

生态产品价值实现机制的理论基础:热力学, 景感学, 经济学与区块链

刘耕源^{1,2*}, 王硕³, 颜宁聿¹, 孟凡鑫^{1,4}

(1. 北京师范大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875; 2. 北京市流域环境生态修复与综合调控工程技术研究中心, 北京 100875; 3. 自然资源部测绘发展研究中心, 北京 100036; 4. 耶鲁大学, 森林与环境研究学院, 美国康涅狄格州纽黑文市 06511)

【摘要】 当前, 生态产品价值实现探索实践中面临生态系统服务度量难、核算难、货币化难、交易难等基础性难题, 导致生态产品价值核算体系不统一、生态产品市场交易机制不完善、各类生态产品交易平台不规范、绿色金融滞后、绿色发展市场化激励机制不足等问题。本文从最关键的生态产品价值理论出发, 梳理生态产品价值实现困境的根源和理论基础, 并尝试提出可能的多元核算方法与热力学、景感学、经济学相结合的实践解决路径, 形成不同单位的统一核算标的物。通过探索利用区块链、大数据等科技赋能生态产品价值实现, 提出构建生态资产加密数字货币化的可能性, 并进一步形成不同生态产品的价格形成机制、成本监审制度和价格调整机制, 完善生态产品市场交易机制, 建立统一的生态产品交易平台, 促进绿色金融发展, 推动自然资源管理能力现代化。

【关键词】 生态产品价值; 热力学; 景感学; 经济学; 区块链

【中图分类号】 F062.2; F120.4

【文献标识码】 A

【文章编号】 1674-6252 (2020) 05-0028-08

【DOI】 10.16868/j.cnki.1674-6252.2020.05.028

引言

生态产品价值核算体系是市场化、多元化补偿的重要基础, 也是生态产品市场交易的基础。生态产品价值市场化是使资源环境由外生变量转变为内生动力的重要途径, 能够有效突破传统资本运营的思维局限。如果生态系统没有价格来指导其分配给更高价值的用途, 则市场将无法使净收益最大化。生态产品作为生态文明建设精神的具象化抓手^[1], 其价值市场化是使资源环境由外生变量转变为内生动力的重要途径, 也是全面贯彻落实习近平总书记提出的“两山理论”的具体实践之一。目前国内外学界探索研究出成本支出法、条件价值评估等不同的核算方法, 并在一些地区进行了试点探索。但是, 由于生态系统服务的效用类型、存在形式等不同, 彼此之间不可通约, 生态产品价值实现机制仍在探讨阶段, 导致当前的研究依然存在一些缺陷与困境。例如, 缺少统一核算量纲, 生态系统服务的货币价格受人为影响因素较大, 实物量的核算结果无法直接进行加总, 当前生态产品

价值发现机制不合理, 产品流通与市场规则仍在探索阶段。因此, 本文将从最关键的生态产品价值理论出发, 梳理生态产品价值实现困境的根源, 并尝试提出可能的多元方法模型与实践解决路径。

1 价值理论与生态产品价值理论

价值理论是各个经济学派的核心内容。价值一词有很多定义, 比较常识性的且不束缚于某项价值理论中的定义是指对象或行为对特定的目标、目的或条件的贡献^[2]。对象或行为的价值可能与个人的价值体系紧密相关, 因为个人的价值体系决定了对象或行为相对于感知世界中其他对象或行为对个人的相对重要性。但是, 个人的感知是有限的, 例如, 没有人拥有绝对完备的信息, 而且处理自己拥有的信息的能力也很有限。因此, 一个对象或行为可能有助于实现个人的目标、目的或条件, 而个人却可能完全没有 (或者仅仅是模糊地) 意识到这种联系, 这就形成了对该对象或行为价值的低估。因此, 价值的确认, 既要从个人及其价值体系的主观角度, 又要从其他可能相互联

资助项目: 北京市科技计划课题 (Z181100009618030); 国家自然科学基金中-意国际 (地区) 合作与交流项目 (71861137001); 国家创新群体项目 (51721093); 国家自然科学基金项目 (71673029)。

作者简介: 刘耕源 (1983—), 男, 博士, 副教授, 研究方向为生态系统服务核算、城市代谢模拟与生态管理, E-mail: liugengyuan@bnu.edu.cn。

系的客观角度来评估。

经济思想史上充斥着各种确定价值的努力和尝试。生态经济学与新古典经济学存在的隔阂也集中体现在各自价值理论中,即有人评论为前者尊重自然的客观规律而后者过于以人为本。当然,古典经济学也存在着不断的改进与思想的多样化,其中不少研究者都尝试寻求价值的不变计量单位。例如,亚当·斯密提出“所有劳动价值的‘劳动力’本身就永远不会改变其本身的价值,是真正的终极标准”。他认为劳动力是具有不变价值的特殊属性^[3]。大卫·李嘉图(David Ricardo)却认为,没有任何商品(包括劳动力)的交换价值可以作为衡量其他商品交换价值变化的不变标准。另外,不可能仅凭汇率就将商品加起来去衡量国民财富或生产价值。他认为,这一衡量标准必须是那些资本和劳动力的报酬相对不变,并且资本和劳动力的使用也不随时间变化(即无技术变化)的商品。他提出小麦和黄金都具有这些特性。尽管没有创造价值,但它们可以衡量价值^[4]。劳动价值理论和对不变价值标准的追求在19世纪后期逐渐衰落,之后的研究认为交换价值是基于效用和稀缺性的。如Sraffa^[5]将商品分为基本商品(进入生产过程的商品)和非基本商品,他证明不变的价值标准是基本商品的组合,其反映了生产中平均投入的比例。这样设计出来的“商品”就可以用作衡量国民财富或收入的标准。随后,价值理论的“边际”革命源于20世纪一些经济思想的融合。卡尔·门格尔提出,可以根据主观重要性对人类的需求或欲望进行分类,如食物、房子和衣服。在每个类别中,对于每种商品需求的增加可以形成一个有序的期望序列。他推断,对一个额外单位商品的渴望强度会随着商品的连续获得而降低^[6]。古典理论家寻求标准的商品物理单位来衡量交换价值,而新古典理论家则用效用代替。因为,如果假定价值仅由边际消费效用确定,并且假定消费者在各种用途之间最优分配货币(拥有完备的信息、没有外部性、固定的偏好以及没有人际关系),那么货币可通过边际效用作为商品和服务的价值载体实现从私人劳动到社会劳动的转化。货币因此成为标准的计量单位。商品和服务的基于效用的价值体现在人们为获得商品或服务而支付的意愿(WTP)或他们为放弃商品而接受补偿的意愿(WTA)。支付意愿是基于这些商品和服务的可用性产生变化,譬如那些已被市场定价的生态产品和服务(包括农林产品、供水等)。

尽管在20世纪经济学中存在生态产品“主观偏好”价值理论的霸权,但主流经济学还是有许多分支

理论发展,这些理论为“生态产品定价”提供了另一些方法基础。例如,著名的数学家冯·诺伊曼^[7]投身经济学,开发了基于“物理投入—产出关系”的一般均衡定价模型。在最大化利润率的目标函数和指定恒定增长率的约束下,确定了生产过程和最优价格。他所提出的“价格”在某种意义上类似于“生态价格”,因为这些价格由实物的投入—产出关系决定。尽管冯·诺依曼的定价与生态定价之间存在相似之处,但显然他的模型是设计用于经济体系,并反映了“利润最大化”这一新古典主义主流的规范假设。然而,在生态产品定价的背景下,无论数学上如何优化,都很难实现其采用的利润最大化的函数目标。后续的生态经济研究者进一步开发了更以生物物理/生态系统为中心的估值和定价方法^[8-11],即基于对全球生态系统及其经济子系统中隐含的生物物理相互依赖性(或贡献值)进行的测量,用以区别于使用成本效益进行估值的以人类为中心的方法。尽管这些生物物理上的相互依存关系很大比例也是人类干预的结果,因此也从一定程度上间接反映了人类的偏好,但是这种生态产品定价的确倾向于突出物种和生态功能,而这种定价通常无法通过支付意愿等方法来实现。

可以看出,生态学家和经济学家在价值理论的理解和目标性上是有一些差别的。譬如在生态学中,生态系统和非人类物种实际是没有追求任何有意识的目标、目的或条件的,因此它们按照“价值”原有的定义是不能纳入现有的核算体系。然而,这些不能纳入的价值在生态系统中又非常重要,如生态系统服务中的固碳释氧、抵御土壤侵蚀、生物多样性的维持等。这就需要在建立生态产品价值理论的时候,首先需要重新确认“生态产品价值”的导向目标。而生态学中的核心目标是自然选择与生物进化^[9],其包括三个方面:①通过随机突变或有性重组产生遗传变异;②通过繁殖成功进行自然选择;③通过存储在基因中的信息进行演替。尽管自然选择与生物进化的过程不需要参与者任何有意识的和以目标为导向的行为,但仍然可以将整个过程视为自然界的“目标导向”,这种目标已被嵌入物种自然选择与生物进化的过程之中,可视为这是物种追求生存的目标。因此,现在所说的可持续发展或物种的自然选择进化,可类比经济效用最大化,成为生态产品的“导向目标”之一。

此外,生态产品的价值还有非自然属性的部分,即市场价值部分。生态产品的价值既包括生态属性价值(一个自然属性上不能削减的数量),也包括市场属性价值(WTP或WTA,包括美学、景观、教育等

消费者偏好的数量)。生态属性价值和属性价值之间的主要区别在于,生态价格根据系统中生物的物理相互依存性来衡量价值;而市场属性价值是基于消费者的偏好和其他决定市场交易价值的因素。类比绿色供应链理论,生态和经济系统中都有两种类型的生物物理相互依存关系:后向关联和前向关联,两者都可以在确定商品的生态价格中发挥作用。后向关联涉及产品对后续过程物质/能量/劳力/服务的直接和间接输出。相反,前向关联涉及产品生成过程中物质/能量/劳力/服务的直接与间接输入。考虑到生态经济系统的复杂性和反馈回环,大多数产品都同时具有前向和后向关联,两者都决定着生态产品的价值。但需要注意的是,某些生态产品仅具有后向关联,例如地球的三种基本驱动力(太阳能、地热能、潮汐能)是其他生态产品的基本驱动力,仅具有后向关联。个别产品仅有前向关联,譬如废热(被耗散的)等。因此,生态产品的组成是多元性,其价值实现规律也是多元的,生态属性价值服从热力学规律,市场属性价值服从的是经济学而不是物理规律。

2 多元化生态产品价值核算体系

2.1 多元化生态产品及其理论基础

生态产品价值的统一核算是完善生态产品价值实现机制的核心。为了深入理解生态系统服务的内涵,需对生态系统服务分类有清晰的认识,从而确定生态产品的类型。2005 年由联合国公布的《千年生态系统评估报告》将其分为提供服务、调节服务、支持服务

和文化服务,这四类成为现在普遍使用的生态产品分类体系^[12];由德国和欧盟委员会发起的“生态系统和生物多样性经济学”(TEEB)项目增加了生态系统服务在经济方面的价值。生态系统服务分类的异同比较可详见参考文献[13]。从该生态产品分类(图1)可以看出:

(1) 供给服务类的生态产品,即从生态系统获得的产品是现在价值核算方法最成熟的部分,因为这些产品已经进行了交易,存在市场定价,现有研究常直接用当前市场平均价格来确定这类生态产品的价值。但是也有研究提出需要剥离产品中的自然贡献与人工贡献,譬如,根据 Shah 等的研究^[14],在核算的 18 种常见农产品中,来自生态系统自身的贡献实际很低,如小麦占 18.79%,棉花占 15.34%,水稻占 9.99%,玉米仅占 0.39%,常见农产品的生态占比阈值在 0.39%~26.33%,而非生态部分占比阈值在 73.67%~99.61%;根据刘畅等^[15]的研究,水电中的人工投入约为自然投入的 15 倍。购买这些商品及服务时的定价中实际已经包含了对人工投入的付费,不应将完整的定价算作是生态产品的总价值,因此在计算农产品与提供水电等生态产品时,是否剥离人工投入将对确定该项服务价值产生巨大影响。这说明当前部分生态产品使用的市场均衡价格是大量混合了非生态部分的投入,而这种不纯粹的生态产品的估价准确性需要对其进行“质疑”。

(2) 文化服务类生态产品,即从生态系统获得的非物质惠益。该部分生态系统服务一直以来都是核算的难点,常见的有通过旅行价值法等进行价值估算。

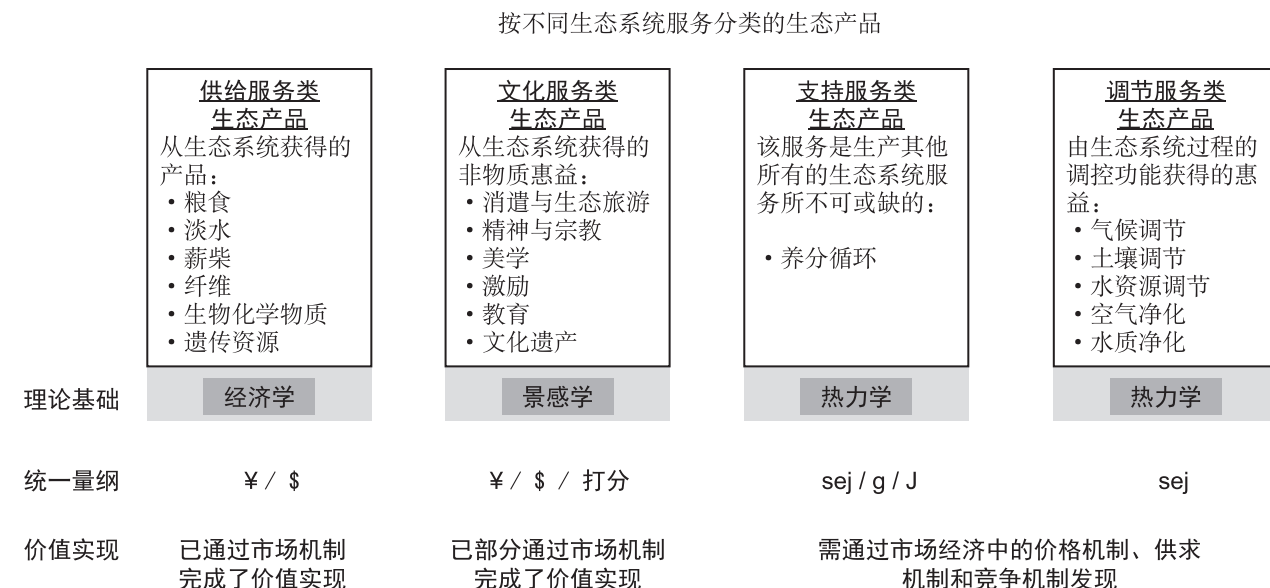


图1 基于不同生态系统服务的生态产品及所对应的理论基础

近些年, 由赵景柱教授提出的关于景感营造理论和方法, 即广义景感生态学 (general landsenses ecology), 或简称为景感学 (landsenseology), 已出现在该方面的应用^[16]。其思想主张将人的感知, 即视觉、嗅觉、听觉、味觉、触觉以及心理感受等纳入生态环境研究中^[17], 并尝试定量化, 如对“风感”的量化^[18]和绿色基础设施^[19]。景感营造主要有如下三种途径: 一是借助已有载体, 把愿景融入已有载体使其成为景感。二是根据呈现愿景的需要, 对已有载体进行不同程度的改造形成新的载体, 并把愿景融入这一新的载体使其成为景感。三是新构建载体并将愿景融入其中, 使其成为景感。其基础逻辑是强调人的体验下的生态产品实现, 譬如相似的景区, 该景区提供的景观、教育文化等服务也相同, 但由于开发或附加服务导致的人的体验性不同而形成的感知差异会影响其价值实现的大小。这部分可以采用体验性打分方式, 将景感学与经济学结合起来进行价值实现。景感学可能是破解当前对文化服务难以纳入的有效办法。

(3) 支持服务。该服务是生产其他所有的生态系统服务所不可或缺的。在一般的核算中通常不包括生态支持服务功能, 原因是这些功能支撑了产品提供功能与生态调节功能, 而不是直接为人类的福祉做出贡献, 这些功能的作用已经体现在产品功能与调节功能之中^[20]。而这也说明, 该服务是全球性/区域性生态热力学过程的一环, 与其他生态产品呈现前向或后向联系, 是符合热力学规律的。

(4) 调节服务类生态产品是从生态系统过程的调控功能中获得的惠益。这部分的产品大多为人类提供服务而无法商品化的生态系统服务。虽然“货币化”失灵, 但这种服务的产生必须遵守热力学第一定律。也就是说, 进入所有经济和生态过程的能量输入必须等于这些过程的能量输出。就生态产品定价的流程而言, 热力学第二定律的含义也很重要。所有生态和经济过程的耗散性意味着能量和物质(热力学)价值的下降, 在生态产品定价中必须考虑到这一点。

基于热力学的定价, 古典经济学在生产理论中对物质加工与能量投入的分析就已考虑了质量守恒和能量守恒原理, 但因为受限于传统生产(和价格)理论中对生态系统物质/能量基础的理解不完整以及当时的能量规律仅表达为封闭系统中的能量守恒和耗散, 古典经济学家未能将18世纪四五十年代发现的热力学定律用于扩展传统的生产视角, 以便涵盖能量和能量规律或对质量守恒原理的更普遍应用^[21-23]。基于热力学原理, 能值(emergy)是产品或劳务形成过程中

直接或间接投入应用的一种有效能(available energy)总量^[24,25], 单位为太阳能焦耳(solar equivalent joule, 缩写为sej)。Odum确定了由太阳能、潮汐能和地热能驱动的生物圈作为自然资源和生态系统服务的原始驱动力的研究, 将这些能量核算为太阳能等效能量^[26], 并用能值进行可持续性评估和自然资本评估的核算基础^[27]。Odum^[24]提供了价值观点的能量理论的最全面的表述。他的系统模型清楚地表明了能量流和伴随的货币逆流解析所有经济活动。然后, 利用这种理论模型, 他得出了一系列产品的“能值转换率”, 以能值的形式衡量了经济系统中各种产品的热力学价值。Patterson^[28,29]进一步开发了一种通过求解联立方程组来计算复杂生态经济系统中“能值转换率”的方法。Odum^[24]进一步通过引用Lotka^[30,31]的最大功率原理, 建立了热力学价值理论。能值分析方法的优势是能通过能值转化率将不同等级、不同类别的物质或能量转化为统一的衡量尺度^[32,33], 从而解决当前生态系统服务核算中缺乏共同度量尺度的问题。能值分析不仅是环境核算的重要方法, 它对物质流动和能量传递的细致剖析, 也使其成为系统分析和评价的重要工具。它允许量化支持每个流量或存储的环境工作量, 从禀赋价值视角(贡献者视角, donor side)来评估每个资源, 而不仅仅基于人类偏好和市场偶然性, 其方法学的不确定性与准确性也得到了充分的探讨^[34,35]。同时, 能值重新理解自然资产及生态服务功能的产生, 因此, 能值分析方法相较于经济学方法更加适用于核算来自自然生态系统的生态产品。

2.2 多元化生态产品的最优策略

基于热力学、经济学、景感学等多元生态产品价值方法论的提出, 首先是面向了不同种类生态产品内涵的复杂性, 可以形成针对不同服务的多准则计算框架和方法学。其次也是面向了对生态产品价值实现目标的多样性。譬如, 可以解决生态补偿到底是补偿给谁、依据什么确定补偿额度、用生态产品确定补偿时到底其中的哪部分应该作为依据和准则等。生态系统服务是直接或间接贡献人类福利的生态特征、功能或过程, 即人类从运作的生态系统中获得的福利^[36]。这种福利是自然生态系统贡献、人工投入和人类偏好共同作用的结果^[37]。因此基于生态系统服务进行生态补偿的研究中存在着直接将生态系统服务核算结果全部纳入生态补偿范围的现象, 使得补偿标准远远超出了当地经济发展水平和政府财政承受能力范围, 难以给生态补偿实践提供科学指导。而生态补偿的内涵是

对具有公共物品属性或外部性的生态系统服务进行补偿,具有非公共物品属性的生态系统服务按照供求关系所确定的市场价格进行交易,相关方利益均衡,不存在补偿的问题^[38]。也即生态系统服务中的人工投入和基于人类偏好价值并非生态补偿范畴的生态系统服务,因为二者已经在市场中完成了“交易”与“付费”。因此,识别纳入生态补偿范畴的生态系统服务类别是基于生态系统服务进行生态补偿研究和实践的前提。

再次,可以确定生态产品价值的最优策略。譬如在经济学方面有帕累托最优,在热力学和景感学方面的最优策略与经济学的可能并不一致。不同的学科伴随着不同的约束条件和目标函数,构成了复杂系统的非线性优化问题。如 Costanza 和 Neill^[39]开发了一种线性规划方法来确定“最佳”生态产品价格和“最佳”生产过程,他们选择了“输入到系统中的太阳能值总量最小化”为目标函数,这满足 Odum^[40]提出的生态系统最大功率原理。Jørgensen^[41]则将“生态可用能”(Eco-exergy)视为生态系统分析中的最优目标函数。因此,对不同类型的生态产品而言,其最优策略应不止有一个目标函数。

最后,生态产品的价值通过热力学、经济学、景感学计算出的不同单位的值也可通过一些方法进行统一核算,因为最终是通过转化为货币量来进行价值实现的,但不同生态产品的货币化方式不同,需要通过市场经济中的价格机制、供求机制和竞争机制去发现。譬如,基于能值分析方法可以将以热力学为基础的生态产品形成稳定评估的统一标的物,即形成代币,为后续进一步通过市场途径货币化和实现交易创造条件,而近期形成的生态元^[42]和三元价值理论^[37]也在探索如何通过代币进一步获得真正意义的交易价格或市场价格。

3 生态产品价值实现机制:经济学与区块链

热力学、经济学和景感学所提供生态产品统一核算后形成的代币,可通过区块链和交易市场实现代币到交易价格或市场价格的转化。区块链是分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等技术的集成应用,二者的集合形成生态资产加密数字货币化的可能性,可以有效解决生态产品市场交易机制中的公开透明和信任等问题。

热力学和景感学都有与区块链结合的理论基础。能值分析的基础是生态流(供应链),其目标之一是以绿色制造理论和供应链管理技术为基础,涉及供应

商、生产厂家、销售商和用户,其目的是使产品在从物料获取、加工、包装、仓储、运输、使用到报废处理的整个过程中,对环境的影响(负作用)最小,资源效率最高^[43,44]。此外,能值分析还能根据能量传递链追踪到能量起点,包括具体是哪种生态服务类型和哪种土地利用类型,这就需要探索建立生态产品的鉴定、评估、确权、上链、监管等机制。景感学的理论研究和实际应用也需要对生态及相关动态过程进行长期的、实时的、原位的观测,包括客观的“感”和人们主观的“感”等方面。这类观测只有通过物联网的途径才有可能获得,通过其他途径是很难或无法获得的。同时,物联网为趋善化过程与模型的实现提供了可行的途径,进而为土地利用的规划、建设、评价、管理与调控等提供了有效的保障。这就需要探索建立自然人的生态信用档案和评估体系。

区块链流程始于当事方无需中介直接进行对等交易。首先,这些交易可以通过简单的协议传输数字资产或信息,也可以合并称为智能合约的复杂程序。这些智能合约会根据预定义的编程规则自动执行和转移数字资产^[45]。每一方都拥有可以用来验证交易的区块链分类账本的副本,一旦满意就将交易广播到网络。网络收集广播的交易并将其验证为按时间顺序排列的列表,称为“区块”。其次,网络将执行共识过程,以商定将当前交易块添加到分类账本中。在网络达成共识后,该区块将“链接”到所有网络运行中的区块,使用称为哈希的不可逆的加密过程来链接该区块。哈希将分布式账本数据汇总为简洁的字符串,如果基础数据发生更改,该字符串会发出警告。再次,更新分布式账本的每个副本,并创建一个包含新创建的哈希的新区块。最后,网络移至下一个区块,并且过程继续。区块链的吸引力在于其数据的不可篡改性、透明性、可验证性以及隐私和安全性^[46,47]。区块链提供了一个几乎防篡改的交易历史记录,可提高网络交易信心并防止交易被拒绝^[46]。这段历史带有实现可追溯性的透明性^[48]和提供欺诈和腐败保护的可审计性^[49]。作为交易系统,它可以降低验证成本^[47]和维护多个分类账本^[50]。目前,区块链技术已探索运用到碳市场支持电力生产和消费新经济模型的分布式能源系统和技术^[51],但如何将区块链应用于碳市场确实才刚刚开始被探索。碳市场的理论基础是,通过贸易可以在经济和环境上更有效地实现减排^[52]。碳市场包括碳排放交易计划和碳补偿计划。碳排放交易计划设定了排放限值,分配了排放配额,并允许配额交易直到用于履行履约义务为止。碳补偿计划为减少、隔离

或避免排放的项目发放碳信用额。这些项目向其颁发碳信用额度的机构报告, 然后可以将其注销或用于履行合规义务^[53]。

因此, 可以探索由自然资源部、国家发展改革委、财政部、中国人民银行、银保监会等部门联合筹建生态产品交易平台和服务体系, 为交易主体提供价格及供求信息, 降低制度性交易成本, 完善生态产品分等定级价格评估制度和审核制度, 健全市场监管和调控机制, 在此基础上探索实践区块链与生态产品核算应用, 从而更好地发挥生态产品市场机制作用。

以生态产品与区块链的结合为例, 探索建立生态产品的鉴定、评估、确权、上链、监管等机制。生态产品可为每年各级区域山水林田湖草所能提供的生态服务进行核算, 并写入生态产品交易平台的数据块, 区块链通过在增加新的数据块前对所有记录进行数字签名合法化校验, 并将新交易记录向所有节点全网广播, 接受节点将自己的哈希加到所认可的数据块中做背书。利用热力学、景感学等方法的核算结果作为代币可以实现各级生态用地产权主体与该区域签订智能合约, 不同区域按照当地的市场价格对接, 形成交易。基于规范统一的生态产品交易平台, 盘活生态资源资产, 利用区块链金融的不可更改、去中心化等特性, 搭建生态产品产权抵押贷款平台、仓储融资平台、在线融资平台、生态保护和修复融资平台、生态补偿融资平台等, 鼓励银行、证券、基金等各类金融机构按照风险可控、商业可持续原则, 探索建立生态产品绿色银行, 完善绿色信贷、绿色债券、绿色保险、绿色基金、绿色税收等金融体系, 引入资本中介, 拓宽绿色发展融资渠道, 引导社会资本积极参与生态产品交易, 逐步将“输血式”生态修复和生态补偿变为“造血式”绿色发展。

其中, 在绿色信贷方面, 可借鉴浙江林权抵押贷款制度, 探索和完善其他类别生态产品产权抵押贷款, 建立生态产品抵押评估、担保和变现机制, 鼓励发展规范的评估机构和从业人员, 承担信用评估服务。引导设立绿色担保基金, 探索研究小额生态产品贷款担保合作社、资金互助社和国有控股担保公司等办法, 解决产权抵押贷款难题。在绿色保险方面, 应积极参与制定绿色保险标准及风险评估标准, 探索建立绿色保险定价体系, 扩大森林、农田、渔业等保险品种, 探索设立生态产品收益保险、生态修复工程责任保险、绿色企业贷款保险等, 推进政策性综合保险, 推动绿色保险逐渐覆盖生态产品交易、生态修

复、环境治理和生态农业等多个领域。在绿色债券方面, 积极参与完善绿色债券评估和评级标准, 降低绿色债券的融资成本, 健全企业在生态产品交易平台、金融市场、股权交易中心等发行绿色债券融资或绿色债务融资工具的机制, 引导投资主体与生态产品供给主体建立紧密型利益联结机制, 共同参与生态经济建设。在绿色基金方面, 探索设立生态保护和修复专项基金、生态补偿专项基金等, 完善专项基金管理办法, 实现生态保护和修复以及生态补偿的市场化、多元化。

完善的生态产品认证体系和生态信用制度体系, 是保障生态产品价值实现的重要条件。其中, 建立生态产品认证体系是指利用生态产品区块链来源可查、去向可追、责任可究的特点, 将生态产品标的物打上地理标识和产权标签再进行上链, 确保生态产品防伪溯源, 从而完善生态产品供给方与受益方的信任机制。建立生态信用制度体系是指建立企业主体、自然人的生态信用档案、正负面清单和信用评价机制, 建设生态信用信息服务平台, 将破坏自然资源与生态环境、超过资源环境承载能力开发等行为纳入失信范围, 将生态信用信息上链并归集到生态信用平台, 适当引入第三方信用服务机构, 探索制定生态信用评级和绿色政务信用评价等标准规范, 探索建立生态信用行为与金融信贷、行政审批、医疗保险、社会救助、税收等挂钩的联动奖惩机制。

4 结论

生态产品价值实现, 是通过建立统一的、与国内生产总值(GDP)相对应的、能够衡量生态系统状况的统计核算体系, 计算出山水林田湖草等生态系统的生态服务价值, 并利用财政转移、生态补偿、绿色金融、资源权益出让、提升生态产品溢价等途径, 实现生态产品的供给过程真正产生经济社会效益。但是, 当前的生态产品价值实现探索实践中仍面临着生态系统服务度量难、核算难、货币化难、交易难等基础性难题, 生态系统服务的评价有很多种形式, 包括物理量评价、物理量的市场评价、物理量的替代价值评价、非物理量的支付意愿及其他感受性的替代价值评价等。而这些方法的逻辑体系、效用类型、存在形式是不同的, 强行用货币单位加和到一起, 评价结果往往是相互矛盾的。为更好地解决上述问题, 应逐步形成多样化的生态产品价值核算体系, 根据其理论特点选择不同核算方法, 形成不同单位的统一核算标的物。

区块链是分布式数据存储、点对点传输、共识机制、加密算法等技术的集成应用,生态产品核算的统一标的物为其提供了代币的基础,二者的集合形成了生态资产加密数字货币化的可能性,可以有效解决生态产品市场交易机制中的公开透明和信任等问题。进一步地,通过探索利用区块链、大数据等科技赋能生态产品价值实现,形成不同生态产品的价格形成机制、成本监审制度和价格调整机制,完善生态产品市场交易机制,建立统一的生态产品交易平台,促进绿色金融发展,推动自然资源管理能力现代化。

参考文献

- [1] 聂寅汗,靳利飞. 关于我国生态产品价值实现路径的思考[J]. 中国国土资源经济, 2019(7): 34-37, 57-57.
- [2] 王伟龙. 对“价值”概念的几种界定[J]. 经济研究导刊, 2009(14): 9-12.
- [3] 亚当·斯密. 国富论: 国家财富的性质和起因的研究[M]. 谢祖钧, 孟晋, 盛之, 译. 长沙: 中南大学出版社, 2008.
- [4] 大卫·李嘉图. 政治经济学及赋税原理[M]. 郭大力, 王亚南, 译. 南京: 译林出版社, 2011.
- [5] SRAFFA P. Production of Commodities by Means of Commodities: Prelude to a Critique of Economic Theory[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1960.
- [6] 卡尔·门格尔. 经济学方法论探究[M]. 姚中秋, 译. 北京: 新星出版社, 2007.
- [7] VON NEUMANN J. A model of general equilibrium[J]. Review of economic studies, 1945, 13: 1-9.
- [8] CLEVELAND C J, COSTANZA R, HALL C A S, et al. Energy and the U.S. economy: a biophysical perspective[J]. Science, 1984, 225(4665): 890-897.
- [9] COSTANZA R, DALY H E, BARTHOLOMEW J A. Goals, agenda and policy recommendations for ecological economics[M]// COSTANZA R, ed. Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability. New York: Columbia University Press, 1991: 1-20.
- [10] PROOPS J. Research challenges for ecological economics in the 21st century[C] Chapter 2 Edited by Stephen Dovers, David I. Stern and Michael D. Young. New Dimensions in Ecological Economics: Integrated Approaches to People and Nature.
- [11] PATTERSON M G. Ecological production based pricing of biosphere processes[J]. Ecological economics, 2002, 41(2): 457-478.
- [12] Millennium Ecosystem Assessment (MEA). Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis[M]. Washington DC: Island Press, 2005: 1-137.
- [13] 刘耕源, 杨青. 生态系统服务价值非货币量核算: 理论框架与方法学[J]. 中国环境管理, 2018, 10(4): 11-20.
- [14] SHAH S M, LIU G Y, YANG Q, et al. Emergy-based valuation of agriculture ecosystem services and dis-services[J]. Journal of cleaner production, 2019, 239: 118019.
- [15] 刘畅, 刘耕源, 杨青. 水坝建设对河流生态系统服务价值影响评估[J]. 人民黄河, 2019, 41(8): 88-94.
- [16] ZHAO J Z, LIU X, DONG R C, et al. Landsenses ecology and ecological planning toward sustainable development[J]. International journal of sustainable development & world ecology, 2016, 23(4): 293-297.
- [17] 张学玲, 闫荣, 赵鸣. 中国古典园林中的景感生态学思想刍议[J]. 生态学报, 2017, 37(6): 2140-2146.
- [18] 王凯, 梁红, 施鹏, 等. 基于“风感”的紧凑型城市开放空间风环境实测和CFD模拟对比研究[J]. 生态学报, 2019, 39(16): 6051-6057.
- [19] 韩林桅, 张森, 石龙宇. 生态基础设施的定义、内涵及其服务能力研究进展[J]. 生态学报, 2019, 39(19): 7311-7321.
- [20] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 等. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究[J]. 生态学报, 2013, 33(21): 6747-6761.
- [21] CHRISTENSEN P P. Historical roots for ecological economics—biophysical versus allocative approaches[J]. Ecological economics, 1989, 1(1): 17-36.
- [22] 严茂超. 生态经济学新论: 理论、方法与应用[M]. 北京: 中国致公出版社, 2001.
- [23] 刘正刚, 李晓, 田军. 面向可持续发展的马克思主义经济科学研究[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [24] ODUM H T. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making[M]. New York: John Wiley & Sons Inc, 1996: 1-380.
- [25] 蓝盛芳, 钦佩, 陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 1-418.
- [26] H. T. Odum. Self organization, transformity and information. Science, 242(1988), pp. 1132-1139.
- [27] ODUM H T, ODUM E P. The energetic basis for valuation of ecosystem services[J]. Ecosystems, 2000, 3(1): 21-23.
- [28] PATTERSON M G. Estimation of the quality of energy sources and uses[J]. Energy policy, 1983, 11(4): 346-359.
- [29] PATTERSON M G. What is energy efficiency?: concepts, indicators and methodological issues[J]. Energy policy, 1996, 24(5): 377-390.
- [30] 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): 151-154.
- [31] LOTKA A J. Elements of Physical Biology[M]. Baltimore: Williams and Wilkins, 1925.
- [32] BROWN M T, ULGIATI S. Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems[J]. Ecological modelling, 2004, 178(1-2): 201-213.
- [33] 刘耕源, 杨志峰. 能值分析理论与实践: 生态经济核算与城市绿色管理[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- [34] LI L J, LU H F, CAMPBELL D E, et al. Methods for estimating the uncertainty in emergy table-form models[J]. Ecological modelling, 2011, 222(15): 2615-2622.
- [35] HUDSON A, TILLEY D R. Assessment of uncertainty in

- emergy evaluations using Monte Carlo simulations[J]. Ecological modelling, 2014, 271: 52-61.
- [36] COSTANZA R, D'ARGE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [37] 刘耕源, 杨青. 生态系统服务的三元价值理论及在大尺度生态补偿上的应用探讨[J]. 中国环境管理, 2019, 11(1): 29-37.
- [38] 王兴杰, 张骞之, 刘晓雯, 等. 生态补偿的概念、标准及政府的作用——基于人类活动对生态系统作用类型分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2010, 20(5): 41-50.
- [39] COSTANZA R, NEILL C. Energy intensities, interdependence, and value in ecological systems: a linear programming approach[J]. Journal of theoretical biology, 1984, 106(1): 41-57.
- [40] ODUM H T. Environment, Power, and Society[M]. New York:Wiley, 1971.
- [41] JØRGENSEN S E, NIELSEN, S N. Thermodynamic Orientors: Exergy as a Goal Function in Ecological Modeling and as an Ecological Indicator for the Description of Ecosystem Development. Eco Targets, Goal Functions, and Orientors. 1998: 63-86.
- [42] 刘世锦, 刘耕源. 基于“生态元”的全国省市生态资本服务价值核算排序评估报告[R]. 北京: 北京腾景大数据应用科技研究院, 2019.
- [43] BESKE-JANSSEN P, JOHNSON M P, SCHALTEGGER S. 20 years of performance measurement in sustainable supply chain management—what has been achieved?[J]. Supply chain management, 2015, 20(6): 664-680.
- [44] HASSINI E, SURTI C, SEARCY C. A literature review and a case study of sustainable supply chains with a focus on metrics[J]. International journal of production economics, 2012, 140(1): 69-82.
- [45] BUTERIN V. Ethereum[EB/OL].<https://ethereum.org/wiki/en/whitepaper/>.
- [46] ASTE T, TASCA P, DI MATTEO T. Blockchain technologies: the foreseeable impact on society and industry[J]. Computer, 2017, 50(9): 18-28.
- [47] CATALINI C, GANS J S. Some Simple Economics of the Blockchain[R]. Rotman School of Management Working Paper No. 2874598, MIT Sloan Research Paper, Cambridge, Mass. 2016.
- [48] FRANCISCO K, SWANSON D. The supply chain has no clothes: technology adoption of blockchain for supply chain transparency[J]. Logistics, 2018, 2(1): 2.
- [49] KSHETRI N. Will blockchain emerge as a tool to break the poverty chain in the Global South?[J]. Third world quarterly, 2017, 38(8): 1710-1732.
- [50] IANSITI M, LAKHANI K R. The truth about blockchain[J]. Harvard business review, 2017[95(1)]: 118-127.
- [51] GREEN J, NEWMAN P. Citizen utilities: the emerging power paradigm[J]. Energy policy, 2017, 105: 283-293.
- [52] SCHMALENSSEE R, STAVINS R N. Lessons learned from three decades of experience with cap and trade[J]. Review of environmental economics and policy, 2017, 11(1): 59-79.
- [53] MACKENZIE D. Making things the same: gases, emission rights and the politics of carbon markets[J]. Accounting, organizations and society, 2009, 34(3-4): 440-455.

Theories on Value Realization Mechanism of Ecological Product: Thermodynamics, Landsenseology, Economics and Blockchain

LIU Gengyuan^{1,2*}, WANG Shuo³, YAN Ningyu¹, MENG Fanxin^{1,4}

(1.State Key Joint Laboratory of Environment Simulation and Pollution Control, School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2.Beijing Engineering Research Center for Watershed Environmental Restoration & Integrated Ecological Regulation, Beijing 100875, China; 3.Mapping Development Research Center, Ministry of Natural Resources of China, Beijing 100830, China; 4.School of Forestry & Environmental Studies, Yale University, New Haven, CT, 06511, USA)

Abstract: The current explorations and practices of the ecological products value realization are still faced with several fundamental problems, such as the difficulty in benchmarking performance, accounting methods, monetization, and trading schemes, which lead to inconsistent ecological product value accounting framework, imperfect ecological product market trading mechanisms, nonstandard ecological product trading platform, lagging green finance and inadequate market-oriented incentives for green development. This study starts from the value theory, sorts out the roots of realizing the ecological products value, and tries to propose a multi-objective accounting method and to form different unified accounting subject matters combined with the theory of thermodynamics, landsenseology and economics. By exploring the use of blockchain and big data technologies to empower the realization of ecological products value, the digital encryption currency of ecological capital and services is proposed. Furthermore, the price formation mechanism, the cost monitoring system and the price adjustment mechanism for different ecological products are needed. This study suggests to improve the ecological product market trading mechanism, establish a unified ecological product trading platform, promote the development of green finance, and promote the modernization of natural resource management capabilities.

Keywords: ecological product value; thermodynamics; landsenseology; economics; blockchain