

计 算 机 科 学 丛 书

# 数据库 系统概念

DATABASE  
SYSTEM  
CONCEPTS  
Third Edition

Abraham Silberschatz  
(美) Henry F. Korth 著  
S. Sudarshan  
杨冬青 唐世渭 等译



机械工业出版社  
China Machine Press



McGraw-Hill

计算机科学丛书

# 数据库系统概念

Abraham Silberschatz

(美) Henry F. Korth 著  
S. Sudarshan

杨冬青 唐世渭 等译



机械工业出版社  
China Machine Press

数据库系统已成为计算机科学教育中必不可少的部分，因而，牢固地掌握数据库系统知识已成为我们日常学习的核心内容。

本书详细而深入地讲述了有关关系模型、基于对象的系统、数据存储和检索、事务管理以及并行系统和分布式系统等方面的知识。本书概念清晰、理论深刻、推理严谨，其中融入了许多意见和建议，再加上作者在各著名大学和公司讲授本书的体会以及作者对于数据库技术发展方向的分析，使得本书在内容上更全面、组织上更合理。本书会使读者在数据库设计、数据库语言、数据库系统实现等方面有很大提高。

本书既可作为本科生三、四年级的入门教程，也可作为研究生的一年级教科书。此外，本书还包括了作为课程补充的高级内容。

Abraham Silberschatz, Henry F. Korth, S. Sudarshan: Database System Concepts, Third Edition.

Original edition copyright © 1999 by The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.  
Chinese edition copyright © 2000 by China Machine Press. All rights reserved.

本书中文简体字版由美国麦格劳-希尔公司授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权所有，侵权必究。

NJSZHP/06

本书版权登记号：图字：01-1999-0110

### 图书在版编目 (CIP) 数据

数据库系统概念 / (美) 西尔伯沙茨 (Silberschatz, A.) 等著; 杨冬青, 唐世渭等译. - 北京: 机械工业出版社, 2000.2

(计算机科学丛书)

书名原文: Database System Concepts, Third Edition

ISBN 7-111-07759-8

I. 数… II. ①西…②杨…③唐… III. 数据库系统 - 概论 IV. TP311.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 55375 号

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街22号 邮政编码 100037)

责任编辑: 马珂

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2000年2月第1版·2001年10月第4次印刷

787mm × 1092mm 1/16 · 34印张

印数: 12 001-14 000册

定价: 49.00元

凡购本书, 如有倒页、脱页、缺页, 由本社发行部调换

# 译者序

数据库系统是对数据进行存储、管理、处理和维护的软件系统，是现代计算环境中的一个核心成分。随着计算机硬件、软件技术的飞速发展和计算机系统在各行业的广泛应用，数据库技术的发展尤其迅速，引人注目。有关数据库系统的理论和技术是计算机科学技术教育中必不可少的部分。本书是一本内容由浅入深，既包含数据库系统基本概念，又反映数据库技术新进展的很好的教科书。

本书内容大体上可分为以下三个部分：

■ 第1~9章讲述数据库系统的基本概念，包括对数据库系统的性质和目标的综述、关系数据模型和几种关系语言、数据库的完整性约束及其在数据库设计中的应用。这一部分还介绍了新型的数据库系统——面向对象数据库和对象-关系数据库。

■ 第10~18章讨论数据库系统实现技术，包括数据存储结构、数据存取技术，查询优化方法、事务处理系统的基本概念和并发控制、故障恢复技术。这一部分还介绍了数据库系统体系结构以及并行数据库系统和分布式数据库系统中所采用的一些主要策略和技术。

■ 第19~21章讨论了几个高级课题，集中展示了数据库研究中的新进展和新的数据库应用，包括时态数据库、主动数据库、事务处理监控器、高性能事务系统、实时事务系统、事务工作流、性能测试标准、数据仓库应用、数据挖掘、空间和地理数据库、多媒体数据库、移动式和个人数据库以及分布式信息检索系统等。

我们认为本书的第一部分以及后两部分的部分内容可作为本科生数据库概论课程的教材或主要参考资料，后两部分的其余内容可用于研究生的数据库课程教学。

本书由杨冬青、唐世渭组织并参加了本书的翻译和审校工作，参加翻译的还有杨继国、杨良怀、柴炜、赵畅、李麟、章秀静。

在本书的翻译过程中，译者参照该书WWW主页中的勘误表，对书中的疏漏之处进行了更正。此外，对于未包括在勘误表中的明显的笔误和排版错误，我们也做了订正。

限于译者水平，译文中疏漏和错误难免，欢迎批评指正。

译者

1999年于北京大学

## 译者简介



**杨冬青** 北京大学计算机科学技术系教授，博士生导师，数据库与信息系统领域负责人。中国计算机学会数据库专委会委员，中国计算机学会普及工作委员会副主任。1969年毕业于北京大学数学力学系数学专业，从事数据库与信息系统领域研究、开发与教学20余年，曾获国家科技进步二等奖等多项奖励。



**唐世渭** 北京大学计算机科学技术系教授，博士生导师。北京大学信息科学中心主任，视觉与听觉信息处理国家重点实验室主任。中国计算机学会数据库专委会副主任。1964年毕业于北京大学数学力学系计算专业，从事数据库与信息系统领域研究、开发与教学20余年，曾获国家科技进步二等奖等多项奖励。

# 前 言

数据库管理已经从一种专门的计算机应用发展为现代计算环境中的一个核心成分，因此，有关数据库系统的知识已成为计算机科学教育中的一个必不可少的部分。本书主要讲述数据库管理的基本概念，这些概念包括数据库设计、数据库语言、数据库系统实现等多个方面。

本书既可作为本科生三年级或四年级数据库入门课程的教科书，也可作为研究生的一年级教科书。除了可用于入门课程的基本内容外，本书还包括了作为课程补充或作为高级课程介绍性材料的高级内容。

我们仅要求读者熟悉基本的数据结构、计算机组织和高级（类 Pascal）程序设计语言。概念都以直观的方式加以描述，其中有许多概念都基于银行运行实例。书中包括了一些重要的理论结果，但省略了形式化证明。对于各项研究结果，文献注解中给出了首先发表并证明该结果的文章，文献注解中还列出了进一步深读的参考文献。在应该给出证明的地方，我们使用图表和例子来说明为什么会得到这样的结论。

本书所包括的基本概念和算法通常基于商品化的或试验性的数据库系统中所采用的概念和算法。然而我们以一种一般化的形式来描述这些概念和算法，而不是和一个特定的数据库系统联系在一起。

在本书第 3 版中，我们保持了前两版的总体风格，同时重点强调了数据库管理的进展。对每一章都进行了编辑，对大多数的章节进行了修改扩充。下面我们对各章做一个简短描述。

## 本书主要内容

- 综述（第 1、2 章）。第 1 章对数据库系统的性质和目标进行一般性综述。我们解释了数据库系统的概念是如何发展起来的、各数据库系统的共同特性是什么、数据库系统能为用户做什么，以及数据库系统如何与操作系统接口。我们还介绍了一个数据库应用系统的例子：包括多个分支机构的一个银行企业，这个例子用作贯穿全书的运行实例。这一章讲动机、历史和性质。第 2 章介绍实体-联系模型，该模型提供了数据库设计问题，以及在数据模型的约束下捕获现实应用语义时所遇到问题的一个高层视图。

- 关系模型（第 3~5 章）。第 3 章介绍关系数据模型，包括与之相关的关系代数和关系演算。第 4 章介绍最有影响的面向用户的关系语言：SQL。第 5 章介绍其他的关系语言。这 3 章对数据操纵：查询、修改、插入、删除进行了描述。算法和设计问题在以后的章节中描述。因此，这 3 章适合于那些只想了解数据库系统是什么，而不想深入掌握其内部算法和结构的人员和初级课程。

- 数据库和约束（第 6、7 章）。第 6 章从数据库完整性角度介绍了约束，第 7 章说明在关系数据库设计中如何使用约束。第 6 章介绍了函数依赖和参照完整性，以及触发器和断言等完整性维护机制。这一章的要点是保护数据库免遭意外破坏。第 7 章介绍关系数据库设计理论，包括规范化和数据依赖等，重点强调了提出各种范式的原因，以及各种类型的数据依赖的直观含义。

- 基于对象的系统（第 8、9 章）。第 8 章介绍面向对象数据库，包括面向对象程序设计

的概念，以及如何用这些概念去形成一个数据模型的基础。在这里不需要读者事先具有面向对象语言的知识。第 9 章介绍对象-关系数据库，说明如何对关系数据模型进行扩展，以包括面向对象的特性，例如继承性和复杂类型。

- 数据存储和检索（第 10~12 章）。第 10 章讨论磁盘、文件和文件系统结构，以及关系和对象数据到文件系统的映像。第 11 章介绍多种数据存取技术，包括散列、B<sup>+</sup> 树索引和栅格文件索引。第 12 章的重点是查询计算算法，以及基于保持等价性查询转换的查询优化。那些希望了解数据库的存储和检索的内部机制的读者会对这几章感兴趣。

- 事务管理（第 13~15 章）。第 13 章介绍事务处理系统的基本概念，包括事务的原子性、一致性、孤立性和持久性，以及可串行性概念。这一章适合于那些只想了解事务管理的问题，但不想掌握并发控制和恢复协议详细知识的人员和课程。第 14 章的重点是并发控制，我们介绍了保证可串行性的几种技术，包括封锁、时间戳和有效性检查技术。在这一章中还讨论了死锁问题。第 15 章讨论了在系统崩溃和磁盘故障情况下保证事务正确执行的主要技术，这些技术包括日志、影子页面、检查点和数据库卸出。

- 并行系统和分布式系统（第 16~18 章）。第 16 章介绍计算机系统体系结构，并描述了作为基础的计算机对于数据库系统的影响。我们讨论了集中式系统、客户-服务器系统、并行体系结构和分布式体系结构，以及网络类型。在第 17 章关于并行数据库的讨论中，我们探讨了各种并行技术，包括 I/O 并行、查询间并行和查询内并行、操作间并行和操作内并行。我们还讨论了代价估算、查询优化和并行系统设计。第 18 章在分布式数据库系统的环境下再一次讨论数据库设计、事务管理、查询计算和优化问题。

- 高级课题（第 19~21 章）。第 19 章讨论了几个特别的话题，包括安全性和完整性、标准化、性能测试标准和性能调整、数据库中的时间、用户界面，以及主动数据库。第 20 章讨论高级事务处理，包括事务处理监控器、高性能事务系统、实时事务系统，以及事务 workflow。第 21 章介绍了数据库系统的几个新应用：首先，我们讨论了决策支持系统，包括数据分析、数据挖掘和数据仓库的应用。然后，我们讨论了空间和地理数据库、多媒体数据库，以及移动式和个人数据库。最后，我们讨论了用于正文数据和分布式信息系统，包括国际互联网的信息检索系统。

- 附录。虽然大多数新的数据库应用系统使用关系模型或面向对象模型，但网状的和层次的数据模型也仍然在使用中。与第 2 版一样，我们在附录 A 和附录 B 中分别介绍了基于网状模型和层次模型的系统。然而，由于讲授这些较早期的模型的兴趣降低了，所以在本书印刷中只包括了这两个附录的摘要，而将全部正文放到了互联网中，网址为：<http://www.bell-labs.com/topic/books/db-book>，也可以通过匿名 FTP 从目录 dist/db-book 下的 ftp.research.bell-labs.com 中得到。

### 关于第 3 版

我们收到了关于第 1 版和第 2 版的许多意见和建议。这些意见和建议，再加上我们在德克萨斯大学、孟买印度理工学院和 IBM 讲授本课程的体会，以及我们对于数据库技术发展方向的分析，促使我们并引导我们写出了第 3 版。我们的基本过程是重写每一章，将较旧的内容修改为最新的内容，添加关于数据库技术当前进展的讨论，改进每一章后面的习题，增加新的参考文献。我们还重新组织了本书的某些部分。为使那些熟悉本书第 2 版的读者有更深入的了解，我们对于主要的变化解释如下：

- 实体-联系模型。我们将实体-联系 (E-R) 模型的讨论范围设置得更好了。第 3 版的



第2章与原来的第2章相似，但我们扩展了关于E-R数据库设计的讨论范围。有关设计问题的讨论贯穿全章，并在新增加的2.2和2.8两节中进行了重点讨论。对扩展E-R特性的讨论比第2版更详细了，例如关于将E-R模式表示为表的讨论（见2.7和2.9节）。

- 关系数据库。在第2版，我们扩展了关系模型的讨论范围。在第3版，我们仍然用第3章来讨论关系模型和形式化的关系语言：关系代数和关系演算。在3.5节中，增加了关于广义投影、外连接运算和聚集的讨论。第4章现在只包括SQL语言。我们大大扩展了关于SQL的讨论，除了原来已有的基于SQL-89的内容外，还将SQL-92的特性包括在内。有些SQL实现可能只支持SQL-89，不支持SQL-92，因此我们明确指出了那些在SQL-89中所不支持的SQL-92特性。现在我们在第5章中讨论QBE和Quel。在第2版的第14章中介绍的研究性语言Datalog现在也放到了第5章中，并且做了更详细的介绍。第6章讨论完整性约束，第7章是数据库设计问题和范式。这两章在第2版中分别为第5章和第6章。

- 基于对象的数据库。第8~10章是对原来的面向对象数据模型讨论的扩展。我们添加了新的内容到第2版的第13章，现在成为第8章，讨论面向对象的程序设计语言。第9章是全新的一章，介绍对象-关系数据模型，该模型扩展了关系数据模型，提供更加丰富的类型系统，包括面向对象的特性，并往关系查询语言如SQL中添加新的成分，以便去处理新增加的数据类型。现在第10章中有一节专门讨论对象-关系数据库的存储结构（见10.9节）。

- 查询处理。对查询处理的讨论较之第2版有很大扩充。现在我们在第12章中详细解释实现各种关系运算的多种不同方法，以及如何估算它们的执行代价。我们还扩充了保持查询结果等价的查询转换的有关内容，同时增加了查询优化的一些新内容。第17章中现在包括了有关并行查询处理的内容。

- 事务处理。与第2版类似，我们在第13~15章中组织并稍加扩充了关于事务处理的内容。第2版的第12章中关于事务处理的某些高级内容现在放到了第20章中——关于高级事务处理新增加的一章（参见章后关于高级课题的文献注解）。第12章介绍关于事务管理各个方面的问题，而将细节放到随后的几章中。这样的组织方式使得讲课教员可以做出选择，是只介绍事务处理概念（第13章），还是讲解详细内容（第13~15章）。

- 计算机体系结构与并行系统。第16章是新增的一章，它包括计算机系统体系结构，以及作为基础的计算机系统对于数据库系统的影响。我们讨论了集中式系统、客户-服务器系统，以及网络类型。我们还介绍了并行的和分布式的体系结构，并在第17章和第18章中分别对它们进行了详细讨论。第17章也是新增的一章，它讨论了并行数据库系统。我们探讨了多种并行处理技术，包括I/O并行、查询间并行和查询内并行、操作间并行和操作内并行。我们还讨论了代价估算、查询优化和并行系统设计。有关基于RAID体系结构的磁盘组织的新内容在第10章中做了介绍。

- 高级话题。虽然我们对整本书的内容都做了修改和革新，但我们把与正在进行的数据研究新的数据库应用系统有关的介绍集中在新增加的3章中。

在第19章中我们讨论了几个专门的话题。第2版的第16章关于安全性和完整性的讨论，现在是19.1节。第19章的其余各节是新增加的内容，包括标准化方案、性能测试标准、性能调整、数据库中的时间、用户界面，以及主动数据库。

第20章中关于事务处理的一些内容来自于第2版的第12章，而20.2节的事务处理监控器、20.3节的高性能事务系统、20.5节的实时事务系统、20.7节的事务 workflow 都是新增的内容。

在第21章中我们介绍数据库系统的几个新应用，本章中包括的全部是新内容。首先，我



们讨论决策支持系统，包括数据分析、数据挖掘和数据仓库的应用。然后我们讨论空间和地理数据库、多媒体数据库，以及移动式和个人数据库。最后，我们讨论用于正文数据和分布式信息系统，包括国际互联网的信息检索系统。

## 讲课教师注意

本书包括基本内容和高级内容，在一个学期内不可能讲授所有这些内容。可以将课程安排成包括本书各章的不同子集。我们列出一些可能的安排如下：

- 如果学生在本课程中不使用 QBE、Quel 或 Datalog，可以不讲第 5 章。
- 第 7 章包括一系列的范式，按重要性递减的顺序排列，如果愿意的话，可以不讲后面的几节（从 7.4 节开始）。
- 如果面向对象的内容包括在另一门高级课程中，那么可以不讲第 8、9 章和 10.9 节。不过，它们可以构成对象数据库高级课程的基础。
- 第 11、12 章所包括的一些内容可能更适合于放到一门高级课程中。可以不讲 11.6、11.9、12.7、12.8 和 12.10 节，或只讲其中的部分内容。
- 我们对事务处理的讨论（第 13~15 章）和对数据库系统体系结构的讨论（第 16~18 章）都包括一章综述（分别为第 13 章和第 16 章）和后续两章的详细讨论。如果你计划把详细讨论的几章推迟到高级课程中去讲授，那么你可以只讲第 13 章和第 16 章。
- 最后 3 章（第 19~21 章）的各节都非常独立，可以根据教师或学生的兴趣剪裁一个子集放在最后，以丰富课程的内容。这些章的全部内容适合于高级课程。

可以在本书的 WWW 主页中找到基于本书内容的教学大纲样板。

## 主页

本书的 WWW 主页的网址是：

<http://www.bell-labs.com/topic/books/db-book>

该主页有关于本书的信息（例如最新勘误表）、样板教学大纲以及关于教学补充材料的信息等。

## 勘误

我们已尽了最大努力来避免本书中出现排版错误、内容失误等。然而，与新发布的软件相类似，错误在所难免。如果你能指出本书的疏漏之处，我们将十分感激。在本书的 WWW 主页中有一个最新勘误表，同时，你也许愿意对本书提出改进建议，或贡献一些习题，我们非常欢迎你能这样做。请将你的建议寄到 Avi Silberschatz, Bell Laboratories, Lucent Technologies Inc., 700 Mountain Avenue, Murray Hill, NJ 07974, USA。请将电子邮件发到 [db-book@research.bell-labs.com](mailto:db-book@research.bell-labs.com)。

# 目 录

译者序	
译者简介	
前言	
第 1 章 引言	1
1.1 数据库系统的目的	1
1.2 数据视图	3
1.2.1 数据抽象	3
1.2.2 实例和模式	4
1.2.3 数据独立性	4
1.3 数据模型	5
1.3.1 基于对象的逻辑模型	5
1.3.2 基于记录的逻辑模型	6
1.3.3 物理数据模型	7
1.4 数据库语言	8
1.4.1 数据定义语言	8
1.4.2 数据操纵语言	8
1.5 事务管理	9
1.6 存储管理	10
1.7 数据库管理员	10
1.8 数据库用户	10
1.9 系统总体结构	11
1.10 总结	13
习题	13
文献注解	14
第 2 章 实体-联系模型	15
2.1 基本概念	15
2.1.1 实体集	15
2.1.2 联系集	17
2.2 设计问题	18
2.2.1 用实体集还是用属性	18
2.2.2 用实体集还是用联系集	19
2.2.3 二元联系集与 $n$ 元联系集	19
2.3 映射约束	20
2.3.1 映射的基数	20
2.3.2 存在依赖	22
2.4 码	22
2.4.1 实体集	22
2.4.2 联系集	23
2.5 实体-联系图	23
2.6 弱实体集	26
2.7 扩展 E-R 特性	27
2.7.1 特殊化	27
2.7.2 概括	28
2.7.3 属性继承	29
2.7.4 约束设计	29
2.7.5 聚集	31
2.8 设计数据库的 E-R 模式	32
2.8.1 设计阶段	32
2.8.2 银行业务的数据需求	33
2.8.3 与银行相关的实体集	34
2.8.4 与银行相关的联系集	34
2.8.5 银行企业 E-R 图	34
2.9 将 E-R 模式转换为表	35
2.9.1 用表表示强实体集	35
2.9.2 用表表示弱实体集	36
2.9.3 用表表示联系集	36
2.9.4 多值属性	38
2.9.5 用表表示概括	38
2.9.6 用表表示聚集	39
2.10 总结	39
习题	40
文献注解	42
第 3 章 关系模型	43
3.1 关系数据库的结构	43
3.1.1 基本结构	43
3.1.2 数据库模式	44
3.1.3 码	46
3.1.4 查询语言	47
3.2 关系代数	48
3.2.1 基本运算	48
3.2.2 关系代数的形式化定义	53
3.2.3 附加运算	53
3.3 元组关系演算	56
3.3.1 查询的例子	57
3.3.2 形式化定义	58
3.3.3 表达式的安全性	59
3.3.4 语言的表达能力	59
3.4 域关系演算	59

3.4.1 形式化定义 .....	60	4.9.2 插入 .....	92
3.4.2 查询的例子 .....	60	4.9.3 更新 .....	94
3.4.3 表达式的安全性 .....	61	4.9.4 视图的更新 .....	95
3.4.4 语言的表达能力 .....	61	4.10 关系的连接 .....	95
3.5 扩展关系代数运算 .....	62	4.10.1 举例 .....	95
3.5.1 广义投影 .....	62	4.10.2 连接类型和条件 .....	97
3.5.2 外连接 .....	62	4.11 数据定义语言 DDL .....	98
3.5.3 聚集函数 .....	63	4.11.1 SQL 中的域类型 .....	99
3.6 数据库的修改 .....	65	4.11.2 SQL 的模式定义 .....	99
3.6.1 删除 .....	65	4.12 嵌入式 SQL .....	102
3.6.2 插入 .....	65	4.13 其他 SQL 特性 .....	104
3.6.3 更新 .....	66	4.14 总结 .....	104
3.7 视图 .....	66	习题 .....	105
3.7.1 视图定义 .....	67	文献注解 .....	107
3.7.2 通过视图进行更新与空值 .....	68	第 5 章 其他关系语言 .....	108
3.7.3 用视图定义视图 .....	68	5.1 Query-by-Example .....	108
3.8 总结 .....	69	5.1.1 在一个关系上的查询 .....	108
习题 .....	70	5.1.2 在多个关系上的查询 .....	111
文献注解 .....	72	5.1.3 条件框 .....	112
第 4 章 SQL .....	74	5.1.4 结果关系 .....	113
4.1 背景 .....	74	5.1.5 元组的显示次序 .....	114
4.2 基本结构 .....	75	5.1.6 聚集操作 .....	114
4.2.1 Select 子句 .....	76	5.1.7 数据库的修改 .....	116
4.2.2 Where 子句 .....	76	5.2 Quel .....	119
4.2.3 from 子句 .....	77	5.2.1 简单查询 .....	119
4.2.4 更名运算 .....	78	5.2.2 元组变量 .....	120
4.2.5 元组变量 .....	78	5.2.3 聚集函数 .....	121
4.2.6 字符串操作 .....	79	5.2.4 数据库的修改 .....	123
4.2.7 排列元组的显示次序 .....	80	5.2.5 集合操作 .....	125
4.2.8 重复 .....	80	5.2.6 Quel 和元组关系演算 .....	126
4.3 集合操作 .....	81	5.3 Datalog .....	127
4.3.1 并操作 .....	81	5.3.1 基本结构 .....	127
4.3.2 交操作 .....	82	5.3.2 Datalog 规则语法 .....	128
4.3.3 差操作 .....	82	5.3.3 非递归 Datalog 语义 .....	130
4.4 聚集函数 .....	83	5.3.4 安全性 .....	132
4.5 空值 .....	85	5.3.5 Datalog 中的关系运算 .....	132
4.6 嵌套子查询 .....	85	5.3.6 Datalog 中的递归 .....	133
4.6.1 集合成员资格 .....	85	5.3.7 递归的能力 .....	135
4.6.2 集合的比较 .....	87	5.4 总结 .....	137
4.6.3 测试是否为空关系 .....	88	习题 .....	137
4.6.4 测试是否存在重复元组 .....	89	文献注解 .....	139
4.7 派生关系 .....	90	第 6 章 完整性约束 .....	140
4.8 视图 .....	90	6.1 域约束 .....	140
4.9 数据库的修改 .....	91	6.2 参照完整性 .....	141
4.9.1 删除 .....	91	6.2.1 基本概念 .....	141

6.2.2 E-R模型中的参照完整性	142	8.4.2 对象标识与指针	191
6.2.3 数据库的修改	142	8.4.3 持久对象的存储和访问	192
6.2.4 SQL中的参照完整性	142	8.5 持久化C++系统	193
6.3 断言	144	8.5.1 ODMG C++对象定义语言	193
6.4 触发器	145	8.5.2 ODMG C++对象操纵语言	194
6.5 函数依赖	146	8.6 总结	196
6.5.1 基本概念	146	习题	197
6.5.2 函数依赖集的闭包	149	文献注解	197
6.5.3 属性集的闭包	150	第9章 对象-关系数据库	199
6.5.4 正则覆盖	151	9.1 嵌套关系	199
6.6 总结	152	9.2 复杂类型和面向对象	201
习题	153	9.2.1 有结构的类型和集合体类型	201
文献注解	154	9.2.2 继承	202
第7章 关系数据库设计	156	9.2.3 引用类型	205
7.1 关系数据库设计中易犯的错误	156	9.3 与复杂类型有关的查询	205
7.2 模式分解	157	9.3.1 以关系为值的属性	205
7.3 利用函数依赖作规范化	160	9.3.2 路径表达式	206
7.3.1 分解应具有的特性	160	9.3.3 嵌套与解除嵌套	207
7.3.2 Boyce-Codd范式	163	9.3.4 函数	208
7.3.3 第三范式	166	9.4 复杂值和复杂对象的创建	209
7.3.4 BCNF和3NF的比较	167	9.5 面向对象数据库与对象-关系数据库的比较	210
7.4 利用多值依赖作规范化	168	9.6 总结	210
7.4.1 多值依赖	168	习题	210
7.4.2 多值依赖的理论	170	文献注解	211
7.4.3 第四范式	171	第10章 存储结构和文件结构	213
7.5 利用连接依赖作规范化	173	10.1 物理存储介质概览	213
7.5.1 连接依赖	174	10.2 磁盘	214
7.5.2 投影-连接范式	175	10.2.1 磁盘的物理特性	215
7.6 域-码范式	176	10.2.2 磁盘性能的度量标准	216
7.7 数据库设计的其他方法	177	10.2.3 磁盘块存取的优化	217
7.8 总结	178	10.3 RAID	218
习题	179	10.3.1 通过冗余提高可靠性	219
文献注解	181	10.3.2 通过并行提高性能	219
第8章 面向对象数据库	182	10.3.3 RAID级别	220
8.1 新的数据库应用	182	10.3.4 选择正确的RAID级别	222
8.2 面向对象数据模型	183	10.3.5 扩展	223
8.2.1 对象结构	183	10.4 第三级存储	223
8.2.2 对象类	184	10.4.1 光盘	223
8.2.3 继承	185	10.4.2 磁带	223
8.2.4 多重继承	186	10.5 存储访问	224
8.2.5 对象标识	188	10.5.1 缓冲区管理器	224
8.2.6 对象包含	189	10.5.2 缓冲区替换策略	225
8.3 面向对象的语言	190	10.6 文件组织	226
8.4 持久化程序设计语言	190	10.6.1 定长记录	226
8.4.1 对象的持久性	191		

10.6.2 变长记录 .....	228	12.4.4 复杂选择的实现 .....	281
10.7 文件中记录的组织 .....	230	12.5 排序 .....	283
10.7.1 顺序文件组织 .....	231	12.6 连接运算 .....	285
10.7.2 聚集文件组织 .....	231	12.6.1 连接结果集大小的估计 .....	285
10.8 数据字典的存储 .....	233	12.6.2 嵌套循环连接 .....	286
10.9 面向对象数据库的存储结构 .....	234	12.6.3 块嵌套循环连接 .....	287
10.9.1 对象到文件的映射 .....	234	12.6.4 索引嵌套循环连接 .....	288
10.9.2 对象标识的实现 .....	234	12.6.5 归并连接 .....	288
10.9.3 持久化指针的管理 .....	235	12.6.6 散列连接 .....	290
10.9.4 对象的磁盘结构与内存结构 .....	238	12.6.7 复杂连接 .....	293
10.9.5 大对象 .....	239	12.7 其他运算 .....	294
10.10 总结 .....	239	12.7.1 消除重复 .....	294
习题 .....	240	12.7.2 投影 .....	295
文献注解 .....	242	12.7.3 集合运算 .....	295
<b>第 11 章 索引和散列 .....</b>	<b>244</b>	12.7.4 外连接 .....	295
11.1 基本概念 .....	244	12.7.5 聚集 .....	296
11.2 顺序索引 .....	244	12.8 表达式计算 .....	297
11.2.1 主索引 .....	245	12.8.1 实体化 .....	297
11.2.2 辅助索引 .....	248	12.8.2 流水线 .....	298
11.3 B <sup>+</sup> 树索引文件 .....	249	12.9 关系表达式的转换 .....	300
11.3.1 B <sup>+</sup> 树的结构 .....	249	12.9.1 表达式的等价性 .....	300
11.3.2 B <sup>+</sup> 树上的查询 .....	250	12.9.2 等价规则 .....	301
11.3.3 B <sup>+</sup> 树的更新 .....	251	12.9.3 变换的一些例子 .....	302
11.3.4 B <sup>+</sup> 树文件组织 .....	254	12.9.4 连接的次序 .....	304
11.4 B 树索引文件 .....	256	12.9.5 等价表达式的枚举 .....	305
11.5 静态散列 .....	257	12.10 选择执行计划 .....	305
11.5.1 散列文件组织 .....	257	12.10.1 执行技术的相互作用 .....	306
11.5.2 散列索引 .....	260	12.10.2 基于代价的优化 .....	306
11.6 动态散列法 .....	261	12.10.3 启发式优化 .....	307
11.7 顺序索引和散列的比较 .....	265	12.10.4 查询优化器的结构 .....	309
11.8 SQL 中的索引定义 .....	266	12.11 总结 .....	310
11.9 多码访问 .....	267	习题 .....	311
11.9.1 网格文件 .....	268	文献注解 .....	313
11.9.2 分段散列 .....	270	<b>第 13 章 事务 .....</b>	<b>315</b>
11.10 总结 .....	270	13.1 事务概念 .....	315
习题 .....	271	13.2 事务状态 .....	317
文献注解 .....	272	13.3 原子性和持久性的实现 .....	318
<b>第 12 章 查询处理 .....</b>	<b>274</b>	13.4 并发执行 .....	319
12.1 概述 .....	274	13.5 可串行化 .....	322
12.2 用于估计代价的目录信息 .....	276	13.5.1 冲突可串行化 .....	322
12.3 查询代价的度量 .....	277	13.5.2 视图可串行化 .....	324
12.4 选择运算 .....	277	13.6 可恢复性 .....	325
12.4.1 基本算法 .....	277	13.6.1 可恢复调度 .....	325
12.4.2 利用索引的选择 .....	279	13.6.2 无级联调度 .....	325
12.4.3 涉及比较的选择 .....	279	13.7 隔离性的实现 .....	325

13.8 SQL 中的事务定义 .....	326	15.5 影子分页 .....	368
13.9 可串行化判定 .....	326	15.6 并发事务的恢复 .....	370
13.9.1 冲突可串行化的判定 .....	327	15.6.1 与并发控制的关系 .....	371
13.9.2 视图可串行化的判定 .....	328	15.6.2 事务回滚 .....	371
13.10 总结 .....	331	15.6.3 检查点 .....	371
习题 .....	331	15.6.4 重启动恢复 .....	372
文献注解 .....	332	15.7 缓冲区管理 .....	372
<b>第 14 章 并发控制 .....</b>	<b>333</b>	15.7.1 日志记录缓冲 .....	372
14.1 基于锁的协议 .....	333	15.7.2 数据库缓冲 .....	373
14.1.1 锁 .....	333	15.7.3 操作系统在缓冲区管理中的	
14.1.2 锁的授予 .....	336	作用 .....	374
14.1.3 两阶段封锁协议 .....	336	15.8 非易失性存储器数据丢失的故障 .....	374
14.1.4 基于图的协议 .....	338	15.9 高级恢复技术 .....	375
14.2 基于时间戳的协议 .....	340	15.9.1 逻辑 Undo 日志 .....	375
14.2.1 时间戳 .....	340	15.9.2 事务回滚 .....	376
14.2.2 时间戳排序协议 .....	340	15.9.3 检查点 .....	376
14.2.3 Thomas 写规则 .....	341	15.9.4 重启动恢复 .....	376
14.3 基于有效性检查的协议 .....	342	15.9.5 模糊检查点 .....	377
14.4 多粒度 .....	343	15.10 总结 .....	377
14.5 多版本机制 .....	345	习题 .....	378
14.5.1 多版本的时间戳排序 .....	345	文献注解 .....	379
14.5.2 多版本两阶段封锁 .....	346	<b>第 16 章 数据库系统体系结构 .....</b>	<b>381</b>
14.6 死锁处理 .....	346	16.1 集中式系统 .....	381
14.6.1 死锁预防 .....	347	16.2 客户-服务器系统 .....	382
14.6.2 基于超时的机制 .....	348	16.2.1 事务服务器 .....	383
14.6.3 死锁检测与恢复 .....	348	16.2.2 数据服务器 .....	384
14.7 插入与删除操作 .....	349	16.3 并行系统 .....	385
14.7.1 删除 .....	349	16.3.1 加速比和扩展性 .....	385
14.7.2 插入 .....	350	16.3.2 互连网络 .....	386
14.7.3 幻象现象 .....	350	16.3.3 并行数据库体系结构 .....	387
14.8 索引结构中的并发 .....	352	16.4 分布式系统 .....	389
14.9 总结 .....	353	16.4.1 说明性的例子 .....	389
习题 .....	354	16.4.2 利弊权衡 .....	390
文献注解 .....	357	16.5 网络类型 .....	391
<b>第 15 章 恢复系统 .....</b>	<b>359</b>	16.5.1 局域网 .....	391
15.1 故障分类 .....	359	16.5.2 广域网 .....	391
15.2 存储器结构 .....	359	16.6 总结 .....	393
15.2.1 存储器类型 .....	359	习题 .....	393
15.2.2 稳定存储器的实现 .....	360	文献注解 .....	394
15.2.3 数据访问 .....	361	<b>第 17 章 并行数据库 .....</b>	<b>395</b>
15.3 恢复与原子性 .....	362	17.1 引言 .....	395
15.4 基于日志的恢复 .....	362	17.2 I/O 并行 .....	395
15.4.1 延迟的数据库修改 .....	363	17.2.1 划分技术 .....	395
15.4.2 立即的数据库修改 .....	365	17.2.2 划分技术比较 .....	396
15.4.3 检查点 .....	367	17.2.3 偏斜的处理 .....	397

17.3 查询间并行 .....	397	18.9 多数据库系统 .....	434
17.4 查询内并行 .....	398	18.9.1 数据的一致视图 .....	434
17.5 操作内并行 .....	399	18.9.2 事务管理 .....	435
17.5.1 并行排序 .....	399	18.10 总结 .....	437
17.5.2 并行连接 .....	400	习题 .....	437
17.5.3 其他关系操作 .....	403	文献注解 .....	439
17.5.4 操作并行计算的代价 .....	403	第 19 章 特别的话题 .....	441
17.6 操作间并行 .....	404	19.1 安全性和完整性 .....	441
17.6.1 流水线并行 .....	404	19.1.1 安全性和完整性违例 .....	441
17.6.2 独立的并行 .....	405	19.1.2 授权 .....	442
17.6.3 查询优化 .....	405	19.1.3 授权与视图 .....	443
17.7 并行系统设计 .....	406	19.1.4 权限的授予 .....	443
17.8 总结 .....	407	19.1.5 在 SQL 中进行安全性说明 .....	444
习题 .....	407	19.1.6 加密 .....	445
文献注解 .....	408	19.1.7 统计数据库 .....	447
第 18 章 分布式数据库 .....	410	19.2 标准化 .....	447
18.1 分布式数据存储 .....	410	19.3 性能基准程序 .....	449
18.1.1 数据复制 .....	410	19.3.1 任务集 .....	449
18.1.2 数据分片 .....	411	19.3.2 数据库应用类型 .....	450
18.1.3 数据复制与分片 .....	413	19.3.3 TPC 基准程序 .....	450
18.2 网络透明性 .....	414	19.3.4 OODB 基准程序 .....	451
18.2.1 数据项的命名 .....	414	19.4 性能调整 .....	451
18.2.2 透明性与更新 .....	415	19.4.1 瓶颈的位置 .....	451
18.3 分布式查询处理 .....	416	19.4.2 可调参数 .....	452
18.3.1 查询转换 .....	416	19.4.3 模式的调整 .....	453
18.3.2 简单的连接处理 .....	417	19.4.4 索引的调整 .....	453
18.3.3 半连接策略 .....	417	19.4.5 事务的调整 .....	454
18.3.4 利用并行性的连接策略 .....	418	19.4.6 性能模拟 .....	454
18.4 分布式事务模型 .....	418	19.5 数据库中的时间 .....	455
18.4.1 系统结构 .....	419	19.5.1 SQL-92 中的时间定义 .....	455
18.4.2 系统故障模式 .....	419	19.5.2 时态查询语言 .....	456
18.4.3 强壮性 .....	421	19.6 用户界面 .....	456
18.5 提交协议 .....	422	19.7 主动数据库 .....	458
18.5.1 两阶段提交 .....	422	19.8 总结 .....	460
18.5.2 三阶段提交 .....	424	习题 .....	461
18.5.3 协议的比较 .....	427	文献注解 .....	462
18.6 协调器选择 .....	427	第 20 章 高级事务处理 .....	464
18.6.1 备份协调器 .....	427	20.1 远程备份系统 .....	464
18.6.2 选举算法 .....	428	20.2 事务处理监控器 .....	466
18.7 并发控制 .....	428	20.2.1 TP 监控器体系结构 .....	466
18.7.1 封锁协议 .....	428	20.2.2 使用 TP 监控器进行应用协	
18.7.2 时间戳 .....	430	调 .....	468
18.8 死锁处理 .....	431	20.3 高性能事务系统 .....	469
18.8.1 集中方式 .....	431	20.3.1 主存数据库 .....	469
18.8.2 全分布方式 .....	432	20.3.2 成组提交 .....	470



20.4 长事务 .....	470	21.5.2 设计数据库 .....	493
20.4.1 不可串行化的执行 .....	471	21.5.3 地理数据 .....	493
20.4.2 并发控制 .....	472	21.5.4 空间查询 .....	495
20.4.3 嵌套事务和多级事务 .....	472	21.5.5 空间数据的索引 .....	495
20.4.4 补偿事务 .....	473	21.6 多媒体数据库 .....	497
20.4.5 实现问题 .....	474	21.6.1 基于相似性的检索 .....	498
20.5 实时事务系统 .....	474	21.6.2 连续介质数据 .....	498
20.6 较弱的一致性级别 .....	475	21.7 移动性和个人数据库 .....	499
20.6.1 二级一致性 .....	475	21.7.1 移动计算模型 .....	500
20.6.2 游标稳定 .....	475	21.7.2 路由和查询处理 .....	500
20.7 事务工作流 .....	476	21.7.3 广播数据 .....	500
20.7.1 工作流说明 .....	477	21.7.4 连接断开与一致性 .....	501
20.7.2 工作流的故障原子性需求 .....	478	21.8 信息检索系统 .....	502
20.7.3 工作流的执行 .....	478	21.8.1 查询 .....	503
20.7.4 工作流的恢复 .....	479	21.8.2 文档的索引 .....	503
20.8 总结 .....	480	21.8.3 浏览与超文本 .....	504
习题 .....	480	21.9 分布式信息系统 .....	506
文献注解 .....	481	21.10 World Wide Web .....	507
第 21 章 新的应用 .....	483	21.10.1 统一资源定位器 .....	507
21.1 决策支持系统 .....	483	21.10.2 Web 服务器 .....	508
21.2 数据分析 .....	484	21.10.3 显示语言 .....	508
21.3 数据挖掘 .....	486	21.10.4 数据库的 Web 接口 .....	510
21.3.1 用规则表示知识 .....	486	21.10.5 在 Web 上查找信息 .....	511
21.3.2 数据挖掘问题的类型 .....	487	21.11 总结 .....	512
21.3.3 用户制导的数据挖掘 .....	488	习题 .....	513
21.3.4 规则的自动发现 .....	488	文献注解 .....	514
21.4 数据仓库工程 .....	490	附录 A 网状模型 .....	516
21.5 空间和地理数据库 .....	491	附录 B 层次模型 .....	521
21.5.1 几何信息的表示 .....	492		

# 第 1 章 引 言

数据库管理系统 (DBMS) 由一个互相关联的数据的集合和一组用以访问这些数据的程序组成, 这个数据集合通常称作数据库, 其中包含了关于某个企业的信息。DBMS 的基本目标是要提供一个可以方便地、有效地存取数据库信息的环境。

设计数据库系统的目的是为了管理大量信息。对数据的管理既涉及到信息存储结构的定义, 又涉及信息操作机制的提供。另外, 数据库系统还必须提供所存储信息的安全性保证, 即使在系统崩溃或有人企图越权访问时也应保障信息的安全性。如果数据将被多用户共享, 那么系统还必须设法避免可能产生的异常结果。

对大多数组织而言, 信息都非常重要, 这决定了数据库的价值, 并使得大量的用于有效管理数据的概念、技术得到发展。本章将简要介绍数据库系统的基本原理。

## 1.1 数据库系统的目的

假设储蓄银行的某个部门需要保存所有客户及储蓄帐户的信息, 在计算机上保存这些信息的一种方法是将它们存放在永久性系统文件中。为了使用户可以对信息进行操作, 系统中应有一些对文件进行操作的应用程序, 包括:

- 处理某帐户的借/贷程序。
- 创建新帐户的程序。
- 查询帐户余额的程序。
- 产生每月财务报告的程序。

这些应用程序是由系统程序员根据银行的需求编写的。

随着需求的增长, 新的应用程序加入到系统中来。例如, 如果政府颁布新条例允许储蓄银行开设支票帐户, 这时银行就需要创建新的永久文件来存放银行所维护的所有支票帐户的信息, 同时还可能需要编写新的应用程序来处理那些在储蓄帐户里不会出现的情况 (例如: 透支)。因此, 随着时间的推移, 越来越多的文件和应用程序加入到系统中。

以上所描述的典型的文件处理系统是传统的操作系统所能支持的。永久记录被存储在多个不同的文件中, 人们编写不同的应用程序来将记录从适当的文件中取出或加入到适当的文件中。在 DBMS 出现以前, 各个组织通常都采用这样的系统来存储信息。

在文件处理系统中存储信息的主要弊端包括:

- 数据的冗余和不一致。由于文件和程序是很长一段时间内由不同的程序员创建的, 因此不同文件可能采用不同格式, 不同程序可能采用不同语言。此外, 相同的信息可能在几个地方 (文件) 重复存储。例如, 某个客户的地址和电话号码可能既在由储蓄帐户记录组成的文件中出现, 也可能又在由支票帐户记录组成的文件中出现。这种冗余除了导致存储和访问开销增大以外, 还可能导致数据不一致, 即同一数据的不同副本不一致。例如, 某个客户地址的更改可能只在储蓄帐户记录中得到反映而在系统的其他地方却没有得到反映。

- 数据访问困难。假设银行的某个高级职员想要找出所有居住地邮编为 78733 的客户的姓名, 这时他会要求数据处理部门生成这样的一个列表。由于在最初的系统设计时并未预料到