

# 中国经济增长、能源消费 与二氧化碳排放互动关系研究

——基于面板 VAR 的实证分析

刘章发<sup>1</sup> 高建刚<sup>2</sup> 何丽娜<sup>2</sup>

(1.聊城大学东昌学院,山东聊城 252000; 2.聊城大学商学院,山东聊城 252059)

**摘要:**基于中国 1995—2021 年 30 省份的面板数据,构建 PVAR 模型,采用 Granger 因果检验、脉冲反应函数等方法对中国经济增长、能源消费、二氧化碳排放之间的关系进行实证分析。研究表明:(1)全国的能源消费、经济增长与二氧化碳排放两两之间均为因果关系;(2)东部地区存在能源消耗与二氧化碳排放对经济增长的正向显著关系,中部地区存在能源消耗对经济增长、能源消耗对二氧化碳排放正向显著关系,西部地区存在能源消耗与二氧化碳排放对经济增长、经济增长对能源消费与二氧化碳排放之间的正向显著关系;(3)脉冲响应函数和预测误差方差分解分析均表明能源消费对二氧化碳排放冲击较大。为实现可持续发展,本文提出积极发展清洁能源与提高能源利用技术水平、重点培育中部地区经济发展的新动能、产业结构转型升级及出台相关制度与政策等建议。

**关键词:**经济增长;能源消费;二氧化碳排放;面板 VAR

**基金项目:**国家社会科学基金项目“黄河流域‘水—能源—粮食’纽带系统与生态系统协同安全的机制与路径研究”(20BJY074);山东省金融应用重点研究项目“双碳目标下山东省绿色金融服务实体经济发展绩效评价研究”(2022-JRZZ-20)。

[中图分类号] F062.9

[文章编号] 1673-0186(2023)009-0111-014

[文献标识码] A

[DOI 编码] 10.19631/j.cnki.css.2023.009.008

经济增长、资源消耗与环境保护之间存在着相互制约相互依存的紧张关系。20 世纪 90 年代以来,伴随着中国经济的快速发展,资源紧张、环境恶化特别是温室效应的问题日益凸显,不但影响中国经济的健康发展,也对全球经济的可持续发展带来不利影响。从国内看,我国目前仍然是发展中国家,工业化尚未全面完成,其持续推进仍然需要大量消耗能源特别是传统化石能源,造成碳排放量不断增加,而就业问题则需维持较高的经济增长速度来解决;另一方面,在 2015 年巴黎气候峰会上,中国向国际社会庄严承诺,到 2030 年,使二氧化碳排放达到峰

**作者简介:**刘章发,聊城大学东昌学院副教授、首届美林学者,研究方向:区域经济;高建刚,聊城大学商学院教授、硕士生导师,研究方向:绿色发展;何丽娜,聊城大学商学院硕士研究生,研究方向:数字经济与绿色发展。

值,2030年单位GDP二氧化碳排放比2005年下降60%至65%。为应对上述多重压力和兑现向国际社会的承诺,必须科学处理经济—能源—环境之间的紧张关系,在保持经济增长的同时,实施节能减碳行动,实现经济的可持续发展。由于产业结构、能源结构以及经济发展阶段不同,发达国家的发展经验不能照抄照搬,必须立足中国国情,深入分析三者之间的互动关系,才能为促进中国经济的可持续发展提供决策依据。那么,在中国,经济增长、能源消耗与二氧化碳排放之间究竟是什么关系,如何化解其冲突,增强它们之间的协调性?回答这些问题,对制定相关政策,实现中国经济可持续发展具有重要意义。

## 一、相关研究回顾

针对经济增长、能源消费与二氧化碳排放之间的互动关系,国内外的学者基于不同的数据、不同的角度进行了相关的探索,主要是从能源消费量、能源消费种类、能源消费结构与效率、不同尺度规模四个方面展开研究。

第一,基于能源消费量探究三者之间的影响。有文献基于全球不同国家的能源、经济与环境相关数据,将经济和环境退化作为因变量,能源消费作为自变量进行多元回归分析,发现能源系数始终为正且数值最大,表明能源驱动经济和二氧化碳排放量。还指出经济发展会带来环境的破坏,其主要原因是在发展经济时使用不清洁能源<sup>[1]</sup>;也有不少研究采用因果关系实证、耦合协调度评价与多目标规划预测等方法来分析三者之间的关系,认为能源消费与经济增长间具有多种因果关系假说、经济与环境之间存在环境库兹涅茨曲线假说、能源对环境具有单向关系<sup>[2]</sup>;还有文献基于基准、转型与深度转型等不同情景评估了能源转型对粤港澳大湾区经济与环境等的影响,发现能源转型能大幅降低碳排放,还能带来更多的经济效益<sup>[3]</sup>;有的研究利用DMS/OLS夜间灯光数据模拟中国地级城市二氧化碳排放量,考察中国经济增长、能源消费与二氧化碳排放的互动关系,发现中国经济增长与二氧化碳排放呈倒“U”型关系,但拐点较高,能源消费对二氧化碳排放具有显著的正影响<sup>[4]</sup>;有学者认为能源为经济提供了物质基础,但对环境产生了破坏,而环境恶化会导致能源消费与经济发展受到约束。同时,经济发展会增加对能源与环境美化的需求,因此三者间存在着相互影响的复杂关系<sup>[5]</sup>。

第二,基于能源消费种类研究三者之间存在的关系。有研究利用“一带一路”发展中国家有关能源、经济与环境的面板数据,计量分析得出较高的能源消费水平、经济增长会提高二氧化碳排放水平从而对环境产生不利影响,而相对清洁的可再生能源将抑制二氧化碳的排放,此外,其因果关系分析表明经济增长、可再生能源消费与二氧化碳排放量之间存在双向因果关系<sup>[6]</sup>;也有研究利用金砖国家的面板数据,实证分析清洁能源消费、二氧化碳排放与经济增长之间的关系,研究发现清洁能源消费能显著促进经济增长,而二氧化碳排放会抑制经济增

长<sup>[7]</sup>;基于中国数据的研究,发现能源使用绿色化与经济增长之间呈倒“U”型趋势,而碳排放对能源使用绿色化和经济增长具有较大的贡献率<sup>[8-9]</sup>;通过考察能权制度对环境与经济的影响,发现能权制度的实施主要通过提升能源效率这一短期路径实现有效减少以二氧化碳等为主的环境污染,并能促进经济发展<sup>[10-11]</sup>。

第三,基于能源消费结构与效率视角研究三者间的关系。有学者利用全球 67 个经济体数据,采用联立方程模型实证分析了经济增长对能源结构转型和二氧化碳排放的影响,结果表明能源结构转型与经济增长呈倒“U”型关系,碳排放与经济增长也呈倒“U”型关系<sup>[12]</sup>;还有研究发现能源结构、生态环境与经济发展之间具有显著且稳健的双门槛效应。当能源结构为门槛变量时,其会抑制经济发展,而优化生态环境将促进经济发展<sup>[13-14]</sup>;另有研究使用欧洲联盟规模的 MEDEAS 模型评估主要驱动因素的不确定性如何影响关键的社会经济和环境指标,结果发现影响能源效率与使用的参数对经济与环境的影响最大<sup>[15]</sup>。

第四,按照省际、产业别和区域别不同尺度或视角,研究三者之间的关系。不同省际三者关系的研究使用耦合协调模型研究了能源、经济、环境及生态四个系统间的协同作用,得出结论认为四者整体处于中级协调水平,但能源与环境的矛盾较为突出<sup>[16]</sup>;不同产业如钢铁产业、物流产业的三者关系的研究发现三者之间存在协同增长关系<sup>[17]</sup>;不同区域如黄河流域三者关系的研究发现能源—环境之间的协调关系还存在较大的优化空间,四元系统耦合协调度在时空方面存在显著的不平衡性与阶段性<sup>[18-19]</sup>。

综上所述,国内外文献对经济增长、能源消费与二氧化碳排放之间关系的研究已经较为全面深入,这为本研究提供了研究基础。但本文关注的中国经济增长、能源消费、二氧化碳排放之间的关系研究则比较少见,特别是运用较长时期的省际面板数据进行实证分析三者关系的文献更为少见。面板向量自回归(PVAR)模型非常适合研究经济上具有紧密联系而统计意义关系尚不明确的多变量之间的关系。是故,本文拓展以往的研究,以中国 30 个省级地区 1995—2021 年经济增长、能源消费与二氧化碳排放数据为分析基础,运用 PVAR 模型,实证考察三者之间的关系,以期为实现中国可持续发展提供有益的政策建议。

## 二、模型设定和变量说明

为了考察经济增长、能源消耗和二氧化碳排放之间的动态关系,本文使用 PVAR 方法,模型设定如下:

$$y_{it} = u_i + \lambda_t + \sum_{j=1}^J y_{it-j} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中下标  $i$ 、 $t$  分别表示截面单元和时间。 $y_{it}$  是内生变量, $y_{it-j}$  是  $y_{it}$  的  $j$  期滞后, $u_i$  是个体效应, $\lambda_t$  是时间效应, $\varepsilon_{it}$  是随机扰动项。根据研究需要,本文构建由 3 个方程构成的 PVAR 模型,其第  $k$  个方程如下:

$$y_{it}^k = u_i^k + \lambda_t^k + \sum_{j=1}^J y_{it-j}^k + \varepsilon_{it}^k \quad (2)$$

其中  $k=1, 2, 3; i=1, \dots, 30$ , 代表各个省级单位;  $t$  表示年度时间 (1995—2021)。

$y_{it} = \{rgdp\_g_{it}, lnenergy_{it}, lnco2_{it}\}$  是基于面板数据的  $3 \times 1$  维的列变量。

本文选择 30 个省级地区作为研究样本 (不含西藏及港、澳、台)。资料来源于相关年份 (1995—2021) 的《中国统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国环境统计年鉴》。各省级单位各年份的实际 GDP, 是以 1995 年为基期, 经过价格指数平减得出, 然后再计算 1996—2021 年的实际 GDP 的增长率 ( $rgdp\_g$ );  $lnenergy$ 、 $lnco2$  分别表示能源消耗总量、二氧化碳排放总量的自然对数。三个变量的基本统计特征见表 1。

表 1 1995—2021 年省际变量的描述性统计

Variable	单位	分组	Mean	Std. Dev.	Min	Max	Observations
rgdp_g	%	overall	2.023 4	4.312 8	-30.328 5	17.318 3	N=810
		between		0.934 5	-0.367 0	3.8194	n=30
		within		4.213 6	-28.687 7	16.543 9	T=27
lnenergy	万吨标准煤	overall	8.947 0	0.868 0	5.712 9	10.670 9	N=810
		between		0.687 5	6.925 6	10.049 0	n=30
		within		0.544 0	6.660 6	10.158 5	T=27
lnco2	万吨	overall	9.945 3	0.936 2	6.307 4	11.974 0	N=810
		between		0.764 9	7.952 6	11.180 6	n=30
		within		0.556 9	7.298 0	11.462 5	T=27

### 三、实证结果与分析

运用 PVAR 模型的前提是各变量须是平稳序列, 如果变量不平稳而直接建模, 容易出现伪回归现象。为此, 需要进行面板单位根检验。稳定性检验之后, 再使用协整检验确定最优滞后阶数; 之后, 进行 Granger 因果关系检验和相应的 PVAR 回归, 并对实证结果进行分析。

#### (一) 面板单位根检验和最优滞后阶数确定

##### 1. 单位根检验

为确保单位根检验结果的可靠性, 本文综合使用 IPS、LLC、HT 三种单位根检验方法互相验证, 对原序列数据不平稳的变量进行一阶差分并再次使用上述方法进行检验 (表 2)。

##### 2. 协整检验

单位根检验结果显示 (表 3), 能源消耗总量的原序列数据不平稳, 为保证回归结果有效可靠, 本文选取 Pedroni 检验与 Westerlund 检验两种方法对数据进行协整检验, 两种检验方法皆在 1% 显著性水平上拒绝原假设, 因此可以确定各变量间存在长期稳定的协整关系, 可以进行 PVAR 建模, 结果如表 3 所示。

##### 3. 确定最优滞后阶数

在模型估计之前, 需要确定 PVAR 模型的最优滞后阶数。如果滞后阶数选择不当, 则会遗

漏滞后变量包含的信息,导致估计出现较大误差。为避免损失较多的自由度,本文设定最大滞后阶数为3阶,使用AIC、BIC和HQIC三种信息准则让软件自动选择滞后阶数。当使用上述信息准则时,其值越小滞后期选择越合理。运行stata 15.0,使用pvar2软件包给出的结果见表4。由表4可见,三种信息准则均在1期滞后时达到最小值。因此,本文选择最优滞后阶数为1阶。

表2 相关变量的面板单位根检验结果

检验方法	<i>rgdp_g</i>	<i>drgdp_g</i>	<i>lnenergy</i>	<i>dlnenergy</i>	<i>lnco2</i>	<i>dlnco2</i>
IPS	-12.767 4***	-27.947 6***	1.422 3	-18.445 5***	-2.484 8***	-16.576 4***
LLC	-11.773 6***	-24.324 7***	0.241 3	-17.945 7***	-3.589 7***	-15.561 4***
HT	0.019 4**	-0.476 5***	0.922 3	0.041 6**	-8.932 1***	-0.186 8***
结论	平稳	平稳	不平稳	平稳	平稳	平稳

注释:(1)LLC、IPS、HT的原假设均是面板存在单位根。(2)\*\*\*、\*\*、\*分别表示1%、5%、10%的显著性水平,下同。(3)*drgdp\_g*、*dlnenergy*、*dlnco2*表示实际GDP的增长率、能源消耗总量、二氧化碳排放总量的一阶差分。

表3 协整检验

Pedroni 检验	Westerlund 检验
Panel PP-statistic -16.529 4***	Statistic -5.376 3***
Panel ADF-statistic -16.131 1***	

注:表内数据为协整检验统计量,\*\*\*表示在1%显著性水平上拒绝原假设。

表4 模型的最优滞后期选择准则

lag	AIC	BIC	HQIC
1	2.970 1*	3.599 7*	3.213 1*
2	3.018 8	3.728 9	3.293 5
3	3.221 1	4.017 4	3.529 8

### (二) Granger 因果关系检验

对模型进行Granger因果关系检验结果见表5。由表5可知,实际GDP增长和能源消费为双向因果关系;实际GDP增长和二氧化碳排放为双向因果关系;能源消费与二氧化碳排放也为双向因果关系。

表5 PVAR模型的Granger因果关系检验

方程	因变量	Excluded	chi2	df	P	格兰杰因果方向
I	<i>h_rgdp_g</i>	<i>h_dlnenergy</i>	33.041	2	0.000	<i>dlnenergy</i> → <i>rgdp_g</i>
	<i>h_rgdp_g</i>	<i>h_lnco2</i>	20.257	2	0.000	<i>lnco2</i> → <i>rgdp_g</i>
	<i>h_rgdp_g</i>	ALL	63.59	4	0.000	--
II	<i>h_dlnenergy</i>	<i>h_rgdp_g</i>	17.855	2	0.000	<i>rgdp_g</i> → <i>dlnenergy</i>
	<i>h_dlnenergy</i>	<i>h_lnco2</i>	36.19	2	0.000	<i>dnco2</i> → <i>dlnenergy</i>
	<i>h_dlnenergy</i>	ALL	59.593	4	0.000	--
III	<i>h_lnco2</i>	<i>h_rgdp_g</i>	6.2515	2	0.044	<i>rgdp_g</i> → <i>lnco2</i>
	<i>h_lnco2</i>	<i>h_dlnenergy</i>	10.548	2	0.005	<i>dlnenergy</i> → <i>lnco2</i>
	<i>h_lnco2</i>	ALL	22.877	4	0.000	--

### (三) 基于全国层面的PVAR估计结果

在PVAR模型估计之前,本文使用前向均值差分法(forward mean difference)消除个体与



间固定效应。这种处理可以使得内生变量的当前值、滞后项与干扰项均不相关,从而可以运用系统广义矩(GMM)估计 PVAR 模型,估计结果参见(3)~(5)式,括号内为  $t$  值,由于能源消费总量的原序列数据不平稳,为保证回归结果可靠,选取一阶差分后数据进行回归。

$$rgdp_{git} = 0.110rgdp_{git-1} + 17.592dlnenergy_{it-1} + 5.041lnco2_{it-1} + \varepsilon_{1it} (1.93^{**}) (5.56^{***}) (2.85^{***}) \quad (3)$$

$$lnenergy_{it} = 0.002rgdp_{git-1} + 0.195dlnenergy_{it-1} + 0.019lnco2_{it-1} + \varepsilon_{2it} (3.23^{***}) (3.40^{***}) (0.39) \quad (4)$$

$$lnco2_{it} = 0.002rgdp_{git-1} + 0.442dlnenergy_{it-1} + 0.886lnco2_{it-1} + \varepsilon_{3it} (2.23^{***}) (2.28^{***}) (7.26^{***}) \quad (5)$$

由(3)~(5)式,可得出如下结论:

第一,经济增长与能源消耗之间具有双向因果关系。经济增长将带动能源这一生产要素消耗的增加。由(4)式,平均而言,经济增长率提高1个百分点,将带动下期能源消耗总量增长0.2%,即中国能源消耗的经济增长弹性大约为0.2,并在1%的水平上显著,这与相关研究的结论基本是一致的。这表明,中国经济增长会驱动能源使用的增长。有数据表明,不少发达国家的经济增长和能源消费总量已经脱钩,即在经济保持一定增长的同时,能源消费零增长或者负增长<sup>[20-21]</sup>。目前,中国尚未发展到这一阶段,表明中国的能源使用效率有待提高。同时,能源消耗的增加会带来更多的物质生产,将有力地促进经济增长<sup>[22]</sup>。由(3)式,平均而言,能源消耗量增长1%,将使实际GDP增长率提高0.176个百分点。中国经济增长的资源驱动特征仍然较为明显,因此可以制定合理、有效且环保的能源政策以实现经济持续、高质量增长的目标。

第二,经济增长与二氧化碳排放之间具有双向因果关系。经济增长会促进二氧化碳的排放。由(5)式,平均而言,经济增长率提高1个百分点,将使得二氧化碳排放总量增长0.2%,即中国二氧化碳排放的经济增长弹性大约为0.2,并在1%的水平上显著。经济增长导致二氧化碳排放增加主要有直接效应和间接效应两种途径。直接影响是指在经济增长过程中产生的各类生产活动将直接增加二氧化碳排放,如畜牧业与农业的生产、工业的生产活动以及土地的开发利用等生产过程<sup>[23]</sup>。间接影响是指为实现经济增长而消费的各类化石能源,将会间接增加二氧化碳的排放。相比发达国家经济增长和碳排放脱钩现象,即经济增长的同时,碳排放零增长或者负增长,中国保持经济增长的同时,碳排放总量也会增加。这表明中国经济的绿色发展水平距发达国家还有不小差距。同时,二氧化碳排放量也在一定程度上促进了经济增长,这意味着前者包含着后者的相关信息,有关节能减排的一些措施可能会对经济增长产生一定的短暂冲击。由(3)式,平均而言,二氧化碳排放总量增加1%,将使下期GDP增长率增加0.050个百分点。根据环境库兹涅茨曲线可知其中原因可能是,短期内二氧化碳排放量的增加通常是因为存在大量能源消耗,消耗的能源多数用于工业的生产,促进了经济快速增长,从而使得下期全国GDP增幅有所加快。

第三,能源消耗与二氧化碳排放两者之间也存在双向因果关系。使用能源会释放大量二氧化碳排放,因此能源消耗量增加将致使二氧化碳排放增加,加剧环境污染。由(5)式,平均而言,能源消耗增长1%,将使二氧化碳排放增长0.442%。能源的大量消耗将带来二氧化碳排放

量的快速增加,表明中国的能源消费结构仍然是以高碳排放的化石能源为主,亟须转变为清洁式能源消费结构。二氧化碳排放增加可能会增加能源的消耗。由(4)式,平均而言,二氧化碳排放总量增加1%,将可能使下期能源消耗增加0.019个百分点。其主要原因是,二氧化碳排放增加源于本期能源消耗的增加,由于能源消耗一般具有递增的性质,因此本期二氧化碳排放增加可能会带来下期能源消耗的增加。该结果不显著的原因可能在于当二氧化碳排放量增加时,会使下期全国碳排放量控制趋于严格,进而减少化石能源投入,削弱了二氧化碳排放的增加带来的能源消耗加剧效应。

#### (四)基于区域层面的 PVAR 估计结果

中国地域辽阔,各地经济社会发展不平衡。为更好揭示区域之间的经济增长、能源消耗与二氧化碳排放之间的关系,依照中国国家统计局东、中、西三大区域的划分标准,分别进行 PVAR 估计,结果见表 6。由表 6 可得如下两点结论:

第一,不同地区之间三个变量之间的关系差距很大。东部地区的回归结果表明存在能源消耗与二氧化碳排放对实际 GDP 增长率两组显著的关系;在中部地区,存在能源消耗对实际 GDP 增长率、能源消耗对二氧化碳排放两组显著的关系;在西部地区,存在能源消耗与二氧化碳排放对实际 GDP 增长率、经济增长对能源排放以及经济增长对二氧化碳排放四组显著的关系。三个地区的经济增长都主要依靠能源消耗来拉动,尤其是中部地区资源开采方式粗放,亟须通过技术进步或使用清洁能源、提高能源使用效率以实现促进经济增长同时减轻碳排放强度。

第二,全国 PVAR 模型回归结果显示,能源消耗对二氧化碳排放有显著的正向关系,而东、西部地区的回归结果并不存在这种关系,两者形成鲜明对照。这表明,为在全国范围内实现控制碳排放的减排任务,其关键路径应当是控制中部地区能源消耗以减轻碳排放,比如提高中部地区能源使用效率或者发展再生能源。

#### (五)模型的稳定性检验

为进行脉冲分析和预测误差的方差分解,上文建立的模型需要满足稳定性条件。使用伴随矩阵的特征根图(图 1)进行分析,六个特征根都在单位圆内部,由此表明本文建立的 PVAR 模型是稳定的,可对其进行脉冲响应函数分析和预测误差分解。

#### (六)脉冲响应函数与方差分解

1.脉冲响应函数。为分析各变量之间的关系,使用广义脉冲响应函数观察各变量之间的关系。脉冲分析反映的是,各变量的一个标准差变动对其他各变量的影响。设定滞后 10 期,经蒙特卡洛模拟 999 次,得到如下脉冲信息响应图(图 2)。图 2 中,横轴表示冲击期;纵轴每幅图的红线(中间线)表示各变量受冲击的影响程度,两侧线为 95%的置信区间上下界线。

实际 GDP 增长率( $rgdp\_g$ )受到冲击后的脉冲响应(图 2 第一行)。其受自身的影响相对于能源消费与二氧化碳排放而言较大,但三者持续时间均较短。第一,受到自身一个标准差的正向冲击后,实际 GDP 增长率在 1~3 期内产生显著正向响应,随之衰减为零。第二,受到能源消

费的一个标准差正向冲击后,在第 1~3 期内实际 GDP 增长率呈现增长态势,第 3 期以后由于零水平线始终处在置信区间内,表示实际 GDP 增长率未受到其变动的显著影响。第三,受二氧化碳排放一个标准差的正向冲击后,在第 1 期,实际 GDP 增长率在短期内呈现显著上升趋势,随后实际 GDP 增长率未受到其变动的显著冲击。这可能是由于一方面,如果当期二氧化碳排放水平较高,会使下一期的减排更加严厉,减弱了实际 GDP 增长率的上升。另一方面,随着技术进步、能源消费结构日益优化与能源使用更加清洁化等发展,二氧化碳排放对经济增长的这种短期正向冲击作用将会日益减小,因此表现出实际 GDP 增长率未受到其变动的显著冲击。

表 6 区域层面 PVAR 模型估计结果

	东部地区	中部地区	西部地区
<i>rgdp_g</i>			
<i>L.rgdp_g</i>	0.068 (1.42)	0.179* (1.99)	0.308*** (4.17)
<i>L.dlnenergy</i>	27.40*** (4.43)	22.38*** (3.60)	11.16** (2.98)
<i>L.lnco2</i>	9.735*** (3.64)	5.972 (1.20)	3.455* (2.11)
<i>dlnenergy</i>			
<i>L.rgdp_g</i>	0.001 1 (1.20)	0.004 5 (1.92)	0.003 37* (2.37)
<i>L.dlnenergy</i>	0.010 4 (0.08)	-0.238* (-2.05)	-0.037 6** (-3.17)
<i>L.lnco2</i>	0.117 (1.41)	0.104 (1.18)	-0.015 3 (-0.34)
<i>lnco2</i>			
<i>L.rgdp_g</i>	0.001 42 (0.70)	0.001 3 (0.99)	0.004 06** (2.99)
<i>L.dlnenergy</i>	0.229 (1.51)	0.577*** (3.79)	0.473 (1.48)
<i>L.lnco2</i>	1.058*** (4.81)	0.883*** (6.72)	0.833*** (5.54)

注释:L表示滞后1期;\*表示 p<0.1,\*\*表示 p<0.05,\*\*\*表示 p<0.01;括号内为 t 值。

能源消费受到冲击后的脉冲响应(图 2 第二行)。其受经济增长与二氧化碳的冲击较大且持续时间较长,受自身冲击较大但持续时间较短。第一,实际 GDP 增长率对能源消费的冲击呈现出倒 U 型趋势。在 1~2 期内受到实际 GDP 增长率一个标准差的正向冲击后,能源消费产生了显著的正向响应,随后逐渐呈现负向响应。这可能是因为当经济实现高质量发展时,就不再需要消耗大量高污染能源,而是通过先进的技术与清洁能源来实现经济增长。第二,受到自身一个标准差的正向冲击后,能源消费在第 1 期产生了显著的正向响应,随后衰减为零。第三,受到二氧化碳排放一个标准差的正向冲击后,能源消费在较长的期间产生了显著的负向响



应,直到本文研究的第 10 期,二氧化碳排放对能源消费的冲击仍然存在。这可能由于国家对二氧化碳排放的干预政策所导致能源消费的减少。

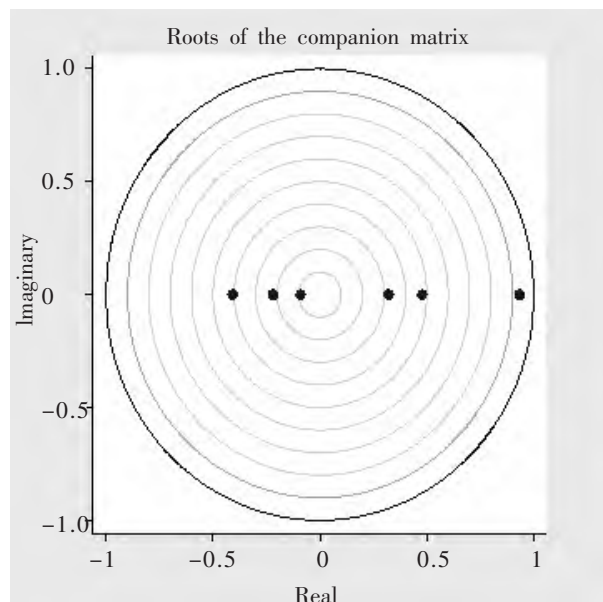


图 1 伴随矩阵的特征根图

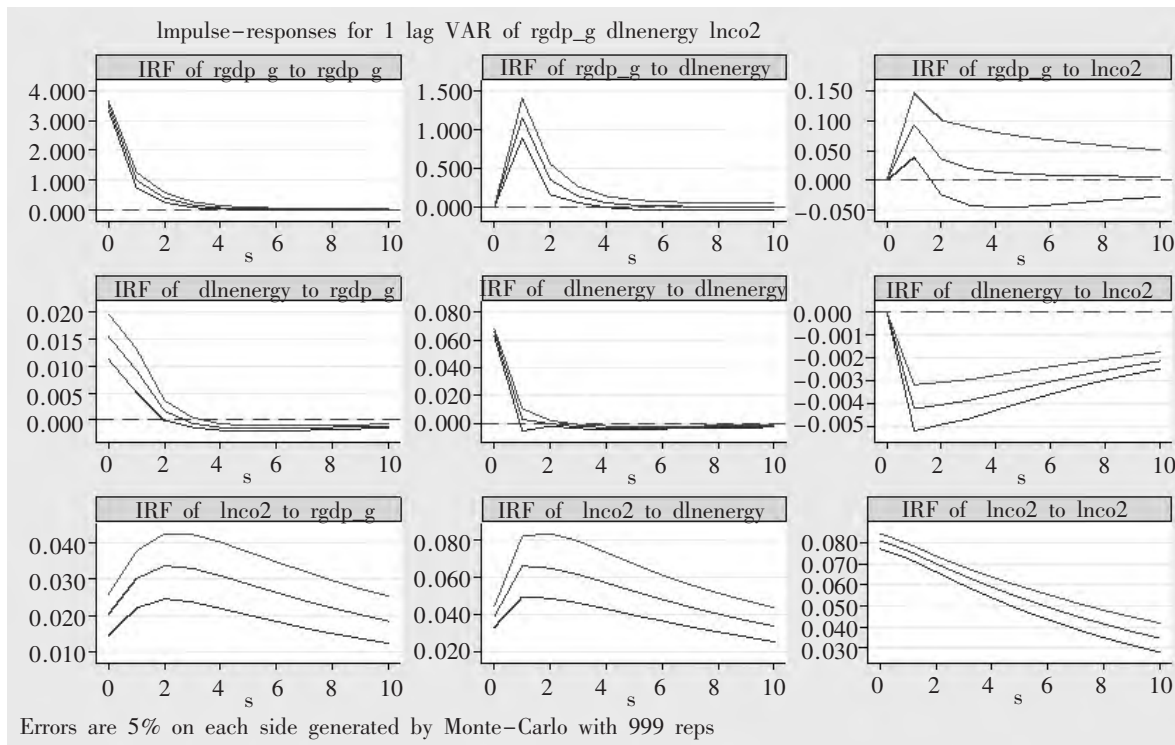


图 2 脉冲响应函数图

二氧化碳排放受到冲击后的脉冲响应(图 2 第三行)。实际 GDP 增长率、能源消费与自身都对二氧化碳排放产生了较大、较长的冲击。第一,受到实际 GDP 增长率一个标准差的正向冲

击后,二氧化碳排在较长的期间内都产生了显著的正向响应。这表示中国的能源结构仍是以化石能源为主,在其他条件一定的情况下,经济增长率的提高必然需要消耗更多的化石能源,从而产生更多的碳排放。第二,受能源消费的一个标准差正向冲击,二氧化碳排放产生了长期显著的正向响应。目前,由于我国的能源消费仍以高碳化石能源为主,因此能源消费增多将带来二氧化碳排放的增加。第三,受到自身一个标准差的正向冲击后,二氧化碳排放呈现出长期显著的正向影响。直到本文研究的第10期,三种冲击对二氧化碳排放的影响仍然存在。

## 2. 预测误差的方差分解

预测误差的方差分解见表7。由表7可以发现,对实际GDP增长率波动影响最大的是其自身,在第2期,其贡献率仍然高达90.8%。其次是能源消费和二氧化碳排放的波动影响,以第5期为例,各占9.7%和7%;对能源消费波动影响最大的是其自身,其贡献率在第1期高达94.7%,其次则是二氧化碳排放和实际GDP增长率的波动影响,各自占到36.8%、9.9%;对二氧化碳排放波动影响最大的仍然是其自身的变动,二氧化碳排放、能源消费、实际GDP增长变动对二氧化碳排放波动的影响分别高达56.4%、28.6%和1.3%。这表明,在较长的时期来看,实行节能减排相关措施以及加快能源消费结构的低碳转型是控制中国温室气体排放的最重要的抓手。

表7 预测误差的方差分解

预测期	变量	<i>rgdp_g</i>	<i>dlnenergy</i>	<i>lnco2</i>
1	<i>rgdp_g</i>	1.000	0.000	0.000
	<i>dlnenergy</i>	0.049	0.947	0.000
	<i>lnco2</i>	0.053	0.179	0.564
2	<i>rgdp_g</i>	0.908	0.091	0.010
	<i>dlnenergy</i>	0.069	0.927	0.085
	<i>lnco2</i>	0.068	0.300	0.390
3	<i>rgdp_g</i>	0.901	0.098	0.012
	<i>dlnenergy</i>	0.082	0.923	0.173
	<i>lnco2</i>	0.070	0.338	0.321
4	<i>rgdp_g</i>	0.900	0.099	0.013
	<i>dlnenergy</i>	0.091	0.920	0.240
	<i>lnco2</i>	0.070	0.357	0.314
5	<i>rgdp_g</i>	0.900	0.099	0.013
	<i>dlnenergy</i>	0.097	0.918	0.286
	<i>lnco2</i>	0.070	0.368	0.330

## 四、研究结论和政策建议

中国仍处于工业化发展阶段,经济的快速发展、人民生活水平的提高均得益于能源供给和消费的不断增长,其直接结果就是二氧化碳的大量排放,最终导致经济增长方式粗放、资源环境代价过高等问题。经济发展不能只追求速度上的增长,现阶段及以后更长的时期内更应追

求经济发展质量上的提高。本文以 1995—2021 年间中国 30 个省级地区作为研究样本,构建面板 VAR(PVAR)模型,研究中国经济增长、能源消费与二氧化碳排放之间的动态关系,以期为实现经济高质量发展提供建设性建议。

### (一)研究结论

综合上述实证分析,有以下四点结论。

第一,在 Granger 因果关系分析中,经济增长与能源消费、经济增长与二氧化碳排放、能源消费与二氧化碳排放之间均存在双向因果关系。

第二,基于全国层面的 PVAR 估计结果与相关研究结论基本一致。一是经济增长将带动能源这一生产要素消耗增加,也会促进二氧化碳的排放。这表明我国的经济增长仍在很大程度上依靠高污染、高耗能、高投入的化石能源带动,经济增长方式还未完全实现由粗放型转变为集约型经济增长方式,亟须加大技术创新研发、利用数字经济与清洁能源等多种措施促进经济实现高质量发展。二是能源消耗增加将促进经济增长、加剧二氧化碳的排放,表明我国经济增长的资源驱动特征仍然较为明显、化石能源应用于生产活动中是带来二氧化碳排放的主要源头,为推动减污降碳协同增效与实现经济社会发展全面绿色转型,未来必须减少“三高”能源的投入。三是二氧化碳排放增加在短期内会促进经济增长、可能会增加能源消费。在二氧化碳排放较多时期通常伴随着较多的能源消费,这会在一定程度上促进经济增长。同时碳排放对能源消费的回归结果不显著意味着前者增加时可能会增加下期能源消费,这受国家对二氧化碳排放量控制的影响;基于区域层面的 PVAR 估计结果表明,东部地区存在能源消耗与二氧化碳排放对实际 GDP 增长率正向显著关系,中部地区存在能源消耗对实际 GDP 增长率、能源消耗对二氧化碳排放正向显著关系,西部地区存在能源消耗与二氧化碳排放对实际 GDP 增长率、经济增长对能源排放以及经济增长对二氧化碳排放之间正向显著关系。表明中西部地区经济增长对能源消耗的依赖性较强,应当提高中西部地区能源使用效率或者发展再生能源来控制中西部地区能源消耗以减轻碳排放。

第三,脉冲响应函数分析表明,经济增长、能源消费与二氧化碳排放都受自身的冲击较大。实际 GDP 增长率在短期内还受能源消费与二氧化碳排放的正向显著冲击,其中能源的冲击要大于二氧化碳排放所带来的冲击,且持续时间也较长;实际 GDP 增长率对能源消费的冲击呈现出倒 U 型趋势,先产生显著的正向响应后逐渐呈现负向响应。二氧化碳排放对能源消费的负向冲击持续时间较长,这可能是由于国家对碳排放总量实行的管控所导致的;实际 GDP 增长率、能源消费对二氧化碳排放产生了正向显著且长期的冲击,说明我国必须加快转变经济增长方式的步伐,推动新技术、新动能与新数据等方式与经济融合发展以促进经济实现高质量发展。

第四,预测误差方差分解结果表明,对经济增长、能源消费与二氧化碳排放波动贡献最大的都是其自身,比例高达 90.8%、94.7%与 56.4%。除此之外,对经济增长波动的贡献中,能源

消费大于二氧化碳排放的贡献;对能源消费波动的贡献中,二氧化碳排放大于实际 GDP 增长率的贡献;在二氧化碳排放波动的贡献中,能源消费占据较大的地位,与上述结论相同。

## (二)政策建议

针对以上研究发现,兹提出以下四点政策建议。

第一,重视在全国推广使用清洁能源,提高能源生产、加工与利用的技术水平。中国能源消费结构仍以高碳排放的化石能源为主,为实现中国经济的可持续发展,应该转变能源消费结构,促进能源结构实现低碳化,大力开发风能、太阳能、核能等清洁能源。同时,注重提高能源利用的技术水平,加强技术的创新性研发并合理利用数字经济中的数据要素以提高能源利用效率,进而实现减污降碳目标,促进经济实现高质量发展,逐步实现经济增长与能源消费、碳排放增加脱钩。

第二,重视培育中部地区的新动能以拉动经济增长,实现经济绿色发展。中国经济发展不均衡、不充分问题突出,不同区域之间三个变量之间的互动关系存在着较大的差别。区域层面的 PVAR 估计结果表明,中部地区能源消耗对二氧化碳排放有显著的正向关系。因此,需要将经济高质量发展的重点放在中部地区能源的绿色使用上,可以通过加强人才培养、技术创新、培育新动能等方式,坚持创新引领与绿色发展,激活经济发展的新活力,提高中部地区能源使用效率,减少中部地区经济增长对高污染能源的依赖。

第三,产业结构转型升级是转变经济增长方式的重要手段。为了实现中国经济与环境的协调发展,还应该优化产业结构,实现产业升级,逐步淘汰高污染的产业,鼓励和维护绿色环保产业的发展,直接减少能源消耗与二氧化碳排放,助推我国经济走上绿色低碳的可持续发展路径。

第四,政府应从制度与政策两方面降低能源消耗与二氧化碳排放。应积极推进碳税制度的出台,完善碳排放交易制度,提高中国绿色发展水平,推动中国的可持续发展。同时搭配相应的科技、产业、财政金融等政策引导和鼓励经济组织对新能源的开发和运用,实现由高碳到低碳、由低碳到无碳的转型。

## 参考文献

- [1] ASRI N D, YUSGIANTORO P. A revisit of the energy-economy-environment nexus with multi-regression [J]. International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, 2022, 12(5): 1866-1874.
- [2] 马诗萍,刘倩倩,张文忠.空间视角下的能源——经济——环境关系研究进展与展望[J].地理科学进展, 2022(8): 1530-1541.
- [3] 林泽伟,汪鹏,任松彦,等.能源转型路径的经济环境健康效益评估——以粤港澳大湾区为例[J].气候变化研究进展, 2022(6): 777-790.
- [4] 姜亚.中国经济增长、能源消费与碳排放互动关系——基于 DMSP/OLS 夜间灯光数据的实证分析[J].中南财经政法大学研究生学报, 2017(6).



- [5] 王林钰,陈浩,陈思源,等.城市层面能源-经济-环境-社会耦合协调发展的动态演化与实证分析——以江苏省为例[J].北京理工大学学报(社会科学版),2022(1):51-64.
- [6] MOHAMMED S, HOU Y, ABDUL R, et al. Revisiting the energy-economy-environment relationships for attaining environmental sustainability: evidence from Belt and Road Initiative countries[J]. Environmental Science and Pollution Research international, 2021, 29(3): 3808-3825.
- [7] MALLESH U, PHANINDRA G. The Impact of Clean Energy Consumption on Economic Growth and CO<sub>2</sub> Emissions in BRICS Countries: Does The Environmental Kuznets Curve Exist? [J]. Journal of Public Affairs, 2020, 21(1): 2126.
- [8] 王帅.中国能源使用绿色化、碳排放与经济增长的关系研究[J].软科学,2020(10):7-11+24.
- [9] 徐斌,陈宇芳,沈小波.清洁能源发展、二氧化碳减排与区域经济增长[J].经济研究,2019(7):188-202.
- [10] 廖文龙,董新凯,翁鸣,等.市场型环境规制的经济效应:碳排放交易、绿色创新与绿色经济增长[J].中国软科学,2020(6):159-173.
- [11] 宋德勇,陈梅,朱文博.用能权交易制度是否实现了环境和经济的双赢?[J].中国人口·资源与环境,2022(11):134-145.
- [12] 朱欢,郑洁,赵秋运,等.经济增长、能源结构转型与二氧化碳排放——基于面板数据的经验分析[J].经济与管理研究,2020(11):19-34.
- [13] 傅智宏,杨先明,徐超.中国外部能源偏向型技术进步与经济增长[J].统计与信息论坛,2019(9):44-51.
- [14] 徐维祥,徐志雄,刘程军.能源结构、生态环境与经济发展——门槛效应与异质性分析[J].统计与信息论坛,2020(10):81-89.
- [15] ROGER S, LGNACIO D B, Perissi I, et al. Scenario analysis and sensitivity exploration of the MEDEAS Europe energy-economy-environment model[J]. Energy Strategy Reviews, 2020(32): 100582.
- [16] 杨梦欣,吴杰.湖北省生态文明建设与4E系统协调发展研究[J].长江大学学报(社会科学版),2020(4):78-83.
- [17] 王丽萍.物流业碳排放与能源消耗、经济增长关系的实证研究——以河南省为例[J].系统科学学报,2017(2):112-116.
- [18] 关伟,许淑婷,郭岫垚.黄河流域能源综合效率的时空演变与驱动因素[J].资源科学,2020(1):150-158.
- [19] 赵金辉,田林,李思源,等.黄河流域能源与环境—经济—生态耦合协调发展研究[J].人民黄河,2022(11):13-19.
- [20] 高建刚.中国工业的绿色发展:绩效、机制与路径[M].北京:经济管理出版社,2021:42-55.
- [21] 肖德,张媛.经济增长、能源消费与二氧化碳排放的互动关系——基于动态面板联立方程的估计[J].经济问题探索,2016(9):29-39.
- [22] 刘降斌,刘秋明.空间视角下经济增长、城镇化与二氧化碳排放强度关系研究[J].商业经济研究,2021(12):184-188.
- [23] 张娜,李小胜.中国经济增长与二氧化碳排放的平滑转换研究[J].统计与决策,2018(22):140-143.

## Research on the Interaction between China's Economic Growth, Energy Consumption and Carbon Dioxide Emissions : Empirical Analysis Based on Panel VAR

Liu Zhangfa<sup>1</sup> Gao Jiangang<sup>2</sup> He Lina<sup>2</sup>

(1.Dongchang College of Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252000;

2.Business School of Liaocheng University, Liaocheng, Shandong 252000)

**Abstract:** Based on the panel data of 30 provinces in China from 1995 to 2021, the PVAR model is constructed, and the relationship among economic growth, energy consumption and carbon dioxide emissions in China is empirically analyzed by using Granger causality test and impulse response function. The research shows that: (1)there is a causal relationship between energy consumption, economic growth and carbon dioxide emissions. (2)there is a positive significant relationship between energy consumption and carbon dioxide emissions to economic growth in the eastern region, and a positive significant relationship between energy consumption to economic growth and energy consumption to carbon dioxide emissions in the central region. There is a positive significant relationship between energy consumption and carbon dioxide emissions to economic growth, economic growth to energy emissions and carbon dioxide emissions in the western region. (3) both impulse response function and variance decomposition analysis of prediction error show that energy consumption has a great impact on carbon dioxide emissions. In order to achieve sustainable development, this paper puts forward some suggestions, such as actively developing clean energy and improving the technological level of energy utilization, focusing on the cultivation of new momentum of economic development in the central region, the transformation and upgrading of industrial structure and the introduction of relevant systems and policies.

**Key Words:** economic growth; energy consumption; carbon dioxide emissions; panel var

(责任编辑:丁忠兵)