

全国计算机技术与软件专业技术资格(水平)考试用书

# 数据库系统工程师考试辅导 —— 考点精讲、例题分析、 强化训练

赖于力 何兴华 编著

冶金工业出版社

全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试用书

# 数据库系统工程师考试辅导

——考点精讲、例题分析、强化训练

赖于力 何兴华 编著

北 京

冶金工业出版社

2005

## 内 容 简 介

本书是根据全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试大纲（数据库系统工程师）编写的考试辅导书。全书共 14 章，主要内容包括：计算机系统基础、数据结构与算法、操作系统知识、程序语言基础知识、网络基础知识、多媒体基础、数据库技术基础、关系数据库、SQL 语言、系统开发和运行、数据库设计、数据库的运行与管理、网络与数据库及数据库发展趋势与新技术。本书末尾还给出了一个附录：数据库系统工程师考试大纲。

本书针对性强、重点突出、例题丰富、解答详细、概念准确，不仅可以作为全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）——数据库系统工程师的考试用书，也可作为高等院校或培训班的辅导教材，同时还可以作为相关行业的参考书。

### 图书在版编目（CIP）数据

数据库系统工程师考试辅导：考点精讲、例题分析、  
强化训练 / 赖于力等编著. —北京：冶金工业出版社，  
2005.2

ISBN 7-5024-3689-8

I. 数... II. 赖... III. 数据库系统-工程技术人  
员-资格考核-自学参考资料 IV. TP311.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2004）第 143152 号

出版人 曹胜利（北京沙滩嵩祝院北巷 39 号，邮编 100009）

责任编辑 戈兰

湛江蓝星南华印务公司印刷；冶金工业出版社发行；各地新华书店经销

2005 年 2 月第 1 版，2005 年 2 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16； 31.5 印张； 732 千字； 494 页

59.00 元

冶金工业出版社发行部 电话：（010）64044283 传真：（010）64027893

冶金书店 地址：北京东四西大街 46 号（100711） 电话：（010）65289081

（本社图书如有印装质量问题，本社发行部负责退换）

# 前 言

## 一、关于本套丛书

在 IT 行业中，国家认证的全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试由于其科学性、专业性和权威性受到社会各界的广泛欢迎。因此，作者根据许多参加过全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试并取得优异成绩的考生的切身体会，认真分析了全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试基本要求和历届考试中典型试题，并研究了相关试题的答题方法和技巧，再经过归纳、总结、提炼，取其精华，找出规律，最终编写了这套丛书。本套丛书共有 12 本：

程序员考试辅导——考点精讲、例题分析、强化训练

软件设计师考试辅导——考点精讲、例题分析、强化训练

网络工程师考试辅导——考点精讲、例题分析、强化训练

网络管理员考试辅导——考点精讲、例题分析、强化训练

系统分析师考试辅导——考点精讲、例题分析、强化训练

数据库系统工程师考试辅导——考点精讲、例题分析、强化训练

程序员全真试题精解

软件设计师全真试题精解

网络工程师全真试题精解

网络管理员全真试题精解

系统分析师全真试题精解

数据库系统工程师全真试题精解

## 二、本套丛书的特点

本套丛书具有以下特色：

（1）基础知识部分：首先介绍了全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试的相关知识，然后根据最新考试大纲的要求，分章节对必备知识、考试要点和典型例题进行了精心讲解和分析。

（2）模拟试题部分：本部分试题是根据历届全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试试卷的题型和数量进行设计的，具有较强的针对性，使读者能进行相关的实战练习，并能通过练习检验自己的水平。

（3）历届全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）考试试题部分：本部分给出了近年来计算机软件专业技术资格和水平考试的相关考试试题，并附有相关参考答案。

## 三、本书结构安排

本书根据数据库系统工程师考试大纲的要求共分为 14 章和一个附录。本书紧贴考试

大纲的内容，主要介绍了计算机系统、操作系统及数据结构与算法的相关知识，包括计算机中数据的表示及其运算、计算机的组成及工作原理、算法与算法分析、常用数据结构、排序与查找、存储管理、设备管理、文件与作业管理；接着介绍了程序语言、网络、多媒体及 SQL 语言的相关知识，包括汇编程序和编译程序的基本原理、网络协议与体系结构、Internet 及应用、网络安全、音频信息处理、图形和图像、动画、视频、SQL 语句、聚集函数与算术函数、SQL 中的授权；然后介绍了数据库技术、关系数据库、系统开发和运行、数据库设计的相关知识，包括数据模型、数据库系统体系结构、数据库的控制功能、关系运算、查询优化、系统分析和设计、系统实施、系统运行与维护、系统需求分析、逻辑结构设计、数据库的物理设计、应用程序设计；最后还介绍了数据库的运行与管理、网络与数据及数据库的发展趋势与新技术，包括数据库系统运行计划、数据库系统运行维护、数据库系统的管理、分布式数据库、Web 与数据库、XML 与数据库、ERP 与数据库等内容。

最后，本书末尾还附了一个附录：数据库系统工程师考试大纲，主要介绍了考试说明和考试范围。

#### 四、本书特点

本书根据数据库系统工程师考试大纲编写而成，针对性强、重点突出、题型多样、概念准确、例题分析透彻。本书内容紧贴考试大纲，考生根据本书内容复习，可以熟练掌握相关的理论知识，再通过对本书试题的练习，就可以顺利通过考试。

#### 五、适用对象

本书不仅可作为全国计算机技术与软件专业技术资格（水平）——数据库系统工程师的考试用书，也可作为高等院校或培训班的辅导教材，同时还可以作为相关行业的参考书。

由于作者水平有限，时间仓促，书中难免有错漏之处，恳请读者批评指正。

本套丛书由于涉及的知识面广，难度较大，读者在阅读的过程中如遇有技术上的疑难问题和不懂之处，可登录网站：[Http://exam.itpub.net](http://exam.itpub.net) 寻求帮助，或发 E-mail 至邮箱：[exam@itpub.net](mailto:exam@itpub.net)，本网站会给你满意的答复。

虽然经过严格的审核、精细的编辑，本书在质量上有了一定的保障，但我们的目标是力求尽善尽美，欢迎广大读者和专家对我们的工作提出宝贵建议，联系方法如下：

网址：[www.cnbook.net](http://www.cnbook.net)

此外，该网站还有一些其他相关书籍的介绍，可以方便读者选购参考。

编 者

2004 年 12 月

# 目 录

|                            |           |
|----------------------------|-----------|
| <b>第 1 章 计算机系统基础 .....</b> | <b>1</b>  |
| 1.1 考试目标与要求 .....          | 1         |
| 1.2 基础知识点 .....            | 1         |
| 1.2.1 计算机系统的组成 .....       | 1         |
| 1.2.2 计算机中数据的表示以及运算 .....  | 3         |
| 1.2.3 计算机的基本组成及工作原理 .....  | 16        |
| 1.2.4 指令系统 .....           | 31        |
| 1.2.5 计算机系统的安全 .....       | 33        |
| 例题分析 .....                 | 37        |
| 强化训练 .....                 | 42        |
| 强化训练参考答案 .....             | 44        |
| 小结 .....                   | 45        |
| <b>第 2 章 数据结构与算法 .....</b> | <b>46</b> |
| 2.1 考试目标与要求 .....          | 46        |
| 2.2 基础知识点 .....            | 46        |
| 2.2.1 算法及算法分析 .....        | 46        |
| 2.2.2 常用数据结构 .....         | 47        |
| 2.2.3 排序 .....             | 73        |
| 2.2.4 查找 .....             | 81        |
| 例题分析 .....                 | 91        |
| 强化训练 .....                 | 93        |
| 强化训练参考答案 .....             | 95        |
| 小结 .....                   | 95        |
| <b>第 3 章 操作系统知识 .....</b>  | <b>96</b> |
| 3.1 考试目标与要求 .....          | 96        |
| 3.2 基础知识点 .....            | 96        |
| 3.2.1 操作系统的基本概念 .....      | 96        |
| 3.2.2 处理机管理 .....          | 101       |
| 3.2.3 存储管理 .....           | 111       |
| 3.2.4 设备管理 .....           | 117       |

|                            |            |
|----------------------------|------------|
| 3.2.5 文件管理 .....           | 120        |
| 3.2.6 作业管理 .....           | 125        |
| 例题分析 .....                 | 126        |
| 强化训练 .....                 | 133        |
| 强化训练参考答案 .....             | 135        |
| 小结 .....                   | 135        |
| <b>第4章 程序语言基础知识 .....</b>  | <b>136</b> |
| 4.1 考试目标与要求 .....          | 136        |
| 4.2 基础知识点 .....            | 136        |
| 4.2.1 程序设计语言的基础 .....      | 136        |
| 4.2.2 汇编程序的基本原理 .....      | 142        |
| 4.2.3 编译程序的基本原理 .....      | 143        |
| 例题分析 .....                 | 185        |
| 强化训练 .....                 | 190        |
| 强化训练参考答案 .....             | 191        |
| 小结 .....                   | 191        |
| <b>第5章 网络基础知识 .....</b>    | <b>193</b> |
| 5.1 考试目标与要求 .....          | 193        |
| 5.2 基础知识点 .....            | 193        |
| 5.2.1 计算机网络简介 .....        | 193        |
| 5.2.2 网络协议和体系结构 .....      | 200        |
| 5.2.3 ISO/OSI 网络体系结构 ..... | 204        |
| 5.2.4 构建网络 .....           | 208        |
| 5.2.5 Internet 及应用 .....   | 220        |
| 5.2.6 网络安全 .....           | 228        |
| 例题分析 .....                 | 239        |
| 强化训练 .....                 | 242        |
| 强化训练参考答案 .....             | 250        |
| 小结 .....                   | 251        |
| <b>第6章 多媒体基础 .....</b>     | <b>252</b> |
| 6.1 考试目标与要求 .....          | 252        |
| 6.2 基础知识点 .....            | 252        |
| 6.2.1 多媒体的基本概念 .....       | 252        |

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| 6.2.2 音频信息及处理 .....       | 253        |
| 6.2.3 图形和图像 .....         | 260        |
| 6.2.4 动画 .....            | 270        |
| 6.2.5 视频 .....            | 271        |
| 6.2.6 多媒体网络 .....         | 274        |
| 6.2.7 虚拟现实的概念 .....       | 274        |
| 例题分析 .....                | 276        |
| 强化训练 .....                | 282        |
| 强化训练习题参考答案 .....          | 286        |
| 小结 .....                  | 287        |
| <b>第7章 数据库技术基础 .....</b>  | <b>288</b> |
| 7.1 考试目标与要求 .....         | 288        |
| 7.2 基础知识点 .....           | 288        |
| 7.2.1 数据库基本概念 .....       | 288        |
| 7.2.2 数据模型 .....          | 291        |
| 7.2.3 数据库系统体系结构 .....     | 298        |
| 7.2.4 数据库的控制功能 .....      | 300        |
| 7.2.5 数据仓库和数据挖掘基础知识 ..... | 306        |
| 例题分析 .....                | 311        |
| 强化训练 .....                | 313        |
| 强化训练参考答案 .....            | 314        |
| 小结 .....                  | 315        |
| <b>第8章 关系数据库 .....</b>    | <b>316</b> |
| 8.1 考试目标与要求 .....         | 316        |
| 8.2 基础知识点 .....           | 316        |
| 8.2.1 关系数据库的基本概念 .....    | 316        |
| 8.2.2 关系运算 .....          | 320        |
| 8.2.3 查询优化 .....          | 331        |
| 8.2.4 关系数据库及其基础理论 .....   | 334        |
| 例题分析 .....                | 338        |
| 强化训练 .....                | 349        |
| 强化训练参考答案 .....            | 353        |
| 小结 .....                  | 353        |
| <b>第9章 SQL 语言 .....</b>   | <b>355</b> |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 9.1 考试目标与要求 .....           | 355        |
| 9.2 基础知识点 .....             | 355        |
| 9.2.1 SQL 基础 .....          | 355        |
| 9.2.2 SQL 语句 .....          | 357        |
| 9.2.3 聚集函数 .....            | 370        |
| 9.2.4 算术函数 .....            | 371        |
| 9.2.5 SQL 中的授权 .....        | 373        |
| 9.2.6 触发器 .....             | 377        |
| 9.2.7 嵌入式 SQL .....         | 379        |
| 例题分析 .....                  | 381        |
| 强化训练 .....                  | 390        |
| 强化训练参考答案 .....              | 392        |
| 小结 .....                    | 393        |
| <b>第 10 章 系统开发和运行 .....</b> | <b>394</b> |
| 10.1 考试目标与要求 .....          | 394        |
| 10.2 基础知识点 .....            | 394        |
| 10.2.1 软件工程基础知识 .....       | 394        |
| 10.2.2 系统分析基础知识 .....       | 402        |
| 10.2.3 系统设计基础知识 .....       | 403        |
| 10.2.4 系统实施基础知识 .....       | 407        |
| 10.2.5 系统运行和维护 .....        | 414        |
| 例题分析 .....                  | 417        |
| 强化训练 .....                  | 425        |
| 强化训练参考答案 .....              | 430        |
| 小结 .....                    | 430        |
| <b>第 11 章 数据库设计 .....</b>   | <b>432</b> |
| 11.1 考试目标与要求 .....          | 432        |
| 11.2 基础知识点 .....            | 432        |
| 11.2.1 数据库设计简介 .....        | 432        |
| 11.2.2 系统需求分析 .....         | 433        |
| 11.2.3 概念结构设计 .....         | 433        |
| 11.2.4 逻辑结构设计 .....         | 434        |
| 11.2.5 数据库的物理设计 .....       | 435        |
| 11.2.6 应用程序设计 .....         | 435        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 11.2.7 数据库系统的实现 .....           | 436        |
| 11.2.8 系统实施与维护 .....            | 436        |
| 11.2.9 数据库的保护 .....             | 437        |
| 例题分析 .....                      | 438        |
| 强化训练 .....                      | 441        |
| 强化训练参考答案 .....                  | 442        |
| 小结 .....                        | 444        |
| <b>第 12 章 数据库的运行与管理 .....</b>   | <b>445</b> |
| 12.1 考试目标与要求 .....              | 445        |
| 12.2 基础知识点 .....                | 445        |
| 12.2.1 数据库系统运行计划 .....          | 445        |
| 12.2.2 数据库系统运行维护 .....          | 446        |
| 12.2.3 数据库系统的管理 .....           | 447        |
| 12.2.4 性能调整 .....               | 448        |
| 12.2.5 用户支持 .....               | 449        |
| 例题分析 .....                      | 450        |
| 强化训练 .....                      | 450        |
| 强化训练参考答案 .....                  | 450        |
| 小结 .....                        | 451        |
| <b>第 13 章 网络与数据库 .....</b>      | <b>452</b> |
| 13.1 考试目标与要求 .....              | 452        |
| 13.2 基础知识点 .....                | 452        |
| 13.2.1 分布式数据库 .....             | 452        |
| 13.2.2 Web 与数据库 .....           | 458        |
| 13.2.3 XML 与数据库 .....           | 465        |
| 例题分析 .....                      | 470        |
| 强化训练 .....                      | 472        |
| 强化训练参考答案 .....                  | 473        |
| 小结 .....                        | 473        |
| <b>第 14 章 数据库发展趋势与新技术 .....</b> | <b>474</b> |
| 14.1 考试目标与要求 .....              | 474        |
| 14.2 基础知识点 .....                | 474        |
| 例题分析 .....                      | 476        |

---

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 强化训练 .....                     | 478        |
| 强化训练参考答案 .....                 | 479        |
| 小结 .....                       | 480        |
| <b>附录 数据库系统工程师考试大纲 .....</b>   | <b>481</b> |
| A.1 考试说明 .....                 | 481        |
| A.1.1 考试要求 .....               | 481        |
| A.1.2 本考试设置的科目 .....           | 481        |
| A.2 考试范围 .....                 | 481        |
| A.2.1 考试科目 1: 信息系统知识 .....     | 481        |
| A.2.2 考试科目 2: 数据库系统设计与管理 ..... | 486        |
| <b>参考文献 .....</b>              | <b>494</b> |

# 第 1 章 计算机系统基础

本章的主要内容包括：计算机系统的基本组成和结构，计算机中数据的表示和基本运算，指令系统的基本概念和系统安全的基本知识。

## 1.1 考试目标与要求

(1) 理解计算机系统的基本组成原理，熟悉中央处理器 (CPU)、存储系统及输入输出系统的基本组成和结构。

(2) 掌握计算机中的常用数制，掌握十进制、二进制、八进制和十六进制之间相互转换的方法。

(3) 理解数据的机内表示方法，掌握原码、反码、补码、移码等码制及其特点。

(4) 掌握基本的算术和逻辑运算。

(5) 理解常用的校验码的原理和特点，了解海明码、循环冗余码的编码方法和校验方法，掌握奇偶校验的原理和方法。

(6) 了解有关计算机的指令系统，包括指令格式、基本的寻址方法、指令类型等基本概念。

(7) 了解有关计算机安全的基本知识，了解病毒的概念以及基本原理。

## 1.2 基础知识

### 1.2.1 计算机系统的组成

#### 1. 计算机系统简介

##### 1) 计算机的类型

根据计算机中使用的电路器件划分，计算机经历了电子管器件时代、晶体管器件时代、中小规模集成电路时代、大规模集成电路时代。按计算机的类型划分，有超级计算机 (Supercomputer)、大型机 (Mainframe Computer)、小型机 (Minicomputer)、微型机 (Microcomputer)、膝上型电脑 (Laptop) 或笔记本电脑 (Notebook)、工作站 (Workstation)、掌上电脑、个人数字处理 (Personal Digital Assistant, PDA) 等。

##### 2) 计算机系统的基本组成

计算机系统是由硬件和软件系统组成的。计算机硬件是计算机系统中看得见、摸得着的物理装置，计算机软件是由程序、数据和相关的文档的集合。计算机系统的基本组成如图 1-1 所示。

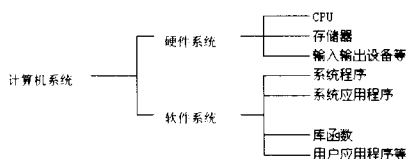


图 1-1 计算机系统的基本组成

### 3) 计算机系统的层次结构

分层结构把操作系统看作是一个分层的序列，各层之间只有单向的依赖关系：外层的模块可以引用内层的模块或者说内层的模块为外层的模块服务，内层的模块具有与外层的上下文无关的正确性，且外层引用内层的模块时，完全不必了解内层模块的实现细节。操作系统的这种分层观点与逐级扩充虚拟机的观点是一致的。核心是对硬件裸机的第一次改造，以后在核心上每添加一层进程模块，则得到性能更好的高级虚拟机。当全部操作系统完成之后，每个终端上的用户都可以享有一套“独占的”虚拟系统。

在分层结构中，任一指定级只能调用比它低的级来服务，不能调用比它高的级。例如，要设计一个进程间的通讯管理模块，而它必须调用存贮管理模块，那么，这个存贮管理模块必须放在比进程通讯模块低的级上，而且，存贮管理模块不能调用进程通讯模块。如图 1-2 所示，这两个模块分别放在第二、三级上，反映了这种要求。

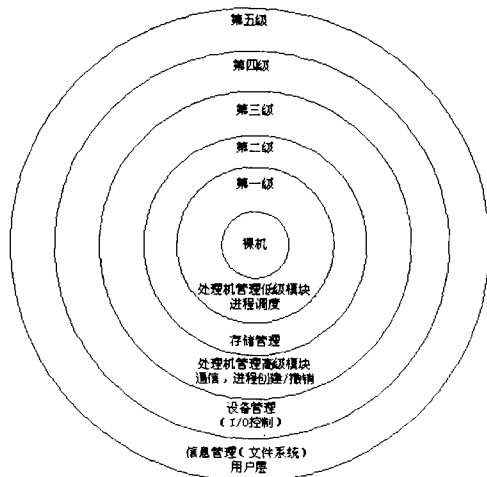


图 1-2 计算机系统的层次结构

## 2. 计算机系统的硬件

基本的计算机硬件由运算器、控制器、存储器、输入/输出设备组成。随着微电子技术的发展，运算器、控制器等部件已经被集成在一起，统称为中央处理单元（Central Processing Unit, CPU）。CPU 是硬件系统的核心，能完成各种算术、逻辑运算以及控制功能。

运算器是对数据进行加工处理的功能部件，它主要完成算术和逻辑运算。控制器的主要功能则是从主存中取出指令并进行分析加工，控制计算机的各个功能部件有条不紊地完成指令。

存储器是计算机系统的记忆设备，分为外存储器（简称外存）和内存储器（Main Memory, MM, 简称内存）。内存速度快，容量小，一般用来临时存放计算机运行时所需要的程序、数据以及中间结果。外存的容量大，但是存取速度慢，可以用来长期保存信息。寄存器是 CPU 中的记忆设备，用来临时存放指令、数据以及运算结构。与内存相比，寄存器的存取速度要快的多。

习惯上将 CPU 和主存贮器的有机结合称为主机。输入/输出（或 I/O）设备位于主机之外，是计算机系统与外界交换信息的装置。

## 1.2.2 计算机中数据的表示以及运算

### 1. 计算机中数据的表示

数据是计算机处理的对象。这里的“数据”含义非常广泛，包括数值、文字、图形、图像、视频等各种数据形式。计算机内部一律采用二进制表示数据。

采用二进制表示方法的原因为：

(1) 电路简单：计算机是由逻辑电路组成，逻辑电路通常只有两个状态。例如，开关的接通与断开，晶体管的饱和与截止，电压电平的高与低等。这两种状态正好用来表示二进制数的两个数码 0 和 1。

(2) 工作可靠：两个状态代表的两个数码在数字传输和处理中不容易出错，因而电路更加可靠。

(3) 简化运算：二进制运算法则简单。例如，求积运算法则只有 3 个。而十进制的运算法则（九九乘法表）对人来说虽习以为常，但是让机器去实现却很难。

(4) 逻辑性强：计算机的工作是建立在逻辑运算基础上的，逻辑代数是逻辑运算的理论依据。两个数码 0 和 1，正好代表逻辑代数中的“真”与“假”。

#### 1) 进位计数制及其转换

任何一种进位计数制表示的数字都可以写成按权展开的多项式之和，即任意一个  $r$  进制的数  $N$  都可以表示为：

$$N = \sum_{i=m-1}^{-k} D_i \times r^i$$

其中， $D_i$  是该数制采用的基本数符， $r^i$  是权， $r$  是基数。

例如，十进制数 9876.55 可以表示为

$$9876.55 = 9 \times 10^3 + 8 \times 10^2 + 7 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 5 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

计算机中常用的计数制有二进制、八进制和十六进制等。

#### 2) 进位计数制之间的相互转换

(1) 将二进制转换成十进制时，把二进制数各位按权展开求和即可。

(2) 将十进制数转换成二进制时，整数部分和小数部分分开转换，然后再相加。十进制整数转换成二进制整数的方法时“除 2 取余”；十进制小数转换成二进制小数的方法为“乘 2 取整”。十进制数转换成二进制数还有一种更简便的方法：把一个十进制数字写成按二进制数权的大小展开的多项式，按权值从高到低依次取各项的系数就可得到相应的二进制数。

由此类推，十进制转换为  $r$  进制的方法：将十进制数的整数部分“除  $r$  取余”得到对于  $r$  进制数的整数部分；将十进制数的小数部分“乘  $r$  取整”得到  $r$  进制的小数部分。

(3) 二进制与八进制、十六进制之间的转换关系分别如表 1-1 和表 1-2 所示。

表 1-1 二进制与八进制之间的转换关系

| 二进制 | 八进制 | 二进制 | 八进制 |
|-----|-----|-----|-----|
| 000 | 0   | 100 | 4   |
| 001 | 1   | 101 | 5   |
| 010 | 2   | 110 | 6   |
| 011 | 3   | 111 | 7   |

表 1-2 二进制与十六进制之间的转换关系

| 二进制  | 十六进制 | 二进制  | 十六进制 |
|------|------|------|------|
| 0000 | 0    | 1000 | 8    |
| 0001 | 1    | 1001 | 9    |
| 0010 | 2    | 1010 | A    |
| 0011 | 3    | 1011 | B    |
| 0100 | 4    | 1100 | C    |
| 0101 | 5    | 1101 | D    |
| 0110 | 6    | 1110 | E    |
| 0111 | 7    | 1111 | F    |

### 3) 二进制的运算规则

(1) 二进制加法的进位规则是“逢二进一”：

$$0+0=0 \quad 1+0=1 \quad 0+1=1 \quad 1+1=10$$

(2) 二进制减法的借位规则是“借一当二”：

$$0-0=0 \quad 1-1=0 \quad 1-0=1 \quad 0-1=1 \text{ (从高位上借 1 当 2)}$$

(3) 二进制乘法规则是：

$$0 \times 0 = 0 \quad 1 \times 0 = 0 \quad 0 \times 1 = 0 \quad 1 \times 1 = 1$$

(4) 二进制除法是其乘法的逆运算，其运算方法与十进制除法规则一样。

### 4) 机器数和码制

数值在计算机中表示形式为机器数，计算机只能识别 0 和 1，使用的是二进制，而在日常生活中人们使用的是十进制，“正如亚里士多德早就指出的那样，今天十进制的广泛采用，只不过我们绝大多数人生来具有 10 个手指头这个解剖学事实的结果。尽管在历史上手指计数（5，10 进制）的实践要比二或三进制计数出现的晚。”（摘自《数学发展史》）。

机器数有无符号和带符号之分。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。

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) 定点整数原码表示法。

将数的真值形式中“+”号用“0”表示，“-”号用“1”表示时，叫做数的原码形式，简称原码。若字长为  $n$  位，定点整数原码一般可表示为：

$$[X]_{\text{原}} = \begin{cases} X & 0 \leq X < 2^{n-1} \\ 2^{n-1} - X & -2^{n-1} < X \leq 0 \end{cases}$$

当  $X$  为正数时  $[X]_{\text{原}}$  和  $X$  一样，即  $[X]_{\text{原}} = X$ 。

当  $X$  为负数时  $[X]_{\text{原}} = 2^{n-1} - X$ 。由于  $X$  本身为负数，所以，实际上是将  $|X|$  数值部分绝对值前面的符号位上写成“1”即可。

原码表示法比较直观，它的数值部分就是该数的绝对值，而且与真值、十进制数的转

换十分方便。但是它的加减法运算较复杂。当两数相加时，机器要首先判断两数的符号是否相同，如果相同则两数相加，若符号不同，则两数相减。在做减法前，还要判断两数绝对值的大小，然后用大数减去小数，最后再确定差的符号，换言之，用这样一种直接的形式进行减运算时，负数的符号位不能与其数值部分一起参加运算，而必须利用单独的线路确定差的符号位。要实现这些操作，电路就很复杂，这显然是不经济实用的。为了减少设备，解决机器内负数的符号位参加运算的问题，总是将减法运算变成加法运算，也就引进了反码和补码这两种机器数。

### (2) 定点整数反码表示法。

如前所述，为了克服原码运算的缺点，采用机器数的反码和补码表示法。若字长为  $n$  位，反码可表示为：

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

即对正数来说，其反码和原码的形式相同；对负数来说，反码为其原码的数值部分各位变反。

### (3) 定点整数补码表示法。

补码是根据同余的概念引入的，这里来看一个减法通过加法来实现的例子。假定现在是北京时间 6 点整，有一只手表却是 8 点整，比北京时间快了 2 小时，校准的方法有两种，一种是倒拨 2 小时，一种是正拨 10 小时。若规定倒拨是做减法，正拨是做加法，那么对手表来讲减 2 与加 10 是等价的，也就是说减 2 可以用加 10 来实现。这是因为 8 加 10 等于 18，然而手表最大只能指示 12，当大于 12 时 12 自然丢失，18 减去 12 就只剩 6 了。这说明减法在一定条件下，是可以用法来代替的。这里“12”称为“模”，10 称为“-2”对模 12 的补数。推广到一般则有：

$$A - B = A + (-B + M) = A + (-B)_{\text{补}}$$

可见，在模为  $M$  的条件下， $A$  减去  $B$ ，可以用  $A$  加上  $-B$  的补数来实现。这里模(module) 可视为计数器的容量，对上述手表的例子，模为 12。

在计算机中其部件都有固定的位数，若位数为  $n$ ，则计数值为  $2^n$ ，亦即计数器容量为  $2^n$ ，因此计算机中的补码是以  $2^n$  为模，其定义如下：

$$[X]_{\text{补}} = \begin{cases} X & 0 \leq X < 2^{n-1} \\ 2^n + X & -2^{n-1} \leq X \leq 0 \end{cases} \pmod{2^n}$$

### (4) 定点整数移码表示法。

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。数值  $X$  的移码记做  $[X]_{\text{移}}$ ，如果机器字长位  $n$ ，规定偏移量为  $2^{n-1}$ ，则移码的定义如下：

若  $X$  是纯整数，则：

$$[X]_{\text{移}} = 2^{n-1} + X, \quad -2^{n-1} \leq X < 2^{n-1}$$

实际上，在偏移量为  $2^{n-1}$  的情况下，只要将补码的符号位取反便可获得相应的移码表示。

## 5) 定点数和浮点数

(1) 定点数。定点数就是小数点的位置固定不变的数。小数点的位置通常有两种约

定方法：定点整数（纯整数，小数点在最低有效数值位之后）和定点小数（纯小数，小数点在最高有效数值位之前）。

设机器字长为  $n$ ，各种码制表示下的带符号的范围如表 1-3 所示。

表 1-3 机器字长为  $n$  的表示的带符号数的范围

| 码制 | 定点整数                                 | 定点小数                                   |
|----|--------------------------------------|----------------------------------------|
| 原码 | $-(2^{n-1} - 1) \sim +(2^{n-1} - 1)$ | $-(1-2^{-(n-1)}) \sim +(1-2^{-(n-1)})$ |
| 反码 | $-(2^{n-1} - 1) \sim +(2^{n-1} - 1)$ | $-(1-2^{-(n-1)}) \sim +(1-2^{-(n-1)})$ |
| 补码 | $-2^{n-1} \sim +(2^{n-1} - 1)$       | $-1 \sim +(1-2^{-(n-1)})$              |
| 移码 | $-2^{n-1} \sim +(2^{n-1} - 1)$       | $-1 \sim +(1-2^{-(n-1)})$              |

（2）浮点数。当机器字长为  $n$  时，定点数的补码和移码可表示  $2^{n-1}$  个数，而其原码和反码智能表示  $2^{n-1} - 1$  个数（0 占用了两个编码）。因而定点数所能表示的数值范围比较小，运算中很容易结果范围溢出，所以引入了浮点数。浮点数就时小数点位置不固定的数，它能表示更大范围的数。

二进制  $N$  的浮点数表示方法为：

$$N = 2^E \times F$$

其中， $E$  为阶码， $F$  为尾数。

在浮点数表示法中，阶码通常为带符号的纯整数，尾数为带符号的纯小数。浮点数的一般表示格式如下：

|    |    |    |    |
|----|----|----|----|
| 阶符 | 阶码 | 数符 | 尾数 |
|----|----|----|----|

很明显，一个数的浮点数表示并不是惟一的。当小数点的位置改变时，阶码也随之相应改变，因此可以用多种浮点形式表示同一个数。

浮点数所能表示的数值范围主要由阶码决定，所表示的数值精度则由尾数决定。为了充分利用尾数来表示更多的有效数字，通常对浮点数进行规格化。规格化就是将尾数的绝对值限定在区间  $[0.5, 1)$  之内。当尾数用补码表示时，需要注意：

① 若尾数  $F \geq 0$ ，则其规格化的尾数形式为： $F = 0.1 \times \times \times \dots \times$ ，其中， $\times$  可为 0，也可为 1，即将尾数的范围限定在  $[0.5, 1)$  之内。

② 若尾数  $F < 0$ ，则其规格化的尾数形式为： $F = 1.0 \times \times \times \dots \times$ ，其中， $\times$  可为 0，也可为 1，即将尾数的范围限定在  $[-1, -0.5)$  之内。

如果浮点数的阶码（包括 1 位阶符）用  $R$  位的移码表示，尾数（包括 1 位数符）用  $M$  位的补码表示，则这种浮点数所能表示的最大的正数为  $+(1-2^{-M+1}) \cdot 2^{2^{R-1}-1}$ ，最小的负数为  $-1 \cdot 2^{2^{R-1}-1}$ 。

#### 6) 十进制数与字符的编码表示

用四位二进制代码表示一位十进制数，称为二—十进制编码，简称 BCD 编码。因为  $2^4 = 16$ ，而十进制数只有 0~9 是个不同的数符，故有多种 BCD 编码。根据四位代码中每一位是否有确定的权来划分，可分为有权码和无权码。

应用最多的有权码是 8421 码，即四个二进制位的权从高到低分别位 8、4、2 和 1。无权码使用较多的是余 3 码和格雷码。余 3 码是在 8421 码的基础上，把每个数的代码加上 0011 后构成的。格雷码的编码规则是相邻的两个代码中间只有一位不同。