计算机专业
考研辅导丛书

计算机组成原理联考辅导教程（2011版）

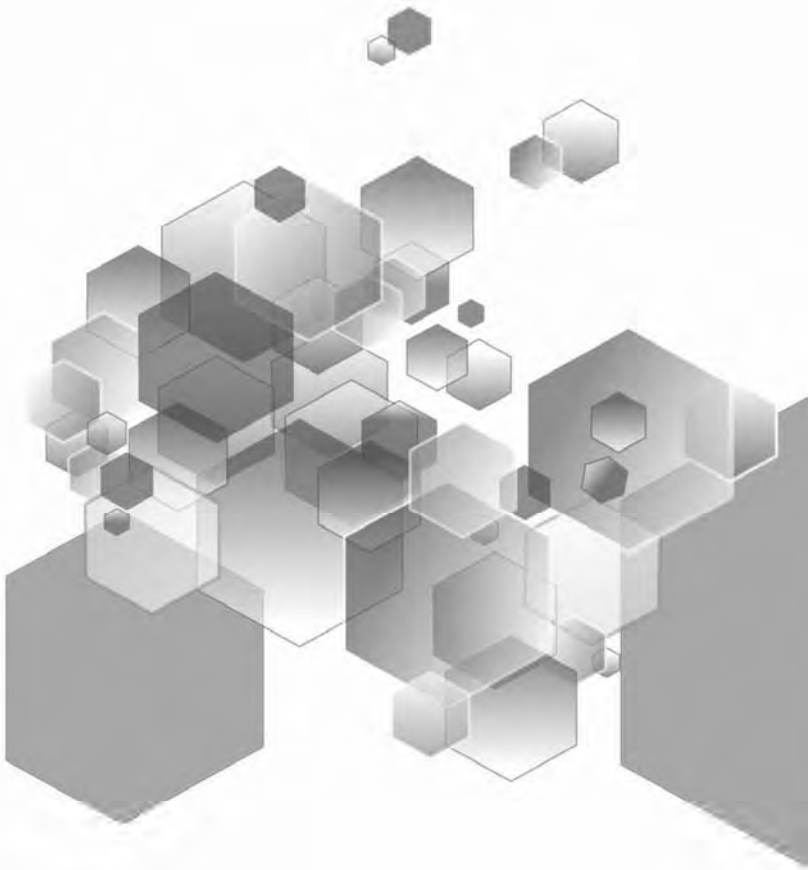
李春葆　肖忠付　杭小庆　编著

深入内涵·全面掌握·灵活应用

- **透解联考大纲**　诠释考纲中重点、难点和疑点
- **知识点各个攻克**　按等级分析每道题的难易程度、复习重点
- **剖析解题技巧**　分析教学过程中广为采用的用例、往年部分著名高校的考研试题、2009年和2010年两年的考研真题

清华大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com



计算机专业
考研辅导丛书

计算机组成原理联考辅导教程（2011版）

李春葆　肖忠付　杭小庆　编著

清华大学出版社
北　京

内 容 简 介

本书对全国计算机学科专业基础综合考试大纲的计算机组成原理部分进行透彻剖析，通过大量例题总结各种求解方法，旨在提高考生分析与解决问题的能力。

全书内容丰富全面，所有考纲中的知识点都标识了难度和重要性，所有例题都标识了难度，供考生参阅。

本书的编者参加了近两年全国联考阅卷工作，在写作上力求具有指导性和针对性。

本书可作为参加计算机专业研究生入学考试的考生复习用书，也可以作为计算机专业的学生学习计算机组成原理课程的辅导用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售
版权所有，侵权必究　侵权举报电话：010-62782989　13701121933

图书在版编目（CIP）数据

计算机组成原理联考辅导教程：2011 版/李春葆等编著.－北京：清华大学出版社，2010.8
（计算机专业考研辅导丛书）
ISBN 978-7-302-23373-2
I. ①计… II. ①李… III. ①计算机体系结构－研究生－入学考试－自学参考资料 IV.①TP303
中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 144303 号

责任编辑：夏非彼　卢　亮
责任校对：闫秀华
责任印制：
出版发行：清华大学出版社　　**地　址**：北京清华大学学研大厦 A 座
http://www.tup.com.cn　　**邮　编**：100084
社 总 机：010-62770175　　**邮　购**：010-62786544
投稿与读者服务：010-62776969，c-service@tup.tsinghua.edu.cn
质量反馈：010-62772015，zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn
印 刷 者：
装 订 者：
经　销：全国新华书店
开　本：190×260　　**印　张**：21.25　　**字　数**：539 千字
版　次：　　**印　次**：
印　数：
定　价：

产品编号：

丛书序

全国计算机专业研究生入学统一考试于 2009 年开始实施，随后《全国硕士研究生入学统一考试计算机科学与技术学科联考计算机学科专业基础综合考试大纲》2009 年和 2010 年两个版本相继发布，其对考试科目、考试范围、考试要求、考试形式和试卷结构进行了系统规定。

针对 2011 年的计算机专业联考，我们组织专家和一线教师对两版考纲进行了深入剖析，并在对自身教学经验进行认真总结、提炼之后，推出了这套“计算机专业考研辅导丛书”，一共 5 本：

- 计算机学科专业基础综合联考辅导教程（2011 版）
- 数据结构联考辅导教程（2011 版）
- 计算机组成原理联考辅导教程（2011 版）
- 操作系统联考辅导教程（2011 版）
- 计算机网络联考辅导教程（2011 版）

本丛书具有如下特色。

精准剖析考纲内容

深入研讨考研命题的方向和动态，结合近两年出题情况，总结出计算机学科各专业的复习要求。丛书以考纲知识点为中心，汇总了各知识点近两年全国考研题的出题情况，对每个知识点进行了深入地归纳和整理，具有知识面广和综合性强等特点。

把握知识间的内在联系，拓展创新思维

把握知识点之间的关系，将掌握的知识变“活”。通过对知识点分解，找出贯穿于各知识之间的内在联系，并配上相关的例题，阐明如何利用这些内在联系解决问题，从而做到不仅授人以“鱼”，更注重授人以“渔”。

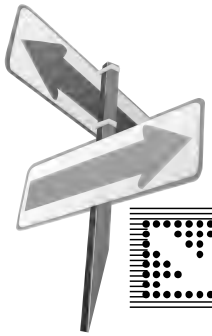
全面复习，形成知识体系

本丛书以各门考研课程的权威教材为依托，对教材进行了全面、深入地剖析和提炼。在考研复习中，往往一个微小的知识漏洞，就可能造成无法弥补的损失，因此复习必须扎实全面。丛书以基本知识点归纳和例题分析为框架，构建了一个完备的知识体系，为考生全程领跑。

以典型例题分析带动能力培养

本丛书以典型题目的分析为突破口，注重点拨解题思路，强化各知识点的灵活运用，从而启发解题灵感。在单项选择题部分主要涵盖各门课程的核心知识点，在综合应用题部分重点强化各门课程知识点的交叉。不仅所有例题给出了参考答案，大部分还给出了详细透彻的分析过程，便于读者在解题过程中举一反三，触类旁通，进而提高分析问题和解决问题的能力。

本套丛书由长期坚持在教学第一线的教师编写，其中多位教师参加了近两年的全国考研阅卷工作，在编写中体现了他（她）们的教学经验和评卷见解，希望能够有助于考生提高考研成绩和培养综合分析能力。



前 言

计算机组成原理课程是计算机专业的核心课程，主要介绍计算机基本部件的构造、组织方式和设计思想、基本运算的操作原理。在计算机专业全国研究生入学考试联考之前就是很多高校的考研课程，在全国联考后，作为计算机科学专业基础综合试题的一部分，在总分 150 的试卷中占 50 分，同时对考试范围做了进一步的规范。

迄今为止，全国计算机专业联考大纲出了两版，就计算机组成原理部分而主，2010 年版与 2009 年版没有变化，预计近几年也不会有较大的变化。

联考大纲中指定计算机组成原理的考查目标是：理解单处理器计算机系统中各部分的内部工作原理、组成结构以及相互连接方式，具有完整的计算机系统的整机概念；理解计算机系统层次化结构概念，熟悉硬件和软件之间的界面，掌握指令集体系结构的基本知识和基本实现方法；能够运用计算机组成的基本原理和基本方法，对有关计算机硬件系统中的理论和实际问题进行计算、分析，并能对一些基本部件进行简单设计。

近两年出题情况是，2009 年单项选择题共 12 题（24 分），综合应用题 2 题（8+13=21 分）；2010 年单项选择题共 11 题（22 分），综合应用题 2 题（11+12=23 分）。两年出题的题型没有大的变化。

编者结合联考大纲和计算机组成原理课程的特点，并总结近两年参加全国联考阅卷中考生出现的各种问题编写了本书，在编写过程中主要参考了《计算机组成原理（第 2 版）》（唐朔飞等，高等教育出版社，2008）和《计算机组成原理（第 2 版）》（蒋本珊，清华大学出版社，2008）两书，也参阅了其他多本较有影响的计算机组成原理教材和教学辅导书。

本书的特点如下：

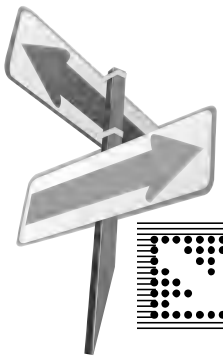
- 对联考大纲进行深入剖析。不仅挖掘考纲中各知识点的内涵和解题技巧，还以★～★★★★★的方式给出了每个知识点的难易程度和重要性（在考研中出现的可能性）。
- 收集大量的例题并予以解析。不仅有计算机组成原理教学过程中广为采用的用例，还包括往年部分著名高校的考研试题，也将 2009 年和 2010 年两年的考研题按知识点分布归纳其中。并也按★～★★★★★等级给每道题的难易程度。根据全国考研题的题型，所有例题仅分为单项选择题和综合应用题。

除本书列出的作者外，参加编写的人员还有蔡朝辉、安杨、余云霞、董尚燕、伍春香、喻卫、杨波、苏亮、黄明辉、陈钉、程洁等老师。

在编写过程中，编者结合了多年的计算机组成原理课程教学经验和考研辅导中考生提出的问题，力求能够全面、透彻地讲析各个考点，但由于水平所限，书中若有不当和错误之处，敬请读者指正。

编　者

2010 年 6 月



目 录

第 1 章　计算机系统概述 …… 1

1.1　计算机发展历程 …… 2
1.1.1　知识点归纳 …… 2
1.1.2　例题解析 …… 3
1.2　计算机系统层次结构 …… 4
1.2.1　知识点归纳 …… 4
1.2.2　例题解析 …… 9
1.3　计算机的性能指标 …… 12
1.3.1　知识点归纳 …… 12
1.3.2　例题解析 …… 14

第 2 章　数据的表示和运算 …… 16

2.1　数制与编码 …… 18
2.1.1　知识点归纳 …… 18
2.1.2　例题解析 …… 26
2.2　定点数的表示和运算 …… 30
2.2.1　知识点归纳 …… 30
2.2.2　例题解析 …… 46
2.3　浮点数的表示和运算 …… 61
2.3.1　知识点归纳 …… 61
2.3.2　例题解析 …… 66
2.4　算术逻辑单元 ALU …… 76
2.4.1　知识点归纳 …… 76
2.4.2　例题解析 …… 82

第 3 章　存储器层次结构 …… 84

3.1　存储器的分类和层次化结构 …… 86
3.1.1　知识点归纳 …… 86
3.1.2　例题解析 …… 88

3.2 半导体随机存取存储器 …… 90
3.2.1 知识点归纳 …… 90
3.2.2 例题解析 …… 97
3.3 只读存储器 …… 101
3.3.1 知识点归纳 …… 101
3.3.2 例题解析 …… 102
3.4 主存储器与 CPU 的连接 …… 104
3.4.1 知识点归纳 …… 104
3.4.2 例题解析 …… 115
3.5 双口 RAM 和多模块存储器 …… 127
3.5.1 知识点归纳 …… 127
3.5.2 例题解析 …… 129
3.6 高速缓冲存储器（cache） …… 131
3.6.1 知识点归纳 …… 131
3.6.2 例题解析 …… 137
3.7 虚拟存储器 …… 147
3.7.1 知识点归纳 …… 147
3.7.2 例题解析 …… 149

第 4 章 指令系统 …… 151

4.1 指令格式 …… 152
4.1.1 知识点归纳 …… 152
4.1.2 例题解析 …… 156
4.2 指令的寻址方式 …… 161
4.2.1 知识点归纳 …… 161
4.2.2 例题解析 …… 165
4.3 CISC 和 RISC 的基本概念 …… 175
4.3.1 知识点归纳 …… 175
4.3.2 例题解析 …… 177

第 5 章 中央处理器 …… 178

5.1 CPU 和控制器 …… 180
5.1.1 知识点归纳 …… 180
5.1.2 例题解析 …… 185
5.2 指令执行过程 …… 191
5.2.1 知识点归纳 …… 191
5.2.2 例题解析 …… 194
5.3 数据通路的功能和基本结构 …… 198
5.3.1 知识点归纳 …… 198

5.3.2 例题解析 ……211
5.4 硬布线控制器和微程序控制器 …… 224
5.4.1 知识点归纳 …… 224
5.4.2 例题解析 …… 236
5.5 指令流水线 …… 256
5.5.1 知识点归纳 …… 256
5.5.2 例题解析 …… 261

第 6 章 总线 …… 265

6.1 总线概述 …… 266
6.1.1 知识点归纳 …… 266
6.1.2 例题解析 …… 269
6.2 总线仲裁 …… 275
6.2.1 知识点归纳 …… 275
6.2.2 例题解析 …… 277
6.3 总线操作和定时 …… 279
6.3.1 知识点归纳 …… 279
6.3.2 例题解析 …… 281
6.4 总线标准 …… 283
6.4.1 知识点归纳 …… 283
6.4.2 例题解析 …… 285

第 7 章 输入输出（I/O）系统 …… 286

7.1 I/O 系统基本概念 …… 288
7.1.1 知识点归纳 …… 288
7.1.2 例题解析 …… 290
7.2 外部设备 …… 292
7.2.1 知识点归纳 …… 292
7.2.2 例题解析 …… 299
7.3 I/O 接口（I/O 控制器） …… 303
7.3.1 知识点归纳 …… 303
7.3.2 例题解析 …… 306
7.4 I/O 方式 …… 308
7.4.1 知识点归纳 …… 308
7.4.2 例题解析 …… 320

参考文献 …… 332

第 1 章 计算机系统概述

考研大纲

（一）计算机发展历程

（二）计算机系统层次结构

（1）计算机硬件的基本组成 （2）计算机软件的分类 （3）计算机的工作过程

（三）计算机性能指标

吞吐量、响应时间；CPU 时钟周期、主频、CPI、CPU 执行时间；MIPS、MFLOPS。

本章介绍基本的计算机系统组成。复习要求如下：

- 了解计算机硬件的发展过程；
- 掌握计算机硬件的基本组成（五大部件），冯·诺依曼计算机的特点和硬件的工作过程；
- 掌握计算机软件的分类和计算机系统的层次结构；
- 掌握各种计算机性能指标的计算方法。

近两年全国考研题本章出题情况

	单项选择题/分	综合应用题/分	小计/分
2009 年	0 题	0 题	0
2010 年	0 题	0 题	0

1.1 计算机发展历程

难　度：★
重要性：★★

1.1.1 知识点归纳

1．计算机的五代变化

世界上第一台电子数字计算机于 1946 年 2 月 15 日在美国宾夕法尼亚大学诞生，取名为 ENIAC（电子数字积分器和计算器）。它以电子管作为电子器件，体积大、速度低、存储容量小，主要用于科学计算，其出现奠定了电子数字计算机的基础。

自 ENIAC 出现后，现代计算机的发展已经历了 60 多年的历史，根据所采用的电子器件不同，可以将其分为以下五个阶段：

- 第 1 代计算机（1946 年～1957 年）——电子管时代。计算机的运算速度为几千次～几万次每秒，其体积大，成本高，可靠性低。在此期间，形成了计算机的基本体系，确定了程序设计的基本方法，数据处理机开始得到应用。
- 第 2 代计算机（1958 年～1964 年）——晶体管时代。计算机的运算速度提高到几万次～几十万次每秒，其可靠性提高，体积缩小，成本降低。在此期间，工业控制机开始得到应用。
- 第 3 代计算机（1965 年～1971 年）——中小规模集成电路时代。计算机的运算速度提高到几十万次～几百万次每秒，其可靠性高，体积进一步缩小，成本大大降低。在此期间计算机形成了机种多样化、生产系列化、使用系统化的特点，小型计算机开始出现。
- 第 4 代计算机（1972 年～1977 年）——大规模和超大规模集成电路时代。以大规模集成电路（LSI）和超大规模集成电路（VLSI）作为计算机的主要功能部件。计算机的运算速度提高到 1000 万次～1 亿次每秒。在此期间，由几片大规模集成电路组成的微型计算机开始出现。
- 第 5 代计算机（1978 年～至今）——超大规模集成电路时代。运算速度提高到 10 亿次每秒。由一片巨大规模集成电路实现的单片计算机开始出现。

注意

有些教材上将第 4 代和第 5 代合并为第 4 代计算机，这样共分为四个阶段。

总之，从 1946 年计算机诞生以来，大约每隔 5 年运算速度提高 10 倍，可靠性提高 10 倍，成本降低 10 倍，体积缩小 10 倍。

2．半导体存储器的发展

1970 年，仙童半导体公司生产出第一个较大容量的半导体存储器，至今，半导体存储器经历了 11 代：单个芯片 1KB、4KB、16KB、64KB、256KB、1MB、4MB、16MB、64MB、256MB 和现在的 1GB。

3．微处理器的发展

自 1971 年 Intel 公司开发出第一个微处理器 Intel 4004 至今，微处理器经历了 Intel 8008（8 位）、Intel 8080（8 位）、Intel 8086（16 位）、Intel 8088（16 位）、Intel 80286（16 位）、Intel 80386（32 位）、Intel 80486（32 位）、Pentium（32 位）、Pentium Pro（64 位）、Pentium Ⅱ（64 位）、Pentium Ⅲ（64 位）、Pentium 4（64 位）等。

4．计算机的类型和发展方向

按用途计算机可分为专用计算机和通用计算机。这是根据计算机的效率、速度、价格、运行的经济性和适用性来划分的。

通用计算机又分为巨型机、大型机、中型机、小型机、微型机和单片机，它们的结构规模和性能指标依次递减。

当前计算机的主要发展方向主要体现在以下五个方面：巨型化、微型化、网络化、智能化和多媒体化。

1.1.2 例题解析

单项选择题

1．通常划分计算机发展时代是以_____为标准的。【★】

A. 所用的电子器件　　B. 运算速度

C. 计算机结构　　D. 所有语言

解：A

2．微型计算机的发展以_____技术为标志。【★】

A. 操作系统　　B. 微处理器

C. 磁盘　　D. 软件

解：B

3．目前人们所说的个人计算机属于_____。【★】

A. 巨型机　　B. 中型机

C. 小型机　　D. 微型机

解：D

4．60 多年来，计算机在提高速度、增加功能、缩小体积、降低成本和应用等方面不断发展。下面是有关计算机近期发展趋势的看法：【★】

Ⅰ. 计算机的体积更小，甚至可以像钮扣一样大小

Ⅱ. 计算机的速度更快，每秒可以完成几十亿次基本运算

Ⅲ. 计算机的智能越来越高，它将不仅能听、能说，而且能取代人脑进行思考

Ⅳ. 计算机的价格会越来越便宜

其中可能性不大的是_____。

A. Ⅰ和Ⅱ　　B. Ⅲ

C. Ⅰ和Ⅲ　　D. Ⅳ

解：B

5．电子计算机的发展已经经历了四代，四代计算机的主要元器件分别是_____。

A. 电子管、晶体管、中小规模集成电路、激光器件

B. 晶体管、中小规模集成电路、激光器件、光介质

C. 电子管、晶体管、中小规模集成电路、大规模集成电路

D. 电子管、数码管、中小规模集成电路、激光器件

解：C

1.2 计算机系统层次结构

难　度：★★
重要性：★★★★

1.2.1 知识点归纳

1．计算机硬件的基本组成

（1）计算机系统的组成

计算机系统由硬件和软件两部分组成。硬件是指有形的物理设备，是计算机系统中实际物理装置的总称。软件则是指在硬件上运行的程序和相关的数据及文档。

硬件是软件的工作基础，软件是硬件功能的扩充和完善。两者相互依存，相互促进。软件与硬件的结合，构成完整的计算机系统。

（2）冯·诺依曼计算机的特点

美籍匈牙利科学家冯·诺依曼在研究 EDVAC 机时提出了“存储程序”的概念（把指令以代码的形式事先输入到计算机的主存储器中，即用记忆数据的同一装置存储执行运算

的指令，这些指令按一定的规则组成程序），它奠定了现代计算机的基本结构。以此概念为基础的各类计算机通称为冯·诺依曼机，其特点如下：

- 计算机硬件系统由运算器、存储器、控制器、输入设备、输出设备五大部件组成。
- 指令和数据以同等地位存放在存储器中，并可按地址寻访。
- 采用二进制形式表示指令和数据。
- 指令由操作码和地址码组成，操作码用来表示操作的性质，地址码用来表示操作数在存储器中的位置。
- 指令在存储器中按顺序存放。通常，指令是顺序执行的，在特定条件下，可根据运算结果或根据设定的条件改变执行顺序。
- 早期的冯·诺依曼计算机以运算器为中心，输入输出设备与存储器间的数据传送通过运算器完成。

从中看到，冯·诺依曼机使用单一的处理部件来完成计算、存储以及通信的工作；存储单元是定长的线性组织，可以直接寻址；在执行程序和处理数据时必须将程序和数据从外存储器装入主存储器中，然后计算机在工作时才能够自动从存储器中取出指令并加以执行。

（3）计算机硬件组成

在计算机中，普遍采用如图 1.1 所示的典型的冯·诺依曼计算机结构，其特点是以运算器为中心，存储器和输入/输出设备之间传送数据都需要经过运算器。现代计算机已转化为以存储器为中心，结构如图 1.2 所示。这两种方案并无实质性的区别，相比第二种方案只是在一些小的方面做了部分改进，使输入/输出操作尽可能绕过 CPU，直接在输入/输出设备和存储器之间完成，以提高系统的整体运行性能。

图中各部件的功能如下：

- 运算器：用来完成算术运算和逻辑运算，并将运算的中间结果暂存在运算器内。
- 存储器：用来存放数据和程序。
- 控制器：用来控制、指挥程序和数据的输入、运行并处理运算结果。
- 输入设备：用来将人们熟悉的信息转换为机器能识别的形式，常见的输入设备有键盘、鼠标等。
- 输出设备：可将机器运算结果转换为人们熟悉的信息形式，常用的输出设备有显示器和打印机等。

计算机的五大部件在控制器的统一指挥下，有条不紊地工作。CPU 和主存储器合起来又称为主机，输入/输出设备称为外部设备。

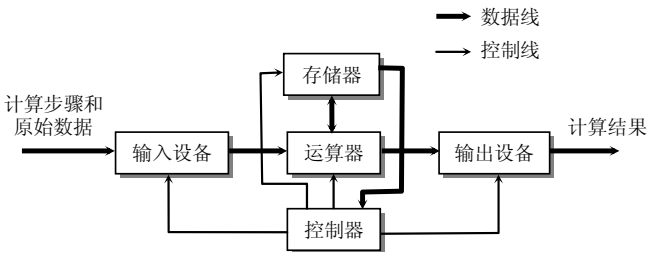


图 1.1　典型的冯・诺依曼计算机结构图

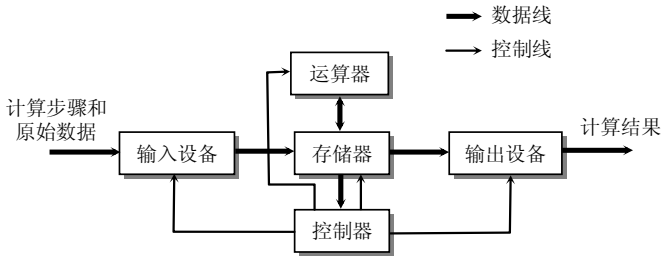


图 1.2　以存储器为中心的计算机结构图

一个细化的计算机组成如图 1.3 所示。

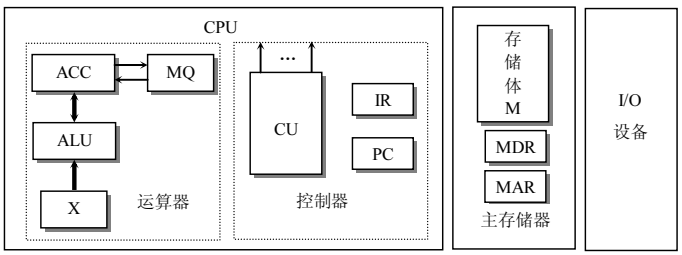


图 1.3　细化的计算机组成图

1）主存储器

主存储器（简称主存或内存）包括存储体、各种逻辑部件及控制电路等。

存储体由许多存储单元组成，每个**存储单元**又包含若干个存储元件，每个存储元件能寄存一位二进制代码“0”或“1”。可见，一个存储单元可存储一串二进制代码，称这串二进制代码为一个存储字，这串二进制代码的位数称为**存储字长**，可以是 8 位、16 位或 32 位等。

主存的工作方式是按存储单元的地址号来实现对存储字各位的存（写入）、取（读出）。这种存取方式称为**按地址存取方式**，即按地址访问存储器（简称访存）。

为了实现按地址访问，主存中还配置两个寄存器 MAR 和 MDR：

- MAR 是存储器的地址寄存器，用来存放欲访问的存储单元的地址，其位数对应存储单元的个数（如 MAR 为 10 位，则有 2^{10}=1024 个存储单元，记为 1K）。
- MDR 是存储器的数据寄存器，用来存放从存储体 M 某单元取出的代码或准备往某存储单元存入的代码，其位数与存储字长相等。

2）运算器

运算器最少包括 3 个寄存器（其中 ACC 为累加器，MQ 为乘商寄存器，X 为操作数寄存器）和一个算术逻辑单元 ALU。在完成不同运算时，这 3 个寄存器所存放的操作数类别也各不相同。

例如，两个数相乘运算，将[ACC]看做被乘数，先取出存放在主存 M 号地址单元中的乘数[M]将其送入乘商寄存器 MQ，再把被乘数送入 X 寄存器，并将 ACC 清“0”，然后[X]和[MQ]相乘，结果（积）的高位保留在 ACC 中，低位保留在 MQ 中，其过程如下：

[M]→MQ
[ACC]→X
0←ACC
[X]×[MQ]→ACC//MQ

3）控制器

控制器是计算机的中枢，由它指挥各部件自动、协调地工作。

首先控制器命令存储器读出一条指令，这称为取指过程；接着对该指令进行分析，指出指令要完成的操作，并按寻址特征指明操作数的地址，称为分析过程；最后根据操作数所在地址以及指令的操作码完成该操作，称为执行过程。

控制器由程序计数器（PC）、指令寄存器（IR）和控制单元（CU）组成。PC 用来存放当前欲执行指令的地址，它与主存的 MAR 之间有一条直接通路，且具有自动加 1 的功能，即可自动形成下一条指令的地址。IR 用来存放当前的指令，IR 的内容来自主存的 MDR。IR 中的操作码（OP(IR)）送至 CU，记作 OP(IR)→CU；其地址码（Ad(IR)）作为操作数的地址送至存储器的 MAR，记作 Ad(IR)→MAR。CU 用来分析当前指令所需完成的操作，并发出各种微操作命令序列，藉以控制所有被控对象。

4）输入/输出设备

I/O 子系统包括各种 I/O 设备及其相应的接口。每一种 I/O 设备都有 I/O 接口与主机联系，由它接收 CU 发出的各种控制命令，并完成相应的操作。例如，键盘（输入设备）由键盘接口电路与主机联系，打印机（输出设备）由打印机接口电路与主机联系。

2．计算机软件的分类

计算机软件通常分为两大类：系统软件和应用软件。

①系统软件：又称系统程序，主要用来管理整个计算机系统，监视服务，使系统资源得到合理调度，高效运行，包括标准程序库、语言处理程序、操作系统、服务程序、数据库管理系统和计算机网络软件等。

②应用软件：又称为应用程序，是用户根据任务需要所编写的各种程序，如科学计算程序、数据处理程序、过程控制程序等。

3．计算机的工作过程

（1）使用计算机处理一个实际问题的过程

使用计算机处理一个实际问题的一般过程如下：

①建立数学模型。找出反映处理问题规律的数学模型。
②找出计算方法。选择实现模型计算的具体算法。
③编写计算机程序。选用合适的计算机语言编写实现算法的程序。
④调试运行程序。调试写好的程序，调试正确则运行这个程序。
⑤输出运算结果。把程序的运行结果输出显示。

（2）计算机硬件的工作过程

计算机硬件的工作过程如下：

①把程序和数据装入到主存储器中。
②从程序的起始地址运行程序。
③用程序首地址从存储器中取出第一条指令，经过译码、执行等步骤控制计算机各功能部件协调运行，完成这条指令功能，并计算出下一条指令的地址。
④用新得到的指令地址继续读出第二条指令并执行之，直到程序结束为止；每一条指令都是在取指、译码和执行的循环过程中完成的。

4．计算机系统的层次结构

现代计算机不是一种简单的电子设备，而是由硬件和软件结合形成的复杂整体。它通常由 5 个不同的层级组成，在每一层上都能够进行程序设计，如图 1.4 所示。

第一层是微程序机器级：如果某一个应用程序直接用微指令来编写，那么可在这一级上运行该应用程序。微指令由硬件直接执行。
第二层是机器语言级：用微程序解释机器指令。
第三层是操作系统级：用机器语言程序解释作业控制语句。
第四层是汇编语言机器级：用汇编程序翻译成机器语言程序。
第五层是高级语言机器级：用编译程序翻译成汇编语言程序或直接翻译成机器语言。
第三层～第五层称为虚拟计算机。所谓虚拟计算机是指这个虚拟计算机只对该层的观察者存在，对某一层次的观察者来说，他只能通过该层次的语言来了解和使用计算机，至于下层是如何工作和实现的就不必关心了。简言之虚拟计算机即是由软件实现的计算机。层次之间关系密切，下层是上层的基础，上层是下层的扩展。层次的划分不是绝对的。