

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，全球伺服器和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。

P U E (P o w e r U s a g e E f f e c t i v e n e s s)，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

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_R 損耗



圖片來源：Vicor

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：寬禁帶材料比較

Material	Symbol	Bandgap Energy (eV)	
Geranium	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

圖說：SiC MOSFET：接近理想的開關

	SiC MOSFET	Silicon MOSFET	Silicon IGBT
Breakdown Voltage	1200	1200	1200
Ron * Area (Relative)	1	100	3 - 5
Switching Loss (Relative)	1	3 - 5	10

SiC MOSFET : Approaching an Ideal Switch
Good combination of low Rds_on and low Switching loss for higher voltage (>600V)

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

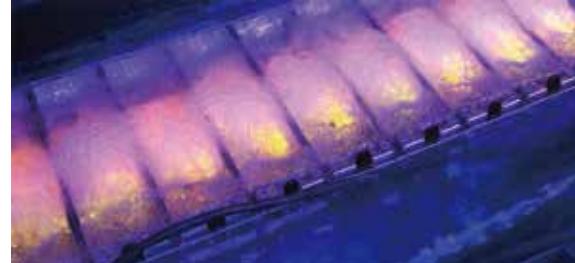
面對不斷攀升的功率密度，傳統的風冷模式已經開始力不從心，使用液態冷卻替代空氣冷卻，正在改變資料中心的散熱技術發展。研究機構的資料表明，到 2023 年，全球液冷資料中心的市場規模將達到 45.5 億美元，年複合增長率高達 27.7%。

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。

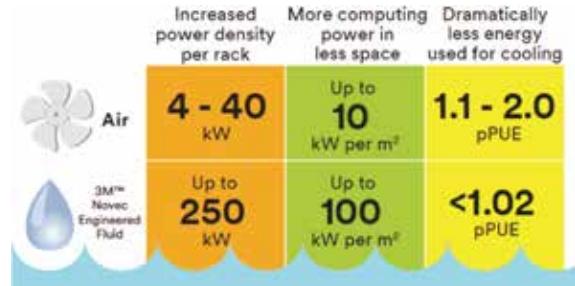
冷卻能力的提升意味著設計人員可以將硬體設計得更近 — 所以在既定空間內可以實現 10 倍的計算密度。這為縮小資料中心的空間規模創造了可能。通過提高熱效率，可以提升處理器能力並減少空氣冷卻極限所造成的延遲影響。液體浸沒式冷卻技術消除了氣載污染物並減少活動部件來簡化散熱設計，電子設備滿負荷運行電子設備且不必擔心磨損。**cta**

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



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