



使用 Kingston Technology DC500M 企業級固態硬碟，提升 SQL 伺服器效能並降低成本

2019 年 10 月

作者：DB Best Technology 技術產品管理總監 Bill Ramos

技術評估：Kingston Technology 系統工程師 Hazem Awadallah



內容

執行摘要	3
問題：SQL Server 2008 結束支援	6
解決方案：以 Kingston Technology Data Center DC500 企業級固態硬碟 (SSDs) 取代傳統硬碟，並升級至 SQL Server 2017	7
硬體	9
軟體	10
基準測試情況	12
測試結果	15
結果：SQL Server 2008 R2 與傳統硬碟上的 16 個虛擬核心	15
結果：搭載 DC500M 16 個虛擬核心的 SQL Server 2017	16
結果：DC500M 8 個虛擬核心上的 SQL Server 2017	17
結果：DC500M 4 個 vCore SQL Server 2017	19
結論	21
下一步	22
透過 DB Best 對您的作業環境進行評估	22
附錄 A：測試系統材料費用表	23
伺服器組態	23
軟體平台	25
圖表	27
商標	28

執行摘要

執行 SQL Server 2008 與 SQL Server 2008 R2 的企業在 2019 年 7 月面臨了關鍵的轉捩點，當時 Microsoft 結束了此資料庫的支援¹。在結束支援 (EOS)後，Microsoft 停止發布針對這些 SQL Server 內部版本的安全更新。此舉將會使資料庫面臨遭到駭入的極大風險，也將不再符合許多法規要求。

而此時企業需要具成本效益的解決方案，方能移轉與整合那些因為法規或客戶偏好而維持內部部署的 SQL Server 2008² 工作負載。

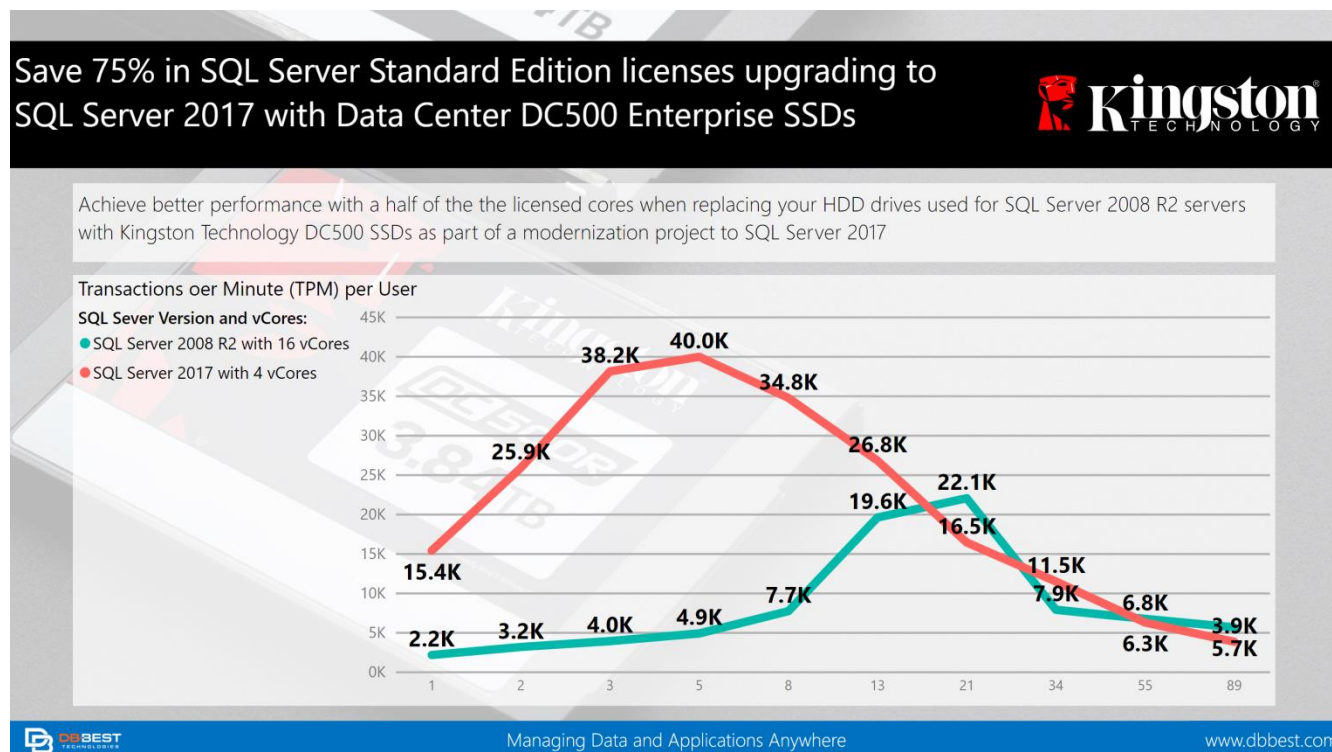
本白皮書旨在說明 SQL Server 2008 工作負載可利用新版伺服器與 [Kingston Technology DC500M 企業級固態硬碟 \(SSD\)](#)，搭配 Microsoft SQL 2017 Windows Server 2019 Datacenter Edition，以具成本效益的方式地移轉至新版硬體與軟體解決方案。

DB Best Technologies 近期與 Kingston Technology 攜手合作，示範 8 個虛擬核心 (vCores) 搭配 [Kingston Technology DC500 企業級固態硬碟 \(SSD\)](#) 的 SQL Server 2017，其運作速度優於 16 核心傳統硬碟 (HDD) 的 SQL Server 2008 R2。通常當我們與欲升級 SQL Server 2008 伺服器至新版 SQL Server 的客戶合作時，會發現這些系統目前將傳統硬碟用於資料、日誌和暫存作業。

¹ 「SQL Server 2008 及 SQL Server 2008 R2 結束支援」 <<https://www.microsoft.com/zh-tw/sql-server/sql-server-2008>>

² 為了敘述方便，本文以「SQL Server 2008」代表 SQL Server 2008 及 SQL Server 2008 R2 等版本。

下表顯示在 2000 個資料庫中執行 [HammerDB](#) TPC-C 基準測試的結果，以及在 4 個虛擬核心上執行 SQL Server 2017 與 [Kingston Data Center DC500M SATA 6GBps 960 GB 固態硬碟](#) 的性能，優於在 16 個虛擬核心上執行 SQL Server 2008 R2 和 [Dell 400-AJTL 10,000 RPM SAS 12 GBps 1.2 TB 傳統硬碟](#) 的性能。



根據先前與其他硬體製造商及雲端廠商做的基準測試，我們認為使用 SSD 將舊版本的 SQL Server 移至 SQL Server 2017，用於資料日誌及暫存檔作業，將能使用較少 vCore。

這代表當您將 SQL Server 2008 R2 伺服器升級至 SQL Server 2017 時，您可以減少 75% 的 SQL Server 授權成本，同時還能提升效能！

Component	SQL Server 2017	SQL Server 2008 R2	SQL Server 2017 4 vCores	SQL Server 2017 8 vCores	SQL Server 2008 R2 16 vCores
Hardware Costs					
Dell PowerEdge R740XD Intel 4114 2400 MHz	\$7,595.62	\$7,595.62			
KTD-PE426/32G	\$4,919.76	\$4,919.76			
SEDC500M 960 GB SATA 6Gb/s	\$1,815.92				
DELL 400-AJPI 1.2 TB SAS 1.2Gb/s		\$1,560.00			
Sub total for hardware	\$14,331.30	\$14,075.38			
Software Costs					
Windows Server Data Center Edition	\$12,310.00	\$12,310.00			
SQL Server 2017 Standard			\$7,434.00	\$14,868.00	\$29,736.00
Total			\$34,075.30	\$41,509.30	\$56,121.38
Percentage of savings for the total server compared to SQL Server 2008 R2 with 16 vCores			39%	26%	0%
Savings in cost compared to SQL Server 2018 R2 with 16 vCores			\$22,046.08	\$14,612.08	\$0.00
Savings in SQL Server licensing costs			75%	50%	0%

SQL Server 2008 R2 過去被配置為可於舊版軟體及硬體上執行的伺服器。我們在作業系統上使用 64 位元的 Windows Server 2008 R2 Datacenter，以及一共 8 個 Dell 10K SAS (Dell 料號 ST1200MM0099) 硬碟，經配置為兩個實體磁碟區的 RAID 10，分別用於資料儲存與記錄檔。

SQL Server 2017 經配置為新版伺服器。我們在作業系統上使用 64 位元的 Windows Server 2019 Datacenter，以及一共 8 個 Kingston Technology SEDC500M960G 固態硬碟，經配置為兩個實體磁碟區的 RAID 10，分別用於資料儲存與記錄檔。

兩種伺服器皆使用 Windows Hyper-V 配置。SQL Server 2008 R2 系統具備搭載 16 個虛擬核心及 128GB 記憶體之虛擬裝置。SQL Server 2017 系統針對使用 8 個 vCore 及 4 個 128 GB RAM 的 vCore 之虛擬裝置進行過測試。

問題：SQL Server 2008 結束支援

SQL Server 2008 是部署最廣泛的 SQL Server 資料庫版本之一，這讓 Microsoft 於 2019 年 7 月結束支援 SQL Server 2008 成為許多客戶的關鍵轉捩點。對於因為法律規定或客戶偏好而維持部屬的資料庫工作負載，需要一個經濟實惠的解決方案，包含移轉至 SQL Server 及 Windows Server 的支援版本³。Microsoft 已變更為 SQL Server 和 Windows Server 的獨立核心授權模式，讓授權決策更加複雜與困難。更加昂貴。

多數客戶最終將會淘汰目前採用 SQL Server 2008 運作的 2008 年版本硬體，且必須決定新硬體設備來移轉其工作負載。其中有許多選擇：實體伺服器、託管虛擬化工作負載的伺服器、私人雲端；超融合或分解式架構；傳統 SAN 或 DAS 儲存空間，或全新的軟體定義儲存解決方案。

近年 Microsoft 的軟體授權模式變更，使得授權選擇變得更加複雜，並提高軟體授權成本至可支配系統總成本的程度。因此，若未作出適當的授權決策，將會提高成本增加的錯誤風險。充分瞭解選擇，將有助於大幅降低軟體授權的成本。接下來，我們將會為您說明。

這份白皮書說明了使用 Kingston Technology 的 Data Center DC500 企業級固態硬碟 (SSDs) 將如何為您降低 39% 的整體成本與授權成本。

這份白皮書與基準測試專案文件將會量化利用硬體系統結構與軟體中進展之收益，從而實現具成本效益的解決方案，以因應必須處理 SQL Server 2008 結束支援之客戶所面臨的挑戰。

³ Windows Server 2008 及 Windows Server 2008 R2 也即將於 2020 年 1 月結束支援。請參閱「Window Server 2008 及 2008 R2 結束支援」<<https://www.microsoft.com/zh-tw/cloud-platform/windows-server-2008>>

解決方案：以 Kingston Technology Data Center DC500 企業級固態硬碟 (SSDs) 取代傳統硬碟，並升級至 SQL Server 2017

滿足企業需求以達成 24 小時全天候正常運行時間及可靠性，Kingston 企業級固態硬碟將能提供可預測及通過嚴格測試的可靠儲存效能表現。Kingston DC500 系列固態硬碟的特色功能在於，可讓資料中心針對其工作負荷選取最具成本效益的 SSD。企業於交付產品、解決方案及達成服務層級協議 (SLA) 時，希望能獲得成效。Kingston DC500 系列 SSD 設計旨在滿足這些期望。

Microsoft SQL Server 2017

SQL Server 2017 能為重要任務工作負載需求帶來可靠、安全及簡化的管理，所有工作將於一個資料平台上進行，並將內部記憶體效能提升，以因應線上交易處理 (OLTP) 資料庫作業。

從 SQL Server 2008 R2 開始，SQL Server 團隊已於 2017 年版本中推出逾 100 種出色的新功能。

WHAT'S NEW IN SQL SERVER 2017 SINCE 2008 R2				
OLTP Performance	Security	Business Intelligence	Hybrid Cloud	
Real-time operational analytics with in-memory OLTP on disk In-memory for more applications Unparalleled scalability with Windows Server 2016, with 12TB memory and Windows Server 2016 max cores Enhanced AlwaysOn, with 8 secondaries and Replica Wizard Multiple node failover clustering (3 synchronous, up to 8 replicas) In memory OLTP Buffer Pool Extension to SSDs Enhanced query processing Resource Governor adds IO governance SysPrep as cluster level Predictable performance with tiering of compute, network and store with Windows Server 2016 R2 Delayed Durability Clustered Shared Volume support, VHDX support (Windows Server 2016 R2) Manage on-premises and cloud apps (System Center 2016 R2) Query optimization enhancements Recovery Advisor Windows Server Core Live Migration Online operations enhancements Query Store Temporal support	SQL Server Data Tools Local DB runtime (Express) Data-tier application component project template Data-Tier Application Framework (DAC Fx) Interoperability support (ADO.NET, JDBC, JDBC, FDO, ADO APIs and .NET C/C++, Java, Linux and PHP platforms) Enhanced support for ANSI SQL standards Transact-SQL Static Code Analysis tools Transact-SQL code snippets IntelliSense FileTable build on FILESTREAM Remote Blob Storage with SharePoint 2016 Statistical Semantic Search Spatial features, Full Globe and arcs Large user-defined data types Distributed Replay Contained Database Authentication System Center Management Pack for SQL Server 2017 Windows PowerShell 2.0 support Multi-server Management with SQL Server Utility Control Point Data Tier Application Component Automatic Plan Connection	Transparent Data Encryption Always Encrypted Enhanced separation of duty Row-level security Dynamic data masking Enhanced separation of duties Default schemas for groups SQL Server Audit SQL Server fine-grained auditing Data Warehousing Adaptive Query Processing Operational analytics In-memory ColumnStore Deployment rights for APS Enhanced In-memory ColumnStore for DW PolyBase for simple T-SQL to query structured and unstructured data Enhanced database caching Up to 15,000 partitions Analytics Platform System	Enhanced connectors, new transformations, object-level security, ragged hierarchies** Graph data support Mobile BI Enhanced SSIS Enterprise-grade Analysis Services Advanced tabular models In-memory analytics Enhanced multidimensional models JSON support Enhanced QDS Enhanced MDX Modern Reporting Services Temporal tables Advanced data mining Create mobile reports using the SQL Server Mobile Report Publisher Consume with Power BI mobile apps Azure HDInsight Service Power BI Mash up data from different sources, such as Oracle & Hadoop HIs for StreamInsight, complex event processing SQL Server Data Tools support for BI Change Data Capture for Oracle Import PowerPivot models into Analysis Services Enhanced productivity and performance Power View Configurable reporting alerts Reporting as SharePoint Shared Service Build organization knowledge base Connect to 3rd party data cleansing providers Master Data Hub Master Data Services Add-in for Excel Graphical tools in SSIS Extensible object model SSIS as a Server Broader data integration with more sources: DB vendors, cloud, Hadoop Pipeline improvements Python integration** R built in to your T-SQL RRE APIs with full parallelism and no memory limits for scale/performance Built-in in-memory Advanced Analytics Advanced tabular model Direct query Advanced data mining SSDT in Visual Studio	Stretch database Partitioning for efficient data loading Hybrid scenarios with SSIS Enhanced backup to Azure Easy migration to the cloud Simplified cloud DR with AlwaysOn replicas Simplified backup to Azure Support for backup of previous versions of SQL Server to Azure Cloud back-up encryption support Simplified cloud Disaster Recovery with AlwaysOn replicas in Azure VMs New Azure Deployment UI for SQL Server Larger SQL Server VMs and memory sizes available in Azure SQL Server Data Tools Snapshot backups to Azure via SQL Server Management Studio Platform Linux support Container support

圖 1 - 從 SQL Server 2008 R2 開始新增至 SQL Server 的新功能

開放於 SQL Server 2017 的重要 OLTP 處理功能如下：

- **效能：**SQL Server 的整合內部記憶體工具組除了獨立功能外，更可在廣泛應用情況中提供支援，大幅改善其效能。
- **安全與合規：**隨著 SQL Server 逐步發展，其新增功能將得以保護休眠與作業中的資料，包括 Always Encrypted (永遠加密) 及 Row-Level Security (低資料列層級安全性) 等。
- **可用性：**SQL Server 向來以堅實可靠的效能聞名業界。此外，AlwaysOn 可用性群組更新增出色的加強功能，包括更理想的負載平衡，以及彈性且有效的備份。
- **可擴展性：**新的計算、儲存與網路加強功能，將會直接影響任務關鍵型的 SQL Server 工作負載。
- **雲端服務：**SQL Server 及 Microsoft Azure 的新工具可讓您更輕鬆地擴充至雲端、建立修補程式、備份與災害復原解決方案；而且隨時隨地皆能於內部部署、私人雲端或公共雲端存取資源。

此測試文件的重點是使用以硬碟為基礎的預設資料表，而不是內部記憶體 OLTP 功能，因為當時的目標在於展示如何透過在新式硬體上執行，而無需針對資料庫進行單純升級以外的任何變更，即可使用 Kingston DC500M 固態硬碟搭配 SQL Server 2017 來整合 SQL Server 2008 工作負載。

Windows Server 2019 Datacenter

Windows Server 2019 是雲端就緒的作業系統，其可提供全新等級的安全性以及受 Microsoft Azure 啟發的創新技術，是可協助您推動業務的應用程式及基礎架構。從儲存空間的角度而言，Windows Server 2019 包含了軟體定義儲存空間以及傳統檔案伺服器的新功能及加強功能。

Kingston Data Center DC500 SSD 系列

Kingston 的 Data Center DC500 (DC500R / DC500M) 固態硬碟系列是採用最新 3D TLC NAND 的高效能 6Gbps SATA SSD，專為讀取密集性高和混合用途的伺服器工作負載而設計。此產品通過 Kingston 嚴謹的服務品質 (QoS) 要求，將能確保在廣泛的讀取及寫入工作負載中，提供可預測的隨機 I/O 效能以及低延遲性。可提升 AI、機器學習、大數據分析、雲端運算、軟體定義儲存設備、作業資料庫 (ODB)、資料庫應用程式及資料倉儲的產能。儲存容量 480GB、960GB、1.92TB、3.84TB。



圖表 2 - Kingston Data Center DC500M - 固態硬碟 - 960 GB - SATA 6Gb/s

硬體

為了進行此測試，我們使用了兩組 Dell PowerEdge R740XD 伺服器。一組用於使用 Dell 10,000 RPM SAS 1.2 TB 硬碟搭配 Windows Server 2008 R2 執行 SQL Server 2008 R2 的測試基準。這是持續執行 SQL Server 2008 R2 的普遍伺服器情況。第二組伺服器用於使用 DC500M 960GB 固態硬碟搭配 Windows Server 2019 執行 SQL Server 2017 的測試基準。

每一組伺服器均使用兩個 Intel Xeon Silver 4114 2.2G、10C/20T、9.6GT/s、14M Cache、Turbo、HT (85W) DDR4-2400 處理器，共 40 個虛擬核心 (vCore)。

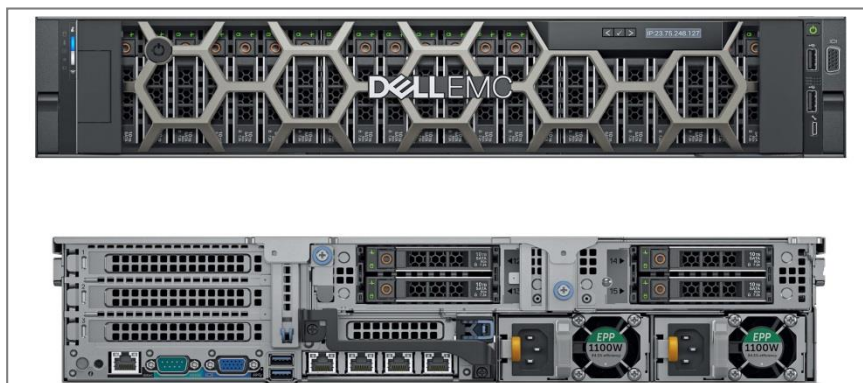


圖3 - PowerEdge R740xd Rack Server

每組伺服器搭載 24 條 Kingston Server Premier KTD-PE426/32G 記憶體模組，容量共計 768GB。

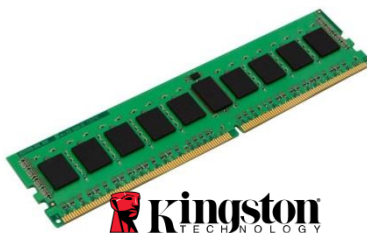


圖4 - Kingston Server Premier - DDR4 - 32 GB - DIMM 288-pin - Registered 記憶體模組

我們於 SQL Server 2008 R2 伺服器上使用了 8 個 Dell 硬碟 - 1.2 TB - SAS 12Gb/s 磁碟。



圖5 - Dell - 硬碟 - 1.2 TB - SAS 12Gb/s

其中四個磁碟機使用 PERC H740P RAID Controller 搭配使用 RAID 10 64K 陣列條帶的 8GB NV Cache 和 64k 配置大小，作為 SQL Server 資料檔案專用的邏輯磁碟區。其他四個磁碟機也使用 RAID 10 64k 陣列條帶及 8k 配置大小，可作為 SQL Server 記錄檔專用的邏輯磁碟區。我們使用了 RAID 控制器的「Read Ahead (預先讀取)」、「Write Through (直接寫入)」快取。

軟體

每個裸機伺服器均執行具有 Hyper-V 角色的 Windows Server 2019 Datacenter (10.0，組建 17763)。我們考慮將 Windows Storage Spaces 用於附加儲存設備。然而，Storage Spaces 當時不可用於 Windows Server 2008 R2 Datacenter，因此我們選擇使用 RAID 控制器配置硬碟。

每組伺服器使用兩種虛擬機器配置而成，各有 16 個虛擬核心及 128GB 記憶體。我們使用一個影像作為測試驅動程式 VM，以執行 HammerDB 程序，該程序負責傳送交易至測試伺服器。

於 Hyper-V 虛擬機器內執行 SQL Server 2017 工作負載，並以 Windows Server 2019 做為訪客作業系統，執行 SQL Server 2017 Developer Edition 並啟動 16 個虛擬核心。於 Hyper-V 虛擬裝置內執行 SQL Server 2008 R2 工作負載，並以 Windows Server 2008 R2 做為訪客作業系統，執行 SQL Server 2008 R2 Developer Edition 並啟動 16 個虛擬核心。

磁碟配置包含下列項目：

磁碟機	大小 (GB)	目的	備註	使用的 SQL Server 檔案總大小 (GB)
C:	129	OS	使用 sysprep 在每一個 VM 中安裝 SQL Server	
D:	282	資料	64k 格式	TPCC Data (193)、TempDB Data (16)
L:	400	日誌	8k 格式	TPCC Log (20)、TempDB Log (0.5)

圖6 - 執行TPC-C的SQL Server VM 具有2,000 個倉儲的磁碟配置，適用於157GB 資料庫。

載入 Generation 及 HammerDB 設定

HammerDB 工具用於為 2000 個倉儲產生類似 TPC-C 的交易工作負載。HammerDB 普遍用於資料庫測試基準，某種程度上成為一種業界標準。TPC-C 是由 OLTP 工作負載的交易處理效能委員會 (Transaction Process Performance Council, TPC) 所發佈的基準測試標準。遵循 TPC-C 規格可確保測試的可靠性及一致性。

對於測試執行，我們以從 DB Best 客戶收集而來的資料為基礎，使用代表中型 OLTP 資料庫的 157GB 資料庫。下列內容顯示了 SQL Server Management Studio 報告 **Disk Usage by Top Tables (常用表格的磁碟用量)** 所回報的每個表格大小。

This report provides detailed data on the utilization of disk space by top 1000 tables within the Database. The report does not provide data for memory optimized tables.

Table Name	# Records	Reserved (KB)	Data (KB)	Indexes (KB)	Unused (KB)
dbo.stock	200,000,000	64,134,928	64,000,000	134,896	32
dbo.customer	60,000,000	53,378,304	43,636,368	9,741,808	128
dbo.order_line	599,962,513	39,434,768	39,341,808	92,888	72
dbo.history	60,000,000	3,605,944	3,605,184	184	576
dbo.orders	60,000,000	3,093,584	1,959,184	1,134,272	128
dbo.new_order	18,000,000	321,544	320,720	736	88
dbo.district	20,000	321,016	160,000	160,952	64
dbo.warehouse	2,000	32,272	16,000	16,096	176
dbo.item	100,000	9,544	9,416	32	96

圖 7 - 一個 TPC 2,000 倉儲資料庫的每個表格大小

我們選擇使用費波那契數列的 1、2、3、5、8、13、21、34、55 與 89 來執行 10 個虛擬使用者群組。

SQL Server Setup

虛擬機器中的 SQL Server 2017 Standard Edition 依以下清單格進行配置。

參數名稱	最小值	最大值	配置數值	執行數值
平行的成本門檻	-	32,767	50	50
游標起點	(1)	2,147,483,647	(1)	(1)
已啟用預設追蹤	-	1	1	1
平行的最大程度	-	32,767	1	1
最大伺服器記憶體 (MB)	128	2,147,483,647	104,857	104,857
網路封包大小 (B)	512	32,767	4,096	4,096
路徑等待 (秒)	(1)	2,147,483,647	(1)	(1)

圖 8 - 為 OLTP 工作負載最佳化的 SQL Server 配置

測試結果經寫入 HammerDB 磁碟機 VM 後，載入 Power BI 以分析結果。

基準測試情況

基準理性

TPC-C 自 1992 年起出現，正式的定義可參見於 tpc.org⁴。為 SQL Server 及伺服器硬體進行真正測試，以更加了解不同伺服器配置的潛在效能。DB Best 使用此類基準測試來為運行於內部部署或不同雲端的不同大小 VM 設立基準線，協助客戶在新環境中更妥善地規劃配置。

HammerDB 是一款免費的開放資源基準測試應用程式，支援 SQL Server、Oracle Database、IBM DB2、MySQL、MariaDB、PostgreSQL、Redis 及 Amazon Redshift。它支援執行 OLTP 的 TPC-C 基準測試及資料倉儲分析工作負載的 TPC-H 基準測試。HammerDB 的原始碼可於由 [TPC](#) 託管的 [GitHub](#) 上取得，因此資料庫廠商可以新增自己的基準測試版本。

可編寫 HammerDB⁵ 以產生資料庫、測試資料並執行基準測試。針對此基準測試，我們使用了自動運作功能，同時由 1、2、3、5、8、13、21、34、55 及 89 位使用者執行基準測試。我們採用 Fibonacci 數列，該數列可讓您瞭解系統如何與更多使用者互動。

自動運作功能提供了定義加速時間的方式，讓所有使用者開始處理交易，並啟動資料庫進入資料庫伺服器的記憶體中。一般而言，需要 1 分鐘才能啟動多達 100 位使用者。我們使用了 3 分鐘的加速時間，以在測試循環開始前有足夠的時間。

針對測試循環，我們使用了 5 分鐘的持續時間。在這段時間中，基準測試會產生新的指令，如同預期的一般指令輸入程序，在指定的時間內處理交易。HammerDB 會記錄用於處理新指令的交易實際數量以及每分鐘新指令 (New Orders Per Minute, NOPM) 的數值，以表示資料庫必須完成的實際工作。

HammerDB 在執行結束前會為每一位使用者執行時建立有交易資訊的記錄檔。此外，我們擷取了基本效能計數與其他系統資訊，以協助將結果與 CPU、硬碟、網路及記憶體的效能產生關聯。

⁴ 所有 TPC 規格之清單可在此參閱：http://www.tpc.org/tpc_documents_current_versions/current_specifications.asp

⁵ HammerDB 網站 - http://www.tpc.org/tpc_documents_current_versions/current_specifications.asp

CPU 效能

針對 CPU 效能，我們在測試前⁶使用了利用 SQL Server 的單執行緒效能測試。通常我們用於測試的 2.2 GHz Intel Xeon Silver 4114 CPU 的時序速度比金級或白金級處理器慢⁷。

在我們的案例中，獲得的數值約為 14,000。新的處理器一般以大約 7,000 的數值執行此測試。然而，我們選擇這個 CPU 作為今日普遍使用於執行現有 SQL Server 2008 R2 資料庫的解決方案。(數值 14000 比數值 7000 更好或更差？請在此說明)

TPC-C 基準測試傾向使用較快的 CPU。因此，在 SQL Server 2017 使用新款 CPU 將會同時有助於減少虛擬核心所需數量。然而，硬碟對結果的影響最大。

硬碟效能

為了瞭解 Windows 平台的硬碟效能，我們使用了由 Microsoft 所研發稱為 Diskspd 的開放來源程序⁸。在 Linux 平台上，我們使用 FIO。執行 Diskspd 時，我們使用來自 SQL Server MVP Glen Berry 的指南，了解如何使用 Diskspd 符合用於 SQL Server 交易的 I/O 樣式⁹。請參閱關於命令列的資訊：

```
diskspd -b8K -d30 -o4 -t8 -h -r -w25 -L -Z1G -c20G T:\iotest.dat > DiskSpeedResults.txt
```

以下重點是關於傳統硬碟搭配 SQL Server 2008 R2 以及 DC500M 固態硬碟搭配 SQL Server 2017 執行 Diskspd 資料文件磁碟區之比較，兩者皆配置 RAID 10 的四個磁碟機。

⁶ SQL Server 單執行緒效能原始碼可參見於 <https://www.hammerdb.com/blog/uncategorized/hammerdb-best-practice-for-sql-server-performance-and-scalability/>

⁷ Intel Xeon 處理器與規格的完整清單位於下列網站：

<https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/series/125191/intel-xeon-scalable-processors.html>

⁸ Windows Diskspd GitHub 資料庫位於 <https://github.com/Microsoft/diskspd>

⁹ 使用 Microsoft DiskSpd 測試您的儲存子系統位於：<https://sqlperformance.com/2015/08/io-subsystem/diskspd-test-storage>

這是用於 SQL Server 2008 R2 資料檔案傳統硬碟的結果。

Total IO						
thread	bytes	I/Os	MB/s	I/O per s	AvgLat	LatStdDev
total:	459390976	56078	14.60	1869.31	17.119	23.801
Read IO						
thread	bytes	I/Os	MB/s	I/O per s	AvgLat	LatStdDev
total:	344678400	42075	10.96	1402.53	20.563	21.940
Write IO						
thread	bytes	I/Os	MB/s	I/O per s	AvgLat	LatStdDev
total:	114712576	14003	3.65	466.78	6.772	26.069
Latency (ms)						
%-ile	Read (ms)	Write (ms)	Total (ms)			
min	0.290	0.259	0.259			
25th	8.306	0.722	5.497			
50th	14.220	2.336	10.825			
75th	25.396	6.475	21.006			
90th	42.511	11.673	37.731			
95th	56.386	15.962	51.870			
99th	94.808	73.804	93.303			

圖9 - 用於 SQL Server 2008 R2 傳統硬碟的 Diskspd 結果

使用 Kingston DC500M 固態硬碟資料磁碟區的比較結果。

Total IO						
thread	bytes	I/Os	MB/s	I/O per s	AvgLat	LatStdDev
total:	24128364544	2945357	767.02	98178.97	0.325	0.252
Read IO						
thread	bytes	I/Os	MB/s	I/O per s	AvgLat	LatStdDev
total:	18084192256	2207543	574.88	73585.07	0.334	0.262
Write IO						
thread	bytes	I/Os	MB/s	I/O per s	AvgLat	LatStdDev
total:	6044172288	737814	192.14	24593.90	0.297	0.219
Latency (ms)						
%-ile	Read (ms)	Write (ms)	Total (ms)			
min	0.074	0.063	0.063			
25th	0.211	0.199	0.208			
50th	0.281	0.257	0.274			
75th	0.377	0.333	0.365			
90th	0.524	0.464	0.512			
95th	0.629	0.570	0.612			
99th	1.384	0.868	1.272			

圖10 - 用於 SQL Server 2017 的 DC500M 固態硬碟的 Diskspd 結果

我們經常發現舊型磁碟機與 SQL Server 的不相符情況，這是我們與客戶進行資料庫升級實務的一部分。

效能指標

實際執行測試時，我們使用 Windows typeperf 命令來追蹤效能，以收集作業系統及 SQL Server 效能計數¹⁰。

測試結果

針對每一次測試執行，我們會執行三次，再平均效能以回報結果。

結果：SQL Server 2008 R2 與傳統硬碟上的 16 個虛擬核心

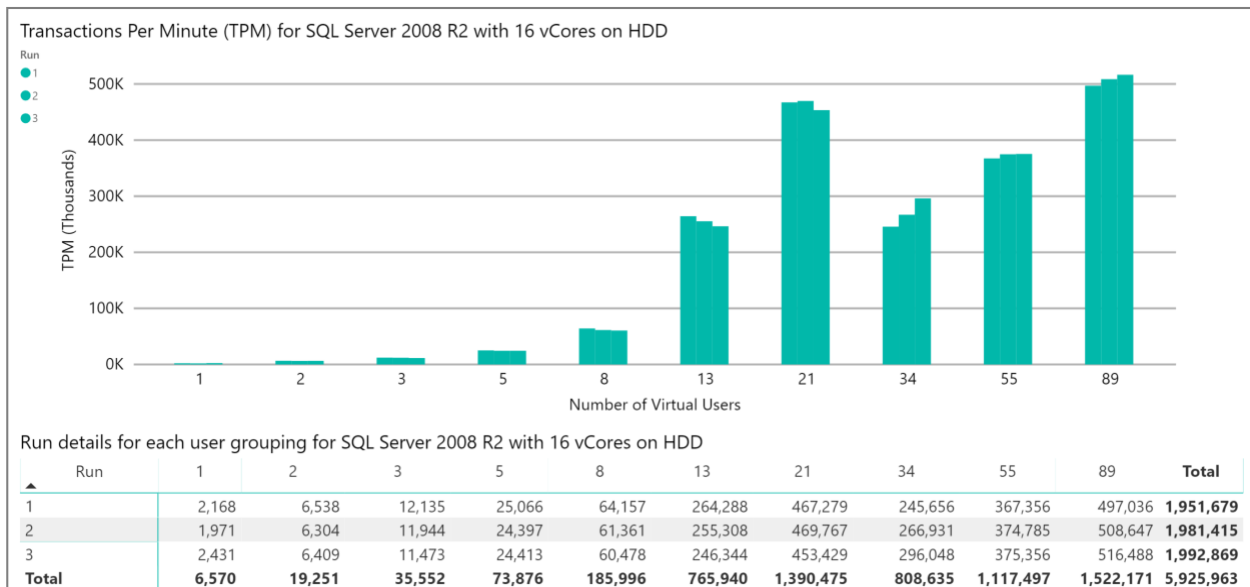


圖 11 - SQL Server 2008 R2 與傳統硬碟上的 16 個虛擬核心

¹⁰ 請在此參閱 Windows typeperf 的文獻：<https://docs.microsoft.com/en-us/windows-server/administration/windows-commands/typeperf>

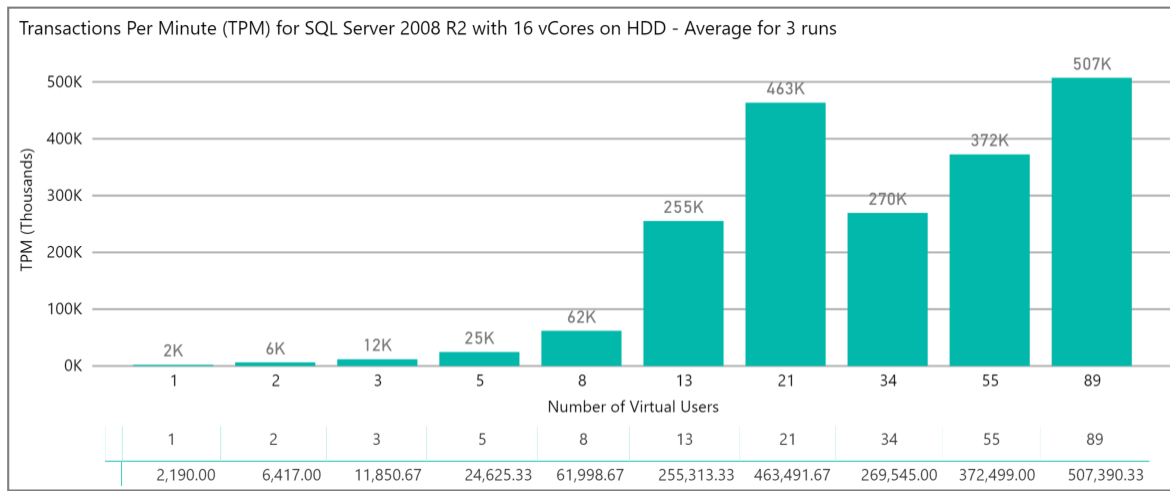
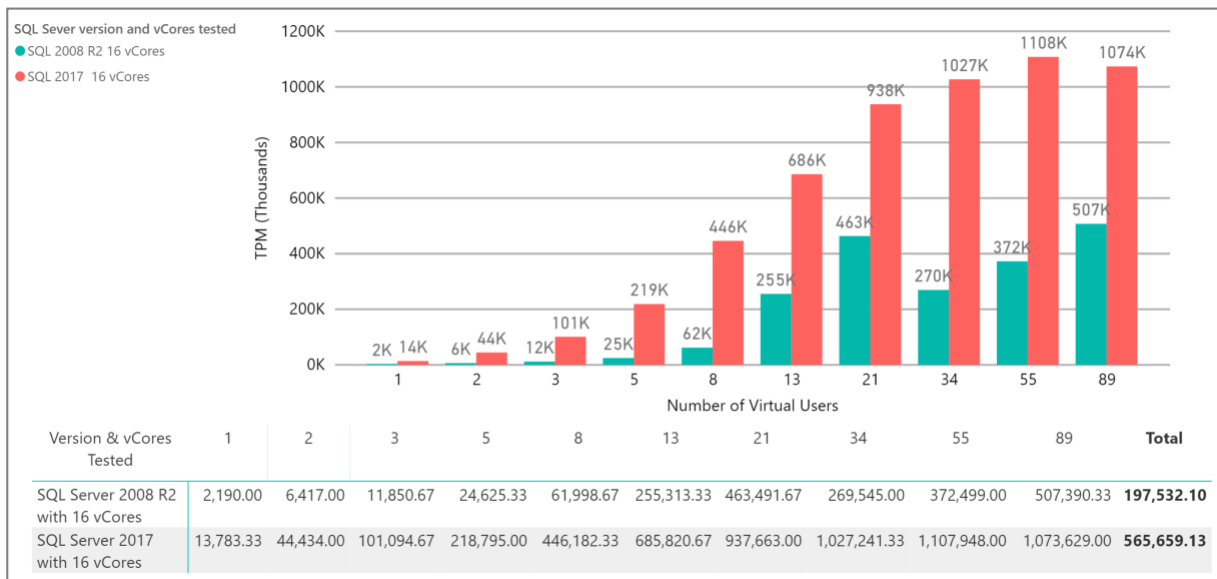


圖 12 - SQL Server 2008 R2 與 16 個虛擬核心 - 執行 3 次的平均

結果：搭載 DC500M 16 個虛擬核心的 SQL Server 2017

對於 SQL Server 2017，我們首先使用 16 個虛擬核心來測試系統，以瞭解其與使用傳統硬碟執行之 SQL Server 2008 R2 的相較結果。請參閱兩種版本的比較。

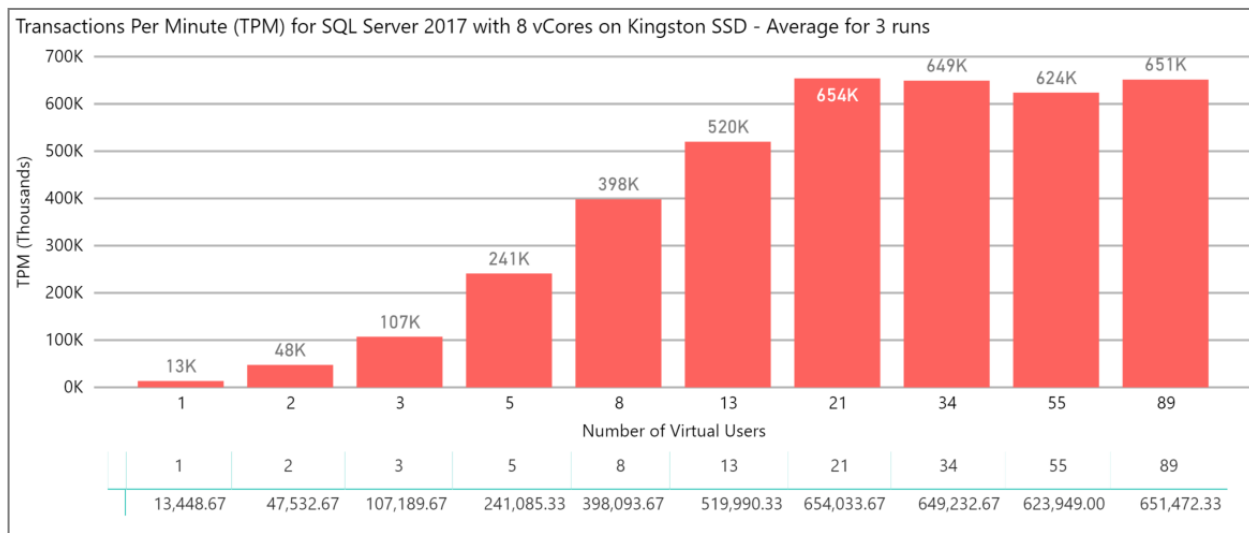
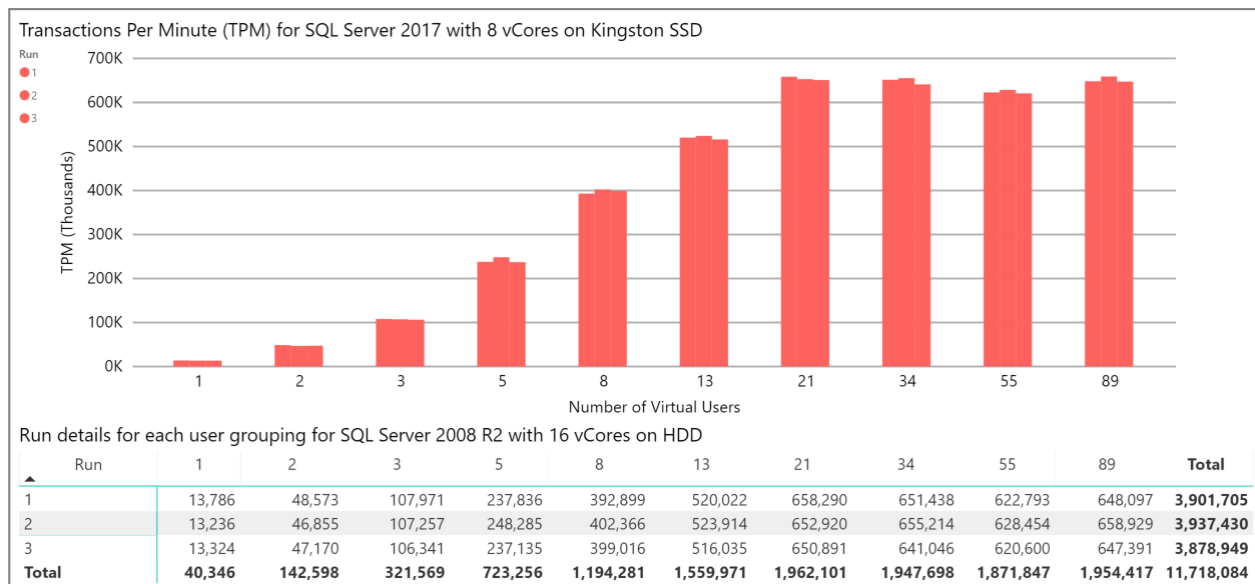


圖表 13 - 傳統硬碟搭配 SQL Server 2008 R2 與 16 個虛擬核心 DC500M 固態硬碟搭配 SQL Server 2017 之比較

整體效能有卓越的增長。SQL Server 2008 R2 系統的使用者如果對目前的效能感到滿意，則搭配 DC500M 磁碟機的 SQL Server 2017 會讓他們更為驚艷。對於整合與資料庫升級的專案，我們為客戶尋求降低成本的方法，讓他們移轉到 SQL Server 的最新版本。使用 DC500M 固態硬碟能夠減少使用的虛擬核心數量，以便在現有的資料庫解決方案上獲得相近的效能。由於企業級固態硬碟具備較低延遲性，因此將能處理更多交易。

結果：DC500M 8 個虛擬核心上的 SQL Server 2017

我們的下一個重點是在僅有 8 個虛擬核心的 VM 與相同的 128GB 伺服器記憶體空間上執行基準測試。根據先前的經驗，將記憶體降至 32GB 容量後，仍然可以獲得相近的結果。



這次測試中我們在記錄了基準測試時使用的 CPU 百分比與閒置程序時間的關係。

在下表中，1 位使用者以 94 開頭的紅線代表系統閒置程序的百分比。綠線代表 SQL Server 使用的 CPU 時間百分比。

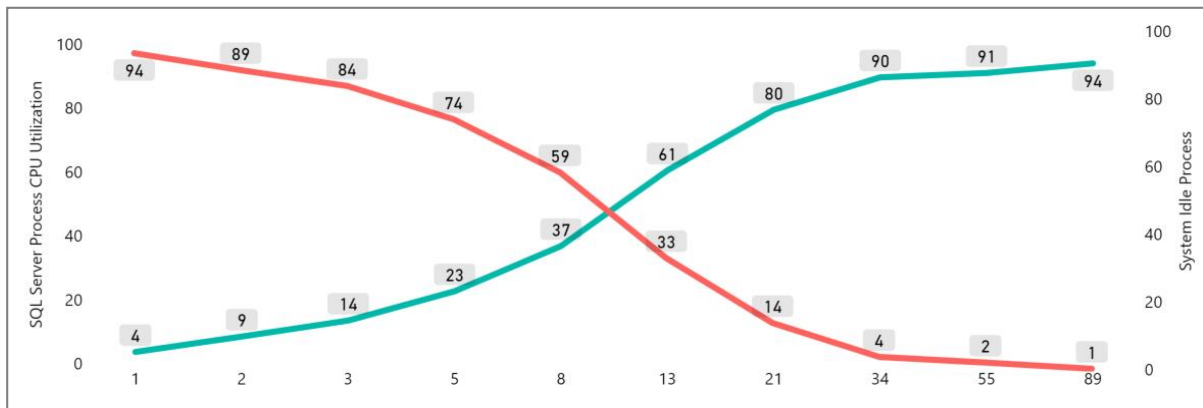


圖 14 - 搭配 8 個虛擬核心執行的 SQL Server 2017 顯示 CPU 與閒置時間百分比

因為使用者為數不多，所以 SQL Server 僅需要非常小的 CPU，就能處理交易要求。較低階的系統閒置程序多數是因為 Kingston DC500M 固態硬碟的效率所致。基本上，伺服器完全沒有參與作業。

隨著使用者數量增加，CPU 的使用量也隨之升高，直到我們遇到瓶頸為止。另一方面，系統閒置程序在純閒置時間減少時，應如預期降低。然而另一個系統閒置程序開始介入。這是 SQL Server 需要從記憶體寫入資料到交易記錄檔的等待時間，同時交易的數量開始攀升。實際上這是好事。

基本上，因為 4 個 RAID 10 磁碟機可達到 98,000 讀取/寫入 IOPS，且第 99 個百分點的硬碟延遲為 1.3 毫秒。

系統在有 89 位使用者的情況下，在 8 個虛擬核心上執行效果最佳，CPU 使用率為 94%，等待時間僅有 1%。

和取自 16 個虛擬核心與傳統硬碟的 SQL Server 2008 R2 的以下資料相比。

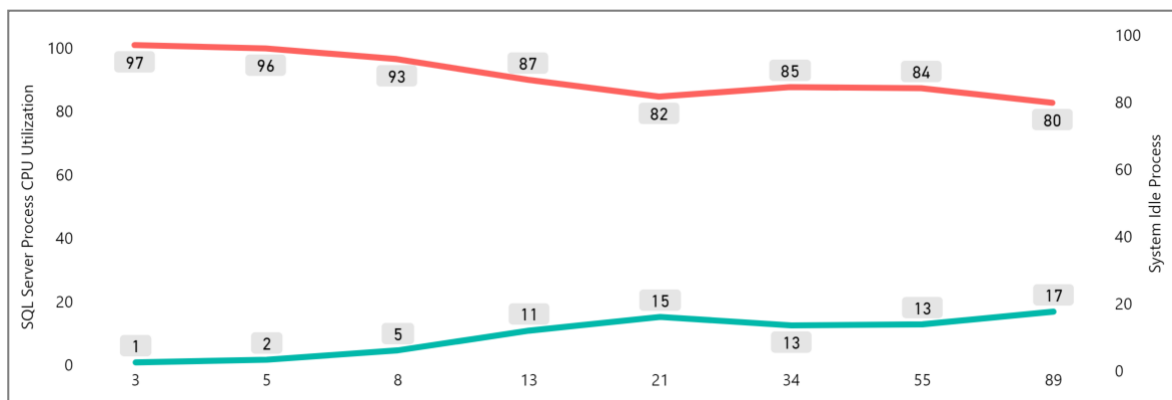


圖 15 - 搭配 16 個虛擬核心執行 SQL Server 2008 R2 顯示 CPU 及閒置時間百分比

CPU 使用量未像 SQL Server 2017 執行一樣增加的原因，是因為作業的另一個閒置程序是 SQL Server 2008 R2 從較慢的磁碟機將資料讀取到其緩衝集區快取記憶體中所花費的等待時間。由於 HammerDB 同時以高速發出交易，因此 SQL Server 也因為等待時間增加而在等待門鎖。

對於傳統硬碟，Diskspd 回報的 IOPS 僅約 1900。這比 Kingston DC500M 固態硬碟還慢 50 倍！

以下是各方面比較 16 個虛擬核心 SQL Server 2008 R2 與 8 個虛擬核心 SQL Server 2017。

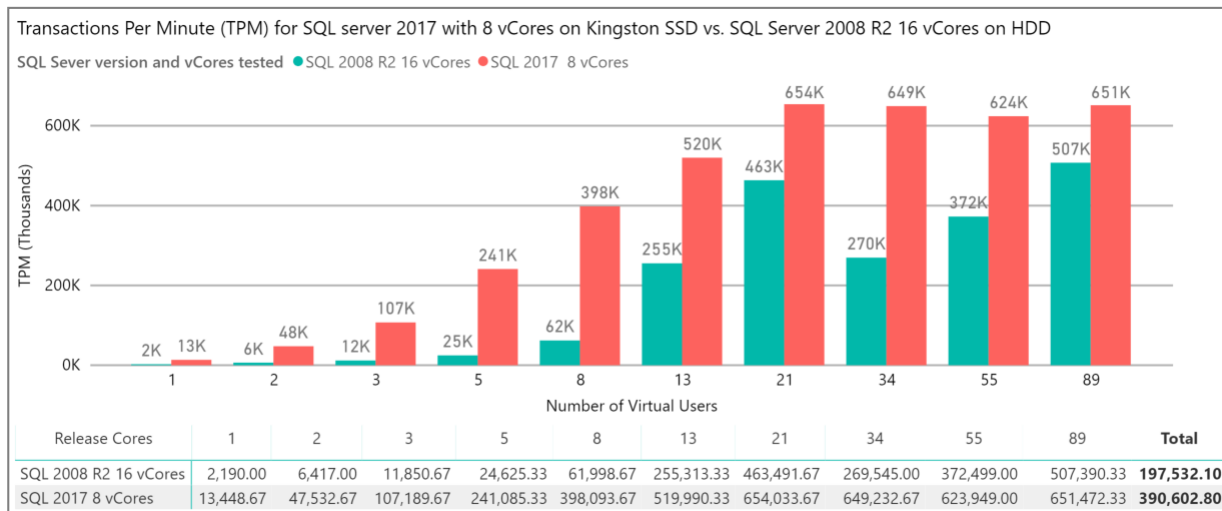


圖 16 - 各方面比較 16 個虛擬核心 SQL Server 2008 R2 與 8 個虛擬核心 SQL Server 2017

雖然 SQL Server 2017 展現了出色的效能，但是仍然有減少使用虛擬核心的空間。

結果：DC500M 4 個 vCore SQL Server 2017

為了進一步瞭解 Kingston DC500M 固態硬碟能否減少更多 SQL Server 需要的核心，我們減少至 4 個搭載 128GB 記憶體的虛擬核心。下表顯示 TPM 與傳統硬碟上的 SQL Server 2008 R2 之比較。

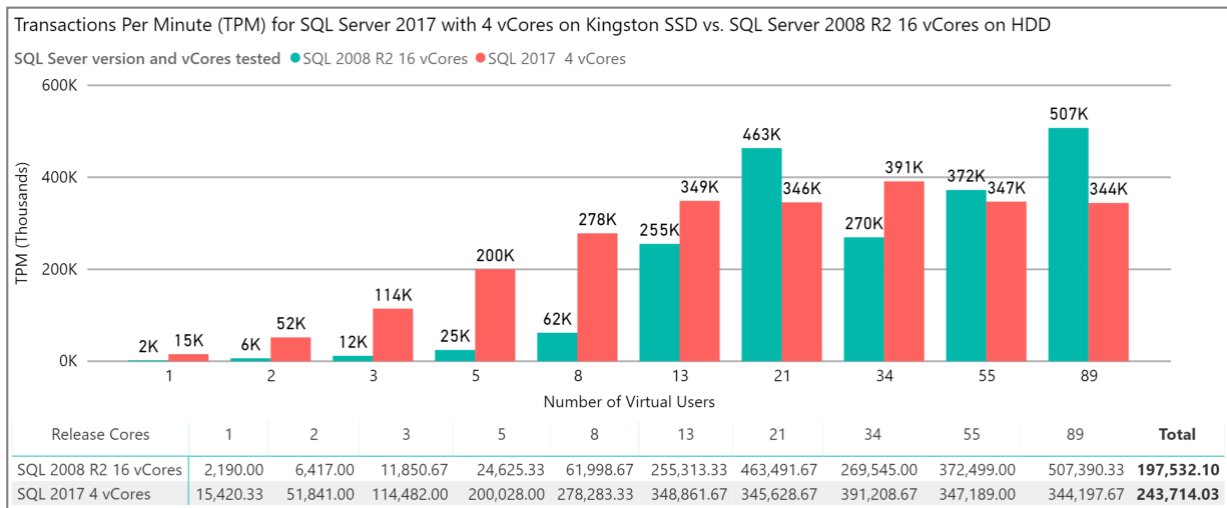


圖 17 - 各方面比較 16 個虛擬核心的 SQL Server 2008 R2 及 4 個虛擬核心的 SQL Server 2017

這份圖表顯示在所有使用者執行的情況下，SQL Server 2008 R2 的平均 TPM 是 197,532；僅有 4 個虛擬核心的 SQL Server 2017 則是 243,714。基本上，使用 4 個虛擬核心的 SQL Server 2017 搭配 Kingston DC500M 固態硬碟速度能加快 1.2 倍。

從使用者的角度而言，下圖顯示具有 16 個虛擬核心的 SQL Server 2008 R2，與具有 4 個虛擬核心的 SQL Server 2017 的每個使用者群組的 TPM / 使用者。

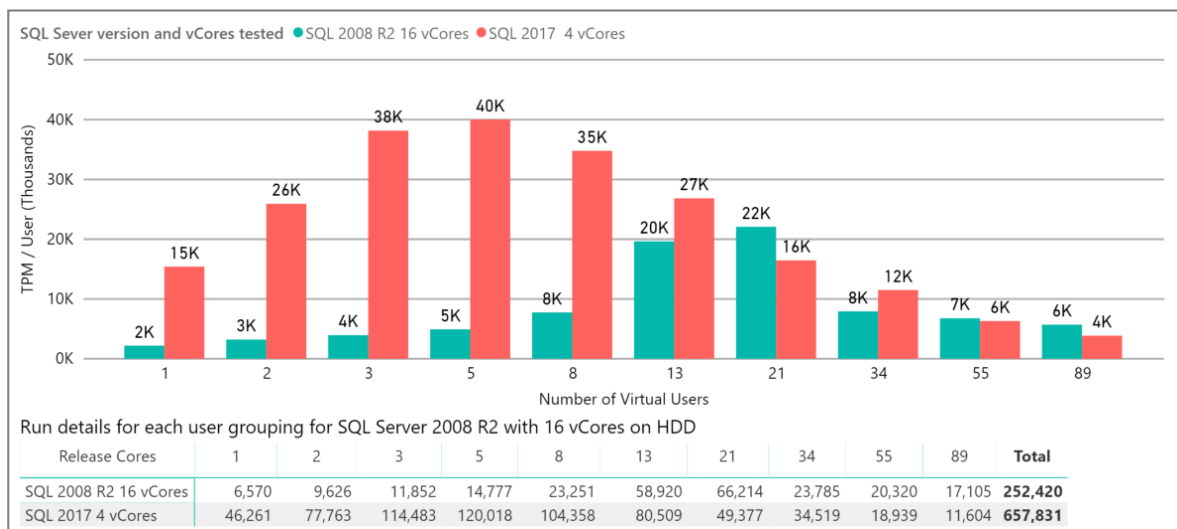


圖 18 - 比較具有 16 個虛擬核心的 SQL Server 2008 R2，與具有 4 個虛擬核心的 SQL Server 2017 的 TPM / 使用者

從 TPM / 使用者的角度而言，傳統硬碟上 16 個虛擬核心的 SQL Server 2008 R2 的一位使用者就能達到 2,190 TPM。在 89 位使用者的情況下，即使 SQL Server 2008 R2 擁有 5,702 TPM / 使用者，僅有 4 個虛擬核心並搭載 Kingston DC500M 固態硬碟的 SQL Server 2017 可以達到 3,868 TPM / 使用者。從使用者的角度而言，SQL Server 2017 的速度將仍會比 SQL Server 2008 R2 快近 1.8 倍。

結論

工作負載整合透過利用新版主機伺服器增強的能力，提升 IT 組織的效率與雲端及託管提供者，進而支援增加的工作量。透過減少執行特定工作量所需的主機伺服器數量來增加工作密度 (意即執行在主機伺服器的工作量) 可以提高整合的經濟性。

Kingston 的高效能資料中心儲存與記憶體解決方案由 SSD (DC500M) 與伺服器記憶體 (Server Premier) 組成，開放依性能計費，不僅有助於提升工作負載效率，也能最佳化企業營利，並減少整體 TCO (整體擁有成本)。

減少所需的主機伺服器數量，您就能夠降低硬體與軟體授權的成本。如[附錄 A：測試系統材料費用表](#)所示，軟體授權成本在評估潛在節省經費時相當重要，它提供了此測試期間使用的主機伺服器配置的零售成本。

軟體授權成本支配了總系統成本，主要是 SQL Server Standard Edition 單個核心授權的成本，佔 16 個虛擬核心系統總成本的 113%。

Component	SQL Server 2017	SQL Server 2008 R2	SQL Server 2017 4 vCores	SQL Server 2017 8 vCores	SQL Server 2008 R2 16 vCores
Hardware Costs					
Dell PowerEdge R740XD Intel 4114 2400 MHz	\$7,595.62	\$7,595.62			
KTD-PE426/32G	\$4,919.76	\$4,919.76			
SEDC500M 960 GB SATA 6Gb/s	\$1,815.92				
DELL 400-AJPI 1.2 TB SAS 1.2Gb/s		\$1,560.00			
Sub total for hardware	\$14,331.30	\$14,075.38			
Software Costs					
Windows Server Data Center Edition	\$12,310.00	\$12,310.00			
SQL Server 2017 Standard			\$7,434.00	\$14,868.00	\$29,736.00
Total			\$34,075.30	\$41,509.30	\$56,121.38
Percentage of savings for the total server compared to SQL Server 2008 R2 with 16 vCores			39%	26%	0%
Savings in cost compared to SQL Server 2018 R2 with 16 vCores			\$22,046.08	\$14,612.08	\$0.00
Savings in SQL Server licensing costs			75%	50%	0%
Percentage of the SQL Server license costs compared to the hardware and OS			28%	56%	113%

圖 19 - 整體成本比較及減少 vCore 能如何大量降低您的 DC500M 固態硬碟成本

使用更少核心進行更多的工作量整合，意味著您將需要更少的單個核心授權，將節省一筆可觀的成本費用。

近乎零 I/O 延遲的高 CPU 使用量代表著固態硬碟儲存效能夠高，即使在最多使用者人數的情況下也能維持 CPU 的忙碌狀態。

下一步

聯絡 Kingston Technology 了解 Data Center DC500 (DC500R / DC500M) 企業級固態硬碟 (SSD) 如何最佳化您的業務需求、增進您的工作效率並降低 TCO，同時移轉您的 Microsoft SQL Server 2008 工作負載至 SQL Server 2017。造訪 <https://www.kingston.com/us/ssd/dc500-data-center-solid-state-drive> 瞭解更多 Kingston DC500 企業級固態硬碟相關資訊。您也可以使用即時通訊洽詢：<https://www.kingston.com/us/support/technical/emailcustomerservice>。

透過 DB Best 對您的作業環境進行評估

我們認為客戶的主機伺服器組態及工作負載不會與我們測試的環境相同，其中的差異也會影響這些解決方案的效果。我們相信反映在我們測試環境中的假設與選擇都是合理且具代表性的，並且我們觀察得知的結果代表著嚴謹的測試過程，同時我們也鼓勵所有客戶評估這些解決方案的適用性，透過連絡 DB Best 為其獨特的環境安排評估：

在網站上聯絡我們：<https://www.dbbest.com/company/contact-us/>

或聯絡 Dmitry Balin：Dmitry@dbbest.com，或任一位本文作者。

附錄 A：測試系統材料費用表

伺服器組態

以下是 Dell PowerEdge R740XD 和兩台 Intel Xeon Silver 4114 2.2G 伺服器，總共有 20 個實體核心 / 40 個虛擬核心的材料費用表副本。

PowerEdge R740XD - [amer_r740xd_12238]		1	\$7,595.62
Estimated delivery date: Nov. 9, 2018			
210-AKZR	PowerEdge R740XD Server	1	-
329-BDKH	PowerEdge R740/R740XD Motherboard	1	-
461-AADZ	No Trusted Platform Module	1	-
321-BCRC	Chassis up to 24 x 2.5 Hard Drives including 12 NVME Drives, 2CPU Configuration	1	-
340-BLBE	PowerEdge R740XD Shipping	1	-
343-BBFU	PowerEdge R740 Shipping Material	1	-
338-BLUS	Intel Xeon Silver 4114 2.2G, 10C/20T, 9.6GT/s, 14M Cache, Turbo, HT (85W) DDR4-2400	1	-
374-BBPP	Intel Xeon Silver 4114 2.2G, 10C/20T, 9.6GT/s, 14M Cache, Turbo, HT (85W) DDR4-2400	1	-
412-AAIQ	Standard 1U Heatsink	1	-
412-AAIQ	Standard 1U Heatsink	1	-
370-ADHU	2666MT/s RDIMMs	1	-
370-AAIP	Performance Optimized	1	-
780-BCDS	Unconfigured RAID	1	-
405-AANR	PERC H740P RAID Controller, 8GB 1V Cache, Adapter, Full Height	1	-
619-ABVR	No Operating System	1	-
421-5736	No Media Required	1	-
385-BBKT	iDRAC9, Enterprise	1	-
528-BCBW	iDRAC Digital License	1	-
379-BCQV	iDRAC Group Manager, Enabled	1	-
379-BCSF	iDRAC, Factory Generated Password	1	-
330-BBHD	Riser Config 6, 5 x8, 3 x16 slots	1	-
540-BBBW	Broadcom 5720 QP 1Gb Network Daughter Card	1	-
384-BBFZ	6 Performance Fans for R740/R740XD	1	-
450-ADWS	Dual, Hot-plug, Redundant Power Supply (1+1), 750W	1	-
350-BBBW	No Bezel	1	-
389-BTTT	PE R740XD Luggage Tag	1	-
350-BBJV	No Quick Sync	1	-
750-AABF	Power Saving Dell Active Power Controller	1	-
770-BBBQ	ReadyRails Sliding Rails Without Cable Management Arm	1	-
631-AAACK	No Systems Documentation, No OpenManage DVD Kit	1	-
332-1286	US Order	1	-
813-6068	Dell Hardware Limited Warranty Plus On-Site Service	1	-
813-6075	ProSupport: Next Business Day On-Site Service After Problem Diagnosis, 3 Years	1	-
813-6087	ProSupport: 7x24 HW/SW Technical Support and Assistance, 3 Years	1	-
989-3439	Thank you choosing Dell ProSupport. For tech support, visit www.dell.com/support or call 1-800-945-3355	1	-
900-9997	On-Site Installation Declined	1	-
973-2426	Declined Remote Consulting Service	1	-
370-ADNI	8GB RDIMM, 2666MT/s, Single Rank	2	-
400-ASEG	120GB SSD SATA Boot 6Gbps 512n 2.5in Hot-plug Drive, 1 DWPD, 219 TBW	2	-
400-AWLI	Intel 1TB, NVMe, Read Intensive Express Flash, 2.5 SFF Drive, U.2, P4500 with Carrier	1	-
450-AALV	NEMA 5-15P to C13 Wall Plug, 125 Volt, 15 AMP, 10 Feet (3m), Power Cord, North America	2	-

圖 20 - Dell PowerEdge R740XD 材料費用表

由於 Kingston Technology 是客戶與企業系統的主要記憶體供應商，我們決定使用其 KTD-PE426/32G 記憶體模組。伺服器使用目前在 CDW¹¹ 上列出的 24 個模組，每個模組 204.99 美元 (截至 XXX 日期)。伺服器記憶體的總「零售」價為 4,919.76 美元。

¹¹ Kingston Technology KTD-PE426/32G 清單價格於 2019 年 10 月 16 日擷取自 <https://www.cdw.com/product/kingston-ddr4-32-gb-dimm-288-pin-registered/4862854?pfm=srh>。

針對 SQL Server 2017 測試系統，Kingston Technology 提供了 8 個 SEDC500M 960 GB SATA 6Gb/s 固態硬碟。目前在 CDW¹² 上列出的硬碟每個 226.99 美元，總共 1,815.92 美元 (截至 XXX 日期)。

針對 SQL Server 2008 R2 測試系統，以下是 8 個 Dell 400-ATJL 硬碟的材料費用表。

Billing Address		Shipping Address		Ship Method	
Kingston Technology Company, Inc 17600 Newhope Street Fountain Valley CA, 92708 USA		USA			
Comments					
Product ID	Description	Qty	Unit Price	Ext Amt	
400-ATJL	DELL 10,000 RPM SAS HARD DRIVE 12GBPS 512N 2.5IN HOT-PLUG DRIVE - 1.2 TB,CK	8	\$195.00	\$1,560.00	
		Pieces 8			
		Lines 1	Sub Total		\$1,560.00
			Sales Tax		\$0.00
			Freight		\$0.00
			TOTAL		\$1,560.00

圖 21 - 8 個 Dell 400-ATJL 硬碟的材料費用表

下表是測試系統硬體成本的概要

元件	SQL Server 2017	SQL Server 2008 R2
Dell PowerEdge R740XD Intel 4114 2400 MHz	7,595.62 美元	7,595.62 美元
KTD-PE426/32G	4,919.76 美元	4,919.76 美元
SEDC500M 960 GB SATA 6Gb/s	1,815.92 美元	
DELL 400-AJPI 1.2 TB SAS 1.2Gb/s		1,560.00 美元
總計	14,331.30 美元	14,075.38 美元

圖 22 - 硬體伺服器成本

¹² Kingston Technology SEDC500M/960G 固態硬碟價格擷取於 2019 年 10 月 16 日。

軟體平台

測試系統使用的是 Windows Server 2019 Data Center Edition 及 SQL Server 2017 Developer Edition。下列授權支出使用 SQL Server Standard Edition，因為它支援高達 24 核心與 128GB 記憶體，SQL Server 可用於其運作記憶體。

有關 SQL Server 授權

此解決方案中考量的 SQL Server 2008 工作負載使用的是 SQL Server 2008 Standard Edition，並且將繼續使用 SQL Server 2017 Standard Edition。

執行 SQL Server 的數個虛擬執行個體時，需要考量一些授權策略¹³。

- 每一個 VM 都是分別進行授權，也就是每個 VM 均授權使用 Standard Edition，且每個 VM 至少有 4 個核心授權，即使該 VM 使用的虛擬核心少於 4 個亦同。
- Standard Edition 的「公開不定價 (美元)」為每 2 核心一組，共 3,717 美元¹⁴。
- 通常 Dell PowerEdge R740XD 處理器提供具有伺服器超執行緒科技的虛擬核心 (vCore) 與實體核心的 2 比 1 比率。
- 若要使用 Per Core 模式單一 VM 授權，客戶必須為分配給 VM 的每個虛擬核心 (或虛擬處理器、虛擬 CPU、虛擬執行緒) 購買核心授權，每個 VM 最少需有四個核心授權。因授權目的，虛擬核心會對應到硬體執行緒。

下表列出使用 Per Core 模式和 Standard Edition 的 VM 之 SQL Server 授權成本。

SQL Server Standard Edition 2 核心組	待授權之虛擬核心	授權成本
3,717.00 美元	4	7,434.00 美元
	8	14,868.00 美元
	16	29,736.00 美元

圖表 23 - 使用 Standard Edition 的 VM 之 Per Core 授權

顯而易見地，在將 SQL Server 2008 R2 升級至 SQL Server 2017 時，應優先減少虛擬核心數量。

¹³ 可在 SQL Server 2017 授權指南中找到其他資訊：https://download.microsoft.com/download/7/8/C/78CDF005-97C1-4129-926B-CE4A6FE92CF5/SQL_Server_2017_Licensing_guide.pdf

¹⁴ SQL Server 2017 價格擷取於 2019 年 10 月 16 日：<https://www.microsoft.com/en-us/sql-server/sql-server-2017-pricing>

關於 Windows 伺服器授權

此系統使用 Windows Server 2019 Datacenter Edition，同時也為每個經授權的伺服器提供無限的 Hyper-V VM。Datacenter 版本定價適用於 16 個核心授權，公開不定價 ERP 為 6,155 美元。因為每個實體伺服器有 20 個核心，所以 Window Server 2019 Datacenter Edition 的費用是 12,310 美元¹⁵。

系統總支出

下表列出測試系統的硬體與軟體總支出。

Component	SQL Server 2017	SQL Server 2008 R2	SQL Server 2017 4 vCores	SQL Server 2017 8 vCores	SQL Server 2008 R2 16 vCores
Hardware Costs					
Dell PowerEdge R740XD Intel 4114 2400 MHz	\$7,595.62	\$7,595.62			
KTD-PE426/32G	\$4,919.76	\$4,919.76			
SEDC500M 960 GB SATA 6Gb/s	\$1,815.92				
DELL 400-AJPI 1.2 TB SAS 1.2Gb/s		\$1,560.00			
Sub total for hardware	\$14,331.30	\$14,075.38			
Software Costs					
Windows Server Data Center Edition	\$12,310.00	\$12,310.00			
SQL Server 2017 Standard			\$7,434.00	\$14,868.00	\$29,736.00
Total			\$34,075.30	\$41,509.30	\$56,121.38
Percentage of savings compared to SQL Server 2008 R2 with 16 vCores			39%	26%	0%
Savings in cost compared to SQL Server 2018 R2 with 16 vCores			\$22,046.08	\$14,612.08	\$0.00

圖 24 - 使用 Kingston DC500M 固態硬碟搭配 4 或 8 個虛擬核心之 SQL Server 2017，與使用傳統硬碟搭配 SQL Server 2008 R2 之總成本比較。

如您所見，透過將使用 Kingston Technology DC500M 固態硬碟執行 SQL Server 2017 所需的虛擬核心從 16 個減至 8 個，節省費用等於一個新的伺服器。透過轉為 4 個虛擬核心而減少的 7,434 美元，您可以支付 Windows Server 2019 Datacenter 版本授權費用的 60%。

¹⁵ Windows Server 2019 Datacenter 定價擷取於 2019 年 10 月 16 日：<https://www.microsoft.com/en-us/cloud-platform/windows-server-pricing>

圖表

圖 1 - 從 SQL Server 2008 R2 開始新增至 SQL Server 的新功能.....	7
圖表 2 - Kingston Data Center DC500M - 固態硬碟 - 960 GB - SATA 6Gb/s	8
圖 3 - PowerEdge R740xd Rack Server	9
圖 4 - Kingston Server Premier - DDR4 - 32 GB - DIMM 288-pin – Registered 記憶體模組.....	9
圖 5 - Dell - 硬碟 - 1.2 TB - SAS 12Gb/s	10
圖 6 - 執行 TPC-C 的 SQL Server VM 具有 2,000 個倉儲的磁碟配置，適用於 157GB 資料庫。	10
圖 7 - 一個 TPCC 2,000 倉儲資料庫的每個表格大小	11
圖 8 - 為 OLTP 工作負載最佳化的 SQL Server 配置.....	11
圖 9 - 用於 SQL Server 2008 R2 傳統硬碟的 Diskspd 結果.....	14
圖 10 - 用於 SQL Server 2017 的 DC500M 固態硬碟的 Diskspd 結果.....	14
圖 11 - SQL Server 2008 R2 與傳統硬碟上的 16 個虛擬核心.....	15
圖 12 - SQL Server 2008 R2 與 16 個虛擬核心 - 執行 3 次的平均	16
圖表 13 - 傳統硬碟搭配 SQL Server 2008 R2 與 16 個虛擬核心 DC500M 固態硬碟搭配 SQL Server 2017 之比較.....	16
圖 14 - 搭配 8 個虛擬核心執行的 SQL Server 2017 顯示 CPU 與閒置時間百分比.....	18
圖 15 - 搭配 16 個虛擬核心執行 SQL Server 2008 R2 顯示 CPU 及閒置時間百分比.....	18
圖 16 - 各方面比較 16 個虛擬核心 SQL Server 2008 R2 與 8 個虛擬核心 SQL Server 2017	19
圖 17 - 各方面比較 16 個虛擬核心 SQL Server 2008 R2 及 4 個虛擬核心的 SQL Server 2017	20
圖 18 - 比較具有 16 個虛擬核心的 SQL Server 2008 R2，與具有 4 個虛擬核心的 SQL Server 2017 的 TPM / 使用者	20
圖 19 - 整體成本比較及減少 vCore 能如何大量降低您的 DC500M 固態硬碟成本	21
圖 20 - Dell PowerEdge R740XD 材料費用表	23
圖 21 - 8 個 Dell 400-ATJL 硬碟的材料費用表	24
圖 22 - 硬體伺服器成本	24
圖表 23 - 使用 Standard Edition 的 VM 之 Per Core 授權	25
圖 24 - 使用 Kingston DC500M 固態硬碟搭配 4 或 8 個虛擬核心之 SQL Server 2017，與使用傳統硬碟搭配 SQL Server 2008 R2 之總成本比較。	26

商標

Kingston 和 Kingston 圖誌為 Kingston Technology Corporation 的註冊商標。IronKey 是 Kingston Digital, Inc 的註冊商標。版權所有。所有商標皆為其各自擁有者的財產。

以下用語是其他公司的商標：Intel、Xeon 及 Intel 標誌是 Intel Corporation 或其在美國及其他國家之子公司的商標或註冊商標。Active Directory、Hyper-V、Microsoft、SQL Server、Windows、Windows Server、及 Windows 標誌是 Microsoft Corporation 在美國與其他國家的商標。其他公司、產品或服務名稱可能是其他的商標或服務標記。