

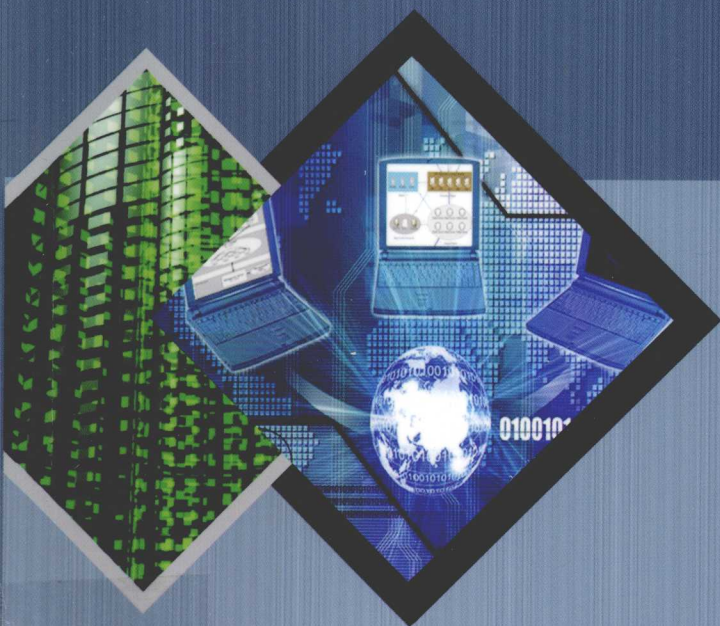


中国科学院研究生教学丛书

分布式数据库系统 及其应用

(第三版)

徐俊刚 邵佩英 编著



科学出版社

TP311.133.1/4

2012

中国科学院研究生教学丛书

分布式数据库系统及其应用

(第三版)

徐俊刚 邵佩英 编著

北方工业大学图书馆



C00273057

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书详细介绍了分布式数据库系统涉及的主要技术,包括分布式数据库设计、分布式查询处理和优化、分布式事务管理和恢复、分布式并发控制、分布式数据库的可靠性、分布式数据库的安全性等内容,同时介绍了分布式数据库系统的几个典型应用和发展趋势。本书在第二版的基础上做了一些修改和补充,增加或补充了数据库技术和计算机网络基础知识回顾、分布式数据库系统的主要应用、分布式数据库系统的发展趋势等内容,并结合当前流行的云计算技术增加了一些新的内容,如 GFS、HDFS、BigTable、HBase 等,以使读者对分布式数据库系统的未来发展有较为清晰的了解。本书对分布式数据库系统的基本内容进行了详实的讲解,对一些有争议的问题进行了开放式的讨论,但对深奥的理论没有采用繁琐的证明方式,而是采用大量的图示和实例做浅显的解释,从而增加了可读性。

本书可作为高等院校计算机及相关专业高年级本科生的选修课教材,特别适合作为计算机及相关专业研究生的专业基础课教材,还可作为高等院校教师及从事分布式数据库系统领域研究或应用开发人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

分布式数据库系统及其应用/徐俊刚,邵佩英编著. —3 版. —北京:科学出版社,2012

(中国科学院研究生教学丛书)

ISBN 978-7-03-033972-0

I. ①分… II. ①徐… ②邵… III. ①分布式数据库-数据库系统-研究生-教材 IV. ①TP311.133.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 060182 号

责任编辑:鞠丽娜/责任校对:耿 耘

责任印制:吕春珉/封面设计:三函设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2000 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005 年 3 月第 二 版 印张:22 3/4

2012 年 4 月第 三 版 字数:510 000

2012 年 4 月第十二次印刷

定价:44.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈骏杰〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62135319-8002

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

《中国科学院研究生教学丛书》

总编委会

主 任：白春礼
副 主 任：余翔林 师昌绪 杨 乐 汪尔康 沈允钢
 黄荣辉 叶朝辉 李 佩
委 员：朱清时 匡廷云 叶大年 王 水 冯克勤
 冯玉琳 刘政凯 龚 立 侯建勤

《中国科学院研究生教学丛书》

技术学科编委会

主 编：师昌绪
副 主 编：冯玉琳
编 委：刘政凯 徐至展 陈先霖 王占国 马颂德
 吴承康 史忠植

《中国科学院研究生教学丛书》序

在 21 世纪曙光初露，中国科技、教育面临重大改革和蓬勃发展之际，《中国科学院研究生教学丛书》——这套凝聚了中国科学院新老科学家、研究生导师们多年心血的研究生教材面世了。相信这套丛书的出版，会在一定程度上缓解研究生教材不足的困难，对提高研究生教育质量起着积极的推动作用。

21 世纪将是科学技术日新月异、迅猛发展的新世纪，科学技术将成为经济发展的最重要的资源和不竭的动力，成为经济和社会发展的首要推动力量。世界各国之间综合国力的竞争，实质上是科技实力的竞争。而一个国家科技实力的决定因素是它所拥有的科技人才的数量和质量。我国要想在 21 世纪顺利地实施“科教兴国”和“可持续发展”战略，实现小平同志规划的第三步战略目标——把我国建设成中等发达国家，关键在于培养造就一支数量宏大、素质优良、结构合理、有能力参与国际竞争与合作的科技大军，这是摆在我国高等教育面前的一项十分繁重而光荣的战略任务。

中国科学院作为我国自然科学与高新技术的综合研究与发展中心，在建院之初就明确了出成果出人才并举的办院宗旨，长期坚持走科研与教育相结合的道路，发挥了高级科技专家多、科研条件好、科研水平高的优势，结合科研工作，积极培养研究生；在出成果的同时，为国家培养了数以万计的研究生。当前，中国科学院正在按照江泽民同志关于中国科学院要努力建设好“三个基地”的指示，在建设具有国际先进水平的科学研究基地和促进高新技术产业发展基地的同时，加强研究生教育，努力建设好高级人才培养基地，在肩负起发展我国科学技术及促进高新技术产业发展重任的同时，为国家源源不断地培养输送大批高级科技人才。

质量是研究生教育的生命，全面提高研究生培养质量是当前我国研究生教育的首要任务。研究生教材建设是提高研究生培养

质量的一项重要的基础性工作。由于各种原因,目前我国研究生教材的建设滞后于研究生教育的发展。为了改变这种情况,中国科学院组织了一批在科学前沿工作,同时又具有相当教学经验的科学家撰写研究生教材,并以专项资金资助优秀的研究生教材的出版。希望通过数年努力,出版一套面向 21 世纪科技发展,体现中国科学院特色的高水平的研究生教学丛书。本丛书内容力求具有科学性、系统性和基础性,同时也兼顾前沿性,使阅读者不仅能获得相关学科的比较系统的科学基础知识,也能被引导进入当代科学研究的前沿。这套研究生教学丛书,不仅适合于在校研究生学习使用,也可以作为高校教师和专业研究人员工作和学习的参考书。

“桃李不言,下自成蹊。”我相信,通过中国科学院一批科学家的辛勤耕耘,《中国科学院研究生教学丛书》将成为我国研究生教育园地的一丛鲜花,也将似润物春雨,滋养莘莘学子的心田,把他们引向科学的殿堂,不仅为科学院,也为全国研究生教育的发展作出重要贡献。

杨国祥

第三版前言

本书自2000年6月出版以来,已经有12年了,期间于2005年3月出版了第二版,并经过了多次印刷,至今已经印刷2.5万余册。根据多年来本书使用情况的反馈,这是一本很受欢迎的分布式数据库系统领域的研究生教材,受到了多所大学教师和学生的好评。本书全面、系统地阐述了分布式数据库系统的基本理论、体系结构、设计思想、技术方法、存在问题以及发展趋势,重点论述了分布式数据库的查询优化、事务管理、并发控制、可靠性和安全性等内容;阐述了分布式数据库系统的设计步骤和设计方法;结合当前并行数据处理、数据仓库、移动计算和云计算等先进技术,阐述了分布式数据库系统的发展趋势;给出了若干分布式数据库系统的典型应用,以供广大读者设计分布式数据库应用系统时参考。

现代数据库技术和现代通信技术两者的迅速发展和有机结合,使得整个Internet就像一个巨大的“分布式数据库”,在当前信息社会中起着不可替代的作用。同时,随着时间的推移和市场的需要,对《分布式数据库系统及其应用》一书提出了新的更高的要求。为此,有必要对本书第二版的内容和结构进行适当的调整、补充、修改和完善,增加与分布式数据库密切相关的移动数据库、数据仓库、分布式文件系统、非关系型数据库和云计算等新内容,这些技术已经成为数据库技术研究、开发和应用领域非常活跃的热点。

鉴于以上原因,作者根据本人在教学实践中获得的反馈信息,结合当前数据库技术发展的趋势,在第二版的基础上进行了以下一些修改。

第一章在第二版第一章的基础上,除了调整结构、补充和进一步完善有关内容之外,还增加了一些新的内容。第1.4节“分布式数据库系统与客户机/服务器模式”和第1.7节“分布式数据库目录系统的主要内容和逻辑结构”是对第二版有关章节的内容进行修改、调整和补充而成的;而第1.6节“其他非集中式数据库系统”、第1.8节“分布式数据库系统的主要技术”和第1.9节“分布式数据库系统的主要应用”是新增加的内容。

第二章是新增加的一章。由于分布式数据库是计算机网络与数据库技术相互渗透和有机结合的产物,它的基础是计算机网络和数据库技术。为了更好地学习这门课程,本章回顾了数据库技术以及计算机网络的一些基础知识,读者若对数据库技术及计算机网络的基础知识掌握较好,这一章可以略过。

第三章在第二版第二章的基础上,进行了结构调整、补充和完善。在详细阐述分布式数据库系统设计的目标、内容、步骤和方法时,强调数据的分片设计和分配设计,并将本书第二版第一章第1.4节的内容调整为本章第3.7节的内容。

第四章在第二版第三章的基础上,主要是调整结构、补充和完善有关内容。特别是在第4.6节“典型分布式数据库系统中的查询优化策略和算法”中补充了SDD-1、

R* 和 Ingres 系统中的查询优化算法。

第五章~第八章都是在第二版相应章节的基础上进行了修改和补充,并进一步完善了有关内容。

第九章是在对第二版第九章内容进行整合的基础上新增加的一章。其中第 9.1 节“移动分布式数据库系统”是对第二版第九章第 9.4~9.6 节内容进行整合、修改而得;特别是增加了第 9.2~9.5 节有关连锁超市、火车订票、GSP 药品管理以及银行管理分布式数据库系统的内容,着重阐述了分布式数据库应用系统的设计过程,详细阐述了系统的需求分析、系统设计以及分布设计等内容。

第十章对第二版第十章和第十一章内容进行了较大的调整和修改,并增加了一些较新的内容。除保留第 10.1 节“并行数据库服务器与分布式数据库系统”内容之外,补充和完善了第二版第十一章第 11.1 节数据仓库的内容;还新增加了分布式文件系统、非关系型数据库等内容,重点介绍了与当前云计算紧密相关的 Google File System、BigTable、Hadoop 等技术和产品,阐述了数据库技术的最新发展趋势。

此外,本书还增加了部分习题,习题涉及分布式数据库系统的概念、理论、算法、技术和方法等。给出习题的目的在于使读者对每一章的内容进行复习、回顾,将所学的知识应用于实际的例子中,以进一步巩固所学的知识。

本书第三版保持了第二版的特点。所有概念都以一种技术上完备而又易于理解的方式进行表达,并尽量减少各种符号的使用。没有采用繁琐的证明方法,而是采用了大量的图示和实例来描述概念和预期的结果,从而进一步增加了知识性和易理解性。本书内容涵盖了分布式数据库系统研究领域的各个方面以及关键技术问题,并以真实的实例引入分布式数据库系统的设计方法。书中对分布式数据库系统的基本内容提供详实的叙述,对深奥的理论做了浅显的解释,对一些有争议的问题进行了开放式的讨论,并充分反映了分布式数据库系统研究和应用领域新的发展趋势。通过本书的学习,读者可以对分布式数据库系统的整体结构、设计技术和关键问题有深入的认识和理解,同时可以掌握分布式数据库系统的理论知识和应用开发方法。

本书适合作为计算机相关专业高年级本科生的选修课教材,特别适合作为计算机及相关专业研究生的专业基础课教材,还可作为高等院校教师及从事分布式数据库系统领域研究或应用开发人员的参考书。在学习本书之前,读者应具有计算机网络和数据库技术的基础知识。如果作为教材,作者建议用 60 学时讲授本书,如果课时有限,可以选择本书的第一章、第三至七章进行重点讲授,将第二章和第八至十章作为课外选读资料。此外,选用本书作为教材的教师,如果需要课件和习题解答,请联系本书作者(xujungang@vip.sina.com)或者科学出版社技术分社(<http://www.abook.cn>)。

邱琳、裴莹、孙健、岑植旺、詹坤林、杨博文、赵越、李慧、周诗龙、刘晟源、刘总真等同学为本书做了很多工作,提供了大量的资料。科学出版社的鞠丽娜编辑及其他有关工作人员为本书的出版做了大量的工作,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免存在疏漏与不妥之处,敬请广大读者批评指正。

作者

2012 年 2 月

第二版前言

本书作为中国科学院研究生教学丛书之一已经出版四年多了。据有关部门反映,这是一本备受欢迎的数据库系统教材。它全面、系统地阐述了分布式数据库系统的基本理论、概念原理、结构特点、存在问题、设计思想、技术方法;重点论述了分布式数据库的查询优化、事务管理、并发控制、可靠性、安全性和目录管理;讨论了客户机/服务器模式的概念、结构、工作方式以及与分布式数据库系统的关系;展望了分布式数据库系统的发展前景。

现代数据库管理技术在当前信息社会中的关键作用已经变得更加清晰,毕竟 Internet 仅仅是一个通信系统,它的真正价值是从数据库中读取或存入数据和信息。因此,随着 Internet 和无线技术的发展,特别是 WWW 建立以来,它们与分布式数据库有着极其紧密的关系。从特定意义上说,整个 Internet 就是一个巨大的“分布式数据库”。同时,随着时间的推移,本书中的内容,特别是后面部分的内容,已经有了相当大的变化。与分布式数据库技术密切相关的、新的数据库与网络的接口技术、新的软件开发方法、WWW 数据库、移动数据库的产生和应用,以及数据仓库、联机分析处理(OLAP)和数据挖掘已经成为了数据库技术研究、开发和应用最活跃的热点之一。

考虑到上述原因,作者根据本人的教学实践和有关反馈信息,对第一版中的内容做了如下几个方面的修改。

对第一至四章的修改主要是调整结构、补充和进一步完善有关内容。

对第五至七章,除修改、补充和进一步完善外,新增加的内容包括分布式事务管理的可串行化调度测试,两阶段封锁协议的实现方法,基于时间戳排序的多版本技术,采用验证锁的多版本两阶段封锁技术;关于分布式可靠性协议中的网络分割与提交协议;分布式数据库安全中的用户账户和数据库审计,统计数据库的安全性,数据加密技术,目录管理的重要性等内容。

对第八章的修改除调整结构、补充和进一步完善外,新增加了客户机/服务器计算模式的远景展望,创建基于客户机/服务器模式系统的自动化设计工具,创建基于客户机/服务器模式系统的技术和方法,基于组件的软件开发技术,异构数据源访问接口技术和方法等内容。

删除了第一版的第九章,本书新增加的第九章是:分布式数据库与 WWW 数据库和移动数据库。这两类数据库与分布式数据库有着极其紧密的关系,研究支持它们的基本技术,并考察它们将会如何影响分布式数据库系统。

对第十章的修改除调整结构、补充和进一步完善外,新增加了对对象-关系数据库系统的产生和发展,重点介绍 SQL3 语言对对象-关系数据库系统的支持,讨论嵌套关系模型。

本书增加了第十一章:数据仓库与数据挖掘。本章概括地论述了数据库技术的最

新应用领域：数据仓库、联机分析处理和数据挖掘的关键概念、数据模型、功能结构、技术方法，通过实例给出支持决策的方法，以及介绍了一些预期的研究方向。数据仓库可以看成是要求事先进行多种活动的一种过程；数据挖掘可以认为是从现存的数据仓库中发现知识的一个活动。

本书增加的章后练习习题涉及了概念、理论、算法、技术和方法。给出章后练习习题的目的在于使学生们能对每一章学到的知识进行复习、回顾和系统化，有的习题还要求将所学知识应用到一个小的、实际的，但有约束的例子中，以进一步巩固所学的知识。

本书第二版继续保持了第一版的特点。所有概念都以一种技术上完备，而又易于理解的方式表达，并尽量减少各种符号的使用。它没有采用繁琐的证明方法，而是采用了大量的图示和实例描述概念和预期的结果，从而进一步增加了它的知识性和易理解性。本书内容涵盖了分布式数据库研究领域的各个关键问题，并以真实的实例系统引入分布式数据库的设计技术和方法。书中对分布式数据库技术的基本内容提供翔实的讲解，对深奥的理论做了浅显的解释，对一些有争议的问题进行了开放式的讨论，并充分反映了分布式数据库技术和应用开发的新的发展趋势。通过本书的学习，读者可以对分布式数据库系统的整体结构、设计技术和关键问题有深入的认识和理解，同时可以熟识分布式数据库系统的理论基础和应用方法。

作者认为应当用一年的时间来学习这门课程。但是如果仅仅有一个学期的时间，可以选择本书的第一至七章进行系统学习，而将八至十一章作为参考资料。

本书适合作为计算机专业高年级本科生的选修课教材，特别适合作为研究生的专业课教材，还可作为高校教师及从事计算机信息处理研究或相关应用开发人员工作和学习的参考资料。在学习本书之前，读者应具有数据库的基本概念和基础知识。

罗晓沛、孙淑玲、李伯民、陈伯飞仔细审阅了全书；宋纲、陈铭、王辉、祝孔强、阚劲松、颜涯等同学为本书提供有关资料。科学出版社的有关工作人员为本书的出版做了大量工作，在此一并表示衷心的感谢。

邵佩英

2004年12月

第一版前言

数据库技术从 20 世纪 60 年代中期产生至今,虽然只有短短 30 几年的历史,但其发展速度之快、应用范围之广是其他许多技术所远不及的。当今社会已进入信息时代,信息越来越引起人们的关注,但任何信息处理都离不开数据库技术。随着计算机网络技术的发展,又极大地拓展了数据库技术应用的广度和深度。在现实世界中,由于地域上分散而管理上又相对集中的大型企业组织、公司集团、商业团体,又向数据库技术提出新的要求:不但要求本部门信息处理使用数据库技术,而且要求地域上分散的信息能够互连和共享,从而使得分布式数据库技术应运而生,并迅速成为现代数据库的主流技术,特别是基于客户机/服务器计算模式的协作式分布式数据库系统,近年来已成为热点,并在实际应用中起着积极的作用。

分布式数据库系统是计算机网络技术与数据库技术互相渗透和有机结合的产物,它主要研究在计算机网络上如何进行数据的分布和处理。由于它有着许多突出的特点,十分适合大集团、大企业,多种行业,如银行、连锁店、保险业、交通业,跨地区管理机构,以及军事国防等领域的应用。在这些组织中,往往既要有各部门的局部控制和分散管理,也要有整个组织的全局集中控制和高层次的协同管理。这就要求各部门的信息既能够灵活交流和共享,又能够统一管理和使用。可见,分布式数据库技术有着广阔的应用背景。

尽管分布式数据库技术发展迅速,并日趋完善,但由于它的建立环境复杂,技术内容丰富,至今仍然有很多理论和实际问题有待进一步研究和解决。为此,一些大学和研究单位都为本科生和研究生开设“分布式数据库系统”课程和讲座。但有关这一专题出版的书籍却不多。因此,作者根据几年来从事分布式数据库的教学和应用实践,并参考有关资料,编写了《分布式数据库系统及其应用》。

本书共 10 章。第一章分布式数据库系统概述,介绍相关的基础知识,阐述分布式数据库系统的概念、结构、功能、特点及存在问题(也是研究方向);第二章分布式数据库系统的设计,阐述分布式数据库设计的思想和原理,技术和方法,突出分布式数据库系统设计的特色:数据的分片设计和数据的分布设计;第三章至第七章是研究分布式数据库系统的重点,分别讨论分布式数据库的查询处理与优化、事务管理、并发控制、可靠性、安全性以及分布式数据库的目录管理等。第八章客户机/服务器模式与分布式数据库,从理论和实际应用角度,阐述了客户机/服务器计算模式的概念、结构特征、工作原理、技术方法、与分布式数据库系统的关系;第九章是以流行的数据库管理系统 SYBASE 为例,介绍基于客户机/服务器模式的系统,并从实际应用出发,阐述一个使用 SYBASE 系统的高级应用开发人员应该了解和掌握的关于 SYBASE DBMS 的功能和性能特点、体系结构及相应成分、系统建模和应用开发使用的主要工具以及 SYBASE 的分布式数据处理功能;第十章分布式数据库发展趋势,展望了分布式数据

库系统的发展前景，进一步阐述客户机/服务器模式与分布式数据库的关系，介绍与分布式数据库研究方向有关的并行数据库技术、知识库技术和面向对象数据库技术。

本书所阐述的内容旨在学习和掌握已经证明了是正确的理论、思想和方法，指导分布式数据库系统的实现和分布式数据库技术的应用；学习如何分析和解决在实践中可能出现的问题和困难；了解分布式数据库系统技术的发展趋势和研究方向，拓展数据库的相关知识。

本书可作为计算机专业本科生或研究生教材，也可作为从事计算机信息处理研究或应用开发人员的参考资料。在学习本书之前，读者应具有数据库的基本概念和基础知识。

中国科学技术大学研究生院罗晓沛教授和孙淑玲教授，中国科学院高能物理研究所李伯民研究员仔细审阅了全书，对术语、文字进行了规范，并提出许多宝贵意见，在此向他们表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，加上分布式数据库涉及的知识面广，而且在迅速发展，许多术语尚未统一。若有不当之处，敬请读者指正。

目 录

第一章 分布式数据库系统概论	1
1.1 分布式数据库系统的起源与发展	1
1.1.1 分布式数据库系统的起源	1
1.1.2 分布式数据库系统的发展	2
1.2 分布式数据库系统的定义与分类	4
1.2.1 分布式数据库系统的定义	4
1.2.2 分布式数据库系统的分类	7
1.3 分布式数据库系统的体系结构	9
1.3.1 基于三层模式的分布式数据库系统体系结构	9
1.3.2 基于组件模式的分布式数据库系统体系结构	13
1.4 分布式数据库系统与客户机/服务器模式	15
1.4.1 集中式客户机/服务器系统	16
1.4.2 多客户机/单服务器系统	17
1.4.3 多客户机/多服务器系统	17
1.4.4 服务器-服务器系统	17
1.4.5 对等客户机/服务器系统	17
1.5 分布式数据库管理系统	19
1.5.1 分布式数据库管理系统的功能	19
1.5.2 分布式数据库管理系统的结构	20
1.6 其他非集中式数据库系统	21
1.6.1 对等数据库系统	22
1.6.2 多数据库系统	24
1.7 分布式数据库目录系统的主要内容和逻辑结构	26
1.7.1 分布式数据库目录系统的主要内容	26
1.7.2 分布式数据库目录系统的主要用途	27
1.7.3 分布式数据库目录系统的组织方式及逻辑结构	28
1.7.4 分布式数据库系统目录的分布方式	30
1.8 分布式数据库系统的主要技术	31
1.9 分布式数据库系统的主要应用	32
1.10 分布式数据库系统的优点和存在的技术问题	34
1.10.1 分布式数据库系统的优点	34
1.10.2 分布式数据库系统中存在的技术问题	36
1.11 小结	38

习题	39
第二章 基础知识回顾	40
2.1 数据库技术回顾	40
2.1.1 数据库技术基本概念	40
2.1.2 数据库系统的模式结构	41
2.1.3 关系数据模型	42
2.1.4 实体联系模型	44
2.1.5 SQL 语言	46
2.1.6 关系代数与关系数据库的查询优化	50
2.1.7 关系数据库设计理论——模式设计	53
2.1.8 数据库系统设计	55
2.1.9 数据库管理系统	58
2.1.10 数据库保护	63
2.2 计算机网络回顾	65
2.2.1 计算机网络的定义	66
2.2.2 计算机网络的分类	66
2.2.3 计算机网络拓扑结构	67
2.2.4 网络协议	68
2.2.5 Internet	69
2.3 小结	72
习题	73
第三章 分布式数据库系统的设计	74
3.1 分布式数据库系统设计的目标	74
3.2 分布式数据库系统设计的内容	75
3.3 分布式数据库系统的设计方法	76
3.3.1 自顶向下设计方法	76
3.3.2 自底向上设计方法	77
3.4 数据分片设计	80
3.4.1 分片设计的基本目的	80
3.4.2 数据分片的基本类型和方法	81
3.4.3 水平分片	81
3.4.4 垂直分片	84
3.5 数据分布设计	85
3.5.1 数据分布策略	86
3.5.2 数据片段位置分配的方法	86
3.5.3 数据片段分配的费用和得益估算	87
3.6 DATAID-D 方法	89
3.6.1 DATAID-D 方法概述	89

3.6.2 分布要求分析阶段	90
3.6.3 分布设计阶段	91
3.7 分布式数据库系统中数据的独立性与分布透明性	92
3.7.1 分布式数据库系统中数据的独立性与分布透明性概述	92
3.7.2 分布式数据库简单查询与分布透明性	94
3.7.3 分布式数据库复杂查询与分布透明性	97
3.7.4 分布式数据库更新应用与分布透明性	99
3.8 实例研究：飞机订票系统	101
3.8.1 实例研究简述	101
3.8.2 飞机订票系统中的分布要求分析	104
3.8.3 飞机订票系统中的分布设计	106
3.9 小结	108
习题	108
第四章 分布式数据库中的查询处理和优化	110
4.1 分布式查询优化概述	110
4.1.1 分布式查询优化的目标	110
4.1.2 分布式查询优化的准则和代价估算	110
4.1.3 分布式查询策略的比较分析	111
4.2 分布式查询的分类与层次结构	113
4.2.1 分布式查询的分类	113
4.2.2 分布式查询的层次结构	115
4.3 基于关系代数等价变换的查询优化	116
4.3.1 基于关系代数等价变换的查询优化的基本原理	116
4.3.2 基于关系代数等价变换的查询优化的实现步骤	116
4.3.3 基于关系代数等价变换的查询优化举例	117
4.4 基于半连接算法的查询优化处理	119
4.4.1 采用半连接方法表示连接操作	119
4.4.2 采用半连接算法优化连接操作的基本原理	120
4.4.3 采用半连接算法优化连接查询的步骤	121
4.5 基于直接连接算法的查询优化处理	121
4.5.1 直接连接操作的常用策略	121
4.5.2 利用站点依赖信息的算法	123
4.5.3 分片和复制算法	124
4.5.4 站点依赖和数据复制结合	127
4.5.5 Hash 划分算法	127
4.5.6 不同方法的比较	129
4.6 典型分布式数据库系统中的查询优化策略和算法	130
4.6.1 SDD-1 中的查询优化算法	130

4.6.2 R* 中的查询优化算法	131
4.6.3 INGRES 中的查询优化算法	133
4.7 小结	134
习题	135
第五章 分布式数据库中的事务管理和恢复	137
5.1 分布式事务概述	137
5.1.1 分布式事务的定义和特性	137
5.1.2 分布式事务的结构和事务状态	139
5.1.3 分布式事务管理的问题和目标	141
5.1.4 分布式事务管理的抽象模型	144
5.1.5 分布式事务执行的控制模型	145
5.2 分布式事务的恢复	147
5.2.1 分布式数据库系统中的故障	147
5.2.2 事务故障恢复的基本概念	148
5.2.3 事务故障的恢复	152
5.2.4 分布式事务的执行与恢复举例	154
5.3 两阶段提交协议	155
5.3.1 两阶段提交协议的基本思想和内容	155
5.3.2 两阶段提交协议的通信结构	157
5.3.3 两阶段提交协议与故障恢复	162
5.3.4 两阶段提交协议的性能	164
5.4 分布式数据库中的数据更新	165
5.4.1 多站点的数据更新	165
5.4.2 主副本更新法	166
5.5 分布式事务增强数据库一致性	167
5.5.1 业务规则的一致性	167
5.5.2 冗余数据的一致性	168
5.6 小结	170
习题	171
第六章 分布式数据库中的并发控制	172
6.1 并发控制的概念和理论	172
6.1.1 并发控制的概念	172
6.1.2 事务可串行化理论的基本概念	174
6.1.3 分布式事务的可串行化理论	175
6.1.4 分布式事务的可串行化调度测试	177
6.1.5 并发控制机制的常用方法及其分类	180
6.2 分布式数据库系统并发控制的封锁技术	182
6.2.1 基于封锁的并发控制方法简述	182

6.2.2 两阶段封锁协议	188
6.2.3 两阶段封锁协议的实现方法	191
6.2.4 多粒度封锁与意想锁	193
6.3 分布式数据库系统中的死锁处理	197
6.3.1 全局死锁与等待图	197
6.3.2 死锁的预防方法	199
6.3.3 死锁的检测和解决方法	200
6.4 分布式数据库系统并发控制的时标技术	204
6.4.1 基于时标的并发控制方法	204
6.4.2 基本时标法	206
6.4.3 保守时标法	206
6.5 分布式数据库系统并发控制的多版本技术	208
6.5.1 基于时标排序的多版本技术	208
6.5.2 采用验证锁的多版本两阶段封锁	209
6.6 分布式数据库系统并发控制的乐观方法	210
6.7 小结	212
习题	213
第七章 分布式数据库的可靠性	215
7.1 分布式数据库可靠性的概念及其度量	215
7.1.1 分布式数据库可靠性的概念	215
7.1.2 平均故障间隔时间和平均修复时间	216
7.2 分布式数据库系统的故障原因和容错技术	217
7.2.1 分布式数据库系统中系统失败的原因	217
7.2.2 基本的容错方法和技术	219
7.3 分布式数据库的可靠性协议	221
7.3.1 分布式数据库可靠性协议的组成	221
7.3.2 两阶段提交协议的演变	222
7.3.3 事务阻断与终结协议	223
7.3.4 两阶段提交协议的终结协议	224
7.3.5 两阶段提交协议的恢复协议	227
7.3.6 三阶段提交协议	229
7.4 网络分割与提交协议	232
7.4.1 网络分割简述	232
7.4.2 网络分割与提交协议	233
7.5 不一致性的检测和解决方法	239
7.5.1 决定网络的状态	239
7.5.2 不一致性的检测和解决方法	241
7.5.3 检查点和冷启动	243