

高等教育质量工程信息技术系列示范教材

计算机组成原理

解题参考 (第8版)

张基温 编著



清华大学出版社

高等教育质量工程信息技术系列示范教材

计算机组成原理解题参考

(第8版)

张基温 编著

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是《计算机组成原理教程（第8版）》的姊妹篇，并按照《计算机组成原理教程（第8版）》的章结构组织。每一章的内容都由以下4部分组成：《计算机组成原理教程（第8版）》对应章中包含的知识要点、习题解析、自测练习和自测练习参考答案。

本书题目丰富，解析详尽，既有知识要点，又有供自测的习题，可以作为计算机组成原理学习者的课后参考教材，也可以供考研者复习参考。

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

计算机组成原理解题参考 / 张基温编著. —8版. —北京：清华大学出版社，2018
（高等教育质量工程信息技术系列示范教材）
ISBN 978-7-302-49231-3

I. ①计… II. ①张… III. ①计算机组成原理—高等学校—题解 IV. ①TP301-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2017）第 331852 号

责任编辑：白立军

封面设计：常雪影

责任校对：焦丽丽

责任印制：刘海龙

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 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

课 件 下 载：<http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者：北京泽宇印刷有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：10.5 字 数：253 千字

版 次：1998 年 1 月第 1 版 2018 年 2 月第 8 版 印 次：2018 年 2 月第 1 次印刷

印 数：1~1500

定 价：29.00 元

产品编号：076669-01

前 言

我编写的《计算机组成原理教程》(以下简称《教程》)一书,自1998年第1版出版后,曾应广大读者要求编写了《计算机组成原理教程题解与实验指导》(以下简称《习题指导》)一书,由清华大学出版社于2001年1月出版。之后《教程》几经改版,由于每次改版时修改的内容都比较多,习题也变化较大,不少读者希望能有一本新的习题解析。但由于琐事萦身,一直没有能满足读者的要求。

2007年《计算机组成原理教程(第4版)》出版之际,孙仲美高级工程师和李爱军教授承担了《计算机组成原理教程(第4版)》配套的习题指导编写工作。在我们三人的合作下,完成了针对《计算机组成原理教程题解与实验指导(第4版)》的改写。之后,《计算机组成原理教程(第4版)》又进行了一次改版,但由于忙碌,没有对《计算机组成原理教程题解与实验指导(第4版)》进行修改。在此期间网上以及电话来访的读者都希望能提供相应的习题指导。在改写时对其结构也进行了一些调整,于是腾出时间改写了习题指导。考虑自己的学术水平有限,从第6版开始,不再想用“指导”二字,采用了“参考”二字,同时删去了书名中的“教程”二字。相信有更高明的读者可以写出更好的习题,并做出更准确的答案来。

《教程》从第6版起改为共7章,从第8版起改为共8章,最后一章均为“未来计算机展望”,内容为前面几章的知识扩展和思维启示,许多方面尚无确定性结论。作为解题参考,本书没有包括这章。

考虑到读者的实际需要,这本书的每章仍由4部分组成:知识要点、习题解析、自测练习和自测练习参考答案。

在本书即将出版之际,谨对孙仲美高级工程师和李爱军教授深表谢意。因为本书中仍然有他们辛劳的痕迹。在本次修订中,赵忠孝、姚威、史林娟、张展为、戴璐、董兆军、张秋菊、陈觉参加了部分编写工作。

由于本书涉及了许多最新知识,可以参考的书籍较少。所以,本人尽力进行了校订,但不足之处难免。希望广大读者在使用中,如有发现的问题和改进意见,请无保留地反馈给我们。我们将衷心感谢。

张基温

2017年11月于羊城小海之畔

高等教育质量工程信息技术系列示范教材

丛书主编：张基温

新概念 C 程序设计大学教程（第 4 版）	张基温
新概念 C++程序设计大学教程（第 3 版）	张基温
新概念 Java 程序设计大学教程（第 3 版）	张基温
计算机组成原理教程（第 8 版）	张基温
计算机组成原理解题参考（第 8 版）	张基温
计算机网络教程（第 2 版）	张基温
信息系统安全教程（第 3 版）	张基温
信息系统安全教程（第 3 版）习题详解	栾英姿
大学计算机——计算思维导论（第 2 版）	张基温
UI 设计教程	牛金巍
APP 开发教程——HTML5 应用	尹志军
Python 大学教程	张基温

目 录

第 1 章 计算机系统结构概述	1
1.1 知识要点	1
1.1.1 自动计算机的形成轨迹	1
1.1.2 现代计算机体系结构	1
1.1.3 电子数字计算机硬件的工作原理	2
1.1.4 冯·诺依曼计算机体系的改进	8
1.1.5 计算机系统的主要性能指标	11
1.2 习题解析	14
1.3 自测练习	26
1.3.1 选择题	26
1.3.2 填空题	28
1.3.3 判断题	29
1.3.4 简答题	29
1.4 自测练习参考答案	30
1.4.1 选择题参考答案	30
1.4.2 填空题参考答案	30
1.4.3 判断题参考答案	31
1.4.4 简答题参考答案	31
第 2 章 存储系统	35
2.1 知识要点	35
2.1.1 主存储器概述	35
2.1.2 主存储器组织	39
2.1.3 DRAM 内部操作与性能参数	41
2.1.4 辅助存储器	46
2.1.5 存储体系	49
2.2 习题解析	52
2.3 自测练习	63
2.3.1 选择题	63
2.3.2 填空题	65
2.3.3 判断改错题	67
2.3.4 简答题	67
2.3.5 综合题	68

2.4	自测练习参考答案.....	69
2.4.1	选择题参考答案.....	69
2.4.2	填空题参考答案.....	69
2.4.3	判断改错题参考答案.....	70
2.4.4	简答题参考答案.....	71
2.4.5	综合题参考答案.....	74
第3章	总线与主板.....	76
3.1	知识要点.....	76
3.1.1	总线的有关概念.....	76
3.1.2	总线的工作原理.....	77
3.1.3	总线标准.....	80
3.1.4	主板.....	80
3.2	习题解析.....	82
3.3	自测练习.....	85
3.3.1	选择题.....	85
3.3.2	填空题.....	87
3.3.3	简答题.....	88
3.4	自测练习参考答案.....	88
3.4.1	选择题参考答案.....	88
3.4.2	填空题参考答案.....	89
3.4.3	简答题参考答案.....	89
第4章	I/O 接口与数据交换控制.....	93
4.1	知识要点.....	93
4.1.1	设备接口.....	93
4.1.2	输入输出中的数据传送控制.....	97
4.2	习题解析.....	99
4.3	自测练习.....	107
4.3.1	选择题.....	107
4.3.2	填空题.....	109
4.3.3	简答题.....	109
4.4	自测练习参考答案.....	110
4.4.1	选择题参考答案.....	110
4.4.2	填空题参考答案.....	110
4.4.3	简答题参考答案.....	111
第5章	计算机输入输出设备.....	115
5.1	知识要点.....	115
5.1.1	外部设备类型.....	115
5.1.2	I/O 设备的人机交互界面.....	115

5.1.3	键盘与鼠标.....	116
5.1.4	打印设备.....	117
5.1.5	显示器.....	119
5.1.6	I/O 设备适配器.....	120
5.1.7	设备驱动程序.....	122
5.1.8	ROM-BIOS.....	124
5.2	习题解析.....	124
5.3	自测练习.....	126
5.3.1	选择题.....	126
5.3.2	填空题.....	126
5.3.3	简答题.....	127
5.4	自测练习参考答案.....	127
5.4.1	选择题参考答案.....	127
5.4.2	填空题参考答案.....	127
5.4.3	简答题参考答案.....	127
第 6 章	控制器逻辑.....	129
6.1	知识要点.....	129
6.1.1	处理器的外特性——指令系统.....	129
6.1.2	指令的时序.....	131
6.1.3	控制器设计.....	131
6.2	习题解析.....	132
6.3	自测练习.....	140
6.3.1	选择题.....	140
6.3.2	填空题.....	141
6.3.3	简答题.....	141
6.4	自测练习参考答案.....	142
6.4.1	选择题参考答案.....	142
6.4.2	填空题参考答案.....	142
6.4.3	简答题参考答案.....	142
第 7 章	处理器架构.....	144
7.1	知识要点.....	144
7.1.1	指令级并行技术.....	144
7.1.2	向量处理机.....	145
7.1.3	线程级并行技术.....	146
7.1.4	超线程技术.....	146
7.1.5	多核处理器.....	146
7.1.6	处理器并行技术小结.....	147
7.2	习题解析.....	148

7.3 自测练习	151
7.3.1 选择题	151
7.3.2 填空题	152
7.3.3 简答题	152
7.4 自测练习参考答案	153
7.4.1 选择题参考答案	153
7.4.2 填空题参考答案	153
7.4.3 简答题参考答案	154
参考文献	156

第1章 计算机系统结构概述

1.1 知识要点

本章是全书的概述，内容主要包括如下5个方面。

- (1) 自动计算机的形成轨迹。
- (2) 现代计算机体系结构。
- (3) 电子数字计算机硬件的基本工作原理。
- (4) 冯·诺依曼计算机体系的改进。
- (5) 计算机系统的主要性能指标与测试。

1.1.1 自动计算机的形成轨迹

今天，电子计算机已经无处不在、无所不能。之所以如此，是因为它是一种可以自动工作的机器。这种自动工作机制的形成，是沿着如图1.1所示的4条轨迹发展而成的。

(1) 从外程序控制到内程序控制。算盘算筹—提花机—巴贝奇分析机—冯·诺依曼体系。

(2) 从外动力到内动力驱动。从手工驱动到电气驱动，再到电子世界。

(3) 从十进制到二进制表示。布尔代数和原码、补码、反码、移码。

(4) 从人工管理到程序自动管理。从裸机到操作系统管理。

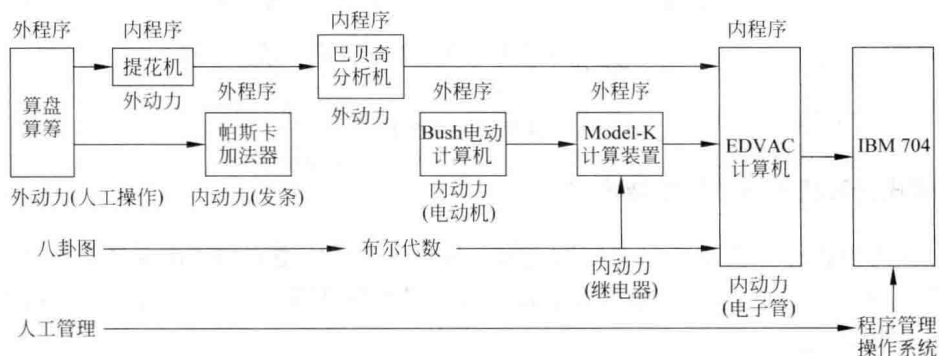


图 1.1 现代计算机的形成轨迹

1.1.2 现代计算机体系结构

1. 冯·诺依曼型计算机体系结构

冯·诺依曼结构也称为普林斯顿结构，其主要特点如下。

- (1) 使用单一的处理部件来完成计算、存储以及通信等工作。
- (2) 存储单元是定长的线性组织。
- (3) 存储空间单元是直接寻址的。
- (4) 使用机器语言，指令通过操作码来完成简单的操作。
- (5) 对计算进行集中的顺序控制。
- (6) 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，并规定了它们的基本功能。
- (7) 采用二进制形式表示数据和指令。
- (8) 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，然后才能使计算机在工作时能够自动地从存储器中取出指令并加以执行。

2. 计算机系统的模块结构

图 1.2 为一个完整的计算机系统的模块组成。可以看出，计算机系统由硬件和软件两大部分组成。



图 1.2 计算机系统的模块组成

3. 现代计算机系统的层次结构

图 1.3 为现代计算机系统的 6 层次结构。其最底层是由逻辑门（由晶体管做成）组成的逻辑电路，称为数字逻辑层，它组成了计算机系统的物理机器，计算机的全部功能都是建立在此物理机器之上。

1.1.3 电子数字计算机硬件的工作原理

电子数字计算机硬件部分的工作原理主要涉及如下 5 个部分。

- (1) 信息的 0、1 码表示方法。
- (2) 开关电路的逻辑运算与算术运算。
- (3) 计算机存储器的特点。

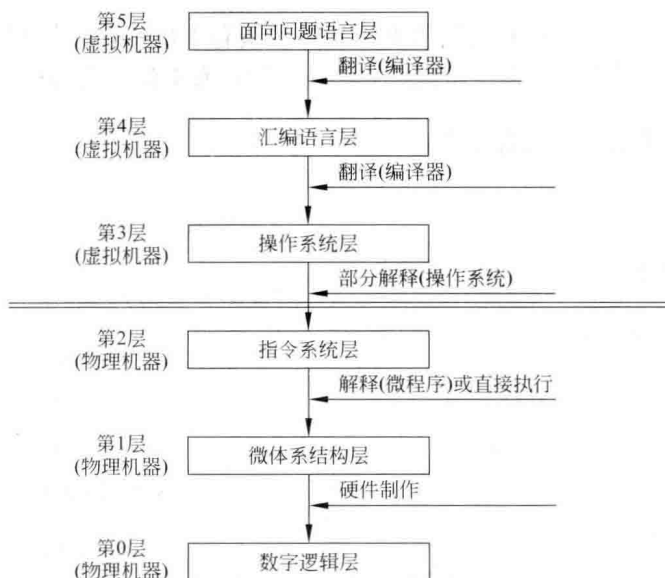


图 1.3 计算机系统的 6 层次结构

(4) 计算机控制器的工作原理。

(5) 计算机工作的时序控制。

1. 信息的 0、1 码表示方法

信息的 0、1 编码包括如下内容。

(1) 数值数据的 0、1 编码。主要涉及如下内容。

① 十进制数与二进制数之间的相互转换。

② 二进制数的计算规则。

③ 如何解决符号位参加计算的问题——将 0、1 编码的机器码分为原码、反码、补码和移码。

(2) 字符数据的 0、1 编码。从字符的输入到存储，再到输出，涉及 3 种编码。

① 外码，主要指汉字的输入编码，如字形码、拼音码、流水码以及组合。

② 内码，如 ASCII 码、Unicode、GB 2312—1980 和 GB 2312—1990 等。

③ 字库。

(3) 声音的 0、1 编码，主要涉及模拟值的离散化处理——采样和量化，并用采样频率和量化精度来衡量。

(4) 图像的 0、1 编码，主要有两种手段。

① 矢量法。

② 位图法。位图法有两个基本质量参数：分辨率和色彩深度（也称为像素深度和位分辨率）。

(5) 指令的 0、1 编码。通常将指令分为操作码和地址码两部分。操作码的位数决定了指令的多少，地址码可以分为单地址码、二地址码和三地址码等。每个地址码的位数决定了可寻址空间的大小。

(6) 校验码与纠错码。校验码仅能发现数据传输有无出错，纠错码不仅可以发现错误还可以纠正错误。常用的校验码有奇偶校验码、汉明码和循环冗余校验码（CRC）。

2. 开关电路的逻辑运算与算术运算

1) 3 种基本逻辑电路

3 种基本逻辑电路是“与”“或”“非”。

2) 逻辑代数的基本定律

(1) 关于变量与常量的关系。

$$\begin{array}{lll} A + 0 = A & A + 1 = 1 & \overline{\overline{A}} + A = 1 \\ A \cdot 0 = 0 & A \cdot 1 = A & A \cdot \overline{\overline{A}} = 0 \end{array}$$

(2) 重复律。

$$A \cdot A = A \qquad A + A = A$$

(3) 吸收律。

$$A + A \cdot B = A \qquad A \cdot (A + B) = A$$

(4) 分配律。

$$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C \qquad A + B \cdot C = (A + B) \cdot (A + C)$$

(5) 交换律。

$$A + B = B + A \qquad A \cdot B = B \cdot A$$

(5) 结合律。

$$(A + B) + C = A + (B + C) \qquad (A \cdot B) \cdot C = A \cdot (B \cdot C)$$

(6) 反演律。

$$\overline{A \cdot B \cdot C \cdot \cdots} = \overline{A} + \overline{B} + \overline{C} + \cdots \qquad \overline{A + B + C + \cdots} = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdot \cdots$$

3) 一位加法电路——全加器

如表 1.1 所示，加法运算时某一位相加需要有下列 5 个变量。

输入：被加数 X_i 、加数 Y_i 、低位进位 C_{i-1} 。

输出：本位进位 C_i 、本位全和 S_i 。

表 1.1 全加器的真值表

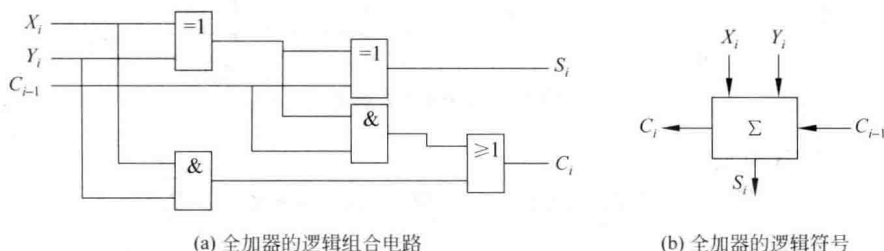
X_i	0	0	0	0	1	1	1	1
Y_i	0	0	1	1	0	0	1	1
C_{i-1}	0	1	0	1	0	1	0	1
C_i	0	0	0	1	0	1	1	1
S_i	0	1	1	0	1	0	0	1

在真值表中，将函数值（ C_i 或 S_i ）为 1 的各参数（ X_i ， Y_i ， C_{i-1} ）的“与”项相“或”，就组成了该函数的逻辑表达式。如全加器的本位和有 4 项，全加器的本位进位也有 4 项，即有

$$\overline{S_i} = \overline{X_i} \cdot Y_i \cdot \overline{C_{i-1}} + X_i \cdot \overline{Y_i} \cdot C_{i-1} + \overline{X_i} \cdot \overline{Y_i} \cdot C_{i-1} + X_i \cdot Y_i \cdot C_{i-1} = X_i \oplus Y_i \oplus C_{i-1}$$

$$\overline{C_i} = X_i \cdot Y_i \cdot \overline{C_{i-1}} + \overline{X_i} \cdot Y_i \cdot C_{i-1} + X_i \cdot Y_i \cdot \overline{C_{i-1}} + X_i \cdot Y_i \cdot C_{i-1} = X_i \cdot Y_i + (X_i \oplus Y_i) \cdot C_{i-1}$$

由这两个表达式很容易得到相应的组合逻辑电路,如图 1.4 (a) 所示,并且可以用图 1.4 (b) 所示的逻辑符号表示。



(a) 全加器的逻辑组合电路

(b) 全加器的逻辑符号

图 1.4 全加器的逻辑组合电路及其符号

实质上,全加器是完成 3 个 1 位数相加、具有两个输出端的逻辑电路。对应于输入端的不同值,将在两个输出端上输出相应的值。

4) 串行加法电路

串行运算加法器如图 1.5 所示。

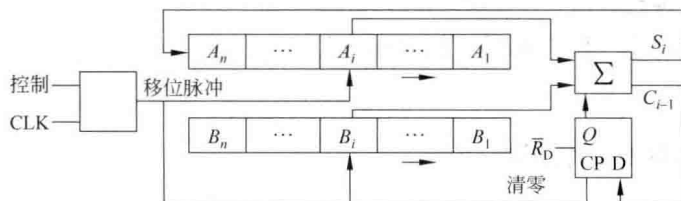


图 1.5 串行运算加法器

5) 并行加法电路

两个 n 位二进制数各位同时相加称为并行加法。图 1.6 为 n 位并行加法器。它由 n 个全加器组成。运算时由两个寄存器送来的 n 位数据,分别在 n 个全加器中按位对应相加;每个全加器得出的进位依次向高一位传送,从而得出每位的全加和。最后一个进位 C_n 为计算机工作进行判断提供了一个测试标志,在某些情况下(如多字节运算)还可以作为运算的一个数据。

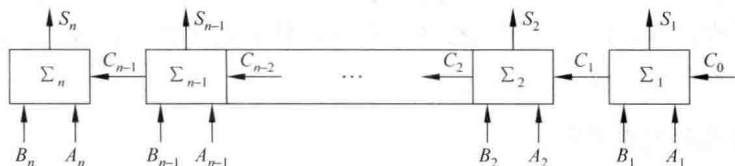


图 1.6 n 位并行加法器

6) 加/减法电路

在并行加法器前加一级“异或门”就可以组成“加/减法运算器”,如图 1.7 所示。

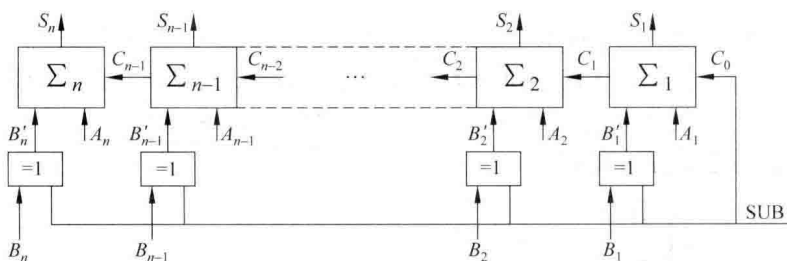


图 1.7 加/减法运算器

这样，当 $SUB=0$ 时，有

$$\overline{B'_i} = B_i \cdot SUB + \overline{B_i} \cdot \overline{SUB} = B_i \cdot 0 + \overline{B_i} \cdot 1 = \overline{B_i}$$

进行的是 $A + B$ ；

当 $SUB=1$ 时，有

$$B'_i = B_i \cdot SUB + \overline{B_i} \cdot \overline{SUB} = B_i \cdot 1 + \overline{B_i} \cdot 0 = B_i$$

进行的是 $A - B$ 。

3. 计算机存储器的特点

计算机的存储器是用来存储数据和程序的部件。计算机的存储器有如下一些特点。

- (1) 按照地址进行存取。
- (2) 所存储的内容“取之不尽，新来旧去”。
- (3) 分级存储。

4. 计算机控制器的工作原理

1) 控制器的功能

- (1) 定序。
- (2) 定时。
- (3) 操作控制。

2) 控制器的组成及工作过程

控制器执行一条指令的过程是“取指令—分析指令—执行指令”。条件是先将程序（指令码和数据）存储到（内）存储器中。控制器工作时，用程序计数器（也称为指令计数器）控制取指令的过程，取出的指令送入指令寄存器，然后送指令部件分析，产生控制信号，控制有关部件产生相应的动作。

5. 计算机工作的时序控制

1) 指令周期

指令周期也称为取出-执行周期（fetch-and-execute cycle），指 CPU 从主存中读取一条指令到指令执行结束的时间，或者说，指令周期可以细化为由“送指令地址—指令计数器（PC）加 1—指令译码—取操作数—执行操作”等微操作组成的比较详细的过程。由于每种指令的

复杂程度不同，其包含的微操作内容不同，所需的指令周期的长短也不相同。

2) CPU 周期

一条指令所包含的微操作之间具有顺序依赖关系。为了正确地执行指令，还需要对指令周期进一步划分为一些子周期——CPU 工作周期（也称为工作周期、CPU 周期、机器周期），把一条指令包含的微操作分配在不同的 CPU 周期中。

图 1.8 描述了一个普通指令的 CPU 周期划分情况。它包含了 3 个 CPU 周期。

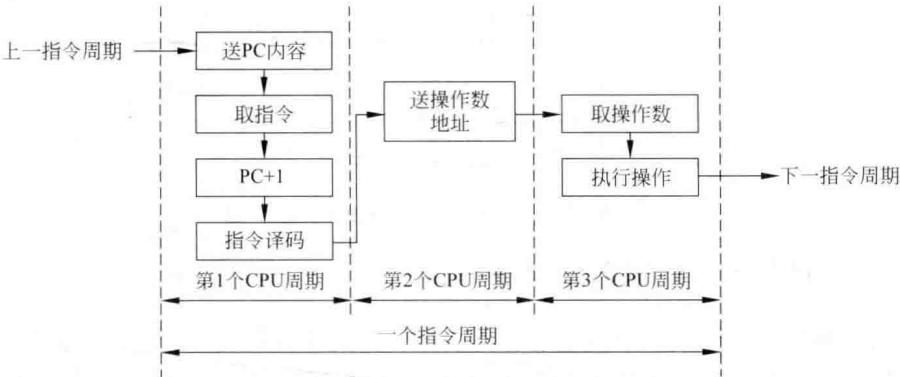


图 1.8 指令周期的 CPU 周期划分

图 1.9 描述了一个转移指令的 CPU 周期划分情况，它只包含了 2 个 CPU 周期：第 1 个 CPU 周期为取指周期；第 2 个 CPU 周期则是向 PC 中送一个目标地址，指出将要执行的指令的地址，使下一条要执行的指令不再是本指令的下一条指令。

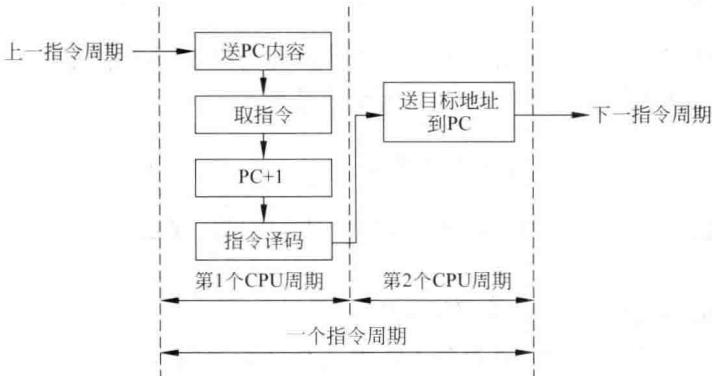


图 1.9 转移指令的 CPU 周期划分

从这两个例子可以看出，不同的指令所包含的 CPU 周期是不同的。

3) CPU 的时序信号体系

计算机是一个高速的复杂系统，为了能让各部件有条不紊地协调工作，需要使指令所包含的微操作在准确的时刻开始操作，并在这些操作信号稳定后才可以发出后续操作信号。为此，系统需要提供一套时序信号进行微操作时序的控制。这套时序信号一般由图 1.10 所示的时钟脉冲、时钟节拍信号组成。每个时钟周期形成一个节拍，一个 CPU 周期包含了多

个节拍。每个微操作在规定的节拍中完成，就可以保证整个系统协调工作。

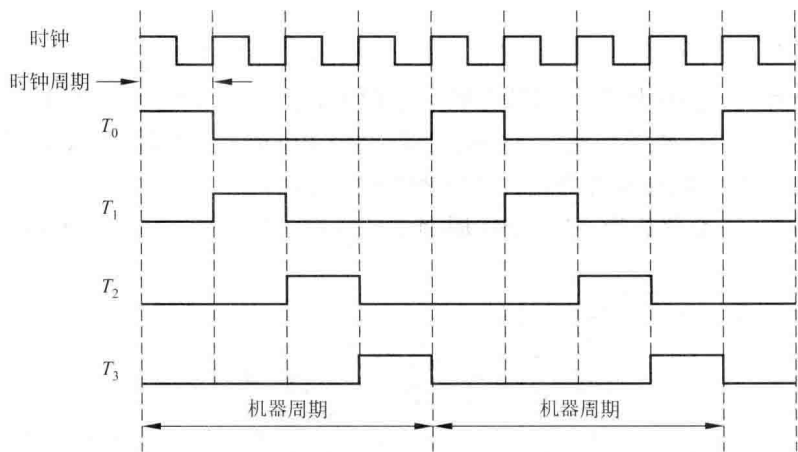


图 1.10 时钟脉冲、节拍和 CPU 周期控制

1.1.4 冯·诺依曼计算机体系的改进

冯·诺依曼计算机体系的瓶颈主要有两点：一维的计算结构和一维的存储结构。几十年来，人们努力谋求突破传统冯·诺依曼体系的局限，这些努力主要表现在两个方面。

- (1) 对冯·诺依曼计算机的改进。
- (2) 跳出冯·诺依曼体系，另辟蹊径。

1. 并行与共享

人类制造了计算机，就要使它的每一个部件都能充分地发挥潜力。于是“并行”与“共享”就成了计算机体系结构发展中的一个永恒的话题。

1) 从以运算器为中心到以存储器为中心

早期的计算机是以运算器为中心的。如图 1.11 所示，以运算器为中心的计算机结构有如下特点。

- (1) 输入的数据要经过运算器送到存储器。
- (2) 在程序执行过程中，运算器要不断地与存储器交换数据。
- (3) 出现中间结果和得到最终结果，要由运算器将它们送到输出设备。

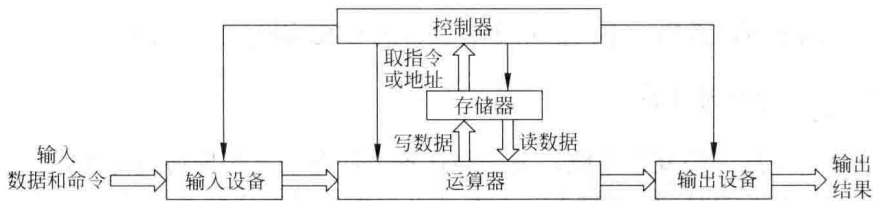


图 1.11 以运算器为中心的计算机结构

所以运算器是最忙碌的部件，而其他部件都可以轮番处于空闲状态。由于不管高速部