

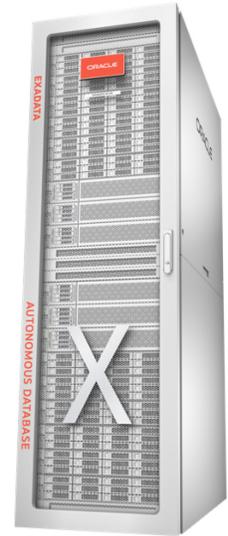
# Oracle Exadata Database Machine X11M

Oracle Exadata Database Machine (Exadata) 通过集成设计为 Oracle 数据库带来了出色的性能、成本效益和可用性。Exadata 采用支持云的现代化架构，内含可横向扩展的高性能数据库服务器、可横向扩展的具有先进 PCIe 闪存智能存储服务器、使用 RDMA 可访问内存的独特存储缓存，以及连接所有服务器和存储的云级 RDMA over Converged Ethernet (RoCE) 内部结构。Exadata 采用独有的算法和协议，在存储、计算和网络中实现了数据库智能，因此，与其他数据库平台相比，能以更低的成本提供更高的性能和容量。Exadata 适用于所有类型的现代数据库工作负载，包括联机事务处理 (OLTP)、分析和数据仓库 (DW)、内存分析、人工智能 (AI)、物联网 (IoT)、金融服务、游戏、合规性数据管理以及高效整合的混合数据库工作负载。

Oracle Exadata Database Machine X11M 是最新一代 Exadata 硬件，采用新一代智能数据软件架构。Exadata X11M 部署简单、快速，能为您重要的数据库提供全面的支持和保护。Exadata X11M 既可以作为私有数据库云的理想基础平台购置并部署在本地环境中，也可以采用订阅模式购买并部署在 Oracle Cloud Infrastructure 中，或者以混合云模式部署在 Oracle Cloud@Customer 中，或者部署在多云环境（Azure、Google Cloud 和 AWS）中但由 Oracle 负责全部基础设施管理工作。Oracle Autonomous Database 可在 Oracle Cloud Infrastructure、多云解决方案或 Oracle Cloud@Customer 中的 Exadata 上使用。

## 集成设计，支持快速可靠部署

Exadata Database Machine 是用于运行 Oracle Database 的经济高效的高性能平台。Exadata 易于部署，即使是关键任务系统也不例外，因为数据库服务器、存储服务器和网络均由 Oracle 专家进行了预配置、预调整和预测试。该系统经过了广泛的端到端测试和验证，可确保所有组件（包括数据库软件、操作系统、虚拟机管理程序、驱动程序和固件）无缝协同工作，并且不存在性能瓶颈或单点故障。



Oracle Exadata Database Machine X11M

### 主要特性

- 每个机架多达 2880 个 CPU 核用于数据库处理
- 每个机架高达 42 TB 内存用于数据库处理
- 每个机架多达 1088 个 CPU 核专用于在存储中进行 SQL 处理
- 每个机架高达 21.25 TB Exadata RDMA 内存
- 2 个 100 Gb/秒双活 RoCE 网络
- 完全冗余，确保高可用性
- 每个机架 2 到 15 台数据库服务器
- 每个机架 3 到 17 台存储服务器
- 每个机架高达 462.4 TB 的性能优化的闪存容量（原始）
- 每个机架高达 2 PB 的容量优化的闪存容量（原始）
- 每个机架高达 4.4 PB 的磁盘容量（原始）

所有 Exadata Database Machine 均采用完全一致的配置方式，因此客户将受益于从数以千计的其他客户部署中不断积累的丰富经验。此外，客户所使用的系统与 Oracle 支持部门用于发现和解决问题的系统、Oracle 开发部门用于开发和测试 Oracle Database 的系统以及 Oracle 用于运行 Oracle Fusion Applications 和 Oracle NetSuite 等 Oracle SaaS 应用的系统也是完全一样的。**Exadata 为运行 Oracle Database 进行了完全地测试和调优。**

**任何受支持平台上的任意 Oracle Database 都可以无缝迁移至 Exadata Database Machine**，无需对使用该数据库的应用进行任何更改。同样，客户还可以轻松将任何 Oracle Database 从 Exadata 中迁出，完全不必担心“锁定”。

## 通过弹性配置提供超强的系统可扩展性和增长能力

Exadata Database Machine 对数据库和存储服务器均采用了一种可横向扩展的架构。随着工作负载增加，客户可以添加数据库、存储和网络资源，从而扩展系统，而不会造成瓶颈。**这种架构可从小规模配置扩展至极大规模的配置，可适应任何规模的工作负载。**在 Exadata X11M 中，高带宽、低延迟、双活的 100 Gb/秒 RDMA over Converged Ethernet (RoCE) 网络结构将所有组件连接在一起。与常规通信协议相比，专有数据库网络协议延迟更低、带宽更高，能够**更加快速地响应 OLTP 操作并提高分析工作负载的吞吐量。**与 Oracle Exadata Database Machine 的外部数据中心连接则通过标准 10 Gb/秒、25Gb/秒或 100 Gb/秒以太网来提供。

**Exadata Database Machine 是通用的数据库平台，其架构的每一层都具有高可扩展性。**Exadata X11M 采用了强大的数据库服务器，每台服务器均配有两个 AMD EPYC 系列 96 核 x86 处理器和 512 GB DDR5 内存（可扩展至 3 TB），进一步扩展了这项创新。

Exadata X11M 还推出了一种新的数据库服务器配置 — 数据库服务器-Z (Database Server-Z)，每台服务器配备一个 32 核 x86 处理器和 768 GB DDR5 内存（可扩展至 1152 GB），为客户提供更多的数据库服务器选择来满足其工作负载要求。例如，有的客户可能需要较少的 CPU 核心，或者整合少量的虚拟机或数据库。

每台数据库服务器内的 CPU 可扩展性可实现卓越的数据库和虚拟机整合，提供更高的 OLTP 事务吞吐量并支持明显更多的并行分析工作负载，进而减少数据中心资源消耗，从而实现更高的性能和利用效率。

### 主要优势

- 该系统经过预先配置、预先测试并且针对所有数据库应用进行了优化
- 每个机架未压缩 SQL I/O 带宽高达 8.5 TB/秒
- 每个机架每秒可执行多达 2520 万次 8K 数据库读取 I/O 操作或 1300 万次 8K 闪存写入 I/O 操作
- 轻松添加数据库或存储服务，可满足任意规模应用的需求
- 可连接多个 Exadata Database Machine X11M 机架或 Exadata X11M 存储扩展机架，实现高可扩展性。只需增加 RoCE 电缆和内部交换机即可连接多达 14 个机架。通过外部 RoCE 交换机创建更大规模的配置

Exadata 还使用横向扩展的智能存储服务器进行数据库 I/O 处理，该服务器提供三种 Exadata X11M 配置：高容量 (HC)、极速闪存 (EF) 和高容量-Z (HC-Z)

- HC 存储服务器配有 4 个 6.8 TB 性能优化的闪存加速器 F680 v2 NVMe PCIe 5.0 闪存卡（用于 Exadata 智能闪存缓存）和 12 个 22 TB 7200 RPM SAS 磁盘（总计 264 TB 原始存储）。
- Exadata X11M EF 存储服务器采用全闪存配置。每台服务器配有 4 个 6.8 TB 性能优化的闪存加速器 F680 v2 NVMe PCIe 5.0 闪存卡（用于 Exadata 智能闪存缓存）和 4 个 30.72TB 容量优化的 NVMe PCIe 闪存驱动器（总计 122.88 TB 原始存储）。
- Exadata X11M HC 和 EF 存储服务器包括 Exadata RDMA 内存 (XRMEM)，通过提供高达 280 万次 8K OLTP 读取 IOPS 进一步增强了性能。每台服务器均配有 1.5 TB DDR5 内存，其中 1.25 TB 配置为 Exadata RDMA 内存，用于数据库缓冲区缓存和闪存缓存之间的缓存层，其余 256 GB 用于 Exadata 系统软件。闪存的 SQL 扫描速度是上一代的 2.2 倍，因此每台存储服务器的 SQL 扫描吞吐量高达 100 GB/秒。此外，智能扫描还可以读取 XRMEM 中的列式数据，从而将分析查询吞吐量提高到 500 GB/秒。每台 HC 和 EF 存储服务器中都包含 2 个 32 核 x86 处理器，用于 Exadata 系统软件操作。
- Exadata X11M HC-Z 存储服务器配备 2 个 6.8 TB 性能优化的闪存加速器 F680 v2 NVMe PCIe 5.0 闪存卡（用于 Exadata 智能闪存缓存）和 6 个 22 TB 7200 RPM SAS 磁盘，非常适合运行中小型工作负载。每台服务器均配有 768 GB DDR5 内存，其中 576 GB 配置为 Exadata RDMA 内存，用于数据库缓冲区缓存和闪存缓存之间的缓存层，其余 192 GB 用于 Exadata 系统软件。每台 HC-Z 存储服务器中都包含一个 32 核 x86 处理器，用于 Exadata 系统软件操作。

Exadata Database Machine 的最低配置为 2 台数据库服务器搭配 3 台 HC、EF 或 HC-Z 存储服务器。此配置**可以通过在同一个机架内添加更多数据库和/或存储服务器来弹性扩展**。这种弹性配置灵活高效，可以满足任何规模的业务需求。客户可以在同一机架中混合使用 X11M 数据库服务器和所有三种存储服务器配置，从而更好地控制资源，满足不同的性能、高可用性、安全性和整合要求。

除了在机架内扩展之外，还可以**使用集成式 RoCE 网络结构连接多个 Exadata 机架**，构成更大规模的配置。这些机架可以是 Exadata X8M、X9M、X10M 或 X11M。由 4 个机架的 Exadata X11M 组成的系统的性能是单个机架的 4 倍：它提供 4 倍的 I/O 吞吐量、4 倍的存储容量和 4 倍的处理能力。它可以配置为单个系统，也可以针对多个数据库和集群进行逻辑分区。横向扩展很容易，因为 Oracle Real Application Clusters (RAC) 可以动态添加更多处理能力，Exadata Exascale 和 Automatic Storage Management (ASM) 则可动态添加更多存储容量。

## 相关产品

- Exadata Cloud Infrastructure
- Exadata Cloud@Customer
- Oracle Exadata X11M 存储扩展机架
- Oracle Exadata X11M 存储服务器
- Oracle Exadata X11M 数据库服务器
- Oracle Database Enterprise Edition 19c、21c 和 23ai
- Exadata Exascale
- Exadata Database Service
- Oracle Autonomous Database
- Oracle Real Application Clusters
- Oracle Partitioning
- Oracle Multitenant
- Oracle Database In-Memory
- Oracle Advanced Compression
- Oracle Advanced Security
- Oracle Active Data Guard
- Oracle GoldenGate
- Oracle Real Application Testing
- OLAP
- Oracle Enterprise Manager
- Oracle Linux
- Oracle Linux Virtualization

## 相关服务

Oracle 提供下列服务：

- 高级客户服务
- Oracle 标准系统支持服务
- Oracle 白金服务
- Oracle 顾问咨询服务
- 甲骨文技术人才发展部课程

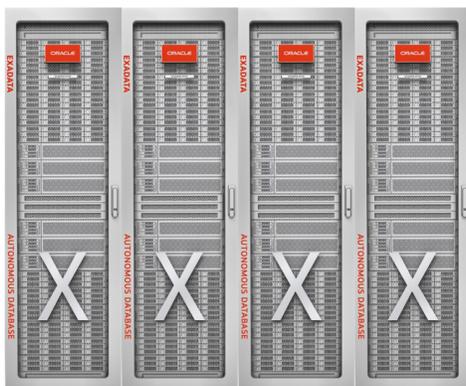


图 1. 弹性横向扩展至多机架 Exadata

当数据库和工作负载需要大存储容量时，可以使用 **Oracle Exadata X11M 存储扩展机架**来扩展 Exadata Database Machine 的存储层。存储扩展机架可扩展任何 Exadata Database Machine 的存储容量、闪存缓存容量、OLTP IOPS 和扫描吞吐量。它专为拥有海量数据的数据库部署而设计，这些数据包括历史或归档数据、备份、向量、文档、图像、XML、JSON 和 LOB。存储扩展机架使用集成式 RoCE 网络结构连接至 Exadata Database Machine，无需设置 LUN 或挂载点，因此只需使用几个简单的命令即可完成配置。Oracle Exadata 存储扩展机架的初始配置包含 4 台 HC 或 EF 存储服务器，用户可添加更多存储服务器来对其进行扩展。

*“We have implemented nearly 300 Exadata systems for our customers in manufacturing, financial services, construction and engineering, and public and private sector services.”*

**WP Hong 博士**  
首席信息官  
Samsung SDS

## 基于 RDMA 的突破性网络结构

Exadata X11M 采用超高速的云级 RDMA over Converged Ethernet (RoCE) 网络结构。RDMA（远程直接内存访问）可允许一台计算机在不占用操作系统或 CPU 资源的情况下直接从另一台计算机访问数据，从而实现高带宽和低延迟。网卡直接读取/写入内存，无需额外的复制或缓冲过程，延迟非常低。RDMA 是 Exadata 高性能架构中的一个重要组成部分，并且在 Exadata 的每一代新产品中得到了持续调优和增强，可支持多种 Exadata 专有技术，包括 **Exafusion Direct-to-Wire 协议**，用于实现更快的实例间 OLTP 通信，或从其他 Oracle Real Application Cluster (RAC) 实例读取 undo 块以提高 OLTP 性能。

Exadata X11M 采用双端口 PCIe 5.0 网卡，能够支持 2 个 100Gb/秒双活 RoCE 网络，总吞吐量为 200Gb/秒。通过利用 RoCE 网络，**基于 Exadata 运行的 Oracle Database 可以直接从共享存储服务器的内存中执行读取 I/O。**

## 共享 Exadata RDMA 内存加速

Exadata 存储服务器中的 Exadata RDMA 内存 (XRMEM) 用作共享读取加速器。XRMEM 数据加速器是闪存缓存前面的内存缓存层，可将远程存储数据的访问延迟降低几个数量级。通过利用 RDMA 来远程访问内存，**XRMEM 数据加速器绕过网络 and I/O 堆栈，消除了昂贵的 CPU 中断和上下文切换，并将延迟减少了 17 倍以上**，从 250 微秒<sup>1</sup> 降至 14 微秒。智能 Exadata 系统软件还确保数据在存储服务器之间进行镜像，从而提供额外的容错能力。Exadata 在 Oracle Database 和 Exadata 存储服务器之间进行的独特的端到端集成自动在数据库服务器的缓冲区缓存与存储服务器的 XRMEM 和闪存缓存之间高效地缓存最热的数据块。XRMEM 是跨所有存储节点的共享存储层，这意味着任何数据库服务器上的任何数据库实例都可以动态使用此缓存的整体性能。与通用存储架构相比，这是一个显著的优势，因为通用存储架构不允许跨数据库实例共享存储资源。

利用共享 XRMEM 数据加速器，在 Exadata X11M 上运行的实际数据库工作负载可以在单个机架中实现高达 **2520 万次 OLTP 读取 IOPS (8K IO)**。<sup>2</sup> 这比 Exadata X9M 在相同的 9 台数据库服务器和 9 台存储服务器配置的情况下 (2070 万次)<sup>3</sup> 提高了 21%，比 Exadata Database Machine X7<sup>4</sup> 高出 430%。当部署更多机架时，这种性能会按比例扩展。XRMEM 的安全和管理是完全自动化的。XRMEM 是自动配置的，无需用户交互，配置后会自动管理。硬件监视经过预先配置。Exadata RDMA 内存只能由使用数据库访问控制的数据访问，确保数据的端到端安全。XRMEM 对所有应用都是完全透明的。

## 破纪录的分析 I/O 性能

每台 X11M 大容量 (HC) 存储服务器和极速闪存 (EF) 存储服务器均包括 4 个 6.8 TB 性能优化的闪存驱动器，提供 27.2 TB 的 Exadata 智能闪存缓存。Exadata 通过将所有闪存设备直接放置在高速 PCIe 接口上而不是放置在慢速磁盘控制器后面来提供超高性能。Exadata HC 和 EF 存储服务器还包括 1.25 TB 的 DDR5 Exadata RDMA 内存，作为闪存缓存前面的数据加速层。

对于需要超高性能的分析环境，Exadata X11M HC 和 EF 存储服务器都能够**通过智能扫描以高达 100 GB/秒的速度扫描闪存中的数据**，扫描速度是上一代的 **2.2 倍**。此外，智能扫描可以通过读取 Exadata RDMA 内存中缓存的列式数据，使单机架配置实现**高达 8.5 TB/秒的扫描吞吐量**<sup>5</sup>。

这些数据是在单机架 Exadata 系统中以标准 8K 数据库 I/O 规模运行 SQL 工作负载时测定的真实的端到端性能结果。Exadata 处理实际 Oracle Database 工作负载的性能比传统存储阵列架构高若干数量级，也远非当今的全闪存存储阵列（其架构瓶颈会限制闪存吞吐量）可比。

<sup>1</sup> Exadata X7 从存储服务器中的闪存进行 8K OLTP 读取的延迟

<sup>2</sup> 配有 9 台 Exadata X11M 数据库服务器和 9 台 Exadata X11M 极速闪存存储服务器或 9 台 Exadata X11M 大容量存储服务器的弹性配置

<sup>3</sup> 配有 9 台 Exadata X9M 数据库服务器和 9 台 Exadata X9M 极速闪存存储服务器或 9 台 Exadata X9M 大容量存储服务器的弹性配置

<sup>4</sup> 配有 8 台 Exadata X7 数据库服务器和 14 台 Exadata X7 极速闪存存储服务器或 14 台大容量存储服务器的 Exadata X7-2 全机架配置

<sup>5</sup> 配有 2 台 Exadata X11M 数据库服务器和 17 台 Exadata X11M 大容量存储服务器或 17 台 Exadata X11M 极速闪存存储服务器

## 大容量存储服务器：分层式磁盘、闪存和 Exadata RDMA 内存以磁盘的成本提供共享内存性能

最常见的 Exadata 存储选件是**大容量 (HC) 存储服务器**。该服务器包括 12 个 22 TB 磁盘驱动器，总原始磁盘容量为 264 TB。它还配有 4 个 6.8 TB 的性能优化的闪存驱动器、总原始容量为 27.2 TB 的 Exadata 智能闪存缓存以及位于闪存前端的 1.25 TB 的 DDR5 Exadata RDMA 内存 (XRMEM)，以进一步提升性能。

HC 存储服务器中的闪存可直接用作闪存盘，不过一般都是将其配置为磁盘存储前、Exadata RDMA 内存后的闪存缓存 (**Exadata 智能闪存缓存**)。Exadata 智能闪存缓存与 Exadata RDMA 数据加速器同时使用，可自动缓存频繁访问的数据，而将不常访问的数据保留在磁盘中。这既提供了闪存的高 I/O 速率和快速响应速度，还兼具磁盘的大容量和低成本优势。Exadata 以独有方式理解数据库工作负载，**知道何时不用缓存那些会对整体性能产生负面影响的数据**。例如，如果由备份或大表扫描引起的大规模写入 I/O 可能会中断更高优先级的 OLTP 或扫描操作，则这些大规模 I/O 将绕开闪存缓存并直接进入磁盘。否则，Exadata 系统软件会缓存这些 I/O，以便于利用额外的备用闪存容量和 I/O 带宽来优化性能。管理员还可以手动提供 SQL 指令来确保将特定的表、索引或分区优先保存于闪存缓存中。

在实际的数据库工作负载处理中，Exadata 智能闪存缓存的命中率通常可以超过 95% 甚至达到 99%，产生的有效闪存容量可达到物理闪存的许多倍。

此外，Exadata 智能闪存缓存还可以使用 Exadata 写回闪存缓存技术来缓存数据库块写入。写入缓存可消除大规模 OLTP 和批处理工作负载的磁盘瓶颈。一个全机架 Exadata Database Machine X11M 的闪存写入容量高达**每秒 1300 万次 8K 闪存写入 I/O 操作 (IOPS)**<sup>6</sup>。Exadata 写回闪存缓存具备透明性、持久性和完全冗余性，其性能相当于数十个由数千磁盘驱动器组成的企业磁盘阵列。

与其它基于闪存的解决方案相比，Exadata 中内存、闪存和磁盘之间的自动数据分层具有巨大的优势。许多存储供应商开发了纯闪存阵列，以实现比基于磁盘的传统阵列更高的性能。然而，由于此类阵列需要将数据移动到数据库服务器进行处理，而不是在存储中处理，使得网络基础设施成为巨大的性能瓶颈，因为单个闪存卡就可能使网络不堪重负。因此，Exadata 在磁盘和闪存之间实现智能数据分层就成本而言比全闪存存储阵列更具优势，因为 Exadata 提供独特的数据库感知存储优化。此外，某些闪存阵列提供的通用重复数据删除功能可能对虚拟桌面基础设施环境等工作负载有效，但不适用于数据库。除了利用其集成和优化的硬件架构外，Exadata 还将数据密集型处理卸载到存储中专门针对 Oracle Database 进行了优化的独特算法，提供更胜一筹的性能。

*“Our infrastructure needed to keep pace with exponential growth, quality and availability. The customer is the center of our strategy and one of our objectives is to always offer the best experience. With Oracle Exadata, we were able to improve our digital banking applications with 70% better performance and speed to enhance customer service.”*

**Everton Sims de Queiroz**

基础设施执行经理

Banco Original

<sup>6</sup> 配有 6 台 Exadata X11M 数据库服务器和 13 台 Exadata X11M 极速闪存存储服务器或 13 台 Exadata X11M 大容量存储服务器的弹性配置

## 极速闪存存储服务器：全闪存，延迟更低

Exadata **极速闪存 (EF) 存储服务器**是针对数据库进行了优化的全闪存 Exadata Database Machine 的基础。每台 EF 存储服务器包含 4 个容量优化的 30.72 TB 闪存驱动器，总计 122.88 TB 的原始存储容量，可用存储容量增加了 2.4 倍<sup>7</sup>。Exadata EF 存储服务器可为性能要求高的数据库工作负载提供超高性能、闪存容量和低延迟。此外，X11M EF 存储服务器还配有 4 个 6.8 TB 性能优化的闪存驱动器，总原始容量为 27.2 TB，将**智能闪存缓存的大小增加了 11.5 倍**<sup>8</sup>，用于满足读取和写入请求。闪存前面提供 1.25 TB 的 DDR5 Exadata RDMA 内存 (XRMEM)，以进一步提升性能。

## 大容量-Z 存储服务器：通过高性能存储加速中小规模数据库工作负载

第三种 Exadata 存储选项是**大容量-Z (HC-Z) 存储服务器**。每台 HC-Z 存储服务器包含 6 个 22 TB 的磁盘驱动器，总计 132 TB 的原始磁盘容量。为了进一步提升性能，HC-Z 存储服务器还包含 2 个 6.8 TB NVMe PCIe 闪存卡（用于提供 13.6 TB 的 Exadata 智能闪存缓存），并在闪存前端提供 576 GB 的 DDR5 XRMEM。

大容量-Z 存储服务器适合用于规模较小的工作负载或环境。它既可以带来 Exadata 超强的性能、可扩展性、安全性和可管理性，同时降低了使用 Exadata 的门槛，所有规模的组织都可以使用。

## 利用智能系统软件加快数据库处理

*After implementing the Oracle Exadata system, our client services saw performance improvements of 300% in data processing and 200% in data warehousing, while achieving zero downtime and zero data loss.*

**Chang Rea Han**

副总裁兼首席信息官  
KCB

随着数据量持续增长，传统的存储阵列难以按所需的速率将数据从磁盘和闪存快速传输至数据库服务器以充分发挥 CPU 的处理能力。搭载数十个 CPU 核的现代服务器每秒可以处理数十至数百 GB 的数据量，这种速度远远超出了传统存储阵列通过其存储控制器和存储网络可以达到的水平。

**Exadata 系统软件**通过在 Exadata 存储服务器上实施独特、高效、数据库优化的存储基础架构，实现了 Exadata 的无与伦比的性能。每台存储服务器都配有 CPU 用于卸载数据库处理。存储服务器中的这些 CPU 不会替代数据库 CPU。它们将加速数据库密集型工作负载，类似于显卡加速图像密集型工作负载的工作原理。

Exadata 系统软件的众多独特功能之一是智能扫描技术，它**将数据密集型 SQL 操作从数据库服务器直接卸载到存储服务器**。通过将 SQL 处理推送到存储服务器，当从磁盘和闪存读取数据时，数据过滤和处理会立即在所有存储服务器上并行进行。**只有与查询直接相关的行和列才会发送到数据库服务器**。

例如，假设执行一个查询来识别在 3 月份所下的销售订单超过 1000 美元的客户。Exadata 会将表的扫描工作卸载到 Exadata 存储服务器，其中，过滤器仅提取三月份花费至少为 1000 美元的相关客户信息，然后将缩减后的数据量返回到数据库。卸载可将传输到数据库服务器的数据量减少几个数量级。智能扫描大大加快了查询执行速度，消除了瓶颈，并显著降低了数据库服务器的 CPU 使用率。

<sup>7</sup> 与 X9M 极速闪存存储服务器相比

<sup>8</sup> Exadata X7-X9M 极速闪存存储服务器分配了 2.32 TB 的闪存缓存，每台服务器共有 51.2 TB 的原始闪存容量。

**存储索引**是 Oracle Exadata 的另一项强大而**独特**的功能，有助于避免不必要的 I/O 操作并提高整体性能。存储索引在存储服务器的内存中自动维护，它跟踪该存储服务器上存储区域中包含的表数据的最小和最大列值。当查询指定 WHERE 子句时，Exadata 系统软件会检查存储索引以确定具有指定列值的行存在于存储服务器上的磁盘区域中的哪个位置。它不是读取所有行来满足查询然后丢弃与 WHERE 子句不匹配的行，而是仅读取包含与 WHERE 子句匹配的行的磁盘区域，从而避免了本来会被丢弃的行的 I/O。存储索引使许多 SQL 操作的运行速度显著加快，因为一些内存中查找会自动替换大量 I/O 操作。存储索引将自动保存到磁盘，无需重建它们并避免了额外 I/O 的相关消耗，同时确保计划内或计划外停机后的一致性能。

提交用户事务或执行关键更新所需的时间对日志写入的延迟很敏感。为了加速 OLTP 工作负载，Exadata 智能闪存缓存实施了独特的算法，以确保数据库日志写入的一致低延迟。**Exadata 智能闪存日志回写**可消除存储磁盘作为潜在的日志写入吞吐量瓶颈，防止日志写入延迟异常值，并自动、透明地将 Oracle Database 重做日志存储在智能闪存缓存中。智能闪存日志回写**将日志写入吞吐量提高达 2.5 倍**。此外，**管道日志写入功能**将在不影响延迟的情况下自动使用高性能 RoCE 网络执行并行重做日志写入，尽可能地减少对重做日志写入进行排队的需求并提升 OLTP 性能，从而将 Exadata 上的**重做写入吞吐量提高达 1.4 倍**<sup>9</sup>。Exadata 开创性地将延迟敏感型 I/O（例如日志写入）优先于 RoCE 网络和 Exadata 存储服务器中的其它 I/O 请求，以进一步确保其它工作负载不会影响关键任务 OLTP 工作负载。

Oracle Database 软件、Exadata 系统软件和 Exadata 基础设施的组合可实现多种额外的独特功能，为 OLTP 工作负载提供高性能水平。例如，**Exafusion Direct-to-Wire 协议**开辟捷径，允许数据库进程使用**远程直接内存访问 (RDMA)** 通过超高速 RoCE 网络直接读取和发送 Oracle Real Applications Cluster (Oracle RAC) 消息，绕过操作系统、内核和网络软件开销。使用 RDMA 可以提高 Oracle Exadata Database Machine 上 Oracle RAC OLTP 配置的响应速度和可扩展性，特别适用于具有高竞争更新的工作负载。

在一些 OLTP 工作负载中，超过一半的远程读取是针对 undo 块的，以满足读取一致性。Exadata 开创性地利用超高速 **RDMA** 从其它数据库实例**读取 undo 块**，从而进一步提高 OLTP 性能。

Exadata **开创性地**利用机器学习实现了 **Oracle Database 19c 及更高版本的自动索引**功能。自动索引持续分析 SQL 执行计划，并创建新的索引来提高性能。Exadata 还**开创性地**实现了**实时统计**信息收集，可在 DML 操作插入、更新或删除数据时实时收集统计信息。利用实时统计信息，SQL 优化器可在数据分布发生变化时动态调整执行计划。

## AI Smart Scan：加速处理 AI 工作负载

Oracle Database 23ai 推出了多项新的重量级功能（统称为 Oracle AI Vector Search）来赋能和加速处理人工智能 (AI) 工作负载，使应用能够基于语义相似度来查询数据。利用 Oracle AI Vector Search，应用可以搜索非结构化数据，例如合同、知识管理文档、图像、视频、音频等等，然后将非结构化数据与 Oracle Database 中存储的关系数据以及其他类型数据结合在一起。作为 Oracle 融合数据库策略的一种延续，这既意味着无需使用专门的向量数据库，可以消除数据碎片化，还能将向量处理纳入企业级数据管理范畴。

---

<sup>9</sup> 在 Exadata X10M 及更新型号的 Exadata 上可用

**AI Smart Scan 将 Oracle AI Vector Search 查询速度提高达 30 倍。** 它提供多项优化功能，可以低延迟地对大规模的向量数据执行并行扫描，赋能大型并发式 AI 用户社区。AI Smart Scan 一方面利用超快速的 Exadata RDMA 内存和存储服务器的闪存缓存，以内存级速度处理向量数据，另一方面在数据所在位置执行向量距离计算和**自适应 Top-K 过滤**，消除了不必要的网络数据传输和数据库工作，从而使**查询速度和数据过滤性能分别提高达 4.6 倍和 4.7 倍**。此外，在 Oracle Database 23ai AI 中使用**二进制 (BINARY) 向量维度格式**还可使**AI 查询速度提高达 32 倍**。

## 面向云技术时代的 Exadata Exascale 智能数据架构

**Exadata Exascale 是一个面向云技术时代的智能数据架构。** Exascale 结合了 Exadata 和云技术两者的优势，堪称是一个革命性的突破。这个新一代的超弹性、多租户软件架构专为处理关键任务 OLTP、分析、AI、JSON 以及混合 Oracle Database 工作负载而设计。

**通过解耦和简化存储管理，Exascale 重塑了 Exadata 平台上的计算与存储资源管理方式，为实现创新功能开辟了一条新道路。** 它将确保 Exadata 能够提供客户期望的出色的数据库性能、可用性和安全性。

**Exascale 为 Exadata 上的数据库快照和数据库克隆提供了一种新方法。** 它支持**从任意读/写数据库和可插拔数据库进行节省空间的精简克隆**，大大提高了开发效率。Exascale 在提供本地 Exadata 性能的同时还无缝满足开发、测试和部署管道要求。

**Exascale 上的数据库将跨 Exadata 存储服务器的所有可用存储自动分布，由此利用对所有工作负载可用的多达数千个核心为 I/O 和数据库感知型智能 Smart Scan 提供超低延迟 RDMA。** 此外，跨多个存储服务器自动进行数据复制可确保容错性和可靠性。

## 以高能源效率提供超强性能

为了满足可持续政策要求和履行可持续责任，许多客户面临越来越紧迫的节能挑战。对此，Exadata X11M 从设计上就考虑了在提供超强性能的同时帮助客户实现环保和可持续目标。Exadata X11M 降低了能耗、空间占用和冷却需求，可帮助客户在运行高性能工作负载的同时减少环境影响。

企业降低能耗的第一步，是为数据库工作负载选择最适合的数据库服务器。Exadata X11M 提供两种数据库服务器配置：一种是双槽、96 核 CPU 的数据库服务器，另一种是单槽、32 核 CPU 的数据库服务器-Z。客户可以根据工作负载和企业需求，选择最适合的性能和能耗方案。

**Exadata X11M 提供了多项新功能来将数据库服务器 CPU 的能耗限制到特定功率目标，** 并支持数据库服务器在低工作负载需求时期（例如工作日夜间和周末）自动、动态地节省能源。此外，客户还可以利用 Exadata 按需扩容模式（该模式支持客户在最初部署时选择活动核心的数量），仅按照工作负载要求为所需要的核心购买许可证，节约能源。

Exadata X11M 专为在同一基础设施上运行 AI、OLTP、分析和混合工作负载而设计，可面向所有类型的工作负载提供出色的可扩展性和性能，因此非常适合用作整合平台。通过在 Exadata 上整合诸多数据库，客户可以减少数据中心面积，减少能源消耗。Oracle Exadata Database Machine 是专为 Oracle Database 设计的理想平台。Exadata X11M 延续了这一使命，提供丰富功能来帮助客户显著节约能源，提高数据中心效率，走向更加可持续的未来。

## 通过压缩优化存储使用和 I/O

Exadata 存储服务器提供了一种独有的压缩功能，称为**混合列压缩 (HCC)**，可显著减少大型数据库的存储占用。混合列压缩技术是在数据库表中组织数据的一种创新性的方法，它结合使用行方法与列方法来存储数据。这种混合方法既可获得列存储的压缩优势，又可避免纯列格式的性能劣势。

利用混合列压缩，Exadata 可对 Oracle 数据库实现高水平的数据压缩并减少 I/O，从而大幅降低成本并显著提高性能，这对于分析工作负载尤为有效。存储节省取决于具体的数据类型，通常在 5 至 20 倍之间。平均存储节省达到了 10 倍。Exadata Database Machine 可以将解压操作卸载到 Exadata 存储中的处理器，通过高压压缩率来减少 I/O。因此，大多数分析工作负载使用混合列压缩运行速度更快。

混合列压缩有两种模式。其中，**数仓压缩**模式适合读取密集型工作负载，可提供大量存储节省和增强的分析性能。**存档压缩**模式则提供最高程度的压缩，适用于很少访问但必须保持在线的数据。

OLTP 系统可以使用混合列压缩来压缩较旧的、不太活跃的数据，使用高级行压缩来压缩较新、更活跃和更新比较密集的数据。Oracle Database 能够在线更改各个表分区使用的压缩类型（即使表上有全局索引），以确保随着数据老化和活跃度降低时，可以跨不同压缩类型进行无缝分层。

Exadata 实施了一种独特的算法来加速报告和分析查询，称为 **Exadata 列闪存缓存**。列闪存缓存在将频繁扫描的混合列压缩数据加载到闪存缓存时自动将其转换为纯列格式，从而在 Exadata 闪存缓存中实现双格式架构。对闪存中的纯列数据进行智能扫描将加快运行速度，因为智能扫描仅读取选定的列，从而减少 I/O 和存储服务器 CPU 消耗。这可以加速报告和分析查询，同时保持 OLTP 单行查找的出色性能。

## 适用于分析和混合工作负载的容错、超快的 Database In-Memory 平台

Exadata 是运行 Oracle Database In-Memory 的理想平台。在 Exadata 上运行 Oracle Database In-Memory 不需要将所有数据都存储在内存中。数据可以存储于多个存储层中：最热数据存储在内存中，确保超高查询性能；活跃数据存储在闪存中，确保超高 I/O 吞吐量；活跃度较低或较早的数据则存储在成本低的磁盘上。**单个查询可以完全透明地访问所有三层中的数据：内存、闪存和磁盘**。因此，与同类产品相比，Exadata 运行速度更快、容量更大且成本较低。

Exadata **在闪存缓存中开创性地实现了 In-Memory 列格式**。此功能在将数据加载到闪存时自动将数据转换为 In-Memory 列格式，从而扩展 Exadata 列闪存缓存。智能扫描还利用超快速单指令多数据 (SIMD) 向量指令，用单指令处理多个列值。智能扫描结果以 Oracle Database In-Memory 格式传回数据库服务器，进一步减少数据库服务器 CPU 的工作负载。这会将 In-Memory 列存储大小从 SGA 中的内存池无缝扩展到存储服务器中的闪存缓存容量。Exadata X11M Database Machine<sup>10</sup> 拥有高达 462 TB 的闪存缓存，支持超大规模的内存中工作负载。Exadata X11M 利用独特的新算法，将以 **In-Memory 列格式存储的数据压缩率提高了多达 1.25 倍<sup>11</sup>**，进一步提高了有效闪存缓存容量。不使用 Oracle Database In-Memory 的数据库仍然可以从 Exadata 列闪存缓存中受益，无需进行向量处理优化。

<sup>10</sup> 配有 2 台 Exadata X11M 数据库服务器和 17 台 Exadata X11M 极速闪存存储服务器或 17 台 Exadata X11M 大容量存储服务器的弹性机架配置

<sup>11</sup> 与 X9M 相比

Exadata 为 Oracle Database In-Memory 实现了容错内存复制。在通用非 Exadata 集群配置中，当数据库节点发生故障时，该节点上的内存中数据将丢失，需要花些时间才能在幸存节点上重新填充内存中数据。在此期间，分析查询的运行速度将慢几个数量级。这意味着通用平台可能无法满足业务 SLA 要求。然而在 Exadata 上，容错内存复制可以通过跨集群数据库服务器复制内存数据的任何子集来消除这种速度下降的情况。如果数据库服务器发生故障，查询将透明地访问幸存数据库服务器上的重复副本，并继续执行而不会中断。

Exadata 还与 **Active Data Guard** 集成，支持客户在备用数据库上运行 In-Memory 分析，进一步提高备用系统的投资回报率，并增强可用性和整体性能。

Oracle Database 19c 及更高版本允许在存储服务器中使用 Database In-Memory 缓存，无需为数据库服务器上的 Database In-Memory 列存储分配内存。通过将 `inmemory_force` 参数设置为“CELLMEMORY\_LEVEL”，数据库可以继续利用 Database In-Memory 的优化和向量处理优势，获得共享存储层的处理优势并释放数据库服务器内存。

## 在 Exadata 上整合数据库

Exadata Database Machine 可以托管许多数据库，从而实现数据库整合或复杂的数据库即服务私有云。多数据库环境本身会具有多样化、复杂且不可预测的工作负载，通过顺序和随机访问模式混合处理 OLTP、分析和批处理操作。Exadata 能够**运行混合数据库工作负载，并具有出色的可扩展性和性能**，这使其成为理想的整合平台。

在 Exadata X11M 上运行的整合环境还可以使用基于 KVM 的虚拟机（来宾）和**安全 RDMA 结构隔离**来实现工作负载之间的强隔离。隔离在托管、共享、服务提供商和测试/开发环境中至关重要。使用虚拟化时，Exadata 可以在同一组数据库服务器上安全地部署多个运行相同或不同 Exadata 软件、网格基础设施或数据库版本的 RAC 集群。

**Exadata Database Machine 是一个高速的虚拟化 Oracle 数据库平台。**Exadata 虚拟机使用配置有单根 I/O 虚拟化 (SR-IOV) 的高速网络，以确保虚拟机内的性能与 Exadata 出色的原始硬件性能相当。与其它平台相比，Exadata 智能扫描可显著减少虚拟机之间的消息流量，从而显著降低虚拟化开销。Exadata 虚拟机可以根据该虚拟机中运行的应用的工作负载要求动态扩展或缩减 CPU 的使用。Exadata 上的虚拟机可以利用支持 RDMA 的 Exascale 存储卷来提升性能和整合密度，每台数据库服务器可支持多达 50 个虚拟机。

Exadata 上的虚拟机被视为可信分区，因此可以在虚拟机层面而不是物理处理器层面获得软件许可。如果没有可信分区，数据库选件和其它 Oracle 软件只能在服务器或集群层面获得许可，即使并非该服务器或集群上运行的所有数据库都可能需要特定选件。

多数据库环境会产生一种固有风险，即一个数据库会消耗太多资源，从而影响其它数据库的服务质量。Exadata Database Machine 开创性地对应用工作负载使用数据库 CPU、内存、网络和存储提供了**端到端优先级排序**。用户可以在物理数据库、可插拔数据库、连接、应用、用户甚至作业层面指定工作负载优先级和资源限制，以确保每个整合数据库或 SQL 操作都能接收到必要的资源并达到目标响应时间。

Exadata 以**独特方式**实现了**数据库和 I/O 资源管理**。为数据库层面的操作指定的细粒度优先级会自动传送到 Exadata 存储服务器并应用于每个 I/O 操作，以确保数据库操作的优先级应用于 CPU 操作和 I/O 操作。当在一个 Exadata 机架上部署多个数据库和虚拟集群时，会应用相同的资源管理原则，这在整合私有云中很常见。

在 X11M 中，Exadata 利用 RDMA over Converged Ethernet (RoCE) 协议确保报告、批处理和备份等网络密集型工作负载不会影响对延迟敏感的交互式工作负载。对延迟敏感的网络操作（如 RAC Cache Fusion 通信和日志文件写入）在融合以太网结构内的高优先级网络通道上传输。对延迟不敏感流量则依托于各自的网络交换机缓冲区在其它通道上传输。

得益于 Exadata 独特的数据库整合和数据库即服务功能，Exadata 平台能够在单个 Oracle 多租户容器数据库中支持多达 4096 个可插拔数据库。

**“Our investment in Oracle Exadata has exceeded our expectations. Not only did we address our biggest challenge of increasing performance for the Siebel CRM platform by an average of 40% and 4-5X on large queries, we also reaped the benefits of consolidating all of our databases onto Exadata, reduced our 287 databases by half, lowered administration, improved uptime, and saved 50% of our legacy costs.”**

**Greg Ogle**  
副总裁  
全球 IT 基础设施  
Equinix

## 兼顾企业级安全性与超强性能

Exadata Database Machine 高度安全。在透明数据加密 (TDE) 等 Oracle Database 高安全性功能的基础之上，Exadata **独创性地将解密处理从数据库服务器软件移至 Exadata 存储服务器硬件**。Exadata 存储通过硬件解密和压缩为数据库带来了超高的安全性和性能。**加密发生于数据压缩之后，因此解密开销也因压缩得到相应的降低**。借助这两项技术，Exadata 能以极低的开销快速（每秒数百 GB 原始用户数据）查询完全加密和压缩的数据库。Oracle 透明数据加密 (TDE) 提供了一个完备的密钥管理解决方案来确保所有数据处于安全的加密状态。

Exadata 是一个集成设计的整体交付系统，而不是一系列组件的简单集合。在传统的数据库部署中，客户自行负责所有的系统集成工作，包括确保各个软件和硬件组件的安全性以及确保整个产品体系的安全性。**在 Exadata Database Machine 中，Oracle 交付全堆栈的安全性。**

Exadata 虚拟机在操作系统层面提供一个额外的隔离层。此外，在利用 Exadata 虚拟化的环境中，Exadata **安全的 RDMA 网络隔离**可确保一个集群中的 VM 来宾无法直接与同一 Exadata 上的其它集群通信，同时仍提供对共享 Exadata 存储的访问。这种隔离在整合环境中相当有益处，例如，不同的组织部门共享基础设施并具有不同的数据安全要求时。

Exadata 系统使用纵深防御方法设计、制造，然后交付给客户，因此能够提高系统的安全状况。Exadata 系统基于 Oracle 设计的数据库和存储服务器而构建。由内部团队设计和开发服务器不仅赋予 Exadata 各种独有功能，还可以严格控制设计的安全性。这种对安全性的关注一直延伸到 Oracle 的全球供应链。Exadata 在机器加电时就通过 Secure Boot 开始提供安全保护，确保系统 UEFI 固件只允许执行有加密签名的、系统认为可靠的开机载入程序。Secure Boot 可用于裸金属服务器和虚拟机。服务器在每次重启时都验证这些签名，**防止在启动链中执行代码中嵌入的隐藏的恶意软件**。Exadata 系统上安装的操作系统是标准 Oracle Linux 发行版的精简版，带有 Exadata 系统独有的 Unbreakable Enterprise Kernel。这款超微内核仅包含运行 Oracle Database 所需的程序包，消除了不必要的程序包，从而**尽可能缩小攻击面**并增强系统的安全性。数据库服务器上的 **Exadata Live Update** 利用常见的 Linux 技术（Oracle Linux 的 Ksplice 和 RPM），**在 OS 保持联机的情况下应用系统软件和安全更新**。

此外，作为对透明数据加密提供的数据库加密的补充，Exadata X11M 中使用的磁盘和闪存技术支持即时安全擦除功能，以消除主动更换驱动器或重新部署机器期间的数据泄漏风险。当客户重用或停用 Exadata 时，Exadata 的安全擦除特性将利用这种本机功能，通过以加密方式擦除设备来即时擦除存储设备上存在的所有用户数据，无需覆盖设备。由于前一个设备加密密钥已被安全擦除特性删除，因此无需担心因超额供应或扇区备用而留在存储设备上的隐藏数据。

全球数百家银行、电信公司和政府组织已对 Exadata 的安全性进行了测定和评估。Oracle 将所有这些安全性评估结果都整合到了 Exadata 标准配置中。因此，Oracle 安全专家和世界各地数以百计的行业安全专家通过审查确保了 Exadata 的高度安全性。

## 关键任务的高可用性

Exadata Database Machine 经过精心设计，旨在提供高水平的可用性。该平台针对所有故障类型提供全方位防护，从磁盘、服务器和网络组件之类的简单故障，到复杂的站点故障和人为错误，可防范所有故障。每个 Exadata Database Machine 都采用**完全冗余的硬件配置**，包括冗余网络、冗余配电单元 (PDU)、冗余电源以及冗余数据库服务器和存储服务器。Oracle RAC 可防范数据库服务器故障。Oracle ASM 通过数据镜像防范磁盘或存储服务器故障。Oracle RMAN 可以快速高效地将数据备份到磁盘或磁带。Oracle 闪回技术支持回退数据库、表甚至行级的用户错误。使用 Oracle Data Guard，用户可以在高可用性架构 (MAA) 配置下部署第二个 Oracle Exadata Database Machine，在远程站点透明地维护数据库的实时副本，针对主数据库故障和站点灾难提供全面保护。

分析公司 IDC 认为，采用 MAA 配置的 Exadata 系统的**可用性达到了 99.999% 以上**，该系统被归为 IDC AL4 容错细分市场类别<sup>12</sup>。

Exadata 通过许多独特的方法来确保各种不同故障情况下的高可用性，这也体现了 Exadata 的软硬件深度集成的设计原则。**即时故障检测**就是这样一种独有功能。在非 Exadata 平台上，检测服务器故障需要等待长时间的超时，从而导致应用长时间中断。基于 RoCE 的 Exadata 实现了基于 RDMA 的独有的**亚秒级节点故障检测**，几乎可完全消除应用中断的情况。

<sup>12</sup> Worldwide AL4 Server Market Shares, 2019: Fault-Tolerant Systems Become Digital Transformation Platforms, IDC, Paul Maguranis Peter Rutten, 2020 年 7 月

磁盘和闪存设备有时会因内部故障扇区恢复、内部固件重启或耗损均衡而出现 I/O 操作高延迟的情况。这些高延迟的 I/O 操作可能会导致关键任务 OLTP 数据库出现停滞。借助 Exadata **独有的 I/O 延迟限制** 功能，当读取 I/O 延迟大大超过预期时，Oracle Exadata 系统软件可自动将读取 I/O 操作重定向到数据的镜像副本。同样，I/O 延迟限制功能可自动将高延迟的写入 I/O 操作重定向到正常运行的闪存设备，从而消除写入操作期间的异常。Exadata 系统软件利用机器学习技术来预测濒临故障的组件，并采取主动措施稳妥地停用此类组件。如果磁盘发生故障，系统将对磁盘上保存的数据执行重新平衡操作，应用可不间断地持续访问数据库。Exadata 支持在线更换磁盘、风扇、电源和 PCIe 闪存卡，从而避免停机。Exadata 系统软件进一步改进了重新平衡，当在存储服务器之间移动数据时保留闪存缓存填充信息和存储索引以保持一致的应用性能。在极少数情况下，当网络子系统内发生延迟尖峰时，Exadata 会将数据库服务器发出的 I/O 重定向到另一台存储服务器。

Exadata 可自动监视 CPU、内存、输入/输出子系统、文件系统和网络。这种自动化结合利用了机器学习技术与 Oracle 从数千个关键任务实际部署中吸取的经验教训。例如，Exadata 可以检测会对数据库性能产生负面影响的系统资源的异常使用，并自动识别这是哪个进程造成的，进而发出警报 — 所有这些都无需任何手动干预。

由于具备高可用性，许多企业纷纷部署 Exadata Database Machine 来支持其至关重要的应用，包括银行间资金转账、在线证券交易、实时呼叫追踪以及基于 Web 的零售。Exadata 的关键任务的高可用性功能不仅适用于 OLTP 工作负载，也适用于数据仓库和分析工作负载。

## 通过 Exadata Exascale 超快速部署开发和测试数据库

Exadata Exascale 为 Exadata 上的数据库快照和数据库克隆提供了一种新方法。它支持**从任意读/写数据库和可插拔数据库进行节省空间的精简克隆**，大大提高了开发效率。Exascale 在提供本地 Exadata 性能的同时还无缝满足开发、测试和部署管道要求。

管理员和用户可以快速为任意 23ai 源数据库（包括 Data Guard 备用数据库）创建只读快照和读-写精简克隆，满足测试、开发以及众多其他需求。Exascale 采用强大的新型写重定向 (redirect-on-write) 设计，对于数据库快照和克隆，它能够充分利用源与目标之间的共享数据库，尽可能降低数据库克隆中已更改数据的存储需求。Exascale 出色的空间效率使每一个开发人员都能访问自己的类生产数据库，这增强了开发团队的能力，企业无需在存储上进行大规模投资。

用户可以从任意读/写数据库、只读数据库或可插拔数据库 (PDB) 创建 Exascale 上的数据库克隆，包括从 Data Guard 备用数据库和既有克隆中创建克隆，无需对源数据库进行任何修改。每个克隆都与其源数据库完全独立。源数据库可以继续运行以满足预期用途需求，即使掉线也不会对任何克隆产生影响，从而提高灵活性和运营效率。

Exascale 与 Oracle Multitenant 集成，提供了一个简单易用的界面来帮助用户轻松创建新的可插拔数据库 (PDB) 快照和克隆。Exascale 允许在同一容器数据库 (CDB) 中克隆 PDB，还允许跨同一 Exadata Exascale 基础设施上的多个 CDB 克隆 PDB，以此实现了灵活的数据库克隆 workflow。Oracle Database 的 **PDB Snapshot Carousel** 功能可定期自动创建 PDB 快照，将其作为后续时间点 PDB 克隆的源数据库。用户还可以利用 Data Guard 备用数据库创建源数据库的快照和精简读-写副本。Oracle REST Data Services (ORDS) 支持通过 REST API 控制 PDB 快照、克隆和 PDB Snapshot Carousel，轻松与 CI/CD 开发管道和工作流相集成。

用户可以使用 gDBCLone 实用程序为 CDB 及其中所有 PDB 创建节省空间的数据库克隆。gDBCLone 通过一个简单易用的命令行界面简化了 CDB 克隆流程。

所有 Exadata 专有特性（如智能扫描、Exadata RDMA 内存数据加速器、资源管理和智能闪存缓存）都可以在通过 Exadata 快照创建的数据库实例上无缝运行，只需占用一小部分宝贵的存储资源即可提供精确的测试和开发环境。Exadata 上的快照的 RMAN 备份也能节省空间，因为只包含更改的数据块。

## 全面的系统管理

Oracle Enterprise Manager 可以全面管理 Exadata Database Machine，提供从监视和报告到主动生命周期管理的全面功能。具体包括：

- 统一监视：Oracle Enterprise Manager 24ai 支持对所有硬件和软件组件（如数据库服务器、存储服务器和网络交换机）提供统一管理平台视图，监视在这些组件上运行的操作及其资源利用率。DBA 可以从数据库监视屏幕深入到 Exadata 存储层，以快速确定任何性能瓶颈的根本原因。
- Enterprise Manager 中的无人值守监视功能针对 Exadata 进行了优化，具有预定义的指标和阈值，以便管理员在出现问题时及时收到通知并管理这些异常情况。系统可自动检测硬件故障并记录服务请求，以减少问题解决时间。
- Exachk 工具与 Enterprise Manager 强大的合规性框架集成，使系统管理员能够自动评估集成系统的已知配置问题和优秀实践。管理员可以利用一致性检查功能来查找机架之间或一个机架的数据库服务器之间的配置偏差。Exachk 是 Autonomous Health Framework (AHF) 的一个组件。AHF 可发出预警或自动解决数据库和系统管理员在可用性和性能方面面临的操作运行时间问题。
- Exadata 的内置 Management Server (MS) 进程持续监视硬件和软件组件的运行状况，并在检测到故障组件时向管理员和 Oracle 支持人员发送警报。
- Exadata Real-time Insight 直接从所有 Exadata 服务器上的 Management Server (MS) 进程流式传输细粒度性能数据，为实时性能仪表盘提供支持，从而使 DBA 能够以每秒级的精度监视舰队级别的性能。

## 最高服务级别

Oracle 为 Exadata 产品系列提供了全面的支持服务，包括：24x7 硬件支持、系统监视、软件安装和配置以及其它标准服务和定制服务。

此外 Oracle 还专为 Oracle 集成系统提供 **Oracle 白金服务**。白金服务提供故障监视服务，具有更快的响应速度，并且可以在需要时将问题快速上报至开发部门。根据白金服务协议，Oracle 支持工程师将远程执行软件维护和修补。白金服务覆盖集成系统内的所有软硬件（包括 Oracle Database），是为全栈软件/硬件平台提供的最高的支持级别。对于 Exadata 客户来说，白金服务无需另外付费。

## IT 敏捷性

Exadata 为数据库的运行提供了一个完备的系统，包含存储、服务器和网络。传统数据库系统的管理工作通常分散在各组件团队中，如数据库团队、存储团队和系统管理员。相比之下，**Exadata 系统的管理工作通常仅需一个统一的 Database Machine 管理 (DMA) 团队即可完成**。Database Machine 管理员全面掌控 Exadata Database Machine 中的所有资源，包括存储资源。Database Machine 管理员可以部署新数据库和实施配置更改，不再需要多个组件管理团队协同作业 — 这些团队通常都有繁重的工作并且工作优先级各不相同。这样，Database Machine 管理员可以将工作重点放在与应用和业务相关的提升上，而不是与各组件团队沟通协调，或者调优和诊断低级配置问题。

## 显著降低成本

由于 Exadata Database Machine 可提供超强性能、大存储容量和独有的压缩功能，因此，原本需要超大型传统硬件系统的工作负载现在可以在小得多的 Exadata 系统上运行。在选型方面，与传统系统相比，Exadata 系统规模通常要小 2 至 4 倍。

Exadata 可为大型数据集提供巨大的内存、闪存和磁盘空间。一个 Exadata 系统<sup>15</sup> 上的原始磁盘存储可达到 4.4 PB，而原始闪存存储可高达 2 PB。混合列压缩还可将有效存储和内存容量平均提升 10 倍。通过在磁盘、闪存和内存层之间智能地移动活跃数据，Exadata 不但提供超强性能，而且还尽可能降低了成本。

Exadata 可将支持多种工作负载的大量数据库整合到单一云平台中。高端 OLTP、AI、分析、批处理、报告和备份操作能以超强性能同时在一个或多个数据库中运行。**Exadata 具备超强性能和超大容量，支持用户将大量数据库和工作负载整合到一个 Exadata 平台中。**而将多个数据库整合到 Exadata 中可以降低系统硬件成本、软件成本和持续运营成本。

统一的 Exadata Database Machine 配置有助于显著节省成本。Exadata 不仅实现了技术标准化，还实现了集成、测试、安全性、增强、调优和支持的标准化。与传统系统相比，客户部署 Exadata 系统要快得多，所需工作量更少。低级别的调优、集成和维护任务得以减少甚至完全消除。所有 Exadata 用户运行的配置与成千上万的其它用户相同，并且与 Oracle 的内部配置相同，从而降低了遇到问题的可能性。在发生问题时，也能轻松快捷地解决，因为客户只需与 Oracle 一家供应商打交道，整个系统（硬件、固件、操作系统、虚拟机管理程序和数据库层）都由 Oracle 拥有和提供支持。这种一家供应商支持模式可加快问题解决速度并减少停机时间和降低相关成本，从而进一步提高经济效益。

### “按需扩容” 软件许可模式

Exadata X11M 数据库服务器搭载 2 个 96 核 x86 处理器（每台数据库服务器共 192 个核），具有强大的计算能力。按需扩容特性允许在硬件安装期间启用每台数据库服务器的一些核（至少 14 个核）。当工作负载增加，用户需要更多核时，可使用按需扩容模式，按 2 个核的增量增加 CPU 资源。由于只有启用的核才需要购买软件许可证，因此这种“按需购买”的软件许可方式是 Exadata 帮助用户根据业务增长控制成本的另一种途径。

## Oracle Cloud 中的 Exadata

现在，客户可以在 Oracle Cloud 中的 Exadata (Exadata Cloud) 上运行 Oracle 数据库，像数千家在本地部署 Exadata 的组织一样获得超强性能和高可用性。Exadata Cloud 将 Oracle 数据库和强大的数据库平台 Exadata 相结合，具备云的简单性、自动化、可操作性和经济性优势。客户可以在 Oracle 公有云环境 (Oracle Cloud Infrastructure - OCI)、合作伙伴公有云 (Azure、Google Cloud 和 AWS) 以及客户数据中心内的混合云技术平台 (Exadata Cloud@Customer) 中使用 Exadata Cloud。

<sup>15</sup> 配有 2 台 X11M 数据库服务器和 17 台 X11M 大容量存储服务器或 17 台 X11M 极速闪存存储服务器的 Exadata X11M 弹性配置

借助 Exadata Cloud:

- 计算资源可以在线扩展和缩减，客户只需为自己使用的资源付费 — 从低成本的入门级 OCI 订阅起步
- 客户可以灵活选择全托管式 Autonomous Database 或支持完整控制的 Exadata Database Service，或者同时在同一 Exadata 基础设施上运行这两者
- 基础设施订阅中包含所有 Exadata 系统软件和硬件
- 客户可以自带本地部署 Oracle Database 许可证，或者订阅包含所有 Oracle Database 选件和特性的一价全包许可证
- Oracle Cloud 运营服务涵盖所有基础设施，消除了以前由客户工作人员执行的许多运维管理工作
- 通过基于浏览器的 UI 和 REST API 获得强大的云自动化优势，这简化了常见的生命周期管理任务
- 如果客户出于安全性、合规性、数据驻留要求或者与其他本地部署系统存在依赖关系等原因而无法将数据库迁移至公有云，可以利用 Exadata Cloud@Customer 在自己的数据中心中运行 Exadata Cloud。

在 Exadata Cloud 上部署的 Oracle 数据库与本地部署的 Oracle 数据库 **100% 兼容**，客户可以平滑地迁移到云端和实施无缝的混合云战略。现有 Oracle Database 客户**无需更改**自己的应用和数据模型就能获得 Exadata Cloud 的弹性和灵活性。他们也无需为不同的数据模型或工作负载购买不同的数据库云技术服务，因为 Exadata 为所有应用（AI、OLTP、分析、整合和混合工作负载）提供了一个统一平台。

Exadata Cloud 非常适合:

- 所有规模的业务关键生产数据库，无需承担底层 IT 基础设施维护的资本支出和复杂性。
- 尽可能降低资源需求随时间变化的工作负载的运行成本。
- 在强大的 Exadata 基础设施上整合系统、数据库和数据库服务，消除多种数据库服务带来的成本支出和复杂性
- 轻松供应 Oracle 备用或副本数据库，满足基于 Oracle Active Data Guard 或 Oracle GoldenGate 的灾难恢复和/或查询卸载要求
- 快速供应高性能的临时 Oracle 数据库，以满足开发、功能测试、应用认证和概念验证等需求

Exadata Cloud **专为**向所有工作负载提供超强性能而设计，具有快速部署、简化管理、低运营成本和更低风险等特点，是理想的云数据库平台。

## Exadata 的业务效益

除了超强性能、高可用性、高安全性以及跨本地部署和云部署的部署灵活性等运营优势外，Exadata 还能直接创造业务效益。

由于大大缩短了系统配置、调优和测试所需的时间，**Exadata 可加快新业务应用的市场投放速度**。此外，部署时间也从数月缩短至数日，并大幅降低了上线后遇到意外系统问题的风险。在部署新应用时，不可预测的应用使用模式往往会造成性能问题。Exadata 具有很高的 I/O、网络和计算吞吐量，可轻松承受不可预测的峰值工作负载，不会减慢关键任务工作负载的响应速度。Exadata 总体上加快了应用部署速度并降低了风险，从而让企业加快了创新步伐。

Exadata 具备超强的性能以及庞大的内存和闪存容量，可显著加快用户响应速度，从而提高员工效率和客户满意度。**用户将有更多时间从事有价值的工作，而不是将时间浪费在等待系统响应上。**

Exadata 的超强性能不仅可以提高业务效率，还可以**帮助业务用户做出更明智的决策、发现增长机遇和降低成本**。用户可以实时分析数据、探索各种可能性以及通过快速迭代找到更优秀的解决方案。Exadata 可助力实现：

- 实时业务数据分析
- 更快的财务关账
- 更完善的规划和预算
- 更有效、更快速的预测

**“It is not an exaggeration to say that Oracle Exadata has been the living proof and the most important companion in Hyundai Home Shopping’s digital innovation journey. Sales, revenue, and operating profit margins have all grown significantly.”**

**Bae-hyun Kim**

安全和基础设施团队负责人

Hyundai Home Information、Hyundai IT&E

## 总结

Exadata 提供了一个完全集成的数据库平台，采用新的硬件技术和**独有的**软件来确保实现超强性能、高可用性和高安全性。此外，Exadata 还有助于降低成本、简化管理和增强可支持性，能够大大提高业务敏捷性和效率。凭借诸多优势，Exadata 当之无愧地成为了运行 Oracle Database 的新的全球标准 — 无论是本地部署还是云端部署。

## Exadata 服务器硬件<sup>1</sup>

服务器类型	CPU	内存 (DDR5)	磁盘	闪存	标准网络适配器	可选网络适配器
数据库服务器 <sup>2</sup>	2 个 96 核 AMD EPYC™ 9J25 处理器, 2.6 GHz (最高 4.5 GHz)	选择: 512 GB <sup>3</sup> 1536 GB <sup>4</sup> 2304 GB <sup>4</sup> 3072 GB <sup>5</sup>		2 个 3.84 TB NVMe 闪存 SSD (可热插拔), (可升级为 4 个 3.84 TB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>客户端/备份适配器 1: 2 个 10/25 Gb 以太网端口 (SFP28)</li> <li>客户端/备份适配器 2: 2 个 10/25 Gb 以太网端口 (SFP28)</li> <li>1 个 1 Gb 以太网端口 (RJ45, 管理)</li> <li>1 个 1 Gb 以太网端口 (RJ45, ILOM)</li> <li>2 个 100 Gb QSFP28 RoCE 网络端口</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>客户端/备份适配器 3、4 或 5:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>4 个 10 Gb 以太网端口 (RJ45), 或者</li> <li>2 个 10/25 Gb 以太网端口 (SFP28), 或者</li> <li>2 个 100 Gb 光纤以太网端口 (QSFP28)</li> </ul> </li> </ul>
数据库服务器-Z <sup>2</sup>	1 个 32 核 AMD EPYC™ 9J15 处理器, 2.95 GHz (最高 4.4 GHz)	选择: 768 GB <sup>3</sup> 1152 GB <sup>5</sup>		2 个 3.84 TB NVMe 闪存 SSD (可热插拔), (可升级为 4 个 3.84 TB)	<ul style="list-style-type: none"> <li>客户端/备份适配器 1: 2 个 10/25 Gb 以太网端口 (SFP28)</li> <li>客户端/备份适配器 2: 2 个 10/25 Gb 以太网端口 (SFP28)</li> <li>1 个 1 Gb 以太网端口 (RJ45, 管理)</li> <li>1 个 1 Gb 以太网端口 (RJ45, ILOM)</li> <li>2 个 100 Gb QSFP28 RoCE 网络端口</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>客户端/备份适配器 3:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>4 个 10 Gb 以太网端口 (RJ45), 或者</li> <li>2 个 10/25 Gb 以太网端口 (SFP28), 或者</li> <li>2 个 100 Gb 光纤以太网端口 (QSFP28)</li> </ul> </li> </ul>
大容量存储服务器	2 个 32 核 AMD EPYC™ 9J15 处理器, 2.95 GHz (最高 4.4 GHz)	256 GB 1280 GB Exadata RDMA 内存	12 个 22 TB 7200 RPM 磁盘	4 个 6.8 TB NVMe PCIe 5.0 性能优化的闪存卡	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 个 100 Gb QSFP28 RoCE 网络端口</li> <li>1 个 1 Gb 以太网端口 (RJ45, 管理)</li> <li>1 个 1 Gb 以太网端口 (RJ45, ILOM)</li> </ul>	
极速闪存存储服务器	2 个 32 核 AMD EPYC™ 9J15 处理器, 2.95 GHz (最高 4.4 GHz)	256 GB 1280 GB Exadata RDMA 内存		4 个 6.8 TB NVMe PCIe 5.0 性能优化的闪存卡, 以及 4 个 30.72 TB NVMe PCIe 5.0 容量优化的闪存卡	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 个 100 Gb QSFP28 RoCE 网络端口</li> <li>1 个 1 Gb 以太网端口 (RJ45, 管理)</li> <li>1 个 1 Gb 以太网端口 (RJ45, ILOM)</li> </ul>	
大容量存储服务器-Z <sup>2</sup>	1 个 32 核 AMD EPYC™ 9J15 处理器, 2.95 GHz (最高 4.4 GHz)	192 GB 576 GB Exadata RDMA 内存	6 个 22 TB 7200 RPM 磁盘	2 个 6.8 TB NVMe PCIe 5.0 性能优化的闪存卡	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 个 100 Gb QSFP28 RoCE 网络端口</li> <li>1 个 1 Gb 以太网端口 (RJ45, 管理)</li> <li>1 个 1 Gb 以太网端口 (RJ45, ILOM)</li> </ul>	

<sup>1</sup>所有服务器均配有冗余的可热插拔风扇和电源

<sup>2</sup>数据库服务器-Z 和高容量存储服务器-Z 可以与标准服务器在同一机架内同时运行。最低服务器配置要求需要常规冗余和高冗余

<sup>3</sup>仅出厂选项

<sup>4</sup>出厂选项加现场升级

<sup>5</sup>最高配置，出厂选项加现场升级

## Exadata 机架配置 1、2、5

机架规格	数据库服务器和核数	存储服务器和核数	高容量存储服务器容量 (原始)	极速闪存存储服务器容量 (原始)
四分之一机架	2 台服务器, 384 核	3 台服务器, 192 核, 用于 SQL 卸载	<ul style="list-style-type: none"> <li>792 TB 磁盘</li> <li>81.6 TB 性能优化的闪存</li> <li>3.75 TB Exadata RDMA 内存</li> </ul>	或者 <ul style="list-style-type: none"> <li>368.6 TB 容量优化的闪存</li> <li>81.6 TB 性能优化的闪存</li> <li>3.75 TB Exadata RDMA 内存</li> </ul>
四分之一机架 (数据库服务器-Z)	2 台服务器, 64 核	3 台 HC-Z 服务器, 96 核, 用于 SQL 卸载 或者 3 台 HC 或 EF 服务器, 192 核, 用于 SQL 卸载	使用高容量存储服务器-Z <ul style="list-style-type: none"> <li>396 TB 磁盘</li> <li>40.8 TB 性能优化的闪存</li> <li>1.69 TB Exadata RDMA 内存</li> </ul> 或者 使用高容量存储服务器 <ul style="list-style-type: none"> <li>792 TB 磁盘</li> <li>81.6 TB 性能优化的闪存</li> <li>3.75 TB Exadata RDMA 内存</li> </ul>	或者 <ul style="list-style-type: none"> <li>368.6 TB 容量优化的闪存</li> <li>81.6 TB 性能优化的闪存</li> <li>3.75 TB Exadata RDMA 内存</li> </ul>
弹性配置 1 (示例) <sup>3</sup>	9 台服务器, 1728 核	9 台服务器, 576 核, 用于 SQL 卸载	<ul style="list-style-type: none"> <li>2376 TB 磁盘</li> <li>244.8 TB 性能优化的闪存</li> <li>11.25 TB Exadata RDMA 内存</li> </ul>	或者 <ul style="list-style-type: none"> <li>1105.9 TB 容量优化的闪存</li> <li>244.8 TB 性能优化的闪存</li> <li>11.25 TB Exadata RDMA 内存</li> </ul>
弹性配置 2 (示例) <sup>3</sup>	2 台服务器, 384 核	17 台服务器, 1088 核, 用于 SQL 卸载	<ul style="list-style-type: none"> <li>4488 TB 磁盘</li> <li>462.4 TB 性能优化的闪存</li> <li>21.25 TB Exadata RDMA 内存</li> </ul>	或者 <ul style="list-style-type: none"> <li>2088 TB 容量优化的闪存</li> <li>462.4 TB 性能优化的闪存</li> <li>21.25 TB Exadata RDMA 内存</li> </ul>
<b>+数据库服务器</b>	每个机架最多 15 台服务器 <sup>4</sup> , 最多 2880 核			
<b>+存储服务器</b>		每个机架的最大数量: 最多 17 台 HC 或 EF 服务器 <sup>4</sup> , 1088 核 或者 最多 17 台 HC-Z 服务器 <sup>4</sup> , 544 核	使用 HC 存储服务器时每个机架的最大数量: <ul style="list-style-type: none"> <li>4488 TB 磁盘</li> <li>462.4 TB 性能优化的闪存</li> <li>21.25 TB Exadata RDMA 内存</li> </ul> 或者 使用 HC-Z 存储服务器时每个机架的最大数量: <ul style="list-style-type: none"> <li>2244 TB 磁盘</li> <li>231.2 TB 性能优化的闪存</li> <li>9.6 TB Exadata RDMA 内存</li> </ul>	每个机架的最大数量: <ul style="list-style-type: none"> <li>2088 TB 容量优化的闪存</li> <li>462.4 TB 性能优化的闪存</li> <li>21.25 TB Exadata RDMA 内存</li> </ul>

<sup>1</sup>每个机架高度为 42 RU（机架单元），配有 2 个冗余配电单元 (PDU)、2 个 36 端口 100 Gb/秒 RoCE 交换机和 1 个用于管理的 48 端口管理以太网交换机。

<sup>2</sup>弹性配置允许在四分之一机架中添加数据库服务器或存储服务器，以便达到契合应用需要的计算与存储的精确比例。每个机架的弹性配置不能超过 19 台服务器和 38 RU（机架单元）。数据库服务器 = 2 RU，存储服务器 = 2 RU

<sup>3</sup>新增弹性配置 1 和弹性配置 2 配置作为弹性配置示例。

<sup>4</sup>一个弹性配置最多支持 15 台数据库服务器。一个弹性配置最多支持 17 台存储服务器。

<sup>5</sup>Exadata X11M 允许将 1 插槽（数据库服务器-Z 和高容量存储服务器-Z）和 2 插槽数据库和存储服务器以几乎任意组合混合使用，从而实现了极大的灵活性。例如，可以为既需要极低延迟的闪存又要求占用较低数据库 CPU 和/或内存的工作负载配置 2 台数据库服务器-Z 和 3 台极速闪存 (EF) 存储服务器。在扩容已有的存储服务器时，须使用相同类型的存储服务器。例如，必须使用极速闪存存储服务器来扩展极速闪存存储服务器，包括磁盘组和存储池。在添加新的存储服务器类型时，常规冗余至少需要 2 台服务器，高冗余（建议）至少需要 3 台服务器。

## 其他弹性扩展选项

### 多机架连接

通过 RoCE 网络结构连接达 14 个任意组合的 Exadata Database Machine 机架或 Exadata 存储扩展机架。

- 通过外部 RoCE 交换机可创建更大规模的配置。
- 所连接的机架必须包含 Exadata RoCE 硬件

## Exadata 容量和性能指标：单个服务器

服务器类型	最大 SQL 闪存带宽 <sup>2</sup>	最大 SQL Exadata RDMA 闪存带宽 <sup>2</sup>	最高 SQL 读取 IOPS <sup>1, 3</sup>	最高 SQL 写入 IOPS <sup>4</sup>	Exadata RDMA 内存容量 (原始) <sup>5</sup>	性能优化的 PCI 闪存容量 (原始) <sup>5</sup>	容量优化的 PCI 闪存容量 (原始) <sup>5</sup>	磁盘数据容量 (原始) <sup>5</sup>
数据库服务器			2,800,000	2,500,000				7.68 TB
数据库服务器-Z			1,400,000	1,250,000				7.68 TB
高容量 (HC) 存储服务器 <sup>1</sup>	100 GB/秒	500 GB/秒	2,800,000	1,000,000	1280 GB	27.2 TB		264 TB
极速闪存 (EF) 存储服务器 <sup>1</sup>	100 GB/秒	500 GB/秒	2,800,000	1,000,000	1280 GB	27.2 TB	122.88 TB	
高容量-Z (HC-Z) 存储服务器	50 GB/秒	250 GB/秒	1,400,000	500,000	576 GB	13.6 TB		132 TB
<p><sup>1</sup> 实际系统性能因应用而异。</p> <p><sup>2</sup> 该带宽是在不采用数据库压缩的情况下运行 SQL 时得到的峰值物理扫描带宽。采用数据库压缩时，有效用户数据带宽更高。</p> <p><sup>3</sup> 基于运行 SQL 的 8K I/O 请求得出。请注意，I/O 大小对闪存 IOPS 的影响很大。其他产品供应商报出的 IOPS 可能基于与数据库无关的、较小的 I/O 大小。</p> <p><sup>4</sup> 基于运行 SQL 的 8K I/O 请求得出。执行 ASM 镜像之后在存储服务器上测得的闪存写入 I/O，这通常会发出多个存储 I/O 来保持冗余性。</p> <p><sup>5</sup> 原始容量以标准磁盘驱动器术语来计量，1 GB = 10 亿字节。</p>								

## Exadata 弹性机架配置：闪存容量和性能指标（HC、EF 和 HC-Z）

闪存指标		最大 SQL 闪存和 Exadata RDMA 内存带宽 <sup>2</sup>	最高 SQL XMEM 读取 IOPS <sup>1, 3</sup>	最高 SQL 闪存写入 IOPS <sup>4</sup>	性能优化的 PCI 闪存容量 (原始) <sup>5</sup>
弹性配置 1 (示例) <sup>6</sup>	HC <sup>1</sup>	4,500 GB/秒	25,200,000	9,000,000	244.8 TB
	EF <sup>1</sup>	4,500GB/秒	25,200,000	9,000,000	244.8 TB
弹性配置 2 (示例) <sup>6</sup>	HC <sup>1</sup>	8,500 GB/秒	5,600,000	5,000,000	462.4 TB
	EF <sup>1</sup>	8,500 GB/秒	5,600,000	5,000,000	462.4 TB
四分之一机架	HC <sup>1</sup>	1,500 GB/秒	5,600,000	3,000,000	81.6 TB
	EF <sup>1</sup>	1,500 GB/秒	5,600,000	3,000,000	81.6 TB
四分之一机架 (数据库服务器-Z)	HC-Z <sup>1</sup>	750 GB/秒	2,800,000	1,500,000	40.8 TB
	HC <sup>1</sup>	1,500 GB/秒	2,800,000	2,500,000	81.6 TB
	EF <sup>1</sup>	1,500 GB/秒	2,800,000	2,500,000	81.6 TB

<sup>1</sup> EF = 极速闪存; HC = 高容量; HC-Z = 高容量-Z  
<sup>2</sup> 该带宽是在不采用数据库压缩的情况下运行 SQL 时得到的峰值物理扫描带宽。采用数据库压缩时, 有效用户数据带宽更高。  
<sup>3</sup> 基于运行 SQL 的 8K IO 请求得出。请注意, IO 大小对闪存 IOPS 的影响很大。其他供应商报出的 IOPS 可能基于与数据库无关的、较小的 IO 大小。  
<sup>4</sup> 基于运行 SQL 的 8K IO 请求得出。执行 ASM 镜像之后在存储服务器上测得的闪存写入 I/O, 这通常会发出多个存储 IO 来保持冗余性。  
<sup>5</sup> 原始容量以标准磁盘驱动器术语来计量, 1 GB = 10 亿字节。  
<sup>6</sup> 新增弹性配置 1 和弹性配置 2 配置作为弹性配置示例。弹性配置 1 = 9 台数据库服务器 + 9 台存储服务器; 弹性配置 2 = 2 台数据库服务器 + 17 台 HC 或 17 台 EF 存储服务器

## Exadata 弹性机架配置：磁盘容量和性能指标（HC 和 HC-Z）

磁盘指标		最大 SQL 磁盘带宽 <sup>1</sup>	最高 SQL 磁盘 IOPS <sup>2</sup>	数据容量 (原始) <sup>3</sup>
弹性配置 1 (示例) <sup>4</sup>		16 GB/秒	23,000	2,376 TB
弹性配置 2 (示例) <sup>4</sup>		30.5 GB/秒	44,000	4,488 TB
四分之一机架		5.4 GB/秒	7,800	792 TB
四分之一机架 (数据库服务器-Z)		2.7 GB/秒	3,900	396 TB

<sup>1</sup> 该带宽是在不采用数据库压缩的情况下运行 SQL 时得到的峰值物理扫描带宽。采用数据库压缩时, 有效用户数据带宽更高。  
<sup>2</sup> 基于运行 SQL 的 8K IO 请求得出。请注意, IO 大小对闪存 IOPS 的影响很大。其他供应商报出的 IOPS 可能基于与数据库无关的、较小的 IO 大小。  
<sup>3</sup> 原始容量以标准磁盘驱动器术语来计量, 1 GB = 10 亿字节。  
<sup>4</sup> 新增弹性配置 1 和弹性配置 2 配置作为弹性配置示例。弹性配置 1 = 9 台数据库服务器 + 9 台存储服务器; 弹性配置 2 = 2 台数据库服务器 + 17 台 HC 存储服务器

## Exadata 弹性机架配置：综合指标（HC、EF 和 HC-Z）

综合指标		数据容量（可用）— 常规冗余 <sup>1</sup>	数据容量（可用）— 高冗余 <sup>1</sup>	最大数据加载速度 <sup>2</sup>
弹性配置 1（示例） <sup>3</sup>	HC <sub>1</sub>	983.2 TB	720.3 TB	22.5 TB/小时
	EF <sub>1</sub>	457.6 TB	335.2 TB	22.5 TB/小时
弹性配置 2（示例） <sup>3</sup>	HC <sub>1</sub>	1857.2 TB	1360.6 TB	8.8 TB/小时
	EF <sub>1</sub>	864.2 TB	633.1 TB	8.8 TB/小时
四分之一机架	HC-Z <sub>1</sub>	153.1 TB	120 TB	3.8 TB/小时
	HC <sub>1</sub>	306.1 TB	240.1 TB	7.5 TB/小时
	EF <sub>1</sub>	142.5 TB	111.7 TB	7.5 TB/小时
四分之一机架 (数据库服务器-Z)	HC-Z <sub>1</sub>	153.1 TB	120 TB	3.8 TB/小时
	HC <sub>1</sub>	306.1 TB	240.1 TB	7.5 TB/小时
	EF <sub>1</sub>	142.5 TB	111.7 TB	7.5 TB/小时

<sup>1</sup> 可用容量以常规二进制空间术语来计量，即 1 TB = 1024 \* 1024 \* 1024 \* 1024 字节。该容量是在考虑实现 ASM 冗余性（可从 1 个驱动器故障中恢复）所需的空间之后用于创建数据库的实际可用空间。常规冗余计算反映了 Grid Infrastructure 12.2.0.1 或更高版本的使用。

<sup>2</sup> 加载速率通常受数据库服务器 CPU 而非 I/O 的限制。根据加载方法、索引、数据类型、压缩和分区不同，速率也会有所变化。

<sup>3</sup> 新增弹性配置 1 和弹性配置 2 配置作为弹性配置示例。弹性配置 1 = 9 台数据库服务器 + 9 台存储服务器；弹性配置 2 = 2 台数据库服务器 + 17 台 HC 或 17 台 EF 存储服务器

## Exadata Database Machine 组件环境规格

指标	Exadata X11M 数据库服务器	Exadata X11M 数据库服务器-Z	Exadata X11M 数据库服务器 (1.5TB 内存)	Exadata X11M 数据库服务器 (3TB 内存)	Exadata X11M 大容量 (HC) 存储服务器	Exadata X11M 极速闪存 (EF) 存储服务器	Exadata X11M 大容量-Z (HC-Z) 存储服务器
高度	3.42 英寸 (86.9 毫米)						
宽度	17.52 英寸 (445.0 毫米)						
深度	30.51 英寸 (775.0 毫米)						
工作噪音	8.6 B	8.5 B	8.5 B	9.0 B	8.6 B	8.0 B	8.6 B
重量	53 磅 (24 千克)	53 磅 (24 千克)	53 磅 (24 千克)	53 磅 (24 千克)	74 磅 (33.6 千克)	60 磅 (27.2 千克)	63 磅 (28.6 千克)
最大功耗	1.2 kW (1.2 kVA)	1.1 kW (1.1 kVA)	1.4 kW (1.4 kVA)	1.4 kW (1.4 kVA)	1 kW (1 kVA)	0.9 kW (0.9 kVA)	0.8 kW (0.8 kVA)
常规功耗 <sup>1</sup>	0.8 kW (0.8 kVA)	0.8 kW (0.8 kVA)	1 kW (1 kVA)	1 kW (1 kVA)	0.7 kW (0.7 kVA)	0.6 kW (0.6 kVA)	0.5 kW (0.5 kVA)
最大负荷下的 散热率	4,054 BTU/小时	3,783 BTU/小时	4,726 BTU/小时	4,705 BTU/小时	3,474 BTU/小时	3,037 BTU/小时	2,570 BTU/小时
	4,277 kJ/小时	3,991 kJ/小时	4,986 kJ/小时	4,964 kJ/小时	3,665 kJ/小时	3,204 kJ/小时	2,712 kJ/小时
常规负荷下的 散热率	2,838 BTU/小时	2,648 BTU/小时	3,308 BTU/小时	3,294 BTU/小时	2,431 BTU/小时	2,126 BTU/小时	1,799 BTU/小时
	2,994 kJ/小时	2,794 kJ/小时	3,490 kJ/小时	3,475 kJ/小时	2,565 kJ/小时	2,243 kJ/小时	1,898 kJ/小时
最大负荷下的 气流 <sup>2</sup>	188 CFM	175 CFM	219 CFM	218 CFM	161 CFM	141 CFM	119 CFM
常规负荷下 的气流 <sup>2</sup>	131 CFM	123 CFM	153 CFM	152 CFM	113 CFM	98 CFM	83 CFM
工作温度/湿度: 5 °C 至 32 °C (41 °F 至 89.6 °F) , 相对湿度 10% 至 90%, 无冷凝 工作海拔: 最高 3048 米, 900 米以上每上升 300 米最高环境温度下降 1°C <sup>1</sup> 常规功耗将随应用负载变化而变化。 <sup>2</sup> 气流方向必须从前往后。							

## Exadata Database Machine 环境规格

指标	弹性配置 1 (示例) <sup>3, 4</sup>	弹性配置 2 (示例) <sup>3, 4</sup>	四分之一机架 <sup>4</sup>	四分之一机架 (数据库服务器-Z 和高容量存储服务器-Z)
高度	78.74 英寸 (2000 毫米)			
宽度	23.62 英寸 (600 毫米)			
深度	47.12 英寸 (1197 毫米)			
<b>高容量存储服务器</b>				
工作噪音	9.7 B	9.9 B	9.4 B	9.4 B
重量	1904.7 磅 (864 千克)	2145 磅 (972.9 千克)	937.8 磅 (425.4 千克)	904.8 磅 (410.4 千克)
最大功耗	22.5 kW (22.9 kVA)	20.9 kW (21.3 kVA)	6.7 kW (6.8 kVA)	5.3 kW (5.4 kVA)
常规功耗 <sup>1</sup>	15.7 kW (16.1 kVA)	14.6 kW (14.9 kVA)	4.7 kW (4.8 kVA)	3.7 kW (3.8 kVA)
最大负荷下的散热率	76,702 BTU/小时	71,409 BTU/小时	22,779 BTU/小时	18,185 BTU/小时
	80,920 kJ/小时	75,337 kJ/小时	24,032 kJ/小时	19,185 kJ/小时
常规负荷下的散热率	53,691 BTU/小时	49,987 BTU/小时	15,946 BTU/小时	12,730 BTU/小时
	56,644 kJ/小时	52,736 kJ/小时	16,823 kJ/小时	13,430 kJ/小时
最大负荷下的气流 <sup>2</sup>	3551 CFM	3306 CFM	1055 CFM	842 CFM
常规负荷下的气流 <sup>2</sup>	2486 CFM	2314 CFM	738 CFM	589 CFM
<b>极速闪存存储服务器</b>				
工作噪音	9.7 B	9.4 B	9.2 B	
重量	1778.7 磅 (806.8 千克)	1907 磅 (865 千克)	895.8 磅 (406.3 千克)	
最大功耗	21.3 kW (21.8 kVA)	18.8 kW (19.1 kVA)	6.3 kW (6.4 kVA)	
常规功耗 <sup>1</sup>	14.9 kW (15.2 kVA)	13.1 kW (13.4 kVA)	4.4 kW (4.5 kVA)	
最大负荷下的散热率	72,771 BTU/小时	63,984 BTU/小时	21,469 BTU/小时	
	76,773 kJ/小时	67,504 kJ/小时	22,650 kJ/小时	
常规负荷下的散热率	50,940 BTU/小时	44,789 BTU/小时	15,028 BTU/小时	
	53,741 kJ/小时	47,253 kJ/小时	15,855 kJ/小时	
最大负荷下的气流 <sup>2</sup>	3369 CFM	2962 CFM	994 CFM	
常规负荷下的气流 <sup>2</sup>	2358 CFM	2074 CFM	696 CFM	
工作温度/湿度: 5 °C 至 32 °C (41 °F 至 89.6 °F) , 相对湿度 10% 至 90%, 无冷凝 工作海拔: 最高 3048 米, 900 米以上每上升 300 米最高环境温度下降 1°C <sup>1</sup> 常规功耗将随应用负载变化而变化。				

<sup>2</sup>气流方向必须从前往后。

<sup>3</sup>新增弹性配置 1 和弹性配置 2 配置作为弹性配置示例。弹性配置 1 = 9 台数据库服务器 + 9 台存储服务器；弹性配置 2 = 2 台数据库服务器 + 17 台 HC 或 17 台 EF 存储服务器

<sup>4</sup>环境规格基于配有 1.5 TB 内存的 Exadata X11M 数据库服务器

## Exadata Database Machine 相关法规和认证

法规 <sup>1, 2, 3</sup>	产品安全:	UL/CSA 60950-1、EN 60950-1、IEC 60950-1 CB Scheme (不同国家/地区之间存在差异)
		UL/CSA 62368-1、EN 62368-1、IEC 62368-1 CB Scheme (不同国家/地区之间存在差异)
	EMC	
	辐射:	FCC CFR 47 第 15 部分、ICES-003、EN55032、KS C 9832、EN61000-3-11、EN61000-3-12
	抗干扰性:	EN55024、KS C 9835
认证 <sup>2, 3</sup>	北美 (NRTL)、CE (欧盟)、International CB Scheme、HSE Exemption (印度)、BSMI (中国台湾)、KC (韩国)、RCM (澳大利亚)、VCCI (日本)、UKCA (英国)	
欧盟指令 <sup>3</sup>	2014/35/EU 低电压指令、2014/30/EU EMC 指令、2011/65/EU RoHS 指令、2012/19/EU WEEE 指令	
<p><sup>1</sup>本文中引用的所有标准和认证均为最新官方版本。如需了解更多详细信息，请联系您的销售代表。</p> <p><sup>2</sup>其他国家和地区的法规/认证也可能适用。</p> <p><sup>3</sup>有些情况下，仅机架级别的系统达到了法规和认证要求 (如适用)。</p>		

## Exadata Database Machine 支持服务

- 硬件保修：提供 1 年保修。如正常工作时间（周一至周五，上午 8 点至下午 5 点）内接到维修请求，则 4 小时内通过 Web/电话进行回复，2 个工作日内到达现场/调换部件
- Oracle 标准系统支持服务包括 Oracle Linux 支持服务以及 24x7 的 2 小时内现场硬件维修响应（维修地点需处于维修中心附近）
- Oracle 标准操作系统支持服务
- Oracle 客户数据与设备保留服务
- 系统安装服务
- 软件配置服务
- Oracle 白金服务
- 关键业务系统服务
- Oracle Exadata 启动包
- 系统升级支持服务，包括硬件安装和软件配置
- Oracle 自动服务请求 (ASR)

## 客户可以选择在 Exadata Database Machine X11M 中安装自己的以太网交换机

每个 Exadata Database Machine X11M 机架的机架顶层均有 2U 可用空间，客户可以选择在 Exadata 机架中利用该空间安装自己的客户端网络以太网交换机，而不是另用一个机架来安装。不过，会有一些空间、电力和散热限制。

## 主要特性和功能

### Exadata 和数据库软件特性 — 分析

- 自动并行化处理数据扫描并将数据扫描卸载至存储（独有特性）
- 在存储中基于“where”子句筛选行（独有特性）
- 在存储中基于所选列筛选行（独有特性）
- 对 JSON 和 XML 分析查询进行存储卸载（独有特性）
- 在存储中基于与其他表的联接筛选行（独有特性）
- 混合列压缩（独有特性）
- 存储索引数据过滤（独有特性）
- 按用户、查询、服务、数据库等管理 I/O 资源（独有特性）
- 在闪存缓存中自动转换为列格式（独有特性）
- 对表扫描进行智能闪存缓存（独有特性）
- 对索引快速全扫描进行存储卸载（独有特性）
- 对加密数据扫描进行存储卸载并确保 FIPS 合规性（独有特性）
- 针对 LOB 和 CLOB 的存储卸载（独有特性）
- 针对最小值/最大值运算的存储卸载（独有特性）
- 针对数据挖掘的存储卸载（独有特性）
- 如果存储 CPU 繁忙，则反向卸载到数据库服务器（独有特性）
- 自动列化数据（独有特性）
- 当数据加载至闪存缓存时，自动将其转换为 In-Memory 格式（独有特性）

### Exadata 和数据库软件特性 — OLTP

- Exadata RDMA 内存数据加速器（独有特性）
- Exadata RDMA 内存提交加速器（仅限 X8M 和 X9M）（独有特性）
- 数据库感知式 PCI 闪存（独有特性）
- Exadata 智能闪存缓存（独有特性）
- Exadata 智能闪存日志（独有特性）
- 智能写回闪存缓存（独有特性）
- 按集群、工作负载、数据库或用户确定 I/O 优先级以确保服务质量 (QoS)（独有特性）
- Exafusion Direct-to-Wire 协议（独有特性）
- 数据库智能网络资源管理（独有特性）
- Exachk 全体系验证（独有特性）
- 全体系安全性扫描（独有特性）
- 数据库范围的安全性（独有特性）
- 通过单元到单元 (Cell-to-Cell) 重新平衡保留闪存缓存和存储索引（独有特性）
- 全体系安全擦除（独有特性）
- 即时创建数据文件（独有特性）
- 控制每个数据库的闪存缓存大小（独有特性）
- In-Memory OLTP 加速（独有特性）
- Undo 块远程 RDMA 读取（独有特性）
- 使用多租户选项，每个容器数据库支持 4096 多个可插拔数据库（独有特性）

### Exadata 和数据库软件特性 — 人工智能

- 自动并行化处理 AI Vector Search 并将其卸载至存储（独有特性）
- 基于向量距离筛选行（独有特性）
- 提供 AI Vector Search 结果的列投影，包括列与存储的向量距离（独有特性）
- 在存储服务器上执行向量距离计算（独有特性）
- 每台存储服务器分别进行自适应 Top-K 计算（独有特性）

### Exadata 和数据库软件特性 — 高可用性

- 即时检测节点或单元 (Cell) 故障（独有特性）
- In-Memory 容错（独有特性）
- 亚秒级故障切换停滞磁盘或闪存上的 I/O（独有特性）
- 将备份卸载到存储服务器（独有特性）
- Exadata 数据验证（扩展式 H.A.R.D.）（独有特性）
- 优先恢复关键数据库文件（独有特性）
- 通过读取其他存储服务器来自动修复损坏的磁盘数据（独有特性）
- 避免在预测存在故障的磁盘上执行读取 I/O 操作（独有特性）
- 限制使用、关闭再打开暂时性能低下的驱动器（独有特性）
- 当镜像存储服务器发生故障时提供关闭防护（独有特性）
- 检测并禁用不可靠的网络链路（独有特性）
- 重新平衡时保留存储索引（独有特性）
- 存储索引持久性，以避免在存储服务器重新启动时重建（独有特性）
- Database In-Memory 列缓存持久性，以避免在存储服务器重新启动时重建（独有特性）

**可管理性特性**

- 具有升级预暂存优化的嵌入式 Oracle Integrated Lights Out Manager (ILOM)
- Oracle Enterprise Manager Exadata 插件
- 活动 AWR 包含存储统计信息，以支持端到端监视（独有特性）
- Real-time Insights 服务器指标流
- 针对以太网连接的 IPv6 支持
- 按需扩容
- 单元 (Cell) 软件透明重启
- 闪存和磁盘生命周期管理警报
- 自动磁盘清理和修复
- Oracle Linux 虚拟化可信分区
- 自动创建 VLAN
- Oracle Exadata Deployment Assistant
- 单独的管理交换机和连接
- 从远程服务器执行 Exacli 命令行管理
- 通过 Cellcli 命令行管理存储服务器
- DCLI 分布式命令行自动化工具
- 自动服务请求和补丁管理程序 (patchmgr) 支持：
  - 数据库服务器
  - 存储服务器
  - 配电单元 (PDU)
  - Cisco RoCE 和管理交换机

**Oracle 数据库软件（需单独购买）：**

- **对于数据库服务器：** Oracle Database 19c 企业版、Oracle Database 21c 企业版和 Oracle Database 23ai 企业版。Oracle 数据库选项，如 Oracle Real Application Clusters、Oracle Partitioning、Oracle Multitenant、Oracle Active Data Guard。关于所支持的特性，请参阅具体版本的相应文档。Oracle Grid Infrastructure 19c 或更高版本。
- **对于存储服务器：Oracle Exadata 系统软件。允许将许可证从一个系统转移至另一个系统，或转移至新系统。**

**Oracle 软件（随机附带）：**

- **对于数据库服务器：** 采用 Unbreakable Enterprise Kernel 7 的 Oracle Linux 8。零丢失零复制数据报协议 (ZDP) RoCEv2 协议，用于 Exadata 存储服务器和 Oracle Database 之间的通信。该协议基于可靠数据报套接字 (RDS) OpenFabrics 企业发行版 (OFED)

## 联系我们

请致电 **400-699-8888** 或访问 [oracle.com/cn](http://oracle.com/cn)。中国地区的用户请访问 [oracle.com/cn/corporate/contact/](http://oracle.com/cn/corporate/contact/)，查找您当地 Oracle 办事处的电话号码。

 [blogs.oracle.com](http://blogs.oracle.com)

 [facebook.com/oracle](https://facebook.com/oracle)

 [twitter.com/oracle](https://twitter.com/oracle)

版权所有 © 2025, Oracle 和/或其关联公司。本文档仅供参考，此处内容若有更改，恕不另行通知。本文档不保证没有错误，也不受其他任何口头表达或法律暗示的担保或条件的约束，包括对特定用途的适销性或适用性的暗示担保和条件。我们特别声明拒绝承担与本文档有关的任何责任，本文档不直接或间接形成任何契约义务。未经预先书面许可，不允许以任何形式或任何方式（电子或机械的）、出于任何目的复制或传播本文档。

Oracle、Java 和 MySQL 是 Oracle 和/或其关联公司的注册商标。其他名称可能是其各自所有者的商标。