

# 图数据库发展现状与选型研究

刘慎哲<sup>1</sup> 孙商栋<sup>1</sup> 张承基<sup>1</sup>

LIU Shenzhe SUN Shangdong ZHANG Chengji

## 摘要

在大数据时代背景下,为充分挖掘海量数据中的关联信息价值,同时在大语言模型应用场景的推动下,图数据库技术实现飞速发展。文章围绕图数据库展开研究,提出了图数据库的选型方法及具体框架,并对三款开源图数据库进行选型对比;重点阐述了图数据库性能测试的方法与具体实施过程,创新性地提出一种基于JMeter的K跳查询高并发性能测试方法,基于该方法完成三款开源图数据库的性能测试与对比分析。最后,结合研究过程与行业发展现状,总结并展望了图数据库技术的未来发展趋势,为图数据库的选型、性能优化及后续研究提供参考与支撑。

## 关键词

图数据库;产品选型;性能测试

doi: 10.3969/j.issn.1672-9528.2026.04.024

## 0 引言

当前各行业在数字化转型过程中积累了海量的业务数据,各行业业务开始就数据间的关联关系进行价值挖掘,但传统数据库在处理深度关联查询时面临性能瓶颈(多层次JOIN效率低下、响应延迟)和模型僵化(难以适应快速变化的关系网络)的挑战,图数据库作为一种专注于存储和查询图结构数据的非关系型数据库,凭借其以节点和边为核心的数据模型、高效的关系遍历能力,以及天然适配复杂关联场景的特性,逐渐成为学术界与工业界关注的焦点。另外,提升大语言模型在回答专业问题时的准确性和可靠性的RAG技术逐渐在各业务场景应用落地,Graph RAG可解决传统RAG在复杂查询、多跳推理和跨文档语义关联中的局限性,图数据库是Graph RAG中不可或缺的组成部分。

当前,图数据库市场呈现蓬勃发展态势。Gartner<sup>[1]</sup>在2022年图数据库管理系统市场指南中预测,2025年图技术市场(含图数据库)规模将达32亿美元,2021—2025年复合年增长率(CAGR)为28.1%,到2025年,80%的数据与分析创新依赖图技术(2021年该比例仅10%)。中国信通院发布并解读的数据库发展研究报告(2025年)显示,在全球市场,图数据库产品数量46个,在非关系数据库中占比15.1%;在国内市场,近年来,非关系型数据库市场呈现出多样化的发展态势,图数据库凭借其在特定领域的强大支持,保持领先地位,图数据库产品数量19个,在非关系型数据库中占比

27.9%(CCSA TC601, 2025年6月数据)<sup>[2]</sup>。应用领域也从早期的社交网络扩展至金融反欺诈、供应链优化、智能推荐等多元场景。

但目前国内图数据库产品还处在发展阶段,行业对图数据库产品的认知较少,选型过程不规范,尤其是在性能测试评估阶段,没有贴合实际的性能测试标准流程,增加了图数据库选型的周期和复杂度。本文概述了当前图数据库发展现状,给出选型整体思路,着重讲述了图数据库性能测试,实现了基于JMeter压测工具的性能测试流程和实践,最后简述了图数据库发展趋势,对图数据库选型和性能测试有一定的指导意义。

## 1 图数据库国内外发展现状

从图数据库产品上分析,根据第三方机构db-engines.com<sup>[3]</sup>的统计数据,国外图数据库仍占据主要地位,Neo4j以其开源加商业的模式持续霸榜,微软的Microsoft Azure Cosmos DB和亚马逊的Amazon Neptune也占据较高的市场,在排名中比较靠前国内的图数据库只有Nebula Graph一家。根据国内第三方机构www.modb.pro<sup>[4]</sup>对图数据库的排名,依托开源生态和学术的构建,TuGraph、Nebula Graph、gStore排名靠前,gStore在学术研究较多;国内商业模式的图数据库主要有赢图、Galaxybase、GDMBASE、StellarDB等,其中蜀天梦图的GDMBASE图数据库最近半年排名上升明显;依托于云部署的华为GES、阿里云GDB排名较靠前,并且呈现上升趋势,这也表现出了云部署图数据库的一种发展趋势。国内图数据库多为自主研发、自主可控数据库,也体现了国内在图数据库领域已有一定技术和人才的积累,总体来

1. 中国联合网络通信集团有限公司济南软件研究院  
山东济南 250102

看,国内图数据库现状还是以商业模式为主,开源生态相对较弱,但图数据库已经呈现出竞争态势,标志着国内图数据库市场的需求增长和图数据库的良好发展趋势。

从图数据库技术架构上分析,自2007年第一款图数据库 Neo4j 问世至今,图数据库底层存储、架构等均经历了重大变革<sup>[5]</sup>,已迈过了 Graph 2.0 阶段,开始进入下一阶段。Graph 1.0 阶段,图数据库采用小规模原生图存储,获得了比关系型数据库快得多的复杂关联数据查询性能。但基于单机的小规模原生图数据库性能和扩展能力受限;Graph 2.0 阶段,开始支持分布式大规模图存储,但对存储是否原生没有标准,可实现水平扩展,但是在全图分析等需要迭代计算的场景下仍需要结合图处理引擎进行离线计算与分析。目前,图数据库开始为图数据实时更新、查询而设计,不但在存储上提升了扩展性,同时增加了并行计算的能力,内置多种图算法,能够实现实时的图分析。大规模原生图存储、分布式并行计算能力正逐渐成为图数据库行业的主流,随着大语言模型的火热,Graph RAG 被提出,图数据库开始出现和知识图谱平台、人工智能平台融合的趋势,出现了与人工智能、机器学习、深度学习融合的图平台。

总体来看,国内主流图数据库已基本实现分布式、原生图存储,并且基本是基于属性图来设计的,内置多种图算法,支持图分析,运维能力也在逐步完善中,目前图数据库正在与知识图谱和大模型结合上发力,实现智能导入图库、智能问答等场景,但目前结合大模型的落地应用还处在初级阶段,随着未来多场景的深入研究和实践,图数据库的应用将迎来更大空间。

## 2 图数据库选型方案

为满足业务使用图数据库的需求,对图数据库的要求需要从生产稳定、未来扩展、运维成本等多方面考虑,无论是开源图数据库选型还是商业图数据库产品选择,制定选型方案是必不可少的一步,本文将结合信通院图数据库技术要求<sup>[6]</sup>以及国家标准图数据库管理系统技术要求<sup>[7]</sup>等内容,以及自

身图数据库选型实践经历,总结出图数据库选型整体思路和框架,如图1所示。

根据图1所示,数据库选型主要从归属信息、架构、功能、性能、运维、生态、成本七个方面考虑。

(1) 归属信息方面,主要基于国家政策角度考虑,比如国产信创。

(2) 架构方面,部署架构考虑是否支持单机、分布式、云部署;高可用能力考虑是否支持高可用以及实现机制;可扩展能力考虑是否支持垂直和水平扩展;存储系统考虑是否自研存储引擎或开源第三方存储引擎,比如 RocksDB,也作为判断自主可控性的内容之一。

(3) 功能方面,多用户或多租户以及权限控制考虑资源和业务隔离能力,比如云环境上的部署以及多业务模块共用图数据库场景;日志管理考虑是否支持日志配置和审计日志能力;查询语言考虑现有业务迁移兼容性问题以及未来发展,比如目前多数数据库开始兼容适配 ISO-GQL 标准;图模式有 RDF 和属性图两种,目前图数据库主流图模式为属性图模式;数据处理能力考虑是否支持 OLTP/OLAP/HATP;图算法支持能力考虑图数据库是否支持图分析能力,甚至考虑是否支持原生图算法,即不需要转入第三方框架如 Spark,不依赖大数据平台组件进行图算法实现和计算;是否原生支持向量和 Graph RAG 能力考虑图数据库平台与大模型的融合能力,比如是否支持自动化抽取、支持多路召回、支持 MCP 协议等;可视化界面考虑是否支持交互查询方式和查询语言方式进行图数据查询,支持绘图个性化展示,支持导出,支持在查询出的图上可新增点边和修改点边属性。

(4) 性能方面,考虑支持的点边规模,目前图数据库能支持千亿点和万亿边<sup>[8]</sup>;导入性能的考虑目的在于业务迁移和数据恢复效率;多跳查询是目前图数据库使用中最多的场景,多跳查询耗时需要根据具体业务需求进行考量,比如3跳耗时需低于1s等,从而指导后续性能测试用例。

(5) 运维方面,扩展方式考虑是否支持在线扩缩容以及自动重平衡能力;监控运维平台考虑图数据库状态和资源

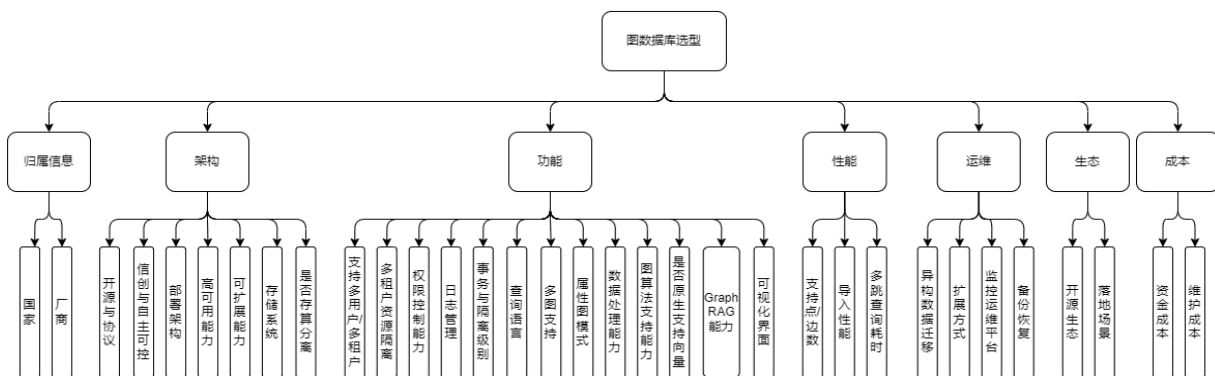


图1 选型整体框架图

监控能力、图数据库引擎监控能力，以及告警推送能力。

（6）生态方面，开源产品考虑开源社区活跃度等，调研图数据库落地场景是否丰富，比如金融行业、互联网行业、电信行业等。

（7）成本方面，资金成本考虑集群每年每节点 license 费用；维护成本考虑集群运维投入，架构复杂度、社区成熟度是考虑的主要因素。

表 1 给出了在选型初期对开源图数据库进行对比情况，其中 Neo4j 开源产品生态较完善，是 Cypher 查询语言创立者，且应用广泛，但单体不可横向扩展限制，且不支持多图；TuGraph 社区生态较完善，可视化工具生态较完善，但是存在无法分布式部署的问题，可扩展性受限；Nebula Graph 社区生态较完善，支持分布式部署。

3 图数据库性能测试方案

3.1 LDBC 基准测试

关联数据基准委员会（LDBC）是一个非营利组织，目的是定义标准的图基准，以促进围绕图处理技术的社区发展。LDBC SNB（LDBC social network benchmark）是基于社交网络的交互式场景开发的一组 benchmarks 套件。LDBC SNB 项目包括 3 个组件：数据生成器（Datagen）、测试驱动程序（Driver，用于执行 Benchmark 的测试）和驱动的实现（Driver implementation）<sup>[9]</sup>，在该项目的初期提供了基于 Cypher（Neo4j）查询语言的测试用例实现，目前国内开源图数据库

使用的大多是 v1 版本的组件，比如开源 Nebula Graph，因此进行 LDBC SNB Interactive 工作模式的测试推荐使用 v1 版本。

LDBC SNB Interactive 基准测试包括生成数据、预处理数据、导入数据、调参并执行测试、记录结果，整体流程如图 2 所示。

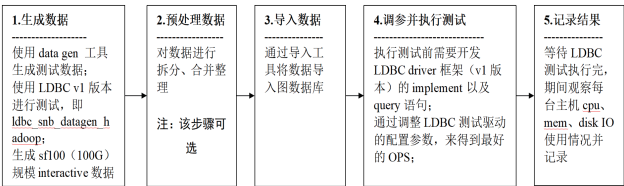


图 2 LDBC SNB Interactive 基准测试整体流程

测试的过程主要通过调整参数，主要参数有以下三个：thread\_count、time\_compression\_ratio、operation\_count，找到最小时间压缩比，即 time\_compression\_ratio 的值，从而得到最大 OPS，OPS 值越大性能越好。

LDBC 测试的优点在于测试规范，接近黑盒测试，任何图数据库产品遵循同一套测试用例，包括复杂查询、简单查询、实时更新操作，能全面测试图数据库的性能，并且 LDBC 官方提供审计，具备图数据库可横向对比性。但 LDBC 基准测试，一方面相对复杂，需要一定的研发功底，需要实现或理解对应图数据库的驱动实现，包括 Driver Implement 代码和查询语句的编写或理解，这给产品选型人员提出了一定的技术要求；另一方面，LDBC 基准测试复杂

表 1 Neo4j、TuGraph、NebulaGraph 三种开源图数据库对比表

| 特性   | 关键特性     | Neo4j           | TuGraph                          | Nebula Graph                         |
|------|----------|-----------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 归属信息 | 公司       | Neo4j, Inc.（美国） | 蚂蚁科技集团股份有限公司（中国）                 | 杭州悦数科技有限公司（中国）                       |
|      | 部署架构     | 单机 / 主从集群       | 单机 / 主从集群                        | 分布式                                  |
|      | 高可用能力    | 主从复制            | 主从复制                             | Raft 协议，多副本                          |
| 架构   | 开源协议     | GPLv3           | Apache 2.0                       | Apache 2.0                           |
|      | 多用户 / 租户 | 基础用户权限控制        | 基础用户权限管理                         | 用户角色权限管理                             |
|      | 事务       | ACID            | ACID                             | 弱事务                                  |
| 功能   | 查询语言     | Cypher          | TuGraph-Cypher（兼容 Cypher）        | nGQL（类 SQL），支持大部分 openCypher 9 图查询语法 |
|      | 多图支持     | 不支持             | 支持                               | 支持                                   |
|      | 异构数据迁移   | 生态工具：Neo4j-ETL  | 生态工具：lgraph_import、TuGraph DataX | 生态工具：界面工具、Importer、exchange+spark    |
| 运维   | 监控运维     | 无               | 基础监控                             | 基础监控                                 |
|      | 备份恢复     | 仅支持离线备份及恢复      | 命令行工具，支持快照                       | 命令行工具，支持快照                           |
|      | 生态       | 社区活跃，文档完善，插件丰富  | 中文社区活跃，文档完善度一般                   | 中文社区活跃，文档完善度高                        |



查询中即便相对简单的查询语句也会涉及 3 跳及以上的查询,并附带逻辑判断,目前实际生产中比较多的一个使用场景是  $K$  跳的简单查询,对于这种场景不能直观测出性能情况。

### 3.2 基于 JMeter 的 $K$ 跳查询性能测试

基于 LDBC 测试无法直观测试图数据库  $K$  跳查询的性能问题,本文提出一种基于 JMeter 的  $K$  跳查询高并发性能测试,测试场景灵活,比如对数据库进行持续 5 min 并发 50、100、200、500、1 000 下 1~5 跳邻居查询。本文还对三款开源国产图数据库测试对比,给出了 100 并发下 1~5 跳邻居查询性能结果分析。

基于 JMeter 的  $K$  跳查询高并发性能测试主要分为种子数据准备、图数据库连接配置、线程组配置、采样器配置、结果后置处理、结果聚合分析六个部分,整体流程如图 3 所示。

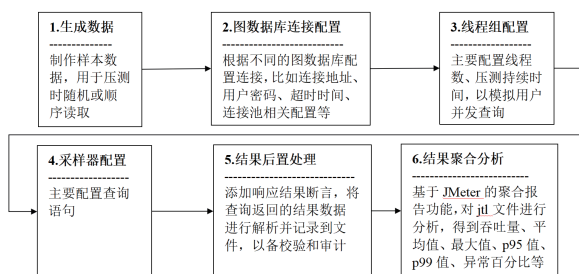


图 3 基于 JMeter 的  $K$  跳查询高并发性能测试整体流程图

在准备种子数据之前,需要选择测试数据集,本文选择基于 LDBC SNB Interactive 生成的 SF100 数据集,选择该数据集的原因有二,一方面是因为该数据集可模拟真实社交网络,点类型和边类型多样,点边均带有属性,符合真实业务生产场景;另一方面该数据集生成的数据均带有 ID,且不同序列化模式生成的数据 ID 一致,因此可以生成统一的种子数据来测试不同的图数据产品。本文测试时设计的查询语句是查询 Post (帖子) 5 跳内所有的 ReplyOf 关系的 Post 和 Comment (评论) 的总数,因此将所有拥有 5 阶以上 ReplyOf 的 Post 的作为种子数据,筛选种子数据的查询语句如下:

```
MATCH (a:Post {id: ${id}})-[:COMMENT_REPLY_OF_
COMMENT]|COMMENT_REPLY_OF_POST*5..-[:(b:Comment)
RETURN count(DISTINCT b);
```

其中  $\{id\}$  为入参,入参为 SF100 数据集 Post 点数据所有的 ID。对返回结果进行处理,如果返回结果大于 0,则记录该 Post 的 ID 到种子数据文件, SF100 数据集 Post 点数据约 5 798 万,有 5 跳及以上的点数据约为 7.5 万。

图数据库连接配置部分主要是设置连接图数据库的信息,连接池最大连接数值需要设置为大于等于最大并发测试场景的并发数值。

线程组配置部分主要设置并发线程数,以模拟用户并发操作图数据库,设置压测持续时间等。

采样器配置部分根据不同数据库支持的连接协议进行配置,比如支持 Bolt 协议的图数据库可以直接使用 Bolt Request 采样器。本文测试配置的查询语句如下:

```
MATCH (a:Post {id: ${id}})-[:COMMENT_REPLY_
OF_COMMENT]|COMMENT_REPLY_OF_POST * 1, 2,...,
n]-(b:Comment) RETURN count(DISTINCT b);
```

其中,  $1, 2, \dots, n$  表示  $n$  跳内查询,  $n \leq 5$ 。

结果后置处理部分主要是将返回的结果与对应的 Post ID 记录到文件,用来校验图数据库查询结果是否正确,本文采用 JSR223 后置处理程序对响应结果处理,部分代码如下:

```
String response = prev.getResponseDataAsString();
vars.put("COUNT", String.valueOf(countValue));
out.write(vars.get("COUNT") + "\n");
```

结果聚合分析部分主要将 jtl 文件导入 JMeter 聚合报告监听器中进行分析,得到平均值、p95 值、异常百分比等。

本文对 Neo4j、TuGraph、Nebula Graph 三种开源图数据库进行了测试,采用同规格主机三台,主机 C 部署 JMeter 压测程序,主机 A 部署 Neo4j 或 TuGraph, Nebula Graph 使用主机 A、B、C 搭建三节点集群,测试主机信息如表 2 所示。

表 2 测试主机信息详情表

| 厂商 | CPU 型号              | 物理核<br>心数 | 逻辑<br>核数 | 内存             | 存储                     | 操作<br>系统 |
|----|---------------------|-----------|----------|----------------|------------------------|----------|
| 鲲鹏 | Kunpeng<br>920 7260 | 2 路       | 128C     | 512 GB<br>DDR4 | SATA SSD<br>3.84 TB×12 | UOSv20   |

最后得到 100 并发下 1~5 跳的 QPS 和 P95 延时情况曲线图,具体如图 4~5 所示。

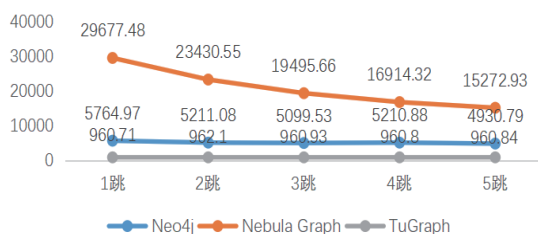


图 4 Neo4j、TuGraph、Nebula Graph 100 并发  $K$  跳 /QPS 对比图

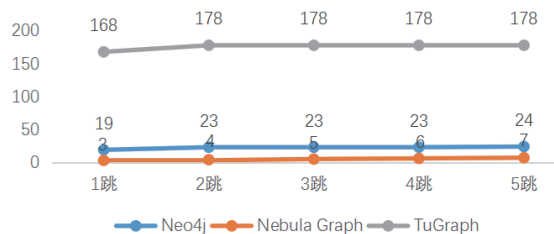


图 5 Neo4j、TuGraph、Nebula Graph 100 并发  $K$  跳 /P95 对比图

根据图 4~5 所示, Nebula Graph 100 并发 1 跳查询接近 3 w/s, 跳数增加性能有所衰减, 5 跳查询降至 1.5 w/s; Neo4j  $K$  跳查询性能在 5 k/s 左右, TuGraph  $K$  跳查询性能在 1 k/s 左右, Neo4j 和 TuGraph 跳数增加, 衰减不明显, 此现象与多跳后节点增加不多, 即路径不多导致, 这跟 Neo4j 和 TuGraph 在邻接查询时设计方案有关。综上所述, Nebula Graph 表现较优。

上述测试方案可以宏观横向对比不同图数据库在  $K$  跳简单查询时耗时和并发性能情况, 再结合压测过程中图数据库对主机资源的使用情况可以综合评估图数据库的性能能力。但在上述测试中, 可以发现 Neo4j 和 TuGraph 跳数增加有衰减不明显情况, 此种情况可以看出该图数据在高跳(大于 3 跳)查询设计的优点, 因此, 上述测试使用的测试语句就不太能测试出高跳邻居查询处理性能, 本文作者在实践中根据分析 LDBC SNB Interactive 数据结构, 提出可以使用 Person 和 PERSON\_KNOWS\_PERSON 关系的查询来测试高跳邻居查询处理性能, 查询示例语句如下:

```
MATCH (n:Person{id: ${id}})-[:PERSON_KNOWS_PERSON*1, 2,..., 5]->(m) RETURN count(distinct m);
```

每增加一跳 PERSON\_KNOWS\_PERSON 关系, 返回值会指数级增加, 这对图数据库的查询能力要求更高, 从而可以对进一步研究各图数据库的优缺点提供指导。

#### 4 图数据库发展趋势

目前, 图数据库正处于飞速发展的状态, 随着需求的增长, 图数据库正向如下方向发展。

##### (1) 查询语言统一化

2024 年 4 月, ISO 正式发布了国际标准图查询语言 GQL (Graph Query Language)。ISO-GQL 标准的发布标志着图数据库技术走向成熟的重要一步。必将推动图数据库行业的标准化和生态的繁荣, 促进图数据库技术的广泛应用。

##### (2) 图数据库与 AI 结合, Graph RAG 应用落地

近几年, 随着各种大模型的发布, 知识问答是主要的应用场景之一, 基于向量数据库的 RAG 解决方案便逐渐涌现, 但传统 RAG 仍存在问题, 向量数据库无法有效地体现企业知识内在的关联关系, Graph RAG 的概念被提出, 图数据库在处理复杂关系和大规模数据方面具有天然优势, 可作为传统 RAG 的补充, 从而提高信息检索的准确性和效率。因此, 未来图数据库将与 AI 技术深度融合, 推动智能决策支持系统的发展, 并加速落地更多应用场景。

#### 5 结语

本文简述了当前图数据库发展现状, 通过行业标准梳理和实践, 给出了图数据库产品选型思路和具体方案, 分析了

目前图数据库性能压测的现状, 给出了基于 LDBC 基准测试的完整压测流程, 同时基于对真实生产场景的分析思考, 提出了基于 JMeter 的  $K$  跳性能测试方法, 并给出了具体的实践流程和三款开源图数据库的性能对比结果, 最后结合在选型过程中接触到的图数据库产品, 总结了图数据库技术未来发展趋势。虽然, 图数据库目前已经确定属性图模型、原生图存储、分布式、查询和分析底层融合等技术路线, 并可知在大模型时代企业挖掘内部大量数据关联关系价值的背景下, 将有良好的发展空间。但目前图数据库的标准刚刚确立, 图数据库仍需要规范产品能力, 仍需要继续推动应用落地和更多场景的开发。

#### 参考文献:

- [1]Gartner. 2022 年图数据库管理系统市场指南 [R/OL]. (2022-08-30) [2025-08-16]. <https://www.gartner.com/en/documents/4018220>.
- [2] 中国通信标准化协会大数据技术标准推进委员会. 数据库发展研究报告 (2025 年) [R/OL]. (2025-07-16)[2026-04-07].[https://www.stdaily.com/web/gdxw/2025-07/17/content\\_371605.html](https://www.stdaily.com/web/gdxw/2025-07/17/content_371605.html).
- [3]Solid IT GmbH. DB-Engines ranking[R/OL]. [2026-04-07]. <https://db-engines.com/en/ranking/graph+dbms>.
- [4] 墨天轮 (MODB) 数据库社区. 墨天轮中国数据库流行度排行 [EB/OL].[2026-04-07]. <https://www.modb.pro/ranking>.
- [5] 李俊逸, 王卓, 马鹏玮. 图数据库技术发展趋势研究 [J]. 信息通信技术与政策, 2021,47(5):67-72.
- [6] 大数据 图数据库技术要求与测试方法: TCCSA 377-2022[S]. 北京: 中国通信标准化协会, 2022.
- [7] 信息技术 图数据库管理系统技术要求: GB/T 45346-2025[S]. 北京: 中国标准出版社, 2025.
- [8]Nebula Graph 官网 [EB/OL]. (2025-08-16)[2026-04-07]. <https://www.nebula-graph.com.cn>.
- [9]ERLING O, AVERBUCH A, LARRIBA-PEY J, et al. The LDBC social network benchmark: interactive workload[C]// SIGMOD'15: Proceedings of the 2015 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data. New York:ACM,2015: 619-630.

#### 【作者简介】

刘慎哲 (1992—), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 云计算中间件研发和运维、数据库研发、图数据库选型相关工作, email:liuszint@163.com。

(收稿日期: 2025-09-26 修回日期: 2026-04-10)