

On the Principle of Least Cost

De-Xing Guan (官德星，國立台北大學經濟學系)

June 2026

我在去年出版的書中提到最小成本原理 (*principle of least cost*)，¹乍看之下這好像不是什麼新的概念，因為在給定產出下，廠商追求利潤最大和成本最小的結果是一樣的，²但其實不然，因為我所謂的成本包括原始生產成本 (*prime cost*) 和交易成本 (*transaction cost*)，也就是所謂的完整成本 (*full cost*)，而一般教科書的總成本並沒有考慮交易成本，所以只能算是最小成本原理的一個特例。此外，經濟學的原始意義是在給定目標下，家計單位如何有效管理以節省資源，³這不就是追求最小成本的意思嗎？有趣的是：用最省力的方式完成工作也是自然界中隨處可見的現象，其中最著名的就是物理學的最小作用量原理 (*principle of least action*)，而我們將會發現其實這和最小成本原理也有異曲同工之妙！

能量守恆與資源有限

經濟學的基本假設是資源具有稀少性 (*scarcity*)，因為如果資源不虞匱乏，就無需節省成本，也就沒有經濟問題。資源有限同時也是物理學出現的必要條件，能量守恆定律 (*law of conservation of energy*) 便反映了這個事實：對一個封閉體系而言，總能量是固定不變的。譬如能量大致可分為動能 (*kinetic energy*) 以及位能 (*potential energy*) 這兩大類，當你從一樓走到二樓，你的位置上升一層樓，這表示你的位能增加了，但你需要消耗動能才能走上去，因此在無外力干擾下，你增加的位能和減少的動能會正好抵銷，使總能量維持不變。當然如果你搭電梯上樓，那麼消耗動能的是電梯，但總能量依舊守恆。事實上，如果整個宇宙是一個封閉體系，就像惠施描述的「至大無外...至小無內」一樣，⁴那麼對整個宇宙而言，能量守恆定律還是成立的。不過這和經濟學有什麼關係呢？

¹ De-Xing Guan, *The Nature of Economics: Smith, Coase, and the Substitution Structure of Production*, World Scientific, 2025, p. 6。此書在本校和台大總圖皆有館藏，有興趣者可就近借閱。

² 這個所謂的對偶理論 (*duality theory*) 的另一部分是說：在給定效用水準下，消費者追求效用最大和支出成本最小的結果也是一樣的。

³ 日本人將“economy”譯作經濟似乎是受到漢語中「經世濟民」一詞的影響，然而在 Marshall 之前，經濟學被稱為“political economy”，其中“poli”是希臘文的城邦，亦即城邦如何管理以節省資源的意思，這表示相對於經世濟民，經濟學與如何善用資源以節省成本的想法更直接相關。

⁴ 莊子，雜篇，天下。

經濟學家提到能量守恆最著名的就是 Miller，他在 1990 年的諾貝爾演講中，將 M-M 定理 (Modigliani-Miller Theorem) 比擬為能量守恆定律，只不過守恆的不是能量，而是風險。⁵ 如果我們同意 Keynes 風險即成本的想法，⁶ 那麼 Miller 所謂的風險守恆其實是一種成本守恆，而此成本必須包含交易成本，否則無法解釋絕大多數我們在真實世界觀察到的現象。這是因為許多經濟學模型只有消費和生產，卻沒有交易的行為，這使得因交易而產生的成本被整個忽略了！

舉例來說，完全競爭和獨占性競爭是總體經濟學的兩個標準模型，然而它們通常都假設代表性個人或廠商，而且也不會出現寇斯猜想 (Coase Conjecture) 所帶來的問題：在沒有交易成本的情況下，獨佔性競爭和完全競爭廠商無從區別，因為兩者最終都會用邊際成本來定價。⁷ 代表性個人或廠商表示每個消費者或廠商都一樣，那為什麼在真實世界他們要互相交易呢？為什麼會出現零售、批發、供應鏈等市場交易行為呢？代表性個人或廠商把這些真實世界每天都在發生的現象全都假設掉了！而弔詭的是：獨占性競爭並不是解決這個困境的替代方案，因為它無法回應寇斯猜想的質疑。真正的解方是認真考慮交易成本，而不是像 Romer 假設寇斯猜想不存在，⁸ 或是像 Friedman 假設交易成本小到可以忽略！⁹

如果交易行為這麼重要，那麼能量守恆定律可以帶給我們什麼啟示呢？請記得物理和經濟學是兩個不同的學科，但不相同不表示不相似，如果我們仔細觀察，還是可以找到一些具有啟發性的異曲同工之處。譬如回到前述上樓的例子，假設我現在要到樓上的市場買菜。從物理的角度來看，買菜耗費了一些動能，而從經濟學的角度來看，這些動能是因交易而產生的成本，所以動能和交易成本是兩個近似的概念。別忘了能量一般定義為做功的能力 (the capacity to do work)，¹⁰ 這和成本是生產要素產值 (the value of the factors used in the production) 的想法十分類似，¹¹ 而根據能量守恆定律，總能量等於動能加位能，如果動能類似交易成本，那麼位能就應該類似原始生產成本，或是所謂的租值 (rent)。這個猜想當然無法證明，因為物理和經濟只是相似，並不相同，但我們可以用我書中反覆使用的一個模型來說明這個猜想的可能性。

我書中用的是一個考慮交易成本的模型，其中有勞動、資本和創意 (idea, A_E) 這三個生產要素，假設創意市場既不是完全競爭，也不是獨占性競爭，但滿足如下的市場結清條件： $P_E + C^T = F$ ，其中 P_E 是每單位創意的原始生產成本或租值， C^T 為每單位創意的交易成本， F 則為每單位創意的預期利潤現值總和，而在套

⁵ Merton H. Miller, "Leverage," *Journal of Finance*, 1991, p. 483.

⁶ John Maynard Keynes, *A Tract on Monetary Reform*, Macmillan, 1923, pp. ix-x.

⁷ Ronald H. Coase, "Durability and Monopoly," *Journal of Law and Economics*, 1972, 143-149.

⁸ Paul M. Romer, "Endogenous Technological Change," *Journal of Political Economy*, 1990, p. S82.

⁹ Milton Friedman, *The Optimum Quantity of Money and Other Essays*, Aldine, 1969, p. 24.

¹⁰ Ian Stewart, *Seventeen Equations That Changed the World*, Profile Books, 2013, p. 48.

¹¹ Ronald H. Coase, "The Marginal Cost Controversy," *Economica*, 1946, p. 173.

利均衡下，市價必然會等於完整成本，或至少滿足： $P_E = \max(F - C^T) > 0$ 的條件。這表示預期利潤現值總和必須大於交易成本，才能保證租值為正，否則不會有創意產生（ $A_E = 0$ ）。由於租值為市價和邊際成本的差額，因此市價愈高或交易成本愈低，都會使租值上升，這就好比將二樓升高或將一樓降低一樣，都可以增加從一樓去二樓市場買菜的位能，這表示租值的確是一個近似位能的概念。

摩擦生熱與交易成本

假設你買完菜，要下樓回家煮飯，根據前面的描述，現在你的動能會增加，因為下樓比上樓省力，但是位能卻因此降低，而兩者互相抵銷，能量依然守恒。如果這是事實，那麼理論上不管你一天買菜多少次都不會累，因為總能量不變。然而實際上你還是會累，那又是為什麼呢？簡單來說，上下樓梯多少會磨損一些膝蓋和腳踝的組織，也會使肌肉產生一些乳酸，這些都是你會累的原因，而這些大致上都和摩擦力（friction）有關。在有摩擦力的世界中，任何作用通常都是不可逆的（irreversible），這是因為摩擦會產生熱能（heat），而根據熱力學第零定律（*zeroth law of thermodynamics*），熱能總是從溫度高的地方流向溫度低的地方，這就是為什麼熱水放久會變冷，但是冷水放久不會變熱的原因，除非你給它加熱。所以我們必須考慮摩擦力，才能維持能量守恒，而摩擦力明顯近似交易成本。¹²

摩擦力扮演 Newton 第三運動定律（*third law of motion*）中反作用力的角色，¹³ 因為許多反作用力來自運動物體和接觸面（桌面、地面等）的摩擦，而摩擦生熱是每個人都知道的常識，只是這種透過熱傳導而產生的動能，通常是不可逆的，也就是我們很難將流失的熱能蒐集起來，再產生一開始摩擦生熱時同樣的動能。如果這是可行的，那麼 Carnot 的永動機（perpetual motion machine）就不再是個可望而不可及的夢想，而且還不需要著名的馬克士威的惡魔（*Maxwell's demon*）在蒸汽機旁不停地開關著閘門！

熱力學的蓬勃發展和蒸汽機的廣泛應用有關，而熱能和氣體動力理論（kinetic theory of gases）導致統計力學（statistical mechanics）以及熵（*entropy*）這個重要概念的出現。此外，Boltzmann 將熵定義為 $S = k \log W$ ，¹⁴ 以及 Clausius 提出的熱力學第二定律（*second law of thermodynamics*），¹⁵ 都是非常重要的理論貢獻。

¹² 這或許就是許多人會將能量守恒定律和熱力學第一定律（*first law of thermodynamics*）畫上等號的原因，因為後者可以考慮包括熱能（和摩擦力）等其它能量，算是將能量守恒定律一般化了。

¹³ 作用力等於質量乘以加速度（ $F = ma$ ）的第二運動定律（*second law of motion*）雖未提到摩擦力，但卻和最小作用量原理關係密切，因為它可以直接從這個原理推導出來。

¹⁴ S (熵) 代表總體狀態（macrostate）， W 是個體狀態（microstate）的個數， k 為 Boltzmann 常數。

¹⁵ Stewart (2013), p. 204。這個定律告訴我們：對一個封閉體系而言，熵只會增加，不會減少。

由於熱能只會由高溫流向低溫，這表示有許多熱能將會逐漸消散，失去繼續做功的能力，所以熵的增加可以視為一種可用能量在轉換過程中的消散。儘管此時能量依舊守恆，但是在無法做功的能量愈來愈多時，熵便會愈來愈大，這是利用熱力學第二定律推論的自然結果。¹⁶ 這個熵增定律不僅可以用來解釋許多真實世界的現象，也和最小作用量原理以及最小成本原理有關，當然最重要的還是它和租值消散 (*dissipation of rent*) 這個概念的有趣連結！

熵增定律與租值消散

最早提出租值消散這個名詞的是 Gordon,¹⁷ 儘管類似的概念早在 1920s Pigou 和 Knight 關於兩條馬路問題 (*two-road problem*) 的爭論中就已出現。這個概念通常會和共用財的悲劇 (*tragedy of the commons*) 連在一起，但可惜創造這個術語的 Hardin 卻誤解了國富論的想法，他認為 Smith 忽略競爭帶來的壞處，譬如公海捕魚可能使漁資源耗竭就是一例。¹⁸ 其實 Smith 不但認為惡性競爭可能降低效率，他還提到權利界定和共用財，¹⁹ 這表示 Smith 不僅和 Gordon 以及後來將此概念發揚光大並得到諾貝爾獎的 Ostrom 一致，²⁰ 也和 Coase 的想法若合符節。

Gordon 的另一貢獻是區別內部邊際 (*intensive margin*) 和外部邊際 (*extensive margin*)，並探討其均衡條件。如前所述，Pigou 和 Knight 已討論過類似的問題，也提出了類似的答案，那就是外部邊際的各個廠商或個人的平均成本必須相同。不過他們都沒有考慮交易成本，只是或明或暗提到租值消散對均衡的影響，而除了 Pigou 之外，Knight 和 Gordon 都談到產權的重要性，但直到 Coase 用交易成本重新詮釋 Knight 關於社會成本的文章，²¹ 才將租值消散和交易成本這兩個與最小成本原理最相關的概念連結起來。

舉例來說，假設只有一艘船進到公海捕魚，根據經濟學教科書的說法，船東應該用 $MR = MC$ 的獨佔定價方式決定漁獲價格，然而根據寇斯猜想，在沒有交易成本的情況下，獨佔廠商會因無法承諾不採差別取價而被迫降價，直到 $P = MC$ 為止。只有在獨佔廠商對消費者瞭如指掌，而消費者對獨佔廠商一無所知的情況下，獨佔廠商才能採取完全差別取價的方式決定價格。由於在真實世界交易成本

¹⁶ 除非有外來的能量供應，否則最終一個封閉體系將會進入所謂的熱寂 (*heat death*) 狀態，此時溫度會達到絕對零度，而熵不再增加，會趨近於一個常數，這就是所謂的熱力學第三定律 (*third law of thermodynamics*)。

¹⁷ H. Scott Gordon, "The Economic Theory of a Common Property Resource: The Fishery," *Journal of Political Economy*, 1954, 124-142.

¹⁸ Garrett Hardin, "The Tragedy of the Commons," *Science*, 1968, 1243-1248.

¹⁹ Guan (2025), pp. 146-148.

²⁰ Elinor Ostrom, *Governing the Commons*, Cambridge University Press, 1990.

²¹ Ronald H. Coase, "The Problem of Social Cost," *Journal of Law and Economics*, 1960, 1-44.

永遠存在，而且買賣雙方也無法取得對方的完全訊息，因此 $MR = MC$ ， $P = MC$ ，以及完全差別取價幾乎都不可能出現，儘管三者將分別得到獨佔租值，沒有租值和全部租值，而三者都假設獨佔廠商在追求租值最大，即使用尋租 (*rent seeking*) 的方式取得，也在所不惜。²²

然而這個對獨佔廠商的人設真的合理嗎？真實世界的企業、組織、政府高層等享有獨佔權力的決策者，真的是以追求租值最大，甚至是尋租，作為最高指導原則嗎？Acemoglu 和 Robinson 是著名的贊成者，他們用菁英是包容 (*inclusive*) 還是掠奪 (*extractive*) 的二分法，來解釋一個國家的成功與失敗。²³ 另一方面，張五常是反方著名的代言人，他利用 Coase 的理論說明追求租值消散最小比尋租更有解釋力，²⁴ 這也影響了 Barzel 和 North 等張五常在西雅圖華盛頓大學任教時的同事。譬如 Barzel 就認為尋租忽略了因避免你爭我奪的互耗而獲利的機會 (*the opportunities to gain through avoiding waste*)，²⁵ 而 North 也不同意 Acemoglu 和 Robinson 的想法，他認為菁英也要防範社會發生動亂的可能性，一味掠奪基本上難以持續 (*But unlike Acemoglu and Robinson, we argue that the interaction of elite groups is constrained by the possibility of violence... Attempts to maximize total elite rents... typically cannot be sustained*)。²⁶

這不免讓我們想起 Shannon 的資訊理論也有類似的想法，那就是如何減少雜訊 (*noise*)，有時比如何增加有用的資訊還重要，因為雜訊增加的速度往往比有用的資訊還快。²⁷ 雜訊增加可視為熵增，這又相當於租值消散，所以夏農定理 (*Shannon Theorem*) 告訴我們尋租不一定是最好的策略，如何減少租值消散往往比尋租更重要。經濟學教科書通常把尋租和減少租值消散畫上等號，但這只有在交易成本為零的世界中才成立，這是因為沒有交易成本，表示沒有因你爭我奪而產生的互耗，此時租值的增加自然等於租值消散的減少。然而真實世界充滿了雜訊、交易成本和熵，所以尋租和租值消散的過程都會產生交易成本、雜訊，或是熵。根據熱力學第二定律或是夏農定理，因租值消散而增加的交易成本往往比因尋租而增加的更多，這表示一國的興衰看似由上位者決定，其實不然。長期而言，由下而上的底層力量往往比由上而下的表面力量更有影響力，這或許就是黃仁宇所謂歷史的長期合理性吧！

²² Gordon Tullock, "The Welfare Costs of Tariffs, Monopolies, and Theft," *Western Economic Journal*, 1967, 224-232.

²³ Daron Acemoglu and James A. Robinson, *Why Nations Fail*, Crown Business, 2012.

²⁴ Steven N. S. Cheung, "A Theory of Price Control," *Journal of Law and Economics*, 1974, 53-71.

²⁵ Yoram Barzel, *Economic Analysis of Property Rights*, 2nd edition, Cambridge University Press, 1997, p. 14.

²⁶ Douglass C. North, John Joseph Wallis, and Barry R. Weingast, *Violence and Social Orders*, paperback edition, Cambridge University Press, 2013, p. 274.

²⁷ Claude E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication," *Bell System Technical Journal*, 1948, 379-423, 623-656 (本文提到的夏農定理是指頁 411 的定理 11)。

最小作用與最小成本

最小作用量原理是一個有些被忽略的理論，因為如果不是 Feynman 利用它想出著名的費曼圖 (*Feynman diagram*)，成為量子力學不可或缺的工具，並因此得到諾貝爾獎，這個理論恐怕早就被人遺忘。Fermat 在研究光線於不同介質的傳遞速度時，曾提出最短時間的想法，接著又有 Leibniz 和 Bernoulli 的相關討論，然而最早定義作用量為質量、速度、移動距離三者乘積的是 Maupertuis。²⁸ 不過後來還要經由 Euler 發明的變分 (*calculus of variations*)，以及 Lagrange 導出的一階必要條件 (即 *Euler-Lagrange equation*)，Hamilton 才終於發現最小作用和極小化動能和位能的差是一樣的問題。當然，如果沒有 Feynman 將此原理寫入他著名的物理學講義，²⁹ 包括我在內的一般人恐怕永遠不會知道這個最小作用量原理。

為了簡化起見，我們直接來看 Hamilton 的版本。這個版本當然不是最終版本，因為最小作用量原理的應用範圍仍在增加當中，不過對於本文來說已經足夠了。在前述上樓買菜的例子中，由於上樓需要耗費一些動能，所以必須用比較節省的方式進行，重點是要節省什麼呢？如果要省力，那麼應該坐電梯，不該爬樓梯；如果要省時，最好走樓梯，因為電梯在人多的時候可能會等太久。這就跟開車一樣：最快的路不一定是最近的路，反之亦然。所以一個簡單又可以同時考慮時間和體力這兩個因素的方法，就是求它們的乘積最小。這大概就是 Maupertuis 修正 Fermat 等前人想法的最簡單方式，因為質量、速度、移動距離都重要，也都和作用量成正比，因此求三者相乘最小，似乎是再直覺不過的想法。

只是沒想到這個再簡單不過的想法竟然蘊藏了一個非常一般化的定律，因為包括 Newton 的第二運動定律、Einstein 的相對論、Feynman 的費曼圖，甚至我的書中提到的考慮交易成本的最小成本原理，都可以直接從最小作用量原理推導出來，或是和它十分相似。其實在心理學和語言學也有類似的原理或法則，只是用著不同的名稱，譬如心理學用的是最小努力法則 (*law of least effort*)，³⁰ 而語言學用的則是最小努力原理 (*principle of least effort*)。³¹ 看來用最節省或最經濟的方式達成目標，似乎是一個滿普遍的現象，看似簡單卻寓意深遠！

現在讓我們從 Hamilton 的版本來看看最小作用和最小成本的關係，當然此時的最小成本是考慮交易成本的完整成本，而不是對偶理論中的最小原始總成本。Hamilton 將 Euler-Lagrange 的方程式一般化為： $\delta \int (T - V) dt = 0$ ，其中 T 為動能，

²⁸ Jennifer Coopersmith, *The Lazy Universe: An Introduction to the Principle of Least Action*, Oxford University Press, 2017.

²⁹ Richard P. Feynman, *The Feynman Lectures on Physics*, Addison-Wesley, 1963, Vol. II, Ch. 19.

³⁰ Daniel Kahneman, *Thinking, Fast and Slow*, Farrar, Straus and Giroux, 2011, p. 35.

³¹ George Kingsley Zipf, *Human Behavior and the Principle of Least Effort*, Addison-Wesley, 1949.

V 為位能， δ 為變分運算符號。Maupertuis 追求作用量最小的想法，在經過一番運算後，被簡化成極小化所有可能的動能和位能差的總和，而這個總和達到最小時的一階必要條件，就是它的變分為零，此即所謂的 *Hamilton's Principle*。³²

如前所述，我書中的模型滿足： $P_E = \max(F - C^T)$ ，亦即： $P_E = \min(C^T - F)$ ，而這相當於： $F = \min(C^T - P_E)$ 。在前面買菜的例子中，我們知道交易成本類似動能的概念，而租值則近似位能，因此交易成本和租值的差（也是交易成本和租值消散的和，因為 $C^T - P_E = C^T + (-P_E)$ ），就像是動能和位能的差，而上式告訴我們當這個差最小時，完整成本就會達到最小，但這是只考慮一個外部邊際的結果。如果考慮所有可能的外部邊際，就會得到一個一般式： $F = \min \Sigma(C^T - P_E)$ ，亦即將所有外部邊際的交易成本和租值的差加總，而此總和達到最小的一階必要條件就是它的變分為零： $\delta \Sigma(C^T - P_E) = 0$ ，此即間斷時間之下的 Hamilton 一階條件，也就是我所謂考慮交易成本的最小成本原理。對偶理論中的最小成本只是最小成本原理在交易成本為零時的特例。

由於交易成本通常是外部邊際的變動成本，³³ 在只有一個外部邊際又沒有技術進步的時候（即封閉體系），交易成本的增加勢必會等於租值的消散，也就是公海捕魚會有你爭我奪的互耗發生。若要減少租值消散，勢必要界定捕魚權利，而權利的界定必然會有成本，而且是一種交易成本，但是這種交易成本不但不會使租值消散，反而有助於整體租值的增加，因為市場交易範圍會擴大，生產技術會進步，經濟體系會更加開放。此時熵會減少，或可說 Schrödinger 所謂的負熵 (*negative entropy*) 會增加。³⁴

所以在不只一個外部邊際的真實世界中，交易成本有利有弊，因惡性競爭、意識形態、閉關自守等不當行為所導致的租值消散，必然會產生不利社會發展的交易成本；反之，良性競爭、互相包容、開放交流會導致租值上升，對社會發展必然有利。儘管長期而言，熵增是難以避免的趨勢，但是短期人們還是可以透過建立良好的制度，減緩各種可能會導致邊際報酬遞減的熵增現象。在全球暖化加劇，地緣政治衝突不斷，AI 前景不明的現在，降低不利社會的交易成本，減少沒有必要的租值消散，或許是我們每個人都可以且應該努力去做的事啊！

³² Coopersmith (2017), p. 112.

³³ Guan (2025), p. 15.

³⁴ Erwin Schrödinger, *What Is Life?*, Cambridge University Press, 1944.