数据库管理系统流行度排名

Aleem Akhtar巴基斯
坦虚拟大学计算机科学系
aleem.akhtar@seecs.edu.pk

arXiv:2301.00847v1 [cs.DB] 2 Jan 2023

摘要——**数据库被视为现代信息系统不可或缺的组成部分。几乎每个 Web 或移动应用程序都会使用某种数据库。从商业和技术角度来看，数据库管理系统都是至关重要的要素。本文将不同类型的数据库管理系统划分为两大类别（关系型和非关系型）以及若干子类别，并以 DB-Engines 计算和维护的流行度得分形式，展示了2021年7月各子类别的排名。文中还展示了各类别的流行度趋势，以观察自2013年以来流行度的变化。前20种系统的完整排名和趋势表明，关系模型仍然是最受欢迎的系统，其中 Oracle 和 MySQL 是最受欢迎的两种系统。不过，近期趋势显示，时序数据库和文档存储等数据库管理系统正日益流行，分别广泛应用于物联网技术和大数据领域。**

索引词—**数据库管理系统、排名、NoSQL**

一、引言

数据库被认为是现代信息系统不可或缺的一部分。几乎所有 Web 或移动应用程序都会使用某种数据库。数据库被广泛应用于数据中心，也用于维护教育机构、医疗卫生系统以及各类私营机构和政府机构中的记录。数据库与数据库管理系统（DBMS）是两个不同的概念。经过组织的数据集合称为数据库；而 DBMS 是一种与数据库交互、充当用户与数据库之间接口的软件。不过，“数据库”一词通常既指 DBMS，也指数据库本身[1]。

数据库管理系统及其配套的数据通信系统，使各行各业的用户能够以经济高效且及时的方式开发批处理和联机应用程序。这些数据库系统为各政府机构和行业的大多数应用程序奠定了基础。在 20 世纪 70 年代，这些系统是推动大型计算机销售的主要力量。历史学家和行业分析师从商业和技术的角度都认为，数据库管理系统至关重要 [2]。分析师提出的部分原因如下：

- 数据库管理系统提供了一种高效且经济的方法来编写复杂应用程序，无需为每个应用程序重新编写数据检索和访问功能。
- 它们提供了一种简单、标准的方式，让多个用户和多个应用程序能够共享数据。
- 为此创建了专门的面向用户的语言。
- 数据库管理系统为数据通信程序提供标准接口，使联机事务处理应用程序的开发、测试和维护能够以更高的时间和成本效率完成。
- 无需应用程序员考虑各种顺序存取设备与随机存取设备之间的差异，即可轻松管理这些设备上的数据库。
- 系统具有可移植性，也就是说，用户能够轻松地将应用程序从一个操作系统或平台迁移到另一个操作系统或平台。
- 在20世纪70年代末，营销这些系统的公司成为规模最大的独立软件产品公司。
- IBM以及许多独立的存储设备和终端公司销售了大量硬件。

本文其余部分分为四节。第一节简要介绍不同类型的数据库管理系统，第二节介绍排名和趋势，第三节分析排名和趋势，第四节也是最后一节对全文进行总结。

II. 数据库管理系统的类型 MS

数据库管理系统通常可分为两大类：关系型数据库管理系统，或称 RDMBS，支持关系数据模型；若支持其他数据模型，则通常归为 NoSQL 系统。不过，每种数据库管理系统都有不同的子类别，图1展示了完整的层级结构。

如前所述，数据库管理系统可分为两大类，即关系型和非关系型。下面将说明各类别及其子类别。

A. 关系型数据库管理系统

关系型数据库管理系统支持关系型或面向表的数据模型，并采用预定义的数据库模式。数据库中的每个表/关系都有唯一名称，且包含固定数量、数据类型固定的属性（列）。表中的每一行都定义了一条唯一记录。在数据建模过程中，会使用规范化来生成表模式。关系型数据库管理系统允许执行不同类型的操作

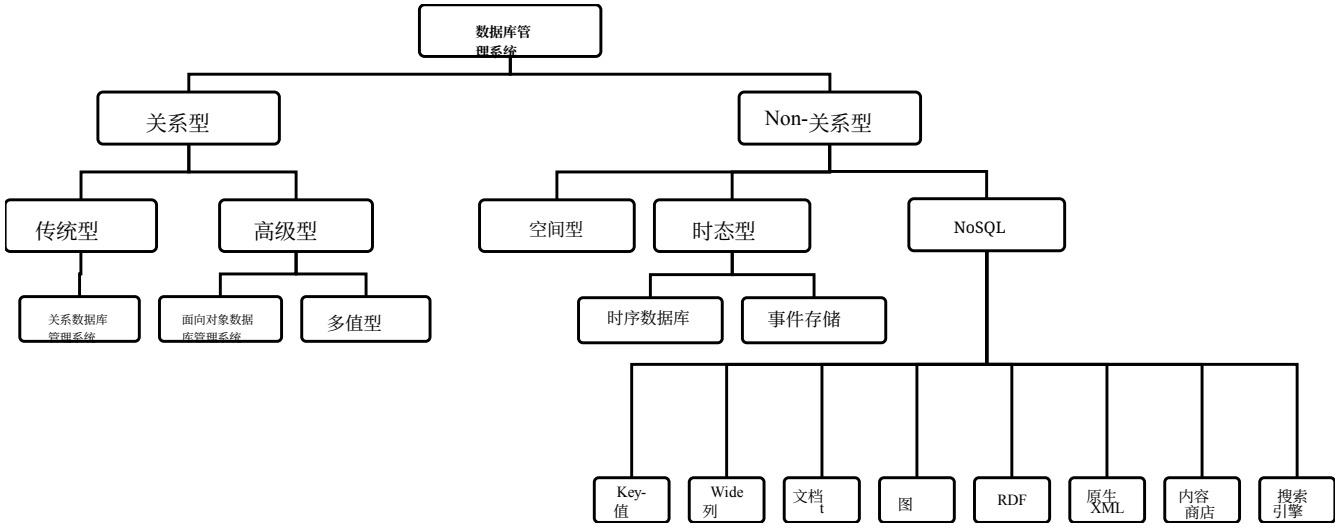


图 1. 数据库管理系统的类型

例如经典集合运算（交集、并集和差集）、选择、投影和连接。还可以执行其他操作，如创建、修改和删除表模式，以及用户管理和事务控制。这些基本操作和高级操作通过某种数据库语言执行，其中结构化查询语言（SQL）是成熟且广泛采用的标准 [3]。

自 20 世纪 80 年代初首次推出以来，关系数据库管理系统一直是最常见的数据库管理系统类型。多年来，关系数据库不断融入高级型非关系型概念，例如非原子值（多值）、层次结构、继承和用户定义数据类型；这类系统有时也称为面向对象数据库管理系统（OODBMS） [4]。

传统型关系数据库管理系统中最受欢迎的例子有：Oracle[5][6], MySQL [7][8], Microsoft SQL Server [9][10],PostgreSQL [11][12], 和 IBM Db2 [13][14]。

1) 面向对象数据库管理系统：20 世纪 80 年代，面向对象编程语言的普及推动了面向对象数据库管理系统（简称对象数据库）的发展。引入面向对象数据库管理系统的主要目的是将对象及其关系（继承）以与其在编程语言中的表示方式相对应的形式存储在数据库中，而无需对其进行转换或分解 [15]。

因此，面向对象数据库管理系统遵循面向对象数据模型，包含方法、属性和类（对象模式）。对象始终作为一个整体进行管理。换言之，对象的插入或读取通过一次原子操作完成；而在关系模型中，需要用多个表来存储该对象，并通过复杂的连接来检索它。为执行这些操作，面向对象数据库管理系统使用一种类似 SQL 的查询语言来操作对象。

最常见的面向对象数据库管理系统包括 InterSystems Cach´e [16], Db4o [17], InterSystems IRIS [18], ObjectStore[19],和 ActianNoSQLDatabase [20]。

2) 多值数据库管理系统：多值数据库管理系统与传统型关系型系统类似，数据存储在表中。然而，多值数据库管理系统与传统型关系数据库管理系统的主要区别在于，它们能够灵活地将多个（非原子）值存储在一个属性中。由于存储非原子值与第一范式的条件相矛盾，因此这类系统通常称为非第一范式系统或 NF2系统。

最受欢迎的多值数据库管理系统示例包括 Adabas[21], UniData、UniVerse [22], jBASE [23], Model 204 [24],和 D 3 [25]。

B. 非关系型数据库管理系统

非关系型数据库管理系统还可进一步划分为三个子类别。下面分别简要介绍。

1) NoSQL： NoSQL数据库管理系统不采用关系数据库管理系统所使用的关系数据模型，通常也没有SQL接口。NoSQL数据库已经存在多年，但“NoSQL”一词直到2009年才首次出现。当时，为了满足数据库管理系统在可扩展性、大数据和容错性等方面的新需求，开发了许多新的系统 [26]。大数据一直是推动这类数据库发展的核心。Apache Science Foundation 在大数据项目中发挥了最重要的作用之一 [27]。

NoSQL系统是由各种迥异的数据库系统组成的异质群体。因此，任何分类尝试都无法将某个系统归入某一类别。不过，以下类别已得到广泛认可：

- 搜索引擎
- 内容存储库
- 原生XML数据库管理系统
- RDF存储库
- 图数据库管理系统
- 文档存储库
- 宽列存储
- 键值存储

本文旨在探讨数据库系统的发展趋势，因此略过了对各个系统的说明。

2) 空间数据库管理系统：空间数据库管理系统是一种不同类型的数据库管理系统，能够高效地存储、查询和处理空间数据。几何空间中的对象（如多边形和点）由空间数据表示。空间数据库管理系统提供专用数据类型和空间索引，以优化空间数据的存储与访问 [28]。

空间数据库管理系统提供相交或合并对象、计算距离以及计算对象属性（如面积）的功能。地理空间数据是空间数据的一个重要子集，涉及地球表面的位置。地理信息系统 (GIS) 能够处理地理空间数据 [29]。在某些情况下，空间数据会与时态数据结合，形成时空数据，从而提供更多维度来存储和处理数据。

最受欢迎的空间数据库管理系统包括 PostGIS [30]、SpatiaLite [31], 和 GeoMesa [32]。

3) 时态数据库管理系统：时态数据库管理系统处理与时间戳或事件相关的数据。时态数据库管理系统分为两类，即时间序列数据库管理系统和事件存储。

时间序列数据库管理系统是一种经过优化、用于处理时间序列数据的数据库管理系统：每条记录都与时间戳 [33] 相关联。例如，物联网中的智能电表、传感器或 RFID 标签都可能生成时间序列数据。时间序列数据库管理系统旨在高效采集、存储和查询事务量大的各种时间序列。虽然时间序列数据可以通过其他类别的数据库管理系统（例如键值存储或关系型系统）进行管理，但处理特定挑战时通常需要专用系统。该子类别中最受欢迎的数据库管理系统有：InfluxDB [34],Kdb+[35], 和 Prometheus [36]。

事件存储是实现事件溯源概念的数据库管理系统。这类系统会保留对象的所有状态变更事件，并为其标注时间戳。要推断对象的当前状态，需要重放从时间 0 到当前时刻的所有事件。另一方面，如果没有显式建模，其他类型的数据库管理系统会丢失对象先前状态的历史记录。IBM Db2 是此类别中最受欢迎的系统[37]。

III. 排名与趋势

A. 得分计算方法

所有排名和趋势截图均以 DB-Engines 网站为来源。DB-Engines 使用自定义公式计算归一化评分，对流行的数据库管理系统进行排名 [38]。流行度排名并不衡量数据库管理系统在 IT 系统中的使用情况，也不统计系统上的安装总数。不过，流行度得分反映了某个系统的广泛使用程度。DB-Engines 排名系统使用以下参数计算流行度得分：

- Indeed 和 Simply Hired 网站上提及该系统的职位数量。
- Google 趋势中的搜索频率
- 针对特定系统在 Google 和必应搜索引擎中的搜索结果数量
- Stack Overflow 和 DBA Stack Exchange 上技术讨论的频率
- LinkedIn 上提及该系统的个人资料数量
- 使用话题标签提及特定系统的推文数量

B. 按类型排名和趋势

本节列出了截至2021年7月各类型中最受欢迎的前5个数据库管理系统的排名。趋势展示了这些系统从2012年11月至2021年7月的流行度变化。流行度得分采用对数刻度显示。

1) 关系型数据库管理系统：表 I 列出了 2021 [39]年7月排名前5的关系型数据库管理系统。Oracle 是最受欢迎的系统，MySQL 位居第二。这两个系统的得分非常接近，体现了它们各自的受欢迎程度。

表 I 关系型数据库管理系统排名

Rank	DBMS	得分
1	Oracle	1262.66
2	MySQL	1228.38
3	Microsoft SQL Server	981.95
4	PostgreSQL	577.15
5	IBM Db2	165.15

图 2 展示了排名前五的关系型数据库管理系统的流行度趋势。自 2013年 以来，Oracle、MySQL 和 Microsoft SQL Server 一直在争夺榜首。PostgreSQL 的流行度持续上升，正逐渐接近排名靠前的系统。

2) 面向对象数据库管理系统：表 II 列出了 2021 [40]年 7 月排名前五的面向对象数据库管理系统。这些系统的得分很低，表明它们仍不如其他关系型系统受欢迎，要得到业界和学术界的全球广泛采用，可能还需要很长时间。

表 II 面向对象数据库管理系统排名

Rank	DBMS	得分
1	InterSystems Cach´e	2.86
2	Db4o	1.71
3	InterSystems IRIS	1.7
4	ObjectStore	1.48
5	Actian NoSQL Database	1.4

图 3 展示了排名前五的面向对象数据库管理系统的流行度趋势。从图中可以清楚地看到，该类别中的所有系统的平均流行度得分都在 1 到 2 之间，因此无法确定哪个系统比其他系统更受欢迎。

3) 多值数据库管理系统：表 III 展示了 2021 [41]年 7 月排名前 5 的多值型数据库管理系统。与面向对象数据库管理系统类似，这些系统的得分都很低，这表明

它们也不像其他关系型系统那样受欢迎，可以说它们仍处于发展阶段。

表 III 多值数据库管理系统排名

Rank	DBMS	得分
1	Adabas	4.46
2	UniData ,UniVerse	3.87
3	jBASE	1.82
4	Model 204	1.24
5	D3	1.23

图 4 展示了排名前五的多值型数据库管理系统的流行度趋势。从图中可以清楚地看出，该类别中的所有系统平均流行度得分都在 1 到 2 之间，因此无法确定哪个系统比其他系统更受欢迎。

4）键值存储：表 IV 列出了 2021 [42] 年 7 月排名前五的键值存储数据库管理系统。Redis 是该类别中最受欢迎的系统，其流行度得分是排名第二的 Amazon DynamoDB 的两倍多。排名最后三位的系统得分彼此非常接近，但此时 Redis 与其他系统之间的差距很大。

表 IV 键值存储数据库管理系统排名

Rank	DBMS	得分
1	Redis	168.31
2	Amazon DynamoDB	75.2
3	Microsoft Azure Cosmos DB	36.7
4	Memcached	25.34
5	etcd	10.1

图 5 展示了排名前五的键值存储数据库管理系统的流行度趋势。尽管自 2013 年以来，Redis 一直位居流行度榜首，但 Amazon 和 Microsoft 的系统则持续上升，而 Memcached 的流行度则在缓慢下降。

5) 文档存储：表 V 展示了 2021 [43] 年 2021年7月排名前 5 的文档存储数据库管理系统。MongoDB 以近 500 的流行度得分遥遥领先，是最受欢迎的文档存储数据库管理系统。Amazon DynamoDB 和 Microsoft Azure Cosmos DB 同时也是键值型存储系统，分别位居第二和第三。

表 V 文档存储数据库管理系统排名

Rank	DBMS	得分
1	MongoDB	496.16
2	Amazon DynamoDB	75.2
3	Microsoft Azure Cosmos DB	36.7
4	Couchbase	28.46
5	Firebase Realtime Database	17.23

图 6 展示了五种最受欢迎的文档存储数据库管理系统的流行度趋势。自推出以来，MongoDB 的受欢迎程度一直稳步上升，但其他文档型数据库也开始受到欢迎，其中之一便是 Google 的 Firebase Realtime Database。

6) 宽列存储：表 VI 展示了 2021年7月排名前 5 的宽列存储数据库管理系统[44]。Cassandra 是最受欢迎的系统，其次是排名第二的 HBase。Cassandra 的得分高于后四个系统的总和，这表明它在这一类别中非常受欢迎。

表 VI 宽列存储数据库管理系统排名

Rank	DBMS	得分
1	Cassandra	114
2	HBase	44.07
3	Microsoft Azure Cosmos DB	36.7
4	Datastax Enterprise	7.52
5	Microsoft Azure Table Storage	5.09

图 7 展示了排名前五的宽列存储数据库管理系统的流行度趋势。自 2013年 起，Oracle 和 HBase 一直在争夺榜首。Microsoft Azure Cosmos DB 自 2015年 推出以来，流行度持续上升，目前正逐渐接近排名靠前的系统。

7）图数据库管理系统：表 VII 列出了 2021 [45] 年 7 月排名前 5 的图数据库管理系统。Neo4j 是该类别中最受欢迎的系统，其流行度得分高于其后四个系统的总和。排名最后的三个系统得分彼此非常接近，但目前 Neo4j 与其他系统之间的差距很大。

表 VII 图数据库管理系统排名

Rank	DBMS	得分
1	Neo4j	57.16
2	Microsoft Azure Cosmos DB	36.7
3	ArangoDB	4.73
4	OrientDB	4.16
5	Virtuoso	4.01

图 8 展示了排名前五的图数据库管理系统的流行度趋势。尽管自 2013年以来，Neo4j 一直位居流行度排行榜首位，但 Microsoft 的系统一直在稳步上升，逐渐接近这一类别中最受欢迎的系统；另一方面，其他所有系统的流行度都在缓慢下降。

8) 搜索引擎：表 VIII 列出了 2021 [46] 年 7 月排名前五的搜索引擎数据库管理系统。ElasticSearch 是迄今最受欢迎的文档存储数据库管理系统，流行度得分接近 156。Splunk 和 Solr 分别位居第二和第三，其后是 MarkLogic 和 Sphnix，分列最后两个名次。

图 9 展示了前五名搜索引擎数据库管理系统的流行度趋势。Solr 曾是该类别中最受欢迎的系统，但在 2016 年初被 Elasticsearch 超越。Splunk 流行度的提升使其在 2018年1月成为第二受欢迎的系统。

9) 前*20*名排名：表 IX 列出了 2021 [55] 年 7 月数据库管理系统前 20 名的完整排名。可以看出，Oracle 和 MySQL 位居前两名，得分均超过 1200。Microsoft SQL Server

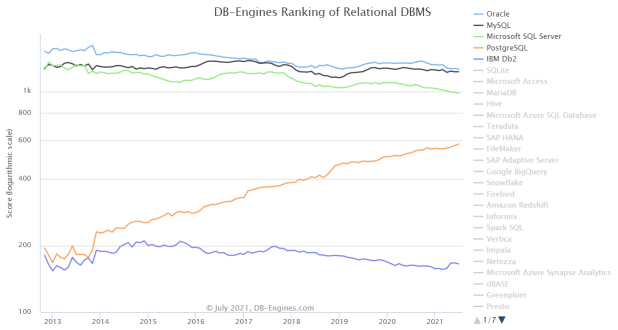


图 2. 关系型数据库管理系统趋势 [47]

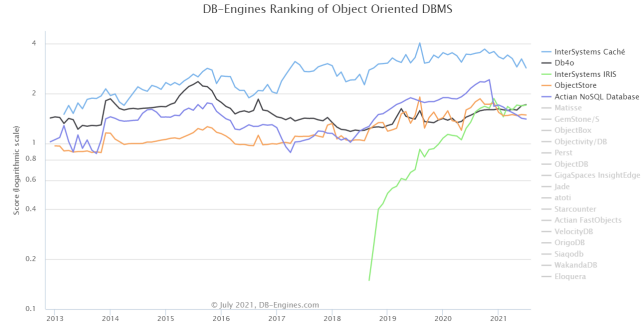


图 3. 面向对象数据库管理系统趋势 [48]

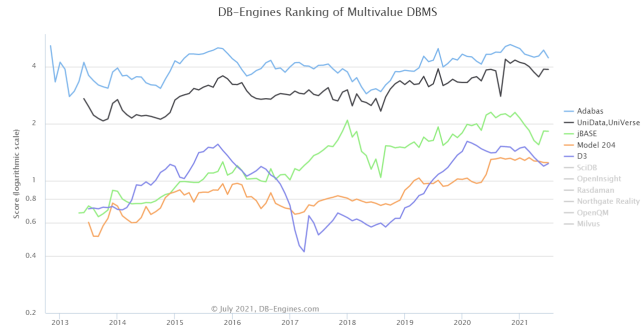


图 4. 多值数据库管理系统趋势 [49]

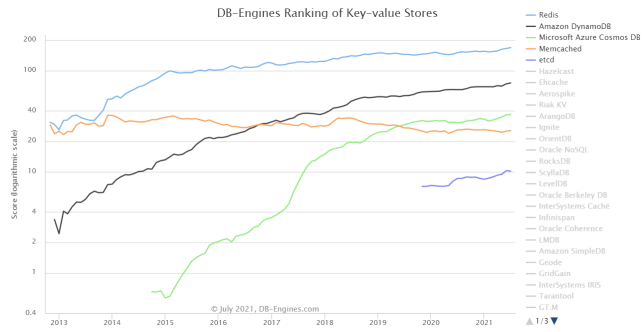


图 5. 键值存储数据库管理系统趋势 [50]

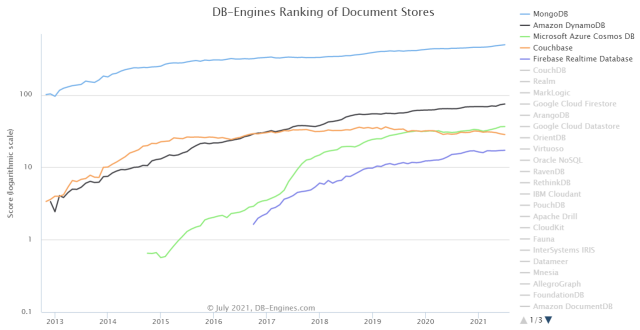


图 6. 文档存储数据库管理系统趋势 [51]

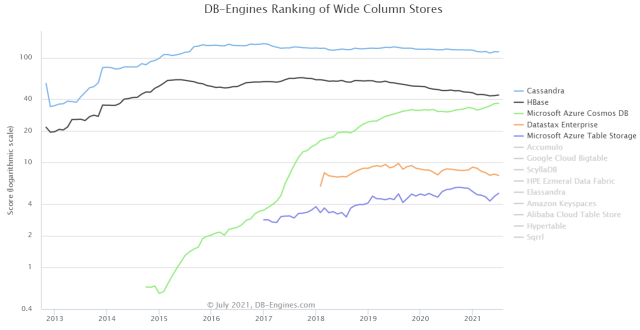


图 7. 宽列存储数据库管理系统趋势 [52]

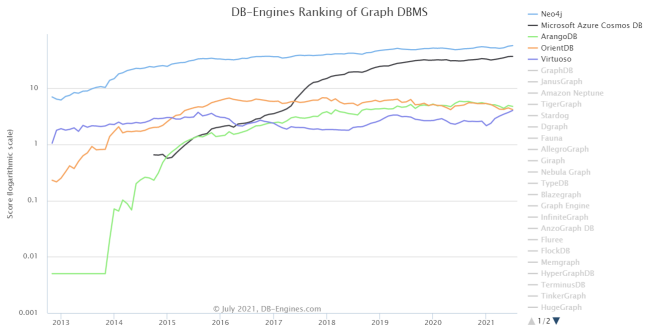


图 8. 图数据库管理系统的发展趋势 [53]

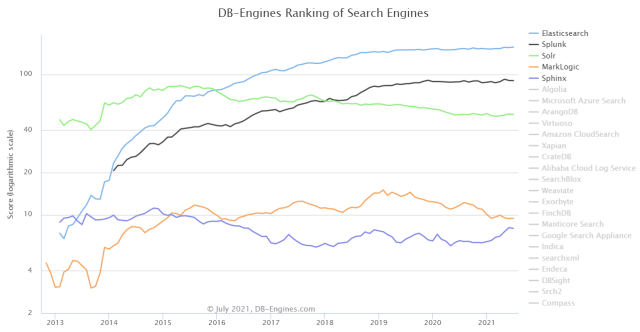


图 9. 搜索引擎数据库管理系统的发展趋势 [54]

表 VIII 搜索引擎数据库管理系统排名

Rank	DBMS	得分
1	Elasticsearch	155.76
2	Splunk	90.05
3	Solr	51.79
4	MarkLogic	9.45
5	Sphinx	8

排名第三，其后是排名第四的 PostgreSQL。这排名前四的系统均为关系型系统，显示了这一类别的重要性。事实上，排名前 20 的系统中有 12 个是关系型系统，其中 3 个是搜索引擎，键值型、文档型、宽列型和图数据库则各有一个。Amazon Dynamo DB 是一个多模型系统。在可预见的未来，排名第五的 MongoDB 与排名第六的 Redis 之间的流行度得分差距表明，前五名的排名将稳固不变。

表 IX 前20名数据库管理系统排名

Rank	DBMS	得分	Type
1	Oracle	1262.66	关系型
2	MySQL	1228.38	关系型
3	Microsoft SQL Server	981.95	关系型
4	PostgreSQL	577.15	关系型
5	MongoDB	496.16	文档型
6	Redis	168.31	键值型
7	IBM Db2	165.15	关系型
8	Elasticsearch	155.76	搜索引擎
9	SQLite	130.2	关系型
10	Cassandra	114	宽列
11	Microsoft Access	113.45	关系型
12	MariaDB	97.98	关系型
13	Splunk	90.05	搜索引擎
14	Hive	82.68	关系型
15	Microsoft Azure SQL Database	75.22	关系型
16	Amazon DynamoDB	75.2	多模型
17	Teradata	68.95	关系型
18	Neo4j	57.16	图
19	SAP HANA	53.81	关系型
20	Solr	51.79	搜索引擎

图10展示了自2013年以来排名前20的数据库管理系统的流行度趋势。自2013年初以来，Oracle、MySQL 和 Microsoft SQL Server 之间的竞争一直十分激烈。不过，SQL Server 的流行度略有下降，差距也在逐渐拉大。PostgreSQL 的流行度持续上升，正逐渐接近 SQL Server。MongoDB 已成为增长最快的文档存储系统之一，这表明开发者社区对关系型以外的数据模型也越来越感兴趣。

IV. 分析

本节按模型分析数据库管理系统的受欢迎程度，并进行简要分析。

A. 各类别系统数量

图1展示了各类别系统的数量。共有373种数据库管理系统，其中40%为关系型系统，其次是17%的键值型

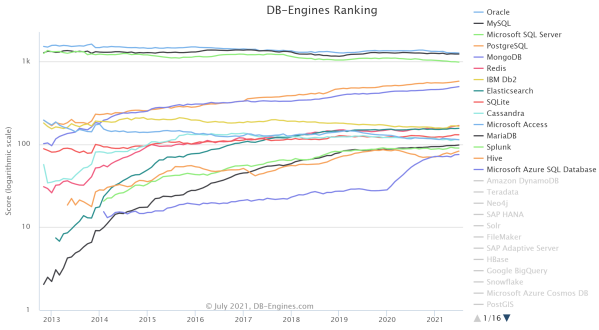


图10. 排名前 20 的数据库管理系统趋势 [56]

存储。关系型数据库管理系统、文档存储库和键值存储合计占373种系统中的262种（70%）。

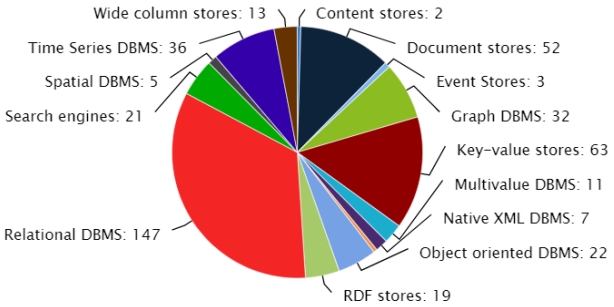


图11. 各类别系统数量 [57]

B. 各类别排名得分

图12展示了2021年7月各类别的排名得分百分比。各类别中所有单个系统的流行度得分用于计算总百分比。如表 IX 所示，Oracle、MySQL 和 MS SQL Server 在所有关系型系统中得分最高，因此图12也对此进行了展示：关系型数据库管理系统占总流行度的72.7%。文档存储库是另一类日益流行的系统，其中 MongoDB 最受欢迎。

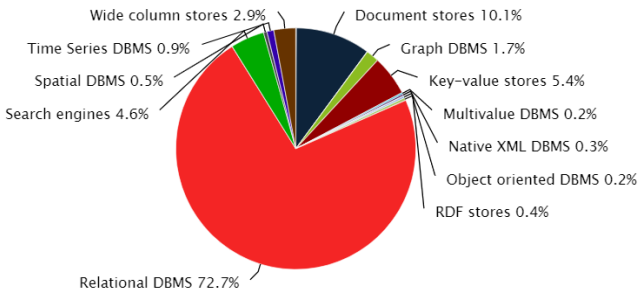


图12. 各类别排名得分 [57]

C. 受欢迎程度变化

以下图表展示了各类别受欢迎程度的历史趋势。每个月的排名中，选出每个类别中排名最靠前的

三个系统，并计算其排名得分的平均值。为便于比较，初始值归一化为 100。

1）完整的流行度趋势：图 13 显示，图数据库管理系统的流行度一直在上升，这主要是因为它们被广泛用于 Facebook、Twitter 和 TikTok 等社交网站。近年来，随着物联网技术的发展，时序系统这一类数据库管理系统也逐渐流行起来。

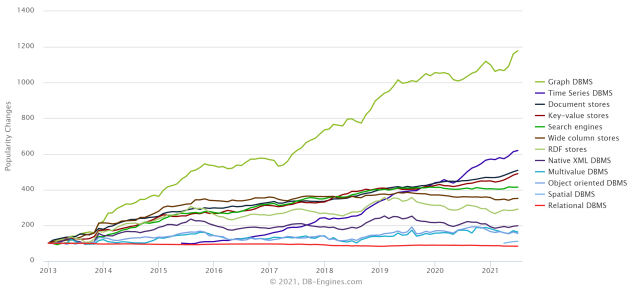


图 13. 完整的流行度趋势 [57]

2）过去 *24* 个月的趋势：图 14 显示了过去 24 个月流行度趋势的变化。如前所述，近年来，时间序列数据库管理系统因应用于物联网而越来越流行。另一方面，关系型系统的流行度与 2019年7月持平。然而，原生 XML 和资源描述框架存储库等数据库管理系统的流行度正在下降。

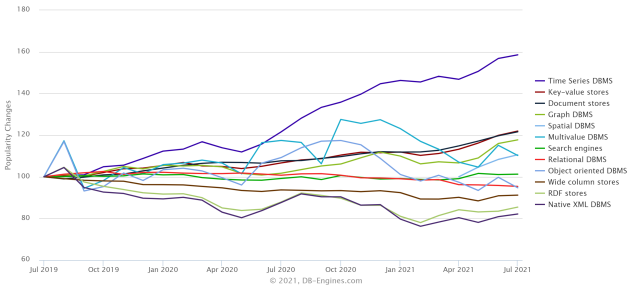


图 14. 过去24个月的趋势 [57]

V. 结论与未来工作

数据库被视为现代信息系统不可或缺的一部分。几乎所有 Web 或移动应用程序都会使用某种数据库。从商业和技术角度来看，数据库管理系统都被视为至关重要的组成部分。本文将不同类型的数据库管理系统划分为两个主要类别，即关系型和非关系型，并进一步细分为若干子类别。本文以 DB-Engines 计算和管理的流行度得分形式，展示了2021年7月各个子类别的排名。文中还展示了各类别的流行度趋势，以观察自2013年以来流行度的变化。前20名系统的完整排名和趋势表明，关系模型仍然是最受欢迎的模型，其中包括

前20名中有12个系统，排名前4的均为关系型系统。关系型数据库管理系统的数量最多，流行度占比也最高。Oracle 和 MySQL 是最受欢迎的两个系统。然而，近期趋势表明，时序数据库和文档存储等数据库管理系统正变得越来越受欢迎，分别广泛应用于物联网技术和大数据领域。

未来的工作可以包括对各类别进行深入分析，并更加关注过去 24 个月。对文档存储系统与关系型系统进行比较分析，并结合结果探讨 MongoDB 和 Google Firebase 等系统能否挑战 Oracle 和 MySQL 等极受欢迎的系统，也是一项值得开展的工作。此外，将这些系统划分为商业和开源类别，再考察其流行度排名和趋势，也会很有意思。

参考文献

[1] H. Alzahrani, 《面向对象数据库系统的演进》, 《全球计算机科学与技术期刊》, 2016年。[2] B. Grad 和 T. J. Bergin, 《客座编辑导言：数据库管理系统的历史》, 《IEEE计算史年刊》, 第31卷第4期, 第3–5页, 2009年。[3] S. Sumathi 和 S. Esakkirajan, 《关系型数据库管理系统基础》。Springer, 2007年, 第47卷。[4] B. Grad, 《关系型数据库管理系统：形成时期[客座编辑导言],》, 《IEEE计算史年刊》, 第34卷第4期, 第7–8页, 2012年。[5] R. Greenwald、R. Stackowiak 和 J. Stern, 《Oracle 要点：Oracle 数据库 12c》。" O'Reilly Media, Inc.", 2013 年。[6] "Oracle", 最后访问时间：2021 年 7 月。 [在线]。可访问：https: //www.oracle.com/database/[7] M. Widenius、D. Axmark 和 K. Arno, 《MySQL 参考手册：源代码文档》。" O'Reilly Media, Inc.", 2002年。[8] "Mysql", 最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https: //www.mysql.com/ [9] R. Mistry 和 S. Misner, 《Microsoft SQL Server 2014 入门》。Microsoft Press, 2014年。[10] "Microsoft sql server", 最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://www.microsoft.com/en-us/sql-server/ [11] B. Momjian, 《PostgreSQL：简介与概念》。Addison-Wesley New York, 2001年, 第192卷。[12] "Postgresql", 最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https: //www.postgresql.org/ [13] J. S. Karlsson、A. Lal、C. Leung 和 T. Pham, 《IBM DB2 Everyplace：一种小型关系数据库系统》, 载于《第17届国际数据工程会议论文集》。IEEE, 2001年, 第230–232页。[14]"Ibm db2", 最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https: //www.ibm.com/analytics/db2 [15] K. L. Berg、T. Seymour、R. Goel 等, 《数据库的历史》, 《国际管理与信息系统期刊》（IJMIS）, 第17卷第1期, 第29–36页, 2013年。[16] "Intersystems cach´e", 最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://www.intersystems.com/products/cache/ [17] "Db4o", 最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https: //sourceforge.net/projects/db4o/ [18] "Intersystems iris", 最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://www.intersystems.com/products/intersystems-iris/ [19] "Objectstore", 最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https: //ignitetech.com/objectstore/ [20] Actian, 《Actian nosql》, 最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://www.actian.com/data-management/nosql-object-database/ [21] S. AG, 《Adabas》, 最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://www.softwareag.com/en corporate/platform/adabas-natural.html [22] R. Software, 《Unidata,universe》, 最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://www.rocketsoftware.com/products/rocket-u2 [23] Zumasys, 《jbase》, 最后访问时间：7月。2021 [在线]。可访问：https://www.jbase.com/

[24] “Model 204”，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https: // www.rocketsoftware.com/products/rocket-m
[25] 3, 2021 [ ] “D ”，最后访问时间：7月。 在线。可访问：https://www. rocketsoftware.com/products/rocket-d
[26] R. P. Padhy、M. R. Patra 和 S. C. Satapathy，《从 RDBMS 到 NoSQL：回顾一些新一代非关系型数据库》，《International Journal of Advanced Engineering Science and Technologies》，第11卷第1期，第15–30页，2011年。[27] A. Akhtar，《Apache软件基金会在大数据项目中的作用》，arXiv 预印本 arXiv:2005.02829，2020年。[28] S. Shekhar，《空间数据库》。Pearson Education India，2007年。[29] P. Rigaux、M. Scholl 和 A. Voisard，《空间数据库：GIS 应用》。Elsevier，2001年。[30] “Postgis”，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https: //postgis.net/ [31] A. Furieri，《Spatialite》，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://www.gaia-gis.it/fossil/libspatialite/index [32] CCRi 等，《Geomesa》，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://www.geomesa.org/ [33] D. Namiot，《时间序列数据库》。DAMDID/RCDL，第1536卷，第132–137页，2015年。[34] “Influxdb”，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https: // www.influxdata.com/products/influxdb-overview/ [35] a. d. o. F. D. p. Kx Systems，《Kdb+》，最后访问时间：2021年7月。[在线]。可访问：https://kx.com/ [36] “Prometheus”，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https: //prometheus.io/ [37] C. Garcia-Arellano、H. Roumani、R. Sidle、J. Tiefenbach、K. Rakopoulos、I. Sayyid、A. Storm、R. Barber、F. Ozcan、D. Zilio 等，《Db2 Event Store：专为物联网打造的数据库引擎》，Proceedings of the VLDB Endowment，第13卷第12期，第3299–3312页，2020年。[38] DB-Engines，《DB-Engines排名得分的计算方法》，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/en/ranking definition [39] “DB-Engines关系型数据库管理系统排名”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/en/ranking/relational+dbms [40] “DB-Engines面向对象数据库管理系统排名”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/en/ ranking/object+oriented+dbms [41] “DB-Engines多值数据库管理系统排名”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/en/ranking/ multivalue+dbms [42] “DB-Engines键值存储排名”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/en/ranking/ key-value+store [43] “DB-Engines文档存储库排名”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/en/ranking/ document+store [44] “DB-Engines宽列存储排名”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/en/ranking/ wide+column+store [45] “DB-Engines图数据库管理系统排名”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/en/ranking/graph+dbms [46] “DB-Engines搜索引擎排名”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/en/ranking/search+engine [47] “DB-Engines排名——关系型数据库管理系统流行度趋势”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/ en/ranking trend/relational+dbms [48] “DB-Engines排名——面向对象数据库管理系统流行度趋势”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https: //db-engines.com/en/ranking trend/object+oriented+dbms [49] “DB-Engines排名——多值数据库管理系统流行度趋势”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/ en/ranking trend/multivalue+dbms [50] “DB-Engines排名——键值存储流行度趋势”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/ en/ranking trend/key-value+store [51] “DB-Engines排名——文档存储的流行度趋势”，2021年7月，最后访问时间：2021年7月。 [在线]。可访问：https://db-engines.com/ en/ranking trend/document+store
[52] “Db-engines排名——宽列存储的流行度趋势”，2021年7月，最后访问日期：2021年7月。 [在线]。网址：https: //db-engines.com/en/ranking trend/wide+column+store [53] “Db-engines排名——图数据库管理系统的流行度趋势”，2021年7月，最后访问日期：2021年7月。 [在线]。网址：https://db-engines.com/en/ ranking trend/graph+dbms [54] “Db-engines排名——搜索引擎的流行度趋势”，2021年7月，最后访问日期：2021年7月。 [在线]。网址：https://db-engines.com/ en/ranking trend/search+engine [55] “Db-engines排名”，2021年7月，最后访问日期：2021年7月。 [在线]。网址：https://db-engines.com/en/ranking [56] “Db-engines排名——流行度趋势”，2021年7月，最后访问日期：2021年7月。 [在线]。网址：https://db-engines.com/en/ranking trend [57] “按数据库模型细分的数据库管理系统流行度”，2021年7月，最后访问日期：2021年7月。 [在线]。网址：https://db-engines.com/en/ ranking categories