

高等院校软件工程专业规划教材

数据库原理及应用

免费提供



电子教案

陆 鑫 王雁东 胡 旺 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高等院校软件工程专业规划教材

数据库原理及应用

陆 鑫 王雁东 胡 旺 编著



机械工业出版社

本书从理论与实际应用相结合的角度出发,介绍数据库原理及应用的基础知识与技术,包括数据库系统概述、关系数据库理论原理、数据库SQL操作语言、数据库设计技术、数据库管理技术方法以及基本数据库应用编程技术。同时以Microsoft Access、Microsoft SQL Server数据库系统产品和Power Designer数据库设计工具为开发环境,通过实例介绍数据库系统的操作方法、数据模型设计方法和数据库系统管理方法。教材各章最后都给出了一个完整的项目实践案例,指导读者通过案例实践掌握数据库原理与技术的应用。本书取材新颖、内容实用、案例丰富,教材内容注重数据库工程实践应用。每章配有多种类型练习题,帮助读者全面掌握数据库领域知识,同时也引导学生进行数据库实践操作。

本书既可作为高等学校的计算机专业、软件工程专业数据库课程教材,也可作为相关开发人员学习数据库知识与技术的参考书。

本书配套授课电子课件,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册,审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 2966938356,电话: 010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

数据库原理及应用/陆鑫,王雁东,胡旺编著. —北京:机械工业出版社, 2015.3

高等院校软件工程专业规划教材

ISBN 978-7-111-49656-4

I. ①数… II. ①陆… ②王… ③胡… III. ①关系数据库系统-高等学校-教材 IV. ①TP311.138

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第051438号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:郝建伟 责任校对:张艳霞

责任印制:李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2015年4月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·18.75印张·463千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-49656-4

定价:39.90元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:(010) 88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

出版说明

计算机软件产业是发展迅速的朝阳产业，软件企业需要大量软件开发的专门技术人才。为了适应社会对软件人才的大量需求，许多高等院校相继开设了软件工程专业以培养专门的软件开发人才。软件工程的主要目标是开发系统模型，研究在有限预算下按时开发高质量软件的可靠技术。软件工程寻找计算机科学中科学与工程相结合，有效地开发和管理软件系统。在人才培养中，教学目标、教学计划、课程建设和教材建设异常重要。为了配合软件工程领域的教材建设，机械工业出版社邀请了高等学校从事软件工程的教学和研究的专家和教师，共同策划了适用于高校软件工程专业的系列教材，主要包括软件工程导论、需求工程、软件体系结构、软件测试技术、软件项目管理、UML 及应用等。

本系列教材的主要特色如下：

1. 从培养软件人才的需要出发，规划本系列教材。
2. 在内容的选取上，结合了软件工程的最新发展和实际应用，具有先进性和实用性。
3. 在教材的编写中，注重理论与实践的结合，注重引入案例，有助于实际能力的培养。
4. 在教材的体例上，各章内容具有一定的独立性，便于选择性学习。

本系列教材可作为软件工程专业、计算机科学与技术专业软件工程方向的教学用书，也可作为从事软件开发和软件工程领域工作的科技人员的参考书。

机械工业出版社

前 言

数据库技术是信息技术领域的核心技术之一。所有信息系统都需要使用数据库系统来组织、存储、操纵和管理业务数据。特别在数据库应用系统开发中，要求开发人员对数据库原理、数据库设计、数据库访问操作、数据库管理以及数据库应用编程等技术知识与方法有全面的了解与掌握。因此，数据库原理与应用技术知识是 IT 人员必须具备的核心专业基础之一。

本书是针对卓越工程师教育培养计划对工程专业人才培养要求，编著完成的数据库原理及应用教材。按照厚基础、重能力、求创新的总体思路，从内容选材、内容组织、项目案例、实践应用等方面突出工程教育特点。同时本书也按照国际软件产业的人才能力需求，注重课程教材内容对学生的工程师核心潜质能力（专业技能、工程实践能力、创新设计能力）培养，解决传统教材理论知识与工程实践脱离的问题，为学生掌握数据库专业知识与专业技能提供丰富的学习素材。

本书第 1~3 章主要介绍数据库系统概论、关系数据库模型理论、数据库 SQL 操作语言等数据库原理知识和基本技术。本书第 4~5 章系统地介绍数据库设计技术和方法，包括数据库应用开发方法、数据库规范化设计、概念数据模型设计、逻辑数据模型设计、物理数据模型设计等内容，并反映出数据库设计工具的实践应用方法。本书第 6 章介绍数据库管理方法与技术，主要包括数据库管理系统功能技术、事务管理、并行控制、安全管理、备份与恢复管理等。本书最后章节将介绍数据库应用的编程技术方法和开发实例。本书建议授课学时为 48 学时，实验学时为 16 学时。

本书在透彻阐述数据库原理与应用知识基础上，突出主流数据库技术方法实践应用，给出大量操作实例。每个章节还给出一个项目实践案例，帮助读者系统理解数据库技术知识和掌握实践技术方法。本书强调学以致用，在数据库原理技术学习中，融入典型数据库产品与设计工具的实践应用，力图使读者通过主流产品技术的应用实践操作，培养数据库应用的系统分析能力、数据库设计能力、数据库管理能力以及数据库编程操作能力。

本书作者多年从事数据库课程教学，具有扎实的软件工程专业背景和丰富的教学经验。本书的第 1、2、3、6 章及附录由陆鑫编写，第 4、5 章由王雁东编写，第 7 章由胡旺编写，全书由陆鑫负责统稿。在本书编写过程中，得到电子科技大学教务处、信息与软件工程学院有关领导和老师支持，在此表示诚挚感谢。

由于时间仓促，书中难免存在不妥之处，请读者原谅，并提出宝贵意见。

编 者

目 录

出版说明	
前言	
第 1 章 数据库系统概论	1
1.1 数据库概念	1
1.1.1 什么是数据库	1
1.1.2 数据模型与数据库	2
1.1.3 数据库系统组成	4
1.2 数据库技术发展	6
1.2.1 数据管理技术演化	6
1.2.2 数据库技术发展历程	8
1.2.3 数据库新技术	9
1.3 数据库应用系统	11
1.3.1 数据库应用系统类型	11
1.3.2 数据库系统应用结构	12
1.3.3 数据库应用系统开发阶段	13
1.4 典型关系数据库管理系统	15
1.4.1 Microsoft Access	15
1.4.2 Microsoft SQL Server	16
1.4.3 Oracle	17
1.5 Microsoft Access 项目实践	18
1.5.1 项目案例——成绩管理系统	18
1.5.2 创建 Access 数据库	19
1.5.3 数据库表定义	22
1.5.4 在表中插入数据	25
1.5.5 修改表中数据	25
1.5.6 删除表中数据	26
1.5.7 窗体表单创建	26
1.5.8 数据报表创建	28
1.6 本章小结	31
1.7 练习题	32
第 2 章 关系模型	34
2.1 关系概念	34
2.1.1 关系通俗定义	34
2.1.2 关系的数学定义	35
2.1.3 关系模式表示	37
2.1.4 关系键定义	37
2.2 关系模型描述	38
2.2.1 关系模型组成	38
2.2.2 关系模型操作	39
2.2.3 关系模型完整性	46
2.3 Microsoft Access 项目实践	48
2.3.1 项目案例——选课管理系统	48
2.3.2 数据库表创建	50
2.3.3 数据库表完整性定义	51
2.3.4 表关联关系定义	54
2.3.5 多表关联表单创建	55
2.3.6 多表关联报表创建	57
2.4 本章小结	60
2.5 练习题	61
第 3 章 结构化查询语言	64
3.1 SQL 语言介绍	64
3.1.1 SQL 语言的发展	64
3.1.2 SQL 语言特点	65
3.1.3 SQL 语句类型	65
3.1.4 SQL 数据类型	66
3.2 数据定义 SQL 语句	68
3.2.1 数据库对象定义	68
3.2.2 数据库表对象定义	70
3.2.3 数据索引对象定义	77
3.3 数据操纵 SQL 语句	79
3.3.1 数据插入 SQL 语句	79
3.3.2 数据更新 SQL 语句	80
3.3.3 数据删除 SQL 语句	81
3.4 数据查询 SQL 语句	82
3.4.1 查询语句基本结构	82
3.4.2 从单表读取指定列	82

3.4.3	从单表读取指定行	84	4.3.3	模型表示方法	130
3.4.4	从单表读取指定行和列	85	4.3.4	模型设计工具	132
3.4.5	WHERE 子句条件	85	4.4	Power Designer 项目实践	133
3.4.6	查询结果排序	87	4.4.1	项目案例——图书借阅管理 系统	133
3.4.7	内置函数使用	88	4.4.2	系统概念数据模型设计	134
3.4.8	查询结果分组处理	93	4.4.3	系统概念数据模型检查	137
3.4.9	使用子查询处理多表	94	4.5	本章小结	138
3.4.10	使用连接查询多表	95	4.6	练习题	139
3.4.11	SQL JOIN...ON 连接	96	第 5 章 物理数据模型设计		141
3.4.12	外连接	98	5.1	数据库设计模型转换	141
3.5	数据控制 SQL 语句	99	5.1.1	数据模型转换方案	141
3.5.1	使用 GRANT 语句	99	5.1.2	物理数据模型设计对象	142
3.5.2	使用 REVOKE 语句	100	5.1.3	将实体转化为表	142
3.5.3	使用 DENY 语句	101	5.1.4	弱实体的转换表示	143
3.6	视图 SQL 语句	101	5.1.5	实体关系的转换表示	144
3.6.1	视图概念	101	5.2	数据库表规范化设计	149
3.6.2	视图创建与删除	101	5.2.1	函数依赖理论	149
3.6.3	视图使用	103	5.2.2	规范化范式	151
3.7	SQL Server 项目实践	105	5.2.3	反规范化处理	153
3.7.1	项目案例——工程项目管理 系统	106	5.3	Power Designer 项目实践	154
3.7.2	创建数据库	107	5.3.1	项目案例——图书管理系统	155
3.7.3	数据库表定义	108	5.3.2	CDM 到 LDM 转换设计	155
3.7.4	数据维护操作	109	5.3.3	LDM 转换 PDM 转换设计	156
3.7.5	多表关联查询	112	5.3.4	系统 PDM 模型设计检查	157
3.7.6	视图应用	114	5.4	本章小结	158
3.8	本章小结	116	5.5	练习题	159
3.9	练习题	117	第 6 章 数据库管理		161
第 4 章 概念数据模型设计		121	6.1	数据库管理概述	161
4.1	数据库模型概述	121	6.1.1	数据库管理目标与内容	161
4.1.1	数据库模型类型	121	6.1.2	数据库管理工具	161
4.1.2	数据库建模设计策略与过程	122	6.1.3	DBMS 管理功能	162
4.2	E-R 模型	123	6.1.4	DBMS 系统结构	163
4.2.1	模型基本元素	124	6.2	事务管理	164
4.2.2	实体关系类型	125	6.2.1	事务概念	164
4.2.3	强弱实体	128	6.2.2	事务特性	165
4.3	概念数据模型设计	129	6.2.3	事务并发执行	166
4.3.1	设计方法	129	6.2.4	事务 SQL 程序	166
4.3.2	设计步骤	129	6.3	并发控制	169

6.3.1	并发控制问题	170	7.3.2	JSP 技术	220
6.3.2	并发事务调度	172	7.4	游标编程	226
6.3.3	数据库锁机制	174	7.4.1	游标定义	226
6.3.4	基于锁的并发控制协议	175	7.4.2	游标结构	227
6.3.5	两阶段锁定协议	178	7.4.3	游标编程技术	227
6.3.6	并发事务死锁解决	178	7.5	存储过程编程	230
6.3.7	事务隔离级别	179	7.5.1	存储过程概念	230
6.4	安全管理	180	7.5.2	存储过程结构	232
6.4.1	数据库安全概述	180	7.5.3	存储过程编程技术	233
6.4.2	数据库系统安全模型	181	7.6	触发器编程	234
6.4.3	用户管理	182	7.6.1	触发器概念	235
6.4.4	权限管理	186	7.6.2	触发器结构	236
6.4.5	角色管理	188	7.6.3	触发器编程技术	237
6.5	数据库备份与恢复	191	7.7	Java 数据库应用编程项目实践	238
6.5.1	数据库备份	191	7.7.1	项目案例——学生成绩管理 系统	238
6.5.2	SQL Server 数据库备份方法	193	7.7.2	数据库访问连接	240
6.5.3	数据库恢复	194	7.7.3	数据表单编程	242
6.5.4	SQL Server 数据库恢复方法	195	7.7.4	数据查询编程	245
6.6	SQL Server 数据库管理项目 实践	197	7.7.5	数据报表编程	246
6.6.1	项目案例——图书借阅管理 系统	197	7.8	本章小结	248
6.6.2	数据库角色管理	198	7.9	练习题	249
6.6.3	数据库权限管理	199	附录		251
6.6.4	数据库用户管理	201	附录 A	Power Designer 建模工具 安装	251
6.6.5	数据库备份与恢复管理	203	A.1	安装环境要求	251
6.7	本章小结	205	A.2	软件安装步骤	251
6.8	练习题	207	A.3	软件运行启动	255
第 7 章	数据库应用编程	209	附录 B	Power Designer 数据建模 开发	256
7.1	数据库应用程序概述	209	B.1	系统数据建模开发过程	256
7.1.1	数据库应用程序结构	209	B.2	系统 CDM 建模	257
7.1.2	数据库应用开发方法	210	B.3	系统 LDM 建模	261
7.1.3	数据库应用开发技术	212	B.4	系统 PDM 建模	265
7.2	数据库连接技术	212	B.5	系统数据库实现	270
7.2.1	ODBC 技术	212	附录 C	系统数据建模开发实例	278
7.2.2	JDBC 技术	215	C.1	车辆租赁系统	279
7.2.3	SQL 与宿主语言	215	C.2	期刊在线审稿系统	284
7.3	Web 数据库系统技术	218	参考文献		292
7.3.1	ASP.NET 技术	218			

第 1 章 数据库系统概论

数据库技术是信息系统中核心技术之一，主要涉及解决如何利用计算机辅助管理数据、如何组织和存储数据、如何高效地获取和处理数据等技术问题。本章将定义数据库系统概念，描述数据库的呈现形式、组成结构以及数据库特点等基本知识。然后介绍数据库技术的发展历史、技术现状和技术趋势。同时，也将介绍典型数据库管理系统的技术特点、应用方式，以及桌面数据库管理系统 Access 的基本使用方法。

本章学习目标：


- 了解数据库基本概念、数据库用途、数据库应用特点。
- 掌握数据库类型、数据库结构元素、数据库系统组成等基本知识。
- 理解数据库系统技术发展过程、应用技术方式、数据库主流技术。
- 实践桌面数据库管理系统 Access 操作应用方法。

1.1 数据库概念

在如今信息技术得到广泛应用的年代，无论是信息系统，还是各类计算机软件，它们都需要对各类数据进行基本的存取访问、计算分析、存储组织等数据处理。这些数据处理都离不开数据库及其数据库管理系统软件的支持。数据库如何存储组织数据信息？数据库管理系统如何创建、访问和管理数据库？这些是需要了解和掌握的重要技术知识。

1.1.1 什么是数据库

在进行各类业务信息化管理中，需要把业务过程相关数据放进“数据库”这样的容器，并根据系统管理需求进行相应的处理。例如，电子商务企业在进行商品销售业务处理时，将销售的商品信息、客户订单、供应商送货单等业务数据分别存放在多个相关的信息表中，这些相关表构成的数据存储结构就可以看成是一个“数据库”。有了这个数据库，电子商务系统就可以将每个商品的信息从数据库中提取出来，并呈现在电子商务网站页面中。客户可以根据访问需要，随时浏览和查询将购买的商品信息，也可以对所中意的商品填写订单进行购买。在电子商务系统中，客户与商家的商品交易活动可以在系统平台中完成，这些业务活动中所涉及的业务数据处理都依赖于数据库的支持。此外，在财务管理、仓库管理、物流配送管理等系统中也需要建立众多的这种“数据库”，使其可以利用计算机系统实现财务、仓库、物流业务的信息化管理。因此，可以如下直观理解数据库的概念。

 数据库——是一种存储组织数据的容器，它为系统软件从中存取访问各类数据提供支持。

不同的学者，分别对数据库（Database）给出了更具体的定义。

定义1：数据库简单来说是一种电子化的文件柜，用户可以对文件柜中数据进行新增、检索、更新、删除等操作。

定义2：数据库是指以一定方式储存在一起、能为多个用户共享、具有尽可能小的冗余度、与应用程序彼此独立的数据集合。

定义3：数据库是依照某种数据模型组织起来，并存放在二级存储器中的数据集合。这种数据集合具有如下特点：尽可能不重复存储数据，以最优方式为特定组织的多种应用服务，其数据结构独立于使用它的应用程序，对数据的增、删、改和检索由统一软件进行管理和控制。

综上所述，可以将数据库理解为，它是一种依照特定数据模型组织、存储和管理数据的文件，这类数据库文件一般存放在辅助存储器中以便长久地保存数据，同时也为系统软件从中存取各类数据提供支持。典型数据库文件应具有如下特点。

- 数据不重复存放。
- 可支持多个应用程序并发访问。
- 数据结构独立于使用它的应用程序。
- 对数据增、删、改、检索由统一软件进行管理和控制。

1.1.2 数据模型与数据库

从数据库定义可知，数据库使用了特定的数据模型来组织和存储数据。数据模型是什么呢？数据库一般使用哪种数据模型组织和存储数据？这些都是需要了解的。

1. 数据模型

数据模型是指描述事物对象的数据组成、数据关系、数据约束的抽象结构及其说明。数据模型一般由三个部分组成：数据结构、数据操作、数据约束。

1) 数据结构：用于描述事物对象的静态特征，包括事物对象的数据组成、数据类型、数据性质及数据之间的联系等。数据结构是数据模型的基础，数据操作和约束都是基于该数据结构的访问操作与规则约束。

2) 数据操作：用于描述事物对象的动态特征，包括数据的插入、修改、删除和查询等访问操作。在数据模型中，必须定义数据操作的确切含义、操作符号、操作规则以及实现操作的语言。

3) 数据约束：主要描述数据结构中数据之间的语义联系、数据之间的制约和依存关系，以及数据动态变化的规则。数据约束用于保证数据的完整性、有效性和相容性。

例如，在许多高级编程语言中，数据文件是一种典型的数据模型实例，其数据结构由若干数据记录行组成，每行数据记录又由若干数据项组成。在数据文件中，可以进行数据文件的记录指针移动、记录数据读写、记录数据插入、记录数据删除等操作。在数据文件中，每条记录数据行之间是独立的，但它们是由相同的数据项构成。

2. 数据库模型

在数据库技术领域中，数据库所使用的典型数据模型主要有层次数据模型、网状数据模型、关系数据模型。这三种模型是按其数据结构而命名的，它们之间的根本区别在于数据之间联系的表示方式不同，即数据记录之间的联系方式不同。层次模型是以“树结构”方式表示数据记录之间的联系；网状模型是以“图结构”方式来表示数据记录之间的联系；关系模型则是用“二维表”（或称为关系）方式来表示数据记录之间的联系。

(1) 层次数据模型

层次数据模型是数据库系统最早使用的一种数据模型，它的数据结构是一棵“有向树”。根结点在最上端，层次最高，子结点在下端，逐层排列。例如，表示高校教育系统的层次数据模型如图 1-1 所示。

层次数据模型特征：该模型将数据结点组织成多叉树关系的层次结构，该层次结构采用关键字来访问其中各个树结点。其优点是：存取方便且速度快，结构清晰，容易理解，数据修改和数据库扩展容易实现，检索关键属性十分方便；其缺点是：结构呆板，缺乏灵活性，同一属性数据可能存储多次，数据冗余大，不适合于拓扑空间数据的组织。

最具代表性的层次模型数据库产品是在 20 世纪 60 年代末，IBM 公司推出的 IMS 层次模型数据库系统。

(2) 网状数据模型

网状数据模型以网状结构表示数据与数据之间的联系。该网状结构中每一个结点代表一个数据记录，联系用链接指针来实现。网状数据模型可以表示多个从属关系的联系，也可以表示数据记录间的交叉关系，即数据间的横向关系与纵向关系。它是层次数据模型的扩展。例如，表示高校教育系统的网状数据模型如图 1-2 所示。

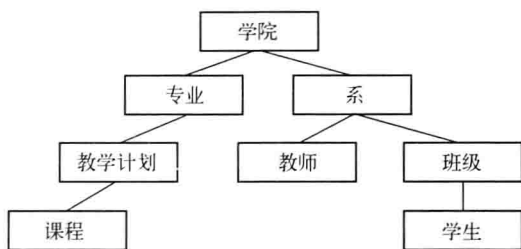


图 1-1 高校教育系统的层次数据模型

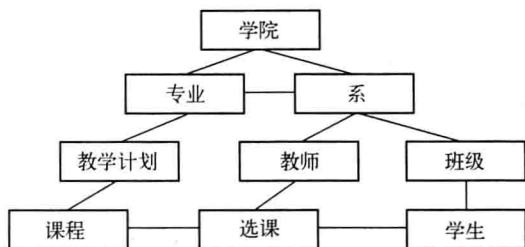


图 1-2 高校教育系统的网状数据模型

该模型采用连接指针来确定数据记录间的显式连接关系，具有多对多联系的数据组织方式。网状数据模型允许各个结点有多于一个父结点，也可以有一个以上的结点没有父结点。可以方便地表示各种类型结点的联系，但结构复杂，实现的算法难以规范化。其优点是：能明确而方便地表示数据间的复杂关系，数据冗余小；其缺点是：网状结构较复杂，增加了用户查询和定位的困难，需要存储数据间联系的指针，使得数据存储量增大，数据修改不方便，除更新数据外，还必须修改关联指针。

Cullinet 软件公司的 IDMS、Honeywell 公司的 IDSH、Univac 公司的 DMS1100、HP 公司的 IMAGE 等网状模型数据库系统，它们是 20 世纪 70 年代末推出的最具代表性的网状模型数据库产品。

(3) 关系数据模型

关系数据模型以关系代数理论为基础，通过二维表结构来表示数据之间的联系。每个二维表又可称为关系。在关系模型中，操作的对象和结果都是二维表。例如，表述课程目录系统的关系数据模型如图 1-3 所示。

在该图所示的关系模型实例中，“教师信息表”“课程信息表”“开课目录表”均为具有关系特征的二维表。每个关系表分别存放各自主题的数据，表之间通过具有相同字段的数



图 1-3 课程目录系统关系数据模型

据值进行约束关联。其中“开课目录表”的“工号”要求与“教师信息表”的“工号”数据匹配一致。同样，“开课目录表”的“课程号”也要求与“课程信息表”的“课程号”数据匹配一致。从而，这些数据表之间通过关系模型建立了联系。

关系数据模型优点是：结构特别灵活，概念单一，满足所有布尔逻辑运算和集合运算规则形成的查询要求；可搜索、组合和比较不同类型的数据；增加和删除数据非常方便；具有更高的数据独立性、更好的安全保密性。其缺点：当数据库很大时，查找满足特定关系的数据耗时，难以描述空间数据关系。

关系数据模型数据结构简单清晰，存取路径对用户隐蔽，使程序和数据具有高度的独立性。关系模型的数据语言非过程化程度较高，用户可操作性好，具有集合处理能力，并有定义、操纵、控制一体化的优点。在关系数据模型中，数据结构、数据操作和数据完整性规则三个要素联系紧密。因为这些特点，关系数据模型成为目前使用最广泛的数据库模型，几乎所有的商业数据库管理系统产品都是采用关系数据模型实现的数据库，如 ORACLE、DB2、SYBASE、SQL Server 等。

1.1.3 数据库系统组成

数据库系统 (Database Systems) 是一种基于数据库对各类业务信息进行数据处理的信息系统，也是一种实际可运行的存储、维护和应用系统提供数据的软件系统。数据库系统由用户、数据库、数据库管理系统、数据库四个部分所组成，如图 1-4 所示。

1. 用户

在数据库系统中，用户可分为最终用户和 DBA 用户两类。最终用户通过操作数据库应用程序处理业务，并利用程序存取数据库信息。当然，数据库应用程序不能直接读写数据库信息，必须基于数据库管理系统 (DBMS, Database Management System) 提供的接口和环境才能访问数据库。DBA (Database Administrator) 用户是一类数据库管理员用户，他通过使用 DBMS 软件提供的工具创建、管理和维护数据库，为数据库系统运行提供支持和保障。

2. 应用程序

数据库应用程序是帮助用户完成业务处理的操作程序，它们以窗口、页面等表单形式来读

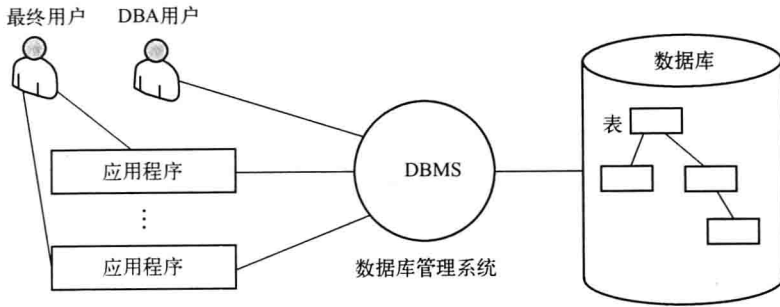


图 1-4 数据库系统组成

取、查询、输入和更新数据库信息，并可生成各类数据报表。数据库应用程序需要使用 DBMS 提供的标准接口（如 ODBC、JDBC 等）或本地驱动接口连接访问数据库。每种程序设计语言（如 Java、C++、C#、VB、PB 等）都需要使用这些数据库接口完成对数据库的访问操作。

3. 数据库管理系统

数据库管理系统是一类用于创建、操纵和管理数据库的系统软件。数据库管理系统与操作系统一样都属于系统平台软件。数据库管理系统主要功能：

- 1) 创建数据库、数据库表以及其他对象。
- 2) 读写、修改、删除数据库表数据。
- 3) 维护数据库结构。
- 4) 执行数据访问规则。
- 5) 提供数据库并发访问控制和安全控制。
- 6) 执行数据库备份和恢复。

根据处理对象的不同，数据库管理系统由操作界面层、语言翻译处理层、数据存取层、数据存储层等部件组成，其层次结构如图 1-5 所示。

数据库管理系统的操作界面层提供终端用户使用 DBMS 功能的实用工具与应用程序访问接口。语言翻译处理层是对应用程序的数据库语言操作语句进行语法分析、视图转换、授权检查、完整性检查、查询优化等处理。数据存取层处理的对象是数据表记录，它将上层的集合操作转换为数据记录操作，对数据记录进行存取访问、维护存取路径、并发控制、事务管理、日志记录等处理。数据存储层基于操作系统提供的系统调用实现对数据库文件进行读写操作访问，并完成数据页、系统缓冲区、内外存交换、外存数据文件等操作管理。

目前，有较多的软件厂商提供了功能强大的数据库管理系统产品，如 Microsoft 公司提供 SQL Server、Access 数据库 DBMS 产品，Oracle

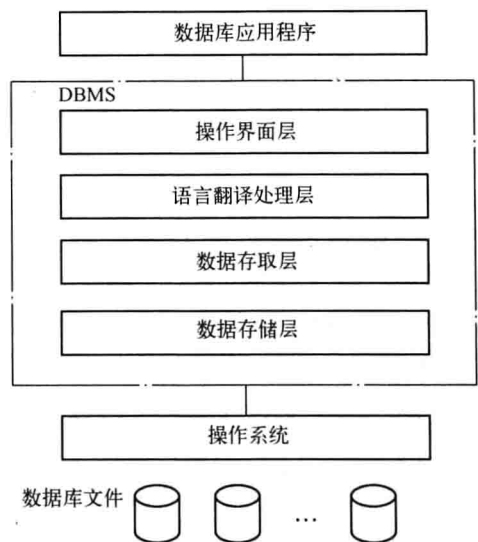


图 1-5 数据库管理系统层次结构

公司提供 Oracle 数据库 DBMS 产品，Sybase 公司（已被 SAP 公司收购）提供 Sybase ASE、Sybase Anywhere 数据库 DBMS 产品，IBM 公司提供 DB2 数据库 DBMS 产品。此外，也有不少开源数据库 DBMS 系统，如 MySQL、PostgreSQL、NoSQL、MongoDB、InterBase 等。

4. 数据库

在数据库系统中，数据库是存放系统中各类数据的容器。该容器是按照一定的数据模型组织与存储数据。目前，在数据库系统中使用最多的数据模型是关系数据模型。这类数据库容器是由若干关联的二维数据表组成。例如，在 Access 系统中创建一个成绩管理数据库，它由 COURSE 表、STUDENT 表和 GRADE 表组成，其数据库内部对象组成关系如图 1-6 所示。

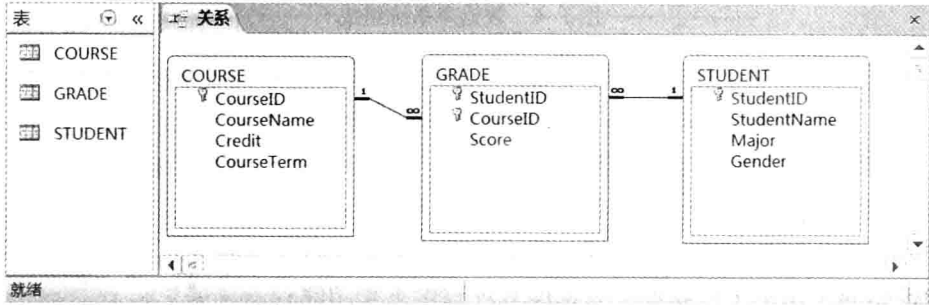


图 1-6 Access 成绩管理数据库

在上图所给 Access 成绩管理数据库示例中，该数据库 COURSE 表、STUDENT 表和 GRADE 表之间通过公共列 CourseID、StudentID 建立了表之间的关联结构。因此，可以在成绩表中，针对某个学生（StudentID）参加某课程（CourseID）考试，给出相应成绩分数（Score）值。

在数据库中，除了存放用户数据外，也存放描述数据库结构的元数据。例如，在数据库中，各个数据表的表名称、表属性、列名称、列属性、数据约束规则等都是元数据。图 1-7 给出了在数据库中所包含的各类数据对象内容。

在所有关系 DBMS 产品所创建的数据库中，都包含有系统表和用户表，它们分别存储元数据、索引数据、其他数据，以及用户数据。

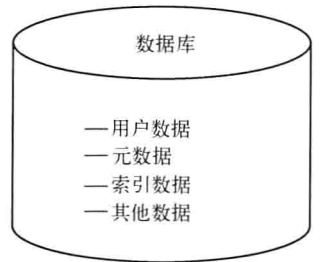


图 1-7 数据库的数据对象

1.2 数据库技术发展

数据库技术是研究、管理和应用数据库的一门软件学科技术。它涉及数据库的结构、存储、设计、管理以及应用的基本理论和实现方法，并利用这些理论方法来实现对数据库中的数据进行存取、计算、统计及分析等处理操作。

1.2.1 数据管理技术演化

在 20 世纪 60 年代末，计算机技术快速发展和应用推广，大量用户提出对数据资源进行有效存储管理和信息存取处理需求，由此产生了利用计算机进行数据管理的数据库技术。该技术主要研究如何存储、使用和管理数据。随着计算机发展，数据库技术与计算机相关技术

的发展相互渗透与相互促进，已成为当今计算机领域发展迅速、应用广泛的技术领域。数据库技术不仅应用于业务信息数据处理，并且进一步应用到信息检索、数据仓库、数据挖掘以及商业智能等领域。在利用计算机进行数据管理的技术发展历程中，数据管理经历了人工数据管理、文件系统、数据库系统三个阶段。

1. 人工数据管理阶段

在 20 世纪 50 年代以前，计算机主要用于数值计算。计算机硬件外存只有纸带、卡片、磁带等设备，没有直接存取设备。计算机软件只有基本操作程序，没有操作系统以及管理数据的软件。计算机可处理的数据量小，数据无结构，数据间缺乏逻辑组织，数据依赖于特定的应用程序，缺乏独立性。对于应用中使用的数据，必须由人工进行管理，存在很大局限，难以满足基本数据管理要求。

2. 文件系统管理阶段

在 20 世纪 50 年代后期到 60 年代中期，出现了一些新的计算机外设，如磁鼓，磁盘等存储设备，它们可以用来长久存储程序和数据。计算机软件也得到新的发展，出现了对计算机硬件系统进行管理的操作系统。在操作系统中，使用数据文件方式来组织存储数据，并采用文件系统管理各个独立的数据文件。系统可以按照数据文件的名称对其进行访问。它既可对数据文件中的数据记录进行存取，也对数据记录进行修改、插入和删除。文件系统实现了数据在记录内的结构化，即在数据文件的各个记录内数据项组成是一致。但是数据文件从整体来看，记录之间却是无结构的。

在这个阶段，用户可以使用文件方式管理数据，解决了人工数据管理的限制，可以满足应用的基本数据管理要求。但在文件管理数据方式中，由于需要用户编写应用程序来管理文件中数据，存在如下不足。

- 1) 编写应用程序管理数据较繁琐。
- 2) 数据文件对应用程序存在依赖。
- 3) 不支持多用户对数据文件并发访问。
- 4) 数据文件对用户无安全控制。
- 5) 难以解决不同数据文件间的数据冗余。
- 6) 数据间联系弱，难以满足不同用户对数据的差异访问需求。

3. 数据库管理阶段

在 20 世纪 60 年代末期，计算机硬件得到较大发展。计算机处理能力得到较大提高，并且开始有大容量磁盘设备出现。计算机软件也出现专门管理数据的系统软件——数据库管理系统。这些技术都为实现大规模计算机数据管理提供了支持。在这个阶段，用户使用数据库管理系统来实现应用系统的数据管理。用户只需知道数据库名称和数据表结构，便可使用数据库操作语言对数据进行访问操作。所有对数据库的操作都由数据库管理系统自动去完成，用户不需要考虑数据库文件的物理操作和系统控制。数据库管理与文件管理相比较，具有如下优点。

- 1) 程序与数据相互独立，避免了应用程序对数据的依赖性。
- 2) 应用程序访问数据库使用标准语言操作，编程访问简单。
- 3) 数据组织结构化，共享性高，冗余小。
- 4) 提供数据的安全访问机制，并保证数据的完整性、一致性、正确性。

因此，数据库技术成为当今计算机数据管理的基本技术。虽然数据库技术从 20 世纪 60 年代末期到现在经历了几十年发展，其技术更新也较快，但数据库组织与管理数据的基本思想是一致的，这说明数据库技术管理数据的生命力是长久的。

1.2.2 数据库技术发展历程

数据模型是数据库技术的核心和基础，因此，对数据库系统发展阶段的划分应该以数据模型的发展演变作为主要依据和标志。按照数据模型的发展演变过程，数据库技术从出现到如今半个多世纪中，主要经历了三个发展阶段：第一代是网状和层次数据库系统，第二代是关系数据库系统，第三代是以面向对象数据模型为主要特征的数据库系统。数据库技术与网络通信技术、人工智能技术、面向对象程序设计技术、并行计算技术等相互渗透、有机结合，成为当代数据库技术发展的重要特征。

1. 第一代数据库技术

第一代数据库系统是 20 世纪 60 年代末研制的层次模型数据库系统和网状模型数据库系统。层次模型数据库系统的典型代表是 1968 年 IBM 公司研制出的世界上第一个数据库管理系统 IMS (Information Management System)，运行在 IBM 360/370 计算机上。IMS 数据库管理系统经过多年技术改进，至今还应用在 IBM 部分大型主机上。网状模型数据库系统的典型代表是 1964 年通用电器公司研制的基于网状模型的数据库管理系统 IDS (Integrated Data System)。IDS 奠定了网状数据库的基础，并在当时得到了广泛的发行和应用。

20 世纪 70 年代初，美国数据库系统语言协会 CODASYL (Conference on Data System Language) 下属的数据库任务组 DBTG (Data Base Task Group) 对数据库方法进行了系统研究，提出了若干报告 (称为 DBTG 报告)。在 DBTG 报告中，建立了数据库技术的许多概念、方法和技术。在 DBTG 思想和方法的指引下，数据库系统的实现技术不断成熟，开发了许多商品化的数据库系统，它们都是基于层次模型和网状模型的技术思想实现的。

2. 第二代数据库技术

第二代数据库系统是关系数据库系统。1970 年 IBM 公司 San Jose 研究实验室的研究员 Edgar F. Codd 发表了题为《大型共享数据库的关系模型》论文，提出了关系数据模型，开创了关系数据库方法和关系数据库理论，为关系数据库技术奠定了理论基础。Edgar F. Codd 于 1981 年被授予 ACM 图灵奖，以表彰他在关系数据库研究方面的杰出贡献。

20 世纪 70 年代是关系数据库理论研究和原型开发的时代，其中以 IBM 公司 San Jose 研究实验室开发的 System R 和 Berkeley 大学研制的 Ingres 为典型代表。大量的理论成果和实践经验终于使关系数据库从实验室走向了社会，因此，人们把 20 世纪 70 年代称为数据库时代。20 世纪 80 年代几乎所有新开发的系统均是关系型的，其中涌现出了许多性能优良的商品化关系数据库管理系统，如 DB2、Ingres、Oracle、Informix、Sybase 等。这些商用数据库系统的应用使数据库技术日益广泛地应用到企业管理、情报检索、辅助决策等方面，成为实现和优化信息系统的基本技术。

3. 第三代数据库技术

从 20 世纪 80 年代以来，数据库技术在商业上的巨大成功刺激了其他领域对数据库技术需求的迅速增长。这些新的领域为数据库应用开辟了新的天地，并在应用中提出了一些新的数据管理需求，推动了数据库技术的研究与发展。

1990 年高级 DBMS 功能委员会发表了《第三代数据库系统宣言》，提出了第三代数据库管理系统应具有的三个基本特征：应支持数据管理、对象管理和知识管理；必须保持或继承第二代数据库系统的技术；必须对其他系统开放。

面向对象的数据库技术成为下一代数据库技术发展的主流。部分学者认为现有的关系型数据库无法描述现实世界的实体，而面向对象的数据模型由于吸收了已经成熟的面向对象程序设计方法学的核心概念和基本思想，使得它符合人类认识世界的一般方法，更适合描述现实世界。甚至有人预言，数据库的未来将是面向对象的时代。

关系数据库的结构化查询语言与程序设计语言一起几乎可完成任意的数据库应用操作，但其简单的建模能力、有限的数据类型、二维表数据结构的制约等因素却成为关系型数据库处理复杂数据系统的瓶颈。面向对象方法起源于程序设计语言，它本身就是以现实世界的实体对象为基本元素来描述复杂的客观世界，但功能不如数据库灵活。因此部分学者认为将面向对象的建模能力和关系数据库的功能进行有机结合是数据库技术的一个发展方向。

面向对象数据库的优点是能够表示复杂的数据模型，但由于它不具备统一的数据模式和形式化理论，因此缺少严格的数据逻辑基础。而演绎数据库（具有演绎推理能力的数据库）虽有坚强的数学逻辑基础，但只能处理平面数据类型。因此，还有部分学者将两者结合，提出了一种新的数据库技术——演绎面向对象数据库，并指出这一技术有可能成为下一代数据库技术发展的主流。

1.2.3 数据库新技术

1. 非结构化数据库

传统的关系数据库采用二维表结构存储数据，具有数据结构简单、访问操作方便等特点，但它仅支持简单数据类型的存取。在信息系统中，所有信息数据都需要进行结构化处理后，才能在关系数据库中进行组织存储。而当今大量信息是以非结构的形式存在，如网页信息、文档信息、报表信息、音视频信息等。若大量的非结构化数据时刻都在进行结构化处理，势必会带来信息数据处理的开销和局限。非结构化数据库则是针对大量互联网应用的非结构化数据处理需求而产生的一种数据库技术。它与关系数据库相比，其主要区别在于它突破了关系数据库结构中必须等长存储各记录行数据的限制，支持重复字段、子字段以及变长字段，并可实现对变长数据和重复字段处理。这在处理各类文档、报表、图像、音视频等非结构化数据中有着传统关系型数据库所无法比拟的优势。

2. 领域数据库

计算机领域中各种新兴技术的发展对数据库技术产生了重大影响。数据库技术与计算机网络技术、并行计算机技术、人工智能技术、多媒体技术等相互渗透，相互结合，使数据库技术的新内容层出不穷，如分布式数据库、并行数据库、多媒体数据库、主动数据库、xml 数据库、模糊数据库等。由此，数据库技术的许多概念、应用领域，甚至某些原理都有了重大的发展和变化，形成了数据库领域众多的研究分支和方向。

此外，在数据库应用领域中，也先后出现工程数据库、统计数据库、科学数据库、空间数据库、地理数据库等领域数据库。这些领域数据库在技术实现原理上也没有多大的区别，但它们与特定应用领域相结合，加强了数据库系统对有关应用领域的支撑能力，尤其表现在数据模型、操作语言、数据访问方面对应用领域的结合。随着数据库技术发展和数据库技术