

# 資料中心計算力攀升 “體溫”降低

■文：徐俊毅 / 馬蘭娟

ccid 資料顯示，自 2016 年以來，全球資料中心的總量呈下降趨勢，2016 年全球資料中心數量是 45 萬座，到 2019 年下降到 42.9 萬座。這並不意味著資料中心投資放緩，恰恰相反，全球伺服器 and 伺服器機架的出貨數量一直在上升，大型（機架數量 3000~10000）和超大型資料中心（機架數量大於 10000 個）的數量在持續增長。被淘汰的主要集中在機架數量小於 500 個的小型、微型資料中心，這些小微型資料中心在算力和運營成本上無法與大型資料中心匹敵，因此數量逐年減少。

在 2020 年，全球超大型資料中心服務占比首次超過 50%，提供了 65% 的資料計算能力，55% 的資料存儲空間，計算力量占比也超過 50%。由於擁有全球頂尖的互聯網公司，北美地區擁有全球最多的資料中心和計算力，資料中心規模占全球 44.5%。根據美國能源署的資料，全美資料中心耗電量約占總發電量的 2% 左右，以 2020 年全美髮電總量為 4.4 萬億度來算，2020 年全美資料中心消耗的能源大約在 800 億度左右。而這還是美國政府及相關機構經過不懈

努力的結果，在 2010 年到 2019 年的 10 年時間，FDCCI（聯邦資料中心整合計畫）、FITARA（聯邦政府資訊技術採購改革法案）、以及 DCOI（資料中心優化建議）等一系列措施，減少優化了 7000 個資料中心，否則，能源消耗至少再多一倍。

## 降低資料中心 PUE 值

為了讓資料中心更加有效地使用能源，人們提出資料中心 PUE 值的概念。

PUE (Power Usage Effectiveness)，電源使用效率，是衡量資料中心能耗水準的重要標誌，具體演算法是資料中心消耗的所有能源與 IT 負載消耗的能源之比，理想值是 1，也就是全部能源都用在了資料中心的計算設備上。在低碳大環境要求下，各地都在努力降低資料中心的 PUE 值，低碳資料中心的標誌就是 PUE 值接能夠盡可能接近 1。

早期的資料中心 PUE 平均值在 2 以上，也就是說有一半電量是消耗在計算設備以外的，比如空調、伺服器風扇、電力線路損耗等

等，近 10 年來，隨著人們對能源效率的認知提升，相關技術和產品的更新升級，資料中心的能耗強度自 2010 年以來，以 20% 的速度遞減，能源利用率大幅度提升。目前，資料中心的 PUE 平均值控制在 1.5 左右，一些大型資料中心甚至更低。

大量使用資料中心的美國科技公司，紛紛提出了碳中和時間目標，Google 在 2007 年已經達成碳中和，Microsoft 是 2012 年實現碳中和，已經更名為 Meta 的 Facebook 宣佈在 2020 年已經實現了碳中和，蘋果設定的目標是 2030 年，亞馬遜則是 2040 年，均比本國指定的 2050 年目標提前。

Google 在去年 9 月提出了到 2030 年，全球所有資料中心都將使用可再生能源供電。Microsoft 提出了優化儲能系統的技術方案，並測試了氫燃料電池。Facebook 一方面在全球採購各種可再生能源，另一方面在加緊優化其資料中心的能源效率，根據 Facebook 公佈的資料，其資料中心的 PUE 值已經控制在 1.1 附近，正接近于理想水準。

## 資料中心功率密度不斷攀升

包括 AI、物聯網應用在內的各種應用紛紛上到雲端，對資料中心的算力需求也越來越高，因此資料中心的功率密度在不斷提升。從 2020 年的平均單機架功率 2.4KW 上升到 8.4 千瓦。

Vicor 公司指出：2015 年之後，包括 CPU、GPU、AI 晶片紛紛進入資料中心，有些機架的功率甚至高達 200 千瓦，對電源供應商來說是非常大的挑戰。Vicor 使用更高功率密度的模組重新擺放機架上電源，並配合做好相應的散熱措施，來應對更高功率密度的挑戰。

根據 Uptime Institute 《2020 全球資料中心調查報告統計》目前全球 71% 的資料中心平均功率密度小於 10KW/ 機架，約 16% 的資料中心平均功率密度上升到了 20kW/ 機架，資料中心的功率密度還在不斷上升，這對機房建設、運營維護，供電系統、冷卻系統都提出了新的挑戰。

隨著功率密度的上升，資料

中心的供電方式也發生了很大變化。

傳統資料中心採用 UPS 向伺服器供電，伺服器電源 PSU 將機房 UPS 電降壓成 12V，然後再通過伺服器主機板上的 VR 降壓模組分別降壓到 1.8V 或者 1.2V 等不同電壓給到記憶體和 CPU 等。但從電網經過機房級 UPS、再經過伺服器級 PSU，以及主機板級 VR 降壓模組的多級轉換，從電網到 CPU 和記憶體的全路徑供電效率只有 60% 到 70% 左右，這樣巨大的損耗是沒法令人接受的，儘管電源產品轉換效率已經提升到 94%。

新的供電方式被提出，比如 Google 選擇的 48V 直流供電，還有 380V 高壓直流，240 高壓直流，以及中國提出的巴拿馬電源，採用 240V/336V 直流供電技術，目標相同，都是解決功率密度和使用效率的問題。

48V 直流供電源於通信行業廣泛成熟的應用，相比傳統供電方式，可以提供 97% 以上的能源使用效率。同時由於 48V 鋰電池應用

也非常普及，在綜合考慮各種因素之後，48V 供電成為 Google 選擇。

240V 高壓直流電源技術基於常規的 220V 交流電源，並利用了 48V 通信電源的各種優勢。具有簡單可行的特點，正替代以 UPS 為主導，在中國正在替代傳統資料中心電源市場。

380V 高壓直流供電，更加適應未來資料中心功率密度演進的趨勢，效率更加出色，但由於涉及的電源供應鏈的配套，因此普及程度不及 48V 供電。

## 新材料起到關鍵作用

基於寬禁帶 (WBG) 材料如氮化鎵 (GaN) 和碳化矽 (SiC) 的半導體，對伺服器電源系統的尺寸、可靠性、能效和運行成本具有重大的意義。WBG 器件設計比矽基器件具有更高的能效，還能在更高的頻率和更高的溫度下工作。

在伺服器電源應用中常見的 5kW 升壓轉換器中，用 SiC 開關代替 Si 開關可在 80kHz 左右的頻率下降低 73% 的損耗，從而顯著提高

圖說：理想的負載點電源系統。穩壓器在  $V_{in} = V_{out}$  時提供最高效率。大電流供電最接近負載點時效率最高，從而可最大限度降低  $I^2R$  損耗



圖片來源：Vicor

圖說：寬禁帶材料比較

Material	Symbol	Bandgap Energy (eV)
Germanium	Ge	0.7
Silicon	Si	1.1
Gallium Arsenide	GaAs	1.4
Silicon Carbide	SiC	3.3
Zinc Oxide	ZnO	3.4
Gallium Nitride	GaN	3.4
Diamond	C	5.5

Wide band gap

圖片來源：onsemi

系統能效。這有助於使系統更小，因為需要的熱管理更少，還可使系統運行溫度更低，從而提高可靠性和實現更高的器件和系統密度。

雖然 SiC MOSFET 比同等 IGBT 更貴，但在無源器件如電感和電容方面的相關成本節省了 75%，這導致 SiC 設計比 Si 設計的總物料單 (BOM) 成本低。更重要的是，在伺服器安裝的整個生命週期中，節省的能源成本總計可達數萬甚至數百萬美元。

## 浸入式液冷讓 PUE 接近 1.0

面對不斷攀升的功率密度，傳統的風冷模式已經開始力不從心，使用液態冷卻替代空氣冷卻，正在改變資料中心的散熱技術發展。研究機構的資料表明，到 2023 年，全球液冷資料中心的市場規模將達到 45.5 億美元，年複合增長率高達 27.7%。

在傳統的冷卻方式中，熱量必須通過多層熱介面材料、空氣、換熱器和工作液體進行傳遞。資料

中心浸沒式冷卻通過直接將 IT 硬體浸沒在液體中，幫助改進其散熱設計。電子元件產生的熱量直接高效地傳遞到液體中，從而減少了對導熱介面材料、散熱器和風扇等主動冷卻組件的需求。這些改進提高了能源效率同時允許採用更高的封裝密度。採用浸入式液冷的資料中心，PUE 值輕鬆做到 1.02 一下，是目前最接近理想狀態的散熱方式。

冷卻能力的提升意味著設計人員可以將硬體設計得更近——所以在既定空間內可以實現 10 倍的計算密度。這為縮小資料中心的空間規模創造了可能。通過提高熱效率，可以提升處理器能力並減少空氣冷卻極限所造成的延遲影響。液體浸沒式冷卻技術消除

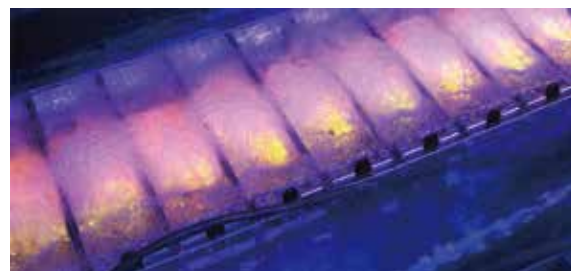
圖說：SiC MOSFET：接近理想的開關

	SiC MOSFET	Silicon MOSFET	Silicon IGBT
Breakdown Voltage	1200	1200	1200
R <sub>on</sub> * Area (Relative)	1	100	3 - 5
Switching Loss (Relative)	1	3 - 5	10

**SiC MOSFET : Approaching an Ideal Switch**  
Good combination of low R<sub>ds\_on</sub> and low Switching loss for higher voltage (>600V)

圖片來源：onsemi

圖說：浸泡在液體中的伺服器



圖片來源：3m.com

圖說：液冷相比傳統的風冷模式的巨大優勢

	Increased power density per rack	More computing power in less space	Dramatically less energy used for cooling
Air	4 - 40 kW	Up to 10 kW per m <sup>2</sup>	1.1 - 2.0 pPUE
3M™ Novec Engineered Fluid	Up to 250 kW	Up to 100 kW per m <sup>2</sup>	<1.02 pPUE

圖片來源：3m.com

圖說：操作人員正在從液冷設備中拿出伺服器機架



圖片來源：3m.com

了氣載污染物並減少活動部件來簡化散熱設計，電子設備滿負荷運行電子設備且不必擔心磨損。CTA