

不受地理限制的电力

能源充裕、经济权力与分配问题

关于 FUSA 量子太阳核心能量提取技术后果的白皮书。

2026年10月2日

这一思想实验的基本前提如下：

如果可用电力能够以大规模部署，并且独立于传统发电、实体占地、燃料供应和输电地理条件？那么，能源就不再仅仅是商品和基础设施问题，而会成为经济地理、产业分配、谁控制配额——因而也控制增长——的问题，并最终提出治理以及国家核心权能的问题。

我们所熟知的世界

能源是物理功和经济吞吐量的基本货币。它是经济体为了实现增长、稳定和社会凝聚而必须生产、分配和管理的终极物理现实。然而，在我们现代的数字化、数据驱动型经济中，现实比单纯是否拥有“原始电力”要更为复杂。

人类的认知劳动和体力劳动目前限制着价值创造和经济增长的速度。但人类认知资本有限，并受到地理约束。培养新的头脑需要数年，有时甚至数十年。与此同时，现有的知识经验会随着人员退休、死亡而消失，从而形成能力缺口。有时，正在培养的认知能力在培训结束时已经不再相关。因此，经济体被困在一场长期的“打地鼠”游戏中：一边是市场需求，一边是现有的人才资本以及培养新一代所需的时间，同时还叠加了对未来究竟需要哪些能力的“前瞻性”猜测。随着进步的时间尺度被压缩，这一做法也变得更加紧迫；一个十年的时间已不再等同于一个十年的进步。然而，过去一个世纪里，人才培养体系几乎没有发生任何变化。

因此，我们最有可能获得的即时认知倍增器，是开始用数字心智来补充（并最终取代）生物学瓶颈。这是 AI 竞赛背后未被明说的现实与驱动力。

下一步的逻辑，是利用这种数字能力，在自动化分子制造领域更快实现科学突破。当前材料在物理层面的稀缺限制了制造能力的即时扩张。原则上，纳米技术、ER/EPR 边界化学和分子打印可以消除供应中断风险与物流延误，并将材料价值降至其效用成本。

反过来，这将需要一种普适的全球计算基础设施：经济协调以及物理自动化与认知自动化，都要求实时进行高带宽数据处理。全球基础设施必须能够同时处理指数级优化任务，并对恶意干扰具有强化防护能力。

随着全球量子互联网骨干网、零延迟物流同步以及覆盖每一个工业节点的更优资源分配方案取得进展，这种演化已经开始显现。

最后，这一高速增长引擎还需要一个全新的协议层价值路由生态系统。将人为中介从全球供应链分配和金融资产交易、法律核验之中移除，同时建立允许近实时、即时价值交换和套利的信任架构。

但所有这一切的最底层，仍然是能源。电力依旧受到地理限制：在发达地区广泛可得且价格可承受，在其他地区则稀缺或依赖补贴，增长因而成为国家的财政负担。即便在先进经济体中，电网并网也已经成为瓶颈。由劳伦斯伯克利国家实验室（Lawrence Berkeley National Laboratory）牵头的一项发表于《Joule》的 2024 年研究分析了超过 38,000 个美国项目，发现截至 2023 年底，活跃并网队列中共有 2,600 GW，接入时间较此前十年增加了 70%，退出率约为 80% (Gorman et al., 2024)。问题越来越不仅在于能否获得投资，而在于获得接入需要多长时间，以及工业设备何时才能开始创造价值并产生投资回报。

这主要是因为需要新增容量，而大型新增负荷不可避免地需要发电、燃料、输电与物流、变电站、许可，以及.....时间的某种组合。鉴于其占地和生态破坏，太阳能和风能已经证明并非它们曾承诺的万能药。核能是一个有效解决方案，但监管程序漫长，投资回报周期慢到难以预测。所需的规划电网投入将以万亿计，而且往往卡在土地许可、诉讼等环节。

因此，能源可得性最终会影响工业、数据中心、矿山、工厂和物流枢纽能够在哪里扩张，也会影响为后者提供人员的劳动力。而这又构成另一个矛盾：人们希望附近有经济机会，却拒绝接受由此必然带来的基础设施选择。

因此，各国政府将能源基础设施视为具有战略重要性，并主动利用、监管和控制它，以维护其权力与战略影响力，并管理可靠性、可负担性、安全以及地缘政治独立性。

隐藏的假设

几乎每一种能源政策模型，都在其基础上包含同一个隐含假设：

新增电力需要在某个地方新增传统能源基础设施。

这可以采取多种形式，有时看起来甚至彼此并不相关：

- “表后”大规模发电的许可证（例如：燃气轮机）；
- 新的发电场址，例如可再生能源或核能；
- 额外的燃料、采矿资源以及开采许可权；
- 输电和配电，以及对其的所有权；
- 储能；
- 互联设施、长期权利和配电法规；
- 电网加固，以及对其中所使用材料的授权；
- 上述各项的某种组合。

这也把我们带到了本文的中心主题：

如果这一假设不再必然成立，会发生什么变化？

现代文明一直围绕这样一种假设组织起来：有用电力受到地理限制，并与实体发电和输电基础设施绑定。**FUSA** 以其 **Quantum Solar Core Extraction** 技术为基础，已经积累了足够的证据，可以提出一个合理的问题；如果这一假设不再是绝对的，会发生什么？

FUSA；技术方案

FUSA 是一家量子技术公司，目前正在开发一种可部署的电力架构，其基础是与量子能量传送相关的工作。其技术项目所要回答的问题是：能否在本地提取有用能量，而不依赖传统的本地燃料—发电—输电物流链？

量子能量传送（QET）是一种最早于 2008 年描述的协议，其本身建立在更早的量子态传送（QST）和量子信息传送（QIT）协议之上；后二者自 1993 年起便已存在，是现代量子计算以及即将到来的量子互联网技术的基石。

用通俗的话说，该协议基于一些广为人知的量子行为：一方（通常称为 Alice）对一个可观测的量子能量特征进行量子测量。这个“坍缩”的量子态（之所以坍缩，是因为它已被“观测”，因此不再是状态叠加）随后通过经典方式传输到本地距离较远的实施地点（在量子领域中常称为 Bob 或 Dave），这一链路被称为“局域操作与经典通信”，即 LOCC。

“Dave”单元接收这条消息，并在其自己的量子系统上实施反演哈密顿量（inverted Hamiltonian；该系统通常是与 Alice 共享的资源）。正是这一操作，使“Dave”能够提取“本来由 Alice 观测到”的能量。这就是 QET 的本质。

这里需要特别注意的是，Alice 的消息是通过经典方式传输的，因此；即使 Dave 可以即时获取 Alice 所观测到的能量（Dave 无须像传统方式那样等待 Alice 的能量—波—束—包或其他任何东西到达他的本地），消息本身的速度始终低于光速，因此因果律被严格维持。第二个需要理解的重要概念是，Alice 所观测到的能量并不是唯一的。换言之，如果 Alice 观测到 10，并把她的消息发送给位于彼此不同地点的十个 Dave，那么每个 Dave 都会收到一个数值为 1 的能量包，因此该系统从其本质上就可以形成网络并实现网络化。关键在于总账本，也就是说：任何人都不能从中扣除超过最初测得账本总量的数值。

最后，也许也是最重要的一点；Alice 与 Dave 之间不存在内在的距离限制。量子物理中没有任何东西限制 QET 的应用范围。正是这种对物理距离不敏感、深具量子特征的概念，被爱因斯坦（Einstein）著名地称为“鬼魅般的超距作用”（spooky action at a distance）。在我们的情形中，这意味着：Alice 在迪拜，而 Dave 在休斯敦、新加坡，甚至火星，对协议本身及其有效性都没有丝毫差别。

在今天，QET 协议正被积极使用并进一步研究，用于各种现实应用，例如量子电池、为远程量子计算机供能并将其组成去中心化集群、新型量子互联网，以及 FUSA 所选择的应用；在无需任何资本密集、受地理和政治限制的“经典”基础设施的情况下传输具有实际意义的能量。

这个想法很简单：如果我们能够把太阳核心聚变作为“Alice”所观测的能量发生器，然后通过一个双曲网状网络把这一特征分发给全球（或太空中的）用户，从而直接从太阳核心一直到最终使用点提供可靠、具有实际意义的能量，会怎样？

过去数年中，FUSA 已经建立了大量内部理论、实验和工程证据。该项目目前已经发展到这样一个阶段：详细设计基本完成，下一项计划中的步骤就是实体制造。

上述证据的演进可以简要描述如下：

- 2018-2020：首次开展关于一种新型聚变过程的理论工作，以量子技术、核压缩和 ER/EPR 猜想作为工作基础，而不是仅依靠惯性约束或磁约束系统。最初，这一工作旨在为一种新型 SSTO 飞行器设计提供动力，以将有效载荷送入太空。
- 2022：“Star Law”或“Entanglement Relativity”框架的起源。该框架围绕两个（当时的）猜想建立：
 - ER/EPR 全息对偶：即；在我们 3+1D 的“体”现实中存在或发生的任何事物，在远端边界上都有一个更低维的 2D 数学描述。该对偶是真实存在且尺度不变的。
 - 纠缠像能量一样，是一种守恒量。即；纠缠是一个普适的总量，不能被销毁，而只会被时间膨胀（宇宙学常数）或测量（观测问题）等因素“重新分配”。
- 2024：成功测试“Magnetar”聚变反应堆，这是现实世界中第一个工程化的 ER/EPR 全息对偶聚变应用，同时使用了全息原理，以及当时仍属于开发中 Star Law 框架理论的概念。
- 2026年1月：完成 Star Law 框架及其附录，并从第一性原理出发完成数学证明，精度达到 1% 以内（据我们所知，这是任何第一性原理（First Principles）方法首次在不使用拟合参数的情况下获得此类结果）：
 - 宇宙学常数；
 - 暗能量 / 暗物质 / DME 划分；
 - 与子弹星系团（Bullet Cluster）行为的相关性；
 - 解释汤川层级（Yukawa hierarchy）及其逻辑；
 - 广义相对论和量子力学各自的适用极限（注：我们并不声称二者已实现统一）；
 - 质子的能量与重量，以及标准模型（Standard Model）直至希格斯玻色子（Higgs Boson）的结果；
 - ER/EPR 对偶的真实性和适用范围，以及爱因斯坦—罗森桥（Einstein-Rosen bridges，常被通俗称为“虫洞”/wormholes）的物理存在；
 - 玻恩规则（Born rule）、洛伦兹对称性（Lorentz Symmetry）以及普适速度常数“c”的涌现。
- 2026年4月：“Alice”太阳核心提取系统获得理论验证和物理演示。这是所提出的 QET 太阳核心提取能源生态系统的核心支柱。其本质是一套能够检测并利用太阳核心聚变所具有的标志性量子态特征——例如高频重力波（High Frequency Gravity Waves）和中微子（Neutrinos）——从而获得太阳核心聚变可靠特征信号的系统。
- 2026年4月：在一个不可违背的量子协议之下，“Alice”系统被实施了 40 TW（40,000 GW）的安全工程上限。
- 2026年5月：申请英国专利保护，并依据 PCT 寻求国际保护；FUSA 太阳核心提取 QET 系统及其进一步应用获授了保护日期。
- 2026年8月：FUSA 完成了一系列 IBM Quantum 硬件测试活动，包括超过 400,000 次测量（涉及 150 个量子比特（qubits），据我们所知这创下了纪录），用于测试其太阳核心提取 QET 协议。在 FUSA 的系统级归一化下，测得的功映射对应于超过 5 TW 的等效值；QPU 本身并未在物理上输送太瓦级电能。
- 2026年8月：获得对 IP、技术和专利的外部独立估值；

- 2026年9月：完成对“Dave”换能器的最终工程设计验证，该换能器用于把“Alice”的太阳核心提取能量转换为本地电网“表后”的有用电力。验证了两套系统：10-100 kW 和 1-30MW。

上述大部分内容均在 FUSA 网站上有详细说明，或在确认存在认真意向后可依据 NDA 提供。由此形成的换能器旨在为地球（或太空）用途提取具有实际意义且可扩展的电力。剩余挑战并非理论问题，也不是工程问题；这些证明的确定性已超过 80%。剩余挑战在于寻找实现此类换能器大规模生产并通过随之而来的“规模经济”降低其成本的方法。

思想实验

理论和实验证据的整体已经发展到足以开展思想实验的程度：为了经济分析的目的，假设这一技术方案已经得到验证、可重复并且可扩展？

接下来会发生什么？

第一项后果：地理限制

传统电力具有空间受限的架构。FUSA 所提出的架构旨在削弱这种依赖。经典链条在技术和市场结构上已经发生变化，但其基本物理顺序仍然为人所熟悉：

资源 → 发电 → 输电 → 配电 → 消费者

FUSA 的太阳核心提取 QET 不受距离或地理条件约束，并且完全在表后运行，不需要任何形式的现场发电，也不承担其相应的占地或资本负担：

太阳核心 → Alice 能量系统 → Dave 换能器 / 消费者

这反过来有可能降低对以下因素的依赖：

- 输电走廊；
- 互联设施；
- 与发电端的接近程度；
- 本地燃料可得性；
- 天气；
- 电网拥堵或其状态；
- 耗时漫长的发电系统建设。

这并不是说这些系统会在一夜之间消失，它们不会。更可能发生的是，在非常近的时期内，它们的决定性会有所下降。

第二项后果：工业地理发生变化

一旦电力受到的地理限制减少，就可以进一步追问：那些目前高度依赖这些地理约束的产业会发生什么？例如：

- 海水淡化 / 水净化；
- AI 计算；
- 数据中心；
- 半导体制造；
- 铝和钢铁冶炼厂及轧钢厂；
- 原料及基础化学品生产；
- 氢气和绿色氢气生产、稀有气体处理与调理；
- 合成燃料生产；
- 采矿和精炼；
- 电气化运输；
- 先进制造。

当能源不再是一个受地理限制、且往往具有严重制约作用的因素时，这些产业的最优选址可能会转向更靠近其客户、资源或人才的地区。换言之，电力可得性不再是占主导地位的选址约束之一。对于任何产业的财务、财政和开发规划而言，这都将带来根本性的变化。

当工厂或产业不再被迫进入那些承诺能够提供电力的走廊时，它们便可以自由选择最适合自身商业模式的地理、产业、政治和财政环境。这将带来投资、长期扩张规划以及那些迄今可能未充分发挥潜力地区的本地经济增长方面的变化。

第三项后果：消除稀缺

人们很容易迅速得出结论，认为这解决了能源难题，而且充裕消除了最终约束：稀缺。

然而，这种结论既过早，也错误。最有可能发生的情况是，稀缺会从一个层面转移到另一个层面。这里需要对两者作出重要区分：来源稀缺；最终究竟存在多少能量？以及开发稀缺；能够获取这些能量的硬件可以多快制造并安装？

这是两个根本不同的问题。即使前者事实上变得充裕（FUSA 情形中的 40,000 GW 工程上限，而非所声称的物理极限），后者在初期仍然稀缺。因此，转型实际上是瓶颈从纯粹的电力本身，转移到能否尽早并有保障地获得这种电力。

当把经济成本纳入考虑时，这一过程还会进一步加速。太阳核心提取 QET 不需要大规模基础设施投资，也不依赖资本成本或投资回报率（ROI）。如果被广泛采用，合乎逻辑的结果将是形成一个全球电力基准，就像布伦特原油（Brent crude）一样。而如果我们假设当前预测是正确的，这一成本将远低于任何现有技术。

尽管从表面上看，这似乎只是从 A 点移动到 B 点这样一个简单变化，但人类制度很重要。如果新的接入层继承了经典架构中的同样摩擦、寻租和政治约束，一个潜在的重要收益仍有可能被削弱为“更多同样的东西”。

第四项后果：价值层转移

这里的命题并不是实体电线会消失，而是，如果 FUSA 的技术前提能够实现规模化，那么对电线、发电站、燃料供应和输电走廊的所有权，可能不再决定谁能够获取能源系统中价值最高的层级。

历史先例比比皆是：Pony Express 与电报、录制媒体与流媒体、Bell 时代的电信与互联网、伦敦金融城的跑腿员与电子 SWIFT 线路等等。

这里发生的是一种等价的转移假设：

“旧”世界的：

发电 → 输电 → 配电 → 电表

将越来越从属于：

权利 → 信息 → 分配 → 本地换能器 → 结算

前提是实体架构能够按所提方案运行。而且这并不是唯一真正具有颠覆性的构想。还有一个问题是探明储量。通常，这个概念并不适用于电力。但在考虑太阳核心提取技术时，这一规则会发生根本性变化。观察正在形成的结构：

- FUSA 对一个近乎无限的能源资源拥有受保护、享有特权且独一无二的战略获取权；
- 任何人都不能主张对天体拥有所有权，但对其进行开发的权利受到 IST 以及随后 Artemis Agreements（阿耳忒弥斯协议）的保护；
- 这随后就会成为 IFRS 框架下有效且可辩护的“探明储量”。

这听起来可能只是一个技术细节，但它可能催生出一整类全新的金融工具，包括远期、期货、可用于套利的作为信息货币的 QET 等等。

在这些假设之下，不仅电网及其所有权的经济特权会降低，重要问题也会从“谁拥有能源基础设施”转向“谁控制能源服务的获取权”？

接下来就是下一步：

谁来认证、分配、计量并结算这种获取权？

在这样的情形下，系统的大部分智能，以及潜在的系统价值，将转移到硬件栈之上。这又创造了另一种有趣的可能性：能源变得信息化，而这可能改变一切。

搁浅价值问题

我们所说的不是物理意义上的搁浅，更接近于经济上的从属化。但从以上内容来看？

如果在位于 **Y** 的未来数据中心集群所面临的电力约束，可以在某项位于 **X** 的发电投资甚至尚未获得许可、尚未完工、或者其资本成本尚未收回之前，就直接在 **Y** 被消除，那么为什么还要花十年时间在 **X** 建设发电设施来服务 **Y**？

其他潜在例子还包括：

- 输电扩建；
- 假设资本回收期为 30-60 年的发电项目；
- 天然气管道容量；
- LNG 进口基础设施；
- 互联项目；
- 调峰发电；
- 长期电力采购协议；
- 主要因为本地电力可得性而进行的土地或土地权利收购。

分配问题

继续这一思想实验，假设实体硬件达到预期、经济性成立，并且可靠性和可扩展性均得到证明。那么，一个显而易见的问题随之出现：如果部署需求远远超过制造能力，会怎样？

普通读者可能会倾向于把这称为一种典型的“幸福的烦恼”：很好，有利于融资；有这样的积压订单，账面看起来非常漂亮，信用评级也会很好，等等。在传统架构下，他们的判断是正确的。

但是，如果我们继续坚持这个思想实验，这就不再是一个传统结构，而更像是世界如何整体看待、使用、发展和体验“能源”的范式转变。

而这就带来了一个令人不安的问题：

必须有人决定谁得到什么.....

而这应当按其字面意义理解。“某个人”必须作出决定：

- 哪些客户首先获得容量单元；
- 哪些国家首先获得容量；
- 战略产业是否应获得优先权，或者哪些产业应当被定义为这样的“战略”产业；
- 配额如何定价；
- 分配是否完全遵循商业原则；
- 地理平衡是否重要；
- 政府是否可以预留容量？如果可以……用于什么目的？；
- 较贫穷经济体是否能够获得接入机会，以及标准究竟是人道主义、经济、战略还是绩效导向；
- 容量是否可以被扣留？更重要的是，由谁扣留？基于什么理由？

冰冷的现实是：对于一种以更低预测成本提供、且不受同等地理限制的范式转变技术，有限的部署能力会产生一个几乎无法避免的后果：

有限的部署能力创造分配权力

以及这句短语所隐含的所有挑战、责任、残酷的经济现实、艰难决策和诱惑。

因此，分配问题也创造了一个治理问题：看似经济效率最高的标准，仍可能带来分配、地缘政治和合法性成本。更难的问题是，分配究竟应最大化产出、维持地理平衡、保护战略部门，还是遵循某种混合规则。

从分配到经济权力

上一点提出了另一个重要问题：“创造经济增长”这一概念。如果我们在思想实验范围内接受新增电力能够推动增长——就像存储器成本下降扩展了计算能力和软件可能性一样——那么，分配大量新增电力可以进一步增加：

- 计算；
- 制造；
- 运输；
- 工业产出；
- 水和食品生产；
- 金属；
- 基础化学品。

于是形成了一个简单的因果框架：如果电力生产能力的分配会影响生产能力的分配？那么便可推出：

部署分配 → 能源可得性 → 生产能力 → 经济增长

这随后成为中心因果链，并以一种高度确定性的方式影响分配问题，因为一个逻辑结果随之呈现：

在产能受限的转型期，部署决策可能实质性影响不同经济体新增能源密集型生产能力的速度。因此，分配权重可以倾向于那些每使用 **1 MW** 电力能够为全球 **GDP** 增加最多价值的经济体。

这可能解决若干问题，并避免道德层面的“干扰项”（red herrings）。分配不再取决于主观判断，而取决于这种分配在何处能够整体上最大程度地造福人类。而全球 GDP 产出是衡量这一参数的终极晴雨表。即使这在初期并不是最受欢迎的解决方案，从长期来看，它仍可能是正确的解决方案，以确保每个人都能从“涓滴效应”（trickle down）的经济效应中受益。

在这里，区分 3 个经常被混为一谈、但含义完全不同的经济术语就变得非常重要：GDP、调整后 GDP（Adjusted GDP）或 PPP（购买力平价；Purchasing Power Parity），以及制度低效（Institutional Inefficiency）或“生产力不足”（lack of productivity）。

GDP 很直接，也为所有人所熟悉；它是衡量本地原始产出的纯粹指标，使用按名义市场汇率换算的本地货币。它并不考虑各地价格差异，而只衡量全部金融活动，不包含任何生活水平概念。

然后是 PPP，即“购买力平价”（Purchasing Power Parity），可以把它视为 GDP+：不仅计算总吞吐量，还根据不同货币的购买力对 GDP 进行调整。因此，它揭示了人们在本地实际上能够用自己的钱购买什么。

最后，还有“直接非生产性逐利”（Direct Unproductive Profit Seeking, DUPS）或制度低效这一概念。换言之：当腐败、贪腐、冲突、监管俘获或过度征税变得普遍时，人才、资本和生产力就会从财富创造转向财富攫取。这样的国家仍可能拥有一定的 GDP 交易规模，但会受到系统性贪腐以及整体生产力损失的压制。

这也意味着，在我们的全球化体系中，对投资的衡量不再被视为“他们会带来的增长和 GDP 带来什么”，而会转向一个更保守的问题：“发达国家每投入一美元，能够避免多少生产力损失”

在这一背景下，可以同时对这 3 项因素进行加权，考虑哪些分配能够为全球整体生产力产生最大的净收益。不是地缘政治约束，不是道德约束，也不是纯粹的金融指标，而更有效地说：每分配 1 MW，哪一种分配能够在整体上最大程度造福人类？

而且，如果电力分配与经济增长存在直接联系？那么这又提出另一个根本性问题：货币究竟是什么？它是本地的货币价值吗？还是像中国等一些先进国家已经开始暗示的那样，是一种真实而普适的生产力衡量尺度？例如焦耳（Joule）？

到了这里，事情可能开始变得有趣。如果把上述思想实验的结果推导到其逻辑结论，就会出现最后一个没有明说的问題，一个“最终问题”：主权问题……

主权

在传统体系中，从东方到西方，以及其间的一切，从北到南，各国政府通过各种长期存在的机制对电力施加相当程度的控制。其中一些只是偶然形成，另一些则是为了管理可靠性、定价、安全和战略依赖而有意设计：

- 发电许可；
- 燃料政策；
- 土地和储量许可；
- 电网所有权和监管；
- 输电规划；
- 互联；
- 电力市场、套利、天气溢价；
- 战略储备；
- 关税。

尽管各国都在尝试通过立法管理“表后”发电和用电，太阳核心提取 QET 技术仍有可能绕过该架构中的部分环节。这会重新提出一个重要问题：

当一种关键经济投入可以在不相应扩张主权基础设施的情况下部署时？那么，基础设施主权究竟存在于哪里？

通常认为政府具有 5 项核心职能：制定并维护法律、发行货币、征税、提供内部和外部安全，以及进行经济管理。上述思想实验并没有废除这些职能；它所追问的是，其中一个重要的基础设施杠杆是否会变得较少受领土束缚。

企业准主权

企业准主权曾经主要属于科幻领域，如今已经成为政治学研究中的明确主题。Chung and Dietrich (2026) 描述了一些情形：私人企业把对关键基础设施的掌控、经营决策自主权以及地缘政治或规范性主张结合起来，从而能够绕过、替代或预先行使国家权力的某些要素。可在全球范围内规模化部署的能源能力，为这一新兴概念提供了一个有用的测试案例。

如果一台量产型“Dave”换能器能够如宣传所述运行，那么由此形成的系统可以依据若干相关标准进行评估：

- 基础设施掌控：该技术是否控制着对经济活动或其维系具有根本意义的事物？
- 运营自主：它能否在不依赖常规国家能源基础设施或不受其干预的情况下进行国际部署？
- 跨境后果：这样的私人部署决定是否可能对国家经济选择或规划产生实质性影响？
- 征税：如何对从未跨越实体计量点或边界的能源征收关税？既然任何人都不能主张对天体拥有所有权，而开发权却是普遍存在的；那么任何单一国家究竟依据什么框架首先对其征税或征收关税？

如果这些条件最终出现，现有的跨国公司制度框架可能并不完整。

充裕悖论

从概念上说，能源充裕听起来天生且不可逆地会推动去中心化。然而，在上述产能爬坡阶段，它却可能产生完全相反的现象：

消除稀缺的能力越有价值，对获得这种能力的权利实施临时控制就越重要。

最终，这形成一个悖论；底层的充裕，加上暂时性的部署稀缺，等于一种过渡性权力集中。这个过渡阶段本身可能创造经济优势，使其他参与者日后难以追赶，从而可能产生新的紧张关系，而不是自动带来通常与充裕联系在一起的和平效应。

因此，国家并不会消失

在任何合理结果下，国家仍然会控制社会经济结构的大部分内容：

- 法律；
- 财产；
- 税收；
- 安全、国家安全、外交；
- 边界；
- 贸易；
- 制造业（通过许可）；
- 竞争政策；
- 实体领土。

在任何一种可能结果情形下，都没有什么会直接改变这些领域。可能改变的是国家的一种杠杆来源。因为情境已经演变，它并没有改变政府的基本形态，但可能会重塑对这些形态的具体解释：

当能源基础设施对领土的依赖降低时，国家应如何适应？

互联设施和电网不会在一夜之间消失。恰恰相反，它们仍然保有巨大价值，尤其是在换能器数量无法满足需求的过渡期。它们可以提供：

- 平衡；
- 配电；
- 传统供给；
- 冗余；
- 市场整合；
- 现有资本存量。

但它们的角色最终可能会改变。就像电报取代 Pony Express、DVD 被流媒体取代，而互联网又向电信公司表明谁“拥有”电线已经变得无关紧要一样，这里也会发生同样的演化：价值层将发生转移。

最终，一旦稀缺期结束，公用事业公司将为了生存并寻找新的价值定位而转型为信息节点管理者。QET 带宽将成为新的价值，套利、配电管理以及双曲网络管理将成为新的利润中心。最终，公用事业公司可能从不可或缺的能源输送架构，演变为移动和平衡如今代表能源的信息的若干方法之一。

而这将是最终的后果：信息化能源

一种可能的延伸，是本文所谓的因果主权：国家保障获取支撑关键基础设施的信息、量子 and 工业能力的能力。在这一框架下，主权将部分从对燃料和电线的所有权，迁移到对协议、获取权、可信硬件和结算的控制。

这种变化最明显可能体现在全球化领域，而全球化正是传统主权经济权力的基础之一。原因大家都很熟悉：

今天，各国控制交换与货物流动，也控制由这种“受控的稀缺价值”所产生的冲突。这些货物流动对所有人都很熟悉；

- 碳氢化合物；
- 电力；
- 铀；
- LNG；
- 稀有气体和稀土矿物；
- 煤炭；
- 精炼燃料；
- 饮用水、食品生产；
- 制成电子产品、半导体、军事和能源设备。

更广泛的 Star Law 项目还设想了能源之外的应用，包括边界化学和远程量子态层析成像。这些方案并非本文论证所必需的内容，并且除非得到独立验证，否则仍处于本文范围之外。

如果这些相邻应用今后得到演示，其主权影响将超出能源领域，并可能影响：

- 贸易平衡；
- 战略咽喉点；
- 大宗商品外交；
- 制裁；
- 能源安全；
- 产业政策。

AI：直接案例研究

最直接的案例研究可能就是 AI 以及数据中心的演化（无论是在地球上还是太空中）。当前 AI 扩张越来越受到以下因素组合的限制：

- 微处理器
- 资本
- 可能的部署地点
- 冷却
- 电力
- 用于通信和 Token 交换的数据骨干网、网状计算机网络

如上所述，如果电力和地理限制得以减弱，AI 扩展的经济性就会发生变化，届时便可以合理地追问：

- 计算会更靠近需求端吗？
- Token 会成为一种实时、可交易的大宗商品吗？
- 算力的可获得性会提高吗？
- 缺乏大型电网的国家会成为可行的计算部署地点吗？
- 超大规模云服务商的地理分布会改变吗？太空会成为一个更可行的选项吗？
- 能源会不再是主要的限制性基础设施吗？
- 那么，新的瓶颈又是什么？

经济增长

能源几乎是每一个生产部门的基础性赋能投入，如今也包括认知部门。因而，消除一个具有约束力的能源瓶颈，应当扩大可行的生产前沿，尽管这一波增长的幅度将取决于可获得的资本、熟练劳动力、材料监管以及……需求。

降低一个瓶颈，并不能保证需求按比例增长。采用仍然取决于配套资本、监管、供应链、客户需求和替代技术。因此，本文采用三种采用情形，而不是假设更便宜或更易获得的能源会自动带来无限需求。

因此，必须假设三种可能的发展情形：

情形 A - 有限采用：

部署，尤其是在初期，将面向非常具体的高价值瓶颈。完全可能出现这样一种情况：FUSA 的太阳核心提取 QET 被用于“皇冠明珠”产业，而在现有发电机“已经足够好”的领域则较难渗透。尤其是因为在大多数情况下，产业并不特别担心每 MW 的单纯成本，而更在意尽早获得电力的成本以及自身工业设备的成本，因此这种情况是合理的。彻底替换现有解决方案在财务上很可能并不可行。不过也存在明显的例外，只举一个例子：太空。

地球上与太空中的每 MW 成本相差几个数量级，而太阳核心提取 QET 恰好非常适合这类任务。不仅是每 MW 成本，在太空中实施供电也会变得容易得多，而且送入轨道的系统重量更轻。新技术可能会在太空这类新兴产业中引发某种“淘金热”，而不是去升级现有的工业设备和发电机；后者已经折旧并在数十年间被减记到最低价值，同时仍能够在未来多年满足预期。

情形 B - 工业采用：

在这一情形下，大型用电户会越来越多地部署独立容量。这样的演化已经可以观察到，尤其是在电网投入薄弱的国家。又或者，在孟加拉国这样的国家，由于燃料供应不足（伊朗危机），部分工业产能仅因此便下降多达 50%。政府试图限制和监管这类“表后”安装，但最终，经济和市场压力很可能会使此类限制无法维持。

典型的先进经济体较少出现这种演化，因为大型用户会通过长期公用事业合同对冲价格冲击，这限制了其能够“现场”产生的有用电力数量。通常，公用事业合同会包含“不用即失效”（use it or lose it）条款，从而降低使用大规模“表后”解决方案替代其基荷义务的经济意愿，因为无论如何，他们都必须为这些基荷义务付费。

情形 C - 广泛采用：

如果生产设备能够充分扩展，换能器可以实现大规模生产，那么电力可得性将不再是全球生产能力的主要约束。太阳核心提取 QET 将逐步进入生活的每一个方面，从太空这样的新前沿，到大型工业、商业、医疗保健、住宅、EV 充电、微电网、国防等等。

这一情形对全球增长具有最大的潜在影响。全球本就面临非常庞大的电网投资需求。MIT 的 2024 年聚变研究估计，在其深度脱碳情形中，到 2100 年末贴现的 GDP 价值为 68 万亿美元至 175 万亿美元，折算为 2024 年净现值约为 3.6 万亿美元至 8.7 万亿美元；与没有聚变的可比情形相比，全球累计 GDP 高出约 0.4% 至 0.9%。该研究中的传统聚变仍然需要大型电站以及并入电网。若太阳核心提取技术还能降低选址和输电约束，其价值特征可能会有所不同；本文并不试图量化这一额外增益。

不会改变的瓶颈

能够潜在地获取太阳核心的全部聚变能量，听起来像是一个理想解决方案。某种 II 型文明跃迁式的举动。这种构想在愿景上值得赞许，但放在我们当前以及近期现实中，同样会显得目光短浅。

无论能够向全球工业肌理中注入多少能量，考虑到这一思想实验前面讨论过的稀缺转移，有些事物仍需要更长时间才能跟上：

- 劳动力稀缺（包括释放 AI 认知潜力所需的受过训练的熟练劳动力）；
- 土地；
- 水；
- 矿物（至少在核打印成熟之前）；
- 半导体供应；
- 物流（同样取决于边界打印能够多快实现规模化）；
- 政治不稳定；
- 资本稀缺；
- 环境外部性；
- 不平等*。

获得一个（几乎）永恒、无限、高效且无线的电力来源，确实消除了一个基础性约束，而且是一个非常大的约束。然而，对于消除上述其他自然“减速带”，其作用仍然有限。

* 注：

能源充裕并不会自动消除制度、技能、健康或基础设施方面的不平等。《白宫风云》（The West Wing）中有一个有用的文化例子：一段关于扩大 AIDS 药物可及性的虚构讨论，核心在于这样一个事实——仅仅提供药物仍不足以解决问题：如果当地人连手表都没有，又如何准确把握时间、安排服药？这个例子是虚构的；其背后的系统性观点不是。配套能力决定了家庭、企业和国家能否把更便宜或更充裕的能源转化为生产性成果。

即使技术在可行性和盈利性上都成立，这些不平等和制度摩擦仍可能持续数十年，应当将它们与能源约束本身分开处理。

危机之前的治理

在思想实验结束时，仍然悬而未决的主要问题说起来很简单，但解决起来困难得多，某种意义上像一个戈耳狄俄斯之结（Gordian knot）：

如果部署能力暂时赋予了分配权力，那么什么规则应当约束这种权力？

尽管解决这一难题的可能原则相对标准，但其真正落实仍会是一个开放问题，而且很可能会引发激烈争论：

- 透明的分配标准；
- 公开的定价原则；
- 非歧视，无论是否出于地缘政治原因；
- 独立技术验证；
- 竞争保障措施；
- 紧急接入条款；
- 主权参与；
- 可审计性；
- 生产的地理多元化；
- 限制单方面政治附加条件。

最终解决方案很可能是上述各项的某种组合。其实务实施方式，很可能会采用某种类似 Schmidt and Bohacek 在其太空政治学（astropolitical）研究中所发展的结构。

F1 配额概念

在 2020 年《协和协议》（Concorde Agreement）中（该协议早在数十年前就由 Ecclestone 与 FIA 在“Place de la Concorde”制定——名称也由此而来），F1 的新加入者必须支付一笔“反稀释”（non-dilution）费用，以保护现有参赛车队免于因奖金被稀释而遭受损失。F1 组织者随后把 F1 运营总利润的一部分重新分配给车队，从而保护许可及其盈利能力。

这可能是解决过渡期能力部署稀缺的一种方案。它实际上会保护现有成员的配额，建立一个公平市场，使所有用户都能从技术的更广泛采用以及其未来收益中获益。

制造能力也可以依据当前和预计需求，按比例为不同司法辖区预留。不同经济体的能源强度和增长路径差异很大；因此，该公式可以采用透明的前瞻性指标，而不是政治偏好。同样的逻辑日后还可以应用于太空经济等新兴领域。

其他可能的解决方案还包括：

- 纯市场分配；
- 国家预留；
- 战略产业优先；
- 拍卖；
- 混合制度。

结尾问题

以上所有内容目前都仍是假设性的。然而，有一个有趣的事实性命题依然成立：

技术转型往往摧毁的实体基础设施少于它所摧毁的经济特权。

电报并没有让马消失。

流媒体并没有废除电影院银幕。

互联网并没有消除电信基础设施。

因此：

如果电力越来越能够作为一种以信息为中介的服务进行部署，那么决定性资产可能不再是对发电和输电基础设施的所有权，而变成对授权、部署、计量和结算的控制。

在这场“思想实验”的结尾，并且一旦 FUSA 架构通过物理验证并开始部署？

某种事情将已经发生。我们现在还不知道它究竟有多大。但如果这一前提经受住审视，现有假设就不再能够闭合：

届时仍会留下五个严肃问题，而必须有人回答它们：

1. 当电力能够在本地部署时，经济地理会发生什么？
2. 当供应不再必然依赖国家的发电和输电系统或服务时，能源主权会发生什么？
3. 如果底层能源稀缺大幅下降，应当如何分配暂时性的部署稀缺？
4. 一家私人基础设施提供商，能否在无意这样做的情况下获得具有经济意义的准主权权力？
5. 在这种能力达到规模之前，应当建立哪些制度？

如果技术前提失败，这些问题都还为时过早。然而，如果它没有失败，这些问题就会变得紧迫……

<https://fusionltd.co.uk>

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

<https://fusionusa.energy>