



從 48V 到 800V：第三代半導體引領的智算中心電力

編輯部整理

數據中心電源技術現況

在雲計算與大中型數據中心發展的黃金時期，數據中心的電力分配長期維持著一種相對穩定的經典架構。傳統供電鏈路通常採用「交流集中式分級變換」方案：市電高壓交流電進入數據中心後，經由中壓變壓器降壓，通過大型集中式

不間斷電源 (UPS) 進行整流與逆變，再經由列頭櫃 (PDU) 分配至各個伺服器機架。在機架內部，傳統的伺服器電源模組 (PSU) 最終將交流電轉換為 12V 的直流電，直接輸送到伺服器主機板。

這種 12V 直流供電架構在過去十多年間成為了無可爭

議的行業標準。根據權威機構 Uptime Institute 發佈的《全球數據中心調查報告》，在傳統通用雲計算時代，全球數據中心伺服器機架的平均功率密度長期處於 5kW 至 10kW 的區間內，極少有單機櫃功率超過 15kW。在低功率密度時代，12V 架構因其元器件技術極

度成熟、供應鏈成本低廉且安全電壓易於控制，完美契合了當時的算力需求。然而，進入 2025 至 2026 年後，生成式人工智慧 (Generative AI) 的全面爆發與萬卡智算集群的加速落地，以一種近乎摧枯拉朽的姿態打破了這一電力平衡。

算力飆升帶來的功率密度海嘯

截至 2026 年 6 月初，以大模型為核心的 AI 算力集群正在以前所未有的速度吞噬著電能。根據 Uptime Institute 於 2026 年 1 月發佈的最新《2026 年數據中心五大預測報告》(Five Data Center Predictions for 2026)，專門針對 AI 優化的智算數據中心，其單機櫃功率密度已普遍跨入 50kW 至 100kW 的門檻，部分高密度機櫃甚至突破了 120kW，這相比於傳統數據中心翻了數十倍之多。

這一劇烈變化的典型代表便是目前正在市場中大規模量產和部署的 NVIDIA Blackwell 架構集群。根據輝達官方最新的《NVIDIA DGX GB 系統用戶指南》(2026 年修訂版) 披露，其旗艦級 GB200 NVL72 液體冷卻機架在滿載運行下的標稱功耗已達到了驚人的 120kW (在

實際全負載部署中觀測值通常在 130kW 至 132kW 之間)。Uptime Institute 研究總監 Daniel Bizo 明確指出：「由 AI 驅動的負載增長將給已經捉襟見肘的電網帶來極限壓力，超高密度基礎設施的建設成本和電力複雜性，正在將全球數字基礎設施的能效要求逼向死角。」

為了更直觀地展現這一場算力海嘯對電力架構帶來的衝擊，下表對比了兩個時代的核心電力參數：

12V 裝架的物理極限與線損危機

傳統 12V 架構走向終結的根本原因，在於最基本的物理學定律——焦耳定律。在電路傳輸中，電能線上路上的發熱損耗 (線損) 與電流的平方成正比，其數學表達式為：

$$P_{\text{loss}} = I^2 R$$

同時，由歐姆定律可得，傳輸線纜兩端的電壓降 (IR Drop) 表達式為：

$$\Delta V = I \cdot R$$

當我們嘗試用傳統的 12V 電壓去驅動一個功耗為 120kW 的 NVIDIA Blackwell 智算機架

時，根據功率公式 $I=P/U$ ，主幹母線 (Busbar) 上需要承載的電流將達到極其恐怖的 10,000 安培 (A)：

$$I = \frac{120,000 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 10,000 \text{ A}$$

在工程學上，要安全傳輸 10,000A 的電流且不發生災難性的過熱，所需要的配電銅排截面積將如同成年人的大腿粗細。這不僅會佔用極其寶貴的機架內部空間，大幅阻礙液冷管道的布線與散熱氣流，更會帶來無法承受的銅材硬體成本 (CAPEX)。此外，如此巨大的電流會導致板級和機架內部的電壓降 (IR Drop) 變得難以控制，晶片端的供電穩定性將大打折扣。正是因為這種物理極限的倒逼，開放計算項目 (OCP) 在最新的 Open Rack V3 (ORv3) 標準中做出了強制性的技術修正，將機架母線電壓全面提升至 48V/54V 架構，從根本上緩解了輸電線損與空間焦慮。

綠色低碳政策與電網承載力的雙重倒逼

除了機架內部的物理約束，外部的宏觀政策與能源環

| 指標 / 參數 | 傳統通用數據中心 (2020 年前後) | AI 智算數據中心 (2025-2026 年現況) |
|----------------|-----------------------------|--|
| 單機架平均功率密度 | 5 kW ~ 10 kW | 50 kW ~ 100 kW+ (最高可達 132 kW) |
| 主流核心晶片 | Intel Xeon / AMD EPYC (CPU) | NVIDIA Blackwell GB200 / AMD MI350 (GPU) |
| 標準機架直流母線電壓 | 12V 直流 | 48V / 54V 直流 (符合 OCP ORv3 標準) |
| 120kW 負載下的母線電流 | 10,000 A (逼近物理極限) | 2,500 A (大幅緩解線損與空間壓力) |
| 主要冷卻方式 | 風冷 (Air Cooling) | 液冷 (Liquid Cooling) 佔據主導 |

境同樣在加速這場電源技術的深刻變革。隨著數據中心對電力的需求出現爆發式突增，電網的供電能力已經成為制約 AI 發展的最大瓶頸。行業最新統計數據顯示，全美數據中心的電力需求已從 2023 年的 23GW 飆升至 2026 年的 42GW；這種密集的電力消耗直接引發了能源價格的劇烈波動，例如美國主要電網運營商 PJM 在 2025-2026 交付年度的容量價格同比飆升了驚人的 833%。

針對這一現狀，全球監管機構出臺了嚴厲的法律法規。例如，歐盟近期重新修訂並全面實施的《能源效率指令》(EU Energy Efficiency Directive recast) 對數字基礎設施施加了嚴苛的能效壁壘。在這一背景下，傳統供電架構中頻繁的「交流 - 直流 - 交流 - 直流」多級變換所產生的能源浪費 (通常每級轉換會帶來 2% 至 5% 的能源損耗) 已經無法通過合規審查。為了將能效指標 PUE (電源使用效率) 逼近 1.1 的極致水準，產業迫切需要砍掉傳統的集中式 UPS 轉換層級，將供電鏈條「扁平化」。這種由內而外的雙重壓力，共同催生了從 48V/54V 壓機架到 800V 高壓直流直供數據中心的技術風暴。

48V / 54V 裝架的現況與關鍵材料應用

隨著開放計算項目 (OCP)

正式將 Open Rack V3 (ORv3) 標準確立為全球智算中心建設的基石，48V/54V (通常標稱為 50V 左右的直流母線) 供電架構在 2025 至 2026 年間實現了從「選擇性嘗試」向「絕對統治」的根本性轉變。這一生態的成熟得益於晶片巨頭的全力擁抱。NVIDIA 在其大批量出貨的 Blackwell GB200 平臺以及 2026 年最新演進的智算機架中，全面採用了基於 ORv3 標準的 48V/54V 直流母線配電方案。與此同時，AMD 的 Instinct MI300/MI350 系列以及 Intel 的 Gaudi 系列加速器生態鏈，也均將 48V/54V 納為原生供電標準。

這種產業共識不僅解決了第一章所述的線損難題，還徹底重塑了機架內部的電力拓撲。在 ORv3 裝架下，輸入機櫃的高壓交流電在機架層面的集中電源機框 (Power Shelf) 中一次性轉換為 48V/54V 直流電，隨後通過高導電率的銅質母線排 (Busbar) 直接輸送給各個伺服器節點。由於電壓提升了 4 倍，機架內部的傳輸電流驟降，使得機櫃能夠輕鬆承載 100kW 以上的超高功率密度，同時為液冷管道和高密度的 NVLink 網路線纜留出了至關重要的物理空間。根據台達電子 (Delta Electronics) 在 2026 年初產業峰會上的公開簡報，採用 ORv3 48V/54V 方案後，伺服器機架

內部的配電損耗相比傳統 12V 系統直接降低了近 90%，這為數據中心在全負載運行下省去了極大的散熱電費。

寬禁帶半導體氮化鎵 (GaN) 的物理突圍

儘管 48V/54V 架構在機架層級完美解決了輸電線損，但它在伺服器主機板的末端引入了新的技術挑戰：如何高效地將 48V/54V 的高壓直流電，二次降壓至 GPU/CPU 核心所需的 0.8V 至 1.2V 超低電壓？這種高壓差、大電流的負載點 (POL) 轉換，如果採用傳統的矽 (Si) 基 MOSFET 器件，將會遭遇嚴重的物理瓶頸。矽基器件在高開關頻率下損耗極大，若為了降低損耗而維持低頻運行，則必須使用體積龐大的電感器和電容器，這在寸土寸金的 AI 伺服器主機板上是根本無法容忍的。正是這一矛盾，將第三代 (寬禁帶) 半導體材料——氮化鎵 (GaN) 推向了舞臺的中央。

為了深刻理解這一材料變革，我們需要對比材料的微觀物理特性。正是這些底層參數的跨代優勢，決定了 GaN 在數據中心末端高效降壓模組中的核心地位：

氮化鎵擁有的這些優異特性，使其功率器件可以在兆赫茲 (MHz) 級別的超高頻率下進行開關切換，而不會產生致命

| 物理特性參數 | 傳統矽 (Si) | 氮化鎵 (GaN) | 碳化矽 (SiC) | 數據中心電源技術應用優勢 |
|----------------------------|----------|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| 禁帶寬度 (Bandgap, eV) | 1.1 | 3.4 | 3.2 | 禁帶寬度大，使器件在高溫高壓下漏電流極小，運行更穩定 |
| 臨界擊穿電場 (MV/cm) | 0.3 | 3.3 | 3.0 | 承受高壓能力提升 10 倍，允許晶片內部結構極度微型化 |
| 電子飽和漂移速度 (10^7 cm/s) | 1.0 | 2.5 | 2.0 | 電子移動極快，支持開關頻率邁入兆赫茲 (MHz) 級 |
| 主要應用戰略定位 | 傳統低功率 | 48V/54V 裝架及存量市場 換 (POL 端) | 800V 源端高 內高頻高效轉 壓整流與固態 電力保護 | |

的開關損耗。開關頻率的指數級提升，允許主機板上的外圍電感、電容等被動元件的體積成倍縮小。在 48V/54V 轉核心電壓的二次轉換鏈條中，GaN 技術讓高密度電源模組（如 1/4 磚或更小封裝）實現了前所未有的功率密度。知名半導體分析機構 Yole Group 在 2026 年 3 月發佈的《功率半導體與數據中心能效報告》中指出：「在 AI 伺服器負載點 (POL) 轉換領域，GaN 已經不是一種替代性選擇，編織高功率密度網絡的唯一技術路徑。它將電源模組的體積壓縮了 50% 以上，同時將板級轉換效率提升到了 97% 以上的絕對高度。」

晶片巨頭的 2026 最新產品策略與技術博弈

這一波由 GaN 驅動的 48V/54V 電源變革之中，全球頂級電源晶片供應商正在展開激烈的技術卡位戰，並在 2025 下半年至 2026 年首

季集中發佈了面向下一代智算中心的前沿產品。意法半導體 (STMicroelectronics) 順應這一趨勢，採取了「高度集成與全鏈路協同」的策略。針對 48V 轉換為低壓大電流的極高挑戰，意法半導體於 2025 年底至 2026 年初正式推向市場一系列基於 GaN 的高頻 LLC 諧振轉換器方案。該方案允許電源系統在 1MHz 甚至更高頻率下穩定運行，其峰值轉換效率高達 98%。其最具代表性的模組在實際應用中實現了超越 2600 W/in³ 的驚人功率密度，這意味著一個僅有傳統智能手機大小的模組，就能穩定輸出高達 12kW 的功率，完美解決了 AI 加速卡主機板表面空間嚴重不足的痛點。

與此同時，另一大半導體巨頭英飛凌 (Infineon) 則憑藉其在功率半導體領域的深厚護城河，採取了「全材料矩陣與突破性器件架構」的策略。英飛凌在成功整合其早期收購的

GaN 技術後，於 2026 年第一季度推出了新一代「CoolGaN」系列產品，其中最具革命性的是 CoolGaN 雙閘極雙向開關 (BDS, Bidirectional Switch) 架構。英飛凌高級副總裁兼電源與傳感器系統事業部負責人 Adam White 在 2026 年 3 月的產業闡述中強調：「隨著機架功率邁向 120kW+ 的極限，我們必須從器件的根本拓撲上做減法。新一代 CoolGaN BDS 技術通過在單個晶片上實現雙向電流控制，替代了過去需要多個獨立 MOSFET 組合的複雜電路。」這種創新使得 AI 數據中心伺服器機架內的配電模組 (PDU) 和中間總線轉換器 (IBC) 的內部組件數量精簡了 40%，在進一步壓縮機櫃空間的同時，也將整體電力故障率 (FIT) 降到了歷史最低點。通過這兩家巨頭的戰略佈局可以看出，48V/54V 生態在 GaN 材料的加持下，已經構築起了一道極高的技術與效率壁壘。

從 48V 到 800V 直流 (HVDC) 跨越的技術必然性

儘管 48V/54V 供電架構在當前 AI 伺服器中已建立起穩固的統治地位，但面對算力密度近乎瘋狂的線性增長，技術前沿的科學家們已經意識到，48V 依舊只是數據中心能源演進史上的一個過渡性階梯。當時間跨入 2026 年，單個 AI 智算機架的功率隨著萬卡甚至十萬卡集群的湧現，正迅速從 120kW 向 240kW 甚至 300kW 以上的極限跨步。在這種極端場景下，即使採用 48V 供電，單機櫃的電流依然會再次突破 5,000 安培 (A) 大關。這意味著在機架內部，厚重的配電銅排、高昂的連接器硬體以及因電流過大而產生的局部熱效應 (Hotspots)，將再度重演當年 12V 架構所面臨的物理絕境。

為了徹底打破這一惡性循環，以輝達 (NVIDIA)、微軟 (Microsoft) 以及全球頂級電源

巨頭台達電、光寶為核心的產業聯盟，在 2025 至 2026 年間開始強力推動 800V 高壓直流 (HVDC) 直供電技術。該技術的變革核心在於「大膽地做乘法與減法」：將進入數據中心的市電經由主變壓器後，直接整流為 800V 的高壓直流電，並將其一路毫無衰減地引入智算機架內部。從物理學角度來看，將母線電壓從 48V 提升至 800V，意味著電壓提升了 16.6 倍。在傳輸相同功率的情況下，主幹輸電線路上的電流將被壓縮至原本的十六分之一以下。這一跨越式升級，讓超大功率機架的配電系統得以脫胎換骨。

為了全面評估這一技術跨越對數據中心帶來的底層變革，下表系統性地梳理了 12V、48V 兩代歷史架構與全新 800V 直流架構在全鏈路傳輸中的性能與材料演進：

碳化矽 (SiC) 在高壓直流架構中的核心支柱地位

如果說氮化鎵 (GaN) 是

48V 時代伺服器主機板末端降壓的「短跑冠軍」，那麼碳化矽 (SiC) 則是 800V 高壓直流架構中當之無愧的「全能鐵人」。800V 架構雖然在線損控制上無懈可擊，但它對源端的 AC-DC 集中整流模組、大型不間斷電源 (UPS) 以及整個電力鏈路的固態斷路器提出了近乎苛刻的耐壓與散熱要求。在 800V 的極高電壓環境下，GaN 器件受限於其當前的商業化耐壓極限 (通常在 650V 左右)，無法直接應用於主幹線路；而傳統的矽基 IGBT 器件在高電壓下的開關損耗極高，且導熱率低下，會導致整流電源體積異常龐大且需要極其複雜的冷卻系統。

碳化矽憑藉其天然的微觀物理優勢，完美填補了這一技術空白。SiC 的禁帶寬度高達 3.2eV，臨界擊穿電場強度高達 3.0 MV/cm，最為關鍵的是，其導熱率高達 3.5 ~ 4.9 W/m·K，是傳統矽材料的 3 倍以上。這意味著 SiC 功率器件不僅能夠在 1200V 以上的高壓下安之

| 關鍵電力評估維度 | 傳統 12V 架構 (通用計算時代) | 主流 48V/54V 裝架 (現行 AI 部署) | 前沿 800V 直流架構 (下一代超智算集群) |
|--------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| 典型機架承載功率 | 5 kW ~ 15 kW | 50 kW ~ 120 kW | 150 kW ~ 300 kW+ |
| 主幹輸電電流 (以 240kW 計) | 20,000 A (理論值，工程上無法實現) | 5,000 A (銅排體積巨大，發熱嚴重) | 300 A (可用常規高壓線纜替代重型銅排) |
| 全鏈路能源轉換效率 | ~ 88.5% | ~ 93.2% | ~ 96.5% (省去多級變壓逆變損耗) |
| 電路安全與安全防護挑戰 | 低電壓、開關火花易控制 | 存在一定弧光風險，標準電路保護 | 高壓直流電弧 (DC Arc) 極難熄滅，需超高速熔斷與固態保護 |
| 核心功率半導體依賴 | 傳統矽基 (Si) MOSFET | 氮化鎵 (GaN) 佔據 POL 端主導 | 碳化矽 (SiC) 統治高壓整流與電網保護 |

若素，還能在承載巨量電流的同時，將晶片內部產生的熱量迅速傳導出去。全球權威電力電子學家、IEEE 終身院士於 2026 年春季的產業白皮書中指出：「800V 直流數據中心本質上是電動汽車 (EV) 高壓平臺技術與現代數字能源的一次成功交叉融合。SiC 的引入讓高壓大功率開關模組的能量損耗降低了 70% 以上，是保障超大型智算中心源端供電可靠性的唯一核心支柱。」

2026 年重磅前沿產品

正是看中了 800V 與 SiC 結合帶來的百億級新市場，全球頂尖功率晶片與電路保護廠商在 2026 年上半年打響了激烈的「規格定義戰」。納微半導體 (Navitas Semiconductor) 作為其中的激進開拓者，實施了獨樹一幟的「GaN+SiC 雙輪驅動」戰略。在 2026 年 2 月的全球功率電子大會 (APEC 2026) 上，納微半導體一口氣發佈了兩款顛覆性的前沿產品。首先是其第五代 GeneSiC TAP (Trench-Assisted Planar, 溝槽輔助平面) SiC MOSFET 系列，該晶片專門針對 800V 數據中心主幹線路的固態保護進行了底層優化，將高壓短路耐受時間提升到了前所未有的 8 微秒，徹底解決了高壓直流系統容易拉弧、難以斷電的產業頑疾。緊接著，納微推出了全球首款 10kW 800V 全磚 DC-DC 電源

平臺，該平臺在輸入端採用其最新的 GeneSiC 晶片，在輸出端配合低壓 GaNFast 晶片，直接實現了從 800V 直流向機架內部電力的高效轉換，峰值轉換效率達到了驚人的 98.5%。

與此同時，意法半導體 (STMicroelectronics) 則選擇與輝達 (NVIDIA) 結成深度戰略同盟。在 2026 年 3 月舉行的 NVIDIA GTC 2026 大會上，雙方聯合披露了一項旨在顛覆傳統電力鏈條的戰略合作：跳過 54V 中間層，直切「800V 直流轉低壓」主機板生態。作為該戰略的落地成果，意法半導體正式推出了面向輝達下一代超高密度架構的 800VDC to 12V/6V 直轉一體化電源板 (包含 6kW 和 20kW 兩個規格)。該電源板內部深度集成了意法最新的高壓 SiC 模組與八級疊加 LLC 諧振拓撲，允許電力從數據中心的主幹電網直接「一步到位」地送達 GPU 晶片的鄰近邊緣。

圖說：Power Integrations 超薄型輔助電源供應器參考設計 (15 W DER-1114 / 35 W DER-1110)



2026 臺北國際電腦展前，Power Integrations 推出兩款專為 800 VDC AI 資料中心打造的全新超薄型、緊湊型輔助電源供應器 (PSU) 參考設計。其中，單輸出 15 W 設計尺寸僅 30 mm × 30 mm，高度僅 7 mm；另一款隔離式六輸出 35 W 設計尺寸則僅 80 mm × 60 mm，高度僅 8 mm。

Power Integrations 資深技術經理 Jason Yan 表示，此次新發布的設計範例涵蓋 35 W 與 15 W 返馳式輔助電源供應器，適用於高壓 AI 資料中心應用。這些輔助電源供應器可為 MCU、閘極驅動器及運算放大器內部元件供電，負責關鍵的控制與系統管理功能，以確保系統的可靠度、效率與安全性。

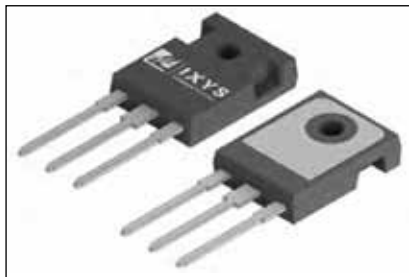
Power Integrations 超薄型輔助電源供應器參考設計 (15 W DER-1114 / 35 W DER-1110)，這是專為 NVIDIA Kyber 800 VDC 液冷式 AI 資料中心刀鋒機櫃架構所打造的超薄型、緊湊型

輔助電源供應器 (PSU) 參考設計。核心採用 Power Integrations 搭載 1700 V PowiGaN 氮化鎵技術的 InnoMux -2 IC，可輕鬆承載 1000 VDC 額定輸入電壓，並在斷續導通模式下維持 90% 的高轉換效率。相較於傳統需多出 30% 空間且成本較高的碳化矽 (SiC) 分離式替代方案，此設計在 800 V 匯流排環境下具備充足的安全餘裕與極佳的空間優勢。

然而，800V 高壓直流系統在帶來極致效率的同時，也引入了毀滅性的安全隱患：直流電 (DC) 不像交流電 (AC) 具有週期性的「過零點」，一旦發生短路，產生的電弧 (DC Arc) 極難熄滅，極易在微秒內燒毀價值數百萬美元的 AI 加速卡。針對這一產業「痛點」，全球電路保護龍頭 Littelfuse 在 2025 年底至 2026 年首季確立了「安全防禦與高壓功率雙軌並行」的智算數據中心戰略。

Littelfuse 高級技術副總裁在 2026 年 4 月的數字能源論壇上指出：「在 800V 智算中心裡，保護的速度就是基礎設施的生命線。我們必須在電弧形成的初期將其強行掐斷。」

圖說：Littelfuse 全新的 1200V LSIC 系列高效能 SiC MOSFET



為此，Littelfuse 於 2026 年 5 月底正式向全球市場推出了其最新一代 PSR 系列超高速直流半導體熔斷器 (High-Speed Square Body Fuses) 的數據中心定制升級版。該系列產品專門針對 800VDC 系統進行了極限優化，具備極低的 I^2 熔斷特性和高達 150kA 的直流分斷能力，能在毫秒級內精確切斷極限短路電流，為集中電源機櫃 (Power Shelf) 提供「防彈衣」式的物理隔離保護。

同時，Littelfuse 結合其收購 IXYS 後獲得的強大功率半導體技術，推出了全新的 1200V LSIC 系列高效能 SiC MOSFET。該系列器件具備極低的開極電荷 (Qg) 和低導通電阻，被廣泛集成於 800V 系統的固態斷路器 (SSCB) 和高壓輔助電源中。Littelfuse 通過這種「電路保護 + 功率控制」的組合拳策略，與意法、納微等晶片廠形成了完美的技術互補，共同構築起 800V 高壓直流智算中心商用落地不可或缺的安全與效率底座。

此外，ROHM 750V 耐壓 SiC MOSFET (SCT4013DLL)，ROHM 的 750V 耐壓 SiC MOSFET (產品型號為「SCT4013DLL」)，已被正式應用於 AI 伺服器電源的備用電池單元 (BBU) 與電容單元 (CU) 中，作為保護系統與大量資料免受停電或瞬停影響的關鍵電

圖說：ROHM 750V 耐壓 SiC MOSFET (SCT4013DLL)



力控制核心。該產品配置於 AI 伺服器用 $\pm 400V$ 供電架構的電源單元中，能充分發揮 SiC 功率元件的卓越特性。其具備業界優異的耐高溫性能，最高接面溫度 (Tj) 可達 175°C，即使在因電壓和功率密度提升而發熱量大增的 BBU 環境中也能維持穩定工作。此外，在次世代 800VDC 供電架構中 (傳輸至 BBU 內部電池組之電壓約 560V)，這款 750V 耐壓元件同樣能完美支援，滿足系統在發生異常時、立即且低損耗控制高壓和大電流的嚴苛備份要求。

Microchip 3.3 kV HV-D3 mSiC 功率模組：這是 Microchip 專為加速 AI 超大規模資料中心與高電壓電力應用導入「固態變壓器 (SST)」而推出的全新 3.3 kV 碳化矽功率模組。此模組在業界標準 62

圖說：Microchip 3.3 kV HV-D3 mSiC 功率模組



mm 封裝中整合了 3.3 kV 碳化矽 mSiC MOSFET 與蕭特基二極體。當連接 13.8 kV 或 34.5 kV 電網時，相較於低電壓的 SiC 方案，它可將所需的串聯元件數量大幅縮減約一半，銜接了分離式元件與大型功率模組之間的關鍵缺口。模組設計支援 6 kV 絕緣能力，外殼符合 CTI 600 等級並具備加大爬電距離設計。同時，它採用氮化矽 (Si_3N_4) 基板以大幅提升熱傳導效能與功率循環能力，協助設計人員在縮減散熱需求的同時實現更高功率密度。

48V/54V 架構與 800V 的市場趨勢

中短期市場 (2026–2027)：48V/54V 的商用巔峰與供應鏈紅利

隨著全球超大規模雲端運算廠商 (Hyperscalers) 在 2026 年將人工智慧資本支出 (AI CAPEX) 總預算大幅提升

至 7,500 億美元，AI 智算中心的建設正處於歷史上最密集的規模化落地期。在這個階段，48V/54V 供電架構憑藉著極高的生態成熟度，迎來了其商用市場的絕對統治地位。從電源機框 (Power Shelf)、高密度連接器到板級去耦電容，圍繞著 OCP ORv3 標準建立的 48V 供應鏈已進入大批量產帶來的成本效益臨界點。

然而，市場在享受 48V 紅利的同時，也深刻感受到了下一代算力帶來的逼人熱浪。在 2026 年春季於華盛頓舉辦的 Data Center World 2026 大會上，施耐德電氣 (Schneider Electric) 安全電力業務部高級副總裁兼技術長 Jim Simonelli 指出：「當前 GPU 算力密度的激增，正將單個機架的負載從前幾年的 9kW 迅速推向 100kW 以上，甚至在伴隨 NVIDIA Vera Rubin Ultra 等次世代加速計算架構的預研中，未來的極限單機櫃功耗預計將直逼

600kW。這種能源胃口使得傳統的 400V/480V 交流配電越來越不切實際。」儘管 48V/54V 在當前的主流百萬卡智算集群中依然是現貨部署的唯一解，但它在應對未來數百千瓦級的超高密度機櫃時，技術天花板已經隱約可見。

中長期演進 (2028+)：800V 直流的破局與漸進式滲透

面對未來 600kW 的機位極限，直接將電網級高壓引入機架的 800V 直流 (800VDC) 架構，已從概念探討正式演變為科技巨頭的一致技術共識。輝達 (NVIDIA) 在其最新發佈的官方數字能源技術白皮書中明確宣示：「隨著數據中心全面向 'AI 工廠' 轉型，傳統的 54V 直流傳輸已逐漸演變成高密算力空間內的物理瓶頸。NVIDIA 800VDC 架構將成為下一代智算工廠的電力標準，它能最大化提升每瓦晶片輸出的 AI Token 效率。」

不過，產業鏈的全面翻新並非一蹴而就。半導體與 AI 基礎設施權威研究機構 SemiAnalysis 在 2026 年中發佈的最新全球追蹤報告中揭示了一個客觀的市場時間線：雖然 400V 直流解決方案在 2026 年正伴隨著各類過渡期智算項目的上量而快速擴容，但原生、集中式的 800V 直流電力架構受限於光電組件整合複雜度、高

壓安全法規更新 (如 UL、IEEE 標準的修訂推進) 以及整體供應鏈的良率磨合, 其真正的大規模商業化「爆發拐點」預計將落在 2028 年前後。這意味著市場正在呈現一種「分層分化」的漸進式演進格局: 傳統通用雲端數據中心將長期鎖定在 12V 與 48V 的混用狀態; 而新建的十萬卡、百萬卡級超級智算集群 (Megawatt-scale Pods) 則將成為 800V 直流供電技術的先鋒試驗場。

為了全面釐清這兩種架構在未來幾年內的市場交替與定位, 下表直觀地展示了 2026 年至 2030 年間兩大核心電源架構的市場動態、應用場景及投資效益對比:

產業鏈重塑與總體擁有成本 (TCO)

在市場趨勢交替的背後, 一場深刻的供應鏈話語權爭奪戰與商業投資回報率 (ROI) 的博弈正在上演。對於數據中心運營商而言, 從 48V 升級到

800V 的核心考量在於總體擁有成本 (TCO) 的動態平衡。雖然 800V 架構在初期的設備採購成本 (CAPEX) 較高, 但其帶來的空間節省與電費縮減 (OPEX) 極其誘人。施耐德電氣在 2026 年的數據中心技術論壇上分享的物理模型表明, 將電壓提升至 800VDC 能夠直接減少機架內部高達 75% 的配電銅纜重量, 這省下的不僅是高昂的銅材費用, 更為伺服器主機板釋放了極其寶貴的物理空間, 讓運營商可以在相同的機房面積內塞入更多的 GPU 算力。

與此同時, 技術創新正在以超乎想像的速度重塑產業鏈的毛利分佈。納微半導體 (Navitas) 在 NVIDIA GTC 2026 大會上展示的 800V 轉 6V 直轉電源板, 通過徹底消滅 48V 中間總線轉換 (IBC) 這一整級硬體, 直接在主機板端改寫了能效方程式。納微半導體執行長 Chris Alexandre 坦言: 「我們通過消除一整級轉換, 直接降低了系統複雜度與熱損耗, 這

讓客戶能夠把更多的機架預算和空間留給晶片和內存。」這種硬體層面的「降維打擊」, 正迫使傳統的 48V 電源模組製造商加速向高壓 SiC 與高頻 GaN 的技術研發轉型。未來的市場博弈將不再是單一元件的價格戰, 而是圍繞著「網格到晶片 (Grid-to-Chip)」端到端能源效率與高壓安全防護展開的系統級生態比拼。

未來技術前景

晶片級垂直供電技術 (VPD) 對板級空間的終極解構

當數據中心的配電系統成功將 800V 高壓直流引入機架、並將 48V/54V 送達主機板邊緣後, 電源技術的最後一公里衝刺聚焦於一個微觀維度: 如何將電能從主機板表面完美輸送至核心晶片 (xPU) 內部的數十億個電晶體中。在傳統的橫向供電 (Horizontal Power Delivery) 模式下, 電壓調節模組 (VRM) 被佈置在處理器的四周, 電流

| 市場評估維度 | 48V / 54V 架構 (當前商用主流) | 800V 直流架構 (次世代智算標準) |
|------------------|------------------------------------|---|
| 2026-2027 年市場份額 | > 85% (在 AI 伺服器機架中擁有絕對統治力) | < 5% (主要集中於頭部晶片廠與微軟等先鋒試驗集群) |
| 2028-2030 年預期趨勢 | 穩步過渡, 在通用與中度智算中心維持基本盤 | 迎來爆發性增長, 統治超大型 AI 萬卡 / 十萬卡工廠 |
| 部署初期資本開支 (CAPEX) | 低 (供應鏈極度成熟, 元器件採購成本低廉) | 高 (需配備新型 SiC 固態斷路器及超高速直流熔斷器) |
| 長期運維電費 (OPEX) | 中等 (在 100kW+ 以上機櫃線損發熱逐漸明顯) 90% 以上) | 極低 (全鏈路轉換級數精簡, 輸電線損直降) |
| 核心技術部署模式 | 標準機架集中電源機櫃 (Power Shelf) 模式 | 內置側邊櫃變換 (Sidecar Conversion) 與集中式直流分配並行 |

必須通過主機板 PCB 的多層導線橫向流入晶片核心。然而，在單顆晶片功耗已突破 1,000 瓦、核心電流高達數百安培的次世代 AI 處理器中，這種橫向路徑會產生極其嚴重的電壓降 (IR Drop) 與寄生電感，導致高達 10% 以上的板級能量白白浪費在布線電阻上。

為瞭解決這一物理痼疾，晶片級垂直供電技術 (Vertical Power Delivery, VPD) 成為了 2025 至 2026 年最炙手可熱的前沿技術突破。VPD 的核心邏輯是將高頻 GaN 轉換晶片與微型電容直接「疊層焊接」在處理器的正下方 (即 PCB 的背面或封裝基板內部)，使電流能夠以垂直微米級的距離直接穿透進入晶片。在 2026 年 3 月舉辦的 IEEE 全球應用功率電子大會 (APEC 2026) 上，垂直供電先驅 Empower Semiconductor 正式展示了其最新一代 Crescendo HD 垂直供電平臺，其電壓調節器率先觸及了每平方毫米 5 安培 (5A/mm²) 的極限電流密度屏障。這項技術的商業潛力直接引發了巨頭的戰略搶灘——2026 年 5 月，全球模擬晶片巨頭亞德諾半導體 (Analog Devices, ADI) 宣佈正式收購 Empower Semiconductor，旨在將其 VPD 技術融入下一代高密度 AI 供電矩陣。VPD 不僅徹底消除了板級的布線電阻損耗，更為

晶片四周釋放了 100% 的高頻訊號佈線空間，為超高頻寬記憶體 (HBM) 的進一步擴容掃清了障礙。

ADI 與 Empower 將攜手推動 AI 及各類算力密集型應用的供電架構發展。透過將電源轉換環節部署到更靠近處理器的位置，整合後的解決方案可縮短供電鏈路、提升效率，助力打造性能更強、密度更高的系統設計。憑藉在高性能電源管理領域的領先優勢，ADI 持續投入系統級平台，從電網到核心晶片全鏈路，推動性能、密度與能效實現跨越式反覆運算升級。

微秒級固態電力保護與軟體定義電源

高電壓、大電流的 800V 直流數據中心在追求極致能效的同時，也將系統的電路保護安全推向了懸崖邊緣。直流電無自然過零點的特性，意味著傳統的電磁機械式斷路器在切斷高壓直流故障時，不僅反應慢 (毫秒級)，更會產生巨大的物理電弧，極易造成整檔機櫃的毀滅性燒毀。

截至 2026 年 6 月初，這一安全死角迎來了突破性的商業解決方案。2026 年 6 月 8 日，全球工業與半導體雙巨頭西門子 (Siemens) 與英飛凌 (Infineon) 正式宣佈達成深度合作技術合作，將英飛凌的 1200V

圖說：西門子 SENTRON 3QD2 採用半導體元件和智慧保護演算法保護電路免受過流損壞



CoolSiC MOSFET 功率模組全面裝備於西門子最新一代 SENTRON 3QD2 固態 (半導體) 斷路器中。

西門子智能基礎設施電氣產品執行長 Markus Grabmeier 在發佈會上指出：「新型固態斷路器通過晶片與高精度智慧保護演算法的結合，能夠在微秒 (μs) 級別內精確隔離線路短路故障，其斷電響應速度比傳統機械式斷路器快了整整 1,000 倍。」這種微秒級的物理防護能力，徹底杜絕了高壓直流拉弧的可能，為造價昂貴的 AI 智算中心提供了不可或缺的安全盾牌。與此同時，軟體定義電源 (Software-Defined Power, SDP) 正在與這類智慧硬體深度融合，通過 AI 編排演算法，數據中心能夠根據運算負載的動態起伏 (如大模型訓練中的 Prefill 與 Decoding 階段切換)，

表：底層技術的演進路徑與核心價值

| 未來前沿技術支柱 | 核心技術原理 | 2026 年最新里程碑事件 數據 | 對數據中心帶來的顛覆性價值 |
|----------------|--|--|---|
| 晶片級垂直供電 (VPD) | 電源模組垂直疊焊於晶片正下方，消除橫向佈線電阻。 | ADI 於 2026 年 5 月收購 VPD 先驅 Empower；Crescendo HD 突破 5A/mm ² 電流密度。 | 徹底消滅主機板表面布線引發的 IR Drop，釋放主機板空間給 HBM 內存。 |
| 微秒級固態保護 (SSCB) | 利用第三代半導體 SiC 進行高速電子開關，取代傳統機械機構。 | 西門子與英飛凌於 2026 年 6 月 8 日 聯合發佈基於 CoolSiC 的 SENTRON 3QD2 固態斷路器。 | 斷電保護速度提升 1,000 倍 (邁入微秒級)，徹底解決 800V 直流系統拉弧毀傷硬體的頑疾。 |
| 綠色儲能直流耦合 | 園區再生能源與 BESS 儲能直接掛載至 800V 直流母線，跳過 AC 轉換。(BYOP) | 全球智算宣佈產能達 190 GW；BTM(表後) 分佈式微電網在 2026 年迎來爆發。 | 消滅綠電併網的多級逆變損耗 (能效提昇 8%-12%)，繞過電網併網排隊瓶頸。 |

實時動態微調機架內部的供電拓撲與電壓振幅，將整廠能效推向近乎完美的狀態。

「自備電力 (BYOP)」趨勢下綠色微電網與直流耦合儲能

除了智算中心內部的技術反覆運算，電源技術變革的漣漪正劇烈衝擊著數據中心與外部電網的對接方式。進入 2026 年後，全球大規模運算基礎設施的宣佈產能已達到了驚人的 190 GW (資料來源：Bessemer Venture Partners 2026 智算堆疊報告)，電網供電缺口和漫長的併網排隊時間 (部分地區變壓器交期已拉長至 5 年) 成為了 AI 擴張的最大絆腳石。在這一極端能源危機下，全球智算中心正在掀起一場「自備電力 (Bring Your Own Power, BYOP)」的去中心化能源革命。

BYOP 模式的核心，在於數據中心不再單純依賴傳統電

網，而是在園區內部直接建立基於光伏發電、風電以及大型電池儲能系統 (BESS) 的「園區級直流微電網」。新型數據中心的 800V 高壓直流母線在這種場景下展現出了降維打擊般的整合優勢：光伏組件產生的電能、鋰電池儲能系統的充放電介面，天然全都是直流電 (DC)。在傳統架構中，這些綠電必須先「逆變」成交流電併網，再經由數據中心「整流」成直流，期間會白白浪費 8% 到 12% 的能量。而在未來的 800V 直流微電網架構下，綠色能源與儲能系統可以通過高性能 SiC 變換器，毫無損耗地直接掛載到 800V 直流主母線上，實現「綠電直達算力」的無縫耦合。

高效、高密、極致精簡的數位能源新時代

縱觀數據中心電源技術從

傳統 12V 的歷史局限，經由 48V/54V 的全產業鏈成熟，最終跨越至 800V 高壓直流供電的演進歷程，是一場伴隨著寬禁帶半導體 (GaN/SiC) 材料科學突破、電路保護範式轉移、以及綠色微電網深度融合的系統級能源革命。AI 算力密度的野蠻生長迫使電力拓撲必須走向「極致精簡」與「網格到晶片 (Grid-to-Chip)」的一體化設計。當微秒級的固態斷路器為高壓安全保駕護航，當垂直供電技術將輸電損耗消弭於晶片之底，未來的數據中心將真正蛻變為高密度、超低損耗的綠色智慧工廠，為人類文明的下一波算力躍遷築起堅不可摧的數字能源底座。 