

第 1 章

数据库的发展与现状

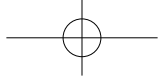
1.1 数据库的定义和分类

在人类进入计算机时代时，“数据库”这个名词就出现在人们的生活中了，可以说，数据库的发展与计算机的发展密不可分。不论是最早的单机形式的“孤岛”信息技术，还是随着信息技术的不断发展而带来的生活剧变，或是云计算、5G 时代，等等，几乎各行各业都离不开数据库。

如图 1-1 所示，在计算机发展进程中，从最早应用于大型机的层次数据库，到现在如火如荼的云数据库，数据库发展和迭代的脚步从未停止。



图 1-1 数据库发展的进化史



1.1.1 网状和层次数据库

数据库诞生之前，几乎所有的数据都是通过传统文件系统来管理的，效率不高，但是在当时不发达的通信环境下，勉强能满足需求。在讲解网状和层次数据库之前，先简单了解一下什么是数据库。

数据库系统的前身是基于文件的数据管理系统，由应用程序来定义和管理数据。最早的时候，数据和应用耦合度高，但人们发现这样的方式存在诸多的缺陷，从而希望将数据与应用持续分离、独立存储、统一管理和统一访问。数据库（Database）和数据库管理系统（DBMS）的概念就应运而生了。

1961 年至 1963 年，美国通用电气公司的 Charles Bachman 等人开发出世界上第一个 DBMS，网状和层次数据库就此诞生。网状和层次数据库的诞生，对当时的信息系统产生了广泛而深远的影响，解决了层次结构无法对更复杂的数据关系建模的问题。

在数据库的发展史上，网状和层次数据库占有重要的地位。这种“前关系型数据库”阶段的 DBMS 解决了数据的独立存储、统一管理和统一访问的问题，实现了数据和程序的分离。但由于缺少被广泛接受的理论基础，加之属于新产生的一种软件系统，即便是对记录进行简单的访问，仍然需要编写复杂的程序去实现，故使用起来不是很方便。

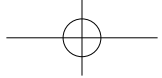
1.1.2 关系数据库

1. SQL 确立了关系型数据库的时代

随着时间的推移和数据库功能的演进，一种更先进的数据库正在形成。1970 年，IBM 实验室的 Edgar Frank Codd 发表了一篇名为《大型共享数据库数据的关系模型》论文，提出基于集合论和谓词逻辑的关系模型，为关系型数据库的发展奠定了理论基础。

1978 年，美国软件开发实验室（Software Development Laboratories, SDL）发布了 Oracle 的第一个版本，紧接着在 1980 年后，关系型数据库进入商业化时代。

值得一提的是，我国的关系型数据库在 20 世纪 70 年代诞生，1977 年 11 月，



中国计算机学会在黄山召开了第一次数据库年会，标志着我国数据库理论研究的正式开始。接着在 20 世纪的 80 年代，关系型数据库进入商业化时代，在此后相当长的时间里，耳熟能详的 IBM 的 Informix、DataBase2 (DB2) 相继成立，Oracle 也依次发布了第四和第五个版本，使它的产品更加稳定。1986 年，美国国家标准局 (ANSI) 数据库委员会批准 SQL 作为数据库标准语言，随后国际标准化组织 (ISO) 也决定对 SQL 进行标准化规范并不断更新，使 SQL 成为关系型数据库的主流语言，这对数据库技术发展方向产生重大影响。此后相当长的一段时间内，不论是微机、小型机还是大型机，不论是哪种数据库系统，都采用 SQL 作为数据存取语言，各个公司也纷纷推出各自支持 SQL 的软件或接口。

2. 后关系型数据库的需求产生

随着信息技术不断进步，各行业领域对数据库技术提出了更多需求，产生了一批后关系型数据库。主要有以下特征：

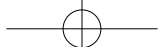
- 支持数据管理、对象管理和知识管理。
- 保持和继承了关系型数据库系统的技术。
- 对其他系统开放，支持数据库语言标准，支持标准网络协议，有良好的可移植性、可连接性、可扩展性和互操作性等。

后关系型数据库支持多种数据模型，如时序数据、图数据等，并与诸多新技术，如云计算、人工智能、区块链等融合发展，广泛应用于商业智能、地理信息系统、知识图谱等领域，并由此衍生出多种数据库技术方向。

后关系型数据库时代是对传统关系型数据库的补充和完善，当关系型数据库能解决绝大部分的 SQL 类查询问题后，后关系型数据库能够在剩余的 XML、图像等非结构化领域发挥作用。

1.1.3 NoSQL数据库

尽管关系型数据库系统技术已经相对成熟，能很好地处理表格类型数据，但面对业界出现的越来越庞大和复杂的数据类型，如文本、图像、视频等，处理起来就显得力不从心。尤其是步入互联网 Web 2.0 和移动互联网时代后，许



多互联网应用表现出高并发读写、海量数据处理、数据结构不统一等特点，关系型数据库并不能很好地支持这些场景。另外，非关系型数据库有着高并发读写、数据高可用性、海量数据存储和实时分析等特点，能较好地支持这些应用的需求。因此，一些非关系型数据库也开始兴起。

为了解决大规模数据集合和多种数据类型带来的挑战，NoSQL 数据库应运而生。NoSQL 一词最早出现于 1998 年，是 Carlo Strozzi 开发的一个轻量、开源、不提供 SQL 功能的数据库。

下面介绍 NoSQL 数据库中的图数据库。

图数据库作为 NoSQL 数据库的一员，其历史可以追溯到 20 世纪 60 年代的 Navigational Database，当时 IBM 也开发了类似树结构的数据存储模型。经过 30 多年的漫长发展，其间出现过可标记的图形数据库 Logic Data Model。直至 21 世纪初，具有 ACID 特性的里程碑式图数据库产品如 Neo4j、Oracle Spatial 和 Graph 才被开发出来并商业化。2010 年后，可支持水平扩展的分布式图数据库开始兴起。

图数据库应用图形理论存储实体之间的关系信息。最常见的例子就是社会网络中人与人之间的关系，如图 1-2 所示。使用传统关系型数据库（RDBMS）存储社交网络数据的效果并不理想，难以查找及深度遍历大量复杂且互相连接的数据，响应时间长得超出忍耐限度，而图数据库的特点恰到好处地填补了这一短板。作为 NoSQL 的一种，图数据库很长一段时间都局限于学术与实验室，它利用圈的顶点和边来表示要素以及各要素之间的关系。随着社交网络、电子商务以及资源检索等领域的发展，急需一种可以处理复杂关联的存储技术，而采用图数据库组织存储、计算分析挖掘低结构化且互相连接的数据则更为有效，

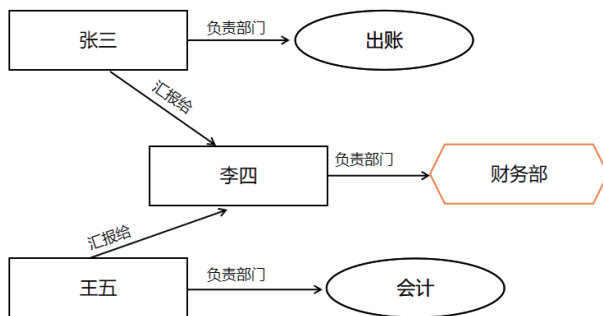
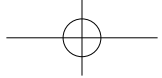


图 1-2 图形理论存储实体之间的关系



因此图形数据库得以逐渐从实验室走出，同时也反过来极大地推动了图形数据库的飞速发展。图数据库依托图论为理论基础，描述并存储了图中节点与它之间的关系。国内外基于图论数据挖掘展开的工作分为图的匹配、关键字查询、图的分类、图的聚类 and 频繁子图挖掘问题等五个方面。

1.1.4 分布式数据库

1. 什么是分布式数据库

随着互联网以及数字化业务在国内的蓬勃发展，数据库作为核心能力组件，越来越多地被人们提及和讨论。其实，数据库发展的初衷有两个：把数据存下来；满足对数据的查询、更改和计算需求。

在早期阶段，这两个需求其实并不难满足，简单的单机数据库就能够满足读写需求，但是随着金融和互联网行业的高速发展，人们觉得这种单机的数据库已经不够用了，原因是数据量越来越大，查询的复杂度、关联度要求越来越高，连保存数据也变得十分困难，这个时候能够随机动态扩展数据节点以满足业务需求，就十分有必要了，分布式数据库应运而生。

业界认为的分布式数据库技术，有别于集中式数据库，是指能够水平扩展其存储节点，并具备统一的分布式节点全局事务能力，而业务用户使用中无感知的一种现代数据库技术。

分布式数据库在应用系统中的架构如图 1-3 所示，数据库中应用 App 通过协议交互与底层数据库中数据进行读写操作，而分布式数据库可以将数据通过分片或分区算法分布到不同的服务器集群或云中。

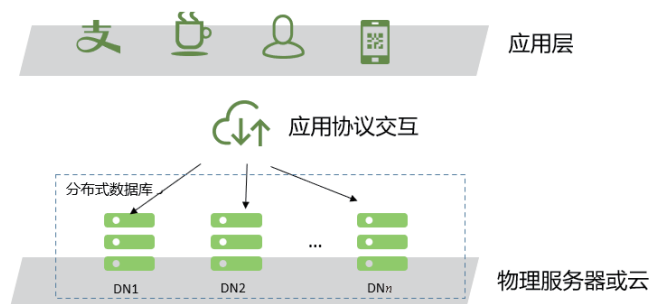
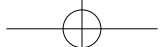


图 1-3 分布式数据库在应用系统中的架构示意



关于分布式数据库的特点和功能,后面的章节会做详细介绍,这里就不再赘述。

2. 分布式数据库架构

1) 分布式数据库 AntDB 的架构

AntDB 是一款成熟的分布式数据库产品,其架构示意图如图 1-4 所示。

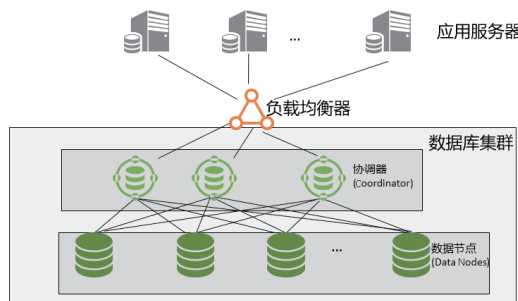
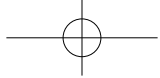


图 1-4 AntDB 架构示意图

AntDB 与大多数数据水平拆分的方案应用一样,把表中的数据通过 Hash 算法切片到各台机器上,应用服务器通过负载均衡器把 SQL 请求发送到协调器,每个协调器对外表现都是等同的,协调器与底层的各个数据节点相连接。

AntDB 的架构有如下特点:

- (1) 基于该架构实现集群。
 - 可以使用客户端及驱动无差别地连接到这种分布式架构上。客户端与该架构是完全兼容的。
- (2) 并不是架构在数据库之上的中间件。
 - 通过修改源代码实现的数据库集群,并不是一些架构在数据库之上的中间件。
 - 实现了全局事务,是数据具有强一致性。
- (3) 对称集群。
 - 无中心节点,SQL 可以发送给任意一台协调器,可扩展性比较好。
 - 可以读写任意节点,结果都是一样的。
 - 在整个集群上实现了 ACID,所以读任意节点看到的结果都是一致的。



(4) 线性扩展读和写。

- 与读写分离的方案不同，AntDB通过增加节点，不仅可以扩展读的性能，还能扩展写的性能。

2) 其他分布式数据库架构浅析

国内也有几家数据库厂商采用和 AntDB 一样的架构，比较典型的有腾讯的 TBase、华为的 GaussDB 300 等。

(1) 腾讯的 TBase。TBase 是腾讯数据平台团队基于 PostgreSQL 研发的数据库，支持 HTAP (Hybrid Transaction and Analytical Process)，主要由协调节点、数据节点和全局事务管理器 (GTM) 组成。特点如下：

- 分布式事务支持RC和RR两个隔离级别。
- 支持高性能分区表，数据检索效率高。
- SQL语法兼容SQL2003标准，也支持PostgreSQL语法和Oracle主要语法。

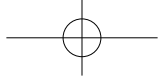
(2) 华为的 GaussDB 300。GaussDB 300 由华为研发，也是基于开源 PostgreSQL 研发的，支持 HTAP，支持 SQL92、SQL99 和 SQL2003 语法，并且支持提供存储过程、触发器、分页等。目前应用于招商银行、工商银行和民生银行，2021 年 3 月华为宣布 GaussDB 300 数据库完全开源。

1.1.5 云数据库

数据库的发展顺应场景需求的不断变化，现在的传统单机或集群版的数据库显然已不能满足互联网时代的需求。再者，随着在线业务的不断推进，云计算技术已经得到大众的认可。不论公有云、私有云或混合云，多租户的数据隔离需求越发明显，一般数据库已无法满足。

为此，以阿里云为代表的厂商，开发出了 PolarDB 等云数据库产品，其产品特性包括基础资源管理层、平台功能层、用户接入层，其中基础资源管理层包括物理机、虚拟机、存储、虚拟网络等，平台功能层为用户提供实例配置、诊断优化、弹性升降级等功能，用户接入层提供在线购买、控制台、数据迁移和 Open API 等面向用户的功能。

云数据库的兴起与时代背景息息相关，我国目前处于“数字化转型”的关



键时期，各项业务如“数字化城市”“数字化政府”等建设正如火如荼进行，随之催生了云计算作为底座的数字化建设模式，以阿里、腾讯和华为为代表的云厂商正大力推广全国范围的云部署，因此数据库产品也会随云计算的推广而逐渐普及。与传统数据库相比，云数据库利用云计算的特性，在“计算与存储分离”、“多租户”、虚拟的弹性扩容能力等方面，都有着不错的能力。另外，云数据库的销售和使用方式也已十分方便，摆脱了传统服务器部署的桎梏，数据库使用者只需购买“云数据库服务”即可完成安装，例如 PolarDB 提供的云数据库服务支持用户选择购买“包年、包月”和“流量计费”等方式，用户不再需要考虑服务器的配置和机房等问题，甚至连运维的 DBA 人员也由云数据库厂商提供，数据库系统变成了“云服务”。

1.1.6 时序数据库

1. 时序数据库的定义

时序数据，从定义上来说，就是一串按时间维度索引的数据。时序数据用于描述一个物体在历史的时间维度上的状态变化信息，而对于时序数据的分析，就是尝试掌握并把控其变化规律的过程。

随着物联网、大数据和人工智能技术的发展，时序数据呈现爆发式的增长。而为了更好地支持这类数据的存储和分析，在市场上衍生出了多种多样的新兴的数据库产品。这类数据库产品的研发都是为了解决传统关系型数据库在时序数据存储和分析上的不足，这类产品被统一归类为时序数据库（Time Series Database，TSDB）。

如图 1-5 所示，世界上主要的时序数据库厂商的发展情况。

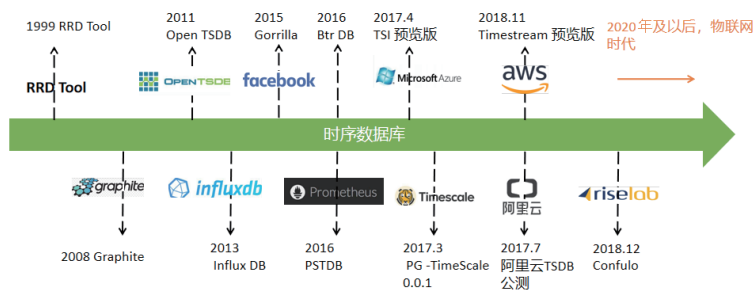
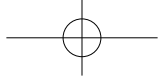


图 1-5 世界主要时序数据库厂商的发展情况



可以从以下三个不同时期来理解时序数据库：

1) 第一代时序数据库存储系统

第一代时序数据典型来源于监控领域，直接基于文本文件的简单存储工具成为这类数据的优先存储方式。

以 RRD Tool、Whisper 为代表，通常这类系统处理的数据模型比较单一，单机容量受限，并且内嵌监控告警方案。

2) 基于通用存储的时序数据库

伴随着大数据和 Hadoop 的发展，时序数据量开始迅速增长，系统业务对处理时序数据的扩展性等方面提出更多的要求。基于通用存储而专门构建的时间序列数据库开始出现，它可以按时间间隔高效地存储和处理数据，如 OpenTSDB、KairosDB 等。这类时序数据库在继承通用存储优势的基础上，利用时序的特性规避部分通用存储的劣势，并且在数据模型、聚合分析等方面做了贴合时序的创新。比如 OpenTSDB，继承了 HBase 的宽表属性，结合时序设计了偏移量的存储模型，利用 Salt 缓解了热点问题等。

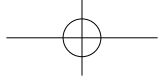
然而它也有诸多不足之处，比如低效的全局 UID 机制，聚合数据的加载不可控，无法处理高基数标签查询等。

3) 垂直型时序数据库

进入 IoT 时代后，数据的来源越来越丰富，大部分都来自铺天盖地的传感器等终端设备，同时 Docker、Kubernetes、微服务等技术也发展起来，时序数据库终于步入了新的时期。在数据量随着时间而增长的过程中，时间序列数据成为增长最快的数据类型之一。高性能、低成本的垂直型时序数据库诞生，以 InfluxDB 为代表的具有时序特征的数据存储引擎逐步引领市场。它们通常具备更加高级的数据处理能力、高效的压缩算法和符合时序特征的存储引擎。比如 InfluxDB 基于时间的 TSMT 存储、Gorilla 压缩、面向时序的窗口计算函数、rate、自动 rollup 等。同时由于索引分离的架构，在膨胀型时间线、乱序等场景下依然面临着很大的挑战。

2. 时序数据库的特性

A Time Series Database (TSDB) is a software system that is optimized for handling time series data, arrays of numbers indexed by time (a datetime or a



datetime range).

以上是维基百科对于时序数据库的定义，可以将其拆解为三个方面去理解：时序特性、数据特性、数据库特性。

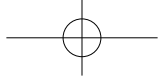
- **时序特性：**时间戳（Timestamp）是指在时序数据上自带的时间点，而且后续不能进行修改，比如某辆卡车通过某红绿灯时的时间点。通用的业务场景内为秒或毫秒级别，在一些遥感等高频采集数据领域，时间戳可以达到纳秒级别。
- **数据特性：**数据顺序追加、可多维关联；通常高频访问热数据、冷数据需要降维归档；数据主要覆盖数值、状态和事件。
- **数据库特性：**写入速率稳定并且远远大于读取速率；按照时间窗口访问数据，极少更新；存在一定窗口期的覆盖写、批量删除；具备通用数据库要求的高可用、高可靠、可伸缩特性；通常不需要具备事务的能力。

一方面由于时序数据库的时间属性，即随着时间的推移不断地产生新的数据；另一方面，时序的数据量巨大，每秒钟可能要写入千万、上亿条数据。这两方面的特性使得时序数据库经常应用在以下业务需求中：

- （1）获取最新状态，查询最近的数据（例如传感器最新的状态）。
- （2）展示区间统计，指定时间范围，查询统计信息，例如平均值、最大值、最小值、计数等。
- （3）获取异常数据，根据指定条件筛选异常数据。

适用的业务场景：

- **监控软件系统：**虚拟机、容器、服务、应用。
- **监控物理系统：**水文监控、制造业工厂中的设备监控、与国家安全相关的数据监控、通信监控、传感器数据监控，以及血糖变化、血压变化、心率变化等。
- **资产跟踪应用：**汽车、卡车、物理容器、运货托盘。
- **金融交易系统：**传统证券、新兴的加密数字货币。
- **事件应用程序：**跟踪用户、客户的交互数据。
- **商业智能工具：**跟踪关键指标和业务的总体健康情况。



- 互联网行业：也有着非常多的时序数据，例如用户访问网站的行为轨迹，应用程序产生的日志数据等。

学习到这里，肯定会有许多读者产生疑问：传统关系型数据库加上时间戳一列，不就能成为时序数据库了吗？诚然，在数据量少的时候，这样做问题不大。但是时序数据往往是由百万级甚至千万级的IoT终端设备产生，数据量巨大，同时写入并发量非常高，属于海量数据场景。并且数据模型也不太一样，举一个例子来说明时序数据库的数据模型（在某些时序数据库中称谓可能有所不同），模型示例如图1-6所示。

- Measurement/Metric：度量的数据集，类似于关系型数据库中的table。
- point：数据点，类似于关系型数据库中的row。
- timestamp：时间戳，表示采集到数据的时间点。
- tag：维度列，代表数据归属、属性，表明是哪个设备/模块产生的，一般不随时间变化，仅供查询使用。
- field：指标列，代表数据的测量值，随时间平滑波动，不需要查询。

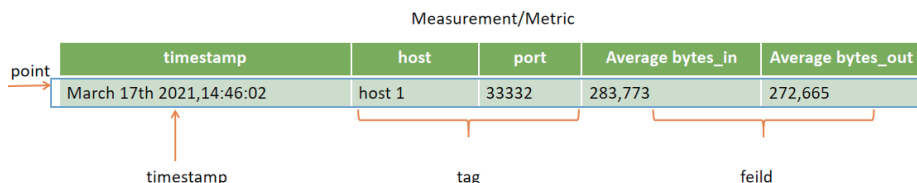
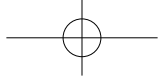


图 1-6 时序数据库数据模型示例

目前大致可以将时序数据库的特点简单总结为以下几点：

- 高吞吐量写入：这是针对时序业务持续产生海量数据而作的基本要求，所以系统必须具有水平扩展的能力，而且扩容时，业务必须无感知。
- 数据分级存储：这是针对时序数据冷热性质作的要求。由于数据量太大，分级存储要对最近小时级别的数据放在内存中，将最近天级别的数据放在SSD中，更久远的数据放在廉价的HDD或直接TTL过期淘汰。
- 高压缩率：这个有两方面的考虑，一方面是节约成本，这个很容易理



解；另一方面，是因为压缩后的数据可以更容易地保存到内存中，比如需要查询近两小时的数据，如果能将数据保存到内存中，那么查询速率会比被迫放在硬盘中更快，开销也更小。

- **多维度查询**：时序数据通常会由多个维度的标签来刻画一条数据，上文也提到了维度列tag。
- **高效聚合**：时序业务数据需要进行一个聚合操作的报表类查询，比如查询某个视频卡口异常总次数与总时间的对比，这需要将久远的数据进行聚合然后分析等。

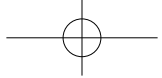
目前流行的数据库产品有 Influx DB、OpenTSDB、Prometheus 和 Graphite 等，如果将它们的性能进行对比，可以简单归纳为表 1-1。

表 1-1 开源时序数据库能力对比

	InfluxDB	Prometheus	Graphite	OpenTSDB
数据模型	Labels	Labels	Dot-separated	Labels
是否支持按时间分段管理数据	支持	支持	支持	支持
是否为分布式	商业版是； 免费版不是	不是	不是	是
聚合分析能力	弱	弱	弱	弱
是否支持权限管理	商业版支持； 免费版不支持	不支持	不支持	不支持
接口类型	类 SQL	REST	REST	REST
社区生态（* 越多级别越高）	***	**	**	**
是否包含时间序列分析	无	无	无	无
是否支持抽取日志标志	不支持	不支持	不支持	不支持
是否支持 Rollup	支持	不支持	支持	不支持

以上这几款较流行的时序数据库中，InfluxDB 和 OpenTSDB 支持分布式，因此也相对更受欢迎。但是目前这些时序数据库存在一个共同的缺点：聚合分析能力弱，对于 IoT 场景的数据分析和预测能力存在短板。

- **InfluxDB**：开源的单机时序数据库，由Go语言编写，无须特殊的环境依赖，简单方便。采用独有的TSMT结构实现高性能的读写。分布式需要商业化支持。



- **Prometheus**: 将所有采集到的样本数据以时间序列 (time-series) 的方式保存在内存数据库中, 并且定时保存到硬盘上。需要远端存储来保证可靠和扩展性。
- **Graphite**: 开源实时的、显示时间序列度量数据的图形系统。Graphite 并不收集度量数据本身, 与其他时序数据库的区别在于Graphite的主要作用是存储和聚合监控数据并绘制图标, 不负责数据的收集。Graphite保持内建的Web界面, 它允许用户浏览度量数据和图。它由多个后端和前端组件组成。后端组件用于存储数值型的时间序列数据, 前端组件则用于获取指标项数据并根据情况渲染图表。
- **OpenTSDB**: 是一个分布式的、可伸缩的时间序列数据库。引入metric、tags等概念设计了一套针对时序场景的数据模型, 底层采用HBase作为存储, 利用时序场景的特性, 采用特殊的rowkey方式, 来提高时序的聚合和查询能力。

前文已经介绍了时序数据库的定义、特性和发展史, 时序数据库是跟时序数据息息相关的特殊数据库。不断成熟的 5G 技术结合物联网技术, 将会实现万物互联, 届时成千上万的物联网终端每时每刻都会产生海量的按照时间序列组织的数据。可以预见, 时序数据库在不久的将来定会大有可为。

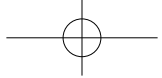
接着便可以基于时序数据库提供的数据库能力, 对未来的事件进行一个预测, 而预测能力将会是时序数据库最耀眼的特色。

可以做以下方面的预测:

- 未来某只股票的价值。
- 交通节点在某个节日的车辆通过流量。
- 下一年度可能出售商品的数量。
-

时序数据库产生的时间还十分短暂, 做得好的时序数据库也不过几年的光景, 要实现未来在诸多场景中的应用, 当前似乎还需要解决实现以下能力:

- **高吞吐量写入能力**: 水平扩展能力, 对于海量数据, 能在业务无感知的前提下, 快速扩展、扩容、节点; 另外需要高可靠的数据写入结构, 超高的写入性能。



- **高效查询能力**：如果能将尽可能大的数据，例如1TB的数据量放入内存内而不是存入目前的硬盘中，那么查询性能将提升很多，这在时序数据查询上有很高的要求。
- **高效聚合能力**：目前业界比较成熟的方案是使用预聚合，就是在数据写入的时候就完成基本的聚合操作。但是未来的时序数据聚合，并不是简单的聚合，而是会随着场景变得更智能，对于聚合数据的分析能力也要求更高。

1.1.7 NewSQL数据库

1. NewSQL 数据库的定义

在 NewSQL 出现之前，SQL 已经逐步被应用在了更广泛的领域，因此，SQL 已不再是 RDBMS 的专属特征，NoSQL 技术体系中也引入了 SQL 能力，由此而演变出来的 Not-Only-SQL 的概念，虽有自圆其说之嫌，但的确给出了更合理的解读。无论如何，“open source,distributed,non relational databases”关于大多数 NoSQL 技术边界的定义，也依然是合理的，只是，“open source”是一个可选特征，而“distributed”（分布式）以及“non relational”（非关系型）却是典型 NoSQL 技术的基本特征。大多数 NoSQL 技术弱化了对 ACID 语义以及复杂关联查询的支持，采用了更加简洁或更加专业的数据模型，优化了读写路径，从而能够换取更高的读写性能。

NewSQL 可以说是传统 RDBMS 与 NoSQL 技术结合的产物。以下是维基百科对 NewSQL 的定义。

NewSQL is a class of modern relational database management systems that seek to provide the same scalable performance of NoSQL systems for online transaction processing (OLTP) read-write workloads while still maintaining the ACID guarantees of a traditional database system.

根据上面的定义，可以将典型的 NewSQL 技术理解为一个全新的分布式数据库，能够支持分布式事务是一个基本前提。NoSQL 与 NewSQL 在技术栈上有很多重叠，但在是否支持关系型模型及对复杂事务的支持力度上是存在明显区别的。需求才是数据库发展演进的真实动力，作为最新的数据库类型，

NewSQL 是对各种新的可扩展 / 高性能数据库的简称，这类数据库不仅具有 NoSQL 对海量数据的存储管理能力，还保持了传统数据库支持 ACID 和 SQL 等的特性。

2. NewSQL 数据库的特性

NewSQL 提供了与 NoSQL 相同的可扩展性，而且仍基于关系模型，还保留了极其成熟的 SQL 作为查询语言，保证事务的 ACID 特性。简单地讲，NewSQL 就是在传统关系型数据库上集成了 NoSQL 强大的可扩展性。

值得一提的是，传统的 SQL 架构设计基因中是没有分布式的，而 NewSQL 生于新时代，所以天生就是分布式架构。

以下简单地概括一下 NewSQL 的主要特性：

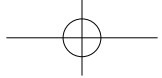
- SQL 支持，支持复杂查询和大数据分析。
- 支持 ACID 事务，支持隔离级别。
- 弹性伸缩，扩容缩容对于业务层完全透明。
- 高可用，自动容灾。

对传统 SQL、NoSQL 和 NewSQL 对比总结，可以得到表 1-2。

表 1-2 数据库对比

	传统 SQL	NoSQL	NewSQL
是否为关系模型	是	否	是
是否支持 SQL 语句	是	否	是
是否支持 ACID	是	否	是
是否支持水平扩展	否	是	是
是否支持大数据	否	是	是
是否支持无结构化	否	是	否

由表 1-2 可以看出，NewSQL 属于时代进化的产物，功能几乎结合了传统 SQL 与 NoSQL 的集中优势。



1.2 国产数据库行业

1.2.1 国产数据库行业发展历程

1. 国产化产业诞生的背景

改革开放四十余年，尤其 2001 年 12 月中国加入世界贸易组织后，得益于全球产业转移、技术转移和自主创新，中国建立了比较完整的工业体系和高效的产业网络，逐渐成为“世界的工厂”，生产的工业产品能够满足全世界绝大部分的需求。2000 年以前，中国的出口产品主要是轻纺化工制品、农产品和一些重型机械产品。随着电子信息技术的发展，以及对全球先进信息技术的引进，在 2000 年以后，快速发展的移动互联网、大数据、人工智能等新兴技术将中国的人口优势转化为数据优势、市场优势，快速提升着其在技术应用领域的创新能力，目前中国的社交软件、电子商务、网络支付、网络约车等应用已引领全球。

然而，国之重器、产业核心并不是下游的应用技术，而是上游的底层支撑技术。发达国家的技术创新之路也并不是产业转移，而是产业升级。

这给中国敲响了警钟：中国在信息技术底层标准、架构、生态掌控力等方面非常薄弱，这势必会成为中国信息产业发展的掣肘。在这样的环境和气氛背景下，2019 年，一个全新的产业——中国信息国产化产业就此诞生。国产化产业，即信息技术应用创新产业，旨在实现信息技术领域的自主可控，保障国家信息安全。其核心是建立自主可控的信息技术底层架构和标准，在芯片、传感器、基础软件、应用软件等领域实现国产替代。国产化产业是数字经济、信息安全发展的基础，也是“新基建”的重要内容，将成为拉动我国经济增长的重要抓手之一。

2. 国产化数据库行业的发展

作为国产化内容之一的基础软件，数据库的自主可控已经被提上日程。据不完全统计，至今全国各类数据库厂商有上百家，根据应用业务类型的不同可以将它们的数据库产品统计为表 1-3。

表 1-3 根据应用业务类型统计数据库产品

产品名称	类型	典型应用或主要场景	所属组织
Aglor	时序数据库	工业控制	中科启信
AiDB	关系型数据库	金融	爱可生
AliSQL	云数据库	云服务	阿里云
AnalyticDB	分析型数据库	数据挖掘	阿里云
AntDB	关系型数据库	电信	亚信
ArgoDB	内存数据库	大数据分析	星环
ArkDB	云数据库	电信	极数云舟
BC-RDB Hybrid	分析型数据库	数据分析	中移苏研
BeyonDB	空间数据库	空间信息管理	博阳世通
BGraph	图数据库	知识图谱、金融	百度在线
CirroData	分析型数据库	金融、电信	东方国信
Cedar	关系型数据库	学院研究型	华东师大
CloudTable	表格存储服务	云服务	华为云
CTSDB	时序数据库	工业物联网	腾讯云
CTREE Shard	关系型数据库	金融、开源	爱可生
DB2	关系型数据库	电信、金融	IBM
DM	关系型数据库	能源、政务、国防	达梦
DMTDD	分布式数据库	能源、政务	达梦
DMCDB	云数据库	云服务	达梦
DolphinDB	时序数据库	工业物联网	浙江智奥
DorisDB	分析型数据库	互联网	鼎石纵横
DragonBase	云数据库	云服务	金山云
EsgynDB	关系型数据库	金融	易鲸捷
ESP-iSYS	实时数据库	工业控制	浙江中控
Galaxybase	图数据库	知识图谱	创邻
Gbase 8s	事务型数据库	能源、政务、金融	南大通用
Gbase 8a	分析型数据库	电信、金融、政务	南大通用
GaussDB (DWS)	分析型数据库	金融、电信	华为云
OpenGauss	事务型数据库	开源	华为云

续表

产品名称	类型	典型应用或主要场景	所属组织
GDB	图数据库	社交、零售	阿里云
GDM	图数据库	社交、零售	达梦
GeaBase	图数据库	社交、零售	蚂蚁金服
GeminiDB	文档数据库	游戏、互联网	华为云
GoldenDB	关系型数据库	金融	中兴通讯
Goldilocks	关系型数据库	金融、电信、能源、交通	科蓝软件
GraphDB	图数据库	社交、零售	阿里云
GaiaDB-X	云数据库	互联网	百度云
GreatDB	关系型数据库	电信	万里开源
Gridsum ZETA PDW	分析型数据库	数据分析	国双科技
gStore	图数据库	学院研究型	北京大学
HashData	分析型数据库	数据仓库	酷克数据
HHDB	关系型数据库	国防、安保	恒辉信达
HighGoDB	关系型数据库	政务	瀚高
HiRIS	时序数据库	工业控制	和利时
HotDB	关系型数据库	金融、电信	热璞网络
HuaBase	列存数据库	学院研究型	清华大学
Hubble	分析型数据库	数据分析	天云融创
HugeGraph	图数据库	开源	百度在线
HybridDB	分析型数据库	数据分析	阿里云
K-DB	关系型数据库	政务	浪潮
KingbaseES	关系型数据库	金融、电力、电信、政务	人大金仓
KRDS	关系型数据库	云服务	金山云
KingRDB	时序数据库	工业控制	亚控科技
Kingwow	关系型数据库	金融	丛云
KonisGraph	图数据库	云服务、社交	腾讯云
KDRDS	云数据库	游戏	金山云
KunDB	关系型数据库	金融	星环科技
LinkoopDB	分析型数据库	数据仓库	聚云位智

续表

产品名称	类型	典型应用或主要场景	所属组织
MegaWise	分析型数据库	数据仓库	旷睿信息
MogDB	关系型数据库	电信、金融	云和恩墨
MySQL	关系型数据库	开源	MySQL
Nebula Graph	图数据库	互联网	欧若数网
Neo4j	图数据库	社交零售	Neo4j
OceanBase	关系型数据库	电商零售	蚂蚁金服
OpenPlant	时序数据库	工业控制	麦杰
Oracle	关系型数据库	金融、电信、能源	甲骨文
Oushu	分析型数据库	数据仓库	偶数
Pegasus	键值型数据库	开源	小米
PhxSQL	关系型数据库	开源	腾讯云
PolarDB	云数据库	云服务	阿里云
PolonDB	关系型数据库	云服务	青云
PostDB	关系型数据库	金融、电信	科蓝软件
PostgreSQL	关系型数据库	开源	PostgreSQL
pSpace	时序数据库	工业控制	三维力控
Qcubic	内存数据库	电信	快立方
Quantum DB	关系型数据库	量子通信、安全	华典
RadonDB	云数据库	云服务	青云
RapidsDB	分析型数据库	数据仓库	柏睿数据
RealDB	时序数据库	工业控制	紫金桥
SAP HANA	内存数据库	数据分析	思爱普
SequoiaDB	关系型数据库	金融	巨杉
ShenTong	关系型数据库	航天	神舟通用
StarDB	云数据库	云服务	京东科技
ShinDB	关系型数据库	金融	新数科技
SinoDB	关系型数据库	金融	星瑞格
SkyTSDB	时序数据库	工业物联网	天数智芯
SQL Server	关系型数据库	企业管理、软件开发	微软

续表

产品名称	类型	典型应用或主要场景	所属组织
StellarDB	图数据库	社交零售	星环
Snowball DB	分析型数据库	安保	睿帆科技
SeaSQL DRDS	事务型数据库	政务	新华三
SeaSQL MPP	分析型数据库	政务	新华三
T1	分析型数据库	数据仓库	南威软件
TDSQL-A	关系型数据库	支付、游戏	腾讯云
TDengine	时序数据库	开源	涛思数据
TDSQL	云数据库	云服务	腾讯云
TDSQL-C	云数据库	云服务	腾讯云
TcaplusDB	键值型数据库	云服务、游戏	腾讯云
Tendis	键值型数据库	游戏、直播、电商	腾讯云
TeleDB	云数据库	云服务	中国电信
Teradata	分析型数据库	数据仓库	天睿
TiDB	关系型数据库	金融、互联网	平凯星辰
TrendDB	时序数据库	工业控制	朗坤智慧
TroyDB	关系型数据库	工业控制	创意信息
TSDB (Ali)	时序数据库	云服务	阿里云
TSDB (Baidu)	时序数据库	云服务	百度云
TuGraph	图数据库	社交、零售	费马科技
UPDB	关系型数据库	电信、金融	鼎天盛华
UXDB	关系型数据库	政务、金融	优炫
xigemaDB	关系型数据库	物联网	华胜信泰
XuGu	关系型数据库	气象、政务	虚谷伟业
ZNBase	关系型数据库	金融、医疗	浪潮

从竞争格局来看，过去国内数据库市场被海外的 Oracle、IBM 等企业垄断，近年来受益于国产化政策的加速推进，本土数据库企业的市场份额得以显著提升。随着云数据库等新兴数据库的发展和国内厂商核心技术的持续迭代，未来国内数据库的国产化进程有望提速。

1.2.2 国产数据库发展特点

1. 数据库是国产化产业中的关键一环

国产化产业涉及硬件服务器、CPU、软件系统（包括操作系统和数据库软件），几乎包揽了信息产业的全部，国产化产业生态链图谱如图 1-7 所示。

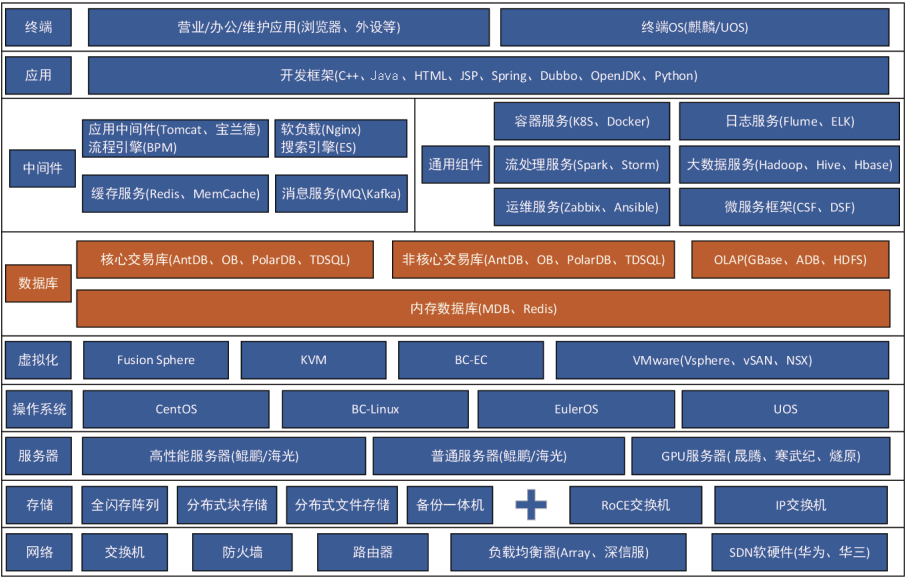
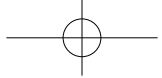


图 1-7 中国移动列出的信息国产化产业生态链图谱

作为国内最具影响力的三大通信运营商之一的中国移动，在国家国产化产业的基本宗旨和要求下，对信息产业进行了一次全产业链的细分。国产化产业图谱具体可以分为终端、操作系统、数据库、服务器、存储和网络等。而数据库产品，是属于应用软件的底层产品，可以称得上是软件基础中的基础，其地位和重要性在国产化产业中不言而喻。

值得一提的是，亚信科技的关系型数据库产品 AntDB 和内存数据库产品，与国内的优质数据库厂商一道，一并被选为中国移动的国产化可信赖数据库产品厂商。

几乎所有的企业级数据、终端数据和边缘设备数据都需要通过数据库管理系统的管理和分析才能够赋能上层应用或企业决策，发挥其最大的价值。也就是说，用户需要通过数据库管理系统对结构化或非结构化数据进行调用、



处理和分析，再通过人工智能技术让数据资产化并赋能自身发展。因此，数据库已经成为数字经济时代的软件底座，是国产化产业中的关键一环。

2. 目前我国国产化数据库发展的特点

国内数据库发展正呈现百舸争流、百花齐放的态势。主要表现为以下几个特点：

（1）人才供应需求旺盛。

数据库市场规模持续增长，整个数据库行业迎来了最为重要的、千载难逢的战略机遇期，行业迅猛发展、前景广阔，多种因素叠加在一起，带动了对人才的旺盛需求，各行各业对各类数据基础支撑人才的需求量与日俱增，正呈现出井喷式增长的态势。

（2）将持续推动数据库的国产化发展。

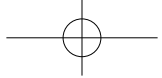
国家和政府有明确政策导向，“十四五”规划纲要中明确提出“加快数字化发展，建设数字中国”的总体目标，具体包括迎接数字时代，激活数据要素潜能，推进网络强国建设，加快建设数字经济、数字社会、数字政府，以数字化转型驱动生产方式、生活方式和治理方式整体变革等主题。

针对数据与数据库应用，各行各业陆续出台了更为具体的发展规划。金融行业，中国人民银行发布的《金融科技发展规划（2022—2025 年）》明确提出在金融行业加强分布式数据库研发应用的具体要求，从而妥善解决分布式数据库产品在数据一致性、实际场景验证、迁移保障规范、新型运维体系等方面的问题。

（3）国内数据库厂商将逐步走向国际化市场。

中国数据库市场在 2012—2022 这十年间经历了从商业数据库、开源数据库到云数据库的巨大转变，以用户体验为核心的商业理念促进了技术更新迭代，技术赋能业务创新成为企业发展的重要支撑。放眼全球，国际市场 IT 变革与转型，与中国既有相似之处，又呈现出明显的差异。

2022—2032 年，中国数据库产品将逐步走向国际，借助“互联网化、云化、开源化”三大机遇，形成国内国际双循环发展格局。互联网化带来规模化场景变革的刚需，云化带来分布式数据库的商业模式变革，开源软件的兴起带来信任模式的变革，中国数据库厂商有机会借助这三大机遇走一条创新的出海之路。



当然，在预见国产化数据库利好的同时，也应该思考目前风云变幻的国际形势，机遇中也潜伏着一些可以预见的风险。

- 知识产权重视程度不够。知识经济全球化的背景下，为保持市场领先地位或争夺新兴市场份额，企业已将知识产权作为竞争的重要手段，专利是企业知识产权的核心。从企业拥有专利数量上来看，Oracle以1.4万件全球领先，SAP居次席，国内数据库企业的全部技术专利累计只千余件，差距巨大；技术成果转化率相对较低，知识难以得到有效利用。
- 利用开源数据库国产化，存在商业风险。当前，我国信息技术领域各行各业已经广泛接受和使用开源数据库产品，开源数据库的合理应用显著为应用开发提质增效，但是，由于开源软件的依赖和引用关系较为复杂，其安全性也往往缺少审查和管理，因此，开源数据库在一定程度上也增加了软件供应链的复杂性和安全风险。开源数据库使用过程中相关的法规遵从风险、知识产权风险、开源社区风险、开源项目可持续风险已成为不可忽视的重要风险因素。例如国内许多厂商，尤其是一些互联网厂商，使用MySQL或PostgreSQL的开源代码进行自研，但目前MySQL的核心引擎已经被Oracle公司实际收购，后续的开源存在着巨大的不可控风险。

1.2.3 国产数据库行业市场格局分析

数据库市场的未来发展将是一片大好，IDC发布的《2020年下半年中国关系型数据库软件市场数据跟踪报告》显示，2020年全年中国关系型数据库软件市场规模为18.8亿美元，同比增长36.5%。IDC预测，到2025年，中国关系型数据库软件市场规模将达到68.5亿美元，未来5年整体市场年复合增长率（CAGR）为29.5%，如图1-8所示。

总体来看，新冠肺炎疫情对2020年以后的中国关系型数据库市场的增长影响较小。2020年年初，新冠肺炎疫情对传统部署模式的关系型数据库交付产生了一定的影响，但在年中疫情平稳后得到快速恢复。

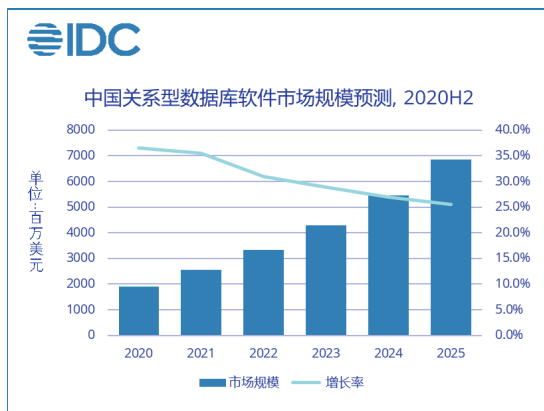
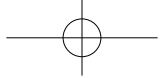


图 1-8 IDC 对于中国关系型数据库市场规模的预测

同时也能看出：政策利好本土厂商背景下，本土品牌迎来空前的市场机会。云数据库厂商、本土数据库厂商份额持续增长，国际数据库品牌份额持续下降。新、老数据库产品替换从试点阶段向推广普及阶段迈进，随着厂商不断的技术改进和与客户的深度合作，替代方案趋于成熟。云数据库服务商市场战略下移，寻求在私有云、行业客户等传统部署数据库市场发展。开源策略成为部分厂商吸引用户、盘活生态和促进技术发展的重要手段。分布式数据库快速发展，分布式架构成为支撑高性能场景和解决传统数据库瓶颈的主要选择。

从部署模式来看，中国公有云模式的关系型数据库占比明显高于同期的美国 and 全球市场。2020 年，公有云模式的关系型数据库软件占比达到 51.5%，首次超过传统部署模式市场规模，预计未来公有云模式的份额将继续提高，到 2025 年将达到 73.5%。

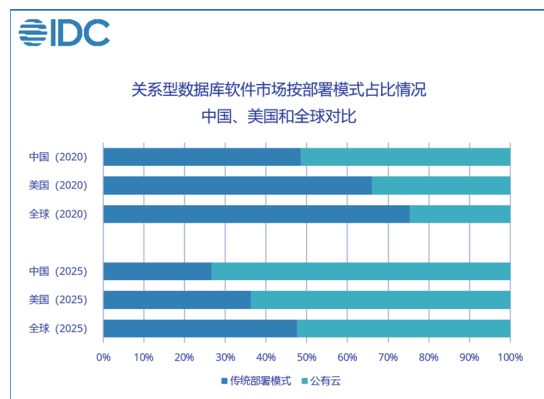
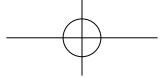


图 1-9 不同部署模式下 IDC 对于中国关系型数据库全球占比分析和预测



总之，近年来中国数据库市场由于政策利好、资本注入、数字化转型驱动等多方面因素，导致市场异常火热。新兴数据库厂商（如 PingCap、偶数科技、鼎石纵横等）的不断涌现以及其他领域厂商（如亚信科技、星环科技、中兴、浪潮等向关系型数据库领域的跨界，为中国关系型数据库软件市场注入了新的活力，市场迎来了空前的繁荣和发展机遇。

1.3 数据库的发展总结

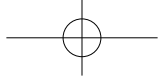
数据库从 20 世纪诞生至今，已经度过了将近半个世纪。世界一直处于不断变化之中，有时候变化速度之快，令人瞠目结舌。在数据库系统刚研发出来时只需要解决简单的查询和存储问题，并由此产生了图数据库等易用的数据库类型。到后期，人们发现需要更方便的统一结构化查询工具，于是 SQL 就产生了。本以为这就是数据库的最终版本，谁知道后续因特网的发展推动了形形色色的应用服务，简单的传统数据库显然已经不能满足人们的需要，分布式数据库、云数据库、NoSQL 逐渐问世，然后又出现了 NewSQL，等等。

目前不存在某一种数据库，能够一下子满足全部的场景。比如 OLTP 类数据库无法满足高并发事务请求，在分布式类型下，子事务过多会影响数据库全局事务的性能；即时查询的数据库不能满足海量数据的即时查询，需要数据复杂分析处理的时候，列存储 MPP 是一个关键性能，但是读取性能又会下降。OLAP 类数据库，能够解决分析场景的大部分需求，但是在线事务处理能力很弱，如此这些问题，不一而足。

分布式数据库，虽然是当前的一个热点。但分布式数据库相当于 N 个集中式数据库吗？显然不是，分布式带来的优势中，最大的莫过于水平扩展的能力，这让数据库的服务器和存储有了许多成本下降的空间，但由此也带来了许多的问题，诸如表结构的拆分、多节点的运维和管理难度提升，等等。这里面还没考虑异构数据库带来的困难，分布式数据库的难点还多着呢。

但上述情况只是代表过去，如果仅仅畅想一下数据库的未来，也许会有很多的惊喜：

（1）NewSQL 将会充分做好 HTAP 的角色，做好多类型数据库特性的充分融合。



- (2) 数据上云是趋势，数据库云化也将是大的形势。
- (3) 性能是万年刚需，硬件红利将会被充分使用，软硬件结合挖掘性能。
- (4) 数据库将具备越来越多的 AI 能力，数据库能够自主感知业务的特点，将数据存储按需分配，例如能够将查询度高的热数据自动放在高配的缓存上，其余冷数据转移到比较便宜的存储上，而且冷热数据的交换完全对业务方向透明。

1.4 小结

本章主要介绍的是数据库的发展史，从数据库定义和分类、国产数据库行业现状和数据库未来发展趋势等三个方面进行了阐述，在数据库定义和分类中对关系型数据库、分布式数据库等重点小节进行了较详细的描述，读者可以根据自己对数据库产品和行业的了解，选择性地阅读。国产化产业是当前国家的一个基本信息战略，本章从数据库的角度对其进行了简单地剖析。未来数据库的发展趋势，本书的第 7 章会从技术实现方式等更多细节展开讨论，当然不同的人一定会秉持己见，时代是不断变化的，这里也仅做抛砖引玉罢了。