

约束之外的经济：一份投资论纲

Arata Hoshino 阿拉伯联合酋长国 2026年9月

读者对象

本文写给机构投资者、主权基金、风险投资与基础设施投资者、深科技创业者，以及设计能源、产业和人口政策的人。它是一个假说。它从当前约束的彼岸，而非从约束之内，去分析、构想和设计；它的用途，是在仍属假说的阶段，充当投资与战略的罗盘。

摘要

本文认为，当代文明面对的是单一的结构性约束，即建造能力的停滞，这一约束由三个部分组成：(i) 有效能源丰裕度的缺失，(ii) 自动化滞后的领域中劳动投入的不足，(iii) 缺少能够吸引资本与人才的制度。经济停滞与人口崩塌是这一约束的症状，本身并不是任何事情的原因。

论述从过去的工业革命出发，经过对当下的诊断，进入分配与价值的设计。本文沿两条轴线重读工业革命，一条是配置物质的效率，一条是预测未来的效率，过去30年的不对称在这两条轴线上清晰可见。由此产生的供给约束在两个层面起作用。在宏观层面，它压缩了人们所能构想的大型投资的范围。在家庭层面，它抬高了自动化从未触及的那些商品的价格，并由此压低了人口，这就是第二个马尔萨斯陷阱。基于这一诊断，本文提出以所有权分配取代按任务贡献分配收入的做法，而所有权分配建立在出生时开设的资本账户之上。衡量价值时，本文不用GDP，而借助服务主导逻辑，即认为价值由受益者在使用之时而非交换之时创造的理论，把价值的中心移向使用价值，并给出使用价值可以被测量的条件。

在约束的彼岸，能源丰裕，自动化在合适的制度下加速，构想大事的能力便会回来。人在工作之前就已持有资本，可以把时间用于完整意义上的价值创造，而不必用于追求生产率。供给约束解除，新的分配机制运转起来之后，今天令人忧惧的宏观问题，包括人口崩塌，会作为副产品逐步退去，不需要逐个症状去治疗；供给与需求开始互相抬升。

后面几节把世界上的集群放到三个变量分解出来的五个项上，并预测两个技术阵营的未来：建立在分工之上的美国阵营，和建立在垂直整合之上的中国阵营。本文主张深化美国、阿联酋与东北亚之间的分工，建设一个整合三方参与者的生态系统。然后逐项说明应当投资什么，给出11个预测以及能证明每个预测错误的观察，最后以应当建立的制度作结。

关于方法的说明

本文源于我在2018年至2026年间用日文记下的笔记。观点和论证是我的。我借助Anthropic公司的Claude，把这些笔记整理成一篇完整的英文文本，并根据我收集的公开数据绘制图表。错误同样是我的。

01 建造能力

1847年，英国把当年GDP的近8%投入铁路，10年之内路网扩张到原来的4倍以上，依靠的是私人判断与私人资本，没有任何国家规划。¹同一个国家如今花了17年时间和468亿英镑，却没有开通哪怕1英里的高速铁路。²在这近200年里发生变化的，是丰裕的结构，与国民性格或文化无关。

一个文明能在物理世界中新建什么，取决于三个项的乘积：

文明竞争力 $C \div$ 制度 $I \times$ 有效能源丰裕度 $E \times$ 劳动投入（自动化） L

三项之中只要有一项接近零，无论另外两项多高，乘积都接近零。这里的竞争力，指的是一个文明能以多快的速度建起下一层物理基底，能承载大规模的新增投资。它不涉及生活在那里的人的生活质量，那是另一个主题。制度做两件事。它通过产权、投资者保护、税收待遇和许可审批的速度来保住回报，这吸引资本；它容许失败、接纳外来者，这吸引人才。有效丰裕度与禀赋不是一回事，禀赋指的是资源恰好埋在自己的国土之下。有效丰裕度指的是能够用上实际上近乎免费的能源，并且相信在即将建造之物的大部分寿命期内，能源都会一直这么便宜。在今天的发达经济体，劳动投入意味着自动化，它可以进一步拆分：

$L \div$ 深科技 $T \times$ 大资本 K

深科技一项，看的是卡脖子技术，也就是一旦被扣住、其他所有人都得停下的那些技术，是否掌握在本国手中或者伸手可及。大资本一项，看的是已经积累起来的资产，能否按照自主机器与算力基底所要求的规模调动起来。两者都不必在本国建成，都可以通过联盟或转移获得，只是必须有人点头。

这个方程不谈一个国家已经拥有多少财富。它说的是这个国家还能建多少，而约束的范围比实际建成的东西更广。选项根本走不到被权衡、被否决的那一步，因为已经不再有人提出它们。凡是前提已知不可动摇的地方，就不会有人在其上写商业计划，不会有东西送到投资委员会，一开始就不会有人去构想。我们今天觉得现实可行的事业范围，以及我们对投资规模的常识，都是在三个项停留于当前位置的假定之上形成的。所以，约束既限制了人能建成什么，也限制了人能构想什么。

举两个三项同时齐备的社会为例：1840年代的英国，与今天的阿联酋。阿联酋能源便宜有三个各自独立的原因：长期获得补贴的国产天然气，巴拉卡（Barakah）核电站的5.6吉瓦装机，以及2020年创下世界纪录低价的阿尔达夫拉（Al Dhafra）太阳能电站。³劳动由占常住人口八成以上的移民承担；土地是沙漠，实际上没有上限。19世纪的英国把资本注入铁路，21世纪的阿联酋把资本注入算力基底。这样的窗口也可能关闭，日本就经历过。它的战后增长立足于廉价的中东原油；这扇窗口在1973年关上，叠加在国内结构已经开始的减速之上，实际增长率从每年9.1%减半至4.2%。⁴

1840年代英国的丰裕，部分建立在童工和殖民地之上，这是不应重演的人的代价；今天阿联酋的劳动成本，则建立在全球工资差距之上。把能源丰

¹ Andrew Odlyzko, "The collapse of the Railway Mania," rev. 2011: 铁路投资从1845年的1300万英镑增至1847年峰值的4400万英镑，“几乎相当于英国GDP的8%，是当年军事预算的两倍”，按当时价格计的实际支出额。大不列颠的线路长度从1840年底的约1498英里增至1850年底的6084英里（B. R. Mitchell, *British Historical Statistics*, 1988, Table 5, p.541；该书未能获取，1840年的数字依据1962年前身版本中的一条注释，且可能是联合王国的数字）

² 截至2026年3月底，累计支出为名义值468亿英镑，其中442亿为现行计划，26亿为已取消的第二期（National Audit Office, *High Speed Two reset*, HC 52, 2026; Department for Transport, *HS2 Six-Monthly Report to Parliament*, May 2026）。同一报告将完工成本定为877亿至1027亿英镑，老橡树公地（Old Oak Common）至伯明翰段的开通时间定在2036年5月至2039年10月之间。HS2 Ltd于2009年1月开始运作。

³ 巴拉卡核电站为4台APR1400机组，共5.6吉瓦；自2024年9月4台机组全部投入商业运行起，其后12个月发电约40太瓦时，按年度计最高占全国需求的25%

（Emirates Nuclear Energy Corporation）。阿尔达夫拉（Al Dhafra）光伏项目铭牌容量2吉瓦，2020年4月以每千瓦1.35美分中标，为当时全球公布的最低价格，融资交割时修订为1.32美分（Abu Dhabi National Energy Company, 22 December 2020）。IMF将2011年的隐性能源补贴估为GDP的5.7%（IMF Country Report No. 15/220）。

裕、完全自动化的制造与运输，以及合适的制度结合起来，这三个条件将史上第一次无需牺牲任何人就能获得，而且在任何地方都能获得。19世纪用人的痛苦换来的丰裕，21世纪可以用机器买回来。把资本投向物理AI，也就是机器人和自动化工厂，以及投向能源，其文明意义就在这里。

02 两种收敛成本

文明在能源这一个基底之上沿两个方向推进，两个方向争夺同样的问题。30年来，资本流向需要能源较少的那个方向，即数字方向，而到了2020年代，这个方向撞上了能源本身这道墙。因此，把资本投向物理AI与能源是一种回归：资本回到它曾经离开的那一侧。

文明的进步由一个基底和依托于基底的两个方向构成，基底是能源。方向1把达到目标物质构型的成本推向零，这是以焦耳计量的优化；运输、制造、建筑、农业和太空开拓都是它的特例。方向2把获得所需精度的预测模型的成本推向零，这是以比特计量的优化；通信、计算、科学、教育和AI都是它的特例。两者都在降低把意图变成结果的成本，一个靠改变物理世界，另一个靠知道该做什么。

要预测某个问题会用到哪种手段、哪种技术，可以把两个方向看作在争夺这个问题：谁的收敛成本，也就是把意图变成结果的成本，更低，谁就胜出。要看哪一方成本更低，就把问题拆成步骤，数一数每一步必须移动多少质量。购物这件事里，搜索、比较、下单、付款移动的质量都是零，只有最后一段从仓库到门口的路程移动了质量。所以这个问题大部分迁移到了方向2。亚马逊胜过人们曾经想象的购物机器人，靠的是成本结构，与两种设想孰优孰劣无关。

30年来，资本与人才几乎单向地流入方向2。它以零边际成本复制，运行摩擦小，需要的能源少；这三个性质中只有最后一个随时代变化，而在一个受约束的世界里，资本流向约束较松的一侧。到了2020年代，方向2撞上了能源之墙，效率的提高也没能把墙推远。收敛成本下降会解锁此前不可行的应用，需求的增长超过效率的增益。据国际能源署（IEA）估计，2025年全球数据中心用电需求同比增长17%，到2030年将大致翻倍，仅AI专用设施在2025年就增长了50%。⁵同一时期，每项AI任务消耗的电力快速下降，省下的电直接变成了更多的计算，用得更广、更频繁，也用在了更重的用途上。

资本的动向比任何预测都说得直白。2025年8月，监管机构把密歇根州的帕利塞兹（Palisades）核电站从退役程序中拉回，恢复了它的运行许可，这是此类重启第一次获得批准。这里的“运行”是一个监管类别，并非发电的恢复。⁶这一决定是本文所依赖的结构性变化的一个信号：算力需求正在使能源供给投资在政治上变得无法回避，资本已经在往回流动。

⁴ 按财政年度计：1956至1973财年平均9.1%，1974至1990财年平均4.2%（日本内阁府，长期国民经济核算）。日本银行将这一减速主要归于国内结构因素，即追赶型生产率增长的消退与部门间劳动力流动的放缓，石油危机叠加其上（*Bank of Japan Review* 2012-J-17, December 2012；2012年10月的*Outlook*报告在Box 7中讨论了同一转折，但未能获取）。

⁵ IEA, *Key Questions on Energy and AI*, 16 April 2026: 数据中心电力需求2025年增长17%，AI专用设施增长50%；数据中心整体从2025年的485太瓦时，按中心预测升至2030年的约950太瓦时。IEA称每项AI任务的耗能每年至少下降一个数量级，但未公布一致的年度序列。有实测依据的美国序列是Shehabi et al., 2024 *United States Data Center Energy Usage Report*, LBNL-2001637: 2014至2016年每年约60太瓦时，2023年176太瓦时，按该报告的情景2028年为325至580太瓦时。

03 一种被选择的稀缺

发达经济体增长的普遍放缓，本身就是一种陷阱：一种发达国家陷阱，不同于让发展中国家停步的中等收入陷阱。三项之中，出问题的是能源，而且是因选择而出问题。1970年代，发达国家停止扩张能源供给，此后半个世纪，它们在“能源不会增长”这一前提之上重建了经济、制度与价值观。它们转而依赖的电源，出力不跟随需求，其成本通过电费转嫁给了家庭，一个家庭养得起几个孩子，也随之而定。

停滞在三处显现。第一，人均能源消费停止增长。在美国，人均能源消费在整个战后时期持续上升，1978年和1979年到达顶点，此后下降了近五分之一；由于效率提升在历史上一向推高总消费，从不压低它，这一下降应当读作扩张的停止，不是效率的回报。⁷第二，生产率增长在同一时期断裂。美国全要素生产率从1920年到1970年以稳定的速度增长，此后的增速只有原来的三分之一左右；一个用从能源中提取的有用功来解释增长的模型，能够拟合1973年、1974年以前的美国产出，之后开始低于实际。⁸第三，这个国家不再建设自己的能源供给：1973年之后美国订购的41座反应堆，全部被取消。⁹

没有哪条物理定律要求这样。美国的反应堆成本在1960年代末已经在攀升，三里岛事故发生时仍在建设中的反应堆，成本又高出许多。同一时期，法国把成本上涨控制在美国的几分之一，韩国则实实在在地把成本降了下来，两国的做法都是把标准化的设计反复建造。同一种技术，在一个国家飙升，在另一个国家下降，差别在于监管与政治，而在两者之下，是一个国家究竟是再建一座同样的电站，还是每次都建一座新的。¹⁰1970年代的转向，是发达国家的人们自己选择的，而且没有准备任何东西来替代被放弃的能力。此后半个世纪，发达国家在“能源不会增长”的前提之上重建了经济、制度和价值观。这里所说的稀缺，就是这场重建：一种被选择的稀缺，而非被给定的稀缺。

那半个世纪里发达国家主要转向的新电源，是出力不跟随需求的电源。风电的市场价值，在渗透率接近零时约为平均电价的110%，当其在系统中的份额达到30%时降至50%到80%。风电越多，其他所有风机就越是在同一时段一齐发电，风电便压低了自己所生产电力的价值。2025年德国批发电价为负的时间达573小时，连续第二年刷新纪录。¹¹一个社会把基荷交给只适合补充稳定电源的电源，其成本便通过电费转嫁给了家庭。选择发电结构就是选择一条电价曲线；选择电价曲线，就是把住房、食品和服务的价格作为一个整体一并选定；选定这些价格，最终就是选定一个家庭能有几个孩子。假如当初把这整条链条印在选票上，那就会是一次民主的选择；所缺的，是人们根本没有意识到自己正在做选择。

04 家庭的马尔萨斯

本文认为，第二个马尔萨斯陷阱正在发生。在马尔萨斯描述的世界里，粮食产量设定了人口的上限。在我们的世界里，设定上限的是家庭的经济能

⁶ 美国核管理委员会（NRC）对10 CFR 50.82(a)(2)的豁免，签发于2025年7月24日，2025年8月25日生效，允许撤回永久停运认证并将燃料重新装入反应堆容器（NRC, ML25196A092）。Holtec于2026年8月30日开始装料，NRC在2026年9月18日仍显示输出为零；尚未出现首次临界的一手记录。正文所依据的，只是一座反应堆被从退役队列中拉回这一事实。

⁷ U.S. Energy Information Administration, *Monthly Energy Review*, Table 1.7, 序列“Total Primary Energy Consumption per Capita”: 1949年为每人2.07亿Btu, 1978年与1979年并列峰值3.5亿, 2025年初步值2.82亿。年度序列始于1949年，故此处没有比这更早的数据。攀升至峰值的过程并非单调。

⁸ Robert J. Gordon, *The Rise and Fall of American Growth*, Princeton University Press, 2016, figure 1-2（全要素生产率1920至1970年为每年1.89%，1970至2014年约为0.65%）Robert U. Ayres & Benjamin Warr, “Useful Work and Information as Drivers of Growth,” INSEAD Working Paper 2002/121, 其中模型复现美国产出至1973年、1974年，此后略有低估；作者将这一差额归于信息技术资本而非能源。在他们后来的著作*The Economic Growth Engine*, 2009中，估计区间为1900至2005年，残差中唯一显著的断点在第二次世界大战。

⁹ IAEA, *50 Years of Nuclear Energy*, GC(48)/INF/4, Attachment 3, 2004, para. 15, 该句取自Cohn (1997)，而非IAEA自身的反应堆记录。这一数字由US Energy Information Administration, *Nuclear Plant Cancellations*, DOE/EIA-0392, 1983, Table 1, p.5独立确认：1973年以后订购的41台机组，合计48,495兆瓦。1970年1月以后订购的全部反应堆中，超过三分之二最终被取消。

力，而这一能力受第1节的方程支配。在有效能源丰裕度和劳动投入停滞的地方，自动化从未触及孩子所需的商品，即住房、教育、托育和医疗，于是它们的价格比其他一切涨得更快，同时自动化商品的价格崩落。家庭遭遇这一约束的方式并非饥饿，而是一份容不下一个孩子的预算，生育率下降正是这一约束的症状。

在关于发达经济体生育率下降的争论中，有两种标准解释：价值观的变化，以及政策的失败。人们开始重视事业和自由时间，把孩子视为一种成本；或者家庭政策薄弱，托育、住房和教育供给不足。两种说法都部分正确，问题在于其中是否有一个称得上原因。

在马尔萨斯分析的世界里，起约束作用的变量是粮食。土地和农业技术有上限的地方，人口增加意味着人均谷物减少，饥荒、瘟疫、战争、晚婚和避孕把人口推回到上限附近。这是经典的马尔萨斯陷阱。20世纪初，哈伯-博施法（Haber-Bosch process）的固氮打破了它：人工肥料把产量提高到如此程度，以至于在发达国家，至少在宏观层面，热量短缺不再构成约束。马尔萨斯的图式并没有错。错的是农业将永远是瓶颈这一前提。人口至今仍被其时代的主导性物理约束压制着。只是约束移动了位置，移进了第1节方程的各项之中：有效能源丰裕度、劳动投入与制度。

今天在发达国家，没有人把“没有东西吃”当作不生孩子的理由，生育率却照样处于历史最低点。现代的“粮食”是家庭的经济能力：以自己的工资和所面对的价格，有孩子的生活究竟负担得起还是负担不起。这一能力本身是一个二阶变量，由能源结构和技术水平决定。一件商品或一项服务的价格，大致由能源成本、制造成本、运输成本、计算成本，以及尚未被自动化替代的劳动成本决定。最后一项在经济学中有一个正式名称：鲍莫尔成本病。生产率增长的部门工资上涨，从同一个劳动市场招人的部门也必须跟着涨薪，否则根本招不到人，教育、医疗、托育、养老照护都是这样。它们的生产率没有上升而工资上升了，价格便持续上涨。¹²

养育一个孩子的成本，几乎全部由鲍莫尔部门加上住房构成。2000年以来，美国的医院服务价格上涨超过200%，大学学费超过180%，托育超过100%，同期电视机、玩具和软件的价格下降了几十个百分点到90%以上不等。¹³自动化触及的商品价格崩落，它没有触及的人对人服务价格飙升。养育一个孩子，就是连续20年购买恰恰是自动化触及最少的那些商品。

在这一解读下，家庭的预期子女数是一个比率的函数：

$$\text{预期子女数 } n^* \doteq g(\text{家庭可支配收入 } Y_d \div \text{每个孩子的预期成本 } C_{\text{child}})$$

其中 C_{child} 是住房、教育、托育和医疗的有效价格的合成，这四项每一项都是鲍莫尔部门，每一项都比价格体系中的其他一切涨得更快。这就是第二个马尔萨斯陷阱，本节标题所说的家庭的马尔萨斯：一个压制人口的结构，由能源、技术和价格机械地推导出来，与人们对孩子持何种信念没有关系。

因此，生育率下降是一种价格现象，不是文化现象。韩国在2006年至2020年间为低生育率对策编列了约156万亿韩元预算，2021年一年又追加43万

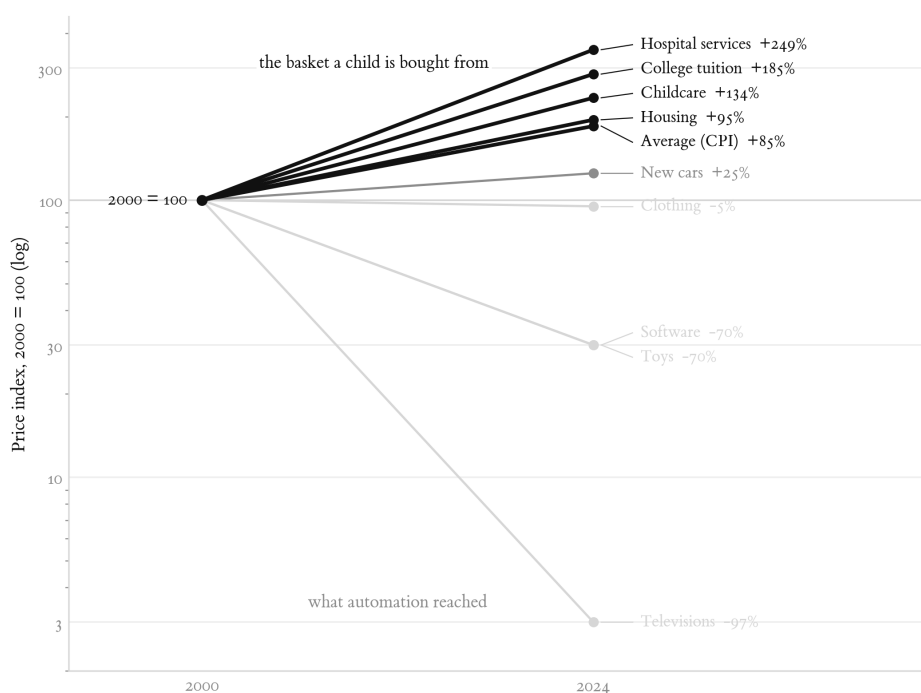
¹⁰ Jessica R. Lovering, Arthur Yip & Ted Nordhaus, “Historical construction costs of global nuclear power reactors,” *Energy Policy* 91, 2016, 371–382. 按2010年价格的隔夜建造成本，1967至1972年间开工的48台美国机组从每千瓦约600至900美元升至约1,800至2,500美元，三里岛事故发生时仍在建的机组，其成本中位数是此前完工机组的2.8倍；法国的成本在1971至1991年间从每千瓦约1,000欧元升至1,500至2,000欧元；韩国的成本下降约一半。这一比较在数据范围和成本定义上存在争议（Koomey, Hultman & Grubler, *Energy Policy* 102, 2017, 及原作者的回应）。傅以斌的项目数据库把同一记录读作定制化而非监管的结果，认为核电站在各地平均超支120%（Bent Flyvbjerg & Dan Gardner, *How Big Things Get Done*, Currency, 2023, chapter 9 and Appendix A）；完整版第3章对这两种解读作了权衡。

¹¹ Lion Hirth, “The market value of variable renewables,” *Energy Economics* 38, 2013, 218–236. 从110%降至50%至80%是模型结果；观测到的德国数值（渗透率2.0%时为1.02，8.0%时为0.89）是事后的日前市场结果，属于另一类证据。负电价小时数为德国联邦网络局（Bundesnetzagentur）的SMARD数据：2024年457小时，2025年573小时。

¹² William J. Baumol, “Macroeconomics of Unbalanced Growth,” *American Economic Review* 57(3), 1967, 415–426. 对美国教育与医疗的应用见Eric Helland & Alex Tabarrok, *Why Are the Prices So Damn High?*, Mercatus Center, 2019, 二人把这一机制视为核心机制，而非唯一机制。鲍莫尔本人列举的部门是教育、警察、医院、社会服务和检查；托育与养老照护是同一机制后来的延伸应用。

¹³ 美国劳工统计局CPI序列，由作者通过API取得。2000年1月至2024年1月：医院服务+248.9%，大学学费+184.6%，日托与幼儿

图4-1 什么变便宜了，什么没有



纵轴为对数刻度，斜率相同即变化率相同。鲍莫尔部门上涨，自动化商品崩落。右侧标签为便于阅读而拉开了间距，线的端点位置是准确的。
来源：美国劳工统计局，消费者价格数据，2000年至2024年。

图1. 什么变便宜了，什么没有（美国，2000年至2024年）纵轴为对数刻度，斜率相同即变化率相同。自动化触及的商品向下分叉，鲍莫尔部门向上分叉。孩子需要的一切都在上面那一束里。

亿，而它最终得到的2023年总和生育率是0.72，首尔为0.55。¹⁴ 15年的投入，预算项目膨胀了40倍以上，价格结构却停在原处。如今在发达国家之间造成生育率差异的，是兼顾事业与家庭的成本，收入并不是。¹⁵ 价值观不是首要原因。它们出现在下游，与位于其下方的结构隔着两三级：能源和技术设定价格体系，价格体系设定家庭的预算约束及其对未来的忧虑，在这一约束之下，家庭把事业置于孩子之前是一种理性的行动原则，事后才被论证为一种价值观。察觉到下游变量的变化便称之为首要原因，与把温度计指针的移动称为热的原因相差无几。

这一机制以最大规模运行的地方是中国。2025年出生人口降至792万，一年之内下降17%，不到2016年的一半。这一下降不会逆转，已经由已出生的人数决定了。占出生数约85%的20岁至34岁女性人口，从2025年的1.05亿降到2050年的5800万。生育分布在大约18岁到40岁之间，因此2050年将生育的每一位女性，最迟在2032年都已经出生。剩下的唯一自由度是生育率的水平，即便把它维持在当前水平，2032年的出生数仍会降到650万左右。¹⁶ 在本文的全部变量中，人口是最早被固定、最晚才移动的那一个。

园+134.3%；电视约下跌97%，玩具与计算机软件各约下跌70%。电子产品序列含特征价格调整，因此97%是恒定质量电视的价格，而非同一物件的现金价格。把这两组区分开的是自动化，这是本文的解读，而非指数序列所能证明的事。

¹⁴ 韩国国会预算政策处 (National Assembly Budget Office), *Analysis and Evaluation of Programs Responding to Low Fertility*, August 2021: 2006至2020年间三期基本计划合计预算国家资金155.63万亿韩元，2021年为42.90万亿；年度预算从2006年的1.03万亿韩元增至2021年的42.90万亿。这些是预算额而非决算支出，而且低生育率对策的定义在此期间不断扩大，所以并不是同一定义下的单一序列。总和生育率来自韩国统计厅2023年出生统计（全国0.72，首尔0.55）2024年回升至0.75、2025年初步值0.80，此处不作为证据使用，因为目前尚无法将其与反弹区分开来。

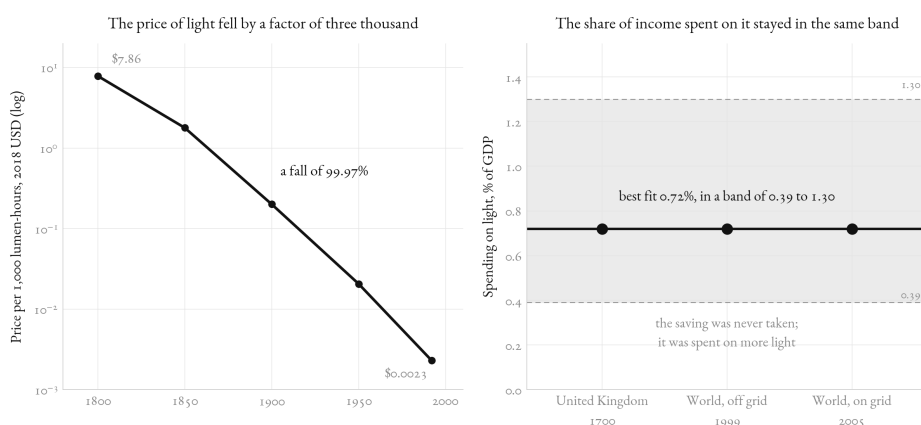
¹⁵ Gary S. Becker, "An Economic Analysis of Fertility," 1960. Matthias Doepke, Anne Hannusch, Fabian Kindermann & Michèle Tertilt, "The Economics of Fertility: A New Era," NBER WP 29948, 2022。价格解释的是生育率下降的条件，而不是它回升的条件：拥有全球最慷慨家庭政策的北欧诸国自2010年代以来的生育率下降 (Hellstrand et al., *Demography* 58(4), 2021)，以及高物价社会以色列世俗人口接近2的生育率（以色列中央统计局，*Statistical Abstract of Israel 2025*, Table 2.28：总体2.87，非宗教人口1.98）标出了这一解释的边界；而约束已经解除的状态尚无任何记录，所以正文中的预测是有条件的，而非一条定律。

05 丰裕连锁

带着2GB漫游流量出门一周，我们会尽力克制。一样东西是有限还是无限，对心理的作用远远超出实际的稀缺程度。潜在的商业模式像树一样分枝，因为一个约束挡在路上就在半途停下，可能等于砍掉了本会在更远处开花的每一根枝条。在能源这件事上，我们的文明就是那个只有2GB的旅行者。

所以，能源成本的崩落不只是让现有需求得到更便宜的满足，需求本身也会成倍增长。人造光是人类压低成本时间最长的商品之一，按诺德豪斯的测算，1000流明小时的实际价格在1800年至1992年间下降了99.97%。¹⁷当光便宜了3000倍，人类在光上的花费减少了吗？据曹（Tsao）及其同事的研究，三个世纪以来，跨越六大洲和五种不同的照明技术，人类始终把GDP的约0.72%花在光上。效率上升，人们消费的光就更多。人们点亮了夜晚的城市，让工厂昼夜运转，后来又让屏幕在一天中醒着的大部分时间里亮着。价格崩落而收入份额始终停留在同一区间，这是一种接近完全的反弹效应：人们把效率省下的全部钱，花在了更多的同一种商品上。本文采取的就是这一解读。¹⁸

图5-1 光的三个世纪：丰裕连锁最纯粹的案例



右图的三个点是论文报告的实证情形，彼此相隔三个世纪，从牛脂蜡烛一直到电网供电。阴影带是论文在17个观测值上给出的范围，即GDP的0.39%至1.30%；穿过它的线是论文的最佳拟合值0.72，并不是测量了三次的数值。

来源：左图为 Nordhaus (1996)，载 *The Economics of New Goods*；右图为 Tsao et al. (2010)，*J. Phys. D* 43(35)，354001。

图2. 光的三个世纪。价格降到原来的三千分之一，光的支出始终停留在同一收入区间内：17个观测值介于GDP的0.39%到1.30%之间，最佳拟合值为0.72%。图中三个点是论文报告的三种情形，1700年的英国、1999年的离网世界和2005年的联网世界，从牛脂蜡烛一直到电网供电。

光是最清楚的历史案例，但这一机制并非照明所独有。更便宜的能源压低一切用它制造之物的价格；更低的价格解锁此前不可行的用途；新的需求为更多供给付账，能源再次变得更便宜。这个循环就是本节标题所说的丰裕连锁，而它接下来会解锁什么，可以从成本结构中读出来。反渗透海水淡化成本的四分之一到五分之二是能源，垂直农业运营成本的40%到70%是能源。¹⁹发射成本已降到原来的二十分之一，从航天飞机每公斤约54500

¹⁶ 中国国家统计局，2025年统计公报，2026年2月28日（2025年出生792万人，2024年954万人，人口连续第四年下降）到2050年的推算是本文自行做的队列要素法推算：将年龄别生育率分布施加于已出生的各队列，并以2025年实际值校准。国家统计局不公布总和生育率；推算中使用的0.93是一项民间估计。人口基数是稳健的，因为2050年生育的每一位女性都最迟在2032年出生；出生的绝对数则不是。

¹⁷ William D. Nordhaus, "Do Real-Output and Real-Wage Measures Capture Reality?" in *The Economics of New Goods*, University of Chicago Press, 1996, ch.1。一千流明小时的实际价格从1800年的429.628美分降至1992年的0.124美分，均按1992年美元计（Table 1.4, p.46）。这是当时最佳可用技术的序列，而非平均家庭的序列。

¹⁸ J. Y. Tsao et al., "Solid-state lighting: an energy-economics perspective," *Journal of Physics D* 43(35), 2010, 354001，基于Tsao & Waide, *LEUKOS* 6(4), 2010, 259–281的数据：三个世纪、六大洲、五种照明技术；17个观测值中占GDP的0.39%至1.30%，最佳拟合为0.72%。两篇论文都没有为反弹效应给出数字；从稳定的支出份额推进到接近完全的反弹，这一步是本文自己的，不过 Fouquet & Pearson (*EEEP* 1(1), 2012) 直接在英国的照明中发现了回火效应，即超过100%的反弹：19世纪的效率提升之后，用于照明的能源不减反增。

美元降到猎鹰9号的约2720美元，而据说星舰的目标是再往下两个数量级，即每磅10美元，约合每公斤22美元，琼斯（Harry W. Jones）把这一目标归于马斯克。²⁰补上第三个数量级，地球轨道就成为一个工业区位。

供给按照制造业的时间表到来，价格在2040年代才会移动。按长期能新增多少稳定电源排序，处于顶端的是核聚变，其次是常规大型反应堆和在工厂里批量建造的小型模块化反应堆（SMR），再是作为过渡的化石燃料，最后是叠加在稳定电源之上作为补充的可再生能源。压低价格的是建造了多少台。成本曲线遵循赖特定律：累计产量每翻一倍，单位成本以恒定比率下降；太阳能组件价格每翻倍下降20%到25%，仅在2010年代就下降了80%以上。²¹SMR的目标是把反应堆从现场施工的土木工程变为批量制造的产品，这将使核电走上制造业的学习曲线，而不是建筑业的学习曲线。但从第一台核聚变装置点火到单位成本下降十倍，中间隔着数十年和数百座反应堆，所以对价格的影响要到2040年代才会显现。

关于供给侧有一个提醒。能源实际上多快变得丰裕，不在发电机处决定，而在发电机与负荷之间的连接处决定：新增并网的排队、制造变压器和开关设备的工厂、输电线路和变电站所需的土地与许可。发电一直在指数增长，²²并网却没有。在美国，2025年投入运行的项目从申请到运行的中位等待时间是5年，所有申请中只有13%最终投入运行，²³一台大型变压器的交货期是2到3年，是2010年的2到3倍。²⁴不管增加多少工厂，这些前置时间每一项仍以年计。对投资者而言，由此可以得出两点。转型期的价格先涨后跌，因为需求爆发而供给受限。稀缺的资产不是发电厂，是已经并网的场址和排队中的位置。电力走不远，土地完全不能动，所以有效能源丰裕度是方程中唯一无法在合作伙伴之间分担的项，选址本身就是投资决策。

连锁也会回流到家庭，第4节与本节在这里汇合。把孩子的价格推到家庭承受不起的商品，是自动化没有触及的商品，而没有触及的原因，正是同一种能源与劳动投入的不足。鲍莫尔成本病从来只有一种疗法：用技术直接提高患病部门的生产率。当廉价电力和物理AI进入住房、教育、托育和医疗，价格体系中那个从来只涨不跌的部分开始下降，第4节的比率转向，第二个马尔萨斯陷阱松开。人口随之可以转向上升，市场整体规模也随之扩大。丰裕的供给不只是放大对既有事物的需求，它还恢复了人的数量，而任何需求都得先有人。这一恢复需要多长时间，是下一节的主题。

06 需求之谷

约束的彼岸是一个更大的经济体：丰裕的供给、回升的出生率、重新增长的需求市场。问题在于供给与需求之间的时间差。约束一旦解除，供给按照以年计的时间表增长。需求按照以世代计的时间表增长，2035年转而上升的出生率会立刻增加消费者，但要几十年后才会增加工人、纳税人和创业者。本文把这段时间差称为需求之谷，它大约持续半个世纪。穿越这段时间，能够依靠的回报是那些不随人头数变化的回报：在自动化资本本身中持有的份额，以及能源与算力的基础设施。

¹⁹ 海水淡化：Voutchkov

（*Desalination* 431, 2018）将能源定为每立方米约1.1美元成本中的25%至40%，Ghaffour, Missimer & Amy（*Desalination* 309, 2013）对海水反渗透给出19%至40%。

垂直农业：Pennisi及其同事

（*Agronomy for Sustainable Development* 45, 2025）给出照明占能耗的42%至80%，气候控制占16%至43%。在运营成本中所占的份额是已公布数字彼此分歧之处，从一项按德国电价、不计资本的纸面设计中的约七成

（Banerjee & Adenauer, 2014），到一项对北美在运农场的调查中的12%至25%

（Agrilyst, 2017）：差距主要来自劳动成本与电价。

²⁰ Harry W. Jones, “The Recent Large Reduction in Space Launch Cost,” ICES-2018-81, 2018。若改以运抵国际空间站计，航天飞机每千克105,800美元，对比猎鹰9号与龙飞船约25,000美元，差距为4倍而非20倍。

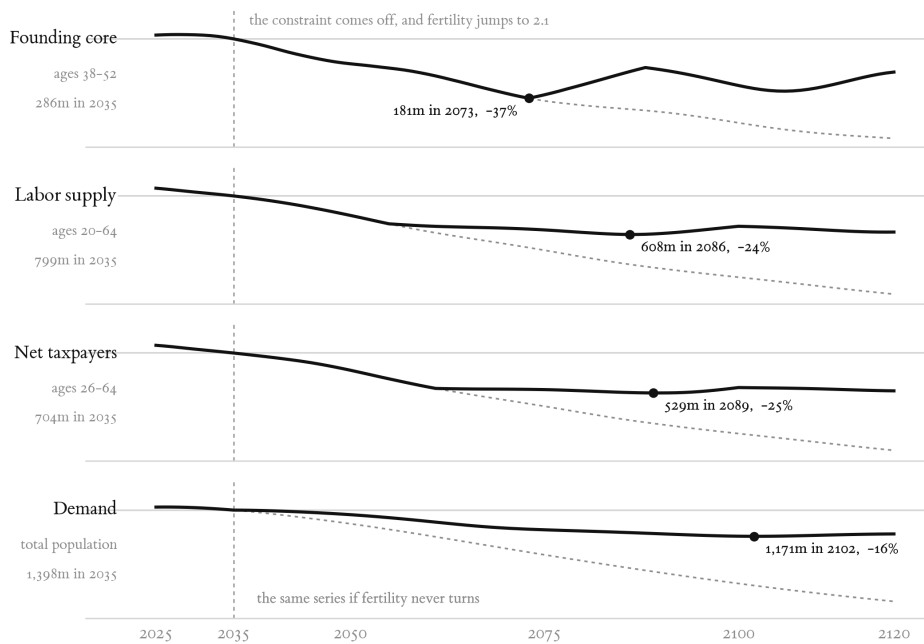
²¹ T. P. Wright, “Factors Affecting the Cost of Airplanes,” *Journal of the Aeronautical Sciences* 3(4), 1936, 122–128。光伏序列来自Our World in Data（CC BY 4.0，依据Nemet 2009与IRENA）；按该序列，组件价格2010至2019年下降81.4%，2010至2020年下降85.3%，正文取其中较保守者。快速转型成本更低这一点，见Way, Ives, Mealy & Farmer, *Joule* 6(9), 2022。

²² 1975年累计装机0.54兆瓦、2024年1,866,898兆瓦，是Our World in Data序列（IRENA基础，并网）截至2026年9月的数值；早先版本将2024年记为1,852,359兆瓦。中国的数字来自国家能源局：2025年底风电与光伏装机18.4亿千瓦。47.3%的占比是本文相对同日报告的总装机容量计算所得，并非国家能源局公布的数字。

²³ Lawrence Berkeley National Laboratory, *Queued Up: 2026 Edition*：2025年投入运行的项目，从申请到运行的中位时间为

这一差距无法更快弥合，因为一个经济体至少需要四种人头数，即劳动供给、需求、冒险者和纳税人，而机器只能替代第一种。如果没有人想要那件东西，那么无论造多少，都只是库存。有多少人愿意把自己的人生投进一项没人尝试过的事业，取决于人口规模，与生产率无关。机器创造的财富可以被征税，但承担这份税收、维持其制度的，是一个由人组成的共同体。四者回来的速度也各不相同。人从出生起就是消费者。按国民转移账户的年龄曲线，也就是按年龄列出收入与消费的统计，一个人的劳动收入要到30岁左右才超过其消费。²⁵增长最快的那些企业，其创办者的平均年龄在45岁上下。²⁶即便约束在2035年完全解除，高收入国家的生育率在同一年跃升至更替水平，这在现实中不可能发生，需求之谷仍将持续到2080年代。²⁷

图5-5 需求之谷，采用能得到的最乐观假设



高收入国家，每一行以其自身2035年的水平为基准指数化。总和生育率先设为1.42，在2035年跃升至2.1，迁移设为零；不可能有比这更快的逆转，所以图中的谷是一个下限。点线是没有逆转时的同一序列。四个谷底不在同一年到来。来源：作者的队列要素法推算；基础人口为世界银行按年龄和性别划分的数据（2025年）。

图3. 需求之谷，采用能得到的最乐观假设。每一行以其自身2035年的水平为基准指数化。四个谷底不在同一年到来，而创业世代，即创办公司的年龄组，跌得最深。

跨越这道谷有三步。第一步是上面说的投资组合原则：持有不依赖人头数的回报，并把回报与需求数量成比例的生意视为在整个时期内面对结构性逆风。第二步是在人所在的地方培育需求。在那几十年里，人口仍在增长的地方主要是非洲、黎凡特、巴基斯坦，以及中亚和中美洲的部分地区，那里的人均购买力很低。需求是人口乘以购买力，所以这些地区持有的是未来的需求而非当下的需求；对于手握卖不出去的设备的发达经济体来说，培育这些人口的购买能力，与其说是慈善，不如说是把这些设备从负债重新变回资产的工作。第三步最大，有专门的一节来讲：确保需求回来的那一天，它回到家庭，自己也持有一部分为它们生产的资本。

61个月；2000至2020年间提交的申请中，按容量计13%投入运行，75%被撤回。这些是发电侧统计，不涵盖负荷侧的排队。

²⁴ Wood Mackenzie, *Making the connection*, Executive Summary, September 2025, slide 5: 2025年第二季度的美国市场，发电机升压变压器为下单后143周，电力变压器为128周。基线是美国能源部的“Large Power Transformers and the U.S. Electric Grid” (April 2014): 2010年国内生产商为5至12个月，国外为6至16个月，因此2025年的数字是2倍到3倍。

²⁵ National Transfer Accounts Project的年龄别人均剖面；此处使用2011年美国剖面。在该剖面上，劳动收入在30岁首次超过消费，20至24岁的人均劳动收入为49岁峰值的30%，26岁达到峰值的一半，33岁达到80%。这是单一年份的横截面，而非追踪一个队列的时间序列。

²⁶ Pierre Azoulay, Benjamin F. Jones, J. Daniel Kim & Javier Miranda, “Age and High-Growth Entrepreneurship,” *American Economic Review: Insights* 2(1), 2020, 65–82. 关于美国雇主企业270万名创始人的行政数据：全部创始人平均41.9岁，按增长率位居前0.1%的企业为45.0岁。

²⁷ 总和生育率在2035年从1.42一步升至2.1并保持不变。基础人口为世界银行高收入国家2025年数据，以队列要素法推算，采用偏正态生育率曲线（平均年龄29.0）固定不变的冈珀茨-梅克姆（Gompertz-Makeham）生存曲线，迁移设为零。这是一个模型而非预测：零迁移使谷底比实际更深，站得住的是时点，因为把预期寿命上下各移动4年，谷底年份仍落在2085至2090年之间。

现代经济通过任务来分配财富。工作被拆解为一项项任务，收入按任务的完成来支付。这套机制正在失灵，因为自动化正在接管任务；自动化所创造的资本，以及随后能源丰裕将创造的资本，必须以别的方式分配。本文提出一种扩大的所有权分配：每个公民从出生起、在开始工作之前，就持有自动化资本的份额。用一句话说，就是让每个公民都先成为投资者，再成为劳动者。最早的实例已经出现：美国为2025年至2028年出生的每一个孩子开设的账户，以及康涅狄格州的婴儿债券（baby bonds）。本文的提议是把这一设计扩大到未来几十年所需要的规模，并说明资本从何而来。

任务作为分配工具正在失效。自1980年代初以来，劳动收入份额在大多数国家和行业都在下降，其中约一半的降幅可以用机器和计算机变得便宜、企业用它们替代人来解释。自动化始终有两种效应：替代效应，即机器接管人的任务；复原效应，即为人创造出新的任务。近年的美国，替代在加速，复原在减弱。²⁸断裂已经可以观察到。在AI渗透最深的职业里，年轻劳动者的就业相对其他年龄组下降，有经验的劳动者的就业则保持稳定；下降是通过停止招聘而非裁员发生的，每一次数据更新，这个差距都在扩大。²⁹任务与收入之间的联系正在从入口处、从年轻的一端断开。

熟悉的那些药方修复不了它。对再分配的政治诉求在上升，³⁰政治最先伸手去拿的工具，过往都有记录可查。1990年前后，有12个OECD国家对净财富征税，如今只剩3个。原因不在于高税率削弱了工作意愿，而在于税基会移动：凡是税基及其持有者能够迁移的地方，一国一国分别开征的财富税都没有维持下来。³¹现金转移支付帮助了领取者，却不改变结构。在迄今规模最大的实验中，连续3年每月领取1000美元的人工作时间略有减少，就业的可能性略有下降，他们报告的的压力和食物保障方面的改善在第一年之后便消退了。³²现金买到的是自主和眼前的安心。一张支票改变不了资本归谁所有，而正在变动的变量恰恰是所有权。

份额在已经尝试过的每一种规模上都行得通。美国的账户为2025年至2028年间出生的每个孩子向指数基金存入1000美元，康涅狄格州的婴儿债券为每个在医疗补助（Medicaid）下出生的孩子存入3200美元。阿拉斯加州40年来向每位居民发放石油红利，对就业没有可测出的影响；挪威的主权基金是人均约38万亿美元的集体资本。³³历史上，把公民变成所有者，一再造就出广泛的中产阶级：《宅地法》把美国约十分之一的国土转入私人手中，战后日本的农地改革把174万公顷土地转给了475万户佃农。³⁴19世纪分配的是土地，20世纪分配的是住房所有权和养老金，21世纪必须分配自动化资本的份额，因为在劳动收入份额下降的时候，家庭只有靠持有资本才能守住自己在收入中的份额。

谁来出资，资金从哪里来。答案必须与前面的诊断相一致：一份主要靠对流动税基征税来筹资的份额，会重建它本想逃离的那种失败。与诊断相一致的来源有三个。第一是已经在实行的那类公共种子资本：金额小、覆盖全民、出生时注入，让复利在份额被动用之前的20年里发挥作用。第二个来源最大，是新资本本身的一部分股权。即将到来的建设中稀缺的投入，恰恰是国家掌握的那些：已并网的场地、审批许可、土地和水。授予这些

²⁸ Loukas Karabarbounis & Brent Neiman, "The Global Decline of the Labor Share," *Quarterly Journal of Economics* 129(1), 2014, 61–103. Daron Acemoglu & Pascual Restrepo, "Tasks, Automation, and the Rise in U.S. Wage Inequality," *Econometrica* 90(5), 2022, 1973–2016. "约一半"这一分解存在争议，争议在机制而不在大小：Elsby, Hobijn & Şahin (BPEA, Fall 2013) 与 Bergholt, Furlanetto & Maffei-Faccioli (AEJ: Macroeconomics 14(3), 2022) 发现起作用的是自动化，而非机器变得更便宜。

²⁹ Erik Brynjolfsson, Bharat Chandar & Ruyu Chen, "Canaries in the Coal Mine?" Stanford Digital Economy Lab, 2025, revised 2026. 作者指出这是相关而非因果，且数字随数据更新而变动：2025年8月为13%，2025年11月为16%，2026年6月的后续版本为19%。在丹麦登记数据中，Humlum & Vestergaard (2026) 将约0.6个百分点的下降中可归于AI的部分限定在0.14以内，而Hosseini & Lichtinger (2026) 发现采用AI的企业初级岗位就业下降9%。

³⁰ 2025年11月4日，佐赫兰·马姆达尼（Zohran Mamdani）赢得纽约市长选举，凯蒂·威尔逊（Katie Wilson）赢得西雅图市长选举。民调为Jeffrey M. Jones, "Image of Capitalism Slips to 54% in U.S.," Gallup, 8 September 2025（全体成年人中对资本主义持好感者54%，对社会主义持好感者39%）。

投入的国家，可以在它所促成的能源、算力和自动化设施中取得股权，就像挪威对石油所做的那样，并把这些股权放进公民基金，而非国库。第三个来源是自愿的：企业和富有个人的出资。他们的动机不只是慈善，因为在上一节所说的需求之谷里，需要市场的设施正握在这些企业手中，而为下一代消费者注入资本，是创造市场最便宜的办法。

同样的技术也在改变谁能拥有一家企业。拥有企业过去意味着雇人，并为他们的生计负责，这项固定成本决定了一家企业得以成立的最小规模。AI和机器人技术压低了这个最小规模。但如果门槛下降而没有任何分散所有权的设计，增多的将是经营企业却不拥有资本的人；出生时的份额，正是让这样的人成为所有者的初始资本。

必须加快的理由在于，制度与人口走的是两个不同的时钟。分配制度可以通过立法建立，一旦决定做出，几年之内就能运转。人口却不是立法可以安排的：现在出生的孩子从第一天起就是消费者，但要20年才进入纳税人名册，要30年才挣得比消费的多。在2030年代把分配制度化，就是现在买下2050年代的需求、挑战者和税收。

08 移动价值的中心

设计的最后一个要素是价值本身。这是本文最抽象的部分，因此分四步来陈述。第一，人们创造的价值大多从未进入GDP。第二，这并非偶然：GDP统计的是价格，而人们在250年前采用价格，是拿它替代当时无法观测的价值。第三，价格承担的两项工作，配给稀缺之物与替代价值，都正在被接管，一项由廉价能源接管，另一项由廉价测量接管。第四，随着这一切发生，投资者购买的东西也在改变：从制造某物的公司的股份，变成对该物给使用者带来的效益的索取权。

第一步：价值是什么，GDP漏掉了其中多少。创造价值，就是运用自己的能力为他人带来效益。³⁵按这个定义，在咖啡馆端上一杯咖啡和母亲照料自己的孩子是同一种行为，唯一的区别是前者标了价。GDP漏掉多少是可以测量的，三种不同的测量给出了一致的答案。在官方的卫星账户中，无酬的家庭生产约相当于GDP的四分之一。在平均的一天里，有酬工作和学习占不到5小时，无酬工作和闲暇则超过8小时。³⁶中位数的互联网用户若要放弃一个免费平台，需要每月约50美元的补偿，而这类商品对GDP的贡献接近于零。³⁷市场交易所统计的价值，在一天之中创造的全部价值里只占少数。

第二步：GDP为什么会这样构造。划出这条界线的是亚当·斯密。在《国富论》第一篇第四章，他区分了使用价值与交换价值：前者是一件东西对使用它的人的价值，后者是它在交易中能换得的东西。他指出，没有什么比水更有用，用水却几乎买不到任何东西，随后便把此后的全部讨论限定在交换价值上，因为交换价值可以测量，使用价值不能。他称使用价值为真实的价值。这个悖论从未被解决，只是被搁置了，经济学后来忘记了它曾被搁置。³⁸ GDP就是这个决定被制度化的结果：它统计的是付过钱的东西，而不是有用的东西。

³¹ OECD, *The Role and Design of Net Wealth Taxes in the OECD*, 2018. Sarah Perret, *Fiscal Studies* 42(3–4), 2021, 539–563. 这一记录并不证明对财富征税是错的，只说明它在流动性之下难以维持。挪威的纳维亚数据显示，最高财富税率每提高1个百分点，富裕纳税人的存量约减少2% (Jakobsen, Kleven, Kolsrud, Landais & Muñoz, NBER WP 32153, 2026)；而在瑞士，税率每下调1个百分点，申报财富至少增加43%，其中只有四分之一是通过人员迁移实现的

(Brühlhart, Gruber, Krapf & Schmidheiny, *AJ: Economic Policy* 14(4), 2022)。税基在搬家之前，先通过免税规定、估值和逃税而移动。

³² Eva Vivalt, Elizabeth Rhodes, Alexander W. Bartik, David E. Broockman, Patrick Krause & Sarah Miller, “The Employment Effects of a Guaranteed Income,” NBER Working Paper 32719, 2024, revised 2026：相对于每月领取50美元的2000人对照组，每周工作时间减少1.3小时，就业率下降4.2个百分点（标准误1.7）。健康方面见Miller及其合作者，NBER Working Paper 32711, 2025。两者涉及的都是期限有限的转移支付，对领取者而言，其含义与预期终身持续的资本收入并不相同。

³³ One Big Beautiful Bill Act (Public Law 119-21) §70204：2025年1月1日至2028年12月31日间出生的每名美国公民儿童获得1,000美元，投资于跟踪美国股票宽基指数的基金；账户于2026年7月4日启用。康涅狄格州婴儿债券 (Baby Bonds)：2023年7月1日及以后在医疗补助 (Medicaid) 下出生的每名儿童获得3,200美元，可在18至30岁之间用于在该州购房、创业、高等教育或退休储蓄。阿拉斯加：自1982年起每年发放分红；Damon Jones & Ioana Marinescu, *AJ: Economic Policy* 14(2), 2022, 315–340。挪威：NBIM, *Annual report* 2025。

³⁴ 关于宅地法，见美国国家档案馆与国家公园管理局（至1934年处理申请逾160万件，逾2.7亿英

第三步：替代物为什么在弱化。价格做两件事：配给稀缺之物，以及替代价值。第一件事由廉价能源接管。在信息产品中，多复制一份的成本几乎为零，价格已经不再传递稀缺的信号；能源与自动化成本的崩落，把同样的机制延伸到物质世界。第二件事由测量接管，速度要慢一些。价格之所以充当价值的替代物，是因为在斯密的时代没有办法观测效益是否被感受到。这一点已经不再成立。行为数据和生物特征数据已经有人在记录，原则上神经系统本身的反应也记录得了。一旦受益者感受到效益这一事实变得可以记录，保留替代物的理由就消失了。两件事中，第二件更难被取代，因为它不仅需要测量，还需要人们相信测量没有被伪造。

第四步：货币和投资者面临什么变化。货币先失去的是第一项工作，配给；后失去的才是第二项，衡量价值。接管配给的单位是能源单位。计量AI推理的token和碳排放配额，都是作为计价单位设计出来的，两者都在向货币收敛；任何东西，只要作为某种稀缺资源的单位被发行、交换和储存，都在承担货币的一部分工作。对投资者来说，变化是这样的。今天，人们为一家公司出资，从它的利润中获得回报，也就是从它捕获的交换价值中获得回报。一旦某物带来的效益可以被测量，人们就可以为这件东西本身出资，按它给使用者带来的经测量的效益获得回报，无论它是谁制造的。索取权附着于所造之物的使用，而不是制造它的组织。第10节列出了使这种索取权可以执行的基础设施。没有它，本节的价值与上一节的分配都没有可以结算的单位。

09 重心已移向海洋

先给出三个结论，再说理由。世界经济的单位是集群，而不是国家。集群集中在印太沿岸，因为物理建设所需的重型物资靠海运移动，因此本文处理九个集群：旧金山湾区、得克萨斯、波士华（波士顿至华盛顿走廊）、阿联酋、东北亚（日韩台）、伦牛剑（Loxbridge，伦敦、牛津、剑桥三角）、长三角、珠三角，以及班加罗尔-海得拉巴，其中六个位于这一沿岸或其附近，另外三个，得克萨斯、波士华和伦牛剑，通过资本和贸易与之相连。用方程式的五个项来衡量这九个集群，没有一处具备全部的项，因此一个集群的地位取决于它如何获得自己所缺的项：共创的集群之间的分工，胜过一国内部的垂直整合。

先说单位与海洋。按夜间灯光的连续性来切分世界的陆地，经济的集聚区会自行显现。用这种方法提取出的40个巨型区域，容纳不到世界五分之一的人口，却产出世界三分之二的产值和大部分专利。³⁹通信成本趋近于零，集聚却没有散开，因为密度所带来的东西，即劳动力池和向身边的人学习，是无法通过电线传送的。集群所在之处，就是海洋所在之处。按货运量计，世界商品贸易的八成以上走海运，⁴⁰本文讨论的物理基底，变压器、涡轮机、反应堆和建筑材料，全都偏重，所以离港口有多远，离建设就有多远。地球最大海洋沿岸的城市之所以变大，靠的是地理，而不是努力。距印太300公里以内的陆地占世界陆地的12%，到2050年将承载世界三分之一的人口和近五分之二的产值。⁴¹这片海洋的沿岸国家合计已产出世界GDP的三分之二，1980年时约为一半。⁴²

亩土地转入私人手中)。日本农地改革为日本农林水产省提交ICARRD的报告(174万公顷, 475万佃农户)佃耕地比例从45.9%降至9.9%, 见Chiang, Fan & Hsu, IZA DP No. 18095, 2025。

³⁵ Stephen L. Vargo & Robert F. Lusch, "Evolving to a New Dominant Logic for Marketing," *Journal of Marketing* 68(1), 2004, 1-17; 公理化见 "Institutions and axioms," *JAMS* 44(1), 2016, 5-23; 专著为 *Service-Dominant Logic*, Cambridge University Press, 2014。

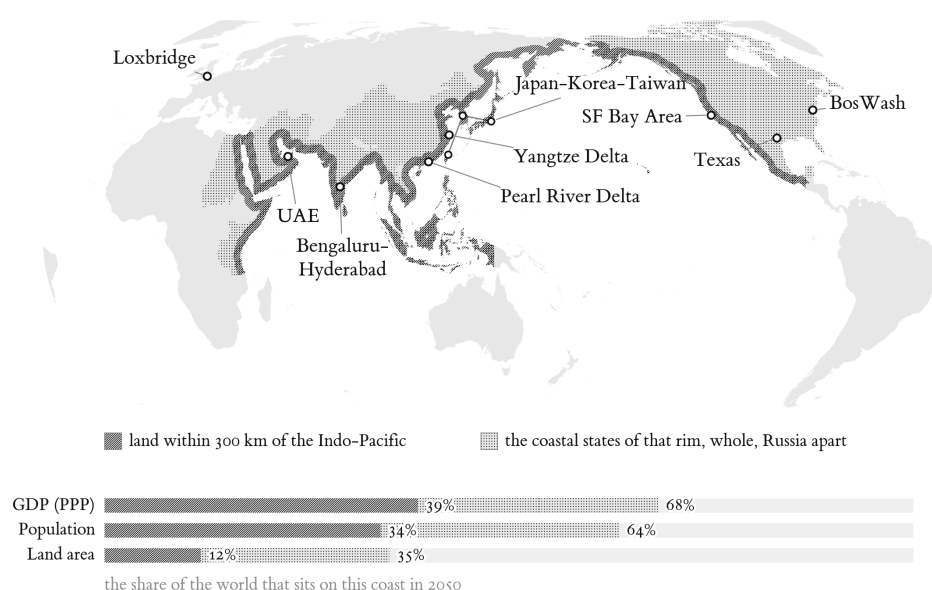
³⁶ Benjamin Bridgman, Andrew Craig & Danit Kanai, "Accounting for Household Production in the National Accounts," *Survey of Current Business* 102(2), 2022 (占GDP的22%至25%)。时间使用数据来自OECD Time Use Database及Veerle Miranda, OECD Working Papers No. 116, 2011, 为29个国家、15至64岁人口的平均值: 每天有偿工作与学习4.6小时, 无偿工作3.4至3.5小时, 闲暇约4.8小时; 平均涵盖包括周末在内的所有日子以及就业者与非就业者双方, 这正是有偿工作看起来偏短的原因。

³⁷ Erik Brynjolfsson, Avinash Collis & Felix Eggers, "Using massive online choice experiments to measure changes in well-being," *PNAS* 116(15), 2019, 7250-7255。放弃一个免费平台所要求的每月补偿, 中位数约为48美元。

³⁸ Adam Smith, *The Wealth of Nations*, 1776, Book I, Ch. IV; 真实价值的定义在pp.30-31。亚里士多德在公元前四世纪区分了使用价值与交换价值, 中世纪的经院学者认为使用价值居先。此处的解读依据Lusch & Vargo, 2014, ch.2。

³⁹ Richard Florida, Tim Gulden & Charlotta Mellander, "The rise of the mega-region," *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society* 1(3), 2008,

图8-1 印太沿岸，九个集群中的大多数所在之处



对同一片沿岸的两种读法。黑色斜线为距印太300公里以内的陆地，这里的印太指太平洋和印度洋，再加上波斯湾和红海，一侧从白令海峡延伸到墨西哥的南部边界，另一侧延伸到坦桑尼亚的南部边界。岛屿计入持有它的国家；澳大利亚、新西兰、巴布亚新几内亚和马达加斯加被排除。网格为该沿岸各国的全部国土，俄罗斯因国土主体位于内陆而除外。位于沿岸带之外的三个集群同样临海，面向大西洋。每根柱显示沿岸国家的合计，其内部为沿岸带所占的部分。采用等面积的 Equal Earth 投影，图上的面积与地球上的面积成正比；南极洲在图框之外，但计入陆地的数字。海岸线为 SRTM15+ v2.7 (GMT earth_relief 02m)，边界为 Natural Earth 10m，人口和产值采用 Murakami and Yamagata (2019) 的 SSP2，国内分布依据 Kumm, Taka and Guillaume (2018) 的1990年至2015年网格。

图4. 印太沿岸。黑色斜线为距印太300公里以内的陆地；网格为该沿岸各国的全部国土，俄罗斯除外。柱状图为2050年的预测：人口和产值各一根，分别显示当年沿岸国家占世界的份额，以及其中沿岸带所占的份额。投影为等积投影，因此图上的面积与地表面积成正比。

接下来是分析：能够凑齐全部五个项的技术阵营只有两个，一个靠分工，一个靠垂直整合，后者的瓶颈在制度。在集群的层面上看，方程式分为五个项：制度、有效能源丰裕度、比特侧的深科技（软件与AI）、物理侧的深科技（机械、材料与半导体），以及大资本。决定一个集群地位的，是它能否获得所缺的项，而不是它自己握有多少项。本文把能够彼此获得对方的项的一组集群称为技术阵营，目前只有两个阵营凑齐了全部五项。美国技术阵营靠分工凑齐：湾区专精比特，日韩台专精物理，得克萨斯、波士华和阿联酋专精制度、能源与资本，这些集群彼此叠加，几乎覆盖了全部五个项。中国技术阵营试图在一国内部靠垂直整合凑齐。它的优势是决策速度和对供应中断的韧性。它的弱点是，任何一个结构性偏低的项都会成为整体的瓶颈，而在中国的情形里，这个项是制度。外来直接投资在经济安全的顾虑中下降，⁴³对外来者来说，这个国家难以进入，也难以留下：外国专业人士的居留权系于雇主，语言、文化和法律制度又各自构成一道障碍。创造出的财富只有很少一部分流到家庭，于是劳动供给超过需求，青年失业率居高不下，出生数下降，需求收缩。第三个候选者印度，目前还不属于任何一方。

分工之所以胜出，是因为它比过去更难被打破。1990年代的分工是对工资差的套利，工资一变，格局随之而变。如今决定分工的是日照、土地，以及40年积累下来的制造谱系，这些都不像资本或劳动那样容易移动。只要

459-476：40个巨型区域拥有世界人口的17.7%、产出的66%与专利的85.6%。产出由夜间灯光强度估算并按各国GDP重新归一化，是对世界GDP的空间再分配，而非独立测量。数据约为2000年前后。

⁴⁰ UNCTAD, *Review of Maritime Transport 2017*, p. x: 世界商品贸易按体积计逾80%、按价值计逾70%由海运承担。2024年版与2025年版未给出这一比率，故引用2017年版。

⁴¹ 本文自行在2弧分网格上的汇总。岛屿计入持有它的国家；澳大利亚、新西兰、巴布亚新几内亚和马达加斯加被排除。海岸线为SRTM15+ v2.7，边界为Natural Earth 10m，国内分解为Kumm, Taka & Guillaume, *Scientific Data* 5, 180004, 2018，预测为Murakami & Yamagata, *Sustainability* 11(7), 2106, 2019 (SSP2)。将各比率固定在2015年的值，得到34%与38%。

⁴² 本文自行依据IMF *World Economic Outlook*数据库（2025年10月版）的汇总：印太沿岸国家拥有世界人口的69%，按购买力平价生产世界GDP的66%，1980年为53%。按市场汇率计为65.5%。1980年的数值基于67个国家和地区中有数据的49个。最大的单一项是美国；将其剔除后，数字降至51.7%。

⁴³ 按商务部汇编的实际使用外资口径，2024年对内直接投资同比下降27.1%至8262亿元，而国际收支口径下的直接投资负债在2023年和2024年均保持净流入，2023年的流入为1993年以来最小。原因不能仅归于经济安全；房地产市场与利差的贡献没有被分离出来。

比较优势被固定在地理和时间之中，把各项分摊给彼此的一方与把全部项都抱在一国之内的一方，差距就会随时间拉大。因此，美国、阿联酋和日韩台应当比现在结合得更紧密。比特在美国，物理侧在日韩台，能源、大资本和决策速度在阿联酋。三者已经在互相补足，但把它们连在一起的东西仍停留在单笔交易的层面。把三者置于同一个设计之下，五个项才第一次凑到一处。这样做也使整合的单位从国家变成集群。

有一样东西可能松开海洋对这幅地图的掌控：地球轨道上的计算。它胜过地面有两个原因：阳光无遮挡地到达，并且不需要并网排队。物理定律不构成障碍，起约束作用的工程限制是散热。按今天的固体辐射器外推，为1吉瓦的计算散热需要约10万吨；据报道，液滴辐射器能以约2200吨排出同样1吉瓦的热量。⁴⁴ 10万吨与2200吨之间的差距，决定的是项目可能还是不可能，成本倒在其次。目前进入轨道的最低成本掌握在美国技术阵营内部，所以这一转移会加强该阵营，而不是威胁它。

10 投资什么

投资对象与方程式的各项一一对应。方程式是乘积，所以资本在最低的那一项上作用最大。还有第二条检验标准：可以依靠的回报，只有那些不依赖人头数的回报。

提高有效能源丰裕度

- ◎ 核聚变与小型模块化反应堆（SMR）。胜负取决于同一设计能复制多少台，所以值得买的与其说是示范反应堆，不如说是在它之后重复同一设计的生产线和供应链。对能源价格的影响在2040年代到来，只有能等那么久的资本才属于这里。
- ◎ 电网基础设施与重型电气设备。无论新增多少发电能力，新负荷接不上电网就什么都动不了。可以买的有三样：变压器和开关设备的制造能力，输电线路和变电站的建设能力，以及已经并网的土地。

提高劳动投入

- ◎ 物理AI。人形机器人与自动化工厂。单位成本已开始沿着赖特定律下降，可靠性的验证却在滞后，两者各自推进。这里没有一件事能按软件的时钟来规划。工厂、零部件、监管、事故和维修，全都按物理世界的时间运转。
- ◎ 前沿物理供应链。材料、半导体生产设备、光刻、前沿逻辑芯片、高速存储器、工业机器人、精密电机。量产开始时，最先告罄的将是制造这一层的能力，而非成品机器。这些层次挨得最近的地区是日韩台，日韩台又结构性地缺能源，所以对这一层的投资若不放在与核聚变和电网同一个设计之内，价值就会打折，因为电力会成为它的约束。
- ◎ 面向鲍莫尔部门和住房的落地设计。住房、教育、托育和医疗。物理AI只有触及这四个领域，才会对人口产生影响。制造机器，与设计在

⁴⁴ 由作者依据斯特藩-玻尔兹曼定律重新计算，而非引自业界材料。国际空间站在接近422平方米的面积上排出70千瓦热量；NASA将70千瓦作为设计能力给出，从未给出辐射面积，422这一数字来自下面引用的业界分析。液滴辐射器每千克450瓦的数字即出自这份分析：SpaceComputer, “Cooling for Orbital Compute: A Landscape Analysis”。这一数值处在NASA自身对该概念所做设计研究的悲观一端，这些研究把单位质量的散热能力定在每千克431至2,141瓦（Karl K. Knapp, *Lightweight Moving Radiators for Heat Rejection in Space*, NASA-CR-161943, 1981, Tables I and III）。

医院、学校、托儿所或住房生产的哪个环节使用它们，是两种不同的投资，后者正是资本最稀薄的地方。

建设制度

- ◎ 分配制度。出生时开设的资本账户、公民持股型主权基金，以及自动化资本的全民份额。这是一个工程学的项，而不是伦理学的项：它决定一个集群20年后是否仍在运转。
- ◎ 并网与审批的速度。制度好坏，可以从办手续要花多长时间读出来。1840年代的英国同时具备两样东西：仅凭登记即可设立公司，以及一部把强制征购程序标准化的法律。今天处在这个位置上的是并网排队、环境评估和建筑许可。程序可以按月缩短，变压器的交货期却只能按年缩短。
- ◎ 测量使用价值的基础设施。可以买的有三样：记录受益者感受到效益这一事实的技术，把这种记录转化为支付的合同机制，以及证明记录未被伪造的机制。没有它，分配和共创都没有可以结算的单位。

方程式之外

- ◎ 技术阵营之外的基础设施。从2035年起的半个世纪，人头数主要在目前不属于任何技术阵营的那部分世界增长。20世纪那种廉价劳动力吸引制造业的顺序不会重演，所以这些人头数不会自行转化为购买力。为培育购买能力而投资和为销售而投资是两回事：向收入尚未到来的市场销售，等于把销售变成放贷。
- ◎ 轨道。耐高温运行的半导体，以及可以取代固体面板的某种辐射器形式，值得买入。这是核聚变与电网的竞争者，同时也是它们的保险。

以上十项有一个共同的注意事项。这里列出的回报，大多是因为约束尚未解除才存在的。已并网的土地之所以昂贵，是因为程序缓慢，审批和并网一旦加快，它就会贬值。地面能源基础设施之所以昂贵，是因为轨道尚未打开，轨道一旦打开，使它昂贵的稀缺租金很快就会消失。

11 十一个预测，以及什么会证明它们错了

把预测写下来还不够。能让我承认其中某一条错了的东西，也必须以同样的精度写下来。这张表的存在，不是为了保护预测，而是为了确保错误的预测可以被扔掉，不必争论。

预测	观察到以下情形，预测即告失败
I 能源	到2035年底，在任何一个主要经济体中，都没有出现过核电新增资本投资超过可再生能源新增资本投资的年份

I'	核聚变（2030年代向电网供电，2040年代成本达到现有电源水平）	到2040年底，没有任何核聚变电站向商业电网持续供电；或者到2040年底，核聚变的平准化成本达到现有电源的水平
II	电网	到2035年，在有效工业电价、可靠性和并网前置时间上排名最前的地区，没有被选为吉瓦级新建算力与制造的选址
III	物理AI	到2032年底，没有任何生产商达到年产1万台人形机器人
IV	中国出生数	2032年的年出生人口超过700万
IV'	生育率反转	在以现金转移支付为主的国家，比在降低了能源和住房有效价格的国家更早观察到显著的反转
V	劳动	在测得AI暴露度最高的职业中，青年就业相对其他年龄组的下降在2020年代后半期趋于平稳，此后不再扩大
V'	再培训	某项大规模再培训计划使目标群体的就业率恢复到统计上显著的程度
VI	政治	到2040年底，财富税或70%水平的最高边际税率没有出现在两个或更多主要发达经济体执政党的政纲中
VI'	税基的流动性	在实施财富税或70%水平最高边际税率的国家，生效5年后，既没有观察到高额纳税人的净流出，也没有观察到该税种申报税基相对于顶层财富独立估计值的萎缩
VII	分配	到2040年底，出生时开设的资本账户、作为国民份额持有的基金、自动化资本的全民份额，三者中没有一项在主要国家被制度化为主流政策
VIII	需求	到2040年底，主要国家的政策文件中，劳动力短缺仍排在需求短缺之前
IX	测量	到2040年底，没有出现任何一个按使用价值的直接测量结算支付的商业案例
IX'	能源计价单位	到2040年底，在受监管市场之外，没有任何商业合同直接以所消耗能源的单位或排放配额结算对价
X	价值创造的单位	到2040年底，软件和AI企业的平均员工人数没有下降
XI	集群	到2040年底，得克萨斯和阿联酋都不在吉瓦级算力与制造的主要选址之列
XI'	轨道	到2032年底，没有50千瓦规模的在轨演示
零	框架本身	在10年到30年的窗口内，制度的质量被证明与资源禀赋系统性地同步变动。若是如此，方程式的第一项就不是独立的项

其中一条被证伪时，骨架的哪一处会断？能源的预测若失败，时间表向后推移，但对约束的识别仍然成立。电网的预测若失败，约束位于并网这一识别本身就错了。中国出生数的预测若失败，诊断所依据的最大案例就错了。劳动的预测若失败，任务与收入之间的断裂，也就是要求所有权分配的那件事，就还没有发生。分配的预测若失败，本文称为必要的那套设计将被证明在政治上不可行。失败后波及最广的是中国出生数。最需要守住的是分配。这些预测中会有一些是错的，而哪些失败、如何失败，所包含的信息将多于那些成立的预测。

12 要建立的制度

我提议的是一个资源整合者：一个机构，把美国、阿联酋和日韩台各方分别持有的资本、技术、场地和审批许可汇入同一项事业；一个介于基金、工作室和联合体之间的共创平台。

作为风险基金，它募集资本并让资本运转起来。作为工作室，它逐个项目地指定要攻克的主题，整合聚集在该主题之下的各方资源，共创尚不存在的概念。作为联合体，它把能源、算力和监管各方纳入同一份合同。同时做这三件事的机构，就是本文所说的生态系统。

工作室这样运作。它提出一个任何一方单独都达不到的宏大愿景，例如从头到尾建成一座完全自动化的制造工厂。持有该愿景所需各项技术的各方，为创造价值自发聚集起来，把各自的构想组合起来，构思、建造、运行并测试一系列产品。成员随项目更换。把不同学科的人放进同一间屋子一起做设计，这本身并不新鲜。这里改变的是出口：它不停留在一个被提出的概念上，而是为它配上吉瓦级的电力、算力和场地，把工作推进到实物落成。

资本从阿联酋的主权基金起步，这些基金正致力于培育本国产业。资本流向比特侧，即旧金山湾区、得克萨斯和波士华的基础模型与AI基础研究；也流向物理侧，即日韩台围绕前沿物理供应链和下一代核反应堆的各方。获得投资的公司随后选择阿联酋和得克萨斯作为物理实验的场地，因为那里能源便宜、场地可得、审批迅速，并且监管沙盒已经就位。阿联酋和得克萨斯就是这样跻身物理落地的主要地点之列的。

关于作者

你好，我是Arata Hoshino，一名常驻阿拉伯联合酋长国的战略与创业设计师。我在日本长大，但少年时代读的是硅谷技术、长期主义、技术自由意志主义，以及巴克敏斯特·富勒（Buckminster Fuller）的思想。

我在早稻田大学取得机械与能源工程学士（BEng），在庆应义塾大学取得媒体设计硕士（MSc），研究方向为服务设计与创业设计，随后在巴黎高等商学院（HEC Paris）和新加坡国立大学完成CEMS MIM（国际管理硕士）。之后，我在旧金山和新加坡从事风险投资和战略咨询。2024年至2026年，我在一家源自哈佛与OECD社群的公共政策与AI经济咨询公司，为阿联酋各部委提供经济战略建议。

这份简报是《约束的彼岸》（*Far Side of the Constraint*）的精简版。完整版承载全部论证及其背后的证据：9章、28幅图、120多页，围绕一个基本问题，即什么决定了一个文明实际上能建造多少。它论证这个答案在过去50年里几乎不为人察觉地改变了，并沿着能源、人口、价值、产业集群和投资追踪其后果。它是为想自己检验推理的读者写的：研究者、政策的设计者、深科技创业者，以及在长时间跨度上建造、治理和配置资本的投资者。读完它需要几个晚上，结尾说明了什么会证伪这个假说，以及它不声称证明什么。如果你想读一读，或者想与它争论，请联系我。

完整版、由它生发的随笔，以及解说它的注记，都汇集在 aratahoshino.com。你可以通过[电子邮件](#)、[LinkedIn](#)或[X](#)联系我。每个项目的范围见我的[作品集（PDF）](#)，我的立场见我的[愿景文件（PDF）](#)。

我们见面聊聊吧。

© 2026 Arata Hoshino. 本文以知识共享署名4.0国际许可协议（CC BY 4.0）发布。只要注明作者和来源，欢迎自由引用、翻译、摘录和再分发，包括用于商业目的。引用格式：Arata Hoshino, *An Investment Thesis for the Economy Beyond Constraint* (2026). 本文不是学术论文那种意义上的严格证明；除另有说明外，文中的数字、来源和计划均截至2026年9月。