



# Physical Database Design

The Database Professional's Guide to  
Exploiting Indexes, Views, Storage, and More

# 物理数据库设计

## ——索引、视图和存储技术

Sam Lightstone Toby Teorey Tom Nadeau 著  
吴 骅 王学昌 韩潼瑜 译

- 全面讲述数据库物理设计。
- 本书介绍了物理数据库设计的主要概念、详细实例以及当前关系型数据库中流行的方法和工具，如Oracle，DB2（IBM）以及SQL Server（Microsoft）。
- 本书侧重于使用B+树索引开发、集群索引、多维集群（MDC）、范围分区、自动化设计工具等技术进行数据库的物理设计。

# 物理数据库设计

## ——索引、视图和存储技术

Sam Lightstone Toby Teorey Tom Nadeau 著

吴 骅 王学昌 韩潼瑜 译

清华大学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书全面讲述数据库物理设计方案, 主要包括物理数据库设计概况, 基本索引方法, 查询优化和方案选择, 选择索引, 物化视图选择, 无共享分区, 范围分区, 多维群集, 相互依赖的问题, 物理设计探索中的计数和数据抽样, 查询执行计划和物理设计, 自动化物理数据库设计, 服务器资源和拓扑, 决策支持、数据仓库和 OLAP 系统中的物理设计, 逆规范化以及分布式数据分配等内容。

本书适合作为高等院校计算机及相关专业的教材和教学参考书, 也可作为相关开发人员的自学教材和参考手册。

Physical Database Design, the database professional's guide to exploiting indexes, views, storage, and more, 1e  
Sam Lightstone, Toby Teorey and Tom Nadeau

ISBN: 9780123693891

Copyright © 2007 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by Elsevier (Singapore) Pte Ltd Press and Tsinghua University Press.

ISBN: 9789812724823

Copyright © 2010 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd and Tsinghua University Press. All rights reserved.

Published in China by Tsinghua University Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd..

This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier(Singapore)Pte Ltd.授予清华大学出版社在中国大陆地区(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口, 视为违反著作权法, 将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签, 无标签者不得销售。

本书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

物理数据库设计——索引、视图和存储技术/(美)莱特斯通(Lightstone, S.), (美)特里(Teorey, T.), (美)纳多(Nadeau, T.)著; 吴骅, 王学昌, 韩潼瑜译. —北京: 清华大学出版社, 2010.12

书名原文: Physical Database Design the Database Professional's Guide to Exploiting Indexes, Views, Storage, and more

ISBN 978-7-302-23931-4

I. ①物… II. ①莱… ②特… ③纳… ④吴… ⑤王… ⑥韩… III. ①数据库系统-程序设计 IV. ①TP311.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 195819 号

责任编辑: 熊 健 朱 俊

封面设计: 刘 超

版式设计: 魏 远

责任校对: 柴 燕

责任印制: 王秀菊

出版发行: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

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: 北京市清华园胶印厂

装 订 者: 三河市李旗庄少明装订厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×260 印 张: 19 字 数: 436 千字

版 次: 2010 年 12 月第 1 版 印 次: 2010 年 12 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 42.00 元

## 作者简介

Sam Lightstone 是 IBM 的 DB2 产品开发团队研发经理及高级技术人员，他的工作涉及自主计算和关系数据库管理系统的许多方面。Sam Lightstone 是 DB2 自主计算研发工作的领导者和创始人之一，是自治数据库系统方面 IEEE 数据工程组的主席，是自治和自主计算方面 IEEE 计算机协会任务组的成员。2003 年，他当选为 IBM 技术研究院加拿大子公司的杰出技术委员会委员。Sam Lightstone 是 IBM 的发明大师，拥有超过 25 项专利和未决专利，他所发表的成果涉及许多关于关系数据库系统自主计算的内容，从 1991 年开始一直就职于 IBM。

Toby Teorey 是密歇根大学安娜堡分校电气工程与计算机科学系名誉教授以及工程学院学术项目主任。他先后获得亚利桑那大学图森分校电气工程的理学学士、理学硕士学位以及威斯康星大学麦迪逊分校的计算机科学博士学位，也一直是各种数据库会议委员会的项目委员会主席和成员。

Tom Nadeau 是阿拉丁软件 (aladdinsoftware.com) 的创始人，研究方向是数据及文本挖掘领域。他先后获得密歇根大学安娜堡分校计算机科学理学学士、电气工程和计算机科学硕士、博士学位，其研究的技术领域包括数据仓库、OLAP、数据挖掘和机器学习，并于 2001 年获得 IBM CASCON 会议的最佳论文奖。

## 译者序

《物理数据库设计——索引、视图和存储技术》一书讨论数据库的物理结构如何影响性能，包括具体的例子、向导、各种 DBMS 和配置的最好和最差的应用实例；一些简单的内容，如提高表的索引设计对性能有深远的影响；不同形式的数据库，如联机事务处理（OLTP）、企业资源管理（ERP）、数据挖掘（DM）和管理资源计划（MRP）等，这些数据库都可以使用这本书中提供的方法改善性能。

这是第一本全面讲述数据库物理设计的书籍。关系数据库中所包含信息的迅速增加，使得数据库、性能和可维护性变得不再简单，DBA 比以往任何时候都要在更大压力下去优化数据库结构的系统性能和管理。

作为《数据库建模与设计：逻辑设计》一书的姊妹篇，本书侧重于使用 B+树索引开发、群集索引、多维群集（MDC）、范围分区和自动化设计工具等技术进行数据库的物理设计。本书面向对于数据库设计有着更进一步要求的中高级用户，如 DBA、数据库开发人员等。

全书从内容上来看可以分为以下 6 个部分以及两个附录。第 1 部分主要是物理数据库设计的概述，介绍了业界目前用得较多的索引方法，从数据库专家的角度了解数据库设计的背景知识；第 2 部分详细介绍了物理数据库设计所需要的个别重要的设计决策；第 3 部分讨论范围与群集技术；第 4 部分主要介绍了物理设计决策的整合问题；第 5 部分对自动化物理设计决策的重要性进行了探讨，提出数据库设计人员需要了解的一些系统问题，包括多处理器服务器、磁盘系统、网络拓扑、灾难恢复技术和内存管理等；第 6 部分描述了物理设计如何支持数据仓库、使用 OLAP 技术进行有效的信息检索以及分布式数据之间分配策略的基础知识；附录给出了一个简单的运算性能模型以及两个商业化灾难恢复技术的比较（IBM HADR 与 Oracle Data Guard）。

本书的翻译由吴骅组织完成，参与本书翻译的还有王学昌、韩潼瑜、周娟、刘红军、王玲、郑正正、冯伟强、陶日然和李泽榆。全书由吴骅负责统一定稿。

虽然译者多年从事 DB2 数据库的管理工作，但是本书对于译者来说也是一个全新的挑战，它介绍了大量的技术和特性，因此其中一些术语尚无固定的名称。

由于水平有限，译文中的不当之处在所难免，恳请同行及各位读者朋友不吝赐教。

译者

# 前 言

IBM 工程师 E.F.Codd 在 1970 年提出关系模型后，关系数据库成为管理和查询结构化数据的事实标准。在过去的 15 年中，随着 Internet 的兴起，联机事务处理、在线银行业务、与不同系统连接的能力使数据量有大幅度的增长。容量在 TB 级以上的数据已经很普遍。这一数据增长的同时，遵守摩尔定律的 CPU 性能急剧增长，磁盘技术的进步使磁盘存储密度进一步提升。现代数据库经常需要支持成千上万的用户同时访问。数据库系统的性能和可维护性大大取决于其物理设计。

主要的数据库厂商开发了一系列很好的物理特性和功能设计技术。当今的数据库可以在内存和磁盘上进行切片、切块、正移，还可以以各种方式旋转等。但是到目前为止，并没有多少文章涉及“物理数据库设计”。当然，也有过白皮书、一些个人观点和一些产品的文章涉及这个问题，但并没有把它作为一个整体来对待。数据库设计人员在实际工作中遇到的困难也很少提及，“蠕变特性”的复杂性给行业带来了不小的麻烦。因为这些原因，我们迫切需要关于物理数据库设计的资料。

我们编写的这本新书面向广大的用户，包括数据库系统的学生和数据库领域的专业人士。在书中，我们引入物理数据库设计的主要概念，包括索引（B+、哈希、位图）、物化视图（延迟和实时）、范围分区、散列（哈希）分区、无共享设计、多维群集、服务器拓扑、数据分布和基础物理子系统（NUMA、SMP、MPP、SAN、NAS、RAID 设备）等。为符合编写这本书的目标人群——学生和数据库专业人员，我们把重点放在实际的问题和解决方案上。

在每一个细分市场和使用关系数据库系统的各个方面，有关物理数据库设计的关键问题似乎无处不在，如联机事务处理（OLTP）、数据挖掘（DM）、多维联机分析处理（MOLAP）、企业资源规划（ERP）、管理资源计划（MRP）、数据库管理员（DBA）团队设计和管理的内部企业系统以及开发过程中的独立软件提供商的应用程序（ISVA）。我们希望物理数据库设计、使用范例、产品的特定语法和最优方法的关注，能使本书成为数据库资料的一个很好的补充。

## 文章结构

第 1 章是物理数据库设计的概述以及如何适应数据库的生命周期。第 2 章介绍了业界目前用得较多的索引方法和 B+ 树索引的基本原理，并介绍了简单索引和复合索引的变化，还对不同方法的性能测试加以比较。第 3 章主要从数据库专家的角度介绍了查询优化的基础和查询执行计划选择等需要了解的数据设计背景知识。

第 4~8 章讨论物理数据库设计所需要的个别重要的设计决策。第 4 章介绍了如何完成索引选择的具体内容，以及在选择和连接操作中索引策略的替代方案。第 5 章介绍了如何

为独立关系数据库选择物化视图，以及如何在数据仓库中的数据库集合设置星型模型，用了几个例子说明物化视图选择中所涉及的折中方案。第 6 章介绍了如何执行无共享分区来分步解决庞大而且需要复杂计算的数据库问题，并说明了无共享分区、物化视图复制以及索引之间的关系。

第 7 章专门讨论范围分区，将大表分成多个较小的表来保存一定范围内的数据和索引，方便寻址。第 8 章讨论了群集数据的优点，以及在扩展到多维数据时这种技术是多么的有效。这样可以使系统在同一时间内群集多维数据，而不用复制数据。

第 9 章讨论物理设计决策的整合问题。物理设计决策由每个决策如何影响其他决策来决定，并指导设计人员使用这些组件来优化设计。第 10 章的重点是计数和抽样数据，以协助改善独立查询设计的方法、物化视图的选择、群集和分区等。第 11 章通过对一些比较有用的工具的描述来讲述查询执行计划，这些工具允许用户了解查询执行计划，以及设计数据库时选择的方法，如索引选择和物化视图等。

第 12 章详细说明了自动化物理设计决策的重要性，主要的关系数据库如 DB2、SQL Server 和 Oracle 提供的自动化设计支持，讨论了如何使用这些工具更快速地设计高效率的数据库。第 13 章提出数据库设计人员需要了解的一些系统问题，如多处理器服务器、磁盘系统、网络拓扑、灾难恢复技术和内存管理等。

第 14 章讨论了物理设计如何支持数据仓库和使用 OLAP 技术进行有效的信息检索。第 15 章定义了什么是逆规范化，并且说明规范化程度和数据库性能之间的权衡。第 16 章是分布式数据之间分配策略的基础知识，包括由于数据复制影响的快速查询响应时间和多个数据副本更新时间成本的权衡。

附录 A 简要介绍了一个简单的运算性能模型，用来评估和比较单一数据库的不同物理设计的策略。该模型阐明了几个章节中所讲述的物理设计方法——权衡分析和设计决策。附录 B 包含了两个商业化灾难恢复技术的比较，分别为 IBM 的高可用性灾难恢复和 Oracle 的 Data Guard。

每一章都有数据库设计人员的提示和独特见解，对读者了解每一章的设计方法很有帮助。接下来是参考书目汇总，使读者能够选择相应的物理设计主题进行进一步的了解。

## 使用范例

逻辑设计和物理设计之间的主要区别之一，是物理设计的基本特点和数据库服务器的物理属性（软件和硬件）的关系越来越紧密。虽然逻辑设计可以抽象地进行，有些产品和组件相对独立，可以用来实现所做的设计，但也不能说是物理设计。因此，在本书中，我们仔细选择了一些例子，包括关于物理数据库设计的数据库服务器产品中的部分主要产品，如 DB2 for zOS V8.1、DB2 9（Linux、UNIX 和 Windows）、Oracle 10g、SQL Server 2005、Informix Dataserver 和 NCR Teradata 的产品。我们认为，这包括了行业内流行的大部分数据库。一些比较流行的数据库如 MySQL 和 Sybase 则没有加以介绍，只是为了更简单地说明问题。

## 文献综述和书目

与之前的逻辑数据库设计书籍《数据库建模与设计：逻辑设计》（《Database Modeling and Design: Logical Design, 4th》）一样，本书在每章的最后都有文献综述。章节当中所涉及的材料有论文和相关参考，具体有两种形式：

- 与本章讨论的物理数据库设计概念有关、原创的具有突破性想法、对数据库设计发展有重大影响的论文。
- 关于最新研究和突破性想法的主要论文。

除每一章后面的文献综述外，本书的最后有个更全面的参考书目表。

## 反馈与勘误表

如果您有任何意见或建议，我们希望能够收到您的来信，这对我们得到反馈和改进或者更正这本书的内容十分有帮助。为了实现这一目标，我们建立了一个电子邮件地址：[db-design@rogers.com](mailto:db-design@rogers.com)，请读者将您的意见或者建议发到该邮件地址。

不知道有人会注意到 database 这几个字母都是用左手打出来的吗？现在标准键盘的布局设计是为了使两只手的负担能够均等。因此，按照这样设计数据库不仅仅是合理的，并且比它看起来要困难得多。

——佚名

虽然这是一句俏皮话，但您可以想象作者写这本书时，要用左手打上百次的 database<sup>①</sup>，如果您使用“设计数据库（designing databases）”来代替“编写数据库（writing about databases）”，那么对来自全球性社区的数据库设计人才会更有说服力。

## 致谢

如同做其他事一样，作者周围会有许多人帮忙审阅、编辑、出版，最后才会出版这样一本书。我们在这里特别感谢公司里的同事和为这本书做出贡献的合作伙伴，他们是 Sanjay Agarwal、Eric Alton、Hermann Baer、Kevin Beck、Surajit Chaudhuri、Kitman Cheung、Leslie Cranston、Yuri Deigin、Chris Eaton、Scott Fadden、Lee Goddard、Peter Haas、Scott Hayes、Lilian Hobbs、John Hornibrook、Martin Hubel、John Kennedy、Eileen Lin、Guy Lohman、Wenbin Ma、Roman Melnyk、Mughees Minhas、Vivek Narasayya、Jack Raitto、Haider Rizvi、Peter Shum、Danny Zilio and Calisto Zuzarte。谢谢 Linda Peterson 和 Rebekah Smith 对手稿所做的帮助。

我们还要感谢为本书提供了极有价值见解的校对人员，他们深入阅读并给出了新的方向，使我们能更好地完成本书。感谢 Mike Blaha、Philippe Bonnet、Philippe Carino 和 Patrick

---

① 有打字员直言：“我用右手打db。这是不正常的，但需要每天打几十次database的人都会做出这样的变化”。



O'Neil。谢谢概念评审 Bob Muller、Dorian Pyle、James Bean、Jim Gray 和 Michael Blaha。

我们要感谢我们的妻子和孩子们，有了他们的支持，我们才有时间来做这个项目。我们经常工作到凌晨。

向全球社区的学生和数据库设计人员致敬。你们的工作比一般人所了解的更为艰巨和复杂。现代关系数据库系统每种可能的设计属性都有其自身的复杂性，要解决这些问题，作为真正的数据库设计人员来说是个很大的挑战，大家都知道对人类来说这比较难。事实上，对任何有一定复杂关系的系统，在数学上真正完全表达数据库优化设计是不可能的。在一次分析中我们发现，一个普通的数据库可能的设计选择数目远远超过了宇宙中目前估计的原子数量（ $10^{81}$  次方）几个数量级！然而，尽管现代数据库系统有很大的复杂性，但是也要设法加以研究、掌握并继续进行设计。毫不夸张地说，世界上的数据就在大家的手中。我们希望这本书成为您的宝贵工具。我们希望这本书能够引领学生和数据库设计人员提高，这是改进世界数据管理基础结构的重要方法。

工程师行业是一个伟大的职业。他们将主观想象出来的事务通过科学手段在理论上进行实现，然后转化为对石头、金属或能源的认识。随后，它给人们带来了家园，提高了人们的生活水平，并增加了生活的舒适性。这是工程师的最高特权。

——赫伯特·胡佛（Herbert Hoover 1874—1964）

大部分专家都同意，摧毁世界最有可能的方式是事故。这正是我们的用武之地，我们是计算机专家，能引发事故。

——纳森尼尔·伯伦斯坦（Nathaniel Borenstein 1957—）

# 目 录

<b>第 1 章 物理数据库设计概况</b> .....	1
1.1 动机——数据增长和与日俱增的物理数据库设计 .....	1
1.2 数据库生命周期 .....	4
1.3 物理设计的元素：索引、分区和群集 .....	5
1.3.1 索引 .....	6
1.3.2 物化视图 .....	7
1.3.3 分区和多维群集 .....	7
1.3.4 物理数据库设计的其他方法 .....	7
1.4 物理设计为什么这么困难 .....	8
1.5 文献综述 .....	9
<b>第 2 章 基本索引方法</b> .....	10
2.1 B+树索引 .....	10
2.2 复杂的索引检索 .....	14
2.2.1 复杂索引方法 .....	16
2.2.2 表扫描 .....	16
2.3 位图索引 .....	17
2.4 记录标识符 .....	18
2.5 小结 .....	18
2.6 文献综述 .....	19
<b>第 3 章 查询优化和方案选择</b> .....	20
3.1 查询过程和优化 .....	20
3.2 有用的数据库优化特性 .....	20
3.2.1 查询转换和重写 .....	21
3.2.2 查询执行计划视图 .....	21
3.2.3 柱状图 .....	21
3.2.4 查询执行计划提示 .....	21
3.2.5 优化深度 .....	22
3.3 查询成本估计——一个例子 .....	22
3.3.1 查询案例 3.1 .....	22
3.4 查询执行计划开发 .....	27
3.4.1 查询执行计划的转换规则 .....	27
3.4.2 查询执行计划的重构算法 .....	28

3.5	选择因素、表规模和查询成本估算	28
3.5.1	估算一个选择操作或预期的选择性因素	28
3.5.2	直方图	29
3.5.3	估算关联的选择性因素	30
3.5.4	查询案例 3.2	30
3.5.5	估算查询执行计划表大小的例子	32
3.6	小结	32
3.7	文献综述	33
<b>第 4 章</b>	<b>选择索引</b>	<b>34</b>
4.1	索引的概念及术语	34
4.1.1	基本索引类型	34
4.1.2	索引的访问方法	35
4.2	索引的经验规则	35
4.3	索引选择决策	37
4.4	连接索引选择	40
4.4.1	嵌套循环连接	40
4.4.2	块嵌套连接	42
4.4.3	索引嵌套循环连接	42
4.4.4	合并排序连接	43
4.4.5	哈希连接	44
4.5	小结	45
4.6	文献综述	46
<b>第 5 章</b>	<b>物化视图选择</b>	<b>47</b>
5.1	简单视图物化	48
5.2	使用通用性	51
5.3	使用分组和归纳	56
5.4	资源的一些注意事项	57
5.5	实例：“好的”、“差的”以及“可怕的”	59
5.6	使用语法和范例	62
5.7	小结	64
5.8	文献综述	64
<b>第 6 章</b>	<b>无共享分区</b>	<b>65</b>
6.1	理解无共享分区	65
6.1.1	无共享系统架构	65
6.1.2	为什么无共享架构会受到追捧	67
6.2	更多关键概念和术语	67

6.3	哈希分区.....	68
6.4	无共享架构的优缺点.....	69
6.5	无共享架构在 OLTP 系统中的使用.....	71
6.6	设计的挑战：偏斜与连接配置搭配.....	73
6.6.1	数据偏斜.....	73
6.6.2	配置搭配.....	74
6.7	降低节点间数据传送的数据库设计技巧.....	74
6.7.1	谨慎分区.....	74
6.7.2	物化视图复制以及其他复制技术.....	75
6.7.3	节点间互联.....	78
6.8	拓扑设计.....	79
6.8.1	使用节点的子集.....	79
6.8.2	逻辑节点与物理节点.....	81
6.9	资金去向.....	81
6.10	网格计算.....	82
6.11	小结.....	83
6.12	文献综述.....	84
<b>第 7 章</b>	<b>范围分区.....</b>	<b>85</b>
7.1	范围分区基础.....	85
7.2	列表分区.....	86
7.2.1	列表分区基础.....	86
7.2.2	范围分区和列表分区组合.....	87
7.3	语法示例.....	87
7.4	管理以及快速 Roll-in、Roll-out.....	89
7.4.1	隔离工具.....	89
7.4.2	Roll-in 和 Roll-out.....	90
7.5	增强寻址能力.....	91
7.6	分区消除.....	91
7.7	索引范围分区数据.....	94
7.8	范围分区和群集索引.....	94
7.9	完整的形态：使用多维群集混合范围和哈希分区.....	95
7.10	小结.....	96
7.11	文献综述.....	97
<b>第 8 章</b>	<b>多维群集.....</b>	<b>98</b>
8.1	了解 MDC.....	99
8.1.1	为什么群集这么有帮助.....	99
8.1.2	MDC.....	100

8.1.3 创建 MDC 表的语法格式.....	103
8.2 MDC 的性能优势.....	103
8.3 不仅仅是查询性能: 转入 (Roll-in) 和转出 (Roll-out) 的设计.....	105
8.4 MDC 的查询优势实例.....	106
8.5 存储研究.....	107
8.6 设计 MDC 表.....	109
8.6.1 用粗糙度限制存储扩展.....	109
8.6.2 MDC 利用的单调性.....	111
8.6.3 选择合适的维度.....	112
8.7 小结.....	113
8.8 文献综述.....	114
<b>第 9 章 相互依赖的问题.....</b>	<b>115</b>
9.1 强弱关联分析.....	115
9.2 过程优先的瀑布策略.....	117
9.3 效果优先的瀑布策略.....	117
9.4 变更管理的贪婪算法.....	118
9.5 流行的策略 (鸡汤算法).....	119
9.6 小结.....	120
9.7 文献综述.....	121
<b>第 10 章 物理设计探索中的计数和数据抽样.....</b>	<b>122</b>
10.1 应用物理数据库设计.....	122
10.1.1 索引设计的计数.....	124
10.1.2 物化视图设计的计数.....	124
10.1.3 多维群集的计数.....	125
10.1.4 无共享分区设计的计数.....	126
10.2 抽样功能.....	127
10.2.1 使用 SQL 抽样的好处.....	127
10.2.2 数据库设计的抽样.....	128
10.2.3 抽样类型.....	131
10.2.4 重复性抽样.....	133
10.3 一个明显的限制.....	133
10.4 小结.....	134
10.5 文献综述.....	135
<b>第 11 章 查询执行计划和物理设计.....</b>	<b>137</b>
11.1 从查询文本获取到结果集.....	137
11.2 查询执行计划究竟是什么.....	140

11.3	非图形化的 Explain .....	141
11.4	浏览查询执行计划以改进数据库设计 .....	144
11.5	用于改进物理数据库设计的查询执行计划标示符 .....	149
11.6	不更改数据库的探索 .....	151
11.7	当查询优化器选择失误时强制执行 .....	151
11.7.1	3 种基本策略 .....	151
11.7.2	查询提示简介 .....	152
11.7.3	当 SQL 不能被修改时的查询提示 .....	154
11.8	小结 .....	156
11.9	文献综述 .....	156
<b>第 12 章</b>	<b>自动化物理数据库设计 .....</b>	<b>157</b>
12.1	如果假设分析、索引以及其他 .....	158
12.2	Oracle、DB2 以及 SQL Server 的自动化设计功能 .....	161
12.2.1	IBM DB2 Design Advisor .....	162
12.2.2	Microsoft SQL Server Database Tuning Advisor .....	166
12.2.3	Oracle SQL Access Advisor .....	169
12.3	使用分组和泛化 .....	171
12.4	可扩展性以及工作负荷的压缩 .....	172
12.5	测试系统与生产系统之间的设计探索 .....	175
12.6	出版文献中的一些实验性结果 .....	176
12.7	索引选择 .....	179
12.8	物化视图选择 .....	180
12.9	多维群集选择 .....	182
12.10	无共享分区 .....	183
12.11	范围分区设计 .....	184
12.12	小结 .....	186
12.13	文献综述 .....	186
<b>第 13 章</b>	<b>实质探讨：服务器资源和拓扑 .....</b>	<b>188</b>
13.1	需要了解的有关 CPU 架构以及发展趋势的内容 .....	189
13.1.1	CPU 性能 .....	189
13.1.2	使用并行处理加速系统的阿姆达尔定律 .....	191
13.1.3	多核 CPU .....	192
13.2	客户机服务器架构 .....	192
13.3	对称多处理器与 NUMA .....	194
13.3.1	对称多处理器与 NUMA 概述 .....	194
13.3.2	缓存一致性与伪共享 .....	195
13.4	服务器群集 .....	195

13.5	关于操作系统的一般知识.....	195
13.6	存储系统.....	196
13.6.1	磁盘、轴以及分割.....	197
13.6.2	存储区域网络与网络连接存储设备.....	198
13.7	利用 RAID 使存储既可靠又快捷.....	199
13.7.1	RAID 的历史.....	199
13.7.2	RAID 0.....	200
13.7.3	RAID 1.....	200
13.7.4	RAID 2 以及 RAID 3.....	201
13.7.5	RAID 4.....	202
13.7.6	RAID 5 以及 RAID 6.....	202
13.7.7	RAID 1+0.....	203
13.7.8	RAID 0+1.....	204
13.7.9	RAID 10+0 以及 RAID 5+0.....	204
13.7.10	哪种 RAID 最适合数据库的需求.....	205
13.8	在数据库服务器中均衡资源.....	206
13.9	可用性以及恢复策略.....	206
13.10	主内存与数据库调整.....	210
13.10.1	人工内存调整.....	210
13.10.2	自动内存调整.....	212
13.10.3	技术前沿: 自调整内存管理的最新策略.....	215
13.11	小结.....	224
13.12	文献综述.....	224
<b>第 14 章</b>	<b>决策支持、数据仓库和 OLAP 系统中的物理设计.....</b>	<b>226</b>
14.1	什么是 OLAP.....	226
14.2	维度层次结构.....	228
14.3	星型模式和雪花模式.....	229
14.4	仓库与集市.....	230
14.5	按比例扩大系统.....	233
14.6	在 DSS、仓库以及 OLAP 设计中的注意事项.....	234
14.7	主流数据库服务器的使用语法以及例子.....	235
14.7.1	Oracle.....	235
14.7.2	Microsoft 分析服务.....	236
14.8	小结.....	238
14.9	文献综述.....	238
<b>第 15 章</b>	<b>逆规范化.....</b>	<b>240</b>
15.1	有关规范化的基础知识.....	240

15.2 逆规范化的常见类型 .....	243
15.2.1 一一对应关系中的实体 .....	243
15.2.2 一对多关系中的实体 .....	244
15.3 表逆规范化策略 .....	246
15.4 逆规范化的例子 .....	246
15.4.1 需求规格 .....	247
15.4.2 逻辑设计 .....	247
15.4.3 使用逆规范化进行模式优化 .....	249
15.5 小结 .....	252
15.6 文献综述 .....	252
<b>第 16 章 分布式数据分配 .....</b>	<b>253</b>
16.1 引言 .....	253
16.2 分布式数据库分配 .....	255
16.3 复制数据分配——“最有益站点”方法 .....	256
16.4 渐进表分配方法 .....	260
16.5 小结 .....	261
16.6 文献综述 .....	261
<b>附录 A 一个简单的性能模型数据库 .....</b>	<b>263</b>
A.1 I/O 时间成本——单独块访问 .....	263
A.2 I/O 时间成本——表扫描和排序 .....	263
A.3 网络时间延迟 .....	264
A.4 CPU 时间延迟 .....	264
<b>附录 B Oracle Data Guard 与 DB2 HADR 的数据库灾难恢复技术比较 .....</b>	<b>265</b>
B.1 在故障转移期间备用始终保持其“热”度 .....	266
B.2 快速故障转移 .....	266
B.3 地域分离 .....	266
B.4 支持多种备用服务器 .....	266
B.5 支持在备用服务器上的读取 .....	267
B.6 主服务器在故障转移后可以很容易重建 .....	267
<b>参考书目 .....</b>	<b>268</b>



# 第 1 章 物理数据库设计概况

我没有丢弃我的想法，它已经备份在了某一张磁盘上。

——佚名

在 1974 年密歇根州安阿伯市，美国计算机协会文件说明与翻译组（ACM SIGFIDE，现更名为：国际数据管理协会，SIGMOD）举办的年会及其随后的数据系统语言会议报告中，关系数据模型之父特德·考得与网络数据模型思想提出者查理·贝克汉姆发生了激烈辩论。到底什么样的逻辑模型才是最好的数据库逻辑模型？将近 30 年各种学术期刊和商业杂志都充斥着这种辩论，直到 2003 年特德·考得去世后，这种辩论才逐渐平息下来。尽管最终关系数据库模型占据了上风，但由于最初的争论，许多数据库系统开始建立并支持这两种数据库模型，各种系统所使用的基础物理数据库结构也随之发展起来了。最初物理设计主要是系统能够采用什么类型的索引，B+树索引几乎占据了所有系统场景。后来，类似群集和分区的其他概念开始变得重要，但在 20 世纪 70 年代的争论之后，这些方法与逻辑结构的关系越来越少。

逻辑数据库设计，更确切地说是对于一个特定数据库系统的逻辑设计，大多数应用程序设计人员和程序员已经掌握了基本数据关系及概念定义。设计人员的逻辑设计工作可以利用并借助 ERWin 数据模型工具、Rational Rose UML 建模或使用纯手工方法实现。物理数据库设计就是在您正在使用的计算机平台上，实现高效的数据存储、检索机制，通常是数据库管理员的工作，今天有一些厂家提供的工具可以帮助数据库管理员设计一个非常高效的数据库。本书将主要致力于关系数据库的物理设计方法和流行工具介绍，书中例子也将采取常见的数据库系统——Oracle、DB2（IBM）和 SQL Server（Microsoft）来描述这些物理数据库的设计概念。

## 1.1 动机——数据增长和与日俱增的物理数据库设计

物理数据库设计真的有那么重要吗？答案是肯定的。一些计算机专家除了运行自己正在运行的商业外，很少去做其他的事情，更不要说帮助客户提升他们的表索引设计性能。这也同样令人印象深刻，问题查询提升了 50 倍的效率。真正推动物理数据库设计的是数据卷，毕竟，一个数据库只有几行数据，对于数据库物理设计并不是什么问题，执行一个应用程序存储一个小数据库不可能影响到基础的数据库物理设计。在特定的领域内，实际的索引选择对一个有 20 多行数据的数据库并不是很困难。然而，随着数据卷的增长，位于数据存储模式下的物理结构就显得非常重要了。

物理数据库设计实际上是被数据卷引发的。毕竟，一个只有几行数据的数据库对于物理数据库设计实际上是没有任何争论的，访问小型数据的应用程序性能不可能被基础系统