

经济学、熵和可持续性

George F. McMahon, Janusz R. Mrozek 著 张继国 程淑芳 译

原载：Hydrological Sciencer-Journal 1997 年 8 月号

一 引言

经济学是一门在传统上讨论稀缺问题的学科。稀缺资源的配置（自然资源和劳动力）涉及到广泛的哲学问题——有关价值、偏好、效率以及权益的问题。近年来物理科学和生态科学的发展，导致了可持续性的看法，并随之带来了一个以往不被主流经济学家重点关注的新问题。Daly（1992a）把宏观经济规模这个问题，或者说较之环境经济的规模该有多大这个问题说成是“灿烂的反常现象”。因为，尽管单一的经济活动最优规模可以按照其净利润是最大的观点来确定，但对于最优宏观经济规模却没有一致同意的度量。这种反常现象在主流经济学家们中关于获得最优的各个时期期间的资源分配（这是可持续性的最重要问题）的方法的不一致的意见中反映出来。争论提出了关于在新古典理论里规模问题是否已被充分地考虑，以及这个问题到底是否应该被考虑这样的基本问题。这场争论的核心问题（Burness et al. 1980; Ranson, 1979, 1986; Swaney, 1985, 1986）是资源利用的新古典理论是否应该被修改以包含热力学的第二定律（也叫熵定律）。新古典理论目前包含第一定律（即能量守恒与物质守恒），它论证了表明理性的经济代理人的偏好的价格。籍以精确地反映资源稀缺的条件，及市场籍以有效分配稀缺资源的条件。但是，熵定律对所有的不仅仅由守恒反映的自然流程施加了一种额外的方向性约束。在经济计划及政策发展的预测中，如果第一定律的因素产生了稀缺资源显著地不精确的度量，那么熵就变得是与资源利用的经济学有关系的了。

此文讨论的目的是提出用于构想出熵对经济学的重要意义的问题的语汇，首先通过探索在经济环境相互作用中技术的作用，然后正式确定克服熵对经济发展约束的技术限制。解决熵对经济学的重要意义的问题的更广泛的目标，是消除新古典经济思想主流吸收生态经济学的根本性障碍。这些障碍包括这样的看法，即价格能精确地反映稀缺，以及市场总能够通过产生起支持作用的技术或自然资本替代物，对严重的稀缺做出反应。根据这种观点，通过不断的技术改进，市场使自身永存，防止了熵对增长的约束，而且现有的新古典理论可以胜任地处理稀缺问题。如果这些看法是正确的，那么熵与经济学就没关系了。并且仅凭技术能力可持续性就可被定义了。然而，如果这些看法是错误的，那么熵确实能约束经济的增长并因此与经济理论有关系，完全按照技术改进制定的可持续性理论也是错误的。因此，对市场行为的新古典修正并不能克服熵对可持续性的约束。

二 经济体系的可持续性

与著名的 Brundtland 定义（WCED, 1987。该定义被广泛认为是对无环境破坏的持续经济扩张的要求）相比，作为本文讨论的目标的“可持续性”被广泛地定义为在时间推移中保持或增加康乐的能力。就其如何解释经济—环境相互作用籍以出现的系统层次而论，对经济模型的公理基础进行的探究形成了有关熵对经济学的重要意义的争论。

影响经济的自然体系层次如图 1 所示。经济是一个开放的系统，从周围环境中汲取有用的能源和物质，并把无用的弃物排回到周围的环境中。

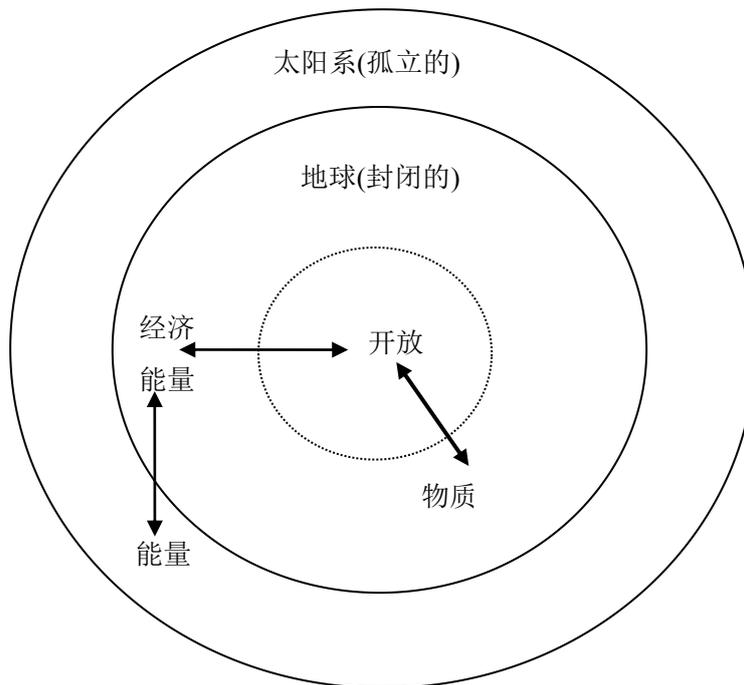


图 1 自然和经济系统组织结构示意图

它的界线是活动的（用虚线表示），因为它随经济活动为经济体增加和减少原材料而变动。地球环境（经济体的生命维持靠它，生产的原材料供给靠它，废弃物的吸收靠它），可以看作是一个封闭的系统，因为它在得到太阳能并发射热量的同时，从周围空间得到的物质数量相对微小。相对地被广袤的星际空间所孤立的太阳系，从周围的环境中得到的能量或物质几乎没有，因此实际上可以被认为是一个孤立的系统。大多数的关于可持续性的讨论可以归类为确定与地球系统相比经济系统该有多大。

三、第一定律和第二定律在经济学中的重要性

热力学第一定律和第二定律的广泛定义使它们能够加入到适于制定和讨论熵对经济过

程的重要意义的语汇中。第一定律要求质能守恒,即物质和能量既不能被创造也不能被消灭。第一定律对自然体系的推论是在一个孤立的系统里物质和能量的总容量是固定的,而且在一个封闭的系统内全部物质是固定的。对绝大多数被通常接受的资源利用经济理论来说,第一定律如果不是公理的话;那么它就是隐性的。

然而,第一定律却不能说明不可逆性。初始的投入或许无法从实际产出或(更精确地)有限时间过程中复原,而且在某种情况下不能从数学过程或无限时间过程中复原。这样,尽管如第一定律所预言的,能量和物质的数量是守恒的,但它们的质量或有用性却不是这样——所有的物理过程把低熵的能量和物质转化成高熵的废弃物,在这个过程中,在没有更加低的低熵资源转化成高熵废弃物的情况下初始的低熵投入是不能被复原的。第二定律支配着这种不可逆转性;熵在这里被定义为有限的时间过程是不可逆的程度。

因而,最优的宏观经济规模取决于两个方面,一是地球上低熵能量和物质的存量,二是其经济地利用太阳能的能力。尽管要可以预见的未来一段时间内,经济不会被太阳能量变化限制,但把太阳能转化为经济物质所需的原材料的有限限制却更加明显,这就产生一些严峻的问题,如地球的自然资本存量维持现状或提高未来的生产能力的程度的时间有多长。而比单独的自然资源存量枯竭更直接的关心是自然资本来源和废弃物沉积之间的相互依赖和互补性,或共同进化,正在限制或妨碍替代——这种市场反应使稀缺减轻。仅使用第一定律原则的新古典生产能力计算会忘记说明共同进化、环境恶化和高熵废弃物沉积的弥漫,所有这些使得未来的消费从热力学的角度看更加困难。解决熵对经济学的重要意义这个问题可帮助确定当前的新古典理论是否可以被修改以把第二定律考虑进去并适当地处理这些问题。

作为熵的重要意义的争论的一个部分,经济学家还在辩论第二定律是否是严格地适用于能量及是否也适用于“物质问题”(Georgescu-Roegen, 1971)。因为物理科学并没有在能量熵和物质熵之间划界线(事实上还延伸到量子力学、信息科学、生物学、宇宙哲学以及其他的研究领域)。这种区别被作者们看成是完全武断的,也不适于构成熵对经济学的重要意义这个问题。结果,这些作者们采用更广泛的科学观点,即熵是能量—物质相互作用的一种特性,因此适用于能量和物质。

熵对经济学的重要意义这个问题就是指熵是否是主要的、不能减小的经济物质的问题。支持有重要意义的理由认为熵是一种是对经济增长施加绝对约束的自然法则——虽然在个别的资源(特殊的低熵资源)中出现替代品是可能的,但这种可能并非经常出现,而且在时间推移中这种可能变得更少。用Daly(1991b)的话说,“各种类型的低熵中的可替代性并不意味着就存在一种可以替代低熵本身的替代品。而反对的观点则认为,“熵是个直接与什么是有用的相联系的拟人化的概念。因而用现代技术定义描述的”(Young, 1991)。因此,根据这个观点,新一代的技术能够减轻熵对经济所施加的约束,低熵资源的稀缺在时间推移中可以减少或保持相对不变。

四、可持续性

按照 Norton (1989) 的观点, 环境决策制定模型是以程度为特征的, 为了说明程度这些模型吸收了两个原理: 一个是物质价值公理, 一个是充裕公理。物质价值公理认为许多资源除了其在市场上的经济价值外没有内在价值。因此, 环境的许多基本功能(尽管这些功能对经济是至关重要的)可能只有很低的价值, 因为对它们的使用不是通过市场分配的。充裕公理认为, 与经济相比地球是巨大的, 实际上大到可以认为自然资本是无限的(在有针对性的时间范围内不会被经济过程显著地耗尽或降低), 从长远的观点来看生产不必受到限制。根据图 1, 经济开放系统会包括周围环境中微不足道的一部分, 因此, 在经济学上有针对性的时间里不会造成该体系的熵显著增加。所以熵对生产是不重要的, 因此对经济学也是不重要的。

新古典思想体现了对自然资本数量的约束, 这与第一定律相一致的。然而, 就其该如何才能替代其它投入而言, 人为和自然资本的质量仅取决于知识, 表现出来的就是技术。这样, 充裕公理就转化为技术充裕公理, 即为了使自然资本中的来源及人为资本和自然资本之间可以替代, 各种技术总会被发现。真是如此, 那么这个公理就表示只要技术发现延续, 那么不出现环境恶化的经济扩张就能持续下去, 而熵对自然资源利用经济学仍是不相干的。从图 1 可以看到, 经济能够扩展到那些围绕着封闭系统的地方, 因为经济创造了替代环境功能的人为替代物。新技术可能无法发现的可能性被原理的阐述、轶事、思维实验或者被对技术专家治国论的明显辩解所屏弃 (Simon, 1981; Simon&Kahn, 1984; Drexler1987; Myers&Simon, 1994)。Carpenter(1995)在给新古典经济学观点分类时, 断定技术能力的可持续性是“弱可持续性”。

近来, 一些科学家已经认识到用来度量和环境的新古典工具是不恰当的。一门新的科学, 生态经济学正在兴起, 这门科学是处理经济稀缺的学科和处理生态稀缺的学科的交融。生态稀缺被看做是共同进化的结果, 是对经济—环境相互作用的“单独但又相互影响的总效果”, 最终会限制经济的增长 (Ophuls & Boyan, 1992)。因此生态稀缺能限制了替代是因为一种资源的稀缺可能引起或加重其他资源的稀缺。

在预测经济—环境相互作用共同进化结果时所固有的对大量不确定性的增加的了解导致了这样的认识, 即自然资源(甚至是那些在市场上交易的自然资源)的稀缺或许未必被正确地察觉或适当地重视。物质价值公理是拒绝这样的看法, 即环境的各个部分有内在价值。而且, 把焦点放在稀缺未被察觉的原因上, 市场有时可能会产生一些技术, 使经济扩张只能带来新的或更严重的环境影响。因此, 根据被 Carpenter(1995)定义为“强可持续性”的生态学观点, 物质价值公理、充裕和技术充裕的公理是明确地被拒绝的。

生态经济学的支持者认为, 可持续性的问题就是可持续的宏观经济规模问题, 就是承认经济体可能会变得很大或已经是如此巨大, 以至于其置于自然的需求超过环境的承受能力的可能性。就图 1 而言, 相对于其周围的封闭系统, 经济变得过于庞大。因此, 作为不可逆性的衡量尺度, 熵与资源利用的经济学是有关系的, 尤其是在确定目前或将来的产出水平是否预示超过环境的承受能力的时候。如果重要意义被证明, 熵将取代物质价值公理和充裕公理, 成为可持续性的逻辑基础, 并为经济学、物理学和生态学的联合提供理论基础 (Odum, 1971; Georgescu—Roegen, 1971, 1976; Daly1980,1981,1991b)。理论和应用的研究已接受了建立经

济—环境相互作用共同进化模型以提供可持续性的基于物质上的度量标准的重要性。（Norgaard, 1984; Meadows et al. 1992; Ruth, 1993）。

五 作为物理定律的熵及组织原则

反对熵的经济意义的重要逻辑观点是 Young（1991, 1993）提出的，他坚持在热力学范围内熵仅仅是个适用范围有限的物理定律（在这个范围内仅适用于能量而不适用物质），结果是，环境（图 1 中的封闭系统）确实完全不是一个封闭的系统，因为它不断地得到负熵，这种负熵以近乎无限的太阳能的形式存在。Young 提出了一种支持技术充裕公理的思维实验：无限的能量和无限的知识能连续不断地提供所需的各种工具以防止天然熵的降低，并从先前的熵（非经济）物质的巨大存量中发现或恢复负熵（经济）资源：

Young 含蓄地表明，知识使一个封闭的系统能够无限地恒速做功。对这种观点的直接反应（Daly, 1992b; Townsend 1992）是指出这明显违反第二定律的。不幸的是，这些反应和更普遍的案例（即熵对经济学的重要意义的案例）大都集中在技术收益递减的具有轶事风格的证据上（Ayres, 1978, 1994; Ayres & Miller, 1980; Georgescu—Roegen, 1976; Boyan, 1992）。因此，他们不能满足公理的基础和 Young 的实验的基本逻辑。尽管有生态超量和生态崩溃的令人信服的例子存在，著名的例子就是复活节岛（Diamond, 1995），但报酬递减这种合乎逻辑的情况是以熵定律本身为基础的。因此不能驳斥目的论的观点。熵的重要意义和技术的局限性的证明必须严密到足以推翻作为所有这类思维实验的基础的公理基础，必须有足够严密的熵。

这种思维实验本身的公式化表述的瑕疵是把假设的经济资源充裕作为初始条件。充裕公理仅仅重申了数学的连锁推理（堆）问题：即从无数的谷物（堆）中取出一粒谷物，还有一堆谷物留下的悖论。接下去同样地拿走一粒留下一堆，为的是在进行若干次减法后得到堆与非堆之间的性质上的差别（考虑到不可数变成可数不能被理解的观点，这是不可能的事），这是谷子全部拿完后谷堆还存在的逻辑上荒谬的结果。连锁推理所造成的预测与现实之间的偏离，是由于把前一阶段的结论作为下一阶段的初始条件的再现（Rotman, 1993）。当这个堆实际上包含有无数低熵存量，而消费个体只是从中拿去非常少的份量时，充裕公理的逻辑吸引力似乎是令人关注的。但是根据连锁推理的观点，现实变得很清楚：就是在资源被耗尽前的很短时间里，它们看来或许是充裕的，这掩盖了真实的稀缺及即将发生的经济崩溃。

作为充裕公理的损害的直接结果，连锁推理问题论证了新古典经济学的主要缺点，即在个人偏好驱动下的市场无法精确地度量和恰当地评价物质稀缺。每天都面临大量的消费选择（这些选择中的每一个都代表着许多连锁推理问题）的理性的经济代理人在所有这些相互依赖且不可度量的负熵存量“堆”中绝无法确定真实的稀缺，因此，不能适当或始终如一地评价稀缺资源。尽管偶尔的感受或许严密地接近稀缺的现实，足以使市场和机构做出适当的反应，但连锁推理问题具有远远超出只有不确定性和不完全竞争的市场的意义。根据连锁推理观点，在复杂的系统动力学面前，与经济—环境相互作用有关的许多共同进化资源存量（不管有经济中是否

有价值)中就是相对的稀缺亦未必能被精确地度量。虽然资源充裕和物质价值的谬论已被连锁推理问题揭穿,但 Young 所作的目的论的争论还是很难被屏弃。该观点是关于熵本身的性质的,不管它不仅适用于物质也适用于能量,熵施加于经济增长的约束和及时克服这些约束以阻止经济崩溃的技术能力是更加难以屏弃的。幸运的是,这个熵难题部份地被连锁推理问题说明了,它表明了可以认识到的初始条件中的多义性成了随后出现在认识和现实上的分歧的原因,含糊、分歧、紊乱和初始条件都描述了熵的数学理解和科学理解及其对能量、物质和信息领域的适用性。科学的观点比 Young 的阐述的实验广泛得多,因为 Young 的实验假定熵是仅适用于热力学情况的经验法则,是一件可被提高机械效率或完全避免热力过程的技术所征服的麻烦事。这是一种自然的机械论观点,这是一种只能被充裕公理合理地解释的观点,因为在一个封闭的系统里,熵的每个局部降低(如图 1 中的开放的经济系统)一定伴随有周围封闭环境熵的全面更大的增长。在封闭系统中,经济持续增长的新古典经济学典型例子中仅有的合乎逻辑的论点是 (a) 无限的(无法估量的)负熵存量的存在,和/或 (b) 用熵产生和负熵消耗的速度是极小的效率重复利用有限的存量的能力。连锁推理问题处理了第一个论点,处理第二个论点所采取的第一步是通过提供比 Young 的实验所提出的更完整的熵的数学理解和科学理解的说明。

熵以前一直被定义为有限时间的不可逆性,但这个定义允许不解释不可逆性的原因。作为知识的一种组织原则熵的数学观点远超过热力学的经验主义,结果,熵到了不被认为是一种自然法则的地步,甚至不认为是数学必要性(形式上可推断)的法则。Barrowd 认为,组织原则“可能不同于传统的自然法则,因为它们必须应用于规模有限的系统中。它们并不能决定基本粒子该如何移动的。相反,它们将迫使如何让一批法则成形。这是因为,迄今为止发现的自然法则通常拥有时间互换性的性质,但是自然界过去不会被误解的偏爱是在一个方向上前进(从有序到无序),因此熵的称号成了“时间之箭”。熵的“箭”的增加反映了出现使一连串更加不可能的事情发生作用(在这种情况下,根据连锁推理的方法,随着以后的每一件事的发生,系统的熵状态必然地连续下降,长期地减少发生这些事情的封闭系统中的熵)的特定初始条件(即经济可取的状况)的极大不可能性。关于这一点,一些物理学家把熵看作是给定的初始条件的不可能性的反应,但另外一些物理学家则把它看成是个甚至先于自然法则本身的更加重要的概念(Barrow, 1991)。不管是初始条件还是自然法则的范例,熵显然是一个反映所有真实事件(这些事件涉及能量和物质两者)的后来历史的先验条件。因此,熵不能被合乎逻辑地推断,所以对用来描述物质领域的任何形式来说熵是公理的。

六 技术的局限性

有了已被承认的作为自然法则的组织原则,作为形式科学思想的公理,Young 关于技术可以从有限的资源中创造无限充裕的推测能力现在可以根据形式数学推测领域中被称为不完全性的方法来检验。

技术被认为可以使从数学中产生的科学原则生效(Barrow, 1991)。因此,从与整个数学有关的科学知识中发展而来的技术是受到形式可决定能力局限性的约束,该观点最早是捷克

逻辑学家 Kurt Godel (1965) 在 1930 年提出的。这些局限性被称为不完全理性论，概括如下：

对任何具有以下几点：(a)有限可描述的；(b) 一致性；(c) 与皮亚诺算术一样严谨（精确）的形式系统 T 均受两个局限性的支配：

定理 1：T 是不完全的。即，有关自然数的加法和乘法的一些陈述，既不能用 T 证明其正确也不能用 T 推翻。

定理 2：T 不能证实其本身的一致性。即，T 不能证明其不产生矛盾。

这些定理的含义就同它们处处都在一样是破坏性极大的。数学是无止境的（没有最终、最好的数学体系），并且总是有一些形式上不可判定的问题。因此科学导致了利用整个数学将无法得到所有的答案（Rucker, 1995）。这种情况被描绘成建在沙滩上的房子：“……数学的基础是不能肯定的，结果所有的科学都陷于危险。”（Barrow, 1993）。当然使用比小于整个算术的物质现实描述是完全的，但唯一的条件是物质现实接受有限的描述，（Barrow, 1991）。这当然要克服连锁推理问题的基本前提：“当在最深奥的水平上现实基本上是有限的”的时候，知道在哪方面不可数的变成可数的。

第一个不完全性定理对一致的可持续性的经济理论的最直接后果就是总有不能被解决的问题。所有的经济活动都是有形的，因此一些未解决的和不可能解决的问题将不可避免地经济—环境的相互作用中产生。对源于第一定理的技术功效的更为重要的含义是：现实的分析表述和数值表述当然应该简单明了，只有这样才能接近现实。存在一种值得注意的可能性，即简单的模型可能忽略或不正确地预测复杂的自然系统对人类经济活动值得注意的紊乱和共同进化的反应。总之，技术并不能解决资源稀缺的所有问题，而且在某些情况下会使问题变的更糟糕。技术创新不仅受到不完全性的限制，还受到一些偏差源的限制，这些偏差源可能将可持续性努力的焦点从真实问题中移开。技术中性的前提受到这个公众问题，即寻求个人利益最大化的代理人次优地耗尽公共产品（没有产权的自然资本），从而降低了公共利益挑战。反映被市场力量、属支配地位的利益集团和居支配地位的技术决定的社会特征的经济制度和政治制度导致了“技术决定论”（Ogbur, 1993, 1994, 1964; Ogbur et al. 1964; Ogbur&Nimkoff, 1955; Thurow, 1980）。只要经济-环境相互作用的生态结果没有被充分认知，技术将不能调节生态的限制，听任生态稀缺不是没有改变就是可能更加严重。

第二个不完全性定理有效地驳斥了所有企图批判熵的形式主义的思维实验，因为对宇宙的当前的数学描述来说熵是公理的。因为没有任何命题 S（代表熵）可以让理论 T（体现了被人认为是对宇宙的正确数学描述的程度）证明 S 和 S 的否定两者，这是用 $\text{Con}\{T\}$ 表示的矛盾（Rucker, 1995）。因此思维实验和任何相关的一组形式描述都不能确定熵的真实或谬误，只有形式的系统 $\text{Con}\{T\}$ （对其而言熵是非公理的）才能做到这一点，但 T 和 $\text{Con}\{T\}$ 都不能证明它们本身是最终、最好的形式系统。Young 的实验失败了，因为任何人一定要提出不要规定 $\text{Con}\{T\}$ 中 T 的替代，而且去驳斥 T 出自于 T。

七 可持续性的经济学

前面的讨论为构造占主导地位的可持续性经济理论(这些理论随后应用于暗中破坏作为新古典经济学基础的物质价值公理、充裕公理的正式观点)提供了语汇。连锁推理问题表明充裕的公理可能是不可靠的,而且由于错误地认为稀缺在市场上不能被恰当地定价,物质价值公理是无足轻重的。不完全性定理显示,从长远的观点看,通过技术创新恢复充裕是错误的,不管怎样一些想这样做的尝试会使事情更糟糕。因为对于作为技术创新基础的数学体系来讲,熵是公理的,技术创新不能解决经济—环境相互作用所产生的所有问题。大众和技术决定论者的悲剧进一步削弱未来技术救助方法的机会。

通过辨认和避免连锁推理陷阱,通过认识到世界正被各种微妙且明显的方式所改变以及通过认识历史转折点(从空无世界到丰裕世界的经济学)的消失(Daly, 1991a),对可持续性不利的偏见可以被克服。就看来有充裕存量的自然资源已经或将被减少到规模非常有限,赞成物质短缺(就连锁推理问题的唯一解法,堆不再是堆而论,实际上这是个猜想)而论,对这个认识需要作出判断。

对处理生态稀缺的持久的经济学重要意义而言,重要的问题并非熵是否适合于经济学,而是如何度量熵对宏观经济规模和可持续性的约束及如何对此作出反应,以及如何构筑市场以在平衡当前与未来福利时把公益考虑进去。

译者单位:河海大学商学院(常州)

邮政编码:213022

