



全国计算机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2版)

王亚平 主编

丛书主编 全国计算机专业技术资格考试办公室



清华大学出版社

TP311.13/158=2

全国计算机技术与软件专业技术资格（水

2013

数据库系统工程师教程 (第2版)

王亚平 主编

张淑平 刘强 褚华 严体华 高海昌 苏向阳 编著
丛书主编 全国计算机专业技术资格考试办公室

北方工业大学图书馆



C00337552

RFID

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书作为中级职称的软考指定教材, 具有比较权威的指导意义。本书根据新编《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(2013 版), 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》进行了认真的修编, 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

数据库系统工程师教程 / 王亚平主编. —2 版. —北京: 清华大学出版社, 2013.8
(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 978-7-302-32657-1

I. ①数… II. ①王… III. ①数据库系统-工程技术人员-资格考试-教材 IV. ①TP311.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 122393 号

责任编辑: 柴文强
封面设计: 傅瑞学
责任校对: 徐俊伟
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

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 北京市密云县京文制本装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×230mm 印 张: 44.75 防伪页: 1 字 数: 1034 千字

版 次: 2004 年 7 月第 1 版 2013 年 8 月第 2 版 印 次: 2013 年 8 月第 1 次印刷

印 数: 1~8000

定 价: 72.00 元

产品编号: 053667-01

序 言

由人力资源和社会保障部、工业和信息化部共同组织的“全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试”（简称软考），肩负着科学评价选拔软件专业技术人才的光荣使命，肩负着正确引导软件行业专业技术人员潜心钻研、提高能力、加强创新的光荣使命，肩负着加强软件行业专业技术人员队伍建设的光荣使命。自1991年开考以来，软考坚持专业化、国际化、品牌化的发展方向，全国累计报名人数330万人，培养选拔软件行业专业技术人员64万人，部分考试标准与日本、韩国互认，为全国计算机和软件专业技术人员（包括香港、澳门和台湾地区来大陆就业的人员）提供了科学的评价体系和评价机制，为推动“两化”深度融合，提高工业信息化水平，走新型工业化道路提供了有力支撑。

党中央、国务院一直高度重视信息技术产业发展。以2000年的《国务院关于印发鼓励软件产业和集成电路产业发展的若干政策的通知》（国发【2000】18号文件）和2011年的《国务院关于印发进一步鼓励软件产业和集成电路产业发展的若干政策的通知》（国发【2011】4号文件）为重要标志的一系列政策措施，为软件产业和集成电路产业乃至整个信息技术产业发展提供了强劲动力。2011年，我国软件产业实现业务收入超过1.84万亿元，产业规模是2005年的4.7倍，同比增长32.4%，超过“十一五”期间平均增速4.4个百分点，实现了“十二五”的良好开局。软件产业占电子信息产业比重从2000年的5.8%上升到19.9%。软件企业数量超过3万家，从业人数超过300万人。2012年上半年，我国软件产业实现软件业务收入10988亿元，同比增长26.2%。软件和信息服务业的持续快速发展，国民经济和社会信息化建设的深入开展，使软件人才和信息技术人才供给不足的问题依旧突出。按照国发【2011】4号文件提出的“努力培养国际化、复合型、实用性人才”的要求，工业和信息化部教育与考试中心组织一批理论水平高、实践经验丰富的专家学者和业界精英，结合考试大纲和软件产业技术发展趋势，对原有的“全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试教材和辅导用书”进行了更新，为广大软件行业从业人员提高学习能力、实践能力、创新能力和职业道德水平提供了依据。

当前，我国正处在全面建成小康社会的决定性阶段。坚持走中国特色新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化道路，推动信息化和工业化深度融合、工业化和城镇化良性互动、城镇化和农业现代化相互协调，促进工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展，是党中央的重要战略部署。造就规模宏大、素质优良的人才队伍，推动我国由人才大国迈向人才强国，既是构成这一重要战略部署的紧迫任务，也是实施这一重要战略部署的关键措施。从现在起至全面建成小康社会的这一历史时期，信息技术仍然是走中国特色新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化道路的先导性技术；全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试也应该看做是落实党的十八大关于“推进各类人才队伍建设，实施重大人才工程，加大创新创业人才培养支持力度，重视实用人才培养”指示的重要组成部分。好雨知时节，当春乃发生——我相信，全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试教材和辅导用书的及时更新必将为我国信息技术人才队伍发展壮大、为软件和信息服务业做大做强、为服务经济转型升级做出更大的贡献；同时我们也要注意，近年来，以云计算、物联网、移动互联网和大数据技术等为热点的新一代信息技术，正在对软件和信息服务业带来一系列深刻变化，也对软件和信息技术在各个领域的应用产生重要影响，我希望，在保持这套教材和辅导用书在一个时期内相对稳定的同时，也要注意及时反映信息技术的新变化、新进展，以跟上软件和信息服务业蓬勃发展的需要，跟上信息化以及新型工业化、城镇化和农业现代化建设蓬勃发展的需要。

苏波

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》一书进行修订,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到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。

第2章主要介绍数据结构中线性结构、数组、矩阵、广义表、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,详细阐述了分治法、动态规划法、贪心法、回溯法、分支界限法、概率算法以及近似算法。

第3章主要介绍操作系统中处理机管理、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4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章主要介绍多媒体的基本概念、声音的基本概念和格式、图形和图像、动画和视频、多媒体网络和多媒体计算机系统。

第7章主要介绍数据库的基本概念、数据模型、关系代数、SQL语言、规范化理论和事务处理。

第8章主要介绍关系模型的基本知识、关系数据库语言、关系代数运算、关系的完整性约束、查询优化以及关系数据理论。

第9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）、SQL数据控制语言（安全性和授权、事务处理）以及嵌入式SQL。

第10章主要介绍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，介绍了设计模式的概念和应用。

第11章主要介绍数据库应用系统结构设计、输入输出设计、物理数据设计以及安全体系设计，重点介绍数据库应用系统设计案例。

第12章主要介绍数据库系统的运行计划、数据库系统的运行和维护、数据库管理、性能调整以及用户支持。

第13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DBMS技术以及数据库系统的发展趋势。

第14章标准化和软件知识产权基础知识主要介绍标准化与知识产权基础知识。

本书第1章、第2章、第4章由张淑平编写，第3章、第7章、第8章、第9章、第11章由王亚平编写，第5章由严体华编写，第6章由刘强编写，第10章由褚华编写，第12章由王亚平、苏向阳编写，第13章由高海昌编写，第14章由刘强编写，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

2013年6月

目 录

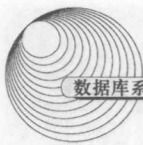
第 1 章 计算机系统知识	1
1.1 计算机系统基础知识.....	1
1.1.1 计算机系统硬件基本组成.....	1
1.1.2 中央处理单元.....	1
1.1.3 数据表示.....	4
1.1.4 校验码.....	9
1.2 计算机体系结构.....	11
1.2.1 计算机体系结构的发展.....	11
1.2.2 存储系统.....	19
1.2.3 输入输出技术.....	28
1.2.4 总线结构.....	32
1.3 安全性、可靠性与系统性能评测基础知识.....	34
1.3.1 计算机安全概述.....	34
1.3.2 加密技术和认证技术.....	36
1.3.3 计算机可靠性.....	44
1.3.4 计算机系统的性能评价.....	47
第 2 章 数据结构与算法	51
2.1 线性结构.....	51
2.1.1 线性表.....	51
2.1.2 栈和队列.....	57
2.1.3 串.....	62
2.2 数组和矩阵.....	64
2.3 树和图.....	67
2.3.1 树.....	67
2.3.2 图.....	74
2.4 常用算法.....	79
2.4.1 算法概述.....	79
2.4.2 排序算法.....	83
2.4.3 查找算法.....	91
2.4.4 字符串处理算法.....	99
2.4.5 递归算法.....	102
2.4.6 图的相关算法.....	103
第 3 章 操作系统知识	108
3.1 操作系统基础知识.....	108
3.1.1 操作系统的定义与作用.....	108
3.1.2 操作系统的特征与功能.....	108
3.1.3 操作系统的类型.....	109
3.2 处理机管理.....	112
3.2.1 基本概念.....	112
3.2.2 进程的控制.....	116
3.2.3 进程间的通信.....	117
3.2.4 管程.....	121
3.2.5 进程调度.....	123
3.2.6 死锁.....	125
3.2.7 线程.....	129
3.3 存储管理.....	129
3.3.1 基本概念.....	130
3.3.2 存储管理方案.....	131
3.3.3 分页存储管理.....	132
3.3.4 分段存储管理.....	135
3.3.5 段页式存储管理.....	136
3.3.6 虚拟存储管理.....	137
3.4 设备管理.....	142
3.4.1 设备管理概述.....	142
3.4.2 I/O 软件.....	143
3.4.3 设备管理采用的相关缓冲技术.....	144
3.4.4 磁盘调度.....	146
3.5 文件管理.....	148
3.5.1 文件与文件系统.....	149
3.5.2 文件的结构和组织.....	150
3.5.3 文件目录.....	151
3.5.4 存取方法和存储空间的管理.....	153

3.5.5 文件的使用	155	5.4.2 局域网协议	229
3.5.6 文件的共享和保护	155	5.4.3 广域网协议	233
3.5.7 系统的安全与可靠性	157	5.4.4 TCP/IP 协议簇	238
3.6 作业管理	159	5.5 Internet 及应用	243
3.6.1 作业与作业控制	159	5.5.1 Internet 概述	243
3.6.2 作业调度	160	5.5.2 Internet 地址	244
3.6.3 用户界面	161	5.5.3 Internet 服务	252
3.7 网络与嵌入式操作系统基础知识	162	5.6 网络安全	257
3.7.1 网络操作系统	162	5.6.1 网络安全概述	258
3.7.2 嵌入式操作系统	163	5.6.2 网络的信息安全	260
3.8 UNIX 操作系统实例	164	5.6.3 防火墙技术	264
3.8.1 UNIX 操作系统	164	第 6 章 多媒体基础知识	271
3.8.2 UNIX 文件系统	164	6.1 多媒体的基本概念	271
3.8.3 UNIX 进程与存储管理	166	6.1.1 多媒体基本概念	271
3.8.4 UNIX 设备管理	166	6.1.2 虚拟现实基本概念	273
3.8.5 shell 程序	168	6.2 声音	274
第 4 章 程序语言基础知识	173	6.2.1 基本概念	274
4.1 程序语言概述	173	6.2.2 声音文件格式	280
4.1.1 程序语言的基本概念	173	6.3 图形和图像	281
4.1.2 程序语言的基本成分	178	6.3.1 基础知识	281
4.2 语言处理程序基础	183	6.3.2 图形、图像文件格式	288
4.2.1 汇编程序基本原理	184	6.4 动画和视频	290
4.2.2 编译程序基本原理	186	6.4.1 基础知识	290
4.2.3 解释程序基本原理	206	6.4.2 视频文件格式	297
第 5 章 网络基础知识	210	6.5 多媒体网络	298
5.1 网络概述	210	6.5.1 超文本与超媒体	299
5.1.1 计算机网络的概念	210	6.5.2 流媒体	300
5.1.2 计算机网络的分类	213	6.6 多媒体计算机系统	302
5.1.3 网络的拓扑结构	214	6.6.1 多媒体计算机硬件系统	302
5.2 ISO/OSI 网络体系结构	216	6.6.2 多媒体计算机软件系统	304
5.3 网络互连硬件	219	第 7 章 数据库技术基础	307
5.3.1 网络的设备	219	7.1 基本概念	307
5.3.2 网络的传输介质	222	7.1.1 数据库与数据库管理系统	307
5.3.3 组建网络	224	7.1.2 数据库技术的发展	309
5.4 网络的协议与标准	227	7.1.3 DBMS 的功能和特点	312
5.4.1 网络的标准	228	7.1.4 数据库系统的体系结构	314

7.1.5 数据库系统的三级模式结构	317	8.5.1 基本概念	380
7.2 数据模型	320	8.5.2 关系代数表达式中的查询优化	381
7.2.1 数据模型的基本概念	320	8.6 关系数据库设计基础理论	384
7.2.2 数据模型的三要素	321	8.6.1 基础知识	384
7.2.3 E-R 模型	321	8.6.2 规范化	386
7.2.4 层次模型	329	8.6.3 数据依赖的公理系统	391
7.2.5 网状模型	331	8.6.4 模式分解及分解应具有的特性	393
7.2.6 关系模型	332	第9章 SQL 语言	400
7.2.7 面向对象模型	333	9.1 数据库语言	400
7.3 数据库的控制功能	334	9.1.1 数据库语言概述 C	400
7.3.1 事务管理 (ACID 属性)	334	9.1.2 数据库语言的分类 C	401
7.3.2 故障恢复	336	9.2 SQL 概述	401
7.3.3 并发控制	339	9.2.1 SQL 语句的特征	401
7.3.4 安全性和授权	343	9.2.2 SQL 的基本组成	403
7.4 数据仓库和数据挖掘基础知识	348	9.3 数据库定义	403
7.4.1 数据仓库	348	9.3.1 基本域类型	403
7.4.2 数据挖掘	352	9.3.2 创建表 (CREATE TABLE)	404
第8章 关系数据库	357	9.3.3 修改表和删除表	405
8.1 概述	357	9.3.4 创建和删除索引	405
8.1.1 关系数据库的基本概念	357	9.3.5 视图创建和删除	407
8.1.2 关系数据库模式	360	9.4 数据操作	408
8.1.3 完整性约束	361	9.4.1 Select 基本结构	408
8.2 关系运算	361	9.4.2 简单查询	409
8.2.1 关系代数运算	362	9.4.3 连接查询	410
8.2.2 五种基本的关系代数运算	362	9.4.4 子查询与聚集函数	410
8.2.3 扩展的关系运算	364	9.4.5 分组查询	413
8.3 元组演算	374	9.4.6 更名操作	414
8.3.1 原子公式	374	9.4.7 字符串操作	415
8.3.2 公式的定义	374	9.4.8 集合操作 C	416
8.3.3 关系代数的五种基本运算转换为元组演算表达式	375	9.4.9 视图查询与更新	417
8.4 域演算	378	9.5 SQL 中的授权	419
8.4.1 原子公式	378	9.5.1 主键 (Primary Key) 约束	419
8.4.2 公式的定义	378	9.5.2 外键 (Foreign Key) 约束	421
8.4.3 举例	378	9.5.3 属性值上的约束	422
8.5 查询优化	380	9.5.4 全局约束 CREATE ASSERTIONS	422
		9.5.5 授权 (GRANT) 与销权 (REVOKE)	423

9.6 创建与删除触发器	425	10.3.7 处理过程设计	507
9.6.1 概述	426	10.3.8 用户界面设计	508
9.6.2 创建触发器	426	10.4 系统实施知识	509
9.6.3 更改和删除触发器	429	10.4.1 系统实施概述	509
9.7 嵌入式 SQL	430	10.4.3 系统测试	510
9.7.1 SQL 与宿主语言接口	430	10.4.4 测试策略和测试方法	512
9.7.2 动态 SQL	433	10.4.5 系统转换	519
9.8 SQL-99 所支持的对象关系模型	434	10.5 系统运行与维护知识	520
9.8.1 嵌套关系	434	10.5.1 系统维护概述	520
9.8.2 复杂类型	436	10.5.2 系统评价	522
9.8.3 继承	440	第 11 章 数据库设计	524
9.8.4 引用类型	443	11.1 数据库设计概述	524
9.8.5 与复杂类型有关的查询	443	11.1.1 数据库应用系统的生命期	524
9.8.6 函数和过程	446	11.1.2 数据库设计的一般策略	525
9.9 SQL 应用案例	450	11.1.3 数据库设计的步骤	525
9.9.1 应用案例一	450	11.2 系统需求分析	526
9.9.2 应用案例二	454	11.2.1 需求分析的任务、方法和目标	527
第 10 章 系统开发和运行知识	459	11.2.2 需求分析阶段的文档	528
10.1 软件工程基础知识	459	11.2.3 案例分析	528
10.1.1 软件工程基本原理	459	11.3 概念结构设计	530
10.1.2 软件生存周期模型	461	11.3.1 概念结构设计策略与方法	530
10.1.3 软件开发方法	466	11.3.2 用 E-R 方法建立概念模型	532
10.1.4 软件开发项目管理	468	11.4 逻辑结构设计	534
10.1.5 软件工具与软件开发环境	474	11.4.1 E-R 图向关系模式的转换	534
10.2 系统分析基础知识	475	11.4.2 关系模式的规范化	535
10.2.1 系统分析概述	476	11.4.3 确定完整性约束	536
10.2.2 软件需求分析	477	11.4.4 用户视图的确定	536
10.2.3 结构化分析方法	478	11.5 数据库的物理设计	536
10.2.4 面向对象分析方法	483	11.5.1 数据库物理设计工作过程	536
10.3 系统设计知识	496	11.5.2 数据库物理设计工作步骤	537
10.3.1 系统设计的内容和步骤	496	11.6 应用程序设计	539
10.3.2 系统设计的基本原理	498	11.7 数据库系统的实现	541
10.3.3 系统模块结构设计	500	11.8 数据库实施与维护	542
10.3.4 结构化设计方法	502	11.8.1 数据库实施	542
10.3.5 面向对象设计方法	504	11.8.2 数据库维护	544
10.3.6 系统输入输出设计	505	11.9 数据库的保护	545

11.9.1	事务的概念	545	第 13 章 数据库发展和新技术	574	
11.9.2	数据库的备份与恢复	546	13.1	分布式数据库	574
11.9.3	数据库的安全性	549	13.1.1	分布式数据库的概念	574
11.9.4	数据库的完整性	549	13.1.2	分布式数据库的体系结构	578
11.9.5	数据库的并发控制	550	13.1.3	分布式查询处理和优化	586
11.10	案例分析	553	13.1.4	分布事务管理	587
11.10.1	高校实验管理系统	553	13.1.5	分布式数据库系统的应用	595
11.10.2	旅游管理系统	556	13.2	Web 与数据库	596
11.10.3	图书管理	560	13.2.1	Web 概述	596
第 12 章 数据库运行与管理	565		13.2.2	Web 服务器脚本程序与服务器的接口	598
12.1	数据库系统的运行计划	565	13.2.3	CGI 的应用	600
12.1.1	运行策略的确定	565	13.2.4	ASP 的应用	600
12.1.2	确定数据库系统监控对象和监控方式	566	13.2.5	Servlet 和 JSP 的应用	603
12.1.3	数据库系统管理计划	567	13.3	XML 与数据库	604
12.2	数据库系统的运行和维护	567	13.3.1	什么是 XML	604
12.2.1	监控数据的收集与分析	567	13.3.2	XML 的文件存储面临的问题	605
12.2.2	稳定运行中的业务持续性	567	13.3.3	XML 与数据库的数据转换	606
12.2.3	数据库维护	568	13.4	面向对象数据库	609
12.2.4	数据库系统的运行统计	569	13.4.1	面向对象数据库系统的特征	610
12.2.5	数据库系统的审计	569	13.4.2	面向对象数据模型	611
12.3	数据库系统的管理	569	13.4.3	面向对象数据库语言	615
12.3.1	数据字典的管理	569	13.4.4	对象关系数据库系统	617
12.3.2	数据完整性维护和管理	570	13.5	决策支持系统与数据库	623
12.3.3	数据库的存储管理	570	13.5.1	决策支持系统的概念	623
12.3.4	备份和恢复	570	13.5.2	数据仓库设计	625
12.3.5	并发控制与死锁管理	571	13.5.3	数据转移技术	628
12.3.6	数据安全性管理	571	13.5.4	联机分析处理(OLAP)	632
12.4	性能调整	571	13.5.5	联机事务处理(OLTP)	636
12.4.1	SQL 语句的编码检验	571	13.6	非关系型数据库 NoSQL	638
12.4.2	表设计的评价	572	13.6.1	NoSQL 概述	638
12.4.3	索引改进	572	13.6.2	相关理论基础	639
12.4.4	设备增强	572	13.6.3	NoSQL 数据库的种类	647
12.5	用户支持	573	第 14 章 标准化和知识产权基础知识	661	
12.5.1	用户培训	573	14.1	标准化基础知识	661
12.5.2	售后服务	573	14.1.1	标准化的基本概念	661



14.1.2	信息技术标准化	669	14.2.2	计算机软件著作权	676
14.1.3	标准化组织	671	14.2.3	计算机软件商业秘密权	686
14.2	知识产权基础知识	674	14.2.4	专利权	688
14.2.1	知识产权基本概念	674	14.2.5	商标权	694

第 1 章 计算机系统知识

1.1 计算机系统基础知识

1.1.1 计算机系统硬件基本组成

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，能完成各种算术、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。前者速度快、容量小，一般用于临时存放程序、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。

1.1.2 中央处理单元

1. CPU 的功能

- (1) 程序控制。CPU 通过执行指令来控制程序的执行顺序，这是 CPU 的重要职能。
- (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 对各种操作进行时间上的控制，这就是时间控制。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被人们所利用。所以，对数据的加工处理是 CPU 最根本的任务。

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。

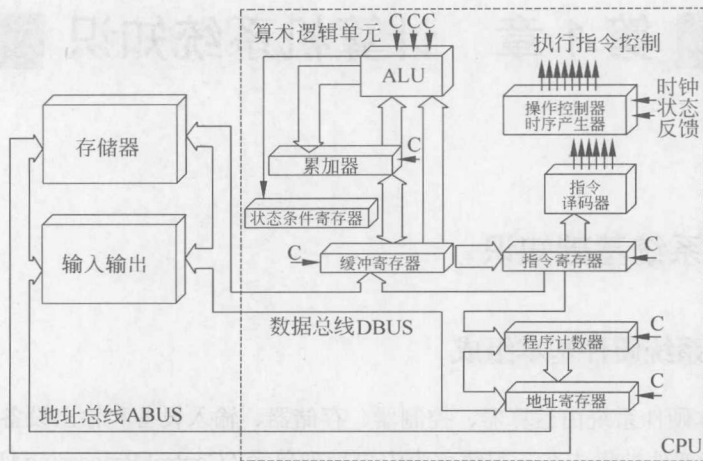


图 1-1 CPU 基本组成结构示意图

1) 运算器

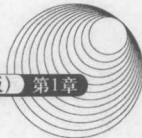
运算器由算术逻辑单元（Arithmetic and Logic Unit, ALU）、累加寄存器、数据缓冲寄存器和状态条件寄存器组成，它是数据加工处理部件，完成计算机的各种算术和逻辑运算。相对控制器而言，运算器接受控制器的命令而进行动作，即运算器所进行的全部操作都是由控制器发出的控制信号来指挥的，所以它是执行部件。运算器有如下两个主要功能。

- (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的各组成部件的组成和功能。

(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，先将被减数暂取出放在 AC 中，再从内存储器中取出减数，然后同 AC 的内容相减，所得的结果送回 AC 中。运算的结果是放在累加器中的，运算器中至少要有一个累加寄存器。

(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 保存由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

运算器只能完成运算, 而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。

(1) 指令寄存器 (IR)。当 CPU 执行一条指令时, 先把它从内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, 控制其他的组成部件工作, 完成所需的功能。

(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得到, 或者根据转移指令给出的直接转移的地址得到。

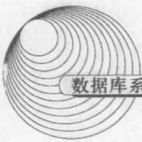
(3) 地址寄存器 (AR)。AR 保存当前 CPU 所访问的内存单元的地址。由于内存和 CPU 存在着操作速度上的差异, 所以需要 AR 保持地址信息, 直到内存的读/写操作完成为止。

(4) 指令译码器 (ID)。指令分为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, 以便识别所完成的操作。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

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会有科学的布局。

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。

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 将两个内核放在一个 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。

1.1.3 数据表示

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。

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,机器数的这些编码方法称为码制。

1) 原码、反码、补码和移码

(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