

# 中国隐含石油出口变动的产业间路径分解研究

冯翠洋, 唐旭\*, 金艺, 王雪成, 张宝生

中国石油大学(北京)工商管理学院, 北京, 102249

\* 通信作者, tangxu2001@163.com

收稿日期: 2017-07-17

国家自然科学基金项目“我国国民经济中隐含石油的测算、路径分解与出口结构优化研究”(71303258)、国际自然科学基金项目“中国油气开发中能源和水的耦合关系与协同控制研究”(71673297)、教育部人文社科基金“我国隐含石油进出口结构优化的多目标决策及策略研究”(13YJC630148)和中国石油大学(北京)优秀青年教师研究基金(ZX20150130)联合资助

**摘要** 中国在对外贸易的过程中出口了大量隐含能, 随着贸易规模的不断扩大, 这一现状受到了广泛关注。本文基于2002、2007和2012年投入产出表, 从完全消费的视角对中国对外贸易中的隐含石油进行定量分析, 并利用敏感性分析方法找到影响隐含石油消费的关键系数, 借鉴结构化路径分析方法识别出这些关键系数所在的关键产业路径。核算结果表明, 2002—2012年中国隐含石油出口量迅速增加, 其中化学工业, 电气机械及器材制造业, 通信设备、计算机及其他电子设备制造业, 交通运输及仓储业的累计消耗比例超过40%。敏感性分析结果表明, 石油和天然气开采业到石油加工、炼焦及核燃料加工业, 石油加工、炼焦及核燃料加工业到交通运输及仓储业, 石油加工、炼焦及核燃料加工业到化学工业等的部门间联系是影响隐含石油出口的关键环节。路径分析表明, 批发和零售业, 化学工业, 研究与试验发展业, 非金属矿及其他矿采选业等是高隐含石油出口附加值行业。因此, 要努力扩大中间投入的能源效率, 推动高附加值行业产品的出口, 从而实现外向型经济的低油耗发展。

**关键词** 出口贸易; 隐含石油; 投入产出分析; 敏感性分析; 结构化路径分析

## 0 引言

自2014年6月以来, 国际油价大幅下滑, 世界石油行业进入不景气周期。但总体来看, 未来较长时间内石油仍然是全球能源供应的主力军, 在世界一次能源消费结构中所占比例仍将保持在30%左右。根据国际能源署IEA(2016)预测, 石油市场将在2017年实现新的供需平衡, 2017—2021年间, 石油价格有上涨的风险<sup>[1]</sup>。BP预测, 中国将在2032年取代美国成为世界最大的液体能源消费国, 而石油产量预计到2035年将减少5%<sup>[2]</sup>。与此同时, 预计到2035年中国石油的进口依存度将达到76%, 高于美国2005年的峰值。尽管短期内全球石油供需仍将保持宽松态势, 但供需

稳定性面临一定威胁。此外, 由于国民经济各个部门之间存在着紧密的经济联系, 所以各行业均在直接或间接地消费石油产业的中间或最终产出。唐旭等研究表明, 2007年通过“中国制造”出口的隐含石油量占中国石油消费总量的27%左右, 这表示中国进口原油的56%在获得政府补贴后又通过廉价的“中国制造”被动的出口出去<sup>[3]</sup>。深入分析这些隐含石油的流动路径, 有利于中国充分利用和管理好石油资源。

## 1 研究现状

随着经济全球化的迅猛发展, 对外贸易对中国经济发展的影响日益增大。2014年中国进出口总额占

引用格式: 冯翠洋, 唐旭, 金艺, 王雪成, 张宝生. 中国隐含石油出口变动的产业间路径分解研究. 石油科学通报, 2017, 04: 546-556  
FENG Cuiyang, TANG Xu, JIN Yi, WANG Xuecheng, ZHANG Baosheng. Inter-industry path decomposition of embodied oil export changes in China. Petroleum Science Bulletin, 2017, 04: 546-556. doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2017.04.051

GDP的41.55%，是世界第一大出口国以及仅次于美国的第二大进口国<sup>[4]</sup>。出口贸易的增长虽然起到了支持国家经济发展和社会稳定的作用，但也使中国成为了“世界工厂”，在消耗大量资源的同时带来了严重的环境污染问题<sup>[5]</sup>。2009年12月召开的哥本哈根国际气候大会使碳排放责任的界定成为了学术界研究的焦点<sup>[6]</sup>。随着贸易一体化趋势的不断深入，中国承接了大量发达国家转移来的高能耗产业，这使得中国制造的产品相比进口产品的隐含能或碳排放更高。根据生产者负责制，在分配碳排放总量控制责任时中国承担了部分发达国家的减排任务<sup>[7]</sup>。显然，这种不考虑发展中国家客观情况和总体减排效果的原则是有失公平的。

早期研究主要基于产品或服务的视角，对其在生产过程中直接和间接消耗的能源进行研究。一些具体产品在生产过程中的直接和间接能源投入得到了早期研究的关注，比如金属生产<sup>[8]</sup>、粮食生产<sup>[9]</sup>；建筑物中的隐含能问题<sup>[10]</sup>也逐渐成了研究的热点之一。在国内，基于这一视角下隐含能的研究较少。刘强等基于全生命周期评价的方法，对中国46种重点产品的载能量进行了计算，研究表明2005年上述产品在出口过程中带走了大约13.4%的国内一次能源消耗<sup>[11]</sup>。已有研究表明，在生产过程中产品或服务间接消耗的能源量一般高于其直接消耗的能源量。由于这类研究对数据要求较高，一般只对少部分重点产品进行研究。因此，目前这一类研究成果并不是很丰富。

许多学者基于单一国家的视角研究其对外贸易中的隐含能问题。Lenzen对澳大利亚对外贸易中的隐含能进行分析，研究表明澳大利亚出口的隐含能远超过其同期进口产品中的隐含能<sup>[12]</sup>。TANG X等对英国贸易中的隐含能进行研究发现，自1997年起英国隐含能的进口量均高于其出口量<sup>[13]</sup>。当前，一些发展中国家，比如中国、印度<sup>[14]</sup>、巴西<sup>[15]</sup>等已经成为国内外学者研究的焦点。就中国而言，顾阿伦等<sup>[16]</sup>、罗思平等<sup>[17]</sup>、JIANG M M等<sup>[18]</sup>、庞军等<sup>[19]</sup>均研究得出：中国是隐含能净出口国，并且隐含能出口量占全国能源消费总量的比重仍在迅速上升。

此外，一些学者将一国的隐含能研究延伸到了多个国家或地区之间的贸易隐含能转移研究。这方面的研究主要可以分为两大类：特定双边贸易国之间的隐含能转移和多个国家贸易间的隐含能转移。前者重点研究两国间贸易对双方能源消费的影响。YANG R R对1997—2011年中美两国贸易隐含能进行了测算，研究表明中国是中美贸易隐含能的净出口国<sup>[20]</sup>。而后者

主要针对多个国家或地区间的隐含能转移进行研究。ZHANG B等研究表明，中国在2002—2007年间通过区域间贸易转移的隐含能量增长了三倍<sup>[21]</sup>。国家或地区间隐含能转移表明：贸易结构、技术水平、国家间比较优势的差别等因素对隐含能会有很大影响，但贸易逆差并不能保证一国成为隐含能净进口国<sup>[22]</sup>。但总体而言，发达国家作为一个群体是隐含能的净进口国，而发展中国家作为一个群体则为隐含能净出口国。

综上所述，随着人们对气候变化等问题关注度的不断提高，近年来，隐含能等相关话题正呈现不断丰富和逐渐深化的发展态势。但是已有研究主要集中于对国民经济中隐含能的规模进行核算，对其产业间流动路径进行分解研究的还较少，而针对隐含石油出口的产业间路径分析还没有得到充分关注。因此，本文基于投入产出理论的基本原理，在对中国隐含石油出口进行核算的基础上，通过编写程序研究产业间关联系数对隐含石油出口的影响程度；并通过灵敏度分析寻找影响隐含石油出口的关键系数以及这些关键系数所在的关键产业路径，从而为中国更好地管理和利用石油资源提供信息参考和决策依据。

## 2 模型

### 2.1 投入产出模型

投入产出分析是由瓦西里·列昂惕夫于20世纪30年代提出<sup>[23]</sup>，主要是通过编制投入产出表并建立相应的数学模型，来反映国民经济系统中各部门之间相互依存和制约的关系。由于思路与隐含能核算的思想十分相似，因此成为隐含能计算的主要方法。

投入产出模型的数学表达式为：

$$X = AX + Y \quad (1)$$

其中， $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ 表示总产出列向量； $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$ 表示最终需求列向量； $I$ 表示单位阵； $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 表示直接消耗系数矩阵； $(I - A)^{-1}$ 为 $(I - A)$ 矩阵的逆矩阵，又称为列昂惕夫逆矩阵、完全需求系数矩阵。

直接消耗系数 $a_{ij}$ 表示的是 $j$ 部门生产单位产品(或价值)时消耗 $i$ 部门的产品量(或价值)，它反映了 $j$ 部门产品生产过程中与 $i$ 部门的技术联系，其计算公式为：

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j} \quad (2)$$

其中,  $x_{ij}$  表示  $j$  部门对  $i$  部门的直接消耗量;  $x_j$  表示  $j$  部门的总产出。

完全消耗系数  $b_{ij}$  表示  $j$  部门生产的单位最终产品对  $i$  部门产品的直接消耗量和间接消耗量的总和, 其计算公式为:

$$b_{ij} = a_{ij} + \sum_k (b_{ik} \times a_{kj}) \quad (3)$$

其中,  $k$  表示中间生产部门;  $\sum_k (b_{ik} \times a_{kj})$  表示为通过  $k$  种中间产品而形成的第  $j$  种产品对第  $i$  种产品的间接消耗。

直接消耗系数矩阵与完全消耗系数矩阵之间的关系为:

$$B = (I - A)^{-1} - I \quad (4)$$

其中,  $I$  是  $n \times n$  阶单位矩阵,  $n$  为部门数。

由于我国是加工贸易大国, 每年进口的商品有较大比重作为中间投入参与了其他产品的生产, 即国内生产过程中的投入包含国内投入和进口中间投入两部分。因此, 需要对消耗系数进行国产化修正, 否则会使测算结果偏高<sup>[24]</sup>。

引入进口系数  $M$ , 假设部门  $i$  对所有其他部门  $j$  的投入中进口中间品投入的比例相同, 则  $M$  是个对角矩阵, 其元素  $m_i$  的计算公式为:

$$m_i = \frac{im_i}{(x_i + im_i - ex_i)} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

其中,  $im_i$  表示部门  $i$  的进口量;  $ex_i$  表示部门  $i$  的出口量。

修正后的直接消耗系数  $A^*$  可以表示为:

$$A^* = (I - M) \times A \quad (6)$$

修正后的完全消耗系数  $B^*$  可以表示为:

$$B^* = (I - A^*)^{-1} - I \quad (7)$$

## 2.2 敏感性分析模型

敏感性分析是一种定量的分析方法, 是研究相关因素的变化对某一个或者某一组目标变量影响程度的不确定分析方法。本文通过隐含石油出口变化率来测算各部门直接消耗系数的变化对我国隐含石油出口总量的影响程度, 进而找到影响我国隐含石油出口的关键系数。

自 1978 年以来, 中国石油利用效率不断提高, 每万元 GDP(2015 年价格)<sup>[25]</sup> 所消耗的石油量<sup>[26]</sup> 从 1978 年的 0.4 t 下降到了 2015 年的 0.08 t。但是, 与世界发达国家仍有很大差距。如表 1 所示, 2015 年中国石油消费强度虽然低于世界平均水平, 但是比英国、法国、德国等发达国家高 50% 以上。由于石油消费强度的差异, 即使在贸易顺差为零的情况下, 中国仍然在通过产品贸易向发达国家“出口”石油<sup>[3]</sup>。

为了更好地反映这种石油消费强度的差异, 基于投入产出理论构建中国隐含石油出口计算模型如下:

$$ex_p = \frac{c_p}{x_p} \times \frac{Q_w}{Q_c} \times B_p^* \times EX \quad (8)$$

其中,  $ex_p$  表示中国每年的隐含石油出口量;  $B_p^*$  表示修正后各部门对石油产业的完全消耗系数 ( $1 \times n$  的行

表 1 石油消费强度的国际对比

Table 1 Comparison of oil consumption intensity in different countries

(单位: t/万美元)

	1970 年	1980 年	1990 年	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年
中国	3.08	4.51	3.16	1.87	1.47	0.74	0.51
印度	3.19	1.72	1.83	2.31	1.48	0.94	0.93
俄罗斯	-	-	4.83	4.76	1.59	0.87	1.06
巴西	5.95	2.4	1.39	1.42	1.01	0.57	0.81
美国	6.78	2.87	1.36	0.92	0.77	0.57	0.47
日本	9.81	2.25	0.82	0.55	0.54	0.36	0.43
英国	8.3	1.49	0.82	0.53	0.36	0.31	0.25
法国	6.41	1.59	0.72	0.71	0.43	0.32	0.32
德国	6.64	1.6	0.74	0.68	0.44	0.34	0.33
世界	8.28	2.87	1.46	1.13	0.87	0.62	0.57

数据来源: BP 统计资料<sup>[26]</sup>、世界银行<sup>[27]</sup>

向量);  $c_p$  表示中国的石油消费量;  $x_p$  表示石油产业的总产出;  $Q_w$  表示了中国以外的世界平均石油消费强度;  $Q_c$  表示了中国的石油消费强度,  $EX$  表示中国各部门的产品出口量 ( $n \times 1$  的列向量)。

所运用的投入产出模型包含 42 个部门, 共有直接消耗系数 1764 ( $42 \times 42$ ) 个, 其中任何一个直接消耗系数都可能引起列昂惕夫逆序数矩阵的改变, 进而影响各部门的石油消耗情况。假设变化系数为  $\rho$ , 直接消耗系数  $a_{ij}$  经过变化后的系数可以表示为  $\rho \times a_{ij}$ , 则此时的隐含石油出口变化率  $\eta_{ij}$  如下:

$$\eta_{ij} = \frac{ex'_{p_{ij}} - ex_p}{ex_p} \quad (9)$$

其中,  $ex'_{p_{ij}}$  表示变化后的直接消耗系数  $\rho \times a_{ij}$  对应的隐含石油出口量。

运用 EXCEL 编写程序, 计算变化系数为  $\rho$  时, 每一个直接消耗系数分别变化后的隐含石油出口变化率。并经过筛选, 确定影响我国隐含石油出口的关键系数。

### 2.3 隐含石油出口的结构化路径分析模型

Lantner<sup>[28]</sup> 于 1972 年将结构化路径分析方法应用于投入产出模型, 初步阐释了经济关系中外生变量对内生变量影响的路径与机制。

根据泰勒公式将列昂惕夫逆矩阵展开得到

$$(I - A)^{-1} = I + A + A^2 + A^3 + \dots + A^m \quad (m \rightarrow \infty) \quad (10)$$

则完全消耗系数可以表示为:

$$B = (I - A)^{-1} - I = A + A^2 + A^3 + \dots + A^m \quad (m \rightarrow \infty) \quad (11)$$

将其带入中国隐含石油出口计算模型 (公式 8), 即可得到:

$$ex_p = \frac{c_p}{x_p} \times \frac{Q_w}{Q_c} \times \left[ (A^*)_p + (A^{*2})_p + (A^{*3})_p + \dots + (A^{*m})_p \right] \times EX \quad (12)$$

其中,  $(A^{*m})_p$  表示对矩阵  $A^*$  先求  $m$  次幂再取第  $p$  行元素, 即为  $1 \times n$  的矩阵。

相应的第  $q$  ( $q = 0, 1, 2, \dots$ ) 次消耗应为

$$ex_{p_q} = \frac{c_p}{x_p} \times \frac{Q_w}{Q_c} \times \left[ A^{*(q+1)} \right]_p \times EX \quad (13)$$

将上述公式中的矩阵进行行展开, 即可得到

$$\begin{aligned} ex_{p_0} &= \sum_{i=1}^n \frac{c_p}{x_p} \times \frac{Q_w}{Q_c} \times a_{p_i}^* \times ex_i \\ ex_{p_1} &= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{c_p}{x_p} \times \frac{Q_w}{Q_c} \times a_{p_i}^* \times a_{ij}^* \times ex_j \\ ex_{p_2} &= \sum_{l=1}^n \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \frac{c_p}{x_p} \times \frac{Q_w}{Q_c} \times a_{p_i}^* \times a_{ij}^* \times a_{jl}^* \times ex_l \\ &\dots \end{aligned} \quad (14)$$

由此, 就可以通过这一方法计算隐含石油的消耗路径。在计算多阶段结构化路径的时候, 由于计算量呈指数型增长, 本文运用 Turbo C 3.0 编写优化算法, 图 1 即为隐含石油出口结构化路径的计算程序。

首先, 分别输入直接消耗系数  $A$ , 中国石油出口量  $ex_{p_0}$ , 以及临界值  $t$ 。然后, 利用公式 (17) 分别计算第 1 阶段、第 2 阶段至第  $m$  阶段的各行业隐含石油出口向量  $D_1, D_2$  至  $D_m$ 。对于第 1 阶段,  $d_{i,1}$  ( $i=1, 2, \dots, 42$ ) 属于  $D_1$ , 判断  $d_{i,1}$  是否大于等于临界值  $t$ , 如果是则进入下一阶段; 否则, 判断是否  $D_1$  中所有的  $d_{i,1}$  均已检测, 没有则  $i=i+1$ , 是则结束程序。对于第 2 阶段,  $d_{i,2}$  ( $i=1, 2, \dots, 42$ ) 属于  $D_2$ , 同样判断  $d_{i,2}$  是否大于等于临界值  $t$ , 如果是则进入下一阶段; 否则, 判断是否  $D_2$  中所有的  $d_{i,2}$  均已检测, 没有则  $i=i+1$ , 是则返回上一循环。对于第  $m$  阶段, 重复第 2 阶段的语句。

### 3 影响隐含石油出口的关键系数测算

基于投入产出模型, 对 2002、2007、2012 三年的隐含石油出口量进行计算, 其结果如图 2 所示。可以看出, 2007 年较 2002 年隐含石油出口量有较大增长, 而受金融危机及国家控制“两高一资”(高耗能、高污染和资源性)产品出口的影响, 2012 年较 2007 年隐含石油出口量有小幅下降。此外, 隐含石油出口量的一次间接消耗所占比例不足 30%, 并呈逐年下降的趋势。这反映了对外贸易中, 石油深加工产品需求正不断增加。

本文运用的投入产出表包含 42 个部门, 分别计算 2002、2007、2012 年各部门的隐含石油出口量并按从大到小排序, 表 2 是三个年份隐含石油出口量排名前五的部门始终包含化学工业, 电气机械及器材制造业, 通信设备、计算机及其他电子设备制造业, 交通运输及仓储业。其中, 化学工业, 电气机械及器材制造业, 通信设备、计算机及其他电子设备制造业, 交通运输及仓储业三个部门的隐含石油出口量排名有所上

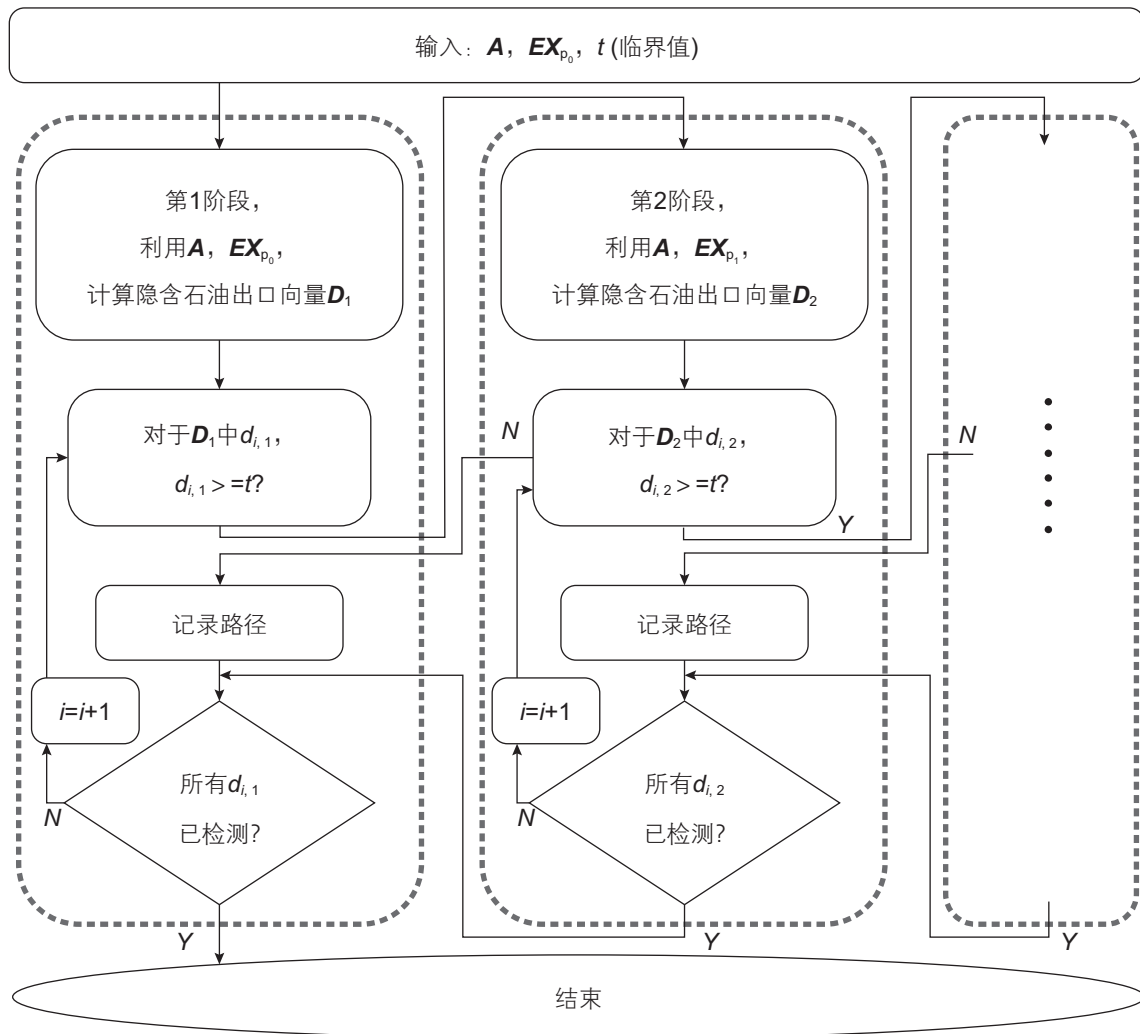


图 1 隐含石油出口结构化路径分析的计算程序

Fig. 1 Computational processes for structural path analysis of embodied oil export

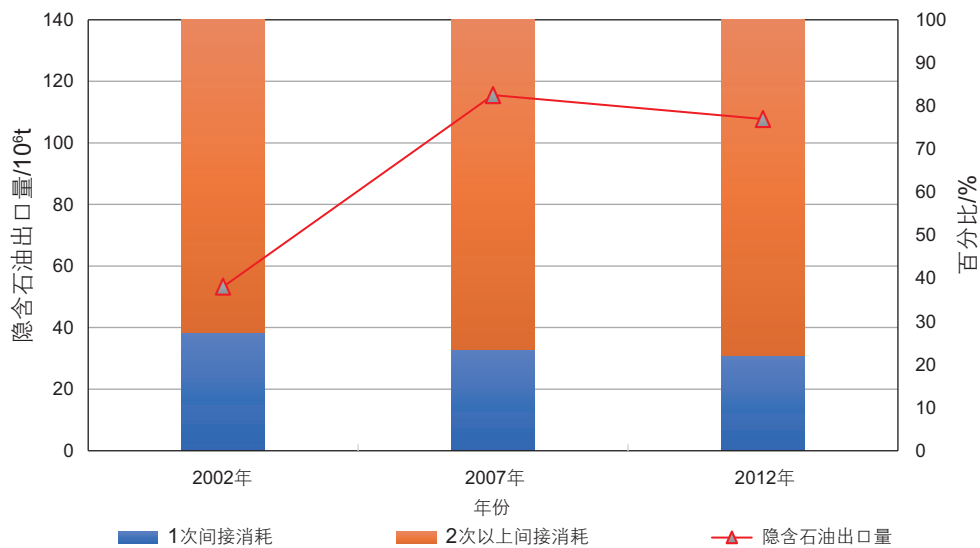


图 2 2002、2007、2012 年中国隐含石油出口情况

Fig. 2 China's embodied oil export in 2002, 2007 and 2012

升,而交通运输及仓储业的排名逐年下降。此外,按照排名顺序计算隐含石油出口量累计占比,可以看出三个年份中排名前五的部门累计隐含石油出口占比均在50%以上。可见,高耗油行业是中国控制隐含石油出口的重要环节。

利用公式(9)计算中国隐含石油出口量对直接消耗系数的敏感性,并以 $\rho=1.1$ 为例,选取 $\eta_{ij} \geq 0.05\%$ 对不同年份隐含石油出口的关键系数进行对比。计算结果表明,三个年份隐含石油出口的关键系数数量逐年增多,分别是83、86、93个。表3是三个年份隐含石油出口变化率较高的前五部门间联系,可见隐含石油出口变化率小范围波动,对关键产业路径进行管控才能有效降低隐含石油的出口量。

通过计算变换系数 $\rho=0$ 到 $\rho=2.0$ 之间21个数的隐含石油出口变化率,可以发现一些规律。如图3所示,以2012年隐含石油出口变化率较大的5个部门为例,可以发现如下规律:(1)符号反向性。当变换系数小于1时,隐含石油出口变化率一般小于0;当变换系数大于1时,隐含石油出口变化率一般大于0。(2)比例非线性。当变换系数每增加单位数量时,隐含石油出口变化率的增量一般不是常数。(3)不对称性。以1为中心点,变换系数同时增加和减少相同的数量,隐含石

油出口变化率的增加量和减少量一般不相同。

#### 4 隐含石油出口的产业间路径分解分析

本文运用的42部门投入产出表中,涉及到石油的部门共有两个,分别是石油和天然气开采业,石油加工、炼焦及核燃料加工业。选取 $\eta_{ij} \geq 0.0005\%$ 时的敏感性系数为关键系数<sup>[29]</sup>,对这两个部门隐含石油出口的关键产业路径进行计算,汇总结果分别如图4、5所示。可以看出,无论是石油和天然气开采业,还是石油加工、炼焦及核燃料加工业,第二阶段的隐含石油出口量都是五个阶段中较高的。从隐含石油出口的路径数量来看,两个部门均是在第三阶段达到路径数量的峰值,且第三阶段路径数量约为第二阶段的2.5倍。这一结果表明,隐含石油出口的消耗路径在第三阶段波及到了经济系统的绝大部分部门。

除此之外,从部门来看,石油加工、炼焦及核燃料加工业在路径数量和隐含石油出口量两个方面,均高于同期同阶段的石油和天然气开采业。这说明无论是从数量还是波及范围来看,石油加工、炼焦及核燃料加工业对隐含石油的出口影响更大。从时间上来看,前五个阶段石油和天然气开采业在2002年、2007年

表2 2002、2007、2012年中国隐含石油出口量部门排序

Table 2 China's embodied energy export in order by sectors in 2002, 2007 and 2012

2002			2007			2012		
部门编号	隐含石油出口量/10 <sup>6</sup> t	占比/%	部门编号	隐含石油出口量/10 <sup>6</sup> t	占比/%	部门编号	隐含石油出口量/10 <sup>6</sup> t	占比/%
27	7.96	15	12	17.86	15	12	16.27	15
12	6.68	13	27	14.14	12	19	13.67	13
19	4.75	9	19	13.56	12	27	12.67	12
11	3.58	7	14	9.48	8	18	8.94	8
18	3.54	7	18	8.16	7	8	5.64	5
总计	26.51	50	总计	63.21	55	总计	16.27	53

表3 2002、2007、2012年隐含石油出口变化率部门排序

Table 3 China's embodied energy export rate in order by sectors in 2002, 2007 and 2012

序号	2002		2007		2012	
	部门间联系( $i \rightarrow j$ )	$\eta_{ij}/\%$	部门间联系( $i \rightarrow j$ )	$\eta_{ij}/\%$	部门间联系( $i \rightarrow j$ )	$\eta_{ij}/\%$
1	3 → 11	3.33	3 → 11	2.87	11 → 27	2.66
2	11 → 27	3.24	11 → 27	2.69	11 → 12	2.56
3	11 → 12	1.65	11 → 12	2.41	12 → 12	2.46
4	12 → 12	1.39	12 → 12	2.16	3 → 11	2.37
5	11 → 14	0.91	11 → 14	1.55	11 → 14	1.47

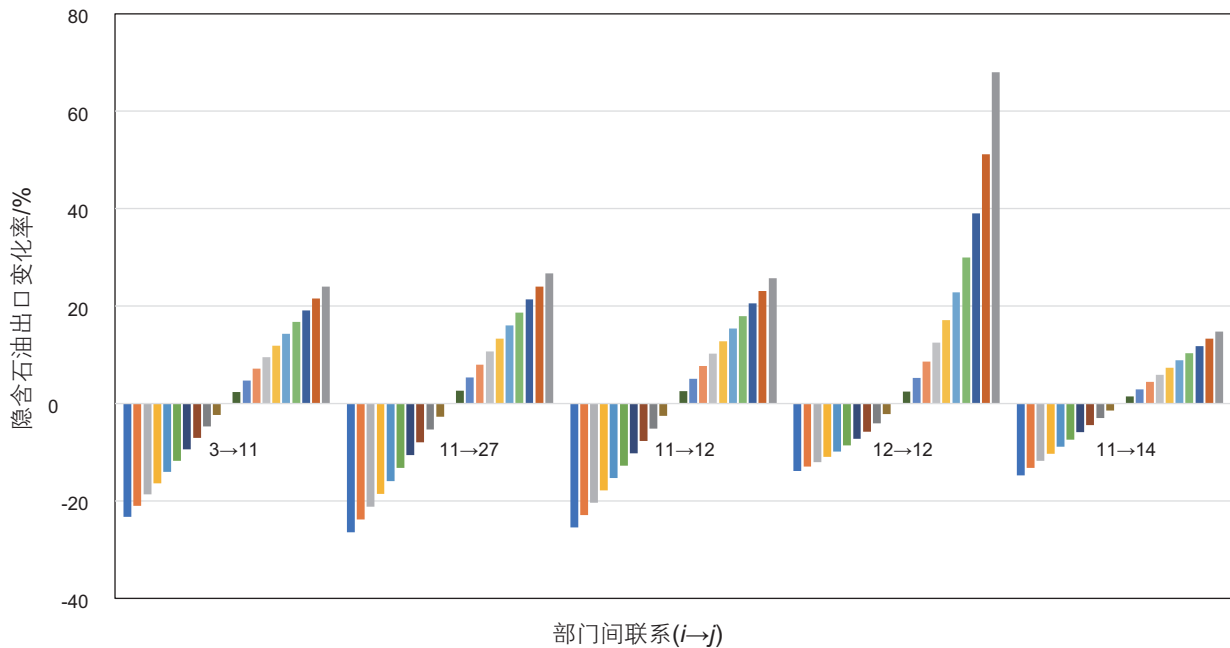


图3 变换系数 $\rho=0-2.0$ 部分部门隐含石油出口变化率情况

Fig. 3 China's embodied energy export rate in some sectors ( $\rho=0-2.0$ )

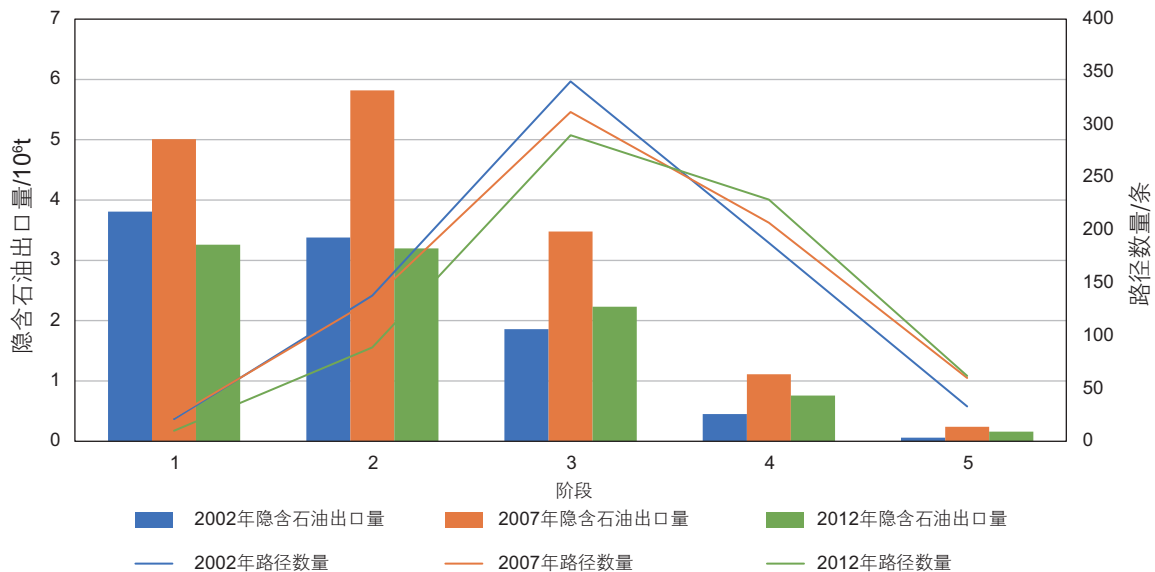


图4 石油和天然气开采业隐含石油出口的关键产业路径计算结果

Fig. 4 Results for the critical industry paths of embodied energy export in extraction of petroleum and natural gas

出口的隐含石油量较高,而石油加工、炼焦及核燃料加工业在2007年、2012年出口的隐含石油量较高。由此可以看出,随着科技水平的提高,我国石油制品的出口正逐渐由原料物资型向深加工型转变。

选取部分关键系数,对隐含石油出口第一、二阶段的关键产业路径进行分析。如图6所示,从左到右依次为2002年、2007年、2012年隐含石油出口的关

键产业路径。通过对比不同年份的路径数量可以看出,关键产业路径的数量在逐年减少,但关键产业路径上的系数比重在不断增加。以第二阶段为例,2002年共涉及部门13个,平均每个部门的隐含石油出口量为98.61万t标准油,其中,隐含石油出口量比重大于10%的部门共有三个,分别是石油加工、炼焦及核燃料加工业,化学工业,交通运输及仓储业。2007年

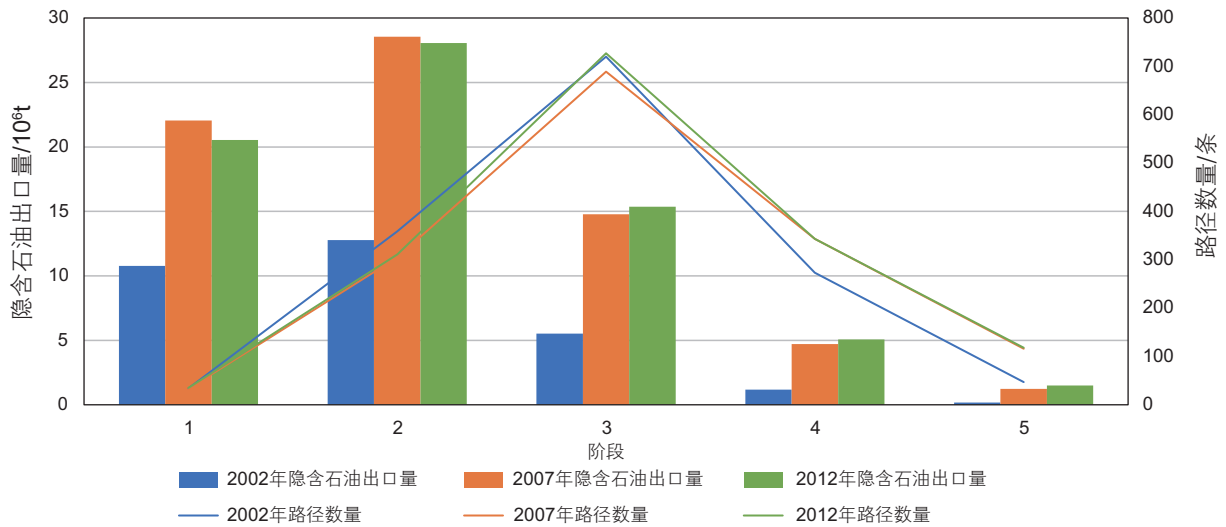


图5 石油加工、炼焦及核燃料加工业隐含石油出口的关键产业路径计算结果

Fig. 5 Results for the critical industry paths of embodied energy export in processing of petroleum, coking and nuclear fuel

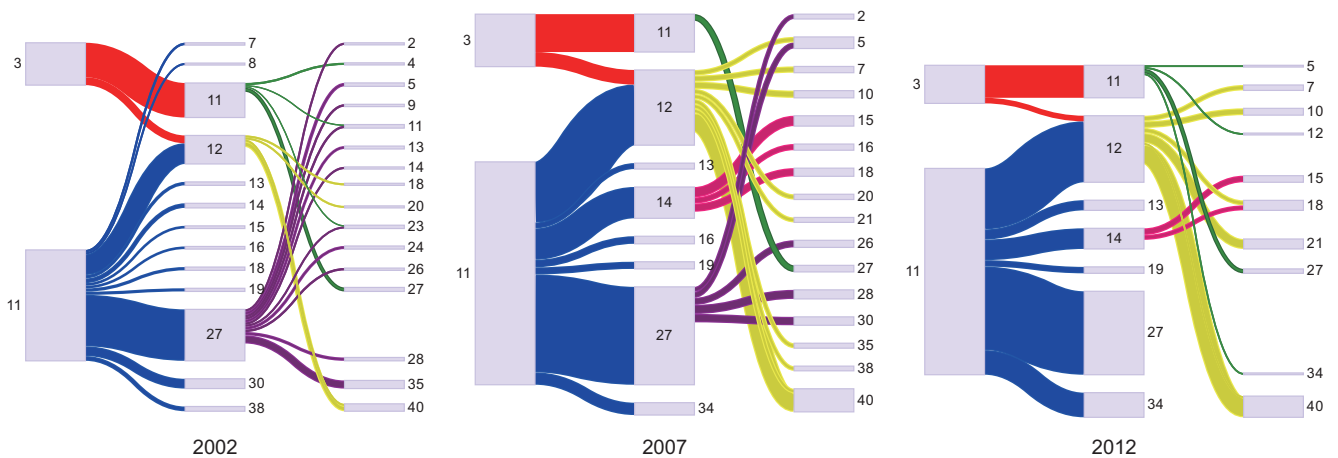


图6 中国出口隐含石油部门间流动情况

Fig. 6 Embodied oil flows in China export by sectors

共涉及部门8个，平均每个部门的隐含石油出口量为287.92万t标准油，其中，隐含石油出口量比重大于10%的部门共有4个，分别是石油加工、炼焦及核燃料加工业，化学工业，金属冶炼及压延加工业，交通运输及仓储业。2012年共涉及部门7个，平均每个部门的隐含石油出口量为292.08万t标准油，其中，隐含石油出口量比重大于10%的部门共有4个，分别是石油加工、炼焦及核燃料加工业，化学工业，批发和零售业，研究与试验发展业。由此也可以看出，石油加工、炼焦及核燃料加工业和化学工业始终是影响隐含石油出口的关键部门。

从部门来看，对石油和天然气开采业隐含石油出口影响较大的两个部门分别是石油加工、炼焦及核燃

料加工业，化学工业，且前者影响较大，是后者的3倍以上。针对同阶段的石油加工、炼焦及核燃料加工业进行分析，可以发现对其隐含石油出口影响较大的部门始终包含化学工业，并且，化学工业占该部门总隐含石油出口量的比重逐年增加。而对下一阶段的石油加工、炼焦及核燃料加工业来说，三个年份的关键产业路径均有所不同。以2012年为例，对第二阶段石油加工、炼焦及核燃料加工业影响较大的部门分别是批发和零售业，化学工业，研究与试验发展业，非金属矿及其他矿采选业。

上一节的关键系数分析提供了一个数量上的参照，而本节的结构化路径分析将部门间作用过程这一黑箱子具体化。通过上述分析，不仅可以了解到部门间影



响是沿着哪些条具体路径进行传递的,而且可以知道不同传导路径的效果。而与传统的隐含能评估过程相比,本研究可以进一步发现供应链更高阶段被忽略的影响隐含石油出口的决定性因素。这为决策者制定政策提供了重要的参考信息,同时,可以帮助其发现政策实施过程中的潜在瓶颈,即识别出传递效果较弱的节点部门。

## 5 结论

本文基于投入产出方法,通过敏感性分析和结构化路径分析方法对中国出口贸易中隐含石油流动路径进行了分解分析,得到的主要结论如下:

(1)2002—2012年,中国隐含石油出口量迅速增加。其中,化学工业,电气机械及器材制造业,通信设备、计算机及其他电子设备制造业,交通运输及仓储业,这4个行业是隐含石油出口的主要行业。因此,需要对上述行业的产品出口进行重点管控,取消部分高耗油行业产品的出口退税,同时扩大这部分产品的

进口量,实施低关税政策。以经济手段促进贸易结构升级,实现外向型经济的低油耗发展。

(2)需要不断提高产业路径中间投入的能源效率,尤其应该对隐含石油流动路径中的关键环节增加用能技术的研发投入,如石油和天然气开采业到石油加工、炼焦及核燃料加工业,石油加工、炼焦及核燃料加工业到交通运输及仓储业,石油加工、炼焦及核燃料加工业到化学工业等。提高上述关键环节的能源效率,可以有效降低出口产品生产过程中的石油消耗量,从而降低隐含石油的出口。

(3)纵向延伸产业路径,努力推动隐含石油出口产品由原料物造型向深加工型转变。其中,重点推动批发和零售业,化学工业,研究与试验发展业,非金属矿及其他矿采选业等高附加值行业产品的出口。中国隐含石油的大量出口本质上讲是一个结构问题,国家应该从延长产业路径、提高贸易附加值等角度进行优化升级,不断改善生产和对外贸易结构,从而避免隐含石油的大量出口。

## 附录

附表 A 投入产出表账户设置

部门编号	部门名称	部门编号	部门名称
1	农林牧渔业	22	废品废料
2	煤炭开采和洗选业	23	电力、热力的生产和供应业
3	石油和天然气开采业	24	燃气生产和供应业
4	金属矿采选业	25	水的生产和供应业
5	非金属矿及其他矿采选业	26	建筑业
6	食品制造及烟草加工业	27	交通运输及仓储业
7	纺织业	28	邮政业
8	纺织服装鞋帽皮革羽绒及其制品业	29	信息传输、计算机服务和软件业
9	木材加工及家具制造业	30	批发和零售业
10	造纸印刷及文教体育用品制造业	31	住宿和餐饮业
11	石油加工、炼焦及核燃料加工业	32	金融业
12	化学工业	33	房地产业
13	非金属矿物制品业	34	租赁和商务服务业
14	金属冶炼及压延加工业	35	研究与试验发展业
15	金属制品业	36	综合技术服务业
16	通用、专用设备制造业	37	水利、环境和公共设施管理业
17	交通运输设备制造业	38	居民服务和其他服务业
18	电气机械及器材制造业	39	教育
19	通信设备、计算机及其他电子设备制造业	40	卫生、社会保障和社会福利业
20	仪器仪表及文化办公用机械制造业	41	文化、体育和娱乐业
21	工艺品及其他制造业	42	公共管理和社会组织

## 参考文献

- [1] Medium-term oil market report 2016[R]. Houston: International Energy Agency, 2016.
- [2] Energy Outlook country and regional insights – China[R]. London: BP, 2016.
- [3] 唐旭,张宝生,冯连勇,等. “中国制造”带来的石油被动净出口现象分析[J]. 资源科学,2012,02:295–300.[TANG X, ZHANG B S, FENG L Y, et al. Analysis of passive net oil exports through “Made in China” products[J]. Resources Science,2012,02:295–300.]
- [4] 夏艳清. 基于投入产出表的中国国际贸易隐含能分析[J]. 产业经济评论,2016,03:58–70. [XIA Y Q. Energy embodied in the international trade of China: An input-output approach[J]. Review of Industrial Economics, 2016,03:58–70.]
- [5] 田旭,耿涌,马志孝,等. 中国对外贸易中隐含流研究综述[J]. 生态经济,2015,07:27–32. [TIAN X, GENG Y, MA Z X, et al. A review of the researches on embodied flow of China’s foreign trade[J]. Ecological Economy,2015,07:27–32.]
- [6] 赵玉焕. 国际贸易中隐含碳研究综述[J]. 黑龙江对外经贸,2011,07:22–25. [ZHAO Y H. A review of the researches on embodied carbon of international trade[J]. HLJ Foreign Economic Relations & Trade,2011,07:22–25.]
- [7] 齐晔,李惠民,徐明. 中国进出口贸易中的隐含能估算[J]. 中国人口·资源与环境,2008,03:69–75.[QI Y, LI H M, XU M. Accounting embodied energy in import and export in China[J]. China Population, Resources and Environment,2008,03:69–75.]
- [8] BRAVARD J C, PORTAL C. Energy expenditures associated with the production and recycle of metals[R]. USA: Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, 1971.
- [9] LEACH G. Energy and food production[J].Food Policy,1975,1(1):62–73.
- [10] MONAHAN J, POWELL J C. An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework[J].Energy and Buildings,2011, 43(1):179–188.
- [11] 刘强,庄幸,姜克隽,等. 中国出口贸易中的载能量及碳排放量分析[J]. 中国工业经济,2008,(8):46–55.[LIU Q, ZHUANG X, JIANG K J, et al. Energy and carbon embodied in main exporting goods of China[J]. China Industrial Economics,2008,(8):46–55.]
- [12] LENZEN M. Primary energy and greenhouse gas embodied in Australian final consumption: an input-output analysis[J].Energy Policy,1998,26(6):495–506.
- [13] TANG X, SNOWDEN S, Höök M. Analysis of energy embodied in the international trade of UK[J]. Energy Policy, 57(5): 418–428.
- [14] PRASEEDA K I, REDDY B V V, MANI M. Embodied energy assessment of building materials in India using process and input-output analysis[J]. Energy and Buildings, 86:677–686.
- [15] TOLMASQUIM M T, MACHADO G. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil[J].Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change,2003,8(2):139–155.
- [16] 顾阿伦,何建坤,周玲玲,等. 中国进出口贸易中的内涵能源及转移排放分析[J]. 清华大学学报(自然科学版),2010,50(9):1456–1459.[GU A L, HE J K, ZHOU L L, et al. Analysis of embodied energy and transfer emissions of China’s import and export trade[J]. Journal of Tsinghua University (Science & Technology),2010,50(9):1456–1459.]
- [17] 罗思平,王灿,陈吉宁. 中国国际贸易中隐含能的分析[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2010,50(3):477–480.[LUO S P, WANG C, CHEN J N. Analysis of embodied energy in China’s international trade[J]. Journal of Tsinghua University (Science & Technology), 2010,50(3):477–480.]
- [18] JIANG M M, CHEN B, ZHOU S Y. Embodied energy account of Chinese economy 2002[J].Procedia Environmental Sciences,2011, (5):184–198.
- [19] 庞军,石媛昌,闫玉楠,等. 我国出口贸易隐含能及其影响因素的分解分析[J]. 经济问题探索,2012,(3):103–109.[PANG J, SHI Y C, YAN Y N, et al. Decomposed analysis of affecting factors about embodied energy in China’s export trade[J]. Inquiry into Economic Issues,2012,(3):103–109.]
- [20] YANG R R, LONG R Y, YUE T, SHI H H. Calculation of embodied energy in Sino-USA trade: 1997–2011[J]. Energy Policy, 2014, 72: 110–119.
- [21] ZHANG B, QIAO H, CHEN B. Embodied energy uses by China’s four municipalities: A study based on multi-regional input-output model[J]. Ecological Modelling, 2015, 318:138–149.
- [22] RHEE H C, CHUNG H S. Change in CO<sub>2</sub> emission and its transmissions between Korea and Japan using international input-output analysis[J]. Ecological Economics,2006,58(4):788–800.
- [23] LEONTIEF W W. The Structure of American Economy 1919–1939[M]. London: Oxford University Press, 1951.
- [24] 刘祥霞,黄兴年. 中国进出口贸易中的隐含能估算和环境分析——基于修正的投入产出法[J]. 统计与信息论坛,2015,02:54–59.[LIU X X, HUANG X N. Accounting embodied energy and environmental analysis in China’s Import and Export: Based on the correction method of input-output[J]. Statistics & Information Forum,2015,02:54–59.]
- [25] BP. BP statistical review of world energy [EB/OL]. <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-re->

- view-of-world-energy/downloads.html, June 2017.
- [26] 中华人民共和国国家统计局. 国家数据[EB/OL]. <http://data.stats.gov.cn/>. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. National Data [EB/OL]. <http://data.stats.gov.cn/>.]
- [27] THE WORLD BANK World Development Indicators[EB/OL]. [http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?Code=NY.GDP.MKTP.KD.ZG&id=1ff4a498&report\\_name=Popular-Indicators&populartype=series&ispopular=y](http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?Code=NY.GDP.MKTP.KD.ZG&id=1ff4a498&report_name=Popular-Indicators&populartype=series&ispopular=y), October 2017.
- [28] LANTNER R. Recherche sur l'Interpretation du Determinant d'une Matrice Input-Output[J]. *Revue d'Economie Politique*, 1972,82(2):435-442. [LANTNER R. Research on the Interpretation of the Determinant of an Input-Output Matrix[J]. *Political Economy Review*, 1972,82(2):435-442.]
- [29] HONG J K, SHEN Q P, XUE F. A multi-regional structural path analysis of the energy supply chain in China's construction industry[J]. *Energy Policy*, 2016,92:56-68.

---

## Inter-industry path decomposition of embodied oil export changes in China

FENG Cuiyang, TANG Xu, JIN Yi, WANG Xuecheng, ZHANG Baosheng

*School of Business Administration, China University of Petroleum-Beijing, Beijing 102249, China*

**Abstract** With the continuous expansion of trade, it has been widely acknowledged that there is a large amount of embodied energy exported in China's foreign trade. This study established a model based on input-output tables from 2002, 2007 and 2012 to quantify embodied oil in China's trade from the view of total input. Critical coefficients and critical paths which affected oil consumption were selected by sensitivity analysis and structural path analysis. The accounting results indicated that China exported an increasing amount of embodied oil in 2002-2012, and the cumulative consumption ratio of sectors including "chemical industry", "manufacture of electrical machinery and equipment", "manufacture of communication equipment, computers and other electronic equipment" and "transportation and storage" was more than 40%. Sensitivity analysis showed that links between sectors, such as "extraction of petroleum and natural gas" to "processing of petroleum, coking, processing of nuclear fuel", "processing of petroleum, coking, processing of nuclear fuel" to "transportation and storage", "processing of petroleum, coking, processing of nuclear fuel" to "chemical industry", were the key factors affecting the embodied energy export. Structural path analysis revealed that "wholesale and retail trade", "chemical industry", "research and experimental development" and "mining and processing of non-metal ores and mining of other ores" were higher-value-added sectors. Hence, expanding the technical effect of intermediate input and promoting the export of high value-added products would achieve external economic development with lower embodied oil exports.

**Keywords** export trade; embodied oil; input-output analysis; sensitivity analysis; structural path analysis

doi: 10.3969/j.issn.2096-1693.2017.04.051

(编辑 付娟娟)