

净能源和最大能量原理在生物进化中的公平问题研究

——模拟数据的提取与分析

曹高航¹, 冯连勇^{1*}, Garvin Boyle², 苏锐¹, 刘新村¹

1 中国石油大学（北京） 102249

2 加拿大 Orrery Software

摘要：伴随着社会经济的发展，社会公平逐渐成为热点话题，社会公平的根源也被广泛探讨。本文在之前研究的资本交换模型的基础上，构建了含有两种基因的自主体，引入了自然选择机制并且增加了系统能量的流入和消散规则，从而建立了自然选择模型。进而动态性地展示出在进化过程中自主体的运动行为。并以此证明了净能源是生物进化的根本驱动力，并且伴随着生物进化，自然界中的公平问题逐渐激化。除此以外，本文结合最大能量原理，揭示出能量利用效率高是物种进化的必要手段。由此可以看出，净能源理论是自然选择的动力来源，而自然选择理论与资本交换模型相结合将会成功地解释社会公平问题，解释社会发展不可持续的根源。

关键词：ABM；EROI；净能源；最大能量原理；进化论；社会公平；自然选择

Research on the equity of biological evolution by Net Energy and Maximum Power Principle

——Extraction and analysis of simulation data

Cao Gaohang¹, Feng lianyong^{1*}, Garvin Boyle², Su rui¹, Liu Xincun¹

Abstract: With socioeconomic development, social justice has gradually become a focus topic and the roots of social equity have also been widely explored. Based on the previously studied capital exchange model, this paper constructs agents containing two genes, introduces a natural selection mechanism and increases the inflow and dissipation rules of system energy in order to establish a natural selection model. Furthermore, the behavior of the agents in the process of evolution is dynamically displayed. This proves that Net Energy is the fundamental driving force of biological evolution, and with the evolution of biology, the social equity in nature is gradually intensifying. In

作者简介：曹高航（1998~），浙江温州人，主要研究方向：能源经济。冯连勇（1966~），山东广饶人，教授，博士生导师，主要研究方向：能源经济。Garvin H Boyle (1950~), 加拿大安大略人，学士学位，主要研究方向：能源经济，计算机科学。苏锐（1998~），安徽马鞍山人，主要研究方向：能源经济。刘新村（1998-），山东东营人，主要研究方向：市场营销。

*为通讯作者。

基金项目：国家自然科学基金项目（编号：71874202/71874201）。

addition, this paper combines the Maximum Power Principle, revealing that high energy utilization efficiency is a necessary means of species evolution. It can be seen that the net energy theory is the source of natural selection, and the combination of natural selection theory and capital exchange model will successfully make clear the issue of social equity and explain the unsustainable roots of social development.

引言

中国特色社会主义进入新时代，我国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。因此，社会公平问题在国内外备受关注。为此，本小组在之前的研究中构建了资本交换熵指数，并且发现随着时间的推移，封闭系统中资本交换熵指数不断增加，社会公平问题逐渐显现。而净能源理论所展现出的自然选择便是社会公平问题的关键理论。

近年来，随着净能源理论的出现与发展，人们越来越重视能源在经济发展中的作用，强调能源资源的约束性作用，其主要用 EROI（能源投资回收率）来核算除去能源投资后得到能源回报的净剩余值。净能源分析方法为新经济学的框架提供了一个有效工具，其角度产生于物理学和生态学，是经济学与自然科学相结合的一个新的视角。本文在资本交换模型的基础上，构建了自然选择模型，并且运用净能源理论和最大能量原理解释社会公平问题出现的原因。

1. 文献综述

公平与效率是经济学中关注的两个重要问题，在收入分配公平问题上，不同的学派对公平的定义不同，亚当·斯密所代表的古典学派以劳动价值论为基础，认为收入公平分配应以劳动所创造价值的大小为根据^{[1][2]}；边际效用学派以效用价值论为基础，主张收入公平分配应以要素报酬率是否等于各要素的边际生产率为依据^[3]；福利学派强调公平分配的标准是看收入分配能否增进社会总经济福利，而公平效率抉择理论则坚持该标准为机会公平和结果均等^[4]。

在定义公平的基础上，大量学者研究探讨公平问题出现的根源，以求探索出一条同时兼顾公平与效率的发展道路。结合前人的研究，总体有以下几点成因：一是分配体制差异成因，在竞争的市场经济中，优胜劣汰是竞争的一般法则^[5]；二是经济发展阶段差异成

因，主要是库茨涅茨提出的，前工业文明向工业文明过渡的经济增长早期阶段迅速扩大，尔后是短暂的稳定，然后在增长的后期阶段逐渐缩小^[6]；三是劳动者的个人素质差异成因，在工业革命之前，商品的价值主要是通过体力劳动者劳动时间进行衡量的，因此当时的收入高低与劳动者自身的体力强弱程度成正相关^[7]，而工业革命之后，商品价值的创造越来越多地来源于创新劳动，即更多地考虑了人力资本，而人力资本更容易带来不均衡^[8]；四、制度不完善和管理失范成因，利用制度的不完善和通过非法非正常收入引起的个人收入差距的扩大虽然并不多，但在社会上仍依旧存在^[9]。在 Yakovenko(2000)的研究中指出，社会贫富差距是符合热力学规律的，并且社会财富分布呈 Boltzmann-Gibbs 分布^[10]。而在之前的大量研究中，尚未见到文章用生物及能源方面去描述不公平产生的原因，因此缺失了公平在生物本质上的意义。

生物世界中的许多社会行为都可以通过市场力量得到恰当的解释^[11]，同理在自然界中的生物物理规律也可以在经济学理论应用，进化论中的自然选择机制在解释公平问题方面已有研究。生物进化论最早由 Darwin 所提出，Darwin（1859）指出，自然选择的作用，必然在于选取在生存斗争中比其他类型更为有利的那些类型，自然界中生物为了自己的生存，就需要为争取食物和空间而进行斗争，不适应生活环境的生物会灭亡，适应生活环境的生物将得到发展，从而形成物种^[12]。近年来，随着社会的进步以及经济的发展，生物进化论又被多数学者广泛运用于企业运营中。Nelson & Winter（1982）提出了自然选择主要通过四个基本规则影响企业的发展：(1)变异，企业在能力和适应度上出现差异；(2)选择，环境因子对某些企业变异有利，而对某些不利；(3)保留与传衍，有利的变异在企业种群中保留并遗传下去；(4)为生存而斗争，以更好地适应环境的企业种群，在资源争夺中处于上风而得以生存^[13]。因此通过进化论可以看出，自然界的选择机制是不平等的，通过有效变异而被选择的生物将会有能力繁衍后代，而变异方向与自然选择方向不一致的生物将被自然界所淘汰，而在人类社会中，丛林法则依然适用。

而进化论的本质机理可以通过 EROI 和最大能量原理等方法进行证明。EROI(Energy Return on Investment, 能源投资回报率)理论便是从生物物理的视角对进化论进行解释。随着化石能源的品质逐渐降低、开采难度越来越大，净能源问题越来越被重视起来。净能源不仅影响经济增长，甚至影响全球化的进程和人类文明的未来^{[14][15]}。Hall(2017)中认为 EROI 作为生命、进化和人类社会的统一性原理是进化论的驱动力，而最大的获取能量是生物界的可持续生存的前提^[16]。而在最大能量原理的研究过程中，Lotka（1922）试图用稳

定持久性原则（又名适者生存）和最大能量降解原理（系统演化过程中会最大限度的消耗能量而不是减少能量的消耗）来解释达尔文的进化论，他指出，一个生命系统生存和成功进化的可能性与其获取由环境产生能量的能力相关^{[17][18]}。基于 Lotka 的研究，生态学家 Thompson、Dieckmann and Law 和 Bronstein 等进一步讨论了这种进化潜力。Thompson（1994）强调了地理或环境差异对物种进化的影响^[19]；Dieckmann and Law（1996）提出了生态群落共同进化的动力学理论，并且基于个体层面的生态过程明确地解释了进化差异的随机组成部分^[20]；Bronstein（2001）等总结了前人进化生态学的相关概念，以及这些概念的实证研究^[21]。

虽然已有大量学者在不公平产生原因的探索有所造诣，但是**缺少了人类属于生物的基本特性的思考**。Hall 等人虽然也提出了净能源是进化论的驱动因素，但**并没有动态性地对此进行证明**。并且前人在生态学与社会公平上的研究仅停留在对社会达尔文主义的批判，并未能将进化论结合净能源理论对社会公平的影响进行正确的思考。本文基于前人研究，通过构建动态的自主体进化过程对之前构建的资本交换模型的结论进行深层次的探讨，并且运用净能源和最大能量原理的解释进化论自然选择的机理，进而对社会公平问题出现的原因进行进一步的分析。

2. 问题提出

本小组在之前的研究中构建了资本交换模型，并撰写了《基于 Agent 模型的生态公平指数的构建》（拟于《生态学报》第 22 期见刊），资本交换模型是基于 Dragulescu 和 Yakovenko 描述的模型^[4]的基础上进行调整，在模型中，并不考虑买卖双方的物品交换，仅将交换过程中的资本流动形态展现出来。该模型以离散时间进行，在每个瞬间，执行以下过程：

- 步骤 1 - 从箱中随机选择两名代理商；
- 步骤 2 - 在两个代理商中，一个被随机选为“失败者”，另一个成为本回合的指定“获胜者”；
- 步骤 3 - 如果满足[失败者超过 1 美元}，{赢家少于 K 美元}]的情况，两个代理商进行资金交换，即失败者为赢家支付 1 美元；如果不符合上述情况，则不进行交换；
- 步骤 4 - 两个代理商回到箱中。

模型通过其状态空间从较不可能的状态移动到更可能的状态，同时，可以观测到资本交换熵不断增加，因此可得出伴随着模型趋向更可能的状态，系统熵指数在不断增加的结论。并且对于不同的初始状态（即改变了最大财富的状态），得到的最终状态不同，并且最大熵指数也不同。

若在一个较大的封闭系统中，该系统共有 290 代理商，现将系统中的代理商拥有最大财富控制为 29，并且投入 1450\$ 的总财富，系统的运行结果如下图所示，在此系统中，能达到的最大熵指数为 0.736。

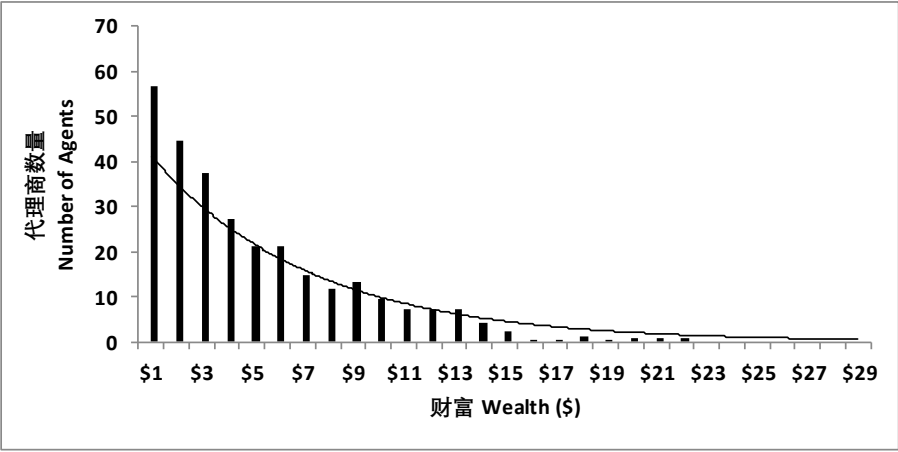


图 1 H (29, 290, 1450) 最终状态资本概率分布示意图

Figure 1 H (29, 290, 1450) wealth probability distribution

在资本交换模型中，可以看到初始财富会影响最终状态并且不同的初始财富最终达到的最大熵指数不同。在初始财富较少的情况下，最终达到的最大熵并不大，并且此时多数人处于贫穷的状态。资本交换模型模拟的仅是封闭的社会系统，且社会主体之间没有任何差距，在这样的理想的社会系统中，通过资本交换熵指数也可以看出，随着时间的演变，资本交换熵指数不断增加，社会混乱度不断增大，不平衡现象越发突出。

在资本交换模型中仅展示了简单的资本交换之后贫富差距的分布，并未深层次地解释公平问题产生的本质原因，而社会公平问题产生的本质原因是否能用进化的观点进行解释？为此，本文构建了自然选择模型，尝试运用净能源理论与最大能量原理对此问题进行探讨。

3. 模型方法

3.1 自主体构建

在 Michael Palmiter 的文章中提到两个观点：1.在无一切约束条件的空间中，自主体的行为是完全随机的，并且他们获取能量的渠道也是完全随机的，因此，自主体的运动过程呈现出来的概率分布是正态分布函数；2.自主体的生命周期中均要经历出生、能量的消费、繁衍、死亡等过程。基于上述两种观点，设置控制自主体的两个最基本的基因，称二者为“移动基因”和“生命周期基因”。

在“移动基因”中，按方位分别设置了八个碱基，这八种碱基在自主体中均可能存在，但在每一时刻中表现出来的能力不同，方位基因的影响如下图所示：



图 2 自主体“移动基因”中的八种碱基

Figure 2 Eight bases in the "moving gene" from the agent

令 B_i 为这在一个大系统中八种碱基的总数， G_i 为这八种碱基最终使自主体呈现出的选择方位的总数， S_i 为八种碱基所呈现出来的力量，其计算公式为： $S_i = B_i^{G_i}$ ，令 P_i 为选择八种碱基的概率，其计算公式为： $P_i = 100 * (\frac{S_i}{\sum_{i=1}^8 S_i})$ 。在自然选择的过程中， P_i 会随着环境的变化而发生细微突变，适者生存，并将优秀的基因传给下一代，使该基因在下一代的传承中出现的概率更大。

在“生命周期基因”中，设置了六大碱基：根据热力学第四定律，设置决定死亡年龄的碱基，在本模型中设置为超过 1600ticks 时，自主体自然死亡；根据热力学第一和第二定律，设置决定死亡时最低能量的碱基，在本模型中设置为自主体低于 4 单位能量时，摄入能量不足而亡；根据生命体的基本情况，设置决定繁衍年龄的碱基，本模型中设定为在

1000ticks 后，自主体才具有繁衍的能力；同理设置决定繁衍时所需要的最低能量能量的碱基，本模型设定为自主体自身能量高于 1000 单位时，将可以繁衍；根据热力学第一定律和第二定律并且 $EROEI > 1$, 设置决定每移动一单位所消耗能量的碱基，本模型设定为每移动一单位，消耗 4 单位的能量；根据热力学第一定律和第四定律决定每一自主体所能持有的最大能量的碱基，本模型设定一个自主体中不得超过 1600 单位能量。

基于上述的单一自主体的构建，将多个自主体放入生态系统中并进行仿真模拟，初始情况如图 3 所示，图中红色箭头为自主体，而绿色方块代表含有能量的食物，自主体为了生存和繁衍去寻找食物，首先寻得食物的自主体获得该食物的能量，并且与此同时该食物消失。

在“生命周期基因”中，设置了六大碱基：根据热力学第四定律，设置决定死亡年龄的碱基，在本模型中设置为超过 1600ticks 时，自主体自然死亡；根据热力学第一和第二定律，设置决定死亡时最低能量的碱基，在本模型中设置为自主体低于 4 单位能量时，摄入能量不足而亡；根据生命体的基本情况，设置决定繁衍年龄的碱基，本模型中设定为在 1000ticks 后，自主体才具有繁衍的能力；同理设置决定繁衍时所需要的最低能量能量的碱基，本模型设定为自主体自身能量高于 1000 单位时，将可以繁衍；根据热力学第一定律和第二定律并且 $EROEI > 1$, 设置决定每移动一单位所消耗能量的碱基，本模型设定为每移动一单位，消耗 4 单位的能量；根据热力学第一定律和第四定律决定每一自主体所能持有的最大能量的碱基，本模型设定一个自主体中不得超过 1600 单位能量。

3.2 自然选择模型构建

基于上述的单一自主体的构建，将多个自主体放入生态系统中并进行仿真模拟，初始情况如下图所示，图中红色箭头为自主体，而绿色方块代表含有能量的食物，自主体为了生存和繁衍去寻找食物，首先寻得食物的自主体获得该食物的能量，并且与此同时该食物消失。

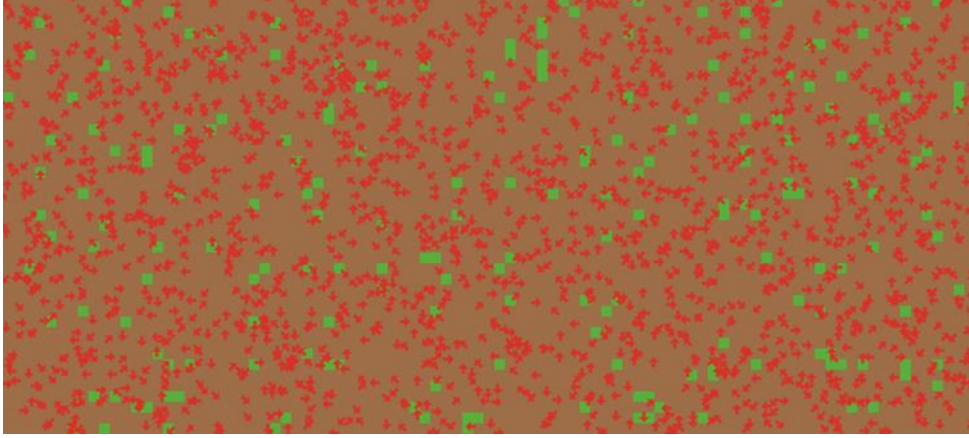


图 3 Netlogo 中初始状态时的自主体和环境设定

Figure 3 Agents and environment Settings in the initial state of Netlogo

在每一瞬间中，设定在系统的随机位置输入共 40 食物，并且自主体都是向着离自己最近的食物进行移动，每移动一单位消耗 4 单位的能量，设这一部分的能量为“能源投入（energy investment）”当自主体捕获到食物，则可以获取 40 单位的能量，设这一部分的能量为“能量回报（energy return）”。并且在这一瞬间中，倘若自主体满足了一定的年龄和一定的能量时，该自主体将会中进行分裂，分裂的过程中母体将会死亡而分化出两个子体；此外正如前文所述，每一瞬间自主体都可能会因为没有获取到足够的能量而死亡或是由于年老而死亡。由此，可以定义四种 EROI（Energy Return On Investment）

1. 自主体的瞬时能源投资回报率：

$$R_{Seeker}^{Inst} = \frac{\sum_{last\ 200\ ticks}(ER)}{\sum_{last\ 200\ ticks}(EI)}$$

2. 自主体生命周期的能源投资回报率：

$$R_{Seeker}^{Inst} = \frac{\sum_{entire\ life}(ER)}{\sum_{entire\ life}(EI)}$$

3. 系统整体的能源投资回报率：

$$R_{System}^{Inst} = \frac{\sum_{All\ Seekers}(ER_{this\ tick})}{\sum_{All\ Seekers}(EI_{this\ tick})}$$

4. 系统的平均能源投资回报率：

$$R_{MEAN}^{Inst} = MEAN(R_{Seeker}^{Inst})$$

4. 数据提取处理结果

在初始设定时，给予系统远小于自主体数量的食物，在较长的运行时间后，呈现出如图 4 所示的结果：

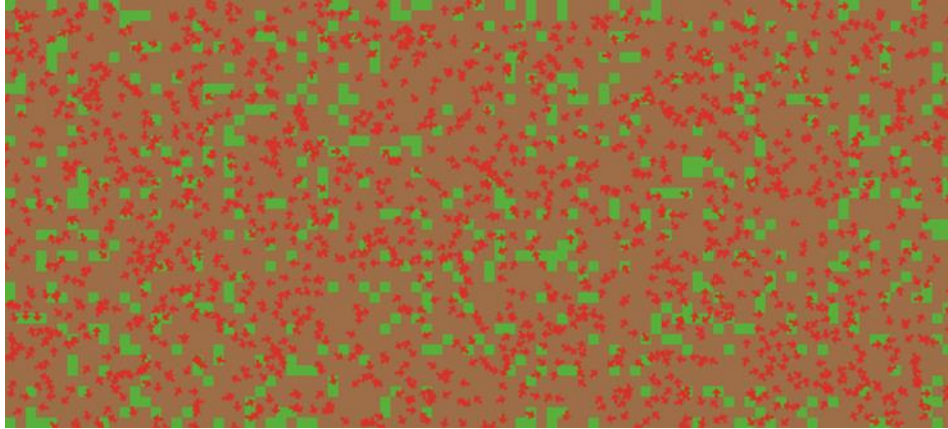


图 4 Netlogo 中最终状态时的自主体和环境设定

Figure 4 Agents and environment Settings for the final state in Netlogo

自主体在模拟过程中数量的变化以及整个环境承载力的变化如图 5 所示，由此可观测到，随着时间的推移，自主体的数量总体而言是在下降的，但是自主体的数量不会低于环境承载力。在自主体数量下降的过程中，环境得到了休养，从而环境承载力得到了提高，因此自主体在下一阶段又会微小增加，增加的后果又将使环境承载力有所下降，因此环境承载力在模型中处于上下波动的状态。

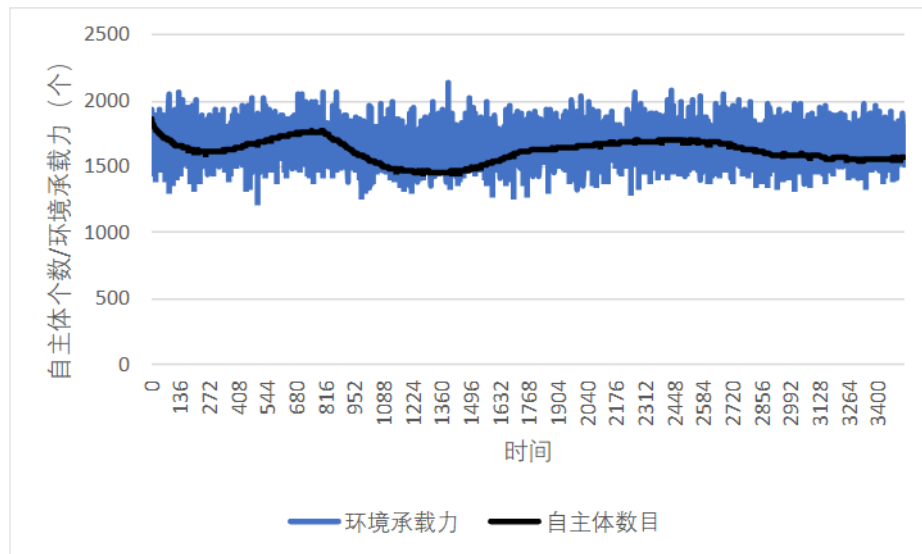


图 5 模拟过程中自主体数量变化和环境承载力变化

Figure 5 Changes in the number of agents and environmental bearing capacity during the simulation process

当系统运行达稳定状态时，计算自主体的瞬时能源投资回报率，可得到如图 6 所示的正偏态函数分布。能源投资回报率小于 1 时，可认为产出的能源尚难以维持投入的能源，即可认为投资回报率小于 1 的自主体是无效的，他们将会面临饿死而淘汰的风险，而从图中可以看出，大约三分之一的自主体是属于无效率的，而经过生态系统的淘汰，留下来的这一部分有效的自主体，但是在这些自主体中，可以看出只有极少数的自主体是极大的成

功者，而大部分的自主体仅是能维持生计。

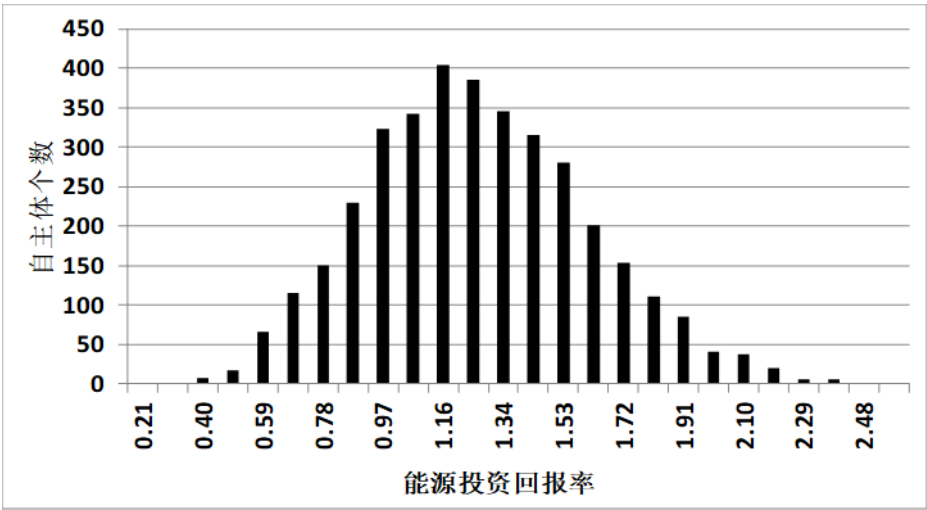


图6 自主体瞬时能源投资回报率频率分布图

Figure 6 Frequency distribution diagram of agents instantaneous EROI

在观测自主体的瞬时能源投资回报率的基础上，对系统中的生命周期 EROI 进行观测，生命周期 EROI 值小于 0.89 的自主体大多都因寻找不到食物饥饿而亡，而生命周期 EROI 在 0.89-1.12 的自主体大多处于自然死亡，生命周期 EROI 大于 1.12 的自主体大多都可以有足够的能量使之繁衍分裂。同瞬时能源投资回报率，在繁衍分裂的这一批自主体中，生命周期 EROI 高的自主体并不多，而大多数自主体是处在可以繁衍分裂和自然死亡的边缘。

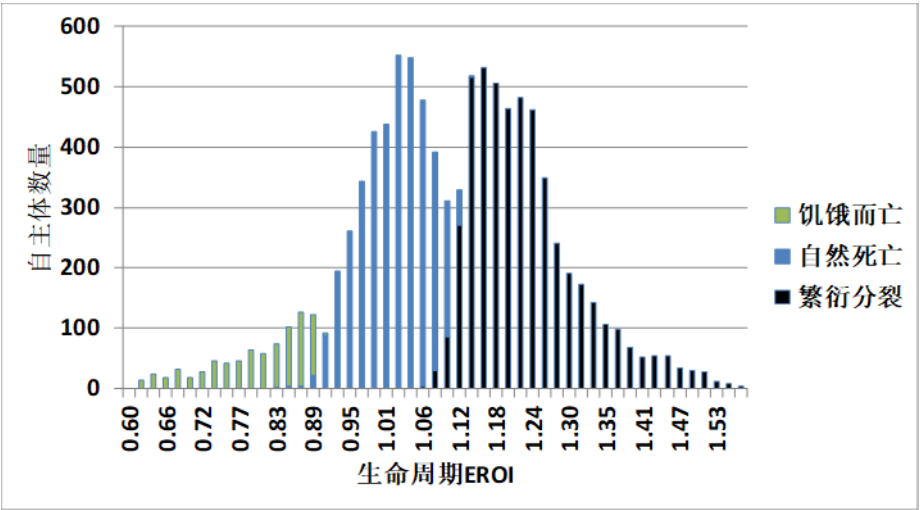


图7 自主体生命周期能源投资回报率频率分布图

Figure 7 Frequency distribution diagram of agents life cycle instantaneous EROI

再对系统 EROI 和系统平均 EROI 进行观测，可以发现，在漫长的时间里，系统中最大的 EROI 总体上是在上升的，而系统中最小的 EROI 总体上是下降的。这一结果与先前的

研究结论相似，随着时间的演进，生态系统中的自主体不断在进化，但是在进化的过程中，EROI 呈现出来的是摄入能量多的自主体在演进过程中，它或者是它的子孙摄入的能量会更加多，而摄入能量少的自主体在演进的过程中，它和它的子孙摄入的能量会越来越 少，即穷人（及其后代）愈穷而富人（及其后代）愈富。即在社会演变或是生物进化的过程中，公平问题将会愈加凸显。系统平均 EROI 总体上变化并不是很大，整体系统的 EROI 稍低于系统平均 EROI 但仍然大于 1，这可能与自然界的规律有所不同，因为本模型考虑的仅是简单的生态中的素食消费者和生产者，并未加入分解者，倘若加入分解者，整体系统的 EROI 可能会减小，将可能呈现与 Lotka 研究相同。

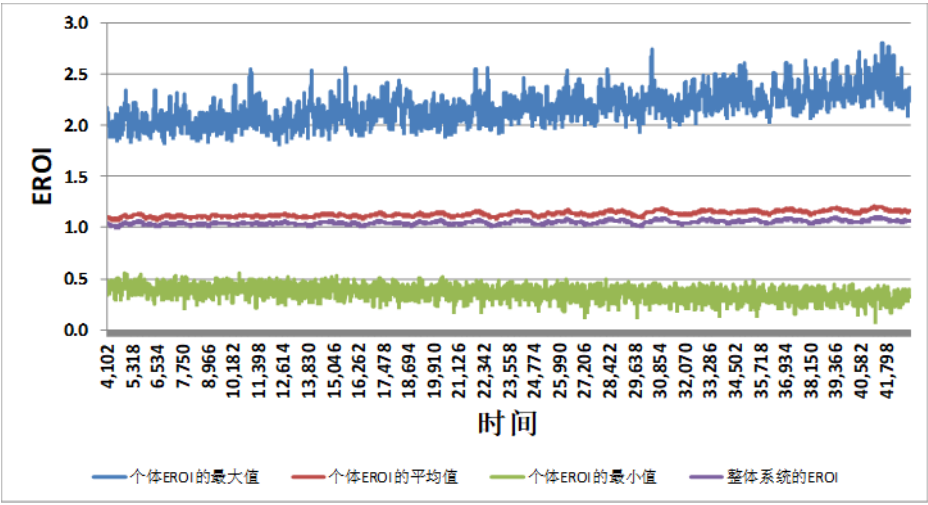


图 8 模拟过程中系统能源投资回报率变化

Figure 8 Changes in system EROI during simulation

资本交换模型中模拟的仅是封闭的社会系统，且社会主体之间没有任何差距，在这样的理想的社会系统中，通过资本交换熵指数也可以看出，随着时间的演变，资本交换熵指数不断增加，社会混乱度不断增大，不平衡现象越发突出。

而在资本交换模型系统中增加了能量的流入和自主体的淘汰机制建立的自然选择模型，呈现出来的结论和资本交换模型有着相似之处，也有着更深一步的结论。在资本交换模型中设置的 A、K、W 是固定不变的。而在 Efflab 中，A 的数值是会产生变化的，当自主体富有以后，自主体更倾向于繁衍后代，从而导致 A 将会增加，而当自主体贫困不堪时，自主体将会死亡，从而导致 A 会减少，其动态均衡如图 7 所示；K 的数值与资本交换模型的设定相似，在初始阶段时就已经将个体最多能拥有的能量和最低维持生命的能量固定；W 的数值在系统中总体来说是稳定的，但是与资本交换模型不同，资本交换模型中是静态守恒，而 Efflab 是维持着动态均衡，能量随着外界太阳能的流入而增加，随着自主体

的死亡而消逝。如图 8 所示，在引入淘汰机制以后，整体的能源投资回报率的分布呈正偏态分布，这模拟出来的结果可能与现实中的结果更相近，由于在资本交换模型中限制了最小的财富，即自主体财富处于 0 时，其财富不会继续减少，而是最多维持不变而已，而 Eflab 将更好地模拟出当能量的流入不足以支撑能量的流出时，自主体将会死亡。因此由图 8 可以得到的结论是，大部分人是处于仅能维持生计，而少部分人饥寒交迫或是富可敌国。

5. 模型结果解释

5.1 生物获得进化优势的核心是在于获得净能源方面的优势

Boltzmann (1905)^[22]指出生物的“生存斗争”主要是通过绿色植物获得的自由能，从炎热的太阳到冷地的辐射能量的转移。Lotka (1922)^[16]对此也提出了相近的观点，他认为生物竞争主要是对可用能量的竞争。有机体在不断发展以更好地适应其环境的过程中，以能量方式定义适应性将会使能量的核心作用结合在生物的两个普遍特征中：指数性种群增长的潜力和自然选择的进化。

在自然选择的进化过程中，植物和动物受到激烈的自然选择的压力来做“正确的事情”，那些通常被认为“最合适”的生存和繁殖生物是那些能够确保具有正确的形态，生理和行为的生物。它们在生存的过程中能源回报比能源成本高，除此之外，它们的净能源大于其他竞争对手。如果它们要随着时间的推移而繁荣，生物体必须从环境中提取能量，在其体内处理它并维持生存，而每个幸存的个体和物种都需要做能源投资回报率大于 1 的事情，因此在进化意义上成功的物种是产生大量净能源的物种，净能源使它们变得得以生存和繁殖。

大多数物种中存在的遗传多样性也可以被净能源所解释，因为并非所有物种的基因组都与发现该物种的环境条件一致。在自然选择中 EROI 大于 1.12 的物种得以生存繁殖，但该部分的净能量增益并不是完全一致，因为其特定基因组不太适合于非最佳环境。但也许是另一个物种，在这个新的环境通过后天努力而达到更适合该环境的能力，即在该环境中有着更高的 EROI。

而由净能源所主导的进化又会给社会公平带来一定的影响，虽然人类社会并不能用单纯的生物进化进行解释——在人类社会中，人对社会环境有主动建构能力，而生物对环境

仅是被动适应，但是结合净能源可以对一些社会现象进行分析。在自然选择中，适应环境的个体将把优秀的基因传递给后代，后代在正确的基因下进行净能源为正的活动，进而可以生存繁衍。而在人类社会，适应历史潮流而发迹的人物将把其权力或是资本传递给后代，后代在其父辈的资本中获取更高的教育，得到更广阔的资源，更倾向于做出投入产出比较高的决策。同理，不适应环境的个体的基因伴随着自然选择而逐渐被淘汰，而在人类社会中，穷苦的人的后代一般来说难以获得优质的资源，倘若其后代也没有遇到合适的环境，他们的投资回报率难以维持他们的基本生活，但是由于人类社会是具有道德性的，对于最穷苦的人民，也会有着最基本的关怀，因此人类社会的淘汰机制相对于自然中宽松了许多，因此社会将会呈现出如图 1 所示的贫富分配不均的情况。

5.2 最大能量原理揭示出能量利用效率高是物种进化的力量

Lotka^{[16][17]}（1922）最初提出最大能量原理（MPP）时也是为了解释适者生存和自然选择现象的。虽然 MPP 采用物理模型来证明，但其具有生态意义。Smith^[23]（1976）研究自然界中功率和效率关系的适用性问题，其研究是基于阿特伍德机进行的。他考虑了系统储存能量的多种用途，例如初级能量捕获组织(如树叶)和支持结构(树干和分支)的生长，新陈代谢以及繁殖等途径。

MPP 认为有效利用能量是适者生存的关键。最大能量原理（MPP）认为自然选择会使自然系统最终达到通过系统的能量通量最大的状态。在适当的条件下，无论是生物系统还是非生物系统，系统都会达到最大限度消耗能量的状态。“适者生存”现象中，存活生物往往是单位时间内能获得有效能量最多（功率最大）的生物，即自然选择中存活生物都是生态系统中能更有效利用能量的生物，而被淘汰的生物是不能高效吸收（或利用）能量的生物。基于此思想，Lotka^[24]（1921）认为一个物种的持续是以另一个当代物种为代价的。这也是达尔文进化论应用于有机体并遵循其逻辑的必然结果。

本文尝试用 MPP 的思想解释模型结果，前文模型结果展现的贫富差距现象体现了达尔文自然选择定律，揭示了系统随着有机体的演化而演变的规律。即从 MPP 的观点来看，这种贫富差距显示的是经济系统的一种发展规律，经济系统调整以趋向于开发资本，最大限度地利用资本，从而增加资本流动，当系统以最大的速率进行资本的流动时，最后呈现的结果就是巨大的贫富差距。前文中 Efflab 模拟出当能量的流入不足以支撑能量的流出时，自主体将会死亡，往往这种系统会趋于崩溃，难以持久运行，不是一个可持续的系统。由

于人类存在社会属性，所以社会经济系统中存在道德、法律、规则、法规以及其他对于人类消费行为的约束，使人类不会无限制的利用资源，在一定出程度上保证了能量的流出不会大于能量的流入。这些约束可以使人们的生活更加安全，也可以使我们的社会能够更好地获取和消耗可用的能量。

6. 结论

运用净能源理论和最大能量原理可以模拟出社会公平现象的原因，能源在经济分析中的具有重要作用。最大能量原理注重系统利用能量的问题，其描述了一个可持续的生态或经济系统的利用能量的规律，即系统会以最大的限度利用能量或资本，并长久的以这种形态运行，其最终呈现的结果就是社会不公平问题的加剧。而净能源理论更加注重经济系统的能源约束问题，在能源有限的情况下，生命体为生存而竞争有限的能源，因此自然选择的结果即存活下来的生命体具有正的净能源，并且净能源为正的生命体将其生存活动的基因遗传给后代。同理在经济社会中，面对有限资源的权衡决策，存活下来的企业需要具有正向的投资回报率，而该企业能存活下来的本质原因取决于该企业的机制、技术和文化与其所处时期或是所处的环境的吻合程度，这就类似于生命体的基因与其所处环境的适应性。因此可以从净能源理论结合生态学对经济问题进行合理的解释。

纯粹的资本交换模型解释了社会分配公平问题的普遍现象。虽然以上的研究是基于纯数学的研究，并没有考虑到人类的社会属性，但其仍具有社会意义。假设资本交换在封闭的社会系统中发生，社会主体之间无差异，在这样的理想的社会系统中，随着时间的演变，社会混乱度不断增大，不平衡现象越发突出。即使在复杂的经济系统中，可以认为如果政府采取放任自由的经济政策，那么社会将趋近于纯粹的资本交换模型，其结果是社会不公平现象必然存在，且会不断恶化。

净能源理论是自然选择的动力来源，而自然选择理论与资本交换模型相结合将会成功地解释社会公平问题，解释社会发展不可持续的根源。在自然选择中，进化意义上成功的物种是产生大量净能源的物种，它们能源回报不但比能源成本高，其净能源还大于其他竞争对手，因此净能源使它们变得得以生存和繁殖。适应环境的个体将把优秀的基因传递给后代，后代在正确的基因下进行净能源为正的活动，进而可以生存繁衍。但是某个环境中绝对的适应是很少存在的，因此就会有即使是净能源为正的生命体，仍存在着较大的

EROI 的差距，而这差距会伴随着进化而逐渐增大，因此在资本交换模型中，呈现出来的社会财富分配则是公平问题伴随着时间而逐渐激化，最终导致社会发展的不可持续。

为此，依照净能源理论与资本交换模型，提出了以下两点政策建议：

1.通过一定的政府的控制，可以相应地解决社会公平的问题，有效地促进可持续发展。对于资本积累较为薄弱的国家，不宜过度放任自由市场，无节制的交换带来的收益远不如不平等带来的损失大；对于资本积累较为丰富的国家，应当要合理限制富裕人群持有的最大财富，防止垄断造成的权力集中的现象，权力集中的现象将会使生态环境的选择权完全交予富人群体，这将会使社会公平发生扭曲，进而影响可持续发展。

2.促进教育公平，对教育机会和教育资源的再分配，缩小社会经济地位先天差距导致的后天结果差距。在自然选择模型中，父母的基因决定自主体运动的方向，而在人类社会中，父母的社会地位与财富水平很大程度上影响子女的发展方向，因此要缩小不同群体之间的差异，则需要在主观因素上进行修正。当代的收入差异主要体现在人力资本的差异，因此需要使教育服务惠及穷人才能使贫富差距问题在社会发展进程中逐步减小。

参考文献

- [1] 亚当·斯密. 国民财富的性质和原因的研究 (上卷) [J]. 商务印书馆, 1972.
- [2] 大卫·李嘉图作品选. 政治经济学及赋税原理 (四)[J]. 1976.
- [3] 鲁友章,李宗正, 经济学说史(下)[M].北京:人民出版社, 1983 .
- [4] 刘涤源,谭崇台,当代西方经济学说[M]. 武汉大学出版社, 1983.
- [5] 李炯. 中国现阶段个人收入差距分析[M]. 山西经济出版社, 2000.
- [6] Kuznets S. Economic growth and income inequality[J]. The American economic review, 1955: 1-28.
- [7] 杨强. 中国个人收入分配问题研究[D].福建师范大学,2002.
- [8] 陈征. 当代劳动的新特点[J]. 光明日报, 2001: 07-17.
- [9] 陈宗胜, 周云波. 非法非正常收入对居民收入差别的影响及其经济学解释[J]. 经济研究, 2001, 4(6).
- [10] Dragulescu A A, Yakovenko V M. Statistical mechanics of money [J]. The European Physical Journal B, 2000,17:723–729.
- [11] Yen-Sheng Chiang. Self-interested partner selection can lead to the emergence of fairness [J].Evolution and Human Behavior,2010,31(4):265-270
- [12] Darwin C. The Origin of Species; And, the Descent of Man[M]. Modern library, 1859.
- [13] Nelson R R, Sidney G. Winter. 1982[J]. An evolutionary theory of economic change, 1982: 929-964.
- [14] Cottrell W F. Energy and Society: The Relationship Between Energy, Social Change, and Economic Development (eBook) . New York: McGraw-Hill, 1955.

- [15] Fizaine F, Court V. Energy expenditure, economic growth, and the minimum EROI of society[J]. Energy Policy, 2016, 95:172-186.
- [16] Charles Hall. Energy Return on Investment: Anifying Principle for Biology, Economics, and Sustainability[M], Springer,2017
- [17] Lotka A J. Contribution to the energetics of evolution[J]. Proceedings of the National academy of Sciences of the United States of America, 1922, 8(6): 147.
- [18] Lotka A J. Natural selection as a physical principle[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1922, 8(6): 151.
- [19] Lumsden C J, Wilson E O. Genes, mind, and culture: The coevolutionary process[M]. 2005.
- [20] Dieckmann U, Law R. The dynamical theory of coevolution: a derivation from stochastic ecological processes[J]. Journal of mathematical biology, 1996, 34(5-6): 579-612.
- [21] Evolutionary ecology: concepts and case studies[M]. Oxford University Press, 2001.
- [22] Boltzmann L. Theories as representations[J]. translation of Boltzmann 1905b, 1905: 253-269.
- [23] Smith C C. When and how much to reproduce: the trade-off between power and efficiency[J]. American Zoologist, 1976, 16(4): 763-774.
- [24] Lotka A J. Note on the economic conversion factors of energy[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1921, 7(7): 192.