

# AI 浪潮下的大型資料中心用電管理策略分析

周桂蘭\*

## 摘 要

巨量資料中心是人工智慧(AI)算力與演算的基礎建設。為了加速數位經濟發展，近幾年微軟、谷歌、臉書等科技巨頭紛紛投資建置大型資料中心，以支援雲端運算、大數據分析、人工智慧及物聯網等關鍵技術，形成所謂的平台即服務(Platform as a Service, PaaS)新商機。投資 AI 資料中心興建，除了協助改善企業生產及能源管理效率，也為當地政府創造可觀的租稅收入、高科技人才培育與就業機會。但是，資料中心營運過程中的耗電激增也為電網穩定及永續性帶來相當大的挑戰。因此，隨著全球 AI 資料中心興建熱潮，世界各國鼓勵投資興建 AI 資料中心，開始倡議「綠色算力」。本研究蒐集全球及主要國家的 AI 資料中心用電趨勢，分析 AI 資料中心對電網衝擊與因應策略，期望突破 AI 資料中心的耗電困境，建構永續性的 AI 發展。

**關鍵字：**AI 資料中心、智慧電網、綠色算力、雲端服務

**JEL 分類代號：**H54, L86, L94, Q55

---

\*工業技術研究院綠能與環境研究所研究員

## 壹、前言

資料中心是一個計算和儲存資源網絡，共享軟體應用程式和數據，對數位經濟運作至關重要。雲端科技改變了傳統資料中心模式，雲端資料服務是資料中心的遠程版本，帶來全球跨域的服務商機，由領先的超大規模資料中心(hyperscale data center)營運商推動未來全球數據需求的快速增長。特別是 OpenAI 開發生成式聊天機器人訓練模式(ChatGPT)，大型語言模型、神經網絡、即時生成文字圖像等如雨後春筍般被應用於各領域行業，提升產品價值及促進供應鏈生產效率最佳化。由於對資料中心互聯網及人工智慧(AI)科技的需求不斷增長，改變了資料中心的規模和處理能力要求。AI 人工智慧發展建立在三大核心：晶片算力、機器學習演算法及資料中心。巨量資料中心是 AI 人工智慧算力與演算的重要基礎建設。為了加速數位經濟發展，近幾年亞馬遜、微軟、谷歌、臉書等科技巨頭紛紛投資建置大型資料中心，用以支援雲端運算、大數據分析、人工智慧及物聯網等關鍵技術，形成所謂的平台即服務新商機。

AI 資料中心興建除了協助改善企業生產及能源使用效率，也為當地政府創造可觀的租稅收入、高科技人才培育與就業機會。但是，資料中心營運過程中的耗電激增也為電網穩定及永續性帶來相當大的挑戰。為了滿足不斷增長的 AI 資料中心的電力需求，資料中心漸漸傾向建置在具有強大電網基礎設施和可靠電力供應的地區，同時，世界各國也開始倡議「綠色算力」。本研究主要探討 AI 資料中心對智慧電網產生的挑戰及因應策略，期望突破 AI 資料中心的耗電困境，建構永續性的 AI 發展。主要內容分成四大部分：(1) 全球 AI 資料中心成長趨勢；(2) 區域/國家 AI 資料中心用電管理策略；(3) 綠色算力因應策略分析；(4) 結論與建議。

## 貳、全球 AI 資料中心成長趨勢

### 一、產業關聯成長趨勢

雲端服務市場在這一波的 AI 資料中心建置浪潮下呈現快速增長，來自 Synergy Research Group 的資料分析 2024 年第四季的雲端服務營收約 910 億美元，單季成長 20%，亞馬遜(AWS)、微軟(Azure)及谷歌(Google Cloud)等三大科技巨頭投資興建的超大型 AI 雲端服務合計占全球市場比重的三分之二。生成式人工智慧科技和雲端服務帶動超大型資料中心建置需求，圖 1 顯示未來五年超大型資料中心新增個數每年平緩增長，但是新增容量卻是呈現爆發式增長，這意謂超大規模資料中心的關鍵資通訊伺服器負載容量一

直在增長，加速了大量電力需求趨勢，估計到 2030 年，超大型資料中心的總容量將增長近三倍。

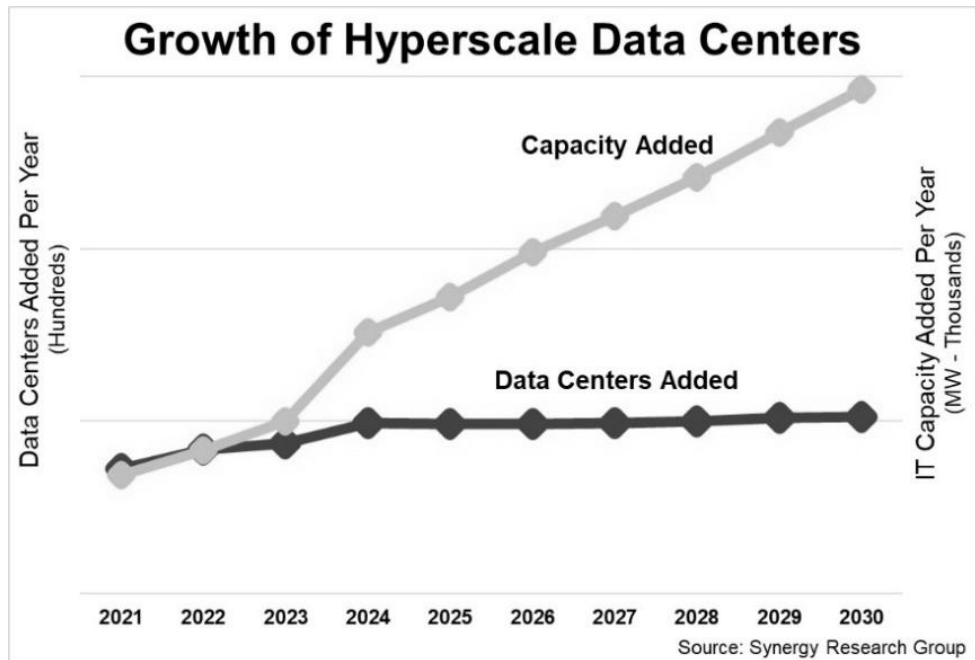


圖 1 全球超大型資料中心成長趨勢

資料來源：<https://www.srgresearch.com/articles/hyperscale-data-center-capacity-to-triple-by-2030-driven-by-generative-ai>

從資料中心帶動相關資通訊設備產業鏈產值，可以一窺未來資料中心成長趨勢，根據優分析產業數據中心資料顯示(如圖 2 所示)，自 2023 年起，網路基礎設施、伺服器及存儲設備等三種與 AI 資料中心相關的產業鏈市場總產值呈現快速成長趨勢，2029 年相對於 2024 年總產值將成長 1.5 倍，達到 6,000 億美元。



圖 2 全球資料中心產業鏈市場收入成長趨勢

資料來源：<https://uanalyze.com.tw/articles/632875966>

AI 資料中心的產業關聯效果除了應用端的雲端服務業、生產端的資通訊業外，因為需電量大增，為了提高供電穩定，產業關聯效益也擴及電力電機業(例如：發電機、儲能電池、變壓器、電源管理等電力基礎設備)。

## 二、用電成長趨勢

大型資料中心快速成長推動對電力的需求。近年來 AI 資料中心耗電超過資料中心服務需求增長。根據國際能源總署(IEA)電力分析與預測報告，每請求 ChatGPT 解答一次問題的用電量，是用 Google 搜尋一次的 9.7 倍。隨著 AI 算力不斷提升，晶片運算耗電量激增，同時也需要搭配強大的散熱系統來確保運轉的穩定性。資料中心標準組織(Uptime Institute)報告顯示，2024 年全球大型資料中心的平均能源使用效率(PUE)為 1.56，即資料中心的資通訊(IT)裝置每消耗一度電，配套裝置就消耗 0.56 度電，過去五年持平的用電效率水準(如圖 3 所示)，顯示未來效率面臨改善空間的瓶頸，較老舊的資料中心主要能源效率改善措施，包括改善氣流管理、最佳化環境控制及升級老舊電氣系統等，但 PUE 耗電改善速度仍然趕不上 AI 服務需求增長。

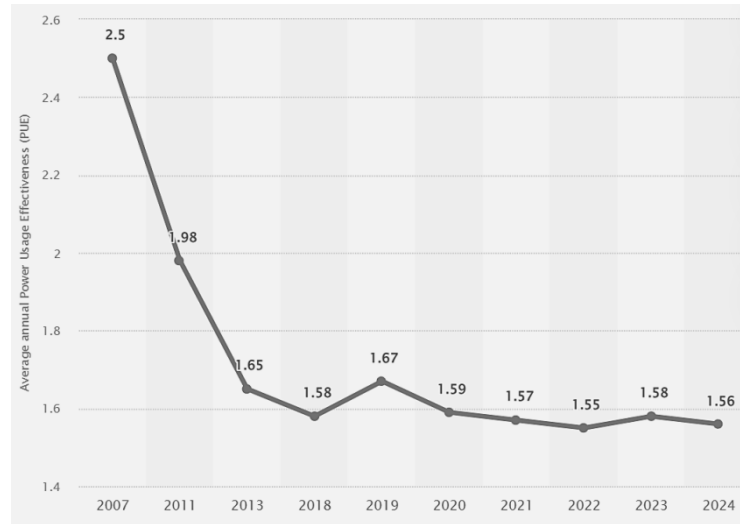


圖 3 全球資料中心平均能源使用效率(PUE)趨勢

資料來源：<https://www.statista.com/statistics/1229367/data-center-average-annual-pue-worldwide/>

IEA 於 2024 年出版二份國際相關研究報告揭露全球 AI 資料中心的用電趨勢，2022 年 AI 資料中心(不包括加密貨幣)的電力消費約 2,400~3,400 億度電，約占全球電力消費的 1~1.3%，若加上加密貨幣的用電量，約占全球電力消費的 2%。預測 2026 年 AI 資料中心及加密貨幣合計的電力消費在基準情境下，約增加 1.7 倍的電力需求(如圖 4 所示)。由於資料中心快速擴張，為建構更永續的數位經濟發展，迫切需要能源及智慧電網相關的解決方案。

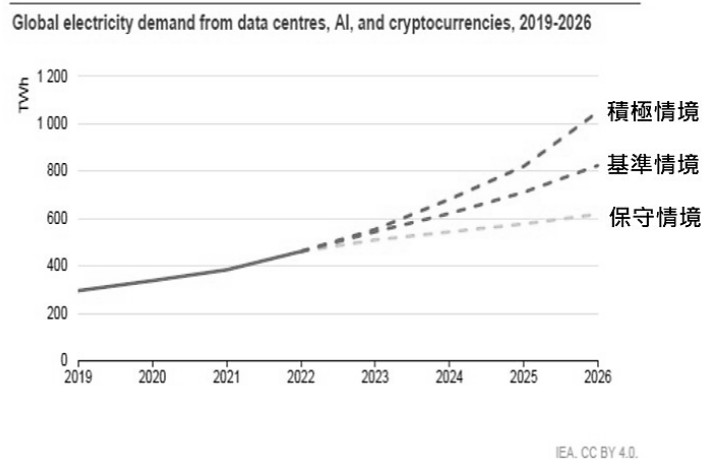


圖 4 IEA 預測全球 AI 資料中心及加密貨幣的用電趨勢

資料來源：IEA, Electricity 2024\_Analysis and forecast to 2026.

## 參、區域/國家 AI 資料中心用電管理策略

Statista 資料庫公司統計至 2024 年 3 月止，全球約有 11,000 座資料中心，數量最多的國家為美國，達到 5,381 座(占 49%)，德國居第二(521 座，4.7%)，英國第三(514 座，4.6%)，中國第四(449 座，4.1%，不含香港)(如圖 5 所示)。全球超級資料中心前 20 座，有 13 座在美國，3 座在歐州，4 座在亞洲(中國北京、上海、日本東京及新加坡)。

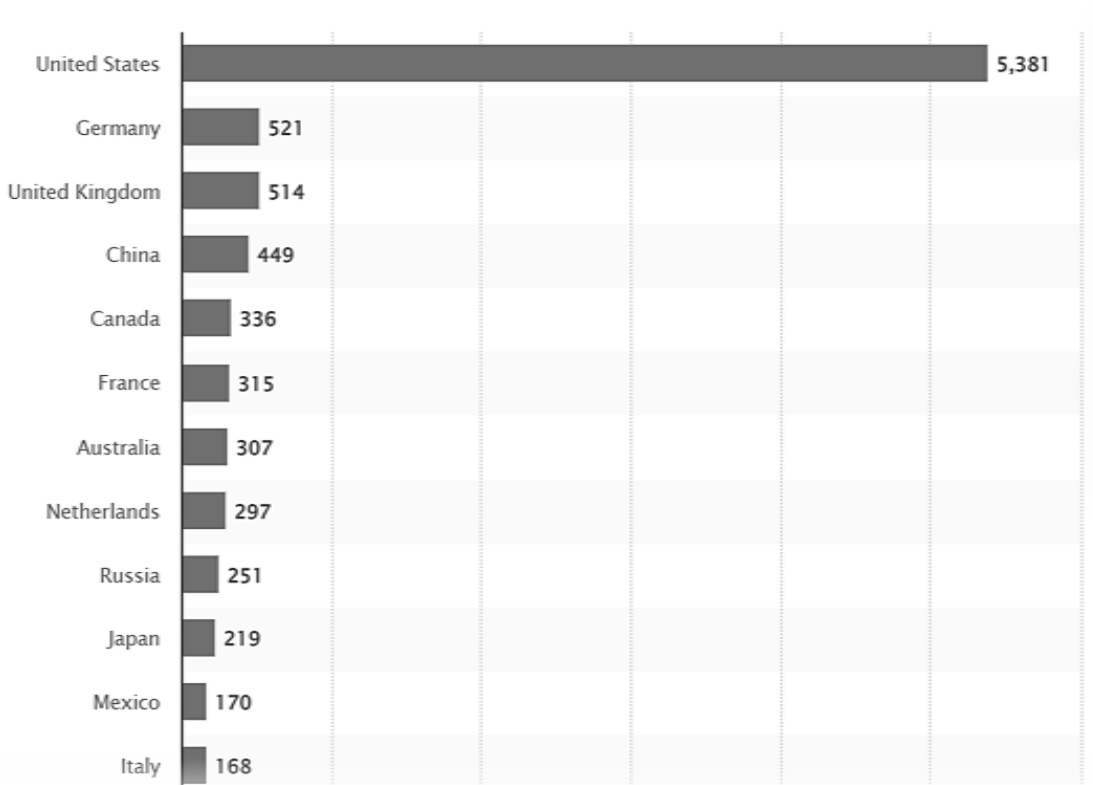


圖 5 全球前十大資料中心建置國家

資料來源：<https://www.statista.com/statistics/1228433/data-centers-worldwide-by-country/>

本研究蒐集目前 AI 資料中心發展成熟的美國、歐盟國家及新興崛起亞洲國家的發展現況以及相關用電管理策略，詳細說明如下：

## 一、美國

### (一)AI 資料中心發展與電力消耗

美國是目前 AI 資料中心建置的領先國家，全球幾乎一半的資料中心在美國。根據摩根大通投資銀行(J. P. Morgan)預測，AI 資料中心建置對美國 2025-2026 年 GDP 成長率貢獻 0.2%，再加上帶動的關聯產業效益(雲端服務及電力基礎設施)對 GDP 貢獻 0.1~0.2%。由 OpenAI、軟銀集團和甲骨文組成的策略合資企業計劃投資德州人工智慧基礎設施數千億美元，於 2025 年第四季投入使用，占地 27 英畝的場地和變電站興建，支持不斷增長的人工智慧、雲端服務。近期因應美國川普總統對進口商品徵收關稅，蘋果公司將擴大在亞利桑那州、奧勒岡州、愛荷華州、內華達州和北卡羅來納州的資料中心容量，並在美國聘僱 2 萬名新員工及生產 AI 伺服器。輝達聯手台積電、鴻海、緯創、矽品精密等臺灣 AI 供應鏈，建立美國本土生產 AI 超級資料中心，強化供應鏈韌性並創造數十萬個就業機會。

隨著美國 AI 資料中心領先地位快速崛起，美國能源署(EIA)在 2025 年的短期能源展望報告中預測美國整體用電量將創歷史新高。其他研究機構也對美國 AI 資料中心的用電量進行相關評估，國際能源總署(IEA)評估美國 2022 年資料中心占美國電力需求的 4%，2026 年將成長 1.3 倍。美國勞倫斯柏克萊國家實驗室研究報告預測 2028 年資料中心用電量佔美國總電力消耗成長 1.7~3 倍。高盛(Goldman Sachs)長期預測美國資料中心在 2023-2030 年的用電量將激增二倍，全美需再增加 47GW 的發電量才能滿足全部資料中心的用電需求。麥肯錫估計 2030 年美國資料中心用電量是 2023 年的 1.7 倍。許多資料中心開始與電力公用事業簽訂具體供電協議，美國電力公司紛紛調高對資料中心的電力銷售量約 3-4 倍，雖然提高了公用事業利潤增長，但也引起美國電力公用事業電網供應穩定的憂慮。

### (二)AI 資料中心的電力管理策略

全球近 60%的超大規模營運商總部設在美國，主要集中在維吉尼亞州、德州及加州。隨著資料中心密集興建及運轉對電力的需求激增，維吉尼亞州、德州和加州也是受資料中心二氧化碳排放影響最大的地區，其中維吉尼亞州的資料中心每 MWh 產生的二氧化碳當量估計為 199.1 噸，超過美國資料中心總排放量的七分之一。美國政府及業界採取多種策略來管理資料中心的電力消耗，包括政策法規、技術標準與市場機制。

## 1. 政策法規

目前美國聯邦政府主要有三套資料中心管理機制，一是《能源獨立與安全法案》(EISA 2007)，要求聯邦政府提升資料中心能源效率，並建立能源監測與報告制度。二是《聯邦資料中心優化計畫》(FDCOI)，旨在整併低效能資料中心，推動節能措施，例如虛擬化技術和雲端運算。三是《2020 年能源法案》，要求對資料中心的能源和水資源使用進行研究，以建置適用的能源效率和促進效率提升，以及資料中心能源和水使用情況的公開報告。

另外，各州也在積極倡議相關法案，例如：維吉尼亞州是世界上資料中心設施最集中的地區之一，2001 年新投資金額的 62% 全是資料中心，提供約 5,000 個新就業機會及每年 10 億美元租稅收入。然而，資料中心也為維吉尼亞州帶來極大環境及資源負載壓力，近期維吉尼亞州參議員提出一項法案，要求能源部研究資料中心開發對維吉尼亞州環境、經濟、能源與資源和實現減碳目標的影響，資料中心的選址只能在對歷史、農業和文化資源影響最小的地區獲得批准。這些研議中的法案可能會使資料中心為了滿足更嚴格的可持續性要求付出代價，包括節能冷卻系統、工程結構變更等，增加資料中心公司的投資成本。為了激勵 AI 商業發展及創造當地就業機會，美國有些州政府為資料中心提供稅收減免，但一些立法者提議在資料中心稅收減免上附加條件，如要求使用再生資源，採用節能技術（如先進的冷卻系統和優化能源管理系統）等，促使未來 AI 發展策略傾向於更多關注利用稅收優惠來支持永續性的投資。德州監管機構研議資料中心營運商在該州電網面臨越來越大壓力時，需要有自己的電力備援。

## 2. 效率標準

目前美國針對資料中心的能效標準提供三種解決方案，一是資料中心能源之星 (ENERGY STAR for Data Centers) 評級，這是由美國環保署(EPA)推動，對資料中心設備(如伺服器、存儲裝置、UPS)進行能效評級。二是 ASHRAE TC 9.9 標準，針對伺服器機房的溫度、濕度及空氣流通設定最佳條件，以降低冷卻能耗。三是設定資料中心 PUE (Power Usage Effectiveness) 指標， $PUE = \text{總能耗} / \text{IT 設備能耗}$ ，理想值為 1.0。2015 年聯邦簽署文件，要求新設的資料中心 PUE 值應介於 1.2 至 1.4 間；既設的資料中心 PUE 值應低於 1.5，目前美國許多超大規模資料中心已達 1.2 以下。加州能源委員會 (CEC) 已制定資料中心能耗標準，2023 年加州州長簽署兩項法案，即《氣候企業數據責任法案》(SB 253) 和《溫室氣體：氣候相關金融風險法案》(SB261)。SB253 要求資料中心營運商必須報告其設施的碳排放量，包括資料中心內所有伺服器、存儲、網絡、UPS、HVAC、其他設備、供應鏈、運輸和商業活動的碳足跡。SB261 要求年收入超過 10 億美

元資料中心實體揭露其與氣候相關的財務風險，包括其自身和供應鏈的風險，以及他們採取了哪些措施來解決問題。

### 3.市場機制

美國科技巨頭 Google、Amazon、Microsoft 等雲端業者承諾使用 100% 再生能源運行資料中心。包括與電力公司簽訂電力購買協議 (Power Purchase Agreements, PPAs)，直接購買風能、太陽能等綠電來營運資料中心。另外，微軟嘗試水下資料中心(Project Natick)，Google 採用浸沒式冷卻(Immersion Cooling)，大幅降低伺服器運轉冷卻能耗。

## 二、歐盟

### (一)AI 資料中心發展與電力消耗

國際能源總署(IEA)評估 2022 年歐盟資料中心的電力消耗占歐盟總電力需求的 4%，約有 1,240 座資料中心(總電力容量 8.3GW)在歐洲營運，大部分集中在德國法蘭克福、英國倫敦、荷蘭阿姆斯特丹、法國巴黎和愛爾蘭都柏林等金融中心。歐盟投資基金將提供 200 億歐元用於資料中心建設及半導體採購，預計 2026 年投入營運。另外，歐盟將進行資料聯盟策略，建立一個跨境資訊共用協議，為各成員國之間的人工智慧資料建置統一規格與市場。未來預測歐盟資料中心的電力消耗，2026 年相對於 2022 年將成長 1.5 倍。

愛爾蘭的資料中心正在迅速發展，2022 年愛爾蘭的資料中心用電量占全國總用電量的 17%。相對歐盟平均企業稅率 21.5%，愛爾蘭憑藉歐盟最低的公司稅率 (12.5%) 優勢，吸引大批資料中心建置，因此，估計到 2026 年資料中心用電量占全國總量將高達 32%。

北歐國家由於溫度低，對 AI 伺服器冷卻系統的耗電量低，因此，也吸引很多科技巨頭投資興建資料中心。丹麥目前擁有 34 個資料中心，電力需求預計到 2026 年將達到該國電力總需求的近 20%。瑞典擁有 60 個資料中心，2023 年 8 月宣布核動力資料中心的計畫，東海岸使用小型模組化核能反應 (SMR) 科技，預計 2030 年投入使用。

### (二)AI 資料中心的電力管理策略

#### 1.政策法規

歐盟能源效率指令(Energy Efficiency Directive, EED)旨在減少能源消耗和溫室氣體排放，2024 年開始要求其 27 個成員國的 500kW 或以上電力的資料中心所有者和營運商每年向歐盟資料庫報告，內容涵蓋總能耗和 IT 能耗、用水量、再生能源的使用和廢熱輸

出。每個歐盟成員國都必須通過法律在本國執行 EED，但截至 2024 年 9 月，只有德國和荷蘭通過了立法。每個成員國必須指定一名協調員負責向資料中心營運商追蹤提交數據，但截至 2024 年 9 月底，27 個歐盟國家中仍有 12 個尚未任命協調員。

愛爾蘭資料中心的快速擴張對電力系統構成挑戰，為了維護電網系統的穩定性，愛爾蘭公用事業監管委員會於 2021 年發佈《再生能源與可靠性》，要求三個評估標準適用於未來新建置的資料中心，以確定資料中心與電網連接應用程式。首先，資料中心的位置是否在電力系統的受限區域內。第二，資料中心提供現場可調度發電和/或儲存的能力，至少相當於他們的電力需求。第三，資料中心需通過減少需求來提高電力調度的靈活性。這些要求顯示當地政府傾向於有效利用電網並納入再生能源，以滿足脫碳目標。

## 2. 效率標準

資料中心設施科技更新週期快速，營運商不斷投資部署最新、最高效的科技，使電力使用效率（PUE）持續改善。歐盟透過 PUE 標準、再生能源要求、廢熱回收與法規監管，來提升資料中心的能源效率。未來，隨著綠能與新冷卻技術的發展，歐洲資料中心將逐步邁向碳中和與更高效的能源使用模式。根據歐洲資料中心標準 EN 50600-4，PUE 應該儘量降低，並且符合 ISO/IEC 30134-2 標準，確保能源效率達到最佳化。目前歐洲資料中心平均 PUE 為 1.25，低於 2005 年的 1.74。另外，許多歐洲國家（如瑞典、芬蘭、荷蘭）開始推動資料中心的廢熱回收，將伺服器產生的熱能用於城市供暖系統（District Heating），歐盟 EN 50600-4-6 標準規範如何計算與報告廢熱回收率。

## 3. 市場機制

泛歐資料中心淨零創新倡議為供應商、營運商和政府，推動資料中心達成脫碳目標的創新發展，同時滿足日益增長的監管要求。2021 年發起歐洲自律倡議《氣候中立資料中心協議》（Climate Neutral Data Centre Pact, CNDCP），特別針對超大型資料中心建立一個可持續發展模式，已有 60 多個國家簽署了氣候中立的資料中心協定，有 95%（占歐洲資料中心容量的近 75%）已被認證履行自律倡議規定的義務。這些企業已經制定了收集和分析所需數據的流程和措施，以證明其遵守在 2030 年前實現氣候中立目標，包括能源效率、清潔能源、水資源、循環經濟與循環能源系統等五大目標。隨著風能、太陽能、氫能、地熱等再生能源的使用量大幅增加，為新的資料中心提供分散式發電來源，有助於減少對環境造成的負面影響。

### 三、亞洲

美中科技競爭愈演愈烈，這波 AI 科技投資浪潮，為避免受地緣政治干擾，許多科技巨頭積極尋找中國以外的備案。由於 AI 資料中心需要大量的空間、電力，以及供冷卻使用的水，東南亞國家具有能源和土地價格低廉等優勢，積極爭取 AI 資料中心建置商機，吸引科技巨頭投資眼光，以支撐本地化運算需求，降低資訊傳輸延遲。目前積極布局資料中心的亞洲國家，包括中國、日本、新加坡、馬來西亞、臺灣等，相關發展現況及管理策略說明如下：

#### (一)中國

中國資料中心增長的主要動力來自 5G 網路和物聯網(IoT)的快速擴展。2024 年中國工信部增值電信業務對外開放試點，包括北京、上海、深圳與南海等四地，可獨資經營網路資料中心，參與雲端計算服務等市場。主要發展企業如阿里巴巴、騰訊、百度、華為等大型科技企業，均建有自家或合作的超大規模資料中心。根據中國國家電網能源研究院報告，2020 年資料中心的用電量占全國用電量的 2.7%。估計到 2030 年占全國總用電量的 3.7%。中國建置資料中心面臨美國禁止 NVIDIA 的 GPU 產品出口中國，中國需要努力開發國產晶片作為 NVIDIA 的替代方案，使得中國資料中心必需混搭不同廠商的解決方案，產生軟體不相容或硬體參差不齊。

中國正在修訂相關法規促進永續減碳的資料中心，推動「東數西算」工程，將東部算力需求轉移至西部地區，以減輕東部電力與資源壓力，提高資料中心電力和再生能源利用效率，全國新建的超大型資料中心預計電力使用效率(PUE)值降至 1.3。

#### (二)日本

隨著日本少子化與高齡化，應用 AI 技術的機器人等領域商機持續擴大，帶動大型資料中心興建。日本資料中心主要集中在東京、大阪、北海道及九州等地區，東京地區資料中心數量目前僅次於中國北京，是亞洲第二大資料中心樞紐。NTT、NEC、富士通等持續投入資料中心業務，並與海外業者合作，提升技術與資安水準。另外，微軟、Google、AWS、Equinix 等國際性雲端巨頭為支援亞洲市場的據點佈局，近年在日本積極擴建或新建資料中心。然而，日本的能源依賴進口度高，資料中心快速興建產生的高用電量已造成日本電網的供電壓力。日本電力中央研究所預估，2040 年日本資料中心用電量將約是 2021 年用電量的五倍。日本政府提供補助，鼓勵企業投資低碳或碳中和資料中心建

設，例如北海道的綠色資料中心項目強調使用自然冷卻與再生能源供應。日本多數資料中心力求將 PUE 降至 1.2~1.4。

### (三)新加坡

新加坡因政治穩定、法規健全、良好的基礎設施及地理位置優勢，是亞太第三大資料中心市場（僅次於中國與日本），擁有 87 座以上的資料中心，居東南亞地區領先地位，占東南亞資料中心總容量的 60%。但是，國土狹小且資源有限，面臨永續增長的發展瓶頸，迫使資料中心營運商轉往鄰近的馬來西亞及印尼等國發展。根據新加坡資訊通信媒體發展局(IMDA)官網資訊顯示新加坡資料中心占全國總用電量約 7%，估計 2030 年用電占比將達到 12%。

根據新加坡政府 2024 年公布的「綠色資料中心發展路線圖(Green Data Center Roadmap)」計畫新增 500MW 容量的資料中心，預計總容量將達到 1.4GW，以確保東南亞資料中心樞紐地位，另外，在發展路線圖中也提高新加坡資料中心能源效率並提供相關獎勵補助。新加坡資訊通信媒體發展管理局(IMDA)在 2025 年推出雲端服務和資料中心諮詢指南，以提高服務彈性和安全性，減少服務中斷發生及對經濟和社會的影響。新加坡 IMDA 啟動綠色資料中心試點項目，推行「綠色標章 (BCA-IMDA Green Mark)」認證制度，評估資料中心的能源效率、冷卻技術、水資源使用等項目，設定每個新資料中心的能源效率標準 PUE 不得高於 1.3，且需提出節能與碳中和計畫，才可獲准建設。另外，新加坡政府規劃透過區域電網計畫(如與馬來西亞、印尼合作)進口綠電，目標至 2035 年至少進口 4GW 綠電。

### (四)馬來西亞

新加坡資料中心因為土地及資源限制，產生鄰近國家的資料中心外溢效應，其中，馬來西亞因為土地及電力成本低廉(馬來西亞工業電價約為每度電 0.1 美元，遠低於新加坡的 0.27 美元)，2024 年吸引全球科技巨頭的目光，輝達、微軟、亞馬遜、谷歌、甲骨文、字節跳動等企業迄今在大馬累計投資逾 233 億美元 (約 7,702 億新臺幣)，創下歷史新高。根據 Knightfrank 出版馬來西亞資料中心研究報告統計顯示，2024 年上半年馬來西亞被列為東南亞資料中心成長最快的市場，目前有 54 個資料中心投入營運，IT 負載總容量達 504.9MW，未來包括正在興建及規劃中的資料中心總供應量將達到 1.3GW，總營運數量達到 61 個資料中心，已逐漸追趕上新加坡的目標(1.4GW)。另外，由於馬來西亞柔佛州水、電、土地資源豐富，毗鄰新加坡，成為新加坡經濟發展重要腹地，雙方最

近簽署「柔佛州－新加坡經濟特區」備忘錄，造就馬來西亞新山市資料中心建置快速發展。

為了達成馬來西亞資料中心樞紐願景，2023 年推出「綠色通道路徑」(Green Lane Pathway)，大幅簡化資料中心專案的電力審查流程，將傳統 36 至 48 個月的建設週期縮短至 12 個月。「企業再生能源供應計畫(CRESS)」的實施，為資料中心提供綠色能源支援，降低營運成本，符合全球對綠色資料中心的發展趨勢。

#### (五)臺灣

2013 年雲端大廠 Google 在臺灣彰濱工業區成立第一個大型資料中心後，2016 年又啟動第二階段總投資金額 12 億美元，興建占地 32 公頃的 Nest 研發中心及 Chrome 研發中心，2019~2021 年分別在台南科技工業園區及雲林縣，規劃興建第二個及第三個資料中心，同時在板橋設定硬體研發基地。2024 年微軟及亞馬遜也投入規劃臺灣資料中心的建設。根據 Google 在 2024 年公布一份關於臺灣 AI 產業發展與治理的白皮書，估計到 2030 年 AI 將帶來 13 兆美元產值，約為 1.2% GDP 的成長率。

根據 Bloomberg News 分析，臺灣桃園以北地區因電力供應不足，依賴其他地區供電，需要更多的電網基礎設施和新電力來源來滿足不斷增長的需求，因此，對於超過 5MW 以上的資料中心，建議優先在再生能源充足、電力豐富的中南部地區，使資料中心負載與供電相匹配。目前 Google 臺灣資料中心透過再生能源憑證中心(T-REC)及 PPA 購買綠電協議。臺灣已於 2021 年將資料中心納入能源查核申報制度，用電契約容量超過 800 瓩的用電戶需要提供相關能源使用資料。2024 年非生產性質行業能源查核年報統計顯示，目前符合申報條件的電信機房(含電腦資訊設備及電信交換機設備)平均 PUE 約為 1.66~1.72。政府鼓勵資料中心導入 ISO 50001 能源管理系統，採用沉浸式液冷技術、數位化能源系統，提升能效並推動 PUE 能源效率指標提升至國際標準 (PUE ≤ 1.5)。

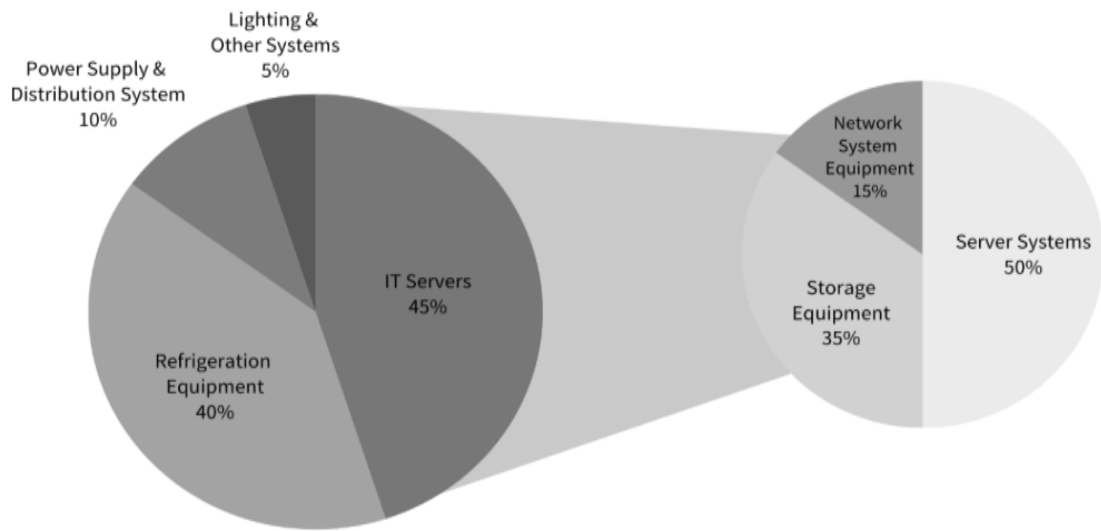
## 肆、綠色算力因應策略分析

資料中心為 AI 技術發展的基礎，但其龐大的電力消耗與碳排放問題引發國際高度關注。近年來興起綠色算力倡議 (Green Computing / Green AI Initiative)，目標是降低運算活動對環境的影響，嘗試透過政策引導、再生能源整合、智慧電網建設與新技術導入，實現高效能與低碳排的永續資料中心發展，相關因應策略方案，詳細說明如下：

## 一、硬體能源效率提升

根據國際蘇格蘭數據中心公司 DataVita 創辦人 Danny Quinn 說法，一台傳統伺服器的標準機櫃耗電量約 4 瓩，而 AI 伺服器機櫃是其 20 倍。AI 資料中心的電力需求主要有四大部分：AI 算力占 45%；冷卻系統占 40%；電源供應 10%；照明設備占 5%，如圖 6 所示。因此，目前大多技術解決方向朝向占比最高的 AI 算力核心及冷卻系統。

**Data center energy consumption distribution**



Source: Forecast of China's data center electricity demand scale and proportion of total social electricity consumption from 2019 to 2025

**圖 6 AI 資料中心的電力需求結構圖**

資料來源：<https://www.kaori.com.tw/tw/modules/news/article.php?storyid=107>

### (一) AI 晶片節電效率提升

在全球算力需求大爆發時代下，AI 晶片耗能也呈現急遽上升，同時又需要耗費更多電力來冷卻機房，產生了資料中心是吃電怪獸的疑慮。伺服器 IC 設計是「算力」升級的驅動力，許多資料中心的科技巨頭開始在 IC 設計時，加入節電效率提升思維，可從硬體層、架構層、軟體層三位一體的方向進化，對綠色算力與永續 AI 發展至關重要。未來隨著量子運算、光子 AI 晶片（如 Lightmatter）技術成熟，節能效率有望再創高峰。目前主要 AI 晶片節電技術設計如下：

1. AI 訓練或推論使用混合精度可降低計算量與功耗，同時保持模型效能，提升 3 倍以上能源效率。
2. 晶片根據即時運算負載，自動調整電壓與頻率，避免不必要的能耗。
3. 記憶體與運算整合(PIM)，將運算功能整合進記憶體模組中，顯著降低資料搬運時的能耗，Samsung 與 SK Hynix 等廠商正積極研發此類節能 AI DRAM 晶片。

## (二)冷卻系統新技術導入

全球算力需求大爆發，伺服器大功率晶片的散熱，耗費更多電力來冷卻機房，形成耗電的惡性循環。傳統氣冷散熱技術的「臨界點」落在單顆處理器發熱功率 500W，不足以處理 AI 高階繪圖晶片的散熱。為了解決 AI 伺服器高功率散熱問題，利用液冷比氣冷更容易導熱特性，已成為大功率晶片散熱界的超級新興技術。目前解決方案包括採用風扇與液體同步的混和模式，在晶片上方利用管路與金屬冷板，通過冷卻液體的改良模式。另外一種最新散熱技術是浸沒式冷卻技術，也就是整座機台泡在液體中散熱。根據新加坡數據中心業者(Sustainable Metal Cloud,SMC)開發浸沒式冷卻技術顯示，相較於傳統氣冷式技術，最高可降低 50%用電量，PUE 僅為 1.1。輝達「Blackwell B200 圖形處理器(GPU)」在液冷處理下的熱功耗設計(TDP)降至單顆 1,200W。浸沒式冷卻技術優點是免去風扇運轉噪音及空間，密封式箱體讓灰塵、小動物不容易破壞伺服器，延長設備年限，缺點是建置成本昂貴，包括：資料中心重新設計，維修人員重新訓練。

## 二、電源開發

### (一)再生能源購電協議(Power Purchase Agreements, PPAs)

資料中心密集興建的國家及城市，已逐漸發現電力供應的壓力，開始制定電源供應管制規劃，例如：美國維吉尼亞州、歐盟愛爾蘭、亞洲新加坡。當資料中心營運電力成本大幅增加，可能轉嫁給 AI 產品與服務提供者。為了解決 AI 資料中心的可靠電源供應來源及淨零碳排目標，AI 科技巨頭逐漸朝向能源自主，亞馬遜、谷歌、微軟、臉書等科技巨頭簽署大規模再生能源購電協議，以確保資料中心滿足淨零碳排目標，也帶動儲能技術及智慧電網基礎建設發展。谷歌為了實現綠色算力，在 2024 環境報告書中揭露未來淨零碳排目標達成朝向自然與科技為基礎的開發計畫，例如：在臺灣已簽署二項重要的再生能源購電協議，自 2019 年起與臺灣永鑫能源公司合作開發 1GW 太陽能發電計畫，並購買 300MW 的太陽能電力，2025 年與臺灣倍速羅得公司簽署臺灣首宗企業地熱能源購電協議，為臺灣電網增加 10 MW 的全天候運作無碳電力，預計於 2029 年前完成。微

軟為了支持其全球資料中心的電力需求，積極簽署多項再生能源購電協議，與 Brookfield 簽署全球再生能源協議，開發超過 10.5 GW 的風能和太陽能，是迄今為止最大的企業再生能源購電協議，將用於支持微軟的雲端運算和人工智慧資料中心的電力需求。亞馬遜也積極在全球開發再生能源購電協議，包括美國、英國、瑞典、葡萄牙的風力發電及美國加州的太陽能加儲能及其他各州的太陽能電廠購買電力。

## (二)核能技術投資

AI 資料中心耗電量激增，原本設定的淨零排放目標越來越難實現，科技巨頭開始投資相關核能技術開發或在核能設施附近興建資料中心等。近期討論度較高的小型模組核反應器(SMR)開發也被科技巨頭納入電源開發選項中，例如：亞馬遜宣布將投資 5 億美元，與美國能源公司(Dominion Energy)簽署協議，共同在維吉尼亞州現有的北安娜核電廠附近開發小型模組核反應器。Google 與美國新創公司 Kairos Power 簽署購電協議，預計將向其開發的小型模組反應器購買核能，預計 2030 年前部署首個 SMR。SMR 是否成為未來資料中心可靠的電力來源，仍然存在許多尚待解決爭議，包括仍在實驗中尚未成熟技術及相關的核能安全與廢料處理。另一個資料中心與核能相關的議題，有些科技巨頭選擇在核能設施附近興建資料中心。例如：微軟與美國聯合能源公司(Constellation Energy)合作，協助位於賓夕法尼亞州三哩島(Three Mile Island)核電廠的一個機組恢復運作，預計 2028 年上線，以支援微軟在美國 PJM 電網區域的資料中心。由輝達(NVIDIA)投資的雲端服務商優必達(Ubitus K.K)，規劃在日本建置一個新的資料中心，特別強調新資料中心必須鄰近核電廠。

## 三、碳權採購

雖然科技巨頭積極開發或購買無碳電力來源，但是仍趕不上資料中心電力需求。微軟 2024 年發布的永續報告書，範疇三的碳足跡大幅增加 30.9%的碳排放量，主要歸因於大型資料中心擴增等硬體零件供應鏈碳排。為了達到永續目標需要採取不同途徑，購買碳權是金融和科技公司經常用來抵消自身對環境影響最直接便捷的方式之一。微軟宣布與瑞典能源公司 Stockholm Exergi 合作，將透過碳捕捉計畫，從 2028 年開始取得碳權證明並抵銷自身碳排，另外，微軟也向西方石油公司購買 50 萬公噸碳權，以實現 2030 年碳中和目標。

## 伍、結論與建議

運用人工智慧以及資料中心建置投資，已經成為世界各國政府的重要經濟發展策略。由於擔心國內資料被轉移而產生的資料主權疑慮，許多國家傾向增加建置更多的本地 AI 運算能力。臺灣資通訊產業鏈成熟，不管是高階 AI 晶片、AI 伺服器及液冷散熱系統技術，在全球市場皆具有重要角色，吸引國際科技巨頭來臺投資，提供更快更可靠的資料運算服務。然而，大型資料中心產生的電力需求激增，也為淨零碳排目標達成埋下隱憂。未來臺灣發展資料中心產業，可借鏡目前領先國家的管理規範與經驗，加強資料中心永續性的監管力道，促進業界強化制定能源使用效率標準(PUE)，從晶片製造到終端資料中心的能源消耗量，建立透明和開放的方式來管理能源效率，以滿足國際科技巨頭全球供應鏈碳足跡盤查要求。鼓勵資料中心建置場域與再生能源及儲能結合，建立綠色能源電力購電協議的合作夥伴關係。

## 參考文獻

### 一、中文文獻

- 優分析產業數據中心，美國電力公司調升預測迎接 5381 個數據中心的電力需求，<https://uanalyze.com.tw/articles/632875966>，2024.08.13.
- 全球中央社，AI 與資料中心耗電驚人正在吸乾全球電力?，<https://reurl.cc/d1mAlg>，2024.09.03.
- Money DJ 理財網，AI 資料中心支出帶旺美經濟 貢獻上看 0.2 個百分點，<https://www.moneydj.com/kmdj/news/newsviewer.aspx?a=aea7b125-be79-40e4-ae2d-d68f27ecb567>，2025.01.17.
- 自由時報，動不動就缺水?台灣推動 AI 大考驗，[https://ec.ltn.com.tw/article/breakingnews/4693238?utm\\_source=chatgpt.com](https://ec.ltn.com.tw/article/breakingnews/4693238?utm_source=chatgpt.com)，2024.06.11
- 科技新報，歐盟斥資 200 億歐元建五座資料中心，以 50 萬顆 GPU 發展人工智慧，<https://technews.tw/2025/04/13/eu-invests-20-billion-euros-to-build-five-data-centers/>，2025.04.13.
- 科技新報，國產 GPU 資料中心轉移成本過高！中國智庫建議選擇 NVIDIA，<https://reurl.cc/WAVl3O>，2024.10.15.
- 科技新報，日本資料中心大增致電力需求攀升，挑戰政府脫碳目標，<https://reurl.cc/L56RKe>，2024.05.06.
- 科技新報，Google 簽署臺灣首宗地熱購電協議，在台電網增加 10MW 電力，<https://technews.tw/2025/04/15/google-and-baseload-power/>，2025.4.15.

- 環境資訊中心，新加坡迎 AI 浪潮全國容量擬再增 35%，<https://e-info.org.tw/node/239353>，2024.06.28.
- 環境資訊中心，科技巨頭搶灘 SMR 核電市場，<https://e-info.org.tw/node/240128>，2024.10.23
- 駐新加坡代表處經濟組，新加坡數據中心業者透過創新液體冷卻技術，2024.08.12.
- 聯合新聞網，馬來西亞邁向資料中心新強權，<https://udn.com/news/story/6811/8063479>，2024.06.30.
- 鉅享網，取代星國成東南亞數據中心強國馬來西亞擁三大優勢，<https://reurl.cc/yDA5n6>，2025.01.02.
- 今周刊，Google 宣布放棄碳中和、微軟買碳捕捉碳權自保，<https://reurl.cc/yDoYdl>，2024.07.12.
- 資策會，探索亞洲資料中心的未來：新加坡與臺灣之比較，<https://reurl.cc/lNakOj>，2024.08.06.
- 經濟日報，Google 臺灣 AI 產業白皮書，<https://money.udn.com/money/story/5612/8130607>，2024.07.31.
- 數位時代，雲端三巨頭重金投資臺灣，<https://www.bnext.com.tw/article/81289/microsoft-aitaiwan-m365-datacenter-taiwan-2024>，2024.11.15.
- 綠色生產力基金會，非生產性質行業能源查核年報，2024 年 12 月。
- 能源知識庫，淺談我國能源先期管理制度關於能源用戶適用之範圍—以資料中心為例，2023.03.08.

## 二、英文文獻

- Bloomberg News, <https://www.datacenterknowledge.com/energy-power-supply/taiwan-says-power-issues-prevent-new-large-data-centers-in-north>, 2024.08.12
- Data Center Knowledge, <https://www.datacenterknowledge.com/>, 2023.01.25.
- Green Data Centre (DC) Roadmap, <https://www.imda.gov.sg/how-we-can-help/green-dc-roadmap>, 2024.
- IEA, Electricity Analysis and Forecast to 2026, 2024.01.
- IEA, World Energy Outlook, 2024.10.
- IMDA introduces Advisory Guidelines to enhance the resilience and security of Cloud Services and Data Centres, <https://www.imda.gov.sg/resources/press-releases-factsheets-and-speeches/press-releases/2025/advisory-guidelines-of-cloud-services-and-data-centres>, 2025.02.25.
- Knight Frank, Data Centre Research Report Malaysia, <https://www.knightfrank.com.my>, 2024.12.
- Singapor Infocomm Media Development Authority(IMDA), Turning the red dot, green: Helping data centres get better at staying cool, <https://www.imda.gov.sg/resources/blog/blog-articles/2025/02/red-dot-analytics-help-data-centres-be-cool>, 2025.02
- Statista, Leading countries by number of data centers as of March 2025 , <https://www.statista.com/statistics/1228433/data-centers-worldwide-by-country/>, 2025.03.21.

Statista, Data center average annual Power Usage Effectiveness (PUE) worldwide from 2007 to 2024,  
<https://www.statista.com/statistics/1229367/data-center-average-annual-pue-worldwide/>, 2025.04.11.

Synergy Research Group, Hyperscale Data Center Capacity to Triple by 2030, Driven by Generative AI,  
<https://www.srgresearch.com/articles/hyperscale-data-center-capacity-to-triple-by-2030-driven-by-generative-ai>, 2025.01.09.