



技术与软件专业技术资格（水平）考试指定用书

数据库系统工程师教程

王亚平 主编

全国计算机专业技术资格考试办公室 组编

清华大学出版社



第3版

技术与软件专业技术资格（水平）考试指定用书

数据库系统工程师教程

（第3版）

王亚平 主编



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书作为计算机技术与软件专业技术资格(水平)考试的中级职称的指定教材,具有比较权威的指导意义。本书根据2018年审定通过的《数据库系统工程师考试大纲》的重点,阐述了14章的内容,考生在学习教材内容的同时,还须对照考试大纲认真学习和复习大纲的知识点。

本书是在《数据库系统工程师考试大纲》的指导下,对《数据库系统工程师教程(第2版)》进行了认真修编,重写而成。

本书适合参加本考试的考生和大学在校生作为教材。

本书扉页为防伪页,封面贴有清华大学出版社防伪标签,无上述标识者不得销售。
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

数据库系统工程师教程/王亚平主编. —3版. —北京:清华大学出版社,2018
(全国计算机技术与软件专业技术资格(水平)考试指定用书)
ISBN 978-7-302-48157-7

I. ①数… II. ①王… III. ①数据库系统-资格考试-自学参考资料 IV. ①TP311.13

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第208477号

责任编辑:杨如林 柴文强

封面设计:常雪影

责任校对:胡伟民

责任印制:王静怡

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

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:42.75 防伪页:1 字 数:930千字

版 次:2004年11月第1版 2018年4月第3版 印 次:2018年4月第1次印刷

印 数:1~5000

定 价:128.00元

产品编号:075349-01

第 3 版前言

全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试实施至今已经历了二十余年，在社会上产生了很大的影响，对我国软件产业的形成和发展做出了重要的贡献。为了适应我国计算机信息技术发展的需求，人力资源和社会保障部、工业和信息产业部决定将考试的级别拓展到计算机信息技术行业的各个方面，以满足社会上对各种计算机信息技术人才的需要。

编者受全国计算机专业技术资格考试办公室委托，对《数据库系统工程师教程》一书进行改写，以适应新的考试大纲要求。在考试大纲中，要求考生掌握的知识面很广，每个章节的内容都能构成相关领域的一门课程，因此编写的难度很高。考虑到参加考试的人员已有一定的基础，所以本书中只对考试大纲中所涉及的知识领域的要点加以阐述，但限于篇幅所限，不能详细地展开，请读者谅解。

全书共分 14 章，各章节内容安排如下：

第 1 章主要介绍计算机系统基础知识、计算机体系结构以及安全性、可靠性和系统性能评测基础、多媒体基础知识。

第 2 章主要介绍程序设计语言的基本概念与基本成分，阐述了汇编程序、编译程序与解释程序的基本原理。

第 3 章主要介绍数据结构中线性结构、数组、矩阵、树和图的基本概念，阐述了查找和排序的基本方法和算法；算法设计与分析的基本概念等。

第 4 章主要介绍操作系统中进程管理、存储管理、设备管理、文件管理、作业管理以及网络语嵌入式操作系统基础知识。

第 5 章主要介绍网络体系结构、网络互联硬件、网络协议与标准、Internet 应用以及网络安全知识。

第 6 章主要介绍数据库系统的基本概念、数据模型、数据存储与查询、数据仓库与数据挖掘基础知识。

第 7 章主要介绍关系数据库基本概念、关系运算、元组演算、域演算、查询优化以及关系数据库设计基础理论。

第 8 章主要介绍 SQL 的功能与特点、SQL 数据定义语言（表、视图、索引、约束）、SQL 数据操作语言（数据检索、数据插入/删除/更新）、创建与删除触发器、SQL 数据控制语言（安全性和授权、事务处理）以及嵌入式 SQL。

第9章主要介绍软件工程基础知识、面向对象的基本概念、面向对象程序设计与开发技术、讨论了面向对象分析与设计方法，介绍了软件系统设计、实施和运行维护方面的知识。

第10章主要介绍数据库应用系统设计过程涉及的内容，包括概念结构设计、逻辑结构设计、物理结构设计、数据库系统实施、数据库运行维护与管理、性能调整以及用户支持。

第11章主要介绍事务的基本概念、并发控制和封锁协议、数据库备份与恢复、数据库的安全性及完整性。

第12章主要介绍分布式数据库基本概念与应用、网络环境下数据库系统的设计与实施、面向 Web 的数据库管理系统（DBMS）技术以及数据库系统的发展趋势。

第13章主要介绍标准化与知识产权基础知识。

第14章主要介绍数据库应用案例，重点介绍 SQL 应用案例和数据库设计应用案例。

本书第1~3章由张淑平编写，第4章由王亚平编写，第5章由严体华编写，第6~8章由王亚平编写，第9章由褚华编写，第10章由王亚平、苏向阳编写，第11章由王亚平编写，第12章由高海昌编写，第13章由刘强编写，第14章由王亚平编写，最后由王亚平统稿。

在本书的编写过程中，参考了许多相关的书籍和资料，编者在此对这些参考文献的作者表示感谢。同时感谢清华大学出版社在本书出版过程中所给予的支持和帮助。

因作者的水平有限，书中难免存在错漏和不妥之处，望读者指正，以利改进和提高。

编者

2018年元月

目 录

第 1 章 计算机系统知识1	
1.1 计算机系统基础知识.....1	
1.1.1 中央处理单元.....1	
1.1.2 数据表示和校验.....5	
1.2 计算机体系结构.....13	
1.2.1 概述.....13	
1.2.2 存储系统.....19	
1.2.3 输入输出技术.....29	
1.2.4 总线结构.....33	
1.3 安全性、可靠性与系统性能评测	
基础知识.....36	
1.3.1 计算机安全概述.....36	
1.3.2 加密技术和认证技术.....38	
1.3.3 计算机可靠性.....45	
1.3.4 计算机系统的性能评价.....48	
1.4 多媒体基础知识.....52	
1.4.1 多媒体计算机系统.....53	
1.4.2 声音.....55	
1.4.3 图形和图像.....60	
1.4.4 动画和视频.....66	
1.4.5 虚拟现实.....73	
第 2 章 程序语言基础知识76	
2.1 程序语言概述.....76	
2.1.1 程序语言的基本概念.....76	
2.1.2 程序语言的基本成分.....81	
2.2 程序语言翻译基础.....87	
2.2.1 汇编程序基本原理.....87	
2.2.2 编译程序基本原理.....90	
2.2.3 解释程序基本原理.....110	
第 3 章 数据结构与算法113	
3.1 线性结构.....113	
3.1.1 线性表.....113	
3.1.2 栈和队列.....119	
3.1.3 串.....124	
3.2 数组和矩阵.....128	
3.3 树和图.....131	
3.3.1 树.....131	
3.3.2 图.....139	
3.4 常用算法.....143	
3.4.1 算法概述.....143	
3.4.2 排序.....148	
3.4.3 查找.....156	
3.4.4 递归算法.....165	
3.4.5 图的相关算法.....167	
第 4 章 操作系统知识172	
4.1 操作系统基础知识.....172	
4.1.1 操作系统的基本概念.....172	
4.1.2 操作系统分类及特点.....173	
4.1.3 操作系统的发展.....177	
4.2 进程管理.....177	
4.2.1 基本概念.....177	
4.2.2 进程的控制.....181	
4.2.3 进程间的通信.....181	
4.2.4 管程.....185	

4.2.5	进程调度	187	5.2.1	网络设备	236
4.2.6	死锁	189	5.2.2	网络传输介质	239
4.2.7	线程	193	5.3	ISO/OSI 网络体系结构	241
4.3	存储管理	194	5.4	网络的协议与标准	243
4.3.1	基本概念	194	5.4.1	网络的标准	244
4.3.2	存储管理方案	195	5.4.2	局域网协议	245
4.3.3	分页存储管理	197	5.4.3	广域网协议	249
4.3.4	分段存储管理	199	5.4.4	TCP/IP 协议簇	252
4.3.5	段页式存储管理	201	5.5	Internet 基础知识	257
4.3.6	虚拟存储管理	202	5.5.1	Internet 概述	258
4.4	设备管理	207	5.5.2	Internet 地址	258
4.4.1	概述	207	5.5.3	Internet 服务	266
4.4.2	I/O 软件	208	5.6	信息安全基础知识	272
4.4.3	设备管理采用的相关技术	209	5.7	网络安全概述	275
4.4.4	磁盘调度	212	第 6 章 数据库技术基础		280
4.5	文件管理	215	6.1	基本概念	280
4.5.1	基本概念	215	6.1.1	数据库与数据库管理系统	280
4.5.2	文件的结构和组织	216	6.1.2	数据库技术的发展	282
4.5.3	文件目录	218	6.1.3	DBMS 的功能和特点	285
4.5.4	存取方法和存储空间的管理	220	6.1.4	数据库系统的体系结构	287
4.5.5	文件的使用	221	6.1.5	数据库系统的三级模式结构	290
4.5.6	文件的共享和保护	222	6.2	数据模型	293
4.5.7	系统的安全与可靠性	224	6.2.1	数据模型的基本概念	293
4.6	作业管理	225	6.2.2	数据模型的三要素	294
4.6.1	基本概念	225	6.2.3	E-R 模型	294
4.6.2	作业调度	226	6.2.4	基本的数据模型	303
4.6.3	用户界面	228	6.3	数据存储和查询	307
第 5 章 网络基础知识		230	6.3.1	存储管理器	307
5.1	计算机网络概述	230	6.3.2	查询处理器	307
5.1.1	计算机网络的概念	230	6.4	数据仓库和数据挖掘基础知识	307
5.1.2	计算机网络的分类	233	6.4.1	数据仓库	308
5.1.3	网络的拓扑结构	234	6.4.2	数据挖掘	312
5.2	网络硬件基础	236			

第7章 关系数据库	316	8.2.2 SQL的基本组成.....	363
7.1 关系数据库概述.....	316	8.3 数据库定义.....	363
7.1.1 基础知识.....	316	8.3.1 基本域类型.....	363
7.1.2 关系数据库模式.....	319	8.3.2 创建表 (CREATE TABLE).....	364
7.1.3 关系的完整性约束.....	320	8.3.3 修改表和删除表.....	365
7.2 关系运算.....	320	8.3.4 创建和删除索引.....	365
7.2.1 关系代数运算.....	321	8.3.5 视图创建和删除.....	367
7.2.2 五种基本的关系代数运算.....	321	8.4 数据操作.....	368
7.2.3 扩展的关系运算.....	323	8.4.1 Select 基本结构.....	368
7.3 元组演算.....	333	8.4.2 简单查询.....	369
7.3.1 原子公式.....	333	8.4.3 连接查询.....	370
7.3.2 公式的定义.....	333	8.4.4 子查询与聚集函数.....	370
7.3.3 关系代数运算转换为元组 演算表达式.....	334	8.4.5 分组查询.....	373
7.4 域演算.....	337	8.4.6 更名操作.....	374
7.4.1 原子公式.....	337	8.4.7 字符串操作.....	375
7.4.2 公式的定义.....	337	8.4.8 集合操作.....	376
7.4.3 举例.....	338	8.4.9 视图查询与更新.....	377
7.5 查询优化.....	339	8.5 SQL中的授权.....	379
7.5.1 基本概念.....	339	8.5.1 主键 (Primary Key) 约束.....	379
7.5.2 关系代数表达式中的查询 优化.....	340	8.5.2 外键 (Foreign Key) 约束.....	381
7.6 关系数据库设计基础理论.....	343	8.5.3 属性值上的约束.....	382
7.6.1 基础知识.....	343	8.5.4 全局约束.....	382
7.6.2 规范化.....	346	8.5.5 授权 (GRANT) 与销权 (REVOKE).....	383
7.6.3 Armstrong 公理系统.....	350	8.6 创建与删除触发器.....	385
7.6.4 模式分解及分解后的特性.....	353	8.6.1 概述.....	386
第8章 SQL语言	360	8.6.2 创建触发器.....	386
8.1 数据库语言.....	360	8.6.3 更改和删除触发器.....	389
8.1.1 数据库语言概述.....	360	8.7 嵌入式SQL.....	390
8.1.2 数据库语言的分类.....	361	8.7.1 SQL与宿主语言接口.....	390
8.2 SQL概述.....	361	8.7.2 动态SQL.....	393
8.2.1 SQL语言的特征.....	361	8.8 SQL-99所支持的对象关系模型.....	394
		8.8.1 嵌套关系.....	394

8.8.2	复杂类型	396	第 10 章 数据库设计	474
8.8.3	继承	400	10.1 数据库设计概述	474
8.8.4	引用类型	403	10.1.1 数据库应用系统的生命期	474
8.8.5	与复杂类型有关的查询	403	10.1.2 数据库设计的一般策略	475
8.8.6	函数和过程	406	10.1.3 数据库设计的基本步骤	475
第 9 章 系统开发和运行知识		411	10.2 系统需求分析	476
9.1 软件工程基础知识		411	10.2.1 需求分析的任务、方法和目标	477
9.1.1 软件工程基本原理		411	10.2.2 需求分析阶段的文档	478
9.1.2 软件生存周期模型		413	10.2.3 案例分析	478
9.1.3 软件开发方法		418	10.3 概念结构设计	480
9.1.4 软件项目管理		420	10.3.1 概念结构设计策略与方法	481
9.1.5 软件工具与开发环境		425	10.3.2 用 E-R 方法建立概念模型	482
9.2 系统分析基础知识		427	10.4 逻辑结构设计	484
9.2.1 系统分析概述		427	10.4.1 E-R 图向关系模式的转换	484
9.2.2 需求分析		428	10.4.2 关系模式的规范化	485
9.2.3 结构化分析方法		429	10.4.3 确定完整性约束	486
9.2.4 面向对象分析方法		435	10.4.4 用户视图的确定	486
9.3 系统设计基础知识		448	10.4.5 应用程序设计	486
9.3.1 系统设计内容和步骤		448	10.5 数据库的物理设计	488
9.3.2 系统设计的基本原理		449	10.5.1 数据库物理设计工作过程	488
9.3.3 系统模块结构设计		451	10.5.2 数据库物理设计工作步骤	489
9.3.4 结构化设计方法		453	10.6 数据库系统的实施阶段	491
9.3.5 面向对象设计方法		455	10.7 数据库运行维护与管理	494
9.3.6 系统输入输出设计		457	10.7.1 制订数据库系统的运行计划	494
9.3.7 处理过程设计		458	10.7.2 数据库系统的运行和维护	502
9.4 系统实施基础知识		459	10.7.3 数据库系统的管理	499
9.4.1 系统实施概述		459	10.7.4 性能调整	501
9.4.2 系统测试		460	10.7.5 用户支持	503
9.4.3 测试策略和测试方法		462	第 11 章 事务管理	504
9.4.4 系统转换		469	11.1 事务的基本概念	504
9.5 系统运行与维护基础知识		470		
9.5.1 系统维护概述		470		
9.5.2 系统评价		472		

11.1.1 事务	504	12.3 XML 与数据库	562
11.1.2 事务的特性	505	12.3.1 什么是 XML	562
11.1.3 事务的状态	506	12.3.2 XML 的文件存储面临的问题	563
11.2 数据库的并发控制	508	12.3.3 XML 与数据库的数据转换	564
11.2.1 事务调度	509	12.4 面向对象数据库	568
11.2.2 并发操作带来的问题	511	12.4.1 面向对象数据库系统的特征	569
11.2.3 并发调度的可串行性	513	12.4.2 面向对象数据模型	570
11.2.4 并发控制技术	515	12.4.3 面向对象数据库语言	574
11.2.5 两段锁协议	516	12.4.4 对象关系数据库系统	576
11.2.6 多粒度封锁协议	517	12.5 决策支持系统与数据库	582
11.2.7 案例分析	520	12.5.1 决策支持系统的概念	582
11.3 数据库的备份与恢复	522	12.5.2 数据仓库设计	584
11.3.1 数据库系统故障种类	522	12.5.3 数据转移技术	587
11.3.2 数据库备份	523	12.5.4 联机分析处理 (OLAP)	591
11.3.3 数据库恢复	524	12.5.5 联机事务处理 (OLTP)	594
11.4 数据库的安全性与完整性	525	12.6 非关系型数据库 NoSQL	597
11.4.1 数据库的安全性	525	12.6.1 NoSQL 概述	597
11.4.2 数据库的完整性	530	12.6.2 相关理论基础	598
第 12 章 数据库发展和新技术	532	12.6.3 NoSQL 数据库的种类	606
12.1 分布式数据库	532	第 13 章 标准化和知识产权基础知识	622
12.1.1 分布式数据库的概念	533	13.1 标准化基础知识	622
12.1.2 分布式数据库的体系结构	536	13.1.1 标准化的基本概念	622
12.1.3 分布式查询处理和优化	545	13.1.2 信息技术标准化	625
12.1.4 分布事务管理	546	13.1.3 标准化组织	627
12.1.5 新型分布式海量数据库	554	13.1.4 ISO 9000 标准简介	629
12.2 Web 与数据库	555	13.1.5 能力成熟度模型简介	630
12.2.1 Web 概述	555	13.2 知识产权基础知识	632
12.2.2 Web 服务器脚本程序与服务器的接口	557	13.2.1 知识产权基本概念	632
12.2.3 CGI 的应用	558	13.2.2 计算机软件著作权	634
12.2.4 ASP 的应用	559	13.2.3 计算机软件的商业秘密权	646
12.2.5 Servlet 和 JSP 的应用	561	13.2.4 专利权概述	648

第 14 章 数据库案例分析	654	14.2 数据库设计应用案例.....	661
14.1 SQL 应用案例.....	654	14.2.1 高校实验室管理信息系统.....	661
14.1.1 SQL 应用案例一.....	654	14.2.2 旅游管理信息系统.....	665
14.1.2 SQL 应用案例二.....	657	14.2.3 图书管理信息系统.....	669

第 1 章 计算机系统知识

1.1 计算机系统基础知识

计算机系统是由硬件和软件组成的，它们协同工作来运行程序。计算机的基本硬件系统由运算器、控制器、存储器、输入设备和输出设备 5 大部件组成。运算器、控制器等部件被集成在一起统称为中央处理单元（Central Processing Unit, CPU）。CPU 是硬件系统的核心，用于数据的加工处理，能完成算术运算、逻辑运算及控制功能。存储器是计算机系统记忆设备，分为内部存储器和外部存储器。前者速度高、容量小，一般用于存储运行过程中的程序、数据及中间结果。而后者容量大、速度慢，可以长期保存程序和数据。输入设备和输出设备合称为外部设备（简称外设），输入设备用于输入原始数据及各种命令，而输出设备则用于输出计算机运行的结果。

1.1.1 中央处理单元

中央处理单元（CPU）是计算机系统的核心部件，它负责获取程序指令、对指令进行译码并加以执行。

1. CPU 的功能

（1）程序控制。CPU 按照程序的安排来执行指令，保证程序指令严格按照规定的顺序执行，通过执行程序控制计算机的行为。

（2）操作控制。一条指令功能的实现需要若干操作信号来完成，CPU 产生每条指令的操作信号并将操作信号送往不同的部件，控制相应的部件按指令的功能要求进行操作。

（3）时间控制。CPU 对每条指令的整个执行时间要进行严格控制。同时，指令执行过程中操作信号的出现时间、持续时间及出现的时间顺序都需要进行严格控制。

（4）数据处理。CPU 通过对数据进行算术运算及逻辑运算等方式进行加工处理，数据加工处理的结果为人们所使用。所以，对数据的加工处理是 CPU 最根本的任务。

此外，CPU 还需要对系统内部和外部的中断（异常）做出响应，进行相应的处理。

2. CPU 的组成

CPU 主要由运算器、控制器、寄存器组和内部总线等部件组成，如图 1-1 所示。

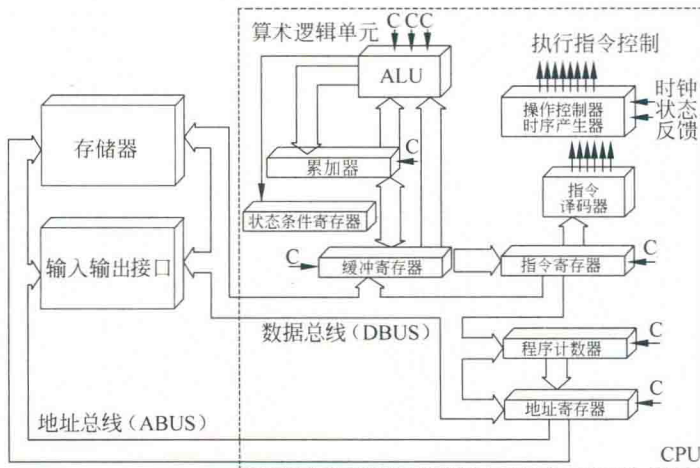


图 1-1 CPU 基本组成结构示意图

1) 运算器

运算器包括算术逻辑单元 (Arithmetic and Logic Unit, ALU)、累加器、缓冲寄存器和状态条件寄存器等，它是数据加工处理部件，完成所规定的各种算术和逻辑运算。相对控制器而言，运算器接受控制器的命令而进行动作，即运算器所进行的全部操作都是由控制器发出的控制信号来指挥的，所以它是执行部件。运算器有如下两个主要功能。

- (1) 执行所有的算术运算，如加、减、乘、除等基本运算及附加运算。
- (2) 执行所有的逻辑运算并进行逻辑测试，如与、或、非、零值测试或两个值的比较等。

下面简要介绍运算器中各部件的组成和功能。

(1) 算术逻辑单元。ALU 是运算器的重要组成部分，负责处理数据，实现对数据的算术运算和逻辑运算。

(2) 累加寄存器 (AC)。AC 通常简称为累加器，它是一个通用寄存器。其功能是当运算器的算术逻辑单元执行算术或逻辑运算时，为 ALU 提供一个工作区。例如，在执行一个减法运算前，先将减数暂存在 AC 中，再从内存储器中取出减数，然后与 AC 的内容相减，所得的结果送回 AC 暂存。

(3) 数据缓冲寄存器 (DR)。在对内存储器进行读写操作时，用 DR 暂时存放由内存储器

读写的一条指令或一个数据字，将不同时间段内读写的数据隔离开来。DR 的主要作用为：作为 CPU 和内存、外部设备之间数据传送的中转站；作为 CPU 和内存、外围设备之间在操作速度上的缓冲；在单累加器结构的运算器中，数据缓冲寄存器还可兼作为操作数寄存器。

(4) 状态条件寄存器 (PSW)。PSW 保存根据算术指令和逻辑指令运行或测试的结果建立的各种条件码内容，主要分为状态标志和控制标志，如运算结果进位标志 (C)、运算结果溢出标志 (V)、运算结果为 0 标志 (Z)、运算结果为负标志 (N)、中断标志 (I)、方向标志 (D) 和单步标志等。这些标志通常分别由 1 位触发器保存，保存了当前指令执行完成之后的状态。通常，一个算术操作产生一个运算结果，而一个逻辑操作则产生一个判决。

2) 控制器

控制器用于控制整个 CPU 的工作，它决定了计算机运行过程的自动化。它不仅要保证程序的正确执行，而且要能够处理异常事件。控制器一般包括指令控制逻辑、时序控制逻辑、总线控制逻辑和中断控制逻辑等几个部分。

指令控制逻辑要完成取指令、分析指令和执行指令的操作，其过程分为取指令、指令译码、按指令操作码执行、形成下一条指令地址等步骤。控制器在工作过程中主要使用下述几个部件。

(1) 指令寄存器 (IR)。当 CPU 执行一条指令时，先把它从内存存储器取到缓冲寄存器中，再送入 IR 暂存，指令译码器根据 IR 的内容产生各种微操作指令，控制其他部件协调工作，完成指令的功能。

(2) 程序计数器 (PC)。PC 具有寄存信息和计数两种功能，又称为指令计数器。程序的执行分两种情况，一是顺序执行，二是转移执行。在程序开始执行前，将程序的起始地址送入 PC，该地址在程序加载到内存时确定，因此 PC 的内容即是程序第一条指令的地址。执行指令时，CPU 将自动修改 PC 的内容，以便使其保持的总是将要执行的下一条指令的地址。由于大多数指令都是按顺序来执行的，所以修改的过程通常只是简单地对 PC 加 1。当遇到转移指令时，后继指令的地址根据当前指令的地址加上一个向前或向后转移的位移量产生，或者根据转移指令给出的直接转移的地址产生，再送入 PC。

(3) 地址寄存器 (AR)。AR 保存当前 CPU 所访问的内存单元的地址。由于内存和 CPU 存在着操作速度上的差异，所以需要 AR 保持地址信息，直到内存的读/写操作完成为止。

(4) 指令译码器 (ID)。指令包含操作码和地址码两部分，为了能执行任何给定的指令，必须对操作码进行分析，以便识别要进行的操作。指令译码器就是对指令中的操作码字段进行分析解释，识别该指令规定的操作，向操作控制器发出具体的控制信号，控制各部件工作，完成所需的功能。

时序控制逻辑要为每条指令按时间顺序提供应有的控制信号。总线逻辑是为多个功能部件

服务的信息通路的控制电路。中断控制逻辑用于控制各种中断请求，并根据优先级的高低对中断请求进行排队，逐个交给 CPU 处理。

3) 寄存器组

寄存器组可分为专用寄存器和通用寄存器。运算器和控制器中的寄存器是专用寄存器，其作用是固定的。通用寄存器用途广泛并可由程序员规定其用途，其数目因处理器不同有所差异。

3. 多核 CPU

CPU 的核心又称为内核，是 CPU 最重要的组成部分。CPU 中心那块隆起的芯片就是核心，是由单晶硅以一定的生产工艺制造出来的，CPU 所有的计算、接收/存储命令、处理数据都由核心执行。各种 CPU 核心都具有固定的逻辑结构，一级缓存、二级缓存、执行单元、指令级单元和总线接口等逻辑单元都需要合理的布局。

多核即在一个单芯片上面集成两个甚至更多个处理器内核，其中每个内核都有自己的逻辑单元、控制单元、中断处理器、运算单元，一级 Cache、二级 Cache 共享或独有，其部件的完整性和单核处理器内核相比完全一致。

起初，CPU 的主要厂商 AMD 和 Intel 的双核技术在物理结构上有很大不同。AMD 将两个内核做在一个 Die（晶元）上，通过直连架构连接起来，集成度更高。Intel 则是将放在不同核心上的两个内核封装在一起，因此有人将 Intel 的方案称为“双芯”，将 AMD 的方案称为“双核”。从用户端的角度来看，AMD 的方案能够使双核 CPU 的管脚、功耗等指标跟单核 CPU 保持一致，从单核升级到双核，不需要更换电源、芯片组、散热系统和主板，只需要刷新 BIOS 软件即可。

多核 CPU 系统最大的优点（也是开发的最主要目的）是可满足用户同时进行多任务处理等要求。

单核多线程 CPU 是交替地转换执行多个任务，只不过交替转换的时间很短，用户一般感觉不出来。如果同时执行的任务太多，就会感觉到“慢”或者“卡”。而多核在理论上则是在任何时间内每个核各执行各自的任務，不存在交替问题。因此，单核多线程和多核（一般每核也是多线程的）虽然都可以执行多任务，但多核的速度更快。

虽然采用了 Intel 超线程技术的单核可以视为双核，4 核可以视为 8 核。然而，视为 8 核一般比不上实际是 8 核的 CPU 性能。

要发挥 CPU 的多核性能，就需要操作系统能够及时、合理地给各个核分配任务和资源（如缓存、总线、内存等），也需要应用软件在运行时可以把并行的线程同时交付给多个核心分别处理。

1.1.2 数据表示和校验

各种数值在计算机中表示的形式称为机器数，其特点是采用二进制计数制，数的符号用0、1表示，小数点则隐含表示而不占位置。机器数对应的实际数值称为数的真值。

机器数有无符号数和带符号数之分。无符号数表示正数，在机器数中没有符号位。对于无符号数，若约定小数点的位置在机器数的最低位之后，则是纯整数；若约定小数点的位置在机器数的最高位之前，则是纯小数。对于带符号数，机器数的最高位是表示正、负的符号位，其余位则表示数值。若约定小数点的位置在机器数的最低数值位之后，则是纯整数；若约定小数点的位置在机器数的最高数值位之前（符号位之后），则是纯小数。

1. 数值数据编码

为了便于运算，带符号的机器数可采用原码、反码和补码等不同的编码方法。

(1) 原码表示法。数值 X 的原码记为 $[X]_{\text{原}}$ ，如果机器字长为 n （即采用 n 个二进制位表示数据），则原码的定义如下：

$$\text{若 } X \text{ 是纯整数, 则 } [X]_{\text{原}} = \begin{cases} X & 0 \leq X \leq 2^{n-1} - 1 \\ 2^{n-1} + |X| & -(2^{n-1} - 1) \leq X \leq 0 \end{cases}$$

$$\text{若 } X \text{ 是纯小数, 则 } [X]_{\text{原}} = \begin{cases} X & 0 \leq X < 1 \\ 2^0 + |X| & -1 < X \leq 0 \end{cases}$$

【例 1.1】 若机器字长 n 等于 8，分别给出 +1，-1，+127，-127，+45，-45，+0.5，-0.5 的原码表示。

$$[+1]_{\text{原}} = 0 \ 0000001 \quad [-1]_{\text{原}} = 1 \ 0000001$$

$$[+127]_{\text{原}} = 0 \ 1111111 \quad [-127]_{\text{原}} = 1 \ 1111111$$

$$[+45]_{\text{原}} = 0 \ 0101101 \quad [-45]_{\text{原}} = 1 \ 0101101$$

$$[+0.5]_{\text{原}} = 0 \ \diamond 1000000 \quad [-0.5]_{\text{原}} = 1 \ \diamond 1000000 \quad (\text{其中 } \diamond \text{ 是小数点的位置})$$

在原码表示法中，最高位是符号位，0 表示正号，1 表示负号，其余的 $n-1$ 位表示数值的绝对值。数值 0 的原码表示有两种形式： $[+0]_{\text{原}} = 0 \ 0000000$ ， $[-0]_{\text{原}} = 1 \ 0000000$ 。

(2) 反码表示法。数值 X 的反码记作 $[X]_{\text{反}}$ ，如果机器字长为 n ，则反码定义如下：

$$\text{若 } X \text{ 是纯整数, 则 } [X]_{\text{反}} = \begin{cases} X & 0 \leq X \leq 2^{n-1} - 1 \\ 2^n - 1 + X & -(2^{n-1} - 1) \leq X \leq 0 \end{cases}$$

$$\text{若 } X \text{ 是纯小数, 则 } [X]_{\text{反}} = \begin{cases} X & 0 \leq X < 1 \\ 2 - 2^{-(n-1)} + X & -1 < X \leq 0 \end{cases}$$

【例 1.2】 若机器字长 n 等于 8，分别给出 +1，-1，+127，-127，+45，-45，+0.5，-0.5

的反码表示。

$$\begin{aligned}
 [+1]_{\text{反}} &= 0\ 0000001 & [-1]_{\text{反}} &= 1\ 1111110 \\
 [+127]_{\text{反}} &= 0\ 1111111 & [-127]_{\text{反}} &= 1\ 0000000 \\
 [+45]_{\text{反}} &= 0\ 0101101 & [-45]_{\text{反}} &= 1\ 1010010 \\
 [+0.5]_{\text{反}} &= 0\ \diamond 1000000 & [-0.5]_{\text{反}} &= 1\ \diamond 0111111 \quad (\text{其中 } \diamond \text{ 是小数点的位置})
 \end{aligned}$$

在反码表示中，最高位是符号位，0 表示正号，1 表示负号，正数的反码与原码相同，负数的反码则是其绝对值按位求反。数值 0 的反码表示有两种形式： $[+0]_{\text{反}}=0\ 0000000$ ， $[-0]_{\text{反}}=1\ 1111111$ 。

(3) 补码表示法。数值 X 的补码记作 $[X]_{\text{补}}$ ，如果机器字长为 n ，则补码定义如下：

$$\begin{aligned}
 \text{若 } X \text{ 是纯整数, 则 } [X]_{\text{补}} &= \begin{cases} X & 0 \leq X \leq 2^{n-1} - 1 \\ 2^n + X & -2^{n-1} \leq X \leq 0 \end{cases} \\
 \text{若 } X \text{ 是纯小数, 则 } [X]_{\text{补}} &= \begin{cases} X & 0 \leq X < 1 \\ 2 + X & -1 \leq X < 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

【例 1.3】 若机器字长 n 等于 8，分别给出 +1，-1，+127，-127，+45，-45，+0.5，-0.5 的补码表示。

$$\begin{aligned}
 [+1]_{\text{补}} &= 0\ 0000001 & [-1]_{\text{补}} &= 1\ 1111111 \\
 [-1]_{\text{补}} &= 0\ 1111111 & [-1]_{\text{补}} &= 1\ 0000001 \\
 [+45]_{\text{补}} &= 0\ 0101101 & [-45]_{\text{补}} &= 1\ 1010011 \\
 [+0.5]_{\text{补}} &= 0\ \diamond 1000000 & [-0.5]_{\text{补}} &= 1\ \diamond 1000000 \quad (\text{其中 } \diamond \text{ 是小数点的位置})
 \end{aligned}$$

在补码表示中，最高位为符号位，0 表示正号，1 表示负号，正数的补码与其原码和反码相同，负数的补码则等于其反码的末尾加 1。在补码表示中，0 有唯一的编码： $[+0]_{\text{补}}=0\ 0000000$ ， $[-0]_{\text{补}}=00000000$ 。

(4) 移码表示法。移码表示法是在数 X 上增加一个偏移量来定义的，常用于表示浮点数中的阶码。如果机器字长为 n ，规定偏移量为 2^{n-1} ，则移码定义如下：

若 X 是纯整数，则 $[X]_{\text{移}} = 2^{n-1} + X$ ($-2^{n-1} \leq X < 2^{n-1}$)；若 X 是纯小数，则 $[X]_{\text{移}} = 1 + X$ ($-1 \leq X < 1$)。

【例 1.4】 若机器字长 n 等于 8，分别给出 +1，-1，+127，-127，+45，-45，+0.5，-0.5，+0，-0 的移码表示。

$$\begin{aligned}
 [+1]_{\text{移}} &= 1\ 0000001 & [-1]_{\text{移}} &= 0\ 1111111 \\
 [+127]_{\text{移}} &= 1\ 1111111 & [-127]_{\text{移}} &= 0\ 0000001 \\
 [+45]_{\text{移}} &= 1\ 0101101 & [-45]_{\text{移}} &= 0\ 1010011 \\
 [+0.5]_{\text{移}} &= 1\ \diamond 1000000 & [-0.5]_{\text{移}} &= 0\ \diamond 1000000 \quad (\text{其中 } \diamond \text{ 是小数点的位置})
 \end{aligned}$$