、时间等参数。例如,每次开机后系统的时间都是正确的,就是因为 CMOS 芯片中记录着时间和日期。

4. 辅助存储器

(1) 机械硬盘

机械硬盘是以磁盘为存储介质的容量存储器,具有可重复读写、可长期保存、容量大、机械控制、速度较慢等特点,外形如图 3-19 所示。

个人计算机硬盘的容量单位通常是 GB、TB,巨型机硬盘的容量单位则多为 PB、EB。

机械硬盘主要由盘片、磁头、盘片转轴及控制电机、磁头控制器、数据转换器、接口、缓存等组成,其内部结构如图 3-20 所示。



图 3-19 硬盘外形



图 3-20 机械硬盘内部结构

磁头可沿盘片的半径方向运动,加上盘片每分钟几千转的高速旋转,磁头就可以定位在盘片的指定位置上进行数据的读写操作。

机械硬盘通过数据线和主板上的硬盘接口相连,硬盘接口分为早期的 IDE 并行接口(大部分已淘汰)和主流的 SATA 串行接口等,如图 3-21 所示。SATA 接口可分为 SATA1.0、SATA2.0 和 SATA3.0,速度分别约为 1.5Gb/s、3.0Gb/s 和 6.0Gb/s,目前以 SATA3.0 为主。主板上的 IDE 接口和 SATA 接口如图 3-22 所示,通常是多个 SATA 接口和一个 IDE 接口。

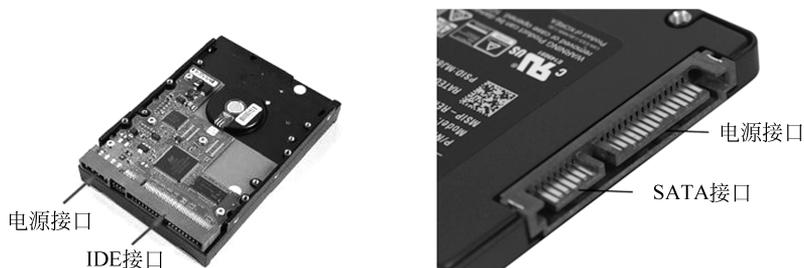


图 3-21 硬盘接口

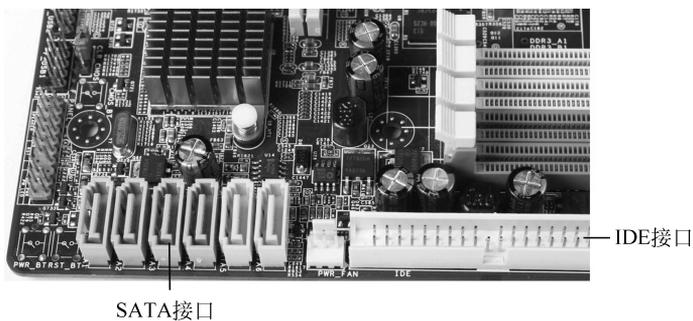


图 3-22 主板上的硬盘接口