

虚谷数据库 V12.6

技术白皮书

文档版本 01

发布日期 2024-10-08



版权所有 © 2024 成都虚谷伟业科技有限公司。

声明

未经本公司正式书面许可，任何企业和个人不得擅自摘抄、复制、使用本文档中的部分或全部内容，且不得以任何形式进行传播。否则，本公司将保留追究其法律责任的权利。

用户承诺在使用本文档时遵守所有适用的法律法规，并保证不以任何方式从事非法活动。不得利用本文档内容进行任何侵犯他人权益的行为。

商标声明



为成都虚谷伟业科技有限公司的注册商标。

本文档提及的其他商标或注册商标均非本公司所有。

注意事项

您购买的产品或服务应受本公司商业合同和条款的约束，本文档中描述的部分产品或服务可能不在您的购买或使用范围之内。由于产品版本升级或其他原因，本文档内容将不定期进行更新。

除非合同另有约定，本文档仅作为使用指导，所有内容均不构成任何声明或保证。

成都虚谷伟业科技有限公司

地址：四川省成都市锦江区锦盛路 138 号佳霖科创大厦 5 楼 3-14 号

邮编：610023

网址：www.xugudb.com

前言

概述

本文档介绍了虚谷数据库的产品定位、架构、核心技术、产品功能等，旨在指导客户对虚谷数据库进行学习和使用。



读者对象

本文档主要适用于以下用户：

- 数据库开发人员
- 数据库维护人员
- 数据库管理员

符号约定

在本文中可能出现下列标志，它们所代表的含义如下。

符号	说明
 注意	用于传递设备或环境安全警示信息，若不避免，可能会导致设备损坏、数据丢失、设备性能降低或其它不可预知的结果。
 说明	对正文中重点信息的补充说明。“说明”不是安全警示信息，不涉及人身、设备及环境伤害信息。

修改记录

文档版本	发布日期	修改说明
01	2024-10-08	第一次正式发布

目录

1	产品简介	1
1.1	开发背景	1
1.2	产品定位	1
1.3	产品版本	2
2	产品架构	4
2.1	软件架构	4
2.2	功能组件	7
2.2.1	服务组件	7
2.2.2	应用组件	9
2.2.3	接口组件	9
2.3	技术原理	10
3	核心技术	14
3.1	数据库强一致	14
3.2	数据库高可用	14
3.2.1	数据存储高可用	14
3.2.2	工作计算高可用	15
3.2.3	主控管理高可用	15
3.2.4	变更日志高可用	16
3.2.5	网络传输高可用	16
3.3	数据库高性能	16
3.3.1	高性能-事务技术	17
3.3.2	高性能-分析技术	18
3.4	数据库高安全	19
3.4.1	复杂秘钥身份验证	19
3.4.2	普通自主访问控制	19
3.4.3	标记强制访问控制	19
3.4.4	存储传输加密保障	20

3.4.5	网络访问规则控制	20
3.4.6	自主研发安全可控	20
3.5	数据库高扩展	20
3.6	数据库高兼容	22
3.7	数据库高易用	23
4	产品功能	24
4.1	基础功能	24
4.1.1	基础对象管理	24
4.1.2	SQL 语法操作	24
4.1.3	存储过程函数	24
4.1.4	数据类型兼容	24
4.1.5	多类型索引	25
4.1.6	多类型数据分区	25
4.1.7	丰富的系统函数	26
4.1.8	内置多类系统包	26
4.1.9	系统字典视图	27
4.1.10	系统日志体系	28
4.1.11	细粒度参数配置	29
4.2	多租户云服务	30
4.2.1	基于数据库的多租户管理	30
4.2.2	基于云服务多租户模式	30
4.3	系统容灾备份	31
4.3.1	系统备份恢复	31
4.3.2	实时变更同步	31
4.4	性能参数管理	32
4.5	兼容性持续增强	33
4.6	系统扩展优化	34
5	环境要求	35
5.1	硬件配置要求	35
5.1.1	版本硬件配置	35

5.1.2	支持硬件种类	35
5.2	软件配置要求	36
5.2.1	软件配置规格	36
5.2.2	操作系统支持	36
6	技术指标	37
7	遵循标准	39
8	产品认证	40

1 产品简介

1.1 开发背景

随着全球电子信息化的高速发展，各类信息数据的存储介质由纸质全面转换为电子存储介质，电子化存储不仅存储方便，存储介质不易损坏，还可以提供高效的访问查询。信息数据在各行业中占据着无可置疑的核心地位，掌握了信息数据即可认为把握住了数据属主的命脉，现阶段各类信息系统的数据库普遍存储于数据库中，所以数据库管理系统在整个信息系统中的地位相当于系统的核心或发动机。

我国的电力、金融、气象、公安、通信等部门累积的数据已达到 TB 级，有的甚至跨入了 PB 级。这些海量数据不再是简单堆砌在一起的、毫无意义的文字符号，而是携带了大量关键信息，并且可供利用的、重要的信息资产。大数据不被利用就等于是信息浪费。

大数据 TB 级乃至 PB 级庞大的体量给现有的商业软件在如何获取、存储、检索等问题上带来了巨大的挑战，同时各类应用系统的间断使用方式也对系统的可用性、扩展性以及稳定性等方面提出了更高的要求。

成都虚谷伟业科技有限公司是一家完全本土的基础软件公司，自 2002 年开始，孜孜不倦、专注于数据库技术的研究与产品研发。截至今日，公司已相继推出了虚谷数据库多个正式商用版本，产品已在政府、部队及工业等领域成功应用，并且获得了用户的高度评价。

1.2 产品定位

虚谷数据库是一款自主原创、安全可靠、功能强大、性能优越的关系型数据库管理系统，支持 SQL（Structured Query Language）标准语法，支持标准化、双机高可用、分布式集群部署，提供国产化、面向多核的高性能和数据安全服务，融合成都虚谷伟业科技有限公司在数据库领域 20 多年的研发经验沉淀，结合各类关系型数据库的应用场景需求，持续构建竞争力特性。

虚谷数据库采用 NEWSQL 架构从 0 开始设计，即一个无状态的 SQL 引擎与一个通用（与逻辑解耦）的存储引擎加上管理引擎构建的产品。整个产品采用的是单进程多线程模型，所有的数据库任务（计算、存储、管理）可以独占或混合在单个进程中，所以具有从 1 到 N 无缝扩展的特性。

虚谷数据库的定位是通用型、透明化、高性能的单机分布式一体化数据库。

通用型

兼容标准 SQL 语法（2003）、ORACLE 语法、MYSQL 语法及相关的常见函数、数据类型。还兼容了复杂 SQL、存储过程、触发器、外键等高级功能。

透明化

在使用虚谷数据库的过程中，用户无须指定对应的分片键（ShardKey）来完成分布式切分，采用传统集中式数据库的 Partition 分区即可。虚谷数据库在存储层会安装一定的物理规则进行数据均衡，可以做到一份数据服务多维度数据查询。同时虚谷数据库的扩容也是自动完成的，无须 DBA 手动干预。

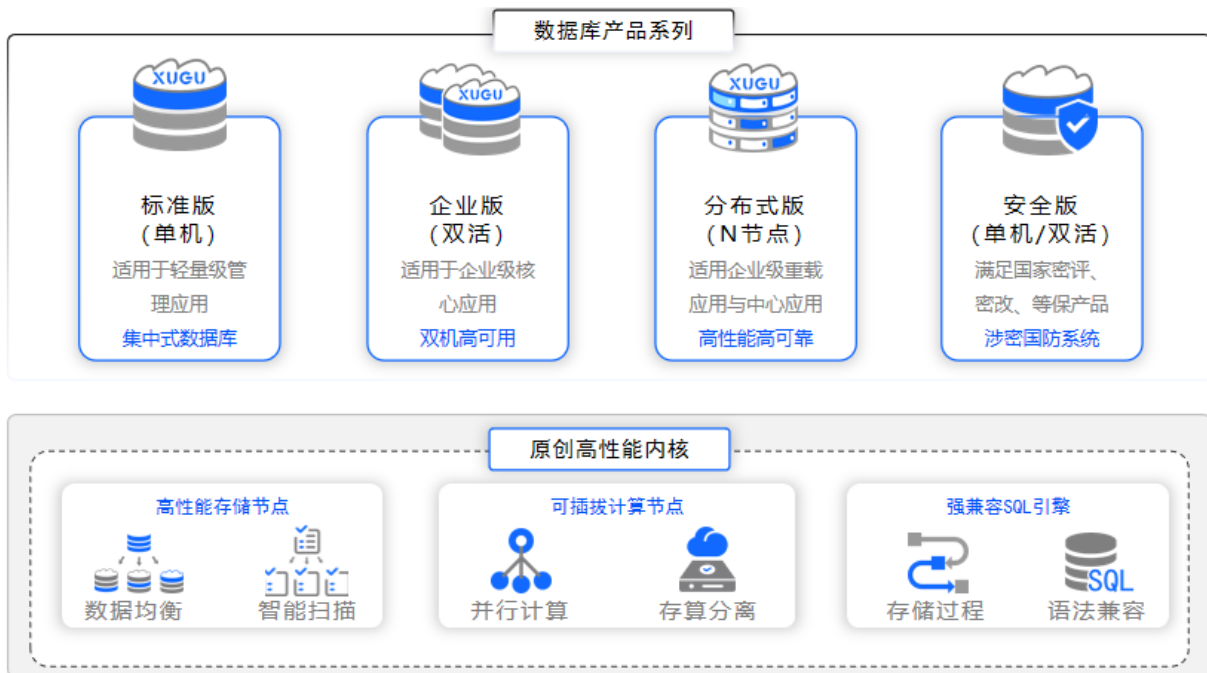
高性能

虚谷数据库在快速定位检索、索引/非索引混合查询、复杂 JOIN、分组统计、高并发等场景进行了专项优化，QPS 可以达到百万，TPC-C 的测试中，TPMC 单机也可以超过百万。

1.3 产品版本

虚谷数据库产品系列包含三个版本，分别是标准版、企业版和分布式版，如图 1-1 所示。

图 1-1 产品系列



虚谷数据库产品系列版本的适用场景如表 1-1 所示。

表 1-1 适用场景

标准版	企业版	分布式版	安全版
标准型综合性数据库 高性价比标准数据库 数据库对象功能齐全 多用户并发访问支持 数据库容灾备份恢复 中小规模管理型业务	企业级多特性数据库 多核调度与并行运算 大规模并发用户访问 海量数据管理与处理 双机热备与读写双活 关键核心数据库应用	原生分布式型数据库 分布式多维度高可用 逻辑与物理资源隔离 逻辑统一与并行处理 资源弹性伸缩自均衡 数据中心数据库应用	高级别安全性数据库 安全标记保护级防护 多维数据安全性策略 信息安全及涉密认证 国密软硬一体化支持 数据保密性业务应用

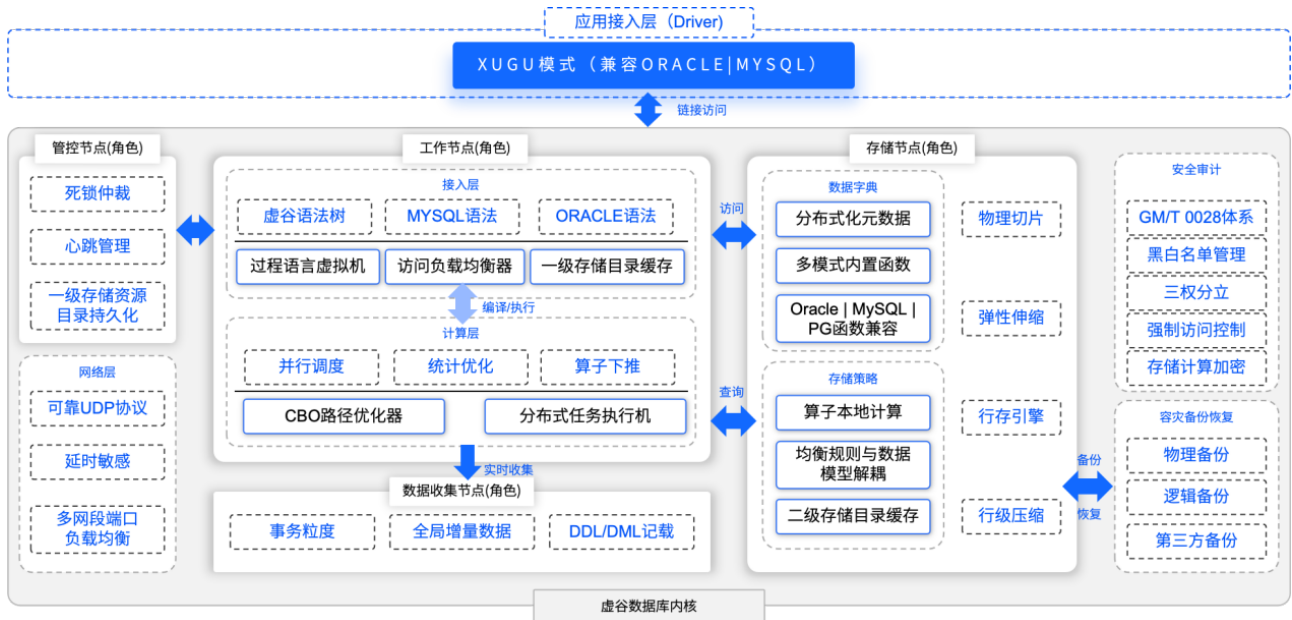
2 产品架构

2.1 软件架构

虚谷数据库以分布式架构为基础，上层全面实现传统关系型数据库所有功能与对象管理，提供完整的事务 ACID 特性，可支撑在线事务处理能力（OLTP）、联机数据分析处理（OLAP）及 OLTP 与 OLAP 混合型业务场景。同时具有事务及数据强一致性，各个角色节点高可用、高性能事务能力、高吞吐能力，高安全、在线动态扩展均衡，高度兼容 Oracle、MySQL 等 SQL 用法等特性。

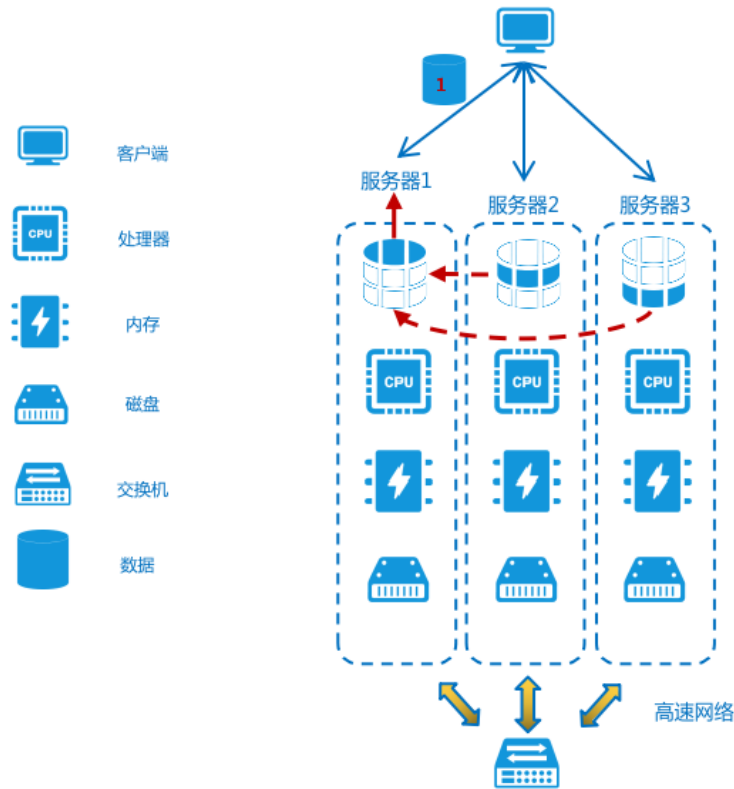
虚谷数据库软件产品的架构如图 2-1 所示。

图 2-1 软件产品架构



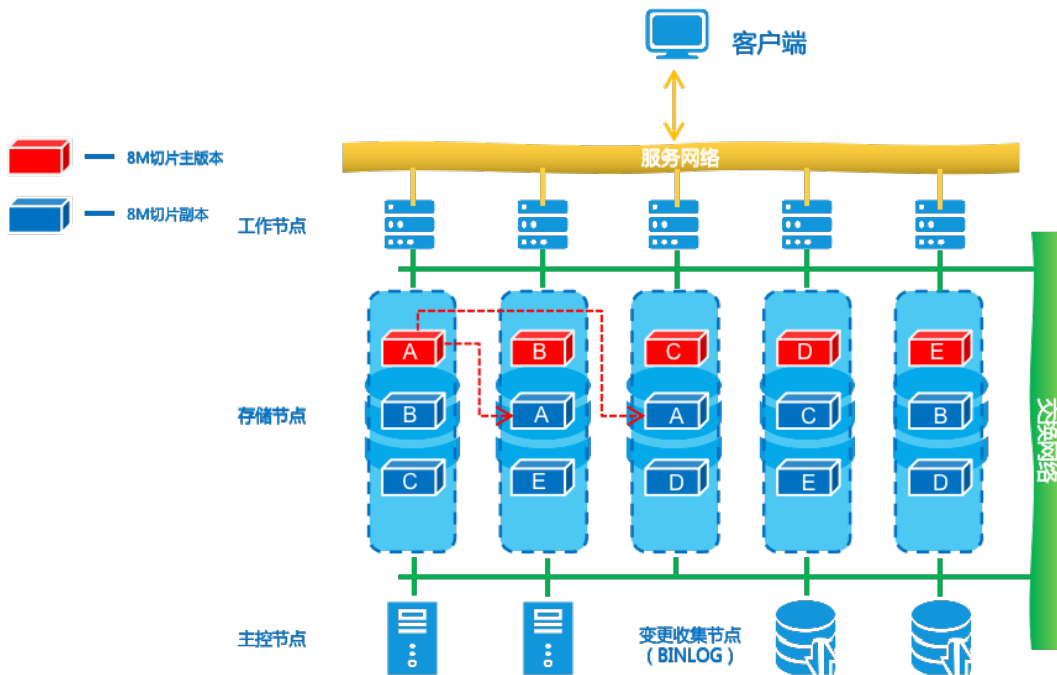
虚谷数据库是原生的分布式架构数据库，采用 ShareNothing（完全无共享）架构进行集群设计，物理资源无共享，数据切片存储，如图 2-2 所示。

图 2-2 无共享架构



在整个集群中，虚谷数据库按照功能设计逻辑上可将服务端划分为四类角色：主控管理角色、工作计算角色、存储管理角色、变更收集角色，如图 2-3 所示。

图 2-3 集群架构



一台物理服务器可部署一个或多个数据库角色。

- 主控管理角色：主要用于集群管理、心跳检测、全局锁仲裁（检测死锁并解锁）等，不参

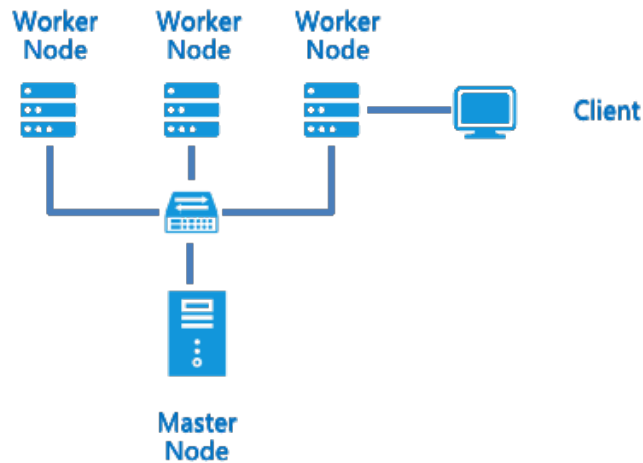
与用户请求响应。

- 工作计算角色：用于接收响应用户请求。
- 存储管理角色：用于存储数据库数据。
- 变更收集角色：用于收集集群数据变更信息，记载信息粒度达到事务级。

虚谷数据库的存算融合部署技术实现在一台物理服务器上同时部署多个数据库角色，让一个节点的数据库进程执行多个数据库角色能力，保证所有节点都可以提供读写服务。

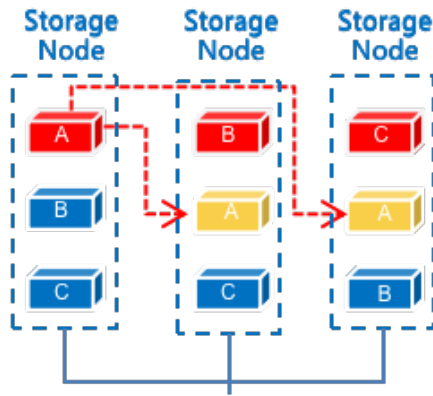
虚谷数据库采用中心管理-对等处理的架构设计，所有工作节点均可接收用户请求，无需访问指定服务端，用户连接任一工作节点，均可访问其权限内可访问的所有数据。所以，当工作节点负载过高时，可通过增加工作节点分担负载压力，提高并发用户数，如图 2-4 所示。

图 2-4 中心管理-对等处理架构



虚谷数据库的数据存储节点不以逻辑表和业务维度进行数据切割，是以切分物理 CHUNK 的方式进行数据存储，数据通过系统内部算法进行分片处理并存储到各个存储节点。数据存储以 8MB 进行自动切片，主副版本依据内部存储落盘规则，将所有存储打散均衡分布到每一个存储节点中。当任意存储节点服务停止，会立即通知管理节点。管理节点则选择服务停止节点上存储的主版本数据对应的任一数据副本，将其切换为主版本，然后通知主版本向其余未停止服务的存储节点复制还原丢失的数据版本，提供数据访问服务，避免单点故障导致数据库业务中断，如图 2-5 所示。

图 2-5 切片化存储管理



当集群存储容量或 I/O 能力不足时，可按需增加存储节点，存储节点增加后集群数据自动进行数据迁移均衡。在扩展集群存储容量的同时，扩展节点作为功能节点也可分担一部分访问压力，为集群提供更高的存取性能。

虚谷数据库中的变更收集节点可按需进行部署，该类角色节点提供集群变更收集功能，提供事务级粒度的变更收集。用户可通过系统内置包解析变更信息，解析后可提供字段数据输出或 SQL 输出，可用于同构或异构表的数据恢复与同步。

虚谷数据库支持将集群全局的增量数据按事务提交时间进行日志记录，通过此方法，数据库用户可以按时间回溯访问具体的增量日志记录。

2.2 功能组件

2.2.1 服务组件

文件管理模块

虚谷数据库文件类型细分为控制文件、数据文件、日志文件和备份文件。

- 控制文件：实现系统文件信息、存储元信息、集群信息等的创建、更新、同步和容灾等管理；
- 数据文件：包含存储数据文件、临时数据文件、变更数据文件，可实现对存储的分配、回收、重用、磁盘空间管理、数据行读写操作、容错处理等管理。
- 日志文件：包含 Undo 文件、Redo 文件、运行日志文件，其中运行日志文件包含错误日志、命令日志、跟踪日志、时间日志、运行日志、审计日志，可实现对系统各类数据、事务、操作、状态、事件、安全等管理。
- 备份文件：存放库、用户、表等备份数据。

控制管理模块

- 任务调度：外部用户请求、内部远程调用、定时作业和各类内部维护管理等任务进行分类调度并执行。
- 并发控制：数据库锁机制，包括全局锁、局部锁、行锁的加锁、放锁以及死锁自解。

信息安全模块

- 访问控制：用户/角色创建、修改、删除，权限授予和回收。
- 行为审计：审计定义、记载和查看审计记录。
- 加密：数据的传输加密、存储加密、备份加密。

内存管理模块

对计算机内存资源的内存分配、内存保护、内存优化、内存监控和内存释放功能，并按照数据及操作分为全局内存区、动态内存区、数据缓冲区、全局排序区、日志缓冲区进行管理。

线程管理模块

单进程多线程工作模型，工作线程包含集群维护、TCP 监听、存储维护、消息服务、数据同步、系统时钟等 30 多类工作线程类型，每个线程都可以独立地执行数据库操作，并充分调度利用计算机多核处理能力。

网络通信模块

外部用户访问网络管理与集群内部网络通讯管理。外部访问网络管理包括建立和维护网络连接、数据传输和协议解析、用户认证和安全管理、并发控制和流量管理、异常处理和日志记录等，集群内部网络管理包括多个节点实例间的管理和通讯，消息接收、发送、处理、多网络管理、数据传输和远程调用。

SQL 引擎模块

数据库 SQL 引擎包含 SQL 解析、SQL 规划、SQL 执行三大子功能模块，从接收用户 SQL 命令时开始 SQL 语句的词法分析与语法分析，输出数据库抽象语法树并进行信息准确性校验等操作，依托数据库统计信息与 SQL 语句的语义，调用虚谷数据库内部核心 CBO 形成最优的路径生成执行器，按照执行路径调用数据库内部扫描器实现数据扫描，并调度计算资源实现数据的过滤、裁剪、计算、结果返回。

事务管理模块

虚谷数据库基于全局序、2PC（Two-Phase Commit Protocol）、MVCC（Multi-Version Concurrency Control）、WAL（Write-Ahead Logging）完整实现分布式事务的 ACID 特性。

对象管理模块

数据库对象管理包含对象创建、对象使用、对象维护、对象销毁全生命周期管理，结合合规性、安全性、可用性、兼容性等方面的要求，确保数据库对象的正确使用和管理，数据库对象包括表、视图、触发器、存储过程/函数、包、定时作业等。

2.2.2 应用组件

数据库控制台工具

轻量化的命令行数据库管理工具，提供命令执行、数据查询、数据导入导出、数据库管理、安全性管理以及其他操作功能，支持 Windows 和 Linux 平台。

数据库管理工具

可视化的数据库查询和管理工具，提供对数据库实例的创建、调整、备份/恢复以及常用的数据管理操作，支持数据库 SQL 命令执行及结果返回操作，包括对表、视图、索引、存储过程和触发器的创建与维护等。

数据库迁移工具

可视化的多种类数据库迁移工具，实现多样主流数据库到虚谷数据库的对象迁移和数据迁移，支持数据库到数据库、数据库到文件、文件到数据库多种类型的迁移，提供友好的向导式任务配置。

数据库同步工具

依托数据库 BINLOG 日志，采用多线程实时检测捕获数据库变更，实现全量数据和基于日志的增量数据获取、解析、同步、分发功能。核心功能包括数据全量导出导入、异构库增量同步、增量变更查询、元数据管理、DDL（Data Definition Language）同步、增量数据归档、Kafka 集成和脚本化运行等。

数据库集群监控软件

Web 可视化数据库监控管理工具，可以提供全面的基础环境状态、数据库运行状态、数据库资源统计、数据库性能监控、数据库故障告警等功能，可以帮助 DBA 和运维人员更好地管理和监控数据库的性能、安全性和可用性，以确保数据库的高效运行。

2.2.3 接口组件

JDBC 接口

提供 Java 应用程序标准接口（Application Programming Interface, API），支持 JDBC 3.0、JDBC 4.2 标准协议，用于连接和操作数据库，具有跨平台性、统一的编程接口、支持标准 SQL 语句和可扩展性特点。

C# 接口

提供 C# 应用程序标准接口（API），可以使用 ADO.NET 框架来访问数据库，提供了连接数据库、执行 SQL 语句、处理结果集等功能的类和接口。

ODBC 接口

提供 ODBC 应用程序通用编程接口，支持 ODBC3.0 标准协议，提供连接数据库、执行 SQL 语句、处理结果集、事务管理、错误处理等功能。

Python 接口

提供 Python 应用程序编程接口，支持 Python 2.7 及以上版本，支持 Python 2.0 协议标准，用于满足用户通过 Python 语言完成对数据库服务的通信交互需求。

Go 接口

定义提供 Go 应用数据库编程接口，用于满足用户通过 GO 语言完成对数据库的连接、SQL 执行、数据操作、结果获取等操作。

PHP 接口

提供 PHP 应用数据库操作接口，提供与数据库进行交互的方法，开发人员可以轻松地执行数据库 SQL 命令，实现数据的查询、插入、更新和删除等操作。

XGCI 接口

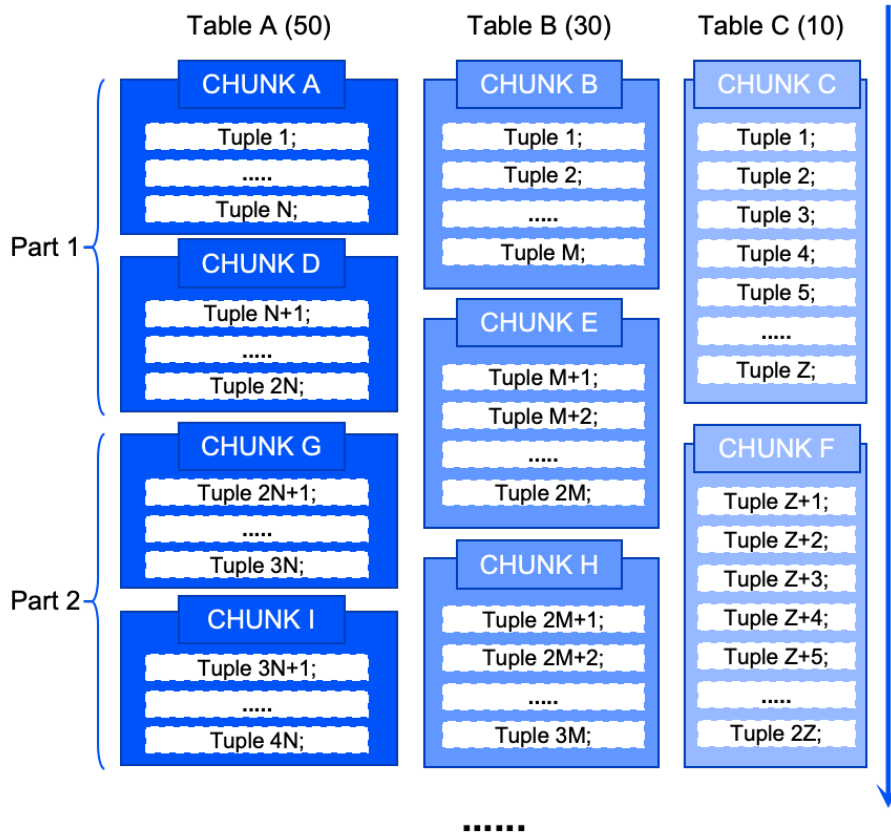
提供 XGCI 应用程序编程接口（API），OCI 风格兼容，可以满足开发人员在 C/C++ 编程中通过 SQL 实现对数据库的连接、查询、插入、更新、删除等操作，并且可以实现与数据库的交互和数据交换。

2.3 技术原理

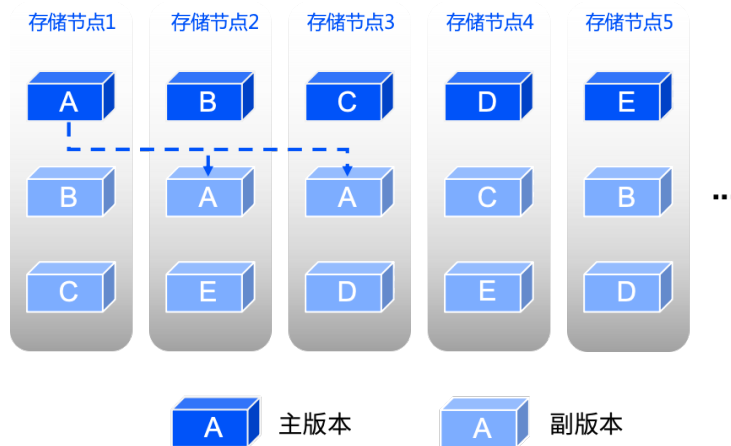
存储设计

虚谷数据库的存储引擎层采用了类似 GFS 的切片规则，存储与逻辑解耦。底层的组织形式是 tuple->chunk，一个 tuple 即是一条记录（record），由多个 tuple 组成一个 chunk，虚谷的存储块按 chunk 进行管理，1 个 CHUNK 为 8MB（区别于 GFS 论文中的 256MB，数据库的颗粒度不能太大，涉及到数据的迁移、资源的争用与并发等）。

如下图，Table A/B/C 分别是三张不同字段数的表，各自有对应的分区规则。假设 Table A 的分区 Part 1 具有 2N 条记录，经过测算，2N 条记录整体大小为 16MB。



按虚谷 CHUNCK 为 8MB 的设计，则分区 Part 1 占用 2 个 CHUNCK。如果存储方式采用物理轮转均衡规则，则所有表的所有 CHUNCK 按数据载入顺序均衡存储在所有存储节点中。



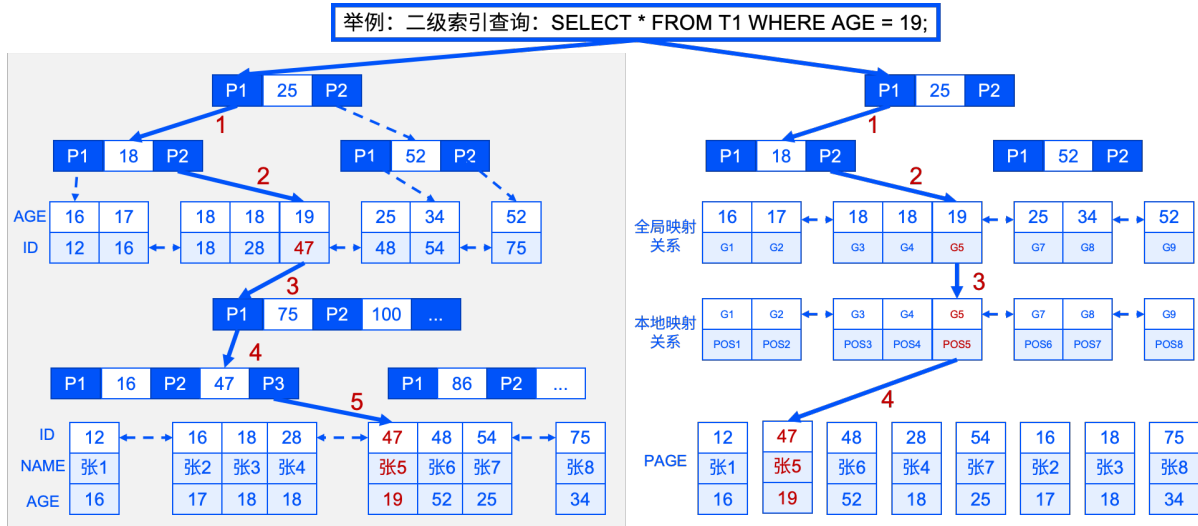
由于上述设计，所以虚谷数据库在数据均衡度上较高，在数据复用率上也较高，可以一份数据应用于多个维度进行数据查询。除了上述的堆存储外（PAGE），虚谷数据库引入了 B+ 树索引来进行加速。

索引设计

虚谷数据库默认采用 B+ 树非聚簇索引与段页式存储的设计，加速整体的查询运行效率。如下图所示，右侧为虚谷数据库的索引设计，左侧是传统的 MYSQL 索引设计。此处以一个 TABLE T (ID,NAME,AGE) 为例，除了以 ID 主键外，还引入了 AGE 自动的非主键索引。此处如果以

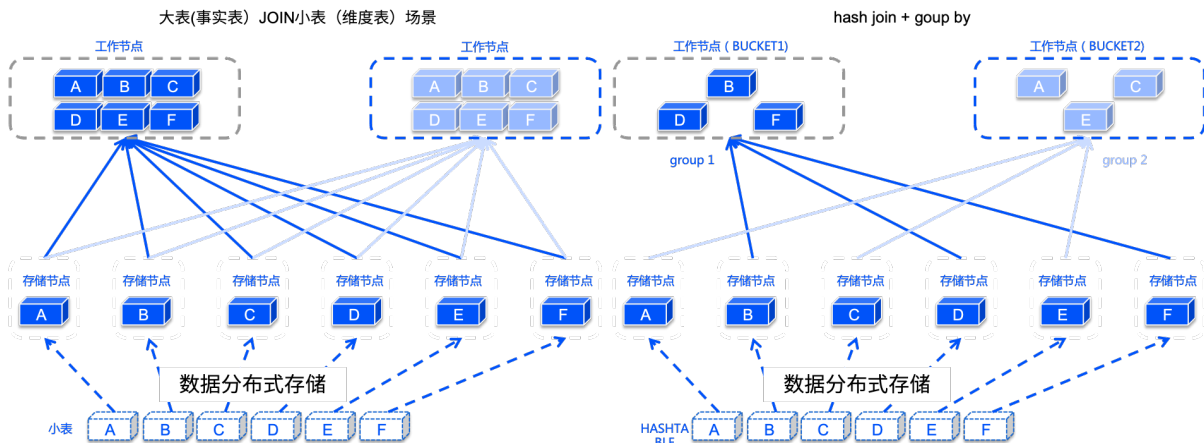
AGE 字段作为定位件，那么传统 MYSQL 等聚簇索引架构，则需要回表查询，时间复杂度较高。而虚谷的索引模型则只需要对 AGE 索引进行遍历后采用段页式定位到具体的存储位置将数据取出即可，性能较高。

虚谷采用这样的设计的初衷是因为现在的业务模型越来越复杂，不仅仅是依托于主键进行查询，传统的聚簇索引查询虽然对主键查询性能好，但是整体来看性能效率比已经不足。



查询优化设计

虚谷数据库内部采用了并行调度、数据预处理、数据预分发等技术加速查询性能，尤其是在 JOIN 及 GROUP BY 分组统计场景。虚谷数据库采用了“数据向计算靠拢”的设计思想，在工作节点（SQL 执行机）进行任务规划的时候，就让所有的存储节点知道自己的参与任务以及下一跳的数据推送位置。如此一来，在进行路径规划的时候，如大表与小表进行 Join 的时候，存储节点可以将数据提前推送到工作节点（计算引擎）的内存中，只需要扫描大表即可完成 JOIN。除此以外，还可以根据分组情况将数据推送至后续需要进行关联分析的位置上，降低下一步的网络交换开销，增加计算效率。

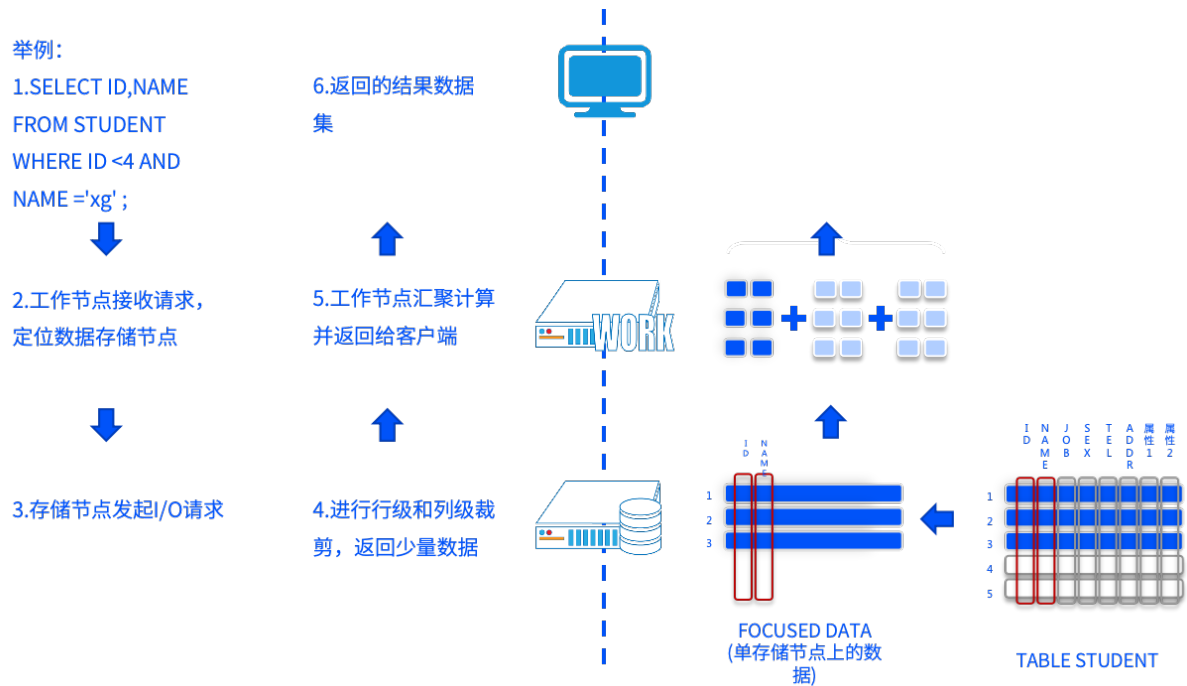


精准定位设计

当前数据行业正处于高速发展的阶段中，在数据库设计方面表的字段数量越来越大（维度越来越多），此时针对宽表的部分列、部分数据的精准定位需求显得尤其重要。虚谷数据库除了采用 B+ 树索引模型加速点查能力外，还引入了“计算向数据靠拢”的算子下推技术。

在传统数据库设计当中，存储引擎往往采用外部存储（SAN/SDS）来承接，此时如果需要查询部分列部分字段的数据的时候，往往会把整条数据都拉取到上层计算引擎中进行裁剪或者分析。本质上是因为“存储”是不带有 CPU 的，所以不具备计算能力。

虚谷数据库由于采用了单进程多线程模型，可以单独部署一个进程由存储任务独占 PC 服务器。所以此时虚谷利用“SMART SCAN”技术将算子下沉到存储中进行本地化裁剪，最后返回少量数据，实现精准查询的效率提升。如下图，例举了一条 SQL “SELECT ID,NAME FROM STUDENT WHERE ID <4 AND NAME = 'xg' ;”，该 STUDENT 表有若干字段，仅取部分字段的情况。



3 核心技术

3.1 数据库强一致

虚谷数据库通过事务一致性和数据一致性来保障整个数据库强一致。

- 事务一致性：事务层采用优化的二阶段提交协议来实现分布式事务，即在节点间的事务能根据数据分布方式自动进行事务切分。同时设置节点服务停止超时时间，不会让整个集群无限阻塞等待。
- 数据一致性：数据层则采用数据流同步复制方式结合“可靠 UDP”技术，保证数据副本之间的强一致性。

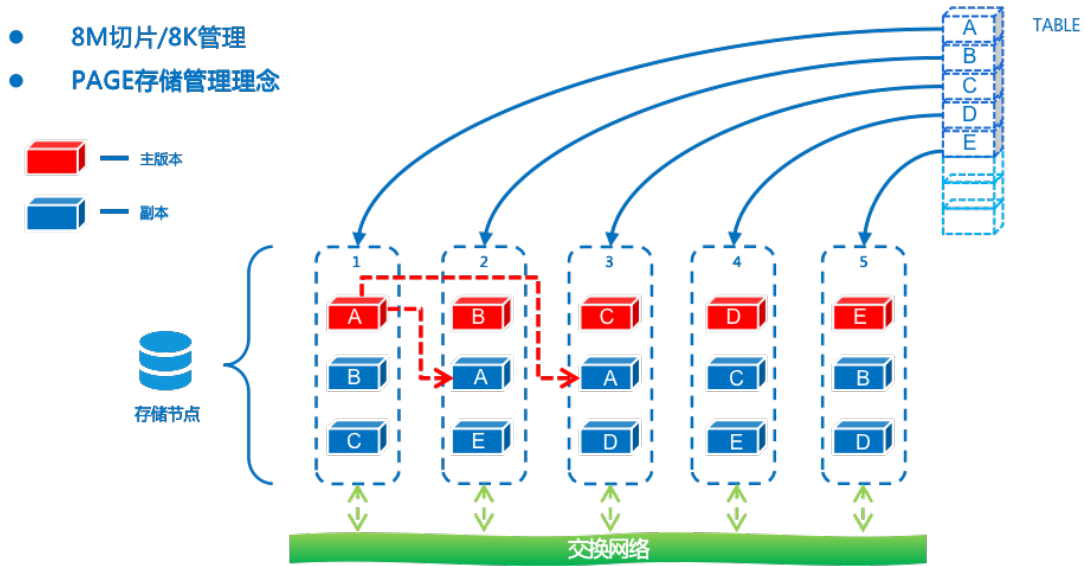
3.2 数据库高可用

虚谷数据库拥有存储、计算、管理和网络等多层面多领域的高可用能力，从而保证整个数据库集群的高可用。

3.2.1 数据存储高可用

虚谷数据库采用数据存储切片技术实现分布式数据存储功能。虚谷数据库提供灵活的数据版本管理功能，数据存储版本数可按需进行配置，最多支持 3 个数据存储版本（默认 1 个主数据版本，2 个备数据版本）。多版本数据存储模式下主版本轮转分布，副本随机分布的策略将数据均匀分布到整个数据库集群节点中，从而保证存储的高可用，如图 3-1 所示。

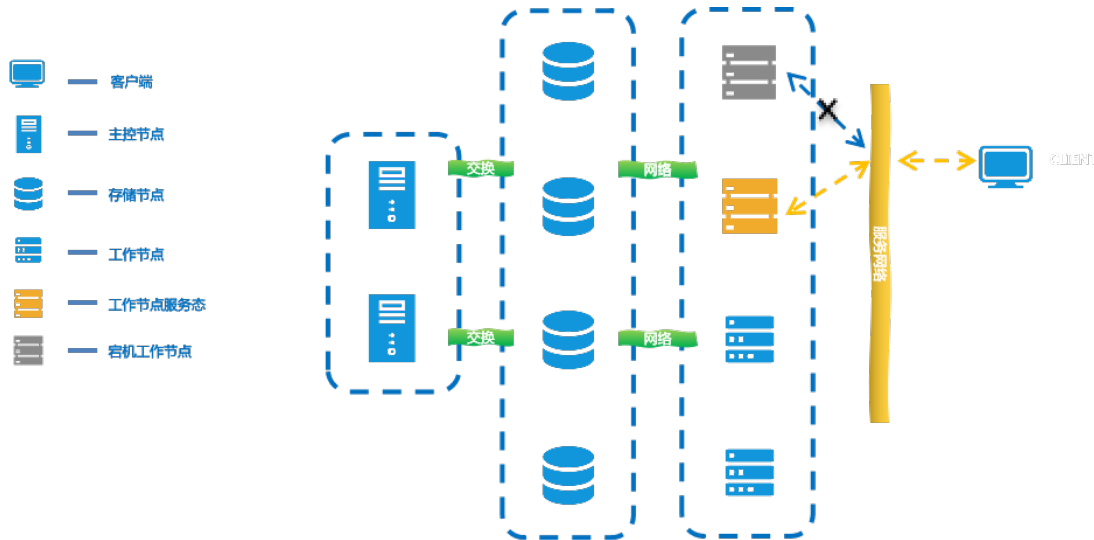
图 3-1 多副本存储



3.2.2 工作计算高可用

虚谷数据库在存算分离部署下，工作节点没有持久化数据，对外服务是完全对等同构的，意味着用户连接到任意一个工作节点即连接到整个数据库集群，如图 3-2 所示。

图 3-2 工作节点对等同构

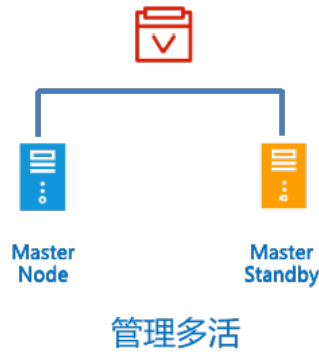


该架构带来的好处是用户在连接数据库的时候，允许工作节点服务停止且不惧单点故障，即使所有工作节点服务停止，也不会对数据存储造成影响，后续直接再次接入工作节点即可恢复访问，可实现自动故障探测和容灾处理。

3.2.3 主控管理高可用

虚谷数据库是中心化的分布式数据库，管理节点虽然没有业务数据，但是也保存了如存储映射等重要信息，所以在架构上设计了管理节点的双活冗余，当一个管理节点服务停止或者故障后，另一个管理节点自动接管，如图 3-3 所示。

图 3-3 管理节点主备



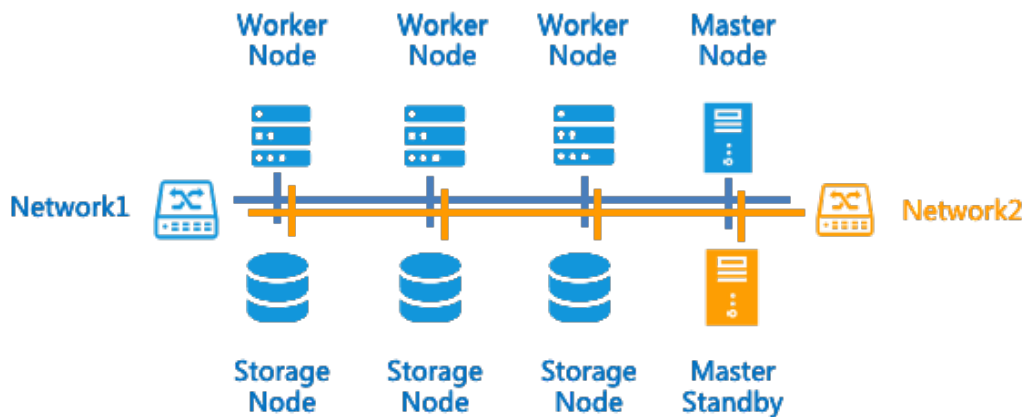
3.2.4 变更日志高可用

虚谷数据库用于收集集群数据变更信息的收集节点，也是采用主备双机方案，在保证事务粒度的情况下也能保证其可靠性。

3.2.5 网络传输高可用

虚谷数据库提供多网络并行功能，同一集群内部可配置多路网络进行通讯交互，该功能不依赖操作系统或交换机功能，仅需用户提供物理 IP 地址即可。配置多路网络通讯端口不仅能够提供更高的集群通讯能力，也能为单网络故障（网线、网卡或交换机故障）提供容错，避免单网络故障引起节点服务停止误判或集群不可用，且网络故障修复后可自动重新接入，为集群提供网络服务，如图 3-4 所示。

图 3-4 多网多活



3.3 数据库高性能

虚谷数据库通过一系列底层的独特技术来对数据库查询修改进行优化，从而让数据库的事务能力和分析能力达到高性能。

3.3.1 高性能-事务技术

无限制级行级锁

虚谷数据库是一款关系型数据库，数据存储最小粒度为记录行。虚谷数据库管理锁的粒度可以从对象级到行级，行级锁的实现意味可提供极高的并发响应能力。任何情况下不允许锁升级，大幅降低死锁的可能性。

基于代价的路径优化

虚谷数据库采用基于代价的路径优化模型，可以让用户的 SQL 语句根据具体的数据分布情况、索引使用情况、分区情况、联合查询情况来做最优的路径选取调整，从而使 SQL 执行时间最短。

多版本并发控制技术

虚谷数据库完整实现 MVCC 多版本并发控制，维持一个数据的多个版本使读写操作没有冲突，避免复杂事务环境中的读写操作冲突，提供更好的数据库响应性能。基于 MVCC 技术，虚谷数据库实现读已提交（Read Committed）隔离级别，支持高并发场景下的事务处理。

集群可靠 UDP 技术

通常采用的 TCP（Transmission Control Protocol）协议性能损耗大，类似于谷歌的 QUIC，虚谷数据库不仅采用 UDP（User Datagram Protocol）封包格式通用接口，且在底层包装改造了一套可靠的 UDP 协议，大量减少性能损耗。

网络 RDMA 协议支持

虚谷数据库 RDMA（Remote Direct Memory Access）功能可直接进行内存访问，降低网络时延和 CPU 占用率，数据从一个系统快速移动到远程系统存储器中，达到高带宽、低时延和低资源占用。虚谷数据库支持 Infiniband 和 RoCE v2 的 RDMA 协议支持，并非使用万兆接口简单调用。

存储数据压缩技术

当数据重复频繁或在各数据块中可预见的位置上出现时，这些冗余部分通过虚谷数据压缩技术除去或减少。利用数据相关规律周期性变换去冗余，加速数据传递效率。

多核 NUMA 优化

虚谷基于多核架构进行了深度优化，对关键数据结构分区，降低数据访问频次。利用 NUMA（Non Uniform Memory Access）优化降低底层数据流转冲突，关键业务线程绑核，避免核间线程漂移。

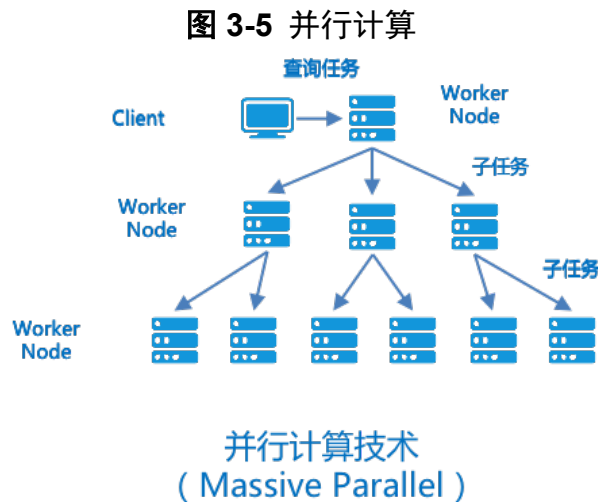
元数据分布式管理

虚谷数据库在管理系统元数据信息时是将元数据表当做堆表进行管理，具有将元数据表分散到各个节点中管理的能力，避免由于表过多导致访问元数据表成为性能瓶颈。

3.3.2 高性能-分析技术

并行扫描技术

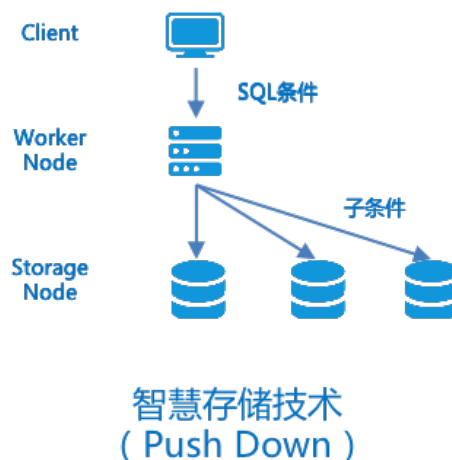
虚谷数据库能完全调度整个集群节点的计算和 I/O 能力来对用户发起的 SQL 请求进行处理，并行处理过程自动完成，以整个集群算力为用户提供高效的大数据查询分析能力，如图 3-5 所示。



智能单元扫描技术

虚谷数据库基于计算向存储靠拢的设计理念，开发了独特的智能单元扫描技术（算子下推），让数据在存储节点进行裁剪计算后再汇聚，从而减少了网络开销，降低了计算资源消耗，以提升数据库对 SQL 的响应速度和吞吐量，如图 3-6 所示。

图 3-6 智能单元扫描



当用户发起扫描请求并只对数据表的部分字段与限制条件进行检索的时候，定位到存储节点的存储单元将按照指定输出列与符合限制条件进行数据裁剪，仅仅向工作节点返回少量符合用户

需求的数据，再将返回的数据用于统计运算，最后返回给用户。整个过程以最少的资源消耗达到高效迅速完成运算的效果。

复杂统计分析函数

虚谷数据库提供一系列专门用于解决复杂报表统计需求的分析（开窗）函数，支持排名分析函数与聚合分析函数。分析函数在一组与当前行相关的表行之间执行计算，与使用聚合函数可以完成的计算类型类似。但与常规的聚合函数不同的是，使用分析函数不仅可以保留所有原始行记录，还可以进行分组数据分析。

3.4 数据库高安全

虚谷数据库拥有高度安全的数据防控策略，包括访问控制、身份认证、存储加密等等。

3.4.1 复杂密钥身份验证

虚谷数据库能够根据用户在系统中的用户名和密码确定该用户是否具有登录的权限及其在系统中的系统级角色，以此决定该用户能够做什么和不能够做什么。

虚谷数据库的密码长度区间为 [3 , 32]，密码复杂度能设置多种字符、字母、数字混合，有效保证数据库身份登录的安全性，避免被字典攻击破解。用户登录失败 3 次后数据库将锁定该用户 IP 地址，在 3 分钟内禁用该 IP 地址登录请求，从而防御来自攻击 IP 地址的用户名和密码刺探，同时避免用户密码暴力破解攻击。

3.4.2 普通自主访问控制

虚谷数据库根据用户的权限执行自主访问控制，对用户操作、访问的权限管理粒度支持库、视图、表、角色及用户操作等。

用户权限是指用户在数据对象上能够执行的操作。规定用户权限要考虑三个因素：用户、数据库对象和操作，即什么用户在哪些数据库对象上可执行什么操作。所有的用户权限都要记录在系统表（数据字典）中，对用户存取权限的定义称为授权，当用户提出操作请求时，虚谷根据授权情况进行检查，以决定是执行操作还是拒绝执行，从而保证用户能够存取用户权限范围内的数据，用户权限范围外的数据存取将被拒绝。

3.4.3 标记强制访问控制

虚谷数据库利用策略和标记来实现数据库的强制访问机制。强制访问控制主要是针对用户和元组，用户操作元组时，不仅要满足自主访问控制的权限要求，还要满足用户和元组之间标记的

相容性。这样，就避免了出现管理权限全部由数据库管理员一人负责的局面，同时也相应地增强了系统的安全性，因为自主访问控制权限只能达到列级，而安全策略可以控制到记录级。

3.4.4 存储传输加密保障

某些信息具有保密要求，实现存储加密的重要性不言而喻。虚谷数据库实现了对存储数据的加密，为用户的隐私数据提供更加可靠的保护。虚谷数据库的加密方法是一种既依赖算法又依赖密码的加密方法，即便加密算法被攻击者识破，在没有密钥的情况下，攻击者也无法解读数据文件。此外，虚谷数据库启用存储加密后，对整个系统的运行效率影响很小。支持 TCP/IP 方式与 SSL 方式的数据库会话，SSL 会话是在 TCP/IP 连接基础上，进行传输通道加密，保证传输安全。

3.4.5 网络访问规则控制

数据库部署于复杂网络环境，因此虚谷数据库实现网络访问控制，以准确控制数据库访问来源网络区域，设置黑白名单。黑白名单能对数据库（Database）和用户（User）按照指定的网络区域（IP 地址或 IP 地址段）进行网络安全管理，有效保证了数据库在复杂网络环境的数据和行为安全。

3.4.6 自主研发安全可控

虚谷数据库是一款研发历时十数年，并投入市场经过近十年的验证的成熟商业化关系型数据库产品，其核心组件包括管理、存储和计算，均自主研发，并未使用任何开源框架。数据库产品源码经过工信部赛普中心测评认证，除了通用字符集、标准 SQL 语法定义等部分代码，自有率达 99.6%，完全避免了开源软件带来的安全风险和技术限制。

3.5 数据库高扩展

虚谷数据库基于其优异的分布式架构特点，拥有动态增加节点的能力，可以在集群能力遇到瓶颈的时候进行扩展。如果计算能力不足可以扩展工作节点，存储能力不足则扩展存储节点，或存储计算同时扩展。计算节点由于本身不存储数据，所以扩展后即可参与计算任务从而增加整个数据库并发能力和计算能力。存储节点由于数据存储与逻辑表无关，是按物理 CHUNK 进行存储的，所以在扩展存储节点后，原集群存储可以按 CHUNK 流转至新的存储节点完成节点扩展，扩展后可有效缓解应用瓶颈，增加集群的容量和性能。

虚谷数据库拥有在线动态扩展能力，数据的转移（复制）不需要人工干预，工作负载在存储节点之间动态分发，无需停机，实现系统的透明扩展，如图 3-7 和图 3-8 所示。

图 3-7 节点动态扩展 a

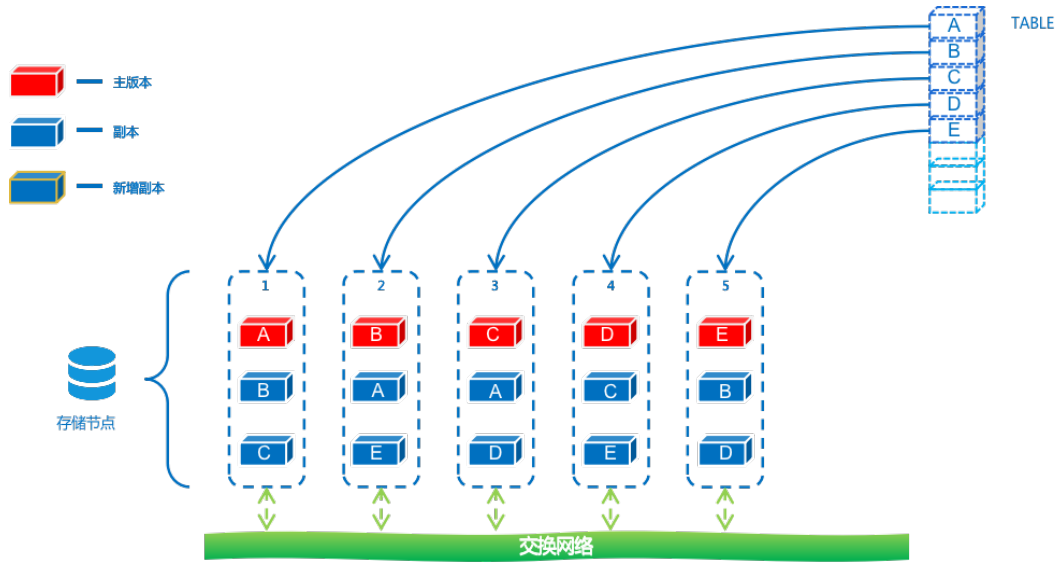
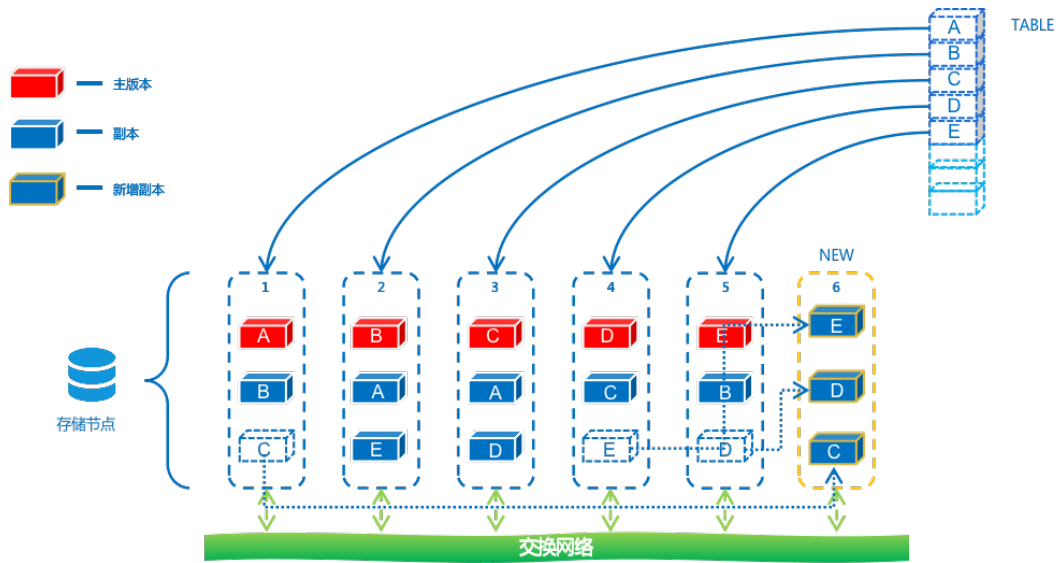


图 3-8 节点动态扩展 b



虚谷数据库的数据采用的是 3 版本策略，本来均匀分布在 5 个节点上，此处加入了 1 个新节点，已有节点数据存储根据规则动态均衡到新加入节点且存储误差的比例控制在 5% 以内，实现主版本轮转分布，副本随机分布的特性。加上虚谷数据库的工作节点对等同构，所以应用连接任一工作节点即可接入数据库，那么就会对在线的动态扩展无感知，实现“热加入”。

3.6 数据库高兼容

虚谷数据库具备高兼容技术，能够与各种硬件平台、操作系统、应用程序、标准接口和字符集兼容，方便集成使用，如表 3-1 所示。

表 3-1 兼容性

兼容类型	兼容说明
硬件平台支持	虚谷数据库兼容多种硬件体系，可运行于 X86、SPARC、POWER、ARM、MIPS 等硬件体系之上，并与各国产硬件平台进行过兼容性测试，测试平台包括：浪潮、联想、曙光、华为等。
操作系统支持	虚谷数据库完全基于 C/C++ 语言开发，具有良好的跨平台特性。 支持 Windows 系列、Linux 系列、Unix、AIX 等国外操作系统。 支持国产统信 UOS、中标麒麟、银河麒麟、华为欧拉、中科方德、深度、普华、凝思等国产操作系统。
应用开发支持	虚谷数据库支持多种主流集成开发环境和主流系统中间件。 开发环境：Visual Studio、.NET、C++ Builder、Qt、Eclipse、IntelliJ IDEA 等。 中间件：WebLogic、Websphere、Tomcat、东方通、中创、金蝶等。
标准接口支持	虚谷数据库符合 SQL-92/SQL-99/SQL-2003、ODBC、JDBC 等国际标准或行业标准，提供所有数据库标准接口，支持 SQL-92 标准的所有数据类型。 提供数据库标准接口：ODBC 接口驱动程序（符合 ODBC 3.0 标准）、JDBC 接口驱动程序（符合 JDBC 3.0 标准）。 兼容数据库特性：兼容其他数据库的数据类型、函数和语法特性，与 Oracle 数据库高度兼容，如包（package）、存储过程（PL/SQL）、存储函数等。
接下页	

兼容类型	兼容说明
字符集支持	虚谷数据库完全支持 UTF-8、GB2312、GB18030、GBK、Binary 等常用字符集。

3.7 数据库高易用

易部署

采用轻量化、低依赖部署模式，基础环境检测评估、安装包集群下发及一键配置启动，降低部署难度，快速服务上线。

易学习

提供易于学习和理解的各类操作手册、教程和文档，使新手能够快速上手并掌握基本操作。

易操作

提供直观、易于使用的用户界面管理工具，使数据库管理员和开发人员能够轻松地进行各种操作，如数据操作、对象管理等。

易维护

提供可视化数据库监控以及易于维护的功能，全面掌握数据库状态，降低数据库维护成本和减少停机时间。

易扩展

基于无共享对等处理架构，节点动态扩展，存储可实现自动均衡，方便能力扩展，以适应不断增长的数据量和业务需求。

兼容性

支持多种操作系统和编程语言，方便与其他系统的集成和开发。数据库周边生态适配丰富，国产化应用上线快速融入。

配套齐

支持多样的数据库生命周期工具，数据库开发、开发工具支持、数据迁移支持、数据同步支持、数据校验比对、数据库监控及优化，全面辅助支持数据库各类配套操作。

4 产品功能

4.1 基础功能

4.1.1 基础对象管理

虚谷数据库采用了和传统关系型数据库相同的对象管理方式，目前支持的对象有表、模式、视图、序列值、包、存储过程和函数、触发器、索引、同义词、约束（含主外键、CHECK、唯一值）、自定义数据类型（UDT）、定时作业等。

4.1.2 SQL 语法操作

虚谷数据库全面支持 SQL92 标准，支持标准的 DDL、DML 语法。

- 数据定义：包括数据库、数据表、视图、索引等基础对象的创建和删除语法以及数据库、数据表等对象的修改语法。
- 数据操作：包括 SELECT、INSERT、UPDATE、DELETE、TRUNCATE 等语法。
- 功能操作：包括 USE、SET SESSION（切换用户）、SET CURRENT SCHEMA（切换模式）、DESC 语法。
- 事务操作：包括扁平事务 BEGIN/END TRANSACTION、COMMIT、ROLLBACK，带保存点事务 SAVEPOINT 和 ROLLBACK TO SAVEPOINT。
- 加锁控制：包含存储锁、块锁、表锁、行锁；数据操作若出现死锁，能自动解锁。
- 管理操作：包含账户管理语法、参数设置语法、查看语法等。其中账户管理语法包括创建、删除用户，授权语法等，查看语法包括查看数据库、查看表、查看列语法等。

4.1.3 存储过程函数

虚谷数据库提供 PL/SQL 语法创建存储过程/函数。虚谷数据库内置存储过程引擎，在计算层（解析器）识别存储过程并使之分布式化。支持带参数、不带参数存储过程的创建、修改、删除，支持动态 SQL 存储过程的创建、修改、删除。

4.1.4 数据类型兼容

虚谷数据库支持 SQL 标准中的所有数据类型，如表 4-1 所示。

表 4-1 数据类型兼容

数据分类	数据类型
字符类型	CHAR[(M)], VARCHAR[(M)], VARCHAR2[(M)]
整型数据类型	TINYINT、SMALLINT、INTEGER、BIGINT
固定精度数据类型	NUMERIC[(M[,D])]
日期类型	DATE、TIME、DATETIME、TIMESTAMP、TIME WITH TIME ZONE、DATETIME WITH TIME ZONE、INTERVAL YEAR/./SECOND TO MONTH/./SECOND
二进制数据类型	BINARY、BIT
大对象数据类型	BLOB、CLOB、JSON、XML
布尔类型	BOOLEAN
浮点数据类型	FLOAT、DOUBLE
其他类型	GUID、ROWVERSION、ROWID

4.1.5 多类型索引

虚谷数据库支持多种索引类型，包括 Btree 索引、全文索引，可为用户提供不同场景下的数据扫描优化功能。同时在大数据场景下，为提高数据检索效率与索引可维护性，提供全局索引与局部索引功能，在用户指定索引键进行查询时，数据库系统自动根据索引分区键进行索引数据分区裁剪，避免过多的分区索引数据扫描。

4.1.6 多类型数据分区

虚谷数据库支持水平分区功能，包括一级分区与二级分区功能。分区类型包括范围分区（RANGE）、列表分区（LIST）、哈希分区（HASH），同时支持 RANGE-RANGE、RANGE-HASH、RANGE-LIST、LIST-RANGE 等组合分区模式，以提高数据管理性与请求响

应效率。大数据场景下，支持对部分分区数据进行离线、清理等功能。同时针对拥有时间序列特征的数据，提供基于时间的自动扩展分区功能，分区粒度包括：小时、日、月、年。

4.1.7 丰富的系统函数

为了方便用户能够快速对数据进行简单的运算，虚谷数据库向用户提供了大量的系统级函数，用户只需填充相应的参数即可获得运算后的结果，包括常用的数值类型函数、字符类型函数、时间类型函数、类型转换函数等，如表 4-2 所示。

表 4-2 系统函数

函数类型	示例函数
数值类型函数	BIN、HEX、ABS、BITAND、LOG、RANDOM、POW、ASIN、COS 等
数值类型聚合函数	MIN、MAX、AVG、SUM、COUNT、STDDEV 等
字符类型函数	LEN、LEFTB、LOWER、UPPER、WM_CONCAT、SPACE、CONCAT 等
时间类型函数	GETYEAR、NOW、DATA_ADD、GET_FORMAT、DATE、SYSDATE 等
类型转换函数	HEXTORAW、RAWTOHEX、CHR、ASCII、TO_BLOB、NUMTODSINTERVAL 等

4.1.8 内置多类系统包

同时，为方便用户更快捷的使用数据库，虚谷数据库对一些基本功能做了封装，并以系统包的方式提供给用户使用，如表 4-3 所示。

表 4-3 系统包

系统包名	系统包描述	应用场景
DBMS_DBA	管理员系统运维包	系统管理员维护系统，如：session、transaction
接下页		

系统包名	系统包描述	应用场景
DBMS_OUTPUT	字符串信息输出包	字段或字符串信息输出
DBMS_INFO	系统信息包	获取系统信息，如：数据库名称、数据库版本
DBMS_STAT	统计信息包	用于搜集、查看、修改、分析数据库对象，如：分析表字段信息
DBMS_IMPORT	流式数据导入包	以流式格式导入外部数据到数据库表中
DBMS_SCHEDULER	系统信息获取包	用于查询获取系统配置信息
DBMS_SQL	动态 SQL (DDL 和 DML) 包	块语句或存储过程/函数中动态执行 SQL 语句
CTX_DOC	全文检索支持包	全文索引词库操作
DBMS_LOB	大对象操作包	大对象数据的操作，如：CLOB 数据的读、写
UTL_RAW	字符数据转换包	字符数据转换为指定数据类型，如：字符串转 ASCII、RAW
DBMS_CRYPTO	数据加密包	对指定的数据进行加密，如：DES 加密
DBMS_BACKUP	系统备份包	备份系统对象，如：指定表、模式、库等
DBMS_METADATA	元数据管理包	获取对象的创建信息
DBMS_UTILITY	通用工具包	提供数据库内置方法
DBMS_RANDOM	随机函数包	用户管理操作随机数
DBMS_JOB	定时作业包	定时作业对象的管理，如：作业提交、运行、删除等

4.1.9 系统字典视图

虚谷数据库提供丰富全面的数据库系统表与系统视图，提供对数据库的详细信息和操作的访问，帮助用户更好地了解和管理数据库，以及监测数据库的运行状态。

虚谷数据库系统表分为文件表、实体表、系统虚表三个大类。

- 文件表：主要针对数据库的日志体系，与日志文件对应。
- 实体表：对当前数据库的对象、规则以及策略等进行记载。
- 系统虚表：可拆分为动态虚表和静态虚表，静态虚表主要对数据库内置的信息进行记载，如支持的数据类型、操作符、内置函数以及内置的错误集合等。动态虚表主要针对实时的数据库运行状态进行记录，涉及存储、锁、实时任务、全局信息的记载。

虚谷数据库系统视图按照用户角色权限和范围进行细分，主要包含 ALL 视图、USER 视图、DBA 视图三个大类。

- ALL 视图：以 ALL 为前缀的系统视图，所有用户都可以访问 ALL 视图，它提供了对数据库中所有对象的访问权限。
- USER 视图：以 USER 为前缀的系统视图，只有当前用户才能访问 USER 视图。它只提供对当前用户拥有的对象的访问权限。
- DBA 视图：以 DBA 为前缀的系统视图，只有拥有 DBA 权限的用户才能访问 DBA 视图。

4.1.10 系统日志体系

数据库日志系统按照日志类别分为五大类，用于记载数据库各类状态及执行统计情况，如表 4-4 所示。

表 4-4 日志体系

日志类别	日志文件	日志说明
系统错误日志	ERROR.LOG	数据库运行错误日志信息，记载数据库运行过程中产生的错误消息，可通过 ERROR_LEVEL 设置错误日志级别。
系统事件日志	EVENT.LOG	数据库系统事件日志，记载数据库运行过程中的系统事件。
系统命令日志	COMMAND.LOG	数据库执行 SQL 记载日志，需开启 REG_COMMAND，可记载所有数据库响应命令。
接下页		

日志类别	日志文件	日志说明
系统跟踪日志	TRACE.LOG	数据库运行跟踪日志，记载数据库各类跟踪日志信息。
系统运行日志	STDOUT	数据库系统运行信息（启动/停止），查看数据库网络通讯状况，PRINT_DEBUG=ON 时，可查看对象执行信息。

4.1.11 细粒度参数配置

数据库系统有丰富的细粒度参数，各业务系统可根据系统建设目标，配置最优参数，利于发挥数据库最大效能，如表 4-5 所示。

表 4-5 细粒度参数配置

参数类型	参数配置
网络侦听	侦听端口、延时控制、复杂口令、时区设置、口令模式、登录安全
并行管理	线程绑定、线程分组、线程数量、任务并行度、同步线程、事务线程
系统缓存	数据缓存、优化方式、计算缓存、缓存共享、分配限额、分组大小
SQL 引擎	Prepare 控制、延时控制、循环变更、弹射计划、索引代价、查询层级
存储管理	副本安全、插入热点、初始空间、空间控制、存储维护、持久化策略
事务管理	自动提交、隔离级别、死锁检测、加锁时长、回滚控制、事务变更
备份同步	变更日志、日志通道数、任务线程数、归档模式、日志增补、回收站
运行日志	日志启用、级别控制、日志分片、段错误归档、日志语言、非法事件
审计分析	审计安全、定时分析、统计分析、采样间隔、系统调试、分析阈值
兼容性	自增列模式、语句模式、兼容模式默认值、新旧产品名

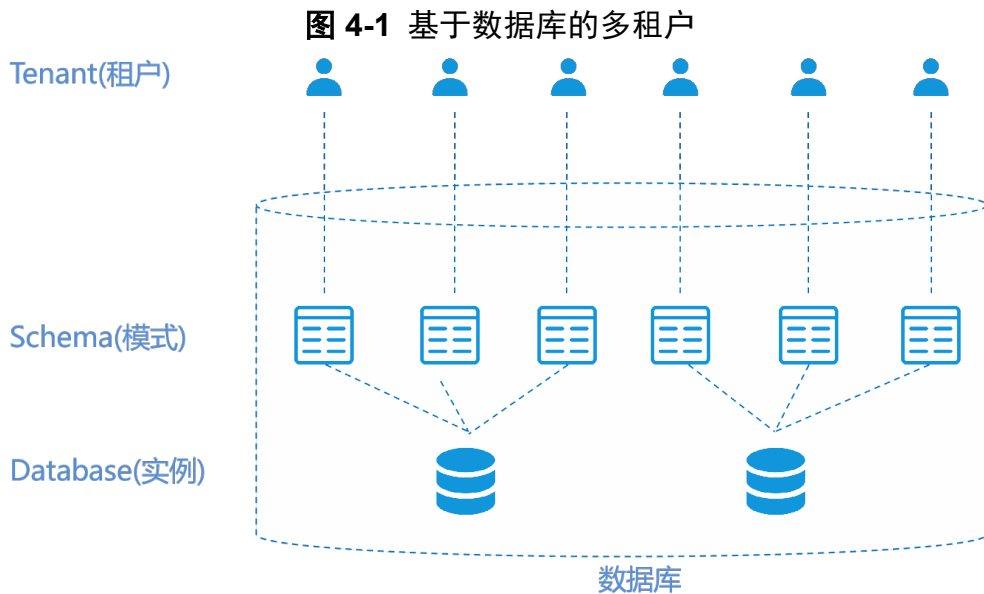
4.2 多租户云服务

虚谷数据库支持多种级别的租户管理，部署模式支持本地化部署和虚拟化云环境部署。

4.2.1 基于数据库的多租户管理

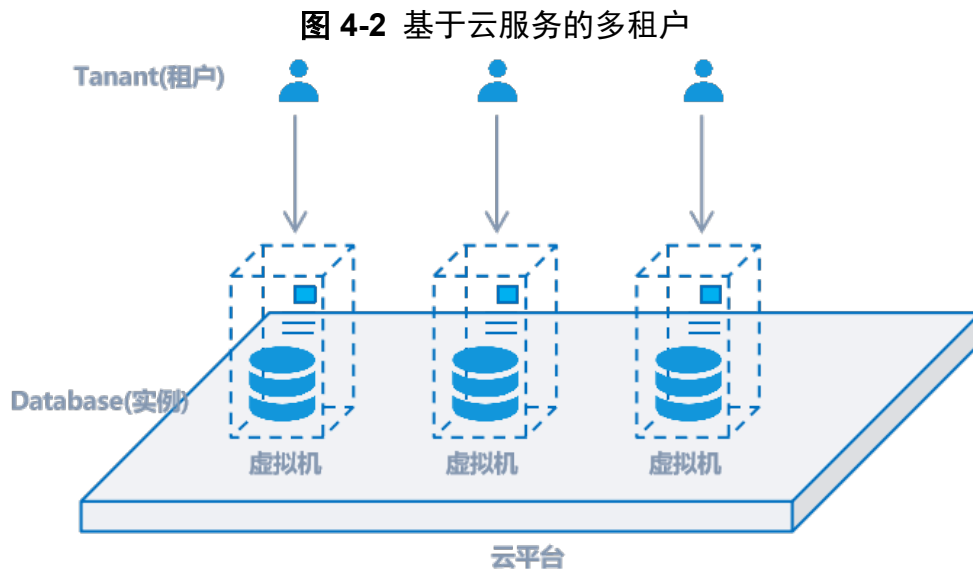
基于数据库实例（Database）的多租户管理，一租户拥有一库，隔离度较高，库与库之间数据无共享。

基于模式（SCHEMA）的逻辑权限隔离的多租户服务，库有多个模式，一租户拥有一模式，可以对数据库对象和用户/模式进行权限设置来分隔租户资源，如图 4-1 所示。



4.2.2 基于云服务多租户模式

虚谷数据库除支持本地化部署外，也支持虚拟化部署，通过云化环境进行资源隔离，在物理资源充足的条件下，为更多应用用户提供数据存储与访问服务，提高资源利用率，如图 4-2 所示。



4.3 系统容灾备份

4.3.1 系统备份恢复

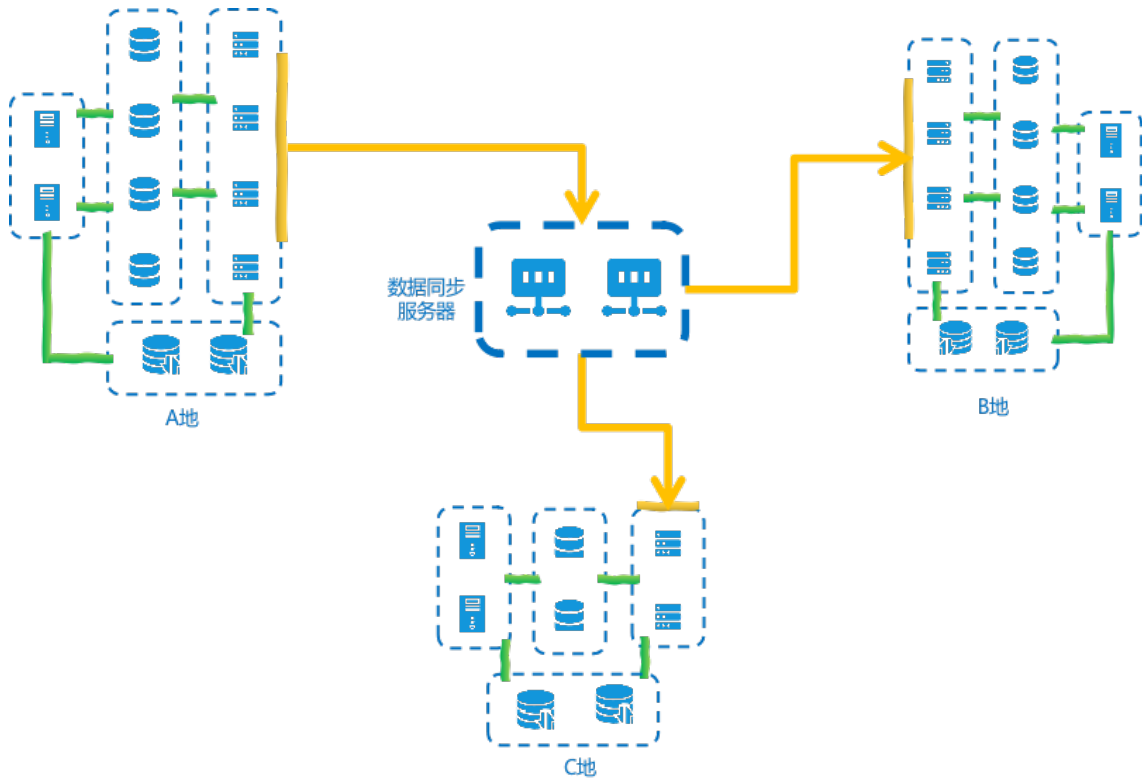
虚谷数据库备份恢复功能是数据库管理的重要组成部分，它能够保证数据的安全性和完整性，提高数据库的稳定性和可用性。

- 物理备份恢复：直接备份数据库的数据文件，恢复时通过替换集群各个节点对应备份的数据库文件即可。
- 逻辑备份恢复：对特定的数据库对象进行备份，支持库级、用户级、模式级、表级三种层级的备份策略，用户根据需要制定相关的备份恢复策略。

4.3.2 实时变更同步

虚谷数据库基于数据变更收集功能（BINLOG）的旁路方式，可以通过消息订阅的方式将数据以实时增量（事务级）的方式推送到远端，可以实现多地多中心的灾备策略。在机房级故障发生时，RPO=0，RTO 取决于业务切换速度，一般小于 30 秒，如图 4-3 所示。

图 4-3 多地多中心模式



当进行多地多中心部署时，虚谷数据库拥有同步双活、异地灾备的高可用能力。

- 同步双活：依靠虚谷数据库的强大集群功能，网络基础条件符合建设标准的情况下，部署两个数据中心同时运行，提供跨中心业务负载均衡运行的能力。核心生产数据库接收应用端发来的请求后，快速响应，同时实时同步增量数据至同城灾备中心，保持核心生产数据库和同城灾备中心的数据实时保持一致。在核心生产数据库发生节点服务停止、机房断电等故障无法继续提供服务时，可秒级切换至同城灾备中心，继续响应请求。
- 异地灾备：同城、异地多个数据中心同时部署分布式数据库集群，由于核心生产数据库和灾备中心的距离较远，可根据网络性能选择同步或异步方式进行数据同步，可用于距离远、网络稳定性和网络延迟不够理想条件下的场景，能够保持核心生产数据库和灾备中心的准数据一致性。当核心生产数据库出现故障时，可切换至异地灾备中心继续提供服务，主要用于防范大规模区域性灾难，保障业务连续性。

4.4 性能参数管理

虚谷数据库的性能参数管理功能如下：

- SQL 分析：提供 EXPLAIN 命令分析查询语句的执行计划。通过 EXPLAIN 命令可以得到 SQL 语句的具体执行路径，数据库管理员可根据执行路径来分析 SQL，然后优化以提升

SQL 语句执行性能。

- 代价估算：成熟的基于代价的优化机制技术，基于一系列的统计信息和算法，对查询的执行计划进行评估，并选择一个预期代价最小的执行计划。
- 参数调整：提供 80 多个数据库参数控制数据库状态。通过对参数的调整，用户可以实现对硬盘存储、内存、连接、线程等数据库行为的控制，从而达到理想的系统性能。

4.5 兼容性持续增强

针对主流数据库产品持续扩展兼容性，虚谷数据库 V12 版本较 V11 版本从功能层、语法层、内置函数层进行兼容性提升，降低存量系统迁移成本。

功能性兼容

- 兼容 Oracle 12C 以上版本 NUMBER 数据类型【整型】自增功能。
- 兼容 Oracle 新旧字段定义在修改时不一致时的处理方式及返回结果。
- 兼容 Oracle 'q 转移字符，用于标记没有特殊字符的纯文本字符串。

语法性兼容

- 兼容 Oracle 数据库 ALTER TABLE 变更表对象定义操作语法。
- 兼容 Oracle HINT 优化器机制，通过在 SQL 语句中包含特定的提示来向优化器提供有关查询性能的提示或建议。
- 兼容 Oracle 数据库 Insert First/All 语法功能，用于把一张表的数据同时插入两张表或两张以上的表。
- 兼容 MySQL 数据库 Replace into 语法功能，用于在插入数据时，若遇到重复的数据，使用新数据替换。
- 兼容 MySQL 数据库 Insert ignore 语法功能，忽略重复插入数据时，发生错误而不中断插入操作。
- 兼容 Oracle 伪命令 EXCEPTION_INIT 语法功能，用于处理未命令的内部异常。

函数性兼容

新增异构数据库字符处理函数、时间处理函数和数字处理函数等 100 余个函数。

4.6 系统扩展优化

针对主流数据库产品持续扩展，从功能层、资源层、算法层进行优化、改善、处理细节，提升执行性能和使用体验。

功能性扩展

- 支持 DML 语句中关键字过滤，等价于为关键字自动添加双引号，减少语法错误。
- 数据库分区表数据查询时，支持按分区名查询数据，扩展查询 SQL 数据过滤方式。
- 支持表删除操作回收站功能，结合闪回删除功能允许您撤消 DROP TABLE 语句产生的影响。
- 支持备份文件压缩及加密功能，将备份文件的体积进行压缩，节省存储空间，同时支持指定备份文件的加密方式，实现数据保护。
- 实现指定查询加密机功能，在执行查询语句时指定系统加密机，可灵活指定。
- 数据库对象的 DDL 语法支持 EXISTS 功能，提升数据库语法的兼容性及操作的灵活性。
- 新增 json 数据类型，扩展了数据类型的支持，使用户数据存储更加灵活。

功能性优化

- 简化数据库关键字，降低关键字使用冲突且新增关键字系统表用于关键字查询。
- 单节点数据库会话连接数由 1000 支持到 10000，扩展节点并发请求规模。
- 优化实现数据库用户自定义类型（UDT），为用户提供更灵活的数据管理方式。
- 支持通过关键字 Function 重编译函数，简化函数编译语法。

系统能力优化

- 扩展集群内部通信通道，由最高 4 路到最高 16 路，提升容灾能力同时，提升内部网络传输能力。
- 调度算法优化，对用户请求进行分组调度，降低调度冲突，降低任务调度延迟，提供系统吞吐率和响应速度。

5 环境要求

5.1 硬件配置要求

5.1.1 版本硬件配置

虚谷数据库的版本硬件配置要求如表 5-1 所示。

表 5-1 硬件配置要求

配置项	单机版	双机版	分布式版
CPU	最低配置：2 核	最低配置：4 核 推荐配置：≥32 核	最低配置：8 核 推荐配置：≥32 核
内存	最低配置：8GB	最低配置：16GB 推荐配置：≥128GB	最低配置：32GB 推荐配置：≥256GB
硬盘	容量：GB 级 类型：SATA/SSD	容量：TB 级 类型：SSD/NVME	容量：PB 级 类型：SSD/NVME
网络	千兆/万兆	万兆	万兆

5.1.2 支持硬件种类

虚谷数据库的硬件配置支持如下种类：

- 支持本地存储（SSD、SATA etc）、集中式存储、分布式存储和阵列部署。
- 支持千兆网、万兆网，也支持低延时的 RDMA 网络，包括采用专用网络设备的 InfiniBand 方式和基于万兆设备的 RoCE v2。
- 支持 PC 服务器/支持多 CPU 服务器。
- 支持通用的 ARM 架构和 x86 架构芯片，同时对国产芯片进行了适配，目前支持以下国产芯片：鲲鹏、龙芯、海光、飞腾、兆芯、申威等。

5.2 软件配置要求

5.2.1 软件配置规格

虚谷数据库的软件配置规格要求如表 5-2 所示。

表 5-2 软件配置要求

配置项	配置要求
操作系统	64 位
用户权限	拥有 root 权限或能够通过 sudo 提升至 root 权限
内核版本 (Linux)	最低 2.6.9
GCC 版本	建议 3.4.6 以上, 推荐使用 4.8.5
swap 大小	建议为内存的 1.5 倍
libaio 版本	建议 0.2.100 以上, 推荐使用 0.3.107

5.2.2 操作系统支持

国产品牌

统信 UOS、银河麒麟、中标麒麟、凝思磐石、华为欧拉、中科方德、深度、普华服务器版等。

国外品牌

- Windows 系列: Win7、Win10、Win11、Windows Server 等。
- Linux 系列: RedHat Linux、SUSE Linux、CentOS Linux、Debian、Ubuntu 等。
- Unix 系列: HP Unix、Sun Unix、IBM Unix、Apple Unix、AIX 等。

6 技术指标

虚谷数据库具有各类高质量的技术指标，囊括了传统关系型数据库使用层面的参数和分布式数据库提供的海量数据的承载参数，如表 6-1 所示。

表 6-1 技术指标

序号项	技术指标
1	支持完整 ACID 特性
2	单节点支持在线连接数达 10000 个
3	实例中支持创建 32768 个用户数据库
4	单库内允许创建多达 21 亿张表
5	表中字段数最大可达 2040 个
6	常规表对记录条数无限制
7	常规记录的最大长度可达 64K 字节
8	JDBC/ODBC/XGCI/GO/Python 等多接口多语言支持
9	事务隔离级别为读已提交
10	强一致性数据同步机制
11	MVCC 多版本并发控制
12	无限制级行级锁
13	Smart 智能单元扫描
14	SQL-92、SQL-99、SQL-2003 支持
15	提供基于日志的数据同步功能

接下页

序号项	技术指标
16	表中允许同时存在多个大对象字段，单个大对象最大支持 2GB
17	异构库（Oracle/Mysql/Postgresql）兼容模式选择
18	索引定义长度支持 4000 字节
19	SQL 命令最大长度 2MB
20	SQL 命令参数最大个数 2047
21	连接查询的表个数最多 64 个
22	单个存储空间支持包含 32768 个数据存储文件
23	最大节点数 512 个

7 遵循标准

数据库 SQL 标准

关系数据库标准语言，支持 SQL-92、SQL-99、SQL-2003。

数据库应用标准

中国人民银行发布的《JR/T0204—2020 分布式数据库技术金融应用规范》，分别从技术架构、安全技术、灾难恢复三个方面，构建了一整套分布式数据库技术金融应用的系列标准。虚谷数据库已完全符合金融应用规范，具备金融行业应用能力。

中文字符集标准

国家标准中文字符集，执行标准《GB18030-2022 信息技术中文编码字符集》，虚谷数据库通过最高实现级别（3 级）认证。

商用密码标准性

国家密码管理局组织制定的商用密码行业标准，执行标准《GM/T0028 密码模块安全技术要求》、《GB/T38636 信息安全技术传输层密码协议 (TLCP)》，虚谷数据库密码模块密码强度达到国家安全二级。

信息安全标准性

信息安全风险评估，执行标准《GB/T20273 信息安全技术数据库管理系统安全技术要求》、《GB/T18336 信息安全技术信息技术安全评估准则》，虚谷数据库达到国家安全二级，支持国密算法以及第三方加密设备，能够充分保障用户的数据安全。

8 产品认证

产品版权认证

软件著作权版权：获得中国版权保护中心虚谷数据库管理系统系列产品软件著作权，包含标准版、企业版、分布式版。

自主原创认证

- 产品自主原创：内核关键模块通过中国信息安全评测中心自主原创审查的分布式数据库产品认证。
- 代码自主扫描：通过工信部赛普评测中心产品源代码自主性扫描，核心代码自有率达到99.6%。

金融行标认证

代码自主扫描：通过人民银行下属北京国家金融科技认证中心分布式数据库检测，获得分布式数据库金融标准验证证书。

安全涉密认证

信息系统安全：经国家保密科技测评中心检测，符合国家保密标准《涉及国家秘密的信息系统安全数据库产品技术要求》。

质量体系认证

- 质量管理体系：获得 ISO 9001 质量体系认证证书。
- 信息安全管理：获得 ISO 27001 信息安全管理体认证证书。

技术服务认证

信息技术服务：获得 ITSS 信息技术服务实施标准化和可信赖的信息技术服务认证证书。



成都虚谷伟业科技有限公司

联系电话：400-8886236

官方网站：www.xugudb.com