



北京金融科技产业联盟
BEIJING FINTECH INDUSTRY ALLIANCE

分布式数据库金融应用 发展报告（2023）

北京金融科技产业联盟
2023年3月

版权声明

本报告版权属于北京金融科技产业联盟，并受法律保护。转载、编摘或利用其他方式使用本白皮书文字或观点的，应注明来源。违反上述声明者，将被追究相关法律责任。



编制委员会

主任：

潘润红

编委会成员：

聂丽琴 林承军 郭志军 张海燕 邓 琼 王志刚

王鹏冲 汪 洋 胡 捷

编写组成员（按姓氏拼音排序）：

毕澜馨 蔡 歌 陈 昊 陈 亮 陈 明 陈伟红

陈 曦 陈云峰 董勇明 杜 蓉 高志会 顾鸿翔

郭家文 胡中泉 黄小慧 黄元霞 洪建辉 姜文峰

江智睿 金官丁 李博文 李亮举 李 振 李中原

梁海安 廖 涵 林 海 刘 强 刘学刚 刘耀华

罗后启 明玉琢 莫 荻 庞天泽 齐文涛 乔旺龙

秦延涛 史新龙 宋 歌 苏德财 苏 强 田 亮

王 枫 王 辉 王莉莉 王力玉 王敏达 王睿超

王 薇 王 栩 王永帅 谢旭东 吴洪辉 毋文涛

夏 康 夏文勇 杨 彬 杨 光 杨 锐 叶强林

于树文 于 巍 岳艳涛 张积斌 张俊飞 张 翔

张兴强 张 桦 张照东 赵 琳 赵 培 赵 琼

周明媛 周日明 朱 飞 左 奇

编审：

黄本涛 彭卫华 张 蕾 明玉琢

参编单位：

北京金融科技产业联盟秘书处

中国工商银行股份有限公司

中国银行股份有限公司

交通银行股份有限公司

中信银行股份有限公司

中国光大银行股份有限公司

华夏银行股份有限公司

平安银行股份有限公司

中国平安保险（集团）股份有限公司

北京国家金融科技认证中心有限公司

深圳市腾讯计算系统有限公司

华为技术有限公司

中兴通讯股份有限公司

北京百度网讯科技有限公司

阿里云计算有限公司

北京奥星贝斯科技有限公司

平凯星辰（北京）科技有限公司

广州巨杉数据库软件有限公司

成都虚谷伟业科技有限公司

上海热璞网络科技有限公司

上海英方软件股份有限公司

贵州易鲸捷信息技术有限公司

湖南亚信安慧科技有限公司

天云融创数据科技（北京）有限公司

天津南大通用数据技术股份有限公司

目 录

一、分布式数据库金融应用背景.....	1
(一) 数字化转型持续加快.....	1
(二) 数据库技术不断成熟.....	3
二、分布式数据库金融应用进展情况.....	10
(一) 关键技术攻关.....	10
(二) 多层次标准建设.....	13
(三) 产品质量检测.....	15
三、分布式数据库金融应用情况.....	21
(一) 类型分布.....	21
(二) 设计架构.....	26
(三) 场景应用.....	30
(四) 服务器部署.....	40
(五) 容灾备份.....	44
四、分布式数据库金融应用成果.....	53
(一) 成果概述.....	53
(二) 指标分析.....	55
五、分布式数据库金融应用挑战与应对.....	61
(一) 金融应用业务侧.....	61
(二) 分布式数据库侧.....	68

一、分布式数据库金融应用背景

（一）数字化转型持续加快

国家“十四五”规划明确提出加快数字化发展建设数字中国。金融业一直以来重视信息科技创新应用，以人工智能、区块链、大数据、云计算等先进技术为代表的金融科技快速发展，助力金融业解决传统金融面临的痛点、难点，实现金融服务的提质增效。数据库作为金融信息系统的核心基础设施，有力支撑金融业数字化转型。北京金融科技产业联盟（以下简称“联盟”）分布式数据库专委会在开展行业调研的基础上，深入研究并总结金融业务发展趋势。

1. 业务发展持续创新

随着互联网金融不断发展，金融业在金融服务场景化、生态化的趋势下，业务创新发展需要进一步加强多方合作，以满足《金融科技发展规划（2022-2025年）》“以市场为导向、以需求为牵引，深挖数据综合应用场景，发挥数据和技术双轮驱动作用，在服务实体经济、惠及百姓民生、创新驱动发展、助力乡村振兴等领域实现数据综合应用与多向赋能”的要求。

数字化建设的业务改造过程中，数据库转型显得尤为关键。不同种类金融业务有着不同的数据需求，与之相对应的数据库不仅需要有海量数据存储能力和高并发交易支撑能力，还需要针对不同业务有多样化的功能。围绕客户体验、精准营销、风险控制等金融应用场景的业务创新对数据库技术提出了“更快捷、更高效、更稳定”的要求。

2. 业务连续性要求不断提升

数字化转型发展的不断深入，进一步提高了对金融业重要业务系统运行连续性的要求。在移动金融加速金融服务普适化后，以银行业为代表的金融领域服务渠道呈现多渠道、移动化和全天候的特征。核心业务系统对连续性要求已达到“365天×24小时”级别，使系统维护、补丁升级等对数据库有全局影响的变更操作窗口时长缩短。同时，由于经营服务在社会经济运行中的特殊性质，监管部门对银行等金融场景的核心业务系统的稳定连续性提出了极其严格的要求。

《金融科技发展规划（2022-2025年）》也提出了“建高可靠、多层次容灾体系，满足日常生产、同城灾备、异地容灾、极端条件能力保全等需求，提升金融数据中心纵深防御能力，逐步形成高可用数据中心格局”的要求。

随着金融科技不断发展，系统变得越来越复杂，数据的稳定与可靠成为金融业数字化转型面临的主要挑战之一。分布式数据库和数据存储技术的不断发展，为金融数据的存储带来更可靠的保障和容灾能力的提升，以此保证数据持续可靠，做到无损容灾，满足恢复点目标(RPO)、恢复时间目标(RTO)的要求，降低了服务器断电、宕机、硬盘损坏、自然灾害等意外场景对金融业务带来的影响。

3. 业务迁移更加平滑

金融业的应用软件最高优先级关注点就是稳定性，数字化转型过程中首先追求稳定。从银行等金融机构部署架构趋势来看，早期通常是将服务器集中部署在大型机上，为的就

是稳定、高效、多并发。随着应用的发展，基于服务器来搭建不同应用的架构成为趋势，Oracle 数据库开始席卷市场。后来，X86 服务器兴起引起应用架构发生变化，尽管这时候数据库市场还离不开 Oracle、DB2，但百花齐放的理念已经萌芽。如今，在分布式数据库技术蓬勃发展的前提下，金融业将部署在 Oracle、DB2 等数据库上的数据迁移至其他分布式数据库产品上时，必须平滑的实现新旧系统的替换，以降低新技术转型带来的风险，需要特别关注稳定性的保障，容灾过程当中 RPO、RTO 的真实情况，同城、异地 RPO 等重点。

4. 业务动态扩展需求逐步加强

为应对线上金融突发的业务增长场景，如抢购、秒杀等，金融业基于持续进步的技术手段，不断快速创新和发展金融应用。从追求业务多元化到追求场景化创新、业务创新，再到金融数字化转型深入推进，新应用对金融系统的技术架构有了更为严格的标准和要求。在业务转型过程中，金融机构须充分考虑应用架构和数据库部署架构可动态扩展性要求，并且在扩缩容过程中保持对业务透明。

(二) 数据库技术不断成熟

1. 历史沿革

20 世纪 50 年代，计算机开始应用于数据管理方面。但传统的文件系统无法满足数据指数型增长带来的数据管理、数据共享、数据检索的诉求。为了解决以上问题，60 年代，数据库诞生。

数据库的核心理论支撑是数据模型，最早一代的数据库采用的是网状数据模型和层次数据模型，但这两种数据库在数据独立性和抽象级别上都有很大的欠缺。为了解决这些问题，1970年，关系数据模型的发表，奠定了关系数据库的理论基础，具有里程碑式的时代意义。随后，IBM在该关系数据模型的基础上，于20世纪80年代发布了DB2数据库系统。与此同时，Oracle，Sybase，Microsoft SQL Server、Informix、PostgreSQL等其他众多的数据库系统开始问世。经过几十年的发展和实际应用，关系型数据库技术越来越成熟和完善，当前关系型数据库仍占据着全球数据库的主要市场。

随着互联网的兴起，数据量爆炸式增长，单机数据库越来越难满足大规模数据的需求。在互联网金融、移动金融的快速发展下，移动互联网带来的渠道和服务的多样化如银企互联、移动支付等，引起业务量、数据规模以及瞬间峰值（抢购）的快速增长，传统单机数据库无法满足业务性能容量的需求，分布式数据库在这个背景下应运而生。20世纪90年代以来，分布式数据库从技术研究开始进入商业化应用阶段，逐渐成为了数据库领域的主流方向之一，也成为金融分布式新核心技术架构的基础。

从整体来看，数据库行业发展经历了“单机时代”“集群时代”“分布式时代”“分布式和云时代”。如表1和图1所示：

表 1 数据库发展历程表

时代	时间	标志性事件	标志性产品
单机时代	1960-2000	1964 年 IBM 推出 SYSTEM 360 大型机；1971 年贝尔实验室发布多任务多用户操作系统 UNIX。	基于 IBM 360 的大机的 IMS 层次数据库和 DB2 关系型数据库。基于 IBM 小机和 UNIX 操作系统的 Oracle 数据库
集群时代	2000-2012	2001 年甲骨文发布 Oracle RAC	Oracle RAC、MySQL 读写分离集群等
分布式时代	2012-2017	2012 年谷歌发布 Spanner 论文	Google Spanner、MySQL Proxy 等
分布式和云时代	2017 至今	2017 年谷歌推出 Cloud Spanner；亚马逊发布 Aurora 论文	Cloud Spanner、AWS Aurora、Snowflake、MS Azure 等

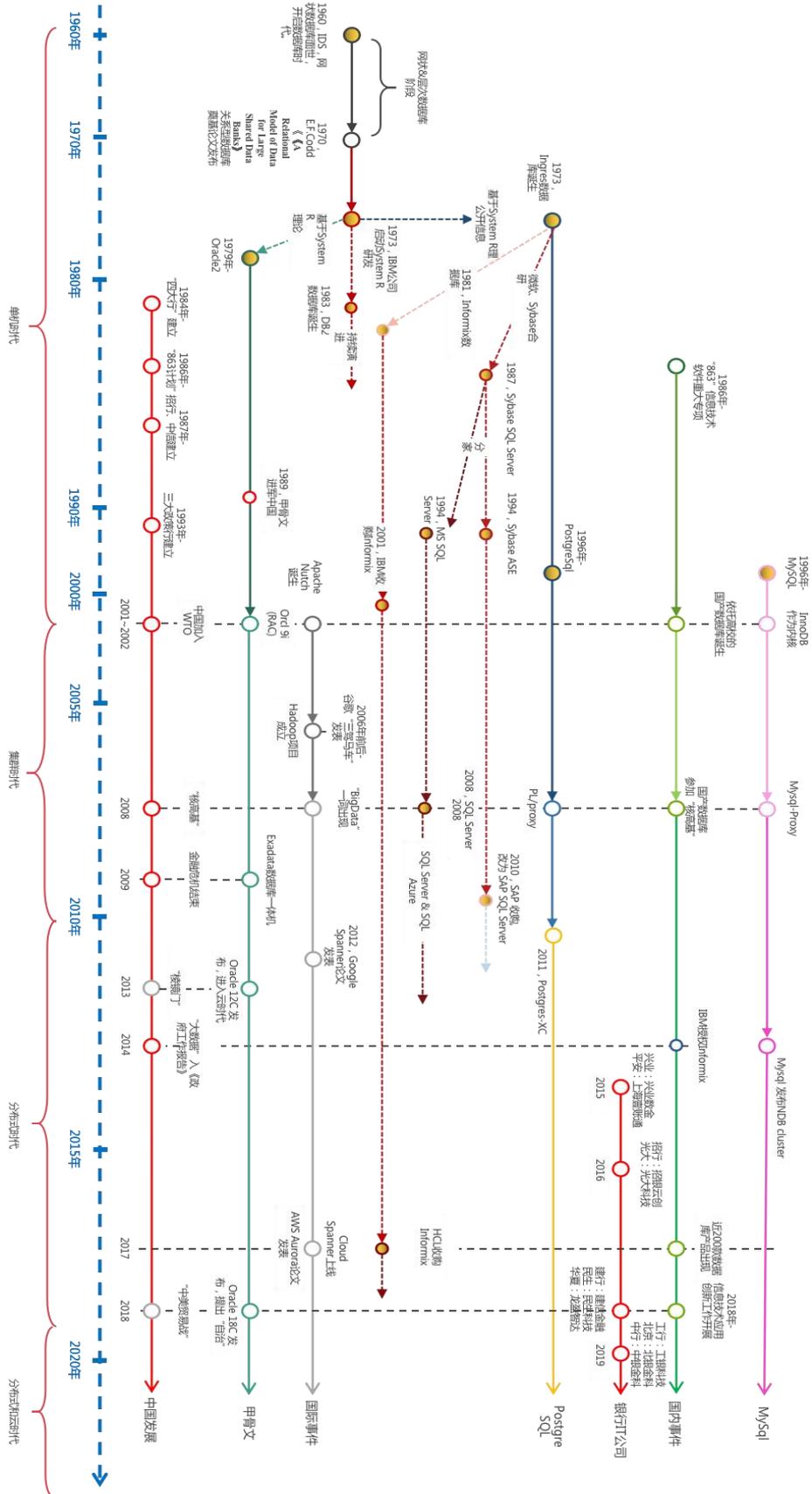


图 1 数据库发展时间图

2. 技术趋势

金融业在进行数字化转型的过程中，须以应用场景为牵引，推动以分布式数据库为代表的核心关键技术持续迭代完善，让技术成为金融业务发展的“新引擎”。

当前的金融业核心业务系统呈现由集中式走向分布式的发展趋势，数据库作为核心基础软件之一，未来也将面临承载金融应用向分布式转型的挑战。从之前数据库技术的发展历程来看，未来分布式数据库技术的发展将呈现五大技术趋势：

（1）资源服务化

当管理的数据库实例数量上千后，不但运维成本（OPEX）增加，而且数据库的管理运维挑战将会呈现指数型上升。数据库管理人员（DBA）如果投入大量时间在硬件，操作系统，安装部署升级等运维工作上，将无法聚焦核心价值。因此，数据库产品的发展趋势之一将是利用虚拟化、容器化等云基础设施，实现弹性伸缩、高效安全的运维管理能力，实现数据库的服务化和资源化，提升数据库运维管理能力。

（2）运维智能化

随着卷积神经网络技术的普及，AI 能力下沉到数据库成为未来另一发展趋势。通过与 AI 技术结合，有望提升数据库的自学习能力，从而提升数据库在运维过程中的参数配置、索引制定、路径规划的自处理能力，实现自监控、自诊断、自优化和自安全端到端运维管理技术，提升数据库产品的可用性和高性能，达到优化 SQL、提高效率、降低运维成

本的作用。

(3) 数据库密态化

攻击数据库、窃取信息是当今信息系统的一个主要安全问题。数据泄露或被篡改等安全事件对企业 and 组织带来的损失将是多方面的，既有可量化的经济损失，也有不可量化的品牌信誉和业务影响。因此，确保数据库安全越来越重要。数据库的另一发展趋势是密态化，即无论在何种业务场景和环境下，数据在传输、运算以及存储的各个环节始终都处于密文状态。当数据拥有者在客户端完成数据加密并发送给服务端后，在攻击者借助系统脆弱点窃取用户数据的情况下仍然无法获得有效的价值信息，从而起到保护数据隐私的作用。

(4) 设计松耦合

从新技术的前瞻性来看，分布式数据库的核心价值在于数据库资源池在保证与传统数据库兼容的基础上，必须满足分布式弹性扩张，当资源池空间和计算能力不足时，需要通过动态增加计算存储节点的方式进行扩容。随着系统的功能的添加，新的实体对象的加入，新的关系关联，修改数据库将变得困难重重。因此逐步松耦合成为数据库设计的发展趋势，表现在将访问层与内核层松耦合，将计算层与存储层松耦合。访问层具备兼容多种生态接口，一个数据库支持多种插件，兼容多种引擎。提供标准的统一接口，屏蔽掉不同引擎的差异性。存算分离技术是实现松耦合的一种比较典型的技术类型，可以将传统分布式数据库的存储组件（数据持久

化) 与计算组件 (计算与内存管理) 分开。

(5) 混合负载处理

随着金融机构数据量不断增长, 数据业务场景的日益复杂, 数据库技术不再仅仅只面向于结构化的 OLTP 数据交易, 需要进一步扩展到面向多样化数据实时对客服服务的负责场景。传统的在线数据库拆分后的架构也需满足一些关联统计和实时分析的要求。在此类需求的驱动下, 分布式数据库数据处理分析的实时性和融合性都将有所提升。客户可通过 HTAP 技术, 在支持高并发在线吞吐的同时, 提供海量数据的实时在线分析能力, 实现在线业务团队的实时分析、会员营销等。

二、分布式数据库金融应用进展情况

（一）关键技术攻关

人民银行《金融科技发展规划（2022-2025年）》提出“深化关键核心技术应用”“加强核心技术的应用攻关”。传统的数据库性能主要依赖于硬件能力，但随着摩尔定律失效，数据库的性能、高并发能力扩展都出现了瓶颈，难以有较大突破。分布式数据库具有高性能、高可靠、低成本、平滑扩容等优势，能较好地适应当前金融领域数据库的应用要求，顺应数据库技术未来的发展方向。联盟在落实《金融科技（FinTech）发展规划（2019-2021年）》《金融科技发展规划（2022-2025年）》要求的过程中，探索产用联合新模式，有计划、分步骤地稳妥推动分布式数据库产品先行、先试。

1. 搭建平台

考虑分布式数据库在硬件条件、系统架构和关键技术上与传统数据库存在较大差异，联盟开展分布式数据库金融应用数据强一致性、服务高可用、分布式事务、隔离级别、语法支持与迁移、复杂计算、性能容量、弹性伸缩、异构复制、运维监控等关键技术的多项研究，推动金融领域数据库上下游适配性验证。联合金融业有分布式数据库成功实施经验的银行机构和国内数据库厂家，调研银行机构基础设施、整理方案和实施经验，形成国内分布式数据库典型应用案例，解决分布式数据库在金融应用中存在的数据一致性、服务可靠性难题，推动会员间科技创新合作，发挥不同业态的比较优

势，促进分布式数据库技术与金融业务深度融合。

一是创造舞台，落实重点工作任务征集机制，广泛研究，充分调查，辨识分布式数据库在金融业应用中遇到的“急、重、险、难”的关键问题，并将其作为推动分布式数据库技术成熟、发展的着力点，“以点带面”激发金融领域的科技创新活力。

二是建立牵头单位“挂帅”责任制，促成金融机构和科技公司项目结对，形成多方共商的工作机制，在处理重点工作的过程中，鼓励大型金融机构和科技企业进行创新突破，组织中小企业积极贡献智慧，激发不同主体的科技创新活力，合力解决制约分布式数据库技术在金融业稳妥发展的关键技术难题。

三是拓展多重成果推广渠道，重视联合攻关成果的呈现，采用论坛、讲堂、专题讲座、案例分享、课题汇报等方式积极宣传、汇报攻关进程，树立行业标杆和模板，以榜样的示范引导作用，带动整个行业探索实施分布式数据库技术金融应用的热情，推动重大应用成果产出的行业共享，助力金融服务提质增效。

2. 推动攻关

2020年联盟组织研究了分布式数据库产品在容灾和迁移2个应用场景中的重、难点问题。

分布式数据库容灾：该课题分为容灾调研和容灾案例两部分。容灾调研方面，为了解银行信息系统的容灾要求，课题组对多家银行进行IT基础设施和关键信息系统容灾要求

进行了详实调研，形成了《金融行业分布式事务数据库容灾需求调研报告》。容灾案例方面，多个数据库厂家都提供了具有实际意义的银行应用实践。并在案例中较为详细地描述了项目背景、采用的数据库关键技术、容灾目标、设计方案、典型灾难场景、切换过程、验证和实施过程等内容。容灾课题用实践经验为正在应用分布式数据库或有应用计划的金融单位开展相关工作提供了有价值的参考。

分布式数据库迁移：该课题联合金融业有分布式数据库成功迁移案例的金融机构和国内数据库厂家，结合实践案例和成功经验，形成国内分布式数据库应用迁移典型技术方案，为金融业在进行主流数据库向国内分布式数据库迁移时提供参考借鉴。迁移课题输出了多份完整的迁移方案，从预评估、前期验证、业务及数据库规划、业务改造与测试、数据迁移、投产切换、运维保障 7 个阶段描述了银行实际迁移项目的实施情况，并在方案中对整体迁移过程进行了分析总结，对项目增效进行了估算。用实践证明了从主流数据库向国内分布式数据库应用迁移切实可行，为正在准备迁移或有迁移计划的金融单位树立迁移成功信心、提供开展相关工作的参考。

2021 年联盟陆续完成了《分布式数据库金融应用评价模型》《分布式数据库混合应用负载（HTAP）研究》《分布式数据库运维体系建设指引》等课题，并发布了相关研究成果。

分布式数据库金融应用评价模型：该课题以分布式数据

库技术金融应用系列金融行业标准为依据，在统一的测试方法和计算模型下，对分布式数据库进行量化评价，为监管机构和金融机构进一步了解数据库产品的特性和发展情况提供数据支持，同时通过对权重的调整在一定程度上引导数据库产业的发展方向。

分布式数据库运维体系建设指引：该课题分析了分布式数据库的引入对于传统运维体系和运维能力提出的挑战，尝试总结运维实践的经验，从分布式数据库的系统设计、开发测试、投产上线、生产变更、日常运维以及下线管理等方面出发，对分布式数据库产品应具备的运维能力标准和监控指标体系进行需求调研，对分布式数据库在技术引入过程中运维管理体系提供指导与建议，为各分布式数据库厂商提供参考。

分布式数据库上云及多租户指引：该课题在关系型数据库为信息系统核心软件尝试附加云化能力的背景下，以向企业用户提供符合需求可灵活配置的分布式数据库云服务为目标，通过充分调研，收集到自动进行数据库的基础设施适配、方便部署和对外提供透明的数据库资源池化服务等方面的需求，详细对照分析了数据库上云及多租户的价值，将分布式数据库与云计算基础设施（计算、存储与网络）相匹配，提出了恰当的分布式数据库上云及多租户方案，进行了分布式数据库上云及多租户的发展趋势的预测，为各分布式数据库厂商提供参考。

（二）多层次标准建设

习近平总书记强调“标准决定质量，有什么样的标准就有什么样的质量，只有高标准才有高质量”。金融标准是我国金融业健康发展的有力支撑，在防范化解金融风险中具有重要作用。当前，分布式数据库正处于从起步阶段向加速阶段快速发展的关键时期，打造一个“以国家标准为底线，行业标准为门槛，企业标准为标杆”的新型标准体系，是分布式数据库在金融业能够快速部署、稳定运行、集约化发展的基础前提。

1. 行业标准

为稳步推动分布式数据库金融应用，实现基础设施数据高效存储和弹性扩展，规范分布式数据库技术在金融领域应用，人民银行于2020年11月发布《分布式数据库技术金融应用规范 技术架构》（JR/T 0203-2020）《分布式数据库技术金融应用规范 安全技术要求》（JR/T 0204-2020）《分布式数据库技术金融应用规范 灾难恢复要求》（JR/T 0205-2020）等一系列行业标准（以下简称《行标》）。

《行标》从强化分布式数据库技术对金融服务的技术支撑，提升分布式数据库技术对业务连续性和信息安全的保障能力的角度出发，包含技术架构、灾难恢复、安全要求等三项，主要内容有：分布式事务数据库的技术框架、功能特性、运维管理、基础支撑保障、用户管理、访问控制、数据安全、监控预警、密钥管理、安全管理、安全审计、容灾能力分级、灾备技术要求、灾备管理流程等。分布式数据库金融应用规范内容见图2。



图 2 分布式数据库金融应用规范内容图

2. 团体标准

联盟于 2021 年 4 月发布团体标准《分布式数据库技术金融应用 评估规范》(T-BFIA 004-2021)，并于 2022 年 4 月发布团体标准《分布式数据库技术金融应用 检测指南》(T-BFIA 009-2022) 配合行标的实施落地。其中评估规范对照《行标》要求给出对应的配套检测方法，对分布式事务数据库的测试指标、模型等进行标准化。检测指南是对评估规范的补充，详细描述了测评对象的测评指标、测评要求、测评步骤及结果判定等内容。以上团体标准为分布式数据库在金融领域应用中为各方提供行业评估指导，从而强化分布式数据库技术对金融服务的技术支撑，提升分布式数据库技术对业务连续性和信息安全的保障能力。

(三) 产品质量检测

分布式数据库金融应用质量检测体系（下文称“检测体系”）的目标是在进行分布式数据库金融应用标准验证的同时促进企业完善产品，提升产品在行业应用中的适用性、高效性。相关单位通过制定标准、标准验证和产品认证三个环

节推进健全质量检测体系，并以标准落地实施为手段，依托安全评估、产品评测等方式持续强化分布式数据库产品安全与质量管理，不断提升其对金融业务的支撑能力。质量检测体系主要包含以下几个方面：

1. 标准验证与适配性验证

标准验证以行业标准为依据，以团体标准为指导，从功能、安全防护能力、容灾恢复能力和性能四个方面，细分为337个检测项对分布式数据库产品进行验证。标准验证过程采用统一的方法和模型，可公正、客观的体现数据库产品各项能力，达成以下三方面目的：

一是验证数据库厂商的产品是否符合行业标准，是否满足金融应用的最基本要求。

二是结合标准验证工作，进一步打磨完善标准适用性、有效性，建立健全分布式数据库技术标准体系。

三是帮助金融机构缩小产品选型范围，减轻选型及调研成本。

适配性验证测试是在分布式数据库产品完成金融标准验证的基础上，验证其不同架构国产化测试环境中功能正确性，同时分析、比较进行同等计算资源国产化环境迁移时分布式数据库处理能力以及系统稳定性差异。适配性测试结果可以体现两个方面的情况，一是分布式数据库产品与国产芯片的适配程度，二是分布式数据产品与国产操作系统的适配程度。

2. 应用规范评价模型

标准验证与适配性验证同属于分布式数据库产品的合规性验证。通过验证的产品能够满足金融业应用的普通要求。为了进一步提升行业机构对数据库产品的了解，从符合要求的产品中选择出更加优秀的产品，联盟还制定了分布式数据库金融应用评价模型（以下简称“评价模型”）。

评价模型是以分布式数据库技术金融应用规范为依托，采用统一的测试方法和计算模型，对分布式数据库能力进行量化评价。评价结果可为监管机构和金融机构进一步了解数据库产品的特性和发展情况提供数据支持，同时计算模型中测试用例具有权重，调整权重的比值可影响评价结果，从而引导数据库产业发展方向。目前评价模型具备以下特性：

一是多维度评价，从基本功能、分布式事务及存储、运维管理、安全管理、高可用、容灾和性能等六个维度对数据库系统进行全面评价，每个维度的得分都是该维度内各检测项得分的加权平均值。

二是定义核心评价项，在评价模型中，结合金融机构对数据库功能的核心需求，划分了核心检测项。核心检测项采用一票否决机制，数据库产品如在某一维度不满足核心检测项，该维度的得分为 0 分。

三是设计分级测试用例。评价模型通过基础测试用例判断检测项是否符合标准要求，通过增强测试用例体现数据库对应金融应用需求的完善程度。各检测用例按照重要程度赋予不同的分值，所以各检测项的实际得分体现出了被测数据库产品的综合性能和特点。

3. 金融场景测试套件

目前分布式数据库产品在金融业选型及能力测评还未有统一的标准和模型。传统性能测试所采用的通用数据库基准测试，包括基于随机读写模型的 Sysbench，基于仓库进销存模型的 TPC-C 等，但这些基准测试业务模型相对简单，与金融业数据库应用场景有明显差异，难以体现金融应用中使用数据库的特点。

分布式数据库测试套件基于金融核心交易场景的测试模型，在金融账务系统的基础上，以存取款、转账、账户查询、结息批量等核心交易场景为基础，借鉴通用数据库基准测试的设计思路，通过抽象归纳和简化设计，形成以金融业务交易场景访问数据的性能测试模型和方法，用于指导金融业分布式数据库选型和性能测评。

金融场景测试套件具备以下特点。

(1) 场景设计：测试套件基于真实银行业核心系统，假设一个银行如图 3 所示，有 M 个机构、 N 个柜员，初始有 P 个账户，每个账户有一定初始金额。同一时刻有 T 个操作柜员并发地发起业务交易。

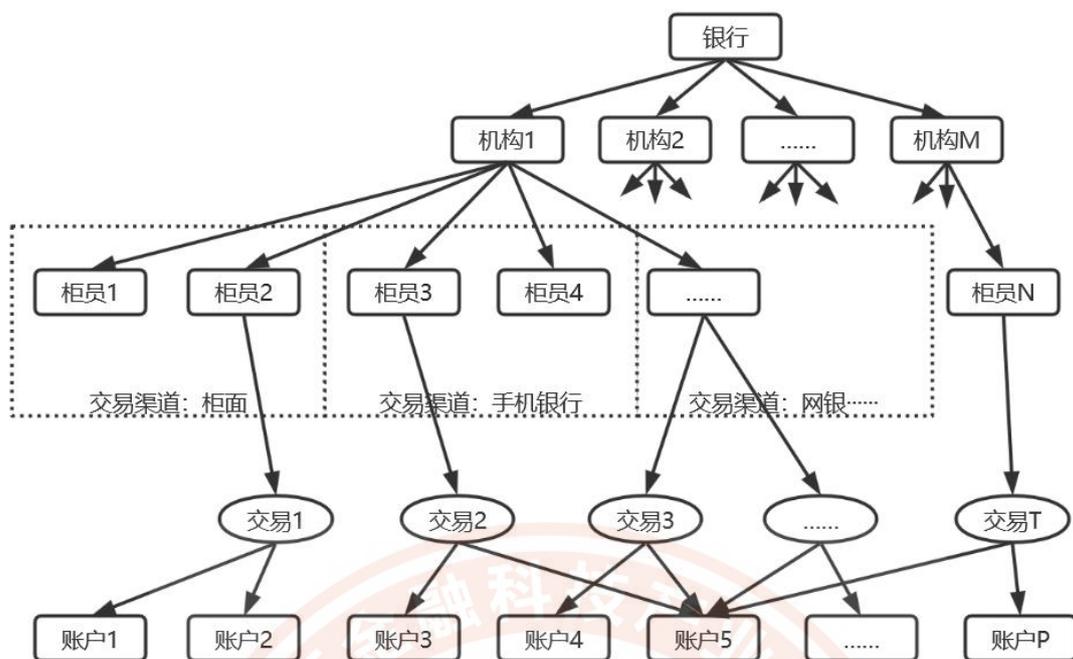


图 3 银行业务场景示意图

(2) 核心交易：测试套件选取金融业核心系统最具有代表性的 9 个交易，如表 2 所示：

表 2 核心交易表

交易代码	交易场景中文名称	交易场景英文名称	交易占比
1	账户开立	ACCOPEN	1%
2	账户存款	ACCDEPOSIT	5%
3	账户取款	ACCDRAW	5%
4	账户转账	ACCTRANSFER	60%
5	账户信息查询	ACCQUERY	5%
6	账户明细查询	ACCDDETQUERY	4%

7	账户结息	ACCINTSETTLE	后台批量
8	对账处理	ACCVERIFY	后台批量
9	账户支付	ACCPAY	20%

(3) 热点交易场景：热点交易指“账户支付”交易中的 10%集中访问某个特定账户。测试套件对此类情况进行了测试。

(4) 测试套件考虑了数据库的分布式事务能力，包括：

- **原子性：**利用“一对一转账 (ACCTRANSFER)”交易验证分布式事务的验证性。
- **一致性：**利用“对账处理 (ACCVERIFY)”交易验证分布式事务的一致性。
- **隔离性：**利用“账户明细查询 (ACCDQUERY)”交易验证分布式事务的隔离性。
- **持久性：**通过分布式事务的交易日志和数据库日志的比对验证分布式事务的持久性。

三、分布式数据库金融应用情况

(一) 类型分布

分布式数据库经过了整个金融业 3 年的实践，已经有众多的金融应用上线。联盟对部分的金融机构进行了抽样调查，分析了当前国内分布式数据库在金融业的应用分布情况，以下将从客户类型、资产负债类型与系统建设类型三个不同的维度，分析分布式数据库应用的分布情况。

1. 按客户类型划分

随着金融业从“以渠道为中心”、“以产品为中心”、“以账务为中心”转型到“以客户为中心”，将行业应用从客户类型的角度划分为个人业务、企业业务和同业业务三类如表 3 所示：

表 3 银行业务表（按客户类型分类）

客户类型	概念	举例
个人业务	金融机构对个人客户提供的存款、贷款、支付结算等服务的业务类型	个人缴费、个人存取款、个人转账等。
企业业务	金融机构对企业和政府提供账务类服务的业务类型	对公转账、工资代发等
同业业务	金融机构以金融同业客户为服务与合作对象，以同业资金融通为核心的业务类型	同业存放、债券投资、同业拆借、外汇买卖

(1) 个人业务：是指金融机构以个人客户为服务对象，提供存款、贷款、支付结算等服务的业务类型，例如个人缴费、个人存取款、个人转账等。

(2) 企业业务：是指金融机构以企业和政府为服务对象，提供账务类服务的业务类型，例如对公转账、工资代发等。

(3) 同业业务：是指金融机构以金融同业客户为服务对象，以同业资金融通为核心的业务类型，例如同业存放、债券投资、同业拆借、外汇买卖等。

根据联盟 2021 年对近 30 个金融机构分布式数据库应用案例的调研情况进行统计：个人业务类型应用占比约 36%，企业业务应用占比约 36%，同业业务应用占比 28%。

从调研结果分析，目前国内的分布式数据库应用在客户类型方面没有明显侧重，在个人业务、企业业务与同业业务相关的应用试点的比例相差不大。按客户分类的业务分布比例见图 4。



图 4 业务分布比例图（按客户分类）

2. 按资产负债类型划分

金融业应用从资产负债类型维度来划分，可以分为负债业务、资产业务和中间业务三类，如表 4 所示：

表 4 金融应用表（按资产负债类型分类）

资产负债类型	概念	举例
负债业务	负债业务指的是由金融客户将资金的使用权转移到了金融机构，构成了金融机构对客户负债的一种业务。	定期存款、活期存款、企事业单位存款等。
资产业务	资产业务指的是金融机构将资金使用权移交到金融客户侧，构成客户对金融机构负债的一种业务。整体来说，金融机构对客户的资金转移分为投资和借贷两类。	项目投资、个人贷款、企业贷款等。
中间业务	中间业务指的是金融机构和客户之间不进行直接的资金转移，是金融机构为满足客户所需的中间服务产生的业务，以收取客户服务费形式盈利。	结算清算、银行卡业务、电子银行、基金理财等。

（1）负债业务：是指由金融客户将资金的使用权转移到了金融机构，构成了金融机构对客户负债的一种业务。一般个人负债指的就是各类活定期存款，企业负债则是企业单位存款。

（2）资产业务：是指金融机构将资金使用权移交到金融客户侧，构成客户对金融机构负债的一种业务。整体来说，金融机构对客户的资金转移分为投资和借贷两类。

（3）中间业务：是指金融机构和客户之间不进行直接

的资金转移，是金融机构为满足客户所需的中间服务产生的业务，一般以收取客户服务费形式盈利。例如传统的结算清算、汇兑等，或者新兴的外汇、基金、理财等。

根据联盟分布式数据库的金融应用情况调研问卷显示，分布式数据库在金融领域应用案例中，资产业务类应用占比约 22%，负债业务类应用占比约 11%。另有 67%的金融机构选择中间业务作为试点，其中银行卡业务（22%）、结算清算业务（17%）和渠道系统业务（17%）受到分布式数据库应用试点的青睐。按负债类型分类的金融应用比例见图 5。

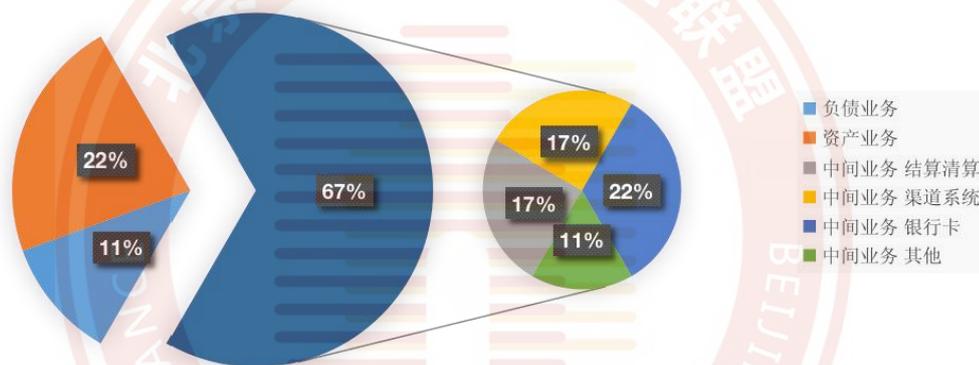


图 5 金融应用比例图（按负债类型分类）

3. 按系统建设类型划分

金融业应用从系统建设类型来划分，可分为管理系统、渠道系统、业务系统、支撑系统等四类，如表 5 所示。

表 5 金融应用分类表（按系统建设类型）

系统建设类型	概念	举例
管理系统	用于内部管理、商业决策、数据分析类的系统	CRM 系统、FM 系统、风险管理系统等。
渠道系统	即金融机构的电子化渠道	电子银行、电话银行、

	系统	银联业务、综合前置系统等。
业务系统	即以核心业务为主的金融机构各种对外业务系统。	核心业务系统、结算清算系统、信用卡系统等。
支撑系统	即配套的各类金融机构用于支撑的非金融系统。	报表平台、OA 平台、征信系统、信息查询系统等。

(1) 管理系统：是指负责金融机构内部管理的系统，包括有 CRM、FM 等。

(2) 渠道系统：是指管理整个金融机构对外的资金流转渠道的系统，包括电子银行，电话银行、网点柜台、短信平台等。

(3) 业务系统：是指核心业务系统、结算清算系统、信用卡系统这一类对外服务的业务管理系统，是银行的重要系统。

(4) 支撑系统：是指用于保障、提供内部支撑服务的系统，例如报表平台、OA 平台等。

从系统建设的角度来看，目前国内分布式数据库在各个应用类型中均有使用。调查显示，业务系统与支撑系统使用最多，分别占比 42%与 25%。就业务系统的细分应用类型分析，投资类应用与银行卡应用使用分布式数据库较多，占比均为 12%，而传统的账务核心系统使用较少，占比约为 6%。按建设类型分类金融应用比例见图 6。

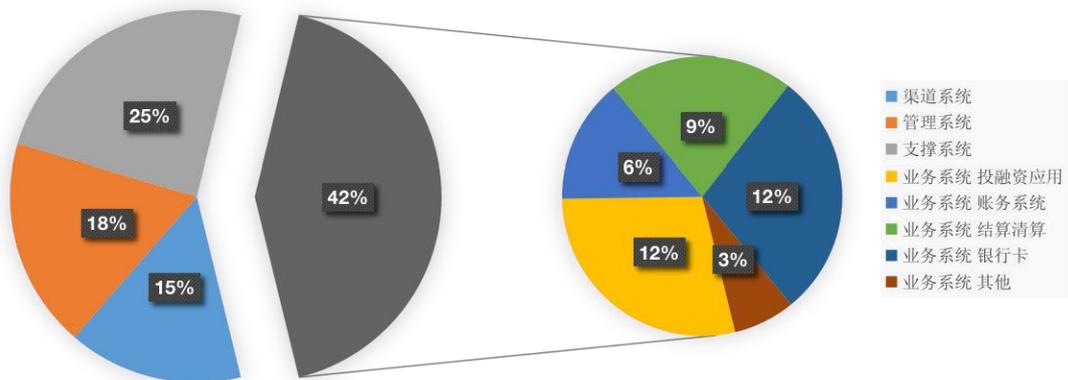


图 6 金融应用比例图（按建设类型分类）

（二）架构设计

随着金融业务环境的发展变化，金融业务与 IT 系统之间已形成相互促进的良性循环，IT 系统的技术发展和应用，推动金融业务的创新；金融业务对 IT 系统提出更高的要求，促进 IT 系统的技术演进。互联网+金融场景的爆发式增长，集中式核心系统已经难以支撑海量用户、海量数据、高并发、跨数据中心高可用的业务处理需求；同时，集中式架构的核心系统是庞大的单一应用，系统升级迭代复杂，在互联网时代很难要求快速的业务创新。

金融业在变革面前，需要进行顶层设计，形成业务和 IT 高度融合的顶层架构。在信息化建设方面，利用新技术，提高 IT 的适应性、灵活性、敏捷性和数据分析能力。为了达到这个目标，金融应用架构的发展趋势是互联网化、平台化、集约化和智能化。

因此金融应用的 IT 架构不断演变，从逻辑架构演进分为“胖核心”架构、“瘦核心”架构、“分布式”架构三个阶段。金融应用架构设计及转变路线如图 7 所示。



图 7 金融应用架构设计及转变路线

1. “胖核心”架构

“胖核心”架构指的是银行内部综合业务集中的架构。2000 年至 2010 年左右的十年间，大型金融和城市商业金融均采用该架构，业务系统耦合度极高，难以剥离，底层数据库采用集中式，系统整体思路建设是“大而全”。“胖核心”架构见图 8。



图 8 “胖核心”架构图

2. “瘦核心”架构

2010年以后，随着电子购物（电商）、移动互联网的发展，“胖核心”（核心系统业务集中）架构已经无法满足金融业务发展的需要。因为金融业务变动频繁，业务系统牵一发而动全身，“胖核心”架构的瓶颈逐步显现。此时金融业务系统开始拆分为多个子系统或中心来应对这种变化，称为“瘦核心”架构，于是按照交易、业务等不同的角度拆分出记账核心、贷款核心、成本核心等各个核心系统，并引入EAI总线进行管理。集中式的架构并没有发生太大的改变，数据库层依旧采用集中式架构进行支撑。“瘦核心”架构如图9所示。

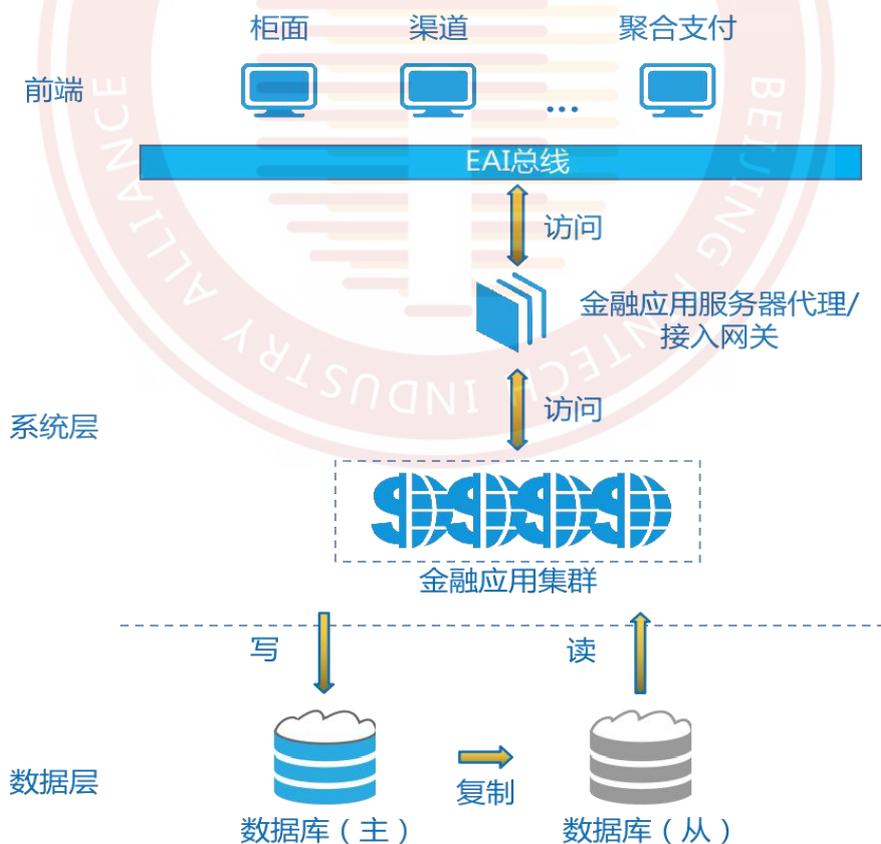


图9 “瘦核心”架构图

3. “分布式”架构

互联网企业在大数据时代下带来了新业态，以其独特的经营模式和价值创造方式，对商业银行传统业务形成直接冲击。在金融科技的支撑下，金融应用采用耦合度更低的 SOA 总线，将业务和存储过渡到分布式架构。分布式”架构如图 10 所示。

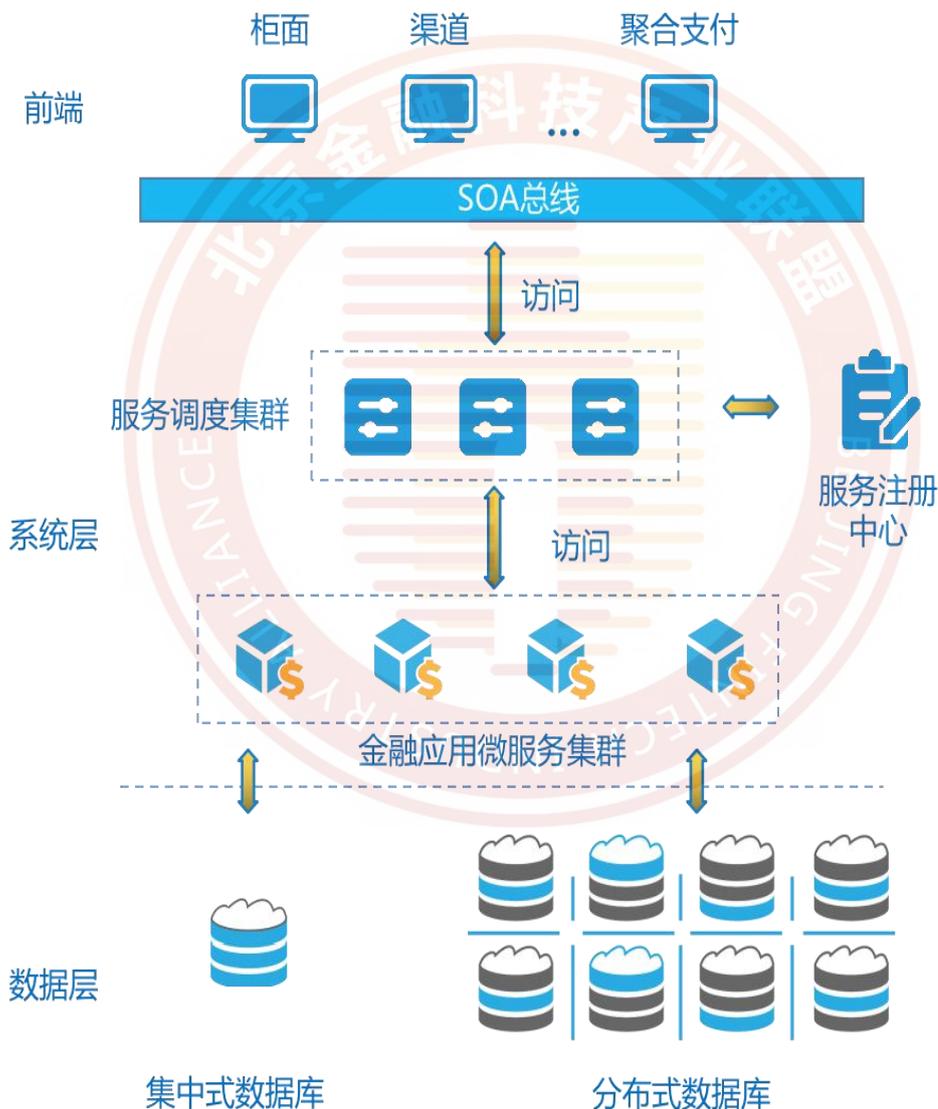


图 10 “分布式”架构图

“分布式”架构可带来以下收益：

(1) 高并发性能。

(2) 提供水平线性扩展和弹性伸缩能力。

(3) 提升故障隔离能力，提高系统可用性。

(4) 支持多活架构，提升容灾能力。

(5) 成本优势明显。分布式系统基于相对低廉的通用服务器设备构建，获取相同处理能力的成本远低于传统架构。

(6) 能够为业务产品创新、降低功能耦合程度等方面的提供更多的支撑。

(7) 提供灰度发布能力，实现版本平滑升级等。

(三) 场景应用

分布式数据库是金融信息系统中最重要的组件之一，其实施过程是个复杂的系统工程，若管控不当，则会存在上层业务连续性中断的风险。经过多年的实践和课题研究，联盟总结出适合分布式数据库使用场景的实施原则、步骤以及关键系统要求，确保分布式数据库实施的正确性、连续性和稳定性。

为真实了解各金融机构对分布式数据库的实施情况，联盟开展抽样调查，从问卷结果分析了国内分布式数据库在金融业的应用分布情况。

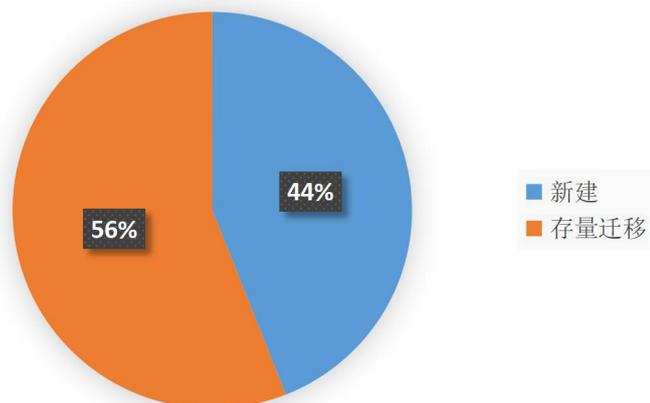


图 11 分布式数据库新建/迁移占比图

根据金融应用转型中涉及到的分布式数据库上线需求，对应用移植和新建两种上线场景进行了统计分析，其中存量迁移占总比例的 56%，新建需求占 44%，显示存量业务迁移仍然是当前分布式事务型数据库的主要应用场景。分布式数据库新建/迁移占比情况如图 11 所示。

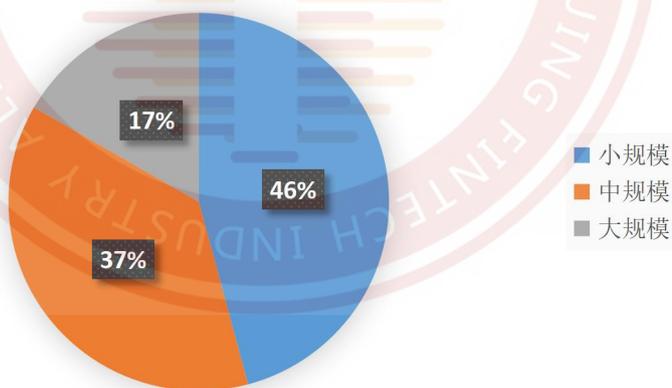


图 12 分布式数据库集群规模占比图

将分布式数据库应用案例按集群规模进行分类：20 个节点以下属于小规模部署，20~100 个节点属于中型规模部署；100 个节点以上属于大规模部署。根据分布式数据库应用调研，小规模部署占 46%，中型规模占 37%，大规模部署占 17%。

小规模部署无法凸显分布式数据库的优势，而统计结果显示，小规模集群部署占较大比重，说明不少银行依然将分布式数据库作为技术研究和试商用，分布式数据库市场依然处于孵化期。当前分布式数据库集群规模占比如图 12 显示。

下面分别针对增量和存量迁移的实施情况进行分析研究。

1. 新建场景

随着云计算、大数据、人工智能等新一代信息技术发展普及，外加疫情影响，国内金融业数字化转型加剧。目前，金融机构普遍具有海量的数据存储及动态的数据计算响应需求，分布式数据库基于其强大的数据处理能力以及在线横向扩缩容特性，使其在数字化转型过程中得到广泛应用。根据联盟相关调研显示，和传统业务迁移相比，金融机构新建业务采用分布式数据库更为普遍，业务场景以批量处理为主。此外，部分新建业务采用了单元化架构，确保数据安全及应用快速迭代更新。大多数的新金融应用认可分布式数据库作为基础架构，也证明了分布式数据库在架构上的选型具备先进性。

（1）新建金融应用业务场景分析

根据联盟抽样调查显示，在金融新建业务场景中，复杂度越高的业务场景对分布式数据库的依赖度越高，部分海量数据计算业务场景也开始选型分布式数据库。

业务场景分类

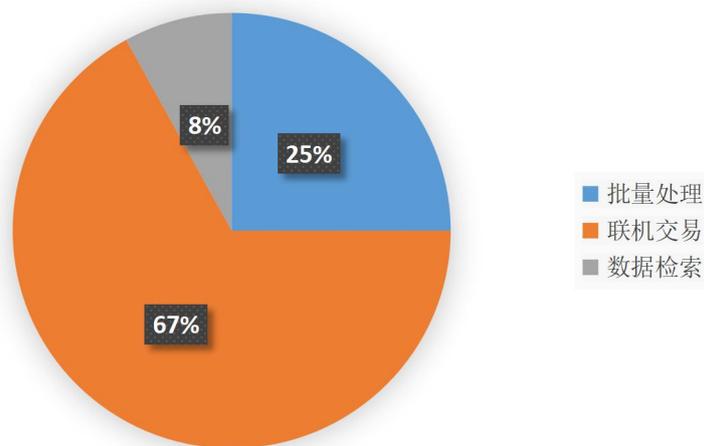


图 13 分布式数据库业务场景占比图

根据调查，联机交易场景是目前分布式数据库应用最多的场景。联机交易直接面向客户，并且基于金融业的特殊性，对数据库性能以及高可用性均有较高要求。同时数据检索，批量处理两个场景也普遍采用了分布式数据库系统。传统的数据检索或者批量处理普遍依赖于大数据架构，随着分布式数据库计算处理能力的提升及良好的 SQL 语法兼容性，分布式数据库开始逐步应用于数据检索以及批量处理场景。分布式数据库业务场景占比如图 13 所示。

应用系统分类

目前分布式数据库在新业务系统应用场景中以金融机构同业业务和个人业务为主，占比均为 33%，其次是公司业务，占比 24%。机构内部应用占比相对较少。由此可见分布式数据库系统更多应用在较为复杂的业务场景，对底层基础软件性能具有较高要求，同时个人业务这类具有一定零售属性的业务场景也对分布式数据库有较强需求。

(2) 新建金融应用系统架构分析

由于分布式数据库架构特殊性，新建应用会从应用架

构，数据架构等方面进行设计。根据金融联盟的统计结果，中规模的分布式数据库集群占比较多。此外，为更好的适配分布式数据库，新应用会在应用设计上进行单元化架构的设计以及数据模型的考虑。

集群规模：从问卷调查结果来看，在新业务场景中，分布式数据库集群应用规模以中规模为主，占比近 50%，大规模集群数量占比最少为 18%。和存量应用移植集群规模相比，新业务中等规模数据库集群数量明显提升，大规模集群数量占比则变化不大。由此可见，相对传统业务，金融机构更愿意在新业务中尝试采用分布式数据库集群架构。新业务历史包袱小，迁移升本低，更容易发挥分布式数据库的架构优势。

应用架构选型：根据联盟抽样结果显示，部分新应用应用架构选型过程中进行了应用单元化的拆分，采用 SOA 服务总线。服务化、单元化的设计思想可以将应用系统拆分为若干较小规模的独立单元，每个单元独立开发部署。相比大型单一系统，功能繁杂，开发规划周期较长。单元化（服务化）架构数据安全性得到提升，同时应用开发更加灵活，更易实现应用快速迭代开发和灰度发布，有效满足金融机构业务场景需求。

数据模型设计：数据库传统的 E-R 关系模型在分布式数据库建模过程中依然适用，但为了尽可能避免跨节点的数据传输，需要注意数据分布方式和分布规则的选择。通过选择合理的分片规则以及数据分布策略，可以最大程度保证数据处理在单分片内完成。

基于联盟的抽样显示，几乎所有的新建应用都会优先在架构设计上进行数据模型的重新设计，模型设计考虑点如下表 6 所示：

表 6 数据模型设计因素表

数据模型设计	详解
数据分布策略	<p>随着业务的快速发展，数据量会急剧增大，在设计模型的时候通常要对数据进行分区，比如按照时间做 Range 分区、按照记录的某个特征值做 List 或 Hash 分区。保持每个分区的大小适中，对系统的负载均衡、调度以及扩展性都有帮助。</p>
表的分布类型	<p>创建表对象时，一般有两种选择：一种方案是，将表按照指定的规则分布到不同的数据节点，这种方案在读/写数据时可以利用各个节点的 IO 资源，大大提升表的读/写速度。第二种方案是，将表中的全量数据在集群的每一个分布式数据库节点上保留一份。主要适用于表的记录集较小，但关联查询使用频繁。这种存储方式的优点是每个分布式节点上都有此表的全量数据，避免产生跨节点的分布式访问。</p>
数据一致性	<p>按照 CAP 理论，一致性 (Consistency)、可用性 (Availability)、分区容忍性 (Partition tolerance) 三个要素最多只能同时实现两点，不可能三者兼顾。而数据的一致性和系统可用性都是金融业务系统的基本要求，金融分布式数据库需要能在 CP 和 AP 间灵活切换。对于核心类应用，金融级分布式数据库必须满足分布式事务强一致，确保基于分布式数据库的交易数据的正确性和一致性。对于非核心场景，需要在满足 AP 特性的基本要求下，实现最终一致性的“一致性”保障，避免账务风险。</p>

2. 存量移植场景

目前，金融应用存量迁移过程分为五步，包括：迁移评估、业务改造、数据迁移、数据库割接、运维优化。还有部分系统涉及到数据同步改造。

在金融应用数字化转型过程中会遇到大量的应用移植情况，分布式数据库基于分布式架构及多活中心特性可以将应用进行平滑移植到新的数据引擎上。根据联盟的抽样调查显示，金融分布式数据库的实施与迁移工作，主要呈现如下规律：

(1) 方案设计

传统金融业务大多基于 DB2、Oracle 等商业数据库系统，无论应用系统是金融企业自研，还是基于 ISV（软件开发商）的产品，均已建设较长时间（核心系统建设时间均在 10 年以上），由于历史原因，相关系统的业务逻辑，设计文档，研发代码可能存在一定缺失。

如需迁移，需至少完成如下工作：

数据库采集分析：即对源数据库的数据对象、类型、性能、部署模式、使用的高级特性（如加密表、存储过程等）进行采集和分析。

应用 SQL 采集分析：即对应用程序所有功能涉及到的 SQL 实现采集和分析，为应用改造提供数据支持。

兼容性评估：针对源数据库采集分析、应用 SQL 采集分析形成的数据，进行计划迁移的目标数据库与源数据库的整体兼容性评估。

通过兼容性评估，即可与软件开发团队/ISV，大致分析

出改造工作量，改造风险等。

(2) 兼容验证

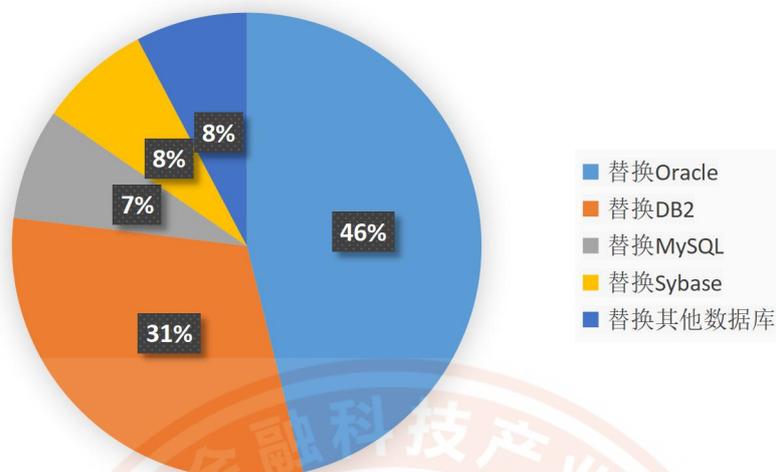


图 14 存量业务的传统数据库替换比例图

调查显示，传统金融业务大多基于 DB2、Oracle 等商业数据库系统，且或多或少利用了这些商业数据库高级特性，例如，存储过程、物化视图、触发器、自定义函数等。要实现平滑迁移，分布式数据库需支持传统集中式数据库系统的存储过程、触发器、自定义函数等特性，能够做到 SQL 语法与传统关系型数据库尽可能兼容。在应用移植过程中，尽可能做到对应用程序透明，或应用改写工作量降到最低。存量业务的传统数据库替换比例见图 14。

金融机构通常采用两种方案：

彻底改造：直接将数据库迁移到分布式数据库。主要面对应用已经在前期进行业务拆分、模块化、微服务化、单元化设计，又或者基于某标准分布式开发框架设计的业务系统。这类系统已进行了业务逻辑解耦，且已较少使用包括存储过程、触发器、自定义函数等传统集中式数据库的高级特

性，而是直接将数据库当做数据存储使用，应用逻辑主要集中在业务代码侧。此类迁移，源数据库改造迁移到分布式数据库难度较低，业务对分布式数据库 SQL 兼容性要求主要集中在 SQL 语法和数据类型的支持，无需进行存储过程、触发器等功能的支持。

平滑迁移：将改造成本尽量降低。此类系统通常需要分布式数据库支持传统集中式数据库系统的存储过程、触发器、自定义函数等特性，能够做到 SQL 语法与传统关系型数据库尽可能兼容。在应用移植过程中，尽可能做到对应用程序透明，或应用改写工作量降到最低。

（3）业务改造

调查显示绝大多数的业务改造周期通常在半年以内，金融应用迁移改造所需平均时间为 6.5 个月。一些关键核心业务，如账务核心系统，涉及复杂的分布式转型和性能优化，需更长的业务改造时间。金融机构的应用迁移用时占比调查反馈见图 15。

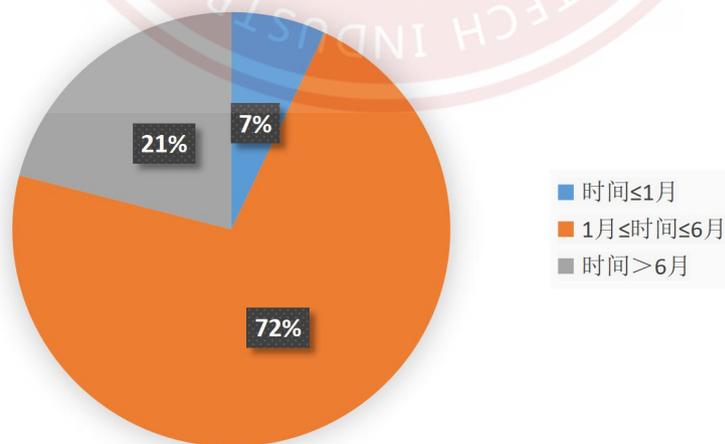


图 15 应用迁移用时占比图

这里要说明的是，真正的代码开发时间只有业务改造周

期的三分之一。在业务改造过程中，数据对象的改造，SQL的改写，业务逻辑的改写统称代码开发。在代码开发前，有约三分之一的时间是在进行兼容性评估，改写设计工作，例如详细地数据对象改动方案，评估哪些业务 SQL、业务逻辑等。剩下的三分之一主要是进行测试，包括业务逻辑正确性，数据库和业务性能，与其他系统互通性等。

(4) 数据迁移

数据迁移是应用移植的第三步，主要包括环境的迁移、结构迁移、数据迁移、数据对比几个步骤。

因为存量系统的数据通常都在 TB 级别及以上，除了数据迁移本身需要很长的时间外，在不同类型的数据库之间确保数据迁移过程中的数据完整性和一致性也有很高的要求。另一方面，金融系统对业务连续性要求越来越高，要求数据迁移、迁移割接过程尽量不影响或少影响生产交易。因此，数据迁移一般采用数据库迁移工具，如全量迁移、增量迁移（或称在线迁移）、数据比对等工具实现数据迁移，并在新业务系统上试运行（验证）一段时间才进行割接。

(5) 业务割接

数据库割接是指在业务验证满足相关预定要求基础上，对老系统的数据库（含业务系统本身）进行整体割接。下图显示一些联机交易型业务的割接停机时间统计信息，对于在线交易类业务的平均割接停机时间都要求在分钟级。割接停机时间分布见图 16。

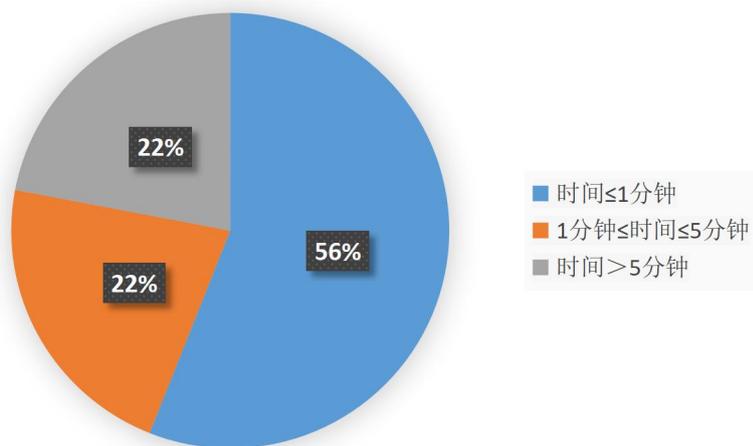


图 16 割接停机时间分布占比图

为了保障割接的顺利与异常的管控，割接前金融企业通常需要制定完整的“回退方案”、“割接方案”，并在测试系统演练几次后方可执行。

(6) 运维优化

运维优化是指在割接前、中、后的过程中，金融企业需要熟悉相关分布式数据库的运维操作，包括但不限于：数据库备份、数据库性能分析与性能问题排查、数据库的监控巡检、数据库常规运维等。对于割接中、后一段时间通常还需要 ISV、数据库厂商进行配合护航，直至数据库完全割接成功并成功运行预估时间。

(四) 服务器部署

分布式数据库相比传统集中式数据库既可以保证数据强一致又能实现水平扩展，可以满足金融机构各类业务系统的需求，因此金融机构分布式数据库不仅应用在金融机构的内部业务与一般业务上，也在逐步应用到核心业务上。随着国内分布式数据库的不断成熟，以及与国内 CPU 及操作系统的适配不断完善，国内金融机构基础设施和平台会逐步迁移

到国内服务器及操作系统上。据联盟分析，预计 2023 年支撑办公 OA 业务的数据库将实现全栈可控。预计 2025 年，支撑一般业务的数据库将有 50% 以上的流量运行在国内平台上，支撑核心系统的数据库实现全栈可控案例也将逐渐增多。

金融机构对数据安全具有极高的要求，目前金融应用主要是以本地化服务器部署为主，部分采用私有化专有云部署，较少采用服务化公有云部署。下面从本地化服务器部署、私有化专有云部署、服务化公有云部署三个方面详细介绍金融应用部署情况。

(1) 核心业务服务器部署情况

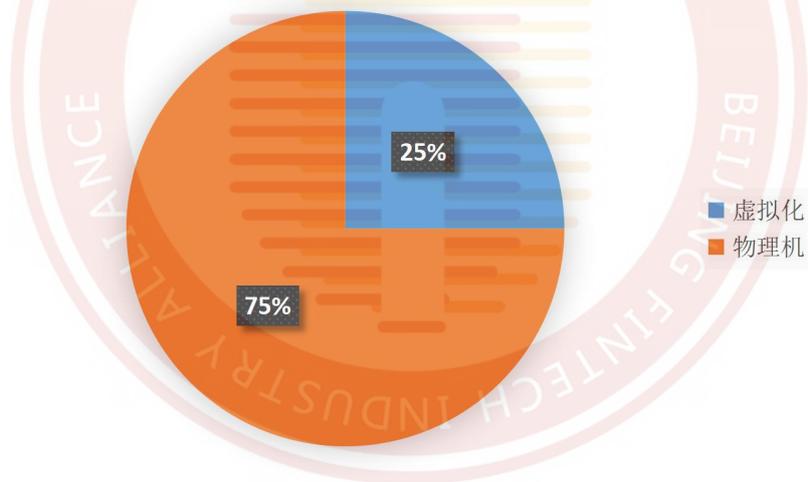


图 17 分布式数据库部署方式占比图

核心业务服务器部署本地化仍是首选，调研结果显示目前约 75% 的分布式数据库直接运行在物理服务器上、约 25% 的分布式数据库运行在云服务器（虚拟化）上。分布式数据库部署方式占比见图 17。

x86 芯片服务器和商用 Linux 系统是目前数据中心的主流 IT 基础设施，技术成熟，生态完善。数据库是重要系统，

调查显示，为保证安全生产，目前约有九成的分布式数据库集群依然运行在 x86 服务器上。近年来，随着国内芯片和操作系统的不断进步，目前约有 7% 的分布式数据库集群开始运行在国内芯片为核心的服务器上。分布式数据库部署服务器类型占比见图 18。

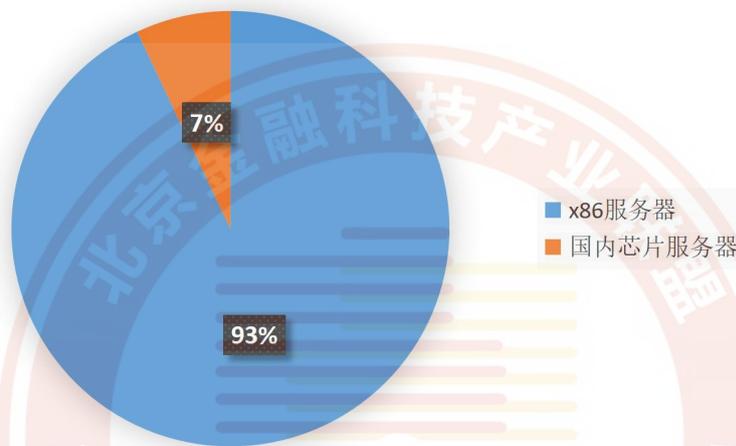


图 18 分布式数据库部署服务器类型占比图

部署在本地化的服务器中的业务典型的是银行账务系统，监管对其有严格的性能及可用性的要求，需要具备异地容灾的能力。因此支撑该类业务的分布式数据库运行在云服务器上，这会带来一些不可控风险。直接部署到物理服务器上是最优解，它也可以与专有云中的其他产品（例如存储、网络、负载均衡等）无缝对接，共用专有云的服务。

（2）非核心业务服务器部署情况

非核心业务选用专有云部署逐步增多。随着云计算技术的不断发展，金融机构的 IT 基础设施由原有烟囱式的系统建设模式向资源池化、动态扩展的云计算平台演进。业务应

用部署在云服务器上，将原本离散的业务打通，并通过互联网化、微服务化助力金融机构持续创新。

数据库作为一个软件，通常都可以运行在云服务器上。根据联盟内部统计，与采用物理服务器部署方式相比，在虚拟化平台上部署分布式数据库软件，受限于虚拟网络的高延时和远程磁盘的低 IO，性能通常会大幅降低。尤其是在高并发场景下，性能下降会更加明显。因此，分布式数据库会将业务分级，把诸如 OA、管理、中间业务等非核心系统经过评估后部署至本地专有云上。

OA 及管理类业务部署至本地化云主机：对于访问流量不高，性能和可用性要求较低的管理类业务，可以将支撑这些系统的分布式数据库部署到专有云平台的标准云服务器上。项目上线前，需要对运行在云服务器上的数据库进行压力测试，确保其性能能够满足业务需要。

中间业务及非核心表外业务部署至本地化裸金属服务器：对性能及可用性都有一定要求的中间业务或者非核心表外业务，承载这些业务的分布式数据库可以部署在专有云的裸金属服务器上。裸金属服务器是使用下一代虚拟化技术的新型计算类服务器，与上一代虚拟化技术相比，下一代虚拟化技术不仅保留了普通云服务器的弹性体验，而且保留了物理机的性能与特性。因此，裸金属服务器融合了物理机与云服务器的优势，运行在裸金属服务器上的分布式数据库可以

直接访问处理器和内存，无任何虚拟化开销，性能相较云主机有大幅提升，足以支撑银行非核心业务系统。

(3) 服务类业务服务器部署情况

服务类业务服务器选用公用云部署较多。云数据库即开即用，可以让金融机构快速获得高可用、高性能的数据库，并大幅减少运维工作量，让金融机构专注于自身业务发展。尤其是在中小型金融机构中，低人力成本和建设成本对其选择云上的分布式数据库有着天然的优势。除此以外，在可用性和扩展性上也比小型金融机构自建要提升很多：

- **切换可用区。**分布式数据库支持多区域（Region）部署、多可用区（Available Zone）部署，发生故障时，可以根据优先级自动切换到一个健康的可用区。

- **让数据库适应快速增长的业务。**分布式关系型数据库，由一个个独立的通用计算机作为节点，数据根据容量大小、可用性自动分布在各个节点，当数据量不断增长时，分布式数据库可以平滑扩展节点的数量。

(五) 容灾备份

1. 容灾系统概述

为了保证业务连续性，实现业务发展规划，金融系统需要建设一套能够抵御和化解各种灾难情况的容灾备份系统。

容灾系统是指在相隔较远的同城或异地，建立两套或多套功能相同的 IT 系统，多套系统之间可以进行健康状态监视和功能切换，当一处系统因意外停止工作时，整个应用系统可以切换到另一处，使该系统功能可以继续正常工作。

在《分布式数据库技术金融应用规范 灾难恢复要求》中，根据分布式数据库应用于金融业务系统的重要程度和发生故障的影响范围、危害程度，将其容灾能力等级划分为6级。应用于金融领域的分布式数据库灾难恢复能力应至少达到4级及以上要求，具体对应的RTO、RPO、灾备部署等关键指标要求见下表：

表7 部署关键指标表

容灾能力等级	RTO（恢复时间目标）	RPO（恢复点目标）	灾备部署
4级	≤30分钟	0	同城灾备或异地灾备
5级	≤15分钟	0	异地灾备
6级	≤1分钟	0	异地灾备

应用于金融领域的分布式数据库，应综合分析业务风险、业务功能和中断影响，根据成本风险平衡原则以及运行管理要求，选择相应的灾备建设模式。对于同城灾备，应支持同城两中心或同城多中心部署架构；对于异地灾备，应支持两地三中心或多地多中心等部署架构。

2. 灾备模式分析

相关调研结果显示在分布式数据库金融应用中，采用同城双活灾备模式的占比38%，采用本地备份灾备模式的占比21%，采用多地多中心灾备模式的占比14%，采用多地多中心+同城双活灾备模式的占比10%，其余占比总计17%。分布式数据库金融应用灾备模式分布情况见图19。

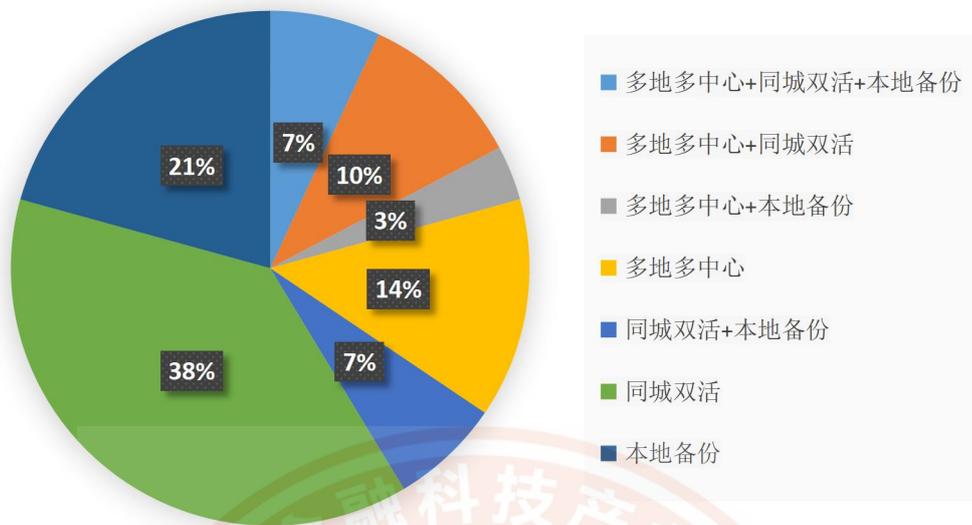


图 19 分布式数据库金融应用灾备模式分布图

若按照本地备份、同城双活、多地多中心三类进行统计分析，则可以得到分布式数据库金融应用三种灾备模式分布情况，见图 20。



图 20 分布式数据库金融应用三种灾备模式分布图

综合上述调研的数据，可以得出以下结论：

(1) 同城双活灾备模式是首选

一方面同城双活灾备模式符合《分布式数据库技术金融应用规范灾难恢复要求》，即达到4级容灾能力要求，能够应对机房级故障，较好地保证业务连续性；另一方面与多地多中心灾备模式相比，同城双活的建设成本、运维成本、应用适配复杂度等方面都更低。

（2）采用本地备份灾备模式的应用系统仍较多

尤其值得注意的是，采用本地备份的应用系统中，不仅包含金融机构的内部业务，也涉及面向客户的个人业务、公司业务以及金融同业业务，不符合《分布式数据库技术金融应用规范 灾难恢复要求》的要求。

3. 跨数据中心容灾架构

以银行业为代表的金融领域服务渠道正逐渐呈现多渠道、移动化和全天候的特征，核心业务系统对连续性的要求已达到“365天×24小时”级别。在此背景下，要求业务数据实现跨数据中心双活，即在两个数据中心实时进行备份，一旦失去一个中心，所有业务可以及时切换至另一个数据中心继续执行。

跨数据中心容灾架构，目前有同城双活和两地三中心两类：

（1）同城双活架构

数据单向异步复制。此架构中应用系统跨数据中心双活，数据中心A将数据从存储节点通过专网快速复制到同城的数据中心B。业务流量通过负载均衡或者流量路由可以访问不同的数据中心，当某一数据中心宕机后，能将流量切换

至另一个中心能够满足 RTO 小于 30 秒, RPO 等于 0 秒的灾难恢复要求。此架构需要注意的是, 写流量只能对 A 中心进行。此种同城双活部署架构见图 21。

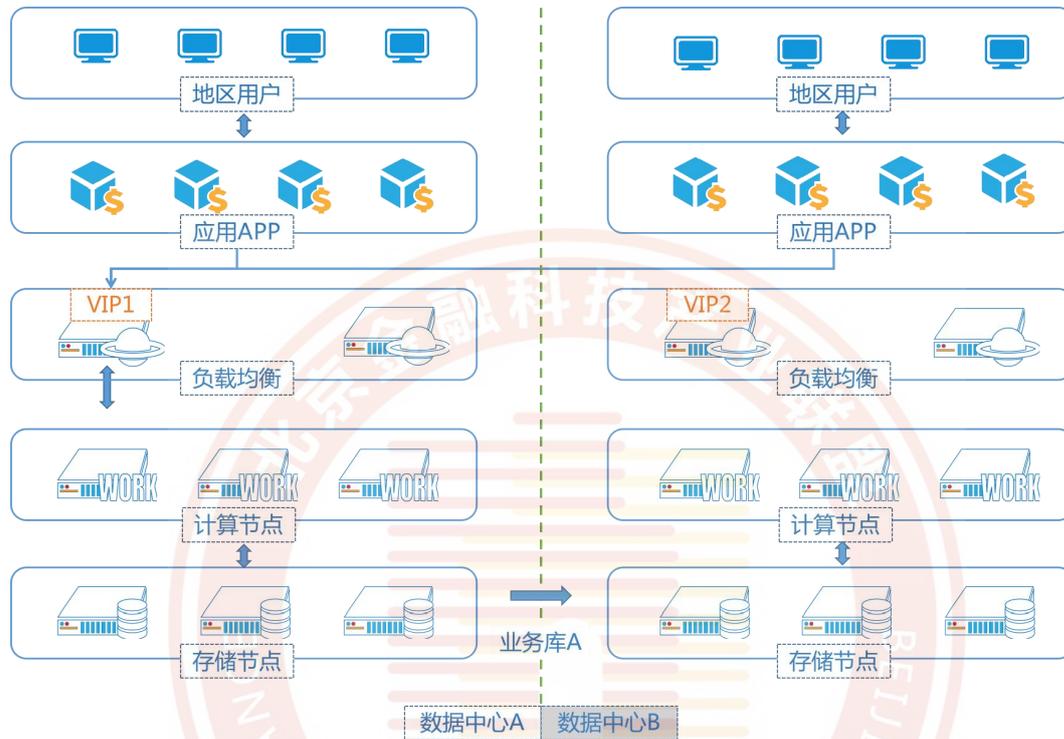


图 21 同城双活部署架构一

数据切分双向复制. 此架构中应用系统跨数据中心双活, 业务库按使用方式切割, 数据中心 A 的业务库 A 将数据从存储节点通过专网快速复制到同城的数据中心 B 的业务库 A 中, 同时数据中心 B 的业务库 B 将数据从存储节点通过专网快速复制到同城的数据中心 A 的业务库 B 中。业务库 A 的写流量路由到 A 中心, 业务库 B 的写流量路由到 B 中心, 可以将写流量均衡。当某一中心宕机后可以将该中心的写流量路由到另一中心即可。能够满足 RTO 小于 10 秒, RPO 等于 0 秒的灾难恢复要求。此种同城双活部署架构部署见图 22。

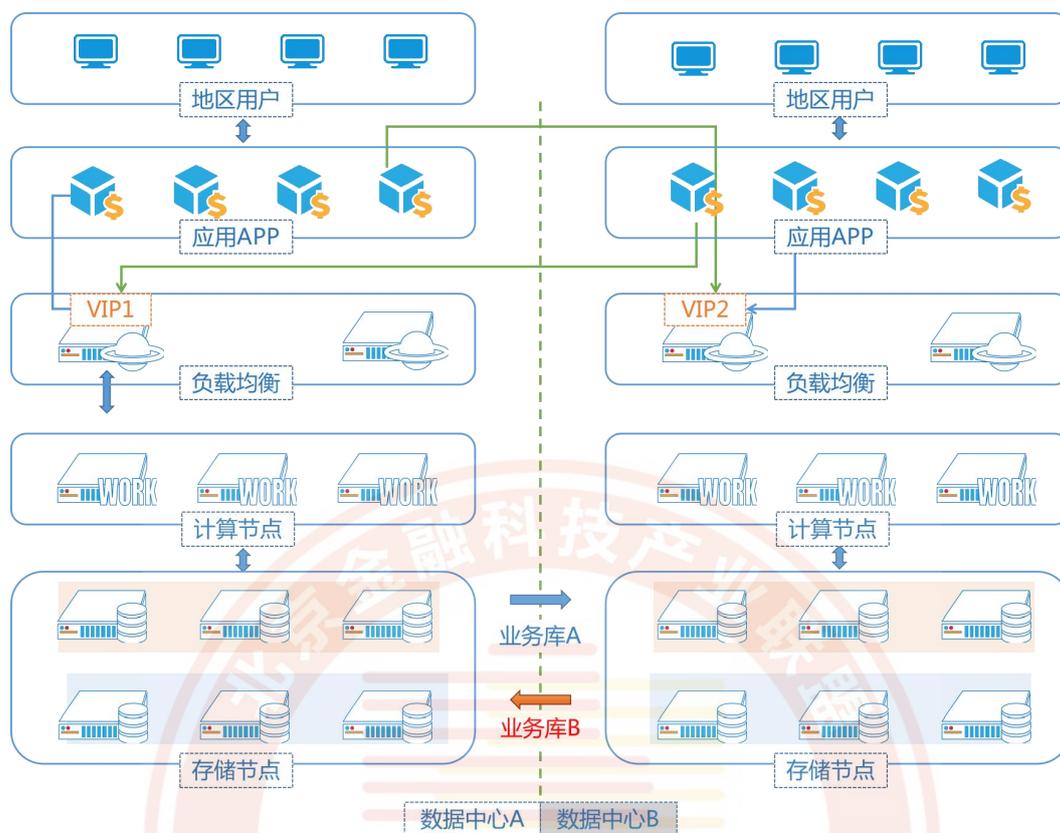


图 22 同城双活部署架构二

数据完全双向复制.此架构中应用跨中心部署，业务流量无论读写均可访问不同中心，底层数据双向实时同步复制，满足数据的最终一致性要求。此架构仅限于无状态的应用系统，数据不要求强一致，能够满足 RTO 等于 0 秒，RPO 等于 0 秒的灾难恢复要求。此种同城双活部署架构的部署见图 23。

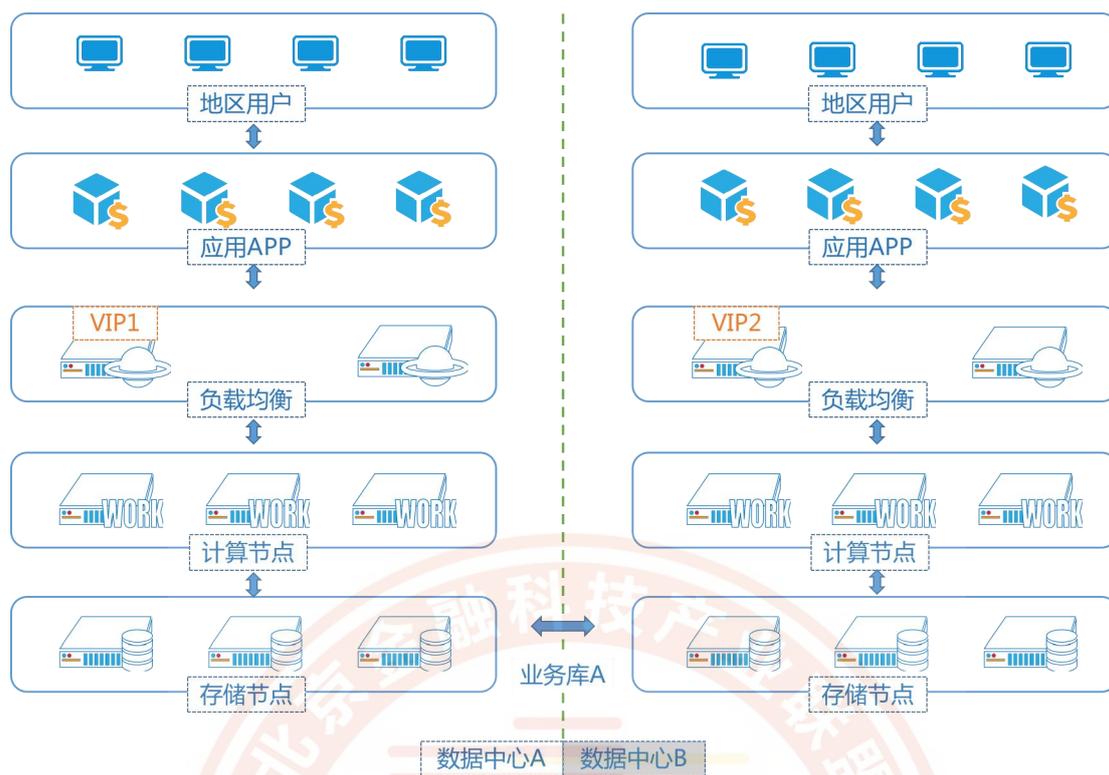


图 23 同城双活部署架构三

(2) 多地多中心架构

集群间复制。此架构中系统跨中心部署至三个中心，AB 中心为同城双活，数据复制延迟较低，C 中心为异地灾备，数据复制延迟较高。A 中心通过异步复制方式数据通过数据库的外部接口和软件（如数据增量接口和消息中间件）经专网复制到同城中心 B，然后再经外部网络复制异地中心 C。此架构对应用系统的种类无限制，能够满足 RTO 小于 10 秒，RPO 等于 0 秒的灾难恢复要求。此种多地多中心（两地三中心）部署架构见图 24。

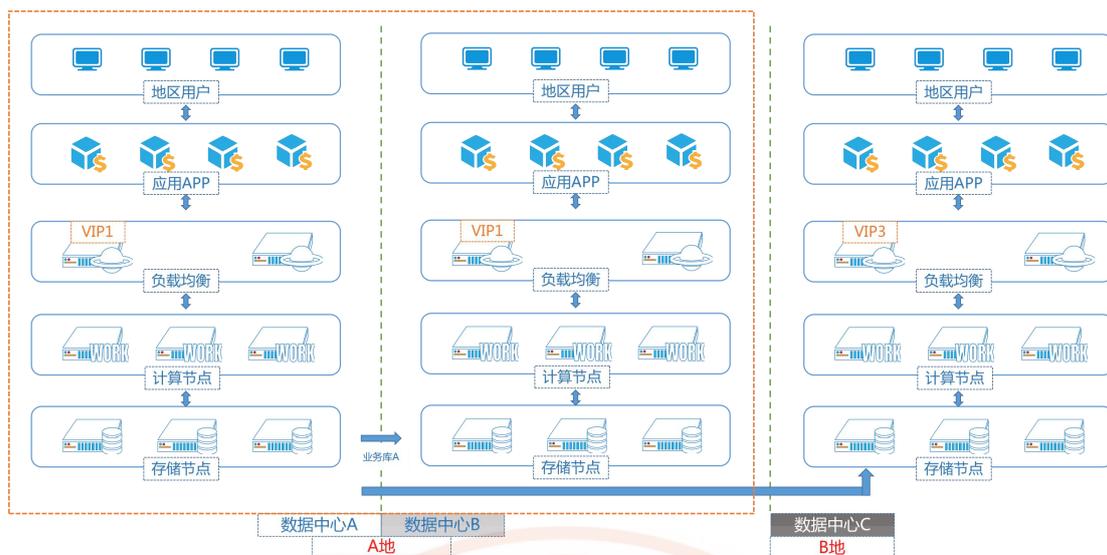


图 24 多地多中心（两地三中心）部署架构一

副本间复制。此架构在主城市部署两个数据中心，每个数据中心部署主机群的两个副本，异地第三数据中心部署主集群的单副本以及备集群，通过一套整体的存储协议机制保证数据副本一致性。当主城市或备城市任意数据中心发生故障时，可利用存储层的选举和复制规则自动切换有效数据副本，实现 RPO=0，RTO<30 秒。当主城市全部故障时进行一次主备 Failover，由备集群接管业务服务，保证 RPO=0。此种多地多中心（两地三中心）部署架构见图 25。

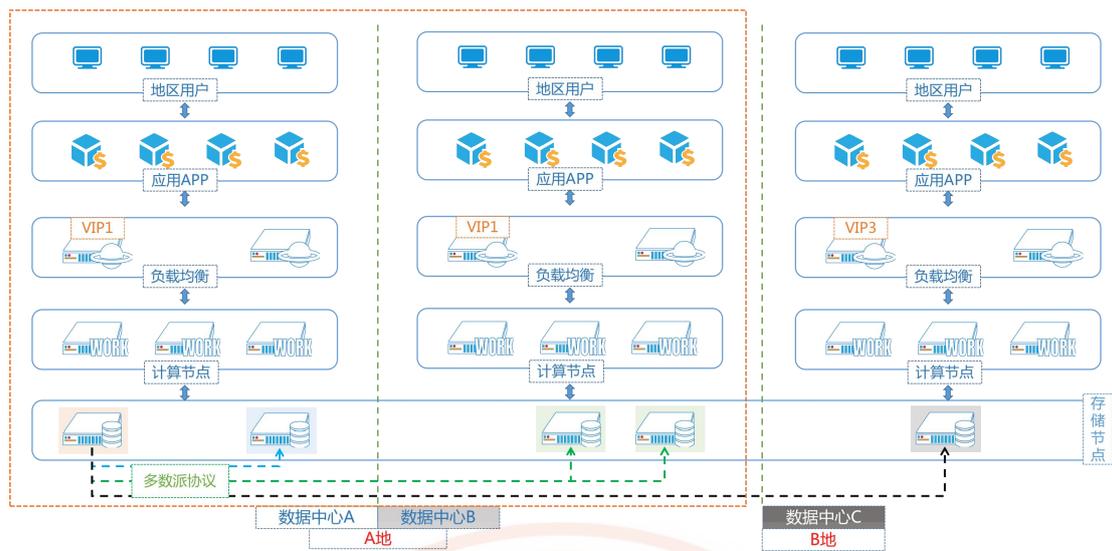


图 25 多地多中心（两地三中心）部署架构二



四、分布式数据库金融应用成果

（一）成果概述

传统集中式数据库已广泛应用到金融业，支撑着金融业实现了信息化、数字化和智能化。在移动金融加速金融服务普适化的背景下，“潮汐式”“爆发式”的高难度业务场景层出不穷，传统集中式数据库面对这些场景时往往力不从心，而分布式数据库因为有着强一致、高性能、高可靠、低成本、易扩容、集中管理等显著优点，满足了金融业务系统对数据库的各方面要求，是数据库未来发展的重要趋势。因此越来越多的金融机构愿意尝试去使用分布式数据库。

1. 试点验证多类场景

目前已有较多的金融机构使用了分布式数据库，主要是替换已有的 DB2 和 Oracle 数据库。分布式数据库大部分应用到金融机构的一般业务系统和 OA 系统，例如：互联网金融、银行卡系统、营销系统、贷款系统、数据检索系统以及电子公文系统等。从应用类型看，用于个人业务、公司业务、金融机构同业业务以及内部业务的比例相当。

金融核心系统对数据一致性、完整性、安全性、可靠性要求非常高，监管部门也有严格的要求，目前金融核心系统使用分布式数据库的案例并不多。随着国家政策的不断推进，金融机构勇于创新，已经有多家机构正在尝试将国内分布式数据库用于核心系统，预计 2022-2025 年这些新核心系统会陆续上线，并将形成可借鉴、能推广的典型案例和解决方案，为分布式数据库在金融领域的全面应用探明路径。

2. 形成分步上线机制

虽然分布式数据库本身在数据库领域已经有了长足的进步，但在金融业的应用尚处于起步阶段，且缺少相关建设指引，具有一定的实施风险。为降低风险，金融机构普遍是从 OA 办公业务和一般业务开始试点，试点成熟后，再不断深入到核心业务的改造中，避免影响安全生产。项目正式上线前，一般会通过双写或者数据链路复制等方式让原数据库和分布式数据库并轨运行一段时间，观察分布式数据库的性能及稳定性表现，一旦发现问题，方便及时回退。这种从“并轨”到“单轨”再到“独立运行”的稳步推进的替换方案可以确保安全生产，也为其他金融机构试点分布式数据库积累了宝贵的经验。

3. 大幅降低拥有成本

金融分布式数据库的出现，让各大金融机构摆脱了专有硬件的依赖，普遍降低了信息化系统建设成本。从调研情况看，金融机构将分布式数据库主要用于联机交易和批处理场景，这些场景往往需要短时间内完成大量数据的处理，与分布式数据库的特性比较匹配，指标应用情况如表 8 所示。使用分布式数据库替换后，帮助金融机构摆脱了对昂贵专有硬件的依赖，又提升了系统处理能力，降低了金融机构的整体拥有成本（TCO）。

表 8 指标应用情况表

指标	应用情况
TPS	2 万次 - 4.5 亿次
数据量	200GB - 1PB
切换过程	从原数据库切换到分布式数据库的过程中，需要对业务系统进行适配开发。因业务系统规模不一，使用的分布式数据库也不一，因此前期改造的工作时间差异较大，从 1 个月到 2 年不等。
容灾方案	借助分布式数据库多副本自动同步的能力，金融企业使用分布式数据库来进行容灾方案设计时，普遍采用多地多中心多活+同城双活方案，为业务提供更佳的容灾能力。

（二）指标分析

联盟对 30 多家金融机构的分布式数据库使用现状进行了详实的问卷调查与分析，调查内容主要涉及建设阶段、业务场景、性能提升、数据量、改造时长、经济效益等指标，从调查结果的各项指标可以看出各金融机构大多已经在使用分布式数据库，且通过使用分布式数据库取得了较好的性能及经济等方面的收益。

1. 建设阶段指标

目前已经有 76% 的金融机构已经使用分布式数据库，其中约 35% 的机构处于新建阶段，而 41% 的机构已经处于深入使用的加速阶段。分布式数据库金融应用建设阶段见图 26。

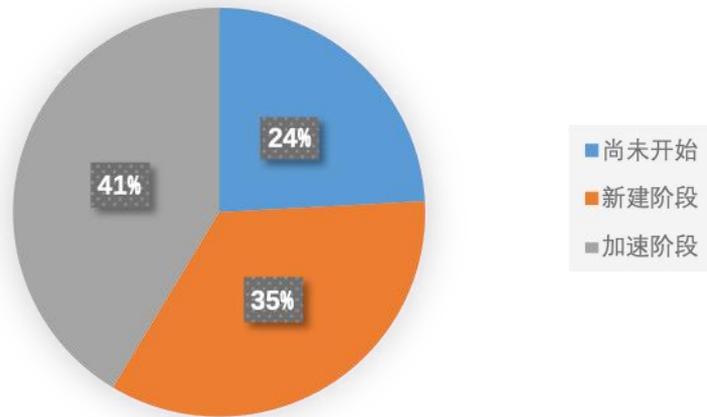


图 26 分布式数据库金融应用建设阶段图

2. 业务场景指标

目前的分布式数据库的金融应用业务场景主要集中在联机交易方面，其占比为 53%，其他两类分别是批量处理和数据检索类，占比分别为 34%和 13%。分布式数据库金融应用业务场景占比见图 27。

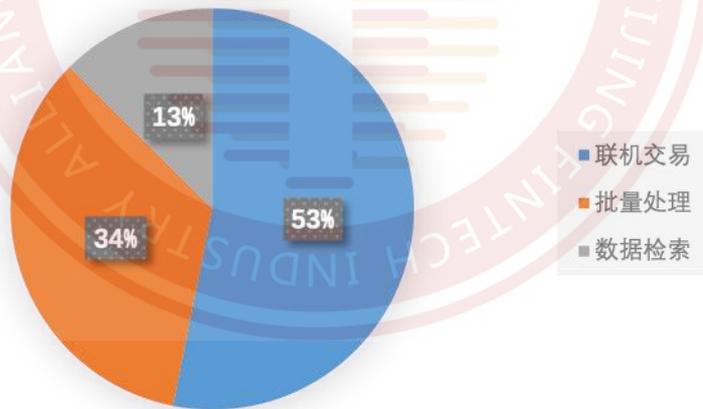


图 27 分布式数据库金融应用业务场景占比图

3. 性能提升指标

分布式数据库的优势在于可以将业务数据分布到多个节点进行存储与计算，通过采用存算分离的架构，极大地提高数据库的整体处理能力。对于业务系统而言，采用分布式

数据库的效果，主要体现在响应时间缩短，事务处理能力提升等方面。

从实际的调查结果来看，采用分布式数据库后，性能提升的幅度与业务系统的规模与业务量相关，对于业务量较小的系统，性能提升不明显，提升指标基本维持在 80%-120% 的区间；对于业务量较大的系统，性能提升较为明显，以某大型银行金融业务系统为例，其响应时间在使用分布式数据库后，提升了约 120%-200%，TPS（每秒执行事务数）达到 1.2 万，同时随着数据量增长至 120TB，整体性能提升达到 200% 以上。

金融机构采用分布式数据库后，约 50% 的业务系统性能基本维持不变，这是因为分布式数据库在金融机构大多是从业务量相对较小的管理类业务开始试点的，后续将随着分布式数据库逐步应用到核心等金融交易类业务场景后，性能提升占比指标将逐步提高。性能提升指标见图 28。

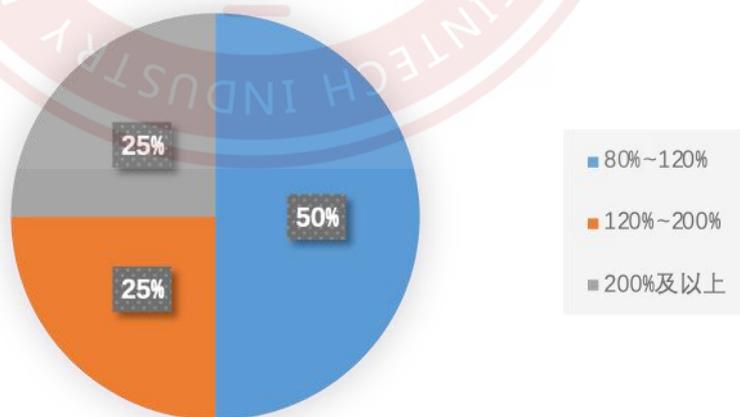


图 28 性能提升指标图

4. 数据量指标

根据调查结果，目前金融机构采用分布式数据库的业务系统业务数据量统计占比可以看出，分布式数据库更多应用在数据量较大的业务系统上。业务数据量统计见图 29。

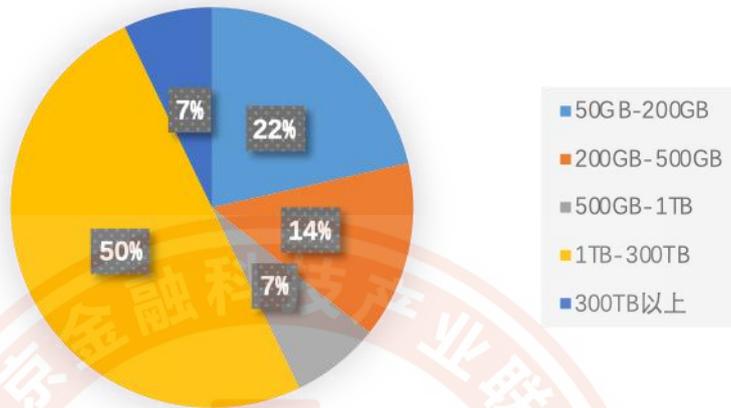


图 29 业务数据量统计图

5. 改造时长指标

由传统集中式数据库改造为分布式数据库，其改造所需的时间主要体现在分布式数据库架构设计与安装部署、异构数据库语法改造与适配、业务数据的迁移与验证等方面。除去立项、签署合同等非技术因素，一个业务系统由传统集中式数据库改造为分布式数据库，所需的改造时长一般在两年内完成，其中大部分系统改造集中在 5 个月内完成。改造时长统计如图 30 所示。

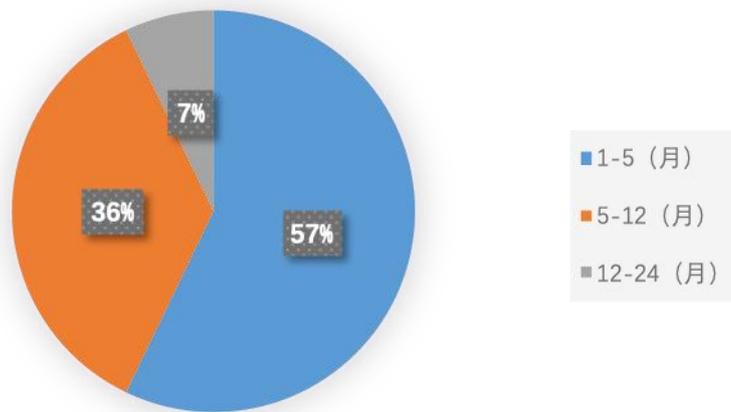


图 30 改造时长图

6. 经济效益指标

金融机构传统集中式数据库大多运行在价格高昂的大型机、小型机及企业级存储上，而分布式数据库只需要运行在价格相对较低的 X86、ARM 等架构的 PC 服务器上，且分布式数据库的软件费用相对国外集中式数据库较低，相关软硬件维保费用也较低。虽然因为分布式部署，设备数量有所增加，但通过调查统计，总体的经济效益有所提升。

调查显示，使用分布式数据库改造后，经济效益基本保持不变（80%-120%之间）的有 50%，有约三分之一的业务系统在经过改造后，经济效益提升两倍以上。经济效益提升情况如图 31 所示。

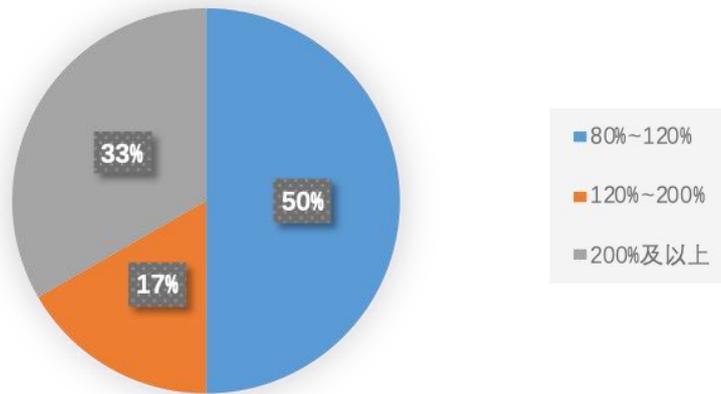


图 31 经济效益提升图



五、 分布式数据库金融应用的挑战与应对

（一）金融应用业务侧

1. 应用设计灵活性

以银行为例，银行信息系统架构由应用架构，数据架构，基础架构三部分组成。应用架构主要关注业务功能如何实现，定义应用与应用系统，及其交互集成关系；数据架构主要负责数据的全生命周期，包括数据产生、流转、整合、应用、归档；基础架构就是计算、网络、存储、基础软件、灾备、安全等。银行信息系统架构如图 32 所示。

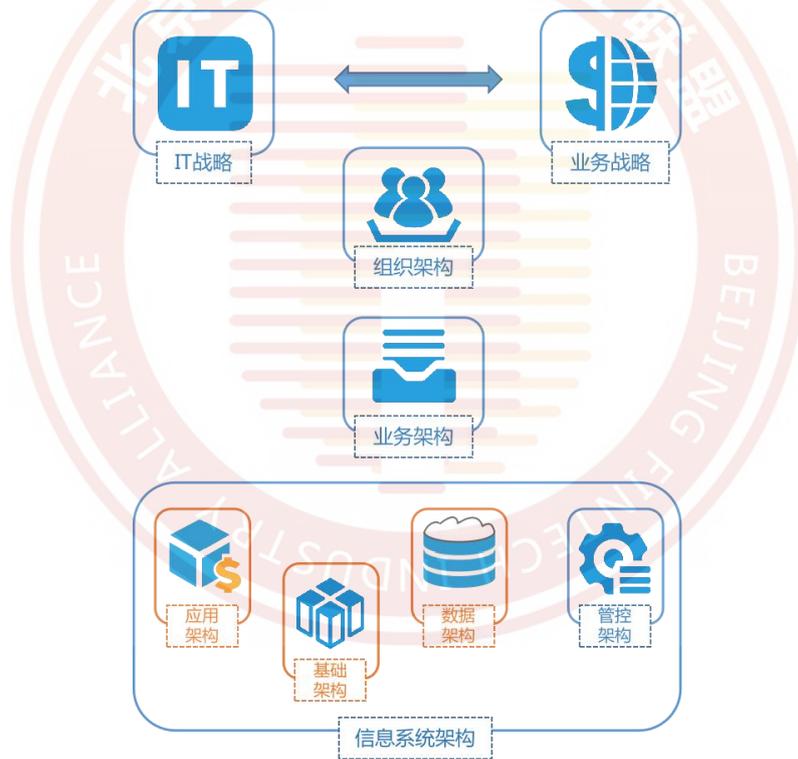


图 32 银行信息系统架构

（1）该架构的灵活性方面可能存在如下挑战。

复杂核心系统难管理和迭代。现有架构中，所有业务流程均要走到核心的会计/账务系统，一旦核心系统崩溃，将

导致银行所有业务全部停业。具体来看即是业务连续性差和可迭代性差。

架构缺乏弹性的系统设计。目前大多金融应用架构很难应对业务突发流量，即不够“弹性”。例如在应对“网购日”业务的增长时，对网上银行系统 WEB 节点、APP 节点进行扩容。整个扩容过程需要经过 4 个部门多个专业领域的人员相互配合，进行 50 个操作步骤，耗时数周才完成。

系统建设周期过长。现基于“大集中”的应用设计方式，产品创新升级迭代需要经历“原系统改造”、“设计开发”“测试”“试点”“上线”等阶段，整个生命周期大概需要三个月到半年。

(2) 应用设计建议如下。

金融业务可以通过分布式架构动态扩容等技术应对业务洪峰的来临，依靠天然的“数据分散”能力使得真正的业务双活，甚至多活得以实现，让业务上线更平滑更快速。

具体的应用设计思路与流程可以做如下参考：

金融核心系统由集中式走向分布式架构的总体设计大致有两个方面，一方面是业务由外围到核心逐步下移至开放平台或开放分布式平台，直至完成分布式改造；另一方面是建设双核心，在原来集中式核心基础上将二三类账户独立出来，建设互联网金融分布式核心系统。就实施流程来看，从集中式往分布式架构演进可分为五个阶段：**API 化改造**，即核心业务进行 API 化改造，用 API 网关替代传统 ESB，这个阶段可以支持开放银行。**部分业务卸载**，即启用“大核心小

外围”策略，将小部分业务卸载到开放平台。**部分核心保留**，即过渡到“大核心大外围”状态，将少数业务（账务、存款等）模块保留在传统核心，其他业务系统（账务系统的查询等）都卸载到开放平台。**双轨并行**，即“传统核心”和“分布式新核心”双轨并行（一般Ⅱ/Ⅲ类账户基于新核心，Ⅰ类账户保留在传统核心）。**全面核心升级**，即全部完成分布式新核心替换，Ⅱ/Ⅲ/Ⅰ类等账户均在新核心。

2. 运维管理易用性

目前国内金融机构面临大量的运维人力成本和资源成本，有大量的遗留陈旧系统运维困难。

（1）挑战如下。

平台自动化程度低。传统的银行应用系统及基础设施平台，采用非云的部署方式。各个应用部门各自负责自身应用的生命周期管理，各自采用不同的运维管理工具和技术栈，自动化程度依赖个人技术能力，不同企业不同部门之间差异较大。

架构标准化程度低。过于复杂的分层 IT 架构让整个系统分成了网络传输层/存储设备层/服务器层/操作系统层/数据库层/中间件&运行库/应用软件等。企业一般会从不同的供应商分层采购不同的设备及软件。IT 行业在标准化还在起步阶段，导致不同厂家的异构设备之间接口不同，适配困难，模型不统一，没有办法使用一套通用的管理系统进行运维管理。

设备管理操作复杂。传统的集中式架构主要是以 IOE（即

IBM、Oracle、EMC）三家厂商主导的信息系统架构。随着 IBM/Oracle/EMC 在中国的市场空间逐步缩小，相应的人才获取也更加困难，有经验的人才更是稀缺，导致系统的运维管理出现人员真空。

（2）建议如下。

推荐采用本地化部署结合公/私有云共同管理的设计思路。在核心业务系统，采用业务本地化部署与分布式数据库结合的方案，在加强安全性、可靠性，也能让应用数据具有“物理集中逻辑隔离的特性”。在非核心业务系统，可依托云服务提供商的云管能力，构建多云一体化管理和 IT 服务平台，使多资源统一纳管，多地域统一权限，多服务统一入口。实现银行 IT 资源统一管理、灵活调度，支持应用多活部署，组件版本同步更新，支撑业务跨区灰度发布，充分发挥分布式计算功能，快速建立统一运维人才培养体系，满足分布式架构转型建设需求。

3. 资源成本利用率

金融机构业务运转所需要的各类资源需求相比各行业来说属于较高的水平，尤其是硬件资源。但是目前的应用经过长期“堆叠式”建设，在利用率上问题凸显。在资源成本利用方面，金融应用综合建设成本较高，面临着“复用困难”和“成本高昂”的双重问题，结合实践情况来看，采用资源共享是提升资源利用率的较优方案。

（1）挑战如下。

“烟囱式”架构利用率低、复用困难。传统的 IT 系统

采用静态资源分配、分散管理：各分散的业务部门通常按照规划的最大资源申请物理机、虚拟机资源，物理资源仍被私有化，无法实现共享，利用率低。同时，从银行业务系统来看，复杂的业务流程和架构导致企业中应用系统数据库繁多且分散，并且各个应用之间的数据是隔离的，无法完全共享。

集中式架构设备成本高昂。基于 IBM 大型主机的银行集中式系统总成本（购买+维护）远超过基于 x86/ARM 的分布式系统，成本压力愈发明显。在存量博弈时代，银行业竞争加剧，更低的 IT 维护投入带来更强的成本优势和更大的创新空间。互联网银行的崛起进一步考验传统银行的成本控制能力。

（2）硬件、软件和数据资源共享建议如下。

硬件资源共享。通过底层虚拟化/云化技术，将硬件资源池化，各应用系统按需动态申请资源，共享资源池。采用跨 CPU 架构的云体系，最大程度利用原有本地服务器资源。

软件资源共享。通过将应用软件微服务化、组件化，不同应用之间共享相同的公共服务，灵活安装卸载功能组件，避免二次开发。通过云化多租户特性实现多用户环境下共用相同的系统或程序组件，并且可确保各用户间数据的隔离性。

数据存储共享。首先采用分布式数据库，将业务的数据物理集中起来，实现打破数据孤岛的能力。再设立数据标准、进行数据立法，采用统一的数据库设计规范，让业务对数据的使用标准化。最后通过不同应用之间或者不同数据处理系

统之间数据流动、同步，实现数据源头的统一，数据一次加工，多次使用。

4. 数据库设计合理性

金融应用在数据使用方式快速变化的冲击下，往往需要灵活调整其数据模型，尤其是数据库的设计方案。但是调研得出应用数据库的设计并不能最好地发挥出数据库管理系统软件的能力。金融应用在数据库设计时不够严密和谨慎，可能导致后期产生诸多问题，例如“应用逻辑与数据库绑定难运维开发”“应用双写方案欠缺导致迁移难”“应用设计前瞻性不足未能充分利用分布式产品能力”等。

(1) 挑战如下。

应用逻辑与数据库耦合度过高。由于历史原因，受限于早期的网络带宽和延时瓶颈，应用开发者往往选择将业务逻辑下沉至数据库端，以减少网络反复开销。但是有利有弊，此类方案在应用开发采用大量存储过程，就导致难以拆解运维升级。不同数据库的存储过程语法定义不同，这给数据库迁移带来了极大的困难，应用迁移至新的分布式数据库需要做大量的改造工作。以工行为例，某应用存储过程代码上千万行，即使通过迁移工具自动迁移90%，仍有百万级代码需要人工迁移。这些代码往往比较陈旧，已无人有能力维护改造。

应用标准双写方案缺乏。应用双写是保障应用与数据库解耦的良好手段。整个双写方案涉及数据库并行、回切、监控、同步等多个技术点和策略。同一个银行不同应用使用的

方案都不一样，导致在数据库迁移的过程中每个应用都需要自行开发一套方案，没有标准化方案。

数据库设计未考虑分布式化。分布式数据库的数据存储原理与传统集中式数据库原理不相同，对于数据的使用高效性可能因为应用侧表设计不合理导致而降低。所以需要针对应用侧的库表进行分布式设计，例如热点拆分和数据对齐。

(2) 针对这种情况，建议如下。

注重应用逻辑设计的通用性。对于未来有业务扩展性需求的（敏态应用）应用系统，在设计业务逻辑的时候，尽可能避免采用存储过程等下沉业务逻辑至数据库的技术，并采用分布式设计思路改造。对于未来没有业务扩展需求的（稳态应用），保留原有存储过程等下沉业务逻辑至数据库的技术，并通过完善自动化迁移工具的迁移效率，降低应用改造成本。

设计应用层双写方案。在应用侧设计数据双写方案，考虑可对数据库更换的情况，以避免出现部分数据库无法完成数据同步的情况。具体来看，可以应用侧改造做双写表，利用数据同步工具同步应用相关参数表，由于目标库的数据有延迟，比对的数据以成功写入目标库的部分为基准，反向与源数据库数据进行校验。

进行分布式数据库设计。分布式数据库基于其数据物理分散的原理可以利用更多的物理资源提供数据服务，但同时也需要更为严苛的网络环境。在此情况下数据的分布方式会直接关系到应用的性能，所以按业务数据使用特性选择数据

分布策略才能更好地利用分布式数据库能力。举例来说：一般分布式数据库有两种数据分布方式，复制表方式将表中的全量数据在集群的每一个数据节点上保留一份，适用于小表、维度表；哈希表方式将表中某一个或几个字段进行 hash 运算后，生成对应的 hash 值，根据数据节点实例与哈希值的映射关系获得该元组的目标存储位置，适用于数据量较大的事实表。

（二）分布式数据库侧

分布式数据库产业化时间较短，不管是产品成熟度还是生态工具层面都还不太完善。金融机构在使用分布式数据库的过程中也发现了较多不足，性能和兼容性是金融机构使用分布式数据库时面临的突出问题，需要金融机构与产业机构通力合作，通过实际应用场景验证打磨产品，促使产品不断成熟。

1. 产品高性能

金融应用数据库是现代金融企业的业务基础。金融应用数据库复杂的数据结构和业务逻辑。

（1）目前金融机构的分布式数据库性能挑战如下。

系统复杂性增强。金融应用系统需要和同一个企业内部的其他系统通信，易造成数据库在复杂逻辑下的性能衰减。

系统压力增大。区别于早期的金融业务，目前的应用系统有来自不同的数据使用方式，通常需要支持大量并发用户同时进行数据查询和修改操作，对数据库并发处理能力要求较高。

历史数据迁移。开发新的系统时，需要迁移已有的数据，由于数据转换规则复杂、数据量大，容易出现性能问题。

数据资源争用。由于应用程序代码没有很好利用底层数据库的功能，导致多用户并发访问系统时，对共享的资源造成过度的竞争，致使系统性能受到严重的限制。

以上的客观问题会导致分布式数据库的研发存在很多的挑战，具体来看有如下几个方面：

物理资源利用不充分。现在金融业分布式数据库架构设计大多沿用成熟开源/闭源代码进行迭代。受限于数据库稳定性考量，底层物理资源调度模块大多没有进行重做或改造，所以在对多核芯片和新型网络设备使用上还不足。

内核调度设计过于陈旧。以 PostgreSQL 为例，早期设计考虑如今大数据压力，采用多进程调度方式设计，会带来性能不足。

数据库中间件臃肿。在分布式数据库设计中，采用中间件来对数据库实例进行调度的方案如果考虑不完备会在业务复杂性较强的情况下导致中间件压力增大从而引起性能恶化。

(2) 从数据库产品角度建议如下。

加大对真实场景的研究。提升最佳实践能力，将数据库特性更精确地转化为业务性能。对数据库底层框架需要更多的自主设计和原创性设计，从架构设计之初就需要考虑到如今和未来的大数据、大压力情况下的高效应用。同时也需要

提升对如 NVME 磁盘、RDMA 网络、NUMA 架构芯片的支持，将更先进的硬件充分利用起来完成应用的性能需求。

采用方案进行性能优化，例如：**减少磁盘访问**。通过创建并使用正确的数据库索引和优化 SQL 路径来减少直接的堆数据磁盘访问。**减少内部网络传输**。采用数据分页、精简字段和算子下推等数据库优化方式，降低网络开销，提升分布式数据库网络利用率，从而加速性能。**减少外部网络吞吐**。通过预处理、批处理、存储过程、结果集游标等方案，将业务逻辑后推至数据库端，减少大量数据吞吐，从而加速性能。**减少 CPU 资源消耗**。业务层设计时绑定变量方式参数传递、减少不必要排序、减少比较算子来降低数据库算力浪费。通过 NUMA 绑核等减少跨核、跨处理器竞争，编译执行 (LLVM)，从解释执行向编译执行转变来降低 CPU 中断频繁引起的性能下降。

2. 数据安全性

数字经济时代，数据的价值得到了普遍认可。中央也将“数据”作为五大生产要素之一写入文件。金融业所拥有的包含个人可识别信息及账户资金状况的数据关键且重要，如有泄露会造成巨大损失。同时，随着计算机网络技术的高速发展和金融电子化的逐渐深入，越来越多的银行业务系统通过网络将数据集中起来，利用功能强大的数据库来存储和管理业务数据、客户资料等重要的金融信息。因此，金融数据库的安全已成为金融计算机信息系统安全的关键。

(1) 常见的数据库安全问题如下。

敏感数据的共享安全问题。对敏感数据使用范畴定位不清晰，导致敏感数据泄露；

违规操作造成的数据泄露和非法篡改风险。黑客或犯罪分子在用户存取数据库时盗用用户名和用户口令，假冒合法用户偷取、修改甚至破坏数据；

安全事件难以定责与取证。出现安全事件后，如何留痕取证，如何定责以防止后续安全事件发生；

脆弱的用户账号设置。如果密码相对简单或不进行定时修改，黑客或犯罪分子会更容易破解数据库；

粗粒度的数据库存取控制。对数据库的存取控制应以更细粒度操控，否则将会倾向于给应用超过其需求的权限，造成使用风险；

密码以明文方式存储。

数据库方面的安全漏洞。

(2) 建议如下。

对数据库提供商来说，除了依赖数据库外部的安全防护手段以外，在数据库内核中也需要设计更高维度的安全防护手段，包括但不限于采用国密 SM 体系及更严格的标准来设计数据加密体系；提供强制访问策略对用户和实体进行权限设计；设计黑白名单管理，让用户能在数据库访问侧屏蔽非授信访问；定义更严密的口令系统，提供多维混合加密的默认选择甚至提供硬件加密接口等；引入隐私计算、区块链等前沿安全技术对数据文件进行加密；定期同步数据库安全补丁等等。

对数据库使用者来说，也可以采取一定方案提升数据库安全等级，包括但不限于：采用严格的身份认证提升数据库防攻击能力，包括但不限于使用更复杂的口令、采用电子令牌和数字证书等。使用更细致的数据访问控制解决敏感数据“物理集中逻辑隔离”的难点，包括但不限于将控制权与访问权分离，对行级数据进行访问控制。提升数据保密性缓解数据泄露和篡改问题，包括但不限于选择更合理的选择加密字段、安全高效的加密算法、对密钥的妥善管理、对动态数据脱敏以及全密态数据库等值查询等。加强审计追踪和漏洞扫描解决事件发生后追责问题，包括但不限于启用系统使用审核和用户操作审核。加强数据库状态监控以预警安全事件。

3. 架构可用性

没有任何一个单一的系统可以保证长期无差错的平稳运行，但是在金融这样一个特殊的领域，无论是从监管要求来看，还是从业务需求本身来看，7*24 小时不间断的服务都属于基本要求，二者之间的矛盾就是高可用的问题。

数据库高可用（High Availability）是金融系统架构设计中必须考虑的因素之一，它通常是指，通过设计以减少数据库不能提供服务的时间。如果一台数据库能够不间断的提供服务，那么这台数据库的可用性为 100%。如果数据库每运行 100 个时间单位，就会出现 1 个时间单位无法提供服务，那么该台系统的可用性是 99%。

高可用不能简单归类为“容灾”，即大范围、高烈度的

故障，例如火灾、地震、洪水、大范围的停电，由于这种情况往往导致本地环境全部不可用，所以一般称为异地容灾。除异地容灾需求外，银行业真正关心的高可用是泛指非正常情况下的故障停机，以及由于 IT 运维工作等原因带来的计划内停机。

一个系统可能包含很多模块，如数据库、前端、缓存、搜索、消息队列等，每个模块都需要做到高可用，才能保证整个系统的高可用。

(1) 常见的数据库高可用问题如下。

如何提供 7*24 小时持续不间断的服务。高可用的基础需求，要求应用数据库在某一台机器宕机后，在某一时间范围内可快速恢复访问。

如何应对机房整体故障和城市灾难等极端情况，保证数据库在各种意外情况下都能持续提供服务。即异地容灾需求，在本地机房全部故障后可启用异地机房提供服务。

如何保证切换后的数据库是最新数据，且在切换过程中数据不会丢失。需保证不同可切换数据库的数据一致性；在切换过程中，不提供数据库服务，且不会丢失旧数据。

如何提高高可用的运维效率。高可用应为系统自动判断和切换，无需运维人员手动操作；如有异地容灾需求确实需要手动操作的，应尽量简化运维操作流程，节省运维操作时间。

数据库的高可用是内核与外部配套软件的共同保障，对数据库提供商来说，需要提供相应的接口和功能。高可用分

为两个维度，即内部和外部，内部主要是需要内核支持，外部则是可以内核支持或者依靠外部工具支持。

(2) 综合建议如下。

数据库内高可用。系统采用一个主库和多个备库方式，其实现原理主要是基于日志的主备复制，主库操作以日志的形式发送给各个备库，备库接收到日志后进行数据备份。这种方式的好处是一个主库可以连接多个备库，能很方便地实现读写分离，同时，因为每个备库都在运行中，所以备库里面的数据基本上都是热数据，容灾切换也非常快。这个方案也并非完美无缺，如容灾切换时，备库一定要同步完最新数据以后才能升级为主库，否则极有可能发生数据丢失的情况。针对传统主备架构的一些问题，业界也逐渐研发出对应的改进技术，如双主架构、日志自动寻址、异步复制改进、多级流水线日志回放等。

数据库间高可用。基于一致性算法来做数据的同步，数据库提供多节点一致性同步机制，利用该机制构建多节点同步集群。多节点之间构建成了一个一致性的同步集群，客户端可以读写其中的任何一个节点，任意一节点写入，其他节点都能够将数据进行同步，因此，理论上每个节点都可以进行读写操作。这种方式的容灾实现也比较简单，假设第二个节点出现故障，系统只需要断开客户端对第二个节点的访问路径，其他节点照常访问就可以了。

数据库也可以提供同城双 AZ（可用区）或者同城三 AZ 的容灾能力。当主用 AZ 故障后，能在 1 分钟内自动切换到

备用 AZ，并且 RPO=0。同时，同城两个 AZ 可以双活，同时对外提供服务。通过两地三中心等部署方式提供 Region 级的容灾能力。当主用 Region 集群故障后，能切换灾备集群接管业务。

4. 数据库迁移

随着银行业务的不断发展，导致金融应用数据规模体量的不断增大；同时，银行数据库由国外商业数据库向自研开源数据库和国内数据库演进加快，这些变化都面临一个共同场景：数据库迁移。

(1) 大部分金融应用数据库的迁移面临的挑战如下。

异构数据库迁移难。异构数据库之间往往存在语法兼容性问题，银行业前期使用的数据库往往为 DB2、Oracle 等商业数据库，国内数据库对于它们的兼容性不足增加了对数据迁移的难度，应用不仅要进行语法的兼容性改造，还需对国内数据库不支持的传统商用数据库特性进行改造。

不同体系数据库迁移难。DB2、Oracle 等商业数据库为集中式架构，目前主流的国内数据库支持通过分布式架构提供更强的处理能力，其数据分布和银行业前期的架构完全不同，造成了数据迁移前对数据库改造设计的复杂和困难。单机数据库迁移到分布式数据库，其中涉及如何分库分表的改造；分布式数据库有两种模式：一种是原生分布式数据库，这种数据库屏蔽了分库分表的过程，由数据库层面进行解决；一种是以集中式数据库为基础，在上层搭建分布式组件的数据库，这种数据库可以屏蔽一部分分库分表过程，但仍

需应用设计分库分表的依据和方式。

不中断业务迁移难。在金融数据库迁移时，诸多业务存在严格的停机时间窗口，要求数据库在规定时间内完成数据库的迁移；但由于银行业数据库数据量较大，在较短的时间内无法完成离线数据迁移。在这种背景下，就要求数据库应支持在线迁移方式，在不停机时在线同步数据，在停机后仅迁移未同步完的少量新增数据。

数据库的迁移具体包括迁移事前、事中、事后三个阶段，由数据库提供商配合数据库迁移方共同完成。

(2) 建议参考方案如下。

迁移事前评估阶段。首先需要进行数据库画像，包括收集系统环境信息（如硬件、操作系统、性能等）、收集数据库实例信息（如架构、参数、数据规模、运行态信息等）、收集数据库对象级信息（如结构信息、统计信息、访问特征、预警类等）、收集数据库语句级信息（如 SQL 文本、执行特征、执行计划等）；收集复杂应用信息（如存储过程、触发器、函数以及执行特征等）。**再次**要对应用画像，包括对应用架构、应用与 DB 关系、应用访问特征等进行描述。**除此以外**还需要进行风险评估，包括但不限于源库使用集群、分库分表等架构，做出提示；源库使用复杂结构（如分区表）、不支持结构（LOB、可更新视图等），做出提示；源库使用复杂 SQL（如多表关联）、特殊语法或方言等给出提示；源库大量使用存储过程、触发器、函数等；应用使用何种访问方式（如 java、c、go 等），对于某些旧有的方式予以提示；

源库存在明显的性能访问高峰，明显的热点对象；源端数据库总体或单体对象规模较大的情况。**最后**给出选型建议，即迁移目标端在架构、结构、应用、性能指标等方面的基础抽象后，根据源端和目标端情况，结合风险及性能要求给出适配选型建议。

迁移事中改造阶段。首先需要数据库对象进行改造，即根据迁移目标端给出待迁移端到目标端的结构映射规范。通过工具或者手动方式，基于给定输入，输出改造后的对象结构。**再次**需要对 SQL 语句进行改造，通过工具或者手动方式给定输入，给出改造后的 SQL；提供优化改写能力，而非基于简单规则。此处需注意，语义等价性问题。**接着**是对应用改造，应用改造包括对上层应用框架的兼容和对下沉逻辑的改造，前者主要是提供对数据库驱动、访问链接、方言等内容进行改造；后者主要是对存储过程的兼容和盖章。改造完成后对比两侧的实现，验证处理逻辑是否一致。**最后**才是全量和增量数据的迁移，全量迁移指的是基于指定时间戳前的数据进行的数据迁移，增量迁移指的是基于指定时间戳后的增量数据迁移，在迁移后需要进行数据比对。

迁移事后并线运行阶段。在并线运行阶段主要是进行数据的同步，需要数据库提供商提供异构数据库间数据实时同步能力。在数据同步的同时一定阶段时需要进行异步数据对比，即提供异构数据源之间全量、增量数据对比能力。在迁移完成后需要提供基础的运维保障，包括但不限于回切演练支持、数据比对支持等。