

# 引 言

## 1 我们所面对的世界

显然，我们所面对的是一个纷繁复杂的世界。在人类诞生以来，人们就以不同的方式与手段在改造着这个世界，以使我们的周围——即我们每个人所接触的世界的一部分更加适合于我们人类的意愿，这种趋势在刚刚过去的几百年，尤其是在约近 100 年中表现尤甚。

而人类改造的对象，总的来说表现在对于资源的占有与利用上，从刀耕火种时代的对于土地、领地等以空间为主的资源的占有，到目前计算机的时代的对于速度、性能等以时间为主的强烈需求，已经越来越清晰地表现出对于科学与技术的越来越强烈的依赖意识和不争的事实。姑且不论这种改变的社会意义如何，仅就技术层面而言，可以说是人们改变的欲求一直推动着技术的出现、发展和进步。

人们千百年所追求的资源，到了今天，总的说来，无非主要表现在了如下的几个方面：能源、材料、信息和人才与社会因素等。当前人类社会正处于信息社会，人类知识以惊人的速度增长。如何组织和利用这样庞大的知识成为急需解决的问题。由此，信息科学与信息管理技术的重要性可见一斑。

作为涉足信息科学与技术的一员，我们应当充分了解数据信息对于现代社会的极其重要的作用。

数据信息的社会属性，主要表现在：

- 数据信息是有用的，有时是有极大作用的。
- 数据信息是具有时效性的，有时是表现在时、分、秒，甚至是更快的数量级别上的。
- 从人类社会的发展来看，人们积累的信息是不断增长的。

由此可见，信息已经成为社会上各行各业不可缺少的重要资源之一。另外，信息还有其固有的一些自然属性，诸如：

- 信息来源于物质和能量；
- 信息是可以感知的；
- 信息是可以存储的；
- 信息是可以加工、传递和再生的等等。

以上两点，对于现代化程度越高的社会，对于数据与信息的依赖程度和信息的时效性越强，数据与信息的增长速率越大。

因此，我们这门课程就是围绕以上列举的人们各种需求，研究如何管理日益增长的数据信息，并在此基础上能够尽量快速与高效地为使用者提供有用的信息的一门学问。

## 2 信息与数据的关系

从本质上讲，数据是对客观对象特征的抽象的、符号化的表示，即用一定的符号表示那些从诸如观察、测量等活动中收集到的基本事实。当然，采用什么符号完全是一种人为的规定，例如从原始人类的结绳计日，到古代的各种计数制的运用，直到现在计算机内部用 0 和 1 的高速运算，数据无时无刻不在伴随着人类向前迈出的每一步。而在数据的基础

上，人类总结和归纳出了许许多多的经验和规律，如历法、天文甚至整个人类的文化，对于这些在数据的基础上产生出的具有思想性的推演结果，我们称之为信息。可见，信息实际上是指经过加工、处理后的数据，是经过“消化”了的数据。

因此，数据与信息二者的关系密不可分，它们既有联系，又有区别。数据既为信息提供了源泉，又反过来表示了信息，而信息只有通过数据形式表示出来才能够被人们理解和接受。尽管数据和信息在概念上不尽相同，但通常人们并不严格地区分它们。例如，一般人们并不认为数据处理和信息处理有什么区别。

### 3 如何管理数据与信息

数据的基本含义是从某些已知的数据出发，推导出一些新的数据，这些新的数据又表示了新的信息。具体操作中，涉及到数据收集、管理、加工乃至信息输出的演变与推导的全过程。

在数据处理过程中，通常计算比较简单，一般不涉及复杂的数值算法和超大的数值计算量，但表现的特点是：

- 参与算法的数据量十分巨大，但一般在数据处理过程中其数值变化不大，甚至决大多数的数据的值是不变的。
- 处理过程涉及的数据结构比较复杂，同时大量的数据之间又具有复杂的逻辑联系。

因此，数据处理本身的矛盾焦点不是数值计算，而是数据管理——即数据的收集、整理、组织、存储、维护、检索、传送等操作，这些操作是数据处理的基本环节，而且也是任何数据处理系统中必须具备的共性部分。

现在，让我们举一个实际的例子。例如管理学生的一些数据和信息。

每位学生具有如下信息：学号（S#）、姓名（SNAME）、性别（SEX）、年龄（AGE）。

设想一下：如果只是管理几十位或者上百位甚至千位数量级的学生的信息，那么采用传统的以记事本为基础的人工管理应该是能够胜任的。如果是百位级别的，我们写成如下的形式就可以了。

（2002123001, 赵一, 男, 18）, （2002123002, 钱二, 男, 19）

但如果是千位级别的呢？那么如下的表格形式可能更适合问题的要求：

学号 (S#)	姓名 (SNAME)	性别 (SEX)	年龄 (AGE)
2002123001	赵一	男	18
2002123002	钱二	男	19
2002123003	孙三	男	18
.....	.....	.....	.....

可是如果我们要管理的对象的数量级很大，如达到数万甚至更大，那会出现什么问题呢？则可供我们选择的对策有：

- 用多个人来管理，其中每个人分担一定数量级（如千级别）。
- 采用新的管理技术与管理设备，减少人员开支，提高信息管理效率（如采用计算机等技术设备）

两者相较，显然后者为首选。

那么就让我们看一看采用计算机进行信息处理的技术背景吧。

## 4 信息管理的历史背景与技术背景

从 20 世纪 50 年代中期开始, 计算机的应用由科学研究部门扩展到企业、行政部门, 数据处理迅速上升为计算机应用的主要方面。在计算机的三大应用(科学计算、数据处理与过程控制)中, 数据处理所占比重随着社会的发展和时间的推移变得越来越大, 现在已达到近 85% 左右的使用水平。

那么人类在利用计算机来管理信息时走过哪些道路呢?

- 最早采用计算机进行数据管理的我们称为自由管理阶段

最早的计算机, 没有必要的软件支持, 因此用户使用计算机进行数据处理不得不自行管理数据, 程序员在程序中既要考虑数据处理方法, 又要管理数据的组织与存储。这一阶段, 存取数据是根据设备的物理地址进行的, 这种方式迫使程序员直接与物理设备打交道。管理数据的存放地址, 导致程序与数据紧密相关, 程序高度依赖于数据。因此数据稍有变动, 整个程序就必须进行全面修改。这一阶段的特点是, 编程效率低, 程序不灵活而且容易出错, 但当时计算机性能较低且为数寥寥, 主要用来进行数值计算, 极少用于数据处理。

- 接着当推文件系统阶段

文件系统是计算机系统的既有组成部分, 这个阶段出现于上个世纪 50 年代至 60 年代中, 它提供了简单的数据共享与数据管理功能, 但它无法提供完整统一管理与管理与数据共享能力, 由于它的功能较为简单, 一般它均附属于操作系统而并不成为独立的软件。因此, 这一阶段的数据处理能力取决于计算机系统, 尤其是操作系统的文件处理能力。

- 其次是初级数据库系统阶段

自 60 年代起各种数据库系统相继问世, 首推层次模型与网络模型的数据库系统, 它们为统一管理与共享数据提供了有力支撑。在这一时期, 由于数据库系统的蓬勃发展, 从而形成了历史上著名的“数据库时代”。当然, 这两种类型的数据库系统也有其不足地方, 最主要是它们均脱胎于文件系统比较简单的数据结构, 因此, 既受文件中的物理结构影响较大, 用户在使用数据库时需要对数据的物理结构有详细的了解, 这对使用数据库带来了诸多的麻烦, 同时, 数据库中表示数据模式的结构方式又过于烦琐, 直接影响了数据库应用中越来越多的对数据结构的复杂要求的实现。

- 再次是关系数据库系统阶段

关系型数据库系统的理论出现于 70 年代初, 其系统形成于 70 年代中并在 80 年代得到了充分的发展, 它具有简单的结构方式与较少的物理表示, 使用与操作又更加符合人们日常的处理方式并且极为方便, 因此, 在 80 年代它逐步取代层次与网络型数据库成为占主导地位, 到目前为止, 关系型数据库系统仍占领数据库应用的主要地位。

- 目前即将进入高级数据库系统阶段

由于计算机应用的发展, 计算机已从传统的科学计算、事务处理等领域逐步扩展到工程设计统计、人工智能、多媒体、分布式等领域, 这些新的领域需要有新的数据库支撑, 而传统关系数据库系统是以商业应用、事务处理为背景而发展起来的, 它并不完全适用于新领域的应用, 因此, 需要有新的数据库系统以满足不同领域的要求, 自 80 年代中开始, 各种适应不同领域的新型数据库系统不断涌现, 如工程数据库、多媒体数据库、CAD 数据库、图形数据库、图像数据库、智能数据库、分布式数据库以及面向对象数据库等, 其中

特别是面向对象数据库系统由于其通用性强，适应面广而受到青睐，在 90 年代后期形成了多种数据库系统共同支撑应用的局面。但关系数据库系统仍将是其中一支强有力的主力军，而面向对象数据库将会起主导作用。

在我国，数据库的发展也经历了上述的类似的几个阶段，但是略有不同。由于我国计算机应用发展较技术先进的国家略迟一步，因此，文件系统阶段较为短暂，而早期、初级数据库系统阶段基本没有经历，自 80 年代中起即直接进入关系数据库系统阶段。特别是以 dBase-III 与 Foxbase 为代表的初级关系型数据库系统阶段和 90 年代以来以 ORACLE、Sybase 等为代表的成熟的大型关系数据库系统阶段，基本弥补了我国在高级数据库系统的应用上的不足。

## 5 现在的技术前提和技术手段

当前人类社会正处于信息社会，人类知识与信息以惊人的速度增长，引发了如何组织和利用这样庞大的知识和信息，成为了急需解决的问题。在比较了不同领域和种类的数据处理系统之后，人们发现了数据处理系统的一些共性，诸如数据共享、减少冗余、程序（应用）独立于数据、数据完整、数据安全等等。基于这些共性，人们陆续制作出一些在大多数领域“普适”的软件部件，并随着这一部件的性能优化和功能明确，将其命名为数据库管理系统（DBMS），同时围绕其功能和性能完善了许多外围工作，形成一个个的功能完善且独立运作的数据库系统，终于在 20 世纪 60 年代的“软件危机”中，数据库技术作为一门软件学科应运而生。

据查，数据库（DataBase，记作 DB）这个名词起源于 20 世纪 50 年代，当时美国为了战争的需要，把各种情报集中在一起，存储在计算机里，称为 Information Base 或 DataBase。

- 1963 年，美国 Honeywell 公司的 IDS（Integrated Data Store）系统投入运行，揭开了数据库技术的序幕。
- 1965 年，美国一家火箭公司利用数据存储系统帮助设计了阿波罗登月火箭，推动了数据库技术的产生。当时美国社会上产生了许多形形色色的 DataBase 或 Databank，但是，它们基本上都是文件系统的扩充或是倒排文件系统。
- 1968 年，美国 IBM 公司推出层次模型的 IMS 数据库系统（1969 年形成产品）；1969 年，美国 CODASYL（Conference On Data System Language，数据系统语言协会）组织的数据库任务组（DBTG）发表关于网状模型的 DBTG 报告（1971 年正式通过）。
- 1970 年，IBM 公司的 E.F.Codd 发表论文提出关系模型。

以上几个具有历史意义的事件奠定了现代数据库技术发展的基础。

20 世纪 70 年代是数据库蓬勃发展的年代。网状系统和层次系统占据了整个商用市场，而关系系统仅处于实验阶段。许多计算机厂商研制了各种数据库管理系统，许多学者发表了大量的探讨性论文，使数据库技术在实践中和理论上得到飞速发展。数据库技术也日趋成熟。

到 80 年代，关系系统由于使用简便，逐步代替网状系统和层次系统占领了市场。同时关系数据库的理论日趋完善，走向更高级的阶段。数据库的理论研究以及新的数据库系统的研究仍在继续，不断深化。

现在，数据库技术已成为计算机领域中最重要技术之一，它是软件学科中一个独立的分支。它的出现使得计算机应用渗透到工农业生产、商业、行政、科学研究、工程技术和国防军事的各个部门，渗透到社会的每一角落，并正改变着人们的工作方式和生活方式。管理信息系统、办公自动化系统、决策支持系统、智能系统等都是使用了数据库技术的计算机应用系统。数据库已经成为信息高速公路的核心部分。

随着计算机软、硬件技术与性能的不断提高，数据库系统表现出了良好的数据处理能力，但不同的行业和领域在使用数据库系统时也可能有迥然不同的方式，因此，掌握数据库系统原理对建造、优化数据库系统无疑具有重大的意义。

## 6 思考题与习题

1. 是什么客观因素促成了数据库的产生？
2. 信息与数据两者在概念上有何区别？相互间是一种什么关系？
3. 举出两个适合于使用数据库进行管理的系统及其理由。
4. 举出两个不适合使用数据库进行管理的系统及其理由。
5. 找出您认为是使用数据库管理的一个实例，并叙述一下您所知的细节。

6. 实践题：至少找出一个您认为有必要使用数据库技术的客观问题作为您学习本课程的对比研究对象，随着课程的深入，不断地研究课程理论与您选定对象之间的对应关系，不断地套用理论为您题目做指导，直至本课程的结束。您所所做的工作可一直延伸到系统开发的结束。其结果亦可作为本课程的课程设计内容（属于自选题材）。

# 第 1 章

## 数据库系统的基本概念

### 1.1 数据库、数据库管理系统与数据库系统

随着数据在计算机应用中的地位与作用日益重要，及在商业、事务处理中占有主导地位，近年来在统计领域、工程领域，在图形、图像、声音等多媒体领域以及在智能领域等的地位与作用也变得十分重要，因此，数据已成为构成一个计算机系统的重要支柱，任何管理与处理好数据也成为数据库系统的首要 and 核心的任务。

但随着数据在软件中的地位的改变，系统已经是以数据结构及数据为主体，而程序已退居于附属地位，在此种情况下，需要对数据作集中统一的管理并以数据共享为目标，这就是我们所说的数据库系统 (database system)。

数据库系统由下面几个部分组成：

#### 1.1.1 数据库

数据库 (database, 简称 DB) 是数据的集合，它具有一定的组织形式并存放于统一的存贮介质上，它是多种应用的数据集成，并可被应用所共享。亦即是数据库集中了各种应用的数据，进行统一构造与存储，同时，这些数据可为不同应用使用。

数据库用于存放数据。数据按数据库所提供的数据库模式存放，数据库模式能构造复杂的数据结构以建立数据间的内在联系与复杂的关系，从而构成数据的全局结构模式以适应数据共享要求。而数据库的每个应用则仅是取全局模式中的一个局部子模式。

数据库中的数据具有“集成”、“共享”之特点，

#### 1.1.2 数据库管理系统

数据库管理系统 (database management system, 简称 DBMS) 是一种管理数据库的系统软件——即管理数据库的机构，它是数据库系统的核心，它主要负责：

- 数据库中数据的组织；
- 数据库中数据的维护以及保护数据不受破坏；
- 数据库中数据的操作。

近年来，有些数据库管理系统还提供构造多种用户界面的工具软件或第四代语言以及构造应用的开发系统。

一般来说，数据库管理系统 (DBMS) 均提供如下的主要功能：

DBMS 提供数据定义语言 (data definition language, 简称 DDL) 来定义数据库的三级结构，包括外模式、概念模式、内模式及其相互之间的映像，定义数据的完

完整性约束、保密限制等约束。因此，在 DBMS 中应包括 DDL 的编译程序。

- 数据的操纵功能：DBMS 提供数据操纵语言（data manipulation language，简称 DML）实现对数据的操作。基本的数据操作有四种：检索（查询）、插入、删除和修改，后三种又称为更新操作。DML 有两类：一类是嵌入在 COBOL、C 等宿主语言中使用，称为宿主型或嵌入型 DML；另一类是可以独立地交互使用的 DML，称为自含型（或交互型）DML。因而在 DBMS 中应包括 DML 的编译程序或解释程序。

DML 一般分两种：

(1) 交互式命令语言：它语法简单，可在终端上即席操作，它又称为自含型或自主型语言，这种语言有时还包含部分控制语句并能独立编程。

(2) 宿主型语言：它一般可嵌入于某些主语言中，如可嵌入于 FORTRAN、C、PASCAL 等高级语言中。这种语言本身不能独立使用，因此称为宿主型语言。

- 数据库的保护功能及数据控制（Data Control Language 简称 DCL）功能

DBMS 对数据库的保护主要通过四个方面实现，因而在 DBMS 中应该包括这四个子系统。

(1) 数据库的并发控制。数据库技术的一个优点是数据共享，但多个用户同时对同一个数据的操作可能会破坏数据库中的数据，或者用户读了不正确的数据。并发控制子系统能防止上述情况发生，正确处理好多用户、多任务环境下的并发操作。

(2) 数据库的恢复。在数据库被破坏或数据不正确时，系统有能力把数据库恢复到最近某个正确的状态。

(3) 数据完整性控制。保证数据库中数据及语义的正确性和有效性，防止任何对数据造成错误的操作。

(4) 数据安全性控制。防止未经授权的用户蓄谋或无意地存取数据库中的数据，以免数据的泄露、更改或破坏。

DBMS 的其它保护功能还包括系统缓冲区的管理以及数据存储的某些自适应调节机制等。

- 数据库的维护功能：这一部分包括数据库的初始数据载入、转换、转储、数据库的改组以及性能监视分析等功能。这些功能分别由各个实用程序完成。
- 数据字典（data dictionary 简称 DD）：DD 管理着数据库三级结构的定义。对数据库的操作都要通过 DD 才能进行。现在有的大型系统中，把 DD 单独抽出来成一个系统，成为一个软件工具，使之成为一个比 DBMS 更高级的用户与数据库之间的接口。
- 数据的服务：它包括数据库中初始数据的录入，数据库的转储、重组、性能监测、分析以及系统恢复等功能，它们大都由 DBMS 中的服务性程序完成。

### 1.1.3 数据库应用

数据库提供了高度的数据共享功能，因此多个数据库应用程序（database application）可以充分共享使用数据库。应用程序使用数据库是通过 DBMS 实现的。

### 1.1.4 数据库管理员

由于数据库具有共享性，因此对数据库设计、规划、协调需专职人员负责进行此项工作，这些人员或集体统称为数据库管理员（database administrator，简称 DBA）。

DBA 的主要工作有下面几点：

- 数据库设计（database design）：数据库设计即是数据模式设计。由于数据库中的集成与共享性，因此，需要有 DBA 对数据库作全局与局部的模式设计。
- 数据库的维护：DBA 必须对数据库中数据的安全、完整、并发控制及系统恢复进行实施与维护。
- 改善系统性能提高系统效率：DBA 必须随时监视数据库运行状况，不断调整物理结构（如重建索引与集簇、系统重组与转储等）使系统保持最佳状态与最高效率。

### 1.1.5 系统硬件及相关软件

数据库、数据库管理系统及数据库应用都是建立在计算机的系统硬件（system hardware）的在系统硬件之上的系统软件和其它相关软件（software）的基础之上的，这类计算机要求有较大容量的外存储器（如磁盘存储器）以及较强 I/O 通道能力，此外，还需要有一个较好的操作系统以及建立在该操作系统上的文件系统，这些软件系统应具有对于 DBMS 的良好支持，最好以 DBMS 为核心来构建。

总之，由上述的几个部分就会构成一个完整的数据库系统，有时为方便起见也可简称为数据库。

## 1.2 数据库系统的基本特点

### （1）数据的高度集成化

在数据库系统中数据按一定模式组织与存放，这就称为数据的集成化或称为数据结构化，集成化的数据能较为自然的反映数据间的内在的联系。它也是对数据的集中控制和减少数据冗余的前提和保证。

由于数据库是从一个组织的全部应用的全局考虑并集成其数据结构，因此，数据库中的数据已不再是面向个别应用，而是面向整个系统，各不同应用所需数据只是整个全局数据的局部子集。

### （2）数据独立性

数据独立性即是数据库中数据独立于应用程序，即不依赖于应用程序，也就是说数据的逻辑结构、存储结构与存取方式等不因应用程序的变化、修改而有所改变。

数据独立性一般分为物理独立性与逻辑独立性两级。

### （3）物理独立性

物理独立性即是数据的物理结构（包括存储结构、存取方式等）的改变，如存储设备的更换、物理存储的更换、存取方式改变等都不影响数据库的逻辑结构，从而不致引起应用程序的变化。

#### (4) 逻辑独立性

数据库总体逻辑结构的改变。如修改数据模式、增加新的数据类型、改变数据间联系等，不需要相应修改应用程序，这就是数据的逻辑独立性。遗憾的是到目前为止数据的逻辑独立性还无法做到完全的实现。

总之，数据独立性即是数据与程序间的互不依赖性。一个具有数据独立性的系统可称为以数据为中心的系统或称为面向数据的系统。显然，数据库系统是以数据为中心的系统，或可称为是面向数据的系统。

#### (5) 数据共享

数据资源是一种十分重要的信息资源，充分利用这种资源的重要手段即是数据共享，数据共享是数据库技术先进性的重要体现。数据库中的数据共享主要体现在以下几方面：

数据库中的数据可供多个应用使用；

可以开发新的应用而不增加新的数据；

数据库中数据可直接对外开改，向社会提供服务。

#### (6) 减少数据冗余

在非数据库系统中，每个应用均有其相应的数据文件，因此数据反复重复，冗余量大，而在数据库系统对数据进行集中、统一管理，因此从本质上解决了数据的冗余问题。数据的冗余不仅大量浪费空间，增加系统维护副本的开销，而且容易造成数据的不一致，因此数据冗余的减少可为数据库减少空间、提高效率、保证安全提供支撑。

当然，在数据库系统中绝对消除冗余是不可能的，也是不必要的，适当保留一定冗余有时对提高系统效率会起一定作用。

- 集中管理：数据库系统负责对其数据作全面、集中的管理，这些管理包括提供统一数据模式，统一数据操纵方式，此外，还提供集中的数据安全性、完整性、一致性以及并发处理、故障恢复等管理功能。

保证数据的一致性：数据的一致性即是在数据库中同一数据的不同出现应保持其值的一致。数据的不一致即是指同一数据在数据库内重复出现且具有不同的值。如职工工资在工资单上和人事档案中有不同的值，这就是数据的不一致性。在数据库内由于数据冗余度的减少，避免了大量的不一致性的产生，同时，数据库系统提供各种控制、检查，保证在更新数据时同时更新所有副本，从而保证了数据的一致性。

数据的完整性、安全性保护：数据库系统提供各种手段以防止数据的非法使用及保证数据的正确性。

数据的并发控制与故障恢复：数据库系统提供多个用户共享数据的能力，它通过并发控制避免多个用户“同时”对同一数据操作时所产生的错误。并发控制可以避免这种错误的发生，保证数据的正确性。

当然，数据库中的数据在系统运行过程中可能会受到破坏，这包括硬件、软件故障、周围环境刺激以及用户操作失误等多种原因所造成，其中有的是不可避免的。而数据库系统有一套完整的措施能及时发现故障并迅速将其恢复至正确状态，这就是数据库系统的故障恢复能力。

### (7) 标准化

由于数据库中数据的集中管理与集中控制，因此能够保证数据的表示与操纵的标准化，尤其是数据格式的标准化以利于数据交换与系统间数据沟通。

上述几点构成了数据库系统有别于文件系统及其他数据处理系统的主要标志。特别要注意的是数据库系统与文件系统间的差别，这两者间既有紧密联系又有显著差别，其主要方面如下：

数据库系统与文件系统有一定的数据管理功能，这是其主要相同点。

数据库中数据是由数据库系统统一规划并按照一定数据模式组织和建立的，由系统统一管理和集中控制，而文件系统则是由各应用分别建立，数据分散，无法集中、统一管理与控制。

文件系统中数据结构简单，不能反映现实世界中数据间的内在联系，而数据库系统所提供的数据结构（叫数据模式）具有灵活、方便的反映客观世界中数据间的多种关系的能力。

文件系统中数据文件是面向应用的，它依赖于应用程序的存在而存在，应用程序的改变必须重新组建文件，而数据库系统则不然，它是面向数据的，它不依赖于应用程序，具有数据的物理独立性与逻辑独立性。

数据库系统的数据冗余小，具有保证数据安全、完整的能力，还提供并发控制，故障恢复的功能，而文件系统的数据库冗余大，数据的安全性、完整性能力差，并发控制与故障恢复功能也几乎没有。

文件系统是数据管理的低级工具而数据库系统则是高级工具，在物理实现上大多数数据库系统还是以文件系统为其实现基础的，数据库中数据最终是以文件形式存放在物理设备上的。因此，文件系统是数据库系统的基础，数据库系统是文件系统的提高与发展。

## 1.3 数据库系统的工作过程

为了帮助大家加深了解 DBMS 的功能，我们考察某一应用程序 A 通过 DBMS 读取数据库中记录的全过程。在程序 A 运行时，DBMS 为程序 A 开辟一个数据库的系统缓冲区，用于数据的传输和格式的转换。三级结构的定义在 DD（数据字典）中。具体过程如下所述。

(1) 用户在应用程序中安排一条读记录的 DML 语句。该语句给出涉及的外模式中记录类型名及键值。当计算机执行该 DML 语句时，立即启动 DBMS，并把读记录的命令传给 DBMS。

(2) DBMS 接到命令后，加以分析，并从 DD 中调出程序 A 对应的外模式，检查该操作是否在合法的授权范围内，决定是否执行命令。

(3) 在决定执行 A 的命令后，DBMS 调出相应的概念模式描述，并从外模式映像到概念模式，也就是把外模式的外部记录格式映像成概念模式的概念记录格式，决定概念模式应读入哪些记录。

(4) DBMS 调出相应的内模式描述，并把概念记录格式映像成内模式的内部记录格式，

确定应读入哪些物理记录以及相应的地址信息。

(5) DBMS 向 OS (操作系统) 发出从指定地址读取物理记录的命令。

(6) OS 执行读命令, 按指定地址从数据库中把记录读入 OS 的系统缓冲区, 随即读入数据库的系统缓冲区, 并在操作结束后向 DBMS 做出回答。

(7) DBMS 收到 OS 读操作结束的回答后, 将读入缓冲区中的数据转换成概念记录、外部记录。

(8) DBMS 把导出的外部记录从系统缓冲区送到应用程序 A 的变量区中。

(9) DBMS 向运行日志数据库写入读一条记录的信息。以备以后查阅数据库的使用情况。

(10) DBMS 将读记录操作的成功与否信息返回给程序 A。

(11) 应用程序 A 根据返回的状态信息决定是否使用程序变量区中的数据。

如果用户需要修改一个记录的内容, 其过程与此类似。首先读出目标记录, 并在用户工作区中用主语言语句进行修改, 然后向 DBMS 发出写回修改记录的命令。DBMS 在系统缓冲区进行必要的转换 (转换过程与读数据时相反) 后向 OS 发出写命令, 即可达到修改数据的目的。

## 1.4 数据库技术的研究要点

数据库技术是研究数据库的结构、存储、设计、管理和使用的一门软件学科。

数据库系统的研究工作归纳起来主要集中在如下的三个方面:

### (1) 数据库管理系统的研究

包括 DBMS 应具有什么样功能的原理性问题的研究和如何实现的技术性问题的研究。

目前, DBMS 的研究工作已从集中式数据库管理系统向分布式数据库管理系统 (DDBMS)、知识库管理系统 (KBMS) 等方面延伸, 并且延伸到适应各种应用领域。

### (2) 数据库理论的研究

主要围绕关系数据库理论、事物理论、逻辑与数据库 (演绎数据库)、面向对象的数据库知识库等方面的研究, 探索新思想的表达、提炼、简化, 并使其为人们所理解; 研究新算法以提高数据库效率。

### (3) 数据库设计方法及工具的研究

数据库设计的主要含义是在数据库管理系统的支持下, 按照应用要求为某一部门或组织设计一个结构良好、使用方便、效率较高的数据库及其应用系统。目前在这一领域是进行数据库设计方法、设计工具和理论的研究; 数据模型和数据建模的研究; 计算机辅助数据库设计方法及其软件系统的研究; 数据库设计规范和标准的研究等等。

另外, 在如下的几个方面, 数据库技术正体现出比较迅速的技术更新活力。

### (4) 分布式数据库技术

集中式数据库把数据集中在一个数据库中进行集中管理, 减少了数据冗余和不一致性, 而且数据联系比文件系统强得多。但集中式系统也有弱点: 一是随着数据量增加, 系统相

当庞大，操作复杂，开销大；二是数据集中存储，大量的通信都要通过主机，造成拥挤。随着小型计算机和微型计算机的普及，随着计算机网络软件和远程通信的发展，分布式数据库系统崛起了。

分布式数据库系统主要有下面几个特点：

(1) 多数处理就地完成。大多数处理由网络上各点的局部处理机进行，处理不了才借助于其它处理机处理。这样可以缩短响应时间，使负荷均衡分散，并且偶然性的故障对全局的影响较小。

(2) 各地的计算机由数据通信网络相联系。本地计算机单独不能胜任的处理任务，可以通过通信网络取得其它数据库和计算机的支持。

(3) 各个局部的处理系统不必为了功能的完备而过于庞大，可以有较大的灵活性，选用较小的针对性强的计算机系统，因而经济上也比较合算。

(4) 数据库的物理上分布在各个场地，但逻辑上是一个整体。

分布式数据库系统兼顾了集中管理和分布处理两个方面，因而有良好的性能。

(5) 面向对象数据库系统

在数据处理领域，关系数据库的使用已相当普遍、相当出色。但是现实世界存在着许多具有更复杂数据结构的实际应用领域，已有的层次、网状、关系三种数据模型对这些应用领域都显得力不从心。例如多媒体数据、多维表格的数据、CAD 数据、图形数据等应用问题，需要更高级的数据库技术来表达，以便于管理、构造与维护大容量的持久数据，并使它们能与大型复杂程序紧密结合。面向对象数据库正是适应这种形势发展起来的，它是面向对象的程序设计技术与数据库技术结合的产物。

面向对象数据库系统主要有以下特点：

(1) 面向对象数据模型能完整地描述现实世界的数据结构，能表达数据间嵌套、递归的联系。

(2) 具有面向对象技术的封装性（把数据与操作定义在一起）和继承性（继承数据结构和操作）的特点，提高了软件的可重用性。

(6) 其它新型的数据库技术

数据库技术是计算机软件领域的一个重要分支，已形成相当规模的理论体系和实用技术。因受到相关学科、行业和领域的影响，数据库技术仍在不断发展，并出现了许多新的分支。如：移动数据库、演绎数据库、主动数据库、基于逻辑的数据库、时态数据库、模糊数据库、模糊演绎数据库、并行数据库、多媒体数据库、内存数据库、联邦数据库、工作流数据库、工程数据库、地理数据库等。

## 习题 1

- 1-1 试解释下列术语：数据库、数据库管理系统、数据库系统。
- 1-2 试述数据库系统的组成内容。
- 1-3 试比较文件系统与数据库系统的异同。
- 1-4 什么叫数据的物理独立性与逻辑独立性？并说明它的重要性。

- 1-5 试述数据库系统的优点。
- 1-6 什么叫数据的冗余与数据的不一致性？
- 1-7 什么叫数据库管理员？它的主要工作是什么？
- 1-8 试述数据库系统发展的几个阶段。
- 1-9 数据库主要任务是数据管理，数据管理的主要内容是什么？
- 1-10 文件方式数据管理与数据库方式数据管理有何本质上的不同？文件系统中的文件与数据库方式有什么差别？
- 1-11 数据库系统包括哪些组成部分？各部分在系统中的作用是什么？
- 1-12 请从数据库的数据组织及控制数据存取方法，对数据库下个简短的定义。
- 1-13 什么叫数据独立 数据独立有什么好处 数据库系统采用什么办法达到数据独立？
- 1-14 数据冗余是什么意思？有何恶果？
- 1-15 从程序和数据之间的关系分析文件系统和数据库系统之间的区别和联系。
- 1-16 使用数据库系统有什么好处？
- 1-17 数据库管理系统有哪些功能？
- 1-18 DBA 的职责是什么？
- 1-19 叙述数据管理技术发展若干阶段的特点。

# 第 2 章

## 数据模型

我们可能遇到许多能够使用数据库技术的现实问题，但如何将这些现实转化为计算机内的，能够由数据库技术处理的问题呢？因为数据库中存储的是数据，这些数据反映了现实世界中具有重要意义、有价值的信息，它不仅反映数据本身的内容，而且反映数据之间的联系。那么如何抽象表示、处理现实世界中的数据和信息呢？这就是本章的核心内容——数据模型。

### 2.1 数据模型的基本概念

我们称数据是现实世界“量”的抽象，而数据模型（data model）则是数据特征的抽象。数据模型是数据库中用于提供信息表示和操作手段的形式框架，它是我们将现实世界转换为数据世界的桥梁。数据模型描述数据的结构，定义在其上的操作以及约束条件。它从概念层次上描述了系统的静态特征、动态特征和约束条件，为数据库系统的信息表示与操作提供一个抽象框架。

#### 2.1.1 三个抽象层次的数据模型

依据对于现实问题的抽象的不同层次，亦即按不同的应用层次，我们将数据模型分成三种类型，或者是三个层次，它们是概念数据模型（conceptual data model）、逻辑数据模型（logic data model）、物理数据模型（physical data model）。

首先，概念数据模型又称概念模型，它是一种面向客观世界，面向用户的模型，它与具体的数据库管理系统无关，与具体的计算机无关。概念模型着重于对客观世界复杂事物的结构描述及它们间的内在联系的刻画，而将与 DBMS、计算机有关的物理的、细节的描述留给其他类型的模型。因此，概念模型是整个数据模型的基础。目前，较为有名的概念模型有 E-R 模型、扩充的 E-R 模型、面向对象模型等。

其次，逻辑数据模型又称数据模型，它是一种面向数据库系统的模型，该模型着重于在数据库系统一级的实现。它是客观世界到计算机间的中介模型，具有承上启下的功能。概念模型只有在转换成数据模型后才能在数据库中得以表示。目前，数据模型很多，较为成熟并被人们所大量使用的有：层次模型、网状模型及关系模型。目前占主导地位的是关系模型。面向对象模型既是概念模型又可作为数据模型，由于其表示上的优越性而越来越被人们所注意。

另外，物理数据模型又称为物理模型，它是一种面向计算机物理表示的模型，此模型绘出了数据模型在计算机上真正的物理结构的表示。

## 2.1.2 数据模型的三个要素

数据模型所描述的内容有三个部分，它们是数据结构、数据操作与数据约束。

### (1) 数据结构

数据模型中的数据结构主要描述数据类型、内容、性质的有关情况以及描述数据间联系的有关情况。数据结构是数据模型的基础，数据操作与约束均建立在数据结构上。不同数据结构有不同的操作与约束。因此，一般数据模型分类均以数据结构的不同而分。

### (2) 数据操作

数据模型中的数据操作主要描述在相应数据结构上的操作类型与操作方式。

### (3) 数据约束

数据模型中的数据约束主要描述数据结构内数据间的语法，语义联系，它们间的制约与依存关系，以及数据动态变化的规则以保证数据的正确、有效与相容。

## 2.2 数据模型所对应的不同抽象层次

数据库中的数据模型可以将复杂的现实世界要求反映到计算机数据库中的物理世界，这种反映是一个逐步抽象与转化的过程，它分为以下几个阶段，我们称为不同的抽象世界。由现实世界开始，经历概念世界、信息世界而至计算机世界，从而完成将现实到计算机世界的抽象和转化。由现实世界开始每到达一个新的世界都是一次向数据库技术领域的飞跃，都是一次向计算机世界的趋进。

### (1) 现实世界 (real world)

用户为了某种需要，须将现实世界中的部分需求用数据库现实。此时，它设定了需求的边界的条件，这为整个转换提供了客观基础与初始启动环境。此时，我们所见到的是客观世界中的划定边界的一个部分环境，它称为现实世界。

### (2) 概念世界 (conceptual world)

以现实世界为基础作进一步的抽象形成概念模型，这是一次新的飞跃与提高，它将现实世界中错综复杂关系作分析提高，去粗取精，去伪存真，最后形成一些基本概念与基本关系，它们可以用概念模型所提供的术语和方法统一表示，从而构成了一个新的世界——概念世界。在概念世界中所表示的模型都是较为抽象的，它们与具体数据库、具体计算机无关，这样的目的是为了集中精力于数据的框架性构建而并不拘泥于细节性的修饰。

### (3) 信息世界 (information world)

在概念世界的基础上进一步着重于在数据库系统级上的刻画，而构成的逻辑模型称为信息世界。信息世界与数据库系统的具体模型有关，如层次、网络、关系模型等。

### (4) 计算机世界 (computer world)

在信息世界基础上致力于其在计算机物理结构上的描述从而形成物理模型叫计算机世界。现实世界的要求只有在计算机世界中才得到真正的物理实现，而这种实现是通过概念世界、信息世界而逐步抽象与转化而得到的。

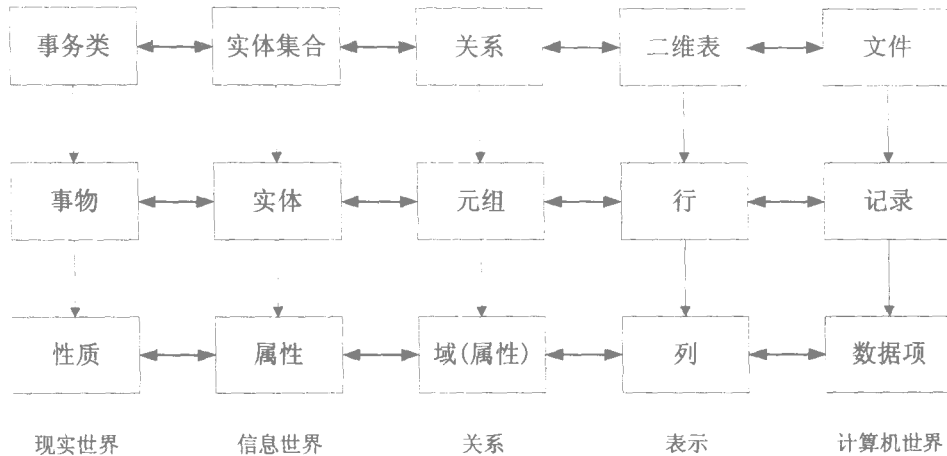


图 2-1 几个世界的转化及不同领域不同术语的对应关系

我们从上面所述的几个世界层次中可以看到，现实世界是客观存在的，亦即我们要引入数据库技术的现实问题，而其它三个世界则是人们为了将现实问题能够交予数据库技术而进行必要的加工而得到的。这种加工转化的过程是一种逐步精化的层次过程，它符合人类认识客观事物的规律。

从下面一节开始我们对概念世界、信息世界与计算机世界分三节作较为详细的介绍。

## 2.3 概念世界与概念模型

人类对错综复杂的现实世界进行某些特定问题研究时，常常需要将其抽象、提取主要因素，略去次要成份，经过归纳形成一个较清晰的轮廓进行具体研究。这样可使复杂的问题简化，从而易于处理。这种方法实际上就是建立模型的方法。概念世界就是一个较为抽象、概念化的世界，它给出了数据的概念化结构。概念世界一般用概念模型表示。

常用的概念模型有：**E-R 模型**、扩充 **E-R 模型**及面向对象模型等，由于数据模型的核心是数据结构，因此在概念模型中我们重点介绍它的数据结构。

### 2.3.1 E-R 模型

现实世界中事物千姿百态，但它们总能相互区别，主要方法是通过事物的特征来区分。如大学生的特征是：学号、姓名、年龄、性别、系、专业、年级等；椅子的特征是：椅子腿、椅子背、椅子座等。因此可以选择某些特征来识别各事物间的区别。其次，事物之间是息息相关的，如学生坐椅子，工人制造椅子等，表示事物之间是有联系的。概念模型是将现实世界中的客观对象抽象为某一种信息结构。这种结构并不依赖于计算机系统，它的基本语义单位是实体与联系，下面介绍其主要概念。

**E-R 模型**( entity-relationship model ) 又称实体联系模型 由 Peter Chen 于 1976 年首先提出，是一种概念化的模型。它将现实世界的要求转化成实体、联系、属性等几个基本概念以及它们间的两种基本关系，并且用一种较为简单的图来表示，亦即 **E-R 图** ( entity-relationship diagram )，该图简单明了，因此，此种模型很受欢迎，长期以来作为一种主要的概念模型被广泛使用。

E-R 模型有三个基本概念：

### ( 1 ) 实体 ( entity )

现实世界中的事物可以抽象成为实体，实体是概念世界中的基本单位，它们是客观存在的且又能相互区别的事物。

凡是有共性的实体可组成一个集合称为实体集 (entity set)。如张三、李四是实体，而它们又均是“学生”，因而组成一个实体集。

### ( 2 ) 属性 ( attribute )

现实世界中事物均有一些特性，这些特性可以用属性这个概念表示。

属性刻划了实体的特征。一个实体往往可以有若干个属性。如张三的属性可以有：姓名，性别，年龄等。

属性可以有值，一个属性可以有不同取值范围。如孙三年龄可取值 17 李四可取值 19，这是属性的值域 ( value domain ) 或称为值集 ( value set )。

### ( 3 ) 联系 ( relationship )

现实世界中事物间的关联称为联系。在概念世界中联系反映了实体集间的一定关系，如医生与病人这两个实体集间的医治关系，官、兵之间的上下级管理关系，旅客与列车间的乘坐关系。

实体集间的联系有多种，就实体集的个数而言有：

- 两个实体集间的联系

两个实体集间联系是一种最为常见的联系，前面举的例子均属两个实体集间的联系。

- 多个实体集间的联系

这种联系包括三个实体集间的联系以及三个以上实体集间的联系。如工厂、产品、用户这三个实体集间存在着工厂提供产品为用户服务的联系。

- 一个实体集内部的联系

一个实体集内有若干个实体，它们间的联系称实体集内部联系。如某公司职工这个实体集内部可以有上下级联系。往往某人（如科长）既可以是一些人的下级（如处长），也可以是另一些人的上级（如本科内科员）。

实体集间联系的个数可以是单个也可以是多个。如官、兵之间既有上下级联系，也有同志间联系，还可以有兴趣爱好的联系等。

两个实体集间的联系实际上是实体集间的函数关系，这种函数关系可以有下面几种：

(1) 一一对应 ( one to one ) 的函数关系 这种函数关系是常见的函数关系之一，它可以记为  $1: 1$ 。如学校与校长间的联系，一个学校与一个校长间相互一一对应。

(2) 一对多对应 ( one to many ) 或多一对应 ( many to one ) 函数关系 这两种函数关系实际上是一种函数关系，它们可以记为  $1: m$  或  $m: 1$ 。如学生与其宿舍房间的联系是多一对应函数关系（反之，则为多一对应函数关系），即多个学生对应一个房间。

(3) 多多对应 ( many to many ) 函数关系 这是种较为复杂的函数关系，可记为  $m: n$  如教师与学生这两个实体集间的教与学的联系是多多对应函数关系。因为一个教师可以教授多个学生，而一个学生又可以受教于多个教师。