

不受地理限制的電力

能源充裕、經濟權力與分配問題

關於 FUSA 量子太陽核心能量提取技術後果的白皮書。

2026年10月2日

這一思想實驗的基本前提如下：

如果可用電力能夠以大規模部署，並且獨立於傳統發電、實體佔地、燃料供應和輸電地理條件？那麼，能源就不再僅僅是商品和基礎設施問題，而會成為經濟地理、產業分配、誰控制配額——因而也控制成長——的問題，並最終提出治理以及國家核心權能的問題。

我們所熟知的世界

能源是物理功和經濟吞吐量的基本貨幣。它是經濟體為了實現成長、穩定和社會凝聚而必須生產、分配和管理的終極物理現實。然而，在我們現代的數位化、資料驅動型經濟中，現實比單純是否擁有“原始電力”要更為複雜。

人類的認知勞動和體力勞動目前限制著價值創造和經濟成長的速度。但人類認知資本有限，並受到地理約束。培養新的頭腦需要數年，有時甚至數十年。與此同時，現有的知識經驗會隨著人員退休、死亡而消失，從而形成能力缺口。有時，正在培養的認知能力在訓練結束時已經不再相關。因此，經濟體被困在一場長期的“打地鼠”遊戲中：一邊是市場需求，一邊是現有的人才資本以及培養新一代所需的時間，同時還疊加了對未來究竟需要哪些能力的“前瞻性”猜測。隨著進步的時間尺度被壓縮，這一做法也變得更加緊迫；一個十年的時間已不再等同於一個十年的進步。然而，過去一個世紀裡，人才培育體系幾乎沒有發生任何變化。

因此，我們最有可能獲得的即時認知倍增器，是開始用數位心智來補充（並最終取代）生物學瓶頸。這是 AI 競賽背後未被明說的現實與驅動力。

下一步的邏輯，是利用這種數位能力，在自動化分子製造領域更快實現科學突破。當前材料在物理層面的稀缺限制了製造能力的即時擴張。原則上，奈米技術、ER/EPR 邊界化學和分子列印可以消除供應中斷風險與物流延誤，並將材料價值降至其效用成本。

反過來，這將需要一種普適的全球運算基礎設施：經濟協調以及物理自動化與認知自動化，都要求即時進行高頻寬資料處理。全球基礎設施必須能夠同時處理指數級最佳化任務，並對惡意干擾具有強化防護能力。

隨著全球量子網際網路骨幹網、零延遲物流同步以及覆蓋每一個工業節點的更優資源分配方案取得進展，這種演化已經開始顯現。

最後，這一高速成長引擎還需要一個全新的協議層價值路由生態系統。將人為中介從全球供應鏈分配和金融資產交易、法律核驗之中移除，同時建立允許近即時、即時價值交換和套利的信任架構。

但所有這一切的最底層，仍然是能源。電力依舊受到地理限制：在已開發地區廣泛可得且價格可負擔，在其他地區則稀缺或依賴補貼，成長因而成為國家的財政負擔。即便在先進經濟體中，電網併網也已經成為瓶頸。由勞倫斯柏克萊國家實驗室（Lawrence Berkeley National Laboratory）牽頭的一項發表於《Joule》的 2024 年研究分析了超過 38,000 個美國專案，發現截至 2023 年底，活躍的併網申請佇列中共有 2,600 GW，併網時間較此前十年增加了 70%，退出率約為 80% (Gorman et al., 2024)。問題越來越不僅在於能否獲得投資，而在於取得併網需要多長時間，以及工業設備何時才能開始創造價值並產生投資回報。

這主要是因為需要新增容量，而大型新增負荷不可避免地需要發電、燃料、輸電與物流、變電所、許可，以及.....時間的某種組合。鑒於其佔地和生態破壞，太陽能和風能已經證明並非它們曾承諾的萬能藥。核能是一個有效解決方案，但監管程序漫長，投資回報週期慢到難以預測。所需的規劃電網投入將以兆計，而且往往卡在土地許可、訴訟等環節。

因此，能源可得性最終會影響工業、資料中心、礦山、工廠和物流樞紐能夠在哪裡擴張，也會影響為後者提供人員的勞動力。而這又構成另一個矛盾：人們希望附近有經濟機會，卻拒絕接受由此必然帶來的基礎設施選擇。

因此，各國政府將能源基礎設施視為具有戰略重要性，並主動利用、監管和控制它，以維護其權力與戰略影響力，並管理可靠性、可負擔性、安全以及地緣政治獨立性。

隱藏的假設

幾乎每一種能源政策模型，都在其基礎上包含同一個隱含假設：

新增電力需要在某個地方新增傳統能源基礎設施。

這可以採取多種形式，有時看起來甚至彼此並不相關：

- “表後”大規模發電的許可證（例如：燃氣輪機）；
- 新的發電場址，例如可再生能源或核能；
- 額外的燃料、採礦資源以及開採許可權；
- 輸電和配電，以及對其的所有權；
- 儲能；
- 互聯設施、長期權利和配電法規；
- 電網加固，以及對其中所使用材料的授權；
- 上述各項的某種組合。

這也把我們帶到了本文的中心主題：

如果這一假設不再必然成立，會發生什麼變化？

現代文明一直圍繞這樣一種假設組織起來：有用電力受到地理限制，並與實體發電和輸電基礎設施綁定。**FUSA** 以其 **Quantum Solar Core Extraction** 技術為基礎，已經積累了足夠的證據，可以提出一個合理的問題；如果這一假設不再是絕對的，會發生什麼？

FUSA；技術方案

FUSA 是一家量子技術公司，目前正在開發一種可部署的電力架構，其基礎是與量子能量傳送相關的工作。其技術專案所要回答的問題是：能否在本地提取有用能量，而不依賴傳統的本地燃料—發電—輸電物流鏈？

量子能量傳送（QET）是一種最早於 2008 年描述的協議，其本身建立在更早的量子態傳送（QST）和量子資訊傳送（QIT）協議之上；後二者自 1993 年起便已存在，是現代量子運算以及即將到來的量子網際網路技術的基石。

用通俗的話說，該協議基於一些廣為人知的量子行為：一方（通常稱為 Alice）對一個可觀測的量子能量特徵進行量子測量。這個“塌縮”的量子態（之所以塌縮，是因為它已被“觀測”，因此不再是狀態疊加）隨後通過經典方式傳輸到本地距離較遠的實施地點（在量子領域中常稱為 Bob 或 Dave），這一鏈路被稱為“局部操作與古典通訊”，即 LOCC。

“Dave”單元接收這條消息，並在其自己的量子系統上實施反演哈密頓量（inverted Hamiltonian；該系統通常是與 Alice 共享的資源）。正是這一操作，使“Dave”能夠提取“本來由 Alice 觀測到”的能量。這就是 QET 的本質。

這裡需要特別注意的是，Alice 的消息是通過經典方式傳輸的，因此；即使 Dave 可以即時取得 Alice 所觀測到的能量（Dave 無須像傳統方式那樣等待 Alice 的能量—波—束—包或其他任何東西到達他的本地），消息本身的速度始終低於光速，因此因果律被嚴格維持。第二個需要理解的重要概念是，Alice 所觀測到的能量並不是唯一的。換言之，如果 Alice 觀測到 10，並把她的消息發送給位於彼此不同地點的十個 Dave，那麼每個 Dave 都會收到一個數值為 1 的能量包，因此該系統從其本質上就可以形成網格並實現網路化。關鍵在於總帳本，也就是說：任何人都不能從中扣除超過最初測得帳本總量的數值。

最後，也許也是最重要的一點；Alice 與 Dave 之間不存在內在的距離限制。量子物理中沒有任何東西限制 QET 的應用範圍。正是這種對物理距離不敏感、深具量子特徵的概念，被愛因斯坦（Einstein）著名地稱為“幽靈般的超距作用”（spooky action at a distance）。在我們的情形中，這意味著：Alice 在迪拜，而 Dave 在休斯敦、新加坡，甚至火星，對協議本身及其有效性都沒有絲毫差別。

在今天，QET 協議正被積極使用並進一步研究，用於各種現實應用，例如量子電池、為遠端量子電腦供能並將其組成去中心化叢集、新型量子網際網路，以及 FUSA 所選擇的應用；在無需任何資本密集、受地理和政治限制的“經典”基礎設施的情況下傳輸具有實際意義的能量。

這個想法很簡單：如果我們能夠把太陽核心聚變作為“Alice”所觀測的能量發生器，然後通過一個雙曲網狀網路把這一特徵分發給全球（或太空中的）使用者，從而直接從太陽核心一直到最終使用點提供可靠、具有實際意義的能量，會怎樣？

過去數年中，FUSA 已經建立了大量內部理論、實驗和工程證據。該專案目前已經發展到這樣一個階段：詳細設計基本完成，下一項計劃中的步驟就是實體製造。

上述證據的演進可以簡要描述如下：

- 2018-2020：首次開展關於一種新型聚變過程的理論工作，以量子技術、核壓縮和 ER/EPR 猜想作為工作基礎，而不是僅依靠慣性約束或磁約束系統。最初，這一工作旨在為一種新型 SSTO 飛行器設計提供動力，以將有效載荷送入太空。
- 2022：“Star Law”或“Entanglement Relativity”框架的起源。該框架圍繞兩個（當時的）猜想建立：
 - ER/EPR 全息對偶：即；在我們 3+1D 的“體”現實中存在或發生的任何事物，在遠端邊界上都有一個更低維的 2D 數學描述。該對偶是真實存在且尺度不變的。
 - 糾纏像能量一樣，是一種守恆量。即；糾纏是一個普適的總量，不能被銷毀，而只會被時間膨脹（宇宙學常數）或測量（觀測問題）等因素“重新分配”。
- 2024：成功測試“Magnetar”聚變反應堆，這是現實世界中第一個工程化的 ER/EPR 全息對偶聚變應用，同時使用了全息原理，以及當時仍屬於開發中 Star Law 框架理論的概念。
- 2026年1月：完成 Star Law 框架及其附錄，並從第一性原理出發完成數學證明，精度達到 1% 以內（據我們所知，這是任何第一性原理（First Principles）方法首次在不使用擬合參數的情況下獲得此類結果）：
 - 宇宙學常數；
 - 暗能量 / 暗物質 / DME 劃分；
 - 與子彈星系團（Bullet Cluster）行為的相關性；
 - 解釋湯川階層（Yukawa hierarchy）及其邏輯；
 - 廣義相對論和量子力學各自的適用極限（注：我們並不聲稱二者已實現統一）；
 - 質子的能量與重量，以及標準模型（Standard Model）直至希格斯玻色子（Higgs Boson）的結果；
 - ER/EPR 對偶的真實性和適用範圍，以及愛因斯坦—羅森橋（Einstein-Rosen bridges，常被通俗稱為“蟲洞”/wormholes）的物理存在；
 - 玻恩規則（Born rule）、洛倫茲對稱性（Lorentz Symmetry）以及普適速度常數“c”的湧現。
- 2026年4月：“Alice”太陽核心提取系統獲得理論驗證和物理演示。這是所提出的 QET 太陽核心提取能源生態系統的核心支柱。其本質是一套能夠檢測並利用太陽核心聚變所具有的標誌性量子態特徵——例如高頻重力波（High Frequency Gravity Waves）和中微子（Neutrinos）——從而獲得太陽核心聚變可靠特徵信號的系統。
- 2026年4月：在一個不可違背的量子協議之下，“Alice”系統被實施了 40 TW（40,000 GW）的安全工程上限。
- 2026年5月：申請英國專利保護，並依據 PCT 尋求國際保護；FUSA 太陽核心提取 QET 系統及其進一步應用獲授了保護日期。
- 2026年8月：FUSA 完成了一系列 IBM Quantum 硬體測試活動，包括超過 400,000 次測量（涉及 150 個量子位元（qubits），據我們所知這創下了紀錄），用於測試其太陽核心提取 QET 協議。在 FUSA 的系統級歸一化下，測得的功映射對應於超過 5 TW 的等效值；QPU 本身並未在物理上輸送太瓦級電能。

- 2026年8月：獲得對 IP、技術和專利的外部獨立估值；
- 2026年9月：完成對“Dave”換能器的最終工程設計驗證，該換能器用於把“Alice”的太陽核心提取能量轉換為本地電網“表後”的有用電力。驗證了兩套系統：10-100 kW 和 1-30MW。

上述大部分內容均在 FUSA 網站上有詳細說明，或在確認存在認真意向後可依據 NDA 提供。由此形成的換能器旨在為地球（或太空）用途提取具有實際意義且可擴展的電力。剩餘挑戰並非理論問題，也不是工程問題；這些證明的確定性已超過 80%。剩餘挑戰在於尋找實現此類換能器大規模生產並通過隨之而來的“規模經濟”降低其成本的方法。

思想實驗

理論和實驗證據的整體已經發展到足以開展思想實驗的程度：為了經濟分析的目的，假設這一技術方案已經得到驗證、可重複並且可擴展？

接下來會發生什麼？

第一項後果：地理限制

傳統電力具有空間受限的架構。FUSA 所提出的架構旨在削弱這種依賴。經典鏈條在技術和市場結構上已經發生變化，但其基本物理順序仍然為人所熟悉：

資源 → 發電 → 輸電 → 配電 → 消費者

FUSA 的太陽核心提取 QET 不受距離或地理條件約束，並且完全在表後運行，不需要任何形式的現場發電，也不承擔其相應的佔地或資本負擔：

太陽核心 → Alice 能量系統 → Dave 換能器 / 消費者

這反過來有可能降低對以下因素的依賴：

- 輸電走廊；
- 互聯設施；
- 與發電端的接近程度；
- 本地燃料可得性；
- 天氣；
- 電網擁堵或其狀態；
- 耗時漫長的發電系統建設。

這並不是說這些系統會在一夜之間消失，它們不會。更可能發生的是，在非常近的時期內，它們的決定性會有所下降。

第二項後果：工業地理發生變化

一旦電力受到的地理限制減少，就可以進一步追問：那些目前高度依賴這些地理約束的產業會發生什麼？例如：

- 海水淡化 / 水淨化；
- AI 運算；
- 資料中心；
- 半導體製造；
- 鋁和鋼鐵冶煉廠及軋鋼廠；
- 原料及基礎化學品生產；
- 氫氣和綠色氫氣生產、稀有氣體處理與調理；
- 合成燃料生產；
- 採礦和精煉；
- 電氣化運輸；
- 先進製造。

當能源不再是一個受地理限制、且往往具有嚴重制約作用的因素時，這些產業的最優選址可能會轉向更靠近其客戶、資源或人才的地區。換言之，電力可得性不再是佔主導地位的選址約束之一。對於任何產業的財務、財政和開發規劃而言，這都將帶來根本性的變化。

當工廠或產業不再被迫進入那些承諾能夠提供電力的走廊時，它們便可以自由選擇最適合自身商業模式的地理、產業、政治和財政環境。這將帶來投資、長期擴張規劃以及那些迄今可能未充分發揮潛力地區的本地經濟成長方面的變化。

第三項後果：消除稀缺

人們很容易迅速得出結論，認為這解決了能源難題，而且充裕消除了最終約束：稀缺。

然而，這種結論既過早，也錯誤。最有可能發生的情況是，稀缺會從一個層面轉移到另一個層面。這裡需要對兩者作出重要區分：來源稀缺；最終究竟存在多少能量？以及開發稀缺；能夠獲取這些能量的硬體可以多快製造並安裝？

這是兩個根本不同的問題。即使前者事實上變得充裕（FUSA 情形中的 40,000 GW 工程上限，而非所聲稱的物理極限），後者在初期仍然稀缺。因此，轉型實際上是瓶頸從純粹的電力本身，轉移到能否盡早並有保障地獲得這種電力。

當把經濟成本納入考慮時，這一過程還會進一步加速。太陽核心提取 QET 不需要大規模基礎設施投資，也不依賴資本成本或投資報酬率（ROI）。如果被廣泛採用，合乎邏輯的結果將是形成一個全球電力基準，就像布蘭特原油（Brent crude）一樣。而如果我們假設當前預測是正確的，這一成本將遠低於任何現有技術。

儘管從表面上看，這似乎只是從 A 點移動到 B 點這樣一個簡單變化，但人類制度很重要。如果新的接取層繼承了經典架構中的同樣摩擦、尋租和政治約束，一個潛在的重要收益仍有可能被削弱為“更多同樣的東西”。

第四項後果：價值層轉移

這裡的命題並不是實體電線會消失，而是，如果 FUSA 的技術前提能夠實現規模化，那麼對電線、發電廠、燃料供應和輸電走廊的所有權，可能不再決定誰能夠獲取能源系統中價值最高的層級。

歷史先例比比皆是：Pony Express 與電報、錄製媒體與串流媒體、Bell 時代的電信與網際網路、倫敦金融城的跑腿員與電子 SWIFT 線路等等。

這裡發生的是一種等價的轉移假設：

“舊”世界的：

發電 → 輸電 → 配電 → 電表

將越來越從屬於：

權利 → 資訊 → 分配 → 本地換能器 → 結算

前提是實體架構能夠按所提方案運行。而且這並不是唯一真正具有顛覆性的構想。還有一個問題是探明儲量。通常，這個概念並不適用於電力。但在考慮太陽核心提取技術時，這一規則會發生根本性變化。觀察正在形成的結構：

- FUSA 對一個近乎無限的能源資源擁有受保護、享有特權且獨一無二的策略性取得權；
- 任何人都不能主張對天體擁有所有權，但對其進行開發的權利受到 IST 以及隨後 Artemis Agreements（阿耳忒彌斯協議）的保護；
- 這隨後就會成為 IFRS 框架下有效且可辯護的“探明儲量”。

這聽起來可能只是一個技術細節，但它可能催生出一整類全新的金融工具，包括遠期、期貨、可用於套利的作為資訊貨幣的 QET 等等。

在這些假設之下，不僅電網及其所有權的經濟特權會降低，重要問題也會從“誰擁有能源基礎設施”轉向“誰控制能源服務的取得權”？

接下來就是下一步：

誰來認證、分配、計量並結算這種取得權？

在這樣的情形下，系統的大部分智慧，以及潛在的系統價值，將轉移到硬體棧之上。這又創造了另一種有趣的可能性：能源變得資訊化，而這可能改變一切。

擱淺價值問題

我們所說的不是物理意義上的擱淺，更接近於經濟上的從屬化。但從以上內容來看？

如果在位於 **Y** 的未來資料中心叢集所面臨的電力約束，可以在某項位於 **X** 的發電投資甚至尚未獲得許可、尚未完工、或者其資本成本尚未收回之前，就直接在 **Y** 被消除，那麼為什麼還要花十年時間在 **X** 建設發電設施來服務 **Y**？

其他潛在例子還包括：

- 輸電擴建；
- 假設資本回收期為 30-60 年的發電專案；
- 天然氣管道容量；
- LNG 進口基礎設施；
- 互聯專案；
- 調峰發電；
- 長期電力採購協議；
- 主要因為本地電力可得性而進行的土地或土地權利收購。

分配問題

繼續這一思想實驗，假設實體硬體達到預期、經濟性成立，並且可靠性和可擴展性均得到證明。那麼，一個顯而易見的問題隨之出現：如果部署需求遠遠超過製造能力，會怎樣？

普通讀者可能會傾向於把這稱為一種典型的“幸福的煩惱”：很好，有利於融資；有這樣的積壓訂單，帳面看起來非常漂亮，信用評級也會很好，等等。在傳統架構下，他們的判斷是正確的。

但是，如果我們繼續堅持這個思想實驗，這就不再是一個傳統結構，而更像是世界如何整體看待、使用、發展和體驗“能源”的範式轉變。

而這就帶來了一個令人不安的問題：

必須有人決定誰得到什麼.....

而這應當按其字面意義理解。“某個人”必須作出決定：

- 哪些客戶首先獲得容量單元；
- 哪些國家首先獲得容量；
- 戰略產業是否應獲得優先權，或者哪些產業應當被定義為這樣的“戰略”產業；
- 配額如何定價；
- 分配是否完全遵循商業原則；
- 地理平衡是否重要；
- 政府是否可以預留容量？如果可以……用於什麼目的？；
- 較貧窮經濟體是否能夠取得接取資格，以及標準究竟是人道主義、經濟、戰略還是績效導向；
- 容量是否可以被扣留？更重要的是，由誰扣留？基於什麼理由？

冰冷的現實是：對於一種以更低預測成本提供、且不受同等地理限制的範式轉變技術，有限的部署能力會產生一個幾乎無法避免的後果：

有限的部署能力創造分配權力

以及這句短語所隱含的所有挑戰、責任、殘酷的經濟現實、艱難決策和誘惑。

因此，分配問題也創造了一個治理問題：看似經濟效率最高的標準，仍可能帶來分配、地緣政治和合法性成本。更難的問題是，分配究竟應最大化產出、維持地理平衡、保護戰略部門，還是遵循某種混合規則。

從分配到經濟權力

上一點提出了另一個重要問題：“創造經濟成長”這一概念。如果我們在思想實驗範圍內接受新增電力能夠推動成長——就像記憶體成本下降擴展了運算能力和軟體可能性一樣——那麼，分配大量新增電力可以進一步增加：

- 運算；
- 製造；
- 運輸；
- 工業產出；
- 水和食品生產；
- 金屬；
- 基礎化學品。

於是形成了一個簡單的因果框架：如果電力生產能力的分配會影響生產能力的分配？那麼便可推出：

部署分配 → 能源可得性 → 生產能力 → 經濟成長

這隨後成為中心因果鏈，並以一种高度確定性的方式影響分配問題，因為一個邏輯結果隨之呈現：

在產能受限的轉型期，部署決策可能實質性影響不同經濟體新增能源密集型生產能力的速度。因此，分配權重可以傾向於那些每使用 **1 MW** 電力能夠為全球 **GDP** 增加最多價值的經濟體。

這可能解決若干問題，並避免道德層面的“干擾項”（red herrings）。分配不再取決於主觀判斷，而取決於這種分配在何處能夠整體上最大程度地造福人類。而全球 GDP 產出是衡量這一參數的終極晴雨表。即使這在初期並不是最受歡迎的解決方案，從長期來看，它仍可能是正確的解決方案，以確保每個人都能從“涓滴效應”（trickle down）的經濟效應中受益。

在這裡，區分 3 個經常被混為一談、但含義完全不同的經濟術語就變得非常重要：GDP、調整後 GDP（Adjusted GDP）或 PPP（購買力平價；Purchasing Power Parity），以及制度低效（Institutional Inefficiency）或“生產力不足”（lack of productivity）。

GDP 很直接，也為所有人所熟悉；它是衡量本地原始產出的純粹指標，使用按名義市場匯率換算的本地貨幣。它並不考慮各地價格差異，而只衡量全部金融活動，不包含任何生活水準概念。

然後是 PPP，即“購買力平價”（Purchasing Power Parity），可以把它視為 GDP+：不僅計算總吞吐量，還根據不同貨幣的購買力對 GDP 進行調整。因此，它揭示了人們在本地實際上能夠用自己的錢購買什麼。

最後，還有“直接非生產性逐利”（Direct Unproductive Profit Seeking, DUPS）或制度低效這一概念。換言之：當腐敗、貪腐、衝突、管制俘虜或過度徵稅變得普遍時，人才、資本和生產力就會從財富創造轉向財富攫取。這樣的國家仍可能擁有一定的 GDP 交易規模，但會受到系統性貪腐以及整體生產力損失的壓制。

這也意味著，在我們的全球化體系中，對投資的衡量不再被視為“它會給他們的成長和 GDP 帶來什麼”，而會轉向一個更保守的問題：“已開發國家每投入一美元，能夠避免多少生產力損失”

在這一背景下，可以同時對這 3 項因素進行加權，考慮哪些分配能夠為全球整體生產力產生最大的淨收益。不是地緣政治約束，不是道德約束，也不是純粹的金融指標，而更有效地說：每分配 1 MW，哪一種分配能夠在整體上最大程度造福人類？

而且，如果電力分配與經濟成長存在直接聯繫？那麼這又提出另一個根本性問題：貨幣究竟是什麼？它是本地的貨幣價值嗎？還是像中國等一些先進國家已經開始暗示的那樣，是一種真實而普適的生產力衡量尺度？例如焦耳（Joule）？

到了這裡，事情可能開始變得有趣。如果把上述思想實驗的結果推導到其邏輯結論，就會出現最後一個沒有明說的問題，一個“最終問題”：主權問題……

主權

在傳統體系中，從東方到西方，以及其間的一切，從北到南，各國政府通過各種長期存在的機制對電力施加相當程度的控制。其中一些只是偶然形成，另一些則是為了管理可靠性、定價、安全和戰略依賴而有意設計：

- 發電許可；
- 燃料政策；
- 土地和儲量許可；
- 電網所有權和監管；
- 輸電規劃；
- 互聯；
- 電力市場、套利、天氣溢價；
- 戰略儲備；
- 關稅。

儘管各國都在嘗試通過立法管理“表後”發電和用電，太陽核心提取 QET 技術仍有可能繞過該架構中的部分環節。這會重新提出一個重要問題：

當一種關鍵經濟投入可以在不相應擴張主權基礎設施的情況下部署時？那麼，基礎設施主權究竟存在於哪裡？

通常認為政府具有 5 項核心職能：制定並維護法律、發行貨幣、徵稅、提供內部和外部安全，以及進行經濟管理。上述思想實驗並沒有廢除這些職能；它所追問的是，其中一個重要的基礎設施槓桿是否會變得較少受領土束縛。

企業準主權

企業準主權曾經主要屬於科幻領域，如今已經成為政治學研究中的明確主題。Chung and Dietrich (2026) 描述了一些情形：私人企業把對關鍵基礎設施的掌控、經營決策自主權以及地緣政治或規範性主張結合起來，從而能夠繞過、替代或預先行使國家權力的某些要素。可在全球範圍內規模化部署的能源能力，為這一新興概念提供了一個有用的測試案例。

如果一台量產型“Dave”換能器能夠如宣傳所述運行，那麼由此形成的系統可以依據若干相關標準進行評估：

- 基礎設施掌控：該技術是否控制著對經濟活動或其維繫具有根本意義的事物？
- 營運自主：它能否在不依賴常規國家能源基礎設施或不受其干預的情況下進行國際部署？
- 跨境後果：這樣的私人部署決定是否可能對國家經濟選擇或規劃產生實質性影響？
- 徵稅：如何對從未跨越實體計量點或邊界的能源徵收關稅？既然任何人都不能主張對天體擁有所有權，而開發權卻是普遍存在的；那麼任何單一國家究竟依據什麼框架首先對其徵稅或徵收關稅？

如果這些條件最終出現，現有的跨國公司制度框架可能並不完整。

充裕悖論

從概念上說，能源充裕聽起來天生且不可逆地會推動去中心化。然而，在上述產能爬坡階段，它卻可能產生完全相反的現象：

消除稀缺的能力越有價值，對取得這種能力的權利實施臨時控制就越重要。

最終，這形成一個悖論；底層的充裕，加上暫時性的部署稀缺，等於一種過渡性權力集中。這個過渡階段本身可能創造經濟優勢，使其他參與者日後難以追趕，從而可能產生新的緊張關係，而不是自動帶來通常與充裕聯繫在一起的和平效應。

因此，國家並不會消失

在任何合理結果下，國家仍然會控制社會經濟結構的大部分內容：

- 法律；
- 財產；
- 稅收；
- 安全、國家安全、外交；
- 邊界；
- 貿易；
- 製造業（通過許可）；
- 競爭政策；
- 實體領土。

在任何一種可能結果情形下，都沒有什麼會直接改變這些領域。可能改變的是國家的一種槓桿來源。因為情境已經演變，它並沒有改變政府的基本形態，但可能會重塑對這些形態的具體解釋：

當能源基礎設施對領土的依賴降低時，國家應如何適應？

互聯設施和電網不會在一夜之間消失。恰恰相反，它們仍然保有巨大價值，尤其是在換能器數量無法滿足需求的過渡期。它們可以提供：

- 平衡；
- 配電；
- 傳統供給；
- 冗餘；
- 市場整合；
- 現有資本存量。

但它們的角色最終可能會改變。就像電報取代 Pony Express、DVD 被串流媒體取代，而網際網路又向電信公司表明誰“擁有”電線已經變得無關緊要一樣，這裡也會發生同樣的演化：價值層將發生轉移。

最終，一旦稀缺期結束，公用事業公司將為了生存並尋找新的價值定位而轉型為資訊節點管理者。QET 頻寬將成為新的價值，套利、配電管理以及雙曲網路管理將成為新的利潤中心。最終，公用事業公司可能從不可或缺的能源輸送架構，演變為移動和平衡如今代表能源的資訊的若干方法之一。

而這將是最終的後果：資訊化能源

一種可能的延伸，是本文所謂的因果主權：國家保障獲取支撐關鍵基礎設施的資訊、量子 and 工業能力的的能力。在這一框架下，主權將部分從對燃料和電線的所有權，遷移到對協議、存取權、可信硬體和結算的控制。

這種變化最明顯可能體現在全球化領域，而全球化正是傳統主權經濟權力的基礎之一。原因大家都很熟悉：

今天，各國控制交換與貨物流動，也控制由這種“受控的稀缺價值”所產生的衝突。這些貨物流動對所有人都很熟悉；

- 碳氫化合物；
- 電力；
- 鈾；
- LNG；
- 稀有氣體和稀土礦物；
- 煤炭；
- 精煉燃料；
- 飲用水、食品生產；
- 製成電子產品、半導體、軍事和能源設備。

更廣泛的 Star Law 專案還設想了能源之外的應用，包括邊界化學和遠端量子態層析。這些方案並非本文論證所必需的內容，並且除非得到獨立驗證，否則仍處於本文範圍之外。

如果這些相鄰應用今後得到演示，其主權影響將超出能源領域，並可能影響：

- 貿易平衡；
- 戰略咽喉點；
- 大宗商品外交；
- 制裁；
- 能源安全；
- 產業政策。

AI：直接案例研究

最直接的案例研究可能就是 AI 以及資料中心的演化（無論是在地球上還是太空中）。當前 AI 擴張越來越受到以下因素組合的限制：

- 微處理器
- 資本
- 可能的部署地點
- 冷卻
- 電力
- 用於通訊和 Token 交換的資料骨幹網路、網狀電腦網路

如上所述，如果電力和地理限制得以減弱，AI 擴展的經濟性就會發生變化，屆時便可以合理地追問：

- 運算會更靠近需求端嗎？
- Token 會成為一種即時、可交易的大宗商品嗎？
- 取得算力的機會會擴大嗎？
- 缺乏大型電網的國家會成為可行的運算部署地點嗎？
- 超大規模雲服務商的地理分布會改變嗎？太空會成為一個更可行的選項嗎？
- 能源會不再是主要的限制性基礎設施嗎？
- 那麼，新的瓶頸又是什麼？

經濟成長

能源幾乎是每一個生產部門的基礎性投入要素，如今也包括認知部門。因而，消除一個具有約束力的能源瓶頸，應當擴大可行的生產前沿，儘管這一波成長的幅度將取決於可獲得的資本、熟練勞動力、材料監管以及……需求。

降低一個瓶頸，並不能保證需求按比例成長。採用仍然取決於配套資本、監管、供應鏈、客戶需求和替代技術。因此，本文採用三種採用情形，而不是假設更便宜或更易獲得的能源會自動帶來無限需求。

因此，必須假設三種可能的發展情形：

情形 A - 有限採用：

部署，尤其是在初期，將面向非常具體的高價值瓶頸。完全可能出現這樣一種情況：FUSA 的太陽核心提取 QET 被用於“皇冠明珠”產業，而在現有發電機“已經足夠好”的領域則較難滲透。尤其是因為在大多數情況下，產業並不特別擔心每 MW 的單純成本，而更在意盡早獲得電力的成本以及自身工業設備的成本，因此這種情況是合理的。徹底替換現有解決方案在財務上很可能並不可行。不過也存在明顯的例外，只舉一個例子：太空。

地球上與太空中的每 MW 成本相差幾個數量級，而太陽核心提取 QET 恰好非常適合這類任務。不僅是每 MW 成本，在太空中實施供電也會變得容易得多，而且送入軌道的系統重量更輕。新技術可能會在太空這類新興產業中引發某種“淘金熱”，而不是去升級現有的工業設備和發電機；後者已經折舊並在數十年間被減記到最低價值，同時仍能夠在未來多年滿足預期。

情形 B - 工業採用：

在這一情形下，大型用電戶會越來越多地部署獨立容量。這樣的演化已經可以觀察到，尤其是在電網投入薄弱的國家。又或者，在孟加拉國這樣的國家，由於燃料供應不足（伊朗危機），部分工業產能僅因此便下降多達 50%。政府試圖限制和監管這類“表後”安裝，但最終，經濟和市場壓力很可能會使此類限制無法維持。

典型的先進經濟體較少出現這種演化，因為大型使用者會通過長期公用事業合約對衝價格衝擊，這限制了其能夠“現場”產生的有用電力數量。通常，公用事業合約會包含“不用即失效”（use it or lose it）條款，從而降低使用大規模“表後”解決方案替代其基荷義務的經濟意願，因為無論如何，他們都必須為這些基荷義務付費。

情形 C - 廣泛採用：

如果生產設備能夠充分擴展，換能器可以實現大規模生產，那麼電力可得性將不再是全球生產能力的主要約束。太陽核心提取 QET 將逐步進入生活的每一個方面，從太空這樣的新前沿，到大型工業、商業、醫療保健、住宅、EV 充電、微電網、國防等等。

這一情形對全球成長具有最大的潛在影響。全球本就面臨非常龐大的電網投資需求。MIT 的 2024 年聚變研究估計，在其深度脫碳情形中，到 2100 年末貼現的 GDP 價值為 68 兆美元至 175 兆美元，折算為 2024 年淨現值約為 3.6 兆美元至 8.7 兆美元；與沒有聚變的可比情形相比，全球累計 GDP 高出約 0.4% 至 0.9%。該研究中的傳統聚變仍然需要大型電廠以及併入電網。若太陽核心提取技術還能降低選址和輸電約束，其價值特徵可能會有所不同；本文並不試圖量化這一額外增益。

不會改變的瓶頸

能夠潛在地獲取太陽核心的全部聚變能量，聽起來像是一個理想解決方案。某種 II 型文明躍遷式的舉動。這種構想在願景上值得贊許，但放在我們當前以及近期現實中，同樣會顯得目光短淺。

無論能夠向全球工業肌理中注入多少能量，考慮到這一思想實驗前面討論過的稀缺轉移，有些事物仍需要更長時間才能跟上：

- 勞動力稀缺（包括釋放 AI 認知潛力所需的受過訓練的熟練勞動力）；
- 土地；
- 水；
- 礦物（至少在核列印成熟之前）；
- 半導體供應；
- 物流（同樣取決於邊界列印能夠多快實現規模化）；
- 政治不穩定；
- 資本稀缺；
- 環境外部性；
- 不平等*。

獲得一個（幾乎）永恆、無限、高效且無線的電力來源，確實消除了一個基礎性約束，而且是一個非常大的約束。然而，對於消除上述其他自然“減速帶”，其作用仍然有限。

* 注：

能源充裕並不會自動消除制度、技能、健康或基礎設施方面的不平等。《白宮風雲》（The West Wing）中有一個有用的文化例子：一段關於擴大 AIDS 藥物可及性的虛構討論，核心在於這樣一個事實——光是提供藥物仍不足以解決問題：如果當地人連手錶都沒有，又如何準確掌握時間、安排服藥？這個例子是虛構的；其背後的系統性觀點不是。配套能力決定了家庭、企業和國家能否把更便宜或更充裕的能源轉化為生產性成果。

即使技術在可行性和盈利性上都成立，這些不平等和制度摩擦仍可能持續數十年，應當將它們與能源約束本身分開處理。

危機之前的治理

在思想實驗結束時，仍然懸而未決的主要問題說起來很簡單，但解決起來困難得多，某種意義上像一個戈耳狄俄斯之結（Gordian knot）：

如果部署能力暫時賦予了分配權力，那麼什麼規則應當約束這種權力？

儘管解決這一難題的可能原則相對標準，但其真正落實仍會是一個開放問題，而且很可能會引發激烈爭論：

- 透明的分配標準；
- 公開的定價原則；
- 非歧視，無論是否出於地緣政治原因；
- 獨立技術驗證；
- 競爭保障措施；
- 緊急接管條款；
- 主權參與；
- 可審計性；
- 生產的地理多元化；
- 限制單方面政治附加條件。

最終解決方案很可能是上述各項的某種組合。其實務實施方式，很可能會採用某種類似 Schmidt and Bohacek 在其太空政治學（astropolitical）研究中所發展的結構。

F1 配額概念

在 2020 年《協和協議》（Concorde Agreement）中（該協議早在數十年前就由 Ecclestone 與 FIA 在“Place de la Concorde”制定——名稱也由此而來），F1 的新加入者必須支付一筆“反稀釋”（non-dilution）費用，以保護現有參賽車隊免於因獎金被稀釋而遭受損失。F1 組織者隨後把 F1 營運總利潤的一部分重新分配給車隊，從而保護許可及其盈利能力。

這可能是解決過渡期能力部署稀缺的一種方案。它實際上會保護現有成員的配額，建立一個公平市場，使所有使用者都能從技術的更廣泛採用以及其未來收益中獲益。

製造能力也可以依據當前和預計需求，按比例為不同司法轄區預留。不同經濟體的能源強度和成長路徑差異很大；因此，該公式可以採用透明的前瞻性指標，而不是政治偏好。同樣的邏輯日後還可以應用於太空經濟等新興領域。

其他可能的解決方案還包括：

- 純市場分配；
- 國家預留；
- 戰略產業優先；
- 拍賣；
- 混合制度。

結尾問題

以上所有內容目前都仍是假設性的。然而，有一個有趣的事實性命題依然成立：

技術轉型往往摧毀的實體基礎設施少於它所摧毀的經濟特權。

電報並沒有讓馬消失。

串流媒體並沒有廢除電影院銀幕。

網際網路並沒有消除電信基礎設施。

因此：

如果電力越來越能夠作為一種以資訊為中介的服務進行部署，那麼決定性資產可能不再是對發電和輸電基礎設施的所有權，而變成對授權、部署、計量和結算的控制。

在這場“思想實驗”的結尾，並且一旦 FUSA 架構通過物理驗證並開始部署？

某種事情將已經發生。我們現在還不知道它究竟有多大。但如果這一前提經受住審視，現有假設就不再能夠閉合：

屆時仍會留下五個嚴肅問題，而必須有人回答它們：

1. 當電力能夠在本地部署時，經濟地理會發生什麼？
2. 當供應不再必然依賴國家的發電和輸電系統或服務時，能源主權會發生什麼？
3. 如果底層能源稀缺大幅下降，應當如何分配暫時性的部署稀缺？
4. 一家私人基礎設施提供商，能否在無意這樣做的情況下獲得具有經濟意義的準主權權力？
5. 在這種能力達到規模之前，應當建立哪些制度？

如果技術前提失敗，這些問題都還為時過早。然而，如果它沒有失敗，這些問題就會變得緊迫……

<https://fusionltd.co.uk>

<https://www.fusionltd.co.uk/powering-the-planet.html>

<https://fusionusa.energy>