



The Application of Input-output Analysis in Ecological Civilization

Mingqiu Liao

School of Economics, Capital University of Business and Economics, Beijing, China

Email address:

liaomingq@126.com, liaomq@cueb.edu.cn

To cite this article:

Mingqiu Liao. The Application of Input-output Analysis in Ecological Civilization. *Asia-Pacific Journal of Mathematics and Statistics*. Vol. 1, No. 2, 2019, pp. 18-25.

Received: September 20, 2019; **Accepted:** October 17, 2019; **Published:** November 7, 2019

Abstract: The study field of input-output analysis is extended constantly since Wassily Leontief has created the first input-output table. The I-O analysis not only applied in economic review, but used in energy field and environmental research, and it provides a new sight toward the construction of ecological civilization. In this paper, we first review the previous studies of I-O analysis in ecological civilization and evaluate the main model of these studies. Finally, we put forward suggestions of methodology for the further study.

Keywords: Input-output, Ecological Civilization, Empirical Research

投入产出分析在生态文明建设中的应用研究

廖明球

首都经济贸易大学经济学院, 北京, 中国

邮箱

liaomingq@126.com, liaomq@cueb.edu.cn

摘要: 自从列昂惕夫创立投入产出分析以来, 其研究领域不断扩展, 由经济领域扩展到资源、环境领域, 为国家的生态文明建设提供了新的研究方法。本文对已有的研究进行梳理, 将投入产出分析在生态文明建设中的应用研究成果一一提出, 为后续研究提供方法论思想。

关键词: 投入产出, 生态文明, 应用研究

1. 引言

从不同的角度考虑, 在生态文明建设中可以进行不同的投入产出分析, 建立不同的投入产出模型。主要有经济、资源、环境投入产出模型, 绿色GDP投入产出模型, 节能减排投入产出模型, 低碳经济投入产出模型。这四个模型既有区别又有内在的逻辑联系。经济、资源、环境投入产出模型是将三个独立的模型联系起来分析; 绿色GDP投入产出模型则是通过绿色GDP的核算包含资源耗减和环境降级, 作为一个模型进行分析; 节能减排投入产出模型主

要是将能源模型和环境模型结合起来分析; 低碳经济投入产出模型强调化石能源的二氧化碳排放, 进行经济结构和能源结构调整分析。

2. 建立经济、资源、环境投入产出模型

经济、资源、环境投入产出模型, 简单地讲就是将经济、资源、环境因素结合起来考虑建立投入产出模型。

2.1. 经济、资源、环境投入产出表的设计

2.1.1. 设计的思想

经济、资源、环境投入产出表的设计思想有哲学思想、经济学思想、方法论思想。

哲学思想主要有：平衡与不平衡的矛盾运动、联系的普遍性、内容和形式的统一。投入产出表是部门联系平衡表，所谓平衡，就是矛盾的暂时的统一，而任何事物都是在平衡和不平衡的矛盾运动中前进的。在社会主义市场经济体制下，市场作为一只看不见的手在配置资源，政府调控作为一只看得见得手也在配置资源，配置资源的目的是要达到全社会的供需平衡。不能认为不平衡是绝对的，就不去重新配置资源。重新配置资源正是在绝对的不平衡中寻求相对的平衡。经济发展过程中存在着与资源、环境矛盾的一面，同时也存在着与资源、环境之间统一的一面，正是因为存在统一的一面，为我们进行平衡研究奠定了基础。投入产出表总是平衡的，我们完全可以从相对平衡的层面来研究经济、资源、环境之间的数量关系。其次，投入产出分析方法的特点是研究事物之间的数量联系，而联系具有普遍性，经济、资源、环境之间也是这样，是一个联系的整体，因此必须驾驭住这个整体，抓住主要联系进行表的设计。再是，任何事物都有自己的内容，也都有自己的形式，二者缺一不可。经济、资源、环境表的设计力求内容和形式的统一。一方面要抓住经济、资源、环境的主要内容选择量化指标，一方面要考虑投入产出表这种特殊的反映形式。

经济学思想主要有：市场配置资源、有投入才有产出、资源环境具有价值。投入产出表的设计首先要考虑市场。我国的经济体制是市场配置资源为主，政府调控为辅。一方面考虑消费、投资、出口对经济的拉动作用，一方面考虑供给侧结构改革。表的设计不仅要考虑中间流量与最终

流量的区别，而且要考虑中间存量与最终存量的区别。其次，有投入才有产出，产出始终等于投入。在表的设计中，特别是在设计资源、环境投入产出表时要考虑投入与产出的平衡关系。再次，资源、环境具有价值，资源、环境直接和间接地融入了人类一般劳动，包括维护和修复，要考虑其价值，正如习总书记所说“绿水青山就是金山银山”。这样，需要将资源、环境投入产出表由实物形态表转化为价值形态表。

方法论思想是设计表时进行模块组合，有：大模块与小模块、主模块与衔接模块、核心模块与卫星模块。投入产出表由象限组成，每张表是大模块，而象限是小模块。在设计时先确定表的框架，再具体设计每个象限。即先考虑大模块，再确定小模块。经济、资源、环境投入产出表由经济、资源、环境三大模块组成。为了研究的方便，在设计主模块的同时，同时设计衔接模块。即主模块与衔接模块结合。主模块分经济、资源、环境模块，再在经济模块与资源模块之间和经济模块与环境模块之间设计两个衔接模块。为了突出研究重点，将设计的模块分为核心模块与卫星模块，即经济模块是核心模块，资源、环境模块是卫星模块。

2.1.2. 具体设计

依据上述设计思想，经济、资源、环境投入产出表包括经济投入产出表、资源投入产出表、环境投入产出表、经济与资源衔接表（固定资产、存货占用投入产出表）、经济与环境衔接表（生产部门投入及产污表）。

(1)经济投入产出表。经济投入产出表采用国民经济投入产出表的设计方法。考虑与资源、环境投入产出表的结合分析，表格设计时部门不宜太粗也不宜太细，采用40个左右部门。表式见表1。

表1 经济投入产出表。

投入	产出		最终产品				总产出
	1	2 ... n 合计	I	II	III	IV	
中间投入	1	2 ... n 合计	I	II	III	IV	
增加值							
总投入							

(2) 资源投入产出表。

资源投入产出表又称存量投入产出表。我们将固定资产和存货放入中间存量与最终存量。将其他非金融资产、土地资源、矿藏资源、水资源、人力资源等放入其他资源。部门划分同经济投入产出表。其表式见表2。

表2 资源投入产出表。

投入	产出		中间存量配置		最终存量配置		总存量配置
	1	2 ... n 合计	I	II	III	IV	
中间存量占用	1	2 ... n 合计	I	II	III	IV	
其他资源占用							
总资源占用							

(3)环境投入产出表。又称经济环境投入产出表，在经济投入产出表中下接污染物矩阵。并将生产部门划分为产业部门与治污部门，治污部门为消除污染物的活动部门。这样，产业部门与排污对应，治污部门与治污对应，排污

量+治污量=产污量。生产部门投入及产污量我们不在此表中反映，而是在衔接表中反映。由于投资过程的产污在建筑业与相关产业中反映，因此只列示了居民消费及产污。其表式见表3。

表3 环境投入产出表。

投入	产出	产业部门及排污	治污部门及排污	消费与产污
		1 2 ... n 合计	1 2 ... n 合计	
中间投入	1 2 ... n 合计	I	IV	VII
增加值		II	V	—
污染物		III	VI	VIII

(4) 固定资产、存货平均占用表。这两张表是经济表与资源表的衔接表。设计此表之前，实际上我们已考虑编制投资矩阵，包括固定资产投资矩阵和存货投资矩阵，并根据期初、期末固定资产（原值）、存货矩阵进行数据衔接。因此这两张表均是方阵表。其表式见表4和表5。

表4 固定资产原值平均占用表。

1 2 ... n 合计
1 2 ... n 合计

表5 存货平均占用表。

1 2 ... n 合计
1 2 ... n 合计

(5) 生产部门投入及产污表。这张表是经济表与环境表之间的衔接表。该表将生产部门的投入与产污连接起来，实际上是环境投入产出表中的的 I、II、III象限与IV、V、VI象限对应相加。表式见表6。

表6 生产部门投入及产污表。

产出投入	1 2 ... n 合计	中间产出
		1 2 ... n 合计
中间投入	1 2 ... n 合计	I
增加值		II
污染物		III

2.2. 经济、资源、环境投入产出模型的建立

2.2.1. 分模块建立模型

首先建立经济投入产出模型。包括行模型和列模型。行模型的表达式：中间产出+最终产出=总产出。用字母表示：

$$AX + Y = X \tag{1}$$

式(1)中A为直接消耗系数矩阵，X、Y分别表示总产出与最终产出列向量。

列模型的表达式：中间投入+增加值=总投入。用字母表示：

$$AcX + N = X \tag{2}$$

式(2)中Ac为直接消耗系数对角阵，X、N分别表示总产出与增加值列向量。

其次建立资源投入产出模型。包括行模型和列模型。行模型的表达式：中间存量+最终存量=总存量。用字母表示：

$$A^cX + Y^c = X^c \tag{3}$$

式(3)中A^c为中间存量直接占用系数，X为总产出列向量，X^c、Y^c分别表示总存量与最终存量列向量。列模型的表达式：中间存量占用+其他资源占用=总资源占用。用字母表示：

$$A_c^cX + N^c = Q^c \tag{4}$$

式(4)中A_c^c为中间存量直接占用系数对角阵，X为总产出列向量，N^c、Q^c分别为其他资源与总资源列向量。

再次建立经济环境投入产出模型。模型一：产业部门中间产出+治污部门中间产出+最终产出=总产出。用字母表示：

$$A_1X_1 + A_2X_2 + Y = X \tag{5}$$

式(5)中A₁X₁分别为产业部门的直接消耗系数矩阵和产出列向量，A₂X₂分别为治污部门的直接消耗系数矩阵和产出列向量，X、Y分别表示总产出和最终产出列向量。模型二：生产部门产污量+消费部门产污量=总产污。用字母表示：

$$FX + S = W \tag{6}$$

式(6)中F为直接产污系数矩阵，S为消费部门产污量，X为总产出列向量，W为总产污列向量。利用直接产污系数和列昂惕夫逆阵可以计算出完全产污系数。同理，可以计算直接和完全排污系数、直接和完全治污系数。

2.2.2. 各模块结合分析

首先是固定资产（原值）与存货平均占用矩阵分析。根据这两个矩阵结合总产出的数据，可以计算固定资产（原值）直接占用系数矩阵D₁、存货直接占用系数矩阵D₂。并在此基础上，还可以计算包括固定资产占用的完全需要系数矩阵 (I - A - α₁D₁)⁻¹和包括固定资产占用和存货占用的完全需要系数矩阵 (I - A - αD)⁻¹。先推导包括固定资产占用的完全消耗系数矩阵B₁^{*}：

$$B_1^* = A + B_1^*A + \alpha_1 D_1 + B_1^* \alpha_1 D_1 \tag{7}$$

上式的经济含义是：包含固定资产占用的完全消耗=对产品的直接消耗+对产品间接消耗+对固定资产的直接消耗+对固定资产的间接消耗。（其中α₁为固定资产折旧率对角阵）。

根据上式有：

$$B_1^*(I - A - \alpha_1 D_1) = A + \alpha_1 D_1$$

$$B_1^* = (A + \alpha_1 D_1) (I - A - \alpha_1 D_1)^{-1}$$

$$B_1^* = [I - (I - A - \alpha_1 D_1)] (I - A - \alpha_1 D_1)^{-1}$$

$$B_1^* = (I - A - \alpha_1 D_1)^{-1} - I \quad (8)$$

故有：包含固定资产消耗的完全需要系数矩阵：

$$B_1^* + I = (I - A - \alpha_1 D_1)^{-1} \quad (9)$$

又设： $\alpha D = \alpha_1 D_1 + \alpha_2 D_2$ ，其中， $\alpha_1 D_1$ 分别表示固定资产折旧率和固定资产直接占用系数矩阵； $\alpha_2 D_2$ 分别表示存货占用率对角阵和存货直接占用系数矩阵。（折旧率一般采用5%，存货占用率用中间货物投入占总产出比重）。

则：包含固定资产与存货占用的完全需要系数矩阵为：

$$B_1 + I = (I - A - \alpha D)^{-1} \quad (10)$$

式（9）与式（10）是乘数模型，起放大器作用。用来与最终产出相乘要大于原来的总产出。

再是计算存量完全占用系数矩阵。根据式（3）： $A^c X + Y^c = X^c$ ，引入产出总存量系数 β_i ，即：

$$\beta_i = X_i^c / X_i \quad (11)$$

其矩阵形式：

$$X^c = \beta X \quad (12)$$

式中 β 为产出总存量系数对角阵。将式（12）代入式（3）有公式（一）：

$$\begin{aligned} A^c X + Y^c &= \beta X \\ \beta X - A^c X &= Y^c \\ (\beta - A^c) X &= Y^c \\ X &= (\beta - A^c)^{-1} Y^c \end{aligned} \quad (13)$$

公式（二）：将 $X = \beta^{-1} X^c$ 代入式（3）有：

$$\begin{aligned} A^c \beta^{-1} X^c + Y^c &= X^c \\ (I - A^c \beta^{-1}) X^c &= Y^c \\ X^c &= (I - A^c \beta^{-1})^{-1} Y^c \end{aligned} \quad (14)$$

式（13）反映产品最终存量与总产出的关系，式（14）反映产品最终存量与产品总存量的关系。

3. 建立绿色GDP投入产出模型

绿色GDP(国内生产总值)投入产出模型，就是将GDP指标转换成绿色GDP,根据绿色GDP核算方法建立投入产出模型。

3.1. 绿色GDP投入产出表的设计

3.1.1. 设计的思路

树立科学的发展观，不以GDP的增长论英雄已逐渐成为各级政府和宏观经济管理者的共识。这样就提出了一个问题，用什么指标来替代GDP。为此，联合国统计委员会在1993年版本SNA中首先提出绿色GDP指标，这一指标考虑了资源、环境因素。目前绿色核算有两个研究方向，一是绿色GDP总量指标的研究；二是绿色投入产出方法研究。绿色GDP总量指标的研究，采用的方法是联合国统计委员会1993年SNA版本中的《环境与经济综合核算（SEEA）》，即环境核算的卫星账户。绿色投入产出方法研究是不改变GDP的总量指标，只是将资源、环境因素放在投入产出表中，形成经济、资源、环境投入产出表。这两种研究方法有其局限性，绿色GDP的测算只提供了总量指标，而不便于分析其结构；而绿色投入产出分析能分析其结构，但没有改变GDP指标本身存在的问题。于是，我们提出这样一个设想，将绿色GDP指标的测算与绿色投入产出分析方法结合起来，建立绿色GDP投入产出表。在绿色GDP投入产出表中，核心指标是绿色GDP，整个表的架构都从这一指标出发，同时也考虑投入产出方法的充分运用。

3.1.2. 表格的设计

设计绿色GDP投入产出表可以采用一步到位法和两步到位法。一步到位法是完全按绿色GDP的三种计算方法设计表，在表中看不到GDP指标的痕迹；两步到位法是在GDP投入产出表的基础上进行某些修改，既保留原有GDP指标，又能计算绿色GDP指标。在绿色GDP指标尚未纳入核算制度时，先采用两步到位法设计表。见表7。

表7 绿色GDP投入产出表。

投入	产出	绿色中间产品			绿色最终产品			总产出
		I	2 ... n	合计	消费	投资	资源环境支出	
中间投入		1 2 ... n	合计	I	II			
资源耗减 环境降级		1 2 ... n	合计	III	IV			
绿色增加值				V				
总投入								

利用上述绿色GDP投入产出表可以有三种方法计算绿色GDP。

生产法：绿色GDP(绿色增加值)=总投入－中间投入－资源耗减和环境降级；

收入法：绿色GDP(绿色增加值) = 固定资产损耗+劳动者报酬+生产税净额+营业纯盈余；

支出法：绿色GDP(绿色最终使用) = 最终消费+资本形成总额+净出口+调整项－资源环境支出。

绿色GDP投入产出表一个五个象限。第I象限与GDP投入产出表完全相同，反映国民经济各部门在生产过程中对产品的消耗。第II象限反映产品的最终使用，包括最终消费、资本形成总额与净出口；考虑到绿色GDP的最终使用小于GDP的最终使用，特别在产品的最终使用栏中增加

了资源环境支出，这样将最终使用改为绿色最终使用，以便分别计算支出法GDP和绿色GDP。第III象限反映国民经济各部门在生产过程中引起的资源耗减和环境降级，其中，资源耗减包括矿物的耗减、森林中开采木材、水土流失对农业用地生产能力的影响，酸雨对农业、林业的影响等；环境降级包括对鱼的过度捕杀，原始森林中开采木材，猎取野生动物，以及残余物排放对水、空气、鱼类和野生森林质量的影响等。第IV象限合计与第III象限对应，同时也考虑居民消费引起的生活污染虚拟治理成本，并设调整项进行平衡处理，该象限反映生产过程中资源耗减和环境降级与绿色最终使用中资源环境支出的一一对应关系。第V象限为绿色增加值象限，反映国民经济各部门创造的绿色增加值，是生产法绿色GDP与收入法绿色GDP的计算结果。

3.2. 绿色GDP投入产出模型的建立

3.2.1. 编表与建模方法

编表采用两步到位法，即按照表7的表式编表。建模可以采用两步到位法建模；也可以采用一步到位法建模。两步到位法建模，即按五个象限建模。一步法建模，即将第I象限与第III象限合并，将第II象限与第IV象限合并，形成三个象限后再建模。

两步到位法编表，重点是编制第III象限，即编制出资源耗减与环境降级矩阵。在编制资源耗减与环境降级矩阵时采取分项目与分行业结合核算的办法，其核算原则是权责发生制和复式记账。所谓权责发生制，就是哪个行业造成资源耗减与环境降级，就计算到哪个行业；对大自然造成的资源耗减与环境降级，则计算到被损失的行业。所谓复式记账，是按照投入产出账户的基本要求，将每一笔账放在资源耗减与环境降级矩阵中就是复式记账。例如，酸雨对农业、林业造成的损失价值，先将其总损失价值按各行业排放二氧化硫量分摊，再将其放在资源耗减与环境降级矩阵中农业（包括林业）那一行，可以反映某个行业因排放二氧化硫引起酸雨对农业、林业造成的损失。

两步到位法建模，引入产品直接消耗系数与资源环境直接耗用系数矩阵，可以建立绿色GDP投入产出模型。一步到位法建模，将产品直接消耗系数与资源环境直接耗用系数对应相加，计算绿色中间投入系数矩阵，则可以进行一步法建模，即建立绿色GDP投入产出模型。

3.2.2. 模型的建立

一是两步法建模。引入直接消耗系数 $a_{ij}^{(1)}$ 和资源环境直接耗用系数 $a_{ij}^{(2)}$ ，其行平衡关系为：绿色中间产品+绿色最终产品=总产出。有：

$$A^{(1)}X + A^{(2)}X + Y^* = X \quad (15)$$

式(15)中 $A^{(1)}$ 为直接消耗系数矩阵， $A^{(2)}$ 为资源环境直接耗用系数矩阵， Y^* 为绿色最终产品列向量， X 为总产出列向量。式(15)变形为：

$$(I - A^{(1)} - A^{(2)})X = Y^* \quad (16)$$

$$X = (I - A^{(1)} - A^{(2)})^{-1} Y^* \quad (17)$$

其列平衡关系：绿色中间投入+绿色增加值=总投入。有：

$$A_c^{(1)}X + A_c^{(2)}X + H^* = X \quad (18)$$

式(18)中 $A_c^{(1)}$ 为直接消耗系数对角矩阵， $A_c^{(2)}$ 为资源环境直接耗用系数对角矩阵， H^* 为绿色增加值列向量， X 为总投入列向量。式(18)变形为：

$$(I - A_c^{(1)} - A_c^{(2)})X = H^* \quad (19)$$

$$X = (I - A_c^{(1)} - A_c^{(2)})^{-1} H^* \quad (20)$$

二是一步法建模。行模型：绿色中间产品+绿色最终产品=总产出。有 $A^* = A^{(1)} + A^{(2)}$ ，则式(15)变为：

$$A^*X + Y^* = X \quad (21)$$

式(21)中 A^* 为绿色直接消耗系数矩阵， Y^* 为绿色最终产品列向量， X 为总产出列向量。式(21)变形为：

$$(I - A^*)X = Y^* \quad (22)$$

$$X = (I - A^*)^{-1} Y^* \quad (23)$$

列模型：绿色中间投入+绿色增加值=总投入。有 $A_c^* = A_c^{(1)} + A_c^{(2)}$ ，则式(18)变为：

$$A_c^*X + H^* = X \quad (24)$$

式(24)中 A_c^* 为绿色直接消耗系数对角矩阵， H^* 为绿色增加值列向量， X 为总投入列向量。式(24)变形为：

$$(I - A_c^*)X = H^* \quad (25)$$

$$X = (I - A_c^*)^{-1} H^* \quad (26)$$

式(22)与式(23)反映最终绿色使用与总产出的关系，式(25)与式(26)反映绿色增加值与总产出的关系。

4. 建立节能减排投入产出模型

节能减排投入产出模型就是将能源投入产出模型和环境投入产出模型结合起来，研究能源节约和环境减排。

4.1. 节能减排投入产出表的设计

4.1.1. 设计的出发点

节约能源和减少排放是我国实施科学发展观的一项重大举措，它关系到国民经济的持续、健康发展。而已有投入产出表是将节能和减排分别研究的，研究节能编制能源投入产出表，研究减排编制环境投入产出表。本文试图将节能和减排同时纳入投入产出分析框架，编制节能减排投入产出表。

节能减排投入产出表的设计要考虑以下几个方面。一是充分运用原有经济投入产出表的基本分析框架，使得数据的收集和模型的建立有坚实的基础，具体讲，就是在原有经济投入产出表的第 I、II、III 象限的基础上架构。二是抓住能源投入产出表和环境投入产出表的共同点，在中间投入中考虑能源的投入和消除污染活动的投入，这样中间投入分为能源投入、环境投入和其他投入三部分，为了与原有的经济投入产出表第 I 象限对应，讲其他投入放在前面，表示扣除能源投入和环境投入后的剩余部分。三是第 II 象限设计与第 I 象限对等，也分为三个部分，即其他最终产品、能源最终产品、环境最终产品，可以研究其他

产品、能源产品和环境产品的平衡，也可以研究总产品的平衡。四是将第 III 象限的增加值改为调整增加值，因为在环境投入中既有实际投入也有虚拟投入，所谓虚拟投入是指未达标排放部分所需治理费用，这部分费用从增加值中扣除，因此将增加值改为调整增加值。

4.1.2. 详细的设计

依据以上几个方面的考虑，节能减排投入产出表的设计如下（见表8）。

表8 节能减排投入产出表。

投入	产出	中间产品（使用）		最终产品（使用）					总产出
		1 2...n	合计	消费	投资	出口	进口	环境支出	
中间投入	其他 1 投入 2...n 小计		I (1)						II (1)
	能源 1 投入 2...n 小计		I (2)						II (2)
	环境 1 投入 2...n 小计 合计		I (3)						II (3)
调整增加值			III						
总投入									

表8式仍然是三个象限投入产出表，只是第 I 象限和第 II 象限分为三个部分。在第 I 象限中，第（1）部分反映生产中其他产品中间投入，即扣除能源投入与环境投入后的剩余部分；第（2）部分反映生产中能源产品的中间投入；第（3）部分反映生产中的环境中间投入。在第 II 象限中，第（1）部分反映其他产品的最终使用；第（2）部分反映能源产品最终使用；第（3）部分反映环境产品最终使用，即最终需求领域的环境投入。第 II 象限中，最终产品=最终消费+资本形成总额+净出口+环境支出。第 III 象限反映调整后的增加值，即扣除环境治理的虚拟费用后的增加值，调整后的增加值中营业盈余已成为营业纯盈余。即调整增加值=固定资产损耗+劳动者报酬+生产税净额+营业纯盈余。该表的设计是将环境虚拟投入和环境实际投入放在一起的，分析时一定要分开。

4.2. 节能减排投入产出模型的建立

4.2.1. 编表的思路

编表主要作两项工作。其第一项工作是将已有的中间投入分为其他投入、能源投入、环境投入，先将中间投入分成三个相同的象限，再将能源投入、环境投入从中间投入中分离出来，剩下的是其他投入。能源投入就是中间投入中各部门生产对能源产品的投入（消耗），可以直接从能源部门分离。比较困难的是环境投入的分离，没有现成资料，可以参考的是已有环境统计资料和2004年绿色国民经济核算试点资料（已公布）。从环境统计年报中确定当年环境治理的实际投入金额，包括企业（主要是工业企业）和环境保护部门的实际投入，将这些实际投入按投入产出表的部门划分作为该部门的环境投入总控制数，结合有关省、市环境投入产出表计算环境中间投入（不包括环境设备的折旧和人员工资）及其结构，以此作为环境投入从中间投入中分离出来。当中间投入（消耗）象限（第 I 象限）分成三部分之后，最终使用象限（第 II 象限）也应相应地划分成三部分，比较简单的方法是根据这三部分中间投入

的行合计占原来中间投入对应行合计的比例，将最终使用每行的数据分成三部分。

编表的第二项工作是将环境的虚拟投入从原增加值的营业盈余中分离出来，作为虚拟环境投入，简单的办法是先从原增加值（第 III 象限）中生成一个虚拟环境投入象限，将虚拟环境投入分离出来以后，剩下的是调整增加值。可以根据“三废”的排放数据，计算废水、废气、废物的达标排放量所占比例和治理费用，推算未达标排放所需的治理费用，即采取维护费用法计算虚拟环境投入。具体计算时从环境统计年报推算虚拟环境投入的总额，即总控制数据，参考全国绿色国民经济核算试点的数据计算各部门的虚拟环境投入，将各部门增加值减去虚拟环境投入得到各部门的调整增加值。各部门的虚拟环境投入计算出来以后还要分解成矩阵形式，将其中废水的虚拟费用放在水的生产和供应业，废气的虚拟费用根据比例放在煤的开采和洗选业与石油开采和加工业两个部门，废物的虚拟费用直接放在废品和废料部门。当虚拟环境投入矩阵编制完以后其数据先单独保留一份再与实际环境投入合并，以方便不同的分析。当虚拟环境投入合并到实际环境投入之后，在最终产品象限中也设相应调整项使之平衡。

为了简化编表工作，对于生活污染造成的虚拟环境费用，农村居民的可以放在农业或者略而不计（视为自然净化），城镇居民的先放在服务业中的环境管理服务业。如果需要单独分析，即研究消费领域的节能减排，可以将其并入居民消费中，同时对最终产品象限作平衡调整。

4.2.2. 模型的建立

在编制节能减排投入产出表之后，可以建立节能减排投入产出模型，包括行模型和列模型。

首先建立行模型。引入其他产品直接消耗系数 $a_{ij}^{(1)}$ 、能源产品直接耗用系数 $a_{ij}^{(2)}$ 、环境产品直接消耗系数 $a_{ij}^{(3)}$ ，其行平衡关系：其他中间产品+能源中间产品+环境中间产品+全部最终产品=总产品。有：

$$A^{(1)}X + A^{(2)}X + A^{(3)}X + Y = X \quad (27)$$

式(27)中, $A^{(1)}$ 为其他产品直接消耗系数矩阵, $A^{(2)}$ 为能源产品直接消耗系数矩阵, $A^{(3)}$ 为环境产品直接消耗系数矩阵, Y 为最终产品列向量, X 为总产出列向量。式(27)变形为:

$$(I - A^{(1)} - A^{(2)} - A^{(3)})X = Y \quad (28)$$

$$X = (I - A^{(1)} - A^{(2)} - A^{(3)})^{-1}Y \quad (29)$$

其次建立列模型。其平衡关系式: 其他产品中间投入+能源产品中间投入+环境产品中间投入+调整增加值=总投入。有:

$$A_c^{(1)}X + A_c^{(2)}X + A_c^{(3)}X + H = X \quad (30)$$

式(30)中, $A_c^{(1)}$ 为其他产品直接消耗系数对角矩阵, $A_c^{(2)}$ 为能源产品直接消耗系数对角矩阵, $A_c^{(3)}$ 为环境产品直接消耗系数对角矩阵, H 为调整增加值列向量, X 为总投入列向量。式(30)变形为:

$$(I - A_c^{(1)} - A_c^{(2)} - A_c^{(3)})X = H \quad (31)$$

$$X = (I - A_c^{(1)} - A_c^{(2)} - A_c^{(3)})^{-1}H \quad (32)$$

式(27)和式(30)可以用来分析能耗系数和环境消耗系数, 研究节能减排。

5. 建立低碳经济投入产出模型

低碳经济投入产出模型, 就是将二氧化碳排放引入投入产出模型, 编制碳排投入产出表, 并建立相应的模型。

5.1. 低碳经济投入产出表的设计

5.1.1. 设计的想法

低碳经济是绿色经济的一个范畴, 绿色经济泛指在经济活动中对资源和环境的保护, 要求从国内生产总值中扣除资源耗减和环境降级的费用, 计算绿色国内生产总值。而低碳经济是指在经济发展过程中减少二氧化碳等温室气体的排放, 保护好大气环境。低碳经济与节能减排的概念有密切联系, 也有不同点。其中节能, 特别是减少化石能源的消耗两者是相通的; 不同之处是低碳经济强调减少二氧化碳等温室气体排放, 而一般的减排概念则要求减少废水、废气、废物的排放, 即所谓减少“三废”排放。

低碳经济投入产出表的设计包括两种方法, 一种是嵌入式方法, 一种是加边矩阵式方法。嵌入式方法是在原有投入产出表的第 I、II 象限中嵌入碳排放矩阵, 突出低碳经济投入产出表的主体, 但打乱了原有投入产出表的分析框架。而加边矩阵式方法可以完整保留原有投入产出表的第 I、II、III 象限, 在其下面加第 IV、V 象限, 使其成为分别反映生产领域和最终使用领域的碳排放矩阵, 这样分析起来方便。

5.1.2. 表格的设计

根据上述想法, 低碳经济投入产出表的设计如下。(见表9)

表9 低碳经济投入产出表。

投入	产出				中间产品 (使用)	最终产品 (使用)				总产出
	1	2	...	n		合计	消费	投资	出口	
中间投入	1 2 ... n 合计				I	II				
增加值					III					
总投入										
二氧化碳排放量	煤炭消耗	煤炭排放	焦炭消耗	焦炭排放	IV	V				
	原油等消耗	原油等排放...								

该表由五个象限组成。第 I 象限为中间投入 (中间产出) 象限, 第 II 象限为最终产出象限、第 III 象限为增加值象限, 这是原有投入产出表存在的三个象限。第 IV 象限反映生产领域的二氧化碳排放量, 第 V 象限反映最终使用领域的二氧化碳排放量。这两个象限是新加上去的, 用来分析各行业、各用途 (最终使用) 碳排放强度。要强调的是, 该表第 I、II、III 象限是用价值量反映的, 而第 IV、V 象限则是用实物量反映的。

5.2. 低碳经济投入产出模型的建立

5.2.1. 表的编制方法

首先是部门划分, 考虑2007、2010、2012年投入产出表的不同部门划分形式, 最后可以设定41个部门。其次是收集各行业、各用途能源消耗量数据, 主要包括煤炭、焦炭、原油、汽油、煤油、柴油、燃料油、天然气、电力9

种主要形式, 除电力外, 其他8种能源消耗排放二氧化碳, 这些数据可以从能源统计中获得。第三利用“中国各种能源形式的二氧化碳排放系数”表 (葛守中提供), 计算各种能源消耗时所排放的二氧化碳量, 编制出二氧化碳排放量矩阵。

5.2.2. 模型的建立

编制出二氧化碳排放量矩阵后, 可以建立低碳经济投入产出模型。低碳经济投入产出模型的平衡关系式 (行平衡) 是: 生产领域二氧化碳排放量+最终使用领域二氧化碳排放量=二氧化碳排放总量。

设: X_j^e 为二氧化碳排放总量, x_{ij}^e 为生产领域二氧化碳排放量, y_{ij}^e 为最终使用领域二氧化碳排放量, i 为某种能源消耗的二氧化碳排放量, j 为某个行业或某种最终使用。其行模型为:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}^e + \sum_{j=1}^k y_{ij}^e = X_i^e \quad (i=1,2, \dots, m) \quad (33)$$

式(33)中, n 表示 n 个生产(行业)部门, k 表示 k 种最终使用, m 表示 m 种能源消耗排放的二氧化碳。

引入生产领域碳直接排放系数 a_{ij}^e ,其计算公式:

$$a_{ij}^e = x_{ij}^e / X_j \quad (34)$$

式(34)中, X_j 表示生产领域各行业(j 部门)的总产出。将式(34)代入式(33),有:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij}^e X_j + \sum_{j=1}^k y_{ij}^e = X_i^e \quad (i=1,2, \dots, m) \quad (35)$$

将上式用矩阵形式表示,有:

$$A^e X + Y^e = X^e \quad (36)$$

式(36)中 A^e 是碳直接排放系数矩阵, X 为各生产部门总产出列向量, Y^e 为最终使用领域的碳排放量列向量, X^e 为二氧化碳排放总量列向量。利用式(36)可以进行如下分析。

一是计算完全碳排放系数:

$$B^e = A^e (I - A)^{-1} \quad (37)$$

式(37)中, B^e 为碳完全排放系数矩阵, $(I - A)^{-1}$ 为列昂惕夫逆矩阵。

二是将经济投入产出模型 $X = (I - A)^{-1} Y$ 代入式(36),有:

$$A^e (I - A)^{-1} Y + Y^e = X^e \quad (38)$$

还可以利用 Y^e 矩阵的资料结合 Y 矩阵的资料可以计算单位最终产品的碳排放系数。这样,可以从生产领域到最终使用领域全方位的进行碳排放强度分析,为经济结构调整和最终使用(特别是消费)结构的调整提出政策建议。

参考文献

- [1] 廖明球.经济、资源、环境投入产出模型研究[M].北京:首都经济贸易大学出版社,2005。
- [2] 廖明球等.绿色GDP投入产出模型研究[M].北京:首都经济贸易大学出版社,2012。
- [3] 廖明球.基于“节能减排”的投入产出模型研究[J].中国工业经济,2011(7)。
- [4] 廖明球.低碳经济量化模型设计研究[J].统计与决策,2014(24)。
- [5] 列昂惕夫.投入产出经济学[M].北京:中国统计出版社,1989。
- [6] 陈锡康.中国城乡经济投入占用产出分析[M].北京:科学出版社,1992。
- [7] 刘起运,陈璋,苏汝劫.投入产出分析[M].北京:中国人民大学出版社,2006。
- [8] 钟契夫.投入产出分析.修订本[M].北京:中国财政经济出版社,1993。
- [9] 陈锡康,杨翠红.投入产出技术[M].北京:科学出版社,2011。
- [10] 刘起运等.宏观经济系统的投入产出分析[M].北京:中国人民大学出版社,2006。

作者简介



廖明球(1953—),男,湖南安乡人,首都经济贸易大学经济学院教授,数量经济学博士生导师,经济学博士。