

国际能源价格波动对我国碳排放影响的效应研究 ——基于岭回归分析

邱 强 顾尤莉

摘 要：本文从碳排放的视角探讨国际能源价格波动对我国碳排放的影响，通过国际能源价格、国际石油价格和国际煤炭价格3个不同的指标，从格兰杰因果关系和实证两个维度分析其对碳排放的影响。结果发现：（1）国际能源价格、国际石油价格和国际煤炭价格均是人均碳排放量的格兰杰原因，但皆不是碳排放强度的格兰杰原因；（2）3种国际能源价格对人均碳排放量具有直接显著正的影响，国际能源价格和国际石油价格对碳排放强度具有显著负的影响，但国际煤炭价格对碳排放强度影响为正但不显著；（3）国际能源价格、国际石油价格和国际煤炭价格以及人均GDP、能源结构和能源效率对人均碳排放和碳排放强度的调节效应都存在不同程度的扭曲现象。

关键词：国际能源价格；碳排放；调节效应

中图分类号：F740

文献标识码：A

文章编号：1006-1894（2017）05-0035-12

通过对已有的文献进行梳理发现，国内外关于国际能源价格波动对于我国碳排放影响的相关研究几乎是空白。已有的研究只是从割裂的两方面来分析国际能源价格波动对我国碳排放的影响：一方面单纯地研究了国际能源价格波动对我国能源价格波动的影响；另一方面仅仅探讨了国内能源价格波动对于碳排放的影响。焦建玲（2004）发现国际石油价格与我国石油价格之间存在双向因果关系。焦军普（2007）发现国际能源价格的上涨拉动了国内能源价格的上涨。Martinsen等（2007）发现，国内提高能源价格主要是通过收入效应直接和间接影响碳排放。朱智洺等（2015）认为能源价格波动对碳排放的作用为负。Vielle（2011）认为能源价格提高对碳减排的促进作用有限。

已有的研究存在以下不足：（1）没有就国际能源对本国碳排放的影响进行研究，谈不上其背后的作用机制和影响效果；（2）能源价格对碳排放影响的机制主要集中在微观层面，对于中观和宏观层面影响的讨论较少；（3）未能考虑价格管制的情况，不符合我国的现实。

作者简介：邱强，上海对外经贸大学国际经贸学院教授，研究方向：环境经济学；顾尤莉，上海对外经贸大学硕士研究生，研究方向：国际贸易学。

基金项目：教育部人文社科基金项目“城市化进程中碳排放机制与排放路径研究”（项目编号：14YJA790046）、国家社科基金重大项目“全球大宗商品定价机制演进与国际经贸格局变迁研究”（项目编号：15ZDA058）、上海对外经贸大学中东欧研究中心项目“中东欧国家能源安全问题研究”（项目编号：Y14604-15）和“中东欧国家环境规制对我国国际产能合作影响的研究”（项目编号：Y201701-8）。

一、国际能源价格对碳排放影响的理论依据

国际能源价格对碳排放的作用效应本质上反映的是国际能源价格影响能源消费的过程。当国际能源价格上升, 会从两个方面减少能源的消费量, 进而导致碳排放减少。一是替代效应, 国际能源价格上升通过一价定律传导引起国内同类能源价格上升, 消费者或者厂商会用更便宜的其他能源代替, 从而导致国内价格上涨的能源消费减少。二是收入效应, 国际能源涨价导致消费者或者厂商的总购买力下降, 因而国内能源消费减少。但实际上能源替代效应的结果比较复杂, 很难得出一定减少碳排放的结果。如果石油涨价导致用高碳排放系数的煤炭代替, 反而导致碳排放增加。同时, 因为石油需求短期内缺乏弹性, 无法用更清洁能源代替, 也不会导致碳排放减少。

如果从更长的时间周期来考虑, 能源需求弹性较大, 国际能源价格上涨一定通过直接和间接的方式来降低此类能源的消费。直接效应表现为消费者消费新开发的、更便宜的清洁能源, 从而减少碳排放。间接效应主要表现在能源价格上涨会影响到经济增长、产业结构、能源结构和能源效率等几个方面, 进而导致能源消费发生变化, 最终导致碳排放减少。首先, 能源价格上涨会引起企业生产成本上升, 形成“滞胀”现象, 导致经济增长乏力, 能源需求下降, 碳排放减少。其次, 能源价格上涨会通过产业结构的调整来减少碳排放。因为不同产业生产中能源要素的必要投入量存在差异, 能源相对价格上涨会鼓励能源投入较少产业的生产, 抑制能源投入较多产业的生产, 从而引起经济结构的调整和优化, 碳排放减少。再次, 能源价格上涨会通过能源结构的调整来减少碳排放。能源价格上涨, 导致消费者或者企业调整能源消费结构, 用未涨价的能源代替涨价的能源, 由于不同的能源碳排放系数是不同的, 特别是用清洁能源代替化石能源, 必然导致碳排放减少。最后, 能源价格上涨会推动企业改进技术, 提高能源效率, 从而减少碳排放。

二、变量选取、数据来源与数据处理

(一) 变量选取和数据来源

本文因变量碳排放分别用人均二氧化碳排放量和碳排放强度两个指标来衡量, 选取这两个指标兼顾了公平与效率。其中, 人均二氧化碳排放量由碳排放总量除以人口总数得到, 单位为吨/人, 用 AC 表示。碳排放强度由二氧化碳排放总量除以不变价 GDP 得到, 用 IC 表示。自变量包括国际能源价格、国际石油价格、国际煤炭价格、人均 GDP、能源效率、能源结构和产业结构。国际能源价格选取国际能源商品价格指数 ($GENPI$) 作为指标, 指数包含煤炭、原油和天然气价格, 用 IP 表示; 国际石油价格选取美国西得克萨斯轻质原油 (WTI)、英国布伦特原油和中东迪拜原油三大原油市场的平均价格作为指标, 单位为美元/桶, 用 OIL 表示; 国际煤炭价格选取澳大利亚煤炭价格作为衡量指标, 单位为美元/吨, 用 $COAL$ 表示; 人均 GDP 由不

变价 GDP 除以人口总数得到, 用 AG 表示; 能源效率由不变价 GDP 与能源消费的比值计算得出, 用 E 表示; 能源结构用煤炭消费在能源消费总量中的占比表示, 用 ES 表示; 产业结构由第二产业产值除以国内生产总值得到, 用 IS 表示。

国际煤炭价格样本区间为 1980~2013 年, 其他样本区间为 1978~2014 年; 数据来源有 Knoema 数据库、IMF 数据库、中国统计年鉴和国际统计年鉴。

(二) 相关变量的描述性统计结果

表 1 相关变量的描述性统计结果

变量	均值	中位数	最大值	最小值	标准差
IP	281.1324	208.2161	726.6179	100	197.292
OIL	57.768	45.52	117.23	18.49	30.927
$COAL$	48.758	38.375	127.1	25.31	27.062
AG	2,248.333	1,587.766	7,077.526	381	1,923.086
E	1,521.222	1,423.374	2,466.34	637.897	610.124
ES	0.725	0.724	0.762	0.674	0.027
IS	0.455	0.46	0.482	0.413	0.019
AC	3.234	2.651214	7.532	1.45	1.815
IC	3.039	3.061	3.628	2.446	0.322

国际能源价格 IP 、国际石油价格 OIL 和国际煤炭价格 $COAL$ 波动幅度比较大, 最大值分别为最小值的 7.27 倍、6.34 倍和 5.02 倍, 其中波动最大的为国际能源价格, 波动最小的为国际煤炭价格。人均 GDP 的变化幅度最大, 最大值为 7,077.526, 最小值为 381, 最大值为最小值的 18.6 倍。这是因为我国经济高速增长, 同时又有效地控制了人口增长, 所以增长比较迅速, 变动比较大。人均碳排放量波动幅度也较大, 最大值是最小值的 5.2 倍, 这和经济增长有关系, 更和能源消费有关系。能源结构、产业结构和碳排放强度相对比较稳定, 能源效率提高比较显著。

(三) 变量的相关性检验

表 2 变量的相关性检验

	$\ln IP$	$\ln OIL$	$\ln COAL$	$\ln AG$	$\ln E$	$\ln ES$	$\ln IS$	$\ln AC$	$\ln IC$
$\ln IP$	1**	0.82**	0.86**	0.69**	0.55**	-0.53**	0.26	0.78**	0.52**
$\ln OIL$	0.82**	1**	0.78**	0.17	-0.002	-0.3	0.19	0.33**	0.002
$\ln COAL$	0.86**	0.78**	1**	0.57**	0.37**	-0.33*	0.24	0.7**	0.53**
$\ln AG$	0.69**	0.17	0.57**	1**	0.97**	-0.62**	0.26**	0.97**	0.91**
$\ln E$	0.55**	-0.002	0.37**	0.97**	1**	-0.66**	0.25	0.88**	0.86**
$\ln ES$	-0.53**	-0.3*	-0.33*	-0.62**	-0.66**	1**	-0.45**	-0.57**	-0.31*
$\ln IS$	0.26	0.19	0.24	0.26	0.25	-0.45**	1**	0.26	0.15
$\ln AC$	0.78**	0.33**	0.7**	0.97**	0.88**	-0.57**	0.26	1**	0.91**
$\ln IC$	0.52**	0.002	0.53**	0.91**	0.86**	-0.31*	0.15	0.91**	1**

注: * 表示在 10% 显著, ** 表示在 5% 显著。

表 2 给出了各变量间相关性检验的结果, 产业结构除了与能源结构呈现出显著的中度负关联, 相关系数为 -0.45, 与其他变量没有显著的相关关系。碳排放因素与

人均碳排放量的相关性大小排序为：人均 GDP、能源效率、国际能源价格、国际煤炭价格、能源结构、国际石油价格和产业结构。在所有的影响因素中，除产业结构不显著外，其余因素均在 5% 显著。碳排放因素与碳排放强度的相关性大小排序为：人均 GDP、能源效率、国际煤炭价格、国际能源价格和能源结构、产业结构和国际石油价格。产业结构和国际石油价格与碳排放强度没有显著相关性，能源结构在 10% 显著，其余的影响因素在 5% 显著。

三、实证分析

（一）国际能源价格对碳排放的实证分析

1. 相关变量间的因果关联

利用格兰杰（Granger）检验碳排放与影响因素之间的因果关系，以初步揭示变量间的联系。相关变量取自然对数后进行单位根检验，发现所有序列均为 $I(2)$ 序列，根据 VAR 模型确定最优滞后阶数为 4，表 3 是检验的结果。

表 3 格兰杰因果检验

零假设 H_0	滞后阶数	F 值	P 值
$\ln AG$ 不是 $\ln AC$ 的格兰杰原因	2	2.45076	0.1039
$\ln E$ 不是 $\ln AC$ 的格兰杰原因	2	3.31508	0.0505
$\ln IP$ 不是 $\ln AC$ 的格兰杰原因	4	2.8749	0.0456
$\ln ES$ 不是 $\ln AC$ 的格兰杰原因	4	2.34	0.0852
$\ln AG$ 不是 $\ln IC$ 的格兰杰原因	4	3.77848	0.0167

由表 3 可知，人均 GDP、能源效率、国际能源价格和能源结构均是人均碳排放量的格兰杰原因，其中人均 GDP 和能源效率滞后 2 期显著，能源价格和能源结构对人均碳排放的显著性影响要滞后 4 期才能显现，这与我国行政干预能源定价、导致国内能源价格杠杆作用弱化以及能源结构调整缓慢有关。只有人均 GDP 是碳排放强度的格兰杰原因。

2. 直接效应比较

国际能源价格通过产业内能源供需总量、结构及效率等路径间接影响我国人均碳排放量和碳排放强度。首先，将中间路径黑箱化，把国际能源价格和其他变量一同纳入碳排放因素中，构建直接效应模型，使用 Eviews 软件回归。

$$\ln AC = a + b_1 \ln AG + b_2 \ln E + b_3 \ln ES + b_4 \ln IS + b_5 \ln IP \quad (1)$$

$$\ln IC = c + d_1 \ln AG + d_2 \ln E + d_3 \ln ES + d_4 \ln IS + d_5 \ln IP \quad (2)$$

首先，检验国际能源价格及相关变量变动对人均碳排放的影响。由方程（1）可知，只有人均 GDP 的对数值对人均碳排放的对数值在 10% 显著，其余变量均不显著，可能变量之间存在共线性现象。结合表 1 变量之间的相关性分析，IS 和 AC 之间本来就缺乏显著相关性，因此剔除 IS 变量，又因为 ES 和 E 之间存在显著的相关性，两者共同对 AC 回归会出现共线性问题。加上 ES 对 AC 的相关性不如 E 同 AC 的相

表 4 国际能源价格及相关变量对我国碳排放影响的直接效应

	lnAC		lnIC	
	(1)	(2)	(3)	(4)
lnAG	0.643* (2.004)	0.7669** (2.575)	0.2246*** (7.886)	0.2271*** (8.107)
lnE	-0.2295 (-1.384)	-0.2499* (-1.538)	-0.1427** (-2.68)	-0.1477*** (-2.824)
lnES	0.085 (0.209)	—	0.9222*** (5.421)	0.8773*** (5.614)
lnIP	0.0326 (1.432)	0.034* (1.534)	-0.0503*** (-3.754)	-0.051*** (-3.85)
lnIS	0.3325 (1.202)	—	0.077 (0.7)	—
con	-0.0003 (-0.043)	-0.0007 (-0.094)	1.1194*** (5.12)	1.066*** (5.12)
R ²	0.32	0.2856	0.958	0.9573
DW	2.003	2.05	1.804	1.829

注：***表示在1%显著，**表示在5%显著，*表示在10%显著，括号内为t值。

关性强，况且能源效率也是能源价格作用的核心中间变量，所以我们保留 E ，剔除 ES 。根据研究目的，我们需要保留国际能源价格 IP ，最终剔除两个变量 ES 和 IS 。方程（2）将 ES 、 IS 剔除后， AG 的显著性由 10% 上升到 5%。能源效率和国际能源价格均在 10% 显著。 AG 、 E 和 IP 的人均碳排放变动系数分别为 0.7669、-0.2499 和 0.034， AG 和 E 的变动方向符合理论预期，而 IP 的变动方向与预期相反，说明国际能源价格上涨并没有有效地抑制相应能源的消费，可能是国内能源价格的管制中断了国际能源价格上涨向国内传导，由于能源成本的差异，可能导致产品出口的价格优势，因此生产扩大，能源消费增加，碳排放增加，而目前我国人口增加比较稳定，最终导致我国人均碳排放量不降反而增加。

其次，检验国际能源价格及相关变量变动对碳排放强度的影响。由方程（3）可知，只有 IS 没有通过显著性检验，将 IS 剔除后，所有变量均在 1% 显著，其中能源效率从 5% 显著上升到 1%。 AG 、 E 、 ES 和 IP 的碳排放强度变动系数分别为 0.2271、-0.1477、0.8773 和 -0.051，变动方向均符合预期。通过对比发现，能源价格对人均碳排放量和碳排放强度的影响存在差异，这可能与中间变量的调节作用有关。

3. 调节效应分析

为了进一步分析各渠道的效力，以下采用调节项进行实证分析。由于综合模型着重于调节作用，因此不直接采用 IP 。由于交叉变量较多，存在多重共线性现象，为了使回归结果有效，我们采用岭回归方法，并分别构建国际能源价格对我国人均碳排放量和碳排放强度的调节效应模型：

$$\ln AC = \beta_0 + \beta_1 \ln AG + \beta_2 \ln E + \beta_3 \ln ES + \beta_4 \ln IS + \beta_5 \ln(IP \times AG) + \beta_6 \ln(IP \times E) + \beta_7 \ln(IP \times ES) + \beta_8 \ln(IP \times IS) \quad (3)$$

$$\ln IC = \delta_0 + \delta_1 \ln AG + \delta_2 \ln E + \delta_3 \ln ES + \delta_4 \ln IS + \delta_5 \ln (IP \times AG) + \delta_6 \ln (IP \times E) + \delta_7 \ln (IP \times ES) + \delta_8 \ln (IP \times IS) \quad (4)$$

由于各变量对人均碳排放量的直接效应模型中, ES 和 IS 没有通过显著性检验, 能源结构和产业结构的间接作用受阻, 将能源价格传递途径限于人均 GDP 和能源效率, 结果见表 5。

表 5 国际能源价格及相关变量对我国碳排放影响的间接效应

	lnAC			lnIC						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
lnAG	1.2581*** (18.05)	1.4494*** (23.00)	1.0817*** (23.01)	1.6066*** (54.65)	1.5486*** (63.2)	1.5388*** (64.38)	1.29448*** (64.72)	1.1928*** (63.11)	1.5502*** (62.257)	1.1834*** (6.32)
lnE	-0.5424*** (-5.67)	-0.6236*** (-6.31)	-0.4608*** (-5.86)	-0.1776*** (-4.23)	-0.1579*** (-3.977)	-0.2894*** (-6.46)	-0.0472 (-1.34)	-0.3276*** (-7.2)	-0.2321*** (-6.00)	-0.2221*** (-5.86)
lnES	—	—	—	0.3702** (2.07)	0.3504* (1.98)	0.3635** (2.12)	0.3477* (1.96)	0.377** (2.23)	0.3564** (2.00)	0.3648** (2.08)
lnIP	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
lnIS	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ln(IP × AG)	0.2447*** (9.41)	—	0.6435*** (18.12)	-0.3164*** (-28.25)	—	—	0.45*** (72.58)	0.6023*** (102.09)	—	0.6563*** (91.15)
ln(IP × E)	—	0.1296*** (4.02)	-0.3067*** (-20.86)	—	-0.2994*** (-23.03)	—	-0.6067*** (-38.16)	—	-0.1428*** (-14.88)	-0.2714*** (-24.02)
ln(IP × ES)	—	—	—	—	—	-0.1901*** (-14.68)	—	-0.4543*** (-27.2)	-0.1025*** (-11.39)	-0.3115*** (-29.95)
ln(IP × IS)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
con	-0.778	-0.652	-0.464	-4.313	-3.921	-3.944	-3.853	-3.866	-3.914	-3.8
R ²	0.9827	0.9805	0.9844	0.9348	0.943	0.9431	0.9449	0.9459	0.9432	0.9465
Sig	0.0689*	0.0732*	0.0664*	0.0286**	0.0275**	0.0275**	0.0275**	0.0272**	0.0279**	0.0276**

注: *** 表示在 1% 显著, ** 表示在 5% 显著, * 表示在 10% 显著。

在能源价格对人均碳排放的调节效应模型中, AG 和 E 的作用方式与直接效应一致, 并且在方程 (3) 中排除 ES 和 IS 两个变量后, AG 和 E 的调节效力明显提升。人均 GDP 对人均碳排放量的效力显著达到 1.0817, 其中调节效力显著为 0.6435; 能源效率对人均碳排放量的效力显著达到 -0.4608, 其中调节效力显著为 -0.3067。

在能源价格对碳排放强度的调节效应模型中, AG 、 E 和 ES 的作用方式与直接效应一致, 能源价格分别通过 AG 、 E 和 ES 实现调节效力, 见方程 (4) ~ (6), 分别为 -0.3164、-0.2994 和 -0.1901, 同时通过 3 个变量实现的调节效力为 0.6563、-0.2714 和 -0.3115, 见方程 (10)。

表 5 中的方程 (10) 同时纳入 AG 、 E 和 ES 时, 对比表 4 中的方程 (4) 直接效应模型可以看出, 方程 (4) 中 AG 和 E 的调节效力分别由 0.2271 和 -0.1477 上升到方程 (10) 中的 1.1834 和 -0.2221, 方程 (10) 中 ES 的调节效力由 0.8773 减少到 0.3648。这是由于能源价格通过能源结构途径对碳排放强度实现了 -0.3115 的效力。可见, E 和 ES 在国际能源价格变动的影响下, 对碳排放强度的调节方向符合预期,

即能源价格的提高会促进能源结构的优化,提高能源效率,碳排放强度下降。

(二) 国际石油价格对碳排放影响的实证分析

1. 相关变量间的因果关联

对相关变量取自然对数后进行单位根检验,发现所有序列均为 $I(2)$ 序列,滞后阶数为 4,表 6 是检验结果。

表 6 格兰杰因果检验

零假设 H_0	滞后阶数	F 值	P 值
$\ln AG$ 不是 $\ln AC$ 的格兰杰原因	2	2.45076	0.1039
$\ln E$ 不是 $\ln AC$ 的格兰杰原因	2	3.315	0.0505
$\ln OIL$ 不是 $\ln AC$ 的格兰杰原因	4	2.4065	0.0788
$\ln ES$ 不是 $\ln AC$ 的格兰杰原因	4	2.34	0.0852
$\ln AG$ 不是 $\ln AC$ 的格兰杰原因	4	3.77848	0.0167

由表 6 可知,人均 GDP、能源效率、国际油价和能源结构均是人均碳排放量的格兰杰原因;人均 GDP 是碳排放强度的格兰杰原因。

2. 直接效应比较

将国际石油价格和其他变量一同纳入碳排放因素中,构建直接效应模型:

$$\ln AC = f_0 + f_1 \ln AG + f_2 \ln E + f_3 \ln ES + f_4 \ln IS + f_5 \ln OIL \quad (5)$$

$$\ln IC = h_0 + h_1 \ln AG + h_2 \ln E + h_3 \ln ES + h_4 \ln IS + h_5 \ln OIL \quad (6)$$

表 7 国际石油价格及相关变量对我国碳排放影响的直接效应

	$\ln AC$		$\ln IC$	
	(1)	(2)	(3)	(4)
$\ln AG$	0.9793*** (24.163)	0.9703*** (28.812)	0.222*** (7.9)	0.2246*** (8.139)
$\ln E$	-0.9251*** (-10.4)	-0.9027*** (-13.362)	-0.1832*** (-2.969)	-0.1889*** (-3.119)
$\ln ES$	-0.1299 (-0.476)	—	0.791*** (4.179)	0.7461*** (4.264)
$\ln OIL$	0.0196 (1.05)	0.0237* (1.642)	-0.0483*** (-3.726)	-0.049*** (-3.832)
$\ln IS$	-0.0985 (-0.62)	—	0.0726 (0.659)	—
con	0.3462 (0.922)	0.3535 (1.22)	1.3014*** (4.998)	1.255*** (5.053)
R^2	0.9959	0.9958	0.9578	0.9572
DW	1.4091	1.3309	1.7663	1.7932

注:***表示在 1% 显著,**表示在 5% 显著,*表示在 10% 显著。

先看人均碳排放的直接效应,由表 7 中的方程(1)可知, ES 和 IS 没有通过显著性检验,方程(2)中,将 ES 、 IS 剔除后,解释变量均通过显著性检验, AG 、 E 和 OIL 的人均碳排放变动系数分别为 0.9703、-0.9027 和 0.0237, AG 和 E 的变动方向符合理论预期,而 OIL 的变动方向与预期相反,说明国际油价对我国人均碳排

放量不具备调控性。

再看碳排放强度的直接效应,由表7中的方程(3)可知,IS没有通过显著性检验,将IS剔除后,所有变量均通过显著性检验,方程(4)中,AG、E、ES和OIL的碳排放强度变动系数分别为0.2246、-0.1889、0.7461和-0.049,变动方向均符合预期。

3. 间接效应比较

国际原油价格对碳排放的直接效应结果与国际能源价格对碳排放的直接效应结果一致,为了进一步分析国际原油价格对碳排放的间接效应影响,采用岭回归方法,分别构建国际油价对我国人均碳排放量和碳排放强度的调节效应模型:

$$\ln AC = \zeta_0 + \zeta_1 \ln AG + \zeta_2 \ln E + \zeta_3 \ln ES + \zeta_4 \ln IS + \zeta_5 \ln(OIL \times AG) + \zeta_6 \ln(OIL \times E) + \zeta_7 \ln(OIL \times ES) + \zeta_8 \ln(OIL \times IS) \quad (7)$$

$$\ln IC = \theta_0 + \theta_1 \ln AG + \theta_2 \ln E + \theta_3 \ln ES + \theta_4 \ln IS + \theta_5 \ln(OIL \times AG) + \theta_6 \ln(OIL \times E) + \theta_7 \ln(OIL \times ES) + \theta_8 \ln(OIL \times IS) \quad (8)$$

表8 国际石油价格及相关变量对我国碳排放影响的间接效应

	lnAC			lnIC						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
lnAG	1.3009*** (19.92)	1.468*** (25.05)	0.9819*** (28.3)	1.5929*** (56.09)	1.5267*** (64.69)	1.5034*** (66.23)	1.1398*** (71.23)	1.0683*** (66.77)	1.5261*** (63.59)	1.0451*** (67.00)
lnE	-0.51*** (-5.05)	-0.5899*** (-5.71)	-0.3818*** (-5.08)	-0.251*** (-5.46)	-0.2708*** (-6.15)	-0.383*** (-7.66)	-0.1146*** (-3.06)	-0.4429*** (-8.86)	-0.2798*** (-7.00)	-0.2647*** (-6.84)
lnES	—	—	—	0.3465* (1.83)	0.3186* (1.66)	0.3339* (1.81)	0.3089 (1.63)	0.3485* (1.94)	0.3195* (1.63)	0.3244* (1.7)
lnIP	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
lnIS	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ln(OIL × AG)	0.17917*** (7.5)	—	0.7076* (1.87)	-0.2526*** (-25.26)	—	—	0.5834*** (64.82)	0.6199*** (88.56)	—	0.7089*** (78.77)
ln(OIL × E)	—	0.0901*** (3.16)	-0.3067*** (-15.41)	—	-0.2176*** (-17.27)	—	-0.5962*** (-31.71)	—	-0.2023*** (-15.10)	-0.3662*** (-22.33)
ln(OIL × ES)	—	—	—	—	—	-0.2371*** (-19.43)	—	-0.4641*** (-27.3)	-0.0117 (-1.52)	-0.2384*** (-37.84)
ln(OIL × IS)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
con	-0.99	-0.84	-0.495	-3.9	-3.37	-3.45	-3.16	-3.3	-3.37	-3.14
R ²	0.9828	0.9808	0.9859	0.9387	0.9431	0.9427	0.9465	0.9461	0.9431	0.9473
Sig	0.0686*	0.0726*	0.0632*	0.0285**	0.0275**	0.0276**	0.0271**	0.0272**	0.0279**	0.0273**

注:***表示在1%显著,**表示在5%显著,*表示在10%显著。

由表8中的方程(3)可知,当国际油价同时通过AG和E作用于AC时,人均GDP对人均碳排放量的效力显著,达到0.9819,其中调节效力为0.7076;能源效率对人均碳排放量的效力达到-0.3818,其中调节效力为-0.3607。人均GDP和能源效率在国际油价的调节作用下反而刺激了人均碳排放的上升。这可能和国内石油价格管制有关,使其远远低于国际石油价格,当经济增长时,人均碳排放增加。长期过低的油价导致企业缺乏提高石油利用效率的动力,从而使得能源效率对人均碳排

放的调节能力下降。

在国际油价对碳排放强度的调节效应模型中, AG 、 E 和 ES 的作用方式与直接效应一致, 在表 8 方程 (4) ~ (6) 中, 国际油价分别通过 AG 、 E 和 ES 实现的调节效力为 -0.2526、-0.2176 和 -0.2371, 在方程 (10) 中, 同时通过 3 个变量实现的调节效力为 0.7089、-0.3662 和 -0.2384。

同时纳入 AG 、 E 和 ES 时, 对比直接效应模型可以看出, AG 和 E 的调节效力由表 7 方程 (4) 中的 0.2246 和 -0.1889 分别提高到表 8 方程 (10) 中的 1.045 和 -0.26, 而 ES 由表 7 方程 (4) 中的 0.7461 下降到表 8 方程 (10) 中的 0.3244, 调节效力却减少了。这是由于国际油价通过能源结构途径对碳排放强度实现了方程 (10) 中 -0.2384 的效力。三者组合作用除了 AG 外都如期达到了降低碳排放强度的作用。

(三) 国际煤炭价格对碳排放影响的实证分析

1. 相关变量间的因果关联

对相关变量取自然对数后进行单位根检验, 发现所有序列均为 $I(2)$ 序列, 滞后阶数为 3。表 9 是检验结果。

表 9 格兰杰因果检验

零假设 H_0	滞后阶数	F 值	P 值
$\ln E$ 不是 $\ln AC$ 的格兰杰原因	2	3.315	0.0505
$\ln AG$ 不是 $\ln IC$ 的格兰杰原因	2	2.525	0.0975
$\ln COAL$ 不是 $\ln ES$ 的格兰杰原因	2	3.36624	0.0495
$\ln COAL$ 不是 $\ln AC$ 的格兰杰原因	3	3.35	0.0357

由表 9 可知, 能源效率是人均碳排放的格兰杰原因, 人均 GDP 是能源强度的格兰杰原因。国际煤炭价格是能源结构和人均碳排放量的格兰杰原因, 而国际煤炭价格并不是碳排放强度的格兰杰原因。

2. 直接效应比较

将国际煤炭价格和其他变量一同纳入碳排放因素中, 构建直接效应模型:

$$\ln AC = j_0 + j_1 \ln AG + j_2 \ln E + j_3 \ln ES + j_4 \ln IS + j_5 \ln COAL \quad (9)$$

$$\ln IC = i_0 + i_1 \ln AG + i_2 \ln E + i_3 \ln ES + i_4 \ln IS + i_5 \ln COAL \quad (10)$$

由表 10 方程 (1) 可知, ES 和 IS 没有通过显著性检验, 方程 (2) 将 ES 和 IS 剔除后, 解释变量均通过显著性检验, AG 、 E 和 $COAL$ 的人均碳排放变动系数分别为 0.943、-0.854 和 0.04, AG 和 E 的变动方向符合理论预期, 而 $COAL$ 的变动方向与预期相反, 说明我国煤炭价格对我国人均碳排放量不具备调控性。

3. 间接效应比较

分别构建国际煤炭价格对我国人均碳排放量和碳排放强度的调节效应模型:

$$\ln AC = \kappa_0 + \kappa_1 \ln AG + \kappa_2 \ln E + \kappa_3 \ln ES + \kappa_4 \ln IS + \kappa_5 \ln(COAL \times AG) + \kappa_6 \ln(COAL \times E) + \kappa_7 \ln(COAL \times ES) + \kappa_8 \ln(COAL \times IS) \quad (11)$$

表 10 国际煤炭价格及相关变量对我国碳排放影响的直接效应

	lnAC		lnIC	
	(1)	(2)	(3)	(4)
lnAG	0.935*** (17.822)	0.943*** (20.598)	0.132*** (2.969)	0.14*** (21.09)
lnE	-0.832*** (-7.767)	-0.854*** (-10.142)	0.034 (0.376)	—
lnES	0.018 (0.064)	—	1.356*** (5.713)	1.159*** (7.387)
lnCOAL	0.046 (1.587)	0.04* (1.587)	0.002 (0.078)	—
lnIS	-0.176 (-1.078)	—	0.0617 (0.445)	—
con	-0.113 (-0.236)	0.145 (0.402)	0.366 (0.9)	0.447*** (10.03)
R ²	0.9958	0.9956	0.9275	0.9369
DW	1.343	1.23	1.166	1.123

注：*** 表示在 1% 显著，** 表示在 5% 显著，* 表示在 10% 显著，括号内为 t 值。

$$\ln IC = \mu_0 + \mu_1 \ln AG + \mu_2 \ln E + \mu_3 \ln ES + \mu_4 \ln IS + \mu_5 \ln(COAL \times AG) + \mu_6 \ln(COAL \times E) + \mu_7 \ln(COAL \times ES) + \mu_8 \ln(COAL \times IS) \quad (12)$$

表 11 国际煤炭价格及相关变量对我国碳排放影响的间接效应

	lnAC			lnIC		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
lnAG	1.0306*** (14.74)	1.2979*** (19.37)	0.9046*** (19.41)	1.263*** (66.47)	1.2709*** (127.09)	0.8819*** (116.04)
lnE	-0.4032*** (-4.34)	-0.5201*** (-5.2)	-0.351*** (-4.62)	—	—	—
lnES	—	—	—	0.5032** (2.57)	0.5078** (2.55)	0.5283** (2.63)
lnIP	—	—	—	—	—	—
lnIS	—	—	—	—	—	—
ln(COAL × AG)	0.3419*** (11.71)	—	0.6421*** (36.9)	-0.0057 (-0.449)	—	0.5404*** (200.15)
ln(COAL × E)	—	0.1841*** (4.41)	-0.2281*** (-4.73)	—	—	—
ln(COAL × ES)	—	—	—	—	-0.0192 (-1.37)	-0.2237*** (-15.98)
ln(COAL × IS)	—	—	—	—	—	—
con	-1.42	-1.33	-1.005	-5.66	-5.685	-5.72
R ²	0.9862	0.9832	0.9872	0.9204	0.9207	0.9231
Sig	0.0605*	0.0667*	0.0592*	0.0296**	0.0295**	0.0296**

注：*** 表示在 1% 显著，** 表示在 5% 显著，* 表示在 10% 显著。

先看人均碳排放的直接效应，和表 10 方程 (2) 的直接效应模型相比，AG 和 E 分别由表 10 方程 (2) 中的 0.943 和 -0.854 下降到表 11 方程 (3) 中的 0.9046 和 -0.351。AG 对人均碳排放的调节作用符合预期，E 对人均碳排放的调控力减弱。

再看 AG 和 ES 对碳排放强度的调节作用，分别由表 10 方程 (4) 中的 0.14 和

1.159 显著地调整到表 10 方程 (6) 中的 0.8819 和 0.5283。 ES 对碳排放强度的调节作用符合预期, AG 对碳排放强度的调控力提高, 煤炭价格通过 AG 对人均碳排放量和碳排放强度两种指标调整作用不一致, 前后矛盾, 并且煤炭价格变动对碳排放强度的影响没有通过显著性检验, 说明国家煤炭价格变动的影响有限。

四、结论与政策建议

(一) 结论

(1) 国际能源价格、国际石油价格和国际煤炭价格均是人均碳排放量的格兰杰原因, 但皆不是碳排放强度的格兰杰原因。另外, 人均 GDP、能源效率和能源强度是人均碳排放量的格兰杰原因, 人均 GDP 是碳排放强度的格兰杰原因。

(2) 国际能源价格、国际石油价格和国际煤炭价格对人均碳排放量具有直接、显著正的影响, 其中国际能源价格和国际石油价格对碳排放强度具有显著负的影响, 但国际煤炭价格对碳排放强度影响为正但不显著。说明国际能源价格、国际石油价格和国际煤炭价格对人均碳排放直接调节的传导机制出现扭曲, 国际煤炭价格同时对碳排放强度的直接调节效应存在扭曲。

(3) 国际能源价格和国际石油价格通过人均 GDP 间接对人均碳排放和碳排放强度的调节效应存在扭曲, 与预期相反。国际煤炭价格通过人均 GDP 间接对人均碳排放的调节作用符合预期, 对碳排放强度的间接调节作用不符合预期。国际能源价格通过能源效率间接对两个指标的调节作用都符合预期, 通过能源结构对碳排放强度的间接调节作用也符合预期。国际石油价格通过能源效率对人均碳排放的间接调节作用存在扭曲, 不符合预期, 但对碳排放强度的间接调节作用符合预期。国际煤炭价格通过能源结构间接对碳排放强度的调节作用符合预期, 通过能源效率对人均碳排放的间接调节作用不符合预期。由此可见, 国际能源作用机制非常复杂, 能源效率和能源结构是非常重要的两种机制, 能源排放强度是比较可靠的指标, 这和政府管制与重视密切相关。

(二) 政策建议

积极主动地推进能源价格市场化改革, 将国内能源价格与国际能源价格直接接轨, 有助于发挥价格的市场调节作用。充分利用好能源效率和能源结构这两个中间变量, 将能源价格调整促使上述两个指标对碳排放的调节作用符合预期。重视碳排放强度指标, 将是否有利于其降低作为调节能源价格成功的检验标准。

参考文献:

- [1] Bernard, Alain Vielle Marc. Assessment of European Union Transition Scenarios with a Special Focus on the Issue of Carbon Leakage[J]. Energy Economics, 2009,(12).
- [2] Martinsen, Dag, et al. Implications of High Energy Prices for Energy System and Emissions—The Response

from an Energy Model for Germany[J]. Energy Policy, 2007,(9).

[3] 焦建玲等. 关于我国石油价格体系的若干思考[J]. 管理评论, 2004, 16(3).

[4] 焦军普. 国际市场价格上涨对我国国内价格影响的实证分析[J]. 经济与管理研究, 2007,(9).

[5] 张意翔, 胥朝阳, 成金华. 基于VaR方法的中国石油企业跨国并购的价格风险评价[J]. 管理学报, 2010,(3).

[6] 朱智沼, 方培. 能源价格与碳排放动态影响关系研究——基于DSGE模型的实证分析[J]. 价格理论与实践, 2015, (5).

A Study on the Effect of International Energy Price Fluctuation on China's Carbon Emission

QIU Qiang GU You-li

Abstract: This paper explores the impact of international energy price volatility on China's carbon emissions, through the international energy prices, international oil prices and international coal prices, from Granger causality and empirical analysis of the two dimensions, and its impact on carbon emissions. The results show that: (1) international energy prices, international oil prices and international coal prices are per capita carbon emissions of Granger reasons, but are not the carbon intensity of Granger reasons; (2) the three international energy prices have a direct and positive impact on the per capita carbon emissions. International energy prices and international oil prices have a significant negative impact on carbon intensity, but international coal prices have not obvious positive effects on carbon intensity; (3) international energy prices, international oil prices and international coal prices per capita GDP, energy structure and energy efficiency on the per capita carbon emissions and carbon emission intensity of the regulatory effect of varying degrees of distortions.

Key words: international energy price; carbon emission; regulation effect

(责任编辑: 张建华)

(上接第 14 页)

Economic Growth Accounting under the Framework of New Structuralism: An Empirical Analysis of Panel Data from 95 Developing Countries

YU Xi CAI Xiu-ling

Abstract: Both neo-classicism and structuralism fail to thoroughly interpret the difficulties among developing countries in the performance of economic growth since World War II. The practice of economic policies based on these theories is mostly a failure. It is believed by Lin Yifu that only when the industrial structure of developing countries complies with the structure of factor endowment can they conform to the comparative advantages and the economy is the most competitive. The indexes of technological choice are amended in this paper, in which "Lin Yifu's proposition of economic growth" is verified based on the panel data of 95 developing countries. An inverted "U-shaped" relation exists in the economic growth rate and the indexes of technological choice of developing countries. In other words, an optimal industrial structure exists under the given factor endowment structure, which provides empirical evidence to the existence of "Lin Yifu's proposition of economic growth".

Key words: factor endowment structure; industrial structure; economic growth; technological choice index; comparative advantage

(责任编辑: 张建华)