

□财经前沿

# 全球生产链视角下 外需对中国能源消耗的影响

——基于 MRIO 模型的实证研究

彭水军 韦 韬 曹 毅

【摘要】利用多区域投入产出（MRIO）模型，基于 WIOD 数据库分析 1995—2009 年外需对中国能源消耗的影响，并通过结构分解分析（SDA）考察影响我国外需能耗变化的关键因素。结果表明，研究期间美、欧、日等附件 I 的发达国家通过进口替代向中国转移了大量的能耗；中国外需能耗的快速增加主要归因于中国中间产品的出口效应，其次是主要发达国家与发展中国家最终需求的国别结构和规模变动因素导致，而国内生产部门不断降低的各类能源强度则是抑制中国外需能耗增加的主要因素。

【关键词】能源消耗；外需；多区域投入产出模型；结构分解分析

【基金项目】国家社会科学基金重大项目（13&ZD167）；国家自然科学基金面上项目（71373218）

【收稿日期】2016-05-24

【DOI】10.15939/j.jujss.2016.06.004

【作者简介】彭水军，厦门大学经济学院国际经济与贸易系教授，经济学博士（厦门 361005）；韦 韬，厦门大学经济学院国际经济与贸易系博士研究生（厦门 361005）；曹 毅，浙江工商大学杭州商学院经法学院讲师，经济学博士（杭州 310012）。

## 一、引言

生产链在本意上可简单理解为一组生产分工网络，但该分工网络一旦扩展到跨国界的区域空间，就形成了内涵复杂的全球生产网络。近年来，随着国际分工的不断深化，各国资源在世界范围内进行优化配置，产品的生产链也被最大限度地进行细分，导致产品生产与最终消费在空间上的分离，引起中间产品贸易增速远远超过最终产品贸易增速。这种全球生产链的形成以及生产与消费活动普遍存在跨国界的地理分隔，使我们越来越难以确定一国能源消耗与碳排放的增加有多少是本国最终需求带来的，有多少是源于外需引致的。目前，中国经济增速虽然放缓，但能源需求仍在日益增长，供应瓶颈是一个长期的问题，节能减排刻不容缓。然而值得注意的是，在生产分散化和贸易自由化的背景下，节能减排政策的着力点不仅要针对国内的生产和消费活动，同时也要考虑国外需求的能源环境影响。

2001 年“入世”后，中国出口迅猛发展，外需在拉动经济增长的同时，也使中国成为发达

国家转移能耗和碳排放的“重灾区”，对中国的能源资源和环境造成了巨大压力。但是，中国作为“世界加工厂”和出口大国，发达国家间接或直接从中国的高能耗和高排放中获得经济和环境收益，却完全由中国承担相应的能源环境成本与排放责任，这显然不公平。因此，有必要定量评估外需对中国能耗和碳排放的影响。为此，许多国内外学者关于贸易能耗与碳排放方面的研究也转向分析进出口贸易对中国能耗与碳排放的影响，其中代表性的研究有：Lin & Polenske 采用结构分解分析（Structural Decomposition Analysis, SDA）技术发现中国 1981—1987 年的能源消费的规模增长超过了效率改进，且能源结构变化很小，资本品支出增加是排放增长的主要因素，通过进口避免排放的增速快于出口内涵排放的增长<sup>[1]</sup>；Garbaccio *et al.* 分析了中国 1987—1992 年能源产出比的变化，结果发现能源效率改进是影响能源消费最主要的因素，其次是能源结构变化<sup>[2]</sup>；Peters *et al.* 利用 SDA 分析了中国 1992—2002 年能源消耗和相关排放增长的原因，发现最终需求规模扩张是引起碳排放增长的主要因素，而技术和效率改进引起排放强度的降低仅部分抵消了需求规模因素的影响<sup>[3]</sup>；Weber *et al.*、Pan *et al.*、Li & Qi、Lin & Sun 分别采用单区域投入产出（Single-Region Input-Output, SRIO）模型与双边投入产出（Bilateral-Trade Input-Output, BTIO）模型分析，均发现中国持续大规模的出口生产在国内造成巨大的能耗和碳排放<sup>[4-7]</sup>；此外，陈迎等、齐晔等基于投入产出模型的分析也表明中国属于内涵能源净出口国<sup>[8-9]</sup>。综合现有文献可以发现，研究结果存在一定差异。原因主要在于模型和方法不同，SRIO 模型假定国内外采用相同的生产技术，测算一国与世界剩余国家（Rest of the World, RoW）间的贸易内涵能源与排放；BTIO 模型虽放宽了国内外相同技术假设，但这两种方法均没有区分中间产品贸易的最终需求归属，从而无法刻画全球生产网络下各国各部门的产业关联和贸易多向反馈效应。另外一点值得说明的是，现有文献将出口内涵能源（Energy Embodied in Export, EEE）直接等同于“外需能耗”，但事实上出口内涵能源只考虑贸易流向，不考虑出口产品最终用途，因而只要是出口消耗的能源就属于出口内涵能源。例如中国出口的部分钢铁用于生产中国进口汽车，则那部分钢铁消耗的能源属于传统的出口内涵能源，但不属于本文定义的“外需能耗”。因此，本文基于产品最终需求所在地的核算基准来考察外需对中国能耗的影响，就需要引入生产侧和消费侧能耗指标，运用多区域投入产出（Multi-Region Input-Output, MRIO）模型来测算中国的外需能耗，该模型能充分描述全球生产网络中各国各部门之间的产业关联和贸易联系，使测算结果更准确；进而利用 MRIO-SDA 分解技术考察中国外需能耗的影响因素，克服了利用 SRIO 模型分解无法考察国际产业关联、外国生产技术、外需产品结构、国别结构等国外或国际因素变动对中国外需能耗变化的影响的缺陷。

## 二、模型、方法与数据

### （一）MRIO 模型构建及外需能耗的测算

本文基于  $n$  个国家（地区）的多区域投入产出（MRIO）模型可以表示为：

$$\begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nn} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{pmatrix} \quad (1)$$

（1）式用矩阵表示： $X = AX + Y$ ，可推出  $X = (I - A)^{-1}Y$ 。 $X$  表示世界总产出矩阵，分块矩

阵  $X_{ir}$  表示  $i$  国直接或间接满足  $r$  国需求的部门产出矩阵, 则向量  $X_i = \sum_r X_{ir}$  表示  $i$  国的总产出。 $A$  代表世界生产体系, 分块矩阵  $A_{ir}$  表示  $r$  国单位产出对  $i$  国的中间需求矩阵, 刻画了不同国家生产部门之间的相互需求关系 (中间产品贸易), 而  $A_{ii}$  刻画了各国国内生产部门之间的相互需求关系。 $B = (I - A)^{-1}$  表示里昂惕夫逆矩阵。 $Y$  表示最终需求矩阵,  $Y_{ir}$  表示  $r$  国对  $i$  国产品的最终需求, 即  $i$  国对  $r$  国的最终产品出口, 则向量  $Y_i = \sum_r Y_{ir}$  表示  $i$  国对最终产品的总需求。

记  $F_i$  为  $i$  国的能源强度矩阵, 各元素表示  $i$  国各部门单位产出消耗的能源, 则整个世界产出  $X$  的能源消耗  $E$  可以写成:

$$E = FBY \quad (2)$$

生产侧能耗是一国生产活动 (满足本国和外国最终需求) 在该国国内消耗的能源, 消费侧能耗则是一国最终需求引致消耗的所有能源 (不管生产发生在国内还是国外)。因此, 根据 (2) 式即可计算出  $i$  国的生产侧能耗和消费侧能耗。

为了进一步说明一国生产侧能耗的构成情况, 类似彭水军等的做法<sup>[10]</sup>, 假设国家 1 为中国, 则由 (1) 式的 MRIO 模型得到中国的总产出向量为  $X_1 = \sum_i X_{1i}$ , 其中, 产出  $X_{11}$  所消耗的能源即为中国最终需求自身在国内消耗的能源, 将其定义为“内需能耗” (Energy for Home Demand, EH); 产出  $X_{1i} (i \neq 1)$  所消耗的能源即为中国服务于其他国家 (地区) 最终需求所消耗的能源 (即其他国家 (地区) 通过国际贸易向中国转移的产品能耗), 将其定义为“外需能耗” (Energy for Foreign Demand, EF)。则中国的生产侧能耗可以写成如下形式:

$$E_1^P = F_1 X_1 = F_1 X_{11} + F_1 \sum_{i \neq 1} X_{1i} \\ = \underbrace{F_1 B_{11} Y_{11}}_{\text{国内自给生产能耗}} + \underbrace{F_1 B_{11} \sum_{i \neq 1} A_{1i} X_{i1}}_{\text{反馈性出口引致能耗}} + \underbrace{F_1 B_{11} \sum_{i \neq 1} \sum_{r \neq 1} A_{1r} X_{ri}}_{\text{中间产品出口引致能耗}} + \underbrace{F_1 B_{11} \sum_{i \neq 1} Y_{1i}}_{\text{最终产品出口引致能耗}} \quad (3)$$

其中,  $B_{11} = (I - A_{11})^{-1}$  为国家 1 的里昂惕夫逆矩阵。(3) 式按最终需求所在地将中国的生产侧能耗分解为“内需能耗”和“外需能耗”两部分。“内需能耗”包含“国内自给生产能耗”和“反馈性出口引致能耗”, 前者表示国内生产并满足国内最终需求的最终产品在国内消耗的能源, 后者表示中国出口后又进口到国内并满足国内最终需求的中间产品 (如中国出口的部分布匹用于在国外生产服装再进口到中国消费) 所消耗的能源。“外需能耗”包含“中间产品出口引致能耗”和“最终产品出口引致能耗”, 分别表示中国通过出口中间产品和最终产品满足国外的最终需求所消耗的能源。

需要说明的是, 本文基于 MRIO 模型估算的中国“外需能耗”并不等于基于 SRIO 模型估算的中国出口内涵能源 (EEE)。因为, 并非中国所有的出口产品都是服务于外国的最终需求, 有部分中间产品出口是为了在国外生产用于满足中国最终需求的产品 (即  $\sum_{i \neq 1} A_{1i} X_{i1}$ ), 这反映了国内生产部门对产品进口的“反馈性出口效应”。反馈性出口引致的中国能耗包含在中国出口内涵能源中, 但并不包含在“外需能耗”中, 而是被纳入到“内需能耗”中, 因为它是服务于中国最终需求的一部分能耗。因此, 本文的“外需能耗”通常会低于出口内涵能源, 二者的差异就是“反馈性出口引致能耗” (即  $F_1 B_{11} \sum_{i \neq 1} A_{1i} X_{i1}$ )。此外, 出口内涵能源指标基于 SRIO 模型即可核算, 对数据和计算的要求比较低, 且与贸易统计数据有较好的可比性, 这是该指标的优势。但是, 本文定义的“外需能耗”与学者们近年提出的“消费者责任”思想更为一致, 因为消费侧能耗就是以最终需求所在地 (而不是贸易的流向) 为责任核算基准的, 因此“外需能耗”指标更符合有关排放责任分配公平性问题的分析与讨论。

仍然假设国家 1 为中国, 则由 (1) 式的 MRIO 模型得到中国的最终需求引起的世界产出为

$\sum_i X_{il}$ ，从而中国消费侧能耗可以类似地分解为“国内能耗”（Energy Consumption at Home Country, ECH）和“国外能耗”（Energy Consumption in Foreign Country, ECF）。显然“国内能耗”等于生产侧能耗中的“内需能耗”，即中国最终需求在国内消耗的能源，而“国外能耗”是中国最终需求在国外消耗的能源，则有：

$$E_1^C = \sum_i F_i X_{i1} = F_1 X_{11} + \sum_{i \neq 1} F_i X_{i1} \\ = \underbrace{F_1 B_{11} Y_{11}}_{\text{国内自给生产能耗}} + \underbrace{F_1 B_{11} \sum_{i \neq 1} A_{i1} X_{i1}}_{\text{反馈性出口引致能耗}} + \underbrace{\sum_{i \neq 1} F_i B_{ii} Y_{i1}}_{\text{最终产品直接进口引致能耗}} + \underbrace{\sum_{i \neq 1} F_i B_{ii} A_{i1} X_{i1}}_{\text{中间产品直接进口引致能耗}} + \underbrace{\sum_{i \neq 1} (F_i B_{ii} \sum_{r \neq 1, r \neq i} A_{ir} X_{r1})}_{\text{中间产品间接贸易引致能耗}} \quad (4)$$

其中， $B_{ii} = (I - A_{ii})^{-1}$  表示  $i$  国的里昂惕夫逆矩阵。从式（4）可以看出，中国消费侧能耗中的“国外能耗”包含“最终产品直接进口引致能耗”、“中间产品直接进口引致能耗”和“中间产品间接贸易引致能耗”三部分。前者指中国直接进口最终产品导致在其他国家（地区）消耗的能源；中者指中国直接进口中间产品导致在其他国家（地区）消耗的能源；后者指中国最终需求引起的其他国家（地区）之间的中间产品贸易所消耗的能源。由于越来越复杂的全球生产链导致一国的最终需求不仅需要直接从外国进口最终产品和中间产品来满足，还可能引起其他国家之间的中间产品贸易，则这部分中间产品生产消耗的能源就属于“中间产品间接贸易引致能耗”。比如中国进口德国汽车引起美国对德国的轮胎出口，虽然中国没有直接从美国进口轮胎，但这部分轮胎是为了满足中国的汽车消费需求，因此其生产消耗的能源也应归属于中国的消费侧能耗。

因此，根据式（2）并结合上述分解结果，得到  $i$  国“外需能耗” $EF$  和“国外能耗” $ECF$  的简化公式为：

$$EF_i = \sum_r E_{ir} - E_{ii} \quad (5)$$

$$ECF_i = \sum_r E_{ri} - E_{ii} \quad (6)$$

容易发现，一国的生产侧能耗与消费侧能耗之差实际上就等于该国“外需能耗”与“国外能耗”之差，即为  $i$  国的产品能耗净输出量。

### （二）外需能耗的结构分解分析

一般情况下，一国外需能耗的变动可能有多种原因，本文运用基于多区域投入产出模型和数据的结构分解分析（MRIO-SDA）来识别我国外需能耗随着时间增长的驱动因素。

中国（国家1）外需能耗  $EF$  写成矩阵的形式为：

$$EF_1 = F^* B \bar{Y} \quad (7)$$

由此，从  $t-1$  期到  $t$  期中国外需能耗的变化可以写为：

$$\Delta EF_1 = F_t^* B_t \bar{Y}_t - F_{t-1}^* B_{t-1} \bar{Y}_{t-1} = \Delta F^* B \bar{Y} + F^* \Delta B \bar{Y} + F^* B \Delta \bar{Y} \quad (8)$$

其中， $F^*$  表示除了中国的能源强度外，其余国家的能源强度均为 0； $\bar{Y}$  表示除了中国最终需求外的其余国家的最终需求。注意（8）式可选择的指数种类较多，Dietzenbacher & Los 也指出结构分解的形式并不是唯一的，从不同的因素排列顺序进行分解，会得到不同的分解形式<sup>[11]</sup>。通常分解方程中每个因素的变动对应变量影响的平均值来衡量该因素的影响是合理的，但实际计算操作上会相当复杂。因此，如果变量过多，可采用两极分解方法（polar decomposition）作为替代，其所得到的结果非常接近。本文就采用两极分解方法来进行因素分解，即选择基期和变化期的平均值作为指数，将（8）式中两期之间中国外需能耗的变化  $\Delta EF_1$  分别从能源强度  $F^*$ 、中间投入系数  $B$  和最终需求  $\bar{Y}$  三个部分进行分解。

#### 1. 能源强度的分解

为了考察不同种类能源强度变化对外需能耗的影响，本文进一步将中国总能源强度变化写成

六种能源强度变化之和，用  $\Delta F^s$  表示中国第  $s$  种能源强度的变化，则  $\Delta F^*$  可以分解为：

$$\Delta F^* = \sum_s \Delta F^s \quad (9)$$

### 2. 中间投入系数的分解

对里昂惕夫逆矩阵的变化  $\Delta B$  进行乘法分解有  $\Delta B = B_t \Delta A B_{t-1}$ ，这样里昂惕夫逆矩阵的变化就转化为中间投入系数的变化，进一步可将中间投入系数矩阵写成： $A = A_d + A_{im} + A_{ex} + A_{fd} + A_f$ ，

其中： $A = \begin{pmatrix} A_{11} & \bar{A}_{1*} \\ \bar{A}_{*1} & \bar{A}_{**} \end{pmatrix}$ ， $A_d = \begin{pmatrix} A_{11} & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ ， $A_{im} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \bar{A}_{*1} & 0 \end{pmatrix}$ ， $A_{ex} = \begin{pmatrix} 0 & \bar{A}_{1*} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$ ， $A_{fd} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & A_{**} \end{pmatrix}$ ， $A_f = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & A_* \end{pmatrix}$ 。

这里  $A_d$  表示中国对国产中间产品的直接消耗系数； $A_{im}$  表示中国对外国中间产品的消耗系数，反映了中国中间产品的进口效应； $A_{ex}$  表示外国对中国中间产品的消耗系数，反映了中国中间产品的出口效应； $A_{**}$  为  $\bar{A}_{**}$  对角线上的分块矩阵，表示外国对其国产中间产品的直接消耗系数； $A_*$  表示外国对除中国以外的其他国家的中间产品的消耗系数。因此  $\Delta B$  可以分解为：

$$\Delta B = B_t \Delta A_d B_{t-1} + B_t \Delta A_{im} B_{t-1} + B_t \Delta A_{ex} B_{t-1} + B_t \Delta A_{fd} B_{t-1} + B_t \Delta A_f B_{t-1} \quad (10)$$

### 3. 最终需求的分解

外国最终需求矩阵包含了不同国家不同部门的最终需求，为了区分其结构变化对中国外需能耗的影响，将外国最终需求写为  $\bar{Y} = Y_1 + Y_2$ 。其中  $Y_1$  表示 28 个发达国家的最终需求； $Y_2$  表示剩余其他国家（地区）的最终需求。 $Y_2$  主要由发展中国家（地区）的最终需求构成，只包含几个规模较小的发达国家的最终需求，后文均简称  $Y_2$  为发展中国家最终需求。则  $Y_1$  进一步表示为： $Y_1 = M_1 \circ C_1 g_1$ 。其中  $M_1$  各元素表示各部门提供的最终产品的份额，反映了发达国家最终需求的产品结构； $C_1$  各元素表示各国为发达国家提供某种最终产品占发达国家对该产品最终需求总量的比重，反映了发达国家最终需求的国别结构； $g_1$  表示发达国家最终需求总水平标量。类似地， $Y_2$  可以分解为  $Y_2 = M_2 \circ C_2 g_2$ 。因此，外国最终需求的变化  $\Delta \bar{Y}$  可以分解为：

$$\Delta \bar{Y} = \Delta M_1 \circ C_1 g_1 + M_1 \circ \Delta C_1 g_1 + M_1 \circ C_1 \Delta g_1 + \Delta M_2 \circ C_2 g_2 + M_2 \circ \Delta C_2 g_2 + M_2 \circ C_2 \Delta g_2 \quad (11)$$

把 (9) — (11) 式代入 (8) 式，则从  $t-1$  期到  $t$  期中国外需能耗变化可以最终分解为 17 个因素的影响，如 (12) 式所示（含义见表 1）：

$$\begin{aligned} \Delta E F_t &= F_t^* B_t (M_t \circ C_t) g_t - F_{t-1}^* B_{t-1} (M_{t-1} \circ C_{t-1}) g_{t-1} \\ &= \underbrace{\Delta F^s B (M \circ C) g}_{E(\Delta F^s)} + \underbrace{F^* B_t \Delta A_d B_{t-1} (M \circ C) g}_{E(\Delta A_d)} + \underbrace{F^* B_t \Delta A_{im} B_{t-1} (M \circ C) g}_{E(\Delta A_{im})} + \underbrace{F^* B_t \Delta A_{ex} B_{t-1} (M \circ C) g}_{E(\Delta A_{ex})} \\ &\quad + \underbrace{F^* B_t \Delta A_{fd} B_{t-1} (M \circ C) g}_{E(\Delta A_{fd})} + \underbrace{F^* B_t \Delta A_f B_{t-1} (M \circ C) g}_{E(\Delta A_f)} + \underbrace{F^* B (\Delta M_1 \circ C_1) g_1}_{E(\Delta M_1)} + \underbrace{F^* B (M_1 \circ \Delta C_1) g_1}_{E(\Delta C_1)} \\ &\quad + \underbrace{F^* B (M_1 \circ C_1) \Delta g_1}_{E(\Delta g_1)} + \underbrace{F^* B (\Delta M_2 \circ C_2) g_2}_{E(\Delta M_2)} + \underbrace{F^* B (M_2 \circ \Delta C_2) g_2}_{E(\Delta C_2)} + \underbrace{F^* B (M_2 \circ C_2) \Delta g_2}_{E(\Delta g_2)} \end{aligned} \quad (12)$$

### (三) 数据来源与处理

本文所需的多区域投入产出表和能源数据均来源于 WIOD 数据库，该数据库包含 40 个国家（地区）和一个 RoW 的世界投入产出表序列（WIOTs）及环境卫星账户（environmental satellites accounts），每个国家（地区）有 35 个部门，数据年份覆盖 1995—2009 年。为了避免双重计算能源使用，本文选择与排放相关的能源使用账户数据，该数据不包括能源商品的非能源使用（如石油用于生产塑料，沥青用于道路建设）和投入能源商品用于转换（如煤炭转化为焦炭、焦炉气）。此外，为了简化，把 WIOD 环境账户 26 种能源商品（包含损耗）按其特性分成煤、原油

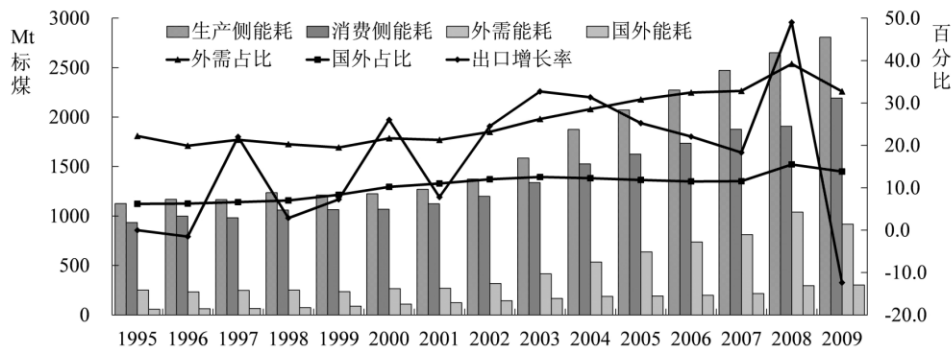
与原料、石油产品、燃气、新能源与废物、电力与热力六大类。为消除价格影响，本文所用数据均平减为2002年的可比价格。

表1 外需能耗变化的影响因素分解

影响因素	表达式	含义
国内能源强度效应	$E(\Delta F^s)$	中国第 $s$ 种能源强度变化效应(共6种)
国内中间需求效应	$E(\Delta A_d)$	中国对国产中间产品的使用结构效应
	$E(\Delta A_{im})$	中国中间产品的进口效应
国外中间需求效应	$E(\Delta A_{ex})$	中国中间产品的出口效应
	$E(\Delta A_{fd})$	外国对其国产中间产品的使用结构效应
	$E(\Delta A_f)$	其他国家之间的产业关联效应
	$E(\Delta M_1)$	发达国家最终需求的产品结构效应
国外最终需求效应	$E(\Delta C_1)$	发达国家最终需求的国别结构效应
	$E(\Delta g_1)$	发达国家最终需求的规模效应
	$E(\Delta M_2)$	发展中国家最终需求的产品结构效应
	$E(\Delta C_2)$	发展中国家最终需求的国别结构效应
	$E(\Delta g_2)$	发展中国家最终需求的规模效应

### 三、实证分析

#### (一) 中国外需能耗总量及变化趋势分析

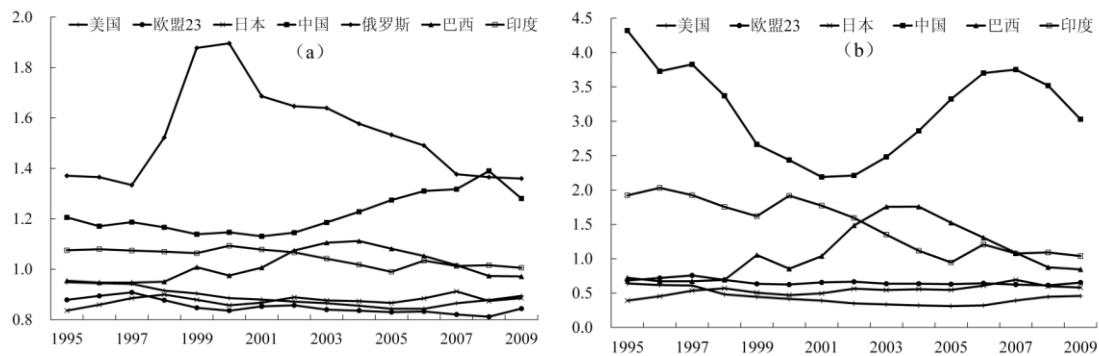


注：外需（国外）占比为外需（国外）能耗占生产侧（消费侧）能耗的比重，出口增长率为环比增长率。

图1 1995—2009年中国的四种能耗（Mt标煤）与出口贸易增长率（%）

根据MRIO模型计算出1995—2009年中国的各项能耗如图1所示。期间中国生产侧能耗一直大于消费侧能耗，且前者的增长速度（149.26%）明显快于后者（134.71%）；同时，外需能耗与国外能耗在研究期间分别增长了267.04%与423.34%，但由于我国国外能耗总量一直较小，因此产品能耗净输出呈持续上升态势。分阶段来看，我国外需能耗在2001年之后的增速大大提高，1995—2001年外需能耗增加了0.2亿吨标煤，年均增长率仅为1.29%；而2001—2008年外需能耗增加了7.69亿吨标煤，年均增长率高达21.22%，且该期间外需能耗的增长贡献了生产侧能耗增长的55.68%，这一现象与我国2001年加入WTO以后出口贸易的快速增长相一致（1995—2001年年均增长率为10.29%，2002—2008年年均增长率达28.70%）。但2009年外需

能耗较 2008 年下降了 11.65%，笔者认为一部分原因是由于受当时国际环境尤其是 2008 年金融危机的影响，我国出口贸易额锐减（12.4%）导致的下滑。总之，研究期间我国外需能耗明显高于国外能耗，且二者差值在 2001 年之后迅速扩大。此外，从图 1 的外需占比发现，1995 年我国生产侧能耗中有 21.27% 是为外国的最终需求服务的，而该比例在 2008 年达到了 39.2%，意味着目前中国有超过 1/3 的生产能耗是服务于外国最终需求的；相反，从国外能耗占比来看，我国最终需求消耗的能源在 1995 年仅有 6.2% 来源于国外，而占比最高的 2008 年也只有 15.49%，均远远小于我国服务外需的能耗占比。可见，中国在存在巨额外贸顺差的同时，却存在着巨大的生态逆差。



注：由于俄罗斯的外需能耗与国外能耗的比值（处于 4.39—25.61 之间）远远大于其他国家，因此为了作图方便，(b) 图中省略了俄罗斯的比值。

图 2 1995—2009 年主要经济体生产侧与消费侧能耗之比 (a) 及外需能耗与国外能耗之比 (b)

同时，利用 MRIO 模型计算出了 1995—2009 年世界主要经济体的各项能耗。如图 2 (a) 所示，美国、欧盟 23 国和日本的生产侧与消费侧能耗之比远小于 1，且这一比例不断下降，说明发达国家二者差距越来越大；虽然中国的生产侧能耗分别于 2007、2009 年超过欧盟和美国跃居世界第一，但中国消费侧能耗依然远小于美欧。从图 2 (b) 可以看出，类似于生产侧与消费侧能耗之比，主要发达国家的外需能耗与国外能耗之比大多均小于 1，如美国的外需能耗与国外能耗之比急剧下降，因为前者增长远慢于后者；同样，欧盟的外需能耗与国外能耗之比也呈下降趋势，前者在 15 年间增长了约 36%，而后者增长达 52%，充分表明美欧均在加大利用进口产品来满足国内的最终需求以减少国内的能耗。类似地，日澳也是重要的产品能耗净输入国。而韩国的情形恰好相反，自 1997 年始外需能耗均大于国外能耗，成为产品能耗净输出国。但韩国的产品能耗净输出呈下降趋势，随着韩国内需的进一步扩大，其很可能成为产品能耗净输入国。加拿大与韩国类似，其外需能耗与国外能耗之比大于 1，属于产品能耗净输出国，但净输出量一直在下降，未来加拿大很可能成为产品能耗净输入国。此外，作为新兴经济体的俄罗斯与中国类似，外需能耗与国外能耗之比远超过 1，最高达 25.61，明显属于产品能耗净输出国。而土耳其与墨西哥与其他发展中国家不同，两者均属于产品能耗净输入国，但其绝对值不大。总体而言，发展中国家的生产侧（外需）能耗普遍比消费侧（国外）能耗高，而发达国家则相反，表明发展中国家很大一部分能耗是为了满足发达国家的最终需求，在中国与俄罗斯表现尤为突出。因此，中国虽然是能源消费大国，但其有超过 1/3 的生产能耗服务于国外最终需求，那些“中国能源威胁论”的指责纯粹是想把引起世界能源问题的根源转嫁到中国身上，这显然是罔顾事实的。

(二) 中国外需能耗的国别流向分析

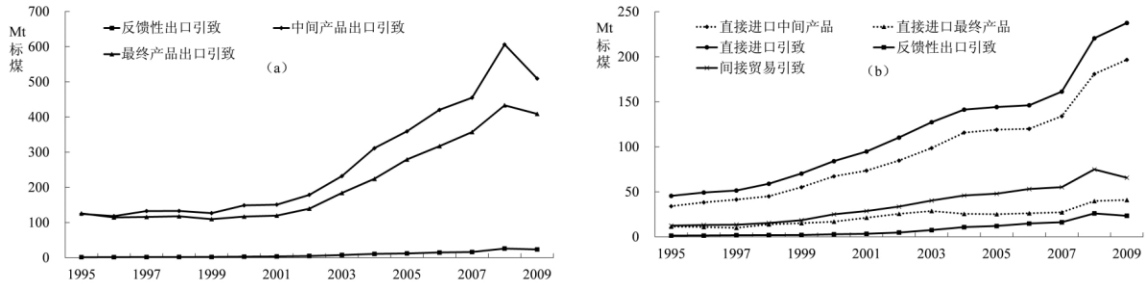


图3 1995—2009年中国外需能耗与国外能耗的构成分解

进一步，基于(3)和(4)式，笔者将中国外需能耗和国外能耗进行进一步分解<sup>[12]</sup>，结果如图3所示<sup>①</sup>。从图3(a)可以看出，中间产品出口引致能耗占中国外需能耗比重从1995年的49.68%上升至2008年的58.31%，且与中国最终产品出口引致能耗的差距在2001年之后迅速扩大，2008年达到1.73亿吨标煤(2009年稍有下降)，说明研究期间中国中间产品出口规模在不断扩大。图3(b)显示中国国外能耗主要来源于直接进口(中间产品和最终产品)引致能耗，研究期间其占历年国外能耗比均在78%左右，间接贸易引致能耗占比约为22%。而直接进口引致能耗中，中间产品引致能耗占比从1995年的74.82%增加至2009年的82.78%，而最终产品引致能耗占比逐渐减少。又由于间接贸易引致能耗是指中国最终需求引起的其他国家之间的中间产品相互贸易引致的能耗，则理应属于中间产品贸易范畴，因此中国国外能耗绝大部分是由中间产品贸易引致，其1995年占比为80.23%，2009年上升到86.51%，而2009年最终产品进口引致能耗仅占13.49%，说明研究期间中国中间产品进口规模亦在不断扩大。该结论表明，全球生产链的发展和全球分工的深化极大地促进了全球中间产品的贸易，使得中间产品贸易对各国能耗和碳排放的影响日益重要。

表2 1995—2009年中国外需能耗的国别流向(Mt标煤)

国家	附件 I 国家	非附件 I 国家	美国	欧盟	日本	RoW
1995	185( 73. 99)	21( 8. 34)	67( 26. 63)	58( 23. 12)	44( 17. 55)	44( 17. 67)
2001	196( 72. 43)	28( 10. 24)	81( 29. 84)	59( 21. 86)	39( 14. 51)	47( 17. 33)
2005	440( 68. 97)	69( 10. 87)	183( 28. 70)	135( 21. 22)	71( 11. 10)	129( 20. 17)
2009	545( 59. 32)	102( 11. 09)	196( 21. 30)	197( 21. 44)	69( 7. 48)	272( 29. 60)

注：附件 I 国家包括英国、法国、德国、意大利、荷兰、比利时、卢森堡、丹麦、爱尔兰、希腊、葡萄牙、西班牙、奥地利、瑞典、芬兰、波兰、匈牙利、捷克、斯洛伐克、斯洛文尼亚、爱沙尼亚、拉脱维亚、立陶宛、罗马尼亚、保加利亚、澳大利亚、加拿大、日本、美国、俄罗斯、巴西、土耳其；括号内数值为流向各国/地区的外需能耗占中国当年外需能耗总额的比重(%)。

从上述分析可知，大多数发达国家均属于明显的产品能耗净输入国，那么，中国的外需能耗是否流向了这些国家呢？如表2所示，1995年中国有74%的外需能耗流向了《联合国气候变化框架公约》的附件 I 国家<sup>②</sup>，其中，流向美、欧、日三大经济体的外需能耗占比就达67.3%；而

① “反馈性出口引致能耗”本属于内需能耗，但为了方便与外需能耗构成进行对比，此处也将其呈现在图3中。

② WIOD数据库把冰岛、瑞士、新西兰、挪威、列支敦士登和摩纳哥汇总在RoW区域，且没有包含附件 I 国家中的白俄罗斯、乌克兰和克罗地亚，由于这些国家经济规模都较小，因此不影响本文的分析结果。



流向非附件 I 国家的外需能耗仅占 8.34%。研究期间, 流向附件 I 国家的外需能耗比重在 2005 年后下降较快, 至 2009 年为 59.32%, 流向非附件 I 国家的外需能耗比重稍有上升, 流向 RoW 区域的外需能耗上升了约 12%, 这与中国入世之后其产品出口市场出现多元化发展有关。具体来看, 流向美国的外需能耗数额最大, 2008 年上升至 2.21 亿吨标煤 (2008 年和 2009 年均稍低于欧盟), 基本保持了与中国外需能耗总量同步增长, 所占份额在 15 年间下降了 5% 左右; 流向欧盟的外需能耗由 1995 年的 0.58 亿吨标煤上升至 2008 年的 2.34 亿吨标煤, 所占份额在研究期间下降了约 2%; 与之不同的是, 流向日本的外需能耗占比在 15 年间出现了较大幅度下降, 约 10 个百分点, 这一现象的出现可能是因为中国出口日本的通信设备及其他电子设备比重较高, 而这些产品能源强度下降较快引起的。

综上所述可见, 中国不仅生产侧能耗远远大于消费侧能耗, 且两者的差距逐渐扩大, 是典型的产品能耗净输出国, 而《公约》中承诺减排的附件 I 国家却呈现出相反的情形, 通过进口替代的方式吸收了超过 60% 的中国外需能耗。这充分表明中国表面上消耗了大量的能源资源, 实质上却作为“世界加工厂”承担了世界范围内大量贸易产品的生产能耗。但某些国家在大量消费中国制造产品的同时, 还指责中国过度消耗能源与污染环境, 鼓吹“中国能源威胁论”或“中国气候威胁论”, 完全无视能耗国际转移这一客观事实, 这是极不合理且有失公平的。

### (三) 中国外需能耗增长的结构分解分析

表 3 1995—2009 年中国外需能耗的 SDA 分解结果

影响因素	外需能耗增长(Mt 标煤) 及各因素贡献度(%)				
	1995—2001	2001—2005	2005—2009	2008—2009	1995—2009
$E(\Delta F^1)$	-78.13(-402.7)	-99.52(-27.3)	-75.32(-27.05)	4.44(-3.72)	-252.97(-38.22)
$E(\Delta F^2)$	0.44(2.25)	-1.03(-0.28)	-2.65(-0.95)	-2.85(2.39)	-3.24(-0.49)
国内能源强度效应	$E(\Delta F^3)$ -11.26(-58.05)	$E(\Delta F^4)$ -16.75(-4.60)	$E(\Delta F^5)$ -16.13(-5.79)	$E(\Delta F^6)$ 5.03(-4.22)	-44.14(-6.67)
	$E(\Delta F^4)$ -1.84(-9.46)	0.31(0.09)	-4.48(-1.61)	-3.38(2.84)	-6.01(-0.91)
	$E(\Delta F^5)$ -0.15(-0.78)	-0.25(-0.07)	-0.26(-0.09)	-0.04(0.04)	-0.66(-0.10)
	$E(\Delta F^6)$ -5.97(-30.77)	-12.10(-3.32)	-33.22(-11.93)	-8.21(6.89)	-51.29(-7.75)
国内中间需求效应	$E(\Delta A_d)$ -25.47(-131.29)	87.33(23.99)	-48.23(-17.32)	37.23(-31.23)	13.63(2.06)
	$E(\Delta A_{im})$ 0.13(0.68)	0.76(0.21)	-0.37(-0.13)	-3.27(2.75)	0.52(0.08)
国外中间需求效应	$E(\Delta A_{ex})$ 69.61(358.78)	181.62(49.89)	209.94(75.41)	-74.24(62.27)	461.17(69.68)
	$E(\Delta A_{jd})$ -3.16(-16.28)	-9.44(-2.59)	11.52(4.14)	19.56(-16.41)	-1.08(-0.16)
	$E(\Delta A_j)$ 4.55(23.46)	10.66(2.93)	-15.62(-5.61)	-20.89(17.52)	-0.41(-0.06)
国外最终需求效应	$E(\Delta M_1)$ 0.44(2.27)	-0.59(-0.16)	-45.29(-16.27)	-38.70(32.47)	-45.44(-6.86)
	$E(\Delta C_1)$ 29.99(154.59)	116.94(32.12)	130.72(46.95)	10.24(-8.59)	277.65(41.95)
	$E(\Delta g_1)$ 32.44(167.23)	29.32(8.05)	-3.09(-1.11)	-18.91(15.87)	58.68(8.87)
	$E(\Delta M_2)$ -2.03(-10.48)	7.00(1.92)	10.07(3.62)	-15.52(13.02)	15.04(2.27)
	$E(\Delta C_2)$ 7.66(39.48)	35.69(9.80)	83.40(29.96)	2.94(-2.47)	126.75(19.15)
	$E(\Delta g_2)$ 2.15(11.09)	34.08(9.36)	77.44(27.81)	-12.64(10.60)	113.67(17.17)
	$\Delta EF$ 19.40(7.82)	364.05(136.2)	278.41(44.09)	-119.21(-11.58)	661.86(266.9)

注:  $E(\Delta F^1) \sim E(\Delta F^6)$  依次代表煤、原油与原料、石油产品、燃气、新能源与废物、电力与热力的消耗强度效应。括号内数值为各因素对中国外需能耗变动的贡献度(%) ,最后一行括号内数值为相应阶段外需能耗的增长率。

表 3 显示了 1995—2009 年分阶段各因素对中国外需能耗变化的贡献。在整个研究期间, 中国外需能耗增长了 267%。其中, 中国中间产品的出口效应、发达国家与发展中国家最终需求国

别结构变动以及最终需求规模变动五个因素始终是驱动中国外需能耗大幅增长的主要动力,1995—2009年间促使外需能耗累计增加了10.38亿吨标煤。中国中间产品的出口效应使外需能耗在15年间增长了69.68%,表明中国中间产品的出口承载了大量的能源使用量。这源于中国积极参与国际分工,尤其是“入世”以后,通过大量承接发达国家制造业和服务业外包,使中间产品的出口规模迅速扩大,从而逐渐成长为名副其实的“世界加工厂”,导致中国外需能耗的快速增长。同时,SDA结果表明,发达国家和发展中国家最终需求国别结构变动分别引起中国外需能耗在15年间增长了41.95%和19.15%,说明中国服务于这两类经济体中各国最终产品需求的比重发生的变化引起了中国外需能耗的大幅增加。此外,发达国家和发展中国家最终需求规模的扩大对中国外需能耗的影响分别为8.87%和17.17%,尤其是发展中国家最终需求占中国出口的最终产品的市场份额大幅提高促使中国外需能耗的进一步增加,这一结论再次印证了中国实施贸易多元化战略引起能耗增加的事实。相反,各种能源消费强度变动效应始终保持负值,促进了中国外需能耗的下降,相当于中间产品出口效应所产生影响的68.78%,是抑制外需能耗增加的最重要因素,意味着中国长期致力于提高能源利用效率、大力实施节能减排政策已经发挥了十分积极的作用。

从我国能源消耗内部结构来看,研究期间煤炭强度变化的贡献度在第二阶段大幅下降,2005年之后几乎没有变化,而另外两种主要能源(石油产品、电力与热力)强度变化的贡献度在2005年后有所上升,其他三类能源在中国能源消耗中占比很低,所以其贡献度有限,但总体都呈现出降低外需能耗的趋势。此外,中国对国产中间产品的使用结构变化对中国外需能耗的总体影响较小,仅引起其2.06%的增长,且这一因素在1995—2001年和2005—2009年两个阶段均表现出减能效应,仅2001—2005年的投入结构使外需能耗增长了23.99%,而这一阶段外需能耗增长占研究期间总增长的55%,达3.64亿吨标煤,这与我国2002年开始的新一轮以重化工业为主的经济增长是分不开的。尽管2001—2005年我国仍在推进节能减排工作,能源强度下降抑制了外需能耗的增长,但国外需求规模的扩张和国内投入结构的变动使外需能耗快速增长,尤其是中国中间产品出口结构的变动使外需能耗增加了49.89%,这说明我国在这一阶段的国内投入结构和出口结构呈现出“高碳化”的趋势。

#### 四、结论与政策含义

本文的主要研究结论有:

第一,基于MRIO模型的测算结果发现,1995—2009年间中国外需能耗增加了7.89亿吨标煤,增长了267.04%。尤其是2001年中国加入WTO后,外需能耗的增速大大提高,2001—2008年间中国外需能耗增长贡献了中国生产侧能耗增长的55.68%,且研究期间中国外需能耗占生产侧能耗的比重也从22.21%上升至39.2%,说明中国有超过1/3的生产侧能耗是为国外需求服务的,规模还呈逐渐扩大趋势,是明显的产品能耗输出大国。此外,从中国外需能耗的国别流向来看,主要集中在美国、欧盟、日本等附件I国家,流入非附件I国家的外需能耗占比很小。由此可见,中国表面上消耗了大量的能源资源,实质上却作为“世界加工厂”承担了世界范围内大量贸易产品的生产能耗。

第二,对中国外需能耗与国外能耗的构成分解显示,中间产品出口引致能耗占中国外需能耗比重从1995年的49.68%上升至2008年的58.31%,且与中国最终产品出口引致能耗的差距在2001年之后迅速扩大,2008年达到1.73亿吨标煤(2009年稍有下降);另一方面,直接进口中

间产品与间接贸易引致能耗占中国国外能耗从 1995 年的 80.23% 增加至 2009 年的 86.51%，直接进口最终产品引致能耗占比不到 15%。该结论表明中国外需能耗主要由中间产品贸易引致，体现出中国在融入全球生产链的过程中导致了自身大量的能源消耗与碳排放，因此这种嵌入全球生产链的方式对国内节能减排和低碳发展带来不利的影响。

第三，MRIO-SDA 分析结果表明，中国外需能耗的迅速增长主要由中国中间产品的出口效应、发达国家和发展中国家最终需求国别结构变动引起。中间产品出口变动效应维持较高水平意味着外需对中国能源消耗影响非常大；国外最终需求逐渐向中国转移进一步推动了中国外需能耗的增长。相反，中国生产部门能源强度的大幅下降是抑制研究期间中国外需能耗增加的最重要因素，表明中国长期致力于改善能源利用效率的努力为缓解全球气候变暖做出了积极贡献。

由以上分析可以看出，研究期间国外最终需求和中间产品需求增加共同推动了中国外需能耗的快速增长。而中国在目前的国际分工体系中还处于全球生产链的下游加工环节，因此，一方面，中国应当鼓励出口附加价值高、能源强度较低的产品或服务，淘汰低附加值、高能耗产品出口，逐渐嵌入全球生产链的高端，实现价值链的攀升；另一方面，中国应加大技术创新力度或引进世界先进的节能技术和清洁生产技术，开展国际节能合作，并促使发达国家向中国出口其清洁生产技术或提供技术援助，提高中国能源利用技术水平。进一步降低能源强度和优化能源使用结构，促进生产和贸易的低碳化，最终实现对外贸易与国内节能减排、低碳转型的协调发展。

#### [参考文献]

- [1] Lin X, Polenske K R. Input-output anatomy of China's energy use changes in the 1980s. *Economic Systems Research*, 1995, 7 (1): 67-84.
- [2] Garbaccio R F, Ho M S, Jorgenson D W. Why has the energy output ratio fallen in China? *Energy Journal*, 1999, 20 (3): 63-91.
- [3] Peters G P, Weber C L, Guan D, Hubacek K. China's growing CO<sub>2</sub> emissions — A race between increasing consumption and efficiency gains. *Environmental Science & Technology*, 2007, 41 (17): 5939-5944.
- [4] Weber C L, Peters G P, Guan D, Hubacek K. The contribution of Chinese exports to climate change. *Energy Policy*, 2008, 36 (9): 3572-3577.
- [5] Pan J H, Phillips J, Chen Y. China's balance of emissions embodied in trade: Approaches to measurement and allocating international responsibility. *Oxford Review of Economic Policy*, 2008, 24 (2): 354-376.
- [6] Li H M, Qi Y. Carbon embodied in international trade of China and its emission responsibility. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 2010, 8 (2): 24-31.
- [7] Lin B Q, Sun C W. Evaluating carbon dioxide emissions in international trade of China. *Energy Policy*, 2010, 38 (1): 613-621.
- [8] 陈迎、潘家华、谢来辉 《中国外贸进出口商品中的内涵能源及其政策含义》，《经济研究》，2008 年 7 期。
- [9] 齐晔、李惠民、徐明 《中国进出口贸易中的隐含碳估算》，《中国人口·资源与环境》，2008 年 3 期。
- [10] 彭水军、张文城、孙传旺 《中国生产侧和消费侧碳排放量测算及影响因素研究》，《经济研究》，2015 年 1 期。
- [11] Dietzenbacher E, Los B. Structural decomposition techniques: Sense and sensitivity. *Economic Systems Research*, 1998, 10 (4): 307-323.
- [12] Zhang W C, Peng S J. Analysis on CO<sub>2</sub> emissions transferred from developed economies to China through trade. *China & World Economy*, 2016, 24 (2): 68-89.

[责任编辑：赵东奎]

nel to strengthen actual control for outlying islands and the adjacent waters.

**Keywords:** Marine protected areas; Marine biodiversity conservation; Maritime interests; actual control

**Effects of Foreign Demand on Energy of China from a Global Production Chain Perspective:  
An Empirical Analysis based on the MRIO Model**

*PENG Shui-jun , WEI Tao , CAO Yi ( 51)*

**Abstract:** Based on WIOD database , We estimated the effects of foreign demand on energy of China in 1995 – 2009 with Multi-Regional Input-Output ( MRIO) Model , and examined the key factors that affect the energy for foreign demand through Structural Decomposition Analysis ( SDA) . The results revealed that China is already the net exporter of energy embodied in foreign demand obviously. Then we showed that energy for foreign demand in China mainly serving the Annex I countries such as United States , Europe , Japan and other developed countries. SDA results demonstrate that the rapid increase of energy for foreign demand in China is due to China's intermediate goods exports effects , then due to country structure and size of foreign final demands , in contrast , the continuously reduced energy intensity is the main factor for inhibiting its increase.

**Keywords:** energy consumption; foreign demand; MRIO Model; SDA

**Internationalization Path , Resource-based Space Relevance and SMEs' Sustainable Development:  
Spatial Panel Data Analysis on Provincial Level**

*NIU Xiong-ying , LI Xin-wei ( 62)*

**Abstract:** To explore resource-based spatial autocorrelation and spatial dependence of Chinese provincial SMEs' sustainable development , and to examine the impact direction and magnitude from internationalization path , the authors collected and analyzed related data from 31 provinces in China , 2010 – 2013. Using gravity model to generate SMEs' resource-based space matrix , using Moran's I to test spatial autocorrelation , using FT ( foreign trade) & FDI ( foreign direct investment) to measure SMEs' internationalization path , using yearly dynamic data of SMEs' performance to measure SMEs' sustainable development , and using operating income , profit , & tax amount to be control variables , the authors looked into the impact from internationalization path upon SMEs' sustainable development and tested resource-based spatial autocorrelation. Results show that: 1) SMEs' sustainable development has significant spatial autocorrelation among resource-based spatial relevance and geographical distance , dynamic resource-based spatial relevance matrix better than static geographical spatial matrix; 2) SMEs' internationalization path positively impacts SMEs' sustainable development; 3) from resource-based spatial relational matrix , one province SMEs' sustainable development has significant spatial dependence upon sustainable development error impact of SMEs from its neighbor provinces.

**Keywords:** SMEs' sustainable development; internationalization path; resource-based space relevance; spatial error model

**Whether Competition Affects Rating Quality?  
Based on the Banks Credit Rating Data of China**

*SHEN Zhong-hua , GUAN Chao , HUANG Yu-li ( 72)*

**Abstract:** The paper use the Chinese commercial banks during 2007 – 2014 and its issuer-firm credit ratings as its sample , aiming to find out the determinants of the bank's credit rating , and the effects of enhanced competition on banks credit rating quality. Further , the paper followed 13578665395 investigate whether the rating shopping hypothesis holds ,