

生态价格：对生态经济系统的动态分析

满大庆，侯亚丁

(东南大学哲学与科学系，南京 210096)

摘要：通过对生态系统中物质流与能量流的研究提出了在生态经济系统中计算生态自然物价格的方法。这一过程建立在生态系统与经济系统相似性的基础之上：二者均为物质流与能量流的流通过程。为计算生态系统中的生态价格，文章使用了 Koopmans 经济线性产出模型中的数学结构。通过研究价格的生态学解释以及生态价格系统的独特性，最后给出了一个生态系统中生态价格的计算方法，并通过一个数字案例加以证明。

关键词：生态系统；生态价格；能量流转；动态分析

中图分类号：F276

文献标识码：A

文章编号：1007 - 9807(2004)01 - 0025 - 05

0 引言

本文对生态价格的研究是建立在生态经济系统对传统经济系统模拟的基础上的。由于单纯的系统间模拟或比较仍然无法解决生态价格的计算问题，因此本文发展了一个新的生态经济系统模型，以便将传统经济价格理论中的数学方法应用于新的生态经济系统中。为方便起见，以下将传统经济系统简称为“经济系统”，将生态经济系统简称为“生态系统”。

对于生态系统中生态价格的探寻出现了二条途径：Hannon 建立在交换基础上的“输入 - 输出”分析^[1]和 Amir 建立在一般线性产出模型基础上的生态系统模型^[2~6,9~13]。Hannon 在非替代理论^[9,12]的基础上认为，如果能够预设生态系统要素间的平衡等式，如假定每种要素的输入价值和输出价值相等，就可以从中产生出生态价格的计算方法。这一方法假定只有一种类型的输入和输出，比如考虑阳光作为生态系统中植物类物种的输入能量，则排除了雨水和其它营养物质的能量输入形式。在输出上也如此。和“输入 - 输出”方法相比，Amir 所使用的一般线性产出模型克服了其

单一输入、输出的弱点，生态系统的各个组成部分均有多种物质和能量的交换过程。但这一方法也存在以下弱点：1、无法明确生态系统的运行目标，对于生态系统行为过程的描述缺乏方向性。2、在生态价格计算中无法确定哪些数据是必需的，计算方法应如何使用。3、如何从经验数据中计算出生态价格的具体数值。

本文是在 Hannon 和 Amir 方法基础上发展的一个新的模型，这一模型克服了前两种模型的固有缺陷，目标是替代传统经济方法中对于生态自然物的估价方法，寻求对于生态系统中生态价格的恰当计算和表达。

1 生态价格的存在条件

本文的生态系统模型是建立在 Koopmans^[10]一般线性产出模型的基础上的。Koopmans 按照一般均衡理论的方法假定了效率和价格间关系，只是相比一般均衡理论在假定结构上更为简单^[7,8]。他使用生产效率作为研究分析的唯一标准，这使得其可以仅仅通过结构研究（如生态系统中各组成部分间物质和能量交换网络）便求出生态成本或

价格. 同样, 本文视生态系统为一个网络, 其网络结点为生态系统中的“物质要素”, 网络联结为生态系统中的“能量流转”. “物质要素”指生态系统中的生物个体和生物种群, 如动物和植物. 这些个体和群体中的物质和能量转化过程主要是用来维持其生物体自身的存在. 物质要素的作用是对系统输入能量进行利用并产生供其它要素利用的新的能量. “能量流转”指生态系统中不同形式的能量源, 如氧气、水、碳水化合物、有机磷化物等所产生的能量在各物质要素间的流动、储存、利用和再生的过程. 这一过程主要包括输入流转和输出流转两个方面. 输入流转是系统所处环境中外部能量对系统物质要素的输入过程, 如阳光、水和其它营养形式等; 输出流转是生态系统中生物个体或群体吸收和利用输入流转后产生的对外部环境的输出能量.

以下用 i 表示第 i 项能量流转所产生的能量净输出, 如果 i 为负值, 则表示该生态系统中第 i 项能量流转过程中能量输入值大于能量输出值. 设定系统共有 n 项能量流转过程, 其中, 下标值为 1 到 r 的 i 值 ($i = 1, \dots, r$) 表示系统最终输出, 表示为 i^{fin} ; 下标为 $r+1$ 到 n 的 i 值 ($i = r+1, \dots, n$) 表示系统输入流转, 表示为 i^{pri} . R^n 表示系统净输出向量, 也可表达为

$$R^n = (i_1, \dots, i_r, i_{r+1}, \dots, i_n)^T = (i^{fin}, i^{pri})^T$$

以下将使用“事件”这个词表示系统中能量转换的基本单位过程: “事件”是指每个阶段性能量流转过程中能量发生转换并最终转变为系统产出的过程. 例如, 植物作为生态系统的重要物质要素, 从土壤中吸取水分和营养, 同时吸收阳光, 通过自身光合作用产生生物体, 这一生物体最终又会成为产出, 为生态系统提供资源, 如成为食草动物的食物等.

为方便讨论, 假定一个线性产出结构: 某一事件中的能量净输出与其系统产出水平成正比例关系. 以 i_j 表示事件 j 在单位时间和单位产出水平上的能量流销量 ($j = 1, \dots, m$), 以 x_j 表示事件 j 的产出水平 (此处 $x_j \geq 0$), 以 i_j^i 表示事件 j 在能量流转 i 中的能量净输出, 则 $i_j^i = i_j x_j$, 对于系统中不同事件所产生的净输出之和则可表示为

$$i = \sum_{j=1}^m i_j^i x_j$$

如果 A_{ij} 为一个 $n \times m$ 矩阵 $A = (A_{ij})$, 则系统能量净输出可表达为

$$R^n = Ax$$

其中: $x = (x_1, \dots, x_m)^T \in R_+^m$. 由此将生态系统净能量输出变成其产出水平的线性方程.

本文认为生态系统能量流转过程中其输入流转是有一定限制的, 比如生态系统中植物对阳光的吸收量并非完全由生态系统自身决定, 而是很大程度受到外部因素, 如阳光照射强度、面积、角度等影响. 对于输入流转的约束条件可表达为 $i_i \leq i_i^0$, 此处 i_i^0 为输入流转值, 在系统中表达为负, $i_i = r+1, \dots, n$. 由以上叙述可知, 在生态系统中, 当 $i_i = r+1, \dots, n$ 时, 恒有 $i_i \leq 0$; 当 $i_i = 1, \dots, r$ 时, 恒有 $i_i \geq 0$. 为简化表述, 可定义为

$$i_i = (0, \dots, 0, i_{r+1}, \dots, i_n)^T = (0^{fin}, p^{pri})^T,$$

此处 $i_i \leq 0$. 由此生态系统能量输入流转约束可总结为

至此可以通过给出的线性关系和输入流转约束来定义生态系统能量净输出的有效集合.

(1) 生态系统净能量输出 R^n 在满足以下条件时有效:

1) 系统存在产出水平 $x \geq 0$, 由此系统能量净输出 R^n 可由以上关系得出 $R^n = Ax$.

2) 系统能量输入流转约束 $i_i \leq i_i^0$ 始终有效.

3) 系统无最终产出被用作净输入, 即 $i_i^{fin} \geq 0$.

系统有效净产出集合 $\{R^n \mid R^n = Ax, x \geq 0, i_i = (0^{fin}, p^{pri})^T\}$ 称为 Y .

(2) 当不存在 $y \in Y$, 即在生态系统所有产出部分中至少有 $i_i > i_i^0$; 至少在一个产出部分中有 $i_i > i_i^0$, 则 Y 有效. 也可写作 $i_i - i_i^0 > 0$.

(3) 从资源稀缺程度看, 生态经济系统中能量流转的基本要素包括两种: 稀缺资源和非稀缺资源, 二者的区别在于资源是否会在一定的能量流转周期内被耗尽. 设定 $i_i = (i_i^{fin}, p^{pri})^T$ 为有效净能量输出, 对其上标进行适当调整, 即可变为 $i_i = (i_i^{fin}, p^{pri=}, p^{pri>})^T$, 其中: $p^{pri=}$ 为稀缺资源, $p^{pri>}$ 为非稀缺资源, 与其对应的生态价格分别以 $p^{fin}, p^{pri=}, p^{pri>}$ 表示.

若以下条件恒成立: $p^{fin} > 0, p^{pri=} = 0, p^{pri>} = 0$,

则该净能量输出的价格向量是有效的。

为有助于理解，以下先给出 Koopmans 法则^[10]：在 Y 范围内，对于 $\max p^{\text{fin},T} y^{\text{fin}}$ ，若存在一个价格向量 $p \in R^n$ ，使得 y^* 成为求极大值的一个解，则净能量输出 y^* 为有效。

设定 C 为 R 内系统最终产出中能量净输出大于 y^* ，同时满足能量输入流转约束条件的集合：

$$C = \{ y \in R^n \mid Ay - y^{\text{fin}} \leq 0, y \geq 0 \}$$

则所求生态经济系统价格向量 p 为集合 Y 与集合 C 之间超越平面的法线向量(见图 1)，

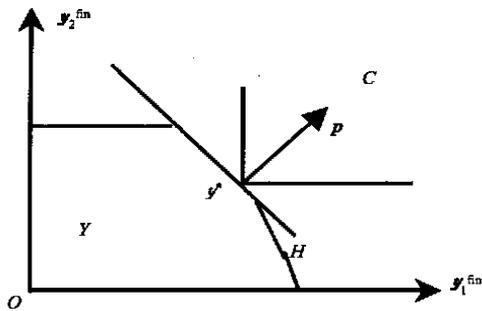


图 1 有效能量净输出集合 Y 与集合 C 在有效点 y^* 处的超越平面

2 生态价格的计算

为方便计算，以下给出一组假定数字。假定生态系统由三个事件组成，包括三组能量流转过程。三个事件分别为三种植物，三个能量流转过程分别为三种植物吸收阳光、营养和产生植物体。假定观察到以下能量净输出情况：

表 1 假定生态系统数据

	植物 1	植物 2	植物 3	合计
阳光	- 2	- 1	- 1	- 4
营养	- 4	- 3	- 1	- 8
植物体	4	3	1	8

植物 1、植物 2、植物 3 的能量净输出分别以 y^1 、 y^2 、 y^3 表示，能量净输出之和以 y^* 表示。

计算生态价格的第一步是从已知数据中求出矩阵 A 。矩阵 A 的构成系数 a_{ij} 由等式 $a_{ij} = \frac{y_i^j}{x_j}$ 决定。如果设定所有事件的产出水平均为 1，则对于所有的 i 和 j ，均有 $a_{ij} = \frac{y_i^j}{1}$ 。由此可以用以下等式表达所观察数据：

$$Ax^* = \begin{bmatrix} -2 & -1 & -1 \\ -4 & -3 & -1 \\ 4 & 3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4 \\ -8 \\ 8 \end{bmatrix} = y^*$$

在本例中假定阳光和营养被完全利用，则对系统能量输入流转的约束可以描述为向量 $y^* = (-4, -8, 0)^T$ 。系统能量净输出向量 Y 可表达为

$$Y = \{ y \in R^n \mid y = Ax, x \geq 0, y \geq 0 \}$$

已知生态系统的价格向量为系统能量净输出集合 Y 与集合 C 在 y^* 点的法线向量，并且已知

$$C = \{ y \in R^n \mid Ay - y^{\text{fin}} \leq 0, y \geq 0 \}$$

在本例中多面体 Y 的顶点 y^* 被定义为事件过程中物质组成的最大产出水平，因此可在 $Ax \leq y^*$ 范围内求解 $\max x_j$ 得出 y^* 点。

从给出的第一、第二和第三个事件中可求出其最大产出水平分别为 $x^1 = (2, 0, 0)^T$ ， $x^2 = (0, 8/3, 0)^T$ ， $x^3 = (0, 0, 8)^T$ ，因此多面体 Y 的顶点(分别以 e^1 、 e^2 、 e^3 表示)为

$$e^1 = Ax^1 = (-4, -8, 8)^T$$

$$e^2 = Ax^2 = (-\frac{8}{3}, -8, 8)^T$$

$$e^3 = Ax^3 = (-8, -8, 8)^T$$

第四个顶点为坐标原点 $0 = (0, 0, 0)^T$ (见图 2)。

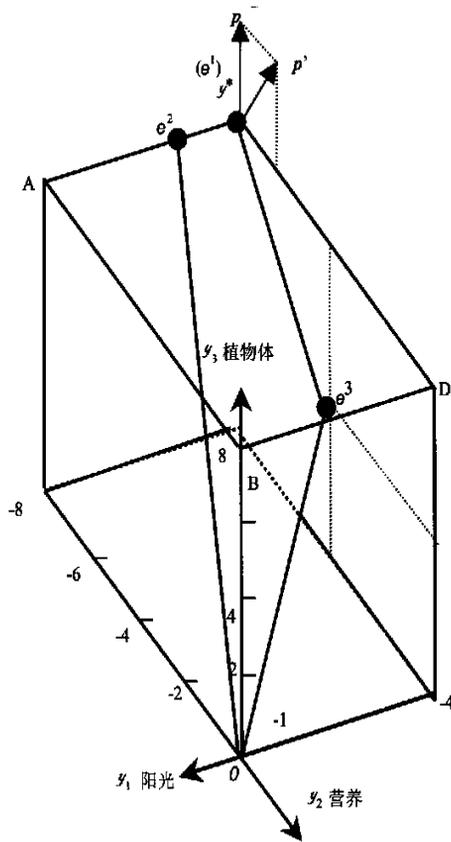


图 2 能量净输出集合 Y 及其 y^* 点 (三维多面体 Y 蜕变为二维多边形)

由以上计算可知, $\bar{x} = e^1 = (-4, -8, 8)^T$, 因此在图 2 中 \bar{x} 点与 e^1 点重合. 这说明系统能量净输出值 \bar{x} 即可在 $x = (2, 0, 0)^T$ 时由事件 1 产生, 亦可在 $x = (1, 1, 1)^T$ 时由三个事件共同产生, 因此事件 a^1, a^2, a^3 为线性相关, 亦即点 $0, e^1, e^2, e^3$ 在同一平面内. 由此三维多面体 Y 蜕变为二维多边形.

从图 2 中可以看出, e^1, e^2 连接线处的能量净输出均为 8 个单位的植物体, 因此此处均为系统有效能量净输出. 可以看出在 $\bar{x}(e^1)$ 点上向量 $p = (0, 0, 1)^T$ 为一有效价格向量, 因为由法线向量 p 定义的平面平行于 x_1 轴和 x_2 轴, 在四边形 ABD \bar{x} 范围内经由 \bar{x} 点形成超越平面, 对集合 Y 和集合 C 进行分离. 同时, 由于在本例中 \bar{x} 点与 e^1 点重合, 因此生态系统价格向量并不唯一, 由 $0, e^1, e^2, e^3$ 点构成的平面也成为集合 Y 和集合 C 的分离平面, 其相应的法线向量 p' 满足以下等式:

$$\begin{pmatrix} 1 \\ 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -4, -8, 8 \\ -8/3, -8, 8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

通过上式可得出集合 Y 和集合 C 的另一超越平面 $0e^2e^1e^3$ 的法线向量, 即另一有效生态价格向量 $p' = (0, 1, 1)^T$. p' 与 p 的区别在于 p' 中 x_2 (营养) 的价格不为 0. 通过 p' 与 p 便可得出生态系统中所有有效的价格向量, 可写作 $(0, \cdot, 1)^T$, 其中 $0 \leq \cdot \leq 1$. 可以看出, 在所有有效生态价格中, x_1 (阳光) 的价格始终为 0, 这是因为在本例中阳光为非稀缺资源, 即阳光数量的边际减少并不

会引起生态系统中植物体产出数量的降低.

3 结论

通过以上讨论, 本文给出了一个生态经济系统中生态价格的一般算法:

1) 通过所观测到的生态系统中各事件过程的能量净输出值可计算出整个生态系统的能量净输出值 \bar{x} .

2) 一些能量输入流转, 有其自身的约束性, 这一约束() 可通过有关生态系统的生态学知识加以计算, 比如雨水量的多少可通过对降雨量的观察获得. 一些难以确切计算的能量输入流转(如营养), 可根据需要设定为在 \bar{x} 中被完全利用.

3) 计算出多面体 Y 的各个顶点和平面, 作出各个平面的法线向量 $\{p^1, \dots, p^r\}^{[14]}$.

4) 在集合 $\{p^1, \dots, p^r\}$ 中求出有效的向量值, 使得存在 \bar{x} 满足: $\max p^{fin, T} \bar{x}$ 对所有 Y . 这一过程可能出现以下三种情况:

a. 在 $\{p^1, \dots, p^r\}$ 中无任何向量可解决以上最大值问题, 此时 \bar{x} 无效, 系统不存在价格向量.

b. 在 $\{p^1, \dots, p^r\}$ 中只存在一个向量 p^k 能够满足以上最大值要求, 此时 p^k 为系统唯一有效的价格向量.

c. 在 $\{p^1, \dots, p^r\}$ 中存在若干向量 p_i^k, \dots, p_i^k 能够满足以上最大值要求, 此时 p_i^k, \dots, p_i^k 均为系统的有效价格向量.

参 考 文 献:

[1] Hannon B. Linear dynamic ecosystems[J]. *Theirbiol*, 1985, 116: 89—110.
 [2] Amir S. Equilibrium in Ecological Systems[D]. Hebrew University of Ecosystem Management, Jerusalem, 1975.
 [3] Amir S. Energy pricing, biomass accumulation and project appraisal: A thermodynamic approach to the economics of ecosystem management[A]. In: Pillet G, Murota T. (Eds), *Environmental Economics: The Analysis of a Major Interface*[M]. Roland Leimgruber, Genf, 1987. 53—108.
 [4] Amir S. On the use of ecological prices and system—Wide indicators derived there from to quantify man's impact on the ecosystem [J]. *Ecol Econ* 1989, 1: 203—231.
 [5] Amir S. The role of thermodynamics in the study of economic and ecological systems[J]. *Ecol Econ*, 1994, 10: 125—142.
 [6] Amir S. Welfare maximization in economic theory: Another viewpoint[J]. *Struct Chang Econ Dyn*, 1996, 6: 359—376.
 [7] Arrow KJ, Debreu G. Existence of equilibrium for a competitive economy[J]. *Econometrica*, 1954, 22: 265—290.
 [8] Arrow KJ, Hahn F H. *General Competitive Analysis*[M]. Holden day, San Francisco, Oliver and Boyd, Edinburgh, 1971.
 [9] Hannon B. Input-output Economics and Ecology[M]. *Struct Chang Econ Dyn*, 1995. 331—333.
 [10] Koopmans T C. The analysis of production as an efficient combination of activities[A]. In: Koopmans T C Eds, *Activity Analysis of Production and Allocation*[M]. New York: Wiley, 1951. 147—154.



- [11] Malinvaud E. Capital accumulation and efficient allocation of resources[J]. *Econometrica*, 1953, 21: 199—211.
- [12] Samuelson P A. Abstract of a Theorem Concerning Substitutability in Open Leontief Models[M]. In: Koopmans T C. *Activity Analysis of Production and Allocation*[M]. New York: Wiley, 1951. 142—146.
- [13] von Neumann J. A model of general economic equilibrium[J]. *Rev Econ Stud*, 1945, 13: 1—9.
- [14] Klauer B. Pricing in ecosystems: A generalized linear production model[A]. *UFZ Discussion Papers*, UFZ Center for Environmental Research Leipzig Halle[M]. Leipzig, 1999. 20—22.

Ecosystem Pricing: A dynamic analysis to ecosystems

MAN Da-qing, HOU Ya-ding

Science and Philosophy Department, Southeast University, Nanjing 210096, China

Abstract: In this paper a method is developed to derive prices for natural goods from information about material and energy flows within ecosystems. The derivation is based on an analogy between ecological and economic systems: both systems are characterized by flows of material and energy. To derive ecosystem prices the mathematical structure of Koopman's economic linear production model is applied. The ecological interpretation of these prices is discussed and the uniqueness of the price system is investigated. An algorithm for price calculation is derived and demonstrated with a numerical example.

Key words: ecosystems; ecosystem prices; energy flows; activity analysis

“第二届公司治理国际研讨会”简介

随着中国经济体制改革的逐步深入,公司治理问题引起了企业界和学术界的越来越多的关注。由南开大学国际商学院、南开国际管理论坛、香港大学经济金融研究中心、南开大学公司治理研究中心共同主办的第二届公司治理国际研讨会 2003 年 11 月在天津召开,本次会议的主题是“公司治理改革与管理创新”,收到论文 170 余篇。全国人民代表大会副委员长蒋正华、国家审计署审计长李金华、天津市市长戴相龙、诺贝尔经济学奖得主泽尔腾教授等莅临了本次会议。围绕本次会议主题,与会专家学者就以下问题展开了深入研讨:

第一,公司治理与管理创新。公司治理与企业管理创新是现代企业发展过程中密切联系而又相互区别的两个层面。前者是保证以股东为主体的利益相关者权益为前提的一整套制度安排,其重大变化从深层次影响企业管理方式的创新;而後者的不断探索与凝炼又成为推动前者演进的现实源泉。

第二,利益相关者参与公司治理文化。主流公司治理理论研究视野从关注股东与经营者之间的关系调整,发展成包括大小股东关系、董事职业化、机构投资者与利益相关者参与治理、公司治理文化建设等在内的更深入的研究体系。

第三,公司治理边界与复合公司体系中治理关系。公司治理边界概念的提出,将公司治理基本原理从单体公司延伸到复合公司体系之中,为集团治理、跨国公司治理、网络治理等一系列突破性研究奠定了理论基础。

第四,关注“入世”影响与机构投资者的治理行为。中国“入世”引发了中国企业初始生成状态和运行制度环境的深刻变化。因此,建立和完善公司治理规范、完善机构投资者的治理行为实质上是一次企业制度层次的“入世”。

第五,公司治理评价指数与实证。公司治理理论研究应该加强关于中国公司治理质量的全面实证研究和为政策设计服务,通过对公司治理影响因素的科学量化,来全面、系统、连续地反映上市公司治理状况;应对公司治理的总体状况,或对股权结构、董事会结构、控股股东行为等进行与国际接轨规范的实证性研究。