

# 基于可比价投入产出表的浙江省能源强度分析

马跃, 冯连勇\*

(中国石油大学(北京)经济管理学院, 北京市 昌平区 102249)

## Analysis of Energy Intensity of Zhejiang Province Based on Comparable Price Input-output Table

MA Yue, FENG Lianyong\*

(School of Economics and Management, China University of Petroleum (Beijing), Changping District, Beijing 102249, China)

**Abstract:** In this paper, the comparable price energy input and output table of Zhejiang Province from 2007 to 2017 is compiled, and the direct energy consumption coefficient, indirect energy consumption coefficient, and total energy consumption coefficient are calculated. The structural decomposition analysis is used to capture the driven factors of Zhejiang Province's energy intensity changes. Some findings are obtained in the empirical study: except service industry, the complete energy consumption coefficient of the other five departments takes on the downward trend; energy intensity also takes on the downward trend, and the energy technique effect is the leading factor for Zhejiang Province's energy intensity changes; the change of final demand structure contributes to the decline of consumption intensities of five kinds of energy of Zhejiang Province.

**Keywords:** comparable price; input-output; energy intensity; structural decomposition analysis; energy consumption coefficient

**摘要:** 通过编制浙江省2007—2017年可比价能源投入产出表, 测算了其直接能源消耗系数、间接能源消耗系数和完全能源消耗系数; 同时基于结构分解分析方法对浙江省能源强度变化的影响因素进行了分析。实证研究结果表明: 除其他服务业外的5个部门的完全能源消耗系数均呈下降趋势; 能源强度呈下降趋势, 而能源技术效应是导致能源强度下降的主导因素; 最终需求结构效应总体上降低了浙江省5类能源消耗强度。

**关键词:** 可比价; 投入产出; 能源强度; 结构分解分析; 能源消耗系数

## 0 引言

全球能源危机和气候变化形势日益严峻, 能源的

基础性和战略性地位受到了广泛的关注<sup>[1-2]</sup>。碳中和即气候治理后的零碳排放状态<sup>[3]</sup>, 随着“双碳”目标的提出, 中国的节能减排工作变得更加艰巨, 分析能源强度变动因素, 有助于能源利用效率政策的制定, 这在一定程度上能够平衡经济发展与能源消耗之间的矛盾。

自Leontief和Ford运用投入产出模型测算美国能源消费相关问题以来, 基于投入产出分析的结构分解分析方法(structural decomposition analysis, SDA)被广泛应用于能源领域<sup>[4-8]</sup>。Lin等基于投入产出方法结合结构分解分析, 解释了1981—1987年间生产技术变化是导致中国能源消费变化的主要原因, 能源效率提高导致能源强度下降<sup>[9]</sup>; Garbaccio等基于投入产出表运用结构分解方法研究了影响中国能源强度变化的因素, 发现能源消耗强度降低的主要因素是技术进步, 经济结构的变化导致能源使用的增加<sup>[10]</sup>; Liu等利用能源投入产出表结合结构分解分析确定了出口中内含能源变化的关键因素<sup>[11]</sup>; Zeng等研究发现出口和基础设施建设是导致中国能源强度上升的原因<sup>[12]</sup>; 房斌等基于投入产出分析利用结构分解模型, 研究了人口增长、效率及生产结构等因素对中国能源消费的影响<sup>[7]</sup>; 张珍花等运用投入产出模型研究中国产业的能源消耗效率, 并从实证角度对中国三次产业的能源消耗效率进行分析<sup>[13]</sup>; 李玲等基于投入产出表利用结构分解分析方法, 探索了影响中国能源强度变动的主导因素<sup>[8]</sup>; 林伯强等构建全球能源投入产出数据库, 对2000—2014年间全球能源效率变动进行分析, 研究表明经济增速越高能源强度下降越快, 且消费品的能源强度下降速度要快于投资品<sup>[14]</sup>。基于投入产出分析的结构分解方法是定量分析影响能源强度变动因素的有效工具<sup>[6]</sup>。但以上研究大都选取国家层面的投入产出数据

基金项目: 国家自然科学基金(71874202)。  
National Natural Science Foundation of China (71874202)。

进行分析, 鲜有文献对省级区域进行系统分析。

浙江省作为中国东部沿海省份, 经济发展较快, 在中国省域层面具有代表性。在区域层面的研究中, 大量学者选取浙江省从不同角度进行分析, 如谢伦裕等以浙江省为例, 对比分析城乡家庭能源消费与影响因素<sup>[15]</sup>; 刘波基于矩阵转换技术、成分数据分析方法和时间序列预测模型, 预测了浙江省2005—2017年间的投入产出序列表<sup>[16]</sup>; 吴唯等以浙江省为例, 基于LEAP模型探讨区域低碳发展路径<sup>[17]</sup>; 史新红等以浙江实际运行数据为算例, 分析了不同市场参与方式下的新能源消纳量和系统发电成本<sup>[18]</sup>。但鲜有文献对浙江省能源强度相关内容进行系统研究。浙江省近年来积极推进能源转型, 发展低碳经济, 在碳中和背景下研究其能源强度及其影响因素在中国省域层面具有典型代表性, 对提高能源效率、促进能源转型具有重要的指导意义, 同时也为其他省份展开类似研究提供参考借鉴。本文的创新点主要有: ①在研究方法上, 本文将投入产出表调整成六大部门, 在此基础上编制可比价能源投入产出表, 并结合SDA方法进行研究; ②在研究对象上, 有别于以往研究大都基于国家层面, 本文以浙江省为研究对象, 深入分析一个省的能源消费情况和能源强度变动因素; ③在研究视角上, 从能源类别和行业类别这两个不同的角度测算能源技术效应、产品技术效应和最终需求结构效应等对能源强度变动的影响。

### 1 理论方法

能源投入产出分析是以投入产出表为依托发展起来的, 是其在能源领域的拓展应用, 源于经济社会发展对能源的依赖<sup>[19]</sup>, 与标准的投入产出表不同, 能源投入产出表引入了能源消耗, 如表1所示。

表 1 能源投入产出表  
Table 1 Energy input-output table

		中间需求	最终需求		总产出
		产业部门	消费	资本形成	
中间投入	产业部门	$z_{ij}$	$Y_i$		$x_i$
最初投入		$v_j$			
总投入		$x_j$			
能源投入	$k=1,2,\dots,K$	$e_{kj}$	$e_k^f$		$e_k$

表1中:  $z_{ij}$ 表示第*j*部门对第*i*部门产品的需求量;  $Y_i$ 表示第*i*部门产品的最终需求;  $x_i$ 表示第*i*部门总产出;  $x_j$ 表示第*j*部门总投入;  $v_j$ 表示第*j*部门最初投入;  $e_{kj}$ 表示第*j*部门对第*k*类能源的需求量;  $e_k^f$ 表示对第*k*类能源的最终使用;  $e_k$ 表示第*k*类能源总产出。

#### 1.1 直接消耗系数与完全消耗系数

在投入产出表中, 记 $a_{ij}$ 为直接消耗系数, 表示第*j*部门生产单位产品对第*i*部门产品的直接消耗量, 定义如下<sup>[20]</sup>:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

由直接消耗系数 $a_{ij}$ 组成的矩阵称为直接消耗系数矩阵, 记为 $A$ 。

完全消耗系数<sup>[20]</sup>是指为了得到最终产品对各部门产品的直接消耗和间接消耗之和, 记作 $b_{ij}$ , 由完全消耗系数 $b_{ij}$ 组成的矩阵称为完全消耗系数矩阵, 记为 $B$ , 其计算公式如下<sup>[20]</sup>:

$$b_{ij} = a_{ij} + \sum_{k=1}^n b_{ik} a_{kj} \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

用矩阵形式表示为  $B=A+BA$ , 即

$$\begin{aligned} B &= A(I-A)^{-1} = \\ &= (I-A)^{-1} - (I-A)^{-1} + A(I-A)^{-1} = \\ &= (I-A)^{-1} - (I-A)^{-1}(I-A) = \\ &= (I-A)^{-1} - I \end{aligned} \quad (3)$$

式中:  $(I-A)^{-1}$ 为Leontief逆矩阵或完全需求系数矩阵, 记为 $L$ 。 $l_{ij}$ 表示完全需求系数矩阵的元素(完全需求系数), 反映的是为了获得单位最终产品各部门所需要生产的产品数量<sup>[20]</sup>。

#### 1.2 各类能源消耗系数

完全能源消耗系数表示最终产品对各类能源的直接和间接消耗量之和, 记作 $b_{kj}^e$ , 由 $b_{kj}^e$ 组成的系数矩阵称为完全消耗系数矩阵, 记为 $B_e$ , 计算如下:

$$b_{kj}^e = a_{kj}^e + \sum_{l=1}^n b_{kl}^e a_{lj} \quad (4)$$

矩阵形式可表示为

$$B_e = A_e + B_e A = A_e (I - A)^{-1} \quad (5)$$

直接能源消耗系数表示部门*j*产出单位产品直接消耗的第*k*类能源数量, 记为 $a_{kj}^e$ , 计算如下:

$$a_{kj}^e = \frac{e_{kj}}{x_j} \quad (k = 1, 2, \dots, K; j = 1, 2, \dots, n) \quad (6)$$

由 $a_{kj}^e$ 组成的系数矩阵称为直接能源消耗系数矩阵, 记为 $A_e$ 。

间接能源消耗系数表示部门 $j$ 产出单位产品需要的中间产品消耗的第 $k$ 类能源数量, 通过完全消耗系数与直接消耗系数求得, 主要受到中间产品消耗影响, 对间接能源消耗系数高的部门可以提高中间产品的利用效率或用低耗能中间产品代替高耗能中间产品以达到节能减排的目的。

### 1.3 能源强度与结构分解模型

本文采用能源强度表示能源效率<sup>[14]</sup>, 能源强度的定义为单位生产总值的能源消耗, 记为 $I_e$ , 则有

$$I_e = A_e (I - A)^{-1} Y / G \quad (7)$$

式中:  $Y$ 为最终需求;  $G$ 为生产总值。

结构分解模型(SDA)核心思想是以投入产出分析中的恒等式为基础, 将经济系统中因变量的变动分解为各独立自变量的变动之和, 以衡量自变量对因变量变动的贡献大小<sup>[21]</sup>, 一般有保留交叉项、加权平均法和两极分解法等形式。本文采用两极分解法, 分别用0期和1期作为分解基期进行分解<sup>[8, 20-23]</sup>。先从需求角度, 对2007—2017年浙江省能源强度的变动进行分解, 测算各效应对5类能源强度变动的影响<sup>[24-25]</sup>。记 $M=Y/G$ ,  $M$ 表示最终需求结构系数矩阵, 代表 $j$ 部门的最终需求占生产总值的比重, 则 $I_e=A_e L M$ 可以分解为<sup>[20]</sup>:

$$\begin{aligned} \Delta I_e &= I_e^1 - I_e^0 = A_e^1 L_1 M_1 - A_e^0 L_0 M_0 = \\ & \frac{1}{2} (\Delta A_e L_1 M_1 + \Delta A_e L_0 M_0) + \\ & \frac{1}{2} (A_e^0 \Delta L M_1 + A_e^1 \Delta L M_0) + \\ & \frac{1}{2} (A_e^0 L_0 \Delta M + A_e^1 L_1 \Delta M) \end{aligned} \quad (8)$$

式中: 0表示基期, 1表示报告期,  $\Delta$ 表示报告期相对于基期的变化量, 如 $\Delta I_e$ 表示能源强度的变化量, 后文出现 $\Delta$ 亦表示同等含义。等式最右端分别表示能源技术效应、产品技术效应和最终需求结构效应。由式(8)可知, 能源技术效应通过直接能源消耗系数变化体现, 反映对能源的直接消耗情况, 体现能源技术水平的高低; 产品技术效应通过直接消耗系数变化体现, 反映产品生产技术水平的高低; 最终需求结构效应则反映最终需求结构变动对能源强度变动的影响。同样, 记 $I_{ei}$ 为第 $i$ 部门的能源强度, 则有:

$$I_{ei} = \sum_{j=1}^n a_{ej} l_{ji} \frac{Y_i}{V_i} \quad (9)$$

式中:  $a_{ej}$ 表示 $j$ 部门的直接能源消耗系数;  $l_{ji}$ 表示完全需求系数矩阵第 $i$ 列的各元素;  $Y_i$ 表示第 $i$ 部门的最终需求;  $V_i$ 表示第 $i$ 部门的增加值。记 $N_i=Y_i/V_i$ , 则部门能源消耗强度 $I_{ei}$ 可以分解为

$$\begin{aligned} \Delta I_{ei} &= I_{ei}^1 - I_{ei}^0 = \sum_{j=1}^n a_{ej}^1 l_{ji}^1 N_i^1 - \sum_{j=1}^n a_{ej}^0 l_{ji}^0 N_i^0 = \\ & \frac{1}{2} \left( \sum_{j=1}^n \Delta a_{ej} l_{ji}^1 N_i^1 + \sum_{j=1}^n \Delta a_{ej} l_{ji}^0 N_i^0 \right) + \\ & \frac{1}{2} \left( \sum_{j=1}^n a_{ej}^0 \Delta l_{ji} N_i^1 + \sum_{j=1}^n a_{ej}^1 \Delta l_{ji} N_i^0 \right) + \\ & \frac{1}{2} \left( \sum_{j=1}^n a_{ej}^0 l_{ji}^0 \Delta N_i + \sum_{j=1}^n a_{ej}^1 l_{ji}^1 \Delta N_i \right) \end{aligned} \quad (10)$$

等式最右端分别代表能源技术效应、产品技术效应和最终需求结构效应, 若令第 $i$ 部门最终需求 $Y_i=W_i+K_i+P_i$ ,  $W_i$ 、 $K_i$ 和 $P_i$ 分别代表第 $i$ 部门最终消费、资本形成和净输出, 则进一步可将最终需求结构效应分解为

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \left( \sum_{j=1}^n a_{ej}^0 l_{ji}^0 \Delta N_i + \sum_{j=1}^n a_{ej}^1 l_{ji}^1 \Delta N_i \right) = \\ & \frac{1}{2} \left( \sum_{j=1}^n a_{ej}^0 l_{ji}^0 \Delta N_{wi} + \sum_{j=1}^n a_{ej}^1 l_{ji}^1 \Delta N_{wi} \right) + \\ & \frac{1}{2} \left( \sum_{j=1}^n a_{ej}^0 l_{ji}^0 \Delta N_{ki} + \sum_{j=1}^n a_{ej}^1 l_{ji}^1 \Delta N_{ki} \right) + \\ & \frac{1}{2} \left( \sum_{j=1}^n a_{ej}^0 l_{ji}^0 \Delta N_{pi} + \sum_{j=1}^n a_{ej}^1 l_{ji}^1 \Delta N_{pi} \right) \end{aligned} \quad (11)$$

基于以上公式, 可以得到能源强度各影响因素的变化对各部门能源强度变动的的影响。

## 2 实证分析

本文在浙江省2007、2012和2017年的投入产出表和相应的能源平衡表的基础上, 对原投入产出表的部门划分进行重新调整, 将其合并为六大部门, 即农业、工业、建筑业、货运邮电业、商业饮食业和其他服务业; 将能源种类分为五大类, 即煤炭、石油、天然气、电力和其他能源(后文能源消耗量均折算为标准煤), 分别编制对应年份的能源投入产出表。为使不同年份的投入产出表具有可比性, 将现价能源投入产出表转换为可比价能源投入产出表, 以2012年为基

年, 采用价格指数缩减的方法进行处理<sup>①</sup>。

## 2.1 能源消耗系数测算

基于能源投入产出表计算浙江省2007、2012和2017年直接能源消耗系数、间接能源消耗系数和完全能源消耗系数, 结果见表2。可以看出各年份工业、建筑业和货运邮电业的完全能源消耗系数相对较高, 农业、商业饮食业和其他服务业完全能源消耗系数相对较低; 建筑业直接能源消耗系数较低, 间接能源消耗系数比较高, 这与建筑业在生产活动中消耗的中间产品大多是高耗能产品情形相吻合; 针对浙江省工业部门, 其直接能源消耗系数小于间接能源消耗系数, 表明工业部门在生产过程中消耗了大量能耗较高部门

表2 浙江省2007—2017年各部门能源消耗系数  
Table 2 Energy consumption coefficients of Zhejiang Province from 2007 to 2017

部门	t/万元 (以标准煤计)		
	直接能源消耗系数	间接能源消耗系数	完全能源消耗系数
农业(2007)	0.136 07	0.107 08	0.243 15
工业(2007)	0.123 52	0.348 16	0.471 68
建筑业(2007)	0.030 80	0.307 92	0.338 72
货运邮电业(2007)	0.367 57	0.239 12	0.606 69
商业饮食业(2007)	0.049 17	0.136 91	0.186 08
其他服务业(2007)	0.018 93	0.103 72	0.122 65
农业(2012)	0.133 71	0.106 13	0.239 84
工业(2012)	0.091 92	0.262 37	0.354 29
建筑业(2012)	0.031 78	0.244 88	0.276 66
货运邮电业(2012)	0.243 74	0.186 55	0.430 29
商业饮食业(2012)	0.048 36	0.093 68	0.142 04
其他服务业(2012)	0.023 37	0.100 58	0.123 95
农业(2017)	0.121 10	0.094 97	0.216 07
工业(2017)	0.082 45	0.191 93	0.274 38
建筑业(2017)	0.026 86	0.202 80	0.229 66
货运邮电业(2017)	0.142 78	0.140 49	0.283 27
商业饮食业(2017)	0.037 83	0.080 58	0.118 41
其他服务业(2017)	0.033 10	0.148 32	0.181 42

① 本文用农业总产值价格指数表示农产品的价格指数; 用工业品出厂价格指数表示工业产品价格指数; 用商品零售价格指数表示商业饮食业的价格指数; 用交通和通信价格指数表示货运邮电业价格指数; 其他部门的价格指数用增加值缩减指数近似表示<sup>[25-26]</sup>。

生产的中间品, 从而间接能源消耗较高, 这得益于轻工业是浙江省的传统优势行业, 加之近年来浙江省产业结构向外延伸, 部分制造业向外省转移。据《浙江省节能降耗和能源资源优化配置“十四五”规划》显示, 浙江省高耗能行业装备和管理现代化步伐明显加快, 石油石化、化纤印染、电力热力、水泥等重点行业能效水平领跑全国。同时据《浙江省国民经济和社会发展公报》显示, 规模以上工业中高技术、高新技术、战略性新兴产业增加值呈逐步上升趋势, 浙江省的产业结构不断优化升级。货运邮电业涵盖交通运输、仓储、邮电等行业, 往往需要大型机械设备, 这些设备在运行过程中会有大量的直接能源消耗, 同时在制造维修保养过程中亦需要消耗大量高耗能中间品, 导致其直接能耗系数和间接能耗系数都比较高。不同行业的直接能源消耗系数与间接能源消耗系数变化不同。

为了分析影响浙江省完全能源强度变动的因素, 本文利用结构分解分析分别对2007—2012年、2012—2017年、2007—2017年浙江省完全能源强度变动进行结构分解, 同时测算能源技术效应、产品技术效应和最终需求结构效应对煤炭、石油、天然气、电力及其他能源的能源强度变动的影响和其对6部门能源强度变动的影响, 结果见表3—表10。

## 2.2 完全能源强度结构分解

由表3可以看出, 浙江省完全能源强度在2007—2017年减少了0.102 63 t/万元, 这是由能源技术效应导致的, 说明能源强度的降低主要来自于能源技术的提高; 2012—2017年间完全能源强度减少了0.041 15 t/万元, 且3种效应均起到了正面效应, 能源技术效应仍起到主导作用。这符合浙江省高耗能行业能效水平领跑全国的基本事实, 能源利用效率的不断提升加之GDP的增长导致完全能源强度不断下降。

表3 浙江省完全能源强度变动结构分解

	t/万元 (以标准煤计)		
	2007—2012年	2012—2017年	2007—2017年
能源技术效应	-0.080 79	-0.038 43	-0.118 41
产品技术效应	0.009 63	-0.001 69	0.009 26
需求结构效应	0.009 70	-0.001 03	0.006 50
总效应	-0.061 47	-0.041 15	-0.102 63

## 2.3 分能源类别结构分解

由表4可以看出,除天然气外,其他4类能源的能源强度总量均呈下降趋势,能源技术效应、产品技术效应和最终需求结构效应在不同时期对能源强度变化的影响存在差异,本文以2007—2017年的变化为例,分析各效应对5类能源的能源强度变动的影响。

表4 2007—2017年3种效应导致的各能源强度变动量  
Table 4 Variations in energy intensity due to three effects from 2007 to 2017

能源类型	t/万元(以标准煤计)			
	总效应	能源技术效应	产品技术效应	最终需求结构效应
煤炭(2007—2012)	-0.041 5	-0.045 7	-0.000 0	0.004 2
石油(2007—2012)	-0.018 9	-0.029 7	0.009 0	0.001 8
天然气(2007—2012)	0.003 7	0.003 5	-0.000 0	0.000 2
电力(2007—2012)	-0.003 6	-0.007 6	0.000 7	0.003 4
其他(2007—2012)	-0.001 2	-0.001 3	-0.000 0	0.000 1
煤炭(2012—2017)	-0.034 1	-0.027 6	-0.002 9	-0.003 6
石油(2012—2017)	-0.016 2	-0.029 2	0.005 7	0.007 3
天然气(2012—2017)	0.009 7	0.010 4	-0.000 2	-0.000 4
电力(2012—2017)	-0.001 5	0.006 8	-0.004 2	-0.004 1
其他(2012—2017)	0.001 0	0.001 2	-0.000 1	-0.000 1
煤炭(2007—2017)	-0.075 6	-0.070 3	-0.004 3	-0.000 9
石油(2007—2017)	-0.035 1	-0.061 2	0.016 7	0.009 3
天然气(2007—2017)	0.013 4	0.013 5	-0.000 0	-0.000 0
电力(2007—2017)	-0.005 1	-0.000 4	-0.002 9	-0.001 8
其他(2007—2017)	-0.000 2	-0.000 0	-0.000 1	-0.000 1

煤炭能源强度变动的影响因素:2007—2017年间,煤炭能源强度总量下降了0.075 6 t/万元,3种效应均带来了正面影响,其中影响最大的因素是能源技术效应,其使得煤炭的能源强度总量减少了0.070 3 t/万元,产品技术效应使得煤炭的能源强度总量减少了0.004 3 t/万元,最终需求结构效应使得煤炭的能源强度总量减少了0.000 9 t/万元。这主要是由于在此期间煤炭年消费量波动很小,但消费占比呈下降趋势,得益于能源结构优化升级。

石油能源强度变动的影响因素:2007—2017年间,石油能源强度总量下降0.035 1 t/万元,能源技术效应使得石油的能源强度总量减少了0.061 2 t/万元,产品技术效应和最终需求结构效应带来了负面效应,分别使得石油的能源强度总量增加了0.016 7 t/万元、

0.009 3 t/万元。这说明直接能源利用效率的提高导致的石油节约量大于产品技术效应和最终需求结构效应导致的石油消费的增加量。

天然气能源强度变动的影响因素:2007—2017年间,天然气能源强度总量增加了0.013 4 t/万元,这一结果有别于文献[25]对四川省的研究,天然气能源技术效应使其能源强度总量增加了0.013 5 t/万元,部分原因在于能源结构调整、“煤改气”等政策的持续推进使得浙江省天然气消费量增长较快,但能源技术水平短期内未得到提升。

电力能源强度变动的影响因素:2007—2017年间,电力能源强度总量减少了0.005 1 t/万元,且3种效应均带来了正面影响,其中影响最大的因素是产品技术效应,导致电力的能源强度总量减少了0.002 9 t/万元,最终需求结构使得能源强度总量减少了0.001 8 t/万元,能源技术效应使得电力的能源强度总量减少了0.000 4 t/万元,该因素的影响最小。

其他能源的能源强度变动的影响因素:2007—2017年间,其他能源整体利用量比较少,但消耗强度呈下降趋势,且3种效应均带来了正面影响。

## 2.4 分部门结构分解

经济系统中的各部门存在差异,其能源强度及其影响因素也存在不同,为详细了解其特征,本文同时从部门角度,对引起浙江省六大部门能源强度变化的影响因素进行了结构分解分析。

由表5可以看出:农业部门在2007—2017年间能源强度减少了0.060 1 t/万元,其中起主要作用的是最终需求结构效应,其次是能源技术效应,其中最终需求结构效应中的投资结构效应和净输出结构效应对能源强度的降低起主导作用。

表5 农业部门能源强度变动的结构分解  
Table 5 Decomposition of energy intensity in agriculture sector  
t/万元(以标准煤计)

	2007— 2012年	2012— 2017年	2007— 2017年
能源技术效应	-0.010 3	-0.006 3	-0.015 3
产品技术效应	0.009 1	0.000 7	0.007 6
最终需求结构效应	-0.024 6	-0.028 8	-0.052 4
贡献值			
消费结构效应	0.075 4	-0.048 2	0.023 1
投资结构效应	0.001 0	-0.033 9	-0.033 2
净输出结构效应	-0.101 0	0.053 3	-0.042 3
总效应	-0.025 8	-0.034 4	-0.060 1

由表6可以看出: 工业部门在2007—2017年间能源强度减少了0.249 1 t/万元, 3种效应均起到正面作用, 其中能源技术效应作用最大, 最终需求结构效应中, 净输出结构效应起到正面作用, 消费结构效应和投资结构效应增加了能源强度。据《中国统计年鉴》, 该时期浙江省能源消耗总量呈持续上升趋势, 说明耗能产业是拉动GDP的主要增长点, 其潜在原因涉及这一时期高新技术、战略性新兴产业的增加带动了技术的进步。

表6 工业部门能源强度变动的结构分解

Table 6 Decomposition of energy intensity in industrial sector  
t/万元 (以标准煤计)

	2007— 2012年	2012— 2017年	2007— 2017年
能源技术效应	-0.106 8	-0.033 9	-0.124 0
产品技术效应	-0.000 3	-0.029 3	-0.034 8
最终需求结构效应	-0.011 4	-0.067 4	-0.090 3
消费结构效应	0.024 9	-0.018 0	0.001 1
投资结构效应	-0.059 6	0.168 7	0.146 4
净输出结构效应	0.023 3	-0.218 1	-0.237 8
总效应	-0.118 5	-0.130 6	-0.249 1

由表7可以看出: 建筑业在2007—2017年间能源强度增加了0.017 1 t/万元, 最终需求结构效应起到决定性作用, 其次是产品技术效应, 只有能源技术效应降低了能源强度。在最终需求结构效应中消费结构效应、投资结构效应和净输出结构效应均增加能源强度。

表7 建筑业部门能源强度变动的结构分解

Table 7 Decomposition of energy intensity in construction sector  
t/万元 (以标准煤计)

	2007— 2012年	2012— 2017年	2007— 2017年
能源技术效应	-0.285 7	-0.165 2	-0.435 8
产品技术效应	0.055 6	-0.046 1	0.005 2
最终需求结构效应	0.336 8	0.121 8	0.447 7
消费结构效应	-0.003 8	0.051 0	0.053 7
投资结构效应	0.340 6	-0.073 6	0.231 9
净输出结构效应	0.000 0	0.144 4	0.162 1
总效应	0.106 7	-0.089 5	0.017 1

由表8可以看出: 货运邮电业在2007—2017年间能源强度减少了0.3715 t/万元, 其中能源技术效应作用最大, 其次是最终需求结构效应, 产品技术结构效应增加了能源强度。最终需求结构效应中消费结构效应降低了能源强度, 其他2种效应增加了能源强度。

表8 货运邮电业部门能源强度变动的结构分解

Table 8 Decomposition of energy intensity in freight and postal services sector  
t/万元 (以标准煤计)

	2007— 2012年	2012— 2017年	2007— 2017年
能源技术效应	-0.137 7	-0.091 2	-0.265 1
产品技术效应	0.007 6	0.000 8	0.001 9
最终需求结构效应	-0.205 8	0.054 7	-0.108 3
消费结构效应	-0.142 6	-0.051 9	-0.187 1
投资结构效应	-0.093 7	0.088 8	0.030 3
净输出结构效应	0.030 5	0.017 8	0.048 5
总效应	-0.335 9	-0.035 7	-0.371 5

由表9可以看出: 商业饮食业在2007—2017年间能源强度减少了0.012 8 t/万元, 其中最终需求结构效应增加了能源强度, 这主要是由净输出结构效应决定的, 能源技术效应和产品技术效应均降低了能源强度, 其中能源技术效应起到的效果最为明显。

表9 商业饮食业部门能源强度变动的结构分解

Table 9 Decomposition of energy intensity in commercial catering sector  
t/万元 (以标准煤计)

	2007— 2012年	2012— 2017年	2007— 2017年
能源技术效应	-0.020 3	-0.019 7	-0.037 1
产品技术效应	-0.008 9	0.001 7	-0.005 2
最终需求结构效应	0.043 9	-0.009 5	0.029 5
消费结构效应	0.001 5	-0.025 5	-0.028 4
投资结构效应	0.000 9	-0.003 2	-0.003 0
净输出结构效应	0.041 5	0.019 2	0.060 9
总效应	0.014 7	-0.027 5	-0.012 8

由表10可以看出: 由于产品技术效应和最终需求结构效应的原因, 其他服务业在2007—2017年间能源强度增加了0.176 2 t/万元。只有能源技术效应降低了能源强度。在最终需求结构效应中净输出结构效应降低了能源强度, 但是效果不明显。

表 10 其他服务业部门能源强度变动的结构分解

Table 10 Decomposition of energy intensity in other service sector  
t/万元 (以标准煤计)

	2007— 2012年	2012— 2017年	2007— 2017年
能源技术效应	-0.019 2	-0.016 1	-0.065 4
产品技术效应	0.020 3	0.083 0	0.135 4
最终需求结构效应	-0.006 2	0.114 4	0.106 2
消费结构效应	-0.017 4	0.127 4	0.105 4
投资结构效应	0.013 6	0.018 5	0.035 1
净输出结构效应	-0.002 4	-0.031 5	-0.034 3
总效应	-0.0051	0.181 3	0.176 2

### 3 结论与建议

本文编制了浙江省2007—2017年可比价能源投入产出表,计算了各年份的直接能源消耗系数、间接能源消耗系数与完全能源消耗系数,同时采用结构分解分析从能源技术效应、生产技术效应及最终需求结构效应等角度研究了浙江省层面、5类能源层面以及6部门层面的能源强度变动情况。基于以上分析研究得到如下结论。

1) 浙江省6部门中,除其他服务业外,其余5部门完全能源消耗系数均呈下降趋势;2007—2017年浙江省能源强度整体呈现出下降趋势,能源技术效应是导致这一结果的主要因素。

2) 分能源类别来看,最终需求结构效应总体上降低了浙江省各类能源强度,说明浙江省近年来积极调整最终需求结构。能源技术效应是影响5类能源消耗强度变动的主要因素,这表明直接能源利用效率的提高对浙江省能源强度的影响高于生产技术效应与最终需求结构效应之和。但天然气对浙江省能源强度的下降起到负面作用。

3) 分部门来看,能源技术效应使得6部门能源强度下降。对于工业部门,3种效应均使得能源强度下降,同时最终需求结构效应中净输出结构效应起到了一定促进作用;对于建筑业及货运邮电业,产品技术效应增加了能源强度;对于商业饮食业及其他服务业,最终需求结构效应均增加了能源强度。

基于上述结论,可采用以下措施提高浙江省能源效率:①能源技术效应是导致近年浙江省能源强度下降的主要因素,因此要进一步采取措施促进产业结构从高耗能行业向低耗能行业转变,不断优化产业结

构;②对于高耗能的部门,通过调整能源消耗结构和促进技术升级等手段,提高其能源利用率;③积极参与全国碳市场的构建,发展清洁能源机制,采用新兴技术,进一步优化能源结构。

### 参考文献

- [1] 董凌,李延和,刘锋,等.区域全清洁能源供电的发展路径与实践——以青海省为例[J].全球能源互联网,2020,3(4):385-392.  
DONG Ling, LI Yanhe, LIU Feng, et al. Development path and practice of regional fully clean power supply: a case study of Qinghai Province[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2020, 3(4): 385-392(in Chinese).
- [2] 魏一鸣,焦建玲.高级能源经济学[M].北京:清华大学出版社,2013.
- [3] 张锐,张瑞华,李梦宇,等.碳中和背景下发达国家的气候援助:进展与问题[J].全球能源互联网,2022,5(1):63-70.  
ZHANG Rui, ZHANG Ruihua, LI Mengyu, et al. Climate aid for developed countries in context of carbon neutrality: progress and problems[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2022, 5(1): 63-70(in Chinese).
- [4] 王红杰,鲍超,郭嘉颖.基于投入产出模型的北京市生产性服务业与制造业互动关系[J].中国科学院大学学报,2018,35(3):336-344.  
WANG Hongjie, BAO Chao, GUO Jiaying. Interactive rules between producer services and manufacturing industries in Beijing based on input-output model[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2018, 35(3): 336-344(in Chinese).
- [5] LEONTIEF W W. Quantitative input and output relations in the economic systems of the United States[J]. The Review of Economics and Statistics, 1936, 18(3): 105.
- [6] 夏炎,杨翠红,陈锡康.基于可比价投入产出表分解我国能源强度影响因素[J].系统工程理论与实践,2009,29(10):21-27.  
XIA Yan, YANG Cuihong, CHEN Xikang. Analysis on determining factors of energy intensity in China based on comparable price input-output table[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2009, 29(10): 21-27(in Chinese).
- [7] 房斌,关大博,廖华,等.中国能源消费驱动因素的实证研究:基于投入产出的结构分解分析[J].数学的实践与认识,2011,41(2):66-77.  
FANG Bin, GUAN Dabo, LIAO Hua, et al. Empirical study of drivers for China's energy consumption: evidence from an input-output based structural decomposition analysis[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2011, 41(2): 66-77(in Chinese).
- [8] 李玲,张俊荣,汤铃,等.我国能源强度变动的影响因素

- 分析: 基于SDA分解技术[J]. 中国管理科学, 2017, 25(9): 125-132.
- LI Ling, ZHANG Junrong, TANG Ling, et al. Analysis on factors of China's energy intensity changes for 1997-2012: based on structural decomposition analysis[J]. Chinese Journal of Management Science, 2017, 25(9): 125-132(in Chinese).
- [9] LIN X N, POLENSKE K R. Input-output anatomy of China's energy use changes in the 1980s[J]. Economic Systems Research, 1995, 7(1): 67-84.
- [10] GARBACCIO R F, HO M S, JORGENSON D W. Why has the energy-output ratio fallen in China?[J]. The Energy Journal, 1999, 20(3):63-92.
- [11] LIU H T, XI Y M, GUO J E, et al. Energy embodied in the international trade of China: an energy input-output analysis[J]. Energy Policy, 2010, 38(8): 3957-3964.
- [12] ZENG L, XU M, LIANG S, et al. Revisiting drivers of energy intensity in China during 1997-2007: a structural decomposition analysis[J]. Energy Policy, 2014, 67: 640-647.
- [13] 张珍花, 戴丽亚. 中国产业能源消耗效率变化的实证分析——基于投入产出方法[J]. 生态经济, 2012, 28(7): 91-93.
- ZHANG Zhenhua, DAI Liya. Empirical analysis of the change of China's industrial energy efficiency-based on input-output model[J]. Ecological Economy, 2012, 28(7): 91-93(in Chinese).
- [14] 林伯强, 吴微. 全球能源效率的演变与启示——基于全球投入产出数据的SDA分解与实证研究[J]. 经济学(季刊), 2020, 19(2): 663-684.
- LIN Boqiang, WU Wei. The implication of global energy efficiency evolution—SDA and empirical study based on global input-output data[J]. China Economic Quarterly, 2020, 19(2): 663-684(in Chinese).
- [15] 谢伦裕, 陈飞, 相晨曦. 城乡家庭能源消费对比与影响因素: 以浙江省为例[J]. 中南大学学报(社会科学版), 2019, 25(6): 106-117.
- XIE Lunyu, CHEN Fei, XIANG Chenxi. Urban and rural residential energy consumption and the determinants: Evidences from Zhejiang Province[J]. Journal of Central South University (Social Sciences), 2019, 25(6): 106-117(in Chinese).
- [16] 刘波. 基于矩阵转换技术的区域投入产出表预测——以浙江为例[J]. 统计学报, 2021, 2(5): 1-8.
- LIU Bo. Forecasting the regional input-output tables based on matrix transformation technology—taking Zhejiang Province as the sample[J]. Journal of Statistics, 2021, 2(5): 1-8(in Chinese).
- [17] 吴唯, 张庭婷, 谢晓敏, 等. 基于LEAP模型的区域低碳发展路径研究——以浙江省为例[J]. 生态经济, 2019, 35(12): 19-24.
- WU Wei, ZHANG Tingting, XIE Xiaomin, et al. Research on regional low carbon development path based on LEAP model: taking Zhejiang Province as an example[J]. Ecological Economy, 2019, 35(12): 19-24(in Chinese).
- [18] 史新红, 郑亚先, 范振宇, 等. 新能源参与省级现货市场的模式设计[J]. 全球能源互联网, 2020, 3(5): 451-460.
- SHI Xinhong, ZHENG Yaxian, FAN Zhenyu, et al. Model design considering participation of variable renewable energy in provincial spot market[J]. Journal of Global Energy Interconnection, 2020, 3(5): 451-460(in Chinese).
- [19] 光峰涛, 何永秀, 尤培培, 等. 基于结构分解模型的中国电力消费驱动因素研究[J]. 中国电力, 2019, 52(12): 123-131.
- GUANG Fengtao, HE Yongxiu, YOU Peipei, et al. The influencing factors of China's electricity consumption based on structural decomposition analysis[J]. Electric Power, 2019, 52(12): 123-131(in Chinese).
- [20] 陈锡康, 杨翠红. 投入产出技术[M]. 北京: 科学出版社, 2017: 26-376.
- [21] DIETZENBACHER E, LOS B. Structural decomposition analyses with dependent determinants[J]. Economic Systems Research, 2000, 12(4): 497-514.
- [22] 王智波. 我国产业结构变动的成因: 基于投入产出表需求一侧的SDA模型分析[J]. 统计与决策, 2011(8): 114-116.
- [23] DIETZENBACHER E, LOS B. Structural decomposition techniques: sense and sensitivity[J]. Economic Systems Research, 1998, 10(4): 307-324.
- [24] 王玉潜. 能源消耗强度变动的因素分析方法及其应用[J]. 数量经济技术经济研究, 2003, 20(8): 151-154.
- [25] 贾薪昌, 李德山, 丁志鹏, 等. 异质性能源消耗强度变化及其影响因素分解——基于四川省可比价能源投入产出表[J]. 技术经济, 2012, 31(3): 82-86.
- JIA Xinchang, LI Deshan, DING Zhipeng, et al. Change of heterogeneity energy's consumption intensity and factors decomposition: based on comparable price energy input-output table of Sichuan Province[J]. Technology Economics, 2012, 31(3): 82-86(in Chinese).
- [26] 张玲玲, 李晓惠, 王宗志. 考虑用水与排污的可比价投入产出表的编制[J]. 统计与决策, 2014(17): 18-21.

收稿日期: 2022-01-06; 修回日期: 2022-03-29。



马跃

作者简介:

马跃(1989), 男, 博士研究生, 研究方向为能源经济、碳市场, E-mail: mayuexmm@163.com。

冯连勇(1966), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为能源经济、碳市场。通信作者, E-mail: fenglyenergy@163.com。

(责任编辑 李锡)